



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Analyse av fordrøyningstiltak på eksisterende avløpsnett i Solumstrand rensedistrikt

Analysis of attenuation measures on existing
sewage system in Solumstrand Wastewater District

Nicolas Martinez
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som avslutning på mitt studie innen vann- og miljøteknikk på Institutt for matematiske realfag og teknologi ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet (NMBU), våren 2016. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng.

Temaet for masteroppgaven er etter interesse fra Professor Harsha C. Ratnaweera ved NMBU og Geir Lindholm ved Rosim AS, om å utarbeide en modell med scenarioer for regnhendelser med hensyn på å optimalisere overløp til Solumstrand Renseanlegg.

Jeg vil gjerne rette en takk min hovedveileder Harsha Ratnaweera for tilretteleggelse for at jeg kunne skrive en oppgave om avløpsmodellering, samt veiledning på oppgavens struktur og oppbygging.

Takk til alle medarbeidere på Rosim AS for mange hyggelige lunsjer i løpet av oppgavetiden, og som har hjulpet meg underveis med svar på spørsmål om modelleringsprogrammet. Samtidig vil jeg rette en stor takk til min tilleggsveileder Geir Lindholm for interessen vist i oppgaven, gode samtaler og faglige råd underveis.

Jeg vil takke doktorgradsstudent Duo Zhang ved NMBU for engasjement i oppgaven med gode diskusjoner, konstruktive tilbakemeldinger og bidrag til oppgaven. Også takk til Alexander Vedeler i Drammen Kommune for svar på spørsmål angående Solumstrand Rensedistrikt.

Nicolas Martinez

13.05.2016

Sammendrag

I denne masteroppgaven er det sett på påvirkningen av klimaendringer på avløpsnett i Solumstrand rensedistrikt i Drammen Kommune. Framskrivninger for klima i verden og Norge viser en progressiv økning i nedbørintensitet og antall regnhendelser på grunn av et varmere klima. Dette gir utfordringer for det eksisterende avløpsnett, da det allerede i dagens situasjon er utsatt for overkapasitet og fører til store mengder overløpsutslipp. Renseanleggene her er også utsatt for klimaendringer. Disse klarer ikke å håndtere avløpsmengden som kommer inn og effektiviseringen av rensingen blir svekket. På grunn av dette vil mye av avløpsvannet gå i overløp og urensset vann til resipient.

Analyseområdet i oppgaven har i hovedsak vært Solumtunnelen og Konnerudtunnelen. Det er her sett på utnyttelsen av volumet til begge tunnelene og laget to scenarioer som fordrøyningsiltak i tunnelene for å redusere overløpsmengden inn til Solumstrand rensanlegg. I tillegg er det i oppgaven gjort et forsøk på en reduksjon av modellen til Solumstrand rensedistrikt med tanke på å effektivisere beregningstiden til modellen. Det ble til slutt gjort en analyse av kalibreringen av originalmodellen for å se på validiteten av kalibreringen. For simuleringen er det valgt å benytte konstruerte regnhyetogrammer med ulike gjentaksintervall. I tillegg ble det satt inn en klimafaktor for å se på regnhendelser for det neste 100 år.

Reduseringen av modellen er gjort ved å bruke verktøy i modelleringsprogrammet ROSIE for sammenslåing av delfelt og redusering av ledninger på nettet. Reduseringen viste seg å gi avvik på resultatene i den reduserte modellen i forhold til originalmodellen. Dette avviket kan skyldes forskjell i inputparametere som ble sammenlignet i originalmodellen da reduseringen startet og en senere oppdatert originalmodell.

For scenarioene viste det seg at de bidrar til en effektiv redusering av overløpsmengden. For lave gjentaksintervaller gir scenario 1 ved bruk av Solumtunnelen, en effektiv redusering av overløp på opp mot 82 %, mens for høye gjentaksintervaller viste det seg kun en reduksjon på opp mot 6%. Med en kombinasjon av Solumtunnelen og Konnerudtunnelen gav scenario 2 en ytterligere reduksjon for alle gjentaksintervaller. Resultatene viste en økt reduksjon av overløp på 53% for det høyeste gjentaksintervallet mot 6 % i scenario 1.

Resultatene for kalibreringsanalysen viser en god sammenheng mellom målt og simulert vannføring. Det kan sies at original modellen brukt til beregningene er pålitelig.

Scenariogrunnlaget i denne oppgaven er basert på kapasitetsanalyse av simulerte tunnelstrekke i original modellen. Resultatene i denne oppgaven kan være i avvik fra virkeligheten og må derfor kvalitetssikres.

Abstract

This thesis has looked into the effects of climate change on the sewer system in the wastewater district of Solumstrand, in the municipality of Drammen. Projections for climate in the world and in Norway shows a progressive increase in precipitation intensity and number of rain events due to warmer climate. This presents challenges for existing sewerage systems, as it is already in the current situation exposed to overcapacity and lead to large numbers of overflow discharges. Wastewater treatment plants are also vulnerable to this change, as these cannot handle the sewer amount and the efficiency of the purification becomes weakened. Because of this, much of the wastewater are discharged untreated in to the recipient.

The analysis area of this paper has been mainly in the sewerage tunnels of Solum and Konnerud. It is looked at the volume capacity of both tunnels and made two scenarios for attenuation measures in the tunnels to reduce the overflow discharge into the wastewater treatment plant of Solumstrand. In addition, an attempt of reducing the modelling model of Solumstrand is done to optimize the calculation time of the model. Towards the end of this paper, it was done an analysis of the calibration for the entire model to look at the validity it. For the simulation, was chosen to use constructed symmetrical hyetogram for different return periods. In addition, the return periods are given a climate factor of 1.5 to look at rain events 100 years from now.

The reduction of the model is done by using tools in the modelling program ROSIE, for merging subfield and reduction of pipes in the network. Reducing proved to give a deviation of the results of the reduced model in comparison with the entire model. This discrepancy may be due to difference in the input parameters, which were in the model when the reduction started, as the model were compared with a more completed model.

The scenarios showed a contribution to an effective reduction of the overflow discharge. For today return period an implementation of scenario 1 gave an effectively reduction of overflows up to 82% for the lowest return period, while for the highest return period it resulted in only up to 6 % reduction. With a combination of the tunnel of Solum and Konnerud gave scenario 2 a further reduction for all return periods. The results showed an increase of reduction of overflow of 53% for the highest return versus 6% in scenario 1.

The results of the calibration analysis shows a good correlation between measured and simulated water flow. It concludes that the model used for the calculation is reliable.

The scenario basis of this thesis are based on the capacity analysis of simulated tunnel stretches in the model. The results in thesis can therefore be deviating from reality and has to be ensured.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Figurliste.....	VII
Tabelliste	IX
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstilling og fremgangsmåte	1
2 Regnbyge 3M	1
3 Teori	3
3.1 Klima	3
3.2 Verdensklima.....	3
3.2.1 Utviklingsbaner	6
3.3 Norges klima.....	8
3.3.1 Fremtidig klima i Norge	9
3.3.2 Usikkerhet i framskrivinger globalt og regionalt.	12
3.4 Klimafaktor.....	13
3.5 Urbanhydrologi.....	13
3.6 Avløpssystemer	14
3.7 LOD-tiltak	15
3.8 Overløp	16
3.9 Hydrologiske modeller	17
3.9.1 ArcGIS	17
3.9.2 ROSIE	17
3.9.3 MOUSE.....	17
3.10 Statistisk analyse av kalibrering.....	24
3.10.1 Nash- Sutcliffe effektivitet (NSE).....	24
3.10.2 Persons' korrelasjon koeffisient (r) og determinasjons koeffisient (R^2)	25
4 Metode.....	27
4.1 Modelloppbyggelse	27
4.2 Presentasjon av modell	27
4.3 Drammen Kommune	28

4.4	Solumstrand rensedistrikt	29
4.5	Avløpssystemet i Solumstrand	30
4.6	Hydraulisk situasjon i Solumtunnelen	30
4.7	Scenarier	31
4.7.1	Beskrivelse av kontrollnoder- og ledninger.	32
4.7.2	Scenario 1: regulering av Solumtunnelen for fordrøyning.....	34
4.7.3	Scenario 2: regulering av Konnerudtunnelen og Solumtunnelen for fordrøyning 35	
4.7.4	Modellering av scenarier	37
4.8	Reduksjon av modell	37
4.8.1	Metode brukt ved redusering.....	37
4.8.2	Implementering av scenarier i original modell.....	40
4.9	Regndata	40
4.9.1	Konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram.....	41
4.10	Modellering av regn	45
4.11	Beregning av fyllingsgrad.....	46
4.12	Metode for kalibreringsanalyse.....	47
5	Resultater.....	51
5.1	Redusert modell.....	51
5.1.1	Presentasjon av den reduserte modellen.....	51
5.1.2	Sammenligning mellom original modellen og den reduserte modellen.....	52
5.2	Analyse av fyllingsgrad i Solumtunnelen.....	53
5.3	Kapasitet i Konnerudtunnelen	54
5.4	Analyse for reduksjon av overløpsdrift ved Solumstrand Renseanlegg.....	56
5.4.1	Resultater av scenarier	56
5.5	Resultater av kalibreringsanalyse	62
6	Diskusjon.....	67
6.1	Redusert modell.....	67
6.2	Tiltak for optimalisering av overløp.....	67
6.3	Kalibreringsanalysen	68
6.4	Feilkilder i modellen.....	68
6.5	Andre feilkilder.....	69
6.6	Anbefalinger til videre arbeid.....	69
7	Konklusjon	71

Referanser.....	73
Vedlegg A	I
Vedlegg B.....	III
Vedlegg C.....	IV

Figurliste

Figur 2.1 Overordnet idè	1
Figur 3.1 Globale energibalansen.(Miljødirektoratet 2015a).....	4
Figur 3.2 Konsentrasjoner av drivhusgasser- Karbondioksid (grønn), Metan (oransje) og Lystgass (rødt).(IPCC 2014)	5
Figur 3.3 Utvikling i gjennomsnittstemperatur globalt.(Miljødirektoratet 2016b)	5
Figur 3.4 FNs utviklingsbaner for det kommende århundret (Miljødirektoratet 2013).	7
Figur 3.5 Overflatetemperaturøkning (Miljødirektoratet 2013).....	8
Figur 3.6 Registrert temperaturøkning i Norge.(Miljødirektoratet 2016a)	9
Figur 3.7 Forandring i årstids- og årstemperatur for Norge fra 1971- 200 til 2031-2060 (Hanssen-Bauer et al. 2015)	10
Figur 3.8 Forandring i årstids- og årstemperatur for Norge i 2071-2100. (Hanssen-Bauer et al. 2015).....	10
Figur 3.9 Nedbørintensitet med relativ forandring på dager med kraftig nedbør. Periode 1971-2000 til 2031-2060 (Hanssen-Bauer et al. 2015).	11
Figur 3.10 Nedbørintensitet med relativ forandring på dager med kraftig nedbør. 2071-2100 (Hanssen-Bauer et al. 2015)	12
Figur 3.11 Påvirket avrenningsbilde på grunn av urbanisering (Butler & Davies 2011).....	14
Figur 3.12 Illustrasjon av 3-leddstrategien for håndtering av nedbør, verdiene må tilpasses lokalt. (Lindholm et al. 2008).....	15
Figur 3.13 Forhåndsdefinerte Tid/Areal-kurver i MOUSE.....	20
Figur 3.14 Skjematisk oversikt av RDII modulen.....	23
Figur 3.15 Respons på avrenning av like regnhendelser i tørrvær- og nedbørsperioder.(DHI 2008a).....	24
Figur 4.1 Oversikt over ledningsnettet for Solumstrand rensedistrikt (Lindholm, G. J. 2016b).	28
Figur 4.2 Oversikt over Solumstrand rensedistrikt og Muusøya rensedistrikt (Vedeler 2016)	30
Figur 4.3 Beskrivelse av beliggenhet av regulering, ledninger og kummer for strekningen Konnerudtunnelen og Solumtunnelen.	33
Figur 4.4 Soner for oversikt av reduseringen	39
Figur 4.5 IVF-kurve for Asker med ulike gjentakintervaller som er representert av regnvarighet og intensitet for perioden 1983-2010(eKlima 2016).....	41
Figur 4.6 Konstruert regnhyetogram	45

Figur 4.7 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet. (Lindholm, G. J. 2016b)	47
Figur 4.8 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet. (Lindholm, G. J. 2016b)	47
Figur 4.9 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet.(Lindholm, G. J. 2016b)	48
Figur 4.10 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet.(Lindholm, G. J. 2016b)	48
Figur 4.11 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet. (Lindholm, G. J. 2016b)	49
Figur 5.1 Redusert modell med nedbørsfelt og ledningsnett. Modellen har 3 ulike typer nedbørsfelt som tilsvarer kombinert, separat og overvann. Ledningsnettets er representert av separat-, felles- og separattunnelavløpsledning (Solumtunnelen).....	51
Figur 5.2 Lengdeprofil av Konnerudtunnelen under kjøring av 20- års gjentakintervall med tillegg. Tallene øverst i figuren er verdier og plassering av lednings- og kum-ID langs tunnelstrekningen.	55
Figur 5.3 Grafisk fremstilling av total overløpsmengde for normal situasjon, scenario 1 og 2.	57
Figur 5.4 Grafisk fremstilling av overløpsdrift for normal situasjon.	60
Figur 5.5 Grafisk fremstilling av overløpsdrift for scenario 1	61
Figur 5.6 Grafisk fremstilling av overløpsdrift for scenario 2	62
Figur 5.7 Målt- og simulert vannføring for november 2014	63
Figur 5.8 Målt- og simulert vannføring for oktober 2014 i oktober 2014 for målepunktet Torgeir Vraa plass.	63
Figur 5.9 Målt - og simulert vannføring for september og oktober 2014 for Børresen Skole målepunkt.	64
Figur 5.10 Grafisk fremstilling mellom målte og simulert vannføring for Vinjes gate målepunkt.	64
Figur 5.11 Grafisk fremstilling mellom målte og simulert vannføring for Austad målepunkt.65	

Tabelliste

Tabell 4.1 Oversikt over antallet nedbørsfelt, innløpspunkt og ledninger.	27
Tabell 4.2 Oversikt over antall komponenter.	27
Tabell 4.3 Oversikt over pumper og overløp for styring av tunnelen.	31
Tabell 4.4 Beskrivelse av Scenario 1	34
Tabell 4.5 Beskrivelse av Scenario 2	35
<i>Tabell 4.6 Returperioder (år): Nedbørintensitet i (l/s*ha) i Asker for periode 1983-2010 (eKlima 2016).</i>	42
Tabell 4.7 Regnvarighet og regnintensitet for 20 års-gjentaksintervall hentet ut fra.....	42
<i>Tabell 4.8 Konstruer regndata i l/s*ha Tabell 4.9 Konstruert regndata i µm/s.</i>	44
Tabell 5.1 Oversikt over antallet nedbørsfelt med tilvarende innløpspunkter og ledningstype.	52
Tabell 5.2 Komponentoversikt over avløpsnett.	52
Tabell 5.3 Oversikt over overløpsmengde for OM og RM	52
Tabell 5.4 Parameteroversikt for OM og RM	53
Tabell 5.5 Fyllingsgrad for ledningstreknings og totalt for hele tunnelen for ulike gjentaksintervall for regn og klimatillegg.	53
Tabell 5.6 Fyllingsgrad for Konnerudtunnelen	54
Tabell 5.7 Resultater av overløpsdrift for scenario 1	56
Tabell 5.8 Resultater av overløpsdrift for scenario 2	56
Tabell 5.9 Fyllingsgrad i Solumtunnelen for scenario 1	58
Tabell 5.10 Fyllingsgrad i Solumtunnelen for scenario 2.	58
Tabell 5.11 Fyllingsgrad i Konnerudtunnelen scenario 2.	59
Tabell 5.12 Resultat av kalibreringsanalyse.....	62

1 Innledning

Bakgrunnen for denne oppgaven bygger på klimaendringer på grunn av menneskelig aktivitet som bidrar til utslipp av klimagasser. Denne endringen i klima påvirker jordens energibalanse i atmosfæren. Med grunnlag i dette har det vært en global økning i gjennomsnittstemperatur de siste 50 årene. Forskning viser at denne temperaturøkningen vil føre med seg ekstreme og intense nedbørshendelser i Norge. Problemet her ligger i urbaniseringen av grønne flater, da det forventes en sikker økning i befolkning og økt bebyggelsesområder. Dette fører til problemer tilknyttet avløpssystemer, med overbelastning og flomskader i urbane strøk. For å kunne håndtere de kommende utfordringene må det tenkes nyskapende og forebyggende i håndtering av overvann.

Som følge av overbelastning av avløpssystemene er renseanleggene som avløpsvannet føres til, utsatt for overkapasitet ved kraftige regnhendelser. Overløp, installert i forkant av renseanlegg reduserer overbelastningen inn til renseanlegget. Dette tyder på at overløpsmengden som renseanlegget ikke klarer å håndtere, går i overløp og urensset avløpsvann føres direkte til resipient.

Økende interesse av reduksjon av overløp- og forurensingsutslipp fører til utvikling av innovative konsepter som kan håndtere disse problemene. På bakgrunn av dette, er det i denne oppgaven brukt eksisterende ledningsnett som fordrøynings tiltak. Ved bruk av modelleringsverktøy som gjør det mulig å analysere avløpsnettet vil man kunne forutsi hvilke tiltak som kan bidra best mulig. En analyse av utnyttelsen av volumkapasiteten i Solumtunnelen og Konnerudtunnelen, i Solumstrand rensedistrikt i Drammen Kommune, er gjort for å regulere vannføringen i tunnelen og redusere overløpsutslipp, samt avlaste vannføringen inn til renseanlegget.

1.1 Problemstilling og fremgangsmåte

Problemstilling og mål for denne oppgaven er formulert som følgende:

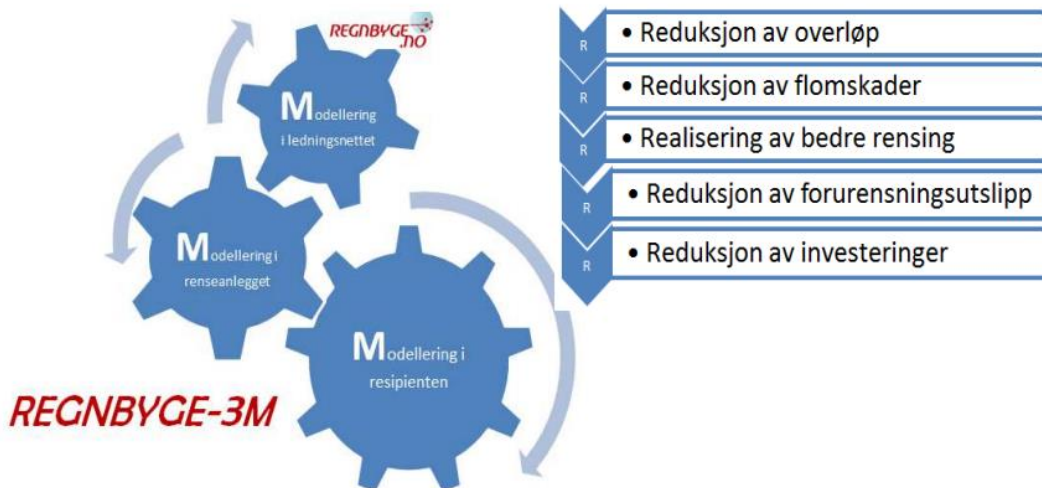
- Kan tiltak som bruk av fordrøyningsvolum i eksisterende avløpsnett brukes for å optimalisere overløp til renseanlegget, og kan dette gi en reduksjon i overløpsmengde?
- Vil en redusert modell for tidsbesparelse av beregningstid gjennomføres, og samtidig gi pålitelige resultater som en opprinnelig modell?

Fremgangsmåten i oppgaven baseres på teoristudier som bygger rundt innholdet i oppgaven og bruk av hydrologiske modelleringsverktøy til beregning av resultater.

2 Regnbyge 3M

Regnbyge 3M er et FoU prosjekt som gjennomføres i perioden 2014-2016. Ulike aktører er med i dette prosjektet fra kommunale, private og forskningsvirksomheter innen Vann –og avløpsbransjen. Aktivitetene i prosjektet vil foregå med pilotprosjekter i Oslo, Drammen og Trondheim.

Hovedformålet i prosjektet er å “utvikle innovative konsepter der online nedbørsdata i nettverk, modeller og sensorer på ledningsnett og renseanlegg kommunisere seg imellom. Investering i infrastruktur, forurensningsutslipp og skadeomfang kan reduseres ved modellering og aktiv styring av avløpsvannføring for ledningsnett, renseanlegg og resipient som helhet” (Om Regnbyge... 2014).



Figur 2.1 Overordnet idè

Delmål for prosjektet og nyskaping er gitt som følgende:

“

- Forbedring av online og forecast prediksjon av nedbør med fin romlig oppløsning ved nedbørsklynger og værradar.
- Validering av online hydrauliske beregninger ved utvikling av online trådløst mobilt utstyr tilpasset validering av online hydrauliske beregninger, i forhold til sensorutvalg, nøyaktighet, tidsoppløsning og sendefrekvens på data.
- Utarbeide kommunikasjonsprotokoll for renseanleggsmodeller for konvertering av STOAT (UK) til et online verktøy og integrering av den norske doseringsmodulen DOSCON.
- Koble sammen verktøy for online modellering av ledningsnett og renseanlegg med tilhørende sensorer i et brukergrensesnitt, Regnbyge 3M, for beslutningsstøtte ved og for styring av avløpsstrømmer.

- Alternativ vurdering av tradisjonelle investeringer opp mot aktiv styring av avløpsstrømmer for å beskrive det reelle potensialet for besparelser i VA infrastruktur.
- Formidling av resultater og prosjektadministrasjon via presentasjoner, publikasjoner og websider samt bedre prosjektstyring med faglig referansegruppe og fremdriftsrapportering (Regnbygge 3M 2014).

”

Regnbygge 3M har flere ulike partnere innen det offentlige, universiteter, forskningsinstitutter, konseptutviklere og produktleverandører. Samarbeidspartnere etter sistnevnte rekkefølge er (offentlig) Drammen kommune, Oslo kommune og Trondheim kommune, (universiteter) Norges miljø –og biovitenskapelige universitet (NMBU), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Høgskolen i Østfold (HIØ), Høgskolen i Buskerud og Vestfold (HBV), (forskningsinstitutter) Meteorologisk institutt, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), SINTEF Energy, (konseptutvikler og produktleverandører) Rosim AS, DOSCON, NiVUS (DE) og WRc (UK). (*Om Regnbygge...* 2014)

3 Teori

3.1 Klima

Klima er et begrep som brukes for å beskrive gjennomsnittværet lokalt i et område eller sted. Ordet klima stammer fra gresk og betyr helning, dette referer til hvilken helning jorden har i forhold til sola. Hvor høyt solstrålene treffer jorden avgjør hvor varmt det blir på jordoverflata. Energien fra solstrålene er det som er utgangspunktet til klimaforholdene. Ekvator og nærliggende områder blir utsatt for mer energi fra solstråler enn lenger nord og sør i breddegrader. Dette kommer av at det er mer energi som blir absorbert av jorden rundt ekvator enn det som stråler tilbake til verdensrommet. På de øvre og sørlige breddegrader skjer det motsatte, mer solenergi blir strålet tilbake til verdensrommet. Det er likevel en balanse i hvor mye energi som stråles inn fra solen og hvor mye som stråles ut. Denne strålingsbalansen er positiv rundt ekvator og negativ rundt polene. (Meteorologisk Institutt 2016a)

Variasjon i middelveier brukes for å beskrive klimaet på et sted. Disse middelveier som er bestemte med tidsrom på 30 års perioder som 1901-30, 1931-60, 1961-90, 1991-2020, blir kalt standard normalperioder. Periodene er til for at det internasjonalt skal brukes for å sammenligne middelveier rundt om i verden. (Meteorologisk Institutt 2016a)

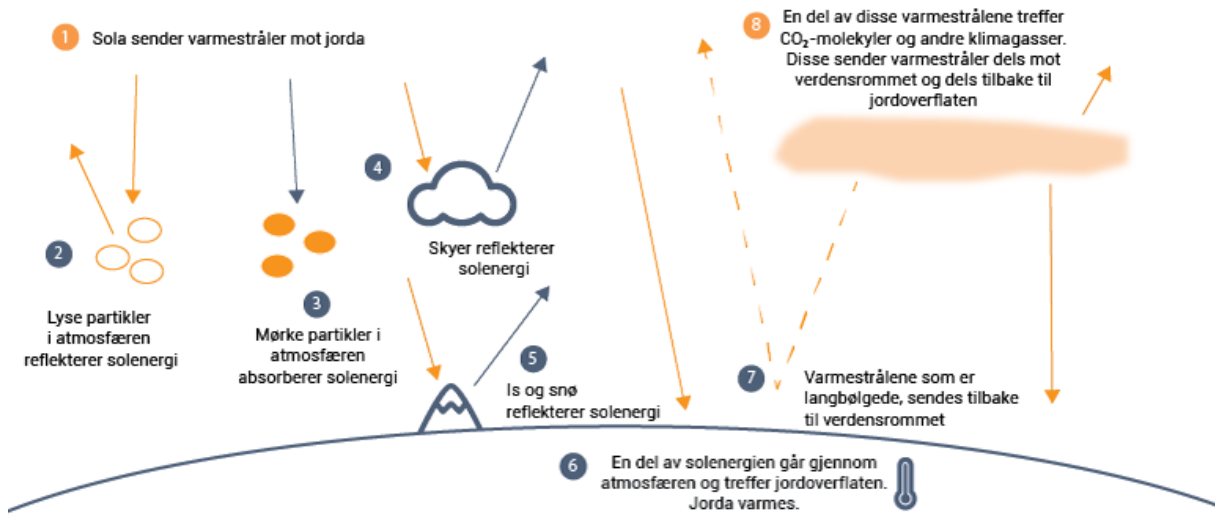
Norge ligger i et område i vestavindsbeltet og med tilførsel av en varm havstrøm – også kalt Golfstrømmen- som gir et mildere klima i forhold til beliggenheten i nordlige breddegrader. Likevel kan det oppleves variable værforhold i Norge. Geografisk sett strekker den norske havkysten seg fra Lindesnes til Nordkapp, over 13 breddegrader. Dette gir en forskjell i hvordan solenergien distribueres over Norge, med mørketid om vinteren og midnattssol om sommeren. (Meteorologisk Institutt 2016b)

3.2 Verdensklima

Verdensklimaet har forandret seg mye gjennom de siste 10-årene. Forandringene i gjennomsnittstemperaturen globalt har økt bemerkelsesverdig de siste 50 årene. Disse forandringene skyldes forsterket utslipp av drivhusgasser. Drivhuseffekten er den naturlige beskyttelsen rundt jorden for å holde temperaturen på en levelig tilstand. Uten denne naturlige prosessen ville jorden vært kald, havet ville fryst til is og landområder ville vært ubeboelige.

Drivhuseffekten gir en global energibalanse ved jordens overflate ved at kortbølget stråling fra solen kommer inn i atmosfæren. Denne strålingen slippes gjennom klimagassene i atmosfæren, likevel er det kun 50 prosent av kortbølget stråling fra sola som kommer gjennom og varmer jordoverflaten. Av de femtiprosentene, blir 30 prosent reflektert tilbake av snø og is, 20 prosent blir absorbert av skyer, vanndamp og andre gasser. Jordoverflaten sender varmestråling i form av langbølget stråling ut i atmosfæren. Denne strålingen blir absorbert av klimagasser og til dels reflektert tilbake til jordoverflaten. Denne prosessen er det som fører til temperaturøkning på jorden. (Miljødirektoratet 2015a). Figur 3.1 viser en illustrasjon på prosessen.

HVORFOR ENDRES KLIMAET?



