

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Førord

Denne oppgaven er skrevet som en avslutning på mitt masterstudium i Industriell Økonomi på Universitetet for Miljø- og Biovitenskap på Ås. Oppgaven er skrevet ved Handelshøyskolen ved UMB. Det er en oppgave som kombinerer økonomi og vann og miljøteknikk, de to pilarene innenfor mitt tverrfaglige studium. Temaet kan kort og godt beskrives som en analyse av lokal overvannshåndtering (omtalt som LOH i denne oppgaven) for å løse overvannsproblemer som en følge av klimaendringer og/eller urban foretting.

Masteroppgaven har tatt form i løpet av ca. 6 måneder i 2012. Jeg er fornøyd med resultatet og de konklusjonene jeg har kommet fram til. Jeg håper de kan være nyttige ettersom samfunnet vårt må forberede seg på de utfordringene jeg har drøftet i denne oppgaven.

Jeg ønsker å takke min biveileder, professor Oddvar Lindholm ved IMT, for god veiledning med hensyn på den tekniske biten i oppgaven. En stor takk rettes til Tomas Eidsmo, for tilgang til MIKE URBAN. Jeg vil også takke Geir Lindholm ved Rosim A/S, for opplæring ved bruk av Rosie, og for kontinuerlig veiledning vedrørende bruken av dette programmet.

Takk til Bent Braskerud ved NVE som ga meg ideen til denne oppgaven og god hjelp underveis. En spesielt stor takk går til min hovedveileder, Eirik Romstad, for mye konstruktiv kritikk, men også noe ros og oppmuntring underveis.

Jeg vil takke mine studiekamerater ved fløy fem for godt samarbeid og hyggelig samvær mens oppgaven ble til, spesielt Jakob Myking som ga meg mye nyttig hjelp med Rosie.

Takk til mine venner og bekjente som leste korrektur av oppgaven, spesielt Anders Saxegaard Mjøen. Stor takk rettes også til Anne Marie Gran Bruun som leste korrektur og ga meg nyttige råd, til min bror Jostein, og til mine kjære foreldre som alltid stiller opp.

Sem, 12.08.2012

Halvard Hotvedt Widerøe

Sammendrag

Man kan si med relativ sikkerhet at klimaendringene kommer til å materialisere seg, men ikke i hvilken grad dette vil skje. Befolkningsvekst er et annet fenomen som vil kjennetegne fremtiden og de utfordringene vi står ovenfor. En av konsekvensene av befolkningsvekst er urban fortetting. Urban fortetting kommer til å legge økt press på avløpssystemene i byene. Enten alene, eller sammen med økt og mer intens nedbør, vil dette gi økte skader på infrastruktur som følge av flom og oversvømmelse, fordi kapasiteten til avløpssystemet overskrides.

I denne oppgaven er antall kjelleroversvømmelser i Veumdalen som følge av forskjellige typer regn brukt som utgangspunkt til å estimere antall skader og kostnaden av disse. Det har blitt brukt et klimatillegg på 30 % for samtlige av regnene. For å simulere disse regnene over nettet i Veumdalen er brukergrensesnittet ArcGIS med en extension kalt ROSIE tatt i bruk. Beregningsmotoren MOUSE er brukt for å simulere vannmengden og oppstuvning i rør.

Disse forskjellige simuleringene ble gjort for tre forskjellige case i ROSIE. Et der brukergrensesnittet er Veumdalen slik den er i dag, og to med forskjellige grader av lokal overvannshåndtering (LOH). LOH-teknikk og det potensialet det har til å løse de urbanhydrologiske problemstillinger nevnt ovenfor, har vært fokuset i denne oppgaven.

LOH-tiltakene har blitt vurdert med hensyn på den økonomiske kostnaden av tiltakene og den skadereduksjonen vi får. LOH-tiltakene har også blitt sammenlignet med kostnadene for konvensjonelle vann og avløpstiltak (VA) i Veumdalen. Selv om skadereduksjonen ved en slik investering ikke kan sies med sikkerhet, viser denne oppgaven at LOH-tiltakene har en klar positiv nåverdi, sett over en hundreårsperiode. Sammenlignet med konvensjonell VA er de svært lønnsomme, og et fornuftig tillegg til det eksisterende avløpsnett for å håndtere overvann.

Modellen som har blitt brukt i denne oppgaven har ikke vært kalibrert og dataene kan derfor ikke bekreftes. Videre er opptellingen av antall kjelleroversvømmelser gjort manuelt og basert på antagelser. Det knyttes derfor usikkerhet til de økonomiske konklusjonene i oppgaven.

Sett over en hundreårsperiode ville det første nivået av LOH-tiltak koste 3,3 millioner kroner å anlegge, og reduksjonen i skadestrukturer ville blitt 22 millioner kr. Å investere ytterligere i LOH-tiltak tilsvarende 9 millioner kroner gir en reduksjon i skader på 39 millioner kroner. LOH 1 og LOH 2 gir altså en positiv netto nåverdi på henholdsvis 18 og 29 millioner kr.

Fredrikstad kommune har utarbeidet en tiltaksplan hvor de iverksetter konvensjonelle VA-tiltak i Veumdalen. Dette har en forventet prislapp på 232 millioner kroner. Ennå vet man ikke hvilken skadereduksjon dette vil gi, men at den overstiger 232 millioner kroner er lite sannsynlig. De konvensjonelle VA-tiltakene får derfor en negativ netto nåverdi.

Abstract

With high certainty you might say that climate changes will materialize, but not to which extent this will happen. Demographic growth is another phenomenon that characterizes the future and the challenges we are facing. One of the consequences of demographic growth is urban densification. Urban densification will increase the pressure on the drainage systems in the cities. Whether alone, or along with increased flood and more intense precipitation, this will cause increased damages on infrastructure due to flooding and overflow of water, as the capacity of the drainage system is exceeded.

In this thesis, the number of basement floodings in Veumdalen as a result of multiple types of rain demonstrates a starting point to estimate the size and economic value of the damages related to each rainfall. An additional 30 % rain intensity is used to capture the expected rainfall increase due to climate change. To simulate these showers over the drainage system in Veumdalen I have used the user interface ArcGIS with an extension called Rosie. The calculation engine MOUSE has been used to simulate the content of water and congestion in the pipes.

These simulations were made for three different cases in Rosie; one where the user interface represents present-day Veumdalen, and two using different degrees of local storm water management. Local storm water management and its potential to solve the urban hydrological problems we are facing today embody the key focus of this thesis.

The local storm water management (LSWM) installments are evaluated regarding their cost as well as the reduction of damage as a result from flooding. They are also compared to the costs of conventional water and wastewater installments in Veumdalen. Even though the damage reduction of such an investment cannot be assessed, this thesis indicates that both of the local storm water management investments have a clear positive present net worth, viewed over a period of 100 years. Compared to investments in conventional techniques they are highly profitable, and comprehend a reasonable addition to the existing drainage system, when it comes to handling storm water.

However, the model used in this thesis has not been calibrated and the data can therefore not be confirmed. Moreover, the counting of basement floodings was carried out manually and based on assumptions. Hence, there is a significant amount of uncertainty related to the economic conclusions of this thesis.

The net present value in regards to the first case of installing local storm water management for 100 years level 1 is 3,3 million NOK. This gives us a net present value of damage reduction of about 22 million NOK. Investing further in LSWM with a total present worth of 9 million NOK gives a cost reduction of 39 million kroner. LSWM 1 and 2 both give a positive net present worth, of 18 and 29 million kroner, respectively.

Fredrikstad municipal authorities have commenced a plan to handle the storm water problems through implementing conventional storm water management, namely redeveloping old pipes and installing new. As of now, one cannot estimate the reduction in damages from such an investment, but it will most certainly be lower than its projected cost of 232 million NOK. Therefore, the conventional measures have a negative net present value.

Innhold

Forord.....	I
Sammendrag.....	II
Abstract.....	IV
Liste over figurer.....	VIII
Liste over tabeller.....	XI
Kapittel 1: Innledning.....	1
1.1 Relevans.....	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Overvann og urban hydrologi.....	2
1.4 Klimaendringer.....	3
1.5 Flom.....	7
1.5.1 Definisjon.....	7
1.5.2 Flomhistorie og -politikk i Norge.....	8
1.5.3 Den psykiske belastningen.....	8
1.6 Exflood-prosjektet.....	9
1.7 Den videre gangen i oppgaven.....	10
Kapittel 2: Tiltak for å redusere flomrisiko og –skade.....	12
2.1 LOH- tiltak.....	12
2.2 Grønne tak.....	15
2.3 Regnbed.....	16
2.4 Andre LOH-tiltak.....	16
2.4.1 Dammer og våtmarker.....	16
2.4.2 Forsenkninger.....	17
2.4.3 Grøfter, bekker, kanaler og åpning av lukkede bekker.....	17
2.5 Tradisjonelle VA-tiltak.....	18
2.5.1 Ledningssystemer.....	18
2.5.2 Transportsystem.....	19
2.5.3 Renseanlegg.....	19
2.5.4 Overløp.....	20
2.5.5 Fordrøyningsanlegg.....	20
2.5.6 Kostnadsestimat for Veumdalen med tradisjonelle tiltak.....	20
Kapittel 3: Studieområdet og simuleringsmodellen.....	21
3.1 Fredrikstad kommune.....	21
3.2 Veumdalen.....	23
3.3 Hydrologiske modeller.....	24
3.4 ROSIE.....	26
3.5 MOUSE.....	26
3.5.1 MOUSE Runoff.....	28
3.5.2 MOUSE Pipeflow.....	33

Kapittel 4: Tilrettelegging med simulering av ROSIE.....	34
4.1 Kapasitetsanalyse av ledningsnettet i Veumdalen.....	34
4.2 Metode for konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram.....	38
4.3 Hvordan kjøre modellen.....	42
4.4 Trykknivå i ledning.....	43
Kapittel 5: Resultater.....	44
5.1 100-årsregn med 30 % klimatillegg.....	44
5.2 50-årsregn med 30 % klimatillegg.....	45
5.3 20-årsregn med 30 % klimatillegg.....	46
5.4 10-årsregn med 30 % klimatillegg.....	47
5.5 Veumdalen med bygninger.....	47
5.6 Oversikt over resultater.....	49
Kapittel 6: Diskusjon.....	50
6.1 Oversikt over resultater.....	50
6.1.1 Framgangsmåte for å finne nåverdi av skade og netto nåverdi av tiltak.....	50
6.1.2 Uten LOH-tiltak.....	52
6.1.3 LOH 1.....	52
6.1.4 LOH 2.....	53
6.1.5 Konvensjonelle tiltak vs. LOH- tiltak.....	54
6.1.6 Sammenligning.....	54
6.2 Økonomisk vurdering.....	55
Kapittel 7: Usikre parametre.....	58
7.1 Modellen.....	58
7.2 Usikre parametre.....	59
Kapittel 8: Konklusjon.....	61
8.1 Arbeidet med oppgaven.....	61
8.2 Videre arbeid.....	62
Litteraturliste.....	63
Vedlegg.....	66

Liste over figurer

Figur 1.1: «Inngrep i det naturlige kretsløpet. Til venstre: naturlig tilstand. Til høyre: etter inngrep. <i>Fra tradisjonell til mer bærekraftig overvannshåndtering</i> (Thorolfsson, 2011)».....	3
Figur 1.2: Til venstre: Forskjellige estimater av globale temperaturøkninger i forhold til 1980-1999 nivå. Estimataene er gjort i henhold til SRES scenarioene A2, A1B og B1. Den oransje linjen er et forsøk hvor konsentrasjoner blir holdt konstante i forhold til 2000- nivå. Strekene på midten av figuren indikere det beste estimatet (mørkeste delen samt spennvidden av hvert estimat). Til høyre: Estimerte temperaturendringer i forhold til perioden (1980- 1999) i forskjellige tidsperioder for A2, A1B og B2 (IPCC 2007).....	5
Figur 2.1: Tiden fra nedbør til avrenning avtar ofte ved bygging i nedbørfeltet (stiplet pil). Ved bruk av LOD forsøker en å forsinke og redusere flomtoppen (heltrukket pil) (Vann nr1 2006).....	13
Figur 2.2: Konvensjonelt avløpssystem og lokal overvannshåndtering. (Norsk vann 2008)...	14
Figur 2.3: Eksempel på bruk av grønt tak fra Pilestredet park i Oslo. (Landskapsarkitekt Ådne Svalastog).....	15
Figur 2.4: Et lite regnbed som mottar vann fra gårds plass i Nordre Aker, Oslo. Alt vann var infiltrert 10 timer etter regn. (foto: Bent C. Braskerud).....	16
Figur 2.5: Rensedam for behandling av overvann fra veg, E6 i Ski kommune (Foto: Roger Roseth)	17
Figur 2.6: Bruk av åpne vannløsninger ved Bislett i Oslo. (Landskapsarkitektene Sundt og Thomassen)	18
Figur 3.1: Områdeklassifisering Fredrikstad (Fredrikstad kommune 2007).....	23
Figur 3.2: Plasseringen til Veumfeltet er vist med rød ellipse i kart over Fredrikstad. (Norconsult 2007).....	24
Figur 3.3: Følsomhetsanalyse for maks vannstrømming I hydrologisk modell (Lindholm 2010).....	25
Figur 3.4: Sammenligning av beregningsmodellene MOUSE og SWMM (Lindholm 2010).....	27

Figur 3.5: 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 2008).....	29
Figur 3.6: Avrenningsmodell og delfelt. 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 2008).....	31
Figur 3.7: Kinematisk bølge og graf for avrenning. (DHI 2008).....	32
Figur 3.8: Lineært kar og graf for avrenning. (DHI 2008)	32
Figur 4.1: 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).....	36
Figur 4.2: Eksempel på regnhyetogram 100 års regn med flere serier. Seriene representerer samme regn med forskjellige klimatillegg. Som vi ser er regnvolumet symmetrisk fordelt over tidsintervallet, med toppen på 30- 35 og 35- 40 min.....	37
Figur 4.3: En illustrasjon på avlesning fra IVF-kurve. De røde strekene viser til avlesningene som har blitt gjort fra IVF-kurven i denne oppgaven. De intensitetene vi har brukt til ulike tidspunkt kommer altså fra denne kurven.....	38
Figur 4.4: Regnhyetogram for regn med 20 års gjentakintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.....	41
Figur 5.1: Veumdalen etter et 100-årsregn med klimatillegg. Til venstre uten LOH, de andre med forskjellige grader LOH. Hentet fra Rosie.....	44
Figur 5.2: Veumdalen etter et 50-årsregn med klimatillegg. Til venstre uten LOH, de andre med forskjellige grader LOH. Hentet fra Rosie.....	45
Figur 5.3: Panel E-F: Veumdalen etter et 20-årsregn med klimatillegg. Til venstre uten LOH, de andre med forskjellige grader LOH. Hentet fra Rosie.....	46
Figur 5.4: Veumdalen etter et 10-årsregn med klimatillegg. Til venstre uten LOH, de andre med forskjellige grader LOH. Hentet fra Rosie.....	47

Figur 5.5: Veumdalen etter et 100-årsregn med klimatillegg. Med stor grad av LOH- tiltak. Hentet fra ROSIE.....	48
Figur 6.1: Kostnader av LOH- tiltak og påfølgende skader over 100 år.....	56
Figur A.1: Regnhyetogram for regn med 20-års gjentaksintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.	67
Figur A.2: Regnhetogram for regn med 50-års gjentaksintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.....	68
Figur A.3: Regnhyetogram for regn med 100-års gjentaksintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.....	69

Liste over tabeller

Tabell 4.1: Datagrunnlaget for et hundreårsregn, med alle klimatillegg.....	36
Tabell 4.2: Regnintensiteten til de ulike regnvarighetene som er hentet ut i fra datagrunnlaget til IVF-kurven. Disse dataene er hentet direkte fra eKlima.....	39
Tabell 4.3: Slik ser en «timeseries» ut i Rosie.....	40
Tabell 4.4: «Timeseries» for et 10-årsregn, komplett med alle klimatillegg.....	41
Tabell 5.1: Antall kjelleroversvømmelser i Veumdalen som følge av ulike regn m/ulik grad av LOH tiltak.....	49
Tabell 6.1: Antall oversvømmelser og tilhørende skader i kroner.....	52
Tabell 6.2: Oversikt over kostnader og skader (i kr) som følge av de forskjellige regnene.....	53
Tabell 6.3: Oversikt over kostnader og skader (i kr) som følge av de forskjellige regnene.....	53
Tabell 6.4: Oversikt over kostnader og skader (i kr) som følge av de forskjellige regnene.....	55
Tabell 7.1: Lønnsomhetsanalyse for de ulike tiltakene med 8 % rente.	59
Tabell A.1 «Timeseries for et 20-årsregn, komplett med alle klimatillegg.....	67
Tabell A.2: «Timeseries for et 50-årsregn, komplett med alle klimatillegg.....	68
Tabell A.3: «Timeseries for et 100-årsregn, komplett med alle klimatillegg.....	69

Kapittel 1: Innledning

1.1 Relevans

I Aftenposten 21.6.2012 kan man lese på førstesiden at det vil bli «trangt for nye Oslo- borgere». Byen kommer til å ha 830 000 innbyggere i 2040, hevder Aftenposten. I artikkelen kan en lese at grøntarealer sannsynligvis kommer til å forsvinne, hvis man ikke finner en løsning på problemet. Det at grønne flater bygges igjen, øker presset på avløpssystemet i byer, fordi den naturlige infiltrasjonskapasiteten reduseres.

LOH-tiltak (lokal overvannshåndtering) har blitt stadig vanligere i Europa, spesielt i Tyskland, som en løsning på overvannsproblemer. I USA har regnbed blitt moderne. Grønne flater har blitt stadig viktigere i urban planlegging og arkitektur. Man ser til og med bygninger med grønne vegger, og tak med hager og trær. Innslaget av grønne flater og parker i byer har en rekreasjonsverdi for innbyggerne. Hvorfor er det ikke mer fokus på dette i Norge? Store deler av landet opplever mye nedbør og vi har tradisjonelt vært opptatt av nærhet til natur.

1.2 Problemstilling

Denne oppgaven ser på konsekvenser av flom samt tiltak for å redusere skadevirkningene av flom i tettbygde strøk. Tettbygde strøk representerer særlige utfordringer med hensyn til flomskade, fordi høy utnyttingsgrad på arealer fører til at vannet infiltrerer dårligere og dermed blir skadekostnadene særdeles høye. Det er samlet store verdier på avgrensede områder. Disse utfordringene forventes å øke som følge av at nedbøren ser ut til å bli mer intens pga klimaendringer. Det har vist seg vanskelig å enes om globale tiltak mot klimaendringene (IPCC 2007).

Problemstillingen i denne oppgaven kan defineres som følger:

- Hvilket potensial har LOH-tiltak for å redusere skadekostnader som følge av regn og ekstremvær?
- Hva blir kostnadene ved LOH-tiltak, skadekostnader og tiltak, sammenlignet med kostnadene ved konvensjonell VA?

1.3 Overvann og urban hydrologi

Overvann er avrenning fra tak, veier, og andre flater under regnskyll. Overvann kan i hovedsak håndteres på to forskjellige måter, ved avløpsledninger, eller vi kan håndtere det lokalt, gjennom såkalt lokal overvannshåndtering (LOH). Hovedvisjonen ved LOH- tiltak kan oppsummeres som følger: å redusere skader, å utnytte overvannet som en ressurs og å styrke det biologiske mangfoldet i det urbane bybildet (Lindholm et al. 2008). Avløpet er den delen av overvannet som ikke fordampes. Å behandle overvannet lokalt innebærer å la vannet finne naturlige veier via infiltrasjon til grunnen, la det mellomlagres i dammer, eller la det renne bort ved hjelp av bekker. Overvann blir ofte sett på som et problem, pga. flommer, oversvømmelser og lignende, men det kan også være en ressurs. For eksempel kan bekker og åpne vannspeil ha rekreasjonsverdi for menneskene som bor rundt, og samtidig bidra til økt dyreliv. På grunn av økt urbanisering har overvann blitt en aktuell problemstilling og det har blitt vanlig å åpne tidligere lukkede bekker i byer, på grunn av behovet for økt vanntransport.

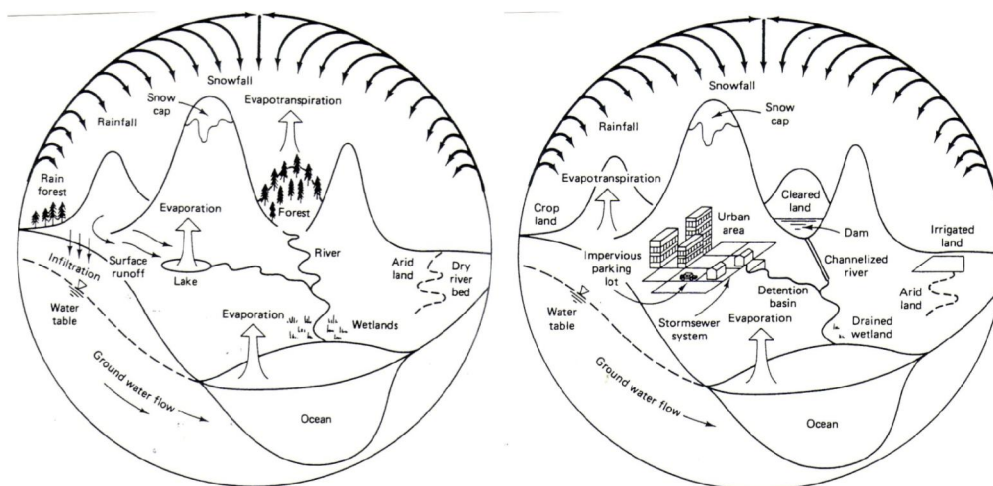
Hydrologi er læren om forekomsten, sirkulasjonen og fordelingen av vannet på jorda, dets kjemiske og fysiske egenskaper og hvordan vannet forandrer seg i forhold til omgivelsene og menneskelig aktivitet (Thorolfsson 2011). I Norge faller det i gjennomsnitt omkring 1500 mm nedbør per år, og av dette fordampes omkring 350 mm. Dette regnestykket gir i sin tur en årlig gjennomsnittlig avrenning fra den norske landjorda til havet på ca. 1150 mm (NVE 2010). Urban hydrologi beskriver den delen av vannets kretsløp som er knyttet til bebygde områder, og beskriver hydrologiske effekter knyttet til utbyggingen av et område (Thorolfsson 2011).

Ettersom grønne flater har blitt bygd igjen, har presset på avløpssystemet økt og flomproblemet i byer har vokst. I tillegg kommer de biologiske og estetiske aspektene, som jeg skal komme tilbake til senere i denne oppgaven. Flomskader og -problemer har økt betraktelig i Norge de siste årene. Spesielt som følge av intense regnperioder, skapes det svært mye overvann i byer, noe som må transporteres bort på en trygg måte.

Med begrepet flom menes vannføring/vannstand som er større enn hva de etablerte vannveiene kan transportere. I overvannssammenheng brukes det ofte begreper som flom eller

oversvømmelse. Oftest er dette relatert til vannføringer i rørsystemer som er større enn hva rørene er dimensjonert for.

