

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne masteroppgaven er den avsluttende innleveringen for oss etter endt masterstudie. Graden er tatt innenfor henholdsvis vann- og miljøteknikk for Andreas Køste og industriell økonomi med fordypning innenfor vann- og miljøteknikk for Jon Petter Hval. Oppgaven er skrevet ved Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap. Oppgaven er på 30 poeng og er fullført etter litt over 4 måneders arbeid.

I oppgaven har vi sett på virkningen av klimaendringer på ledningsnettet i Veumdalen i Fredrikstad kommune med blant annet oppstuvinger i kum, trykkehøyde i ledning, overløpsberegninger og skade på bygninger. Modelleringen er blitt gjort i ROSIE, etter konvertering av en MOUSE-modell gjort av Rosim A/S. Grunnen til at vi valgte denne oppgaven var at det virket spennende å jobbe sammen med så mange interessante samarbeidspartnere innenfor et område som interesserer oss. Vi har fått brukt et relevant modelleringsverktøy i tillegg til at vi har jobbet med hvordan klimaendringer kan føre til store endringer i avrennings- og avløps situasjonen. Arbeidet er relevant da mange kommuner ligger etter når det gjelder planlegging av avløpsnettet for fremtidens utfordringer.

ExFlood-prosjektet startet opp september 2010, der vi hadde et møte med ulike samarbeidspartnerne. Vi fikk vite hvordan prosjektsamarbeidet var satt opp, samt videre progresjon. Senere på høsten har det vært kursing i simulerings/modelleringsprogrammet ROSIE ved Rosim A/S på Alna. Vår oppstart av selve masteroppgaven var 1. januar 2011. Vi har også hatt et tverrfaglig samarbeid med studenter innenfor landskapsarkitektur som skriver oppgave om det samme området. I løpet av perioden har vi hatt jevnlige møter med ExFlood-prosjektet sammen med disse studentene. Meningen var at vi skulle dra nytte av hverandres arbeider når det kom til tiltak, men det har vært vanskelig grunnet problemer med vår modell.

Vår hovedveileder har vært Professor Oddvar Lindholm, mens Førsteamanuensis Jarle Tommy Bjerkholt har vært tilleggsveileder. Kontaktpersonen i Fredrikstad kommune har vært Ole Petter Skallebakke.

Vi vil gjerne takke Professor Oddvar Lindholm og Førsteamanuensis Jarle Tommy Bjerkholt for deres gode veiledning og tilstedeværelse under vår masteroppgave. Vil også rette en takk til DHI ved daglig leder Tomas Eidsmo for tilgang til Mike Urban programmet. Vil også gi en stor takk til Ole Petter Skallebakke i Fredrikstad kommune for mye god informasjon om kommunen og for at vi fikk bruke ledningsnettet deres, i tillegg til alltid å være behjelpelig ved spørsmål. Geir Lindholm i Rosim A/S ga oss god hjelp ved å konvertere modellen vår til riktig format, og var behjelpelig ved spørsmål angående ROSIE-programvaren. Doktorgrad-student Vegard Nilsen ved Norconsult har også vært veldig behjelpelig med spørsmål og tilbakemeldinger da han har jobbet med en lignende oppgave tidligere. Til slutt vil vi også takke programmerer Igor Popov ved Rosim A/S i Alta for hans gode hjelp med å programmere om ROSIE slik at det har blitt lettere å gi input til modellen.

Ås, 10/05/2011

Andreas Køste

Jon Petter Hval

Sammendrag

I denne oppgaven er det sett på hvordan klimaendringer vil virke inn på avløpsnettets i Veumdalen, Fredrikstad kommune. Det er da sett på Veumdalen som helhet, samt en dypere analyse av enkelte delfelt med bebyggelse. Mot slutten er det også gjort en sammenligning med tidligere forskning. Det er sett på konstruerte 10-, 20- og 50-års regn med et prosentvis klimatillegg.

Når det gjelder antall kummer med oppstuvning over 75 cm topp rør, vil et regn med 10 års gjentaksintervall gi 12 tilfeller av oppstuvning i kum. Ved å legge til 10 % i regnintensitet på dette regnet, blir den prosentvise økningen i antall kummer 17 %, med andre ord en større økning enn regnintensiteten. Verst er det for et tillegg på 50 % der antall kummer øker med 417 % i forhold til utgangspunktet. Dette er også blitt gjort for 20- og 50-års regn med lignende resultater.

For ledninger med trykkehøyde over 75 cm topp rør er det blitt gjort en lignende analyse. Det er da blitt sett på antall meter ledning som har denne trykkehøyden. Her blir konklusjonen lik som for kummene, der en prosentvis økning i regnintensitet fører til en større prosentvis økning i antall meter ledning med trykkehøyde over kritisk nivå. Også her blir den prosentvise økningen størst for 10-års regnet, med hele 367 % for et tillegg på 50 %.

Det er også blitt gjort simuleringer som viser ledningsnettets prestasjon i forhold til Norsk Vanns veiledende dimensjoneringskrav. Ut fra resultatene er det 1,1 % av ledningsnettets som ikke oppfyller kravet om maksimal fyllingsgrad på 100 % hvert tiende år. Videre er det også sett på kravet om oppstuvning til kritisk nivå maks en gang per tjuende år. 2,3 % av ledningsnettets oppfyller ikke dette kravet.

Når det gjelder mengden overløp for et 10-års regn vil den øke fra 1590 m³ til 2755 m³ når det legges til 50 %. Igjen er økningen i prosent større enn for den prosentvise økningen i regnintensitet. For 50-års regnet blir resultatet henholdsvis 2409 m³ og 3949 m³, med andre ord en økning på ca. 64 %.

Videre har oppgaven tatt for seg ulike delfelt, og sett på antall hus som ligger i tilknytning til ledninger med problemer. Resultatene fra disse områdene er summert sammen og presentert i et eget kapittel som omhandler totalt antall berørte bygninger. Disse resultatene viser at en økning på 50 % i regnintensitet vil føre til at andelen berørte hus øker med mellom 133-226 % avhengig av hvilket gjentaksintervall som blir brukt.

I oppgaven har det også blitt sett nærmere på delfelt med separatsystem. Her er det tatt for seg vann som stuver opp av kummene. I delfeltet som omhandler Myratoppen vil fem kummer få oppstuvning opp på marknivå, med en høyde i intervallet 18-51 cm over topp kum. I et annet delfelt, Veumdalen nord-vest Ambjørnrød, er det to kummer med oversvømmelse på henholdsvis 20 og 31 cm.

Til slutt er det utført en følsomhetsanalyse på parameterne "andel bidragende tette flater" og "tilrenningstid" i modellen. Det er her sett på et ledningsstreck i et delområde som tidligere har vært sterkt rammet av kjelleroversvømmelser. Følsomheten ble målt i forhold til endring i maks vannføring, og resultatene viser at modellen har større parameterfølsomhet ovenfor "andel bidragende tette flater" enn "tilrenningstiden".

Summary

This paper has looked into how climate change will affect the drainage system in Veumdalen, Fredrikstad municipality. Veumdalen has been looked at as a whole, as well as a deeper analysis of different subfields with buildings. A comparison with previous research has also been done towards the end of the paper. Different 10-, 20- and 50-year rains have been constructed, in addition to a percentage climate change which also has been added.

When it comes to the number of manholes with critical level (water level above 75 cm top pipe), a 10 year rainfall will lead to 12 cases of this. By adding 10 % to the rainfall intensity, the percentage rise in number of manholes with critical level will be 17 %. In other words; the increase is greater than the increase in rainfall intensity. The worst case happens when 50 % is added to the rainfall intensity. This leads to an increase of 417 % in number of manholes above critical level. These analyses have also been made for 20- and 50-year rains with similar conclusions.

For pipe lines with a pressure height above critical level (75 cm above the top of the pipe), a similar analysis has been done. The total length of all the pipes which has reached the critical level has been added together, to look at how the piping system holds up to an increase in rainfall intensity. The tendencies are the same as for the manholes, were a percentage increase in rainfall intensity leads to an even greater percentage increase in total length of pipes above critical level. In this case the percentage increase is largest for a 10-year rainfall, with a whopping 367 % increase in pipe length for 50 % added rainfall intensity.

It has also been done simulations that show the pipe networks performance in relation to “Norsk Vann” recommended design requirements. Based on the results, 1.1 % of the pipelines do not meet the requirement of maximum filling degree of 100 % once every ten years. Moreover, it also sets the requirement of reaching the critical level only once per twenty years. 2.3 % of the distribution system fails to meet these requirements.

When it comes to the amount of overflow a 10 year rainfall will increase the total amount from 1590 m³ to 2755 m³, when 50 % rainfall intensity is added. Again, the increase in percentage is greater than the percentage increase in intensity. For a 50-year rainfall the total amount is 2409 m³ and 3949m³ respectively, in other words an increase of approximately 64 %.

Furthermore, the thesis dealt with different subfields, and looked at the number of buildings that in some way could be connected to pipelines above critical level. The results from these areas are summed together and presented in a separate chapter regarding the total number of affected buildings. Here the results show that an increase of 50 % in rainfall intensity will cause an percentage increase of affected buildings in the range of 133-226 %, depending on which return period is used.

This paper also contains results regarding subfields with a separate storm water pipe line. In these areas we have looked at storm water which rises to the ground level, and start causing trouble for the drainage around the houses and so forth. In the subfield named Myratoppen, five manholes will have storm water which reaches the ground level. The height above the manhole top lies in the range of 18-51 cm. In another subfield, namely “Veumdalen north-west, Ambjørnrød”, two manholes have the same problem. These manholes flood 20 and 31 cm respectively above the top of the manhole.

Finally, the thesis has conducted a sensitivity analysis on the parameters “percentage contributing dense area” and “runoff time”. Looking at an area which previously has been strongly affected by basement flooding, the sensitivity was measured in relation to the change in maximum flow. The results show that the model has greater sensitivity to the parameter “percentage contributing dense area” than “runoff time”.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Summary	iii
1 Innledning	7
1.1 Tema og bakgrunn for oppgaven	7
1.2 Problemstilling.....	7
2 Exflood	8
3 Beskrivelse av området	9
4 Dom i lagmannsretten	10
5 Teori	11
5.1 Fredrikstad kommune	11
5.2 Klima og klimaendringer.....	19
5.2.1 Verden	19
5.2.2 Norge	22
5.3 Korte regn.....	25
5.4 Usikkerhet i klimaframskrivinger/modeller	26
5.5 Samfunnsøkonomi og kostnader som følge av klimaendringer	28
5.6 Ansvarsfordeling og kjelleroversvømmelser i Fredrikstad kommune.....	30
5.7 Generelt om avløpsmodeller og hydrologiske modeller:.....	32
5.7.1 Inndeling av forskjellige modeller	34
5.7.2 ROSIE	35
5.7.3 MOUSE.....	36
5.7.3.1 MOUSE Runoff.....	37
5.7.3.2 MOUSE PIPEFLOW	41
5.7.3.3 MOUSE RDI	41
5.8 Tiltak	44
6 Metode	50
6.1 Kapasitetsanalyse av ledningsnett med tanke på klimaendringer	50
6.2 Metode for konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram	52
6.3 Kjøring av regn.....	58
6.4 Oppstuvinger i kum	59
6.5 Trykknivå i ledning.....	60
6.6 Fyllingsgrad i ledningsnett ved 10 års regn.....	61

6.7	Overløpsberegninger.....	61
6.8	Følsomhetsanalyse av parametere i modellen	62
7	Resultater.....	64
7.1	Kapasitetsanalyse av ledningsnett med tanke på klimaendringer	64
7.1.1	Oppstuvning i kum.....	64
7.1.2	Trykksituasjon i ledninger.....	74
7.1.3	Fyllingsgrad på ledningsstrekker	79
7.1.4	Overløpsdrift.....	79
7.2	Gjennomgang av delfelt med problemer	82
7.2.1	Nedre Veumdalen øst.....	83
7.2.1.1	Christianslund allé og omegn	83
7.2.1.2	Myratoppen.....	87
7.2.1.3	Sponheimveien, Oredalsveien og omegn.....	90
7.2.2	Nedre Veumdalen vest	94
7.2.2.1	Mølleveien og omegn.....	94
7.2.2.2	Knipleveien	98
7.2.3	Veumdalen nord-vest, Ambjørnrød	101
7.2.4	Delfelt hovedledning	105
7.3	Totalt antall bygninger påvirket av oppstuvning.....	110
7.4	Oppstuvning til bakkenivå	112
7.5	Følsomhetsanalyse av parametere i modellen	115
8	Diskusjon.....	117
8.1	Vår modells prestasjon i forhold til Norsk Vanns veiledning	117
8.2	Tiltak	117
8.3	Sammenligning av tidligere resultater	119
8.4	Feil og usikkerhet i modellen.....	122
8.5	Videre arbeid.....	123
9	Konklusjon.....	124
10	Litteraturliste.....	125
11	Vedleggsliste.....	128

1 Innledning

1.1 Tema og bakgrunn for oppgaven

Det siste tiåret har det vært stort fokus i media og blant befolkningen på hvordan klimaendringer vil påvirke vår måte å leve på. Mange forskere er enige i at klimaet vil bli våtere og mer ekstremt i fremtiden, og at intensiteten på nedbøren vil øke. Dette påvirker by og tettsteder i stor grad da avrenningen vil tilta, og føre til større belastning på avløpsnett. I tillegg vil tilflytting til byer og tettsteder føre til en økende grad av utbygging og tette flater. Dette vil igjen øke avrenningen og kan føre til oversvømmelser og påfølgende skader på bygg og infrastruktur som koster samfunnet mye penger.

Fredrikstad kommune har det siste tiåret opplevd flere kraftige regnskyll enn tidligere år. I denne oppgaven vil det bli sett nærmere på hvordan en økende regnintensitet vil påvirke avløpsnett og overløpsmengder i Fredrikstad kommune. Det vil også bli sett på mulige tiltak som gjør at kommunen kan tilpasse seg fremtidige endringer i klima.

1.2 Problemstilling

1. Se på hvordan klimaendringer påvirker ledningsnettets kapasitet i Veumdalen, Fredrikstad kommune.
2. Gi en kort oversikt over klimamodeller, hydrologiske modeller og bruken av disse.
3. Se på konsekvensene av klimaendringene i urbane områder, med hensyn på skader på bygg, vei og utslipp fra overløp.

2 Exflood

Exflood er et forskerprosjekt i regi av Bioforsk Jord og miljø der målet er å definere og analysere tiltak mot negative konsekvenser av ekstremvær på infrastruktur i små nedslagsfelt i Norge, og videre innlemme dette i et arealplanleggingsverktøy.

Spesifikke delmål er definert som følgende:

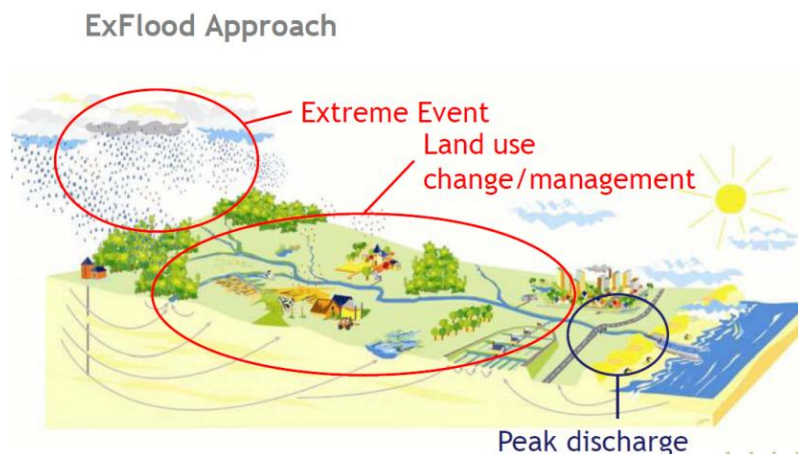
- klassifisere og vurdere eksisterende tilnæringer som blir brukt i dag ved ekstreme værhendelser, som er identifisert av de ulike samarbeidspartnerne.
- Identifisere og utvikle modelleringsteknikker for å kvantifisere utløp fra multi-funksjonelle nedbørsfelt som for eksempel fra det urbane og landbruk.
- Utvikle og analysere arealplanleggingsstrategier basert på innspill fra samarbeidspartnerne.
- Produsere et planleggingsverktøy som skal brukes for arealplanlegging i nedslagsfeltet til å håndtere ekstreme værhendelser.

I prosjektet velges det ut studieområder på grunnlag av datatilgjengelighet, eksisterende forskning, rapporterte problemer med flom og skader på infrastruktur, eller en kombinasjon av disse elementene. Områdene som derfor har blitt valgt ut er Fredrikstad, Sandnes og Trondheim. I tillegg til at Skuterud-området i Ås er tatt med for å studere prosesser i detalj, samt at det foregår forskning på avrenning i dette feltet.

Exflood-prosjektet er delt opp i 4 arbeidspakker; analyse fra samarbeidspartnerne, modellering, tiltak og syntese. Hovedfokuset til denne masteroppgaven vil ligge under arbeidspakke 2, modellering, og vil bli brukt videre senere i prosjektet. (Exflood 2010)

Prosjektet er et samarbeid mellom UMB, NVE, Statens Vegvesen, KTH (Royal Institute of Technology), UMN (University of Minnesota), Sandnes kommune, Trondheim kommune, FNH (Finansnæringens hovedorganisasjon) og Fredrikstad kommune. (Exflood 2010)

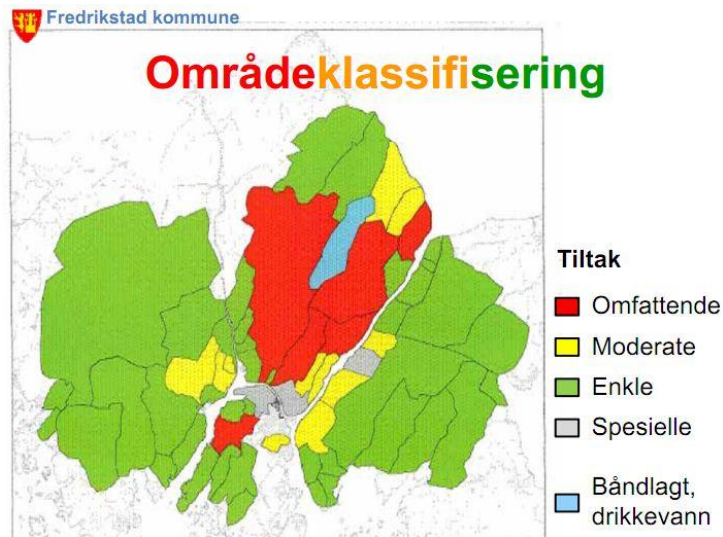
NORKLIMA er et stort forskningsprogram med programperiode 2004-2013 som skal gi nødvendig kunnskap om klimasystemet, klimaets utvikling i fortid, nåtid og fremtid, samt direkte og indirekte effekter av klimaendringer på natur og samfunn som grunnlag for samfunnsmessige tilpasningstiltak. Exflood-prosjektet vil da være veldig relevant også sett i forhold til dette forskningsprogrammet. (Forskningsrådet 2010)



Figur 1: Viser en skisse over hva slags områder som blir sett på i Exflood-prosjektet (Stolte 2010)

3 Beskrivelse av området

Veumdalen ligger midt i Fredrikstad kommune, i et område som de siste ti-årene har hatt store problemer med kjelleroversvømmelser. Disse problemene oppstår under kraftig nedbør, der oppstuvning i ledningsnettets gir innlekking av avløpsvann til kjeller. Feltet Veumdalen er blant feltene i Fredrikstad med størst problemer og har av kommunen blitt klassifisert som felt med omfattende behov for tiltak. Boligene i området består hovedsakelig av bymessig villa- og rekkehusbebyggelse i sør med mer spredt bebyggelse og gårdsdrift i nord. Det er ca. 8700 innbyggere i området.



Figur 2: Figuren viser nedbørsfeltene i Fredrikstad kommune. Fargene viser til grad av behov for tiltak for å forhindre skader forårsaket av nedbørshendelser. Veumdalen er det røde feltet med størst areal. (Skallebakke 2008)

Overvannet renner raskt av overflaten grunnet tette masser, som leire, og stor andel tette flater. Taknedløpene går nå etter 2009 for det meste til terreng, men har før dette blitt ført direkte til fellessystem. I tillegg er det få sluk i enkelte av delområdene. Grunnmassene i kommunen består generelt av hav- og fjordavsetninger, marin avsetning i form av leire og bart fjell, noe som fører til at infiltrasjonsevnen ikke er stor. Grunnen vil fort bli mettet på grunn av lite porevolum og overflategroper. Selv ved ikke alt for intense nedbørstilfeller vil det bli lite tilbakeholdelse av regnvannet. Avrenningskoeffisienten vil derfor øke betydelig over tid. Veier og tak, samt andre tette flater fører ytterligere til en økning av avrenningskoeffisienten.

Selve Veumbekken, der mye av overvannet i området renner til, er 7 km lang og har et nedslagsområde på 10 km². Bekken renner åpent helt til den kommer til jernbanen der den blir lukket i en kulvert og renner videre ut av byen og ut i Glomma. Selve bekken er svært forurenset.

Det eksisterende ledningsnettets består av 70 km med kommunale hovedledninger. Selve avløpsnettets er 43 km langt med 39 % fellessystem. Det er i den senere tid satt inn tiltak som gjør at andelen separatsystem øker. Separatsystemet er ikke-virksomt da det nedstrøms er fellessystem. Det er to pumpestasjoner og seks registrerte overløp, men kun 4 av dem er innlemmet i vårt område. Avløpet samles i en stor hovedledning langs Veumbekken med videreføring til pumpestasjon nedstrøms. (Norconsult 2007)

4 Dom i lagmannsretten

13/06/2007 dømte Borgarting lagmannsrett i favør av Fredrikstad kommune sitt forsikringsselskap KLP, etter at IF skadeforsikring gikk til sak mot selskapet. Saken dreide seg om en kommune kunne stilles til ansvar for vannskader som var forårsaket av tilbakeslag i det kommunale avløpsnett, og som medførte vannskader i boligkjellere. I abonnementsvilkårene fraskrev kommunen seg det objektive ansvaret de hadde etter forurensningsloven § 24. IF skadeforsikring mente at dette var en ugyldig ansvarsfraskrivelse fra kommunen, noe lagmannsretten ikke ga de medhold i.

Hendelsen fant sted 7. september 2002, da et sterk lokalt regnvær gikk over Fredrikstad. Avløpsnett, hadde ikke mulighet til å ta unna vannmengdene, noe som førte til skader på ca. 250 eiendommer. Regresskrav ble fremmet overfor Fredrikstad kommune fra ulike forsikringsselskaper på til sammen 14,5 millioner kroner.

4. juli 2005 ble Fredrikstad kommune dømt til å betale erstatning i Fredrikstad tingrett. Kommunen valgte å anke beslutningen til Borgarting lagmannsrett. Hovedspørsmålet gjaldt om kapasiteten og vedlikeholdet av ledningsstrekking var tilstrekkelig godt nok. I retten argumenterte Fredrikstad kommune blant annet for at regnhendelsen var såpass ekstrem at hendelsen måtte anses som en force majeure hendelse, med andre ord, en hendelse som står utenfor kommunens kontroll. Vitner ble innkalt og Gunnar Mosvoll, Rosim AS og Norconsult kom alle frem til at flomsituasjonen den 7. september med overveiende sannsynlighet hadde et gjentaksintervall som oversteg 50 år. Kommunen klarte å overbevise dommerne om at hendelsen som oppstod hadde et gjentaksintervall på over 50 år, noe som førte til frifinnelse, selv om en av dommerne mente at hendelsen ikke kunne ses på som en force majeure da han var av den oppfatning at også hendelser som har et statistisk gjentaksintervall som overstiger 50 år kan ses på som forutsigbare.

Noe av grunnen til flommen var at forregnet som varte i 3 timer gjorde at grunnen ble mett, og ennå ikke var avsluttet da hovedregnet startet. Dette i kombinasjon med prosenten av tette flater samt at grunnen hovedsakelig består av tett leire gjorde at hendelsen ble såpass ekstrem.

Grunnen til at 50 år ble satt som grense var at i Norsk Standard NS-EN 752-2 varierer grensesettingen fra oversvømmelse 1 gang hvert tiende år, til 1 gang hvert femtiende år. Gjeldende standard sa at avløpsledningene i slike områder minimum bør dimensjoneres for 10 års regn, og når da kommunen beviser med stor sannsynlighet at regnet tilsvarte minst et 50 års regn ble det lagt til grunn.

I tillegg til dette var det flere av husene som hadde innredet kjellere uten å søke hos kommunen. Fredrikstad kommune fikk da ansvarsfraskrivelse da mange av husene som ble skadet ikke tilfredsstiller kravet om tilstrekkelig overhøyde, 90 cm over topp hovedledning.

(Lagmannsrett 2007)

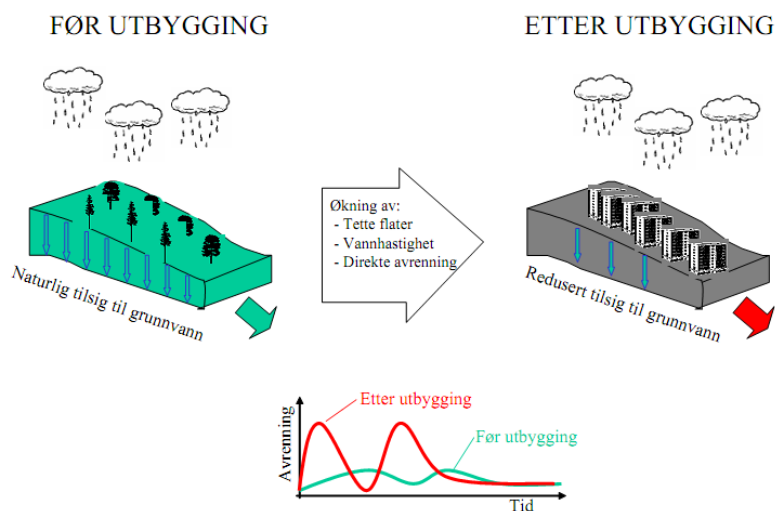
5 Teori

5.1 Fredrikstad kommune

VA-tjenestene i Fredrikstad er som ellers i Norge finansiert igjennom vann- og avløpsgebyrer pålagt husstandene. I Norge er det ikke lov å kreve høyere gebyrer enn det som brukes på VA-systemene i kommunene. Da dammer og åpne vannveier ikke er en del av VA-systemene er disse heller ikke omfattet av VA-gebyrene. Dette kan bli til et problem da dammer og åpne vannveier for overvannshåndtering stadig blir en større del av den kommunale VA-feltet. Det samme gjelder veier og parkeringsarealer, disse bidrar til stor avrenning til fellessystemene og er i det urbane området en stor bidragsyter til rask avrenning av overvann etter nedbør, uten at disse faller innenfor gebyrgrunnlaget for VA-sektoren.

I samarbeid med COWI har Fredrikstad kommune utviklet en overvannsrammeplan som er vedtatt av bystyret. Denne fungerer både som generell info om emnet og en veileder for utviklere og beboere som må ta hensyn til overvannsdiskonering ved utbygging. Kommunen har en målsetning med å skape bevissthet om overvannsproblematikken og håndteringen av denne i kommunen blant utbyggere og innbyggere generelt.

Tradisjonell tenkning har tidligere vært at overvann i urbane og tettbebygde områder skal raskest mulig ledes vekk fra overflaten og til renseanlegg eller resipient. Dette ble gjort i lukkede ledningssystemer. I senere tid har dette skapt problemer. Økt urbanisering har ført med seg en økning i avløp fra husstander og samtidig en fortetning av grunnmassene. Byene øker i areal på grunn av befolkningsvekst. Der det før naturlig var skog og mark rundt byene blir det nå boligfelt og urbane områder. Som i de fleste andre kystnære byene her i landet, ble byen først bygd ut i de mest attraktive delene rundt næringskilder som elv og sjø for fiske. Disse arealene ligger som oftest ned mot vannet og dermed i de lavere kotehøydene i VA-ledningsnett. Som følge av befolkningsvekst og tilflytting øker antallet innbyggere i byene, og nye arealer blir bygget ut. Arealene som da er ledig er de som ligger i utkanten av de urbane områdene, i mange tilfeller høyere oppe og lenger vekk fra hav eller elv. Dette fører til en økt belastning på de eldre delene av VA-ledningsnett, da avløpet fra de ny-utbygde områdene i de fleste tilfeller renner igjennom de eldre delene av byen på vei til renseanlegget. I tillegg til den økte befolkningen fører befolkningsveksten til økt urbanisering og fortetning. Skog og mark som til en viss grad bidrar til infiltrasjon og fordrøyning av nedbør må vike for ny bebyggelse. Store arealer blir dekket av takflater, vei og parkeringsplasser. Disse flatene gir en raskere avrenning til avløpssystemet ved nedbør enn ved den naturlige situasjonen med skog og mark. Den maksimale vannføringen blir høyere, da overvannet kommer raskere og mer samlet (Figur 3).



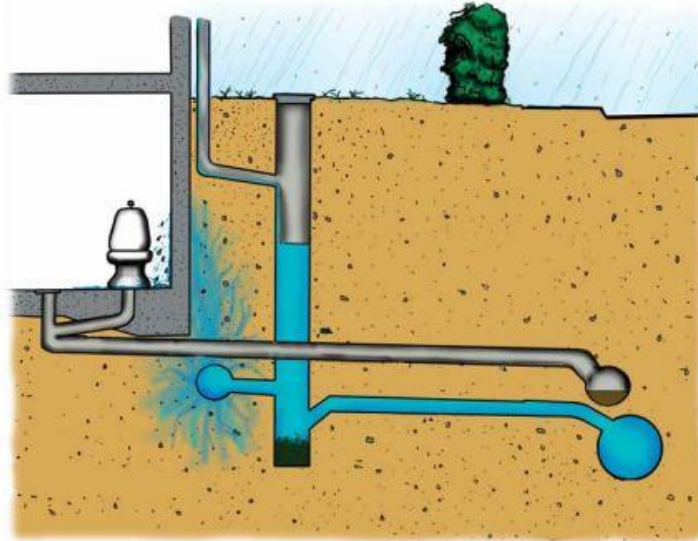
Figur 3: Viser påvirkning av urbanisering. Når de naturlige områder byttes ut med urbane områder med større andel tette flater fører dette til hurtigere avrenning og mindre infiltrasjon og fordrøyning. Dette fører til høyere maks vannføring og høyere vannvolum til avløpsnett. (COWI 2007)

I byer som Fredrikstad kan dette skape problemer da store deler av avløpssystemet er fellessystem, der kloakk, drens- og overvann samles i samme ledning. Ved ekstremnedbør kan den raske avrenningen føre til en overskriding av kapasiteten til avløpsnett. Ved overskridning av ledningsnettets kapasitet dannes det oppstuvinger i ledningsnett. Oppstuvningene kan følge stikkledningene fra bygninger og føre til skader som følge av at avløp stuver opp av sluk, toalett eller drenering. Denne formen for skade er mest aktuell ved fellessystem og er ofte kalt kjelleroversvømmelse.



Figur 4: Skader som følge av oppstuvning i fellesavløpssystem (Fredrikstad 2007) Illustrasjon av Mathias de Maré.

Nyere boligområder i Fredrikstad og Veumdalen har tatt i bruk separatsystem i stedet for fellessystem. Dette systemet separerer kloakk og overvann i separate avløpsledninger. Fordelen med en slik utforming på avløpssystemet er at overvannet er relativt rent og kan ledes direkte til resipient. Dette reduserer belastningen på avløpsnett og renseanlegg. Bygninger tilkoblet separatsystem har derfor mindre fare for å få såkalte kjelleroversvømmelser. Oppstuvning i overvannsledningen kan likevel føre til skader på bebyggelse som er koblet til denne. Oppstuvning kan følge dreneringen og stige opp rundt bygningers grunnmur under kraftige regn. Dette kan føre til dårlig drenering og fukt og vannskader som følge av innlekking i kjeller.



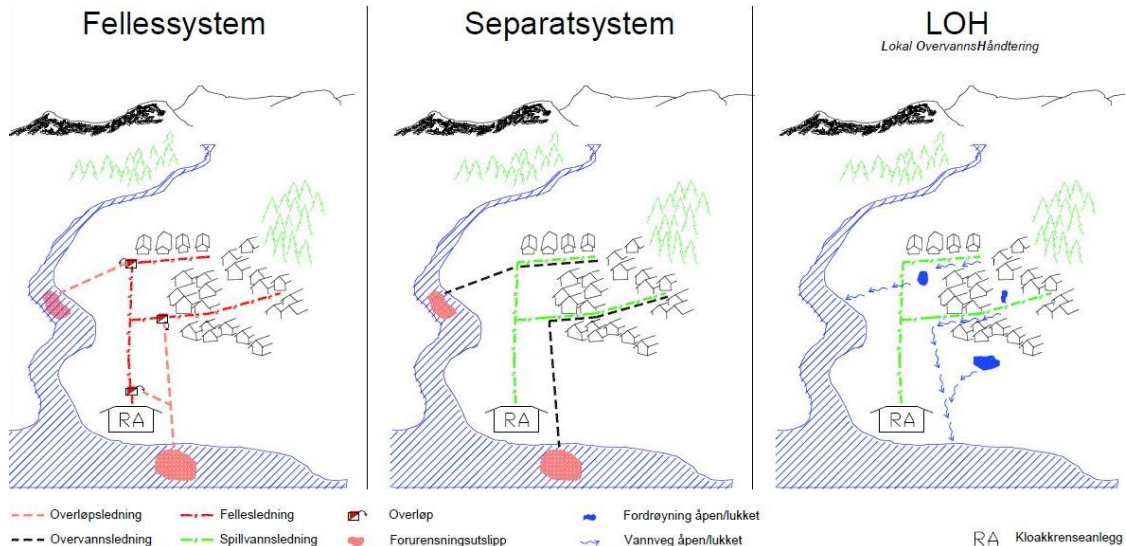
Figur 5: Skader som følge av oppstuvning i overvannsledningen i separat avløpsystem (fredrikstad rapport) Illustrasjon av Mathias de Maré

Et annet problem er stor avrenning på markoverflaten, som følger av at avløpssystemet har for liten kapasitet. Overflatevannet vil følge terrenget og kan dermed trenge inn i bygninger i utette skjøter, garasjenedkjørslar og lignende. Overflateavrenning kan også føre til erosjonsskader på bruksarealer og skader på infrastruktur.



Figur 6: Skader som følge av oppstuvning til over bakkenivå etter overskredet kapasitet i avløpsystem. Overflateavrenningen følger terrenget og kan føre til skade på bygninger, bruksarealer og infrastruktur. (Fredrikstad 2007) Illustrasjon av Mathias de Maré

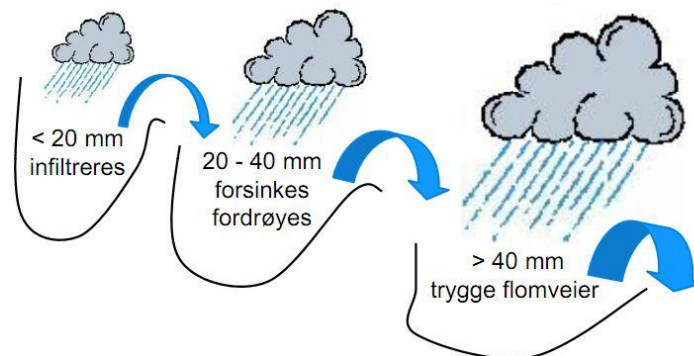
I 1960 begynte kommunen å sanere avløpssystemet. Senere i 1970 ble separeringen av byens fellessystem påbegynt. Spillvannet og drens- og overvannet ble lagt i egne ledninger til separatsystem. Sanering og separering tar tid og koster mye penger. Mange av separatsystemene i Veumdalen kan sies å være ikke-virkende da de lengere ned i ledningssystemet samles i fellessystem. For ny-utbyggelse er det i dag krav fra kommunen om at det bygges ut med separatsystem.



Figur 7: Illustrasjon over avløps og overvannsflyten i de forskjellige transportsystemene. Ved bruk av fellessystem samles både avløp og overvann i samme avløpsledning og ledes direkte til RA. Separatsystem separerer kloakken og overvannet i separate ledninger. Der overvannet kan ledes til resipient, slik at RA blir mindre belastet. Ved bruk av LOD/LOH prioriteres å infiltrere og fordrøye overvannet, slik at den maksimale vannmengden reduseres. (COWI 2007)

De siste 10-årene har kommunen hatt større fokus på overvann. Det legges vekt på at overvannet må sees på som en ressurs og ikke et problem. Ved å få frem overvannet i det urbane landskapsbildet øker trivselen for beboere, eiendommer blir mer verdt og det bidrar til et større biologisk mangfold.

Fredrikstad kommune legger opp til at Norsk Vanns anbefalte treleddsstrategi (Figur 8) skal tilstrebes ved dimensjonering av overvannssystemer. Denne strategien beskriver hvordan forskjellige nedbørhendelser bør takles med tiltak på overflaten. Det første leddet i denne strategien anses som vanskelig å følge i Fredrikstad kommune. Dette på grunn av områdets store andel impermeable masser, samt mark med tele i vintersesongen gjør infiltrasjon av overvann vanskelig.



Figur 8: Illustrasjon av Norsk Vanns treleddsstrategi. Der all nedbør mindre en 20 mm skal forsøkes infiltreres, nedbør fra 20 til 40 mm fordrøyes og ekstreme regn over 40 mm må sikres med trygge flomveier. (Norsk-Vann 2008)

Kommunens strategi for overvannshåndtering er at nedbøren skal tas hånd om lokalt, slik at minst mulig vann blir tilført avløpsnett og at man opprettholder den lokale naturtilstanden på best mulig måte. Ved å gjøre overvannet synlig og tilgjengelig ønsker kommunen å gjøre overvannet til et positivt innslag for innbyggerne. Åpning av lukkede vannveier er også aktuelt der dette kan gjennomføres på en god teknisk og økonomisk forsvarlig måte. Overvann fra urbane områder og sterkt trafikkerte veier og andre områder med betydelig forurensning skal renses ved lokale rensinstallasjoner.

Treleddsstrategien blir fulgt opp av Norsk Vanns anbefalte minimums dimensjonerende gjentakintervall for separat- og fellesavløpssystem. Veiledningen gir et uttrykk for hvor hyppig ledningsnett i et felt skal fylles til topp ledning, samt nå kritisk nivå/oversvømmelsesnivå, med hensyn på feltets grad av skadepotensiale. Veiledningen gir et uttrykk for hvilke regn med gjentakintervall ledningsnett i feltet skal tåle før kapasiteten blir bukt opp, samt før det blir oppstuvning til kritisk nivå/oversvømmelsesnivå. Med unntak av øvre deler, kan Veumdalen klassifiseres som boligområde. Ut fra Tabell 1 og klassifiseringen av Veumdalen fås feltets veiledende krav til ledningsnett. Henholdsvis ingen restkapasitet i ledningsnett ved regn med 10 års gjentakintervall og oppstuvning til kritisk nivå/oversvømmelsesnivå ved regn med 20 års gjentakintervall.

Tabell 1: Norsk Vanns veiledende minimum dimensjonerende gjentakintervall for separat- og fellesavløpssystem. Ved bruk av anbefalingen skal et ledningsnett tilhørende boligfelt bare bli fylt til topp ledning en gang hvert tiende år. Samme ledningsnett skal bare ha oppstuvning til kritisk nivå /oversvømmelsesnivå en gang hvert tjuende år. Verdiene er gitt som minimumskrav, altså at hendelsene skal maksimalt skje en gang på denne tiden. (Norsk-Vann 2008)

Dimensjonerende regnskyllhyppighet* (1 i løpet av "n" år)	Plassering	Dimensjonerende oversvømmeshyppighet** (1 i løpet av "n" år)
1 i løpet av 5	Områder med lavt skadepotensiale (utkantområder, landkommuner etc)	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysenter/industriområder/forretningsstrøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 30	Underganger/områder med meget høyt skadepotensiale	1 i løpet av 50

I 2008 påla kommunen alle hus i området oppstrøms Christianslund allé til å føre takvann ut til terreng. Tiltaket ble satt i gang som følge av at ledningsnett i de nedre områdene rundt Christianslund allé hadde kapasitetsproblemer. Beboere i dette området opplevde opptil flere ganger å få avløpsvann inn i kjeller. Ved å pålegge bebyggelsen oppstrøms til å koble fra takrenner som før gikk direkte til avløpsnett, håpet kommunen på å fordrøye store deler av nedbøren på overflaten før overvannet ble tilført avløpsnett. På denne måten reduseres den maksimale vannføringen nedstrøms ved at tilrenningstiden øker og andel bidragende tette flater ble redusert. Husene som fikk pålegget kunne ved henvendelse til kommunen få utbetalt en godtgjørelse på 100kr for tiltaket. Ved senere oppfølging skal rundt 60 % av de rundt 600 husene som ble pålagt å koble fra takvannet ha gjennomført tiltaket.

Utfordringen i dag er at overvannshåndteringen ikke er en del av planarbeidet frem til 2002 i Fredrikstad kommune. Dermed har ikke overvannshåndteringen vært en del av retningslinjene i reguleringsplanene som utbygger må følge. Dette har resultert i at det ikke har blitt avsatt nødvendige arealer til håndtering av overvannet, som derfor ofte har blitt ført vekk ved hjelp av avløpssystemet. Ved noen tilfeller har den tekniske driften ved Fredrikstad kommune satt betingelser for utbyggingen av nye boliger. Betingelsene har da vært at utbyggingen ikke skal føre til økt avrenning fra tomten. Grunnlaget for betingelsene har da vært i sammenheng med godkjenning av plan for vannforsyning og avløp, og ikke i reguleringsplanene for området. Ettersom reguleringsplanene brukes for å avklare bruk av areal i forskjellige områder, burde overvannsplanleggingen inngå i denne. Definisjon av reguleringsplan gitt av Plan og bygningssetaten Oslo kommune; "Målsettingen med reguleringsplanene ved å avklare arealbruk er å sikre brukerinteresser, verneinteresser, utbyggingsinteresser og estetiske hensyn. Gjennom planlegging skal det legges til rette for at arealbruk og bebyggelse blir til størst mulig gagn for den enkelte og for samfunnet." (Oslo-kommune 2001). Her kan kommunen sette krav til at deler av utbyggingsarealet må avsettes til overvannshåndtering. På denne måten kan kommunen sikre bedre overvannshåndtering og flomveier. I den veiledende delen av overvannsrammeplanen har kommunen oppgitt en generell inndeling av tillatt mengde overvann til det kommunale ledningsnett. Dette må utbygger avklare med den tekniske driften i kommunen. I dag har alle nye utbygginger krav om at avrenningsintensiteten ikke skal øke etter utbygging.

I overvannsrammeplanen er det listet opp seks generelle punkter som skal legges til grunn for tillatt påslipp til overvannssystemet:

“

- Naturområder som skal bygges ut: Maks. avrenning: $10 - 15 \text{ l/s} * \text{ha}$ ved 25-års regn (tilsvarende naturlig avrenning). *Med naturområder menes områder hvor overvannet følger naturgitte veier.*
- Utbygging av områder (boligområder / byområder etc.) skal ikke føre til økt avrenning. *Fredrikstad kommune kan også i enkelte områder kreve en reduksjon i forhold til dagens avrenning.*
- Utbygging skal generelt ikke resultere i økt spissavrenning fra området. Dette betyr at det i forbindelse med utbyggingen skal anlegges avrenningsdempende tiltak for å forsinke avrenningen slik at spissavrenningen ikke blir større enn var den var før utbygging. Generelt gjelder at avrenningen etter utbygging ikke skal overskride $10 \text{ l/s} * \text{ha}$.
- Mindre nedbør, inntil 20 mm pr. døgn, skal søkes fanget opp og infiltrert innenfor bebyggelsesområdet.
- Nedbør som tilsvarende ett-års flom skal infiltreres og/eller fordrøyes i eget område.
- Det skal anlegges/avsettes områder for flomveier. Flomveier skal dimensjoneres for 100-årsflom (for små felt kan 100-års regn legges til grunn, men dette skal avklares med Fredrikstad kommune, Teknisk drift VVA). “

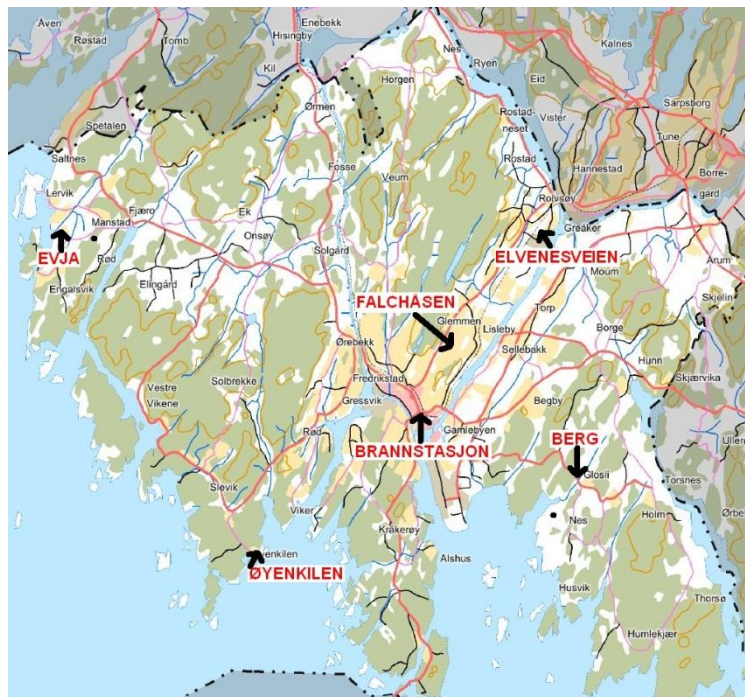
(COWI 2007)

For at det skal bli tatt mer hensyn til overvannshåndtering, er det viktig å få involvert PVVA-etaten (Park, Vei og VA) i kommunen på et tidligere tidspunkt i planprosessen. Derfor legger kommunen opp til at saksbehandlingen i forbindelse med byggesaker skal fornyes. Det skal settes krav til overvannshåndtering i startfasen av planarbeidet. Vei, vann og avløps (VVA), landskap og bebyggelse må planlegges samlet. Samtidig skal det kunne kreves dokumentasjon fra utbygger på hvordan endringene på tomten vil påvirke overvannssituasjonen og utbyggers planlagte tiltak.

Ettersom kommunen er eier av VA – ledningene og derfor i utgangspunktet har et objektivt ansvar for skader påført andres eiendom som skyldes feil og mangler på ledningsnett, er det i kommunens ønske å utbedre det eksisterende ledningsnett og på best mulig teknisk måte å prosjektere nye ledningstrekk. Det objektive ansvaret gjør at kommunen kan stilles til ansvar for skader som følge av overbelastning av avløpssystemet, enda kommunen har fulgt de gitte retningslinjene for utførelse av systemet (COWI 2007). Dette er tidligere blitt nevnt i avsnitt 4 der forsikringselskapene gikk til sak mot Fredrikstad kommune. Forsikringselskapene generelt er veldig opptatt av hvordan klimaet vil utvikle seg i fremtiden med tanke på utbetalinger til huseiere. Antageligvis vil man forvente en økning i forsikringspremie for de som bor i utsatte områder så lenge ledningsnett er som det er.

Bekkene og resipientene i området vil også bli mer belastet når andelene tette flater er såpass høy, noe som fører til rask avrenning og mer transport av forurensning til disse fra overflatearealene.

Kommunen har flere nedbørsmålere i Fredrikstad som er plassert både innenlands og langs kysten. IVF kurvene er basert på målestasjonen som ligger på Falchåsen. Dette er den målestasjonen som ligger nærmest Veumdalen. De ulike stasjonene kan til tider vise store forskjeller for forskjellige regnhendelser. Av Figur 9 vises plasseringen til de ulike målestasjonene.



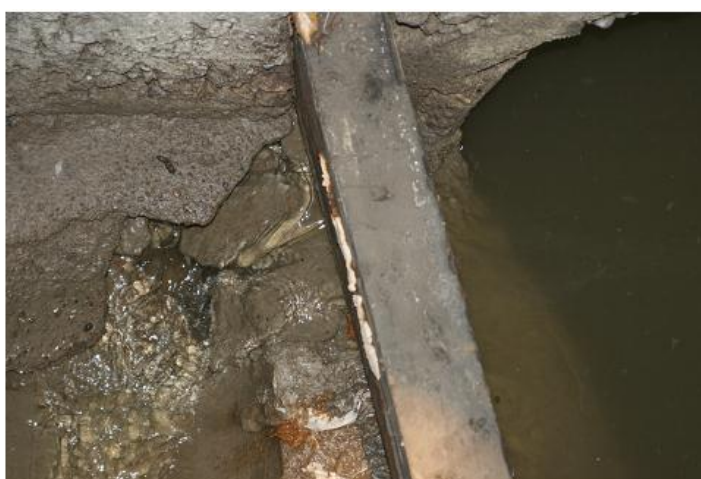
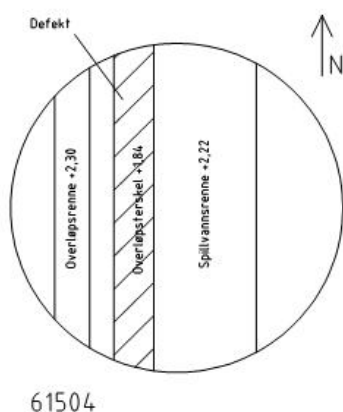
Figur 9: Oversikt over de ulike nedbørsmålere i Fredrikstad kommune. Veumdalen ligger like nord for Falchåsen målestasjon. I denne oppgaven er nedbørsdata fra Falchåsen målestasjon brukt.