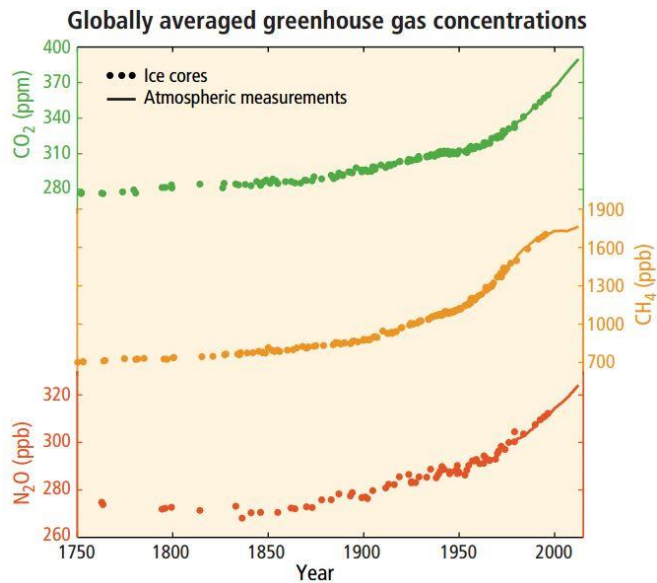
1-6: Sola sender varmestråler mot jorda og jorda sender en del av disse tilbake til atmosfæren.

7-8: Noen gasser – klimagasser – holder igjen varmestråler slik at de ikke sendes tilbake til verdensrommet. Dermed varmes jorda opp. Dette kalles drivhuseffekten. Når konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren øker, øker temperaturen på jorda.

Kilde: Miljødirektoratet/Miljøstatus.no

Figur 3.1 Globale energibalansen. (Miljødirektoratet 2015a)

Klimagasser er en forutsetning for drivhuseffekten. De viktigste klimagassene er karbondioksid (CO₂), metan (CH₄), lystgass (N₂O) og f-gasser som KFK, HKFK, HFK, SF₆. Det som fører til utslipp av disse gassene er menneskelig aktivitet. FN har i sitt klimapanel sett en direkte sammenheng mellom den globale temperaturøkningen og utslipp av klimagasser de siste 100 årene. Karbondioksid er den største verstingen som står for over halvparten av det menneskelige klimagassutslippet i atmosfæren. Verden jobber med å redusere utslippene til gassene CO₂ og metan, da disse gassene er den mest naturlige delen av drivhuseffekten og bidrar betydelig til økt drivhuseffekt. Utslipp av gassene karbondioksid, metan og lystgass har økt kraftig siden 1750-tallet, med henholdsvis verdier på 40%, 150 % og 20%. Konsentrasjoner av CO₂ har økt kraftig for årene 2002 til 2011. Metankonsentrasjonene har vært stabile over et tiår siden 1990, men målinger har vist at denne trenden har forandret seg mot et økende utslipp siden 2007. Videre viser studie at N₂O konsentrasjoner i atmosfæren har hatt en jevn økning siden 1900-tallet, som vi kan se i Figur 3.2 (IPCC 2014).

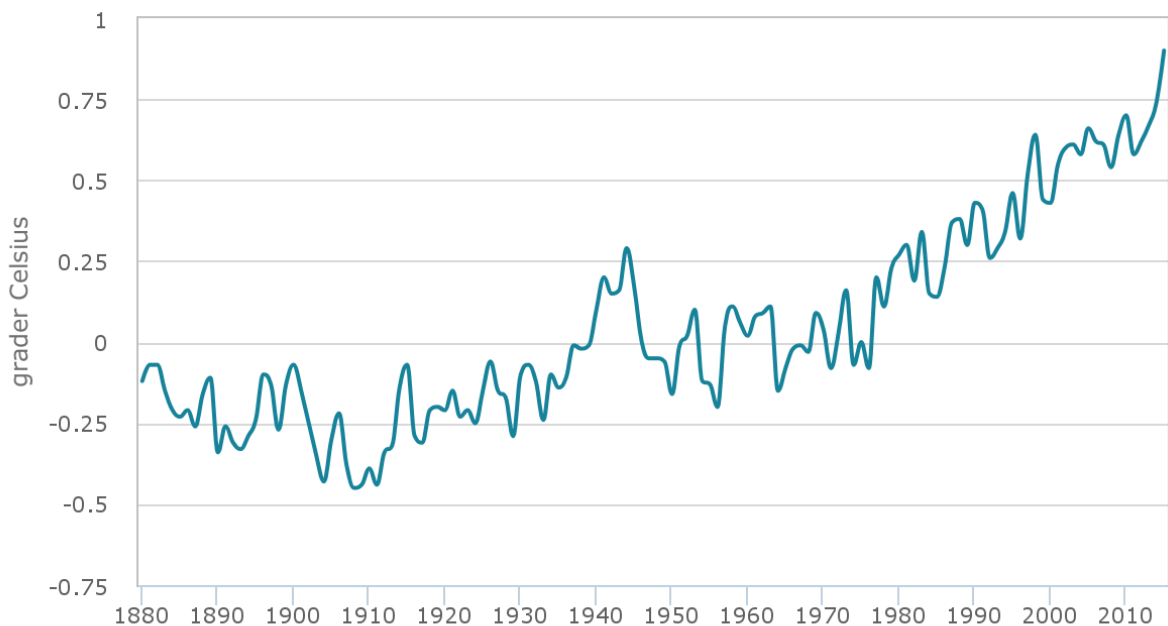


Figur 3.2 Konsentrasjoner av drivhusgasser- Karbondioksid (grønn), Metan (oransje) og Lystgass (rødt). (IPCC 2014)

Gjennomsnittstemperaturen globalt har i dag en høyere verdi enn da målingene startet på 1800-tallet. Testmålingene har hatt betydelig økning på nordlige halvdel av jorden, spesielt på polarområdene. Vi kan se utviklingen på hvordan oppvarmingen av jorden har utviklet seg fra sen 1800-tallet til 2014 i Figur 3.3.

Global middeltemperatur 1880-2014

Avvik fra 1900-tallets gjennomsnitt



Kilde: National Oceanic and Atmospheric Administration Lisens: NLOD

Figur 3.3 Utvikling i gjennomsnittstemperatur globalt. (Miljødirektoratet 2016b)

I år 2015 viste målingene en temperaturøkning i bakken som klart viser at dette var det varmeste enkelt året siden målingene startet i 1880. Disse målingene viste at temperaturen var 0.9 °C over gjennomsnittet fra tidligere århundret. (Miljødirektoratet 2016b). FNs klimarapport nevner også at 1983- 2012 var den 30-årsperioden som var varmest av de siste 1400 år på den nordligste halvkulen. Rapporten bekrefter også at de globale dataene for gjennomsnittstemperaturen, viser at oppvarmingen var på 0.85 °C for perioden 1880 til 2012. På Figur 3.3 ser vi en vedvarende temperaturstigning gjennom hvert tiende år. Disse variasjonene blir påvirket av ulike værphenomener som El Niño og La Niña, men også faktorer som solstråleintensitet, vulkanskaktivitet og fordeling av varme i havet vil påvirke temperaturen. (IPCC 2014).

3.2.1 Utviklingsbaner

Ulike scenarier er brukt for å studere fremtidige klimaforandringer. Dette kan brukes for å planlegge og analysere fremtidige utfall der resultatet kan være alvorlige. Disse scenarioene eller utviklingsbanene kan brukes for å estimere hvor mye mennesker er med på å bidra til klimaendringer med ulike faktorer som innebærer økonomisk, - befolkning- og teknologisk vekst.

Det har tidligere vært brukt ulike typer scenarier på FNs klimapanel sine rapporter. Det er i den femte rapporten vist til fire utviklingsbaner også kalt Representative Concentration Pathways (RCP). Disse utviklingsbanene gir en representativ utvikling av "økningen av klimagasser og forurensning som følge av menneskelig aktivitet inkludert endringer i arealbruk." (Miljødirektoratet 2013). Tidligere generasjonsscenarier (SRES) har vært begrenset på grunn av at disse utslippene er beregnet på bakgrunn av sosialøkonomiske antagelser. De nye utviklingsbanene er ikke drevet med fastlagte antakelser av befolkningsvekst, økonomisk utvikling eller teknologi, noe som gjør studiene lettere å behandle.

Hver av utviklingsbanene representerer en gitt kombinasjon for hele spekteret av klimagassutslipp. Det vil si at hver av disse gir en gitt temperaturøkning globalt.

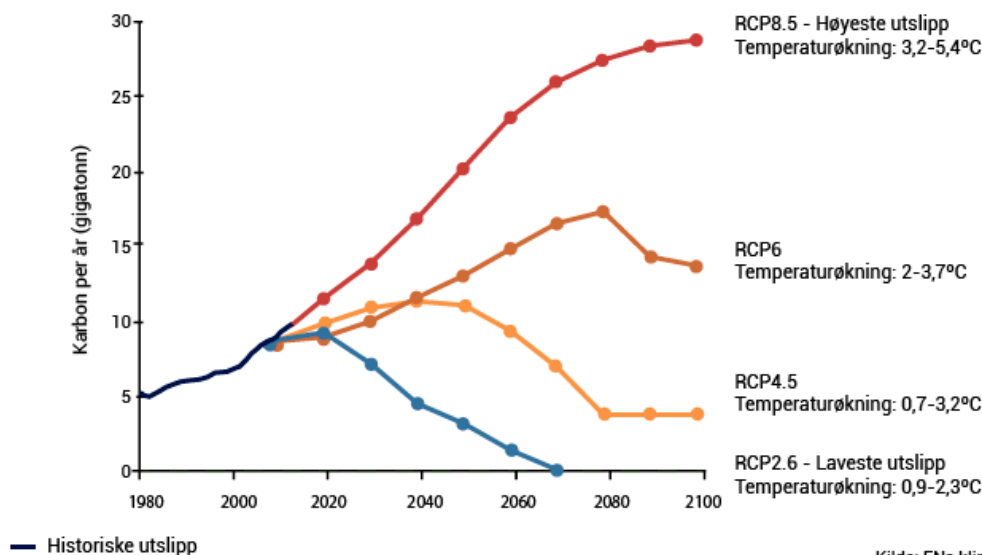
Utviklingsbanene har forkortelsene RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 og RCP 8.5. De ulike banene er definert som følgende (Miljødirektoratet 2013)

- RCP 2.6: Denne utviklingsbanen er karakterisert av fallende oljeforbruk. Lavere energiintensitet med en verdensbefolkning på ni milliarder i 2100. Økt bruk av dyrket mark grunnet produksjon av bioenergi med mer husdyrhold. 40 % reduserte metanutslippene og i 2020 er CO₂- utslippene på dagens nivå, som deretter når toppen i 2050 med følgende moderat nedgang i 2100 til negativ verdi. Dette er en utviklingsbane som innebærer lave utslipp.
- RCP 4.5: Utviklingsbanen er karakterisert av lavere energiintensitet. Mange aktiviteter tung skogbruk og planting. Mindre bruk av gressletter og agrikultur, som på grunn av endringer i matvaner og økte avling. Klimapolitikken er strengere, noe som fører til

reduisert metanutslipp. Økende CO₂-utslipp før det avtar i 2040 og fremover. Denne utviklingsbanen innebærer et middels utslipp.

- RCP 6: Utviklingsbanen karakteriseres av benyttelsen av store mengder olje og brennbart råstoff. Agrikultur etterspørselen øker, med det er mangel på dyrkbare jordoverflater. Metanutslippene er stabile og for CO₂- utslippet når den maksimal verdien i 2060 med 75% av dagens nivå, for så en reduksjon 25 % av dagens nivå. Denne utviklingsbanen innebærer et middels utslipp.
- RCP 8.5: Utviklingsbanen karakteriseres av tre ganger så mye utslipp av CO₂ innen 2100 med en hurtig økning av metanutslipp. Økt agrikultur etterspørsel på grunn av befolkningsvekst på 12 milliarder i 2100. Lave teknologiske løsninger og utvikling. Sterkt etterspørsel av olje og gass med høyt energibruk. Det finnes ingen klimapolitikk for å ta tak i problemene.

UTSLIPP AV KLIMAGASSER FOR DE FORSKJELLIGE UTVIKLINGSBANENE



Kilde: FNs klimapanel, 2013 /miljostatus.no

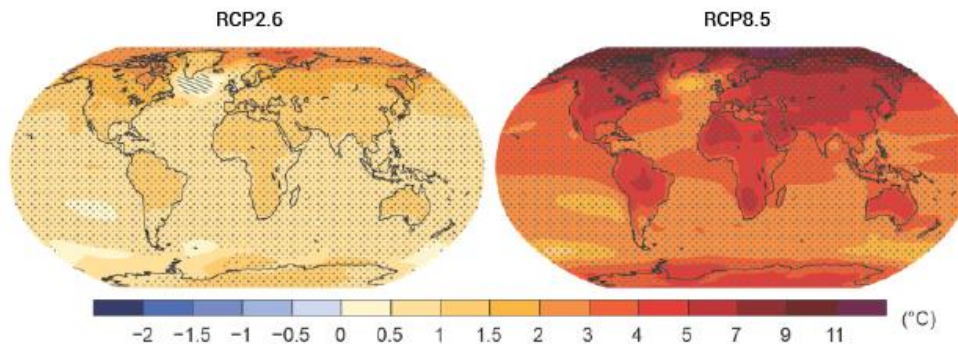
Figur 3.4 FNs utviklingsbaner for det kommende århundret (Miljødirektoratet 2013).

Figur 3.4 viser en utviklingen per år av karbonutslipp og overflatetemperaturøkning med hensyn til de ulike scenarier som er utviklet. Konsekvensene av hvor store klimaendringene blir avhenger av hvor mye klimautslippene blir redusert, og hvor godt verdenssamfunnet klarer å tilpasse seg klimaendringene (Miljødirektoratet 2013).

Utviklingen i overflatetemperaturen blir framskrevet av gjennomsnittsverdier. Det vil være forskjeller i gjennomsnittet for ulike regioner av jorden. Havoverflaten absorberer mer varme enn fastlandsområder, ved at varmen føres ned i dypet. På fastlandet vil overflatetemperaturen være høyere enn i havet. I nordområder over polarsirkelen vil oppvarmingen skje kraftigere og raskere. Med ishav som smelter og områder som tidligere var dekt av snø, is og som reflekterte solenergi, men som ikke lenger har disse egenskapene, vil oppvarmingen

ytterligere forsterkes i disse områdene. Figur 3.5 viser forskjellen i temperaturøkning som følge av utviklingsbanene RCP 2.6 og RCP 8.5.

ENDRINGER I GJENNOMSNTLIG OVERFLATETEMPERATUR FRA 1986-2005 TIL 2081-2100



Kilde: FNs klimapanel 2013/Miljøstatus.no

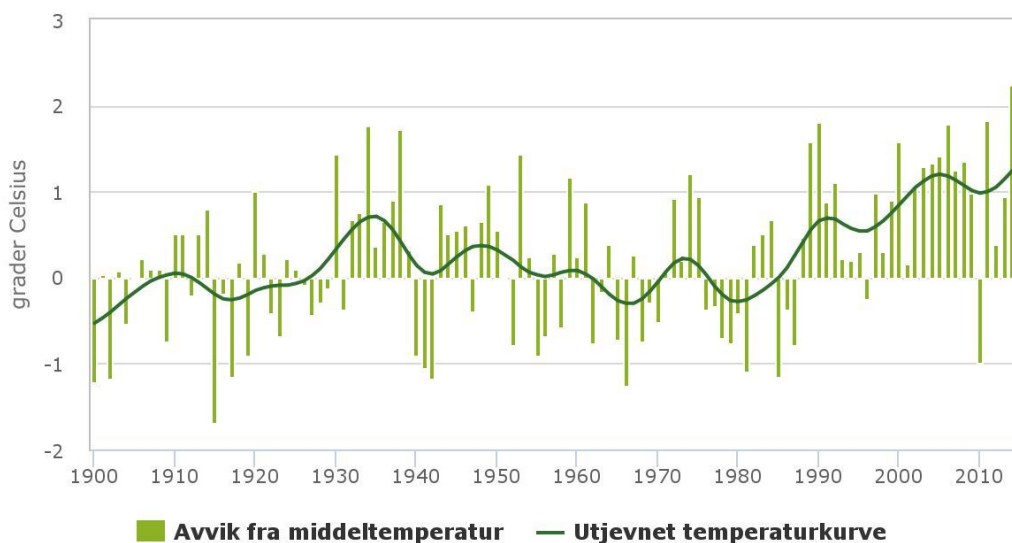
Figur 3.5 Overflatetemperaturøkning (Miljødirektoratet 2013)

3.3 Norges klima

Norge er kjent som et kaldt land som ligger langt nord i samme breddegrad som Alaska, Sibir og Grønland. Dette er en forutsetning for at ekstrem kulde skal være en del av hverdagen, noe som ikke er tilfellet. Norge ligger i et område som kalles vestavindsbeltet. Dette tyder på at fastlands-Norge ofte blir utsatt for strømmer av varme luftmasser fra Atlanterhavet og innover i landet. Som nevnt i innledningen av dette kapittelet, har Norge lang kyst med maritimt klima. Norskekysten har en differanse i månedsmiddeltemperatur på 10- 15 °C og innover i landet blir den maritime innflytelsen redusert på grunn av fjellkjedene. Derfor har indre deler av Norge et mildere kontinentalklima enn kysten og månedsmiddeltemperaturen her er på 20-30 °C (Meteorologisk Institutt 2016b).

Middeltemperatur i Norge

Avvik fra normalen (1960-1991)



Kilde: eKlima, NOAA og British Antarctic Survey Lisens: NLOD

Figur 3.6 Registrert temperaturøkning i Norge. (Miljødirektoratet 2016a)

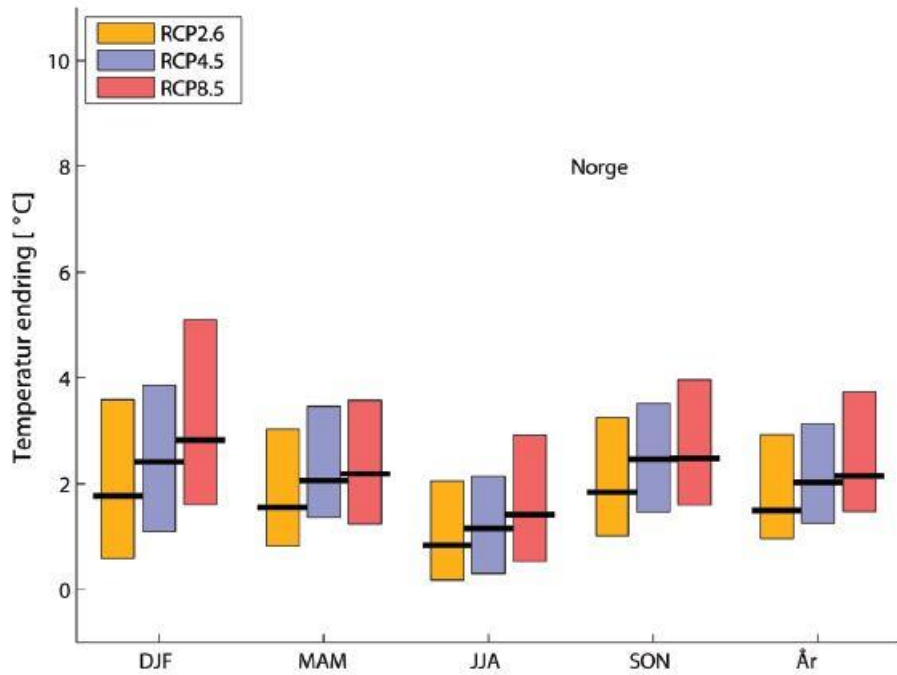
I Figur 3.6 kan vi se hvordan temperaturen i Norge har utviklet seg i løpet av det siste århundret. Stort sett har temperaturen vært noe høyere enn normalen, men med noen avvik. I 2014 ble den høyeste temperaturen på 2.2 °C registrert siden målingene startet. Middelttemperaturen i 2010 var et unntak med en temperatur under normalen på -1 °C siden starten på dette århundret. Årsmiddelttemperaturen rundt norskekysten har vært høyest i perioden 1971-2000. På steder med fjell og fjord, som på Vestlandet og Nord-Norge, gir dette store forskjeller i årstemperatur over små områder. (Miljødirektoratet 2016a)

3.3.1 Fremtidig klima i Norge

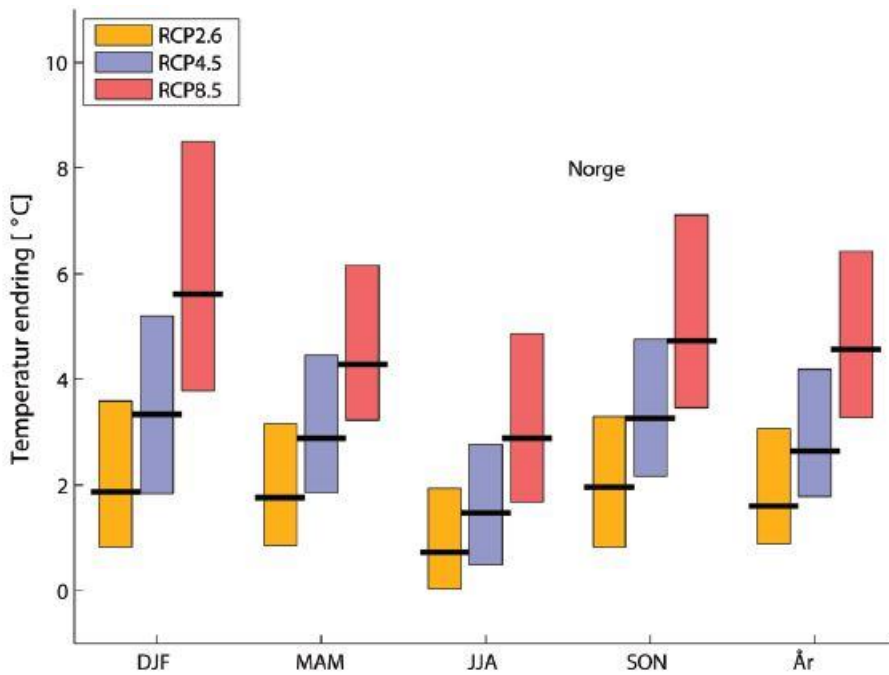
Rapporten «Klima i Norge 2100» har bakgrunn i FNs klimapanel sin publikasjon (IPCC 2014) om de globale klimaendringene. «Klima i Norge 2100» er et samarbeid mellom Meteorologisk institutt (MET), Uni Research og Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE), og er skrevet av Miljødirektoratet. Hensikten med rapporten er å gi et grunnlag for klimaforandringene i Norge. Som referansepunkt for beregningene av klimautviklingen brukes data basert på perioden 1971- 2000 (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Klimaframskrivninger i rapporten er basert på resultater fra globale klimamodeller med de nevnte utslippsscenarioer (utviklingsbaner) beskrevet i kapittel 3.2.1. I rapporten omtales ulike faktorer som blir påvirket av klimaendringene som vekstsesong, temperatur, vannføring, snø, nedbør, vind, avrenning, flom og havnivå. Under utviklingsbanen RCP 8.5 vil temperaturøkningen forventes å ha størst påvirkning i Nord- Norge og i innlandet. I vestlandsområdet er det forventet en temperaturøkning på 3.7 °C. Gjennomsnittstemperaturen forventes å øke med 4.5 °C på 100 år med økt oppvarming om vinteren og mindre oppvarming om sommeren. For nordlige deler av Norge vil Finnmark ha en forventet oppvarming på mer enn 6 °C (Miljødirektoratet 2015b). Når det kommer til utviklingsbanene RCP 2.6 og RCP 4.5 viser disse mindre temperaturøkning i Norge med henholdsvis 1.5 og 2.7 °C. Med ytterligere flere varmedøgn (døgn med temperatur over 20 °C), stort sett sørøst i Norge. Vekstsesongen vil være utvidet, da vi får flere dager med varmere klima, dette vil skje stort sett langs kysten. Figur 3.7 og Figur 3.8 viser temperaturendringer basert på utviklingsbanene med hensyn til årstidene, vinter (DJF), vår (MAM), sommer (JJA) og høst (SON). Median framskrivningen er markert som svart, mens nedre og øvre verdier av framskrivningen er henholdsvis lav og høy del av søylen (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Snøsesongen i Norge vil være redusert over hele landet. Med en pågang av utviklingsbanen RCP 8.5 vil antall dager med snø på lavlandet bli kortere med flere måneders reduksjon i snøsesongen i slutten av dette århundret. Den økte temperaturen gir en forsinket start på snøakkumulasjon og samtidig tidlig start på snøsmeltingen. På vestlandet og i Norland vil reduksjonen av snømengde være størst. I høyfjellet og deler av innlandet vil det derimot bli en økning i maksimal snømengde fordi mye av nedbøren her vil komme som snø. I tiden frem mot slutten av århundret vil oppvarmingen fører til at fjell og innlandet også blir påvirket av temperaturendringer som fører til redusert snømagasin. I lavlandet vil dette føre til at snøen blir borte i mange år. (Hanssen-Bauer et al. 2015)

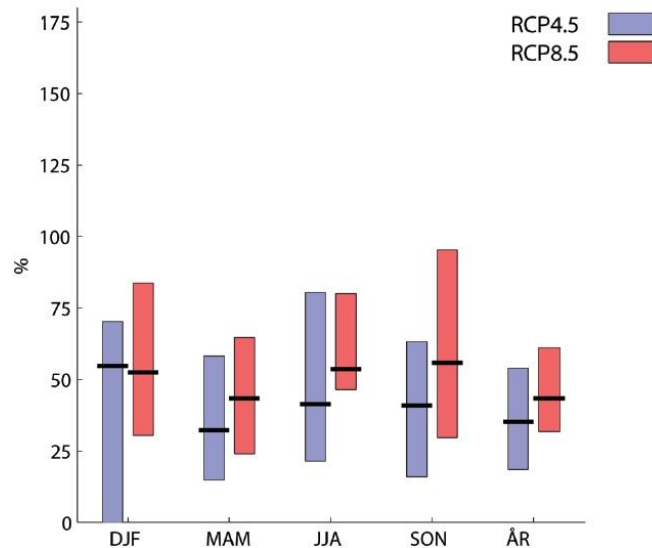


Figur 3.7 Forandring i årstids- og årstemperatur for Norge fra 1971- 200 til 2031-2060 (Hanssen-Bauer et al. 2015)



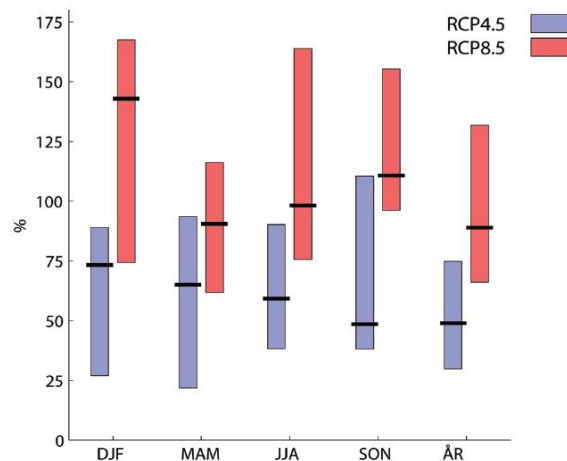
Figur 3.8 Forandring i årstids- og årstemperatur for Norge i 2071-2100. (Hanssen-Bauer et al. 2015)

Med et varmere klima vil vi få mer nedbør. Det kan forventes med utviklingsbanen RCP 8.5 en økning på 18% i årsmiddelnedbør for hele landet mot slutten av 2100. Antall dager med kraftig nedbør vil bli fordoblet og det forventes en kraftig økning av nedbørsmengde på hele 19%. I de nordligste deler av Norge vil de største forandringene skje. For utslippsscenario RCP 4.5 vil det være en 12 % økning i nedbørsmengde. Denne økningen ses i alle sesonger av året med noe høyere verdier om sommeren (Hanssen-Bauer et al. 2015).



Figur 3.9 Nedbørintensitet med relativ forandring på dager med kraftig nedbør. Periode 1971-2000 til 2031-2060 (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Figur 3.9 og Figur 3.10 viser en prosentvis endring i antall dager med kraftig nedbør for hele landet under utviklingsbanene RCP 8.5 og RCP 4.5. Med en økning på 100 % vil det være som nevnt tidligere i dette avsnittet en dobling i antall dager med kraftig nedbør. Når vi ser på framskrivingen til RCP 8.5 i Figur 3.10 kan vi se en økning på 89 % i året og på 49 % for RCP 4.5, som nærmest viser en fordobling i hyppighet. Det er også merkbart å se på sesongvariasjonene der det er vinteren som har størst utslag i hyppighet (Hanssen-Bauer et al. 2015).