Store deler av byenes avløpssystem ble dimensjonert for mange år siden, og før omfattende urbanisering begynte å tre i kraft. I sentrale byområder bebygges hele tomtens areal, fordi arealverdien er så høy. Regnet faller som det alltid gjør, men uten å finne veien ned i grunnen via vegetasjonsområder og det blir heller ikke liggende i små dammer på overflaten. Overvannet må derfor transporteres i rør under bakken. Mange steder er avløpsnettets kapasitet allerede overbelastet. I sin tur gir dette økte overløpsutslipp og økt utvasking av miljøgifter, som er oppsamlet i byene. Se figur 1.1 for eksempler på inngrep i det hydrologiske kretsløpet.



Figur 1.1: Inngrep i det naturlige kretsløpet. Til venstre: naturlig tilstand. Til høyre: etter inngrep. *Fra tradisjonell til mer bærekraftig overvannshåndtering (Thorolfsson 2011).*

1.4 Klimaendringer

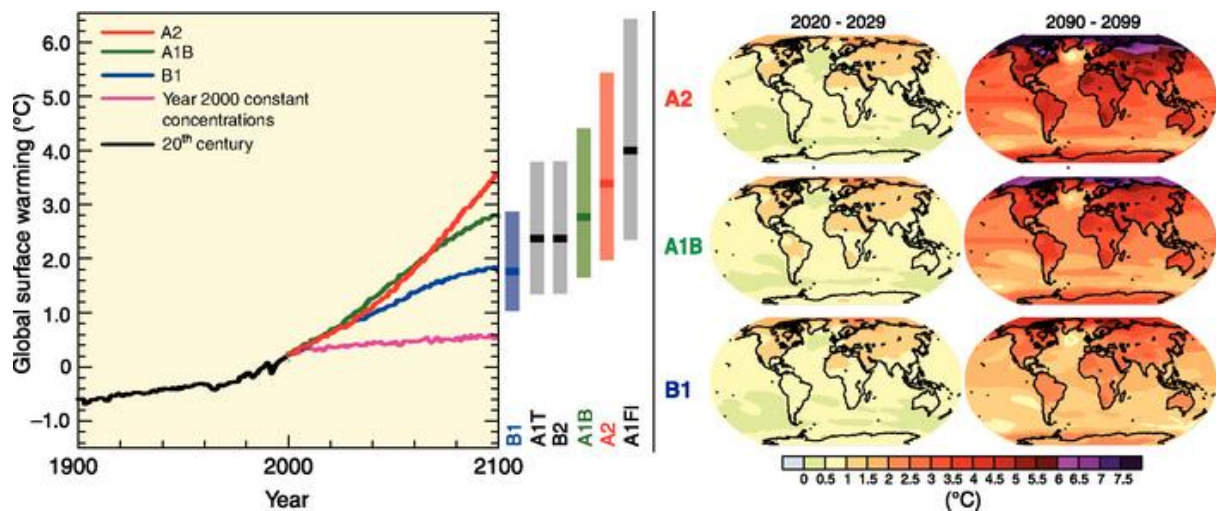
I dag står vi ovenfor en ekstra problemstilling når det gjelder overvannshåndtering, nemlig klimaendringer. Tilpasning til klimaendringer handler om å forberede seg på en usikker framtid. På sikt kan vi forvente økte nedbørintensiteter og økt nedbør. Flommer i vassdrag er i all hovedsak avhengig av nedbør. Gjennom de siste hundre årene har nedbøren i Norge økt betraktelig, særlig de siste 20 årene. Sannsynligvis kommer havet til å stige, noe som vil forverre denne problemstillingen ytterligere, fordi noen avløp får redusert fall (Lindholm et al. 2008).

Ifølge FNs klimapanel er det svært sannsynlig at den globale temperaturøkningen de siste 50 årene er et resultat av menneskelige klimagassutslipp. Et antall artikler indikerer, dog uten å bevise, at et økende nivå av klimagasser i atmosfæren bidrar til klimaendringene. Dersom de atmosfæriske konsentrasjonene øker, noe som ikke er usannsynlig, vil global oppvarming og havnivå øke. Vi vil også se en endring i nedbørsmønstre.

Temperaturen på jorda vil sannsynligvis stige, men det er usikkert hvor mye den vil stige, og hvor fort det vil skje og hvordan et varmere klima vil påvirke resten av klimasystemet.

IPCC (2007) opererer med flere ulike scenarier for havstigning, avhengig av forskjellige utgangspunkt for klimagassutslipp og partikler. De ulike scenarioene blir definert som følger:

- A1: Rask økonomisk vekst. Befolkningsvekst til 9 milliarder innen 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 fossil og ikke-fossil energiteknologi. Atmosfærens CO₂- innhold er på 703 ppm (ppm er et mål for å angi CO₂ i atmosfæren) 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 2100.
- 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 540 ppm 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, men ikke like rask som i A1 og B1.



Figur 1.2: Til venstre: Forskjellige estimater av globale temperaturøkninger i forhold til 1980- 1999 nivå. Estimatenes er gjort i henhold til SRES scenarioene A2, A1B og B1. Den oransje linjen er et forsøk hvor konsentrasjoner blir holdt konstante i forhold til 2000- nivå. Strekene på midten av figuren indikerer det beste estimatet (mørkeste delen samt spennvidden av hvert estimat). Til høyre: Estimerte temperaturendringer i forhold til perioden (1980- 1999) i forskjellige tidsperioder for A2, A1B og B2 (IPCC 2007).

Som en konsekvens av den globale oppvarmingen har havet begynt å stige og kraftig nedbør har blitt hyppigere. Enkelte klimaforskere (f. eks. Frei 2006) mener å kunne forutsi at regnintensiteten enkelte steder i perioden 2071 – 2100 kommer til å øke med så mye som 20- 60 prosent i forhold til dagens korttidsregn. Dette er lagt til grunn for dimensjoneringen av dagens avløpssystem. I mange byer vil dette legge press på avløpsnett og øke risikoen for flom.

Et varmere klima, med økt klimatisk variasjon kommer til å øke risikoen for både flom og tørke. Ettersom det finnes et stort antall klimatiske og ikke-klimatiske faktorer som påvirker effektene av tørke og flom, blir risikoanalysen avhengig av flere faktorer. Flommer inkluderer elveflommer, urbane flommer og kloakkflommer. Disse kan komme av intense og/eller langvarige nedbør, smelting av snø eller dammer som brister. Flommers skadepotensial avhenger av nedbørens intensitet, volum, tidspunkt, og forholdene i resipientene og deres avrenningsfelt, som avrenningsfaktoren, urbanisering, og hvorvidt det finnes dammer, reservoarer og andre tiltak som kan fordrøye overvannet og lede det bort. Menneskelige inngrep i elvesletter og manglende mottiltak til flom kan øke skadepotensialet (Lindholm et al. 2008).

Klimaforandringenes innvirkning på samfunn og økonomi kan være vanskelig å bestemme. Den vil inkludere skadepotensialet, samt kostnadene til forberedelser for å unngå eller redusere et eventuelt skadeomfang. Klimaforandringene gjør også framtida usikker med tanke på tilgangen

til og kvaliteten på drikkevann. Her vil også andre forhold virke inn, inkludert demografisk, sosial og økonomisk utvikling. Pga. flomsituasjoner kommer avløpsvann i kontakt med drikkevannskilder, som regel på grunn av manglende avløpskapasitet. Dette kan føre til en oppblomstring av salmonella og giardia-smitte, som i Bergen i 2004. Her kom oppblomstringen etter en periode med mye regn og derfor også oversvømmelse av kloakken. Regnet førte også til en oppbløtning av beiteområder rundt vannkilden der dyr beitet. Bergen hadde heller ikke UV-reneanlegg på dette tidspunktet. UV-bestråling av drikkevann er en effektiv måte å ta livet av giardia og cryptosporidium på (Cicero 2009).

Et varmere og våtere klima vil skape store utfordringer både for drikkevannsforsyning og avløpshåndtering. I Norge mangler vi helhetlige analyser for å kunne si eksakt hva klimaendringene vil medføre for denne sektoren. Pga. klimaendringene forventes det strengere krav for behandling av drikkevann. Dette er viktig fordi et velfungerende samfunn i stor grad er avhengig av at drikkevannsforsyning og avløpssystemer fungerer slik de skal (Cicero 2009).

I Sverige vil antall oversvømmelser i avløpsnett og total varighet av oversvømmelsene omtrent dobles i perioden 2071-2100 i forhold til dagens målestokk. Hedlund(2007) skriver at volumet av nedbør i Sverige vil få store økninger høst, vinter og vår, med opp til 50-100 % økning vinterstid, og at byområder får forventede økninger i intensive regn med 20 % på kort sikt og 50 % på lengre sikt (mot slutten av dette århundret).

Så langt finnes det få vitenskapelige baserte kostnadsestimater av klimaforandringene. Slike analyser krever en grundig gjennomgang av mulige scenarier. Grunnvannet vil sannsynligvis oftere befinne seg på et høyere nivå, særlig etter kraftige regn. Dette kommer igjen til å føre til økt infiltrasjonsvannmengde inn i rørene, noe som igjen øker risikoen for overbelastning av avløpssystemene. Når systemet overbelastes går deler av avløpet gjennom overløp og en får økt forurensning og økte flomskader (Bøyum 2001). Ifølge klimamodeller vil vi gjennom de neste 50 årene oppleve betraktelig større klimaendringer enn de vi allerede har opplevd.

Noen av de aktuelle problemene vi står ovenfor som følge av klimaendringene omfatter (Lindholm et al. 2009):

- Skader på veier og gangveier.
- Erosjonsskader på trafikkarealer og fritids- og rekreasjonsområder.
- Vannskader i kjellere.

- Sykdom som følge av kontakt med flomvann eller infisert vannforsyning.
- Skader på selve vann og avløpssystemet, hvor kummer, ledninger, pumper og renseanlegg vil slites raskere.
- Bedrifter som taper penger på grunn av vannskader på lagre.

Det hersker tvil om i hvilken grad klimaendringene er menneskeskapte eller ikke, og i hvor stor grad klimaet kommer til å endres som følge av dem. Det hersker alltid tvil ved bruk av slike modeller. Men det er liten tvil om at gjennomsnittstemperaturen på jorda kommer til å stige betydelig i løpet av de neste hundre årene og derfor vil vi få økte og mer intense nedbørsperioder, skal vi dømme etter allerede dokumentert utvikling.

Forsikringsselskapene er blant dem som merker klimaendringene raskest. I Aftenposten (2. oktober 2008) kan en lese om forsikringsselskapet Gjensidiges erfaringer knyttet til klimaendringer. Gjensidige har ansatt en egen forsker som arbeider med klimaendringer og flomskader i byer. Gjensidige mener at boligforsikringene kommer til å bli mye dyrere enn de er i dag, og mener kommunenes avløpssystem i byer må bygges ut for å håndtere situasjonen. Utbetalingene knyttet til vannskader har økt kraftig. Gjensidiges direktør Elisabeth Nyeggen sier i et intervju med Aftenposten vannskadene kan øke med minst 40 % i løpet av de neste tiårene.

1.5 Flom

1.5.1 Definisjon

Det finnes flere definisjoner på flom, avhengig av flomårsaken. En kan likevel oppsummere disse gjennom å si at flom er en midlertidig oversvømmelse av land som til vanlig ikke er dekket av vann (Grann 2011). Man må i tillegg skille mellom skadeflom og flom. En skadeflom er en flom som er til skade for mennesker eller menneskeskapte verdier av et visst omfang. Denne type flom er naturligvis den det er viktigst å unngå (NOU 1996).

Flomrisiko er sannsynligheten for flom multiplisert med de potensielle skadene knyttet til en flomhendelse. Noen sentrale typer flom er:

- Elveflom, dvs. når elven går over sin bredde.
- Stormflo er en rask og stor havstigning som oppstår når store vannmasser blir presset inn mot land på grunn av sterk vind.

- Styrfflom eller regnflom kommer av store nedbørmengder over kort tid.

Disse ulike typene flom kan by på utfordringer i byer og tettsteder hvor det er høy fortetningsgrad. Hvis avløpssystemene i tillegg er foreldet og har dårlig kapasitet ved mye nedbør, kan resultatet bli vann i gater og hus, og kjelleroversvømmelser kan oppstå hvis flom lager overtrykk i kommunale kloakkrør (Grann 2011).

1.5.2 Flomhistorie og -politikk i Norge

Storflommen på Østlandet i 1995 (bedre kjent som «Lilleofsen») har dannet grunnlaget for norsk flompolitikk i de senere år. Flommen hadde et beregnet gjentakintervall på 200 år i enkelte deler av Glomma-vassdraget. De materielle skadene som oppsto som følge av flommen hadde en prislapp på rundt 1,8 milliarder kroner (1995). Det som det ennå ikke finnes noe estimat på, er de ikke-materielle skadene som psykologiske skader/påkjenninger, og også forurensningsskader, som kan være store og vanskelige å estimere (NOU 1996).

Etter Lilleofsen ble det oppnevnt et utvalg som skulle utrede mulighetene for å redusere samfunnets sårbarhet mot flom ved å gå igjennom systemet for flomsikringsstiltak, flomvarsling og prognoser, samt vurdere hvilke tiltak som kunne være aktuelle for å unngå et liknende scenario i framtida. Utvalget kom blant annet fram til at en mer bevisst arealplanlegging av flomutsatte områder, er noe av det viktigste når det gjelder å redusere det eventuelle skadepotensialet ved en ny flom (NOU 1996).

1.5.3 Den psykiske belastningen av å bo i et flomutsatt område

Å oppleve å få huset skadet/ødelagt av flom kan være en stor psykisk påkjenning. Erfaring viser at enkelte lever med en vedvarende følelse av utrygghet i tiden etter en katastrofe. Denne opplevelsen av utrygghet kan utvilsomt også innebære en kostnad for samfunnet, for eksempel i form av økt sykefravær. Denne kostnaden er vanskelig å kvantifisere, men det ble gjort et forsøk på å forklare denne sammenhengen ved IØR (Institutt for Økonomi- og Ressursforvaltning) i 2011, og jeg velger å forholde meg til dette estimatet.

Siv Linette Grann skrev i 2011 en masteroppgave om utrygghet for flom ved UMB.

Hovedformålet med oppgaven hennes var å estimere en utrygghetskostnad og hva verdien av denne i så fall er. Som mål på denne kostnaden brukte hun differansen mellom hva folk er villige

til å betale for en forsikring som dekker alle utgifter knyttet til en eventuell skadeflom og det folk er villige til betale for fysiske tiltak som vil beskytte hjemmene deres fra å bli skadet av flom. Ifølge undersøkelsen verdsetter folk flomtiltak høyere enn en mer omfattende flomforsikring, selv om utgiftene knyttet til skadeflom på bolig er like store uansett hvilken løsning en velger. Det som folk i gjennomsnitt var villige til å betale for flomtiltak er 635 kr, mot 482 kr for forsikring, når man ser på en 50- og 200-årsflom samlet. Fordi betalingsvilligheten er gjennomgående høyere for tiltaksversjonen enn for forsikringsversjonen, mener man at folk er villige til å betale ekstra for å slippe å leve med en følelse av utrygghet for flom.

1.6 Exflood-prosjektet

Exflood - prosjektet jeg har vært tilknyttet gjennom perioden jeg har skrevet denne masteroppgaven - er et forskerprosjekt i regi av Bioforsk Jord og Miljø. Hovedmålet er å finne og analysere tiltak mot skader på infrastruktur forårsaket av flom og ekstremvær, og videre å implementere disse i et arealplanleggingsverktøy.

Spesifikke delmål for Exflood:

- Klassifisere og vurdere eksisterende tilnærminger som blir brukt i dag ved ekstreme værhendelser, som er identifisert av ulike samarbeidspartnere.
- Identifiserbare og utvikle de modelleringsteknikker for å kvantifisere utløp fra multifunksjonelle nedbørsfelt, som for eksempel fra det urbane og landbruk.
- Utvikle og analysere arealplanleggingsstrategier basert på innspill fra samarbeidspartnere.
- Produsere et planleggingsverktøy som skal brukes for arealplanlegging i nedslagsfelt for å håndtere ekstreme værhendelser.

I prosjektet deles 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 er Skuterud- området i Ås tatt med for å studere prosesser i detalj. Det foregår også forskning på avrenning i dette feltet.

Exflood-prosjektet er delt opp i fire arbeidspakker: analyse fra samarbeidspartnerne, modellering, tiltak og syntese. Hovedfokuset til denne masteroppgaven vil ligge under arbeidspakke 2, modellering, og vil bli brukt senere i dette 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 nåtid, fortid og fremtid, samt vise 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).

Tilpasning til menneskeskapte klimaendringer kan deles inn i to kategorier: spontan og planlagt tilpasning. Spontan tilpasning dreier seg om produsentenes og konsumentenes umiddelbare tilpasning til klimaendringer, mens den planlagte skjer på bakgrunn av politiske inngrep. I denne oppgaven er det Veumdalen i Fredrikstad og utfordringene knyttet til det eksisterende VA- nettet som er temaet. Dataprogrammet ROSIE i ArcGis brukes til å simulere ulike regntyper, med forskjellig intensitet og med forskjellige klimatillegg, der vi ser effektene i form av blant annet oppstuvinger i kum, trykkehøyde i ledning, overløpsberegninger og skade på bygninger. Diskusjonen og den økonomiske analysen vil dreie seg om hva Fredrikstad kommune kan gjøre med tanke på framtidens nedbørmengder og kommunaltekniske utfordringer knyttet til disse.

1.7 Den videre gangen i oppgaven

Denne oppgaven har fokus på klimaendringers påvirkning på det allerede belastede avløpssystemet i Norge. Her har jeg tatt for meg Veumdalen i Fredrikstad som eksempel. I neste kapittel kommer jeg inn på forskjellige LOH- tiltak (lokal overvannshåndtering), samt hvordan et konvensjonelt avløpssystem er bygget opp. Kapittel 3 tar for seg simuleringsområdet og dataprogrammene jeg har brukt. Ved hjelp av dataprogrammet ROSIE har jeg simulert belastningen på Veumdalen som følge av ulike regntyper, dette beskrives i kapittel 4. Kapittel 5 tar for seg resultatene jeg har fått fra simuleringene.

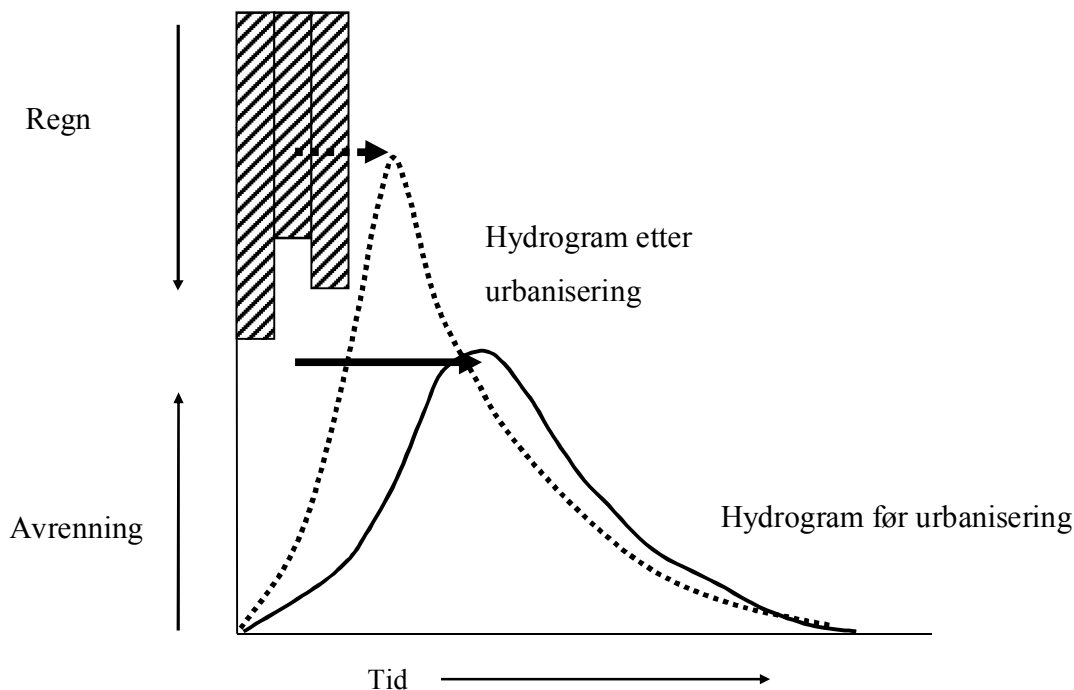
I kapittel 6 vil jeg presentere de økonomiske kostnadene av ulike regn, samt ulike tiltak. Jeg har funnet fram til et estimat for skader på kjellere som følge av flom, som kan danne grunnlaget for et grovt estimat av skader på bygninger. Dette vil jeg bruke til å sammenligne med kostnadene ved ulike LOH- tiltak, samt konvensjonelle avløpssystemer. Jeg har funnet fram til et grovt estimat for kostnadene ved å bruke konvensjonelle avløpstiltak (sanere det eksisterende avløpsnett). Dette vil jeg også ta med i diskusjonen, for å undersøke hvorvidt LOH- tiltak er mer lønnsomme å bruke. Kapittel 7 tar for seg usikkerhet knyttet til oppgaven. I konklusjonen oppsummerer jeg hva jeg har funnet i oppgaven og mine egne refleksjoner.

Kapittel 2: Tiltak for å redusere flomrisiko og -skade

2.1 LOH- tiltak

Lokal overvannshåndtering (LOH), eller lokal overvannsdiskonering (LOD) som det også blir kalt, har i prinsippet omfattet alle ulike alternativ til tradisjonell håndtering av overvann, hvor vannet skal ledes vekk. Ved konvensjonell overvannshåndtering blir overvannet en del av avløpsvannet, sammen med spillvann. Dette vannet ledes bort gjennom avløpssystemet til kommunen. Dette avløpssystemet kan enten være et fellesavløpssystem eller et separatsystem.

LOH- teknikk bygger på to hovedprinsipper: å fjerne avløpsvann fra hovedledningen og forsinke avrenningen fra overflaten og dermed flate ut flomtoppen. Gjennom å bruke vegetasjon som for eksempel i regnbed (se kap 2.3) blir deler av overvannet tatt opp i vegetasjonen og vi får en lavere og slakkere avrenningskurve. Infiltrasjon fungerer på samme måte. Grønne tak (se kap 2.2) suger opp og holder tilbake mye av vannet som fordamper senere. Forsinkelse får vi ved hjelp av dammer, våtmarker osv., hvor vannet til slutt finner veien til avløpsnett. Med andre ord etterligner man den naturlige vannbalansen til området. Dette innebærer også at de naturlige grunnvannsmagasiner opprettholdes.



Figur 2.1: Tiden fra nedbør til avrenning avtar ofte ved bygging i nedbørfeltet (stiplet pil). Ved bruk av LOD forsøker en å forsinke og redusere flomtoppen (heltrukket pil) (Hood, M. J. et al. 2006).