Når det gjelder overløpene i Veumdalen er disse samlet i de nedre delene av feltet. Totalt er det 4 overløp, alle med enten direkte eller indirekte utløp til Veumbekken. Det finnes også et nytt overløp i Aas-Wangsvei, som er en parallell vei til Veumveien. Denne er ikke blitt lagt inn i modellen, men ligger i virkeligheten langs hovedledningen som går parallelt med Veumbekken. Grunnen til at kommunen ville ha et nytt overløp i området er at det har vært kjelleroversvømmelser her tidligere. Det er ingen form for registrering av overløpsdriften ved overløpene. I 2004 ble det av Rosim foretatt en måleperiode som viste svært høy overløpsdrift ved overløp 61504 og 4500. Overløpene 4489 og 1144 viste derimot henholdsvis lite og ingen overløpsdrift.



Figur 10: Oversikt over plasseringen til overløpene i Veumdalen.

Overløp 61504 ligger i Knipleveien ved Veumbekken. Overløpet er i dårlig stand og det er blitt dannet hull under overløpsterskelen som fører til en kontinuerlig tilførsel av avløpsvann til Veumbekken. Lenger nedstrøms i Veumbekken ligger det ytterlige to overløp ved Stadionområdet. 1144 er et hvirveloverløp og 4500 ligger i et bygg ved Jernbaneundergangen. Like ved ligger det ytterligere et overløp ved Kiwibutikken, dette er et sentraloverløp, som fører overløpet til en overvannsledning med utløp til Veumbekken lenger ned i nedbørsfeltet.



Figur 11: Illustrasjon og bilde av overløp 61504 ved Knipleveien. (Norconsult 2007)

5.2 Klima og klimaendringer

5.2.1 Verden

Klimaet i verden er i endring, noe som påvirker både mennesker og miljøet.

Gjennomsnittstemperaturen globalt har steget siden de første målingene ble tatt, noe som på sikt kan føre til flere flommer, tørkeperioder og hetebølger og med høyere intensitet. Som ved alle felt der vitenskapelig studie pågår er det usikkerhet forbundet med vitenskapen om klimaendringer, men allikevel er det flere aspekter som det er relativt bred enighet om. Environmental Protection Agency (EPA 2010) har delt opp tilstanden til klimaet i 3 hovedgrupper:

- Hva kan sies med mer enn 99 % sikkerhet
- Hva kan sies med mer enn 90 % sikkerhet
- Hva må sies å være usikkert

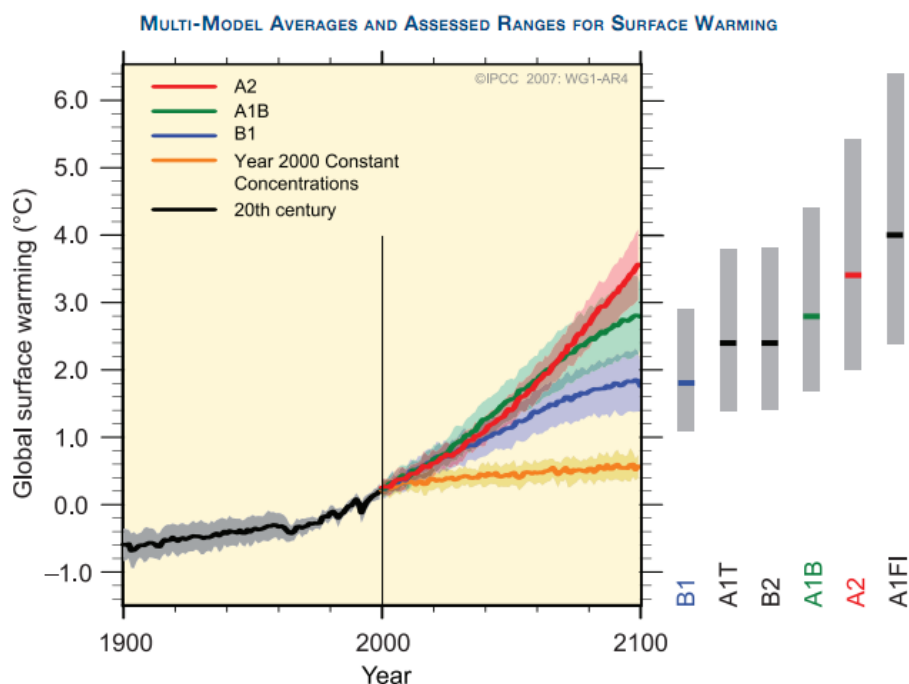
Under det første punktet kan man si at menneskelig aktivitet endrer sammensetningen av de ulike stoffene i atmosfæren. Økningen av klimagasser, som for eksempel CO₂ i atmosfæren, er veldokumentert. Mye av denne økningen kan sees på som et resultat av menneskelig aktivitet og bruken av fossilt brennstoff. I tillegg steg temperaturen over hele jordkloden med mellom 1,0-1,7 °C i tidsrommet 1906-2005. Klimagassene som slippes ut i atmosfæren blir værende der fra tiår til århundrer, noe som vil føre til at de atmosfæriske konsentrasjonene av klimagasser vil fortsette å stige de neste årene. Historisk sett vil en økende konsentrasjon av drivhusgasser føre til en oppvarming av jordkloden.(EPA 2010)

I det neste punktet sier FNs klimapanel (FNs Klimapanel 2007) at "mesteparten av den observerte økningen i global gjennomsnittstemperatur siden midten av det 20. århundret kan med meget stor sannsynlighet sies å stamme fra den observerte mengden av menneskelig klimagassutslipp". Som en oppsummering viser et økende antall vitenskapelige analyser at man kan indikere, dog ikke bevise, at økende nivåer av klimagasser i atmosfæren bidrar til klimaendringene. Dersom de atmosfæriske konsentrasjonene øker, noe som vil være naturlig å anta, vil global oppvarming og havnivå øke i tillegg til at nedbørsmønstre vil endres.

Det som er usikkert er hvor mye temperaturene vil stige, hvor fort det vil skje og hvordan et varmere klima vil påvirke resten av klimasystemet som nedbørsmønstre og stormer. Videre forskning på dette området er derfor viktig for bedre å forstå hvordan det fremtidige klimaet vil utvikle seg.

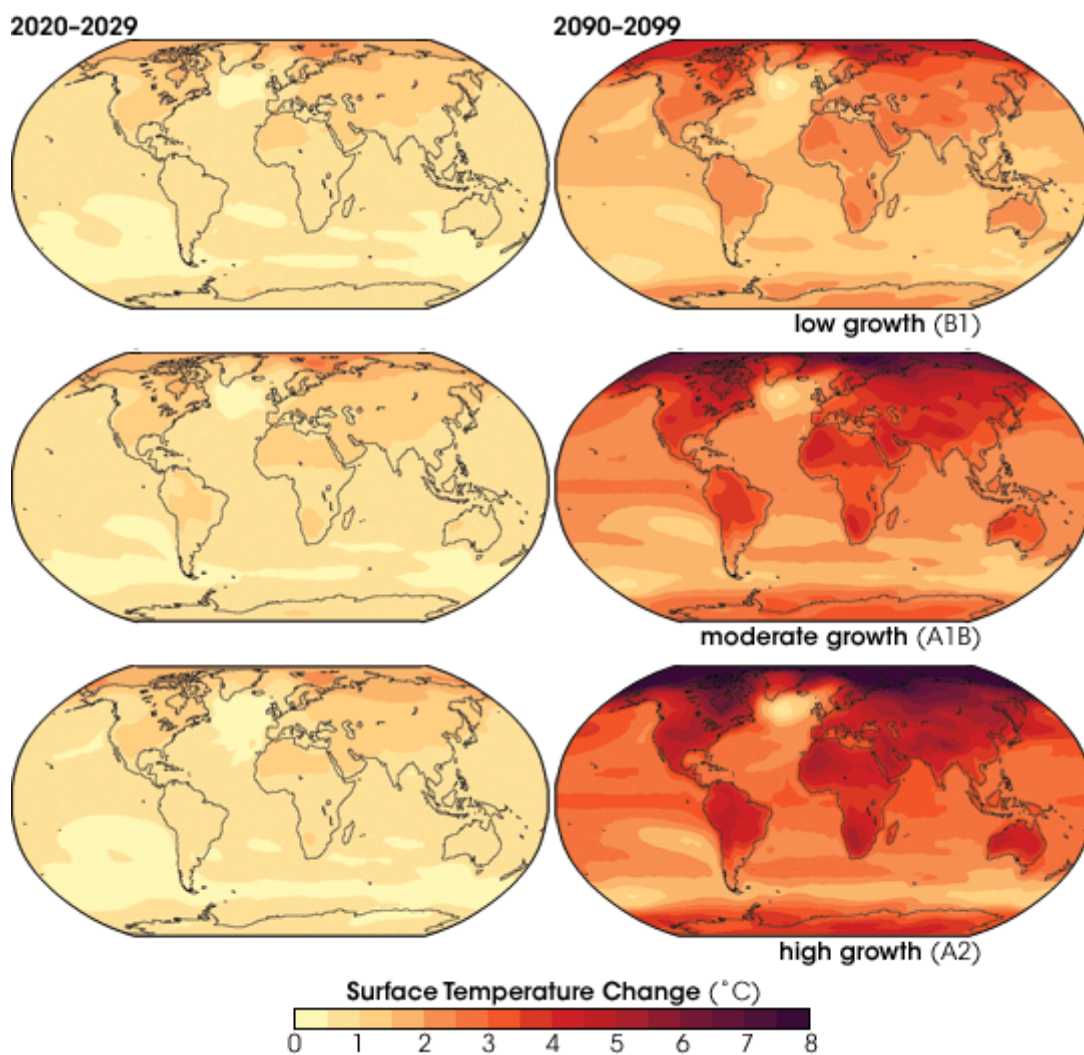
IPCC opererer med flere ulike scenarier for havstigning, basert på ulike utslippsscenarioer av klimagasser og partikler. Disse har fått forkortelsen A1, A1B, A2, B1 og B2. De ulike scenariene blir definert på følgende måte (Oddvar Lindholm et al. 2007)

- A1: Rask økonomisk vekst. Befolkningsvekst til 9 milliarder i 2050, før det gradvis reduseres igjen. Rask spredning av teknologiske nyvinninger. En verden der inntekter og livsstil samles, med andre ord at det er omfattende sosiale og kulturelle interaksjoner over hele verden.
- A1B: Rask økonomisk vekst. Rik verden, men ujevnt fordelt. 7 milliarder mennesker i 2100. Teknologiske endringer fører til balanse mellom fossile og ikke-fossil energiteknologi. Atmosfærens CO₂-innhold er på 703ppm i 2100.
- A2: Delt verden med høy befolkningsvekst og mindre bekymring for rask økonomisk utvikling. 15 milliarder mennesker i 2100. Atmosfærens CO₂-innhold er på 836 ppm i 2010.
- B1: Globale løsninger på økonomisk og sosial bærekraftighet. Raske endringer i økonomiske strukturer og introduksjon av rene teknologier. 7 milliarder mennesker i 2100. Atmosfærens CO₂-innhold er på 540 ppm (brukes for å angi hvor mye CO₂ det er i atmosfæren og står for parts per million) i 2100, mot 380 ppm i dag.
- B2: Stadig økende befolkning, men ikke like sterk som i A2. Hovedvekten ligger på lokale løsninger på økonomisk, sosial og miljømessig stabilitet. Noe økning i den økonomiske utviklingen. Ikke like rask teknologisk endring som i A1 og B1.



Figur 12: Figuren viser utvikling i overflatetemperatur på jorden de siste årene, samt utviklingen frem til 2100 ved ulike klimascenarier (FNs klimapanel rapport 2007)

Over (Figur 12) ses de ulike klimascenarioene og hvordan de vil utvikle seg i tiden fremover med tanke på den globale overflatetemperaturen. Hittil har klimaendringene registrert på jorden fulgt det verste scenarioet, A2. Fortsetter denne trenden vil det kunne føre til store endringer i årene fremover.

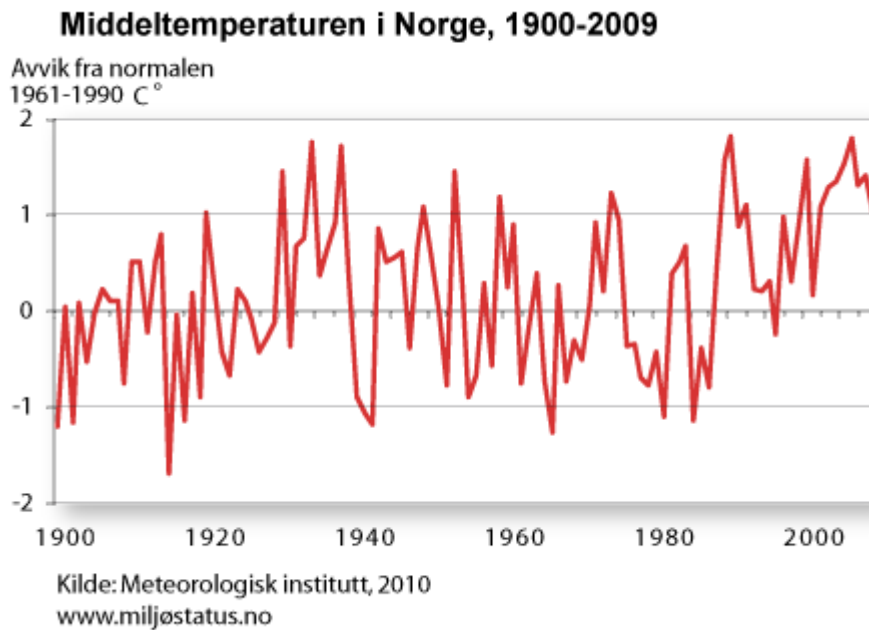


Figur 13: Viser utviklingen av temperaturen på jorden sett ut i fra ulike klimascenarier (EPA, *Temperaturutvikling 2010*)

Over (Figur 13) vises en temperaturøkning over hele verden, også over havene. Spesielt områder i nord vil oppleve en høyere gjennomsnittstemperatur. Som tidligere nevnt vil dette gi et våtere og mer ekstremt vær i Norge, mens det vil bli tørrere i sør. Skalaen viser et intervall fra 0 helt opp til 8⁰C i økning.

5.2.2 Norge

For Norges del tyder det meste på at vårt klima blir våtere og mildere. Intensiteten på regnet vil øke, samtidig som spesielt vinteren vil bli varmere Norge er et langstrakt land, så virkningen av klimaeffektene vil bli forskjellige (*Klima i Norge* 2010). Nedbørmengden vil øke i enkelte deler av landet noe som vil føre til større fare for flom og ras, mens enkelte klimamodeller spår tørrere vær på Østlandet noe som kan bli utfordrende for jordbruket (*Fremtidig klima i Norge* 2010). Det har vært en temperaturøkning de siste tiårene i Norge, og temperaturøkningen er signifikant i alle landsdeler. Fra mellom 0,3-0,35 per tiår de siste 4 tiårene på Vestlandet, til 0,5 °C på Østlandet og i Trøndelag.



Figur 14: Viser avvik fra middeltemperaturen i Norge fra 1900 til og med 2009 (*Middeltemperatur i Norge* 2010)

Figur 14 viser hvor mye gjennomsnittet for et gitt år avviker fra normalen. Spesielt de siste 10-15 årene har temperaturen avviket med rundt 1 plussgrad.

Som følge av disse endringene må alt av infrastruktur og bygg forbedres for å stå bedre rustet til å stå imot endringene. En rapport fremlagt i 2009 fra et samarbeid mellom CICERO, Econ Pöyry og Vestlandsforskning på oppdrag fra Klimatilpassingsutvalget trekker noen slutninger når det gjelder følgende av klimaendringene for Norge:

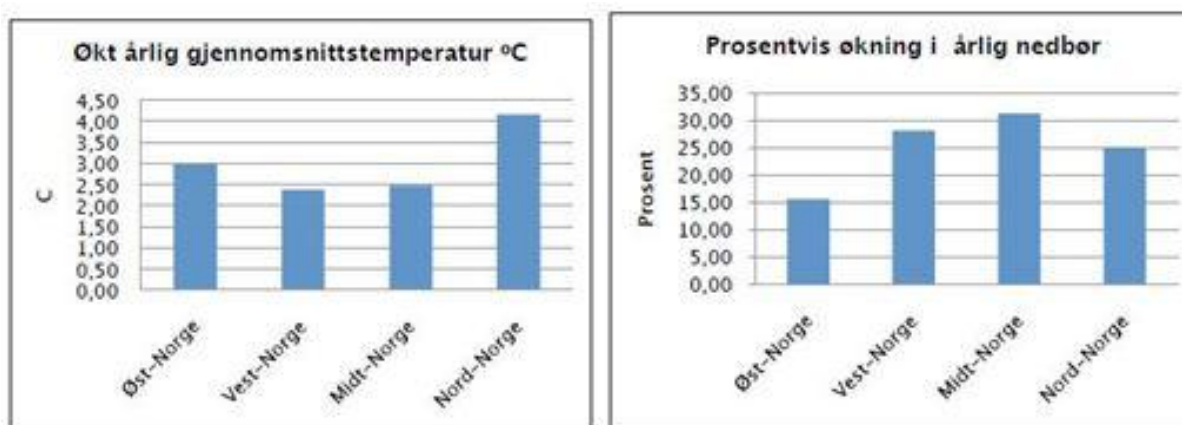
- Det norske landbruket kan komme styrket ut av klimaendringene
- Veksten i de produktive skogområdene vil sannsynligvis øke på grunn av lengre vekstsesong og økt skogareal i fjellområdene i et varmere klima
- Klimaet påvirker produksjon og utbredelse av økonomisk viktige fiskeslag, men det er stor usikkerhet om hvilke endringer vi kan forvente
- Norske bygg tåler allerede klimaet dårlig, og kvalitetskontroll blir en viktig del av klimatilpasningen
- Selv om mer nedbør øker mulighetene for å produsere mer kraft, kan ikke kapasiteten økes uten å bygge ut magasinkapasitet og sikre dammer
- Økte nedbørmengder vil føre til et økt press på avløpsnett

- Varmere klima reduserer behovet for energi til oppvarming, men moderne informasjonsteknologi gjør oss sårbare for strømbrudd
- Dersom klimaet i framtiden byr på mer ekstremvær, stiller dette krav om bedre vedlikehold av norske veier
- Klimaendringene kan få store lokale virkninger på steder med stor væravhengig turistnæring
- Når vi får et varmere klima med mer nedbør, kan Norge måtte forholde seg til helseproblemer som ikke er spesielt store i dag

(Klimaendringer i Norge 2009)

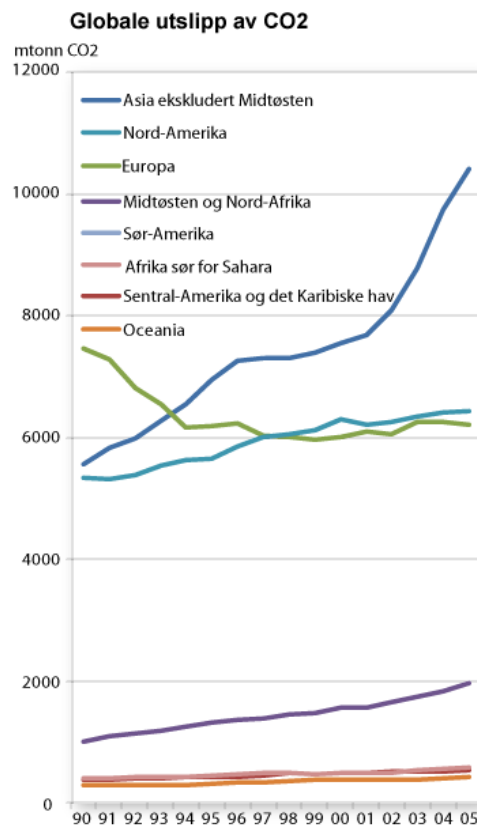
I 2005 foregikk det et forskningsprosjekt for “utvikling av scenarier for klimautviklingen i Norden, omliggende havområder og deler av Arktis ved en global oppvarming” (Fakta om RegClim 2006). Prosjektet het RegClim og var et samarbeid mellom metrologisk institutt, havforskningsinstituttet, institutt for geofysikk (UiO), geofysisk institutt (UiB) og Nansen senteret for miljø og fjernmåling. Rapporten konkluderer med at den årlige gjennomsnittstemperaturen vil stige med 2,5-3,5 °C, avhengig av hvor i landet målingen blir tatt. Nedbørsmengden vil øke med mellom 5 % og 20 %, spesielt langs kyststrøkene, mens den for Østlandsområdet vil minke. Når det gjelder vindhastighet vil endringene ikke være like store, men langs Skagerrak må det regnes med en økning på rundt 0,5 m/s. (Norges klima om 100 år 2006)

NORKLIMA er et stort 10-årig forskningsprogram med programperiode 2004-2013, og har erstattet RegClim. Programmet skal gi “nødvendig kunnskap om klimasystemet, klimaets utvikling i fortid, nåtid og fremtid, samt direkte og indirekte effekter av klimaendringer på natur og samfunn – som grunnlag for samfunnsmessige tilpasningstiltak” (NORKLIMA 2011). I fakta-arket konkluderer NORKLIMA med at klimaet blir våtere og varmere. Norge som land vil oppleve at temperaturen vil øke noe mer enn det globale gjennomsnittet. Det blir mer nedbør, og spesielt mer nedbør der det allerede kan oppstå kraftige regnskyll. Nedenfor (Figur 15) vises en grafisk oversikt over hvordan nedbør og temperatur vil fordele seg i Norge ved et tenkt scenario der temperaturen øker med 3 °C og nedbørsmengden øker med 25 %.



Figur 15: Den grafiske fremstillingen viser økt årlig gjennomsnittstemperatur og prosentvis økning i årlig nedbør for ulike landsdeler. Det er da satt et tenkt klimascenario der temperaturen øker med 3 C samt en økning på 25 % i nedbørsmengde. (CICERO 2010c)

I en annen rapport, også utarbeidet av CICERO, konkluderes det med at gjennomsnittstemperaturen i Norge vil stige omtrent som den globale middeltemperaturen, muligens litt mer. Sommeren i Sør-Norge vil muligens få noe mindre nedbør, men resten av landet må regne med økt nedbør. Samtidig nevnes det at de stedene i Norge som har lavest middeltemperatur vil få den høyeste økningen i temperatur, og motsatt for de stedene med høyest middeltemperatur der temperaturen ikke vil øke like mye. Det samme vil gjelde når vi ser på årstidene, der de tidene med lavest temperatur vil få den høyeste økningen og motsatt for de årstidene med høyest middeltemperatur. (CICERO 2009)



Figur 16: Grafene viser utviklingen av det globale utslippet av CO₂ i perioden 1990-2005. (Klima i Norge 2010)

Siden økningen i bruk av klimagasser, og da spesielt CO₂, har innvirkning på hvordan klimaet vil utvikle seg, er det lagt ved en graf (Figur 16) som viser utviklingen av de globale utslippene av CO₂. Grafene viser at for de siste 15 årene har det stort sett vært en økning over hele kloden, og spesielt en kraftig økning i Asia. Europa er den eneste delen av verden der utslippet har gått ned siden 1990.

Sammenliknet med andre land er Norge bedre rustet og mindre utsatt. Grunnen til dette er blant annet at Norge har ressursene som trengs for å håndtere endringene som vil komme. Uansett må endringene sees i lys av andre lands sårbarhet.

Hovedkonklusjonene i rapporten er at den årlige middeltemperaturen vil stige med mellom 2,3 og 4,6 grader. Dette må ses i sammenheng med hvilken landsdel det gjelder. Temperaturen øker mest i Nord-Norge og minst på Vestlandet. Den årlige nedbøren i Norge vil øke med mellom 5 og 30 prosent fram til 2100. Igjen må ting ses i sammenheng med årstider og regioner. I tillegg vil det også være flere dager med store nedbørsmengder. pH-verdien i vannet er forventet å gå ned med 0,5 enheter. Havnivået vil øke med mellom 50-100 cm langs kysten av Sør- og Vestlandet, 40-90 cm i Nord-Norge og 20-70 cm innerst i Oslo og Trondheimsfjorden (NOU 2010).

5.3 Korte regn

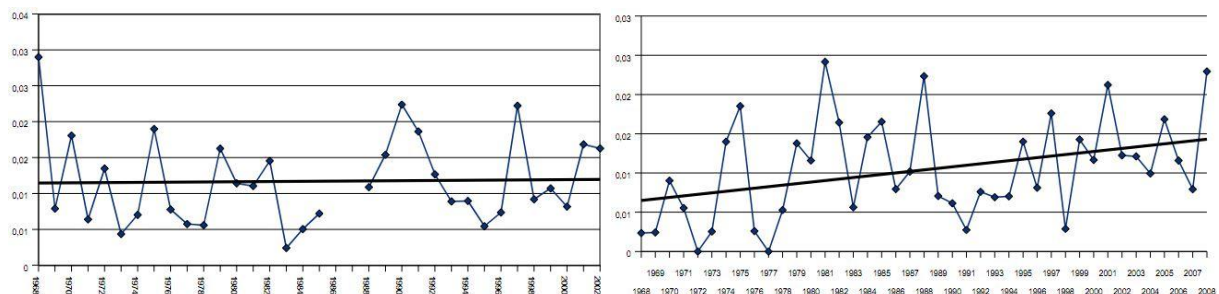
Enkelte studier viser at korttidsnedbøren ikke ser ut til å øke, men for regnhendelser med varighet over 10 minutter vil nedbørintensiteten øke. Lokalt kan det dog være store variasjoner grunnet konvektive regn, det vil si regn der skyene ikke har stor utstrekning, men allikevel har høy intensitet. (Andersen 2008)

Grunnen til at det er viktig å se på korte regn er at det i byer og tettsteder er det som oftest de korte intensive regnene som forårsaker skade. Tidligere forskning viser at flommer i tettsteder har forårsaket stadig større skader. Økende urbaniseringsgrad og endringer i klima har vært grunner til dette. Urbaniseringsgraden vil antageligvis fortsette å øke i årene fremover, noe som fører til raskere avrenning, på grunn av økning i tette flater, og dermed større skader på infrastruktur og bygninger. (Sekse 2009)

I løpet av det neste århundret kan Øst-, Sør- og Vestlandet få opptil 50 % mer nedbør. De korte regnene vil bli mer intense, og skape store problemer for bygg og kjellere dersom noe ikke gjøres med avløpsnett. Vedlikehold av bygg, vei, jernbane og annet infrastruktur vil øke, samtidig som økt temperatur vil føre til større behov for kjøling og ventilasjon. Alt regnet vil også kunne føre til setninger og utglidninger, noe som kan føre til ras og redusert fremkommelighet samt fare for ulykker. Det er også fare for at den økte avrenningen etter kraftig nedbør kan føre til en økning av bakterier, virus og parasitter (Naturvernforbundet 2010).

Østlandet har de største nedbørsverdiene når det er snakk om varigheter fra ett minutt til en time. For Sørlandet er de største nedbørene på 2-6 timer, mens Vestlandet dominerer når det er snakk om lengre nedbør fra 12 timer og oppover. Allikevel finnes det eksempler på byer også i andre deler av landet som har intensiteter som de største på Østlandet. (NOU 2009c)

Flommer i Norge skyldes snøsmelting, snøsmelting i kombinasjon med regnvær, langvarig regnvær og intense skybrudd. For flomberegninger og dimensjonering av avrenningsnett er det oftest sterk nedbørintensitet i løpet av kort tid som er kritisk. Tidligere forskning har vist at 2/3 av de 35 målestasjonene som hadde målinger fra 1900-2004 hadde en økning i ettdøgns nedbør, men kun fire av dem var trenden statistisk signifikant. I tillegg lå alle disse på Sør-Vestlandet. Nedenfor er det vist hvordan regn med en times varighet har utviklet seg på henholdsvis Blindern i Oslo og Brekkevann på Karmøy. På Karmøy er det vanskelig å se noen tendens, mens det for Blindern ser ut til å være en klar økning i andelen regn som tilhører de 1 % sterkeste regnene året sett over ett. (NOU 2009b)



Figur 17: Figurene over viser andelen av nedbørsobservasjoner per år som har verdier høyere enn 99-prosentilen. Det vil si andel regn som tilhører de 1 % sterkeste regnene i løpet av ett år. Trendene i høyintensitets entimes nedbørsverdier vises ved henholdsvis Karmøy – Brekkevann øverst og Oslo – Blindern nederst (NOU 2009b).

5.4 Usikkerhet i klimaframskrivninger/modeller

Det er flere usikkerheter som må tas med i betraktningen når det er snakk om klimaframskrivninger. Som tidligere nevnt har utslipp av klimagasser stor påvirkning på klimaet. Problemet er hvor mye av dette utslippet som menneskene vil stå for i fremtiden. En mulighet er derfor å ta med flere utslippsscenarioer for å ta høyde for denne ekstra usikkerheten. (NOU 2009a)

Et annet moment er at klimasystemet ikke kan beskrives godt nok, grunnet blant annet regnemaskinkapasitet samt at vi fortsatt ikke kjenner klimasystemet fullstendig. I tillegg vil det også i fremtiden oppstå naturlige svingninger i klima, noe som det vanskelig kan si noe sikkert om. (NOU 2009a)

Modellene som blir brukt i IPCC sine beregninger er meget kompliserte og inneholder mange variabler. Dette i tillegg til at det lages prognoser for 90 år frem i tid vil også være med på å skape usikkerhet. Panelet har også møtt skepsis til hvordan bruken av sannsynlighet er blitt gjort. Inndelingen som tidligere har vært nevnt i avsnitt 5.2.1 viser hva som er sannsynlig ut i fra en prosentatsats på henholdsvis 99 %, 90 % og hva som er usikkert. Disse prosentene er ikke basert på analytiske modeller, da klimamodellene er for kompliserte, men heller subjektive vurderinger av de involverte i panelet. (Stordahl 2007)

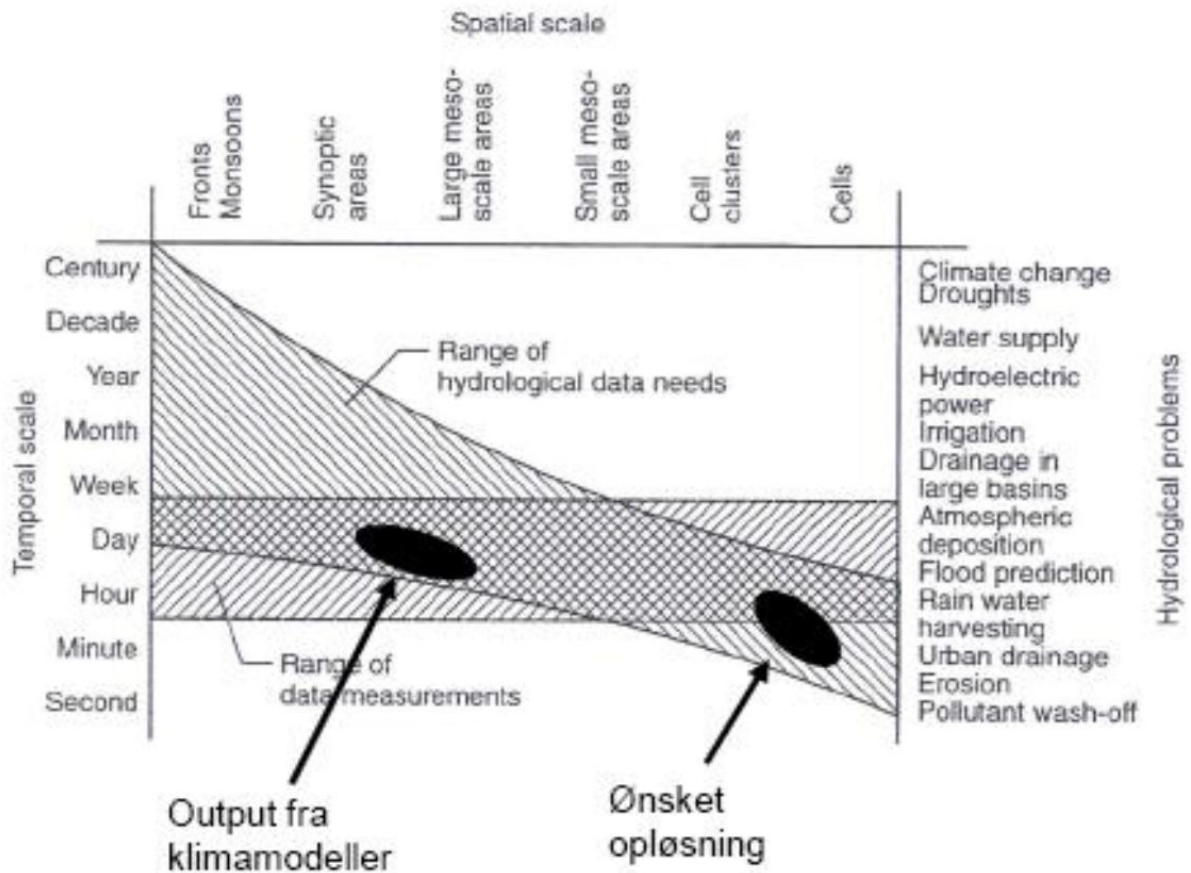
De har også blitt kritisert for ikke å bruke etablerte prognoseprinsipper. Konklusjonen i denne artikkelen er at etablerte prognoseprinsipper i overveiende grad ikke har blitt fulgt. (Green & Armstrong 2007)

I tillegg er klimamodellene hovedsakelig testet ved å reprodusere tidligere klimautvikling, noe som ikke nødvendigvis vil gi et riktig bilde. I rapporten tar også IPCC for seg flere usikkerhetsmomenter. Blant annet nevnes det at IPCC ikke klarer å modellere representasjonen av skyer og deres respons på klimaendringer godt nok. Skyer og vanndamp er den overlegent største drivhuseffekten, derfor er dette punktet viktig. (Stordahl 2007)

Den kanskje største usikkerheten har å gjøre med hvordan vi tilpasser oss eventuelle endringer, hvordan fremtidens industri vil være, og hvordan teknologi vil bidra til en reduisering av klimaeffektene. (NOU 2009a)

Det vil alltid være usikkerhet forbundet med bruk av modeller, da så komplekse modeller ikke kan gjenskape virkeligheten med 100 % sikkerhet. Det er derfor viktig å huske på at modellene ikke nødvendigvis viser den hele sannheten, men kan være et viktig verktøy. Som tidligere nevnt er klimamodellene veldig grove. De gjelder stort sett for større geografiske områder, men blir for hvert år bedre ved å bruke teknikker som nedskalere resultatene slik at de kan brukes mer lokalt.

Resultatene fra ulike klimamodeller kommer eksempelvis i døgnerverdier, mens den ønskede oppløsningen er minuttverdier. De målte dataverdiene kommer alt i fra minuttverdier og oppover. Dette er illustrert i Figur 18 under.



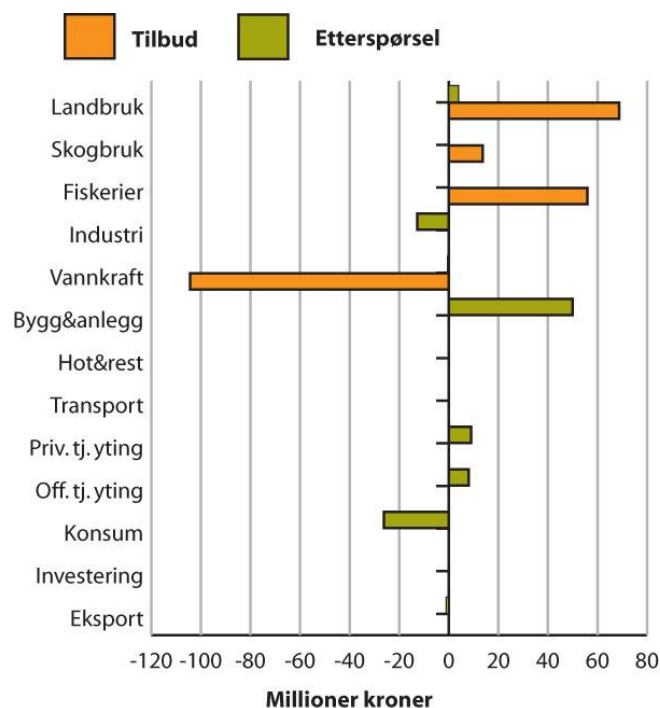
Figur 18: Viser hvilken oppløsning for nedbørsdata som er ønsket til bruk i hydrologiske modeller. Den svarte ellipsen til venstre angir oppløsningen man får ut fra klimamodeller. Denne oppløsningen gir nedbørsdata med en nøyaktighet på døgnerverdier, eller i beste fall timeverdier. Den ønskede oppløsningen til hydrologiske modeller til bruk i urbane områder er minuttverdier, vist i ellipsen til høyre. (Lindholm 2010a)

5.5 Samfunnsøkonomi og kostnader som følge av klimaendringer

Et prosjekt er samfunnsmessig lønnsomt når den samlede summen av alle konsekvensene av et tiltak er positiv. Verdsettingen i nytte-kostnadsanalyser er at kroneverdien av en positiv konsekvens skal settes lik det befolkningen er villig til å betale for den. Når det er sagt er det ikke alle tiltak som kan måles i kroner og øre, og det blir derfor vanskelig å vurdere om et tiltak skal gjennomføres eller ikke. Nytte-kostnadsanalyser gir derfor ikke alltid et riktig bilde, men kan brukes som et viktig verktøy i beslutningsanalysen. (NOU 1998)

Når det er snakk om skader fra overvann kan det potensielt skape store kostnader for samfunnet. I hovedsak er det skader på bygninger og infrastruktur som utgjør de største kostnadene. I tillegg vil oversvømmelse av veier føre til forsinkelser for mennesker som benytter seg av den. Alt dette må tas med når det skal utføres en samfunnsmessig vurdering av et tiltak.

Å regne samfunnsøkonomisk på hva klimaendringer koster og hvilken gevinst det gir å sette inn tiltak er vanskelig, da det finnes så mange usikkerhetsmomenter. De ulike beregningene som er gjort på verdensbasis varierer, da det brukes forskjellige scenarier og det er forskjeller med tanke på om kostnadene er justert for klimatilpasning. For mange av de industrialiserte landene vil økningen av kostnadene være på mellom 0 og 1 % av brutto nasjonalprodukt. Grunnen til dette er markedsadferd blant de industrialiserte landene, som også i enkelte tilfeller kan bidra til å redusere kostnadene. (CICERO 2010a)



Figur 19: Viser en oversikt over ulike sektorer og hvordan tilbud og etterspørsel vil utvikle seg som følge av forventede klimaendringer. I dette tilfellet gjelder resultatet for Hordaland (CICERO 2010b)

Over (Figur 19) vises en fremstilling over ulike sektorer, og hvordan det fremtidige klimaet vil påvirke tilbud og etterspørsel. For vannkraft kan man vente seg en stor økning i tilbudet, men siden økningen i regnintensitet stort sett vil være på høsten vil ikke dette kunne bli utnyttet da magasinene allerede er fulle. I stedet vil det føre til et økonomisk tap da det krever utbygging av vannmagasinene for å utnytte den ekstra mengden nedbør. (CICERO 2010c)

Når det skal diskuteres de samfunnsøkonomiske konsekvensene av klimaendringene avhenger det i stor grad av i hvilken grad endringer vil bli gjort og hvordan man tilpasser seg. Som tidligere nevnt vil nok industrialiserte land som Norge klare seg bedre enn mange andre land dersom klimaendringene vil eskalere. Når det er sagt avhenger virkningene for Norge i stor grad av hvordan resten av verden tilpasser seg klimaendringene. (CICERO 2010c)

5.6 Ansvarsfordeling og kjelleroversvømmelser i Fredrikstad kommune

Fredrikstad er en kommune som lenge har slitt med at overvann trenger inn i boligene til innbyggerne. Ofte er det de samme bebyggelsene som blir rammet, og av og til har dette skjedd årlig (Åserud). Dette er svært kostbart for samfunnet. Disse kostnadene vil etter all sannsynlighet bare øke med tanke på pågående klimaendringer.

Når det gjelder ansvarsfordeling i forbindelse med vannskader avhenger det av flere forhold. Fredrikstad har gjort en gjennomgang på dette området.

Kommune

- Kommunens ledninger skal være riktig dimensjonert slik at ledningsnettets ikke blir overbelastet ved normalt forekommende regn.
- Kommunens ledninger skal være riktig driftet og vedlikeholdt. For eksempel skal ledningene ikke ha forstyrrende innslag av trerøtter, slam og andre gjenstander som kan redusere kapasiteten.
- Kommunen skal informere aktuelle eiendommers eiere dersom avløpsnettets legges om fra felles avløpsnett til separat avløpsnett.

Eier

- Eiendommens ledningsnett skal være godt vedlikeholdt. Ikke minst gjelder det anordning for å hindre inntrengning av vann i kjelleren.
- Alle forandringer i eiendommens ledningsnett skal godkjennes av Teknisk Drift – Vei, Vann og Avløp.
- Separere avløpsnettets på egen eiendom hvis kommunen har separert sitt ledningsnett.
- Informere leieboere om riktig bruk av kjeller.

(Fredrikstad 2007)

Dersom en kommunes ledningsnett ikke tilfredsstillt kravene til sikkerhet, og det oppstår en skade, vil kommunen ha et ansvar ovenfor abonnenten om å erstatte skader. Men kommunen kan avskrive seg alt ansvar dersom overhøyden til kommunalt nett er mindre enn 900 mm.

Når det gjelder forsikringsselskap er det individuelt hva som blir dekket, men som regel blir skader på bygninger som er forårsaket av at vann strømmer ut fra vedlikeholdte installasjoner dekket. Skader som følge av normale regn og snøsmeltinger blir også rapportert til forsikringsselskapene, men det er kommunen som da må betale. Kun når det er snakk om regn som kommunen ikke har ansvar for, altså ekstreme forhold, blir det forsikringsselskapene som betaler.

Store regnskyll, gjerne kombinert med snøsmelting, kan føre til oversvømmelser av hus. Gjerne er det kjellere som først blir rammet. Å få vann i kjelleren er noe som innebærer store kostnader for samfunnet. Ofte er det kommunene eller forsikringsselskapene som må betale ut store summer i erstatningsoppgjør. Dagens kjellere er ikke hva de en gang var, de har på få tiår gått fra å være råkjellere til fult utstyrte bruksarealer med store verdier.

Eksempler på kjelleroversvømmelser er (se avsnitt 5.1):

- Vannet trenger inn gjennom husets avløpsnett
- Vannet trenger inn gjennom kjellervegg eller kjellergulv
- Vannet trenger inn gjennom ytre åpninger
- Vannet strømmer ut fra lekkende vanninstallasjoner

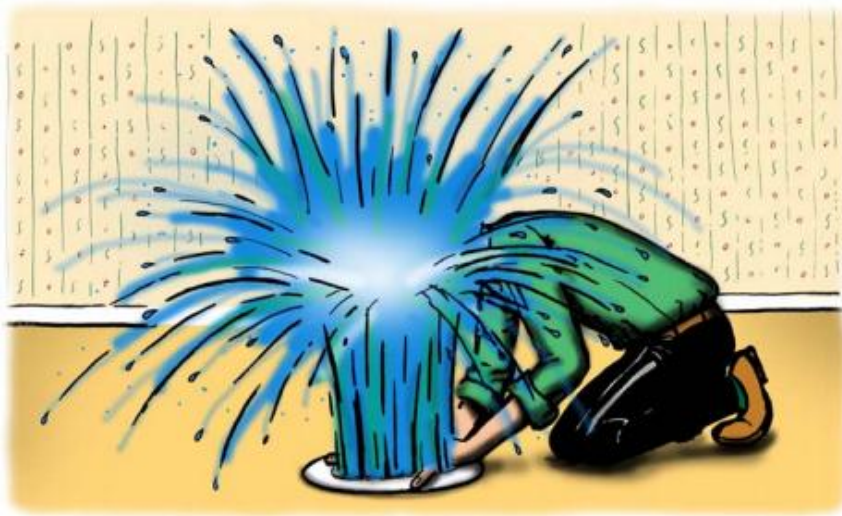
I det første punktet er det flere beskyttelsestiltak som kan settes inn. For eksempel kan det settes inn tilbakeslagsventil, vedlikeholde beskyttelsesanordninger regelmessig og installere pumpe for avløpsvannet fra kjellernivået. Dersom det er fare for oversvømmelse, skal det settes inn tilbakeslagsventil, og da er det eiendommens eier som har ansvar for både installasjon og vedlikehold. Andre grunner til oversvømmelser kan være at det er avleiringer eller gjenstander i stikkledningen, røtter, eller at ledningene er i dårlig forfatning generelt i et område.

Over til det andre punktet, inntrengning av vann gjennom kjellervegg eller kjellergulv. Dersom drensledningene er tilkoblet overvannsførende ledning kan vann komme inn i kjellerne ved kraftige regnskyll. Dette kan bedres ved å installere en egen pumpe for drensvannet. Andre tiltak kan være å legge ny drenering eller rehabiliter det eksisterende i tillegg til å sjekke at ting som taknedløp er i god stand og at terrenget heller nedover fra huset og leder vannet bort fra veggene. Drenering rundt hus har en bestemt levetid, og det er huseier som er ansvarlig for funksjon og vedlikehold.

Dersom vannet trenger inn i kjellere gjennom ytre åpninger etter vann fra markoverflaten, som for eksempel kjellervinduer eller kjellertrapper, bør det vurderes å bygge valler rundt kjellertrapp og kjellervinduer.

For å hindre at vann strømmer fra lekkende vanninstallasjoner er det viktig å holde oppsyn med eldre installasjoner og eventuelt bytte dem ut hvis de er i dårlig forfatning. Det kan også være en fordel å skru av hovedkranen dersom man er bortreist i lengre perioder. I tillegg har ofte vaskemaskiner og oppvaskmaskiner stengeventiler som bør tas i bruk når maskinene ikke kjører. Kommunen har ikke ansvar for vanninstallasjoner innom hus.

(Fredrikstad 2007)



Figur 20: Illustrasjonfoto tegnet av Mathias de Maré.

5.7 Generelt om avløpsmodeller og hydrologiske modeller:

Matematiske modeller brukes for å opparbeide bedre kunnskap, innsikt og oversikt i systemet som studeres. Modeller gir en bedre oversikt over parameterne som påvirker systemet og resultatet av bruken av disse.

Fordelen med å bruke modeller er at man bruker datamaskinenes enorme databehandlingskraft til å foreta beregningene, i stedet for utregning for hånd. Siden datamaskinene har så stor databehandlingskraft kan modellen ta med flere parametere, ta hensyn til flere faktorer og samtidig beregne mer nøyaktig enn det som er mulig for hånd. Samtidig som beregningene tar mye kortere tid. Ved å bruke modeller unngår man å "prøve og feile" i full skala, samt regnefeil gitt at modellen er satt opp riktig. Bruk av modeller er tids- og kostnadsbesparende. Bruk av modeller til modellering og simulering av avløpssystemer gjør prosjektering og modellering mye mindre tidskrevende og mer nøyaktig. (Lindholm 2010c)

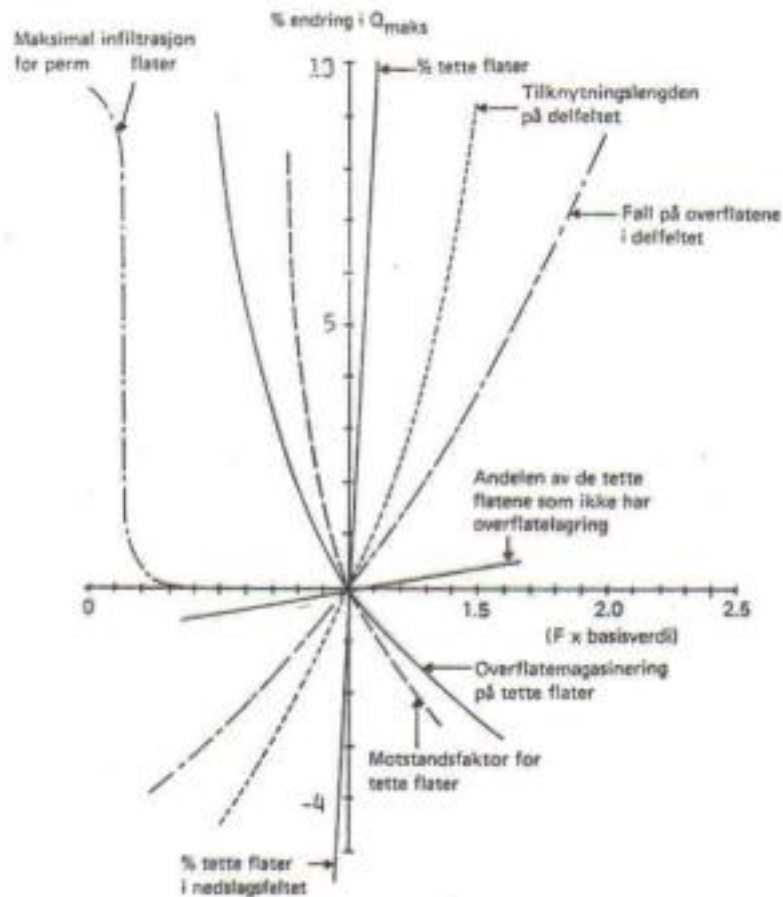
Ved oppbygning og bruk av modeller er det viktig å få modellen til å beskrive virkeligheten på en best mulig måte, både når det gjelder oppbygningen av systemet og når det gjelder situasjonen man simulerer. En matematisk modell er som kjent en matematisk beskrivelse av de fysiske prosessene som beskriver virkeligheten modellen simulerer. De fysiske prosessene er svært komplekse i virkeligheten og det er viktig å huske på at måten vi beskriver de fysiske prosessene i fysikken og den matematiske måten å beskrive dette på, bare er en tilnærming til virkeligheten. (Engan 2010)

Jon Arne Engan har beskrevet tre steg som trengs for å bestemme en modells nøyaktighet:

1. Modell verifikasjon. Modellens regnemaskinkode som beregner de gitte matematiske ligningene må være korrekt, slik at modellen løser ligningssettene på riktig måte.
2. Modellfølsomhet. Man må foreta en analyse av modellens følsomhet på endringer i parametere og inngangsdata som resultatet av modellen avhenger av.
3. Modellvalidering. Beregne feilen mellom modellens resultater og målte observasjoner.