Figur 3.10 Nedbørintensitet med relativ forandring på dager med kraftig nedbør, 2071-2100 (Hanssen-Bauer et al. 2015)

For fremtidige anbefalinger for hvordan det globale- og regionale klimaet vil utvikles må det beregnes nye modeller i takt med endringene i klima. Det er vanskelig å forutsi helt sikkert hvordan klimaet blir i fremtiden. Riktignok gir disse framskrivingene en nokså reell forståelse for hvordan klimaendringene kan påvirke temperatur, nedbør, vekstsesong, varmedøgn etc. Utviklingen som vi nå følger er lik vi ser for utviklingsbanen RCP 8.5. Med iverksettelse av tiltak for endringer i utslipp av klimagasser, samt skape konkurransedyktige fornybare energikilder og etablere klimaavtaler nasjonalt og internasjonalt vil vi kunne se en endring i klimaforløpet.

3.3.2 Usikkerhet i framskrivinger globalt og regionalt.

Usikkerheten i klimaframskrivinger er definert som “ufullstendig kunnskap som et resultat av mangel på sikker informasjon eller uenigheter om hva som er kjent” (Hanssen-Bauer et al. 2015). Framskrivningene har ut ifra usikkerhetene grovt sett tre kategorier av usikkerheter:

- Usikkerhet ved fremtidige menneskeskapte utslipp
- Usikkerhet ved naturlige variasjoner
- Usikkerhet ved klimamodeller

Usikkerhet ved fremtidige menneskeskapte utslipp er knyttet til variasjon i fremtidig økonomi, befolkningsvekst, fornybare energikilder og andre politiske faktorer. Disse variasjonene er i prinsippet knyttet til faktorer som usikkerhet i utslipp av klimagasser og usikkerhet i utslipp av kortlevde forurensingsgasser og partikler. Ved klimagasser ligger usikkerheten i hvor høyt fremtidige utslipp av disse er. Usikkerheten i menneskeskapte utslipp ligger i bruk av fossilt brensel som forbrenning. Dette er usikkerheter som er medregnet i klimamodeller og som igjen gir usikkerhet i resultatene (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Usikkerhet ved naturlige variasjoner er knyttet til naturlige fremtidige hendelser der klimasystemer endrer seg på grunn av forandringer på innstråling fra sola eller vulkanutbrudd. Klimasystemet er et kaotisk og ikke-lineær system. Dette gir en usikkerhet i klimamodeller da disse ikke er komplekse nok til å beregne forandringer fra et år til neste, eller fra tiår og oppover. Usikkerhet i variasjoner kan også være naturlige regionale svingninger som påvirker hele klimasystemet som for eksempel værphenomener som El Niño og La Niña (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Usikkerhet ved klimamodeller er i stor grad knyttet til ukorrekte fremstillinger av klimaet. Dette innebærer unøyaktige matematiske formuleringer av et kaotisk klima. Numeriske matematiske metoder gir et begrenset utgangspunkt samtidig som regnekapasiteten ikke er tilstrekkelig med dagens datamaskiner. Det finner også usikkerhet i modellsystemets struktur som er knyttet til forenklinger av prosesser og om dette er basert på korrekt kunnskap.

Manglende kunnskap om prosesser vi ikke kjenner til eller prosesser vi har lite kunnskap om bidrar til usikkerhet i modellen (Hanssen-Bauer et al. 2015).

3.4 Klimafaktor

Som bakgrunn av klimaforandringer er klimafaktorer brukt for å vurdere avløpssystemets evne til å håndtere fremtidige regnhendelser. Frem mot neste århundreskiftet vil havnivået og stormflonivået stige betraktelig. Dette vil føre til at lavt beliggende avløpsanlegg vil få problemer med den hydrauliske kapasiteten.

I Norsk Vann Rapport 193 er det anbefalt ulike verdier av klimafaktorer. Dette er med bakgrunn av forskning gjort i Sverige, Danmark og England. Anbefalingene fra dansk og svenske forskning gir et påslag i regnintensitet på 20-50 %. (Lindholm et al. 2012)

Dansk Vand og –Spildevandsforening anbefaler å se på regntilfeller med utgangspunkt i 100 år frem i tid. Denne prognosen gir en økning i regnintensitet på 50 % om 100 år. (DANVA 2007) Svenske myndigheter har utarbeidet en rapport om klimaendringer i Sverige, der de konkluderer med at intensiteten av regn vil øke med 50 % innen 2100. Samtidig er det i Storbritannia og Edinburgh funnet ut at regnhendelser av ekstreme og kortvarig regn vil øke med henholdsvis 40 og 60%. (Lindholm et al. 2012)

I denne oppgaven er det valgt å benytte en faktor på 1.5 (50% økt intensitet) for alle regn, etter personlig konsultasjon med Oddvard Lindholm. Denne faktoren tilsvarer regnhendelser 100 år frem i tid. Faktoren er også brukt av Oslo kommune (VAV) for dimensjonering av avløpssystemer. (Lindholm, O. 2016)

3.5 Urbanhydrologi

Urbanhydrologi er en betegnelse som beskriver vannets kretsløp i urbaniserte områder. Bebyggelse fører til reduksjon av permeable overflater. Dette er overflater som ikke tar til seg vann, men som fører til avrenning på overflaten. Dette påvirker nedbørsfeltets naturlige infiltrasjon, og et resultat av dette bidrar det til utfordringer med overvann.

Vannbalansen, som er naturens måte å håndtere vannmengder på, forandres når det bygges i urørt mark. Tre viktige hydrologiske effekter som trer i kraft er som følgende:

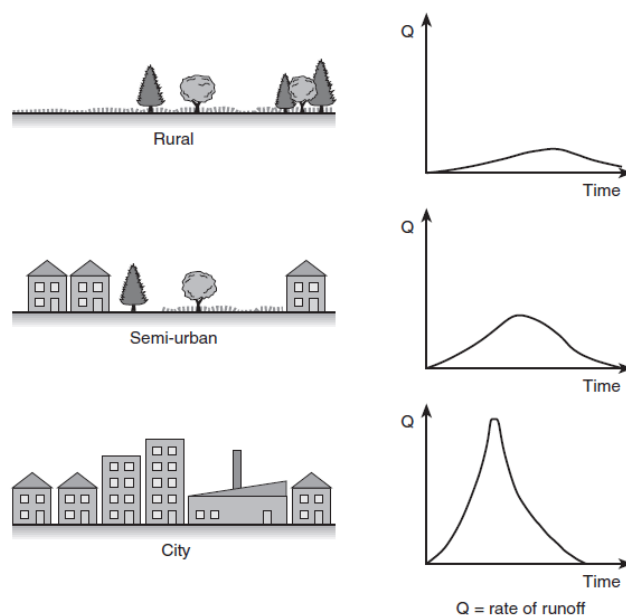
- Økt intensitet og volum av overflateavrenning
- Infiltrasjon og fordamping reduseres
- Grunnvannsspeilet blir senket

Praktiske konsekvenser som følger av disse effektene er:

- Faren øker for oversvømmelse av hus og konstruksjoner.
- Skader på grunn av setninger på konstruksjoner, samt størknet grøntarealer.
- Resipienten blir belastet i større grad for forurensing.

(NVE 2015)

De mest radikale inngrepene for vannets kretsløp er utviklingen av tettsteder og byer. Som følge er dette er det etablering av tette flater som hustak, gater, vegger etc., som først og fremst bidrar til endret avrenningssituasjon. Figur 3.11 viser effekten av urbaniseringen som fører til økt maksimalavrenning for et likt regntilfelle (Thorolfsson 2014b).



Figur 3.11 Påvirket avrenningsbilde på grunn av urbanisering (Butler & Davies 2011).

3.6 Avløpssystemer

Det skilles mellom to ulike avløpssystemer, separat og fellessystem. Hovedformålet med disse systemene er å transportere avløpsvann fra bolig-, industri- og næringslivsområder til rensenanlegg. Samtidig må avløpssystemer lede bort overvann og dreneringsvann som kommer av regnskyll.

Fellesavløpssystemer er et kombinert system der avløpsvann og overvann blir ført inn i samme ledning og ledes til rensenanlegget. I tørrværsperioder er det mest avløpsvann som renner i systemet. Under nedbørshendelser øker vannmengden i systemet som følge av overvann som kommer inn. Den økte vannmengden på grunn av overvann vil føre til stor vannføring og skape problemer når det kommer til rensenanlegget. Overløp er derfor utstyrt i et fellesavløpssystem med hensikt i å ta imot store vannmengder som avløpssystemet fører med seg. Blir denne vannføringen for stor føres avløpsvannet i overløp, noe som betyr at avløpsvannet går direkte ut i resipient (Butler & Davies 2011).

I et separatsystem blir avløpsvannet og overvannet transportert i to ulike ledninger. Avløpsvannet blir transportert til rensenanlegget, mens overvannet til en resipient. Et problem som har vist seg er at overvannet frakter med seg forurensinger fra overflaten. Har resipienten store problemer med forurensing, kan overvannet også bli ført til rensenanlegget, eventuelt ha

et rensertiltak før det blir sluppet ut i resipient. Selv om separatsystemet er et godt utgangspunkt for reduksjon av overløp, er det likevel vanskelig å få en fullstendig separering av avløpsvann og overvann. Regnvann kan føres inn i avløpsledninger via innlekking fra skjøter, sprekker og lignende skader (Butler & Davies 2011).

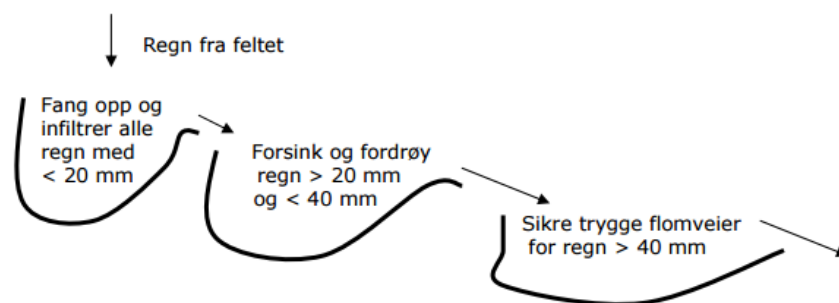
3.7 LOD-tiltak

Betegnelsen LOD er en forkortelse på lokal overvannsdisponering/håndtering. Dette er tiltak som lokalt skal hindre overvannet i å renne direkte til avløpsledninger eller resipient. Grunnlaget består i hovedsak i av å infiltrere vannet via porøse overflater eller filtrere overvann via infiltrasjonsbassenger til grunnvannet. God overvannshåndtering innebærer at disse metodene tilpasses forhold og behov. Hovedvisjonene for en helhetlig overvannshåndtering kan oppsummeres som følgende:

- “ **Forebygge skader:** håndtering av overvann skal oppnå tilfredsstillende sikkerhet for liv, helse og miljø.
- Utnytte overvann som ressurs:** overvannet bør utnyttes som landskapselement og for bruk til reaksjonsformål.
- Styrke biologisk mangfold i bymiljøet:** det biologiske mangfoldet bør fremmes ved bruk av infiltrasjon, åpne vannveger og dammer (Lindholm et al. 2008). ”

Det er utarbeidet en strategi for å optimalisere bruken av lokale og åpne overvannsløsninger for store nedbørmengder. Denne strategien er kalt 3-leddstrategien (Figur 3.12) og innebærer følgende 3 prinsipper (Lindholm et al. 2008):

1. Fange opp og infiltrere alle små regn
2. Forsinke og fordrøye større regn
3. Sikre flomveier for store regn.



Figur 3.12 Illustrasjon av 3-leddstrategien for håndtering av nedbør, verdiene må tilpasses lokalt. (Lindholm et al. 2008)

Nedbørmengde og intensitet kan variere i det enkelte ledd og må derfor vurderes lokalt. Det finnes en rekke alternativer av LOD-tiltak som kan benyttes:

- Frakobling av takrenner fra avløpsnettet for infiltrasjon på gresskledde flater.
- Grønne tak som holder nedbørsvannet igjen med vegetasjonsdekke.

- Terrengtilpasset infiltrasjonsanlegg som regnbed for oppsamling, fordrøyning og infiltrasjon av overvann.
- Fordrøyningsdammer til magasinering for å bremse opp overvannsavrenningen.
- Åpne flomveier som overvannskanaler.

(Lindholm 2014)

I tillegg til disse LOD-tiltakene finnes det rekke tekniske løsninger som ikke er omtalt her.

Tiltakene brukt i denne oppgaven er bruk av eksisterende ledningsnett som fordrøyning.

3.8 Overløp

Overløp er en viktig del av et avløpssystem. Avløpssystemene i Norge har som oftest ikke nok kapasitet i sammenheng med sterke og intense regnhendelser. Avløpsrenseanleggene er her en kritisk forurensningsmessig del i systemet på grunn av overløpet som er i forkant av renseanleggene for å beskytte mot hydraulisk overbelastning. Dette fører til at ved store nedbørmengder vil mesteparten av avløpsvannet avlastes i mange overløp rundt om i ledningsnett og i overløpet umiddelbart før eller i renseanlegget (Statens forurensningstilsyn 2008). Oppgaven til et overløp er å hindre overbelastning av nedstrømsledningsnett og avløpsrenseanlegg under regn og snøsmelting. I fellessystem der det kobles til avskjærende ledninger er overløp særlig aktuelt da det gir avlastning i regn- og smelte perioder.

I separatsystem kan også overløp benyttes. Dette spesielt i tilknytning til renseanlegg for å avlaste deler av anlegget for svært høyd belastninger som er større enn maksimalt dimensjonerende vannmengde ($Q_{maksdim}$) for renseanlegget. (Thorolfsson 2014a)

Overløpet skal tilfredsstillende følgende funksjonskrav:

“

- Videreføre av mest mulig av forurensingene mest til avløpsrenseanlegget.
- Gi tilfredsstillende hydraulisk kontroll.
- Kreve minst mulig drift og vedlikehold.
- Være en trygg arbeidsplass ved inspeksjon og drift (Miljø- og Fludieteknikk AS 2007).

”

Overløp blir også brukt til å forebygge uhell ved drift, for eksempel pumpestopp, blokkeringer i avløpssystemet og for å unngå overbelastninger. Det finnes to typer overløp som blir benyttet i avløpssystem.

- 1) Regnvannsoverløp: overløp benyttes ved store nedbørmengder eller snøsmelting for å avlaste nedstrømsledning eller renseanlegg for store vannmengder.
- 2) Nødoverløp: Overløp som skal hindre oversvømmelser under helt spesielle forhold. Nødutløpet blir ikke brukt, men er kun til sikkerhetsmessige årsaker. Den er plassert ved anlegg, basseng eller ledninger.

Problemet med at overløpet blir tatt i bruk er at avløpsvann fortynnet med overvann renner ut i resipient. Forurensinger i vannet som går i overløp gir en vesentlig belastning på en resipient. Er resipienten følsom der renseanlegget er installert, kan forurensingen fra overløpet være større enn forurensingen som det rensede vannet allerede gir, selv om overløpet kun er i funksjon deler av året. Overløp er på grunn av dette et veldig viktig element i avløpssystemet, og bør derfor utformes og dimensjoneres slik at mest mulig av forurensingene blir fraktet til renseanlegget og ikke går i overløp som fører til direkte forurensing av resipient. (Thorolfsson 2014a)

3.9 Hydrologiske modeller

Hydrologiske modeller blir brukt til å modellere et tilnærmet bilde av den virkelige verden. I dette avsnittet er modelleringsverktøyene benyttet i oppgaven presentert.

3.9.1 ArcGIS

ArcGIS er et geografisk informasjonssystem (GIS) utviklet av Environmental Systems Research Institute (ESRI) for arbeid med kart og geografisk informasjon. Systemet består av integrerte applikasjoner som ArcMap (University of Maryland 2012). ArcMap er verktøy et som benyttes for å lage og visualisere ulike type geografisk data, som inkluderer kart og kartegenskaper. En av ArcMap sin mest verdifulle egenskap er dens evne til å tilpasse spesifikke og ulike typer analyser med sine brukervennlige grensesnitt.(GLOBE 2009)

3.9.2 ROSIE

ROSIE er en ArcGIS tilleggsapplikasjon for planlegging, dimensjonering og modellering av vanddistribusjon og avløpssystemer. Programmet er utviklet av ROSIM AS. Alle funksjoner til ArcGIS er tilgjengelig under bruk av ROSIE. Beregninger blir gjort med kjente hydrauliske simuleringsmotorer som MOUSE fra DHI for avløpssystemer og EPANET fra US EPA for beregning av vanddistribusjon. ROSIE legger til rette for å importere og oppdatere modelldata fra Gemini VA. I modelloppbygningen legges det inn data fra blant annet nedbørs- og vannmålere, overløpsloggere, ledningsdata fra Gemini, terrengmodeller, hus, vei, og befolkningsdata. Beregninger og resultater blir presentert i et lett tilgjengelig brukergrensesnitt med blant annet funksjonaliteter som avanserte lengdeprofiler med støttevisning av kryssende ledninger og mulighet til å legge til en bakgrunns parallellprofil (Rosim 2016).

I denne oppgaven er det kun benyttet simuleringsmotoren MOUSE for beregning av avløpssystemer.

3.9.3 MOUSE

MOUSE (Model Urban Sewers) er en simuleringsmotor som modellerer avrenning og rørstrømning utviklet av DHI (Danmarks Hydrologiske Institutt). For å få tilgang til MOUSE

må modelleringsprogrammet MIKE URBAN installeres. Bruksområder som MOUSE er spesielt tilpasset for er overflateavrenning, åpen kanal strømning, rørstrømning, vannkvalitet og sediment modellering for drenerings-, overvann-, og spillvannssystemer. MOUSE kombinerer kompleks hydrologi, hydraulikk, vannkvalitet og sedimenttransport grafisk i et brukervennlig grensesnitt(DHI 2009b). Systemet er organisert av ulike moduler:

MOUSE Runoff: modul for overflateavrenning i urbane nedbørsfelt.

MOUSE Pipe flow: modul for hydrodynamisk simulering av rørstrømning.

MOUSE RDII: kompleks simulering av hydrologiske modeller.

MOUSE RTC: avanserte sanntidsstyrteegenskaper (RTC) for MOUSE rørsystemer.

MOUSE LTS: statistiske hydrauliske langtidssimuleringer.

MOUSE TRAP: modulen er delt inn i underkategorier:

MOUSE SRQ: oppsamling og transport av forurensinger i nedbørsfelt.

MOUSE AD: tilførsel og spredning av forurensinger i vann i ledningsnett.

MOUSE WQ: endringer i vannkvalitet i dreneringsnett.

MOUSE ST: transport av sedimenter i dreneringsnett.

(DHI 2009b)

3.9.3.1 Mouse Runoff

Mouse Runoff har fire ulike modeller for beregning av overflateavrenning:

- Model A – Tid/areal metode.
- Model B – Ikke-lineær kar (Kinematisk bølge) metode.
- Model C – Lineær kar metoden, denne har to forskjellige metoder.
- UHM - Unit hydrograph model

Overflateavrenning kan beregnes basert på hvilken som helst av modellene, forutsatt at det finnes nødvendige data for området. Beregninger av samme situasjon i ulike modeller kan gi store forskjeller i resultatet. Dette fordi de ulike modellene har forskjellige inngangsparametere og beregningsmetoder. Det er derfor viktig å forstå hva som ligger bak hver beregningsmodell og hvilken parameter som er av betydning.

Samme for alle modellene er data på nedbørsfelt. Disse dataene er informasjon om nedbørsfeltareal, ledningsbeliggenhet, type flater, tilrenningspunkter til ledningsnettet, grunnvannstand, innbyggertall for avløpsberegning og innlekking av fremmedvann.(DHI 2008b)

Som beregningsgrunnlag er modell A mest brukt i Norge. Dette er fordi datainnsamling til denne modellen er tilstrekkelig for kommuner og konsulentbransjer. Modeller som B og C

krever mer data som er tidskonsumerende å samle og må være nøyaktige. Dette er informasjon om blant annet grunnforhold, ruhet på flater og infiltrasjonskapasiteter og koeffisienter. Uten nøyaktig og tilstrekkelig data vil bruk av modell B og C gi usikre resultater. I denne oppgaven er modell A benyttet, og videre følger en beskrivelse av modellen.

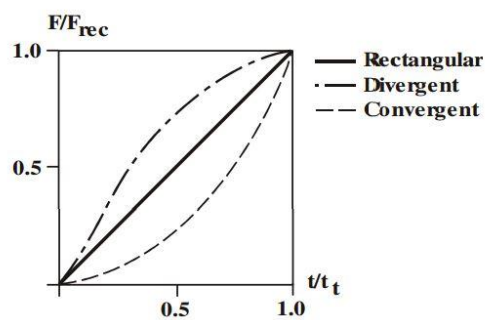
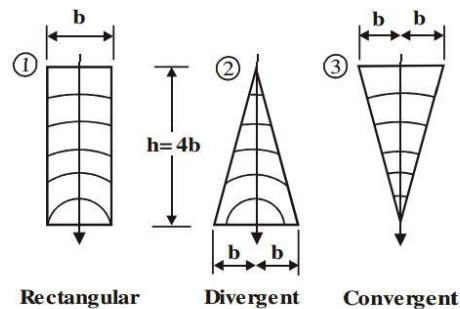
Tid/Areal metoden (modell A) er basert på at avrenningsmengden er styrt av initialtap, størrelsen på avrenningsoverflater og hydrologiske tap. Nedbørsfeltet i modellen må beskrives av følgende feltparameter:

- Beliggenhet av feltet: identifisere nedbørsfeltets beliggenhet og hvor tilrenningspunktet til avløpsnettets befinner seg i modellen.
- Areal på nedbørsfelt: det totale horisontale overflatearealet av nedbørsfeltet.
- Innbyggertall: antall innbyggere som er i nedbørsfeltet. Har ikke betydning for avrenning, men kun for tørrværsvannføring.
- Annen vannføring: en konstant vannføring som blir lagt til i avrenningshydrografen for nedbørsfeltet. Vanligvis brukt for å forenkle en konstant infiltrasjon i et enkelt event.

Ved bruk av denne metoden må spesifikke data for modellen defineres. Definert data gir en oversikt over prosentandel tette flater som kan ha bidragende effekt på avløpsnettets. Arealene kan da antas å være impermeable og permeable. Hydrologiske parametere som også må defineres er:

- Initialtap: defineres av mengde nedbør magasinert før en eventuell avrenning kan starte. Dette innebærer nedbør som går til å fylle porer i bakken og ujevnheter på overflaten.
- Hydrologisk tap: avrenningsreduksjonsfaktor som tar hensyn til evapotranspirasjon og imperfekte flater som ikke bidrar til avrenning.
- Konsentrasjonstid: tiden vannet bruker fra det treffer punktet i nedbørsfeltet med størst avstand til feltets utløpspunkt. Konsentrasjonstiden i MOUSE er satt til 7 minutter som standard.
- Tid/areal- kurve: kurve som er avhengig av geometrien på nedbørsfeltet. Det er tre typer kurver som kan benyttes.

Tid/areal- kurven karakteriserer formen på nedbørsfeltet. MOUSE gir mulighet til å beskrive egne kurver til irregulære felt. De tre forhåndsdefinerte tid/areal-kurvene er for rektangulære felt, divergente felt og konvergente felt. Figur 3.13 viser MOUSE sin beskrivelse av kurvene.



Figur 3.13 Forhåndsdefinerte Tid/Areal-kurver i MOUSE

Utgangspunktet MOUSE benytter til å beregne hver tid/areal kurve er definert ved at avrenningen i feltet først starter etter at initialtapet er over det som er definert for nedbørsfeltet. Ved hvert tidssteg etter start på avrenningen blir det oppsamlede nedbørsvolumet fra hver celle flyttet til nedenforliggende celle. Dermed blir det virkelige volumet i cellen beregnet som en kontinuerlig balanse mellom tilsig fra den overliggende cellen, nedbørsmengden multiplisert med cellens areal og utløpet nedstrøms celle. Utløpstrømmen fra nederste celle gir resultatet til avrenningshydrografen. Antall celler n i tid/areal-kurven er definert av konsentrasjonstiden t_c og tidssteget til simuleringen Δt gitt ved denne formelen (DHI 2008b):

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

3.9.3.2 MOUSE Pipe Flow

Denne modellen bruker MOUSE for å beregne turbulent vannføring i rørsystemer. Beregningen blir gjort ved å løse Saint Venant ligninger for dynamisk strømning i rørsystemet. Egenskapene ved bruk av disse ligningene gir grunnlag for å simulere strømning i blant annet tilbakeslag i ledninger, oppstuvning i kummer, åpne kanaler, fordrøyningsbassenger, fritt vannspeil og under trykk og tidevannpåvirkning.(DHI 2009a)

Saint Venant ligningene er delt opp i to; én kontinuitetsligning og én momentligning som er definert som følgende:

Kontinuitetsligningen:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Momentligningen:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \alpha \frac{Q^2}{A} + gA \frac{\partial y}{\partial x} = gA(I_0 - I_f)$$

Hvorav:

Q = vannføring [m^3/s]

A = strømningsstvernsnitt [m^2]

y = vanndybde [m]

g = gravitasjonskonstanten [$\frac{m}{s^2}$]

x = vannføring [m]

t = tid [s]

α = hastighets distribusjonskoeffisienten [-]

I_0 = bunnhelning [-]

I_f = friksjonshelning [-]

(DHI 2009a)

Kontinuitetsligningen beskrives som volumet til vannet ∂Q som blir tilført i rørtverrsnittet av lengde ∂x , som blir balansert i en økning av tverrsnitts arealet ∂A (DHI 2009a).

Ved å se på momentligningen med hensyn til hastigheten v istedenfor vannføring Q kan vi dele opp ligningen i 3 ledd som gjør det lettere å identifisere hvert av leddene som fremstår på denne måten (Butler & Davies 2011):

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t}$$

Første ledd er definert som $S_f = S_0$ omfatter ingen variasjon i lengde eller tid og appellerer til stasjonære uniforme forhold.

Andre ledd definert som $S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x}$ inneholder variasjonene i avstand, men ikke av tid og gjelder for ikke-uniforme stasjonære forhold.

Tredje leddet som omhandler hele momentligningen, som innebærer variasjon i avstand og tid. Gjelder for ikke-uniform ikke-stasjonære forhold (Butler & Davies 2011).

I denne oppgaven er det brukt et element i fra denne modellen som gir mulighet til å regulere vannstrømmen i rørstrekninger. Elementet er en komponent som kan tilføyes selve ledningstrekket, men er i seg selv ikke en egen komponent som for eksempel pumper og overløp. Det vil si at ved denne egenskapen er ledningstrekket mellom to noder (kummer) behandlet i lik linje som en vanlig ledningstrekk uten denne komponenten (DHI 2009a).

En kontrollfunksjon må defineres som en funksjon av vannivået i en kontrollnode A. Kontrollen er definert av grensebetingelser som kun er i det bestemte område (høyden) av vannivået. Ved et vannivå utenfor den definerte område, vil en uregulert vannstrøm gjelde. Det er derfor viktig å definere et område som tilsvarer det forventede vannivået i kontrollnode A (DHI 2009a).