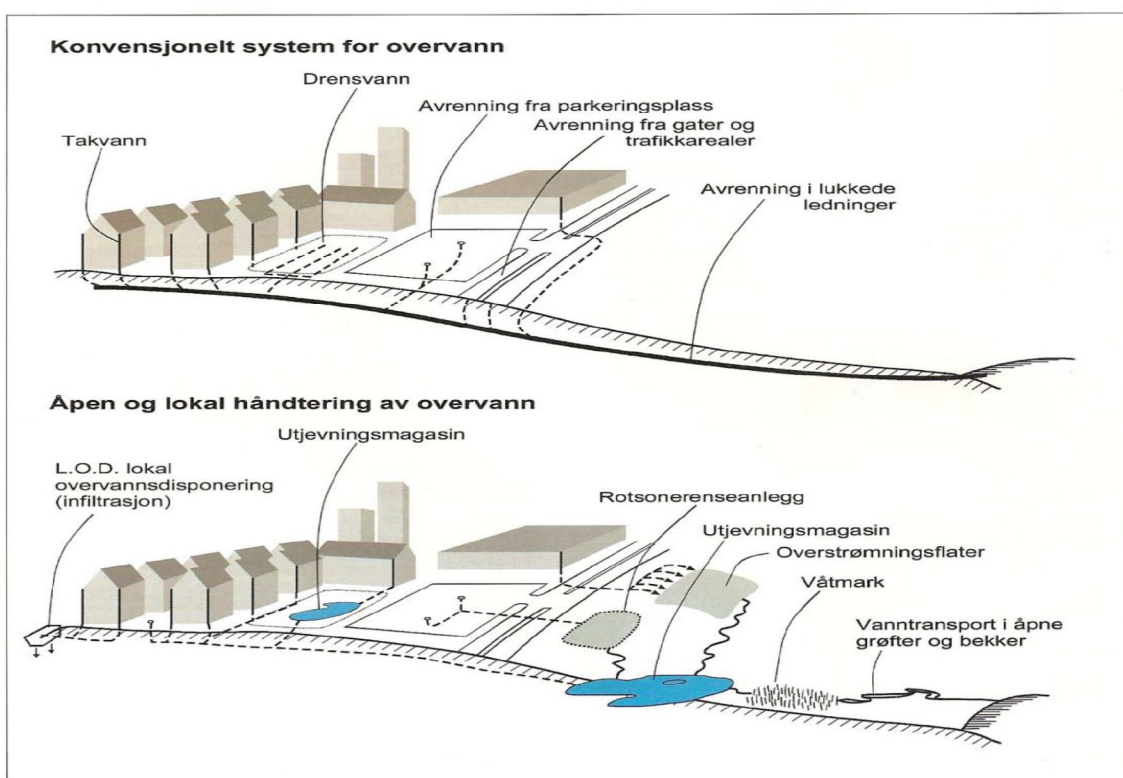
LOH-tiltak vil kunne være langt mindre kostnadskrevenne enn det er å bygge ut eksisterende VA-anlegg, som for øvrig ofte er i dårlig stand (Cicero 2009). Altså er kostnaden ved anlegging betydelig lavere ved LOH-anlegg enn ved vanlige avløpsanlegg. Likevel kan vedlikeholdskostnaden bli høyere. Visse LOH-tiltak som for eksempel grønne tak krever mer oppfølging enn konvensjonell avløpsteknikk. LOH-tiltak kan også bidra til å styrke det biologiske mangfoldet, gjennom bruk av åpne vannveier og dammer.

Overvann har inntil nylig kun blitt drenert fra byer og tettsteder ved hjelp av ledningsnett. Som nevnt tidligere har skadeomfanget som følge av flommer økt. Dessuten har ikke de eksisterende ledningsnettene vært dimensjonert for å ta hånd om de nye utfordringene som følger av økt nedbørsintensitet (Cicero 2009). Hvis man i stedet for lukkede ledningsnett kan bruke mer åpne løsninger som dammer, renner og naturlige dreneringer, håndterer man overvannet på en mer effektiv måte, samtidig som det også får en estetisk verdi for innbyggerne. Infiltrasjon utenfra er et problem i avløpsnettet, og bidrar til å belaste renseanleggene ytterligere.

Ved et fellesavløpssystem føres overvannet og spillvann samlet gjennom renseanlegget. Det vil øke belastningen på det kommunale avløpssystemet fordi rørene må tåle belastningene fra alt

overvannet, og renseanlegget må rense alt vannet samlet, i stedet for kun å rense spillvannet, som vanligvis er det mest forurensede. Det er mer komplisert å rense avløpsvannet ved et fellesavløpssystem. I tillegg kommer faren for overbelastning av nettet og overløp. Risikoen for store kostnader ved overbelastning og overløp forventes å øke som følge av at store deler av avløpsnettet er i dårlig teknisk stand. Overløpet er nødløsningen til avløpssystemet. Gjennom overløp føres avløpsvannet direkte ut i overvann eller vassdrag. Dette er et hygienisk problem og vassdrag kan bli fullstendig ødelagt fordi overløp brukes for ofte.

Ved et separatsystem er spillvann og overvann adskilt, dvs. at spillvannet ledes fra husholdninger, industri og lignende og ut til en samleledning som går innom et renseanlegg før det slippes ut i resipienten. Men et to- lednings separatsystem kan også skape noen problemer, siden overvannet kan behøve rensing lokalt. Det finnes en annen type separatsystem, et en lednings-separatsystem, hvor overvannet behandles lokalt, enten gjennom fordrøyning eller infiltrering. Dette systemet kan spare store kostnader for vanntransport (Bøyum 2001).



Figur 2.2: Konvensjonelt avløpssystem og lokal overvannshåndtering. (Lindholm 2008)

Det er spesielt to typer LOH-tiltak som egner seg i tettbebygde strøk. Det er grønne tak og regnbed. I tillegg vil jeg gi en kort omtale av andre tiltak.

2.2 Grønne tak

Overvann fra tak utgjør en relativt stor del av det totale overvannet. Takrenner kan lett kobles fra det tradisjonelle overvannssystemet og i stedet ledes ut på en hensiktsmessig infiltrasjonsflate. Dette kan gjøres med et såkalt «nedløpsrøutkast» nederst på nedløpsrøret. Derfra ledes overvannet ut på en renne av betong eller stein, for så å lede det bort fra huset og grunnmuren. Det må for enhver pris unngås at vannet renner ned langs grunnmuren og forårsaker fuktskader. Overvann fra tak ledes vanligvis fra tak via takrenner og nedløpsrør (stuprør) ned i kommunens overvannssystem. Avrenning fra tak skjer normalt raskt.

Det kan anlegges et tynt vegetasjonsområde på takene, som fordrøyer noe av nedbøren. Grønne tak kan anlegges på nye og gamle tak, hvis taket ikke er for bratt og konstruksjonen tåler den ekstra belastningen vegetasjonen medfører. Ofte består vegetasjonen av såkalte «sedum»-tak. Sedum-tak tåler lange perioder uten vann. Tykkelsen er 3-4 cm, og det legges på drenerende sjikt som har tykkelse på noen centimeter. Målinger viser (Stahre 2004) at avrenningen fra mindre regn holdes igjen på taket. Ved lengre regn oppstår det en metning i vegetasjonsdekket og fordrøyningseffekten blir begrenset. Sett over et år kan vegetasjonen holde tilbake halvparten av nedbøren (Lindholm et al. 2008).



Figur 2.3: Eksempel på bruk av grønt tak fra Pilestredet park i Oslo. (Landskapsarkitekt Ådne Svalastog.)

2.3 Regnbed

Regnbed består av planter som tåler å stå i vann en viss tid og som binder løsmasser slik at man ikke får erosjon. Regnbed er spesielt utformede blomsterbed for infiltrasjon og fordrøyning av vann. Det kan også ha en vannrensende funksjon (Dietz og Clausen 2005). Regnbed er egnet til å motta vann fra tak, men kan også dimensjoneres for å ta imot vann fra parkeringsplasser og lignende. Bedet kan anlegges ved hus og lignende og gir mulighet for vakre blomster og planter som krever mye vann. Størrelsen bestemmes etter vannmengde og bedets krav til infiltrasjonskapasitet. Når bedets flomdempende kapasitet er utnyttet, må vannet ledes videre fra bedet (Lindholm et al. 2008).



Figur 2.4: Et lite regnbed som mottar vann fra gårds plass i Nordre Aker, Oslo. Alt vann var infiltrert 10 timer etter regn. (foto: Bent C. Braskerud).

2.4 Andre LOH-tiltak

2.4.1 Dammer og våtmarker

Dammer og våtmarker kan brukes for å samle opp vannet, felle ut forurensede partikler, og sette vannet i kontakt med jord, planter og organisk materiale for opptak og nedbrytning av forurensning. Ved innløpet legger man ofte et sedimentasjonskammer med hard bunn for enkel

fjerning av slam dannet ved bunnfelling av partikler. Anlegget kan enten være en dam med vannspeil, en våtmark med våtmarks- vegetasjon eller som en kombinasjon av disse to (Lindholm et al. 2008).



Figur 2.5: Rensedam for behandling av overvann fra veg, E6 i Ski kommune (Foto: Roger Roseth)

2.4.2 Forsenkninger

Forsenkninger er gresskledde grøfter med slake sider og som er tørre når det ikke regner.

Forsenkninger er både infiltrasjonsflater og transportsystem i forhold til overvannet. Hastigheten må holdes lav slik at det ikke oppstår erosjon. Forsenkninger har ofte god fordrøyningsevne og man kan øke den ytterligere ved å anlegge steinfylling under forsenkningens bunn.

Forsenkninger kan gjerne plasseres ved siden av en tett flate som avgir overvann (Lindholm et al. 2008).

2.4.3 Grøfter, bekker, kanaler og åpning av lukkede bekker

Å utnytte eksisterende grøfter og vassdrag for overvannshåndtering kan innebære store fordeler.

Når en har begynt å bygge i et nytt område, bør det alltid undersøkes om det finnes grøfter, bekker og andre vassdrag i området som kan brukes for å avlede overvannet.

Det kan ha store fordeler å utnytte eksisterende grøfter og vassdrag. Et eksisterende vassdrag kan bli et bærende element i en framtidig økologisk strekning. Det brukes da som en felles ressurs for framtidig bebyggelse med hensyn til park, rekreasjon og overvannshåndtering. Ved planlegging av nye områder bør det alltid undersøkes om det har vært åpne bekker og grøfter i området.

Igjenvylte grøfter og lukkede bekker kan gjenåpnes og brukes til åpen avledning av overvannet (Lindholm et al. 2008).



Figur 2.6: Bruk av åpne vannløsninger ved Bislett i Oslo. (Landskapsarkitektene Sundt og Thomassen)

2.5 Tradisjonelle VA-tiltak

2.5.1 Ledningssystemer

Vi har 2 hovedformer for bortledning av avløpsvann:

- Fellessystem hvor brukt vann (spillvann) og overvann ledes bort i samme ledning.
- Separatsystem hvor brukt vann og overvann ledes bort i hvert sitt system.

Separatsystem kan også deles inn i 2 ulike systemer. Vi har 2- rørs separatsystem der overvann og spillvann ledes bort i hvert sitt system, og vi har et 1-rørs system hvor overvannet ledes bort på overflaten til en resipient, eller det samles i et infiltrasjonsanlegg, og spillvann ledes bort i et eget system. En kan også snakke om ikke- aktive separatsystemer, der separatsystemet er tilkoblet et eldre fellessystem, slik at hele avløpssystemet virker som et fellessystem ved utløpet.

Før andre verdenskrig foregikk så å si all kloakkering etter fellessystemet. Da separatsystemet ble innført på 1960-tallet, skjedde det en radikal endring i utførelsen av avløpssystemer. Dette har siden vært det gjeldende systemet for utbygging av nye boligområder. I dag er andelen fellessystem og separatsystem ca. 50/50, og andelen separatsystem øker stadig. Argumentet for separatsystemer har alltid vært at spillvannet først og fremst må renses og overvannet bør holdes

utenfor. Men man kan også argumentere med at et separatsystem gir oss frie tøyler til å håndtere overvannet slik vi ønsker, og evt. som en ressurs.

Troen på separatsystemet har vært sterk i de senere tiår. Noen steder har dette ført til en omlegging fra fellessystem til separatsystem. Dette har vist seg å være ufordelaktig i forhold til kostnadene som påløper, den lange tiden det tar, samt et evt. forurensingsbidrag fra overvannet. Separatsystemet byr på fordeler framfor fellessystemet, så lenge det ikke er nødvendig å rense overvannet, for det er langt fra enkelt i et separatsystem. Det å rense overvannet i et slikt system byr på problemer fordi renseanlegget får sterkt varierende belastning og må drives diskontinuerlig (Bøyum 2001).

2.5.2 Transportsystem

Kort oppsummert består ledningsnettets av stikkledninger og slukledninger, evt. også samleledninger, stammeledninger (hovedledninger) og avskjærende ledning.

Ledningsnettets har alltid form som et grenssystem med stikkledninger fram til de enkelte eiendommer. Ledningene gis fall for å kunne lede vannet fram med gravitasjon, avløpssystem drives generelt av selvføll (gravitasjon), men det finnes også tilfeller hvor man har pumpestasjoner, dette forekommer spesielt under spesielle topografiske forhold. Ledningene gis fall tilsvarende eller større enn et minstefall, avhengig av vannmengde, ledningsdimensjon og spesifikk motstand. Dette kan alltid beregnes. Pumping av avløpsvann er generelt sett en enkel sak, men en pumpestasjon krever energi og tilsyn. Derfor unngås som regel pumping så langt det lar seg gjøre (Bøyum 2001).

2.5.3 Renseanlegg

Ledningssystemet har meget stor betydning for dimensjonering av renseanlegget. Er ledningssystemet bygd ut etter separatsystemet, må renseanlegget ta imot spillvann sammen med noe infiltrasjonsvann. Dreier det seg derimot om fellessystem, blir vannmengdene mange ganger større, og andelen organisk materiale minker betraktelig. De to ledningstypene skiller seg klart fra hverandre, til separatsystemets fordel. Spillvann karakteriseres som regel ved høyt innhold av organiske stoffer og næringsstoffer (gjerne nitrogen og fosfor). Overvann som følge av regnvær legger økt press på renseanlegget, og andelen organisk stoff i vannet synker betraktelig. Dette skal dog ikke hindre renseseffekten (Bøyum 2001).

2.5.4 Overløp

Et fellessystem kan avlastes på egnede punkter ved hjelp av overløp. Overløpet trer i kraft når innkommende vannmengde overskrider kritisk mengde. Da vil vannmengden renne over en terskel og gå i overløpsledning til nærmeste resipient. På den måten avlastes ledningsnett, samt renseanlegget. Overløp kan likevel utgjøre en forurensningsrisiko, når vannmengden fører med seg elementer fra svartvann (toalett) og industrispillvann ut i resipienten. Særlig med svake resipienter som bekker, små innsjøer osv. kan forurensninger skape problemer. Disse problemene kan løses til en viss grad ved hjelp av fordrøyningsbasseng, som i et fellessystem virker som en innsjø i et vassdrag, ved at vannmengdene dempes (Bøyum 2001).

2.5.5 Fordrøyningsanlegg

Fordrøyningsanlegg blir brukt for å utjevne vannføringen i avløpssystemet eller for å unngå utslipp ved store avrenninger i for eksempel et overløp. Dette gjøres ved å magasinere overløpsvannet temporært, altså lagre/fordrye det i et basseng for å unngå den mest intensive vannføringen. Dimensjoneringen på ledningen kan da reduseres. Fordrøyningsbasseng blir brukt der man har store overvannsmengder som ikke skal slippes ut lokalt (Bøyum 2001).

2.5.6 Kostnadsestimat for Veumdalen med tradisjonelle tiltak

Jeg viser til Tiltaksplan Veumdalen – Vann og Avløp. Den er utarbeidet av Fredrikstad kommune selv der de iverksetter tradisjonelle VA-tiltak for å løse problemene. Den totale kostnaden beløper seg til 232 millioner kroner. Dette anslaget gjelder for hele Veumdalen. Her dreier det seg om en modernisering av det eksisterende ledningsnett, ved å grave og legge nye rør, kummer osv. I følge Ole Petter Skallebakke ved Fredrikstad kommune modellerer de for «20-30 årsregn» uten at det er angitt noen bestemt varighet for regnet. Hvis de er i tvil, går de opp en dimensjon. Dette vil øke kapasiteten med 25-30 %.

Kapittel 3: Studieområdet og simuleringsmodellen

Dette kapitlet presenterer nedløpsfeltet Veumdalen, som har blitt brukt i simuleringene, samt omtaler de utfordringene Fredrikstad står overfor, og hvordan simuleringsmodellen ROSIE er tilrettelagt for simuleringene.

3.1 Fredrikstad kommune

I Fredrikstad er det, som ellers i Norge, husstandene selv som finansierer VA-tjenestene gjennom vann- og avløpsgebyrer. Disse er ikke høyere enn det som brukes på VA-systemene i kommunen. Dammer og åpne vannveier er ikke en del av disse og dekkes derfor heller ikke av gebyrene som utstedes. Likevel blir dammer og åpne vannveier stadig en større del av det kommunale VA-feltet. Det samme gjelder vei- og parkeringsarealer, som også bidrar til stor avrenning til fellessystemene og rask avrenning i det urbane området.

Fredrikstad kommune har nå i samarbeid med COWI (rådgivende ingeniørselskap) utviklet en overvannsrammeplan som er vedtatt av bystyret. Denne fungerer både som generell informasjon om emnet og som veileder for utviklere og beboere som må ta hensyn til overvannsdisponering ved utbygging. Kommunen ønsker å skape bevissthet om overvannsproblematikken og håndteringen av denne blant utbyggere og innbyggere generelt.

Byen har økt i areal på grunn av befolkningsvekst. Der det før var skog og mark rundt byene blir det nå boligfelt og urbane områder. Bebyggelsen i Fredrikstad ble først etablert i de mest attraktive delene rundt næringskilder som elv og sjø for fiske, som de fleste andre kystnære byene her i landet. Disse arealene ligger som oftest ned mot vannet og dermed i de lavere kotehøydene i VA-ledningsnett.

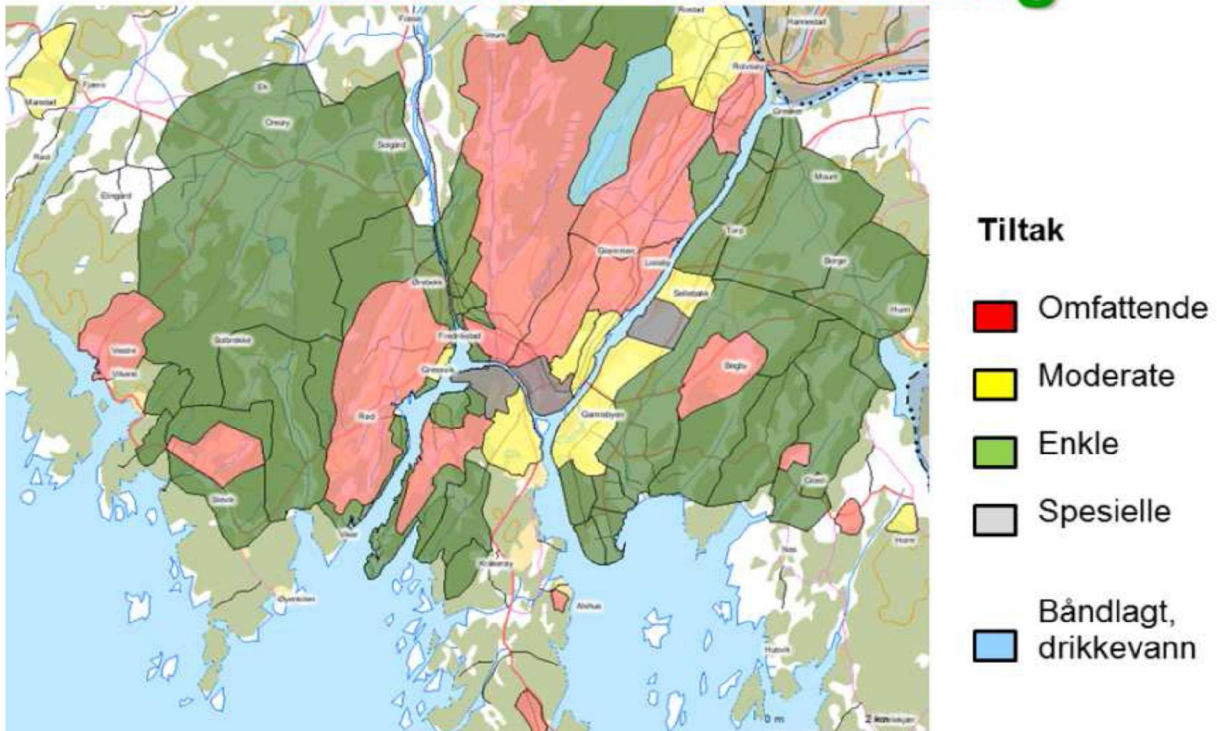
Som nevnt, har antallet innbyggere i byen økt på grunn av befolkningsvekst og tilflytning. Arealene som da er ledige, ligger i utkanten av de urbane områdene, i mange tilfeller høyere oppe og lenger vekk fra hav eller elv. Dette fører til en økt belastning på de eldre delene av VA-ledningsnett, fordi avløpet fra de ny-utbygde områdene ofte renner igjennom de eldre delene av byen på vei til renseanlegget.

Befolkningsveksten fører til urban fortetning og gjenbygging av grønne flater. Skog og mark som til en viss grad har bidratt til infiltrasjon og fordrøyning av nedbør, har blitt erstattet med ny bebyggelse. Store arealer er dekket av takflater, vei og parkeringsplasser. Avrenningen fra disse flatene til avløpssystemet skjer raskere enn ved den naturlige situasjonen med skog og mark. Den maksimale vannføringen blir høyere, siden overvannet kommer raskere og mer samlet.

De siste årene har Fredrikstad opplevd stadig større problemer med overvann, og denne problemstillingen har følgelig fått økt oppmerksomhet. I likhet med resten av landet legges det opp til at overvannet kan bli en ressurs i stedet for kun et problem. Ved å få fram overvannet i det urbane bybildet kan trivselen øke for beboerne, eiendommer kan få høyere takst, og resultatet kan bli et økt biologisk mangfold. Fredrikstad kommune forsøker å følge Norsk Vanns såkalte tretrinns-strategi, som beskriver hvordan nedbørhendelser bør takles med tiltak på overflaten. I følge tretrinns-strategien skal de første 20 mm infiltreres, de neste 20 forsinkes og/eller fordrøyes, og fra 40 og oppover skal vannet ledes inn i trygge flomveier. Det første leddet i denne strategien er foreløpig vanskelig å følge opp for Fredrikstad kommune på grunn av områdets store andel impermeable masser og på grunn av tele i vintersesongen.

Kommunens strategi for overvannshåndtering er å håndtere nedbøren lokalt slik at minst mulig vann blir tilført avløpsnett og fordi man da opprettholder den lokale naturtilstanden på best mulig måte. Ved å gjøre overvannet synlig ønsker kommunen å gjøre det til et positivt innslag for innbyggerne. Åpning av lukkede vannveier er også aktuelt dersom dette er teknisk og økonomisk forsvarlig. Sterkt forurenset overvann fra urbane områder og veier med stor trafikk må renses ved lokale rensestasjoner før det slippes ut i resipienten. Planleggingen av overvannshåndtering må samordnes med arealplanleggingen i kommunen, siden det er her grunnlaget for god overvannshåndtering legges (Fredrikstad kommune 2007).