Kalibrering omfatter de to sistnevnte, og kan defineres som forholdet mellom resultatet i modellen og verdier hentet fra den reelle situasjonen modellen beskriver, og videre minske dette forholdet for å få en modell som beskriver virkeligheten på en best mulig måte. Disse verdiene kan for eksempel være innhentet ved måleinstrumenter eller fra referansemateriale. (Engan 2010)

Ved å foreta følsomhetsanalyser oppnår man informasjon over i hvilken grad de forskjellige utvalgte parametere påvirker resultatet av simuleringen i modellen. Dette gir brukeren av modellen en indikasjon på hvilke parametere som har stor påvirkning og dermed må være så nøyaktige som mulig for å minske feilen i modellen. Parametere som har liten eller ingen påvirkning derimot kan nedprioriteres eller også kanskje droppes, feil på disse utgjør en veldig liten feilkilde på resultatet. Ut fra følsomhetsanalysen kan de forskjellige parametere vektas med hensyn på hvor mye de påvirker resultatet. (Lindholm 2010c)



Figur 21: Eksempel på analyse av parameterfølsomhet for overflateavrenning i NIVANETT. (Lindholm 2010c)

I avløpsmodeller kan kalibreringen gjøres ved å kjøre modellen for en bestemt virkelig målt situasjon, for så å sammenligne resultatet fra simuleringen i modellen med de målte verdiene. Her er det viktig at det settes av 2-4 regn til kalibreringen, samt regn til påfølgende validering etter kalibreringen. Disse regnene skal være regn av forskjellig størrelse og fra uavhengige regnepisoder, samt representative for hvilke størrelser og situasjoner modellen er gyldig for.

Oddvar Lindholm angir følgende formel for utregning av feil i modellen til kalibreringen:

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

F gir et mål på hvor stor feilen i modellen er i forhold til de målte verdiene. Målte verdier gir et ganske bra bilde av virkeligheten, men vil også kunne ha kalibreringsfeil, målefeil og andre feilkilder. Dette blir sett bort fra. Resultatet avhenger av summen av kvadratavviket multiplisert med et vektall gitt ut fra følsomhetsanalysen for hver av de forskjellige parameterne. Her vist som vannføring, volum og tidspunkt for Q_{maks} .

- F = Feilfunksjon som beskriver modellens feil i forhold til målte verdier, ønskes minimert. Ved bruk av flere regn i kalibreringen summeres denne.
- V = Vektall som beskriver i hvor stor grad den gitte parameteren/variabelen påvirker resultatet. Hentet fra følsomhetsanalysen. Summen av vektallene skal bli = 1,0.
- m = målt verdi, b = beregnet verdi

- Q, V og T er parametere som modellen avhenger av og ut fra følsomhetsanalysen er valgt som viktige for resultatet. Her fra et eksempel fra kalibrering av urbane avløpssystemer, der Q = maksimal vannføring (l/s), V = vannvolum (m³) og T = tidspunkt for Q_{maks}. Her kan flere parametere brukes for høyere nøyaktighet hvis ønskelig.

(Lindholm 2010c)

Feilfunksjonen kan gjøres uavhengig av lengden på simuleringen ved at restvarians brukes.

$$RV = \frac{1}{N}F$$

For å få et standardisert uttrykk for feilen kan man bruke restvariansen i Nash-Sutcliffe kriteriet gitt ved:

$$E = 1 - \frac{RV}{Var(y_{obs})}$$

Nash-Sutcliffe kriteriet gir et standardisert mål på variansen i de observerte dataene som skyldes modellens feil. Verdien for feilen, E, kan variere fra minus uendelig og opp til 1. Der det høyeste viser til best tilpasning til virkeligheten for modellen. (Stein Beldring et al. 2002) og (Sælthun 2010)

I denne oppgaven benytter vi en ferdig modell utviklet for Fredrikstad kommune. Modellen er kalibrert av Rosim A/S. Derfor antas det at modellen gir en tilfredsstillende beskrivelse av de virkelige forholdene i nedbørsfeltet.

5.7.1 Inndeling av forskjellige modeller

Matematiske modeller kan deles inn i forskjellige grupper ut fra hvordan modellen er oppbygd og fungerer. Modeller kan enten være rent fysisk baserte, systembaserte, eller begrepsmessige modeller som er en blanding av de to sistnevnte. De fysiske modellene beskriver prosessene ved hjelp av de fysiske lovene som påvirker prosessene. Dette gjøres ofte i form av differensialligninger som beskriver masse- og energistrømning.

Systembaserte modeller baserer seg på en empirisk sammenheng mellom input til modellen og resultatet av dette, uten å relatere dette til de fysiske prosessene som skjer i systemet. Dette brukes ofte når de fysiske prosessene er enten for kompliserte å beregne eller når det ikke er god nok kunnskap om hvilke fysiske prosesser som påvirker resultatet. Også kalt "Black box models".

De to nevnte typene modeller kan ses på som ytterpunktene av forskjellige matematiske modeller. Imellom disse to finnes modeller som bygger på begge metodene. Eksempler på slike modeller er når det er godt nok kunnskap omhandlende noen av delprosessene som modellen omhandler, imens andre delprosesser behandles empirisk enten på grunn av mangel på informasjon eller kunnskap om de fysiske prosessene, eller fordi deler av prosessene kan løses enklere ved å se på denne empirisk. Dermed minskes datamengden som må behandles. Disse modellene blir kalt begrepsmessige. (Sælthun 2010)

Andre inndelinger av de matematiske modellene er (Lindholm 2010c):

- Steady-state eller dynamisk, dette beskriver om modellen er avhengig av tid eller om den ser på et bestemt øyeblikk.
- Deterministisk eller stokastisk, om modellen gir svarene eksakte og likt ved samme input, eller om svarene blir gitt med en sannsynlighet.
- Om modellen er en simuleringsmodell som gir resultatene fra en simulering eller en optimaliseringsmodell som vil gi en verdi for variablene for optimum resultat.
- Distribuert eller ikke-distribuert. Avhenger av om parameterne varierer i det romlige.

I denne masteroppgaven skal vi se på hvordan ekstrem nedbør kan forårsake flom og kjelleroversvømmelser i urbane områder. For å modellere en slik situasjon trengs en hydrologisk modell for å simulere avrenningen fra nedbørsfeltet samt en modell for vanntransport i ledninger. Det finnes en rekke forskjellige modelleringsprogrammer til dette. I denne oppgaven brukes MOUSE modulen tilhørende Mike Urban, sammen med det norskproduserte ROSIE.

På grunn av tidsperspektivet var det ønskelig å ha tilgang på en ferdig modell over området. I Fredrikstad kommune har det tidligere blitt utviklet en avløpsmodell over Veumdalen i ROSIE. Denne modellen har vært brukt ved tidligere anledninger, og har til denne oppgaven blitt oppdatert med tiltak og endringer som har blitt gjort de siste årene.

Mike Urban og ROSIE er konkurrerende produkter som begge bruker beregningsmotoren MOUSE som følger med Mike Urban. Den største forskjellen er programmenes bruk av ArcGIS systemet. På dette området er ROSIE et bedre program da det ikke setter grenser for bruken av ArcGIS og dets muligheter.

5.7.2 ROSIE

ROSIE (før GM) er et tilleggsprogram til ArcGIS for modellering innen vann og avløp/overvann. ROSIE legges til som en "extension" til ArcGIS, produsert av ESRI, slik at brukeren jobber i et fullstendig GIS basert brukergrensesnitt med alle dets muligheter. Beregningsmotorene som ligger til grunn er MOUSE fra DHI for avløp og EPANET fra EPA for drikkevann. ROSIE legger til en rekke ekstra funksjoner i ArcGIS. Dette er funksjoner som forenkler og forbedrer mulighetene til modelloppbygning, presentasjon av resultater og til vedlikehold av ledningssystemene/nettene. Disse er tilleggsfunksjoner som er skreddersydd for det norske VA markedet.

ROSIE bruker den hydrauliske beregningsmotoren MOUSE til simulering av overflateavrenning og rørstrømning. Datainputen som blir forberedt i ROSIE brukes videre i MOUSE for beregning og simulering. ROSIE deler inn områdene i forskjellige avrenningsarealer, samt beregner andel tette flater fra vei og parkeringsplasser, tak også videre. Data om befolkning og det eksisterende ledningsnett må også inn. Etter oppbygning av modellen og kalibrering av denne ved hjelp av målinger i felt, gir modellen et godt bilde av avløpssystemet og kapasiteten av denne, slik at den videre kan brukes til vurdering av den nåværende situasjonen og problemer som kan oppstå. Modellen kan videre brukes til simulering av fremtidige situasjoner på grunn av befolkningsøkning, klimaendring, økning av tette flater og tilkobling av nye ledninger eller utbygningsfelt. Områder med liten kapasitet, som flaskehals kan lokaliseres raskt slik at kommunen har oversikt over problemer som kan oppstå i fremtiden.

Videre kan modellen beregne mengden avløp som vil gå i overløp i en gitt nedbørsituasjon. Ved god kalibrering kan denne funksjonen brukes i stedet for en mengdeoverløpsmåler, slik at kommunen kan beregne hvor mye som går i overløp ut fra modellen og nedbørsdata. Andre bruksområder av modellen er som et mål på innlekking i ledningsnett, oversikt over hvilke ledningsstrekker som har dårlig selvrensing og dermed må spyles, og oversikt over tilrenning og dermed belastning på pumpestasjoner og renseanlegg.

(Rosie 2011)

5.7.3 MOUSE

For simulering av rørstrømning og overflateavrenning bruker ROSIE simuleringsmotoren MOUSE fra DHI. MOUSE følger med modelleringsprogrammet Mike Urban, som må installeres for å få tilgang til MOUSE. MOUSE er en avansert beregning- og simuleringsmotor for overflateavrenning, kanalstrømning, rørstrømning, endring av vannkvalitet og transport av sedimenter og forurensning med vannveien. MOUSE er spesielt egnet til beregning og simulering av det hydrologiske systemet i urbane nedbørsfelt og avløpssystemer. MOUSE er delt inn i forskjellige moduler avhengig av bruken, disse er:

- MOUSE RUNOFF: Modul for beregning og simulering av overflateavrenning i urbane nedbørsfelt.
- MOUSE PIPEFLOW: Modul for beregning og simulering av rørstrømning.
- MOUSE RDI: Modul for beregning og simulering av sammenhengende nedbørshendelser over lengere tid, der infiltrasjon og grunnvannstand påvirker systemet.
- MOUSE RTC: Modul for kontinuerlig kontroll av MOUSE ledningsnettverksmodeller.
- MOUSE LTS: Modul for langtidssimulering og statistikk.
- MOUSE TRAP: Delt inn i fire underkategorier:
 - MOUSE SRQ: Oppbygning av forurensning på overflaten i nedslagsfelt, samt transport av forurensningen på overflaten.
 - MOUSE AD: Transport og fordeling av forurensning i væske i ledningsnett.
 - MOUSE WQ: Reaksjoner mellom stoffer i ledningsnett som påvirker vannkvaliteten. Nedbrytning av organisk stoff, opptak av oksygen og lignende.
 - MOUSE ST: Transport av sediment i ledningsnett.

Av de forskjellige modulene i MOUSE er det MOUSE RUNOFF og PIPEFLOW som har blitt brukt i denne oppgaven. Ved oppstart var det planlagt å kjøre en sammenhengende tidsserie med regn fra Fredrikstad og historiske ekstremregn ved bruk av MOUSE RDI modulen. Dette for å oppnå mest virkelige resultater. Senere i arbeidet med oppgaven viste det seg at en slik kjøring av Veumfeltet ville tatt alt for lang tid. Noe som førte til at virkelige regn ble utelatt av oppgaven. Det ble også gjort et forsøk på utvelgning av virkelige regnhendelser mellom 1970-1995. Disse skulle kjøres med hotstart og RDI modul for bedre resultater. Dette ble det ikke tid til da prosessen med å velge ut regnene ville ta for lang tid, samtidig som modellen først ble ferdigstilt på et sent tidspunkt.

Som nevnt tidligere i avsnittet må Mike Urban installeres for å få tilgang til beregningsmotoren MOUSE. Mike Urban har også mulighet til å benytte den dynamiske nedbør og avrenningsmodellen SWMM utviklet av EPA (United States Environmental Protection). SWMM har en åpen kildekode som gjør at den er gratis å bruke å videreutvikle. Grunnen til at MOUSE vil bli brukt i denne oppgaven til framfor for SWMM er tilgangen til ferdig modell over området, samt at MOUSE har noe bedre muligheter, se Figur 22 som gir en rask sammenligning av de nevnte modellene:

TEMA	MOUSE	SWMM
Kostnader ved kjøp	I området 50 000-250 000 kr avhengig av moduler, størrelse	Gratis. Kan lastes ned fra Internett på 7-8 min.
Brukervennlighet	Mange muligheter. Komplisert. Windows	SWMM5's er brukervennlig.
Hydrauliske muligheter	Avanserte hydrauliske ligninger. (St. Venant). Stort sett ingen praktiske begrensninger i forhold til virkelige situasjoner. Kan ta kumtap eksplisitt.	Avanserte hydrauliske ligninger. (St. Venant). Få begrensninger i forhold til virkelige praktiske situasjoner. Tar ikke kumtap eksplisitt.
Grafikk og tabeller Presentasjon	Meget avansert	Bra muligheter.
Tidsserieberegninger	Inkludert med mange alternativer	Inkludert
Snøsmeltning	Bare en enkel graddagsmodell.	Meget omfattende formelverk og mange muligheter.
Hydrologisk overflate-modell	Hydrologisk overflateavrenning og en enkel tid-areal metode.	Hydrologisk overflateavrenning.
Treg avrenning.	Kan inkludere infiltrasjon i MOUSE NAM.	Ikke inkludert uten som en konstant vannføring.
Overflateforurensninger	En forholdsvis enkel modell.	Svært avanserte muligheter.
Rørsedimenter	Kan modelleres i MOUSE TRAP	Er inkludert med Shields ligninger for sed. & resusp

Figur 22: Sammenligning av beregningsmodellene MOUSE og SWMM (Lindholm 2010c)

5.7.3.1 MOUSE Runoff

Med MOUSE har man mulighet til å bruke fire forskjellige modeller for overflateavrenning. Disse er:

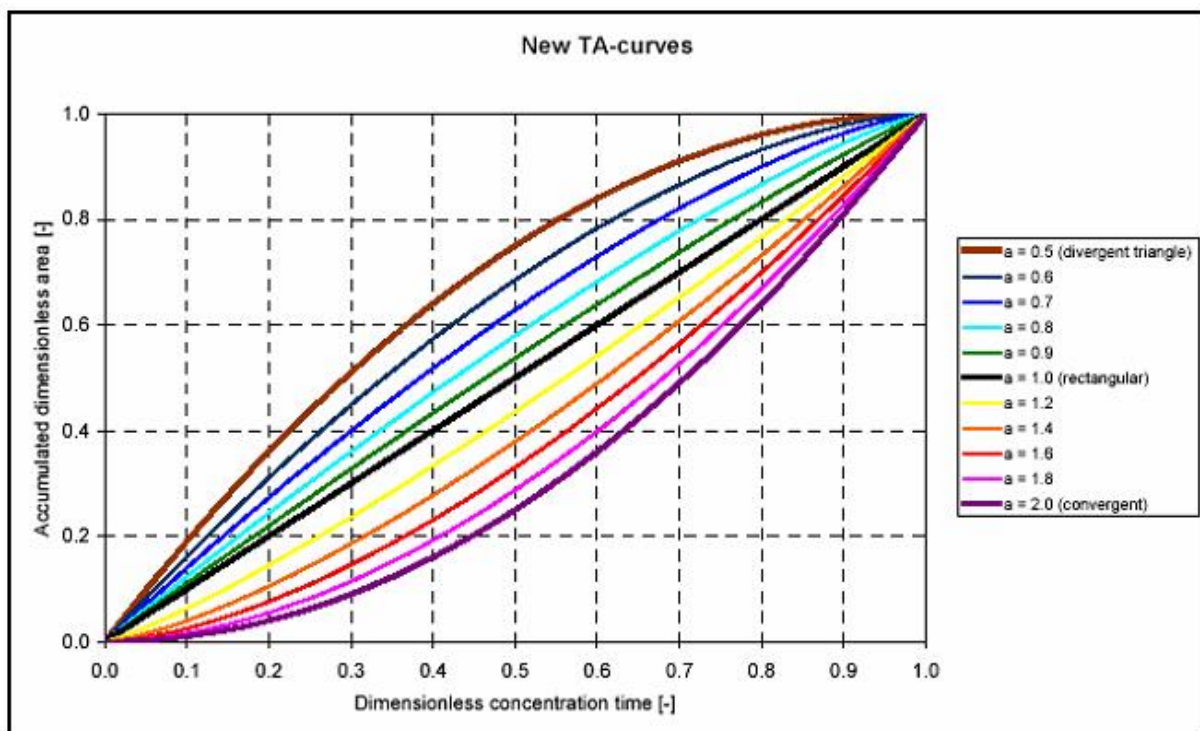
- Tid-arealmetoden (modell A)
- Ikke-lineære karr hvor bare deler av St. Venants likning blir brukt, altså kinematisk bølge (modell B)
- Lineært karr med to forskjellige varianter (modell C)
- UHM –Unit Hydrograph Model.

Ifølge DHI er det viktig å velge riktig modell ut fra hvilken tilgang til data det finnes for området. Simulering for samme situasjon og område med de forskjellige modellene kan gi svært forskjellig resultat. Dette fordi de forskjellige modellene bruker forskjellige input data og denne informasjonen på forskjellig måte. Derfor er det viktig å ha forståelse over hvordan de forskjellige modellene virker.

I første rekke er det viktig å opparbeide data på nedbørsfeltet. Disse dataene er uavhengige av hvilken modell som skal brukes og består av informasjon som det horisontale arealet på nedbørsfeltet, beliggenhet til ledningsnett og tette flater i feltet, tilrenningspunkter inn på ledningsnettet, grunnvannstand, innbyggertall for avløpsberegning og innlekking av fremmedvann. Annen informasjon om feltet som er nødvendig avhenger av valg av modell for overflateavrenningen.

De forskjellige modellene har forskjellige krav til data og dataens nøyaktighet om feltets geometri, arealbruk og avrenningsforhold. På grunnlag av dette er det modell A er blitt mest brukt i kommuner og konsulentbransjen. Modell B og C er mer kompliserte med hensyn på datainnsamling og krever dermed mer tid til feltundersøkelser. Man har normalt ikke de data som trengs i modell B og C. Ved bruk av modell B og C uten tilstrekkelig og nøyaktig data vil det kunne bli stor unøyaktighet i modelleringen. Ut fra de datamengdene som normalt finnes for felt er det derfor modell A som gir en best simulering av overflateavrenningen. Ut fra de dataene som er tilgjengelig i modellen vil modell A bli brukt i denne oppgaven. Nedenfor gis en gjennomgang av modell A, samt en kort oversikt over de andre mulighetene som finnes.

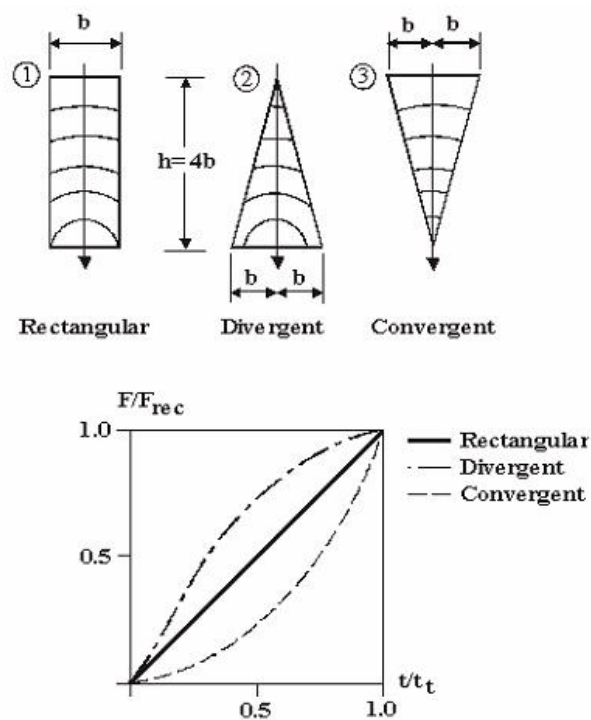
Tid-areal metoden i MOUSE er en forbedret versjon fra den opprinnelige. Tid-areal metoden bygger på den rasjonelle formel og deler inn feltet i delarealer, der arealet innenfor hvert delareal har samme konsentrasjonstid og avrenningskoeffisient. Avrenningen avhenger av mengden oppstuvning av vann på overflaten som må til før det fører til avrenning, arealet og formen på dette og et konstant hydrologisk tap. Avrenningsforløpet blir påvirket av konsentrasjonstiden på feltet og formen til feltet. Dette er en begrepsmessig måte å se på avrenningen på (se avsnitt 5.7). Forskjellige former på et felt med samme areal vil kunne gi veldig forskjellige avrenningssituasjoner. Derfor er det viktig å beskrive denne formen best mulig. Dette gjøres ved hjelp av tid-areal kurver. Tid-areal kurvene spesifiseres for hvert enkelt delfelt. MOUSE har tre ferdige kurver som beskriver felt med rektangulær, divergent og konvergent form. Disse kan ved hjelp av en koeffisient også gjelde andre former. I tillegg er det mulighet for å legge inn egne tid-areal kurver for best mulig beskrivelse.



Figur 23: Eksempel på tid-areal kurver i MOUSE. Det lineære linjestykket beskriver et rektangulært nedbørsfelt, de divergente beskriver former for pyramide formede nedbørsfelt, mens de konvergente beskriver former for omvendt pyramide formede nedbørsfelt. (DHI 2008b)

Ved bruk av tid-areal metoden må modellspesifikke og hydrologiske parametere defineres. Førstnevnte er et anslag på hvor stor andel av det horisontale arealet som består av impermeable masser og dermed bidrar til avrenning. Videre må initialtapet defineres, det vil si hvor mye oppstuvning på bakken som må til før avrenning starter. Dette er nedbør som går til våtlegging og oppfylling av ujevnheter på overflaten. Det må også angis en faktor på hvor stort tap av avrenning som går til evapotranspirasjon og infiltrasjon i de såkalte impermeable massene. Som nevnt over så har formen på nedbørsfeltet mye å si på resultatet av denne metoden. En viktig input er derfor beskrivelsen av den geometriske formen på delfeltene i form av tid-areal kurver. Tilrenningstiden til delfeltene må også angis. Dette er tiden det tar for en regndråpe fra den lander på den ytterste delen av delfeltet til den er transportert til utløpet av feltet. Altså tiden på avrenning på mark frem til kum, og derfra videre i ledningsnettets frem til utløpet av delfeltet. Denne parameteren er opprinnelig satt til 7 minutter i modellen.

Modellen bruker tid-areal kurven til å dele inn arealet av delfeltet i mindre deler. Dette gjøres ved å sette punktet der avrenningen renner ut av feltet som referansepunkt og dele inn feltet i sirkeldeler med midten av sirkelen i dette punktet. Dette er vist i Figur 24 for de tre ferdige tid-areal kurvene som følger med MOUSE. Summen av alle de forskjellige sirkelcellene er lik det angitte arealet av impermeable masser i delfeltet. Avrenning skjer først når nedbøren har oversteget den gitte mengden nedbør som må til for å gi avrenning. Videre beregner modellen for hvert tids steg nedbørvolumet akkumulert i hver enkelt sirkelcelle. Mengden i det øverste sirkelcellen vil flyttes til det nedenforliggende feltet. Altså vil mengden avrenning i et delareal hele tiden være en funksjon av nedbør direkte ned på feltet, sammen med tilsig fra øvre liggende felt og utsig til nedenforliggende felt. Utsiget i den nederste sirkelcellen vil etter delfeltets tilrenningstid være avrenning fra hele delfeltet.

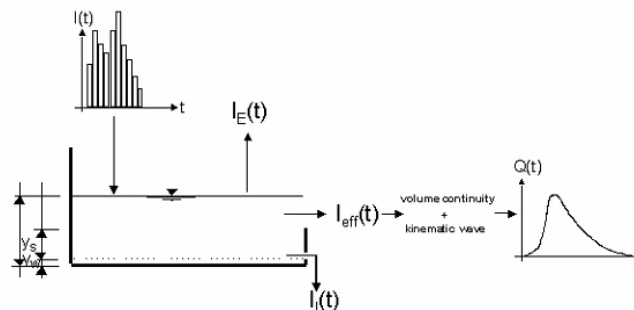


Figur 24: Figuren viser måten avrenningsmodellen deler inn avrenning i de forskjellige formene for delfelt. Figuren viser inndelingen for de tre ferdige tid-areal kurvene i MOUSE. (DHI 2008b)

Antall celler modellen deler feltet inn i avhenger av tilrenningstiden til delfeltene (t_k) og det valgte tidskrittet i simuleringen (Δt). Gitt av formelen:

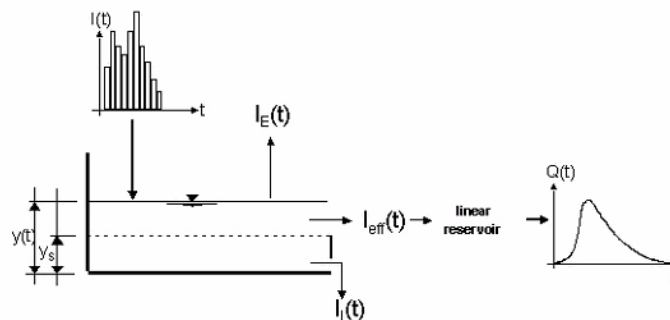
$$n = \frac{t_k}{\Delta t}$$

MOUSE har mulighet til å bruke andre modeller for avrenningen: **Kinematisk bølge modellen** ser på avrenningen som strømning i åpne kanaler, bare påvirket av friksjonen og gravitasjonen. Mengden overvann til systemet avhenger av størrelsen på arealet og tap til andre hydrologiske vannveier som for eksempel evapotranspirasjon (ved bruk av RDII modellen), infiltrasjon til dypere grunnvann (Default på Horton på original form), tilbakeholdelse på overflaten og metning av jorden ved nedbørs start. Oppførselen til avrenningen avhenger også av nedbørsfeltets lengde, helning og ruhet (Mannings tall). Modellen har mulighet til å dele inn i delarealer med forskjellige hydrologiske tap. Arealene kan gis fem forskjellige avrenningssituasjoner, ut fra om de er flate eller flater med helning som er ikke permeable, eller flater med forskjellig grad av permeabilitet og lagring.



Figur 25: Kinematisk bølge og graf for avrenning. (DHI 2008b)

Den tredje avrenningsmodellen ser på avrenningen fra et felt som et **lineært kar**, der avrenningen avhenger proporsjonalt med vannhøyden i nedbørsfeltet. Mengden på avrenningen avhenger av tap til metning før arealet gir avrenning, størrelsen på det tilvirkende arealet og tap til infiltrasjon. MOUSE har mulighet til å bruke to forskjellige versjoner av denne modellen, den Nederlandske metoden (C1) og den Franske (C2).



Figur 26: Lineært kar og graf for avrenning. (DHI 2008b)

Figur 26 viser hvordan denne typen modell ser på nedbøren og avrenningen av denne. Input består av nedbørhendelsen, deler av nedbøren vil gå andre hydrologiske veier som nevnt over. Resten av nedbøren ($I_{\text{eff}}(t)$) vil føre til avrenning, kalt den effektive nedbøren. Avrenningen starter altså når den effektive nedbørintensiteten er større en 0. Formen på grafen på avrenningen avhenger av reaksjonstiden.

UHM modellen (Unit Hydrograph surface runoff model) brukes for å simulere avrenning etter målte enkeltstående nedbørstilfeller. Denne metoden beskriver avrenningen som en lineær respons av nedbørstilfellet. Avrenningstap blir sett på et konstant eller proporsjonalt tap til infiltrasjon.

(DHI 2008b)

5.7.3.2 MOUSE PIPEFLOW

For modellering av strømning i ledninger bruker MOUSE modulen MOUSE PIPEFLOW. Denne modulen beregner rørstrømning ved å bruke hele St. Venants ligning (Formel 1). Da modulen løser hele St. Venants ligning kan den beregne og simulere dynamisk bølge. Dette gjør at den kan modellere alle former for strømning i ledningene som tilbakeslag, oppstuvning i kum, kanalstrømning, trykksatt strømning og påvirkning av ledningsnett fra tidevann og vannstand i resipient. Modulen har mulighet til og bare løse deler av St. Venants ligning (kinematisk bølge), men da uten beregning og simulering av de nevnte situasjonene. Fordelen ved ikke å løse hele ligningen er først og fremst forenkling, slik at beregningen går raskere.

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

Formel 1: St. Venants ligning, fullstendig form

Q = vannføring (m^3/s)

A = strømningstverrsnitt (m^2)

R = hydraulisk radius (m)

g = Tyngdens akselerasjon (m/s^2)

f = friksjon koeffisient

I_b = helning på bunn ledning

y = vanndybde (m)

u = vannhastighet (m/s)

l = rørlengden (m)

t = tid (s)

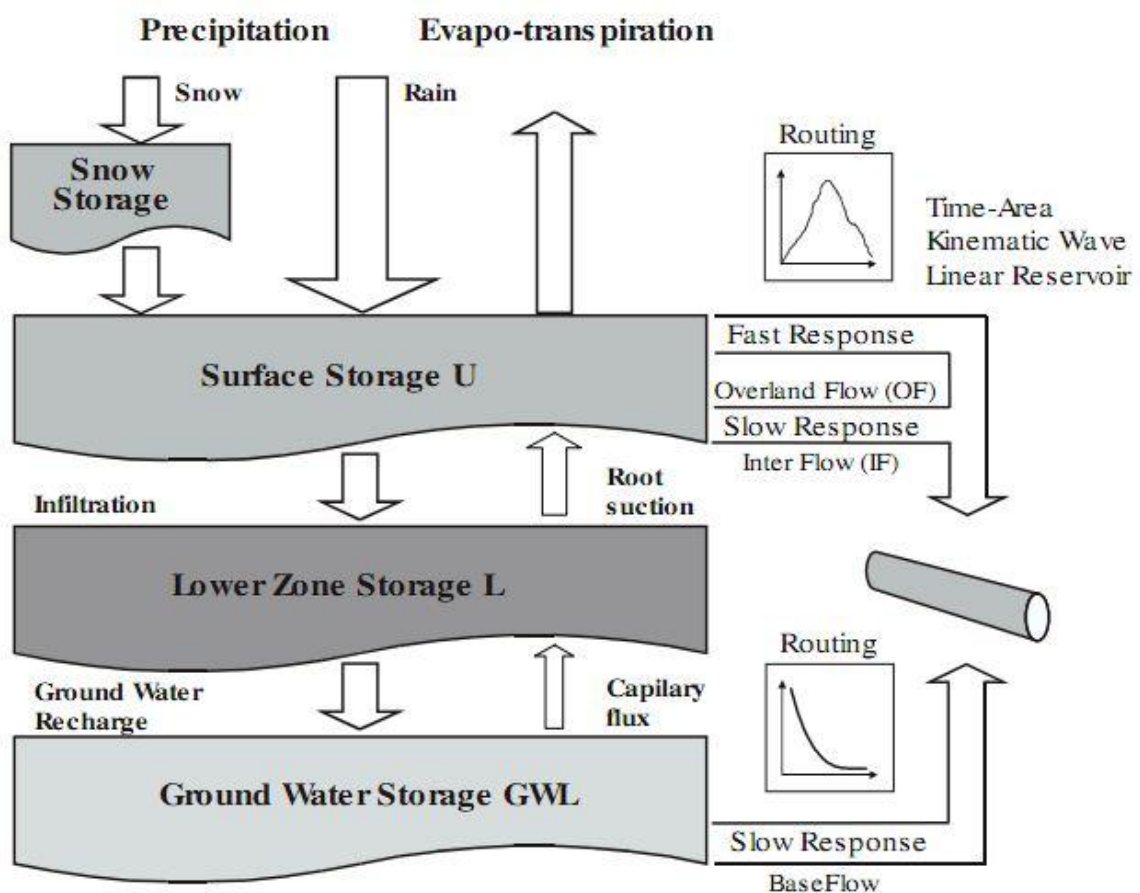
5.7.3.3 MOUSE RDI

Ute i felt etter en nedbørshendelse blir det ofte observert en økning i vannføring i ledningene, som ikke alene kan forklares av avrenning på overflaten. I perioder uten nedbør kan det også registreres vannføring i ledningsnett, som ikke stammer direkte fra nedbør. Dette kommer av at deler av nedbøren infiltrerer eller blir holdt tilbake på andre måter. Det er en treghet i systemet som forsinker vannet frem til avløpsnett. Det hydrologiske systemet i virkeligheten er mer komplisert en bare rask respons i form av avrenning på overflaten og strømning i ledningsnett. De to nevnte situasjonene blir godt beregnet og simulert i MOUSE RUNOFF modulen. For en bedre beskrivelse av det hydrologiske systemet har DHI lagd en modul som tar for seg den trege responsen i systemet. Denne modulen blir kalt MOUSE RDI. RDI modulen beskriver hvordan den trege responsen i det hydrologiske systemet påvirker ledningsnett. Dette kan være i form av lagring av nedbør i form av snø, lagring av nedbør på overflaten og infiltrasjon og lagring av nedbør i både jordsjikt og grunnvann. Modellen deler lagringen av nedbør i fire

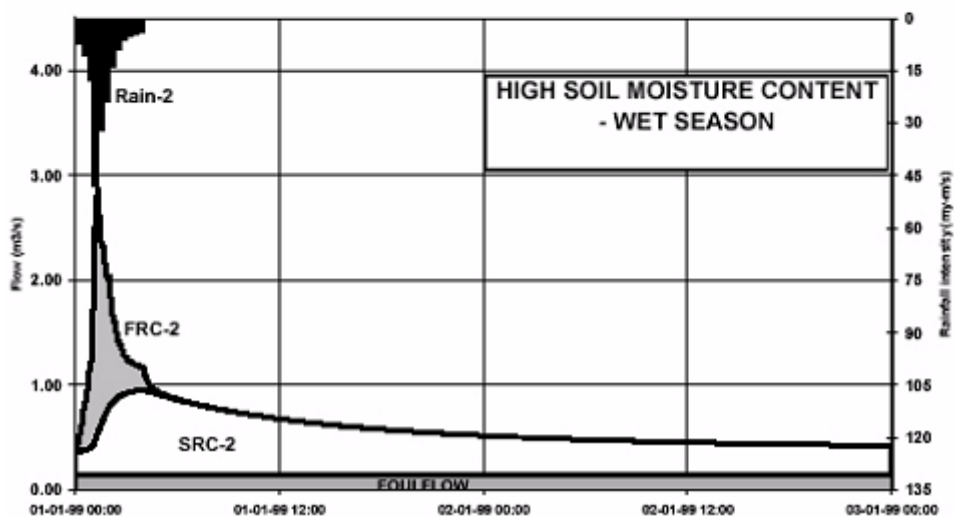
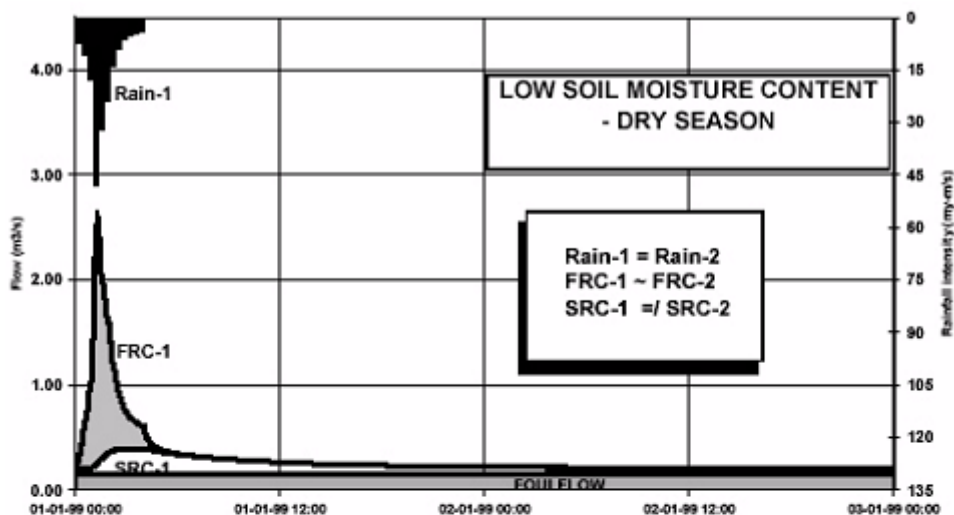
MOUSE-RDI-modulen er spesielt viktig ved kjøring av regnserier og lange regn. RDI-modulen vil da gi et mer virkelighetsnært bilde av det hydrologiske systemet, der det veksler mellom tørrværs- og nedbørsperioder, og påvirkning av treg tilrenning fra grunnvann og snøsmeltning. Figur 28 viser hvordan den trege responsen påvirker volumet i ledningsnett ved tørrvær og tid med mye nedbør. Også maks vannføring blir i noen grad påvirket av den trege responsen.

Ved kjøring av enkeltregn som for eksempel konstruerte regnhyetogram, vil denne modulen være unødvendig. Varigheten til nedbørshendelsen er ikke lang nok til å påvirke grunnvannet og det vil ikke bli kjørt påfølgende regnhendelser som blir påvirket av den trege responsen. Det er kun tid-areal, kinematiskbølge metodene og UHM-metoden som kan kombineres med RDI i Mouse.

RDI-modellen i Mouse er en begrepsmessig modell som delvis er basert på en fysisk og delvis empirisk tolkning av virkeligheten. Figur 27 viser flytskjema over hvordan MOUSE tolker det hydrologiske systemet. Som nevnt over så blir den raske responsen fra overflateavrenning beregnet i MOUSE RUNOFF-modulen. Imens den trege responsen fra systemet blir beregnet i MOUSE RDI-modulen. Basert på metrologiske data beregner RDI modellen alt fra overflateavrenning, grunnvanns nivå, innlekking av grunnvann til ledningsnett og den relative fuktighetsgraden på jordsjiktet. Modellen deler flyten og lagringen av nedbør i fire forskjellige inndelinger, snø-, overflate-, rotsone- og grunnvannslagring.



Figur 27: Flytskjema over hvordan MOUSE tolker fordeling av nedbør. Den raske responsen blir beregnet og simulert med RUNOFF-modulen. Den trege responsen blir beregnet og simulert ved hjelp av RDI-modulen. Nedbøren kan fordeles på fire ulike lagring og transport inndelinger, snøakkumulering og smelting, overflate lagring, rotsone lagring og grunnvannslagring. (DHI 2008a)



Figur 28: Figuren viser hvordan den trege responsen beregnet i RDI-modulen påvirker volumet i ledningssystemet. Den øverste figuren viser resultater for kjøring av et felt ved tørrværsesong. Den nederste figuren viser for en sesong med mye nedbør, og dermed høy relativ fuktighet i jordsjiktet. Venstre akse er vannfluks i m^3/s , høyre akse viser nedbørsintensiteten i mm/s . Begge kjøringene er for samme felt og med samme regn. Som forventet er den raske responsen som beregnes i Mouse-runoff lik for begge kjøringene. Den trege responsen derimot gir forskjellig resultat, på grunn av den relative fuktigheten i feltet som ved kjøring av regnserie vil være treg respons i systemet fra forrige nedbørshendelse. (DHI 2008a)

5.8 Tiltak

I avsnitt 5.1 beskrives situasjonen i Fredrikstad kommune og kommunens plan for å unngå skader på bebyggelse. Som nevnt har kommunen pålagt noen områder å fordrøye takvann på egen tomt for å forbedre situasjonen nedstrøms. Dette er en form for lokal overvannsdiskonering (LOD) som stadig blir mer aktuelt i slike områder. Metoden går ut på å håndtere overvannet lokalt ved infiltrasjon eller avrenning og fordrøying på overflaten. På denne måten kan mengden overvann som tilføres avløpsnettets reduseres og tilrenningstiden frem til avløpsnettets økes. Dette fører til at den maksimale vannføringen i avløpsnettets nedstrøms reduseres. Ved å innføre forskjellige LOD tiltak i de urbane områdene føres det hydrologiske systemet nærmere sitt naturlige hendelsesforløp. Dette gjøres ved å la overvannet finne naturlige vannveier som infiltrasjon i grunnen, lagring på overflaten og overflateavrenning i mer eller mindre naturlige åpne vannveier. Overvannet vil alltid ende opp i resipienten på en eller annen måte. Men ved bruk av LOD vil det ta lengre tid og den maksimale vannføringen vil reduseres, da nedbørsvolumet vil fordeles over lengre tid. LOD tiltak kan også ses på som et estetisk element i bybildet, med åpne vannveier i renner og dammer med og uten konstant vannspeil. Dette tilfører de ellers grå og ensformige urbane områdene mer natur og biologisk mangfold, der dyr og planter får en plass i bybildet. Slike områder åpner også i stor grad til rekreasjon, som igjen fører til at beboerne i området trives.

Hovedvisjonene ved LOD kan oppsummeres til å redusere skader, utnytte overvannet som en ressurs og styrke det biologiske mangfoldet i det urbane bybildet. Feltet får redusert andel bidragende tette flater, vannhastigheten og den direkte avrenningen til avløpsnettets. Se Figur 3.

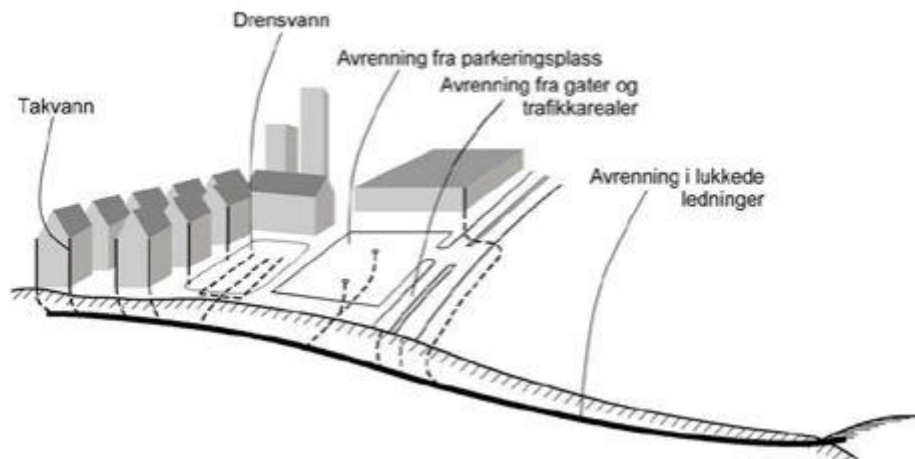
Norsk vann sin rapport 162/2008 "Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering" lister opp positive effekter ved følgende temaer, ved å gjennomføre riktige tiltak mot overvannsproblemer og klimaendringer:

"

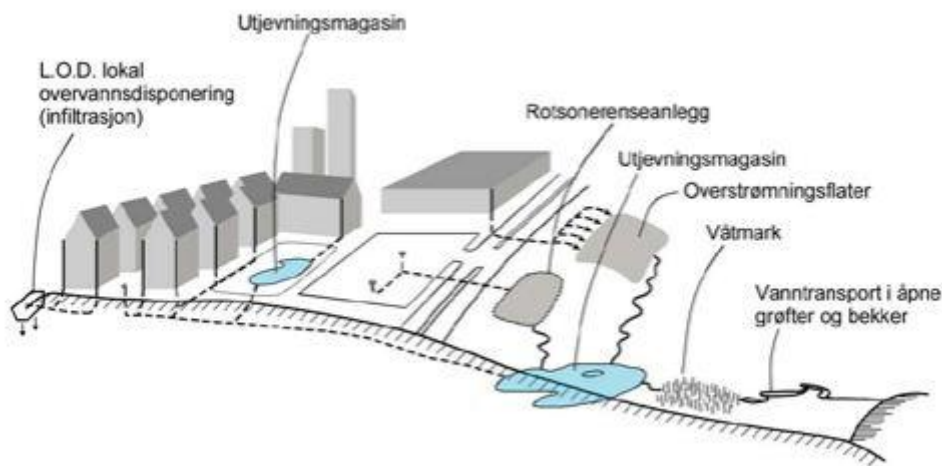
- Trafikkforstyrrelser som påfører forsinkelsestid for nyttetraffic, tog, busser og private bilister
- Skader på veier og gangveier. Erosjonsskader på trafikkarealer og fritids- og rekreasjonsområder
- Eiendommer med vannskader i kjellere eller første etasje
- Sykedager som følge av smitte eller infeksjoner ved kontakt med flomvann eller infisert vannforsyning
- Næringsliv som mister omsetning som følge av vannskader på lokaler eller lagre, eller produksjonstap
- Skader på vann- og avløpsystemets kummer, ledninger, pumpestasjoner og renseanlegg
- Tap, ulemper og skader ved at elektrisiteten kortsluttes eller må stenges av
- Store forurensningsutslipp fra ikke virkende avløpsanlegg, skadede kjemikalietanker og oljetanker, samt fra industriområder
- Arbeidstid som må nedlegges av kommunalt ansatte og private i praktisk arbeid og til administrasjon

"

Konvensjonelt system for overvann



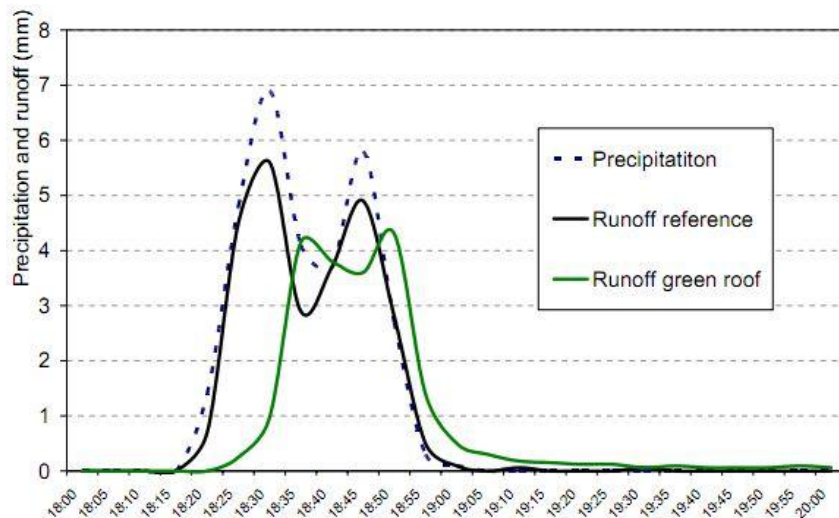
Åpen og lokal håndtering av overvann



Figur 29: Flytskjema til sammenligning av konvensjonelt system for overvann i by, mot by hvor LOD-tiltak har blitt implementert. Ved bruk av LOD kommer vannspeil frem i dagen, noe som fremmer det biologiske mangfoldet og inviterer til rekreasjon i områder rundt. Figuren viser flere metoder for fordrøyning og infiltrasjon av overvann. (Norsk-Vann 2008)

Som vist i Figur 29 er det flere former for LOD-tiltak. De mest aktuelle tiltakene for private boligområder er fordrøyning og infiltrering av eget generert overvann på tomt. Dette kan gjøres som pålagt i deler av Veumdalen ved å føre takvann ut på plen. For enda større effekt kan såkalte regnbed konstrueres. Overvann fra tomten dreneres til regnbedet for ytterligere infiltrasjon og fordrøyning. Bedet kan beplantes med planter som trenger ekstra fuktig jord, og dermed kan floraen i hagen få et tilskudd som før ikke var mulig.