Følgende formler beskriver vannføringen i ledningstrekket:

$$Q_{reg} = \begin{cases} \min\{Q(H_A), Q_{nat}\} & \text{for } H_{min} \leq H_A \leq H_{max} \\ \text{ellers} & \\ Q_{nat} & \end{cases}$$

Hvorav:

Q_{reg} = Regulert vannføring, [m^3/s]

$Q(H_A)$ = Vannføring ut, definert av reguleringsfunksjonen, [m^3/s]

Q_{nat} = «Naturlig» uregulert vannføring, [m^3/s]

H_A = Vannivå i kontrollnode A, [m]

H_{min}, H_{max} = Vannivå i kontrollnode A definerer område som reguleringen skal gjelde, [m]

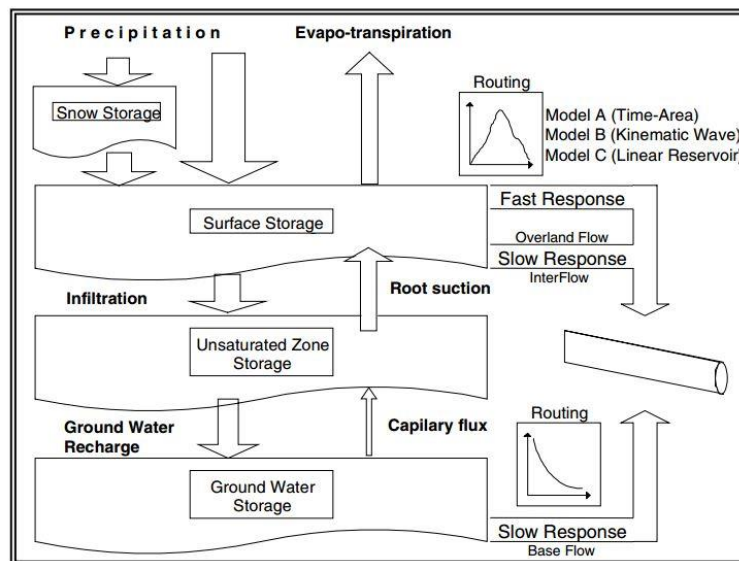
3.9.3.3 MOUSE RDII

Modulen Rainfall Dependent Infiltration Module (RDII) gir detaljert og kontinuerlig modellering av hele landfasen av det hydrologiske kretsløpet. Nedbøren blir ledet gjennom fire typer av magasinering: snø, overflate, udrenertsone og grunnvann. Dette gir en mer realistisk modellering av syklusen da det gir en treghet i systemet som forsinker vannet til en nedbørshendelse fra det faller ned til det når avløpsnettet. Denne modulen er laget for å ta for seg den trege responsen i systemet (DHI 2008a).

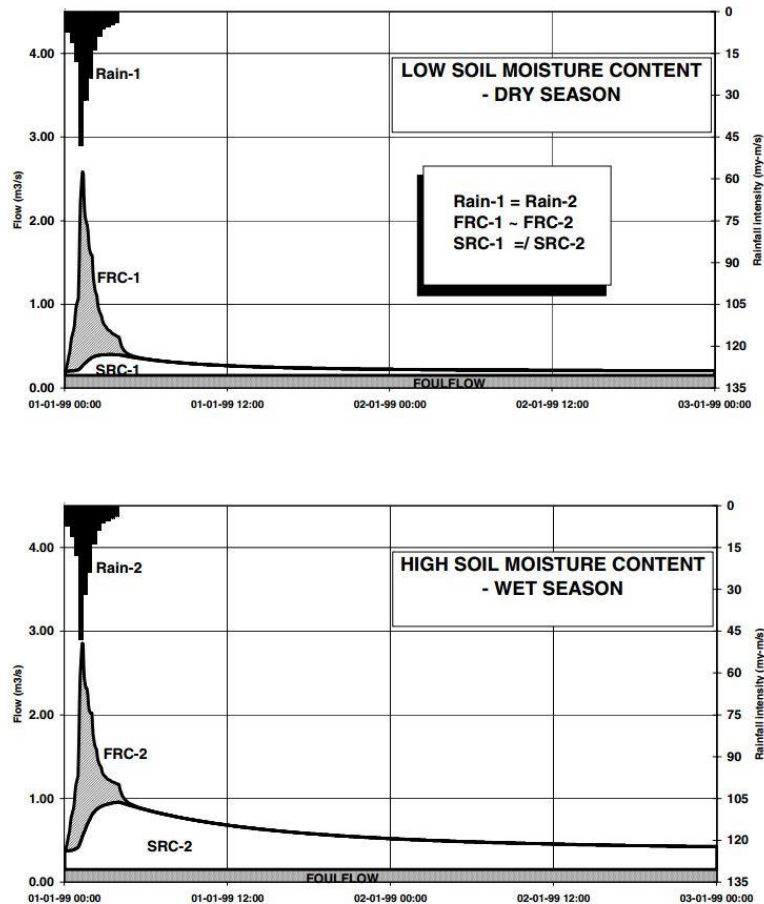
Når forholdene i vannføringen i et avløpssystem blir studert, kan det sees at toppene i vannføring har en tendens til å øke mer enn hva regnhendelsen alene kan bidra med i overflateavrenningen. Dette er en konsekvens av et fenomen kalt «Rainfall Induced Infiltration». Fenomenet bidrar til den faktiske hydrologiske situasjonen som et slags «minne» fra tidligere regnhendelser. For en bestemt nedbørshendelse vil økningen i vannføringen være ulik og avhengig av hydrologiske hendelser fra tidligere perioder. Ved bruk av RDI-modulen kan vi i et eksempel på Figur 3.15 se forskjellen i det hydrologiske systemet, der det veksler mellom tørrværs- og nedbørsperioder. Perioder med mye nedbør gir relativt høy jordfuktighet på grunn av den trege responsen fra tidligere nedbørshendelser, mens i tørrværsperioder er avrenningen noe lavere da mindre vann er magasinert fra tidligere regnhendelser (DHI 2008a).

MOUSE har to ulike komponenter for beskrivelse av RDII-modulen. Det er FRC (Fast Response Component) og SCR (Slow Response Component). FRC komponenten påvirkes ikke av tidligere regnhendelser, som er avhengig av høy eller lav jordfuktighet. Den gir en direkte konsekvens av en nedbørshendelse. FRC består av innstrømning i avløpsnettet og den raske infiltrasjonskomponenten, og er ikke avhengig av tidligere hydrologiske hendelser. For SCR komponenten er den derimot høyst avhengig av tidligere hydrologiske hendelser og påvirkes lite ved én nedbørshendelse. Komponentene består av tidligere infiltrasjoner fra nedbørshendelser og tørrværsstrømning/infiltrasjon (DHI 2008a).

I Figur 3.14 kan vi se en skjematisk struktur av MOUSE RDII. Når nedbøren faller kan snø bidra til magasinering av regnvann og senere til treghet i avrenningen. Uten snøakkumulasjon bidrar nedbøren direkte til avrenning og her tar også RDII hensyn til evapotranspirasjonen. Overflateavrenningen som skjer umiddelbart tilsvarer FRC responsen. SCR responsen bidrar først etter at infiltrasjonen og magasineringen i jordoverflaten skjer, som igjen fører til infiltrering av den umettede sone og videre til grunnvannsmagasinering. Denne prosessen blir tilbakeført til overflaten ved kapillære strømminger og rot-absorpsjon. RDII gir da en mer virkelighetsnær simulering av hele syklusen som bidrar til strømminger i avløpsnettet.



Figur 3.14 Skjematisk oversikt av RDII-modulen (DHI 2008a).



Figur 3.15 Respons på avrenning av like regnhendelser i tørrvær- og nedbørsperioder. (DHI 2008a)

3.10 Statistisk analyse av kalibrering

Original modellen brukt i oppgaven er kalibrert av Rosim AS. Denne kalibreringen gjelder kun for den original modellen og ikke for den reduserte modellen.

En statistisk analyse av kalibreringen er blitt utført for å se hvor godt korrelasjon det er mellom observert og modellert vannføring. Analysen er gjort ved to ulike metoder:

- Nash- Sutcliffe effektivitet
- Person's korrelasjon koeffisient (r) og determinasjon koeffisient (R^2)

Beregningen av analysen er blitt utført av doktorgradsstudent Duo Zhang. Videre i avsnitt 3.10.1 og 3.10.2 er metodene beskrevet.

3.10.1 Nash- Sutcliffe effektivitet (NSE)

NSE er en normalisert statistikk som bestemmer den relative betydningen av residual variansen (støy) sammenliknet med variansen i de målte data (informasjonen). NSE indikerer hvor godt observerte data passer mot modellert data i 1:1 linje. NSE er beregnet med følgende ligning:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right]$$

der:

Y_i^{obs} = det i -ende observerte mengde data for evaluering.

Y_i^{sim} = det i -ende simulerte mengde data for evaluering.

Y^{mean} = gjennomsnittet av de observerte data.

n = er det totale antall observasjoner.

NSE grenser fra $-\infty$ til 1 hvor $NSE = 1$ indikerer en perfekt sammenheng mellom simulerte og observerte data. Verdier mellom 0.0 og 1.0 er generelt sett brukbare, mens verdier ≤ 0 indikerer at det observerte gjennomsnittet er en bedre forutsetning enn de simulerte verdiene, som indikerer uakseptable modellresultater (Moriasi et al. 2007).

3.10.2 Persons' korrelasjon koeffisient (r) og determinasjons koeffisient (R^2)

Determinasjons koeffisienten (R^2) beskriver grad av variasjon mellom de simulerte og observerte dataene. Korrelasjons koeffisienten (r), som spenner fra -1 til 1, er en indeks av graden for en lineær sammenheng mellom den observerte og simulerte data. Hvis $r = 0$, finnes ingen lineær sammenheng. Hvis $r = 1$ eller -1 tyder det på en perfekt sammenheng mellom positiv og negativ data. R^2 spenner fra 0 til 1, der høyere verdier nærmere 1 indikere mindre feil i variansen (error variance), der verdier over 0.5 regnes som akseptable. Selv om R^2 er bruk til modellevaluering er denne statistikken overfølsom for høye ekstreme verdier (utliggere) og ufølsom for volum og forholdsmessige forskjeller mellom observerte og simulerte data (Moriasi et al. 2007).

4 Metode

4.1 Modelloppbyggelse

Modellen benyttet i oppgaven er gitt av ROSIM AS. Ledningsnettdata er hentet fra Gemini VA i Drammen kommune og konvertert til ArcGIS. Modelleringsprogrammet ROSIE er benyttet for modelloppbygging. Modellen er kalibrert og det har ikke blitt gjort endringer i inngangsparametere som innbyggertall per delfelt, areal av delfeltene, plassering av bolig og ledningsnett eller innlekkasje i nettet. Det antas at disse er korrekte.

Hydrologiske og spesifikke parametere, nevnt i avsnitt 3.9.3 under MOUSE Runoff, er heller ikke endret på i modellen. Disse er som følger:

Initialtapet er satt til 6 mm.

Hydrologisk tap er satt til 90 % for bidragende tette flater.

Konsentrasjonstiden i alle delfelt er satt til 7 minutter

Tid/areal- kurve er satt til som forhåndsdefinerte kurve 1 (rektangulær).

4.2 Presentasjon av modell

Modellen av Solumstrand rensedistrikt er vist i Figur 4.1. Modellen inneholder alle fellesavløps-, separatavløps- og overvannsledninger som har felles kum, overløp og pumpestasjoner. Modellen omfatter ikke overvannsnettet som er virksomt, da kommunen ikke var interessert i dette på starttidspunktet av modelloppbyggelsen. (Lindholm, G. J. 2016b)

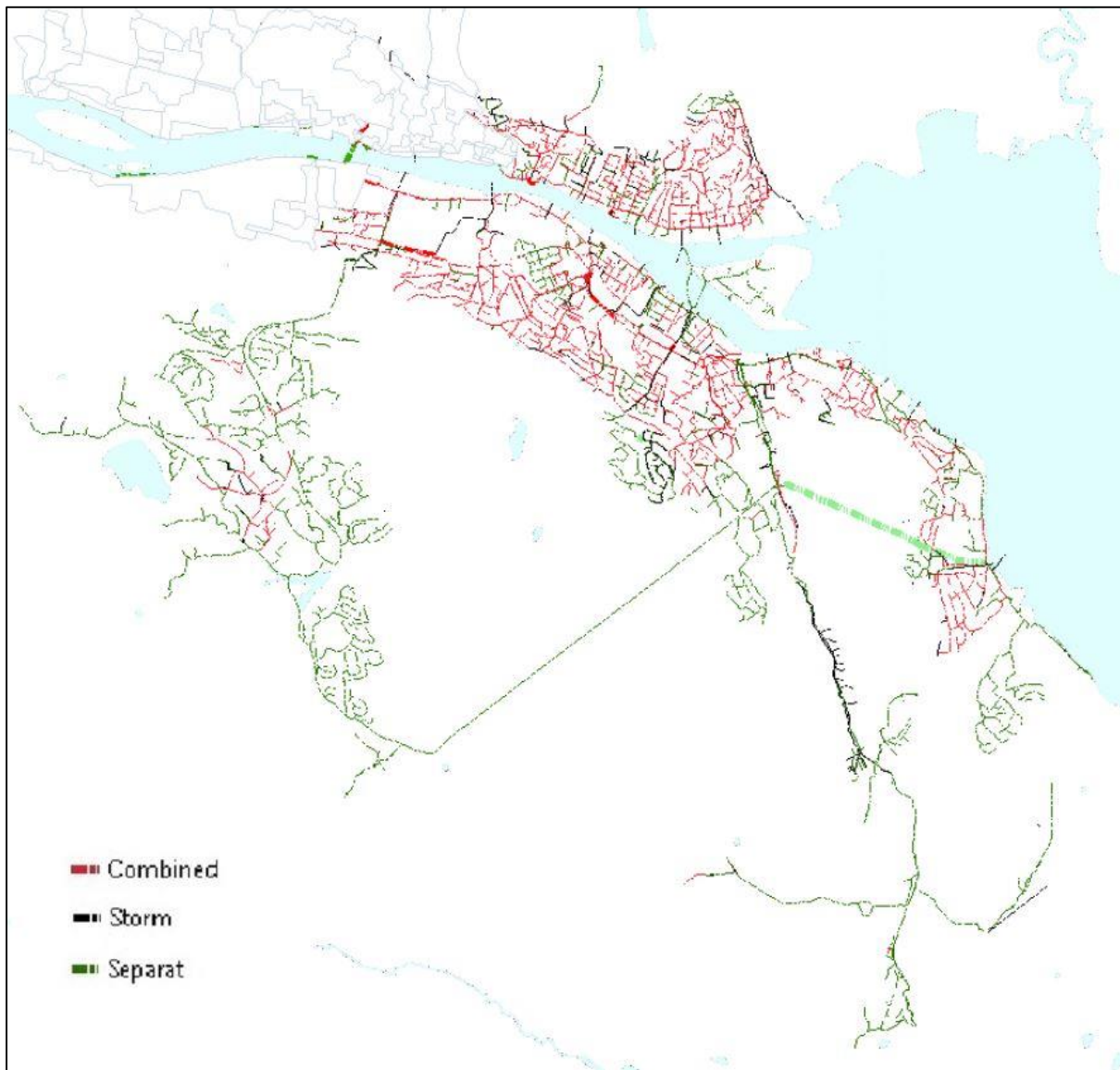
I Tabell 4.1 og Tabell 4.2 er det gitt en oversikt over antall komponenter i modellen. Et kartoversikt over nedbørsfelt er gitt i Vedlegg B.

Tabell 4.1 Oversikt over antallet nedbørsfelt, innløpspunkt og ledninger.

	Felles	Separat	Overvann	Totalt	
Nedbørsfelt	737	776	85	1598	
Innløpspunkt	737	776	85	1598	
	Felles	Separat	Overvann	Andre	Totalt
Ledninger	3049	3144	976	166	7335

Tabell 4.2 Oversikt over antall komponenter.

Komponenter	Antall
Pumper	62
Overløp	97
Utløp	34
Kummer	7342



Figur 4.1 Oversikt over ledningsnettet for Solumstrand rensedistrikt (Lindholm, G. J. 2016b).

4.3 Drammen Kommune

Drammen kommunes Vann og avløpstjenester sine fremtidige planutsikter sammen med kommunene i Drammensregionen er å bli ledende region innen vannmiljø. Disse fremtidige ønsker medfølger at kommunene fremstår som en helhet. En viktig prosess i denne planen er å legge vekt på å utvikle og forankre felles holdninger, som grunnlag for enighet om ambisjoner og å utvikle strategier i årene frem til 2021 (Drammen kommune 2010).

De viktigste hovedutfordringene for vann- og avløpstjenesten i Drammensregionen er beskrevet som “Drikkevann, overvann og avløpsvann på avveie- eller vann på avveie” (Drammen kommune 2010). Med følgende problemstilling ønsker Drammensregionen å ta tak i utfordringer der vannverkene må levere dobbelt så mye vann til forbruker på grunn av lekkasje. Dette lekkasjevannet blir infiltrert i avløpsnettet, som deretter fører til

overbelastning. En annen utfordring ved lekkasje i vannledningsnettet er infiltrasjon i selve vannledningen ved undertrykk i ledningsnettet. Videre utfordringer er overvann fra kraftig nedbør som tilføres fellesledninger for avløpsvann slik at disse blir overbelastet, som igjen fører til oversvømmelser og vannskader av materielle verdier. Renseanleggene blir også påvirket av dette da det går tre ganger så mye avløpsvann til anlegget enn det som er i forbruk. Det fortynnede avløpsvannet fører til dårligere renseeffekt, hvor følgende av dette er økt overløpsutslipp og forurensing (Drammen kommune 2010).

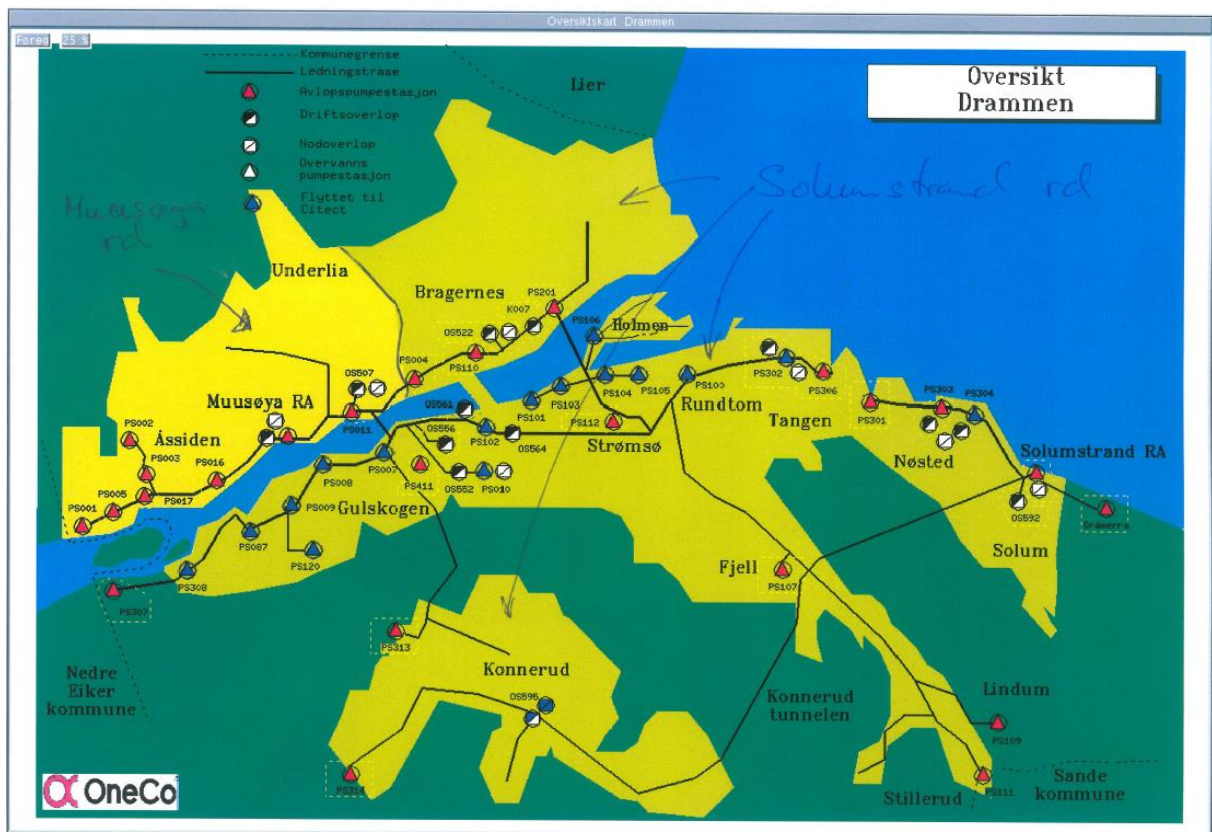
4.4 Solumstrand rensedistrikt

Solumstrand rensedistrikt ligger i Drammen kommune. Sammen med Muusøya rensedistrikt renser begge disse renseanleggene avløpsvannet i Drammen, se Figur 4.2. Solumstrand renseanlegg er det største renseanlegget i Drammen med designet rensekapasitet på 130 000 PE (personenheter). Per dags dato er det 66857 personer som er tilknyttet Solumstrand rensedistrikt, og som dermed leverer avløpsvann til Solumstrand renseanlegg (Vedeler 2016).

De største fremtidige utfordringene for rensedistriktet er utslippskravene gitt av Fylkesmannen som gjelder både for rensegrad (fosfor og organisk), og tap av avløp fra nettet hvor kun 5% er tillatt. Det er her utfordringene ligger for Solumstrand rensedistrikt. Mengde vann som går i overløp variere og er avhengig av mange faktorer som kraftige regnhendelser, springflo, planlagt stopp og ikke planlagt stopp. De 3 siste årene har overløpsmengden vært på 247579 m³, 367780 m³ og 157972 m³, og sammen med overløpsdrift og lekkasjer klarer Solumstrand rensedistrikt per i dag ikke kravene. Med mangel på instrumenter på store deler av avløpsnettet er det vanskelig å registrere nøyaktige overløpsmengden i hele rensedistriktet. Likevel er dette arbeid som pågår, men på grunn av et stort nett vil det ta tid (Vedeler 2016).

Solumstrand renseanlegg ble oppgradert i 2011 og har en brukstid på rundt 20 år før nye store oppgraderinger må vurderes. Oppgraderingen ble gjort på bakgrunn av nye krav fra EU, som innebærer fjerning av organisk stoff og fosfor. Det gamle anlegget hadde for lav hydraulisk kapasitet, som medførte overløpsdrift og periodevis utslipp i strandsonen. Som følge av krav om sekundærrensing måtte renseanlegget bygges ut med et biologisk rensetrinn (Kommunal Teknikk 2011). Det ble også tilrettelagt for at anlegget skal ta avløpsvannmengden fra Muusøya renseanlegg i en situasjon der dette renseanlegget blir lagt ned. Dette resulterte i en maksimal dimensjonerende vannføring $Q_{maksdim}$ inn i renseanlegget på 4000 m³/h. På grunn av sammenslåingen med det gamle rørsystemet i innløpsiden av renseanlegget er det virkelige $Q_{maksdim}$ per i dag på 3300 m³/h (Vedeler 2016).

Det er fortsatt ikke besluttet om en nedleggelse av Muusøya renseanlegg er aktuelt. Om det ikke skal gjøres må renseanlegget oppgraderes. Dette er en beslutning som avhenger av ny bebyggelse og høyere innbyggertall og hvilken behov som finnes i og utenfor Drammen (Vedeler 2016).



Figur 4.2 Oversikt over Solumstrand rensedistrikt og Muusøya rensedistrikt (Vedeler 2016)

4.5 Avløpssystemet i Solumstrand

Drammen kommune har ca. 500 km kommunale avløpsledninger hvor andelen består av 43% fellessystem, 44% separatsystem og 13 % overvannsystem. Det er i sentrumsområdet og i Bragernesbydel hvor store deler av fellesavløpet ligger. Avløpssystemet har 62 pumpestasjoner og 89 overløp. Solumtunnelen er en tunnel på 2.5 meter i diameter som fører avløpsvann fra store deler av Drammen til rensenanlegget i Solumstrand. Denne tunnelen, samt Konnerudtunnelen på 2.5 meter i diameter er de to største ledningene i avløpssystemet. Avløpsvannet i tunnelen føres frem til rensenanlegget med fall.

4.6 Hydraulisk situasjon i Solumtunnelen

Solumtunnelen styres av to luker som er plassert i utløpsrøret umiddelbart etter selve tunnelen. Lukene reguleres etter vannivå på 120 cm, men med en maksimummengde på 3000 m³. Hvis nivået blir overskridet 380 cm, overstyres maksimummengden og lukene åpnes for fullt. En gang i uken tømmes hele tunnelen for å forebygge sedimentering av slam (Vedeler 2016).

I datamodellen er denne styringen allerede satt opp ved hjelp av pumper. Det er totalt åtte pumper og et overløp som er plassert i slutten av tunnelen. Pumpene og overløpet skal simulere styringen. Pumpene er programmert til å pumpe konstante vannmengder med ulike

start-stopp verdier. I Tabell 4.3 finnes en oversikt over hvordan styringen er satt opp med pumper og overløp.

Tabell 4.3 Oversikt over pumper og overløp for styring av tunnelen.

	Navn (Pumpe ID)	Start Kote (m)	Stopp Kote (m)	Maks kapasitet (m ³ /s)	Pumpe til kum
Spesielle pumper til styring av tunnelen.	SO_Des_399_p_1	7.36	7.26	0.1	66327
	SO_Des_399_p_2	7.38	7.28	0.1	SO_Des_425
	SO_Des_399_p_3	7.4	7.3	0.1	SO_Des_425
	SO_Des_399_p_4	7.52	7.42	0.1	SO_Des_425
	SO_Des_399_p_5	7.54	7.44	0.1	SO_Des_425
	SO_Des_399_p_6	7.56	7.46	0.1	SO_Des_425
	SO_Des_399_p_7	7.58	7.48	0.1	SO_Des_425
	SO_Des_399_p_8	7.6	7.5	0.12	SO_Des_425
Overløp	Navn (Overløp ID)	Overløp terskel (m)		Overløp til	
	SO_Des_399_w_1	10.06		SO_Des_425	

Start-stopp høyder er gitt i kotehøyder og det er viktig å merke seg at bunn-kotehøyde i slutten av tunnelen her er på 6.26 meter. Dette viser en tilnærmet overenstemmelse mellom den virkelige styringen og modell styringen.

4.7 Scenarioer

For å motvirke overløpsutslipp har det i denne oppgave blitt satt opp to ulike scenarioer for bruk av volumet i Solumtunnelen. Disse scenarioene er basert på å benytte reguleringsventiler i deler av tunnelen for å fordrøye avløpsvannet ved seks ulike gjentaksintervaller som nevnt i kapittel 4.9. Dette er med utgangspunkt i at tunnelen ikke benyttes til sin fulle kapasitet ved ulike regnhendelser. Simuleringene av gjentaksintervallene er sammenlignet for å vurdere tunnelens utnyttelse og kapasitet, samt for å styre avløpstrømmen jevnest mulig inn til Solumstrand renseanlegg.

Reguleringen er utført ved å benytte MOSUE Flow elementet «Regulation» beskrevet i avsnitt 3.9.3.

Reguleringsventilene plassert i tunnelene regulerer vannstrømmen med hensyn av vannivået i en kum (knutepunktet). Styringen gir mindre utløpsvannføring og fører til en fordrøyning i tunnelen slik at vannmengden holdes tilbake. For scenario 1 er det benyttet en reguleringsventil til regulering av vannføringen i Solumtunnelen. I scenario 2 er det satt opp tre ekstra reguleringsventiler i Konnerudtunnelen i tillegg til reguleringsventilen i Solumtunnelen.

Begge scenarioene er basert på styringen som allerede skjer i Solumtunnelen, tidligere nevnt i avsnitt 4.6.