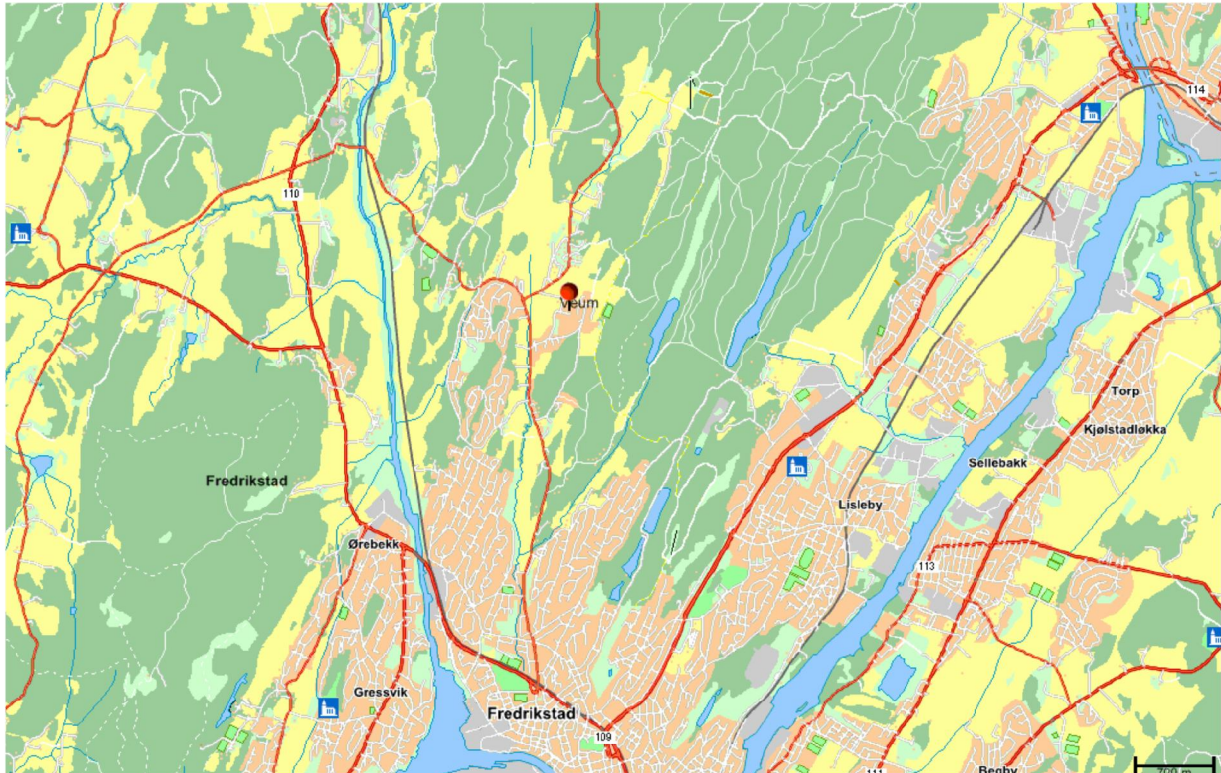
Områdeklassifisering



Figur 3.1: Områdeklassifisering Fredrikstad (Fredrikstad kommune 2007)

3.2 Veumdalen

Veumdalen ligger midt i Fredrikstad kommune. Feltet strekker seg fra sentrum i sør og opp til Evenrød i nord. Seutelva avgrenser området i vest og Stordammen og Bjørndalsdammene avgrenser området mot øst. Områdene lengst sør er preget av bymessig bebyggelse, mens områdene i nord er preget av mer spredt bebyggelse og landbruksområder. VA-systemet består av ca 43 km avløpsledninger, hvorav 39 % er fellessystem. Separatsystemet i området er ikke virksomt på grunn av et nedstrøms fellessystem. Det er to kommunale pumper på nettet, ved Veumlia og Hestehagen. Overløp fra fellessystemet går til bekken. Det er seks overløp i systemet, Veumbekken/Stadion (1144 og 4500), Sonjas Mathus (4489), Knipleveien ved Veumbekken (61504), like nedstrøms kryss Veumveien (ikke lagt inn i MOUSE-modellen) og overløp for Veumlia pumpestasjon. Det bor ca. 8700 personer i området. (Norconsult 2007)



Figur 3.2: Plasseringen til Veumfeltet er vist med rød ellipse i kart over Fredrikstad. (Norconsult 2007)

3.3 Hydrologiske modeller

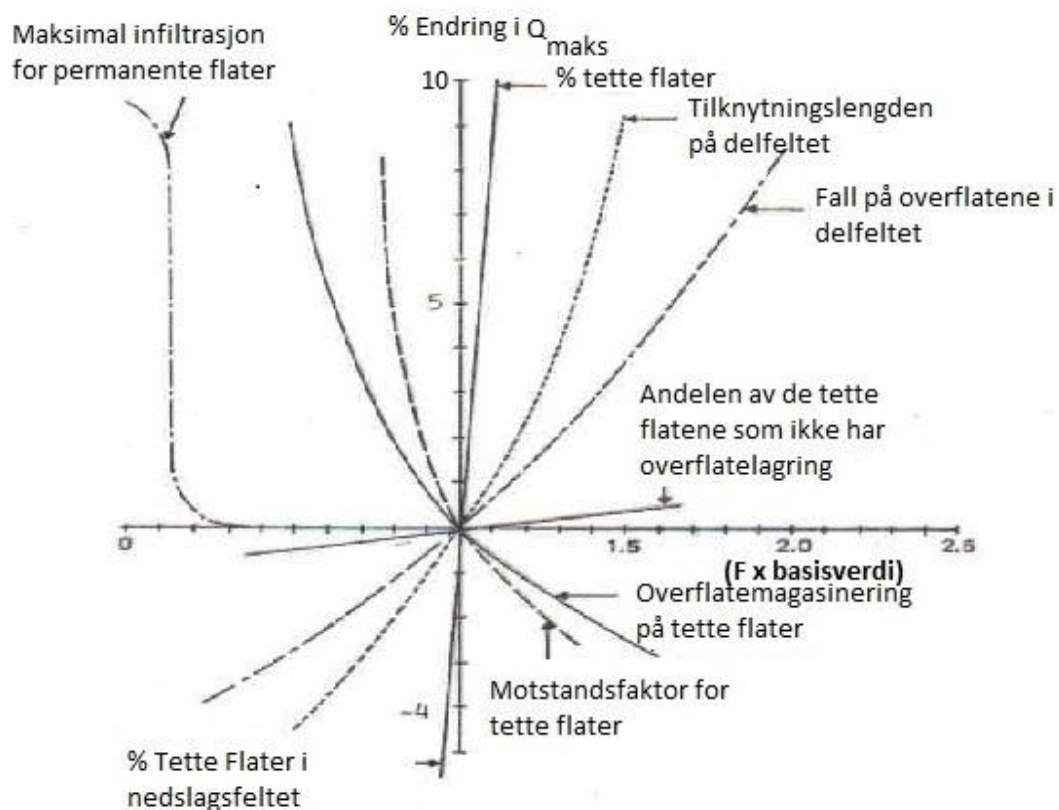
Hydrologiske modeller er abstrakte, konstruerte systemer. De fysiske systemene er så å si alltid dynamiske, derfor må også modellene være dynamiske dersom de skal beskrive utvikling over tid. Det fysiske systemet er som regel tidsvariant og ikke-lineært, mens modellene vil være forenklete beskrivelser som er tidsdiskrete, tidsinvariante og lineære. Modellene kan også inneholde stokastiske komponenter som skal beskrive stokastiske variasjoner og målesikkerheter i inngangsdata, samt forenklinger og mangler i modellstrukturen (Sælthun 2001).

Clarke (1973) delte slike modeller inn i tre hovedgrupper:

1. «Black box»: Dette er modeller som bygges opp på grunnlag av tidsserier og for inn- og utdata i det hydrologiske systemet. Man benytter ikke systemets fysiske oppbygning til å gjennomføre beregninger.
2. «White box»: Dette er modeller som baserer seg på den fysiske kunnskapen man har om det hydrologiske. Disse modellene består som regel av differensialligninger som beskriver sammenhengen mellom energi- og massetransport.

3. «Grey box»: Modellene i denne gruppen er en blanding av de to foregående typene. Her benytter man seg av både av kunnskap om systemet samtidig som inn- og utdata benyttes for å forbedre og kalibrere modellen.

I denne oppgaven har jeg brukt modellen MOUSE 2005, som er en typisk “Grey Box”-modell. Varierer en parameters feilfunksjon lite over parameterens variasjonsområde, vil resultatet være lite følsomt for denne parameteren. Da kan det være krevende å optimalisere denne for å finne den beste verdien til parameteren. En parameter som oppfører seg slik vil ofte være hensiktsmessig å ta ut av en optimalisering, fordi systemet ikke er følsomt for den. Man kan kontrollere parameterens følsomhet i en følsomhetsanalyse. Dette gjøres ved at forskjellige parametere settes inn i modellen med forskjellige verdier. Videre studerer man hvordan resultatet endrer seg i forhold til endringen i parameteren (Sælthun 2001).



Figur 3.3: Følsomhetsanalyse for maks vannstrømming i hydrologisk modell (Lindholm 2010).

3.4 ROSIE

Dette delkapitlet er hentet direkte fra Køste og Hval (2011):

MOUSE er en beregningsmotor som brukes av både ROSIE og Mike Urban, begge to konkurrerende produkter. Både ROSIE og Mike Urban er tilleggsprogram til Arc GIS- systemet, og brukes til modelleringer av avløp og overvann. ROSIE legges til som ”extension” til Arc GIS. Dette gjør at brukeren jobber i et fullstendig GIS- basert brukergrensesnitt med alle dets muligheter. ROSIE supplerer Arc GIS med en rekke ekstra funksjoner som forenkler og forbedrer mulighetene til modelloppbygging, presentasjon av resultater og til vedlikehold av ledningssystemene/ nettsystemene. Rosie bruker MOUSE til simulering av overflateavrenning og rørstrømning. Den datainputen som har blitt laget i Rosie brukes videre i MOUSE til å beregne og simulere. ROSIE deler inn områdene i forskjellige avrenningsarealer, samt beregner andel tette flater fra vei og parkeringsplasser, tak også videre. En er avhengig av å ha data om det eksisterende ledningsnett og befolkningen, som må lagres i programmet. Etter oppbygging og kalibreringen av modellen gir denne et godt bilde av systemet og kapasiteten det innehar. Det kan også brukes til å beregne evt. fremtidige scenarioer og for eksempel mengden avløpsvann som vil gå i overløp i en gitt nedbørsituasjon. Programmet kan også brukes til å avdekke svakheter i ledningsnett som innlekking og evt. hvilke deler som har dårlig selvrensingsevne og må spyles.

3.5 MOUSE

Dette delkapitlet er hentet direkte fra Køste og Hval (2011):

For å få tilgang til MOUSE må man først installere modelleringsprogrammet Mike Urban.

MOUSE er en avansert beregnings- og simuleringsmotor for overflateavrenning, kanalstrømning, rørstrømning, endring av vannkvalitet og transport for sedimentering og forurensning. MOUSE egner seg spesielt godt til beregning og simulering av det hydrologiske systemet i urbane nedbørsfelt og avløpssystemer. MOUSE har en rekke forskjellige moduler avhengig av bruken og 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

lengre 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:

1. MOUSE SRQ: Oppbygning av forurensning på overflaten i nedslagsfelt, samt transport av forurensningen på overflaten.
2. MOUSE AD: Transport og fordeling av forurensning i væske i ledningsnett.
3. MOUSE WQ: Reaksjoner mellom stoffer i ledningsnettet som påvirker vannkvaliteten. Nedbrytning av organisk stoff, opptak av oksygen og lignende.
4. MOUSE ST: Transport av sediment i ledningsnettet.

Som nevnt ovenfor må Mike Urban installeres for å få tilgang til beregningsmotoren MOUSE. Mike Urban kan også 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 og videreutvikle. Grunnen til at MOUSE er brukt i denne oppgaven, er tilgangen til ferdig modell over området, men også fordi 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 3.4: Sammenligning av beregningsmodellene MOUSE og SWMM (Lindholm 2010)

3.5.1 MOUSE Runoff

Dette delkapitlet er hentet direkte fra Køste og Hval (2011):

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

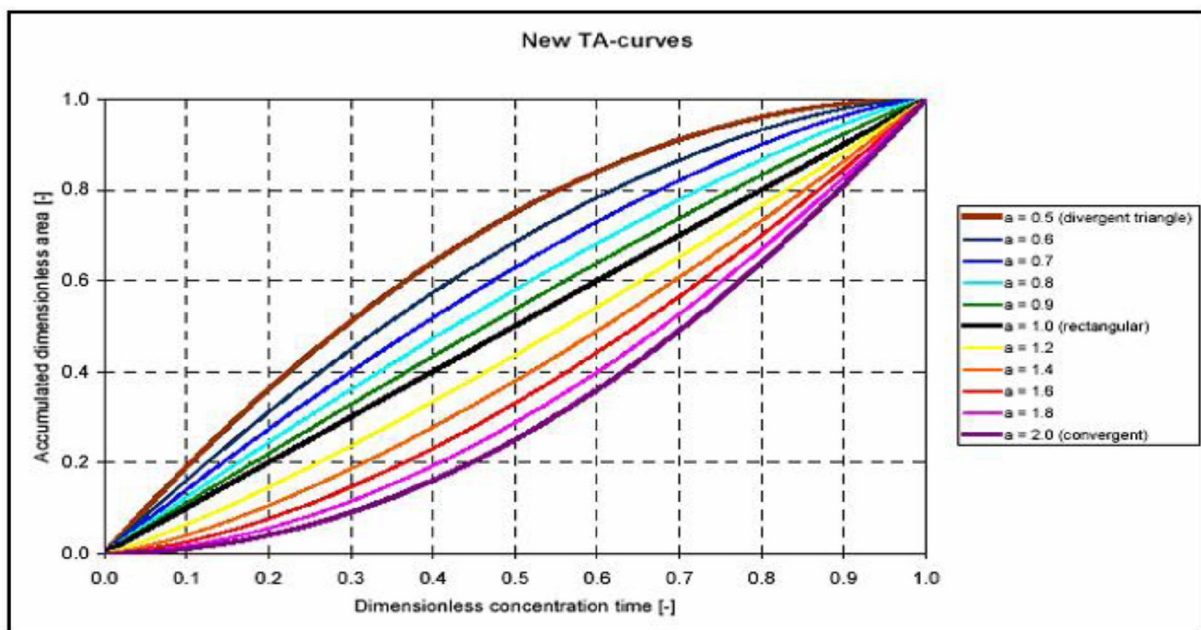
Disse er:

- Tid-arealmetoden (modell A)
- Ikke-lineære kar hvor bare deler av St. Venants likning blir brukt, altså kinematisk bølge (modell B)
- Lineært kar 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 for 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. De 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 som 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 den beste simuleringen 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 at det hydrologiske tapet er konstant. Avrenningsforløpet blir påvirket av konsentrasjonstiden på feltet og formen til feltet. Dette er en begrepsmessig måte å se avrenningen på. 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.

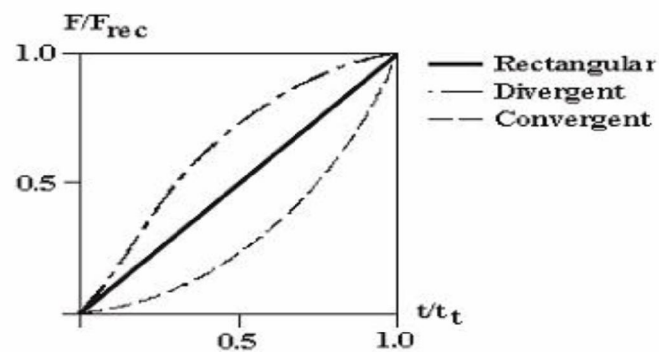
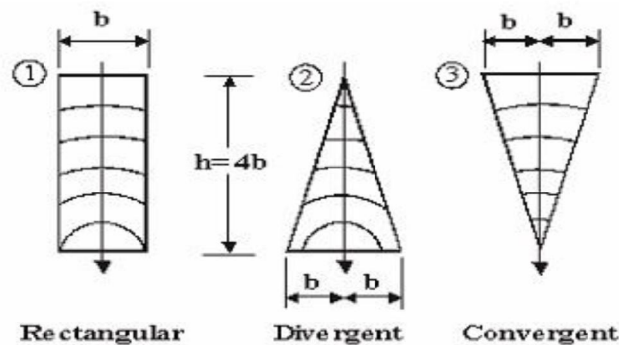


Figur 3.5: Eksempel på tid-areal kurver i MOUSE. Det lineære linjestykket beskriver et rektangulært nedbørsfelt, de divergente beskriver former for pyramide- formede nedbørsfelt, mens de konvergente beskriver former for omvendt pyramide- formede nedbørsfelt. (DHI 2008)

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.

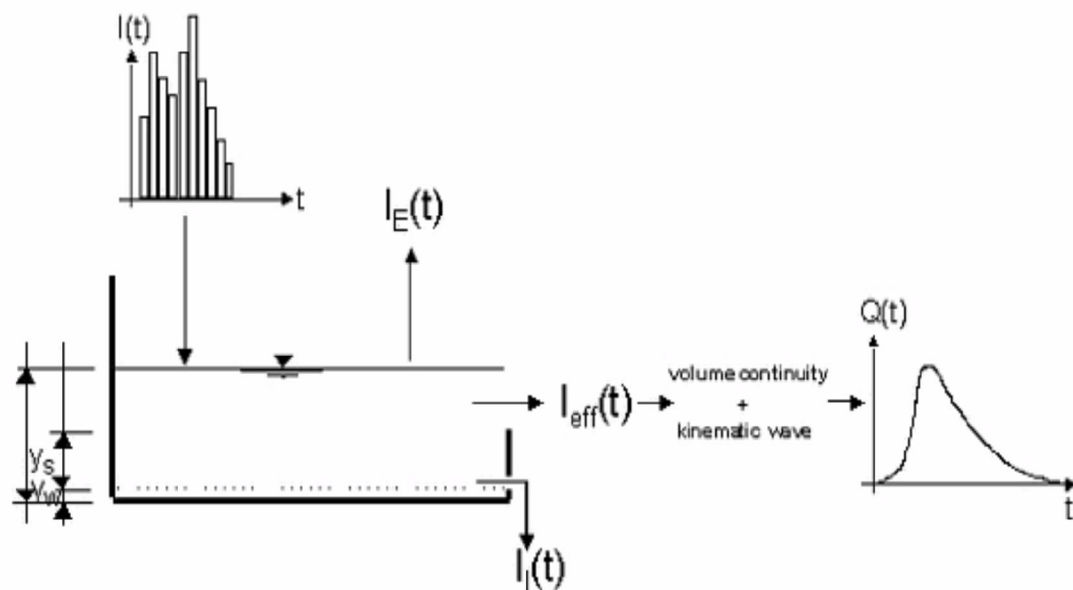
Modellen bruker tid-areal kurven til å dele inn arealet av delfeltet i mindre deler. Dette gjøres ved å sette punktet der avrenningen renner ut av feltet som referansepunkt og dele inn feltet i sirkeldeler med midten av sirkelen i dette punktet. Dette er vist i Figur 24 for de tre ferdige tid-areal kurvene 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 den 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 øvreliggende felt og utsig til nedenforliggende felt. Utsiget i den nederste sirkelcellen vil etter delfeltets tilrenningstid være avrenning fra hele delfeltet.



Figur 3.6: Avrenningsmodell og delfelt. 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 2008)

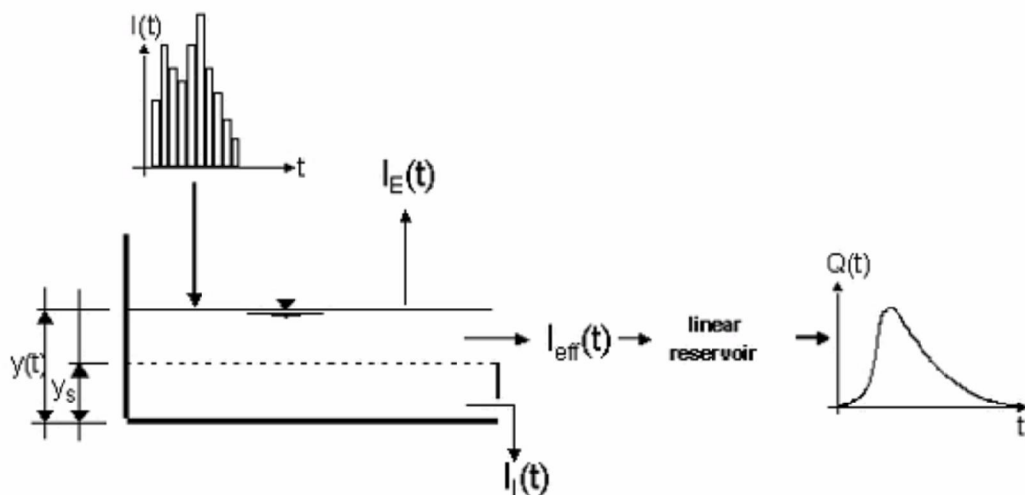
Antall celler modellen deler feltet inn i avhenger av tilrenningstiden til delfeltene (t_k) og det valgte tidskrittet i simuleringen. Gitt av formelen: $n = t_k/\Delta t$

MOUSE har mulighet til å bruke andre modeller for avrenning: **Kinematisk bølge modellen** ser på avrenningen som strømning i åpne kanaler, bare påvirket av friksjon og gravitasjon. 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 om de er flater med forskjellig grad av permeabilitet og lagring.



Figur 3.7: Kinematisk bølge og graf for avrenning. (DHI 2008)

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 3.8: Lineært kar og graf for avrenning. (DHI 2008)

Figur 26 viser hvordan denne typen modell ser på nedbøren og avrenningen av denne. Input består av nedbørhendelsen, hvor deler av nedbøren vil gå andre hydrologiske veier som nevnt over. Resten av nedbøren ($I_{eff}(t)$) vil føre til avrenning, også kalt den effektive nedbøren. Avrenningen starter altså når den effektive nedbørintensiteten er større enn 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 som et konstant eller proporsjonalt tap til infiltrasjon.

3.5.2 MOUSE Pipeflow

Dette delkapitlet er hentet direkte fra Køste og Hval (2011):

For modellering av strømming i ledninger bruker MOUSE modulen MOUSE PIPEFLOW. Denne modulen beregner rørstrømming 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 strømming i ledningene som tilbakeslag, oppstuvning i kum, kanalstrømming, trykksatt strømming og påvirkning av ledningsnett fra tidevann og vannstand i resipient. Modulen har bare mulighet til å 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 en forenkling, slik at beregningen går raskere.

Kapittel 4: Tilrettelegging med simulering av ROSIE

Modellen er allerede ferdig kalibrert fra Rosim A/S for Veumfeltet. Derfor er det ikke blitt gjort endringer i input-verdiene gitt i modellen. Allerede innlagte data som innbyggertall per delfelt, hovedfeltets og delfeltenes horisontale areal, plassering av hus og ledningsnett i feltet samt innlekking av fremmedvann har ikke blitt verifisert eller endret. Man har heller ikke hatt grunnlag til å endre de gitte hydrologiske og spesifikke parameterne i modellen.

4.1 Kapasitetsanalyse av ledningsnettet i Veumdalen

Dette gjennomføres ved å kjøre konstruerte enkeltregn med forskjellige gjentaksintervall tilsvarende dagens regn med et tillegg for 30 % klimaendringer. Slike simuleringer gjøres for se på feltets kapasitet under 10, 20, 50 og 100-årsregn med klimatillegg. Sånn kan en bestemme i hvilke deler av feltet en må iverksette tiltak.