Andre tiltak på egen tomt kan være økt fordrøyning ved bruk av grønne tak og vegger. Denne formen for fordrøyning har vist seg å redusere årsavrenningen med mer en 50 % fra takflater (Lindholm 2010b). Årsavrenningen kan bli litt feil å se på i forbindelse med oppstuvning i ledningsnett, da de fleste skadehendelsene i urbane områder kommer av regn med høy intensitet, og klimaendringene sannsynligvis vil føre til økt gjentakelse av disse. Bent Braskerud har foretatt et forsøk angående effekten av grønne tak i Norge. Han fikk en reduksjon av maksimal avrenning fra grønt tak i forhold til vanlig takflate på 26 % ved et regn med høy intensitet (29mm på 30 minutter). Grønne tak vil også i en viss grad fordrøye den maksimale avrenningen fra takene. Resultater fra forskningen til Bent Braskerud er vist i Figur 30. (Braskerud 2010b)



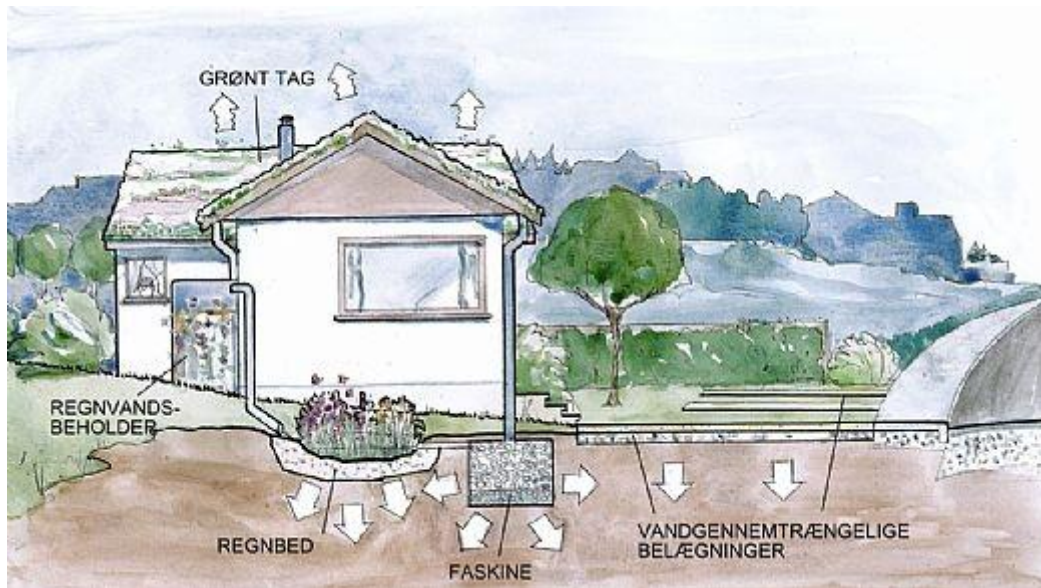
Figur 30: Viser effekten av implementering av grønt tak på garasjeanlegg i Oslo. Den svarte heltrukne linjen viser avrenningsforløpet fra samme takareal uten LOD-tiltaket. Grønn linje viser avrenningsforløpet ved bruk av grønt tak. Den stiplede linjen viser nedbøren under forsøket. (Braskerud 2010a)

Ved situasjoner der det ikke er mulig å føre takvannet ut på tomt kan oppsamling av takvannet i vanntønner gi tilsvarende effekt ved at vannet holdes tilbake og kan brukes til hagevanning ved tørrværsperioder.

Det er også mulig å redusere økt andel tette flater ved å ta i bruk permeable belegg på gårdsplass i stedet for konvensjonelle tette materialer som asfalt og betong dekker.



Figur 31: Viser bruk av permeable belegg som brukes for å fremme infiltrasjon av overvann. (Lindholm 2010b)



Figur 32: Oppsummering av aktuelle private tiltak for fordrøyning og infiltrasjon av overvann. (Haven.dk 2010)

For hus med fare for inntrenging av avløp igjennom sluk i kjeller kan mottiltak som tilbakeslagsventil eller bruk av pumpesystem tas i bruk. Disse vil hindre oppstuvning i å trenge inn i kjelleren. Ved bruk av tilbakeslagsventil kan avløpet kun strømme i en retning. På denne måten kan huseier sikre at avløp ikke trenger inn i kjeller gjennom stikkledning under oppstuvning i det kommunale ledningsnett. Ved bruk av pumpesystem pumpes avløpet fra kjellernivå i boligen opp til marknivået, for derfra å renne med selvfall til det kommunale ledningsnett. Begge de nevnte tiltakene krever inngrep i boligens avløpssystem og er relativt kostbare for boligeier.

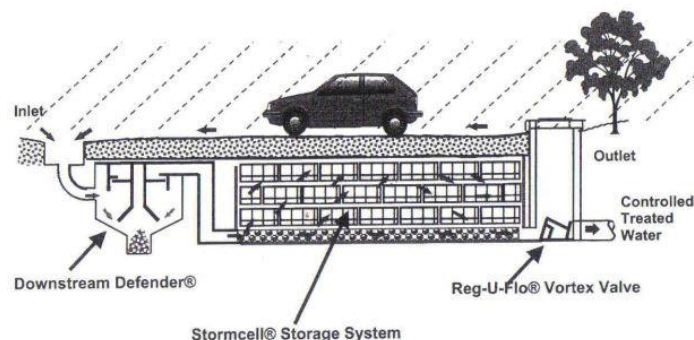
Det finnes også andre LOD tiltak for større arealer og kommunalt. Kommunale arealer som grøfter egner seg godt for LOD tiltak. Ved å lede overvannet til avrenning i naturlige grøfter med permeable masser legges det til rette for infiltrasjon av overvannet. Avrenningen vil også bli betydelig tregere en ved avrenning i ledningsnett. Ved ytterligere tiltak for å forbedre infiltrasjonen, som ved å lage grøfter av steinmasser og pukk kalles dette infiltrasjonsgrøft. I Veumdalen finnes eksempler på det motsatte. I flere boligområder har grøfter blitt asfaltert og vil dermed i stedet for å fordrøye og infiltrere overvann, heller bidra på samme måte som andre tette flater til rask avrenning.



Figur 33: Illustrasjon på forskjellig bruk av veigrøft. Grøft til venstre vil gi fordrøyning og infiltrasjon av overvann. Grøft til høyre er bilde tatt i Oredalsveien i Veumdalen, med asfalterte grøfter på begge sider av veien. En slik løsning vil bidra til rask avrenning og hindre infiltrasjon til grunn. (Lindholm 2010b; Norconsult 2007)

Fordrøyning av overvann i dammer og kanaler med åpne vannspeil har de siste tiårene blitt stadig mer tatt i bruk. Tiltaket gir god fordrøyning av nedbøren ved å holde tilbake vannet. Dammer kan konstrueres med konstant vannspeil eller som et tørrlagt park- eller bruksareal som danner åpent vannspeil ved nedbør. Det åpne vannspeilet tilfører det urbane området estetisk verdi. Merverdien til området øker som følge av at beboerne trives bedre i områder som er mer attraktivt. Områdene rundt tiltaket blir ofte mer aktuelle som rekreasjonsområder samt at det biologiske mangfoldet øker.

Kommunen har også mulighet til å foreta tiltak i forbindelse med ledningsnett. Ved hjelp av mindre endringer i innløpspunktene til det kommunale ledningsnett har kommunen mulighet til å ta i bruk veiarealer og andre egnede plasser til midlertidig fordrøyning av overvannet. Struping og/eller tetting av sluk gjør at vannføringen igjennom sluket reduseres, slik at deler av overvannet holdes tilbake på arealene rundt sluket eller renner videre til neste kum. Tilrenningstiden vil dermed øke. Tiltaket må brukes med omtanke til omgivelsene, da arealet som får oppstuvning må være egnet til å fordrøye overvannet. Veier og arealer med begrenset nytteverdi og trafikk kan brukes. Parkeringsplasser kan også brukes til fordrøyning under overflaten ved å bygge fordrøyningsvolumer av plastkassetter og lignende. Systemer som Stormcell Storage System tar i bruk volumet under parkeringsplasser til fordrøyning. I stedet for fyllmasser anlegges parkeringsplassen over plastkassetter med stort fritt volum til overvannet, som samtidig tåler høyt trykk fra bruken av parkeringsplassen. Plastkassettmagasinet har videre en utløpsordning som sikrer at arealet kun tilfører det kommunale ledningsnett den tillatte mengden overvann.



Figur 34: Illustrasjon på bruk av plastkassetter. Her vist med Stormcell Storage System. (Lindholm 2010b)

Når overvannet først har kommet inn i det kommunale ledningsnett kan fordrøyning tilstrebes ved å anlegge rørmagasiner. Tiltaket kan være aktuelt oppstrøms problemområder og/eller før renseanlegg og pumpestasjoner som sliter med overløpsdrift ved regnhendelser. Som plastkassettene har rørmagasinene utløpsordninger for kontroll på videreført vannmengde.



Figur 35: Figuren viser legging av rørmagasin. (Lindholm 2010b)

Sanering av ledningsnett er også en mulighet. Oppdimensjonering av ledningstrekk og fjerning av flaskehals kan helt eller delvis gjøre at skader på bygg ikke gjentar seg. Utskiftning av kummer med dårlig eller feil utforming har også vist seg å ha god effekt. Falltap i kum under oppstuvingssituasjon kan bli betydelige ved feil utforming. Under oppstuvingssituasjonen vil det dannes intense strømningsretninger i kummer, som kan gi store energitap. Beregning av kumtap er komplisert og avhenger i stor grad av utformingen på kummen og på hvilken måte påslipp er koblet på hovedstrømningsretningen i kummen. Svensk vatten sin veiledning "Dimensionering av allmänna avlopsledningar" tar for seg størrelsesordenen på falltapet som følge av kumtap under oppstuvning. I veiledningen gis grafer og formler for beregning av kumtapet. Svensk vatten mener kumtap burde beregnes for alle lengre ledningsstrekninger, se veiledningen for mer detaljert beskrivelse. Saneringstiltak er i de fleste tilfeller dyre å gjennomføre, men kan være nødvendig for å takle fremtidige klimaendringer og fortetning av nedbørsfeltet. Viktige punkter med tanke på økt maksimal vannføring er problempunkter som flaskehals og andre punkter som fører til oppstuvning i ledningsnett. Dette i tillegg til sanering av ledningsstrekk med dårlig tilstand.

På lang sikt burde det legges opp en plan for bedring av kapasiteten på hele ledningsnett i Veumdalen, som mottiltak for mulige klimaendringer. Ved utskiftning eller legging av nye ledningsstrekk bør det dimensjoneres for en økt avrenning. Overdimensjonering av ledningsdiameter kan sies å gi mye valuta for pengene da det ikke ligger alt for store kostnader i å gå opp en ekstra dimensjon. Det er verdt å merke seg at en dobling av rørdiameter fører til mer enn 6-dobling av kapasiteten (Norsk-Vann 2005). Spesielt for Fredrikstad kommune er det viktig å få oppdatert IVF-kurven som ligger til grunn for dimensjoneringen, da den nåværende kurven bygger på gamle regnhendelser som inneholder få ekstremregn.

6 Metode

Som tidligere beskrevet i avsnitt 5.7.3.1 er modell A den mest nøyaktige modellen ved tilgang til de data som finnes for delfeltene. Videre i denne oppgaven vil derfor modell A bli brukt ved kjøring av samtlige regn.

Da modellen er ferdig kalibrert fra Rosim A/S er det ikke blitt gjort endringer i input-verdiene gitt i modellen. Det har ikke vært brukt tid på å sjekke opp ferdige innlagte data som innbyggertall per delfelt, hovedfeltets og delfeltens horisontale areal, plassering av hus og ledningsnett i feltet samt innlekking av fremmedvann. Vi har heller ikke hatt grunnlag til å endre de gitte hydrologiske og spesifikke parameterne i modellen nevnt i avsnitt 5.7.3.1. Disse er som følger:

Andel tette flater varierer mellom hvert delfelt med hensyn på vei- og takarealer.

Initialtapet har en gitt verdi på 0,6 mm.

Hydrologisk tap er satt til 90 % for de bidragende tette flatene.

Tid-areal kurven er gitt som ferdigdefinert kurve 1. Den ser på delfeltene som rektangulære.

Tilrenningstiden for delfeltene er gitt i modellen til å være 7 minutter.

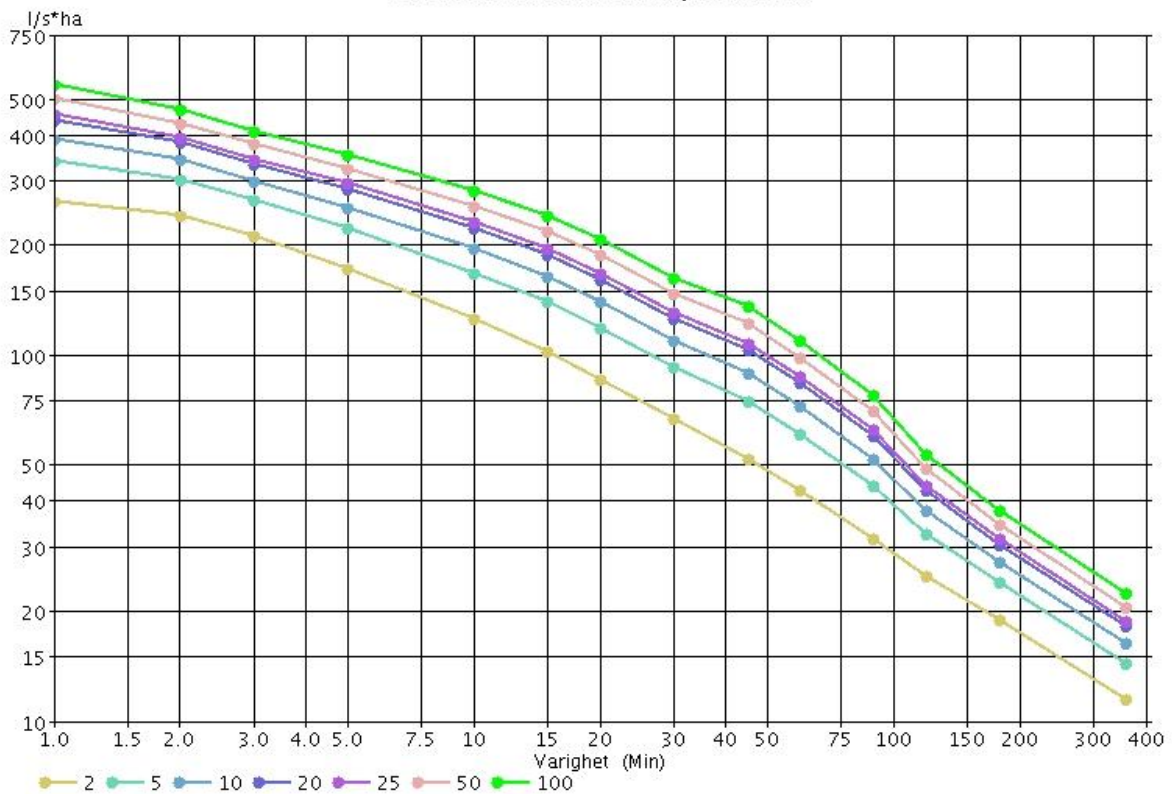
Senere i oppgaven vil det bli gjort en analyse av modellens følsomhet av de mest utslagsgivende parameterne.

6.1 Kapasitetsanalyse av ledningsnett med tanke på klimaendringer

Ved å kjøre konstruerte enkeltregn med forskjellige gjentakintervall tilsvarende dagens regn, og ved å legge på ulike klimafaktorer til disse kan modellen brukes til å se på feltets kapasitet. I denne oppgaven er det valgt å simulere for 10-, 20- og 50-års regn, med økende grad av klimatillegg på henholdsvis 10, 20, 30, 40 og 50 %. På denne måten er det mulig å få en oversikt over hvilke deler av feltet som har kapasitetsproblemer og når disse inntreffer. Ved å legge på ulike klimafaktorer er det mulig å se hvordan feltet reagerer på fremtidige grader av klimaendringer. Som nevnt i avsnitt 5.4 er det stor usikkerhet knyttet til endringer i klimaet. Ved å ta med klimafaktorer fra 10-50 % for regn med de forskjellige gjentakintervallene, kan resultatene sammen med klimarapporter brukes til å se på mulige fremtidige situasjoner i ledningsnett.

Enkeltregn er konstruert ut i fra IVF-kurver som er hentet fra meteorologisk institutt sin tjeneste eKlima. Dataene er basert på virkelige regnhendelser i Fredrikstad kommune i perioden 1970-1995. Det har ikke vært mulig å få tak i nyere data for dette området, hverken fra eKlima eller fra kommunen. Dette fører til at datagrunnlaget for de konstruerte regnhendelsene i denne oppgaven er underestimert. I perioden 1970-1995 var det få store regnhendelser i Fredrikstad området, og bortimot ingen problemer med kjelleroversvømmelser i Veumdalen. Dette gjør at IVF-kurvene ligger alt for lavt og dermed at regnene konstruert ut fra disse kurvene blir underestimerte.

3030 FREDRIKSTAD Returperiode (år)



Figur 36: Figuren viser IVF-kurven for Fredrikstad kommune med datagrunnlag fra 1970-1995. Kurvene representerer regn med forskjellige gjentakintervall/frekvens med hensyn på regnets intensitet og varighet. (eKlima 2011)

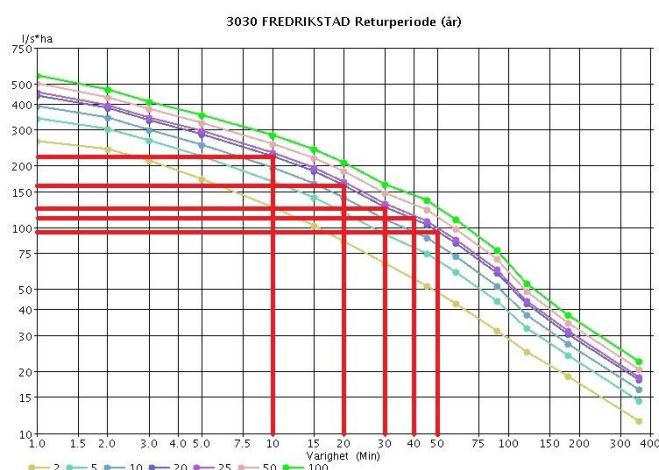
For å kunne konstruere et enkeltregn må regnets varighet bestemmes. Denne varigheten er viktig for å se på oppstuvning i alle deler av feltet. Ved for kort varighet vil ikke delfeltene lengst vekk fra målepunktet rekke å bidra til avrenning før regnet er ferdig. Derfor må varigheten på det konstruerte regnet være lik eller større enn konsentrasjonstiden til feltet. Konsentrasjonstiden til feltet er den tiden det tar for en regndråpe som faller i det fjerneste punktet i feltet å komme frem til det punktet hvor vannmengde skal beregnes. Denne verdien har blitt beregnet ved å se på tiden dråpen bruker på både overflaten frem til innløpet til ledningsnett, og tiden igjennom ledningsnett frem til utløpet av nedbørsfeltet. Tiden avløpet bruker i ledningsnett er beregnet ved å bruke måleverktøy i modellen til å måle den lengste veien avløpet må strømme, altså fra delfeltet lengst vekk fra utløpet og frem til utløpet av modellen. Videre er det gått ut ifra en avløpshastighet på 1,5 m/s i ledningsnett. Den målte lengden ble på 5800m og dermed blir tiden avløpet bruker i ledningsnett 64 minutter, ved bruk av formelen $v = \frac{s}{t}$. Videre er tilrenningstiden på hvert delfelt satt til standardinnstillingen i modellen, som er 7 minutter. Dette er tiden en regndråpe bruker fra ytterste del av delfeltet og frem til innløpet til ledningsnett. Bestemmelse av denne verdien er vanskelig, og avhenger av helning på bakken, type avrenningsforhold og tilbakeholdelse på overflaten. Feltet som ligger til grunn i denne oppgaven er delt inn i mange delfelt, der størrelsen på disse varierer mellom 0,1 ha og opp til 58,9 ha. Det er opplagt at disse delfeltene vil ha veldig ulike tilrenningstider. De største delfeltene ligger øverst i feltet og vil ha liten påvirkning på de resterende delfeltene nedover i feltet da overvannet blir ført til Veumbekken. De resterende delfeltene ligger i områder med større grad av bebyggelse og har mindre areal per delfelt. Disse har et gjennomsnittlig areal på 1,06 ha, som gjør at en tilrenningstid på 7 minutter burde holde. Denne parameteren vil bli sett nærmere på i avsnitt om parameterfølsomhet (6.8). Konsentrasjonstiden

til feltet vil ut fra dette bli 71 minutter. Det er vanlig å bruke en konsentrasjonstid på 60 minutter i slike beregninger, med da vi har et ganske langstrakt felt mener vi det er riktig å øke dette noe. Som tidligere nevnt er det veldig lite bebyggelse i de øvre delene av feltet og overvannet fra disse feltene blir ført til Veumbekken da området har separatsystem. Det regnet som da faller i de øvre feltene vil derfor ha veldig liten påvirkning på kapasiteten til nettet i de nedre delfeltene. Avløpet fra de øvre feltene vil ikke bidra i noe særlig grad da det er relativt lite bebyggelse i området. På bakgrunn av dette er det valgt en konsentrasjonstid på 70 minutter.

Ved å bruke konsentrasjonstiden for feltet i Figur 36 for de utvalgte gjentakintervallene fås et kasseregner med konstant regnintensitet. Et slikt regn vil sjelden gjenspeile en virkelig regnhendelse. Et virkelig regn vil ha et hendelsesforløp med variasjon i regnintensitet, ofte med et forregn med økende intensitet, så et hovedregn og deretter et etterregn. Derfor kan det være mer hensiktsmessig å konstruere et symmetrisk regnhyetogram ut fra IVF-kurven. Et symmetrisk regnhyetogram vil ha samme varighet og mengde nedbør, men vil ha et hendelsesforløp mer likt et virkelig regn. Et symmetrisk regnhyetogram fordeler nedbørsvolumet på et forregn og etterregn med middels intensitet og et hovedregn med spissintensitet. Spissintensiteten vil være dimensjonerende for de øvre delfeltene, der kapasiteten i ledningsnett er mindre på grunn av mindre ledningsdimensjoner. Det symmetriske regnhyetogrammet vil også inneholde dimensjonerende situasjon for de nedre delene av feltet, da lengden på regnet har lang nok varighet til at alle delene bidrar til avrenning til det nederste punktet.

6.2 Metode for konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram

I dette avsnittet er metoden for konstruksjon av et symmetrisk regnhyetogram forklart. Metoden er bare vist for et regn med 20 års gjentakintervall, men er lik for de resterende regnene som er konstruert og brukt i oppgaven. Det er vanlig å bruke beregningssteg på 5 minutter da mindre tidssteg gir høy spissintensitet.



Figur 37: Viser en illustrasjon på avlesning fra IVF-kurve. De røde strekene viser til avlesningene som har blitt gjort fra IVF-kurven i denne oppgaven.

Tabell 2 viser verdier hentet fra datagrunnlaget (se vedlegg 4) for IVF-kurven for et regn med 20 års gjentaksintervall. Dette gir grunnlag for utregning av intensitetene mellom beregningsstegene (Tabell 3). Intensiteten hentet fra 40, 50 og 70 min er ikke hentet fra datagrunnlaget da disse ikke er oppgitt. I stedet lagde vi en graf over intensitetene for 20-års regnet og la til en trendlinje slik at vi fikk en formel for kurven. Trendlinjen passet godt overens med den virkelige kurven. Deretter satt vi inn for henholdsvis 40, 50 og 70 minutters regn inn i formelen og fikk ut regnintensitetene for de respektive regnene. Videre tok vi forholdstallene mellom 40 og 30, 50 og 40 og for 70 og 60 og brukte de videre for 10- og 50-års regnet, i tillegg til å sammenligne med graf for kvalitetssjekking.

Tabell 2: Viser regnintensiteten til de ulike regnvarighetene som er hentet ut i fra datagrunnlaget til IVF-kurven. Disse dataene er hentet direkte fra eKlima.

Regnvarighet (min)	Intensitet (l/s ha)
10	221
20	160,3
30	125,3
40	106,2
50	94
60	83,6
70	75

For å finne intensitetene for de ulike beregningsstegene brukes følgende formler:

$$I_{10} = 221 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{20} - I_{10} = \frac{(160,3 * 20) - (221 * 10)}{10} = 99,6 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{(125,3 * 30) - (160,3 * 20)}{10} = 55,3 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{40} - I_{30} = \frac{(106,2 * 40) - (125,3 * 30)}{10} = 48,9 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{(94 * 50) - (106,2 * 40)}{10} = 45,2 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{60} - I_{50} = \frac{(83,6 * 60) - (94 * 50)}{10} = 31,6 \frac{l}{s * ha}$$

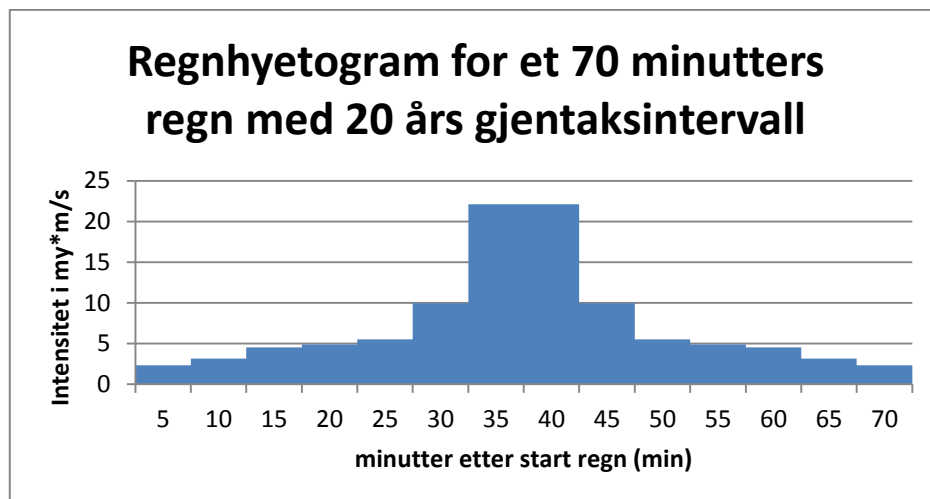
$$I_{70} - I_{60} = \frac{(75 * 70) - (83,6 * 60)}{10} = 23,4 \frac{l}{s * ha}$$

Dette gir fordelingen av intensitetene gjennom det konstruerte regnet. De blir fordelt på hver sin side av midtaksen som vist i tabellen nedenfor. Merk toppintensiteten har en varighet på to ganger beregningssteget.

Tabell 3: Viser datagrunnlaget for regnhyetogrammet som er vist i Figur 38.

Tid etter start regn (min)	Intensitet (l/s*ha)
0-5	23,4
5-10	31,6
10-15	45,2
15-20	48,9
20-25	55,3
25-30	99,6
30-35	221
35-40	221
40-45	99,6
45-50	55,3
50-55	48,9
55-60	45,2
60-65	31,6
65-70	23,4

Grafisk fremstilling av det konstruerte regnhyetogrammet blir som følger:

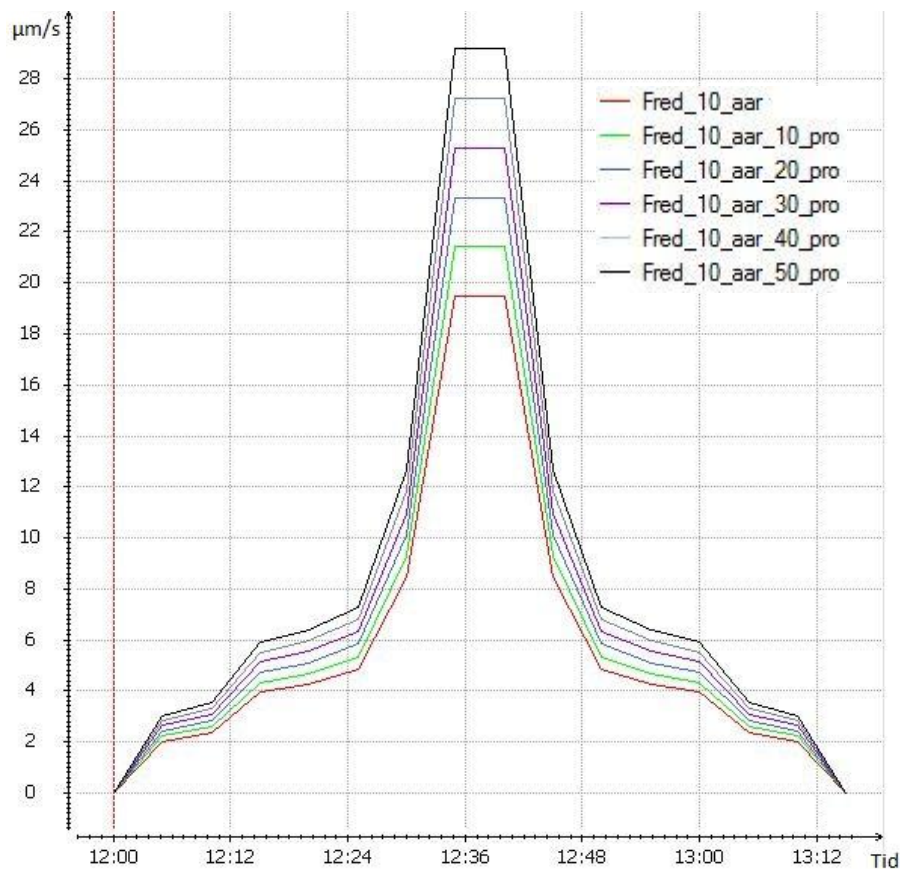


Figur 38: Figuren viser hvordan det konstruerte regnhyetogrammet for et 70 minutters regn med 20 års gjentaksintervall vil se ut for Fredrikstad kommune. Grunnlaget for grafen er hentet fra IVF-kurvene for Fredrikstad for perioden 1970-1995.

Ved å bruke denne fremgangsmåten også for regn med 10 og 50 års gjentaksintervall, samt tilhørende klimafaktorer har input til modellen blitt produsert. Merk at i de påfølgende tabeller og grafer er regnintensiteten omregnet fra $l/s * ha$ til $\mu m/s$, da modellen krever denne formen på input. Omformingen kan enkelt gjøres, da $1 \mu m/s = 10 l/s * ha$. Input til modellen blir som følger:

Tabell 4: Tabellen viser en oversikt over datagrunnlaget for de ulike regnhyetogrammene for et regn med 10-års gjentaksintervall og for forskjellige klimafaktorer.

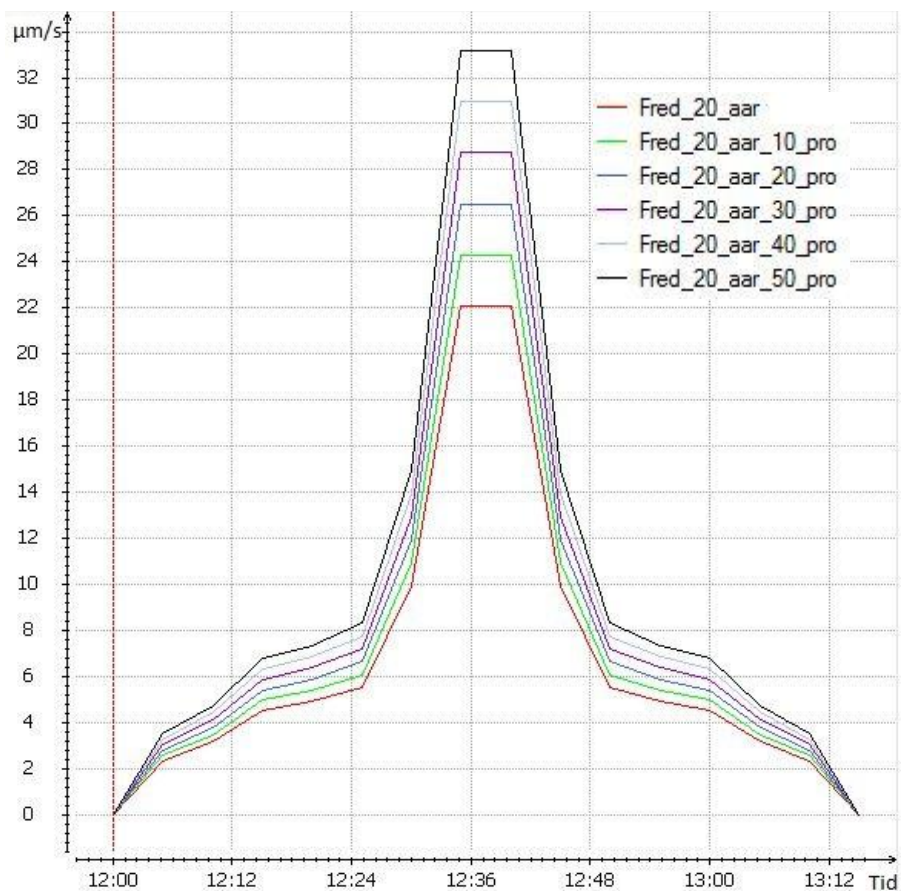
Tid etter start regn i minutter	Regnintensitet for et regn med 10 års gjentaksintervall ($\mu\text{m/s}$)					
	Klimafaktor (%)					
	-	10	20	30	40	50
0-5	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
5-10	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5
10-15	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	5,9
15-20	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,4
20-25	4,9	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3
25-30	8,4	9,3	10,1	11,0	11,8	12,7
30-35	19,5	21,4	23,4	25,3	27,2	29,2
35-40	19,5	21,4	23,4	25,3	27,2	29,2
40-45	8,4	9,3	10,1	11,0	11,8	12,7
45-50	4,9	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3
50-55	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,4
55-60	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	5,9
60-65	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5
65-70	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0



Figur 39: Figuren viser regnhyetogram for regn med 10 års gjentaksintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.

Tabell 5: Tabellen viser en oversikt over datagrunnlaget for de ulike regnhyetogrammene for et regn med 20-års gjentaksintervall og for forskjellige klimafaktorer.

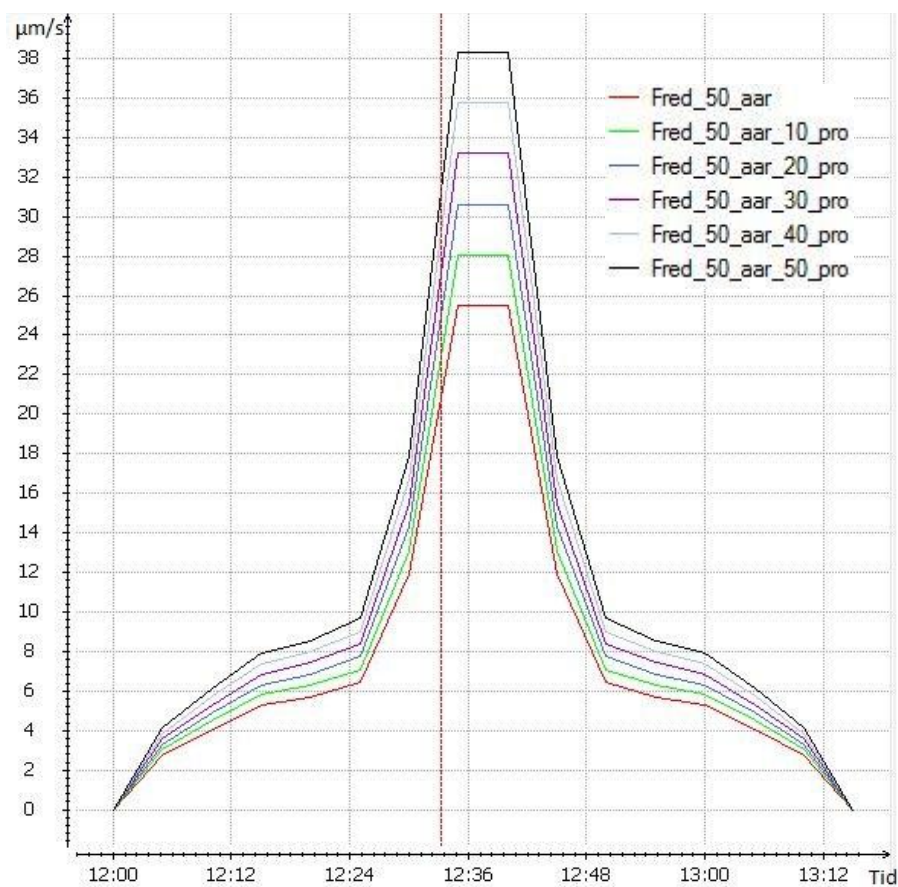
Tid etter start regn i minutter	Regnintensitet for et regn med 20 års gjentaksintervall ($\mu\text{m/s}$)					
	Klimafaktor (%)					
	-	10	20	30	40	50
0-5	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5
5-10	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7
10-15	4,5	5,0	5,4	5,9	6,3	6,8
15-20	4,9	5,4	5,9	6,4	6,8	7,3
20-25	5,5	6,1	6,6	7,2	7,7	8,3
25-30	10,0	11,0	12,0	12,9	13,9	14,9
30-35	22,1	24,3	26,5	28,7	30,9	33,2
35-40	22,1	24,3	26,5	28,7	30,9	33,2
40-45	10,0	11,0	12,0	12,9	13,9	14,9
45-50	5,5	6,1	6,6	7,2	7,7	8,3
50-55	4,9	5,4	5,9	6,4	6,8	7,3
55-60	4,5	5,0	5,4	5,9	6,3	6,8
60-65	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7
65-70	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5



Figur 40: Figuren viser regnhyetogram for regn med 20 års gjentaksintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.

Tabell 6: Tabellen viser en oversikt over datagrunnlaget for de ulike regnhyetogrammene for et regn med 50-års gjentaksintervall og for forskjellige klimafaktorer

Tid etter start regn i minutter	Regnintensitet for et regn med 50 års gjentaksintervall ($\mu\text{m/s}$)					
	Klimafaktor (%)					
	0	10	20	30	40	50
0-5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1
5-10	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2
10-15	5,3	5,8	6,3	6,9	7,4	7,9
15-20	5,7	6,3	6,9	7,4	8,0	8,6
20-25	6,5	7,1	7,7	8,4	9,0	9,7
25-30	11,9	13,1	14,3	15,5	16,7	17,9
30-35	25,5	28,1	30,6	33,2	35,7	38,3
35-40	25,5	28,1	30,6	33,2	35,7	38,3
40-45	11,9	13,1	14,3	15,5	16,7	17,9
45-50	6,5	7,1	7,7	8,4	9,0	9,7
50-55	5,7	6,3	6,9	7,4	8,0	8,6
55-60	5,3	5,8	6,3	6,9	7,4	7,9
60-65	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2
65-70	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1



Figur 41: Figuren viser regnhyetogram for regn med 50 års gjentaksintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.

6.3 Kjøring av regn

Resultatene vi fikk i avsnitt 2.1 ble lagt inn i modellen som enkeltregn. Måten dette ble gjort på var først å trykke på “add time series boundary” under fanen “computation toolbar”. Deretter trykker man en vilkårlig plass i grafikkvinduet og importerer filen. Det er viktig å krysse av for riktig type regn, i vårt tilfelle eKlima format, i tillegg til å fylle inn “name” på serien og “type”. Lukk fanen etter at dette er gjort, og sjekk at det nå er kommet en dråpe i grafikkvinduet.

Etter at dette er gjort trykk “Time series (boundary condition)” som ligger under “computation toolbar”. Til høyre for “item name” trykk på symbolet merket “+”, og skriv inn navnet på det som skal legges inn, f. eks. regn, i vinduet som kommer opp og deretter trykk “ok”. Trykk så på knappen under “+” symbolet merket med en dråpe og pil, og merk vanndråpen som ble laget under “add time series boundary”. Trykk deretter “ok”, og hele “Time series (boundary condition)” lukkes.

Trykk videre på “runoff simulation” som også står i “computation toolbar”. Der velges det et navn på regnserien, gjerne det samme navnet som ble valgt under “computation toolbar”. Når enkeltregn kjøres velges “T-A Curve” under rullgardinen “type”. Trykk “start”, og simulasjonen er i gang.

Når kjøringen er ferdig er det over til “network simulation”. Denne ligger også under “computation toolbar”. Igjen må et navn velges, og igjen anbefales det å bruke det samme navnet som er brukt tidligere. Videre velges antall minuttsteg som programmet skal bruke på hver beregning. Jo lavere minuttsteg, jo mer presis blir beregningene. Etter samråd med Geir Lindholm er denne satt til 3 minutter. Videre velges den “default runoff” som har blitt kjørt for den aktuelle kjøringen. Sjekk at “CRD file” er huket av før kjøringen blir satt i gang. Når kjøringen er unnagjort velges “yes” dersom resultatene skal implementeres i modellen.

Hele denne prosedyren må gjenskapes for hvert enkelt regn som skal kjøres. Totalt er det kjørt 24 ulike regn i denne analysen; 20 konstruerte samt 4 historiske ekstremregn. Etter at samtlige kjøringer er gjort, trykk på “Result manager” i “ROSIE results”. Der finnes oversikten over samtlige kjøringer, i tillegg til at det er haket av for hvilken kjøring som er gjeldende i modellen nå. Dersom man vil se på resultatene for et annet regn må man først trykke på “edit session”-knappen som ligger på “ROSIE project management”-fanen. Deretter krysser man av for den kjøringen man har lyst til å hente resultater fra, og venter mens resultatene blir oppdatert. Deretter krysses det av på “edit session” igjen og krysser av for “yes” for å lagre endringene.

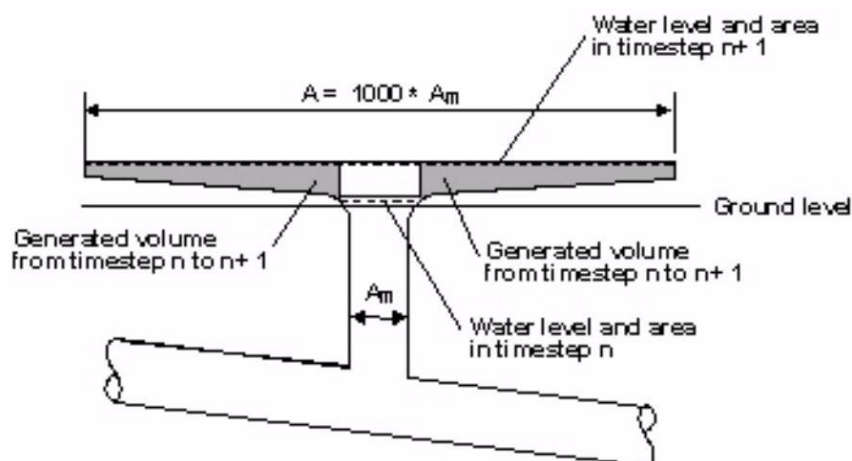
Ved å trykke på “result curves”-knappen kommer det opp et nytt vindu. Ved å høyreklikke i dette vinduet kan man legge inn de konstruerte regnene og få opp en grafisk visning av hvordan de ser ut. Dette ble gjort for å vise de ulike regnhyetogrammene vist i figur 39, 40 og 41 med tillegg for klimaendringer.

6.4 Oppstuvinger i kum

Ved å trykke på "result layer manager" importeres resultater fra den valgte kjøringen. Her kan det velges mellom flere muligheter, men for å se på oppstuvinger i kum velges "Manhole: overflow level". Kummene på kartet blir da merket med ulike fargekoder for å beskrive høyden på oppstuvingen. Ved å gå inn i "Display"-vinduet og høyreklikke på "manhole: overflow level" og deretter trykke på "open attribute level" kommer det opp en oversikt over samtlige kummer i systemet med oversikt over blant annet oppstuvning i forhold til topp rør, samt oppstuvning i forhold til bakkenivå. Disse resultatene ble eksportert til Excel ved å trykke på "options" og deretter "export" i "attributes of manhole: overflow level"-vinduet.

I Excel brukte vi en seleksjonsformel som summerte antall kummer med en oppstuvning over 75 cm. I henhold til NORVARs veiledning for overvann (Norsk-Vann 2008) bør det minimum være 90 cm høyde mellom sluk i kjellergulv og topp av felles avløpsrør i tilknytningspunktet. Dette har vært gjeldende fra 1980 og frem til i dag, men tidligere år fra 1909 og fremover til 1980 har det vært andre standarder som gjelder. Blant annet på 70-tallet var det regnet som tilstrekkelig med 50 cm høyde. Resultatene viser derfor antall kummer med oppstuvninger over 75 cm da det er en del eldre bebyggelse i området som kanskje ikke har oppfylt dagens krav, samtidig som ikke alle husstander har søkt om lov til å innrede kjelleren sin som nevnt i rettsaken i kommunen (se avsnitt 4). I tillegg har ikke modelleringsprogrammet mulighet til å endre de grafiske intervallene på oppstuvning, slik at det ikke ville blitt samsvar mellom tabeller og grafisk fremstilling.

I ROSIE er det tre måter for modellen å simulere oppstuvning i kum. Denne innstillingen kan ha stor påvirkning på resultatene fra kjøring av modellen. I modellen er det mulig å velge mellom innstillingen "normal", "sealed" og "spilling". Med innstillingen "normal" vil oppstuvningen over topp kum først fordeles i et stigerør med lik diameter som kummen opp til en høyde på 1 meter. Hvis oppstuvningen går over denne høyden vil avløpet lagres og fordeles på et område tusen ganger arealet av kummen (Figur 42). Høyden på oppstuvningen gitt i resultatet fra programmet er høyden til avløpet til det kunstige bassengvolumet (skravert område). Vannet som lagres i dette bassenget vil renne tilbake til ledningssystemet dersom oppstuvningen i kummen avtar.



Figur 42: Figuren viser hvordan programmet tolker oppstuvninger i rør under innstillingen "normal". Her vil oppstuvningen samles i et gitt areal på overflaten. (DHI 2009)

Med innstillingen “spilling” vil all oppstuvning over kummens topp forsvinne helt ut av systemet. Dette er en stor forenkling av virkeligheten og ikke veldig realistisk. Allikevel vil “spilling” benyttes første del av oppgaven for en sammenligning opp mot innstillingen “normal”. Ved bruk av “sealed” vil vannivået stige til bakkenivå. Oppstuvning over bakkenivå er ikke mulig, og det vil dannes trykk som kan forplante seg videre i systemet. Denne innstillingen er ikke realistisk, og vil ikke bli brukt videre i oppgaven.

Resultater er vist i Tabell 7.

6.5 Trykknivå i ledning

Ved å trykke på “result layer manager” og videre på “pipe max overflow” vil ledningene blir merket med ulike farger avhengig av trykkehøyden i ledningene. Datasettet med resultater fra kjøringen av modellen som ligger til grunn for den grafiske visningen kan hentes ved å gå inn i “Display”- vinduet og høyreklikke på “pipe: overflow” og deretter trykke på “open attribute level”. Her kommer det opp en oversikt over samtlige ledninger i systemet med oversikt over all data for de gitte ledningene. Tabellen ble videre eksportert til Excel for bearbeiding. Ved hjelp av en seleksjonsformel summeres enkelt antall meter ledning med trykkehøyde over 75 cm.

Det er mulig å se på oppstuvninger i kummer, samt trykkehøyde i ledningsstrek i problemområder på en illustrativ måte. Velg “Manhole layer” i rullgardinen på “ROSIE selection”-fanen og deretter trykk på “Selecting Using Step Route”. Zoom deretter inn på det aktuelle området og merk kummen i starten av ledningsstrekket du vil se nærmere på. Deretter trykker du på neste kum på ledningsstrekket. Nå vil også ledningsstrekket mellom kummene være markert. Ved å trykke videre på neste kum vil ledningsstrekket også bli merket. Det er mulig å velge så lange ledningsstrek man vil så lenge de er sammenhengende. Når strekket er merket ferdig trykker man så på “show longitudinal profile by selection” under “ROSIE Longitudinal Profile”-fanen. Da kommer det opp et nytt grafikk-vindu som viser det merkede området, med ledninger og tilhørende kummer. Ved å åpne “ROSIE Time Management”-fanen kan man trykke trekant-symbolet merket “play” og se utviklingen i oppstuvningen gjennom regnserien.

Disse resultatene ble også brukt for å telle opp antall hus som stod i fare for å få kjelleroversvømmelse. Måten dette ble gjort på var at det ble valgt ut delfelt med bebyggelse og problemer med oppstuvning. Deretter ble det manuelt telt opp antall hus som kunne være i tilknytning til ledningene med oppstuvning over 75 cm. Det finnes ingen shape-fil med informasjon i modellen om høyden på kjellere, husenes beliggenhet i terrenget eller hvor stikkledningene går. Dette fører til en ekstra usikkerhet med tanke på valgte hus som kan oppleve kjelleroversvømmelser, og det bør derfor bemerkes at det er et grovt estimat.

6.6 Fyllingsgrad i ledningsnettet ved 10 års regn

Ved å trykke på “result layer manager” og videre på “pipe max filling degree” vil ledningene blir merket med ulike farger avhengig av fyllingsgraden i ledningene. Datasettet med resultater fra kjøringen av modellen som ligger til grunn for den grafiske visningen kan hentes ved å gå inn i “Display”- vinduet og høyreklikke på “pipe: filling degree” og deretter trykke på “open attribute level”. Her kommer det opp en oversikt over samtlige ledninger i systemet med oversikt over all data for de gitte ledningene. Tabellen ble videre eksportert til Excel for bearbeiding. Ved hjelp av en seleksjonsformel summeres enkelt antall meter ledning med fyllingsgrad over 100 %.

6.7 Overløpsberegninger

For beregning av overløpsutslipp fra overløpene i modellen trykk først på “result layers” og sjekk at “Weir discharge volume” er valgt i “ROSIE results”. Ved å trykke på “show results statistics” og deretter merke det aktuelle overløpet kommer resultatene fra alle kjøringene opp i tabellform. Resultatene viser da det totale volumet av overløpet for de kjørte hendelsene. Disse resultatene ble videre eksportert til Excel.

For å få en oversikt over overløpshydrografene velges “weir flow” i stedet for “weir discharge volume” i “ROSIE results”. Trykk deretter på “time series viewer” i den samme fanen, og merk overløpet. Da kommer det opp en grafisk fremstilling av vannføringen ut av overløpet for den aktuelle kjøringen. Totalt er det 4 overløp i modellen vår, så dette må gjøres i flere omganger. Dersom resultater for andre kjøringene også vil bli brukt, må de først bli hentet som beskrevet under kjøring av regn.

6.8 Følsomhetsanalyse av parametere i modellen

For å se på påvirkningen av de forskjellige parameterne og hvilke parametere som påvirker resultatene i størst grad foretas en følsomhetsanalyse. Følsomhetsanalysen gir en analyse av modellens respons til endringer i inngangsdataene i modellen. Ut fra Oddvar Lindholm (Lindholm 2011) er det parameterne andel bidragende tette flater og delfeltens tilrenningstid som har størst påvirkning ved bruk av beregningsmotoren MOUSE. Overflatemagasinerings og riktig tid areal kurve påvirker også resultatene i en viss grad.