4.7.1 Beskrivelse av kontrollnoder- og ledninger.

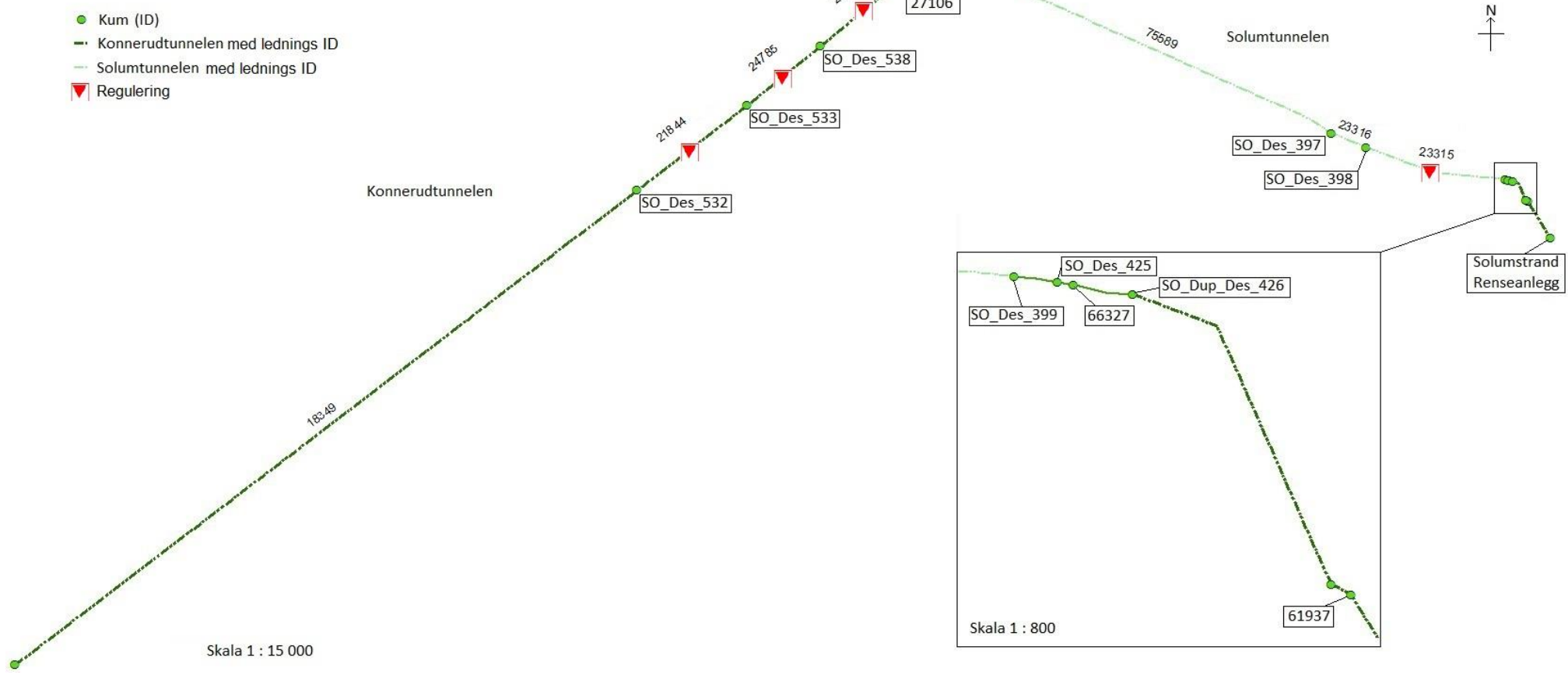
I dette avsnittet er beskrivelsen av hvilke noder (kummer) og ledninger som er brukt for å kontrollere vannhøyder og regulert vannstrøm. I Figur 4.3 kan vi se en oversikt av beliggenheten av kummer og ledningstrekninger som er brukt for reguleringen. Merk at dette kun er en skjematisk oversikt for strekningen til tunnelene og ledninger som fører avløpsvannet fra tunnelene til Solumstrand Renseanlegg.

For scenario 1 reguleres vannføringen i ledningstrekning 23315 med hensyn til vannivået i kum 61937 ved innløpsledningen til Solumstrand Renseanlegg.

For scenario 2 reguleres vannføringen i Konnerudtunnelen:

1. ledningstrekning 24777 etter vannivået i kum 27106.
2. ledningstrekning 24785 etter vannivået i kum SO_Des_538.
3. ledningstrekning 21844 etter vannivået i kum SO_Des_533.

Reguleringen av Solumtunnelen i dette scenario er lik for scenario 1.



Figur 4.3 Beskrivelse av beliggenhet av regulering, ledninger og kummer for strekningen Konnerudtunnelen og Solumtunnelen.

4.7.2 Scenario 1: regulering av Solumtunnelen for fordrøyning

Scenario 1 er basert på å utnytte volumet i Solumtunnelen. Dette er for å se på hvordan den hydrauliske situasjonen endres ved innsetting av reguleringsventil. Hensikten med dette scenarioet er å se hvordan utnyttelsen av tunnelen blir i forhold til den normale situasjonen. Samtidig som å redusere overløpsdrift ved innløpet til renseanlegget.

I Tabell 4.4 er det gitt hvilke ledning og kontrollnode som er brukt i reguleringen med tilsvarende grensebetingelse for alle gjentaksintervaller.

Tabell 4.4 Beskrivelse av Scenario 1

Scenario 1			
2 år gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	0.78
		7.2	0.78
		10	0
2 år + tillegg gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	1.03
		7.2	1.03
		10	0
20 år gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	0.93
		7.2	0.93
		10	0
20 år + tillegg gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	1.38
		7.2	1.38
		10	0

50 år gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	1.0
		7.2	1.0
		10	0
50 år + tillegg gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	1.47
		7.2	1.47
		10	0

4.7.3 Scenario 2: regulering av Konnerudtunnelen og Solumtunnelen for fordrøyning

For Scenario 2 er volumet i Konnerudtunnelen utnyttet i tillegg til Solumtunnelen. Reguleringen av Konnerudtunnelen er satt til standard for alle gjentaksintervaller. Samtidig er reguleringsgrensebetingelsene for reguleringsventilen i Solumtunnelen justert for å få best mulig utnyttelse av tunnelen, da det går mindre vann i Solumtunnelen når Konnerudtunnelen blir brukt som fordrøyning. I Tabell 4.5 er det gitt hvilke ledning og kontrollnode som er brukt i reguleringen med tilsvarende grensebetingelse for alle gjentaksintervaller.

Tabell 4.5 Beskrivelse av Scenario 2

Scenario 2			
Regulering av Konnerudtunnelen er lik for alle gjentaksintervaller:			
Reguleringsventil Konnerudtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
24777	27106	11.61	0.6
		12.24	0
		14	0
Reguleringsventil Konnerudtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
24785	SO_Des_538	36.7	2.2
		114.05	2.2
		130	0

Reguleringsventil Konnerudtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
21844	SO_Des_533	115.48	2.2
		126	0
		130	0
Regulering av Solumtunnelen:			
2 år gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	0.78
		2.5	0.78
		10	0
2 år + tillegg gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	0.8
		7.2	0.8
		10	0
20 år gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	1.03
		7.2	1.03
		10	0
20 år + tillegg gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	0.8
		7.2	0.8
		10	0
50 år gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	0.8
		7.2	0.8

		10	0
50 år + tillegg gjentaksintervall			
Reguleringsventil Solumtunnelen	Sensor/Kontrollnode	Grensebetingelser for regulering. H-Q	
Ledning ID	Kum ID	H(m)	Q (m ³ /s)
23315	61937	1.5	1
		7.2	1
		10	0

4.7.4 Modellering av scenarioer

For å sette inn reguleringsventilen i modellen må dette gjøres direkte på selve ledningstrekket. Dette ble gjort med verktøyet «Rosie info/Edit toolbar», her velges «Edit objekt data» som gir muligheten til å markere ønsket element direkte i modellen. I dette tilfellet velges det ledningstrekk som er ønsket å sette inn reguleringen på. Når ledningstrekket er markert kommer det opp et vindu kalt «Pipe information». Under dette vinduet kan det velges to ulike faner. Her er fanen kalt «Regulation» valgt og ved å trykke «New» nederst på vinduet kommer det opp en oversikt over «Pipe ID», «Regulation», «Control Node» og «Dataset ID». Under «Regulation» er det valgt «Sensor value», denne gir muligheten til å styre reguleringen med en valgt verdi med hensyn til verdien av vannhøyden i en node (kum). «Control Node» gir muligheten til å velge den noden som det er ønskelig å reguleringen styres etter. Videre kan kummen som ønskes til kontroll lett markeres. Under «Dataset ID» kan det ønskede kontrollsystemet settes opp med grensebetingelsene for reguleringen, som vist i Tabell 4.4 og Tabell 4.5.

Denne fremgangsmåten ble gjort for innsetting av regulering i hver ledningsstrekning brukt i hvert scenario.

4.8 Reduksjon av modell

Målet med å redusere en modell er å gjøre modellen raskere å beregne. Denne type modell skal være nyttig for å kunne plote in data for fremtidige værmeldinger og gi raske resultater som kan være til hjelp ved kraftige regnhendelser, slik at ledningsnettets kan forberedes til den aktuelle hendelsen.

4.8.1 Metode brukt ved redusering

Original modellen blir fra nå av kalt OM og den reduserte modellen er fra nå av kalt RM.

Metoden brukt for å redusere modellen er gjort på den mest logiske måten slik at ledningsnettets er representert over hele modellen. Reduksjonen har blitt utført med utgangspunkt i størrelsen på ledningene. Det vil si at mesteparten av ledningene som er under 0.5 meter i diameter er forsøkt fjernet. Reduseringen av modellen har blitt gjort delvis steg for steg i de ulike bydelene i modellen, se Figur 4.4. I OM er nedbørsfeltene delt opp i delfelt.

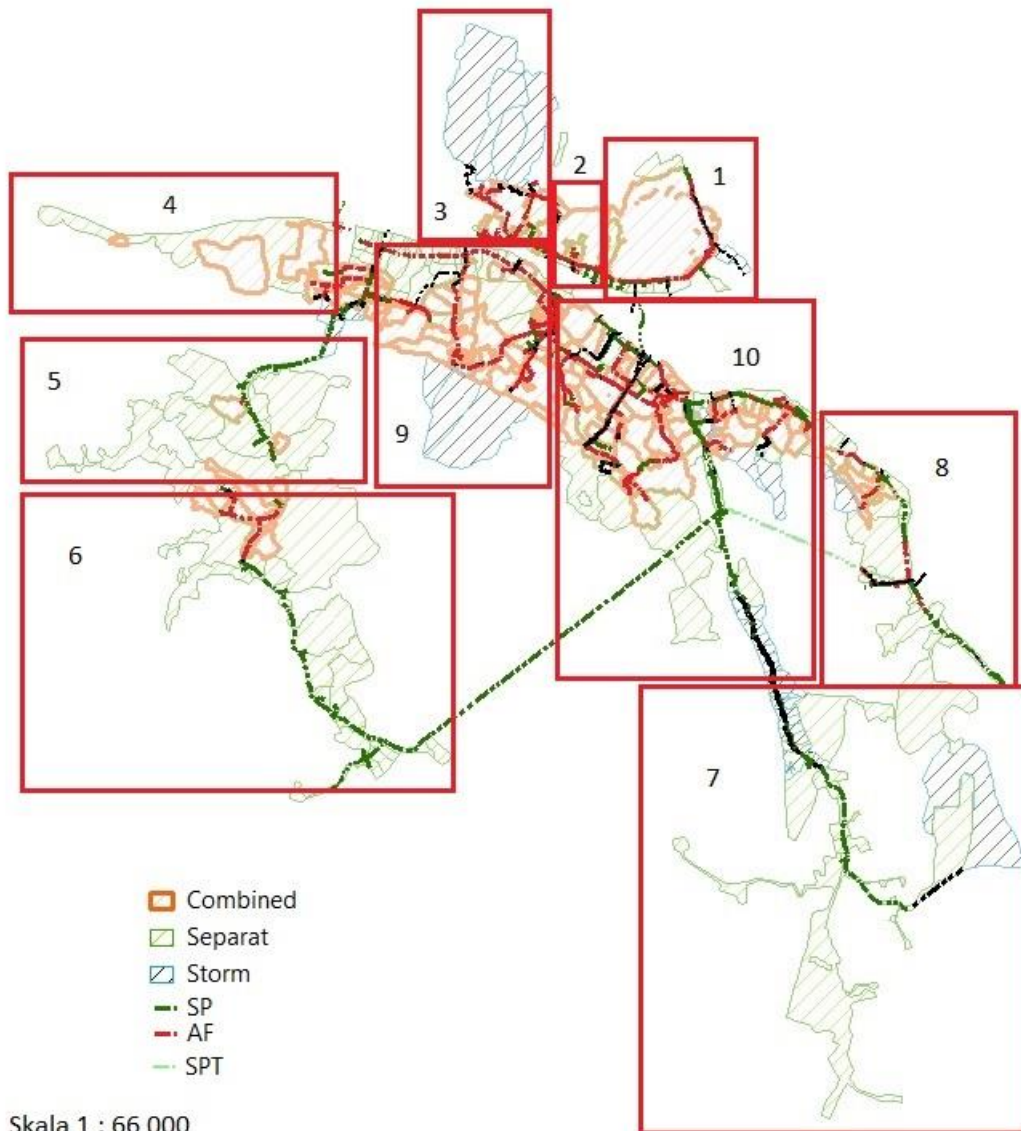
Ved redusering av modellen har delfeltene blitt slått sammen til større delfelt. I RM er det største delfeltet i felles- og separatnedbørsfelt på 98 og 91 ha (hektar), og henholdsvis for OM på 7.6 og 38 ha (hektar).

Framgangsmåte steg for steg for reduseringen av modellen i ROSIE:

1. **Velge alle rørdiameter mindre enn 0.5 meter:** ved å bruke «Selection» i ArcMap. Velger så «Select By Attributes». I denne funksjonene kan det velges ut fra hvilken kategori/lag i modellen som ønskes å markere. Her er det valgt «Pipe» og videre «P_HEIGHT» som tilsvarer diameteren på ledningene. Deretter er det valgt diameter mindre enn 0.5 meter og ved å trykke «Apply» vil alle ledninger mindre enn 0.5 meter bli markert i modellen.
2. **Starte med redusering av ledninger:** etter markeringen av ledninger er det ved beste skjønn begynt å redusere ledninger delvis. Sletting av ledninger er gjort med ROSIE sin funksjon med «Selection toolbar» der det kan velges å kun markere kum med tilhørende ledning. Deretter blir «Network toolbar» brukt fjerne de markerte ledningene og kummer.
3. **Slå sammen delfelt:** smådelfelt blir slått sammen til større delfelt. Dette gjøres på grunn av at flere delfelt ikke har noen ledninger ved reduseringen. I ROSIE kan man slå sammen delfelt i funksjonen «Area toolbar». Her kan man velge «Merge selected areas». Denne funksjonen slår sammen delfelt til et felt slik at det ikke er en merkbar skille mellom feltene.
4. **Beregne sammenslåtte delfelt:** Etter å ha slette ønskede ledninger, må delfeltene slås sammen og bli beregnet. Dette gjøres med ROSIE sitt «Area toolbar». Denne funksjonen gir muligheten til å beregne parameterne i delfeltene automatisk. Ved å trykke på «Area» i denne funksjonen vil en liste der «Area calculation» kan velges. Et vindu med ulike alternativer blir tilgjengelig. Delfeltene som vi ønsker å beregne må først markeres. Videre i vinduet krysser det av for «Calculate areas for selected catchment» og trykker «Calculate». Parameterne i delfeltene blir med dette beregnet sammen.
5. **Definere «Connection Point» for feltet:** Som nevnt tidligere i dette kapittelet er nedbørsfeltene i OM delt opp i delfelt. Disse har hvert sitt «Connection Point», som er et definert **innløpspunkt** i hvert nedbørsfelt der overflatevannet renner inn i avløpssystemet. Ved reduksjonen av ledningene har flere felt blitt slått sammen til et stort felt. Dette innebærer at ledningene som har eget «Connection point» blir slettet slik at det blir lagt inn et nytt «Connection Point» i et passende punkt i feltet med ledninger. Når feltet er slått sammen og arealet beregnet, må et «Connection Point» defineres i feltet for innstrømning av avrenning i ledningsnett. Dette gjøres også i «Area toolbar». Under «Area» velges «Manual area assignment». Ved å trykke på denne kommer det et vindu der det må velges type nedbørsfelt (combined, separat eller storm). Dette velges etter hvilken type nedbørsfelt som blir redigert. Videre må nedbørsfeltet markeres og det vises i vinduet hvilket

«Connection Point» som har tilhørighet i feltet eller om den mangler et innløpspunkt. Dette må gjøres for alle sammenslåtte felt.

Denne fremgangsmåten er brukt over hele modellen for å redusere antallet ledninger. Starten på reduksjonen ble gjort etter bydeler. I Figur 4.4 er det illustrert hvordan fremgangsmåten for modellen ble delt opp. For at det skulle være en struktur i reduseringen ble modellen delt opp i 10 soner. Reduseringen ble gjort etter stigende rekkefølge. Der bydelene er Bragernes (sone 1, 2 og 3), Gulskogen (sone 4), Konnerud (sone 5 og 6), Lindum og Stillerud (sone 7), Solum og Nøsted (sone 8), Strømsø (sone 9) og Rundtom, Tangen og Fjell (sone 10).



Figur 4.4 Soner for oversikt av reduseringen

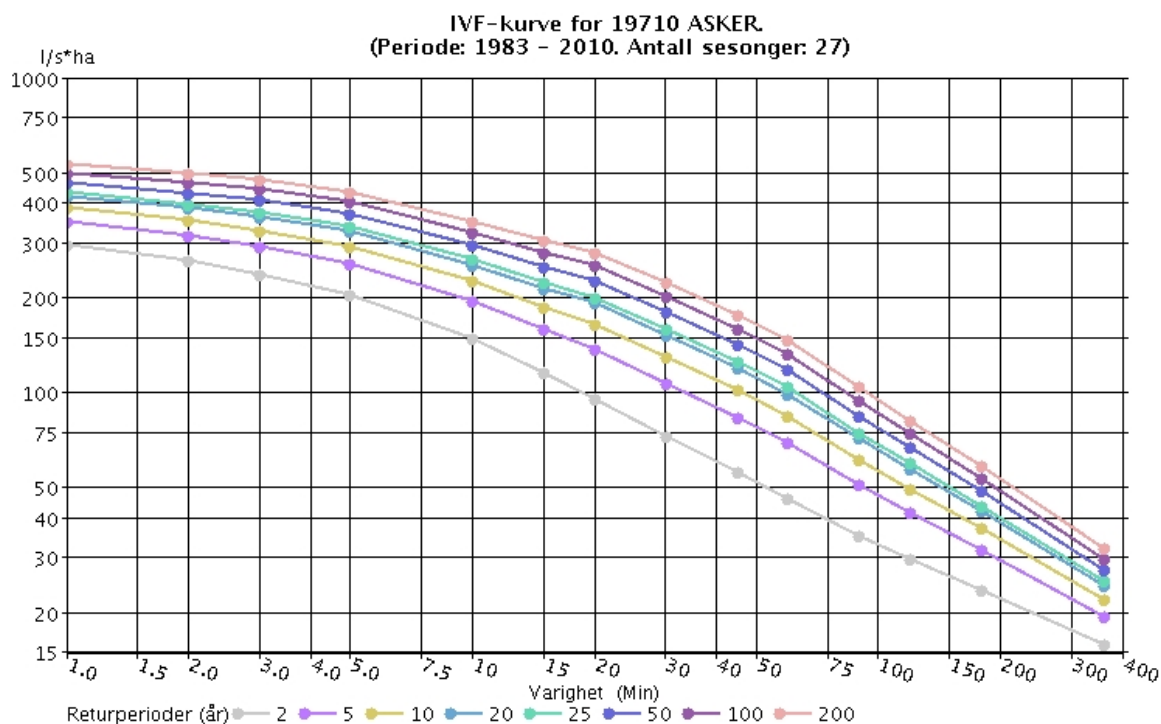
4.8.2 Implementering av scenarioer i original modell

Metoden for å finne den beste løsningen for å justere reguleringene av tunnelene ble prøve- og feilemetoden benyttet. Å gjøre små endringer i verdiene på reguleringen for å finne den optimale tar mye beregningstid i den originale modellen. Scenarioer ble da først simulert i den reduserte modellen for en rask beregning for å gi en indikasjon på hvor en optimal verdi for reguleringen ligger. Senere ble disse verdiene benyttet i simuleringene for den originale modellen, som igjen trengte justeringer. Resultatene fra simuleringene i original modellen ble videre brukt som endelig resultater.

4.9 Regndata

I denne oppgaven er det valgt å bruke konstruerte enkeltregn med ulike gjentaksintervaller med utgangspunkt i dagens nedbør. Videre ble et klimatillegg på 1.5 som beskrevet i kapittel 3.4 lagt til regndataen. Dette gjøres for å se hvordan utnyttelsen av Solumtunnelen kan optimaliseres ved ulike regntilfeller. Gjentaksintervallene som er valgt å bruke er 2-, 20- og 50- års regn med og uten tillegg på 50% for hver av regnene.

Data fra enkeltregnene er konstruert fra IVF-kurver for Asker Kommune sin målestasjonen i Sem, og dataene er hentet fra metodologisk institutt sin database på eKlima.no. Data fra Marienlyst målestasjon i Drammen er ikke benyttet da disse er ikke er gode nok. Data fra Asker målestasjon er tilsvarende lik data fra Blindern målestasjon. Asker målestasjon er benyttet da denne ligger nærmere Drammen (Lindholm, G. J. 2016a). Ferdig konstruert enkeltregn for 2- og 50- års gjentaksintervall er blitt gitt tilgjengelig til oppgaven av Rosim AS. For 20 års gjentaksintervall må det derfor konstrueres et enkeltregn. IVF-kurven for Asker som vist på Figur 4.5 er fra perioden 1983- 2010. Ut i fra denne IVF-kurven er 20-års gjentaksintervallet konstruert.



Figur 4.5 IVF-kurve for Asker med ulike gjentakintervaller som er representert av regnvarighet og intensitet for perioden 1983-2010(eKlima 2016).

Det er antatt at regionen i modellen for Solumstrand rensedistrikt har ensartet meteorologiske forhold, da det samme regnhyetogrammet brukes til alle ledningstørrelser uansett konsentrasjonstid.

4.9.1 Konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram

Metode for å konstruere symmetrisk regnhyetogram i dette avsnittet er hentet fra (Lindholm 2014):

Det antas at hyetogrammet er symmetrisk om sin akse i prinsippene bak konstruksjonen av et regnhyetogram. Regnvolumet i et kasseregn av varighet x minutter skal tilsvare nøyaktig regnvolumet innenfor x de mest intensive minuttene ($x/2$ minutter på hver sin side av midtlinjen), altså konstruksjonsprinsippet. Vanlig beregningssteg er 5 minutter. Steg på lavere eller høyere tid vil kunne gi respektivt lav eller meget høy spissintensitet.

Grunnlagsdata for beregningene leses av direkte fra IVF-kurver eller fra ferdig beregnede tabeller som er gitt fra eKlima. En slik tabell for IVF-kurven til Asker er gitt i Tabell 4.6. Fra tabellen hentes det ut verdier for 10, 20, 30 og 60 minutter for 20-års gjentakintervall.

Verdier som ikke oppgitt i tabellen er 40, 50, og 70 minutter. Disse verdiene er blitt estimert på best mulig måte ved å justere verdiene slik at regnhyetogrammet øker og avtar jevnt.

Verdiene ble også sjekket opp for overensstemmelse mot IVF-kurven i Figur 4.5. Ved å bruke en varighet på 10 minutters intervall vil tidssteget bli 5 minutter når intensitetene fordeles symmetrisk om midtasken.

Tabell 4.6 Returperioder (år): Nedbørintensitet i (l/s*ha) i Asker for periode 1983-2010 (eKlima 2016)

År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.
2	293,3	261,0	234,9	202,5	147,9	115,8	95,3	72,3	55,6	46,2	35,2	29,6	23,5	15,8
5	347,5	314,0	289,6	255,4	193,9	158,5	137,2	107,0	83,2	69,1	50,9	41,5	31,5	19,5
10	383,4	349,0	325,7	290,4	224,4	186,7	164,9	129,9	101,4	84,3	61,3	49,4	36,9	22,0
20	417,9	382,7	360,4	324,0	253,6	213,8	191,5	151,9	119,0	98,9	71,3	57,0	42,0	24,3
25	428,9	393,3	371,4	334,7	262,9	222,4	200,0	158,9	124,5	103,6	74,5	59,4	43,6	25,1
50	462,5	426,2	405,4	367,5	291,5	248,9	226,0	180,4	141,7	117,8	84,2	66,8	48,6	27,4
100	496,0	458,8	439,0	400,1	319,8	275,2	251,8	201,8	158,7	132,0	93,9	74,2	53,6	29,6
200	529,3	491,3	472,6	432,7	348,1	301,5	277,5	223,1	175,6	146,1	103,6	81,5	58,6	31,9

Verdiene for regnintensitetene med tilsvarende regnvarighet hentet ut fra Tabell 4.6, samt de justerte verdiene er gitt i tabell:

Tabell 4.7 Regnvarighet og regnintensitet for 20 års-gjentaksintervall hentet ut fra

Regnvarighet (min)	Regnintensitet (l/s*ha)
10	253.6
20	191.5
30	151.9
40	128
50	111.2
60	98.9
70	88.7

Intensitetene for de ulike beregningstegene kan finnes ved å bruke følgende formel:

$$I_{10} = 253.6 \left[\frac{l}{s} \cdot ha \right]$$

$$I_{20} - I_{10} = \frac{191.5 \cdot 20 - 291.5 \cdot 10}{10} = 129.4 \left[\frac{l}{s} \cdot ha \right]$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{151.9 \cdot 30 - 191.5 \cdot 20}{10} = 72.7 \left[\frac{l}{s} \cdot ha \right]$$

$$I_{40} - I_{30} = \frac{128 \cdot 40 - 151.9 \cdot 30}{10} = 56.3 \left[\frac{l}{s} \cdot ha \right]$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{111.2 \cdot 50 - 128 \cdot 40}{10} = 44 \left[\frac{l}{s} \cdot ha \right]$$

$$I_{60} - I_{50} = \frac{98.9 \cdot 60 - 111.2 \cdot 50}{10} = 37.4 \left[\frac{l}{s} \cdot ha \right]$$

$$I_{70} - I_{60} = \frac{88.7 \cdot 70 - 98.9 \cdot 60}{10} = 27.5 \left[\frac{l}{s} \cdot ha \right]$$

Fordelingen av regnintensitetene blir så fordelt på hver sin side av midtaksen som vist i Tabell 4.8.

På grunn av at modellen krever inputdata på formen $\mu \frac{m}{s}$, må $\frac{l}{s} * ha$ gjøres om til $\mu \frac{m}{s}$.

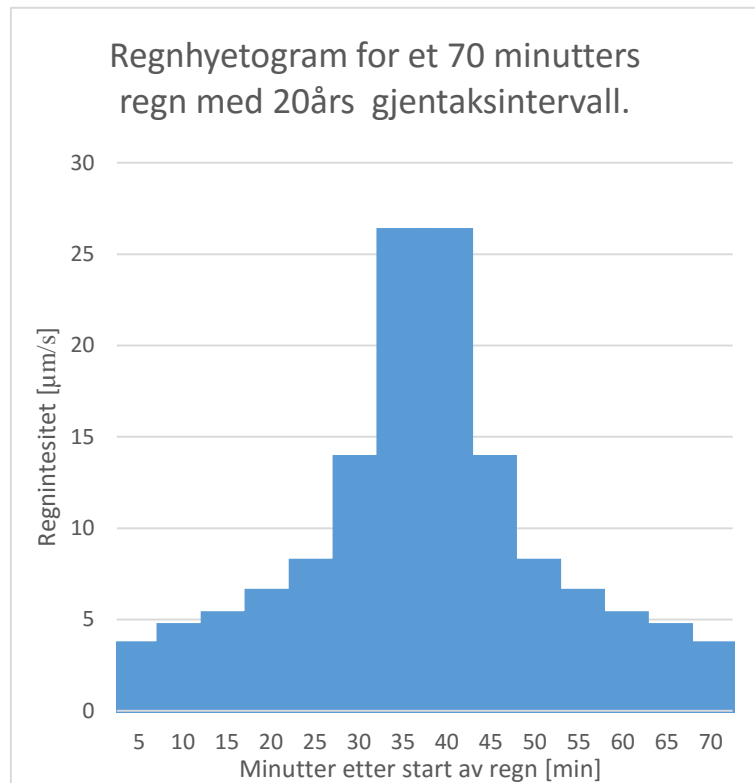
Sammenhengen mellom disse er definert ved at $10 \frac{l}{s} * ha = 1 \mu \frac{m}{s}$. Ved denne omgjørelsen blir input regndata og regnhyetogramet i modellen som vist i Tabell 4.9 og Figur 4.6.

Tabell 4.8 Konstruer regndata i l/s*ha

Minutter etter start av regn (min)	Regnintensitet (l/s*ha)
5	27.5
10	37.4
15	44
20	56.3
25	72.7
30	129.4
35	253.6
40	253.6
45	129.4
50	72.7
55	56.3
60	44
65	37.4
70	27.5

Tabell 4.9 Konstruert regndata i $\mu\text{m/s}$

Minutter etter start av regn (min)	Regnintensitet ($\mu\text{m/s}$)
5	2.75
10	3.74
15	4.4
20	5.63
25	7.27
30	12.94
35	25.36
40	25.36
45	12.94
50	7.27
55	5.63
60	4.4
65	3.74
70	2.75



Figur 4.6 Konstruert regnhyetogram

Som nevnt tidligere i kapittelet er det konstruerte regnhyetogrammer for 2- og 50-års gjentaksintervall allerede tilgjengelig. Det er forutsatt at disse er konstruert likt som for 20 års-gjentaksintervallet. Regnhyetogrammet for 2-, 20- og 50-års gjentaksintervaller med og uten klimatillegg er vist i Vedlegg A.