Regnene er konstruert ut fra IVF-kurver som er hentet fra Meteorologisk Institutt sin tjeneste eKlima. Disse dataene har virkelige regn i Fredrikstad kommune i perioden 1970-1995 som basis. I denne perioden var det få store regn i Fredrikstad kommune. Dette medfører at regnene uten tillegg for klimaendringer er grovt underestimert i forhold til dagens nedbørsmengder, fordi IVF-kurvene ligger altfor lavt.

Regnets varighet er det første som må bestemmes. Denne varigheten er viktig for å bestemme regnets varighet i alle deler av feltet. Ved for kort varighet kommer ikke delfeltene lengst vekk fra målepunktet til avrenning før regnet er over. Varigheten på det konstruerte regnet må derfor være lik eller større enn konsentrasjonstiden til feltet. Konsentrasjonstiden er tiden det tar en regndråpe å renne fra det fjerneste punktet i modellen til punktet hvor vannmengden skal beregnes. Denne tiden omfatter derfor både tiden det tar å nå fram til innløpet til ledningsnettet og gjennom ledningsnettet til nedbørsfeltets utløp.

Tiden dråpen bruker gjennom avløpsnettet er beregnet ved å bruke måleverktøy i modellen til å måle den lengste veien avløpet må strømme, altså fra det delfeltet lengst vekk fra utløpet og frem til modellens utløp. En har tatt utgangspunkt i en avløpshastighet på 1,5 m/s i ledningsnettet. Lengden fra start til slutt ble 5800 m og tiden det tar dråpen å renne igjennom avløpsnettet er 64

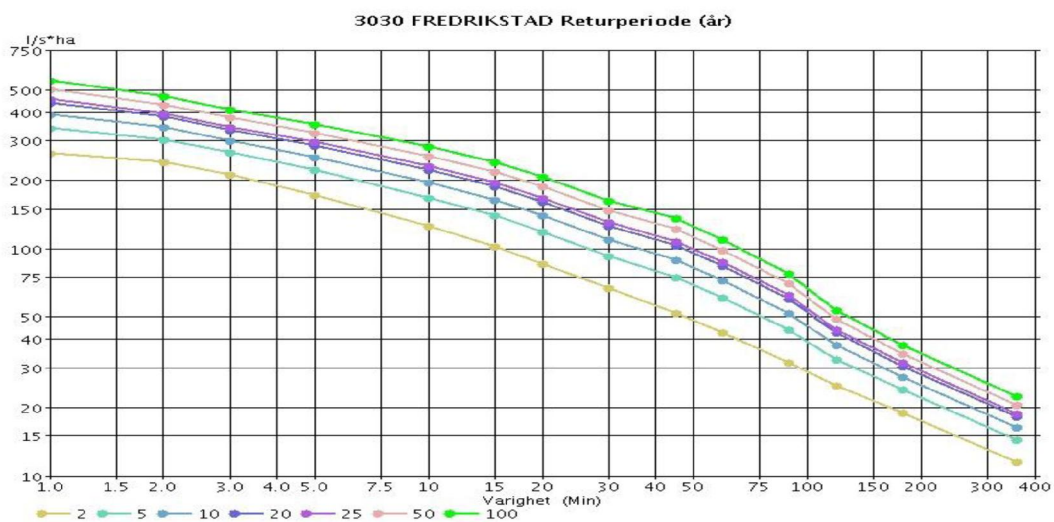
min. Tiden det tar å renne gjennom delfeltet er 7 min. Feltet som ligger til grunn for denne oppgaven er delt inn i mange delfelt, der størrelsen er på alt fra 0,1 ha (hektar) til 58,9 ha. Disse feltene vil ha ulike avrenninger. De største delfeltene ligger øverst i feltet og vil ha liten påvirkning på de resterende delfeltene nedover i feltet siden overvannet blir ført til Veumbekken. De resterende delfeltene ligger i områder med større grad av bebyggelse. Disse har mindre areal per delfelt.

Gjennomsnittsareal er på 1,06 ha, som gjør at en tilrenningstid på 7 min. burde holde. Dermed får vi en modellert minimumstid på 71 min. Det er vanlig å bruke en konsentrasjonstid på 60 min. på slike beregninger. Siden feltet er ganske langstrakt, er det riktig å øke dette noe.

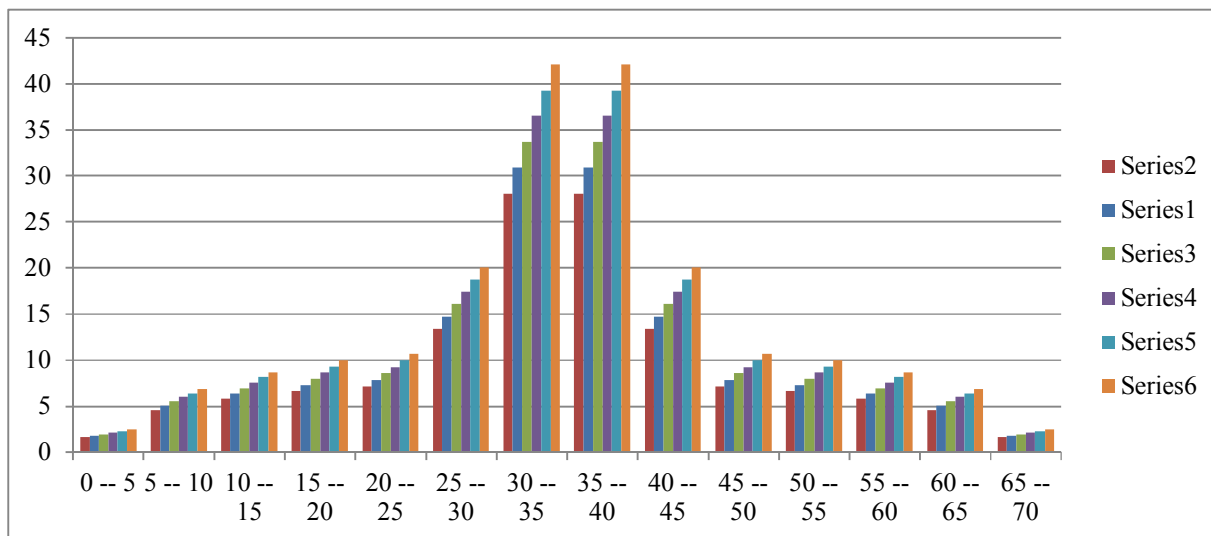
Som tidligere nevnt er det veldig lite bebyggelse i de øvre delene av feltet og overvannet fra disse feltene blir ført til Veumbekken ettersom området har separatsystem. Det regnet som da faller i disse delfeltene vil derfor ha liten påvirkning på kapasiteten til nettet i de nedre delfeltene. Avløpet fra de øvre feltene vil ikke bidra i noe særlig grad da det er relativt lite bebyggelse i området. Det er derfor valgt en konsentrasjonstid på 70 min.

Tabell 4.1: Datagrunnlaget for et hundreårsregn, med alle klimatillegg.

tid etter start regn	0	10	20	30	40	50
0 -- 5	1,62	1,782	1,944	2,106	2,268	2,43
5 -- 10	4,58	5,038	5,496	5,954	6,412	6,87
10 -- 15	5,8	6,38	6,96	7,54	8,12	8,7
15 -- 20	6,63	7,293	7,956	8,619	9,282	9,945
20 -- 25	7,11	7,821	8,532	9,243	9,954	10,665
25 -- 30	13,38	14,718	16,056	17,394	18,732	20,07
30 -- 35	28,08	30,888	33,696	36,504	39,312	42,12
35 -- 40	28,08	30,888	33,696	36,504	39,312	42,12
40 -- 45	13,38	14,718	16,056	17,394	18,732	20,07
45 -- 50	7,11	7,821	8,532	9,243	9,954	10,665
50 -- 55	6,63	7,293	7,956	8,619	9,282	9,945
55 -- 60	5,8	6,38	6,96	7,54	8,12	8,7
60 -- 65	4,58	5,038	5,496	5,954	6,412	6,87
65 -- 70	1,62	1,782	1,944	2,106	2,268	2,43



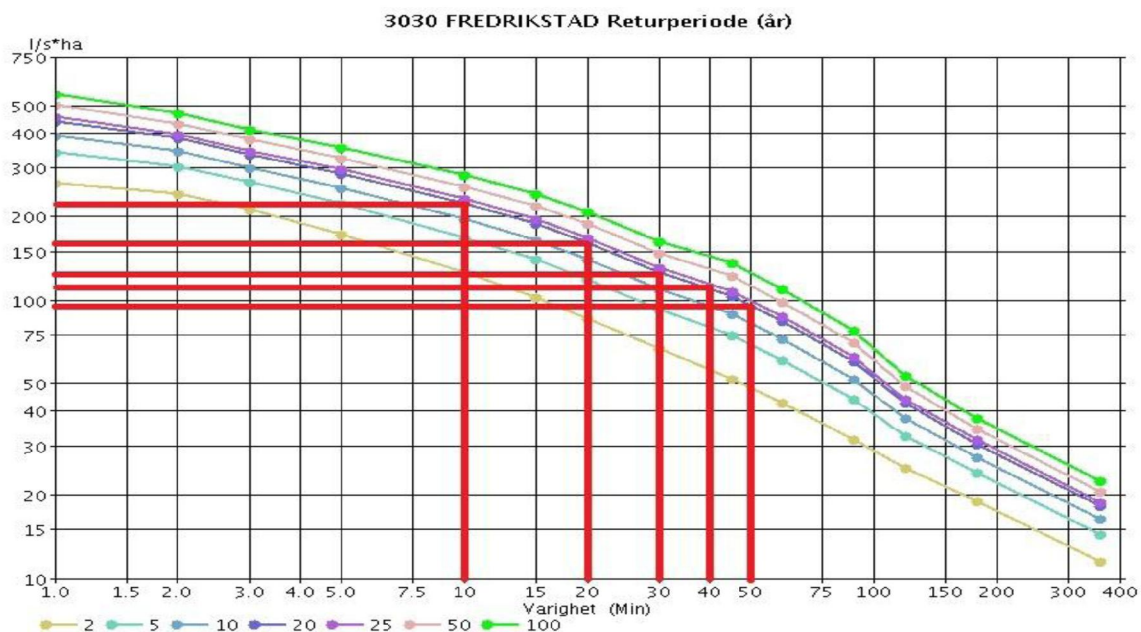
Figur 4.1: IVF-kurven for Fredrikstad kommune med datagrunnlag fra 1970-1995. Kurvene representerer regn med forskjellige gjentaksintervall/frekvens med hensyn på regnets intensitet og varighet. (eKlima 2011).



Figur 4.2: Eksempel på regnhyetogram 100 års regn med flere serier. Seriene representerer samme regn med forskjellige klimatillegg. Som vi ser er regnvolumet symmetrisk fordelt over tidsintervallet, med toppen på 30- 35 og 35- 40 min.

Overfor ser vi et eksempel på regnvarighetene til de forskjellige regnintensitetene som vi kan lese av i regnhyetogrammet i figuren overfor. Disse forskjellige regnintensitetene finnes på eKlima, klimatilleggene kan da legges på det opprinnelige regnet. Dette er regnintensitetene for et hundreårsregn. Den første kolonnen viser regnet uten klimatillegg, de påfølgende kolonnene viser regnet med forskjellige prosentvise tilleggsatser på 10, 20, 30, 40, og 50 %.

4.2 Metode for konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram



Figur 4.3: En illustrasjon på avlesning fra IVF-kurve. De røde strekene viser til avlesningene som har blitt gjort fra IVFkurven i denne oppgaven. De intensitetene vi har brukt til ulike tidspunkt kommer altså fra denne kurven.

I tabellen A.4.1 ser man verdier hentet fra datagrunnlaget for IVF-kurven for et regn med 20 års gjentakintervall. Dette gir grunnlag for utregning av intensitetene mellom beregningsstegene (tabell A.4.2). Intensiteten hentet fra 40, 50 og 70 min. er ikke hentet fra datagrunnlaget da disse ikke er oppgitt. I stedet lagde jeg en graf over intensitetene for 20-års regnet og la til en trendlinje slik at jeg fikk en formel for kurven. Trendlinjen passet godt overens med den virkelige kurven. Deretter satte jeg inn for henholdsvis 40, 50 og 70 minutters regn inn i formelen og fikk ut regnintensitetene for de respektive regnene. Videre tok jeg 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 4.2: 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:

$$I_{10}=221 \text{ l/(s*ha)}$$

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

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

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

$$I_{50}- I_{40} = ((94*50)- (106,3*40))/10 = 45,2 \text{ l/(s*ha)}$$

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

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

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 4.3: Slik ser en «timeseries» ut i ROSIE.

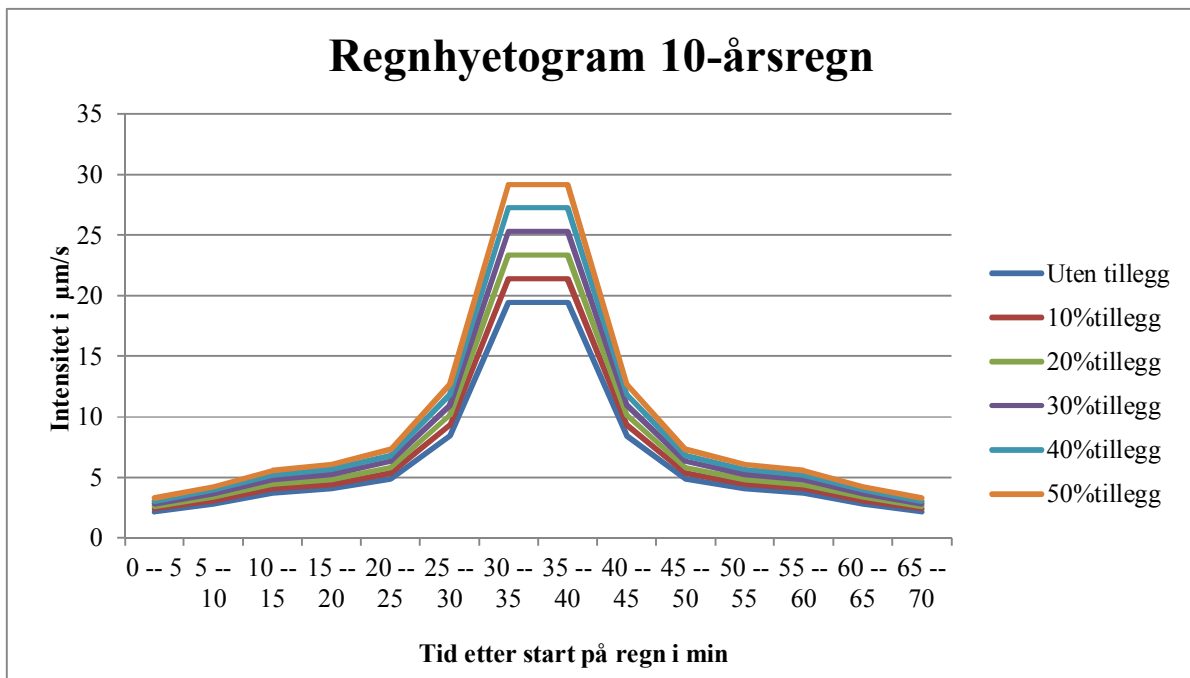
Tid etter start regn (min)	Intensitet (l/s*ha)
0-5	23,4
5 - 10	31,6
10- 15	45,2
15-20	48,9
20-25	55,3
25-30	99,6
30-35	221
35-40	221
40-45	99,6
45-50	55,3
50-55	48,9
55-60	45,2
60-65	31,6
65-70	23,4

Ved å bruke denne fremgangsmåten også for regn med 10-, 50- og 100-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 $\mu\text{m/s}$, da modellen krever denne formen på input. Omformingen kan enkelt gjøres, da $1 \mu\text{m/s} = 10 \text{ l/s} * \text{ha}$.

Her ser vi datagrunnlaget for et 10-årsregn, med tilhørende tillegg for klimaendringer. Et regn i Rosie består av én slik kolonne og man har benyttet 10, 20, 50 og hundreårsregn med 30 prosent klimatillegg til å gjøre kalibreringene i denne oppgaven. Nedenfor følger en komplett tabell med timeseries for et 10-årsregn, komplett med 10, 20, 30, 40 og 50 % klimatillegg. Jeg har kun benyttet meg av regn med 30 % klimatillegg.

Tabell 4.4: «Timeseries» for et 10-årsregn, komplett med alle klimatillegg.

Tid etter regnstart	Regnintensitet for et regn med 10 års gjentakintervall ($\mu\text{m/s}$)					
	Klimafaktor (%)					
	0	10	20	30	40	50
0 -- 5	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
5 -- 10	2,4	2,64	2,88	3,12	3,36	3,6
10 -- 15	3,9	4,29	4,68	5,07	5,46	5,85
15 -- 20	4,3	4,73	5,16	5,59	6,02	6,45
20 -- 25	4,9	5,39	5,88	6,37	6,86	7,35
25 -- 30	8,4	9,24	10,08	10,92	11,76	12,6
30 -- 35	19,5	21,45	23,4	25,35	27,3	29,25
35 -- 40	19,5	21,45	23,4	25,35	27,3	29,25
40 -- 45	8,4	9,24	10,08	10,92	11,76	12,6
45 -- 50	4,9	5,39	5,88	6,37	6,86	7,35
50 -- 55	4,3	4,73	5,16	5,59	6,02	6,45
55 -- 60	3,9	4,29	4,68	5,07	5,46	5,85
60 -- 65	2,4	2,64	2,88	3,12	3,36	3,6



Figur 4.4: Regnhyetogram for regn med 20 års gjentakintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.

4.3 Hvordan kjøre modellen

Det starter med å legge inn et av regnene. Dette gjøres ved å trykke på «add time series boundary» under «computation toolbar». Deretter trykker man der hvor man vil ha regnet og importerer filen som inneholder regndataene. Det er viktig å krysse av for riktig type regn, i dette tilfellet eKlima format, i tillegg til å fylle inn «name» på serien og «type». Etter at dette er gjort må man lukke fanen og sjekke om det nå er kommet en dråpe inn i vinduet.

Så trykker man på «Time Series (boundary conditon)» som ligger under «computation toolbar». Til høyre for «item name», trykker man på symbolet merket «+» og skriver inn navnet man vil gi filen, deretter «ok». Så trykker en på symbolet under «+», som har form som en dråpe med en pil og merk vandråpen som ble laget under «add time series boundary». Så trykker man på «ok», og hele vinduet lukkes.

Neste steg er «runoff simulation» som også står i «computation toolbar». Der velges det samme navnet på regnserien som under «computation toolbar». Når enkeltregn kjøres, velges «T- A Curve» under rullgardinen «type». Trykk «start» og simulasjonen er i gang. Så går vi over til «network simulation». Denne ligger under «computation toolbar». Igjen må det velges et navn, og det anbefales å holde seg til samme navn som tidligere. Deretter må en velge antall minuttsteg som programmet skal bruke på hver beregning. Jo lavere minuttsteg, jo mer nøyaktig blir hver beregning. I denne oppgaven er det tre minutter som er standard minuttsteg. En velger den «default runoff» som har blitt kjørt for den aktuelle kjøringen. Sjekk at «CRD file» er huket av før kjøringen blir satt i gang. Ved spørsmål om man skal importere resultatene i modellen, velges naturligvis «yes».

Denne prosedyren må gjennomføres minst fire ganger for denne masteroppgaven, men det reelle tallet er naturligvis høyere. Det er et 10, 20, 50 og 100-årsregn som er bakgrunn for diskusjonen i oppgaven. Alle regn er med tillegg for klimaendringer. Når man har gjennomført alle de nødvendige kjøringene, går en til «Result manager» i «Rosie Results». Der finnes oversikten over alle kjøringene, i tillegg må det hakes 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 krysse av for den kjøringen en vil hente resultater fra og vente til resultatene er oppdatert. Til slutt krysser man nok en gang av på «edit session» igjen og krysser av for «yes» for å lage endringene.

Ved å trykke på «result curves»-knappen kommer det opp et nytt vindu. Ved å høyreklikke i dette vinduet, kan en legge inn de konstruerte regnene og dermed få en grafisk visning av hvordan de ser ut.

4.4 Trykknivå i ledning

Ved å trykke på «result layer manager» og så på «pipe max overflow» vil ledningene på kartet bli merket med ulike farger avhengig av trykkehøyden på avløpsvannet i dem, og vi får et kart som viser oss hvor de forskjellige avløpsledningene ligger. Datasettet med resultater fra kjøringen av modellen som er grunnlaget for den grafiske visningen kan hentes ved å gå inn i «Display»-vinduet og høyreklikke på «pipe: overflow» og deretter «open attribute level». Her vil det komme opp en oversikt over samtlige ledninger i systemet med oversikt over alle data for de gitte ledningene. Tabellen blir så eksportert til Excel for bearbeiding. Antall meter ledning med trykkehøyde over 75 cm blir så summert ved hjelp av en seleksjonsformel. En kan også se på oppstuvning i kummer, samt trykkehøyde i ledningsstrek i problemområder på en illustrativ måte.

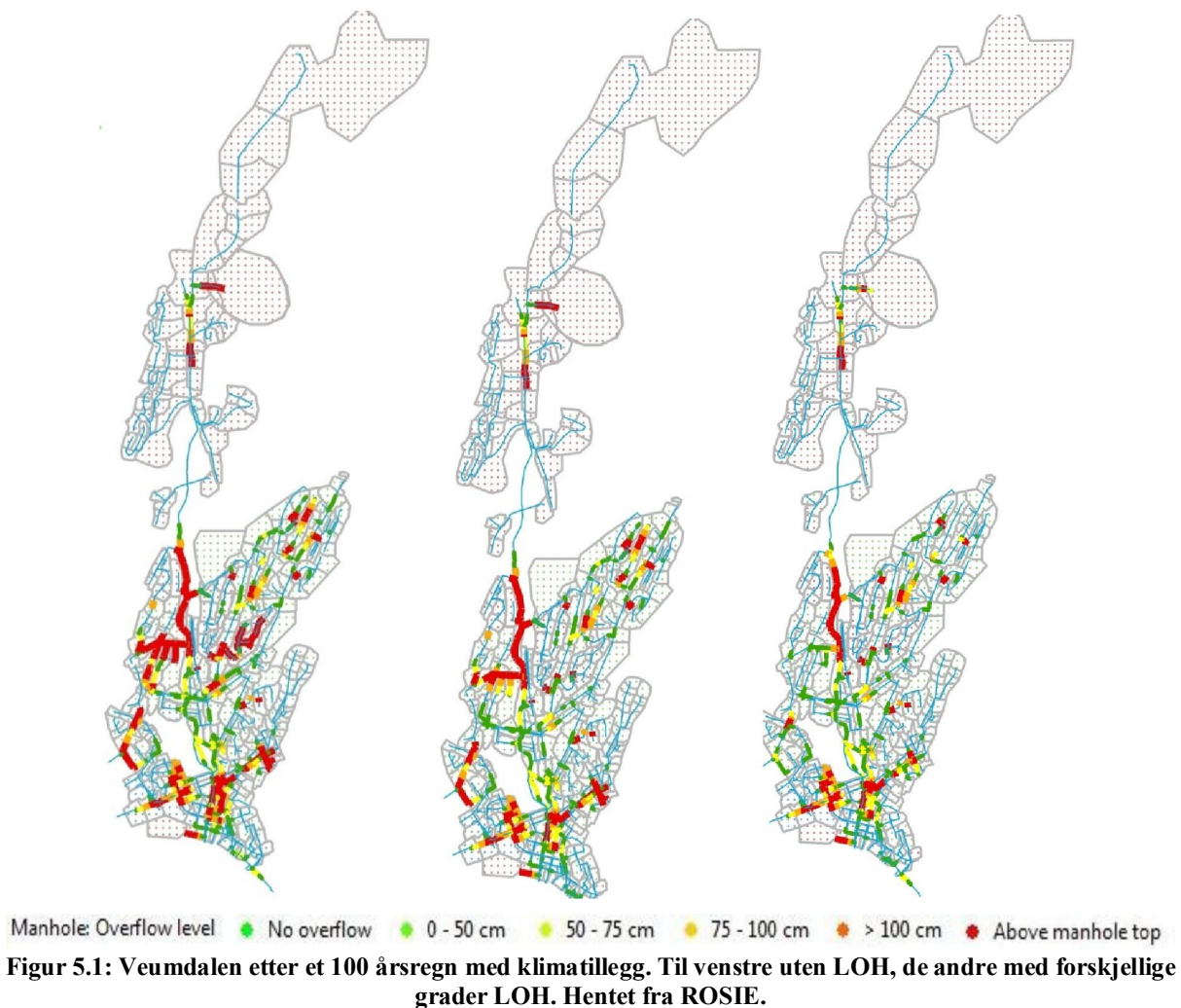
Velg «manhole layer» i rullgardinen på «ROSIE selection»-fanen og trykk på «Selecting Using Step Route» før du deretter kan zoome inn på det aktuelle området og merk kummen i starten av det ledningstrekket som du vil se nærmere på. Så trykker du på neste kum i ledningstrekket. Nå er ledningsnett mellom kummene markert. En kan velge så lange ledningstrekk en vil, bare de er sammenhengende. Når strekket er ferdig, trykk på «show longitudinal profile by selection» under «ROSIE longitudinal Profile»-fanen. Da vil det komme opp et nytt grafikk-vindu som viser det merkede området, med ledninger og tilhørende kummer. Hvis du ønsker, kan du se utviklingen i oppstuvningen gjennom regnserien ved å gå til «ROSIE Time Management» og trykke «play».