Andel bidragende tette flater er ofte overdrevet da kommuner bruker flyfoto og lignende til å beregne dette. I flere rapporter (Lindholm 2011) er det vist at andelen kan være så liten som 70 % av det kommunen beregner med i modeller. På en annen side så kan denne parameteren øke, da deler av feltet blir utbygd (urbanisering), folk asfalterer oppkjørslser og lignende. I modellen er de tette flatene delt inn i tak- og veiarealer. Delfeltens andel tette flater av henholdsvis tak- og veiarealer er gitt i modellens shape-fil. Videre er det satt en sats på hvor mange prosent av disse tette flatene som bidrar til avrenning. I modellen er disse opprinnelig satt til 30 % for tak og 40 % for vei arealene. For å se på påvirkningen av parameteren andel bidragende tette flater endres disse prosentverdiene. Se Figur 95 for resultater.

Tilrenningstiden for alle delfeltene er opprinnelig satt i modellen til å være 7 minutter. Dette er en grov antagelse, og avhenger i stor grad av delfeltets areal, utforming, beliggenhet til innløp, topografi og type grunn. Delfeltene i Veumdalen er generelt små, i hvert fall for delfeltene i de tettbebygde områdene med fellessystem. For de øvrige feltene som først og fremst befinner seg i de nordlige delene av Veumdalen er arealene større. Disse feltene vil ikke ha stor påvirkning på de nedre delene av feltet da overvannet tidlig avlastes til Veumbekken. Videre kan diverse LOD tiltak i feltet bidra til å øke tilrenningstiden, ved at nedbør fordrøyes i delfeltene. Dette fører til at nedbørvolumet som gir overflateavrenning fordeles over lengere tid og dermed vil den maksimale vannføringen minke. For å se på hvordan påvirkning tilrenningstiden har på modellen foretas kjøring der tilrenningstiden økes og reduseres. Se Figur 95 for resultater.

Overflatemagasinerings må også angis i modellen. Opprinnelig er denne satt til å være på 0,6 mm oppstuvning før avrenningen begynner. Det ville krevd grundige feltundersøkelser for å bestemme overflatemagasinerings for hvert enkelt delfelt. Ifølge Oddvar Lindholm (Lindholm 2011) har parameteren ikke veldig stor påvirkning.

En annen viktig parameter når man bruker modell A i Mouse er tid/areal kurven. Denne beskriver formen til delfeltene, se avsnitt 5.7.3.1 for grundigere gjennomgang. Som nevnt tidligere skal denne parameteren ha mindre påvirkning på resultatene i modellen. Ved konsultasjon med Geir Lindholm hos ROSIE kom vi frem til at dette hadde lite å si for vår modell da delfeltene er små og stort sett ganske rektangulære.

Ved følsomhetsanalyse er det tilstrekkelig å bruke enkeltregn for å se på påvirkningsgraden til de forskjellige parameterne i modellen. Viktig da er at dette regnet både inneholder de korte regnene med høy intensitet som vil gi oppstuvning i de øvre delene av ledningsnett, og regn med varighet over feltets konsentrasjonstid som kan gi oppstuvning i de nedre delene av ledningsnett. Dette avhenger av hvilket punkt i ledningsnett det gjøres følsomhetsanalyse på.

For å etterprøve parameterfølsomheten til tilrenningstiden ble det tatt utgangspunkt i en tilrenningstid på 7 minutter. Som tidligere nevnt er dette en standard-verdi som ofte blir brukt av konsulentselskaper. Videre ble det valgt ut andre tilrenningstider fra 1 minutt og opp til 15 minutter, og gjort nye simuleringer med disse input-verdiene. For hver kjøring ble det samme ledningsstrekket valgt ut, der det ble sett på maksimal vannføring. Det er videre beregnet den prosentvise endringen, enten positiv eller negativ, fra utgangspunkt-verdien på 7 minutter med hensyn på vannføringen. Resultatene av dette arbeidet endte opp i en grafisk fremstilling, gitt i Figur 95.

For testing av parameteren bidragende tette flater ble den samme metoden benyttet. Standard-verdiene for bidragende tette flater for vei- og takarealer er på henholdsvis 30 % og 40 %. Hver av disse verdiene ble endret prosentvis varierende fra 10 % til 40 % i både positiv og negativ retning. For hver kjøring ble resultater for samme ledningstrekket hentet ut fra ROSIE med tanke på utslag på maksimal vannføring i punktet. Videre ble det beregnet prosentvis endring i forhold til den maksimale vannføringen ved bruk av standardverdiene. Resultatene er vist grafisk i Figur 95.

7 Resultater

7.1 Kapasitetsanalyse av ledningsnett med tanke på klimaendringer

Resultatene i dette avsnittet er hentet fra kjøringer i modelleringsprogrammet ROSIE. Regnhendelsene som er brukt i modellen er konstruerte symmetriske regnhyetogrammer som nevnt i avsnitt 6.2. Regnene har alle en varighet på 70 minutter.

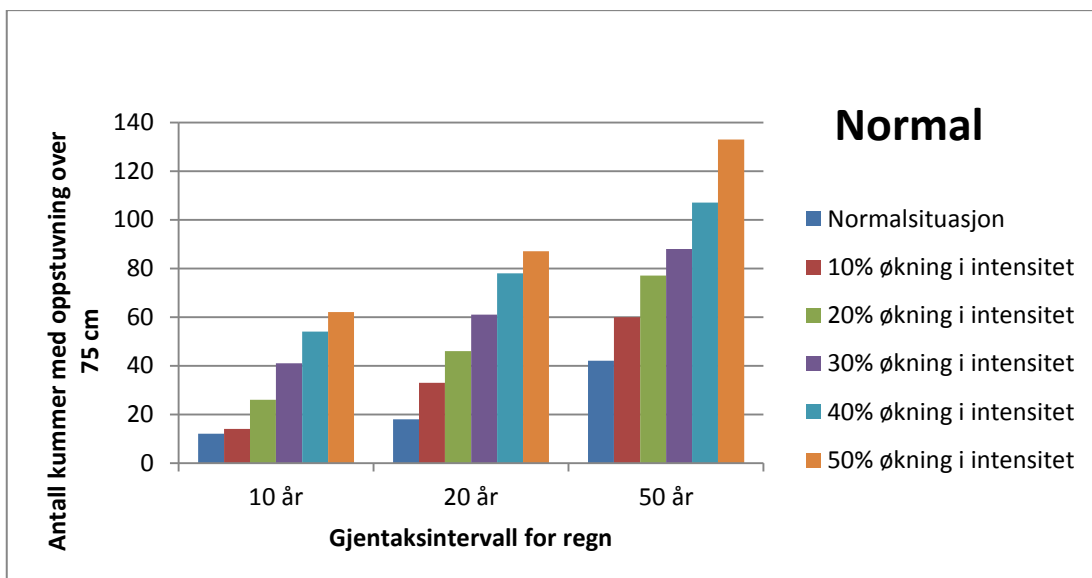
7.1.1 Oppstuvning i kum

Resultatene i dette avsnittet er hentet fra simuleringer i modelleringsprogrammet ROSIE og med fokus på oppstuvning i kum.

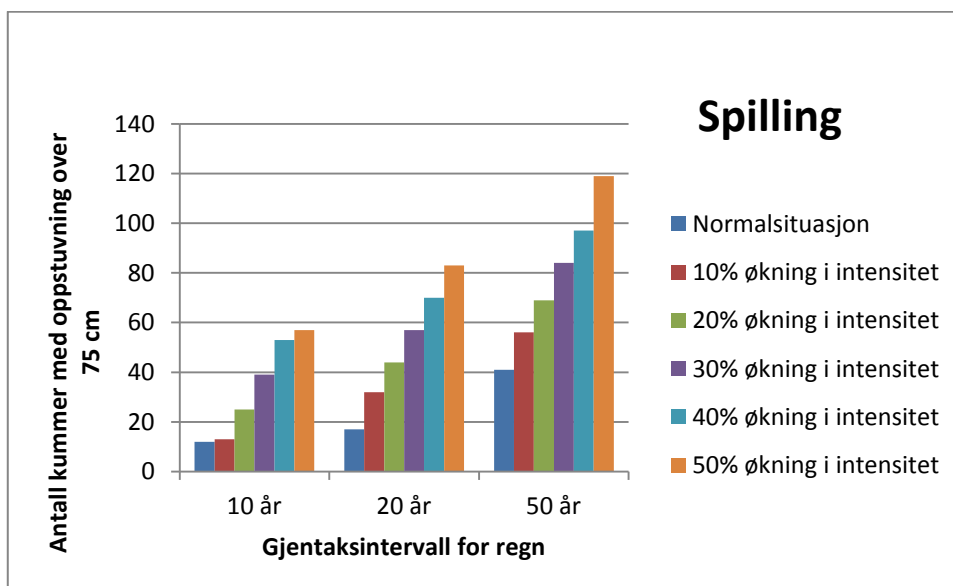
Tabell 7: Tabellen viser oversikt over antall kummer som får en oppstuvning på 75 cm eller mer ved henholdsvis 10-, 20-, og 50-års regn med klimatillegg fra 10 % til 50 %. I denne tabellen er det vist resultater for både innstillingen "normal" og "spilling" for kummene. Tabellen viser også det prosentvise avviket mellom "normal" og "spilling" når det gjelder antall kummer med oppstuvning.

Kum innstilling	Normal		Spilling		Forhold mellom normal og spilling
	Antall kummer	Prosentvis økning	Antall kummer	Prosentvis økning	
10 år	12	-	12	-	0 %
+10 %	14	17 %	13	8 %	8 %
+20 %	26	117 %	25	108 %	4 %
+30 %	41	242 %	39	225 %	5 %
+40 %	54	350 %	53	342 %	2 %
+50 %	62	417 %	57	375 %	9 %
20 år	18	-	17	-	6 %
+10 %	33	83 %	32	88 %	3 %
+20 %	46	156 %	44	159 %	5 %
+30 %	61	239 %	57	235 %	7 %
+40 %	78	333 %	70	312 %	11 %
+50 %	87	383 %	83	388 %	5 %
50 år	42	-	41	-	2 %
+10 %	60	43 %	56	37 %	7 %
+20 %	77	83 %	69	68 %	12 %
+30 %	88	110 %	84	105 %	5 %
+40 %	107	155 %	97	137 %	10 %
+50 %	133	217 %	119	190 %	12 %

Tabellen viser hvilken påvirkning kuminnstilling har på resultatene. Ved bruk av "normal" ligger antall oppstuvninger i kum fra 0-12 % høyere. Grunnen til dette er at for "normal" vil ikke deler av vannet forsvinne ut av systemet, i motsetning til "spilling" der all oppstuvning over kum topp forsvinner ut av systemet. Ved "normal" vil vannet som kommer opp på overflaten skape trykk, som kan forplante seg videre nedover i systemet. Se utfyllende forklaring i avsnitt 6.4.



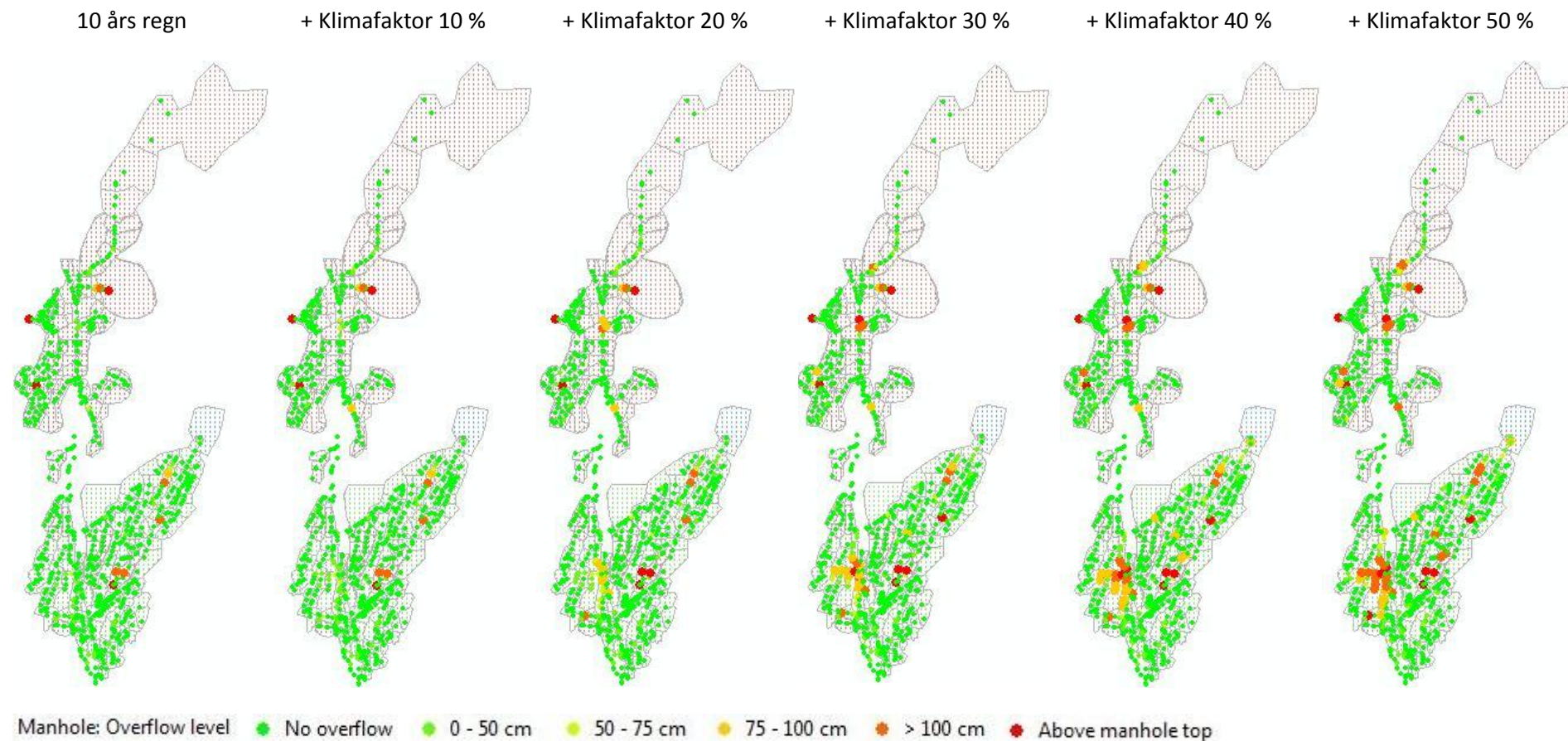
Figur 43: Figuren viser grafisk en oversikt over antall kummer som får en oppstuvning på 75 cm eller mer ved henholdsvis 10-, 20-, og 50-års regn med klimatillegg fra 10 % til 50 %. I denne grafen er det brukt "normal" som innstilling for kummene.



Figur 44: Figuren viser grafisk en oversikt over antall kummer som får en oppstuvning på 75 cm eller mer ved henholdsvis 10-, 20-, og 50-års regn med klimatillegg fra 10 % til 50 %. I denne grafen er det brukt "spilling" som innstilling for kummene.

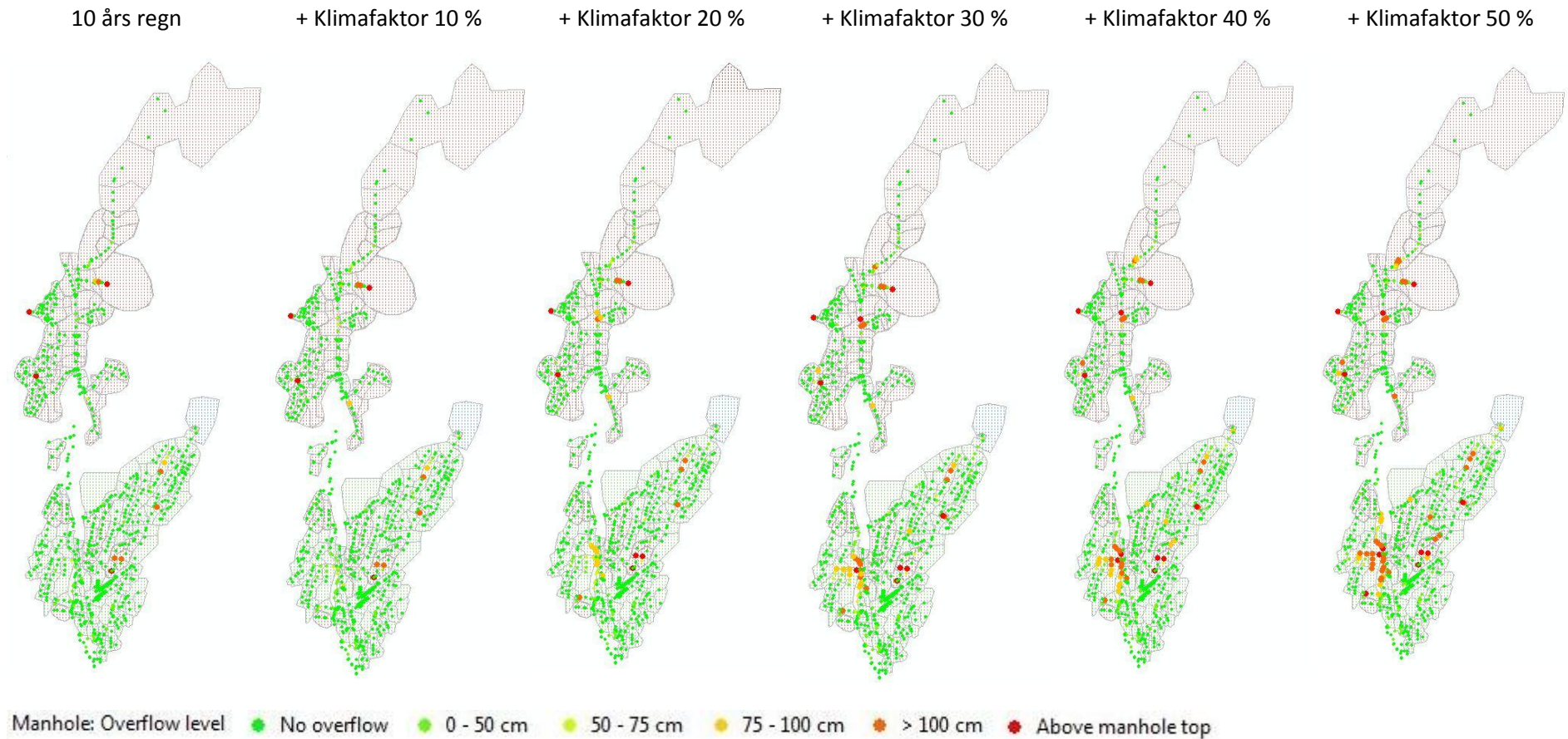
Av grafene over ser vi utvikling i oppstuvninger i kum over 75 cm, som i verste fall kan forårsake kjelleroversvømmelse. Det kan også bemerkes at et 10 års regn med et tillegg på 30 % tilsvarer dagens situasjon for et regn med 50 års gjentaksintervall i forhold til antall oppstuvninger i kum. Som vist i dette avsnittet er det relativt små forskjeller mellom "normal" og "spilling" når det kommer til antall kummer med oppstuvning over kritisk nivå. "Normal" er den mest virkelighetsnære innstillingen da vannet blir bevart i systemet, og at det blir dannet trykk ved oppstuvning over kum topp. Ved gjennomgang i modellen viste det seg at forskjellene er veldig små i områdene med bebyggelse, slik at med tanke på kjelleroversvømmelser har innstillingen lite å si. Med tanke på mengden av resultater vil derfor kummenes innstilling være "normal" videre i oppgaven. Nedenfor er det også tatt med en grafisk oversikt over alle kummer som får oppstuvninger ved ulike gjentaksintervaller med tillegg for klimafaktorer. Dette er gjort for både innstillingen "normal" og "spilling".

Situasjonskart over oppstuvning i kum for regn med 10 års gjentaksintervall + klimafaktorer med kum innstilling "SPILLING"



Figur 45: Fremstilling av oppstuvning i kum for et konstruert regn med 10 års gjentaksintervall, med forskjellige grader av klimafaktor, med innstillingen "spilling". Kummer med oppstuvning fra 75 centimeter har potensiale til å forårsake skade i kjeller som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, eller som følge av dårlig/ingen drenering rundt hus. Punkter merket med oransje og rød er kummer med oppstuvning over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

Situasjonskart over oppstuvning i kum for regn med 10 års gjentakintervall +klimafaktorer med kum innstilling "NORMAL"



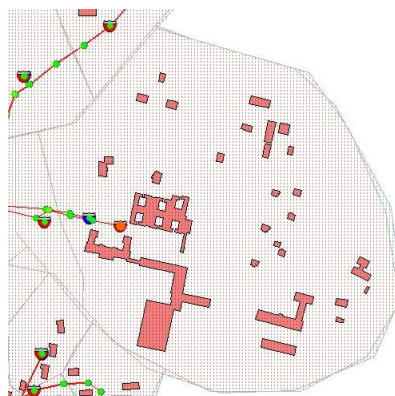
Figur 46: Fremstilling av oppstuvning i kum for et konstruert regn med 10 års gjentakintervall, med forskjellige grader av klimafaktor, med innstillingen "normal". Kummer med oppstuvning fra 75 centimeter har potensiale til å forårsake skade i kjeller som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, eller som følge av dårlig/ingen drenering rundt hus. Punkter merket med oransje og rød er kummer med oppstuvning over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

Som en kan se i figurene over (Figur 45 og Figur 46) oppstår det allerede ved et regn med 10 års gjentaksintervall problemer med oppstuvninger i noen få kummer. Disse problempunktene har blitt sett nærmere på i ettertid. Det er flere forskjellige årsaker til tidlig oppstuvning rundt i feltet. Noen punkter viser seg å få problemer som følge av rent modelltekniske feil. Som for eksempel kummen som er vist med rød prikk (Figur 47). Denne kummen er innløp for overvann i et lite delfelt. Problemet er at ledningen nedenfor er satt med en diameter på 5cm.



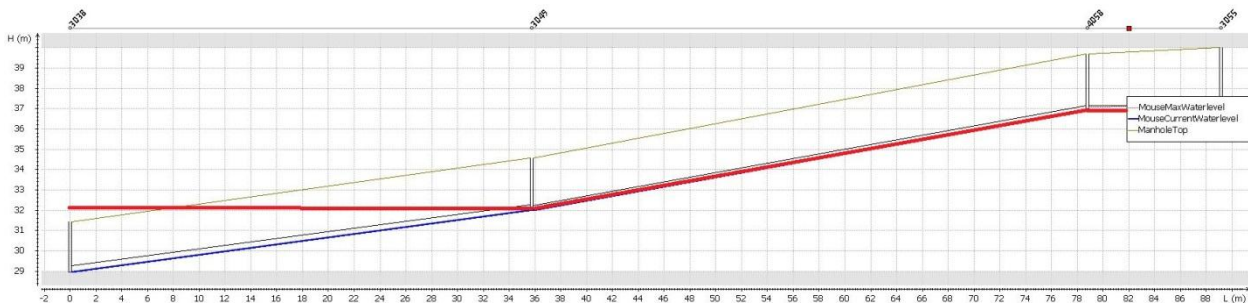
Figur 47: Kum med oppstuvning, som viser seg å ha ledning med feil diameter nedenfor.

Andre årsaker til kummer med tidlig oppstuvning er der hvor det er middels store delfelt med separatsystem og lite bebyggelse. Der har inntaket til overvannsledning problemer med å ta unna for overvannet fra hele delfeltet. Dette er et problem som oppstår på grunn av forenklingen av virkeligheten i programmet, der hele delfeltet drenerer til en og samme kum. Problemer viser seg ved større delfelt med liten bebyggelse, da disse områdene har liten dimensjon på overvannsledningene. Et eksempel på dette er et delfelt på 22 ha, der alt overvannet drenerer til en kum. I dette delfeltet bor det 32 personer og ganske spredt og lite bebyggelse. Området har ganske små dimensjoner på separatsystemet, der overvannsledningene har en diameter på 230 mm. Ved kjøring av regn i modellen drenerer alt overvannet fra nedbøren til ett inntak for overvann i separatsystemet, noe som skaper problemer. I virkeligheten er det få felt som drenerer alt overvannet til et punkt, derfor kan det virke som modellen her gir et litt feilaktig bilde. Etter konsultasjon med Ole Petter Skallebakke virker det som om våre antagelser er riktige, og at arealene i delfeltene ikke vil ha avrenning slik som modellen tolker det.



Figur 48: Bildet viser oversikt over delfeltet på 22 ha der alt overvannet renner til en kum, merket med oransje farge. Det er relativt lite bebyggelse i området, noe som betyr at overvannsledningene har liten dimensjon. Antageligvis er det en forenkling i modellen som gjør at oppstuvningen skjer.

I tillegg er det en annen kum nord i nedbørsfeltet som har oppstuvning. Her ligger det mest sannsynlig et utløp til et annet felt, men det er koblet på feil ledning i programmet. I stedet for å være koblet til overvannsledningen er den koblet til spillvannsledningen. Dette fører til at overvannet stuver seg opp i kummen og ledningen, da ledningen er stengt. Spillvannsledningen som går i samme trasé har i det siste punktet et utløpt ut av modellen til et annet felt.

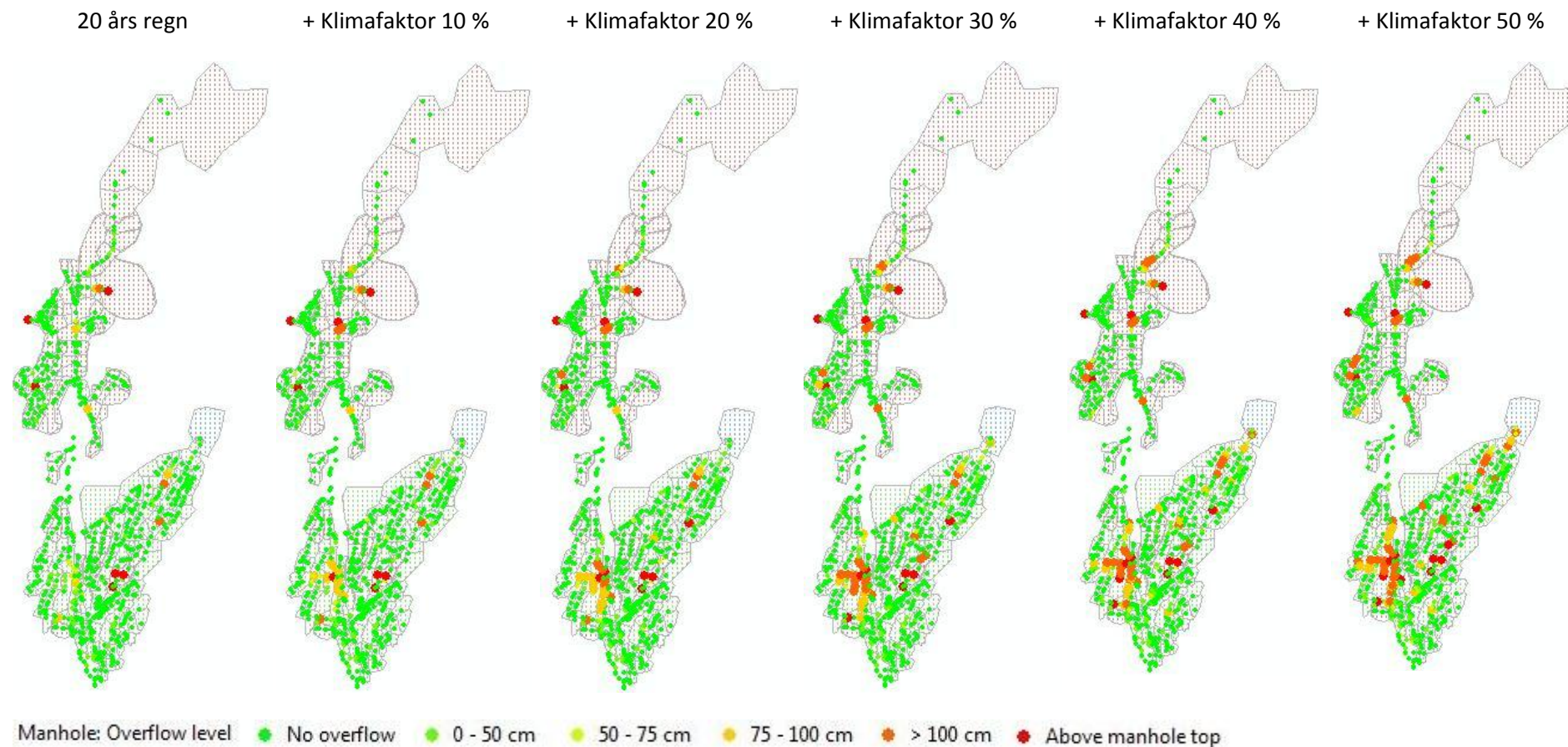


Figur 49: Ledningsstrek der overvannsledningen mangler utløp av modellen, og derfor stuver seg opp i ledning og kum.

I tillegg er det blant annet et ledningsstrek i bebyggelse med motfall som gjør at det selv ved små regn vil oppstå oppstuvning i kummer ovenfor motfallet. Her vil det konstant stå vann som følge av at det må bygges opp trykk for å få vannet over motfallet. Dette ledningsstrekket blir beskrevet nærmere under gjennomgangen av delfelt i avsnitt 7.2.1.3

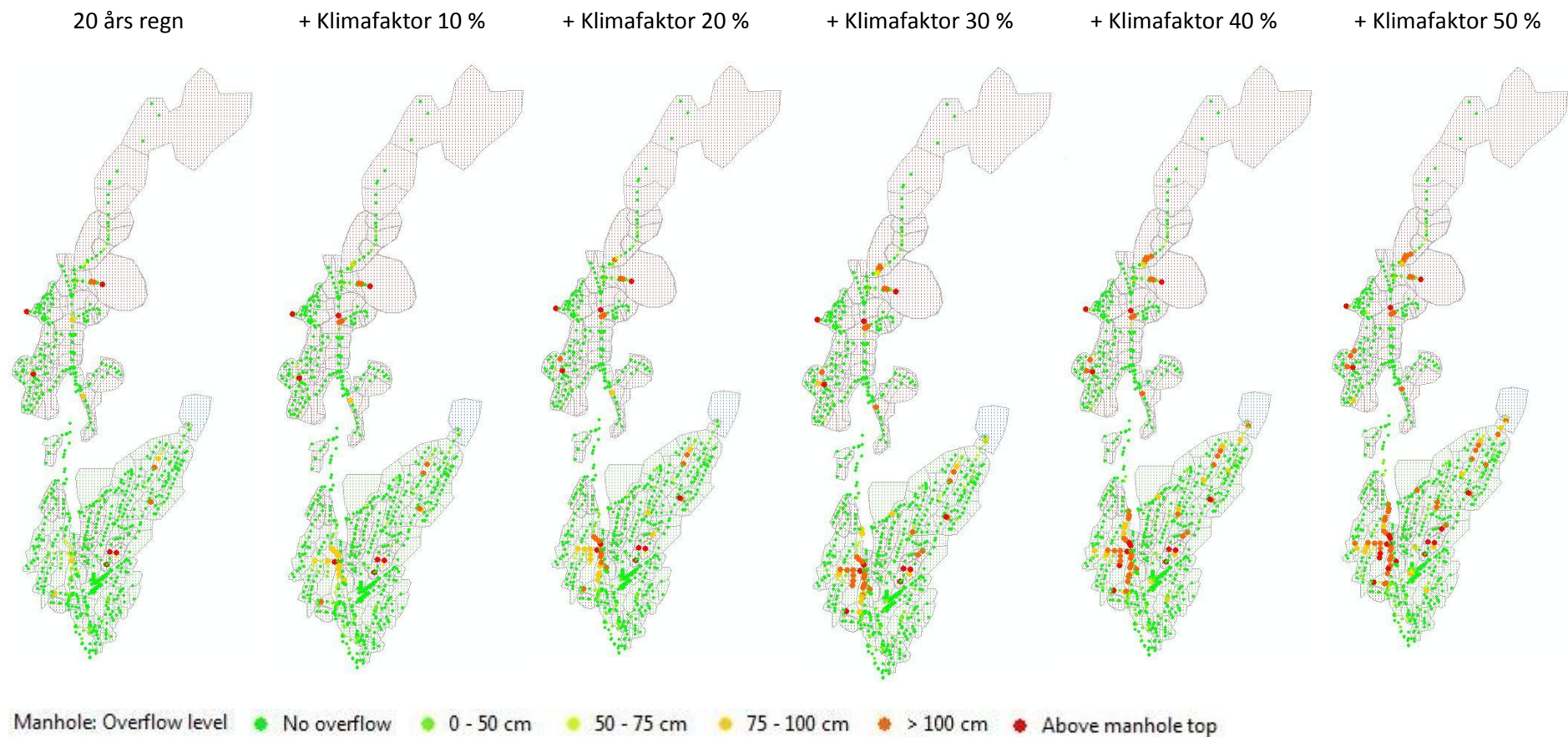
De nevnte problemene er ikke rettet opp i videre i oppgaven, og vil derfor også gjelde for de neste resultatvisningene for oppstuvning i kum, samt i gjennomgangen av trykknivå i ledningsnett.

Situasjonskart over oppstuvning i kum for regn med 20 års gjentaksintervall + klimafaktorer med kum innstilling "SPILLING"



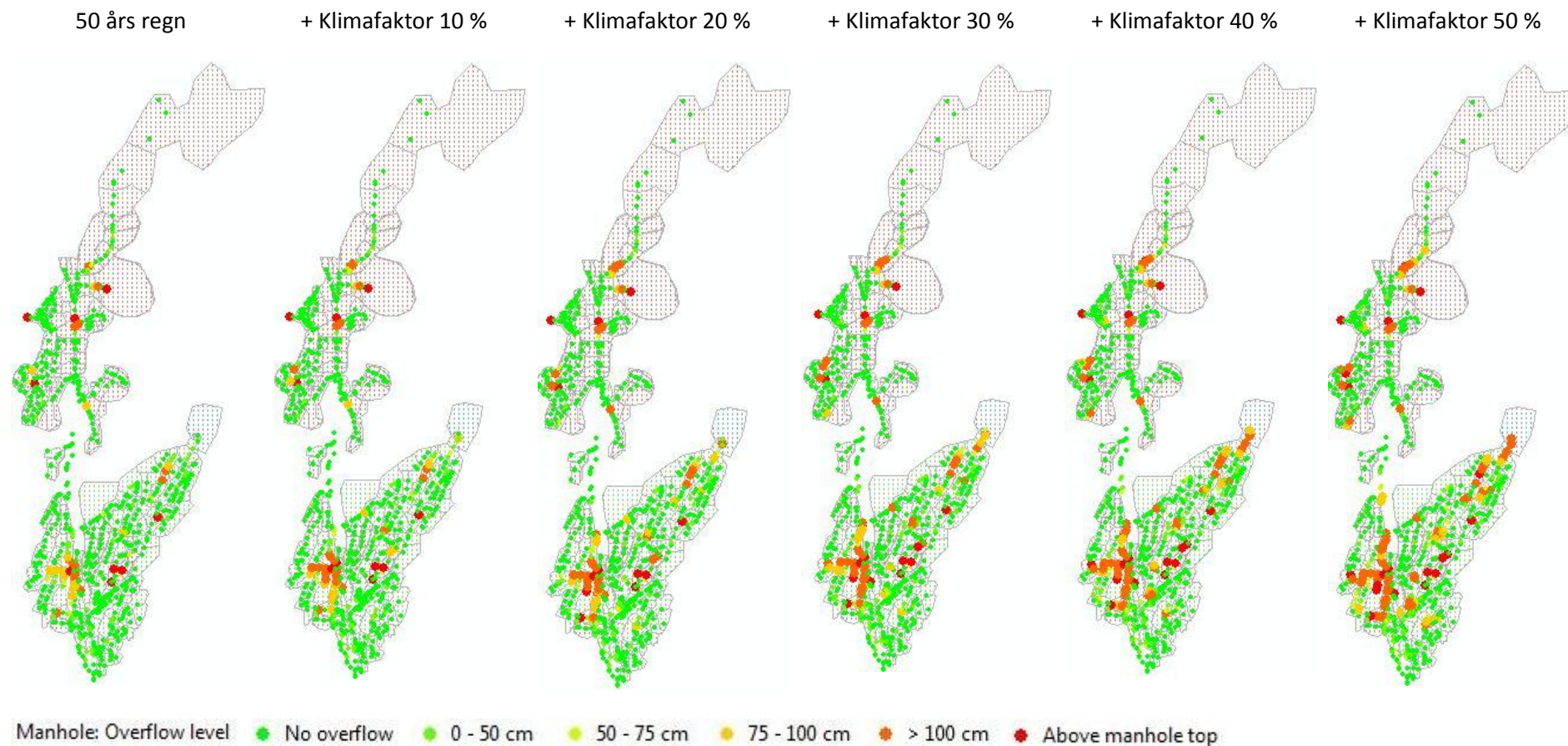
Figur 50: Fremstilling av oppstuvning i kum for et konstruert regn med 20 års gjentaksintervall, med forskjellige grader av klimafaktor, med innstillingen "spilling". Kummer med oppstuvning fra 75 centimeter har potensiale til å forårsake skade i kjeller som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, eller som følge av dårlig/ingen drenering rundt hus. Punkter merket med oransje og rødt er kummer med oppstuvning over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

Situasjonskart over oppstuvning i kum for regn med 20 års gjentakintervall + klimafaktorer med kum innstilling "NORMAL"



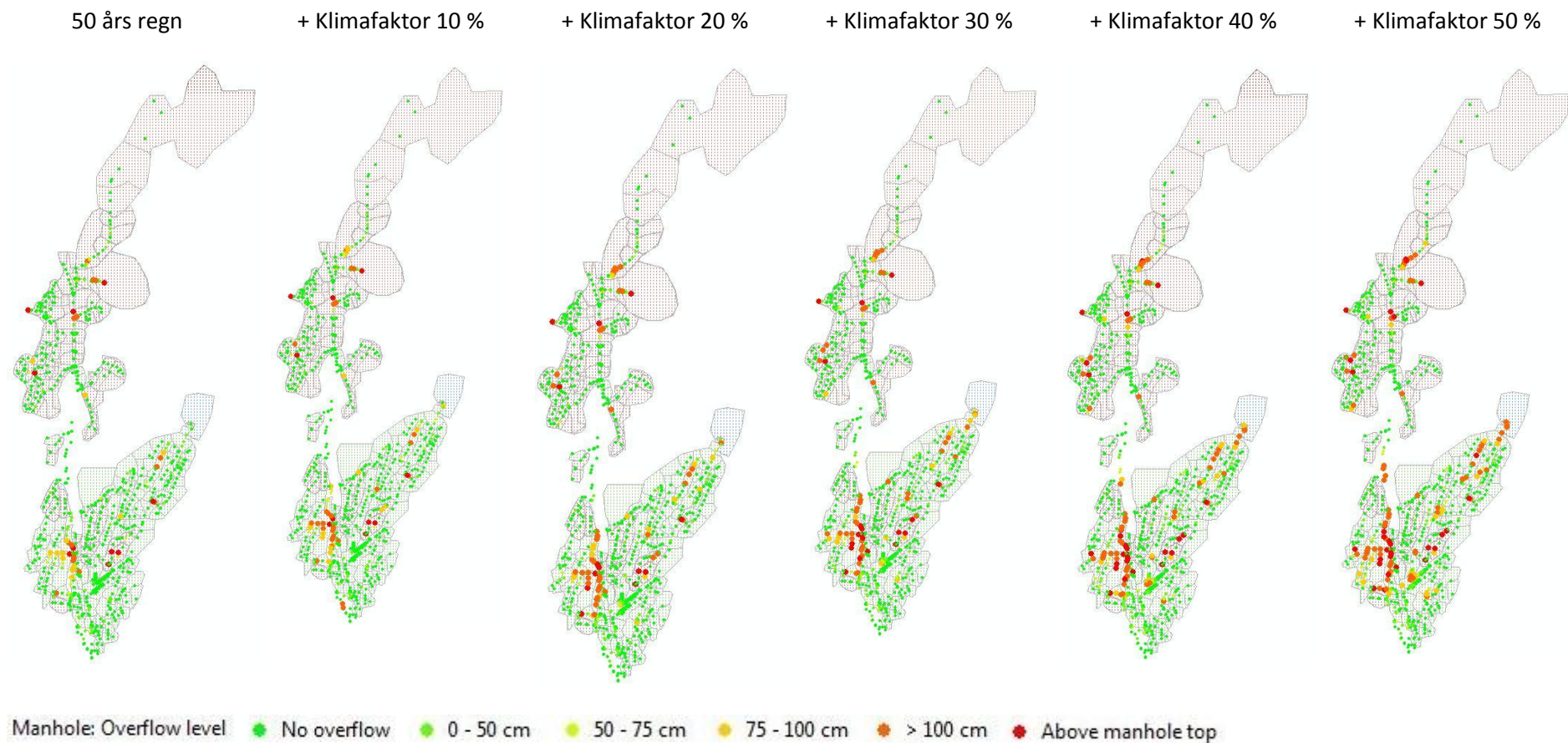
Figur 51: Fremstilling av oppstuvning i kum for et konstruert regn med 20 års gjentakintervall, med forskjellige grader av klimafaktor, med innstillingen "normal". Kummer med oppstuvning fra 75 centimeter har potensiale til å forårsake skade i kjeller som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, eller som følge av dårlig/ingen drenering rundt hus. Punkter merket med oransje og rødt er kummer med oppstuvning over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

Situasjonskart over oppstuvning i kum for regn med 50 års gjentaksintervall + klimafaktorer med kum innstilling "SPILLING"



Figur 52: Fremstilling av oppstuvning i kum for et konstruert regn med 50 års gjentaksintervall, med forskjellige grader av klimafaktor, med innstillingen "spilling". Kummer med oppstuvning fra 75 centimeter har potensiale til å forårsake skade i kjeller som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, eller som følge av dårlig/ingen drenering rundt hus. Punkter merket med oransje og rødt er kummer med oppstuvning over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

Situasjonskart over oppstuvning i kum for regn med 50 års gjentakintervall + klimafaktorer med kum innstilling "NORMAL"



Figur 53: Fremstilling av oppstuvning i kum for et konstruert regn med 50 års gjentakintervall, med forskjellige grader av klimafaktor, med innstillingen "normal". Kummer med oppstuvning fra 75 centimeter har potensiale til å forårsake skade i kjeller som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, eller som følge av dårlig/ingen drenering rundt hus. Punkter merket med oransje og rød er kummer med oppstuvning over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

7.1.2 Trykksituasjon i ledninger

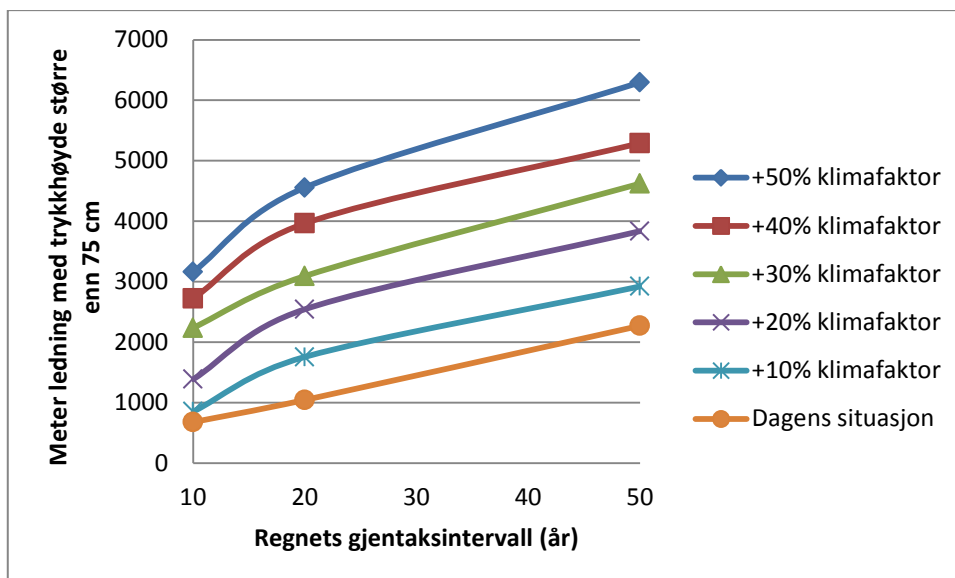
Resultatene i dette avsnittet er hentet fra simuleringer i modelleringsprogrammet ROSIE og med fokus på trykksituasjon i ledninger.

Tabell 8: Tabellen viser utviklingen i totalt antall meter ledning med trykkehøyde over 75 cm over topp ledning for regn med henholdsvis 10-, 20- og 50års gjentakintervall med tillegg for ulike klimafaktorer

Scenario	Meter ledning med trykkehøyde over 0,75 m topp rør	Prosentvis økning
10 år	677	
10 år + 10 %	851	26 %
10 år + 20 %	1385	105 %
10 år + 30 %	2237	230 %
10 år + 40 %	2722	302 %
10 år + 50 %	3163	367 %
20 år	1043	
20 år + 10 %	1755	68 %
20 år + 20 %	2544	144 %
20 år + 30 %	3093	197 %
20 år + 40 %	3964	280 %
20 år + 50 %	4556	337 %
50 år	2270	
50 år + 10 %	2921	29 %
50 år + 20 %	3835	69 %
50 år + 30 %	4621	104 %
50 år + 40 %	5290	133 %
50 år + 50 %	6296	177 %

I tabellen over vises totalt antall meter ledning som har en trykkehøyde over 75 cm over topp ledning. I tillegg vises den prosentvise økningen i antall meter ledning med problemer for hvert gjentakintervall i forhold til normalsituasjonen. Den prosentvise økningen av antall meter ledning med trykkehøyde over 75 cm er betydelig større enn den prosentvise økningen i klimafaktor. Dette gjelder for alle scenarioene.

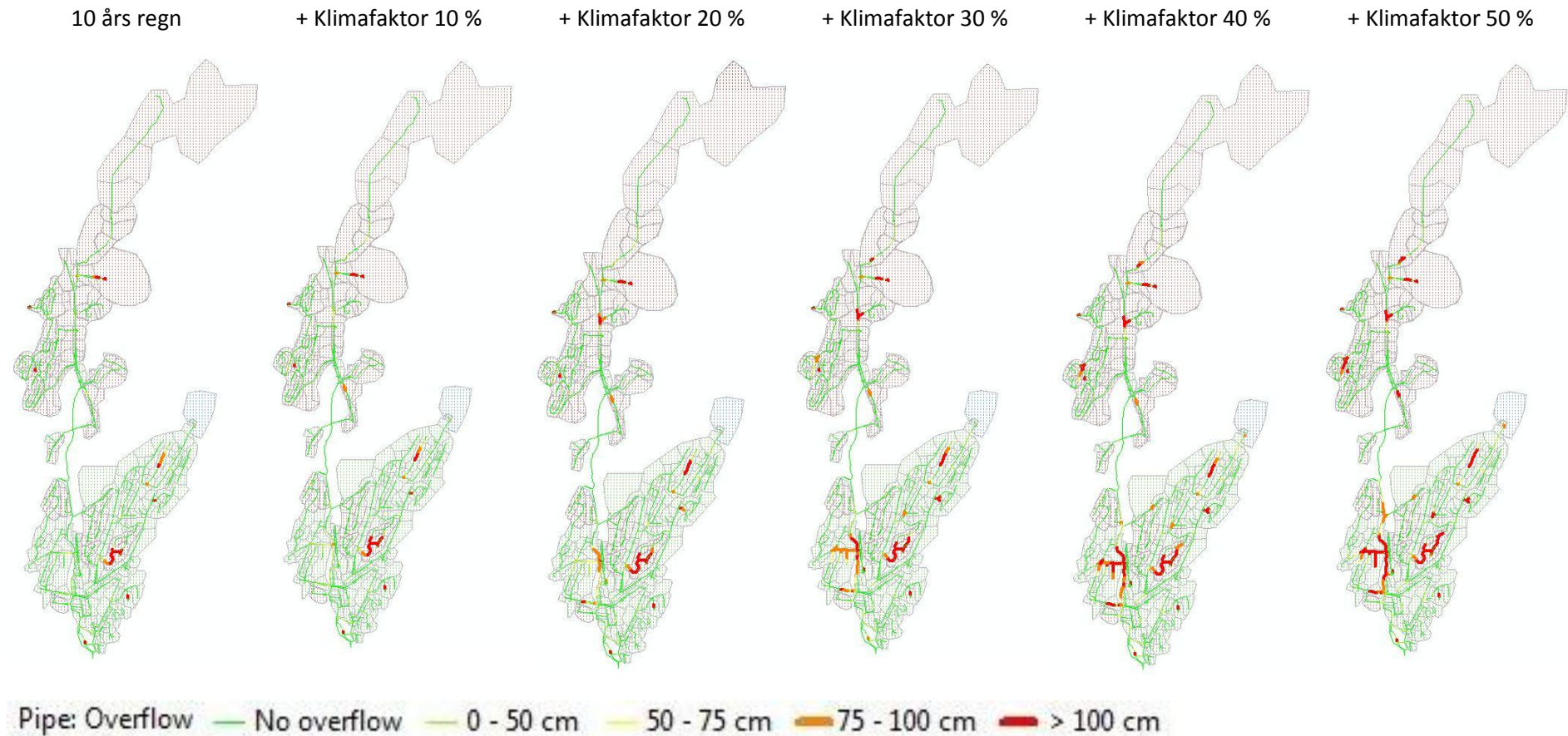
Det er flere ledningsstrek som har problemer som ikke er direkte knyttet til bebyggelse, og som derfor ikke vil skape problemer med tanke på kjelleroversvømmelser. Derfor er det en bedre sammenligning å se på antall hus som blir berørt. Dette vil det bli sett nærmere på i neste avsnitt der vi tar for oss delfelt med bebyggelse og problemer.