4.10 Modellering av regn

Beregningene for regndata nevnt i kapittel 4.9 ble gjort ved å legge de inn i modellen med funksjonen «Add time series». Denne funksjonen gir ROSIE tilgang til regndata direkte fra regndatafilen. Data legges inn ved å klikke et vilkårlig sted på kartet i modellen. Videre vil det dukke opp et vindu der data av ønsket type legges inn. I dette tilfellet har data for 6 ulike regn, fordamping og temperatur blitt benyttet. Fordamping og temperatur er lagt inn for å gi en mer reel tilnærming av virkeligheten. Data for fordamping og temperatur er blitt gjort tilgjengelig av Rosim AS.

Når nødvendig data er lagt inn i modellen kan det nå velges som en regnhendelse i beregningene. Første steg i beregningene er å kjøre en simulering for avrenning. Dette gjøres i «Computation toolbar» ved å trykke på «Start Runoff simulation». I oppgaven er RDI+A avrenningsmodellen benyttet. Denne modellen er omtalt i kapittel 3.9.3 under MOUSE Runoff og MOUSE RDII. Kjøringen blir først simulert for et år i forveien med en tidsserie av tidligere regnhendelser kalt RDII hot start. I dette tilfellet er det simulert fra 10.01.2015 til 16.11.2015. Etter denne simuleringen må det gjentas en til avrenningssimulering som gjøres for en uke i forveien, inkludert den faktiske regnhendelsen som skal simuleres. I denne

simuleringen legges RDII hot start filen inn som grunnlag for resultater fra tidligere regnhendelser. Det er denne simuleringen som skal være grunnlaget for nettverksberegningene.

Når avrenningsberegningene er utført kan nettverksberegningene starte. Kjøring av nettverket gjøres ved å trykke på «Start network simulation» i «Computation toolbar». Her vises et vindu med alternativ for hvilken type simulering, start-stop tid på simuleringen, minuttsteg på beregningen, og hvilken CRF file (resultatfilen fra avrenningssimuleringen) som skal benyttes. Simuleringen som er brukt er dynamisk simulering, start-stop på simuleringen er fra 16.11.2015 kl. 06.00:00 til 16.11.2015 kl.23.59.59. Det er i denne perioden enkeltregne er lagt inn i regnfilen. Tidsintervallet for simuleringen er på 18 timer på grunn av treghetssystemet ved bruk av RDII modellen. Minuttsteget for beregningen er satt til 3 minutter etter konsultasjon med Geir Lindholm.

Denne framgangsmåten er brukt ved beregning av alle regn.

4.11 Beregning av fyllingsgrad

Verdier for fyllingsgrad ble hentet fra resultatene i simuleringene gjort i ROSIE. Dette ble gjort ved bruk av «Computation toolbar» i ROSIE, etterfulgt ved å trykke på «Results» og videre på «Results layer». Her dukker det opp et vindu kalt «Result layes manager», hvor det kan velges ulike resultater for simuleringen, slik at de vises som et lag over det opprinnelige kartet. Videre er det valgt i dette vinduet «Pipe: Max filling degree» etterfulgt av «Show layer». Fyllingsgraden i hver enkelt ledning vises med farge. For å eksportere den ønskede data kan det velges i verktøyet «Table of content» og deretter i «Pipe filling degree» «Open Attribute table». Her velges så den aktuelle data av ledninger som ønskes å eksporteres.

Data ble så eksportert til Excel for bearbeidelse.

4.12 Metode for kalibreringsanalyse

Kalibreringsanalysen ble gjort med måledata hentet fra regnbyge.no. Eksporterte data fra regnbyge.no er i dette tilfelle allerede lagt inn i modellen. For denne analysen er det brukt andre regn fra reelle hendelser enn de som er nevnt tidligere i oppgaven. Det er valgt 5 målepunkter for kalibreringsanalysen. Disse er som følge:

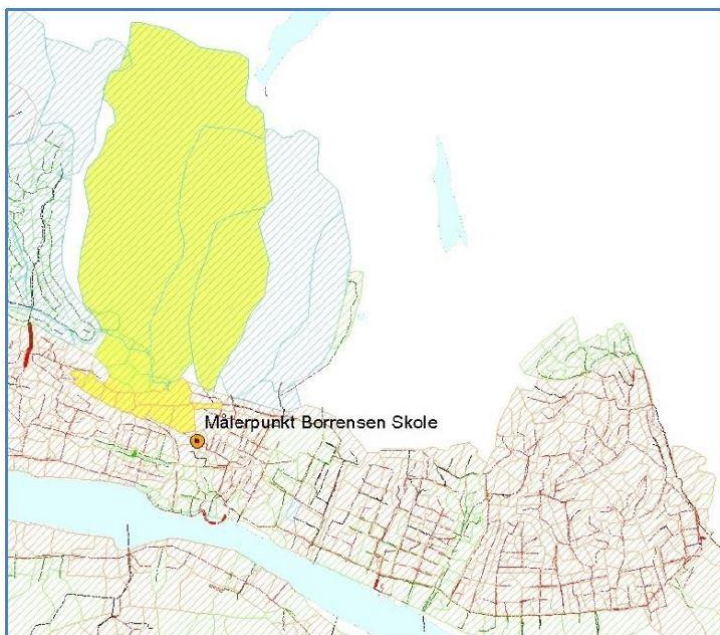
Målepunkt Austad



Figur 4.7 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet. (Lindholm, G. J. 2016b)

Dette målepunktet er i sentrum av Drammen. Tidsserien som er brukt her er fra 01.05.2014 til 18.05.2014. I modellen tilsvarer dette punktet kum nummer 32280.

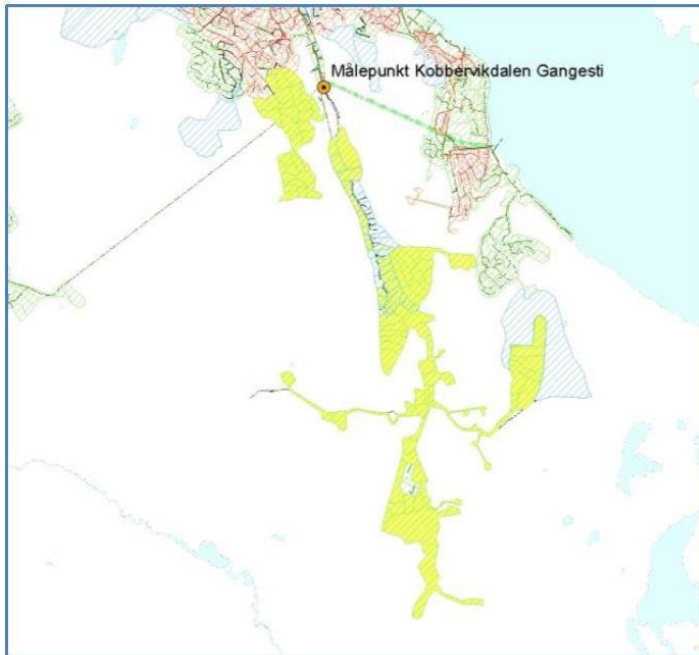
Målepunkt Børresen skole



Figur 4.8 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet. (Lindholm, G. J. 2016b)

Målepunktet ligger i bydelen Bragernes. Tidsserien som er brukt her er fra 05.09.2014 til 24.10.2014. I modellen tilsvare dette punktet kum nummer 72190.

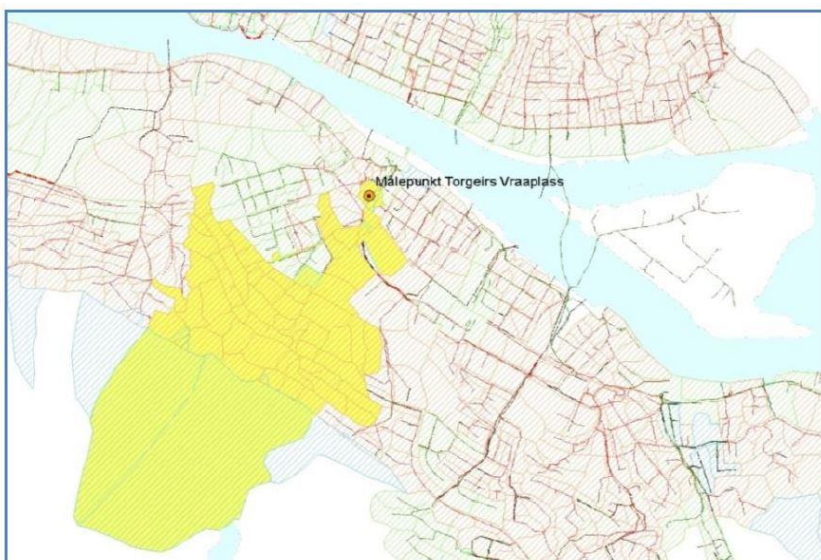
Kobbervikdalen gangsti



Figur 4.9 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet.(Lindholm, G. J. 2016b)

Målepunktet ligger i bydel Kobbervikdalen Skoger. Tidsserien som er brukt her er fra 10.11.2014 til 04.12.2014. I modellen tilsvare dette punktet kum nummer 27090.

Målepunkt Torgeir Vraa plass



Figur 4.10 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet.(Lindholm, G. J. 2016b)

Målepunktet ligger i bydel Strømsø. Tidsserien som er brukt her er fra 07.10.2014 til 28.10.2014. I modellen tilsvare dette punktet kum nummer 11736.

Målepunkt Vinjes gate



Figur 4.11 Beliggenhet av målepunktet. Det gule området viser tilrenningsfeltet til dette målepunktet. (Lindholm, G. J. 2016b)

Målepunktet ligger i bydel Bragernes. Tidsserien som er brukt her er fra 13.11.2014 til 09.12.2014. I modellen tilsvare dette punktet kum nummer 65284.

Målt og simulert vannføringsdata har videre blitt eksportert til Excel for utregning av verdier med statistiske metoder som nevnt i avsnitt 3.10.

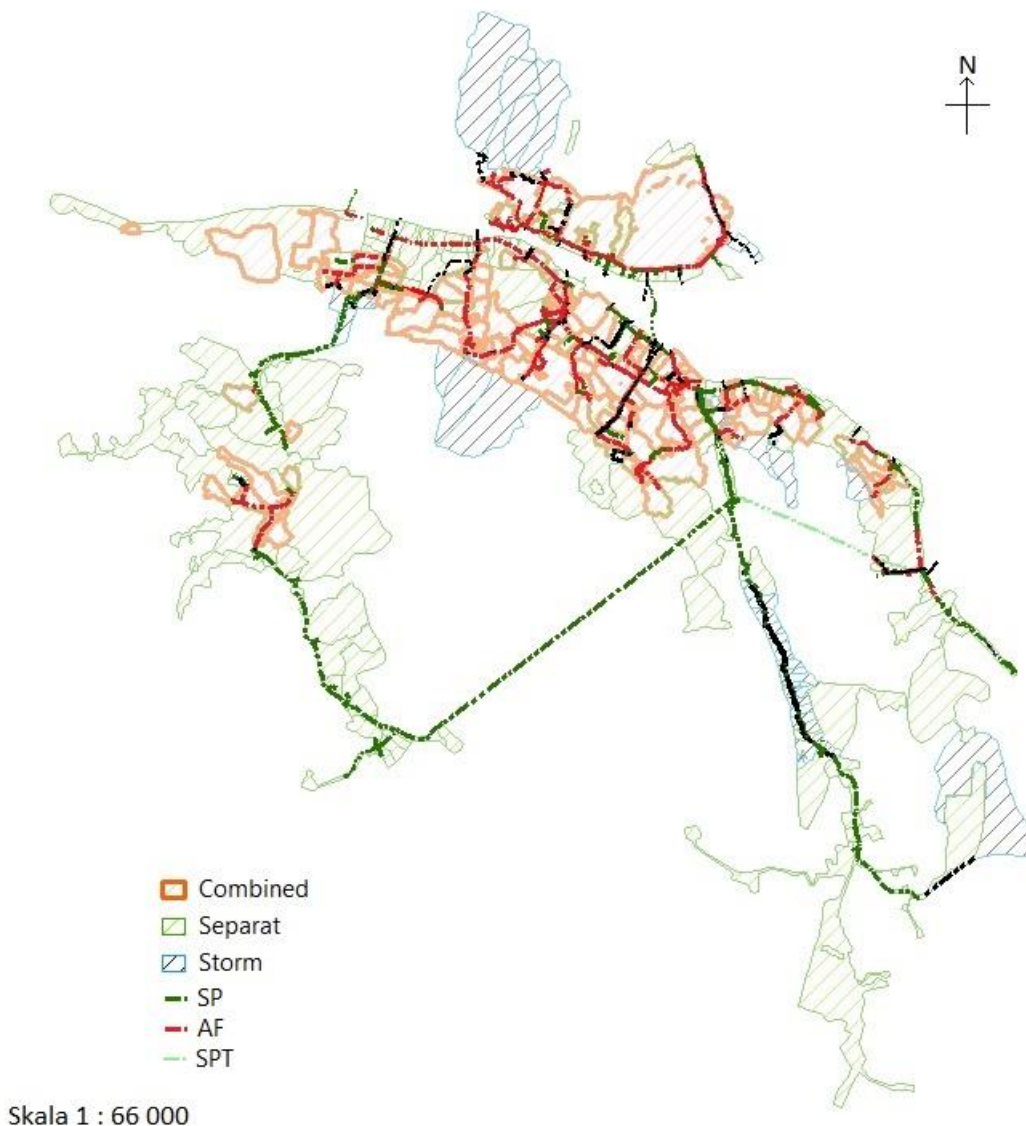
5 Resultater

5.1 Redusert modell

Resultatene for reduksjonen av modellen er hentet fra modelleringsprogrammet ROSIE. Her blir ulikhetene mellom OM og RM som nevnt i avsnitt 4.8 presentert.

5.1.1 Presentasjon av den reduserte modellen

Figur 5.1 viser resultatet av den reduserte modellen. Det har blitt lagt vekt på at ledningsnettene skal være representert gjennom hele modellen.



Figur 5.1 Redusert modell med nedbørsfelt og ledningsnett. Modellen har 3 ulike typer nedbørsfelt som tilsvarende kombinert, separat og overvann. Ledningsnettene er representert av separat-, felles- og separattunnelavløpsledning (Solumtunnelen).

I Tabell 5.1 finnes en oversikt over antall nedbørsfelttyper med tilsvarende innløpspunkter og ledningstyper som finnes i modellen. Ledninger av typen «Andre» som pumpeledninger og kulverter, er ledninger som hører til i underkategorier av felles-, separat- og overvannledninger. Tabellen viser også at det er flere innløpspunkter per nedbørsfelt enn

selve antallet nedbørsfelt, sammenlignet med Tabell 4.1 tilhørende OM i avsnitt 4.2. Dette fordi det har blitt lagt inn flere innløpspunkter i store nedbørsfelt. Tabell 5.2 viser antallet pumper, overløp, utløp og kummer som er i modellen.

Tabell 5.1 Oversikt over antallet nedbørsfelt med tilvarende innløpspunkter og ledningstype.

	Separat	Felles	Overvann	Totalt	
Nedbørsfelt	180	162	64	406	
Innløpspunkt	192	208	65	465	
	Separat	Felles	Overvann	Andre	Totalt
Ledninger	724	1009	463	80	2276

Tabell 5.2 Komponentoversikt over avløpsnettet.

Komponenter	Antall
Pumper	46
Overløp	79
Utløp	32
Kummer	2305

5.1.2 Sammenligning mellom original modellen og den reduserte modellen

Som sammenligningsgrunnlag er det i oppgaven kun sett på mengder avløp som går i overløp i overløpet til Solumstrand Renseanlegget. Alle gjentakintervallene er simulert med lik tidsintervall, som nevnt i avsnitt 4.10 i både OM og RM. Med grunnlag i dette viste resultatene et avvik i overløpsmengde mellom OM og RM. Resultatene fra alle regnhendelsene i begge modellene fremkommer i Tabell 5.3.

Tabell 5.3 Oversikt over overløpsmengde for OM og RM

Modell	Original modell	Redusert modell	Avvik (%)
Overløp (ID)	61937_w_1	61937_w_1	
Regn	Overløp (m³)	Overløp (m³)	
2 år	3586	263	93
20 år	8713	4653	47
50 år	10544	6439	39
2 år + tillegg	11751	6338	46
20 år + tillegg	17896	13600	24
50 år + tillegg	20911	16930	19

Som følge av dette avviket har det blitt sett på parametere som kan ha innvirkning for vannføringen i avløpsnett. Etter diskusjon med Geir Lindholm om selve avviket, kom det opp at parametere som konstant innlekkasje i nettet er større i OM enn i RM. Dette betyr at det er en differanse av mengde vann i avløpsnett mellom OM og RM. Andre parametere som er ulike i modellene er gitt i Tabell 5.4. Disse parameterne tilhører inputverdier til nedbørsfeltene.

Tabell 5.4 Parameteroversikt for OM og RM

Parametere for nedbørsfelt		
Parameter	Original modell (sum)	Redusert modell (sum)
Konstant innlekkasje (m³/s)	0.118152	0.05917
Utette flater areal (ha)	1980	1858
Utette flater areal (%)	116865	29766
Tetteflater areal (ha)	513	484
Tetteflater areal (%)	42784	10833

Det er grunn til å tro at den konstante innlekkasjen er den faktoren som har størst innvirkning på resultatene.

5.2 Analyse av fyllingsgrad i Solumtunnelen

Resultatene i dette avsnittet er hentet fra simuleringer av 6 forskjellige regn fra modelleringsprogrammet ROSIE. Denne analysen ble gjort i den originale modellen.

Tabell 5.5 Fyllingsgrad for ledningsstrekninger og totalt for hele tunnelen for ulike gjentakintervall for regn og klimatillegg.

Normal situasjon for Solumtunnelen					
Ledningsstrekning ID		23315	23316	75589	Totalt hele tunnelen
Regnets gjentakintervall og klimatillegg	Kapasitet	Fyllingsgrad (%)			
2 år	Ledig	0	0	46	31
	Utnyttet	100	100	54	69
2 år + tillegg	Ledig	0	0	42	16
	Utnyttet	100	100	58	84
20 år	Ledig	0	0	41	15
	Utnyttet	100	100	59	85
20 år + tillegg	Ledig	0	0	40	14
	Utnyttet	100	100	60	86
50 år	Ledig	0	0	42	16
	Utnyttet	100	100	58	84
50 år + tillegg	Ledig	0	0	38	13
	Utnyttet	100	100	62	87

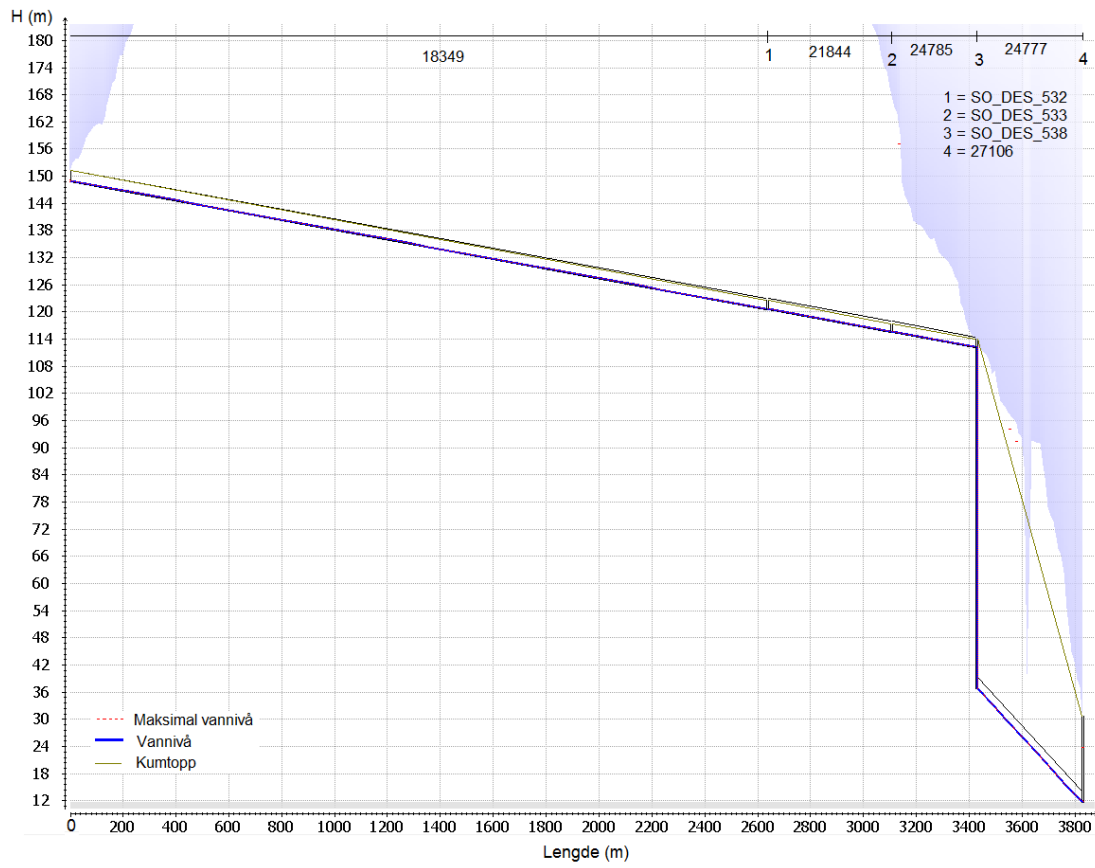
Tabell 5.5 viser en økning i fyllingsgraden i tunnelen ved økt klimatillegg på 50%. For 2-års regn med klimatillegg kan vi se at den ledige kapasiteten i tunnelen blir nesten halvert på grunn av klimatillegget. Vi kan også se en tilnærmet likhet i fyllingsgrad for 2-år regn med klimatillegg med dagens 50-års regn. Dette kan tyde på at et 2-års regn vil om 100 år være lik dagens 50-års regn. Denne analysen viser at tunnelen fortsatt har ledig kapasitet under de kraftigste regnhendelsene og kan bli brukt ytterligere som fordrøyning.

5.3 Kapasitet i Konnerudtunnelen

Fyllingsgraden i Konnerudtunnelen har kun blitt analysert for hele tunnelen og ikke delvis slik som for Solumtunnelen. Fyllingsgraden for den normale situasjonen er kun blitt sett for 2-års gjentaksintervall og 50-års gjentaksintervall med klimatillegg. Dette er gjort på bakgrunn av at tunnelen har ledig kapasiteten som ikke utgjør en stor forskjell i fyllingsgrad mellom de ulike regnene. Resultatene kan sees i Tabell 5.6. Figur 5.2 illustrerer hvor fylt tunnelen er i løpet av simuleringen i en normal situasjon. Et tilsvarende vannføringsbilde er lik for de andre gjentaksintervallene. Den ledige kapasiteten i tunnelen utgjør grunnlaget for scenario 2.

Tabell 5.6 Fyllingsgrad for Konnerudtunnelen

Normal situasjon for Konnerudtunnelen		
Regnets gjentaksintervall og klimatillegg	Kapasitet	Totalt fyllingsgrad for hele tunnelen (%)
2 år	Ledig	94
	Utnyttet	6
50 år + tillegg	Ledig	91
	Utnyttet	9



Figur 5.2 Lengdeprofil av Konnerudtunnelen under kjøring av 20-års gjentaksintervall med tillegg. Tallene øverst i figuren er verdier og plassering av lednings- og kum-ID langs tunnelstrekningen.

5.4 Analyse for reduksjon av overløpsdrift ved Solumstrand Renseanlegg

Resultatene i dette avsnittet er hentet fra simuleringer av to ulike scenarioer gjort i modelleringsprogrammet ROSIE. I simuleringen har det blitt lagt vekt på å redusere overløpsdrift inn til Solumstrand Renseanlegg.

5.4.1 Resultater av scenarioer

Med utgangspunkt i resultatene i avsnitt 5.2 er her vist resultater av simuleringen med reguleringen av Solumtunnelen og Konnerudtunnelen.

Tabell 5.7 Resultater av overløpsdrift for scenario 1

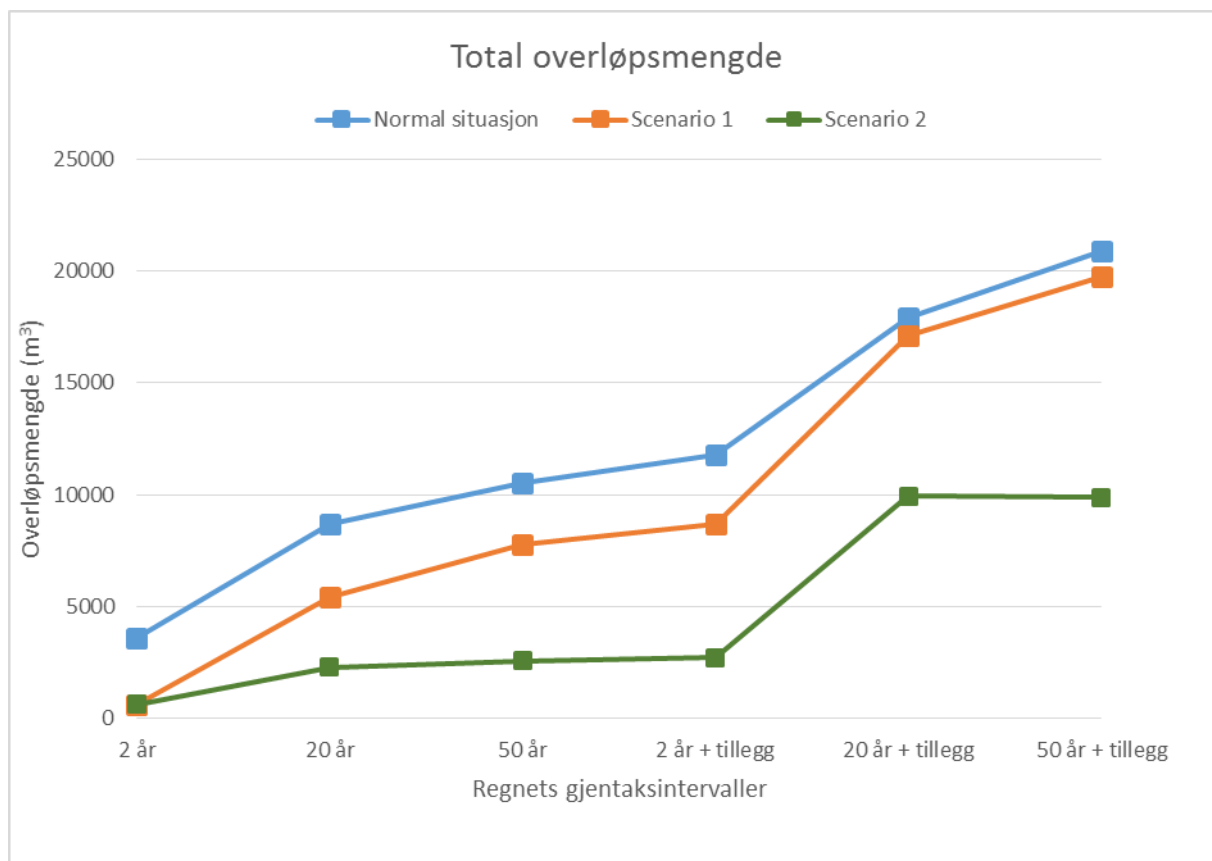
	Normal situasjon	Scenario 1		
Overløp ID	61937_w_1	61937_w_1		
Regnets gjentakintervall og klimatillegg	Overløp (m ³)	Overløp (m ³)	Redusert overløpsmengde (m ³)	Redusert overløpsmengde (%)
2 år	3586	642	2944	82
20 år	8713	5441	3272	38
50 år	10544	7793	2751	26
2 år + tillegg	11751	8687	3064	26
20 år+ tillegg	17896	17132	763	4
50 år + tillegg	20911	19736	1175	6

Tabell 5.7 viser hvor mye reduksjon i overløpsdrift det er ved full utnyttelse av kapasiteten i Solumtunnelen. For gjentakintervaller av dagens regn er det mulig å redusere overløpet med opp mot 82%. Ved kraftigere regnhendelser med klimatillegg kan vi derimot se en mindre reduksjon når kun Solumtunnelen benyttes som fordrøyning. Dette tyder på at tunnelen alene ikke klarer å lagre store vannmengder fra de kraftigste regnhendelsene.