Disse resultatene brukes for å telle opp antall hus som vil få kjelleroversvømmelse. Dette gjøres ved manuell opptelling. En tommelfingerregel er at husene i tilknytning til ledninger med oppstuvning på 75 cm eller høyere vil få kjelleroversvømmelse. Det finnes dog ingen data med informasjon om høyden på kjellerne, hvor stikkledningen går eller hvordan husene ligger i terrenget. Dette blir derfor et noe grovt estimat.

Kapittel 5: Resultater

I dette kapitlet vil jeg presentere resultatene fra de ulike kjøringene, gjengitt ved kopier av skjermbildene i Rosie, slik at en kan se forskjellen grafisk. Jeg vil også komme med manuelle optellinger av hvor mange hus som rammes av kjelleroversvømmelser.

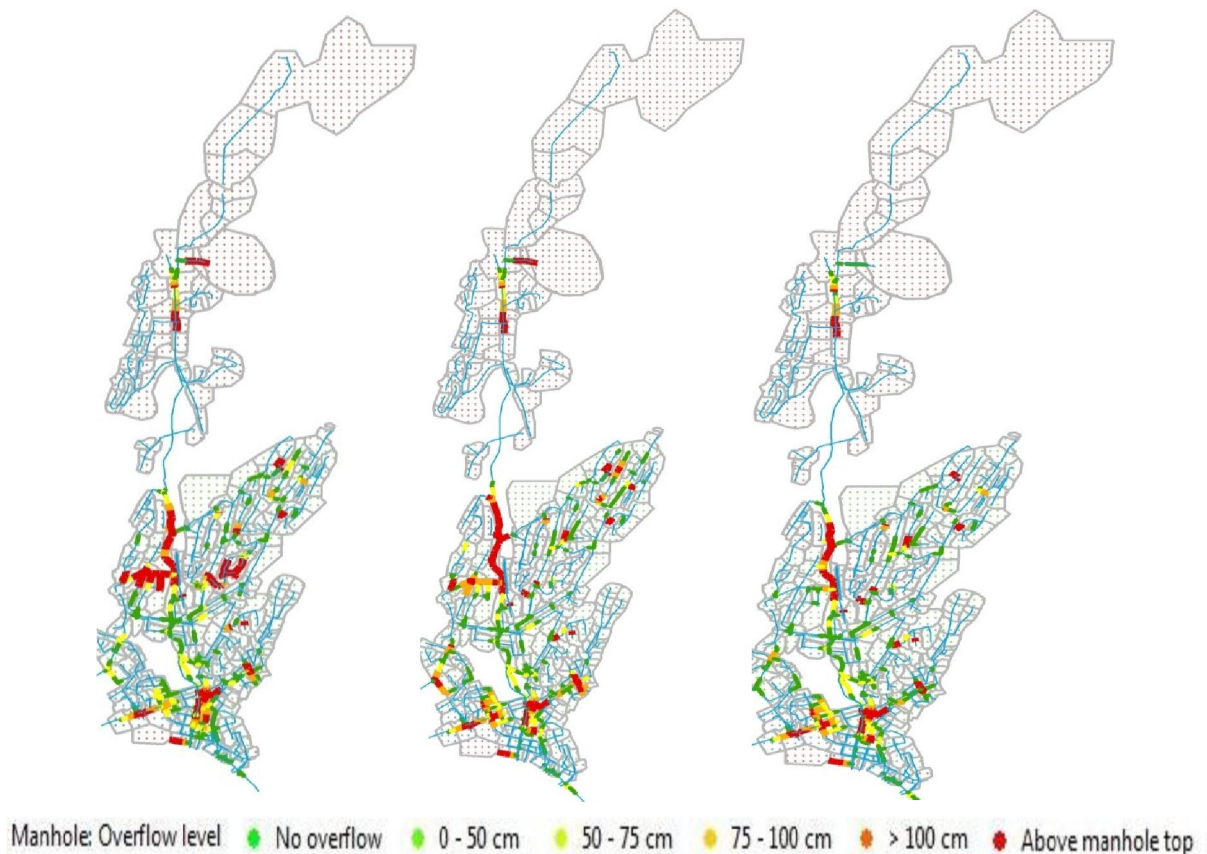
5.1 100-årsregn med 30 % klimatillegg



Figur 5.1 (skjermbilde hentet fra ROSIE) viser Veumdalens avløpsnett, de ulike fargene angir oppstuvning i rør. Rødt og oransje er de fargene som ville ha resultert i kjelleroversvømmelse, oransje angir oppstuvning i rør mellom 75 og 100 mm og rødt markerer rørene som har oppstuvning over 100 mm. Minimumskravet til høyde mellom åpent sluk i kjellergulv og topp av

avløpsrør er i dag 90 cm, men har vært betraktelig lavere tidligere. For Veumdalen har jeg etter samtale med veileder gått ut ifra 75 cm som standardhøyde. Ved å telle opp de husene som ligger innenfor en radius på 15 m av rørene med disse nivåene av oppstuvning, får vi et grovt estimat av hvor mange boliger som vil få skader som følge av regnet. Hvis vi ikke bruker noen LOH-tiltak, blir antall boliger med skader ca 330 etter et 100-årsregn med 30 % tillegg for klimaendringer. Dette er altså et mulig skadeomfang på privat eiendom som følge av det neste 100-årsregnet som vil ramme Fredrikstad. Med moderate LOH-tiltak får vi et estimat på 270 kjelleroversvømmelser. Dette er en nedgang på 130. Dette skyldes i hovedsak den kraftige nedgangen av oppstuvning i rør, spesielt over 100 cm.

5.2 50-årsregn med 30 % klimatillegg

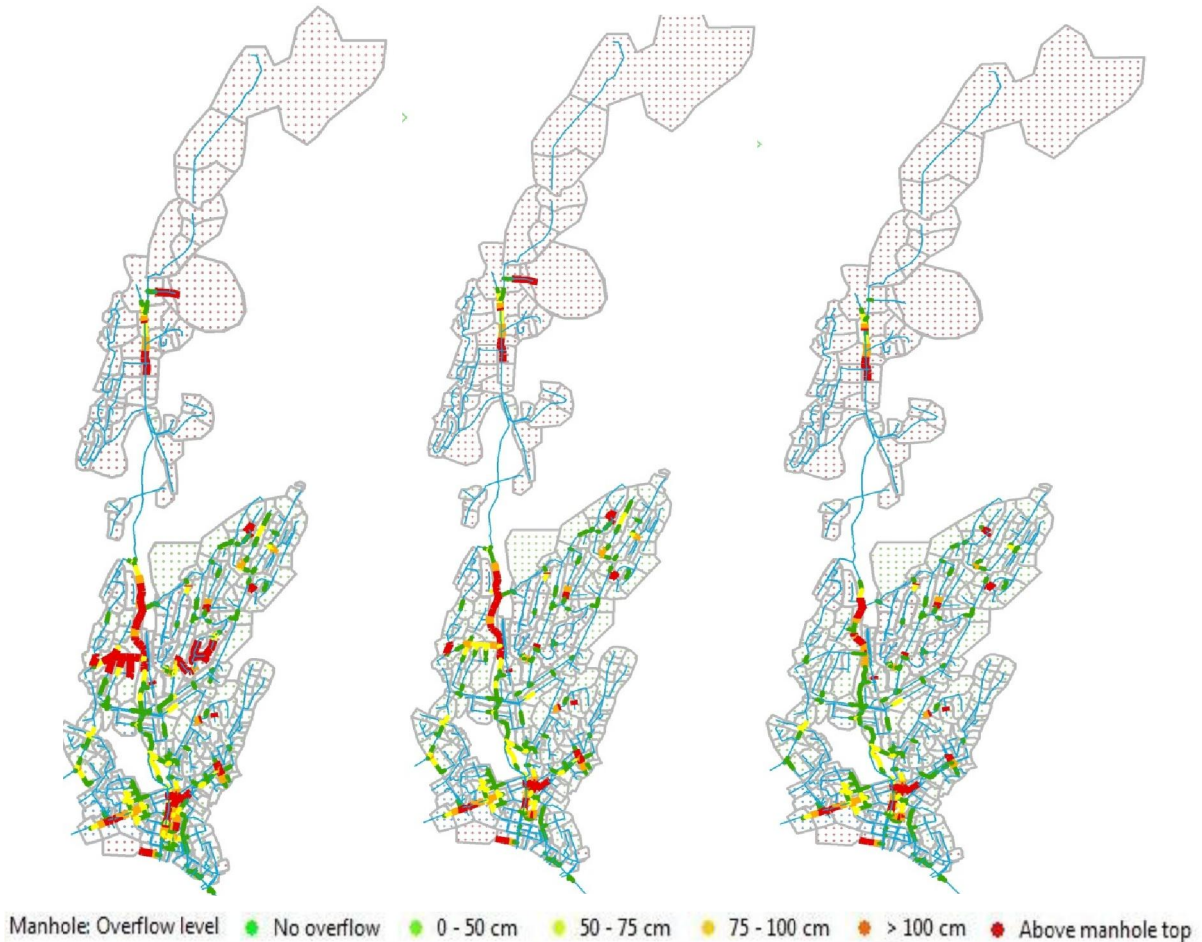


Figur 5.2: Veumdalen etter et 50-årsregn med klimatillegg. Til venstre uten LOH, de andre med forskjellige grader LOH. Hentet fra ROSIE.

For scenarioet uten noen LOH-tiltak gir manuell optelling oss et tall på 270 hus som vil få kjelleroversvømmelser. Altså har vi en markant nedgang på ca 60 kjelleroversvømmelser fra

forrige kjøring. Med moderate LOH-tiltak får vi 270 kjelleroversvømmelser. Med stor grad av LOH får vi 180 kjelleroversvømmelser.

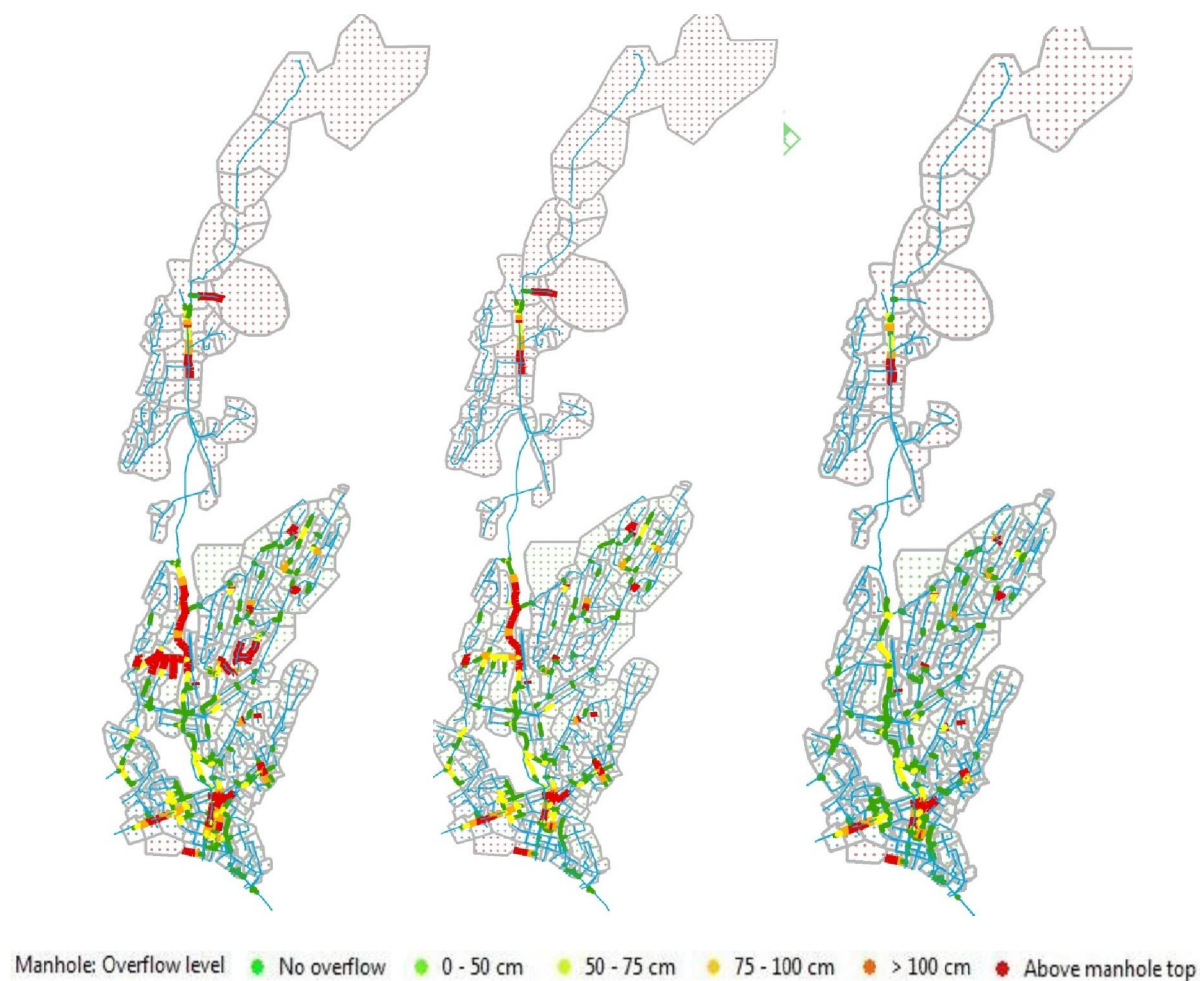
5.3 20-årsregn med 30 % klimatillegg



Figur 5.3: Panel E-F: Veumdalen etter et 20-årsregn med klimatillegg. Til venstre uten LOH, de andre med forskjellige grader LOH. Hentet fra ROSIE.

For scenarioet uten noen LOH-tiltak gir manuell optelling oss et tall på 210 kjelleroversvømmelser. Med moderat grad av LOH får vi 150 kjelleroversvømmelser og 110 med stor grad av LOH-tiltak.

5.4 10-årsregn med 30 % klimatillegg



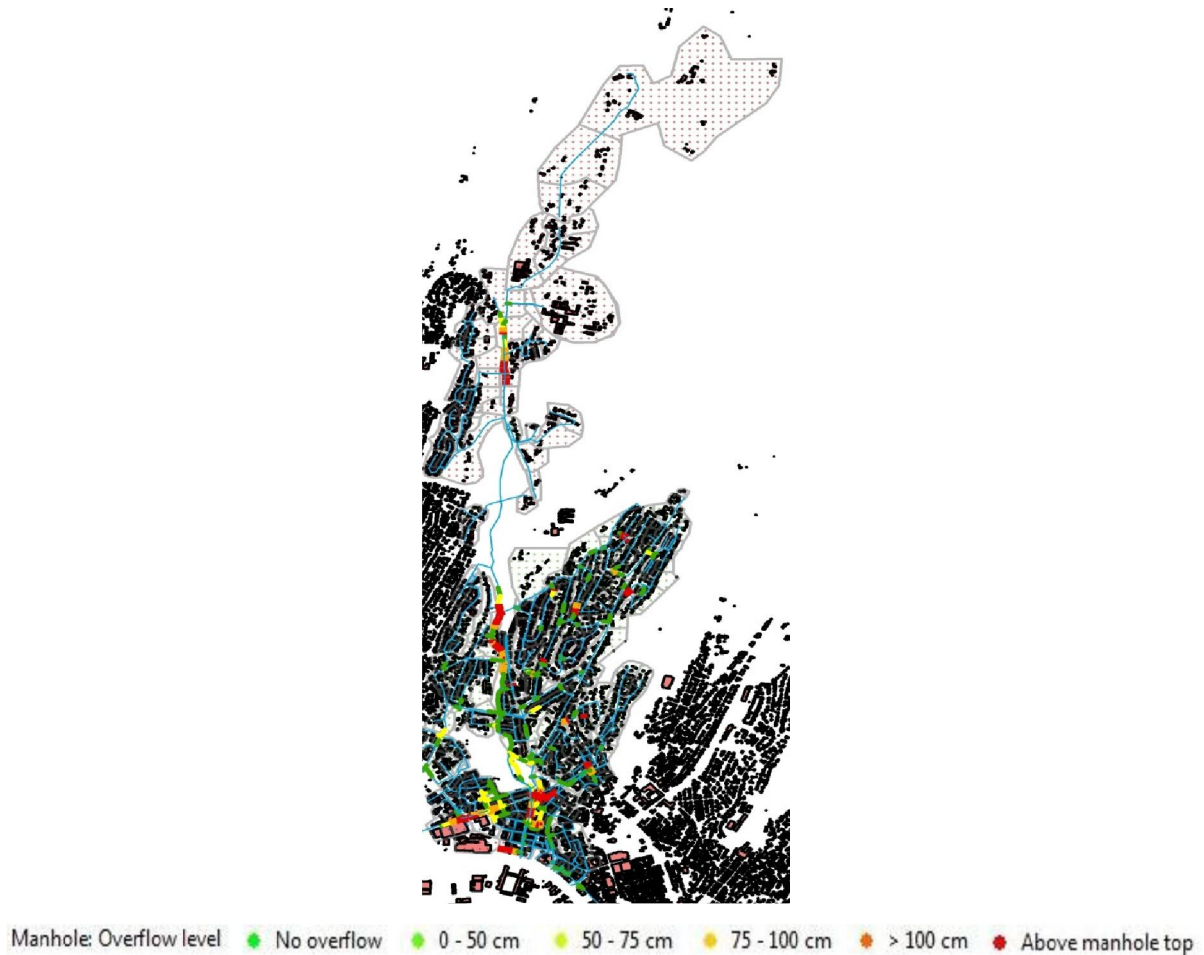
Figur 5.4: Veumdalen etter et 10-årsregn med klimatillegg. Til venstre uten LOH, de andre med forskjellige grader LOH. Hentet fra ROSIE.

For scenarioet uten noen LOH-tiltak gir manuell optelling oss et tall på 150 kjelleroversvømmelser. Med moderate LOH-tiltak får vi 110 kjelleroversvømmelser. Med omfattende LOH-tiltak får vi 80 kjelleroversvømmelser.

5.5 Veumdalen med bygninger

På figurene ovenfor ser vi kun Veumdalen med rør og oppstuvning i rør. For å legge på bygninger går vi på menyen «layers» til venstre på skjermbilde og krysser av på «buildings». Da legger MOUSE på et lag med bygninger som dekker Veumdalen og et betydelig område rundt. Ved bruk av dette layeret, kan man telle opp (manuelt) hvor mange bygninger som får skader

som følge av kjelleroversvømmelser. Figuren under viser et skjermbilde av Veumdalen med et lag med bygninger oppå.



Figur 5.5: Veumdalen etter et 100-årsregn med klimatillegg. Med stor grad av LOH- tiltak. Hentet fra ROSIE.

Bygningene blir svært uklare på bildet, derfor ble det besluttet å kun gjengi Veumdalen uten bygningene, slik at man klarere kan se forskjellen i oppstuvning i rør, som i seg selv er utslagsgivende for skader på bygninger. Dessuten dekker bygningslaget et større område utenfor Veumdalen. Følgelig blir omrisset av Veumdalen mer uklart på dette bildet.

5.6 Oversikt over resultater

Tabell 5.1: Antall kjelleroversvømmelser i Veumdalen som følge av ulike regn m/ulik grad av LOH-tiltak.

Regn	10	20	50	100
0 LOH	150	210	270	330
4,34 ha LOH	110	150	200	270
11,41 ha LOH	80	110	150	180

Tabellen ovenfor viser en oversikt av kjelleroversvømmelser gjennomført ved en manuell opptelling. Dette kun er et estimat. Tommelfingerregelen for opptellingen har vært en buffersone på en rad med hus for hver side ved 75-100 cm oppstuvning og to husrader på hver side av ledningen ved over 100 cm oppstuvning. Dette kom jeg fram til etter en samtale med min biveileder, professor Oddvar Lindholm. Å ta for seg hvert enkelt rør og dets oppstuvning ville medført en altfor stor mengde data og er følgelig uinteressant. Det er også rundet av til nærmeste hele titall.

I dette kapitlet har jeg foretatt en manuell opptelling av antall kjelleroversvømmelser som følge av forskjellige regn og med tre forskjellige nivåer av LOH-tiltak (ingen, moderat og stor grad). I neste kapittel vil jeg bruke disse dataene til å presentere kostnadene ved de ulike scenarioene: fire forskjellige regn med tre forskjellige grader av LOH-tiltak. Kostnadene vil beregnes på bakgrunn av en kostnadsstandard per kjelleroversvømmelse og en per m² med bortkobling av tette flater (LOH-tiltak). Dette skal gjøres for å sammenligne kostnader og skader i de forskjellige scenarioene. Jeg vil presentere et estimat for tiltak og skader ved hvert case. Diskusjonen vil ha fokus på å finne en samfunnsøkonomisk optimal mulighet.

Kapittel 6: Diskusjon

6.1 Oversikt over resultater

Målet for dette kapitlet er å bruke dataene jeg har samlet gjennom simuleringene i ROSIE til å analysere virkningen av investeringene og sammenligne lokal overvannshåndtering (LOH-teknikk) med konvensjonell VA. Jeg kommer også til å forsøke å finne en samfunnsøkonomisk optimal investeringsmengde for Fredrikstad kommune.