Figur 54: Figuren viser totalt antall meter ledning med trykkhøyde over 75 cm over topp ledning, for regn med ulike gjentakintervall og ulike tillegg for klimafaktorer

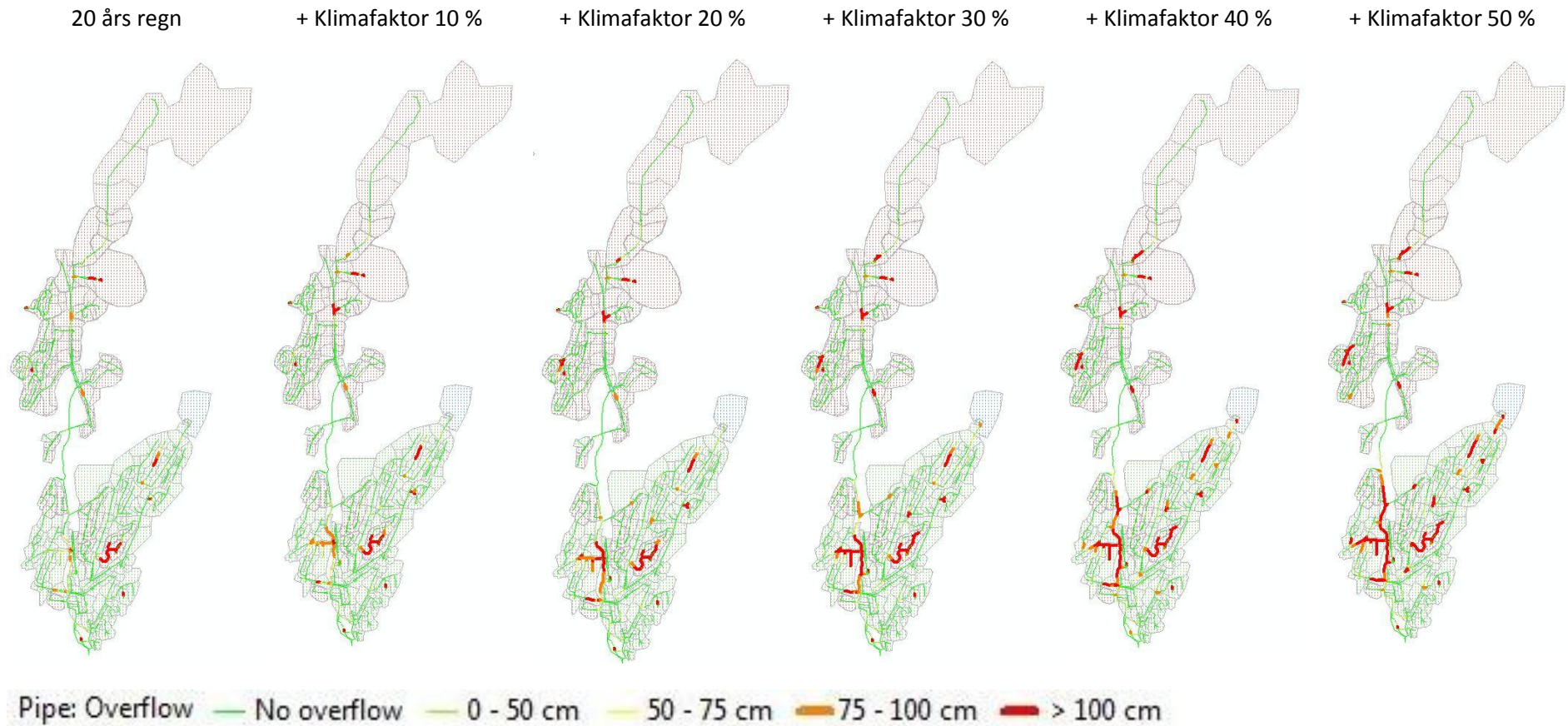
Figuren gir en grafisk fremstilling av antall meter ledning som får en oppstuvning over kritisk nivå. Ut fra grafen kan det leses at et 10 års regn med 30 % klimatillegg tilsvarer dagens 50 års regn når det ses på antall meter ledning med oppstuvning over kritisk nivå.

Situasjonskart over trykkehøyde i ledning for regn med 10 års gjentaksintervall og endring i klimafaktor



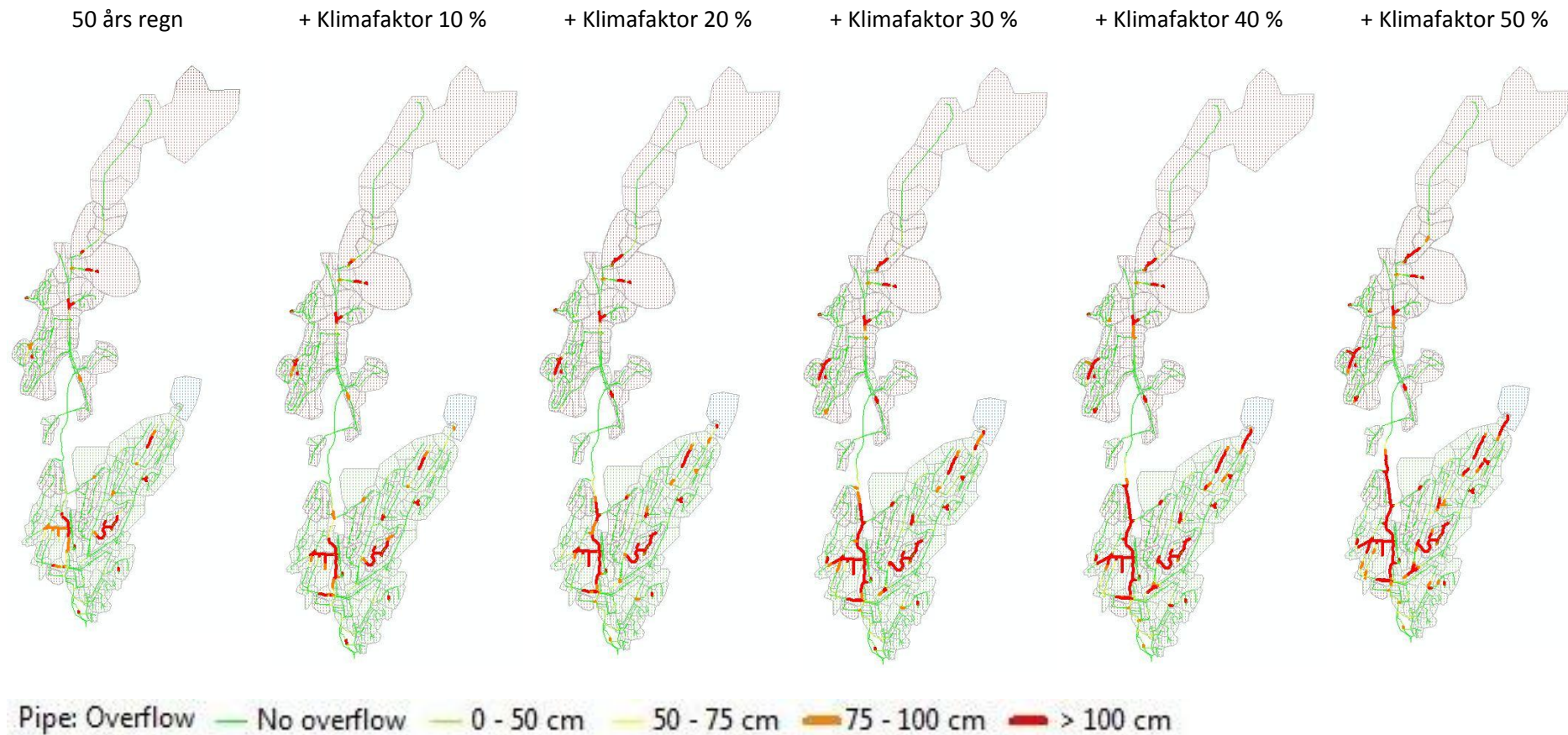
Figur 55: Figuren viser oppstuvning i ledningsnettet som følge av et regn med 10 års gjentaksintervall, med tillegg for klimafaktorer. Oppstuvningen er gitt som centimeter over topp ledning. Ledningsstrekker vist med uthevet orange eller rød linje er områder som er i fare for å få skade som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, dårlig drenering rundt hus eller oppstuvning av overvann på overflaten. Ledningsstrekker merket med oransje og rød er ledninger med trykkehøyde over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

Situasjonskart over trykkehøyde i ledning for regn med 20 års gjentaksintervall og endring i klimafaktor



Figur 56: Figuren viser oppstuvning i ledningsnettet som følge av et regn med 20 års gjentaksintervall, med tillegg for klimafaktorer. Oppstuvningen er gitt som centimeter over topp ledning. Ledningsstrekker vist med uthevet orange eller rød linje er områder som er i fare for å få skade som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, dårlig drenering rundt hus eller oppstuvning av overvann på overflaten. Ledningsstrekker merket med oransje og rød er ledninger med trykkehøyde over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

Situasjonskart over trykkehøyde i ledning for regn med 10 års gjentaksintervall og endring i klimafaktor



Figur 57: Figuren viser oppstuvning i ledningsnettet som følge av et regn med 50 års gjentaksintervall, med tillegg for klimafaktorer. Oppstuvningen er gitt som centimeter over topp ledning. Ledningsstrekker vist med uthevet orange eller rød linje er områder som er i fare for å få skade som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, dårlig drenering rundt hus eller oppstuvning av overvann på overflaten. Ledningsstrekker merket med oransje og rød er ledninger med trykkehøyde over kritisk nivå. Ved bruk av denne figuren kan man se hvor oppstuvningene skjer, og hvordan de utvikler seg med tanke på klimaendringer.

7.1.3 Fyllingsgrad på ledningsstrekker

For å se på hvordan feltet takler Norsk Vanns veiledende dimensjonerende gjentaksintervall for separat- og fellesavløpssystem, ble det konstruerte regnet med 10 års gjentaksintervall kjørt i modellen med hensyn på fyllingsgrad i ledningsnett. Metoden er forklart i avsnitt 6.6. Kjøringen ga at totalt 493 meter ledning i Veumdalen hadde en fyllingsgrad over 100 %, noe som tilsvarer 1,1 % av det totale ledningsnett i modellen.

Tabell 9: Viser antall meter ledning som ikke tilfredsstillers Norsk Vanns veiledende dimensjonering for avløpssystem, og hvor mange prosent av det totale ledningsnett som ikke tilfredsstillers dette.

Regnhendelse	Meter ledning med fyllingsgrad over 100 %	Prosent av det totale ledningsnett
10 års gjentaksintervall	493	1,1 %

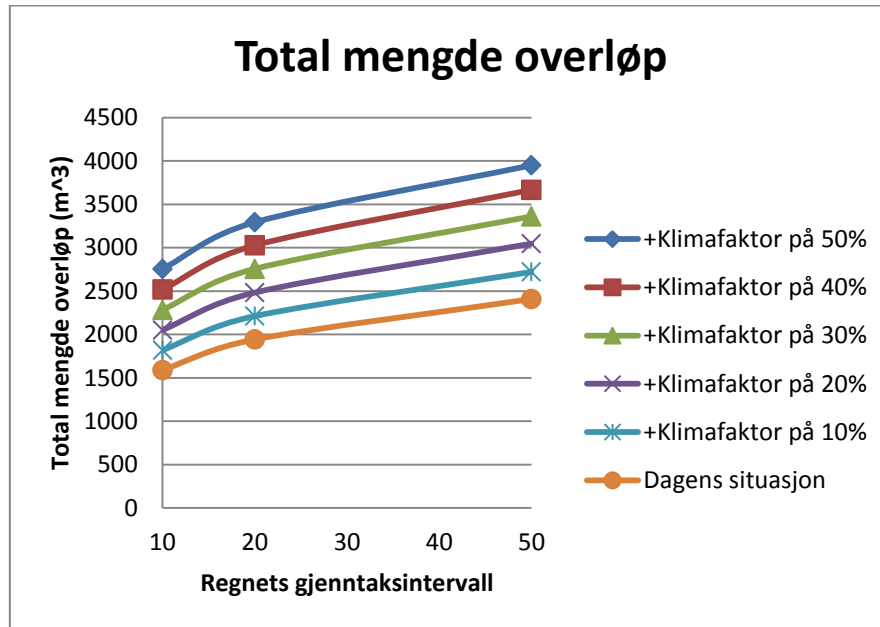
7.1.4 Overløpsdrift

Ved kjøring av de forskjellige regnene med modelleringsprogrammet ROSIE er det hentet ut data på overløpsdrift ved de forskjellige overløpene i modellen.

Tabell 10: Viser overløpsvolumet og prosentvis endring for modellens fire overløp for ulike gjentaksintervall for regn og tillegg for klimafaktor.

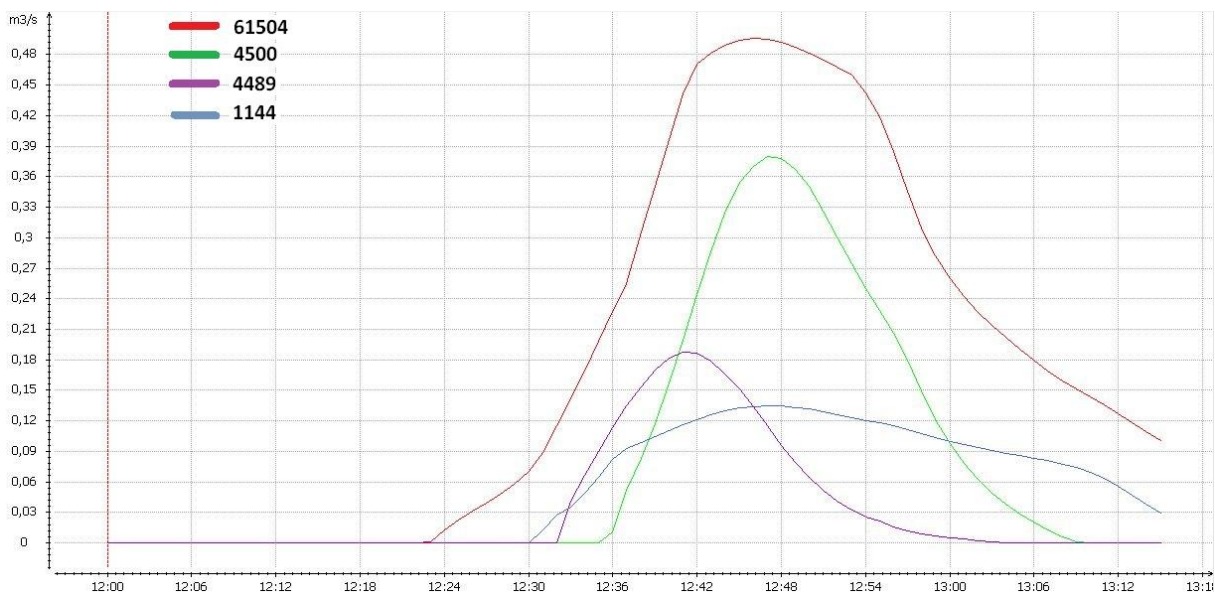
Overløp nummer:	61504w1	4489w1	1144w1	4500w1	Totalt	Prosentvis endring totalt
Regnets gjentaksintervall og klimafaktor	Overløpsvolum (m^3)					
10 år	820	152	252	366	1591	-
10 år + 10 %	900	181	274	464	1820	14 %
10 år + 20 %	977	210	296	569	2052	29 %
10 år + 30 %	1057	241	315	672	2285	44 %
10 år + 40 %	1138	272	333	775	2518	58 %
10 år + 50 %	1221	304	351	879	2755	73 %
20 år	944	195	287	516	1943	-
20 år + 10 %	1035	230	311	636	2212	14 %
20 år + 20 %	1129	266	332	756	2483	28 %
20 år + 30 %	1225	303	352	876	2756	42 %
20 år + 40 %	1318	340	371	997	3027	56 %
20 år + 50 %	1407	379	390	1117	3293	70 %
50 år	1106	256	327	720	2409	-
50 år + 10 %	1215	299	351	857	2721	13 %
50 år + 20 %	1328	343	374	1002	3047	27 %
50 år + 30 %	1433	388	395	1144	3360	40 %
50 år + 40 %	1532	433	415	1286	3666	52 %
50 år + 50 %	1621	479	432	1417	3950	64 %

Tabellen over viser at endringen i totalt overløp alltid vil være prosentvis større enn klimatillegget. For et 10 års regn vil et tillegg på 10 % gi 14 % økning i overløp, mens for et tillegg på 50 % vil økningen være på hele 73 %. At økningen blir større jo verre klimaendringene blir, er gjennomgående for samtlige regn.



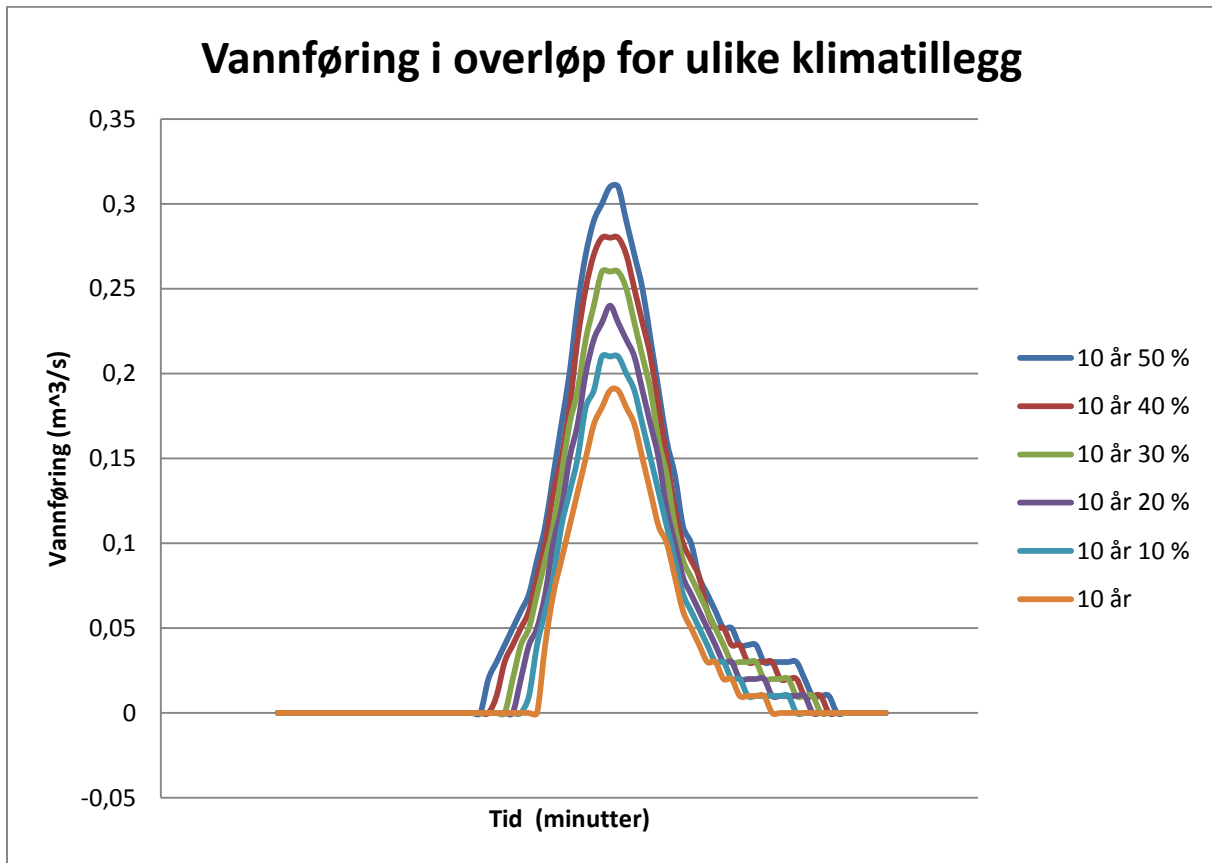
Figur 58: Grafisk fremstilling over utviklingen i overløpsvolum for ulike gjentaksintervall for regn og tillegg for klimafaktor. Punktene på grafen viser til overløpsvolumene.

Figuren over viser en grafisk fremstilling av total mengde overløp i Veumdalen. Da det konstruerte regnet varer i 70 minutter vil resultatene gi et underestimat, da det viser seg at en del av overløpene fortsatt er i drift etter 70 minutter. Dette gjelder spesielt de kraftige regnene.



Figur 59: Viser oversikt over samtlige overløp i modellen ved et 10 års regn. Den maksimale vannføringen varierer fra 0,13-0,5 m³/s.

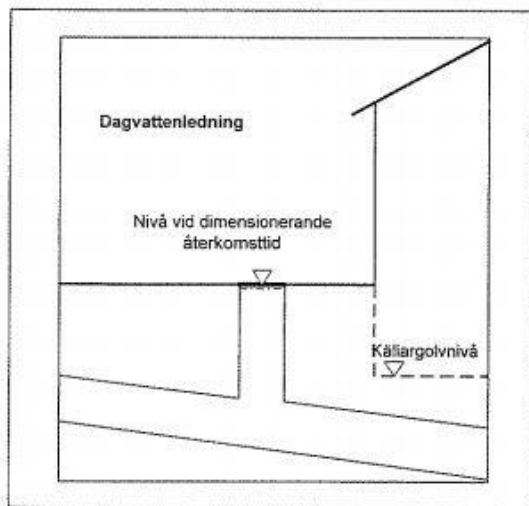
Figur 59 viser at to av overløpene fortsatt er i drift etter 70 minutter allerede ved et 10 års regn. Dette vil føre til en underestimering av overløpsvolumet. Denne underestimeringen vil øke jo kraftigere regnene blir, da overløpsdriften vil ha en større varighet. Som vist i Figur 60 vil en prosentvis økning av regnintensiteten føre til at overløpet trer tidligere i kraft, har en lengre varighet, enn større maks vannføring samt større totalvolum.



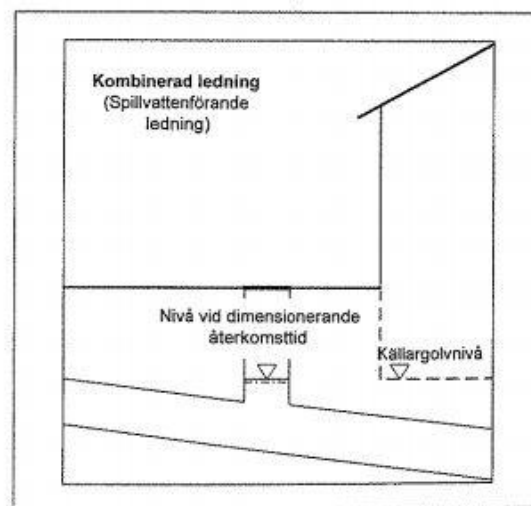
Figur 60: Viser overløpshydrografene for overløpet som ligger nederst i Veumdalen, nr. 4489. Det er her vist med ulike klimatillegg for å se på virkningen av den økte regnintensiteten. Figuren viser at overløpene trer tidligere i kraft, har en høyere maks vannføring samt en lengre varighet. I denne figuren er det brukt et regn med 10 års gjentaksintervall.

7.2 Gjennomgang av delfelt med problemer

Det er valgt ut syv delfelt som har fått en grundigere gjennomgang. Felles for disse feltene er at de har problemer med oppstuvninger i områder med bebyggelse. Det er både tatt med oppstuvninger i fellessystem som kan gi avløp inn i kjeller via sluk, og oppstuvning i separatsystem der overvann kan trenge inn i bygg i skjøt mellom kjellergulv og kjellervegg via drenering. Det kritiske nivået for oppstuvning i avløpsledningene er som tidligere i oppgaven 75 cm over topp ledning. For separatsystem er det teoretisk sett marknivået som er kritisk høyde for overvann, som vist i Figur 61, hentet fra Svenskt Vatten. I denne oppgaven er det valgt å legge denne grensen lik grensen for avløpsledningene (75 cm over topp ledning), for å se på mulige skader på bygg. Enda det er korte regn som kjøres i denne oppgaven, så kan en situasjon med stadig dårlig drenering rundt grunnmur føre til fuktskader og innlekking til kjeller. Skadene vil nok øke med lengden på hvor lenge oppstuvningen står rundt grunnmuren. I våre korte kjøring, der oppstuvningen bare varer i noen minutter vil dette sikkert ikke skape store skader, men ved lengre regnperioder kan det tenkes å skape skader.



Figur 3.1 Nivåer vid dimensionerande återkomsttid i dagvattensystem (vid nybyggnation).



Figur 3.2 Nivåer vid dimensionerande återkomsttid i kombinerade avloppssystem.

Figur 61: Illustrasjon på kritisk nivå for henholdsvis separat- og kombinertavløpssystem (SvensktVatten 2004)

Områdene er fordelt rundt i hovedfeltet som vist i de små kartutsnittene.

7.2.1 Nedre Veumdalen øst

Dette er et middels bebygd til tettbebygd boligområde som i mange år har slitt med oppstuvning inn i kjeller. Området har i hovedsak fellessystem, med noen unntak av nyere boligfelt med separatsystem. I områdene nede rundt veumbekken forekommer det ledningsstrekker med lite fall, ellers har området god helning og dermed ledningssystem med godt fall. (Norconsult 2007)

7.2.1.1 Christianslund allé og omegn

Dette er et eldre boligområde, med likeså gammelt fellessystem av betong, trolig lagt på 1950-60 tallet. Driftshendelser og registreringer gjort av kommunen viser en bruddprosent for området på 0,19 brudd per km, mot snittet i Fredrikstad på 0,15 brudd per km. Boligområdet har hyppig vært utsatt for kjelleroversvømmelser ved større nedbørshendelser. Det har særlig vært problemer i veiene Christianslund allé, Repslagerveien og nede mot Veumveien. Ved ekstremregnet 7. september 2002 hadde dette området hele 30 kjelleroversvømmelser, av totalt 47 i hele Veumdalen. I tiltaksrapporten utviklet av Norconsult for Fredrikstad kommune i 2007 ble dette området klassifisert som prioritet 1. (Norconsult 2007)

Tiltak med å sanere fellessystemet ble satt i gang og ferdigstilt høsten 2010. Dessverre er ikke disse tiltakene implementert i modellen som er brukt i denne oppgaven. Figur 62 viser resultatene fra kjøring av modellen med regn av 10, 20 og 50 års gjentakintervall samt en klimafaktor på 50 % for disse, som skal representere den verst tenkelige situasjonen. Tabell 11 viser resultatene for kjøring med alle intervaller av klimafaktor.



10 års regn



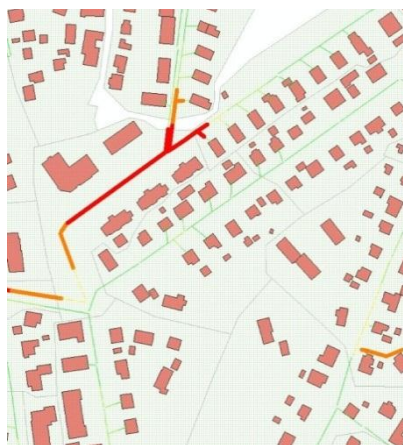
10 års regn + klimafaktor 50 %



20 års regn



20 års regn + klimafaktor 50 %



50 års regn



50 års regn + klimafaktor 50%



Pipe: Overflow — No overflow — 0 - 50 cm — 50 - 75 cm — 75 - 100 cm — > 100 cm

Figur 62: Viser utviklingen i trykkhøyde i ledning i Christianslund allé for ulike gjentaksintervall og for verste klimafaktor (50 %). Oransje og røde fargene viser ledningsstrekker med trykkhøyde over 75 cm. For hus med stikkledninger koblet til disse delene av ledningsstrekket er det fare for oppstuvning av avløp inn i kjeller. Dette avhenger av beliggenhet til husene i terrenget, samt gulvnivå i kjeller. Skadeomfanget avhenger også av eventuelle tiltak gjort for å forebygge dette, for eksempel tilbakeslagsventil.

Tabell 11: Nedenfor vises utviklingen i antall hus som kan få kjelleroversvømmelser ved ulike gjentaksintervall samt for ulike klimafaktorer. Kapasiteten til ledningsnett i boligfeltet overskrides først ved regn med mer enn 20 års gjentaksintervall og 40 % klimafaktor.

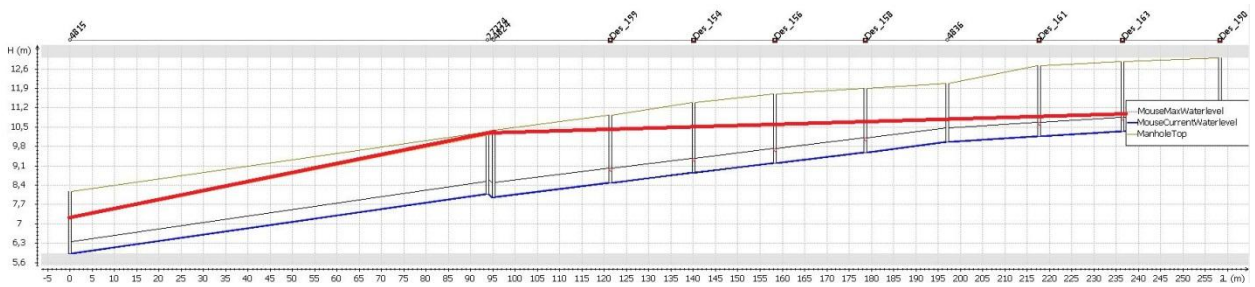
Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser
10 år	0
10 år + 10 %	0
10 år + 20 %	0
10 år + 30 %	0
10 år + 40 %	0
10 år + 50 %	0

Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser
20 år	0
20 år + 10 %	0
20 år + 20 %	0
20 år + 30 %	0
20 år + 40 %	6
20 år + 50 %	6

Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser
50 år	0
50 år + 10 %	0
50 år + 20 %	6
50 år + 30 %	6
50 år + 40 %	7
50 år + 50 %	16



Figur 63: Viser ledningsstrekket som er vist i profil i Figur 64 nedenfor. Dette er del av ledningsstrekket som er valgt ut for nærmere gjennomgang med hensyn på oppstiving vist i Figur 62 over.



Figur 64: Profil av ledningsstrekket som vist i Figur 63 for 50 års regn med 50 % klimatillegg.

Det kan se ut til at det er en flaskehals ved kum nr. 4824 og 22224. Grunnen til oppstuvingen i dette punktet er at det samles store avløpsmengder fra nedre Veumdalen øst, via to avløp-felles ledninger ned fra Paul Holmsensvei. Ved større regn overskrides kapasiteten i det nevnte punktet. Dette fører til oppstuvning oppover Christianslund allé.

Det har ikke vært mulig å få tak i regndata over ekstremregnet 07.09.2002, men i følge Jon Bergersen Zeigler (Zeigler 2006) sin masteroppgave kom det 65 mm nedbør på 6 timer denne datoen. Dette tilsvarer et regn med mye mer en 200 års gjentakintervall ved bruk av IVF-kurvene som ligger til grunn i denne oppgaven. Som nevnt er grunnlaget for de brukte IVF-kurvene foreldet og gir dermed for lave kurver. I figuren nedenfor (Figur 65) markerer de lilla punktene kjelleroversvømmelser ved ekstremregnet. Det mest ekstreme regnet kjørt i denne oppgaven er 50 års regnet med 50 % i tillegg for klimafaktor. Ut fra eKlima regndata tilsvarer dette også et regn med godt over 200 års gjentakintervall. Våre resultater gir ikke like mange kjelleroversvømmelser i området. Dette kan skyldes lengden på regnet. Regnet brukt i denne oppgaven har en varighet på bare 70 minutter i forhold til ekstremregnet med 360 minutters varighet. Da dette området har store avrenningsområder oppstrøms vil lengden på regnet ha stor påvirkning på konsekvensene. Der oppstuvingen vil fortsette å spre seg oppover i Christianslund allé. Utenom dette gir modellen vår relativt godt samsvar med de virkelige hendelsene.



Figur 65: Kjelleroversvømmelser i Christiansluds allé og omegn som følge av ekstremregnet 07.09.2002. De lilla punktene angir kjelleroversvømmelser. I bygninger der det er flere lilla punkter er bygget delt inn i flere boliger, og dermed flere kjellere. Figuren er brukt til sammenligning med resultatene i denne oppgaven for samme område, vist i Figur 62.

7.2.1.2 Myratoppen

Myratoppen er et ny utbygd boligområde, ferdigstilt rundt tusenårsskiftet med separatsystem. Systemet er ikke-virksomt da kloakken og overvannet like nedenfor boligfeltet slås sammen igjen til fellessystem. I oversiktskartet over de ekstreme regnhendelsene mellom 2002 og 2008 mottatt fra kommunen er det ikke registrert noen kjelleroversvømmelser på Myratoppen. Dette ser ut til å stemme godt overens med resultatene som fås ved kjøring av regnhyetogramene i modellen. Avløpsledningene i separatsystemet får på det verste regnet et trykknivå på over 1 meter topp ledning, 30 meter innover i boligfeltet opp fra fellesledningen. Denne oppstuvningen når sannsynligvis ikke langt nok inn i separatsystemet til å kunne føre til oppstuvning inn i kjeller via sluk. Overvannsledningsnettets tilhørende Myratoppen derimot har problemer med å ta unna for store regn. Allerede ved et regn med 10 års gjentaksintervall oppstår det mye oppstuvninger i overvannsledningene. Dette sprer seg ytterligere ved kraftigere regn som vist i figuren nedenfor.



Ut fra kjøringene som er gjort i denne oppgaven vil det være liten sannsynlighet for avløp inn i kjeller via sluk. Det er derimot et stort antall hus i boligfeltet som står i fare for å få innlekking av overvann inn i kjeller ved større nedbørshendelser. I Tabell 12 nedenfor er det vist antall hus med mulighet for innlekking av overvann. Dette er som på de andre resultatene et grovt estimat, med grunnlag i manuell telling i modellen, uten informasjon om stikkledninger, antall kjellere og kjellernivå.

10 års regn



10 års regn + klimafaktor 50 %



20 års regn



20 års regn + klimafaktor 50 %



50 års regn



50 års regn + klimafaktor 50 %

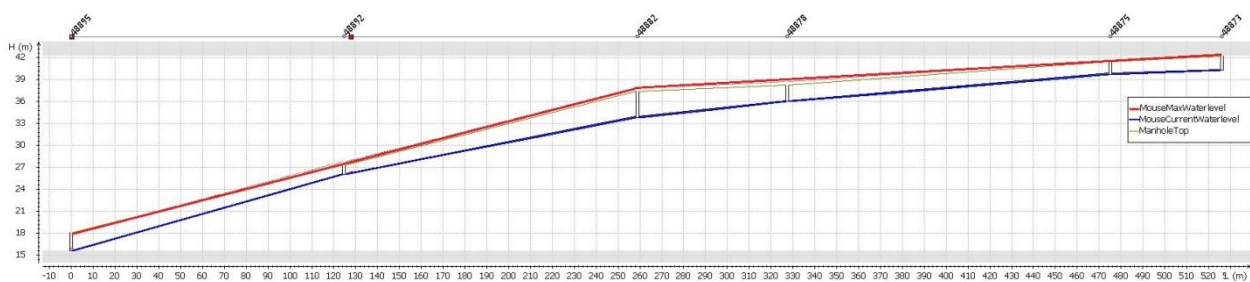


Pipe: Overflow — No overflow — 0 - 50 cm — 50 - 75 cm — 75 - 100 cm — > 100 cm

Figur 66: Viser utviklingen i trykkhøyde i ledning i Myratoppen for ulike gjentaksintervall og for verste klimafaktor (50 %). Oransje og røde fargene viser ledningsstrekker med trykkhøyde over 75 cm over topp ledning. For hus med stikkledninger koblet til disse delene av overvannsledningsstrekket er det fare for oppstuvning av overvann til drenering rundt bygninger. Dette avhenger av beliggenhet til husene i terrenget. Skadeomfanget avhenger også av eventuelle tiltak gjort for å forebygge dette, for eksempel tilbakeslagsventil.



Figur 67: Viser ledningsstrekket som er vist i profil i Figur 68 nedenfor. Dette er del av ledningsstrekket som er valgt ut med hensyn på oppstuvning vist i Figur 66 over, for nærmere gjennomgang.



Figur 68: Viser oppstuvning over topp ledning, der den røde linjen viser maksimal oppstuvning. Den røde linjen ligger over bakkenivået.

Oppstuvningen fra avløp fellesledningen når ikke langt nok inn i boligfeltet til å forårsake kjelleroversvømmelser. Derfor er det kun fare for oppstuvning av overvann rundt grunnmur, som følge av oppstuvning i dreneringsledningene. Tabellene nedenfor viser antall hus som blir påvirket av oppstuvningen i overvannsledningsnettet ved de forskjellige regnene.

Tabell 12: Oversikt over antall hus som blir påvirket av oppstuvning over 75cm topp ledning for overvann i separatsystem. For kjøring av regn med 10, 20 og 50 gjentaksintervall og antallet er et grovt estimat fra manuell telling. Det er også verdt å merke seg at modellen har ingen informasjon angående stikkledninger og høydekote for husene.

Regnhendelse	Antall bygninger med fare for innlekking av overvann	Prosentvis økning
10 år	16	
10 år + 10 %	24	50 %
10 år + 20 %	30	88 %
10 år + 30 %	30	88 %
10 år + 40 %	38	138 %
10 år + 50 %	39	144 %

Regnhendelse	Antall bygninger med fare for innlekking av overvann	Prosentvis økning
20 år	24	
20 år + 10 %	30	25 %
20 år + 20 %	36	50 %
20 år + 30 %	39	63 %
20 år + 40 %	41	71 %
20 år + 50 %	41	71 %

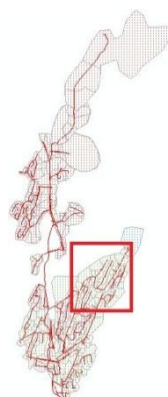
Regnhendelse	Antall bygninger med fare for innlekking av overvann	Prosentvis økning
50 år	28	
50 år + 10 %	36	29 %
50 år + 20 %	37	32 %
50 år + 30 %	40	43 %
50 år + 40 %	43	54 %
50 år + 50 %	46	64 %

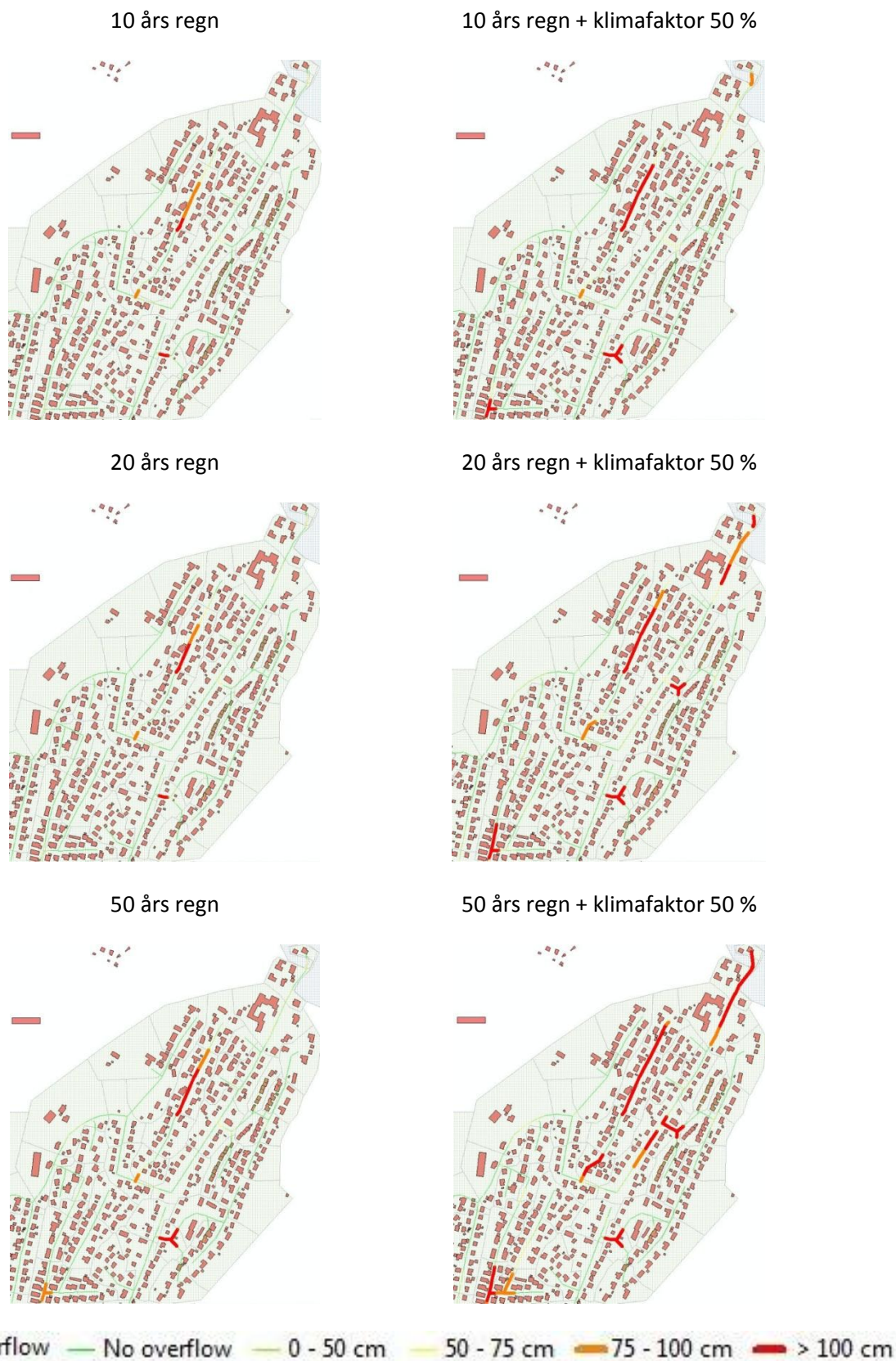
Myratoppen er et av områdene som tidlig får problemer med oppstuvning. For et 10-års regn uten klimatillegg vil hele 16 bygg være i tilknytning til et ledningsstrek med oppstuvning. Antall bygninger øker fort ved økende regn, og ved det verste regnet kjørt i denne oppgaven er det hele 46 bygninger i tilknytning til ledningstrekk med oppstuvning over kritisk nivå.

Dette området har ifølge kommunen ikke rapportert problemer med oppstuvning av overvann. Det er allikevel mulighet for at det har vært episoder med oppstuvning i dette delfeltet, da det er vanskelig å oppdage oppstuvning rundt drenering. Det skal mye til at privatpersoner kobler fuktskader som følge av dårlig drenering sammen med oppstuvning i overvannsnett. Ole Petter Skallebakke viser også til at inndelingen av delnedbørsfelt i dette området har store feil. Hele østsiden av Myratoppen består av skråning mot øst, og vil ikke drenere til ledningsnett i boligfeltet. Dette gjør at en stor del av arealet som bidrar til overvann i ledningsnett i den kjørt modellen i virkeligheten ikke skulle bidratt til avrenning i dette delfeltet. Våre resultater gir derimot godt samsvar med det tidligere masteroppgaver fra området viser. Både Hardang (Hardang 2007) og Zeigler (Zeigler 2006) har tilsvarende resultater for dette delfeltet. Denne oppgaven gir derimot noe større oppstuvning. Det er verdt å merke seg at disse oppgavene bygger på samme startmodell, men med forskjellige modelleringsprogrammer. Forskjellen i oppstuvning kan skyldes at det konstruerte regnet i denne oppgaven har både lengere varighet og større toppintensitet ned i oppgaven til Hardang.

7.2.1.3 Sponheimveien, Oredalsveien og omegn

Området har fellessystem fra henholdsvis 1950 til 1972. Fellesledningene har konstant en fullingsgrad på rundt 50 % på grunn av beliggenhet i terreng med myr. Det er også problem med lite fall på ledningene. Størsteparten av boligene i dette området ble bygd på 1960-tallet og det finnes i følge Norconsult ingen kjellere på husene i området.

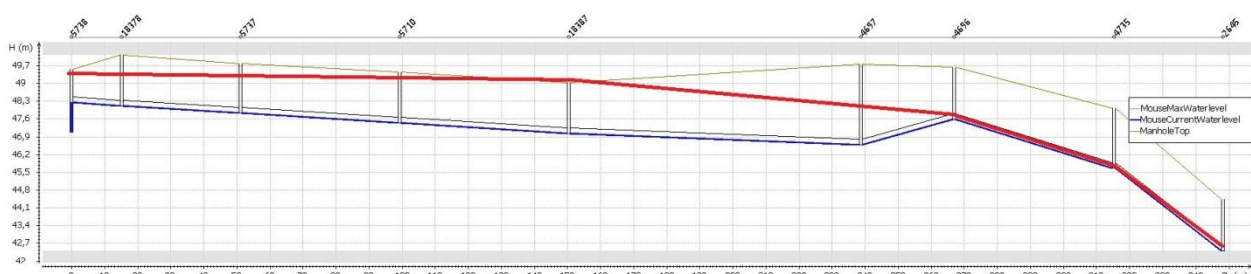




Figur 69: Viser utviklingen i trykkehøyde i ledning i Sponheimveien, Oredalsveien og omegn for ulike gjentakintervall og for verste klimafaktor (50%). Oransje og røde fargene viser ledningsstrekker med trykkehøyde over 75 cm. For hus med stikkledninger koblet til disse delene av ledningsstrekket er det fare for oppstuvning av avløp inn i kjeller. Dette avhenger av beliggenhet til husene i terrenget, samt gulvnivå i kjeller. Skadeomfanget avhenger også av eventuelle tiltak gjort for å forebygge dette, for eksempel tilbakeslagsventil.



Figur 70: Viser ledningsstrekket som er vist i profil i Figur 71 nedenfor. Dette er del av ledningsstrekket som er valgt ut med hensyn på oppstuvning vist i Figur 69 over, for nærmere gjennomgang.



Figur 71: Viser oppstuvning over topp ledning, der den røde linjen viser maksimal oppstuvning. Den røde linjen ligger delvis over bakkenivået. Det er et tydelig motfall mot slutten av ledningsstrekket som bidrar til problemene.

Da det er få eller ingen av boligene i dette området som har kjeller, vil det største problemet med hensyn på oppstuvning i fellesledningen være oppstuvning av kloakk i dreneringen rundt bygninger.

Ved 50 års regn med 50 % klimatillegg når oppstuvningen bakkenivå i deler av ledningsstrekket. Da det ikke er kjellere i området, regnes marknivået som kritisk nivå for skader fra avløpet på boliger. Langs ledningsstrekket fra kum 5710 til 18187 ligger det seks hus som kan bli berørt av vannet som stuver opp til marknivå.

Tabell 13: Oversikt over antall hus som blir påvirket av oppstuvning over 75cm topp ledning for avløpfellessystem. For kjøring av regn med 10, 20 og 50 gjentakintervall og antallet er et grovt estimat fra manuell telling, uten informasjon angående stikkledninger og høydekote for hus. Da området ikke har kjellere vil resultatet avhenge av dreneringen rundt husene.

Regnhendelse	Antall bygninger med dårlig drenering	Prosentvis økning
10 år	13	
10 år + 10 %	14	8 %
10 år + 20 %	15	15 %
10 år + 30 %	24	85 %
10 år + 40 %	25	92 %
10 år + 50 %	26	100 %

Regnhendelse	Antall bygninger med dårlig drenering	Prosentvis økning
20 år	14	
20 år + 10 %	15	7 %
20 år + 20 %	24	71 %
20 år + 30 %	25	79 %
20 år + 40 %	44	214 %
20 år + 50 %	46	229 %

Regnhendelse	Antall bygninger med dårlig drenering	Prosentvis økning
50 år	25	
50 år + 10 %	25	0 %
50 år + 20 %	45	80 %
50 år + 30 %	49	96 %
50 år + 40 %	61	144 %
50 år + 50 %	72	188 %

Allerede ved et regn med 10 års gjentakintervall vil oppstuvningen være så høy for 13 bygninger at de står i fare for å få oppstuvning til dreneringen. Dette er et område med relativt mange bygg, så et kraftig regn kan potensielt gjøre skade på mange bygninger. Det verste regnet kjørt i denne oppgaven vil kunne gjøre skade på totalt 72 bygg, noe som er en økning på 188 % i forhold til dagens 50-års regn.

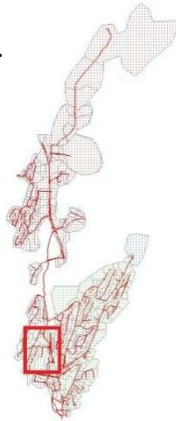


Figur 72: Kjelleroversvømmelser i Veumdalen under ekstremregnet 07.09.2002

Heller ikke i dette området har kommunen registrert problemer med oppstuvning. Motfallet kan tenkes å være en modellteknisk feil. Figur 72 viser kart over hendelser i forbindelse med ekstremregnet i 2002. I dette området får tre bygninger problemer under dette regnet. Beliggenheten til disse samsvarer godt med våre oppstuvninger helt øverst i feltet. Sammenligning med tidligere masteroppgaver viser tilsvarende resultater ved motfallet, men noe mildere resultater i de andre delene av feltet.