Tabell 5.8 Resultater av overløpsdrift for scenario 2

	Normal situasjon	Scenario 2		
Overløp ID	61937_w_1	61937_w_1		
Regnets gjentakintervall og klimatillegg	Overløp (m ³)	Overløp (m ³)	Redusert overløpsmengde (m ³)	Redusert overløpsmengde (%)
2 år	3586	642	2944	82
20 år	8713	2285	6428	74
50 år	10544	2566	7977	76
2 år + tillegg	11751	2720	9031	77
20 år+ tillegg	17896	9938	7957	44
50 år + tillegg	20911	9888	11023	53

I Tabell 5.8 kan vi se at resultatene i redusert overløpsdrift er gode ved bruk av kapasiteten til Solumtunnelen kombinert med Konnerudtunnelen. For gjentaksintervallet 50 år + tillegg er det en reduksjon på 53 % i motsetning til en reduksjon på 6 % ved scenario 1. Det kan også sees en økning i redusert overløpsmengde for de andre gjentaksintervallene. For 2-års gjentaksintervall er det viktig å bemerke seg at scenario 2 ikke gir en økning i redusert overløpsmengde. Dette på grunn av kontrollsystemet i Konnerudtunnelen gir lik utløpsvannføring i enden av tunnelen som i en normal situasjon. Det kan tenkes å justere denne kontrollen for å gi en mer effektiv utnyttelse av Konnerudtunnelen for dette gjentaksintervallet.



Figur 5.3 Grafisk fremstilling av total overløpsmengde for normal situasjon, scenario 1 og 2.

Figur 5.3 viser en grafisk fremstilling av total overløpsmengde med hensyn til gjentaksintervallene.

Tabell 5.9 Fyllingsgrad i Solumtunnelen for scenario 1

Scenario 1 - Solumtunnelen					
Ledningsstrekning ID		23315	23316	75589	Totalt for hele tunnelen
Regnets gjentaksintervall og klimatillegg	Kapasitet	Fyllingsgrad (%)			
2 år	Ledig	56	0	11	15
	Utnyttet	44	100	89	85
2 år + tillegg	Ledig	0	0	15	3
	Utnyttet	100	100	85	97
20 år	Ledig	0	0	13	2
	Utnyttet	100	100	87	98
20 år + tillegg	Ledig	0	0	16	3
	Utnyttet	100	100	84	97
50 år	Ledig	0	0	7	1
	Utnyttet	100	100	93	99
50 år + tillegg	Ledig	0	0	11	1
	Utnyttet	100	100	89	99

En analyse av fyllingsgraden for scenario 1 og 2 ble gjort for å sammenligne fyllingsgraden fra den normale situasjonen. For scenario 1 i Tabell 5.9 viser resultatene en bedre utnyttelse av tunnelen. Denne utnyttelsen bidrar til reduksjon av overløpsdrift. Resultatene viser også en bedre utnyttelse ved kraftige regnhendelser med en utnyttelse opp mot 99 %. For 2-års gjentaksintervallet bidrar ikke dette scenarioet til et like godt resultat som for de andre regnhendelsene. Samtidig er det fortsatt en forbedring på opp mot 2 ganger så mye utnyttelse enn i den normale situasjonen i Tabell 5.5.

Tabell 5.10 Fyllingsgrad i Solumtunnelen for scenario 2.

Scenario 2- Solumtunnelen					
Ledningsstrekning ID		23315	23316	75589	Totalt for hele tunnelen
Regnets gjentaksintervall og klimatillegg	Kapasitet	Fyllingsgrad (%)			
2 år	Ledig	21	9	9	48
	Utnyttet	79	91	91	52
2 år + tillegg	Ledig	56	0	10	15
	Utnyttet	44	100	90	85
20 år	Ledig	56	0	13	16
	Utnyttet	44	100	87	84
20 år + tillegg	Ledig	0	0	7	5
	Utnyttet	100	100	93	95

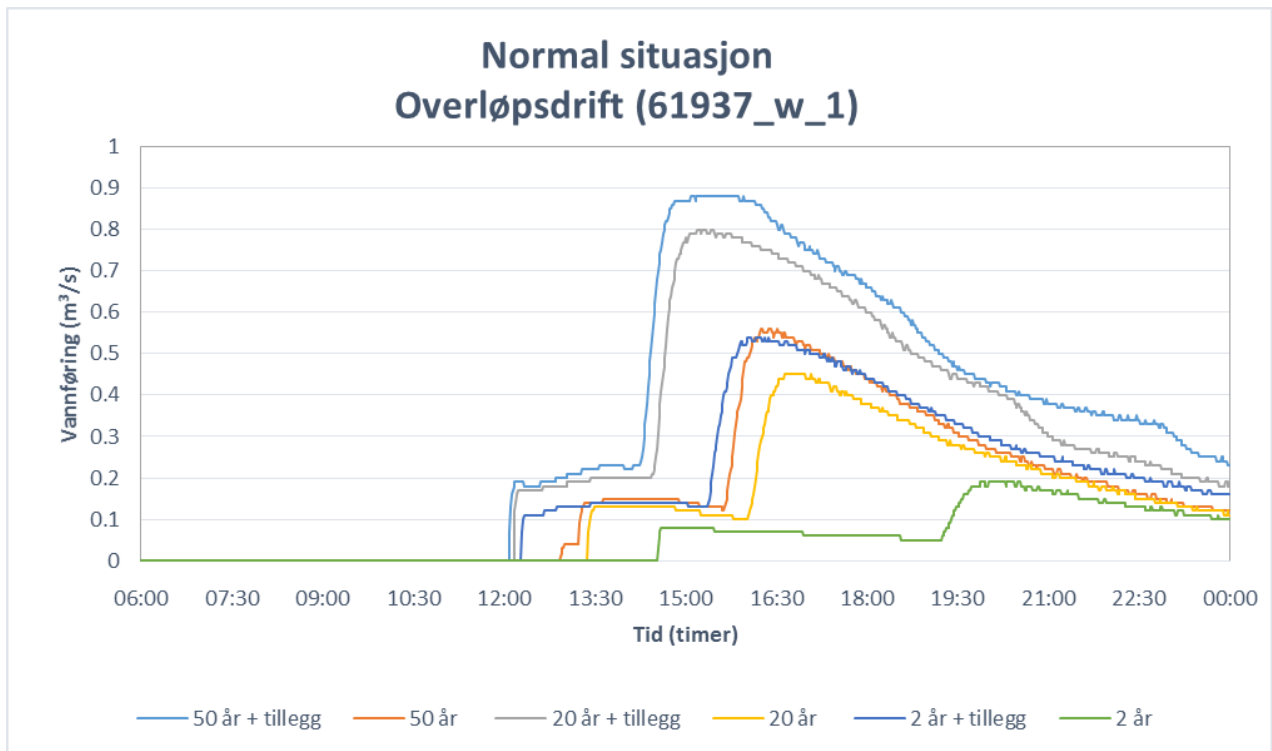
50 år	Ledig	56	0	12	16
	Utnyttet	44	100	88	84
50 år + tillegg	Ledig	0	0	4	3
	Utnyttet	100	100	96	97

For scenario 2 i Tabell 5.10 ser vi at den totale fyllingsgraden er noe lavere for Solumtunnelen enn i scenario 1. Dette skyldes bruken av Konnerudtunnelen som tilleggss fordrøyning. Det er lavere vannregulering i Solumtunnelen og noe som resulterer i økt ledig kapasitet i tunnelen. Denne situasjonen fører til lavere vannføring og en mer jevn vannføring i enden av tunnelen. I Tabell 5.11 ser vi at Konnerudtunnelen fortsatt har mye ledig kapasitet, men på grunn av restriksjoner i modelleringsprogrammet er det ikke mulig å ha en vannstand over kum på mer enn 10 meter. Dette er et utgangspunkt som kan være annerledes i virkeligheten, da tunnelen ligger i fjell og en slik regulering kan føre til at vannet forflytter seg lengere oppstrøms og fyller mer av tunnelen, enn det gjør i modellen på grunn av avgrensninger.

Tabell 5.11 Fyllingsgrad i Konnerudtunnelen scenario 2.

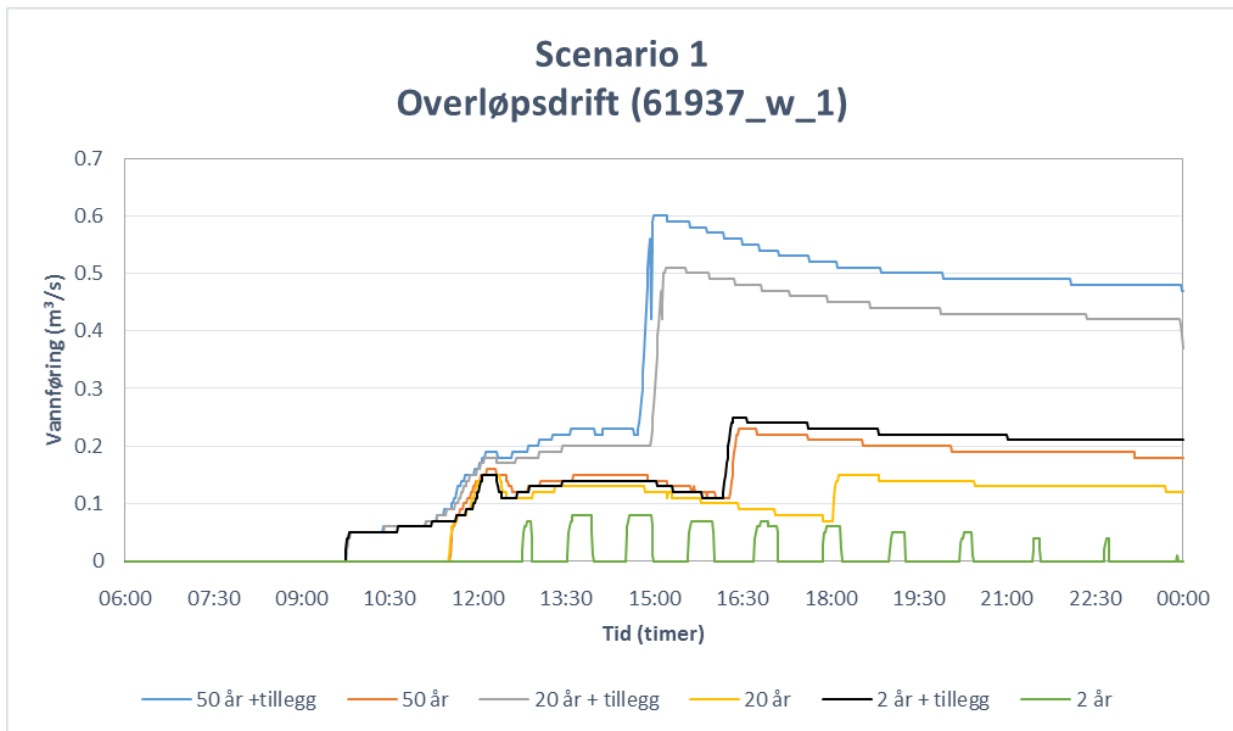
Scenario 2- Konnerudtunnelen		
Regnets gjentaksintervall og klimatillegg	Kapasitet	Totalt fyllingsgrad for hele tunnelen (%)
2 år	Ledig	93
	Utnyttet	7
2 år + tillegg	Ledig	71
	Utnyttet	29
20 år	Ledig	77
	Utnyttet	23
20 år + tillegg	Ledig	72
	Utnyttet	28
50 år	Ledig	73
	Utnyttet	27
50 år + tillegg	Ledig	68
	Utnyttet	32

I følgende figurene er overløpsmengden fremvist grafisk for overløpet inn til Solumstrand Renseanlegg. Figur 5.4 viser vannføringen som går i overløp for den normale situasjonen. Resultatet for overløpsmengden kan vise et avvik av den en virkelige vannmengden som går til overløp, da det kan sees at overløpet fortsatt er i drift etter 18 timer. Dette er spesielt for de kraftigste regnene. Her er den maksimale vannføringen på 0.88 m³/s og 0.19 m³/s henholdsvis for 50-års + tillegg gjentaksintervall og 2-års gjentaksintervallet.



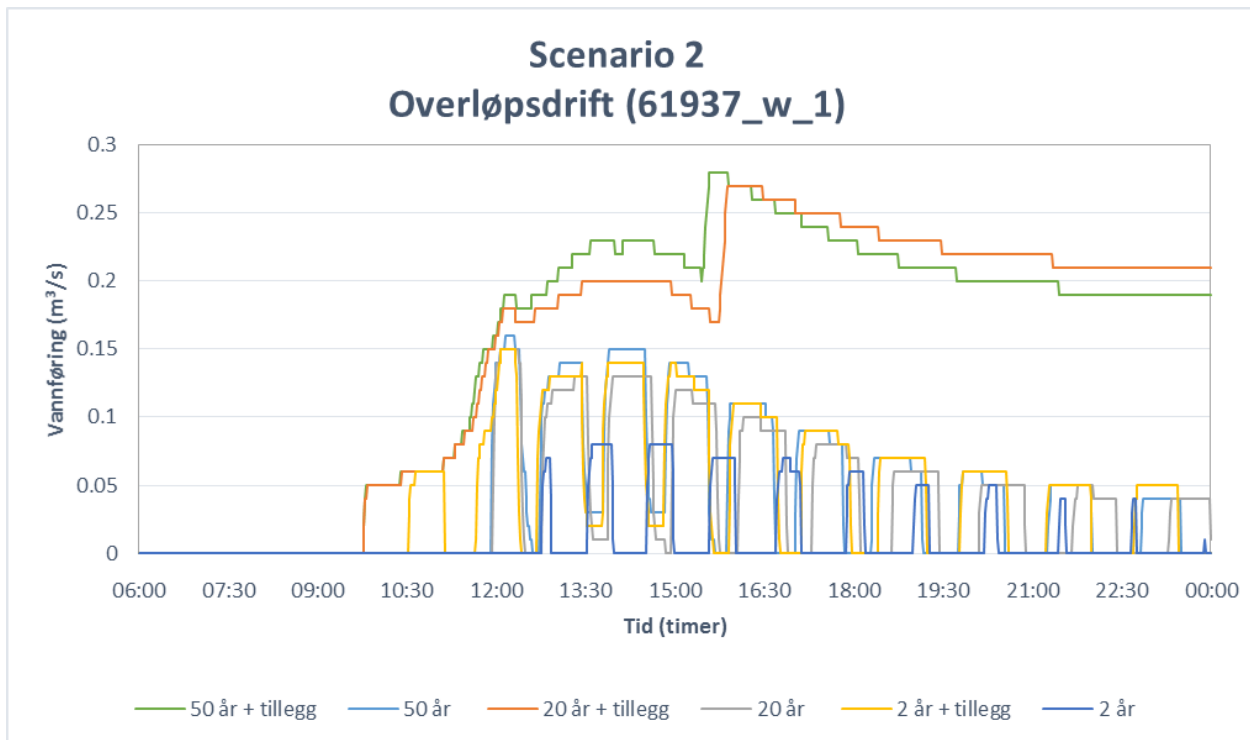
Figur 5.4 Grafisk fremstilling av overløpsdrift for normal situasjon.

Figur 5.5 viser overløpsdrift for scenario 1. Resultatet viser her en reduksjon av den maksimale vannføringen. Den maksimale vannføringen er her på $0.59 \text{ m}^3/\text{s}$ for 50-års + tillegg gjentaksintervallet og $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ for 2-års gjentaksintervallet. I likhet med den normale situasjonen er overløpet fortsatt er i drift etter 18 timer. Her kan det største avviket ligge i gjentaksintervallene på 50 år + tillegg og 20 år + tillegg, da overløpet fortsatt har en høy vannføring etter 18 timer. For 2-års gjentaksintervallet kan vi se at overløpet trer i drift i perioder. Dette skyldes lav vannføring i gjentaksintervallet, da reguleringen er kontrollert etter vannhøyde i kummen og gir en start-stop effekt på overløpet.



Figur 5.5 Grafisk fremstilling av overløpsdrift for scenario 1

I scenario 2 er også konnerudtunnelen brukt som fordøyning. Resultatene i Figur 5.6 viser en ytterligere reduksjon av vannføringen. Her vises samme trend for de laveste regnhendelsene som i 2-års gjentaksintervallet i scenario 1. Dette skyldes redusering av vannføringen i Solumtunnelen på grunn av fordrøyningen i Konnerudtunnelen. Som følge av dette får de laveste regnhendelsene start- stop effekten. Den maksimale vannføringen er redusert ytterligere ned til $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$ for den kraftigste regnhendelsen.



Figur 5.6 Grafisk fremstilling av overløpsdrift for scenario 2

5.5 Resultater av kalibreringsanalyse

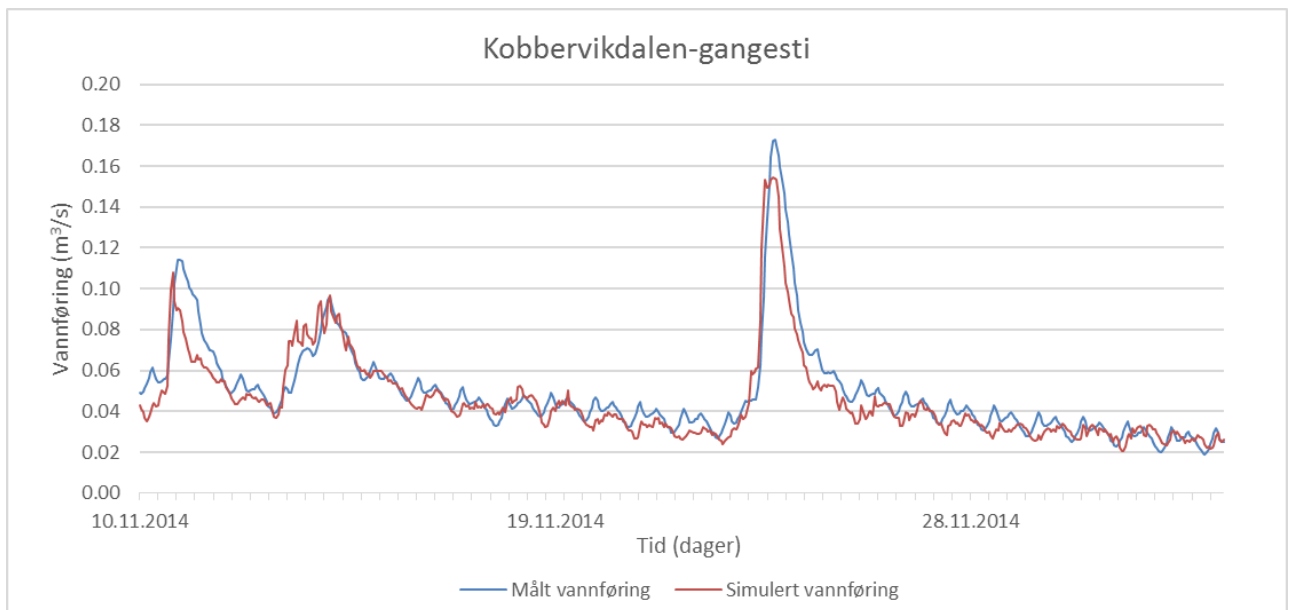
Kalibreringsanalysen av OM utført med ulike målepunkt på avløpsnett, som nevnt i avsnitt 4.12. Resultatene av analysen er gitt i Tabell 5.12.

Tabell 5.12 Resultat av kalibreringsanalyse

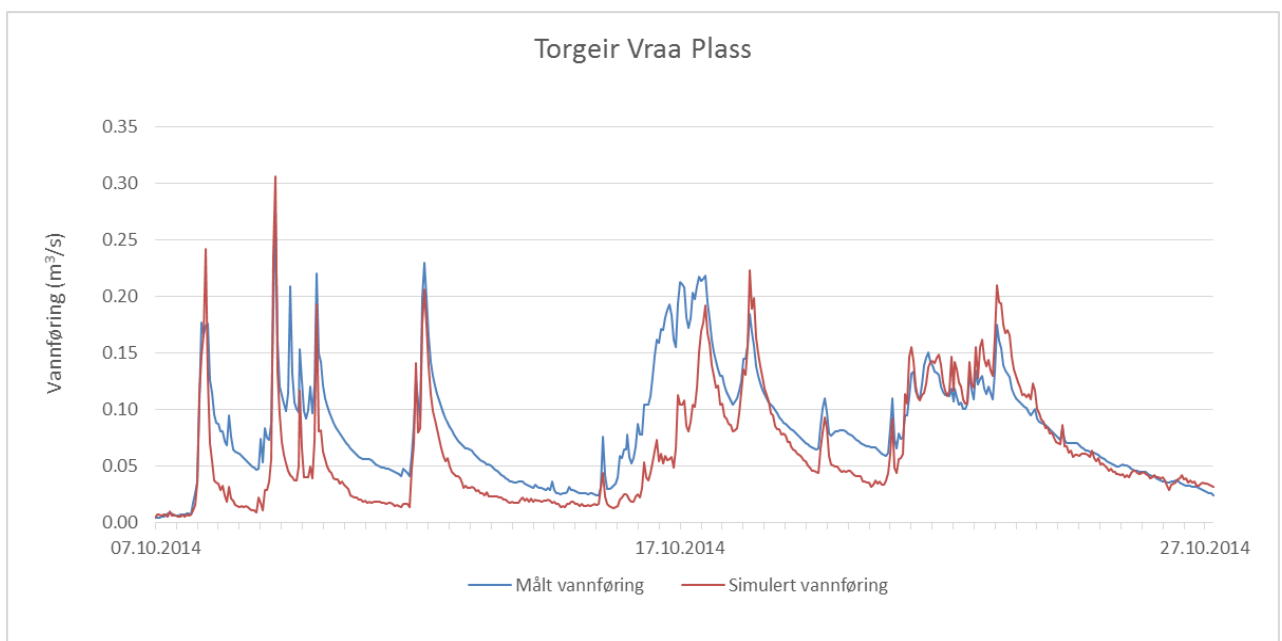
Målepunkt:	NSE	R ²
Austad	0.54	0.91
Børresen skole	0.68	0.71
Kobbervikdalen- gangsti	0.80	0.85
Torgeir Vraa Plass	0.51	0.67
Vinjes gate	0.53	0.57

Resultatene til kalibreringsanalysen viser en god overenstemmelse mellom målt- og modellert vannføring. For den statistiske NSE analysen, der verdier lik 1 indikerer en perfekt sammenheng mellom dataene, kan vi se en god korrelasjon mellom målte og simulerte data for målestasjonen i Kobbervikdalen- gangsti på 0.8. For de andre målestasjonene er verdiene nærmere 0.5, noe som tyder på en akseptabel sammenheng mellom dataene. For den statistiske analysen R2 indikerer resultatene lite feil i variansen, noe som tyder på at målte og simulerte data har en akseptabel sammenheng. For målepunktet Austad er det for R2 analysen en meget god overenstemmelse i dataene, som tyder på en god kalibrering. For begge analysene ser vi et nokså likt resultat for kalibreringen av Kobbervikdalen- gangsti. Dette kan også observeres i Figur 5.7, der vi kan se en grafisk tilnærmet lik overenstemmelse i målt og

simulert vannføring for Kobbervikdalen-gangsti. Med utgangspunkt i analysen og den grafiske sammenligningen kan det sies at den beste kalibreringen er på dette målepunktet.

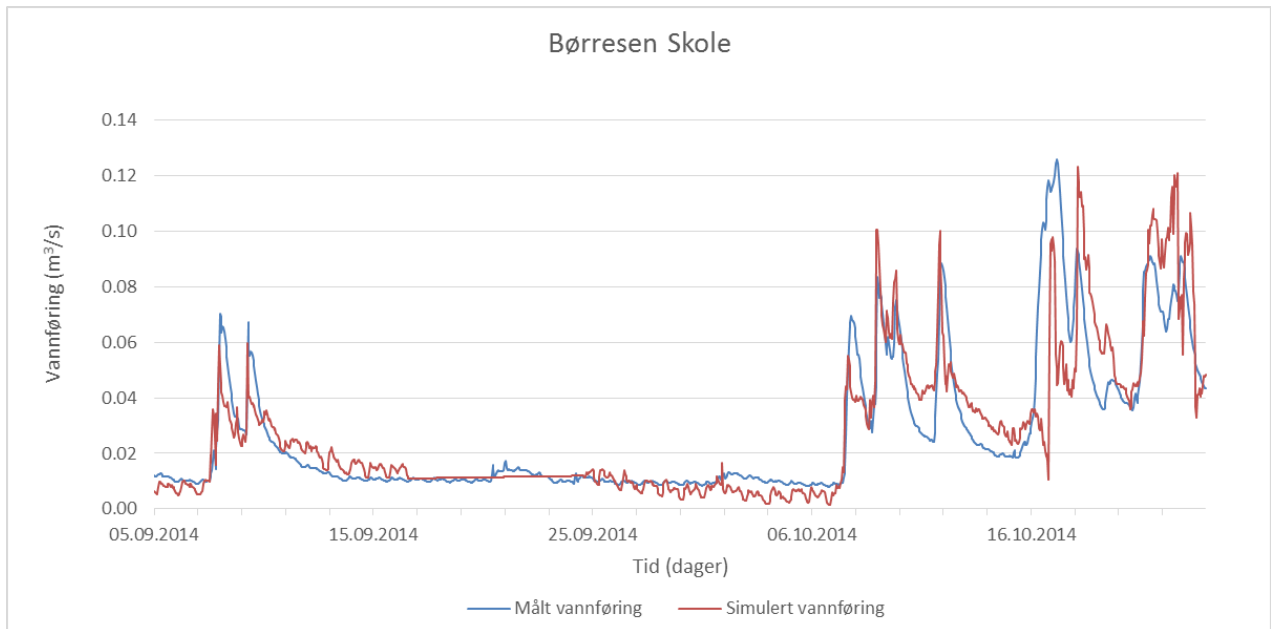


Figur 5.7 Målt- og simulert vannføring for november 2014



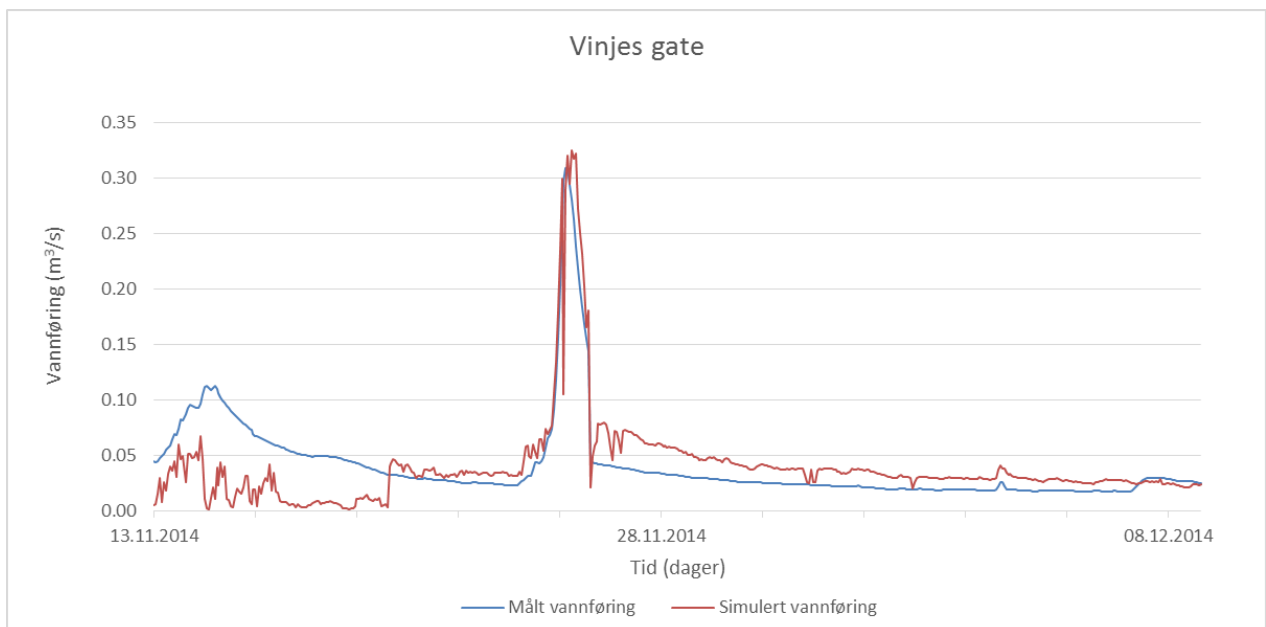
Figur 5.8 Målt- og simulert vannføring for oktober 2014 i oktober 2014 for målepunktet Torgeir Vraa plass.