I dette kapitlet har jeg derfor regnet ut kostnadene ved hvert antall oversvømmelser. Utgangspunktet for diskusjonen blir nåverdien av de totale skadene og reduksjonen i skadeomfang ved å gjennomføre tiltak over en hundreårsperiode, basert på simuleringene i ROSIE. Tiltakenes lønnsomhet avhenger av i hvilken grad de gir en reduksjon i skadeomfang som er større enn hva den samlede investeringskostnaden utgjør.

6.1.1 Framgangsmåte for å finne nåverdi av skade og netto nåverdi av tiltak

Basert på simuleringene i ROSIE har jeg et estimat for forventet skadeomfang i antall kjelleroversvømmelser og nåverdien forbundet med disse skadene for en 100-årsperiode. Videre har jeg regnet ut netto nåverdi for investering i ulike omfang av LOH-tiltak.

Målet var å finne den samlede kostnaden over hundre år. En periode på 100 år forventes å inneholde ett 100-årsregn, to 50-årsregn, fem 20-årsregn og ti 10-årsregn. 100-årsperioden må selvsagt deles inn i to 50-årsperioder, fem 20-årsperioder og ti 10-årsperioder.

Statistisk sett kommer det til å falle et slikt regn innenfor hver tilhørende periode. Men vi vet ikke når dette regnet faller. Det kan i teorien falle hvert av årene, sannsynligheten er lik for alle. Dette vil si at i hver 10-årsperiode faller et tiårsregn, i et av de ti årene. En enkel måte å få fram dette på, er å anta at det faller 1/10 10-årsregn hvert år. Jeg vil bruke samme framgangsmåte for de andre regnepisodene.

Skadekostnaden fant jeg ved hjelp av en standard fra en SINTEF-rapport for flomskader (Køning 2002), som er 164 000 kr per kjelleroversvømmelse (2002). Denne ganges med differansen i konsumprisindeksen mellom 2002 og 2012, og vi får standarden i 2012-kroner. Denne summen blir ganget med antall oversvømmelser vi får som følge av 10-, 20-, 50- og 100-årsregnene under hvert scenario.

For å få en troverdig nåverdi må vi tillegge hvert år en like stor sannsynlighet som de andre årene i perioden. Nåverdien av de forventede skadekostnadene ved en bestemt type regneepisode i en hundreårsperiode blir da gitt ved følgende formel:

$$NV_{\text{regneepisode type K}} = \sum_{t=1}^{100} \left(\frac{1}{1+r}\right)^t S_{K,t}/K$$

der K angir type regn (K= 10, 20, 50 eller 100), $S_{K,t}$ er skadeomfanget av regntype K i år t og r er diskonteringsrenta. Gjennom å dele skadeomfanget ved en episode med K kan nåverdien av skade regnes ut som vist ovenfor.

Et konvensjonelt VA-anlegg antas å ha en levetid på 100 år. Dette er derfor en naturlig tidshorisont for kostnadsberegningene i denne oppgaven. Alle framtidige kostnader diskonteres. Dette gjelder også investeringsutgifter, siden et LOH-tiltak har en levetid på ca 25 år. Jeg har sett bort ifra vedlikehold på tiltakene, både VA og LOH. Disse lar seg vanskelig beregne.

Vi bruker følgende formel til å finne netto nåverdi (NNV) av en investering for en hundreårsperiode:

$$NNV_{\text{tiltak R}} = -I_{R,0} + \sum_{t=1}^{100} \left(\frac{1}{1+r}\right)^t \Delta S_{R,t}$$

der $I_{R,0}$ er investering for tiltak R, t angir år, $\Delta S_{R,t}$ er reduksjon i skadeomfang ved tiltak R i år t sammenlignet med å ikke gjennomføre tiltak. Tidsindeksen t starter i år én fordi jeg forutsetter at skadereduksjon kommer først etter at tiltak er gjennomført.

Hva tiltakene angår, så har jeg tatt utgangspunkt i en kostnad på 50 kr å koble bort 1 kvadratmeter tette flater. Riktignok har de i Fredrikstad vært nede i kostnader på 15 kr/m², men dette gjelder da i strøk med hyppige innslag av grønne flater. I sentrumsstrøk kan prisen ligge på godt over 100 kr/m², siden det da for eksempel trengs mye gravearbeid.

Jeg har valgt en diskonteringsrente på 4 % jfr. Finansdepartementets «Veileder i samfunnsøkonomiske analyser», siden jeg anser dette for å være investeringer med relativt lav risiko. Denne har jeg brukt til å finne nåverdien av skadene (figur 6.2) og netto nåverdi av de ulike tiltakene.

6.1.2 Uten LOH-tiltak

Uten LOH- tiltak får vi naturligvis den hyppigste andelen kjelleroversvømmelser. Ved hjelp av simuleringsmetoden i ROSIE får vi følgende skadeforløp: 150 skader som skyldes 10-årsregn, 210 skader som følge av 20-årsregn, 270 skader når vi kjører et 50-årsregn og 330 skader som følge av 100-årsregn.

Skadekostnaden er antall kjelleroversvømmelser ganget med SINTEFs standardkostnad for kjelleroversvømmelser, 164 tusen kr, som ganget med økningen i konsumprisindeksen (kpi 2012/kpi2002), blir ca 196 tusen kr.

Tabell 6.1: Antall oversvømmelser og tilhørende skader i kroner

Estimat	Nedbørsscenario (type årsregn)			
	10	20	50	100
Antall skader	150	210	270	330
Skadekostnad	29 403 815	41 165 341	52 926 866	64 688 392
NV skader over 100 år	72 054 045	50 437 832	25 939 456	15 851 890
Sum NV skader over 100 år				164 283 223

Tabell 6.1 viser den forventede nåverdien for de totale skadene ved ti 10-årsregn, fem 20-årsregn, to 50-årsregn, og et 100-årsregn over en hundreårsperiode. Den blir ca 164 millioner kroner.

6.1.3 LOH 1

Med bortkobling av tette flater (LOH-tiltak) lik 4,34 ha, kan vi se sammenhengen mellom LOH-tiltak og får vi 110, 150, 200 og 270 kjelleroversvømmelser for henholdsvis 10, 20, 50 og 100 årsregn. Kostnadene for LOH-tiltakene blir 2 170 000 kr, dette gjelder uansett regn. Hvis vi skal ta for oss kostnadene for en hundreårsperiode, må vi også ta med utskiftninger av LOH-tiltakene. Jeg har tatt utgangspunkt i at LOH-tiltakene har en levetid på 25 år og følgelig derfor må skiftes ut hvert 25. år. Den samlede kostnaden for LOH-tiltak over en hundreårsperiode blir derfor 2 170 000 kr pluss den diskonterte kostnaden for hver utskiftning. Dette blir 3 345 231 kr.

Tabell 6.2: Oversikt over kostnader og skader (i kr) som følge av de forskjellige regnene.

Estimat	Nedbørsscenario (type årsregn)			
	10	20	50	100
Antall skader	110	150	200	270
Skadekostnad	21 562 797	29 403 815	39 205 086	52 926 866
NV skader over 100 år	52 839 633	36 027 023	19 214 412	12 969 728
Sum NV skader over 100 år				121 050 796

Tabell 6.2 viser nåverdien av de forventede skadekostnadene ved innføring av LOH-tiltak 1. Den blir ca. 121 millioner kroner. Sammenlignet med å ikke gjøre noe, oppnår man en reduksjon i skadekostnader på ca. 43 millioner kr.

6.1.4 LOH 2

Dette er det siste scenarioet jeg har tatt i bruk i denne oppgaven. Jeg har kjørt to modeller med LOH-tiltak for å få en bedre referanseramme for oppgaven, fordi jeg da kan belyse effekten av LOH-tiltak bedre. Her er antallet bortkoblede flater lik 11, 41 ha. De påfølgende investeringskostnadene blir 5 705 000 kr. Sett over en hundreårsperiode blir nåverdien av disse investeringene 8 948 938 kr.

Tabell 6.3: Oversikt over kostnader og skader (i kr) som følge av de forskjellige regnene.

Estimat	Nedbørsscenario (type årsregn)			
	10	20	50	100
Antall skader	80	110	150	180
Skadekostnad	15 682 035	21 562 797	29 403 815	35 284 578
NV skader over 100 år	38 428 824	26 419 816	14 410 809	8 646 485
Sum NV skader over 100 år				87 905 935

Tabell 6.3 viser den estimerte nåverdien av de totale skadene ved LOH-tiltak av dette omfanget. Den blir ca. 88 millioner kr. Dette gir en reduksjon på ca. 76 millioner kr fra ingen tiltak. Sammenlignet med estimatet for beskjedne LOH-tiltak er reduksjonen i skadeomfang ca. 33 millioner kr.

6.1.5 Konvensjonelle tiltak vs. LOH-tiltak

Et av målene ved denne oppgaven var å se på det kostnadmessige reduksjonspotensialet som ligger i LOH-tiltakene. Ifølge Fredrikstad kommune er prislappen på deres tiltaksplan for Veumdalen 232 millioner kr for å dekke et «20-30»-årsregn. Nåverdien av de totale skadene uten LOH-tiltak er 164 millioner kroner. Det å forebygge kjelleroversvømmelser med konvensjonelle VA-tiltak er følgelig ikke lønnsomt.

Nåverdien av tiltaksinvesteringene for moderate (avsnitt 6.1.3) og mer omfattende LOH-tiltak er hhv. 3 og 9 millioner kr. Begge disse hypotetiske alternativene blir likevel over 200 millioner kroner billigere enn å oppgradere det konvensjonelle VA-systemet. Selv om vi bruker prisen som gjelder for LOH-tiltak over en hundreårsperiode, ligger prisen på den konvensjonelle tiltakspakken godt over 200 millioner høyere.

I denne oppgaven har jeg ikke simulert endringer i det eksisterende VA-nettet. Hva som blir LOH-tiltakenes ekvivalent innen VA-teknikk, vet jeg altså ikke. Det er mulig å utvide rørdiametrene på rørene i ROSIE. Derimot blir det vanskeligere å estimere den eksakte kostnaden på disse tiltakene. Jeg har derfor valgt å forholde meg til Fredrikstad kommunes tiltaksplan, hvor de bruker konvensjonell VA. Denne prosjektplanen er designet for å dekke et 20-30 årsregn. Det vil sannsynligvis oppstå skader, selv ved et 20-årsregn. Et totalt skadefritt alternativ vil sannsynligvis koste så mye penger at det aldri vil være et reelt alternativ.

6.1.6 Sammenligning

Jeg har nå diskontert de samlede utgiftene ved kjelleroversvømmelser gjennom 100 år for de forskjellige casene. Gjennom å trekke skadekostnaden ved LOH 1 og LOH 2 fra skadekostnaden ved LOH 0, har jeg funnet reduksjonen i skadekostnad. Dette kan sies å være gevinsten, eller inntekten, ved tiltakene.

Jeg vet ikke hva den reduserte skadekostnaden for de konvensjonelle VA-tiltakene blir. De har også en levetid på omkring 100 år. Som et utgangspunkt i denne sammenligningen har jeg valgt å si at reduksjonen i skadekostnader blir lik den totale skaden gjennom 100 år uten LOH, noe som egentlig er utenkelig i seg selv. Altså har konvensjonelle VA-tiltak en negativ netto nåverdi i dette tilfellet. Det kan være bedre å ikke gjøre noe, rent økonomisk sett. Et annet aspekt er hvilken innvirkning det kan ha på innbyggerne i Veumdalen å bo i et flomutsatt område. Dette ble behandlet i innledningen. Disse tallene følger i tabellen under, hvor en finner samtlige

investeringskostnader og reduksjon av skadekostnad for LOH-tiltakene, pluss antatt reduksjon for konvensjonell VA. Reduksjon av utgifter minus investeringskostnaden blir den antatte inntekten ved tiltakene.

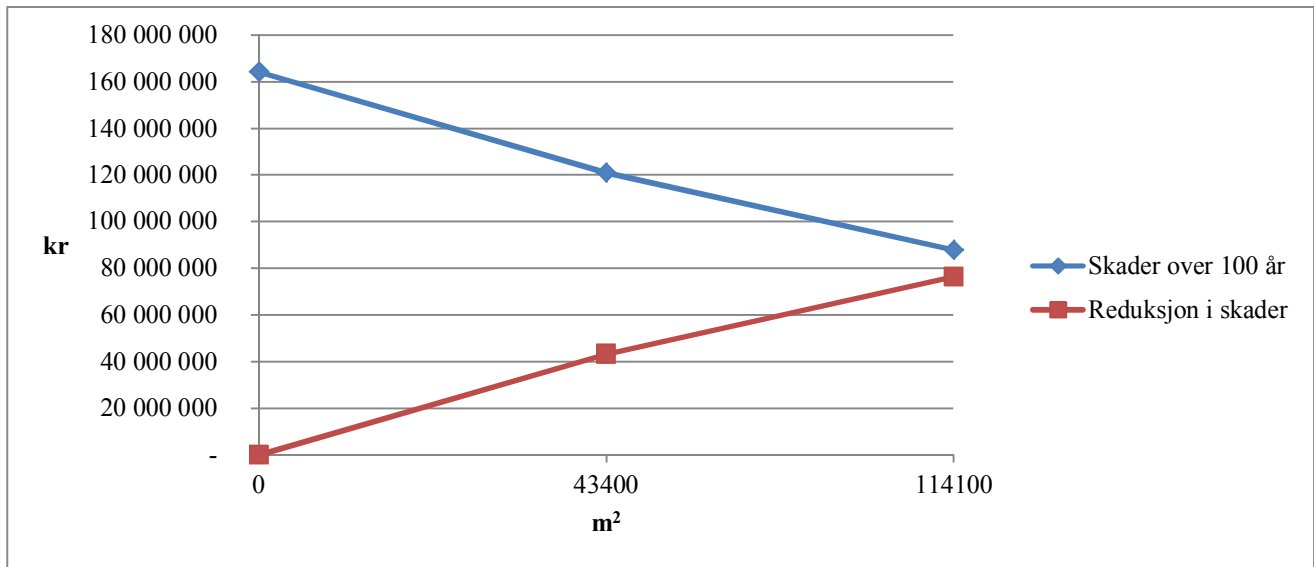
Tabell 6.4: Oversikt over kostnader og skader (i kr) som følge av de forskjellige regnene.

Tiltak	Reduksjon i skader	Investeringsutgift	NNV
0 LOH	0	0	0
LOH 1	22 042 836	3 345 231	18 697 605
LOH 2	38 942 343	8 948 938	29 993 406
Konv VA	83 762 776	232 000 000	-148 237 224

Ettersom jeg ikke har gjennomført simuleringer for antallet skader og dermed skadereduksjonen for LOH-tiltak som er mer omfattende enn LOH 1 og 2, så er virkningen av slike tiltak usikker. Jeg burde ha gjennomført en tredje simulering med mer omfattende LOH-tiltak for å redusere denne usikkerheten. Dessverre tillot ikke tiden som er tilgjengelig for en masteroppgave det. Det er relativt sikkert grunnlag for å gjennomføre mer omfattende tiltak i en størrelsesorden på 15-20 millioner kr og oppnå reduserte skader for ytterligere 20-25 millioner kr, uten at de marginale tiltakskostnadene overstiger den marginale reduksjonen i skade.

6.2 Økonomisk vurdering

Jeg har tatt utgangspunkt i den totale skaden gjennom 100 år. Dette vil jeg måle opp mot verdien av tiltakene jeg har vurdert. Slik kan jeg måle kostnadene av tiltakene opp mot skadekostnadene over en hundreårsperiode. Disse kostnadene må selvsagt diskonteres slik at vi får NNV (netto nåverdi) av tiltakene. Dette har jeg gjort for de tre forskjellige casene med LOH-tiltak (ingen, moderat og stor grad) og lagd en graf ut av disse tallene. Neste steg er å plote de forskjellige LOH-tiltakene, for å sammenlikne de to grafene og finne et kostnadsoptimum (det punktet hvor de samlede kostnadene er lavest). Dette kan vi vente å finne der de to kurvene møtes.



Figur 6.1: Kostnader av LOH- tiltak og påfølgende skader over 100 år

Vi ser at grafene er nære ved å møtes ved det tredje punktet. 114 100 kvadratmeter (bortkoblede tette flater) er derfor nær ved å være et investeringsoptimum, i hvert fall under denne oppgavens forutsetninger. Vi kan se skadekostnadene som etterspørsel og reduksjonskostnadene som tilbud. Da vil det ifølge mikroøkonomisk teori være optimalt å investere der hvor grenseinntekten er lik grensekostnaden.

Det å leve med flomrisiko er en påkjenning som kan kostnadsestimere i seg selv. Dette faktum gjør at vi må anse det som riktig å iverksette tiltak. Denne oppgaven har i sin helhet sett bort fra andre problemer, knyttet til flom, og kostnaden av disse. Flom i seg selv er en tidkrevende ulempe, både det å reparere skadene som følger av det, det være seg elektrisitetsstans, fuktskader, el lign. Skader på veier og infrastruktur (som elektriske anlegg) gjør at det går lang tid før et lokalsamfunn begynner å fungere slik det gjorde før flommen inntraff. Dette bidrar dog bare til å underbygge den økonomiske analysen som er gjort.

Det må nevnes i denne rapporten at en sannsynligvis ikke kan se bort fra visse uunngåelige VA-tiltak, fordi det gamle røret kan være slitt. Alle boliger og industribygg er avhengige av vann og avløp og dersom det eksisterende nettet ikke fungerer tilfredsstillende, er det liten vits i å investere kun i LOH- teknikk. Den reelle, optimale konklusjonen for Fredrikstad kommune blir sannsynligvis en blanding av utskiftning av eldre rør (VA) og LOH-tiltak, hvor LOH-tiltak

snarere er beregnet på å løse byens framtidige, eskalerte problemstilling, mens man samtidig sørger for at VA-anlegget i Veumdalen fungerer optimalt, noe det neppe gjør per i dag. Det sistnevnte er gjeldende for hele Norge, ettersom størsteparten av vårt nåværende VA-anlegg med stormskritt nærmer seg slutten av sin levetid.

Jeg har ikke simulert noen endringer i selve VA-nettet i denne oppgaven, og kan derfor ikke måle effekten av slike endringer. Derfor ble reduksjonspotensialet ved konvensjonell VA stående blankt, og lønnsomheten er også usikker. Det å investere i konvensjonell VA-teknikk vil sannsynligvis ikke være lønnsomt.

Jeg kan heller ikke gi noen eksakt pekepinn på hvor mye av anlegget som bør skiftes ut. Fokuset har heller vært på å analysere effekten av LOH-tiltak med hensyn på de utfordringene klimaendringene vil utgjøre for vårt samfunn. Den teknisk optimale situasjonen for Veumdalen og Fredrikstad er, så vel som for resten av landet, å ha et velfungerende nettverk av avløpsledninger samt LOH-tiltak for å håndtere en eventuell overvannsproblematikk.

Kapittel 7: Usikre parametre

I dette kapitlet skal jeg ta for meg det som er av usikkerhetsfaktorer i denne oppgaven. Jeg vil gå igjennom momenter som kan gjøre tallene og resultatene mine usikre.

7.1 Modellen

Datagrunnlaget i denne modellen er fra perioden 1970-1995, hvor det var få store regn i Fredrikstad-området. Altså ville dagens regnhyetogrammer hatt en høyere intensitet, fordi en betydelig klimaendring allerede har inntruffet. Dagens regn i Fredrikstad vil altså gjøre større skade enn hva regnene jeg har brukt gjør. Dette ville gjort samtlige skadekostnader større, ved alle scenarioer.

Jeg har sett bort fra alle små regn, som toårsregn og femårsregn, som i virkeligheten vil gi en økt skadekostnad for hvert scenario. Imidlertid påløper det få skader som følge av så små regnintensiteter som det man får som følge av et 2-årsregn. Jeg har heller ikke tatt med andre skader enn kjelleroversømmelser fra flom, siden jeg ikke har hatt noe grunnlag til å beregne det.

Men verken små regn eller de andre skadene ville påvirket konklusjonen i denne oppgaven; skadereduksjonen som følge av LOH-tiltak ville vært omtrent den samme. Jeg har også sett bort fra alle små regn, som toårsregn og femårsregn, som vil gi en økt skadekostnad for hvert scenario. Imidlertid påløper det relativt få skader som følge av så små regnintensiteter som det man får som følge av et toårsregn. Skadene fra disse regnene kan uten problem neglisjeres i denne oppgaven. Det samme gjelder 5-årsregn.

Modellen som har vært brukt i MOUSE er delt inn i mange delfelt, der alt regnet ifølge modellen vil dreneres til innløpskummen i det aktuelle delfeltet. Køste og Hval (2011) som brukte samme modell i sin masteroppgave, fant etter å ha konferert med Ole Petter Skallebakke at noen få av delfeltene i virkeligheten drenerte helt annerledes.

Modellen er i seg selv bare en forenkling av virkeligheten. Det hydrologiske systemet er komplekst og sammensatt, og denne modellen bygger på mange forenklinger av virkeligheten som styrker usikkerheten ved resultatene.

Modellen er ikke kalibrert, altså har den ikke vært utprøvd i forhold til virkeligheten, eller til en modell man vet stemmer overens med virkeligheten. Å få et dataprogram som MOUSE til å gi en

korrekt beskrivelse av virkeligheten er i seg selv ganske vanskelig, grunnet kompleksiteten til modellen og de mange ulike faktorene den omfatter.

7.2 Økonomisk analyse

Den mest åpenbare usikkerheten ved modellen er renta. Jeg valgte en diskonteringsrente på 4 %. Dersom denne hadde økt, ville de fremtidige skadene, regnet som nåverdi, være mindre verdt og vi ville ha fått en lavere hundreårskostnad. Dette kunne føret til at tiltakene ville blitt mindre lønnsomme med høyere rente. Under ser vi eksempler på lønnsomheten ved lavere rente:

Tabell 7.1: Lønnsomhetsanalyse for de ulike tiltakene med 8 % rente.

Tiltak	Reduksjon i skader	Investeringsutgift	NNV
0 LOH	0	0	0
LOH 1	22 042 836	2 539 882	19 502 954
LOH 2	38 942 343	6 677 431	32 264 912
Konv VA	83 762 776	232 000 000	- 148 237 224

I tabellen ovenfor ser vi et eksempel på denne modellen med 8 % diskonteringsrente for både skadekostnader og investeringstiltak. Lønnsomheten ved tiltakene har ikke endret seg betraktelig, verken LOH-tiltak eller konvensjonell VA (jfr. Tabell 6.4). Selv om skadekostnadene har minket, har differansen vært konstant.

Realrenta (som er bankrente for et lån minus inflasjonen) vil også kunne endre seg, som følge av internasjonale konjunktursvingninger. Diskonteringsrenta kan endre seg som følge av dette.

I denne oppgaven har jeg kun telt opp hus ved hjelp av «tommelfingerregelen» om at ved gul oppstuvning berøres kun en rad med hus på hver side, mens rød oppstuvning berøres to rader på hver side. Den største usikkerheten i oppgaven knyttes nok til dette, opptellingen ble gjort på bakgrunn av skjermbildet og den omtrentlige regelen med en rad for 75-100 mm oppstuvning og to rader for oppstuvning på over 100 mm. Både antallet hus med relevant oppstuvning i rør og skadekostnadene per hus er grove estimater, det kan derfor knyttes en viss tvil til skadekostnaden jeg har funnet per regn.