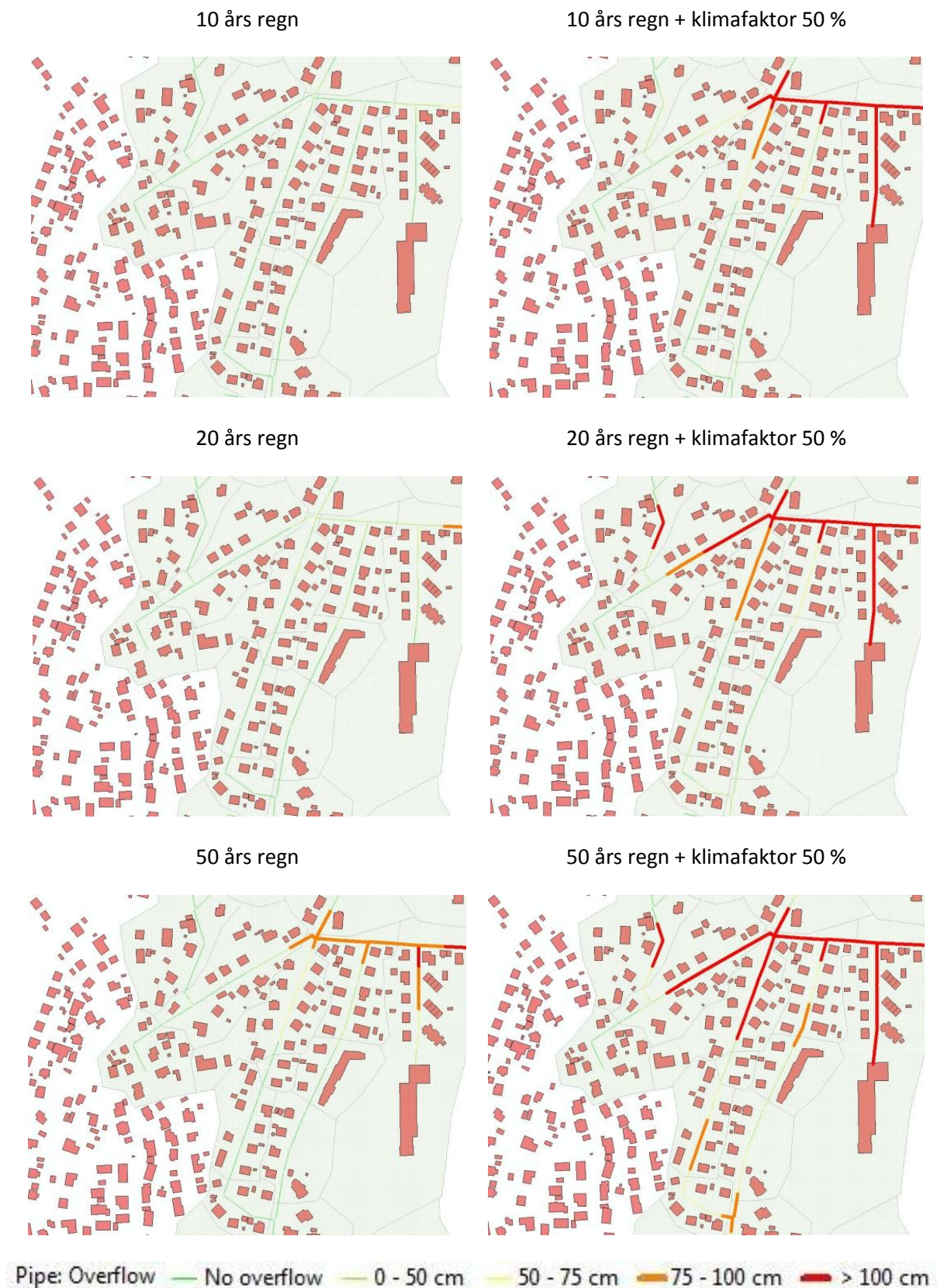
7.2.2 Nedre Veumdalen vest

I denne delen av Veumdalen ligger den eldste bebyggelsen og dermed også et gammelt ledningsnett. Området er utbygd på 50 og 60-tallet og består i hovedsak av gammelt felles- og ikke virksomt separatsystem (nedstrøms fellessystem). I rapporten til Norconsult antas det dårlig tilstand på ledningsnettet. Deler av området har dårlig grunnforhold bestående av svært bløt leire. I rapporten til Norconsult er det nevnt at det ikke er registrert noen direkte problemer i området. I kartutsnitt mottatt fra kommunen er det derimot grafisk fremstilt flere kjelleroversvømmelser i området for regnene mellom 2002 og 2008. Kjøringen av vår modell for området gir stort antall kjelleroversvømmelser, vist i de påfølgende avsnittene. Området er for oversiktens skyld delt inn i to delområder, ut fra hvor problemene med oppstuvning oppstår.

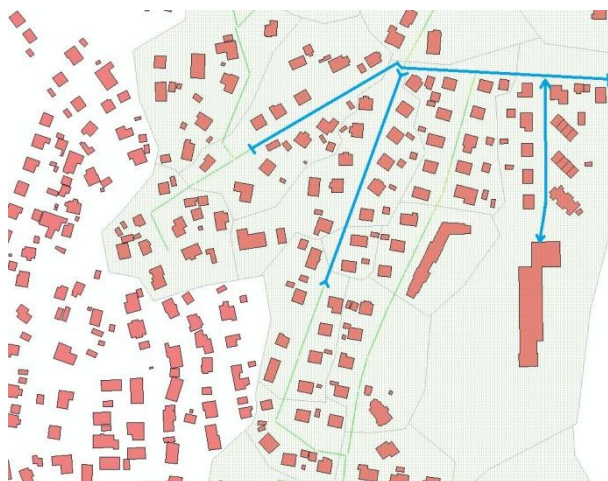


7.2.2.1 Mølleveien og omegn

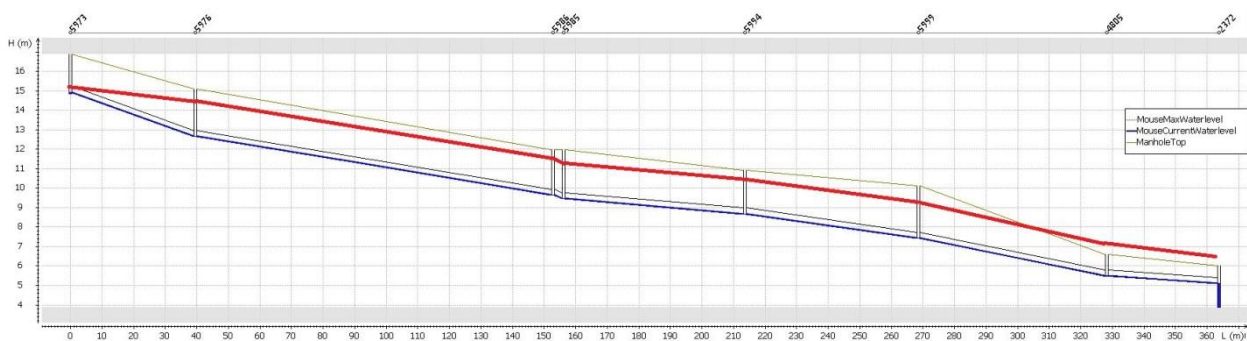
Den horisontale veien i Figur 74 er Mølleveien og Skrellenveien. Ut fra disse går stikkveiene Stræbsomhet, Unneberg og Th. Thomassensvei. Ved kjøring av modellen for regnhyetogram for 10, 20 og 50 års gjentaksintervall og økning av klimafaktorer oppstår det store problemer med oppstuvning i de nevnte veiene. Avløpsledningene ligger i grøft i veiene i boligfeltet og vil derfor kunne føre til kjelleroversvømmelser. I Figur 73 nedenfor og Tabell 14 vises resultatene for disse kjøringene.



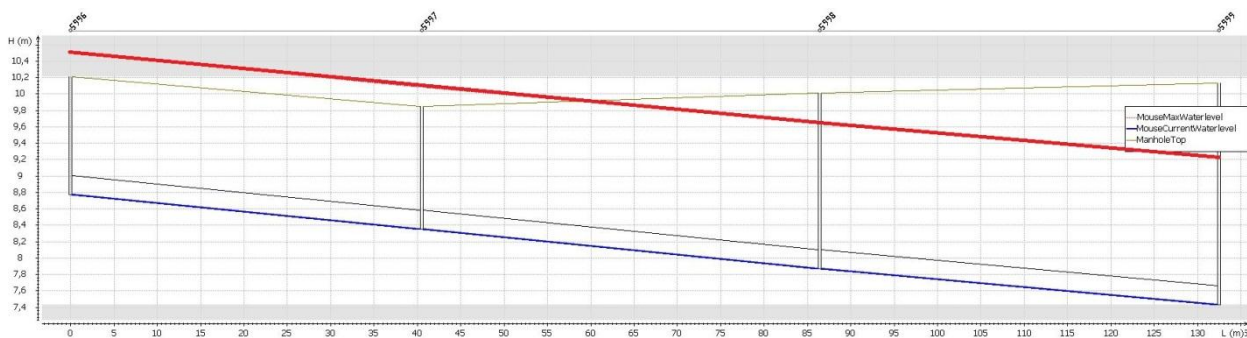
Figur 73: Viser utviklingen i trykkehøyde i ledning i Mølleveien og omegn for ulike gjentaksintervall og for verste klimafaktor (50 %). Oransje og røde fargene viser ledningsstrekker med trykkehøyde over 75 cm. For hus med stikkledninger koblet til disse delene av ledningsstrekket er det fare for oppstuing av avløp inn i kjeller. Dette avhenger av beliggenhet til husene i terrenget, samt gulvnivå i kjeller. Skadeomfanget avhenger også av eventuelle tiltak gjort for å forebygge dette, for eksempel tilbakeslagsventil.



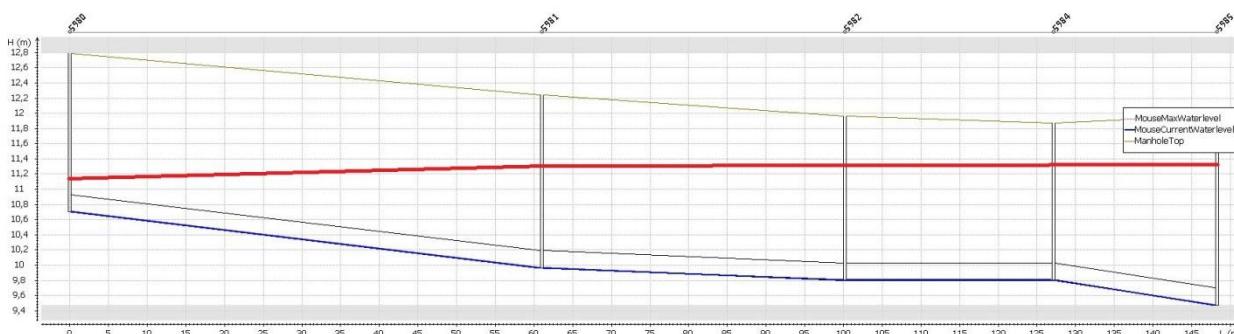
Figur 74: Viser ledningsstrekket som er vist i profil i figur 75,76 og 77. Dette er del av ledningsstrekket som er valgt ut med hensyn på oppstuvning vist i Figur 69 over, for nærmere gjennomgang.



Figur 75: Viser det lengste ledningsstrekket avgrenset av rette streker. Den røde linjen vil mot slutten av ledningsnettets delvis stige opp på overflaten, med andre ord at vannet vil stuve opp på marknivået.



Figur 76: Viser det korteste ledningsstrekket avgrenset av piler, der det er oppstuvning over bakkenivå i begynnelsen av ledningsstrekket.



Figur 77: Viser det mellomste ledningsstrekket avgrenset av "omvendt" piler, der det ikke vil bli oversvømmelse, men allikevel vil det bli oppstuvning over topp rør i hele strekket.

Av figurene over (Figur 75, Figur 76 og Figur 77) ser vi at modellen gir resultater som tilsier at området får problemer med oppstuvning til bakkenivå, spesielt for de to første ledningsstrekken. Også for det siste ledningsstrekket er oppstuvningen stor, men der ligger ledningen såpass dypt at vannet ikke vil stige til overflaten.

Tabell 14: Oversikt over antall hus som blir påvirket av oppstuvning over 75cm topp ledning for overvann i fellessystem. For kjøring av regn med 10, 20 og 50 gjentaksintervall og antallet er et grovt estimat fra manuell telling, uten informasjon angående stikkledninger og høydekote for hus.

Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser
10 år	0
10 år + 10 %	3
10 år + 20 %	3
10 år + 30 %	24
10 år + 40 %	33
10 år + 50 %	33

Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser	Prosentvis økning
20 år	3	
20 år + 10 %	12	300 %
20 år + 20 %	28	833 %
20 år + 30 %	32	967 %
20 år + 40 %	37	1133 %
20 år + 50 %	46	1433 %

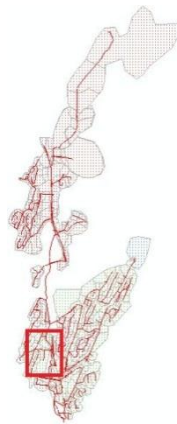
Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser	Prosentvis økning
50 år	23	
50 år + 10 %	31	35 %
50 år + 20 %	34	48 %
50 år + 30 %	45	96 %
50 år + 40 %	45	96 %
50 år + 50 %	53	130 %

Allerede ved et regn med 10 års gjentaksintervall og 10 % tillegg i klimafaktor oppstår det problemer med oppstuvning som kan gi kjelleroversvømmelser. Det ligger mange bygninger i boligfeltet, og ved store regn er det potensielt mange bygninger som står i fare for å bli berørt. Ved et regn med 50 års gjentaksintervall og tillegg på 50 % er det i følge våre resultater hele 53 bygninger som står i fare for å bli berørt.

Dette delfeltet har ingen rapporterte hendelser hos kommunen per dags dato. Men ifølge Ole Petter Skallebakke ved Fredrikstad kommune er dette et område som ligger lavt i terrenget. Det har vært forventet at området kan ha problemer med avløpsnett, uten at det har blitt oppdaget eller rapportert til nå. Ved nærmere sjekk har det vært påvist E. coli i oppstuvning av overvann på arealene i en barnehage i delfeltet. Dette bygget kan så vidt ses helt nord-øst i Figur 74. Da E. coli ble oppdaget ble dette ikke koblet sammen med problemer i avløpsnett, men ved ettertanke mener Ole Petter Skallebakke at tilfellet kan ha en sammenheng med situasjonen i avløpsnett. Ole Petter kommenterte også videre at som andre delfelt er avrennings situasjonen her feil i forhold til virkeligheten. Store deler av arealet vil ikke drenere inn til avløpsnett, men vil i stedet avrenne på overflaten direkte til Veumbakken. Ved sammenligning med tidligere masteroppgaver har både Hardang (Hardang 2007) og Zeigler (Zeigler 2006) lignende resultater for delfeltet ved kjøring av konstruerte regn.

7.2.2.2 Knipleveien

Det andre delområdet i nedre Veumdalen vest som får problemer med oppstuvning ved kjøring av modellen er Knipleveien. Dette er området med det eldste ledningsnett i Veumdalen. Ledningsnett består av gammelt fellessystem. Avløpsledningen til boligrekken har en dimensjon på 150 mm og skal ta av for både avløp fra hus, samt avrenning fra delfeltet på 1,3 ha. Dette fører til oppstuvning i avløpsledningen i boligfeltet. Samtidig så kan det se ut som at problemet blir forverret av at denne avløpsledningen føres videre til en annen avløpsledning som har problemer med oppstuvning ned mot hovedledningen.



10 års regn



10 års regn + klimafaktor 50 %



20 års regn



20 års regn + klimafaktor 50 %



50 års regn

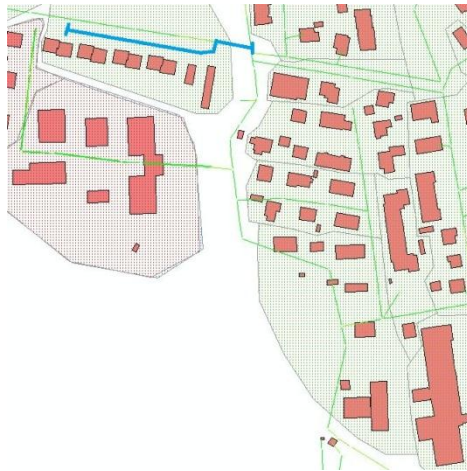


50 års regn + klimafaktor 50 %



Pipe: Overflow — No overflow — 0 - 50 cm — 50 - 75 cm — 75 - 100 cm — > 100 cm

Figur 78: Viser utviklingen i trykkehøyde i ledning i Knipleveien for ulike gjentakintervall og for verste klimafaktor (50%). Oransje og røde fargene viser ledningsstrekker med trykkehøyde over 75 cm topp ledning. For hus med stikkledninger koblet til disse delene av ledningsstrekket er det fare for oppstuvning av avløp inn i kjeller. Dette avhenger av beliggenhet til husene i terrenget, samt gulvnivå i kjeller. Skadeomfanget avhenger også av eventuelle tiltak gjort for å forebygge dette, for eksempel tilbakeslagsventil.



Figur 79: Viser ledningsstrekket som er vist i Figur 80 under. Ledningsstrekket starter ved hovedledningen som ligger langs bekken, og strekker seg innover i boligfeltet i Knipleveien.



Figur 80: Viser ledningsstrek fra Figur 79 der det blir oppstuvning til overflaten i boligfeltet. Dette ledningsstrekket starter fra hovedledningen fra bekken, og strekker seg innover i boligfeltet.

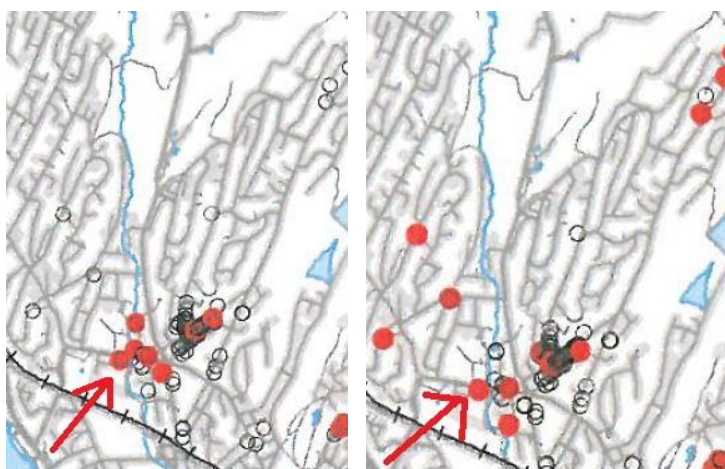
Tabell 15: Oversikt over antall hus som blir påvirket av oppstuvning over 75cm topp ledning for overvann i fellessystem. For kjøring av regn med 10, 20 og 50 gjentakintervall og antallet er et grovt estimat fra manuell telling, uten informasjon angående stikkledninger og høydekote for hus.

Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser
10 år	0
10 år + 10 %	0
10 år + 20 %	5
10 år + 30 %	8
10 år + 40 %	8
10 år + 50 %	8

Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser	Prosentvis økning
20 år	5	
20 år + 10 %	5	0 %
20 år + 20 %	8	60 %
20 år + 30 %	8	60 %
20 år + 40 %	8	60 %
20 år + 50 %	10	100 %

Regnhendelse	Antall kjelleroversvømmelser	Prosentvis økning
50 år	8	
50 år + 10 %	8	0 %
50 år + 20 %	10	25 %
50 år + 30 %	10	25 %
50 år + 40 %	10	25 %
50 år + 50 %	11	38 %

Knipleveien får ved kjøring av de konstruerte regnene i modellen oppstuvning over kritisk nivå fra regn med 10 års gjentakintervall og tillegg på 20 % og oppover. Tilstanden forverres ytterligere når også avløpsledningen avløpet i Knipleveien har utløp til får oppstuvning fra hovedledningen langs Veumbekken. På det verste er det 11 bygninger med fare for potensiell kjelleroversvømmelse.



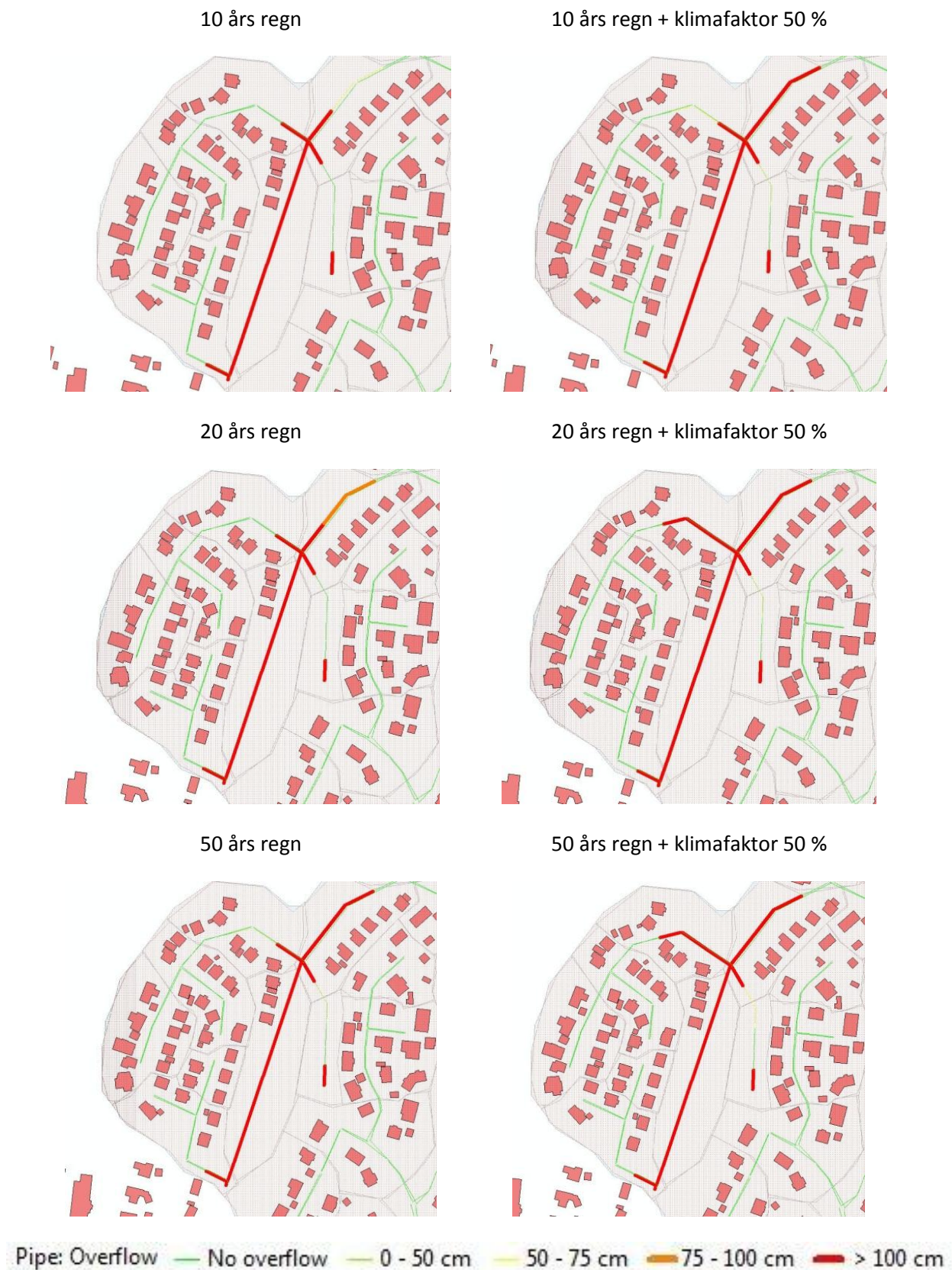
Figur 81: Kjelleroversvømmelser i Knipleveien under ekstremregn 11.08.2007 og 14.08.2008. Hentet fra oversiktskart over vannskader fra Fredrikstad kommune.

I forbindelse med ekstremregn i 11.08.2007 og 14.08.2008 ble det rapportert om kjelleroversvømmelser i Knipleveien, slik at området er utsatt. Dette er vist i resultatene gitt fra kommunens kart over vannskader, se Figur 81. I **Feil! Fant ikke referanse kilden.** Tabell 15 får hele Knipleveien oppstuvning over kritisk nivå ved de verste regnene. Det har ikke vært mulig å finne antall kjellere som ble oversvømmet ved disse datoene, men ut fra hendelseskartet fra kommunen gjelder det ikke i like stor utstrekning som i denne oppgaven.

7.2.3 Veumdalen nord-vest, Ambjørnrød

Ambjørnrød er et boligområde bygd ut mellom 1988-1994 med et ikke-virksomt separatsystem. Avløpsnettet består av PVC og noe betong. I dette området er det ikke registrert problemer med oppstuvning inn i kjeller. Området blir i tiltaksrapporten til Norconsult beskrevet som et område som ikke har behov for sanering eller restaurering. Ved våre kjøring blir det ingen problemer med oppstuvning fra fellesledningen opp i separatledningen. Derimot ble det oppstuvning i overvannsledningene i boligfeltet Grevlingstien. Oppstuvningen er vist i Figur 82 og som en kan se ut fra figuren vil det være noen hus som kan påvirkes av dette. Anslaget på antall hus som er påvirket er vist i Tabell 16 for de kjørte regnene med forskjellige klimafaktorer.

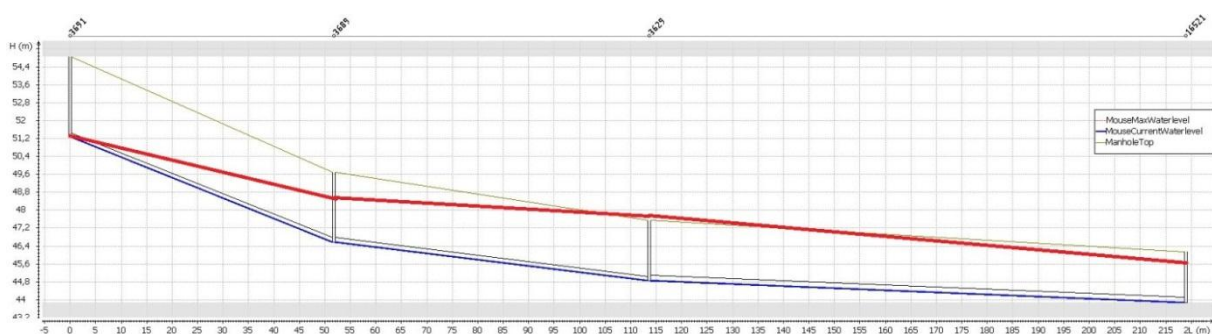




Figur 82: Viser utviklingen i trykkehøyde i ledning i Veumdalen nord-vest, Ambjørnrød for ulike gjentakintervall og for verste klimafaktor (50 %). Oransje og røde fargene viser ledningsstrekker med trykkehøyde over 75 cm. For hus med stikkledninger koblet til disse delene av overvannsledningsstrekket er det fare for oppstuvning av overvann til drenering rundt bygninger. Dette avhenger av beliggenhet til husene i terrenget. Skadeomfanget avhenger også av eventuelle tiltak gjort for å forebygge dette, for eksempel tilbakeslagsventil.



Figur 83: Viser ledningsstrekket som er blitt plukket ut og vist i profil i Figur 84.



Figur 84: Profil av ledningsstrekket i Figur 83 der den røde linjen viser oppstuvning i ledningsstrekket. Det blir oppstuvning til overflaten ved den tredje kummen fra venstre.

Tabell 16: Oversikt over antall hus som blir påvirket av oppstuvning over 75cm topp ledning for overvann i separatsystem. For kjøring av regn med 10, 20 og 50 gjentakintervall og antallet er et grovt estimat fra manuell telling, uten informasjon angående stikkledninger og høydekote for hus.

Regnhendelse	Antall kjellere med fare for innlekking av overvann
10 år	6
10 år + 10 %	6
10 år + 20 %	6
10 år + 30 %	6
10 år + 40 %	6
10 år + 50 %	6

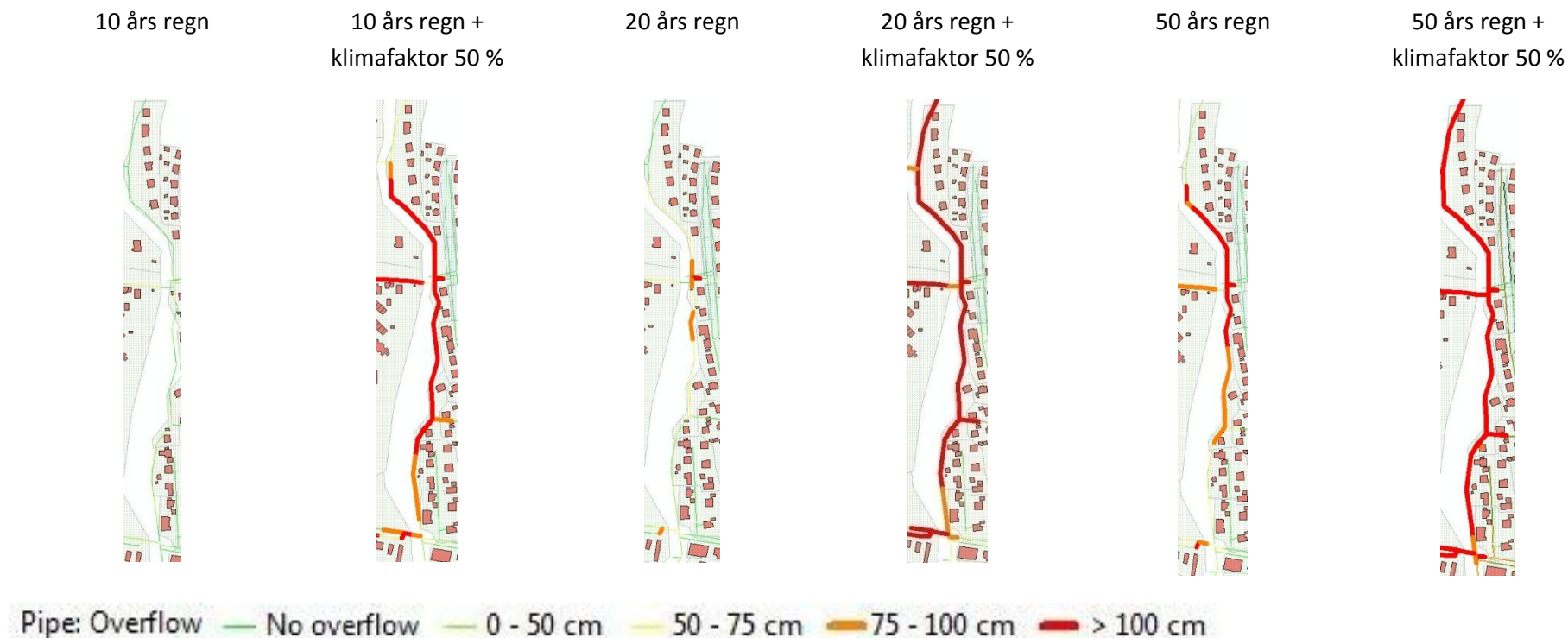
Regnhendelse	Antall kjellere med fare for innlekking av overvann	Prosentvis økning
20 år	6	
20 år + 10 %	9	50 %
20 år + 20 %	9	50 %
20 år + 30 %	9	50 %
20 år + 40 %	9	50 %
20 år + 50 %	11	83 %

Regnhendelse	Antall kjellere med fare for innlekking av overvann	Prosentvis økning
50 år	9	
50 år + 10 %	9	0 %
50 år + 20 %	9	0 %
50 år + 30 %	13	44 %
50 år + 40 %	13	44 %
50 år + 50 %	13	44 %

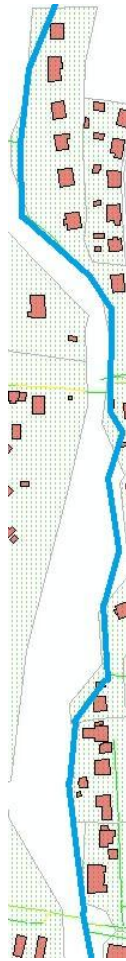
Som vist i Tabell 16 oppstår det allerede ved det mildeste regnet i denne oppgaven oppstuvning over kritisk nivå. Ved et regn med 10 års gjentaksintervall står 6 bygninger i fare for oppstuvning i drenering rundt grunnmur. Omfanget øker til 13 bygninger ved kjøring av regn med 50 års gjentaksintervall og tillegg på 50 % for klimaendringer. Fredrikstad kommune er ikke kjent med problemer i området, og mener også her at avrenningssituasjonen er feil i forhold til virkeligheten. I følge Ole Petter Skallebakke virker delarealene veldig store, og størsteparten av overvannet vil avrenne på overflaten uten å være innom ledningsnett. Verken Hardang (Hardang 2007) eller Zeigler (Zeigler 2006) får oppstuvning til kritisk nivå i dette delfeltet ved sine kjøring. Da denne oppgaven tar i bruk et nytt modelleringsprogram kan forskjellen i resultatene stamme fra uheldige endringer under konvertering. Dette er vanskelig å si noe om da vi ikke har tilgang til de eldre modellene. I forhold til regnhendelser som er brukt i oppgavene, har denne oppgaven både lengere varighet og høyere toppintensitet i forhold til Hardang. Det er mulig at dette gir det ekstra intensiteten som skulle til for å gi oppstuvning over kritisk nivå.

7.2.4 Delfelt hovedledning

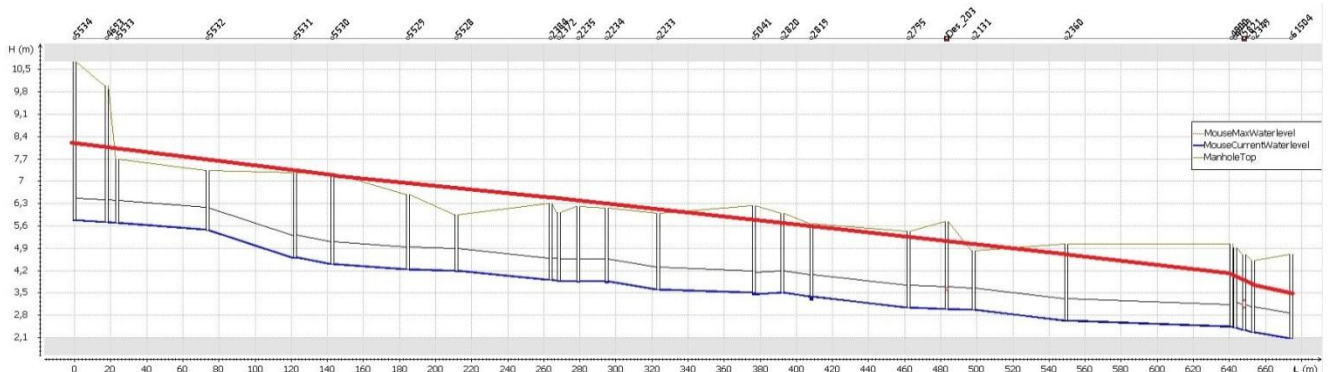
Hovedledningen ligger langs med Veumbekken, og frakter vekk mye overvann fra store deler av Veumdalen. Den har relativt lite fall, noe som ved sterke nedbørstilfeller kan føre til problemer, spesielt i de nedre deler av ledningen. Ledningen får tilførsler av avløp i mange punkter på veien nedover Veumdalen. Husene som ligger langs med ledningen er koblet direkte på denne, noe som kan bli kritisk ved enkelte nedbørshendelser. Det er vanskelig å si noe om hvor mange av byggene som står i fare da modellen ikke har topografi. I følge kommunen ligger byggene en del høyere enn ledningen og bekken, men at det er vanskelig å si noe sikkert om dette. Ledningen er også i en sånn befatning at det muligens er en del lekkasjer fra den, noe programmet ikke fanger opp.



Figur 85: Figuren viser oppstuvning i ledningsnett som følge av et regn med 10, 20 og 50 års gjentakintervall, med tillegg for klimafaktorer på 50 %. Oppstuvningen er gitt som centimeter over topp ledning. Ledningsstrekker vist med uthvet orange eller rød linje er områder som er i fare for å få skade som følge av oppstuvning inn i kjeller via avløpssystem, dårlig drenering rundt hus eller oppstuvning av overvann på overflaten.



Figur 86: Viser ledningsstrekket som er vist i profil i Figur 87 nedenfor. Dette er del av ledningsstrekket som er valgt ut med hensyn på oppstuvning for nærmere gjennomgang, vist i Figur 85.



Figur 87: Profil av ledningsstrekket som vist i Figur 86 for er regn med 50 års gjentaksintervall og tillegg på 50 %

Da byggene antageligvis ligger noen meter over bekken og hovedledningen, vil det kanskje være mest aktuelt å se på når overvannet stuver opp på marknivå. Det er derfor ikke sikkert at en oppstuvning på 90 cm over topp rør vil forårsake oversvømmelse inn i kjellere. Videre er det derfor sett på oppstuvning over marknivå og antall bygg som blir berørt av dette.

10 års regn

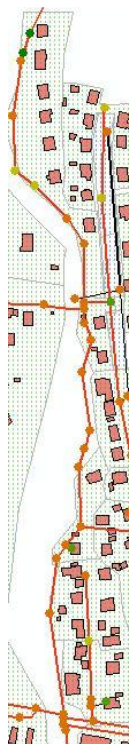
10 års regn +
klimafaktor 50 %

20 års regn

20 års regn +
klimafaktor 50 %

50 års regn

50 års regn +
klimafaktor 50 %



Figur 88: Figuren over viser utvikling i antall kummer som stuver opp på marknivå for et regn med 10-, 20- og 50-års gjentaksintervall med et klimatillegg på 50 %. De røde prikkene viser de aktuelle kummene som får oppstuvning over topp kum. Det kritiske nivået er flyttet opp fra 75 cm til markoverflaten, da ledningstrekket går langs Veumbekken som er det laveste punktet i området. Husene som er tilknyttet hovedledningen ligger derfor en del høyere i terrenget.

Tabell 17: Her vises oversikten over antall bygg som blir berørt dersom det er vann over marknivå som er kritisk nivå. Tabellen gjelder for den delen av hovedledningen som er nederst i feltet, vist i Figur 86. Tellingene må anses som en veldig grov tilnærming.

Regnhendelse	Antall bygg som blir berørt av oppstuvningen
10 år	0
10 år + 10 %	0
10 år + 20 %	0
10 år + 30 %	0
10 år + 40 %	1
10 år + 50 %	2

Regnhendelse	Antall bygg som blir berørt av oppstuvningen
20 år	0
20 år + 10 %	0
20 år + 20 %	1
20 år + 30 %	2
20 år + 40 %	2
20 år + 50 %	4

Regnhendelse	Antall bygg som blir berørt av oppstuvningen
50 år	1
50 år + 10 %	2
50 år + 20 %	2
50 år + 30 %	5
50 år + 40 %	10
50 år + 50 %	11

Resultatene for dette delfeltet er veldig usikre og må ses på kritisk. Det er store usikkerheter med tanke på topografi og beliggenhet til hus og stikkledninger. Det er også blitt anlagt et overløp på dette ledningsstrekket som følge av at det tidligere har vært problemer med kjelleroversvømmelser. Modellen brukt i denne oppgaven er ikke oppdatert med det nye overløpet. Overløpet er anlagt i nedre deler av hovedledningen vist i Figur 88. Overløpet skal tre i kraft ved større nedbørshendelser for å unngå flere kjelleroversvømmelser i bebyggelsen tilknyttet hovedledningen. Med tanke på at modellen benyttet i denne oppgaven ikke er blitt oppdatert kan resultatene se ut til å ha god overenstemmelse med hvordan tilstanden var før det nye overløpet. Som Tabell 17 og Figur 88 viser skal det ganske store nedbørshendelser til før hovedledningen gir oppstuvning over bakkenivå. Dette skjer først ved et regn med 10 års gjentaksintervall og tillegg på 40 %, og da bare i ett punkt. Antall berørte bygg som følge av oppstuvning øker sakte, og er ved det verste regnet på 11 bygninger. I dette delfeltet får Hardang ved kjøring av konstruert regn med 50 års gjentaksintervall ingen kummer med oppstuvning over kritisk nivå, mot denne oppgavens 2 kummer. I denne oppgaven øker antall

kummer med oppstuvning over kritisk nivå kraftig ved tillegg i klimaendringer på et 50 års regn. Dette kan tyde på at ved rundt et regn med 50 års gjentaksintervall er hovedledningen stresset og nærme full fylling. Ved tillegg for klimaendringer overskrides denne kapasiteten og det oppstår oppstuvning i kummene. Ved kjøring av regn med 50 års gjentaksintervall og 50 % klimatillegg er det hele 13 kummer med oppstuvning over marknivå.

7.3 Totalt antall bygninger påvirket av oppstuvning

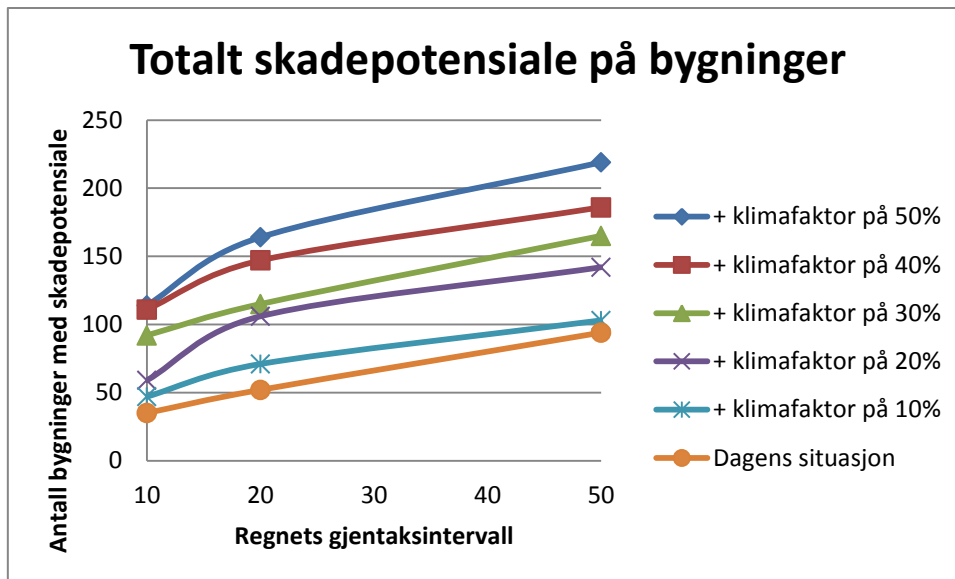
I utgangspunktet kunne det vært interessant og sett på forskjellen i antall mulige kjeller oversvømmelser mellom "normal" og "spilling". Det viser seg at forskjellen i antall meter ledning og antall kummer med oppstuvning over kritisk nivå er neglisjerbar i feltene der dette spiller noen rolle. I delfeltene med bebyggelse som har problemer med oppstuvning er det ingen eller liten forskjell på antall hus som blir påvirket. Det er mer interessant å se på antall hus som blir påvirket av oppstuvninger som følge av klimaeffekter.

Tabell 18: Oversikt over antall hus som blir påvirket av oppstuvning over kritisk nivå i ledningsnett. Dette gjelder både separatsystem samt fellessystem. For noen av tallene gjelder det kjelleroversvømmelser mens det i andre tilfeller gjelder dårlig drenering rundt grunnmur. Dette gjelder for kjøring av regn med 10, 20 og 50 gjentakintervall og antallet er et grovt estimat fra manuell telling, uten informasjon angående stikkledninger og høydekote for hus.

Regnhendelse	Antall bygg som blir berørt av oppstuvningen	Prosentvis økning
10 år	35	
10 år + 10 %	47	34 %
10 år + 20 %	59	69 %
10 år + 30 %	92	163 %
10 år + 40 %	111	217 %
10 år + 50 %	114	226 %

Regnhendelse	Antall bygg som blir berørt av oppstuvningen	Prosentvis økning
20 år	52	
20 år + 10 %	71	37 %
20 år + 20 %	106	104 %
20 år + 30 %	115	121 %
20 år + 40 %	147	183 %
20 år + 50 %	164	215 %

Regnhendelse	Antall bygg som blir berørt av oppstuvningen	Prosentvis økning
50 år	94	
50 år + 10 %	103	10 %
50 år + 20 %	142	51 %
50 år + 30 %	165	76 %
50 år + 40 %	186	98 %
50 år + 50 %	219	133 %



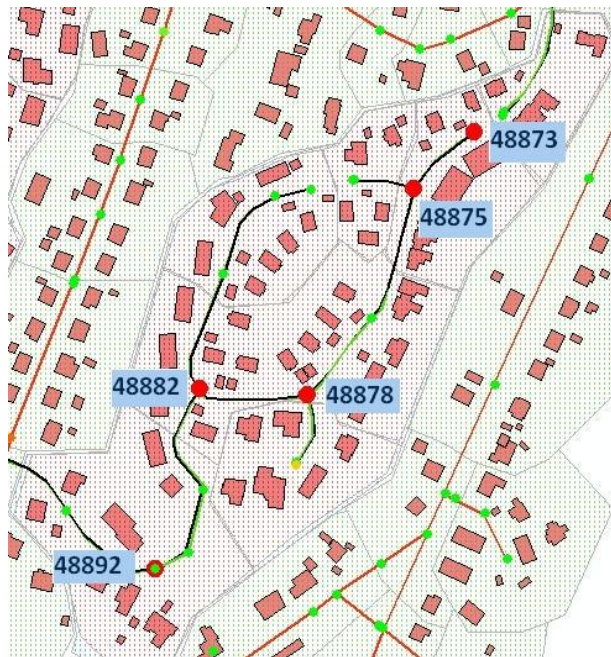
Figur 89: Viser en grafisk fremstilling av resultatene vist i Tabell 18.

Figuren viser økningen i antall bygninger med skadepotensiale. Ved å se på et regn med 20 års gjentakintervall vil det være en kraftig økning i antall bygninger som blir berørt når klimatillegget økes fra 10 % til 20 %. Dette gjelder også for regnet med 50 års gjentakintervall. Videre kan det bemerkes at dagens 50 års regn tilsvarer et 10 års regn med et 30 % klimatillegg når det sammenlignes med antall bygninger med skadepotensiale.

7.4 Oppstuvning til bakkenivå

Det kan være interessant å se på hvilke kummer som får oppstuvning over bakkenivå. Dette for å gi en oversikt over hvor det kan strømme avløpsvann opp av kum og forårsake skader som nevnt i Norsk Vanns veileder 162.

Når det gjelder oppstuvning over bakkenivå i separatsystem er det to delfelt som får dette. Disse er "Myratoppen" og "Veumdalen nord-vest, Ambjørnrød". Her velges det verste regnet, det vil si et regn med 50 års gjentaksintervall og 50 % da det potensielt vil vise det verste scenarioet.



Figur 90: Viser boligområdet "Myratoppen", der fem kummer får en oppstuvning over bakkenivå ved et regn med 50 års gjentaksintervall med et tillegg for 50 %. Kum nummeret er vist på figuren.

I dette området, Myratoppen, er det 5 kummer som vil få oppstuvning over bakkenivå ved det verste regnet. Ut fra bildet er det flere hus som ligger i tilknytning til kummene, og som antageligvis vil bli berørt. Kummene og den tilhørende mengde overvann som flommer over er vist i tabellen under.

Tabell 19: Her vises en oversikt over hvilke kummer som får en oppstuvning over bakkenivå i feltet "Myratoppen" samt dets maksimale oppstuvningshøyde.

Kum nummer	Oppstuvning over bakkenivå (meter)
48882	0,51
48892	0,49
48878	0,45
48875	0,20
48873	0,18

Ut fra tabellen vil spesielt kummene i de nedre delene av feltet få en ganske solid oppstuvning over bakkenivå på rundt 50 cm. I dette området ligger det en del bebyggelse rundt, og som det vil være naturlig å anta at vil bli berørt. Anslag på hvor mange bygninger som blir påvirket er det vanskelig å si

noe om, da det ikke foreligger noe shape-fil med topografi over området. Topografien vil i stor grad ha påvirkning på hvilken vei oppstuvningen tar, og hva som blir berørt.

Når det gjelder Veumdalen nord-vest, Ambjørnrød er det kun 2 kummer som får oppstuvning over bakkenivå. Den ene kummen er kommentert tidligere i oppgaven, da det etter samtaler med Fredrikstad kommune er en modellteknisk feil at den ene ledningen har en diameter på 5 cm. Grunnen til at det blir oversvømmelse i den andre kummen er antageligvis at det er et knutepunkt der overvannet kommer fra flere steder og fyller kapasiteten. Under er det vist en grafisk fremstilling av resultatene som for forrige delfelt.



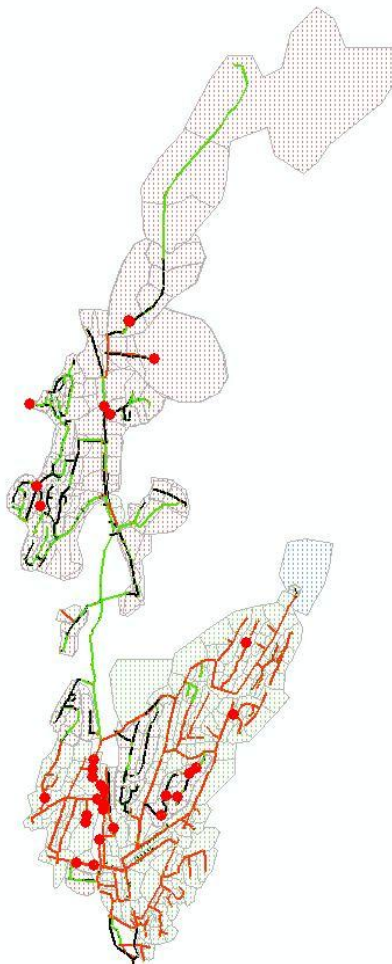
Figur 91: Området over Veumdalen nord-vest, Ambjørnrød, med to kummer som får en oppstuvning over bakkenivå. Kum nummeret er vist på figuren.

Kum nummer 3629 får problemer, men den berører ikke den mest sentrale delen av feltet. Allikevel vil nok et par av bygningene bli berørt dersom topografien er flat i området. Tabellen under gir at oppstuvningen over bakkenivå ligger på 20 cm for den nevnte kummen, noe som betyr at dette delfeltet ikke blir like mye berørt som for "Myratoppen".

Tabell 20: Her vises en oversikt over hvilke kummer som får en oppstuvning over bakkenivå i feltet "Veumdalen nord-vest, Ambjørnrød" samt dets tilhørende oppstuvingshøyde.

Kum nummer	Oppstuvning over bakkenivå (meter)
3627	0,31
3629	0,20

Av kummer tilknyttet fellessystem som får oppstuvning over marknivå er det flere spredte tilfeller. Nevnt i gjennomgangen av delfelt med problemer har delfeltene Knipleveien, Sponheimveien, Mølleveien og hovedledningen kummer med oppstuvning over bakkenivå. Disse kummene er nevnt i gjennomgangen av delfeltene. Utenom disse forekommer det enkelte kummer rundt om i Veumdalen med oppstuvning over bakkenivå. I Figur 92 gis en oversikt over alle kummer med oppstuvning over bakkenivå ved kjøring av regn med 50 års gjentaksintervall og tillegg på 50 % for klimaendringer. To av punktene kan ekskluderes som følge av modelltekniske feil, se avsnitt 7.1.1. Totalt forekommer det 31 kummer med oppstuvning over bakkenivå.



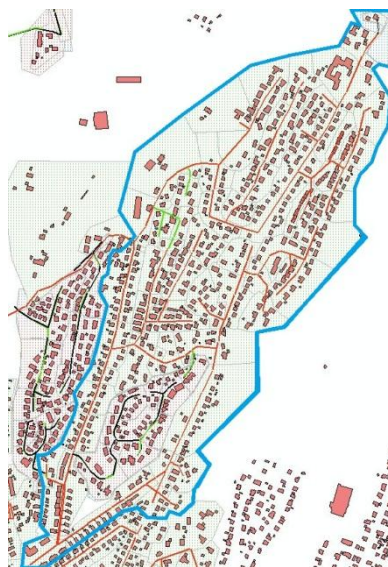
Figur 92: Oversikt over kummer med oppstuvning over bakkenivå i Veumdalen.

7.5 Følsomhetsanalyse av parametere i modellen

Det har blitt gjennomført en følsomhetsanalyse av parameterne i modellen. Følsomhetsanalysen er en punktanalyse for hvordan parameterne påvirker vannføringen i nedre del av østre Veumdalen. Punktet ble valgt ut på grunnlag av kapasitetsanalysen. Punktet har problemer med oppstuvning (se trykknivå ledning avsnitt 6.5), samt at punktet har tilrenning fra et stort område med mange delfelt. Mange av de andre problemområdene har ikke de samme forutsetningene, da de ligger som det øverste delfeltet og ikke mottar avrenning fra overliggende felter. Dette gjør at endring i tilrenningstid og andel bidragende tette flater får mindre å si for disse områdene. Ledningsstrekket (Figur 93) som er valgt ligger i nedre del av Christianslund allé og mottar avløp fra nedre del av Veumdalen øst. Utsnittet av nedbørsområdet vises i Figur 94. Dette er en grov tilnærming da avløpet har flere veier å gå.



Figur 93: Det merkede ledningsstrekket blir brukt i følsomhetsanalysen. Punktet er valgt ut på grunnlag av tidligere resultater, hendelser samt beliggenhet med store oven foreliggende avrenningsarealer vist i Figur 94.

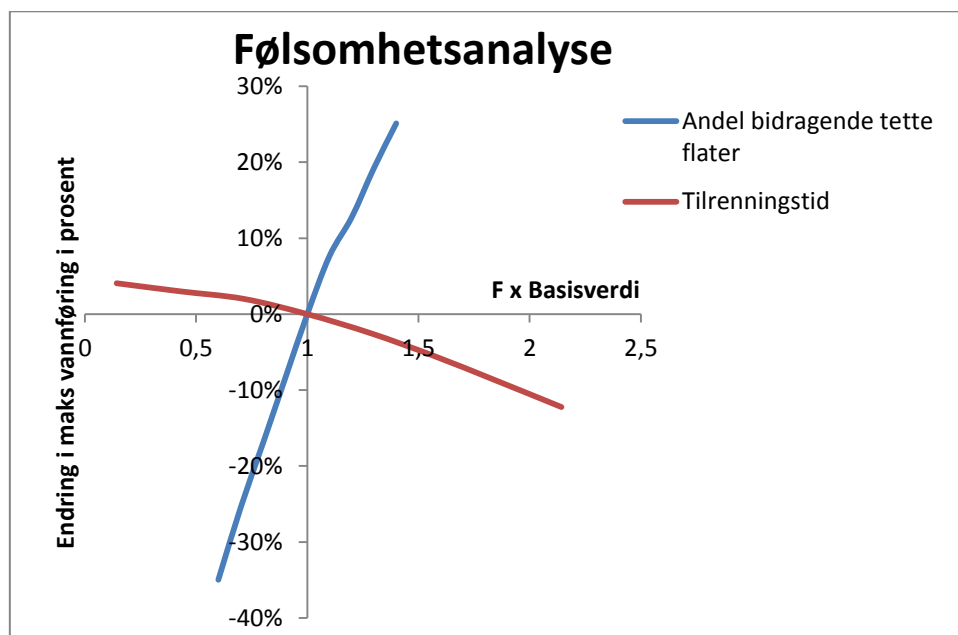


Figur 94: Nedbørsområdet som kan gi avrenning til ledningsstrekket vist i Figur 93

Det er valgt å bruke det samme konstruerte regnet med 20 års gjentaksintervall som tidligere brukt. Dette regnet ble valgt på grunnlag av at den maksimale vannføringen under dette regnet ikke fører til oppstuvning i den valgte ledningen. Se avsnitt 7.2.1.1 for tidligere resultater fra delområdet. Hadde et regn som førte til oppstuvning i den valgte ledningen blitt brukt ville resultatene blitt misvisende. Grunnen til dette er at en justering av parameterne muligens ikke ville gi utslag på vannføringen i

ledningen da den allerede er over sitt maksimum. I stedet vil endringen føre til en reduksjon eller økning i oppstuvning oppstrøms for ledningen, avhengig av om endringen av parameterne gir økt eller minkende vannføring.

Figur 95 viser resultatene av følsomhetsanalysen for andel bidragende tette flater samt tilrenningstiden i delfeltene. Hvor stor påvirkningsgrad parameterne har gis ut fra stigningstallet til kurven. Dersom kurven er bratt vil en liten endring av parameterverdien gi et stort utslag på den maksimale vannføringen i ledningen. Som forventet har andel bidragende tette flater stor påvirkning på vannføringen. Tilrenningstiden har ikke like stor påvirkning, da stigningstallet er mindre. En økning av andel bidragende tette flater på 50 % ($F=1,5$) vil gi en økning i maksimal vannføring på ca. 25 %. En tilsvarende økning i tilrenningstid vil bare føre til en redusering av maksimal vannføring på ca. 5 %.



Figur 95: Resultater for følsomhetsanalysen i modellen med fokus på andel bidragende tette flater og tilrenningstid i delfeltene. Det er tatt utgangspunkt i et regn med 20 års gjentakintervall. Basisverdien til de undersøkte parameterne er satt til den verdien modellen opprinnelig har i tidligere kjøring. For andel bidragende tette flater tilsvarer basisverdien (1) en andel bidragende tette flater fra tak på 30 % og vei på 40 %. For tilrenningstiden til delfeltene i modellen er basisverdien (1) gitt til 7 minutter. Basisverdiene multipliseres med en faktor (F) for å se på endring i maks vannføring i ett gitt punkt.

8 Diskusjon

8.1 Vår modells prestasjon i forhold til Norsk Vanns veiledning

Vi ønsket å se på hvordan feltet i vår modell klarte seg i forhold til Norsk vanns veiledning for dimensjonerende gjentaksintervall for separat- og fellesavløpssystem. Som nevnt i avsnitt 5.1 klassifiseres Veumdalen som boligfelt, der veiledende dimensjonerende regnskyllhyppighet og oversvømmeshyppighet blir henholdsvis en gang hvert tiende og tjuende år. For å se på denne problemstillingen brukes resultatene i avsnitt 7.1.2 og 7.1.3.

Ut fra veiledningen skal feltet ved et regn med 10 års gjentaksintervall maksimalt ha ledninger med fyllingsgrad på 100 %. Ut fra resultatene i avsnitt 7.1.3 klarer ikke deler av ledningsnett i Veumdalen det veiledende kravet gitt av Norsk Vanns veiledning 162. Ved det nevnte regnet er det nesten 500m av ledningsnett som har overskredet sin maksimale kapasitet. Dette tilsvarer 1,1 % av det totale ledningsnett i feltet. Ved nærmere ettersyn på beliggenheten til ledningsstrekke som ikke oppfyller det veiledende kravet, er beliggenheten til disse i flere tilfeller i forbindelse med utløp til Veumbekken. Dette gjør at antall meter muligens er noe lavere hvis en ser bort fra disse punktene. Ellers er flere av delfeltene med problemer nevnt i avsnitt 7.2 representert. 1,1 % av det totale ledningsnett virker som et godt resultat og er ikke avskrekkende.

Delkrav nummer to i veiledningen er at feltet skal tåle et regn med 20 års gjentaksintervall uten oppstuvning over det kritiske nivået. I veiledningen er det kritiske nivået gitt som 90 cm over topp ledning. Siden vi i denne oppgaven har definert det kritiske nivået i feltet til 75 cm over topp ledning fortsetter vi med dette også her. I avsnitt 7.1.2 gis resultater over antall meter ledning med oppstuvning over 75 cm over topp ledning. Ved et regn med 20 års gjentaksintervall får 1043 meter ledning en oppstuvning over det kritiske nivået. Dette tilsvarer 2,3 % av det totale ledningsnett i feltet. Som nevnt over finnes det ledningsstrekke som ikke vil påvirke boliger, noe som fører til noe overestimering i resultatene. Delstrekninger i feltet klarer altså ikke det veiledende minimumskravet til Norsk Vann, men 2,3 % er ikke et dårlig resultat.

8.2 Tiltak

I avsnitt 7.2 gjennomgås de ulike delfeltene med boligfelt som har problemer ved nedbør. Delfeltene er spredt i alle deler av Veumdalen og har forskjellige type problemer. Noen felt ligger nedstrøms store avrenningsarealer og mottar mye avløp fra delfeltene ovenfor. Problemer med flaskehals og ledningsstrekke med for liten kapasitet skaper oppstuvning i hovedledningene, som igjen fører til fare for kjelleroversvømmelser. Hvis det innebærer store kostnader for utbedring av problemet, kan det være aktuelt med tiltak utenfor problemområdet. Ved bruk av LOD-tiltak i delfeltene oppstrøms problemområdet kan mengden overvann og den maksimale vannføringen nedstrøms i avløpsnett reduseres. Ved tilstrekkelig reduisering og fordrøyning av overvannet som ledes til ledningsnett, kan oppstuvning unngås og skader forhindres i å oppstå.

Et slikt felt er delfeltet Christianslund allé (avsnitt 7.2.1.1). Avløpsmengdene fra de ovenfor liggende delfeltene skaper problemer i krysset mellom Christianslund allé og Paul Holmsensvei. For regn fra og med 20 års gjentaksintervall og 40 % i tillegg for klimaendringer oppstår det problemer i punktet der to større avløp-fellesledninger fra delfeltene ovenfor kobles sammen. I 2008 påla Fredrikstad kommune hus oppstrøms Christianslund allé å føre takvann ut på egen tomt. Dette tiltaket påvirket om lag 600 hus, og ved senere undersøkelser har rundt 60 % av disse etterkommet kravet. Som

forklart i avsnitt 5.8 vil et slikt tiltak forsinke og redusere overvannet som blir tilført det kommunale ledningsnett. Den maksimale vannføringen i Christianslund allé vil dermed reduseres. Påbud om takvann ut på egen tomt, samt regnbed og lignende tiltak har liten kostnad for kommunen. Kostnaden for husstandene er heller ikke stor, og kan forsvares med at husene betaler for eget generert overvann. Dårlig dreneringsevne i området kan påvirke tiltakets effekt og økonomisk forsvarlighet, da lite av overvannet vil infiltrere til grunnen. Dette kan føre til at det blir stående mer vann rundt grunnmur på hus med allerede dårlig drenering, med resultat i fuktskader. Påbudet må derfor kanskje tilpasses etter hvilke områder som er egnet/uegnet til gjennomføring.

Takvann ut på tomt påvirker både tilrenningstiden og andel bidragende tette flater i delfeltene. Det er vanskelig å anslå nøyaktig reduseringen av bidragende tette flater og økningen av tilrenningstiden dette tiltaket gir. I følsomhetsanalysen i avsnitt 7.5 gjennomgås hvilken effekt endring av disse to parameterne har på ledningsstrekke det det oppstår problemer i Christianslund allé. I stedet er det i denne oppgaven valgt å se på hvor stor redusering av den maksimale vannføringen som trengs for å unngå skader ved det mest ekstreme regnet. Som nevnt oppstår det problemer i punktet under et regn med 20 års gjentakintervall og 40 % tillegg for klimaendringer. Derfor kan det være interessant å se hvor mye den maksimale vannføringen i punktet må reduseres for et regn med 50 års gjentakintervall og 50 % i tillegg for klimaendringer, for å få samme maksimal vannføring som under et regn som ikke skaper oppstuvning over kritisk nivå. For et regn med 20 års gjentakintervall med et tillegg på 30 % vil den maksimale vannføringen være $0,49 \text{ m}^3/\text{s}$. Den tilsvarende vannføringen for et regn med 50 års gjentakintervall med et klimatillegg på 50 % er $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$. Med andre ord må den maksimale vannføringen reduseres med $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$, det vil si en reduksjon på 12,5 %. Av Figur 95 kan det leses ut at andelen bidragende tette flater må reduseres med ca. 20 %, eller at tilrenningstiden må mer enn dobles for å få ønskelig reduksjon i maksimal vannføring.

Hvis de mindre tiltakene ikke gir stor nok effekt på maksimal vannføring nedstrøms i ledningsnett kan det være aktuelt med større kommunale tiltak. Etablering av utjevningsmagasiner som dammer, rørmagasiner, våtmarker, kanaler og plastkassetter gir god effekt. Også tiltak som infiltrasjonsgrøfter/arealer, forbedring av infiltrasjonsevnen i veigrøfter og anlegging av permeable belegg i stedet for asfalt og betong er aktuelle tiltak. Spesielt forbedring av veigrøfter er aktuelt i delfeltene ovenfor Christianslund allé, hvor områder som Oredalsveien har asfalterte veigrøfter. Ved veiarbeid, kabel/ledningsnedlegging og lignende i områder med asfalterte grøfter, burde asfalten erstattes med gress eller grus. På denne måten tilrettelegges det for infiltrasjon av overvannet, samt at avrenningshastigheten reduseres.

Andre typer delfelt får problemer da ledningsnett ikke har god nok kapasitet til å frakte bort overvannet akkumulert på overflaten til arealet ved regn med høy intensitet. I disse tilfellene er det ikke den store mengden overvann fra store arealer oppstrøms delfeltet som skaper problemer, men heller de korte intense nedbørshendelsene. Slike problemer kan oppstå i nyanlagte delfelt helt øverst i et nedbørsfelt, som vist i avsnitt 7.2.1.2. Delfeltet Veumdalen Nord – Ambjørnrød (avsnitt 7.2.3) har samme problem. Felles for disse delfeltene er at ledningsnett klarer seg bra under for- og etterregnene i de kjørte regnhyetogrammene, men får raskt oppstuvning under minuttene med høy regnintensitet. Problemene som oppstår kan være forårsaket av underdimensjonering av ledningsnett. Enten på grunn av feilberegninger ved nylegging eller at det ikke er tatt hensyn til fortetning og endringer av arealbruken i delfeltet. Som i forrige eksempel på situasjon er det også i slike delfelt om å gjøre å fordrøye og redusere overvannet transportert direkte til ledningsnett,

spesielt gjelder dette ved regn med høy intensitet. I boligfelt er det da tiltak som går ut på å fordrøye ved å la overvannet ta lengre og tregere veier frem til innløpet til avløpssystemet som vil være virkningsfullt. Som beskrevet i avsnitt 5.8 kan dette gjøres på flere måter. Takvann til tomt, regntønne, regnbed og gresslagte grøfter i stedet for direkte ned i ledningsnett er en god start. Tiltak som dammer og kanalsystemer, infiltrasjonsgrøfter er også aktuelt ved større boligfelt med fellesarealer i borettslag.

Utenom lokale tiltak kan det gjøres mer på overordnet plan. Det kommunale ledningsnett er i mange tilfeller i for dårlig tilstand, underdimensjonert og trenger fornyelse. På lang sikt burde det legges opp en fremdriftsplan for bedring av tilstand og kapasiteten for hele ledningsnett i Veumdalen, med tanke på at regnintensiteten antageligvis vil øke i fremtiden (se avsnitt 5.8).

8.3 Sammenligning av tidligere resultater

Halvor Hardang (Hardang 2007) har utført en lignende oppgave der han blant annet har sett på samlet overløpsvolum. Forskjellen ligger i at i vår oppgave er det tatt med flere regn samt flere klimatillegg. Hardang har brukt 15 % tillegg ved sine beregninger av overløp i Veumdalen. Derfor velger vi i denne sammenligningen å bruke våre resultater med 20 % tillegg, da vi ikke har gjort beregninger for 15 %. I tillegg er det konstruerte regnet som blir brukt i vår oppgave noen minutter lenger enn for Hardang, da han benytter 60 minutter. Det vil derfor være naturlig å anta at vi får en større mengde i overløp, men den prosentvise økningen vil muligens være sammenlignbar. Derfor er det kun sett på dette, og ikke totalt overløpsvolum i denne sammenligningen.

Tabell 21: Viser den prosentvise økningen i overløp som følge av et klimatillegg på henholdsvis 15 % (Hardang) og 20 % (Køste/Hval) på et regn med 20 og 50 års gjentaksintervall.

Prosentvis økning i overløpsvolum								
Overløp	61504		4489		1144		4500	
Regnhendelse	Køste/Hval	Hardang	Køste/Hval	Hardang	Køste/Hval	Hardang	Køste/Hval	Hardang
20 års regn +15/20 %	19,6 %	23,2 %	36,2 %	41,1 %	15,5 %	13,0 %	46,4 %	20,6 %
50 års regn +15/20 %	20,1 %	19,7 %	34,1 %	35,6 %	14,2 %	12,6 %	39,2 %	21,2 %

Av tabellen er den prosentvise endringen ganske lik for de fleste overløpene. For eksempel overløp 61504 der Hardang har en økning på henholdsvis 23,2 % og 19,7 % for 20- og 50-års regnet, har vi 19,6 % og 20,1 % for det samme overløpet. For overløp 4500 spriker resultatene endel, der vår ligger 20-25 prosentpoeng høyere enn Hardang. Grunnen til dette kan være flere. Overløpet der forskjellen er størst ligger nederst i feltet. Siden vi bruker et regn som er noen minutter lenger enn Hardang, og kapasiteten i feltet begynner å bli fylt, vil antageligvis mye av det ekstra overvannet gå direkte i overløp. I tillegg er det en ekstra usikkerhet i våre resultater da overløpsvolumet vårt er underestimert som kommentert i avsnitt 7.1.4.

Hardang har også sett på antall hus som står i tilknytning til ledning med trykkehøyde over 0,9 meter. Dette har han gjort for de konstruerte regnhyetogrammer som tidligere nevnt. Vi velger da å sammenligne disse resultatene igjen for å se på eventuelle prosentvise likheter i økningen av antall berørte bygg. Siden vår oppgave ikke har med 15 % tillegg har vi heller valgt 20 % og forventer heller en litt høyere prosentvis økning.

Tabell 22: Viser økningen i antall berørte bygninger som følge av et klimatillegg på henholdsvis 15 % (Hardang) og 20 % (Køste/Hval) for et regn med 20- og 50-års gjentaksintervall.

Type regn	Prosentvis endring	
	Hardang	Køste/Hval
20 år +15%/20%	61 %	104 %
50 år +15%/20%	53 %	51 %

For 50 års regnet får vi ganske like resultater, men for 20 års regnet har vi en ganske stor forskjell. Dette gjenspeiles også i våre resultater der det spesielt for 20 års regnet er en stor økning i antall berørte hus selv for lave prosenttillegg i klima.

Nedenfor er det gitt en sammenligning av resultater vist i en rapport gjort av IMT på UMB. (Lindholm et al. 2007)

Lindholm/Nie har også sett på Veumområdet i Fredrikstad kommune og så da på nedbørsmålinger fra 1979-1989 og økte regnintensiteten med 20 % og temp med 2,9 °C. Det totale overløpsutslippet økte med 33 % (fra 450k m³ til 600k m³). Vi har da sammenlignet det resultatet med våre kjøring for henholdsvis 10, 20 og 50 års regn, og sett på den prosentvise økningen i overløpsvolum når vi øker regnintensiteten med 20 %.

Tabell 23: Sammenligning av den prosentvise økningen i overløpsvolum når regnintensiteten øker med 20 %

Køste/Hval		Økning Totalt overløp 1979-89	Lindholm/Nie
10 år	29,0 %		
20 år	27,8 %	33 %	
50 år	26,5 %		

Våre resultater ligger her litt lavere enn for det Lindholm og Nie fant, men allikevel er resultatene ganske like. Som tidligere nevnt vil det være en ekstra usikkerhet i våre resultater, da de er underestimert.

I 2004 ble det utført måling av overløpsdriften ved overløpene som er med i modellen brukt i denne oppgaven. Et kort utdrag fra resultatene fra måleperioden er nevnt i Tiltaksplanen for Veumdalen fra Norconsult (Norconsult 2007): "Beregningene er noe usikre, men viser svært høy overløpsdrift og forurensning fra 61504 og 4500, betydelig mindre fra 4489 og ingen overløp fra 1144." Dette resultatet stemmer i stor grad med resultatene i denne oppgaven. På lik linje med Hardang sine resultater er det liten overenstemmelse når det gjelder overløpsdriften ved overløp 1144. Begge oppgavene får overløpsdrift for 1144, som også overgår overløp 4489. Hva dette skyldes er vanskelig å anslå. Som nevnt er det dårlig informasjon om utforming og innmålning av overløpene. Hvilket kan føre til feil i modellen. En annen grunn til uoverensstemmelsene kan være mangel på store regnhendelser under måleperioden i 2004.

Guldbrandsen tok for seg et 10 års regn for Bærum kommune. Han oppjusterte regnintensitetene med 30 %, noe som førte til en økning i overløpsutslipp på 108 %. Våre beregninger viser at en

tilsvarende økning i regnintensitet fører til en økning i overløpsvolum på ca. 40 %. Dette avhenger av ledningsnett, avrennings situasjon, regnhendelse med mer.

I **Storbritannia** er det gjort forskning som viser at 40 % økning i regnintensitet vil føre til 100 % økning i flomvolumene, en økning på 130 % i antall eiendommer som blir flomskadet og en økning på 200 % i kostnad på flomskadene. I våre resultater vil det være sammenlignbart å se på økningen i antall eiendommer som blir skadet. Av vår resultattabell i avsnitt 7.3, totalt antall bygninger som blir berørt, vil det for de ulike regnene ligge på en økning på ca. 100-200 %. Fra 98 % for et regn med 50 års gjentakintervall til 217 % for et regn med 10 års gjentakintervall. Dette samsvarer relativt bra med resultatene fra Storbritannia, avhengig av hvilket regn man sammenligner med.

8.4 Feil og usikkerhet i modellen

Det er flere feilkilder og usikkerheter når det arbeides med en modell. Når det gjelder input-data som er brukt under modelleringen av ledningsnett i denne oppgaven er det store feilkilder. For det første har klimamodellene en veldig grov oppløsning i forhold til oppløsning som trengs for en slik modellering. Da vi ikke bruker en klimamodell direkte i denne oppgaven, vil ikke dette påvirke resultatene i denne oppgaven, da vi heller har lagt til en prosentvis endring slik at resultatene kan brukes sammen med fremtidige klimamodeller.

En større feilkilde er IVF-kurven, da den er bygget på data fra perioden 1970-1995. Dette er en periode som inneholdt få ekstremhendelser i tillegg til å være fra en tid tilbake. Siden denne perioden kan det allerede ha vært en endring i klimaet.

Det er viktig å huske på at modellen bare er en tilnærming til virkeligheten. Det hydrologiske systemet er komplekst sammensatt, og det er tatt i bruk mange forenklinger av virkeligheten som bidrar til usikkerheten.

Utenom alle forenklingene og antagelsene i modellen er det flere modelltekniske feil som påvirker resultatet i stor grad. Gjennom arbeid med modellen og de ulike kjøringene har det dukket opp en del resultater som har vært litt merkelige. Ved nærmere ettersyn og etter samtaler med kommunen har det vist seg at en del av resultatene blir misvisende. Modellen vår er delt inn i mange delfelt, der alt regnet i hvert delfelt vil dreneres til innløpskummene i det aktuelle delfeltet. Problemet er at delfeltene ikke gjenspeiler avrennings situasjonen i delfeltene. I mange av de små delfeltene vil nedbøren i virkeligheten dreneres til helt andre punkter enn det modellen angir. Ved gjennomgang med Ole Petter Skallebakke i Fredrikstad kommune ble det funnet mange eksempler på at de gjennomgåtte delfeltene ikke avrenner slik modellen har beskrevet området. Et godt eksempel på dette er delfeltet som omhandler Myratoppen (7.2.1.2). Hele østsiden av dette feltet består av en skråning som vil avrenne mot øst, og vil derfor ikke renne inn i boligområdet Myratoppen. Det samme gjelder for problemområdet vist i Figur 48. Store deler av dette arealet vil i virkeligheten dreneres vestover mot de andre delfeltene. Slike feilinn delinger av delnedbørsfeltene kan gi feil resultater for enkelte ledningsstrekker. Dette kan resultere i at modellen gir for stor eller for liten avløpsmengde i det lokale området i nærhet til feilen. Lengre ned i ledningsnett derimot blir feilen mindre da feilen kan ha blitt tatt høyde for ved kalibrering eller at de bidragende arealene til syvende og sist blir utjevnet. Derfor kan oppstuvningene i noen delområder i modellen være mer eller mindre ekstreme enn det de i virkeligheten vil være. Dette er ganske gjennomgående for flere steder i modellen.

Ved gjennomgang sammen med Ole Petter Skallebakke ble det også oppdaget flere eksempler på feil på ledningsstrekker. I noen tilfeller mangler nye ledningsstrekker, og i andre tilfeller er det ledningsstrekker i modellen som ikke finnes eller som er tatt ut av bruk de senere årene. Dette gjelder i særlig grad områder der det er gjort tiltak. Dette vil også være med på å skape usikkerhet i resultatene. Det er også eksempler på utløp i modellen som kommunen ikke kjenner til, og som antageligvis ikke hører hjemme i modellen.

Når det gjelder overløpene i modellen er det store usikkerheter. Disse er ikke innmålt, og det mangler derfor data som kotehøyder og dimensjoner. Videre er det lite dokumentasjon på overløpene. Som tidligere nevnt er det også lagt til et nytt overløp langs Veumbekken, som ikke er blitt innlemmet i modellen, som videre er opphav til økende usikkerhet. I våre beregninger er heller

ikke hele overløpsvolumet med, da overløpene fortsatt er i drift etter regnets varighet på 70 minutter.

Summen av disse feilene og usikkerhetene fører til at resultatene blir en grov tilnærming til hvordan det virkelige feltet vil respondere på virkelige hendelser, og resultatene må derfor brukes med omhu.

8.5 Videre arbeid

Det er mye som kunne vært gjort annerledes i denne oppgaven. Det kunne vært interessant og sett på tiltak som allerede er blitt utført i Veumdalen. Disse er ikke blitt modellert før anleggelse, og effekten av disse er derfor vanskelig å si noe om. Videre hadde vi et generelt ønske om å få modellert egne tiltak i feltet for å se på effekt og hvor mye som må holdes tilbake for å unngå skader. Dette ble det dessverre ikke tid til.

Veumbekken er allerede en stresset bekk som mottar mye overvann og renner videre inn i en lukket kulvert som allerede er underdimensjonert og byggmessig i relativt dårlig stand. Derfor kunne det vært interessant å se på flomveier generelt i feltet samt måter å unngå ytterligere belastning av Veumbekken.

Ved oppstart av oppgaven var det også tenkt å kjøre tidsserier. Dette viste seg å være svært tidkrevende og ble valgt bort, da vi hadde modelltekniske problemer. For videre arbeid kunne det vært interessant å kjøre tidsserien, eventuelt å få valgt de mest interessante regnene for samtlige år. Dette ville kunne resultert i en frekvensanalyse av oppstuvinger og skader i ledningsnettet.

Foruten å kjøre tidsserien finnes det ekstremregn fra det siste 10-året hos kommunen. Nyere data enn fra 1995 var ikke mulig å hente fra eKlima. Regndata ligger i databasen, men er ikke ferdig behandlet. Det kunne vært interessant å gjøre en lignende oppgave med nyere regndata, da det i perioden mellom 1995 frem til i dag allerede kan ha skjedd endringer i nedbørsmønsteret og intensiteten som følge av klimaendringer.

9 Konklusjon

Innbyggerne i Veumdalen har de siste 10 årene blitt utsatt for en lang rekke ekstremregn med store konsekvenser med tanke på skade på bygninger og infrastruktur. I perioden frem til 2000 års-skiftet har det vært få store hendelser, men i de siste årene har enkelte av innbyggerne i området opplevd kjelleroversvømmelser opptil flere ganger i året. Dersom klimaendringene slår til og tiltak ikke blir iverksatt er det en fare for at vi vil oppleve en eskalering av disse hendelsene. I våre naboland regnes det med at klimaendringer vil føre til en økning i regnintensitet med 30-50 % frem mot århundreskiftet, mens det i Norge ikke finnes slike tall fra offisielt hold. En slik økning vil få store konsekvenser for belastningen på ledningsnett.

Resultatene i denne oppgaven viser at en prosentvis økning i regnintensitet vil gi en større prosentvis økning i antall bygninger som blir berørt. Dette er også gjennomgående når det er snakk om oppstuvning i kummer og mengde overløp. For å motvirke dette trengs det god planlegging og iverksetting av tiltak i området.

10 Litteraturliste

- Andersen, T. (2008). *Tiltak på VA-systemene pga klimaendringer*. GEMINI brukerkonferanse: Norsk Vann.
- Braskerud, B. C. (2010a). Detention of Heavy Rain on an Extensive Norwegian Sedum Roof.
- Braskerud, B. C. (2010b). *Grønne tak for et klima i endring*. World Green Roof Congress.
- CICERO. (2009). Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge.
- CICERO. (2010a). *Hva koster klimaendringene*. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpasning-norge-2/bibliotek/generelle/Hva-koster-klimaendringene.html?id=591622>.
- CICERO. (2010b). *Hva koster klimaendringene?* Tilgjengelig fra: http://www.cicero.uio.no/fulltext/index_e.aspx?id=2398.
- CICERO. (2010c). Virkninger av klimaendringer på norsk økonomi, Klima 3-2010.
- COWI. (2007). Overvannsrammeplan Fredrikstad kommune.
- DHI. (2008a). *MOUSE RDII Reference Manual*.
- DHI. (2008b). *MOUSE Runoff Reference Manual*
- DHI. (2009). *MOUSE Pipe flow Reference Manual*
- eKlima. (2011). Meteorologisk Institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.eklima.no>.
- Engan, J. A. (2010). Forelesningsnotat - Modeller. *THT300*.
- Environmental Protection Agency - Klimaets tilstand*. (2010). Tilgjengelig fra: <http://www.epa.gov/climatechange/science/stateofknowledge.html> (lest 12/01/2011).
- EPA, Temperaturutvikling* (2010). Tilgjengelig fra: <http://www.epa.gov/climatechange/science/futuretc.html>.
- Exflood - Beskrivelse av prosjektet*. (2010). 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 12/01/2011).
- Fakta om RegClim Fase III*. (2006). Tilgjengelig fra: <http://regclim.met.no/>.
- FNs Klimapanel - Rapport om klimaendringer*. (2007). Tilgjengelig fra: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.
- FNs klimapanelers rapport for menneskets påvirkning på klimaendringer*. (2007). Tilgjengelig fra: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf> (lest 13/01/2011).

Forskningsrådet - Om Norklima-programmet. (2010). Tilgjengelig fra:
<http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?c=Page&cid=1226993599882&pagename=norklima/Hovedsidemal>.

Fredrikstad. (2007). Viktig å vite om kjelleroversvømmelser.

Fremtidig klima i Norge. (2010). Tilgjengelig fra:
http://met.no/Klima/Fremtidsklima/Virkninger/Klimaendringer_i_Norge/.

Green, K. C. & Armstrong, J. S. (2007). Global Warming: Forecasts by Scientists versus Scientific Forecasts. I, s. 995-1019.

Hardang, H. (2007). *Analyse av virkninger av klima på flomskader og overløpsutslipp i Veumdalen, Fredrikstad*.

Haven.dk. (2010). *Brug regnvandet i din have*. Tilgjengelig fra:
<http://www.haven.dk/news.asp?detail=22004>.

Klima i Norge. (2010). Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/> (lest 13/01/2011).

Klimaendringer i Norge. (2009). Tilgjengelig fra:
<http://www.cicero.uio.no/webnews/index.aspx?id=11186> (lest 13/01/2011).

Lagmannsrett, B. (2007). *Dokument nummer: LB-2005-156780-RG-2007-1281*.

Lindholm, O., Nie, L. & Bjerkholt, J. T. (2007). IMT Rapport nr 16/2007.

Lindholm, O. (2010a). Forelesningsnotat - Klimaendringer og effekter. *THT300*.

Lindholm, O. (2010b). Forelesningsnotat - LOD. *THT300*.

Lindholm, O. (2010c). Forelesningsnotat - Modeller. *THT300*.

Lindholm, O. (2011). *Usikkerheter i flomberegninger i urbane områder*. Norsk Vann.

Middeltemperatur i Norge. (2010). Tilgjengelig fra:
<http://www.miljostatus.no/Tema/Klima/Klimanorge/> (lest 13/01/2011).

Naturvernforbundet. (2010). Klimaendringer gir mer regn.

Norconsult. (2007). Veumdalen - Tiltaksplan vann og avløp.

NORKLIMA. (2011). *Våtere, varmere og billigere*. 2011-1. Tilgjengelig fra:
<http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?c=Page&cid=1226994336172&pagename=norklima%2FHovedsidemal>.

Norsk-Vann. (2005). *NORVARs veiledning for overvannshåndtering*. Tilgjengelig fra:
norskvann.no/index.php/content/download/16262/174390.

Norsk-Vann. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannhåndtering*, 162 - 2008.

- NOU. (1998). *Nytte-kostnadsanalyser*. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/fin/dok/nouer/1998/nou-1998-16/3/3.html?id=349758>.
- NOU. (2009a). *Hvordan blir klimaet i Norge i 2100?* Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpasning-norge-2/bibliotek/publikasjoner/hvordan-blir-klimaet-i-norge-i-2100.html?id=568599>.
- NOU. (2009b). *Klima i Norge 2100*. Tilgjengelig fra: http://www.regjeringen.no/upload/MD/Kampanje/klimatilpasning/Bilder/NOU/Klima%20i%20norge%202100_sept09/NOU-rapp_kap3.pdf.
- NOU. (2009c). *Mer ekstrem korttidsnedbør i din region?* Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpasning-norge-2/bibliotek/forskning/mer-ekstrem-korttidsnedbor-i-din-region.html?id=578344>.
- NOU. (2010). Tilpassing til eit klima i endring, 2010:10.
- Oddvar Lindholm, Linmei Nie & Bjerkholt, J. (2007). Klimaeffektens betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer, IMT rapport nummer 16. side 15 s.
- Oslo-kommune. (2001). *Detaljplaner*. Tilgjengelig fra: http://www.plan-og-bygningsetaten.oslo.kommune.no/planer_og_utredning/detaljplaner/article27079-8029.html.
- RegClim - Norges klima om 100 år, usikkerhet og risiko*. (2006). Tilgjengelig fra: http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre2005.pdf (lest 13/01/2011).
- Rosie. (2011). ROSIE MOUSE.
- Sekse, M. (2009). *Praktisk overvannshåndtering i et klimaperspektiv*. Fagtreff 19.11.09: Norsk Vann.
- Skallebakke, O. P. (2008, 30/10/2008). *Kjelleroversømmelser i Fredrikstad*.
- Stein Beldring, Lars A. Roald & Voksø, A. (2002). Avrenningskart for Norge: NVE. 21-22 s.
- Stolte, J. (2010). Extreme weather in small catchments.
- Stordahl, K. (2007). Er usikkerheten i klimaprognosene undervurdert?
- SvensktVatten. (2004). Dimensionering av allmänna avloppsledningar.
- Sælthun, N. R. (2010). *Forelesningsnotat - Hydrological Modelling*. THT300.
- Zeigler, J. B. (2006). *Veumdalen, Fredrikstad*.
- Åserud, R. *Frykter flere kjelleroversømmelser*. Tilgjengelig fra: <http://www.huseierne.no/Hus-Bolig/Tema/Sikkerhet/Frykter-flere-kjelleroversvømmelser>.

11 Vedleggsliste

Vedlegg 1: Fremmedordliste

Vedlegg 2: Eksportert overløpsdata fra ROSIE

Vedlegg 3: Beregning av samlet overløp for Veumdalen per regnhendelse

Vedlegg 4: Regndata som ligger til grunn for IVF-kurve og konstruerte regn, hentet fra eKlima

Vedlegg 1: Fremmedordliste

Avløpsvann

Felles betegnelse for spillvann, drensvann og overvann.

Avrenning

Nedbør som renner på overflaten og ut i vassdragene, og derfra ut i havet.

Drensvann

Vann som ledes bort fra grunnen under terrengoverflaten.

E. coli

En bakterie som benyttes som indikator på fecal (avføring fra mennesker, varmblodige dyr og fugler) forurensing av drikkevann. Påvisning av E. coli i drikkevann indikerer nylig forurensing.

Empiriske data

Data som er produsert ved hjelp av eksperiment eller observasjon

Erosjon

Defineres som den stadige avnagingen, bortslitingen og nedbrytingen som foregår på jordoverflaten.

Fellesavløpsnett

Avløpsledningsnett som transporterer både spillvann fra husholdninger, næringsliv, offentlige institusjoner, drensvann fra bygningskonstruksjoner, avrenning fra hustak, veier, parkeringsplasser og overvann.

Force Majeure

Ekstraordinær hendelse som står utenfor partenes kontroll; eksempelvis flom, krig, naturkatastrofer osv. Dette er noe som brukes som en klausul i kontrakter.

Følsomhetsanalyse

En analyse av hvor sensitiv en kalkyle er for eventuelle endringer i de faktorer som kalkylen omfatter.

Gjentaksintervall

Kan defineres som sannsynlig hyppighet for en hendelse

Infiltrasjonsevne

Grunnens evne til å ta imot og rense overvann.

Infrastruktur

Strukturen som trengs for å få samfunnet til å fungere, blant annet veier, gater, flyplasser, havner og vann- og avløpsnett

Koter/Kotehøyde

Linjer på kart som markerer høydenivået i terrenget i forhold til en referansehøyde. Jo tettere det er mellom hver kote, jo brattere er terrenget.

Kulvert

Nedgravd tunnel laget for gjennomføring av f.eks. vann, trafikk, tekniske installasjoner eller kombinasjoner av disse.

LOD/LOH

Lokal Overvanns Disponering / Lokal Overvanns Håndtering, det vil si måter overvann kan brukes og fordrøyes på for å holde tilbake vannmasser.

Nedbørfelt

Arealet som bidrar med vann til et hav, elv, innsjø eller en bekk

Oppstrøms/Nedstrøms

Henviser til et punkt og betegner prosesser som foregår ovenfor eller nedenfor dette punktet

Overløp

En teknisk innretning som leder vann ut av ledningsnettets ved for høy belastning på ledningsnettets.

Overvann

Regn- og smeltevann som ledes bort fra markoverflater, byggverk og lignende.

Regnintensitet

Har forskjellige benevninger (eks. l/s*ha eller $\mu\text{m/s}$), men sier noe om hvor mye regn som kommer per tidsenhet

Regresskrav

Et krav som rettes for å dekke et beløp man har betalt for en annen.

Resipient

Fellesbetegnelse på bekk, elv, innsjø, hav, myr eller annen vannkilde.

Sanering

Er et tiltak som blir iverksatt for å fornye eller forbedre f. eks infrastruktur

Selvrensende

Ledning hvor (avløps)vannet har tilstrekkelig hastighet slik at partikler som sand, grus og slam ikke bygger seg opp i ledningsnettets.

Separatavløpsnett

Avløpsnett som har to avløpsledninger. En for spillvann og en for overvann. Spillvannet føres til renseanlegg, mens overvann ledes ut til nærmeste bekk, elv, innsjø etc.

Separere

Skille spillvann fra overvann slik at avløpene går til ulike ledninger.

Shape-fil

En data-fil som inneholder informasjon om geografiske forhold som høydekoter.

Signifikant

Noe som ikke skyldes tilfeldigheter

Spillvann

Vann fra sanitærutstyr og innretninger. Husholdningskloakk fra vask, toalett etc.

Stikkledning

Private vann- og avløpsledninger fra bolig/eiendom til og med tilknytningspunkt på kommunale ledninger.

Tette flater

Områder der overvann ikke infiltreres.

VA

Forkortelse brukt om vann og avløp

Tilbakeslag

Betegnelsen på den tilstanden hvor spillvann trenger inn via avløpsledningene.

Tilbakeslagsventil

Ventil som sørger at vann bare kan strømme en vei. I denne sammenheng kan vannet bare strømme ut av huset og ikke inn i huset.

Urbane områder

Gjerne brukt om byer med befolkningstetthet

Urbaniseringsgrad

Sier noe om hvor stor andel i prosent av befolkningen som er bosatt i byer

Vannføring

I denne oppgaven brukt om hvor mye vann som strømmer gjennom et ledningsstrek ved et gitt tidspunkt, gjerne målt i m³/s.

Vannveier

Brukes gjerne om elver, innsjøer, havstrekning eller kanaler som overvann blir fraktet til

Vedlegg 2: Eksportert overløpsdata fra Rosie

Overløp nr:	61504w1		4489w1		1144w1		4500w1		Sum
Regnets gjennetaksintervall og klimafaktor	Max vannføring	Overløpsvolum	Max vannføring	Overløpsvolum	Max vannføring	Overløpsvolum	Max vannføring	Overløpsvolum	overløpsvolum
10 år	0,50	820	0,19	152	0,13	252	0,38	366	1591
10 år + 10%	0,51	900	0,21	181	0,14	274	0,46	464	1820
10 år + 20%	0,54	977	0,24	210	0,15	296	0,54	569	2052
10 år + 30%	0,57	1057	0,26	241	0,15	315	0,60	672	2285
10 år + 40%	0,59	1138	0,28	272	0,16	333	0,65	775	2518
10 år + 50%	0,62	1221	0,31	304	0,16	351	0,69	879	2755
20 år	0,52	944	0,22	195	0,15	287	0,50	516	1943
20 år + 10%	0,56	1035	0,25	230	0,15	311	0,58	636	2212
20 år + 20%	0,59	1129	0,28	266	0,16	332	0,63	756	2483
20 år + 30%	0,62	1225	0,30	303	0,16	352	0,68	876	2756
20 år + 40%	0,64	1318	0,33	340	0,16	371	0,72	997	3027
20 år + 50%	0,66	1407	0,36	379	0,17	390	0,75	1117	3293
50 år	0,57	1106	0,26	256	0,15	327	0,62	720	2409
50 år + 10%	0,61	1215	0,30	299	0,16	351	0,67	857	2721
50 år + 20%	0,64	1328	0,33	343	0,16	374	0,72	1002	3047
50 år + 30%	0,66	1433	0,36	388	0,17	395	0,76	1144	3360
50 år + 40%	0,68	1532	0,39	433	0,17	415	0,79	1286	3666
50 år + 50%	0,69	1621	0,42	479	0,17	432	0,81	1417	3950

Vedlegg 3: Beregning av samlet overløp for Veumdalen per regnhendelse

61504w1	Overløpsvolum	4500w1	Overløpsvolum	1144w1	Overløpsvolum	4489w1	Overløpsvolum	Samlet overløp	Økning
10år	820	10år	366	10år	252	10år	152	1591	
10 år 10%	900	10 år 10%	464	10 år 10%	274	10 år 10%	181	1820	14 %
10 år 20%	977	10 år 20%	569	10 år 20%	296	10 år 20%	210	2052	29 %
10 år 30%	1057	10 år 30%	672	10 år 30%	315	10 år 30%	241	2285	44 %
10 år 40%	1138	10 år 40%	775	10 år 40%	333	10 år 40%	272	2518	58 %
10 år 50%	1221	10 år 50%	879	10 år 50%	351	10 år 50%	304	2755	73 %
20år	944	20år	516	20år	287	20år	195	1943	
20 år 10%	1035	20 år 10%	636	20 år 10%	311	20 år 10%	230	2212	14 %
20 år 20%	1129	20 år 20%	756	20 år 20%	332	20 år 20%	266	2483	28 %
20 år 30%	1225	20 år 30%	876	20 år 30%	352	20 år 30%	303	2756	42 %
20 år 40%	1318	20 år 40%	997	20 år 40%	371	20 år 40%	340	3027	56 %
20 år 50%	1407	20 år 50%	1117	20 år 50%	390	20 år 50%	379	3293	70 %
50år	1106	50år	720	50år	327	50år	256	2409	
50 år 10%	1215	50 år 10%	857	50 år 10%	351	50 år 10%	299	2721	13 %
50 år 20%	1328	50 år 20%	1002	50 år 20%	374	50 år 20%	343	3047	27 %
50 år 30%	1433	50 år 30%	1144	50 år 30%	395	50 år 30%	388	3360	40 %
50 år 40%	1532	50 år 40%	1286	50 år 40%	415	50 år 40%	433	3666	52 %
50 år 50%	1621	50 år 50%	1417	50 år 50%	432	50 år 50%	479	3950	64 %

Vedlegg 4: Regndata som ligger til grunn for IVF-kurve og konstruerte regn, hentet fra eKlima
 NEDBØRINTENSITET - RETURPERIODE (SAMMENHENGENDE NEDBØR)

Stasjoner

Stnr Navn I drift fra I drift til Hoh Kommune Fylke Region
 3030 FREDRIKSTAD mai 1970 30 FREDRIKSTAD ØSTFOLD ØSTLANDET

***** MELDING *****

Alle måleserier for korttidsnedbør er korte når det gjelder returperioder på 50 år og lengre. Estimert med slike returperioder må derfor benyttes med forsiktighet.

***** MELDING *****

Rapporten inneholder godkjente kvalitetskontrollerte data.

Returperioder (år); Nedbørintensitet (l/s*ha)

3030 FREDRIKSTAD

Periode: 1970 - 1995

Antall sesonger: 25

Å...r	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.
2	262,7	239,1	211,7	172,4	125,5	102,4	85,2	66,9	51,9	42,5	31,5	24,8	18,8	11,5
5	338,6	300,2	264,1	220,7	167,1	139,1	117,9	92,4	74,2	60,4	43,9	32,5	23,8	14,4
10	388,8	340,6	298,8	252,7	194,6	163,4	139,5	109,2	89	72,2	52,1	37,6	27,1	16,3
20	436,9	379,4	332,1	283,4	221	186,7	160,3	125,3	103,2	83,6	60	42,5	30,3	18,1
25	452,2	391,7	342,7	293,2	229,4	194,1	166,9	130,5	107,7	87,2	62,5	44,1	31,3	18,7
50	499,3	429,6	375,2	323,2	255,2	216,9	187,2	146,3	121,6	98,3	70,2	48,8	34,4	20,5
100	546	467,2	407,5	352,9	280,8	239,6	207,3	161,9	135,4	109,3	77,8	53,6	37,4	22,3
200	599,3	513,3	447,4	385,7	306,3	262,1	226,4	176,8	147,7	119,7	85,2	58,3	40,3	23,7

Returperioder (år); Nedbørsum (mm)

3030 FREDRIKSTAD

Periode: 1970 - 1995

Antall sesonger: 25

Å...r	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.
2	1,6	2,9	3,8	5,2	7,5	9,2	10,2	12	14	15,3	17	17,9	20,3	24,8
5	2	3,6	4,8	6,6	10	12,5	14,1	16,6	20	21,7	23,7	23,4	25,7	31,1
10	2,3	4,1	5,4	7,6	11,7	14,7	16,7	19,7	24	26	28,1	27,1	29,3	35,2
20	2,6	4,6	6	8,5	13,3	16,8	19,2	22,6	27,9	30,1	32,4	30,6	32,7	39,1
25	2,7	4,7	6,2	8,8	13,8	17,5	20	23,5	29,1	31,4	33,8	31,8	33,8	40,4
50	3	5,2	6,8	9,7	15,3	19,5	22,5	26,3	32,8	35,4	37,9	35,1	37,2	44,3
100	3,3	5,6	7,3	10,6	16,8	21,6	24,9	29,1	36,6	39,3	42	38,6	40,4	48,2
200	3,6	6,2	8,1	11,6	18,4	23,6	27,2	31,8	39,9	43,1	46	42	43,5	51,2

***** MELDING *****

Graf for de første syv returperiodene

 Data er gyldig per 03.05.2011 © met.no