En annen usikkerhetsfaktor er skadekostnaden som følge av flom/oversvømmelse. I denne oppgaven har jeg kun tatt hensyn til kostnaden ved kjelleroversvømmelse. Den reelle

skadekostnaden ligger langt høyere og vil omfatte også skade på veier, kummer og rør, etc. Ved de største vannmengdene vil det sannsynligvis også oppstå erosjonsskader, spesielt langs Veumbekken. Siden det kun er skadekostnader på bygninger som presenteres i denne oppgaven, antas det at de er sterkt underestimert.

I denne oppgaven har vedlikeholdskostnadene vært fullstendig neglisjert. De vil påløpe for både LOH-tiltak og konvensjonell VA. Disse kostnadene ville selvsagt gjøre samtlige tiltak mindre lønnsomme, vanligvis vil LOH kreve mer vedlikehold enn konvensjonell VA. Disse kostnadene har jeg valgt å se bort ifra fordi drift- og vedlikeholdskostnader for LOH-tiltak er lite kjent.

Man vet at drift og vedlikehold av konvensjonelle anlegg, som rør, ligger på ca 1 % av investeringskostnaden per år. Vedlikeholdskostnaden for LOH-tiltak er betydelig dyrere enn tilsvarende kostnader for VA, noe som i virkeligheten vil gjøre disse anleggene litt mindre gunstige enn hva denne masteroppgaven tilsier. Derimot vil ikke hovedkonklusjonen endres av dette faktum. Vedlikehold vil avhenge mye av hvilken type tiltak man iverksetter. I tillegg måtte man drøftet hva som tilfaller kommunen, og hva som tilfaller privatpersoner.

I tillegg vil skadene utvilsomt variere noe mellom hvert tilfelle, avhengig av hvor mye vann man får i kjelleren osv. Jeg har likevel valgt å forholde meg til SINTEFs estimat for skadekostnader ved kjelleroversvømmelser.

Det optimale skadenivået og investeringsnivået vil nok forandre seg en del, dersom man tar hensyn til flere av de variablene som er nevnt i denne oppgaven. Kostnadsnivået for LOH-tiltak er dog mindre usikkert, og tiltakenes lønnsomhet vil nok ikke variere så mye at hovedkonklusjonen i denne oppgaven vil bli endret. I så fall ville nok tiltakene ha vist seg å være enda mer lønnsomme, dersom jeg hadde hatt mulighet til å beregne reduksjon i skader på annen infrastruktur i denne oppgaven. Kostnadene på konvensjonell VA, som utskiftning av rør, knyttes betraktelig mindre usikkerhet til.

Kapittel 8: Konklusjon

8.1 Arbeidet med oppgaven

Resultatene som har blitt presentert i denne oppgaven, både tall og skadekostnader er kun gyldige under de antagelsene oppgaven bygger på. Grunnet oppgavens svakheter og usikkerheter, som nevnt i det forrige kapittelet, knyttes det en viss usikkerhet til skadekostnader eller investeringskostnader. Å finne den forventede samfunnsøkonomisk optimale investeringsmengden med akseptabel presisjon krever mer omfattende analyser enn rammene for MSc-oppgave tillater. Denne oppgaven er imidlertid en begynnelse på dette arbeidet.

Med utgangspunkt i forutsetningene om økt nedbørsintensitet har jeg gjennom denne oppgaven kommet fram til følgende konklusjoner:

- Problemer som flom og oversvømmelser i byer gjør, på grunn av det økonomiske aspektet, overvannshåndtering til en dagsaktuell problemstilling. De antatte klimaendringene vi står overfor forsterker denne problemstillingen ytterligere fordi de vil medføre økte regnintensiteter og ekstremvær samt en økt havvannstand.
- Selv om det framtidige utfallet av klimaendringene ikke kan dokumenteres med sikkerhet, hersker det liten tvil om at gjennomsnittstemperaturen på jorda vil øke gjennom dette århundret, og at nedbørsintensiteten vil øke.
- Ved kraftige nedbørsmengder gir LOH-tiltak betydelig avlastning til VA-nettet og reduserer skader på bygninger betraktelig. Det samme vil gjelde for infrastruktur.
- LOH-tiltak er mer lønnsomme enn konvensjonell VA i forhold til overvann, fordi de minimerer bruken av ressurser for å løse problemet. De er også mindre tidkrevende å anlegge. De er et billig og effektivt alternativ til å bygge ut eller sanere avløpsnettet.
- Konvensjonell VA er et lite økonomisk lønnsomt alternativ i Veumdalen, ved at nåvedien av skadereduksjonen ikke overgår investeringskostnaden. Konvensjonell VA vil fortsatt kunne være lønnsomt. Her må det selvsagt tas forbehold pga. lokale forhold. Likevel viser resultatene i denne oppgaven at konvensjonelle tiltak er lite lønnsomme og derfor bør benyttes i minst mulig grad til fordel for andre løsninger.

Dette har vært en givende oppgave hvor jeg føler jeg har lært mye. Kunnskapen jeg har tilegnet meg omfatter ulike emner: å bruke et ArcGIS program som ROSIE, klimaendringer og potensielle utfall av disse, samt investeringsanalyse og økonomisk diskusjon. Gjennom oppgaven har jeg har kunnet fordype meg i lokal overvannshåndtering, et fagområde jeg allerede kjente fra VA-kursene og synes er spennende. Det har også vært interessant å se hvilket potensial LOH-tiltakene representerer i forhold til å redusere kostnader for samfunnet, både skadekostnader og investeringsutgifter.

Erfaringene fra denne oppgaven kommer jeg til å ta med meg videre i yrkeslivet. Jeg er sikker på at LOH-tiltak er et fornuftig alternativ som vil få mer oppmerksomhet, både fra forskermiljøet og næringslivet, i årene som kommer.

8.2 Videre arbeid

Når man arbeider med en mastergrad som denne, må man alltid gjøre prioriteringer og velge bort alternativer, fordi man er under et tidspress. Jeg kunne godt tenkt meg å kjøre et sett med regn uten klimatillegg, for å ha noe å sammenlikne resultatene mine med. Slik kunne jeg illustrert hvilke kostnader som påløper uansett, med og uten LOH-tiltak, hvor store disse blir i forhold til de tallene jeg allerede har, og den prosentvise økningen i antall skader og skadekostnader. Dette ville også sagt noe om hva klimaendringene innebærer for vårt samfunn. Dette har jeg allerede diskutert teoretisk i kapittel 1.

Dataene regnhyetogrammene er basert på, er hentet fra virkelige regn i Fredrikstad i perioden 1970-1995. I denne perioden var det få virkelig store regn i Fredrikstad, så regnhyetogrammene jeg har regnet ut, er i utgangspunktet for svake i forhold til dagens nedbørmengder. Regnene som har vært brukt har derfor ikke fullt ut 30 % klimatillegg, en del av tillegget veier opp for forskjellen mellom nåtidens regn og regnene som har vært brukt i denne modellen.

Jeg kunne også sett nærmere på andre faktorer som ikke direkte berører kjelleroversvømmelse, for eksempel overløp ved de forskjellige tilfellene.

Litteraturliste

Aftenposten (21.6.2012), (2.10.2008) [www.aftenposten.no]

Bøyum, Å. & Torolfsson, S. T. (2003): Avløpssystem, Dimensjonering av Avløpssystemer. *VA- teknikk del 2 Avløp*. Kap.3, Kap.7. Tapir Akademisk Forlag, Trondheim, Norge

Bioforsk Jord og Miljø (mars 2008): Faktaark om overvannshåndtering
[<http://www.vannportalen.no/hovedEnkel.aspx?m=66355&amid=3440428>] lest
18.10.2011]

CICERO (2009): Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge. Rapport til Klimatilpasningsutvalget
[http://www.cicero.uio.no/publications/detail.aspx?publication_id=7442&lang=en] lest
26.4.2012]

Clarke, RT. (1973): A review of some mathematical models used in hydrology, with observations on their calibration and use.
*Journal of Hydrology*19: 1–20.

Dietz, M.E. & J.C. Clausen (2005): A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment. *Water, Air and Soil Pollution*, 167: 123-138.

DHI (2008): *MOUSE Runoff Reference Manual*

eKlima (2011): Meteorologisk Institutt [<http://www.eklima.no>]

Exflood (2010): Workpagages.
[http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22783&p_menu_id=22793&p_sub_id=22784&p_dim2=22790]

Finansdepartementet (2005): Veiledning for samfunnsøkonomiske analyser
[http://www.regjeringen.no/upload/FIN/Vedlegg/okstyring/Veileder_i_samfunnsokonomiske_analyser.pdf]

Fredrikstad kommune (2007): Overvannsrammeplan
[<http://www.fredrikstad.kommune.no/Documents/Politikk/Planer/Regulering%20og%20Teknisk/Overvannsrammeplan%20Fredrikstad%20kommune.pdf>]

Frei, C.R., Schöll, S., Fukutomi, J., Schmid, P.L., Vidale (2006): Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 111, D06105, 22 PP., 2006*

Grann S. L. (2011): Utrygghet for flom. En betinget verdsettingsstudie. MSc Oppgave, Universitet for Miljø- og Biovitenskap, Ås.

[http://brage.bibsys.no/umb/bitstream/URN:NBN:no-bibsys_brage_25058/1/Komplett%20masteroppgave%20med%20forside.%20Siv%20Linette%20Grann.pdf]

Hardang, H. (2007): **Analyse av virkninger av klima på flomskader og overløpsutslipp i Veumdalen, Fredrikstad.** MSc Oppgave, Universitet for Miljø- og Biovitenskap, Ås.

Hedlund, T. (2007): Sårbart vatten- og klimaforsknings foreslås. *Miljøforskning nummer 5-6 desember 2007.*

Hood, M. J., Clausen, J. C., Braskerud B. C. & Warner G. S. (2006): Forsinket avrenning fra urbane felt. Et eksempel på lokal overvannshåndtering. Tidsskriftet Vann, vol (1/2006) s. 32-40

[http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/24696/Urban-avrenning-VANN2006nr1_bb-et-al.pdf]

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change [http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html lest 11.3.2012]

Køste, A. & Hval, J.P. (2011): **Modellering av avløpsnettverk med hensyn på klimaendringer i Fredrikstad kommune.** MSc Oppgave, Universitet for Miljø- og Biovitenskap, Ås.

König, A. (2002): **RISURSIM – CONSEQUENCE ANALYSIS Test case Trondheim and Bærum.** SINTEF, Trondheim.

Lindholm, O., Bjerkolt, J. & Nie, L. (2009): Klimaeffekters betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer. Delrapport for perioden desember 2007 – desember 2008 for ISP-prosjekt om flom i byer knyttet til klimaendringer. Delrapport 2.

[<http://www.regjeringen.no/upload/MD/Kampanje/klimatilpasning/Bilder/Vann%20og%20avl%C3%B8p/Klimaeffekters%20betydning%20p%C3%A5%20oppstuvningene.pdf>]

Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., Aaby, L. (2008): **Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering.** Norsk vann rapport 162/2008.

Lindholm, O. (2010): Forelesningsnotat – Modeller. **THT 300.**

Norconsult (2007). *Veumdalen - Tiltaksplan vann og avløp*. Norconsult, Oslo.
NVE (2010): *Vassdragshåndboka*. Tapir akademisk forlag, Trondheim, Norge.

NOU nr 16 (1996): *Tiltak mot flom*. Statens trykning, Oslo.

Stahre, P. (2004): En långsiktig hållbar håndtering. Planering och eksempel. VA-Forsk. *Svensk Vatten*. ISBN 91-85159-17-4.

Sælthun, N.R. (2001): *Hydrologiske modeller*. NIVA/UiO, Oslo.

Thorolfsson, S.T (2011): Urban hydrologi. Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU, Trondheim.

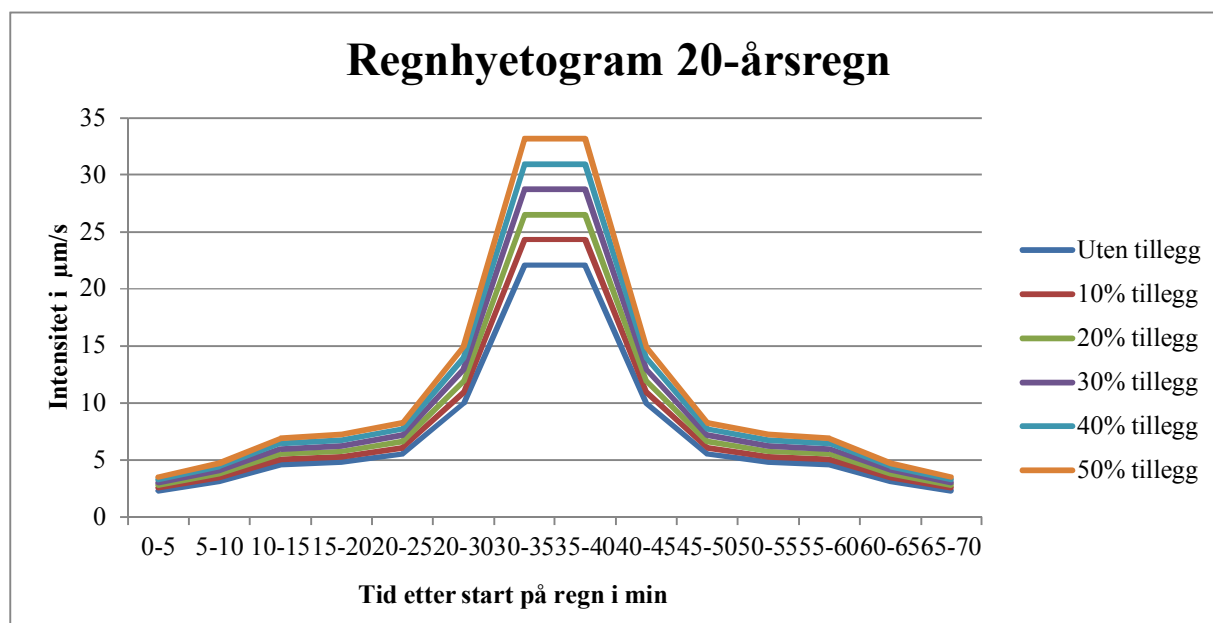
Vedlegg

Vedlegg A: Regnintensiteter og regnhyetogrammer

Vedlegg A: Regnintensiteter og regnhyetogrammer

Tabell A.1 «Timeseries for et 20-årsregn, komplett med alle klimatillegg.

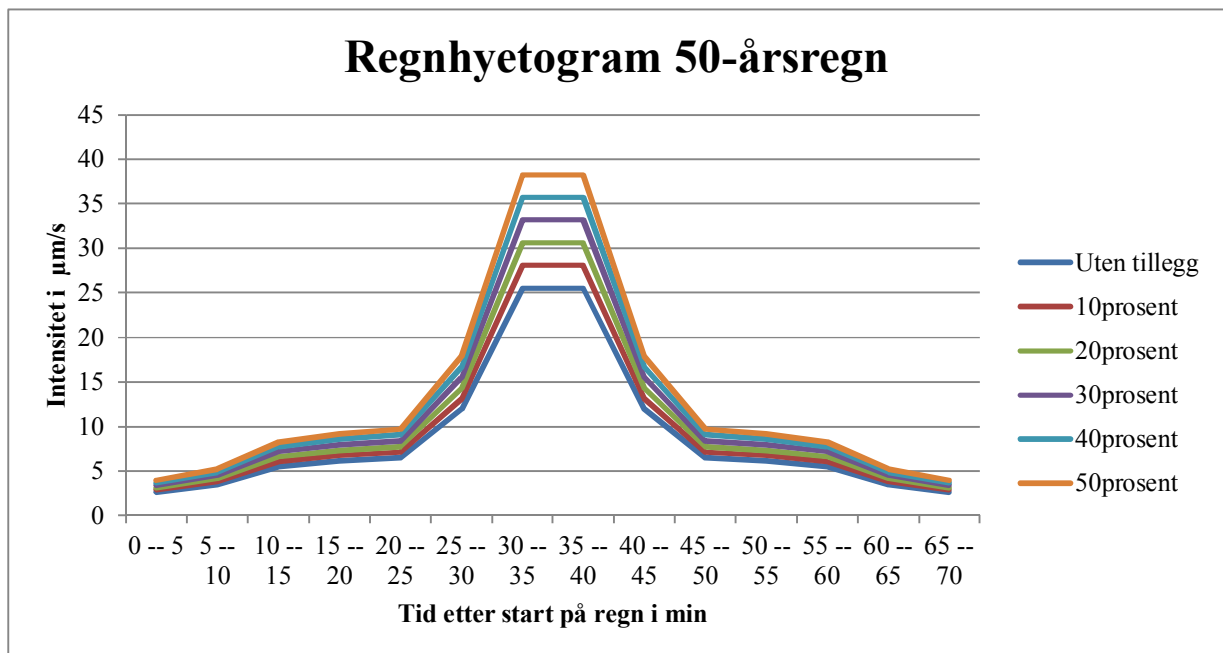
Tid etter regnstart	Regnintensitet for et regn med 20 års gjentaksintervall ($\mu\text{m/s}$)					
	Klimafaktor (%)					
	0	10	20	30	40	50
0 -- 5	23,4	25,74	28,08	30,42	32,76	35,1
5 -- 10	31,6	34,76	37,92	41,08	44,24	47,4
10 -- 15	45,2	49,72	54,24	58,76	63,28	67,8
15 -- 20	48,9	53,79	58,68	63,57	68,46	73,35
20 -- 25	55,3	60,83	66,36	71,89	77,42	82,95
25 -- 30	99,6	109,56	119,52	129,48	139,44	149,4
30 -- 35	221	243,1	265,2	287,3	309,4	331,5
35 -- 40	221	243,1	265,2	287,3	309,4	331,5
40 -- 45	99,6	109,56	119,52	129,48	139,44	149,4
45 -- 50	55,3	60,83	66,36	71,89	77,42	82,95
50 -- 55	48,9	53,79	58,68	63,57	68,46	73,35
55 -- 60	45,2	49,72	54,24	58,76	63,28	67,8
60 -- 65	31,6	34,76	37,92	41,08	44,24	47,4
65 -- 70	23,4	25,74	28,08	30,42	32,76	35,1



Figur A.1: Regnhyetogram for regn med 20-års gjentaksintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.

Tabell A.2: «Timeseries for et 50-årsregn, komplett med alle klimatillegg.

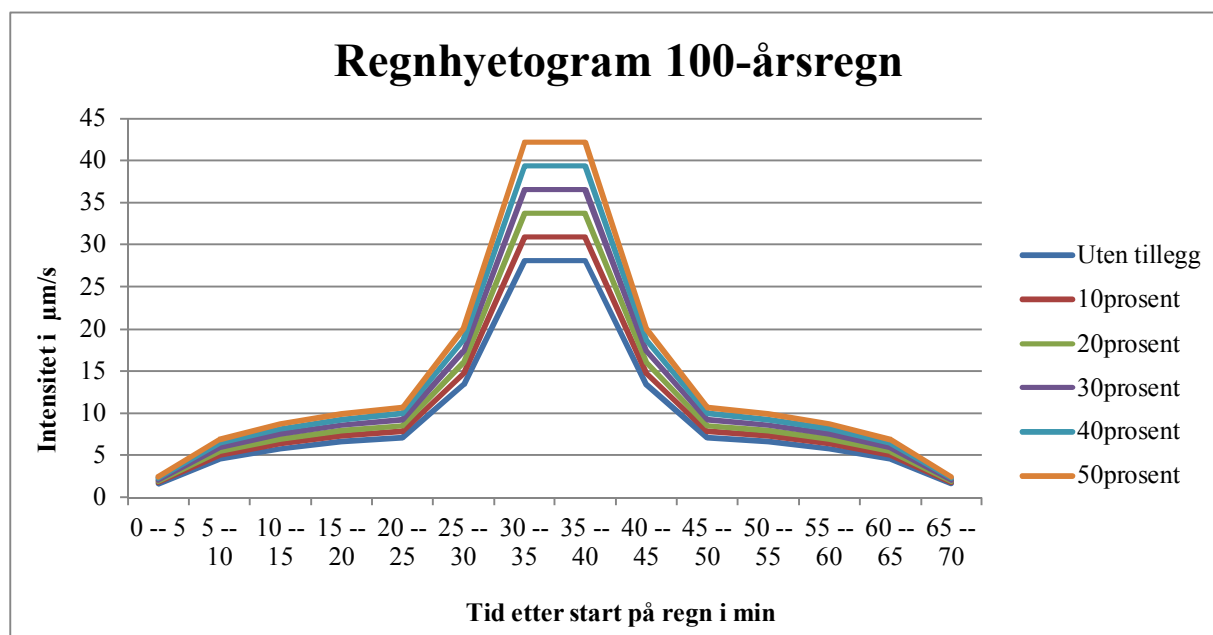
Tid etter regnstart	Regnintensitet for et regn med 50 års gjentakintervall ($\mu\text{m/s}$)					
	Klimafaktor (%)					
	0	10	20	30	40	50
0 -- 5	2,8	3,08	3,36	3,64	3,92	4,2
5 -- 10	4,1	4,51	4,92	5,33	5,74	6,15
10 -- 15	5,3	5,83	6,36	6,89	7,42	7,95
15 -- 20	5,7	6,27	6,84	7,41	7,98	8,55
20 -- 25	6,5	7,15	7,8	8,45	9,1	9,75
25 -- 30	11,9	13,09	14,28	15,47	16,66	17,85
30 -- 35	25,5	28,05	30,6	33,15	35,7	38,25
35 -- 40	25,5	28,05	30,6	33,15	35,7	38,25
40 -- 45	11,9	13,09	14,28	15,47	16,66	17,85
45 -- 50	6,5	7,15	7,8	8,45	9,1	9,75
50 -- 55	5,7	6,27	6,84	7,41	7,98	8,55
55 -- 60	5,3	5,83	6,36	6,89	7,42	7,95
60 -- 65	4,1	4,51	4,92	5,33	5,74	6,15
65 -- 70	2,8	3,08	3,36	3,64	3,92	4,2



Figur A.2: Regnhyetogram for regn med 50 års gjentakintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.

Tabell A.3: «Timeseries for et 100-årsregn, komplett med alle klimatillegg.

Tid etter regnstart	Regnintensitet for et regn med 100 års gjentakintervall ($\mu\text{m/s}$)					
	Klimafaktor (%)					
	0	10	20	30	40	50
0 – 5	1,62	1,782	1,944	2,106	2,268	2,43
5 – 10	4,58	5,038	5,496	5,954	6,412	6,87
10 – 15	5,8	6,38	6,96	7,54	8,12	8,7
15 – 20	6,63	7,293	7,956	8,619	9,282	9,945
20 – 25	7,11	7,821	8,532	9,243	9,954	10,665
25 – 30	13,38	14,718	16,056	17,394	18,732	20,07
30 – 35	28,08	30,888	33,696	36,504	39,312	42,12
35 – 40	28,08	30,888	33,696	36,504	39,312	42,12
40 – 45	13,38	14,718	16,056	17,394	18,732	20,07
45 – 50	7,11	7,821	8,532	9,243	9,954	10,665
50 – 55	6,63	7,293	7,956	8,619	9,282	9,945
55 – 60	5,8	6,38	6,96	7,54	8,12	8,7
60 – 65	4,58	5,038	5,496	5,954	6,412	6,87
65 – 70	1,62	1,782	1,944	2,106	2,268	2,43



Figur A.3: Regnhyetogram for regn med 100-års gjentakintervall, og med ulike klimafaktorer. Figurene er hentet fra den grafiske fremstillingen i ROSIE.