Kalibreringsanalysen tyder på en mindre sammenheng mellom målte og simulerte vannføringer for målepunktet Torgeir Vraa plass i Figur 5.8. Det kan observeres i perioden fra 07.10.2014 til 17.10.2014 en høyere målt vannføring enn simulert. Dette kan være utslagsgivende for resultatene i begge analysene.



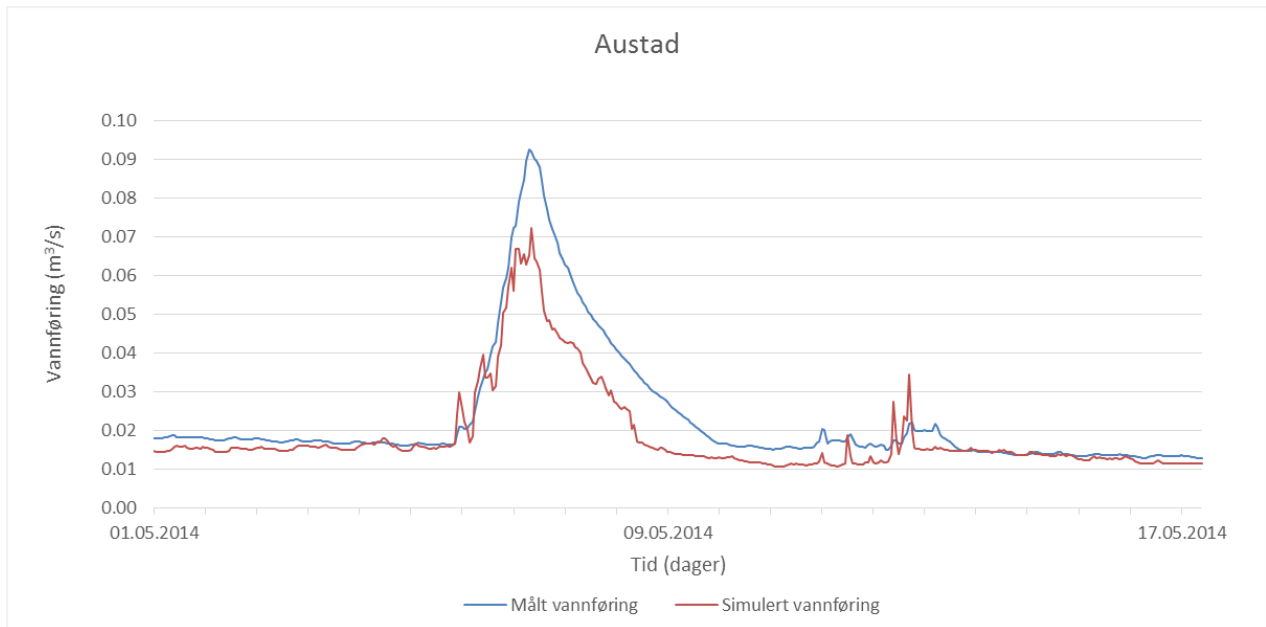
Figur 5.9 Målt - og simulert vannføring for september og oktober 2014 for Børresen Skole målepunkt.

Kalibreringen for Børresen Skole målepunkt virker etter begge statistiske analysene å ha en god sammenheng mellom målte og simulerte vannføringer. Dette kan vi også se i Figur 5.9



Figur 5.10 Grafisk fremstilling mellom målte og simulert vannføring for Vinjes gate målepunkt.

Den grafiske fremstillingen av målepunktet i Vinjes gate i Figur 5.10 viser en nokså akseptabel kalibrering. Vi kan se at den målte vannføringen er størst i perioden fra 13.11.2014. I perioden fra 28.11.2014 kan vi her se at den simulerte vannføringen er størst fremt til slutten av måleperioden. Disse forskjellene kan bli representert i resultatet for analysen da verdiene i begge tilfeller (NSE og R2) er nokså like.



Figur 5.11 Grafisk fremstilling mellom målte og simulert vannføring for Austad målepunkt.

Målepunktet Austad viser størst avvik i verdiene til analysen, med en verdi på 0.54 for NSE og 0.91 for R2. R2 viser en tilnærmet feilfri varians, dette kan skyldes at R2 er lite sensitiv for volum og mengdeforskjeller mellom målt og simulert data. I Figur 5.11 kan vi se denne sammenhengen med en nokså stor forskjell i volumet til den målte og simulerte vannføringen under den høyeste kurven på grafen. NSE verdien viser seg å være mer utslagsgivende og mer sensitiv i volumforskjeller enn R2. Dette kan være en begrunnelse for den verdien lave verdien.

6 Diskusjon

6.1 Redusert modell

I oppgaven har resultatene til reduseringen av modellen ikke stått til forventningene. Som nevnt i avsnitt 5.1.2 er det flere faktorer som skaper avvik. Parametere som konstant innlekkasje kan være en av grunnene til at det blir ulik vannføring i modellene. Samtidig er en reduksjon av en modell av så stort omfang tidskrevende og det bør tas hensyn til hvilken ledninger som skal fjernes. Modellen som ble brukt til redusering hadde ikke alle inngangsdata som var forventet at den skulle ha i starten av reduseringen. Dette på grunn av at modellen ikke var ferdigstilt, som førte til at resultatene i sammenligningen ble forskjellige. Et avvik i parameterverdiene kan være hvordan ROSIE tolker sammenslåing av små delfelt til større delfelt. Ved bruk av funksjonene som beregner arealet og parametere i sammenslåingen viste det seg at innlekkasje parametere ikke blir summert til en samlet verdi. I stedet velger funksjonen å beholde innlekkasjeverdien til det delfeltet som er markert for at andre delfelt skal bli slått sammen, noe som betyr at innlekkasjeverdien ikke blir summert og innlekkasjeverdien fra en av de opprinnelige delfeltene blir stående som verdi til det nye delfeltet. Dette kan føre til store utslag i sluttresultatet for en så stor modell som Drammen.

En kalibrering av modellen er derfor viktig å foreta for sikkerhetsjekk av resultatene. Den reduserte modellen er ikke lengere troverdig med tanke på kalibrering, da en forandring av parametere underveis i reduseringen også vil føre til endring i den allerede utførte kalibreringen. Ved redusering av modeller med slikt omfang bør gjøres med en kontinuerlig sammenligning av parametere, vannføring og overløpsmengde for modellene.

6.2 Tiltak for optimalisering av overløp

Med bakgrunn i analysen av kapasiteten i Solumtunnelen, viste det seg at tunnelen hadde noe ledig kapasitet under normale situasjoner. For regnhendelsen 2-års gjentaksintervall var det 31 % av tunnelen som ikke var utnyttet, mens det for 50-års + tillegg gjentaksintervall var den tunnelen ledige kapasitet på 13 %. Resterende gjentaksintervaller hadde en ledig kapasitet fra 14 til 16 %. Videre for Konnerudtunnelen viste resultatene at tunnelen hadde en ledig kapasitet og at fyllingsgraden for tunnelen var på opp mot 10 % når tunnelen var i bruk, selv under det kraftigste regntilfellet med 50-års + tillegg gjentaksintervall. Denne kapasiteten ble brukt videre som grunnlag for scenarioene.

Resultatene for overløp reduksjon ved Solumstrand Renseanlegg ved bruk av ledningsnett som fordrøyning viste seg å være et effektivt tiltak. Resultatene viser at effektivisering i bruk av Solumtunnelen og Konnerudtunnelen som fordrøyning kan ha stor påvirkning på overløpsdrift. Ved en normal situasjon er ikke Solumtunnelen helt utnyttet, noe som fører til at mye av avløpsvannet går direkte til renseanlegget og overløp, selv om tunnelen er regulert fra før. Ved bruk av regulering av vannstrømmen i scenario 1 kan man se en reduksjon i overløpsmengde på 82% for 2-års gjentaksintervall, samtidig bidrar ikke Solumtunnelen med mer enn 6% reduksjon for 50-års + tillegg gjentaksintervall. Dette sier noe om at tunnelen i seg selv ikke klarer å håndtere denne avløpsmengden om 100 år. For gjentaksintervallene 50-års gjentaksintervall og 2-års + tillegg gjentaksintervall kan man se en trend gjennom

simuleringen, da det er en tilnærmet likhet i overløpsmengde for begge gjentakintervallene, med en tilsvarende lik reduksjon på 26 %.

For scenario 2 er overløpsmengden redusert ytterligere ved bruk av Konnerudtunnelen og Solumtunnelen som fordrøyning. Resultatene viste for 2-års gjentakintervall ingen noe forandring i overløpsmengde for dette Scenario. Det viste seg at den regulerte utløpsvannføringen i Konnerudtunnelen var lik som normal situasjonen for dette gjentakintervallet, dermed ble resultatet likt som for scenario 1. Denne utløpsvannføringen kunne reguleres til en mindre regulertvannføring, men på grunn av tidsmessige grunner ble ikke dette gjort i denne oppgaven, da beregningene tok lang tid å simulere og er basert på prøve-og-feile metoden for å justere verdiene til reguleringen. For resterende gjentakintervaller har derimot reduksjonen økt. For en 50-års + tillegg gjentakintervall er det en økning på 47 % mellom scenario 1 og scenario 2. I dette scenarioet kan vi også se samme trend som i scenario 1 med en lik tilnærmet reduksjon mellom gjentakintervallet 50-års og 2-års + tillegg. Denne trenden tyder på at en nåtids 50 års regnhendelse er lik en 2 års regnhendelse om 100 år. Det kan bemerkes at for de kraftigste regnhendelsene så er fortsatt reduksjonen mindre enn for lavere regnhendelsene.

6.3 Kalibreringsanalysen

Analysen gjort for denne oppgaven tilsier at det er god sammenheng mellom målt og simulert data. Dette gir grunnlag for å si at modellen er godt kalibrert og at resultatene er til en viss grad til å stole på. Samtidig kan det også være faktorer som er med å påvirke resultatene i simuleringen. Det anbefales å gjøre en følsomhetsanalyse av modellen for å se hvilken parameter som betyr mest for de forhold som ønskes å simulere, da disse kan ha en utslagsgivende effekt på resultatet.

6.4 Feilkilder i modellen

Modellen har flere feilkilder som må tas hensyn til. Det ligger en feilkilde i modellering av gjentakintervallene for hele modellen. Gjentakintervallene er satt inn i delfelt slik at det regner like mye i hvert delfelt. Dette gir grunnlag for en overbelastning i ledningsnett på grunn av at det i virkeligheten ikke regner med lik intensitet over alle nedbørsfelt. De simulerte regnhendelsene skapte også problemer i innløpspunktene på hvert delfelt. Det viste seg at under simuleringen av de sterkeste regnhendelsene, klarte ikke innløpspunktene til noen delfelt å håndtere innløpsmengden av avrenningen i feltet. For at modellen skulle simulere måtte dimensjonen til ulike ledninger økes. Dette var typisk beboelsesområder der det brukes små ledningsdiameter. Feilen som modellen beskrev var en vannhøyde på over 10 meter som ikke kunne bestrides. Dette er en meget viktig feilkilde i selve ledningsnett. Denne metoden som modellen beskriver innløpspunkter på er en forenkling, da det i virkeligheten kun ikke er i et punkt avrenningen føres ned i avløpsnett, men gjennom flere.

I en modell av størrelsesorden som Solumstrand rensedistrikt er det vanskelig å finne eventuelle feil i avløpsnett. Det vil si feil knyttet til kotehøyder og beliggenhet av ledninger og kummer. Det er antatt at disse er riktig, men i hovedsak bør resultater av simuleringen brukes med omhu.

6.5 Andre feilkilder

Oppgaven bygger på grunnlag av regndata med klimatillegg. Dette klimatillegget er en teoretisk fremstilling av fremtidige hendelser av klimaendringer. Klimatillegget på 50% som er benyttet vil være for 100 år frem i tid. Her ligger det et grunnlag for feil da man ikke vet hvilken utviklingsbane verden vil ta 100 år frem i tid. Det vil da være gunstig å vurdere ledningsnett for varierende gjentaksintervaller med lavere klimatillegg. Det er viktig å husk at et klimatillegg på 50 % er den verste tenkelige situasjonen.

Gjentaksintervallene brukt i denne oppgaven er hentet fra IVF-kurven for Asker Kommune. Dette kan utgjøre et avvik i hvordan en enkel regnhendelse utgjør seg i Drammen.

Tiltaket om å bruke ledningsnett som fordrøyning kan være et avvik fra virkeligheten. Det har blitt tatt utgangspunkt i at modellen er i samsvar med realiteten. En feilkilde her kan være pumpestyringen som er satt i modellen i enden av Solumtunnelen for å simulere åpne-og stengeventiler som er i den virkelige tunnelen. Her ligger det grunnlag for at denne styringen i modellen er noe misvisende i forhold til hvordan den virkelige situasjonen er. En annen feilkilde er fyllingsgraden i tunnelen som i virkeligheten kan være annerledes enn selve modellen og bør derfor undersøkes.

6.6 Anbefalinger til videre arbeid

Når det kommer til den reduserte modellen kan det være gunstig å sammenligne flere parametere og eventuelt justere disse til riktige verdier. Det anbefales også å kalibrere modellen slik at vannføring kan sammenlignes mot virkelig vannføring. Ved en eventuell start på ny reduisering vil det anbefales å bruke en annen metode for sammenslåing av delfelt. En manuell innleggelse av verdier for konstant innlekkasje kan bidra til et bedre resultat enn hva som var tilfelle i denne oppgaven.

Videre anbefales det å kombinerer scenarioene gjort i denne oppgaven med LOD-tiltak. Det kan også være gunstig å gjøre en økonomisk analyse som tar for seg innsettelse av reguleringsventiler i begge tunnelstrekene for å se lønnsomheten i dette i forhold til tradisjonelle tiltak.

Det kan også anbefales å gjøre en vurdering med flere gjentaksintervaller med mindre klimatillegg for å se på situasjoner som ikke er så langt frem i tid som 100 år. Simuleringer med lengere tidsserier kan også være av interesse for videre arbeid.

7 Konklusjon

Med bakgrunn i klimaendringene vil Norge få store utfordringer tilknyttet overvann. I det kommende århundret vil økning av intensitet og nedbørmengde være et faktum på grunn av temperaturøkning, samtidig vil befolkningsvekst bidra til økt urbanisering som medfører til økning i tette flater og avrenningssituasjon. Denne situasjonen vil føre til overbelastning av avløpssystemer og bidra til økt overløpsutslipp til resipient.

Med tiltak som bruk av eksisterende ledningsnett til fordrøyning er det mulig å optimalisere overløp og redusere overløpsmengden ved renseanlegget. Bruk av fordrøyningsvolum i Solumtunnelen og Konnerudtunnelen gir et tiltak som kan bidra i tillegg til tradisjonelle LOD-tiltak. Fordrøyningsvolumet i Solumtunnelen har kapasitet til å fordrøye vannmengder for til å redusere overløpsmengde for dagens regnintensiteter, mens ved bruk av fordrøyningsvolum i Solumtunnelen og Konnerudtunnelen kombinert, vil disse bidra til en effektiv reduksjon av overløpsmengde også for regnintensiteter som kan forekomme i fremtiden.

Redusering av modellen for å effektivisere beregningstid er tidkrevende og bør gjøres med omhu. Reduseringsmetoden må gjøres ideelt for modellen, da det i løpet av reduksjonen kan føre til avvik i parametere og resultater. En slik modell må kalibreres og resultater bør sjekkes kontinuerlig opp mot den originale modellen. Det kan i skrivende stund ikke konkluderes med mer enn at et forsøk på å redusere modellen i denne oppgaven ikke var pålitelig nok og at det bør gjøres videre tester med den reduserte modellen.

Referanser

- Butler, D. & Davies, J. W. (2011). *Urban Drainage* 3rd utg.: Spon Press.
- DANVA. (2007). En kokebok for analyser af klimaændringers effekt på afløbssystemer – med fokus på oversvømmelser. *FORSKNINGS- OG UDREDNINGSPROJEKT 5*. 30 s.
- DHI. (2008a). MOUSE RDII Reference Manual.
- DHI. (2008b). MOUSE Runoff Reference Manual.
- DHI. (2009a). MOUSE Pipe flow Reference Manual.
- DHI. (2009b). MOUSE Short Introduction and Tutorial.
- Drammen kommune. (2010). Felles hovedplan for vannforsyning og avløp i Drammensregionen 2010- 2021. *En strategisk temaplan om helhetlig og bærekraftig vannressursforvaltning, 2010-2021*.
- eKlima. (2016). *Meteorologisk institutt: Meteorologisk institutt*. Tilgjengelig fra: eklima.met.no (lest 11.04.2016).
- GLOBE, W. V. (2009). ArcMap Tutorial 1.0.
- Hanssen-Bauer, Førland, Haddeland, Hisdal, Mayer, Nesje, Nilsen, Sandven, Sandø, Sorteberg, et al. (2015). Klima i Norge 2100. *Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015, 2/2015*. 204 s.
- IPCC. (2014). Climate Change. I: Pachauri K, R. & Meyer, L. (red.). *Synthesis Report, Contribution og Working Groups I, II, III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 151 s.
- Kommunal Teknikk. (2011). Vann og avløp: Terrenginngrep og skredfare. Tilgjengelig fra: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjTmdW215zMAhWINJoKHQkvDEwQFghBMAc&url=http%3A%2F%2Fwww.kommunalteknikk.no%2Fgetfile.php%2F1472683.896.wdqupfqrx%2F01og%2B02-2011.pdf%2F%3Fforce%3D1&usg=AFQjCNHXRhzcMztDLCMzi39H1eNYCP9yZA> (lest 20.04.2016).
- Lindholm, G. J. (2016a). *IVF-regn* (e-post til Geir J. Lindholm 31.03.2016).
- Lindholm, G. J. (2016b). Modelloppbygging, målinger og kalibrering for Solumstrand rensedistrikt. *Internrapport Rosim AS, Version 29*.
- Lindholm, O., Endersen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering *Norsk Vann BA*, 162. 79 s.

- Lindholm, O., Endresen, S., Tønder Smith, B. & Thorolfsson, S. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem. *Norsk Vann BA*, 193. 126 s.
- Lindholm, O. (2014). Håndtering av overvann. I: Ødegaard, H. (red.) *Vann- og avløpsteknikk*, s. 344-373: Norsk Vann.
- Lindholm, O. (2016). *Klimafaktor* (e-post til Oddvar Lindholm 06.04.2016).
- Meteorologisk Institutt. (2016a). *Hva er klima?* Tilgjengelig fra: http://met.no/Klima/Hva_er_klima+/ (lest 25.01.2016).
- Meteorologisk Institutt. (2016b). *Klimaet i Norge*. Tilgjengelig fra: http://met.no/Klima/Klima_i_Norge/ (lest 23.02.2016).
- Miljø- og Fludieteknikk AS. (2007). Regnvannsoveløp Valg av løsning og utforming. *VA/Miljøblad*.
- Miljødirektoratet. (2013). *Hva er de nye utviklingsbanene?* . I: Bjørnæs, C. (red.). Representative Concentration Pathways- utviklingsbaner. Tilgjengelig fra: <http://miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M32/M32.pdf> (lest 08.02.2016).
- Miljødirektoratet. (2015a). *Drivhuseffekten*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/drivhuseffekten/> (lest 23.01.2016).
- Miljødirektoratet. (2015b). *Klima i Norge 2100*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/klimainorge/klimainorge-2100/> (lest 02.02.2016).
- Miljødirektoratet. (2016a). *Klima i Norge*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/klimainorge/> (lest 25.01.2016).
- Miljødirektoratet. (2016b). *Temperaturøkning*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/temperaturokning> (lest 02.02.2016).
- Moriassi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, Vol- 50 (3): 885-900. 16 s.
- NVE. (2015). *Urbanhydrologi*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/vannstand-og-vannfoering/urbanhydrologi> (lest 09.05.2015).
- Om Regnbygge 3M*. (2014). Tilgjengelig fra: <http://web.rosim.no/regnbygge3m/index.php/om-regnbygge-3m/> (lest 12.01.2016).
- Regnbygge 3M. (2014). *Målsetning*. Tilgjengelig fra: <http://web.rosim.no/regnbygge3m/index.php/malsetning/> (lest 11.03.2016).
- Rosim, A. (2016). *Rosie Modellering av vann- og avløpsnett*. Tilgjengelig fra: <http://web.rosim.no/index.php/produkter-2/desktop/rosie/> (lest 11.03).

Statens forurensningstilsyn. (2008). Klimatilpasninger – Veiledning om mulige tiltak i avløpsanlegg.

Thorolfsson, S. T. (2014a). Oppsamling og transport av avløpsvann. I: Ødegaard, H. (red.) *Vann- og miljøteknikk*, s. 296-343: Norsk Vann.

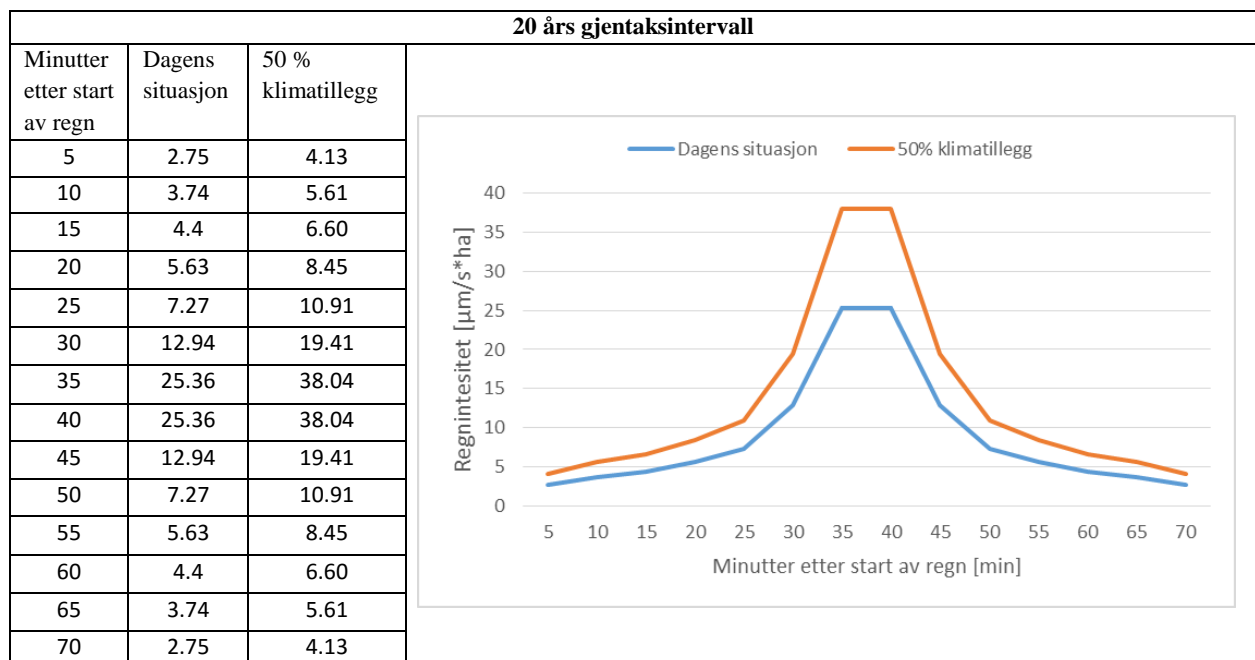
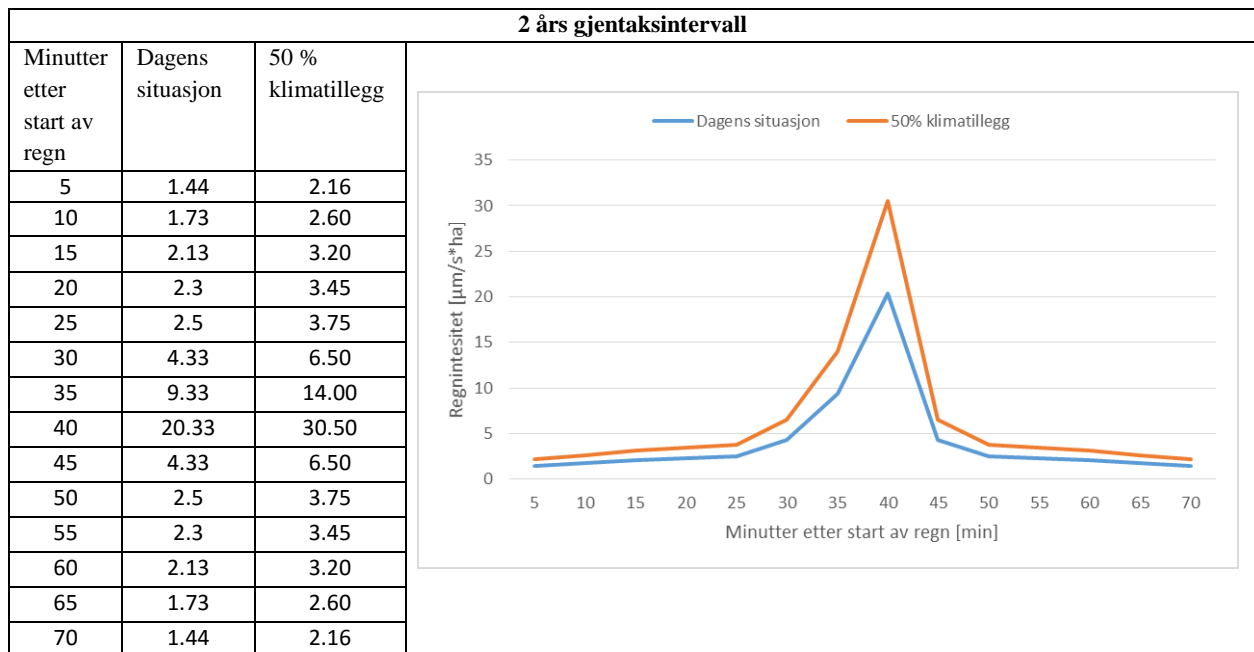
Thorolfsson, S. T. (2014b). VA-hydrologi. I: Ødegaard, H. (red.) *Vann- og avløpsteknikk*, s. 40-63: Norsk Vann.

University of Maryland, L. (2012). Introduction to GIS Using ArcGIS Desktop 10.

Vedeler, A. G. (2016). *Solumstrand Renseanlegg* (e-post til Alexander Vedeler 30.03.2016).

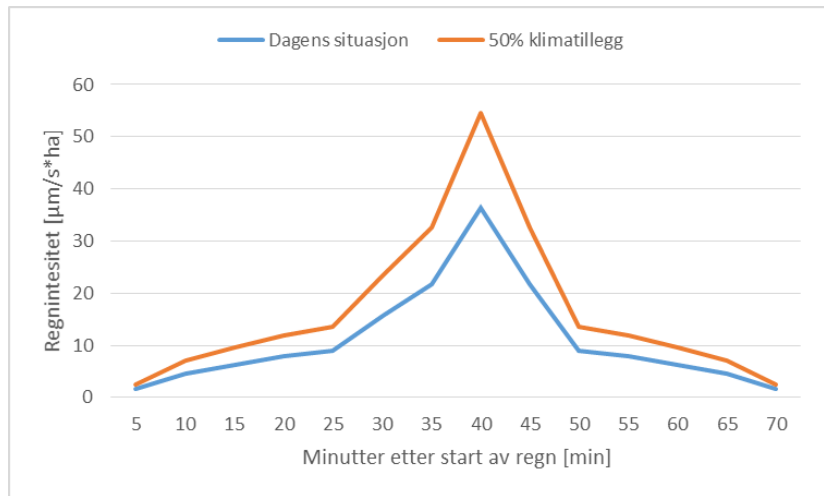
Vedlegg A

Konstruerte regnhyetogrammer.



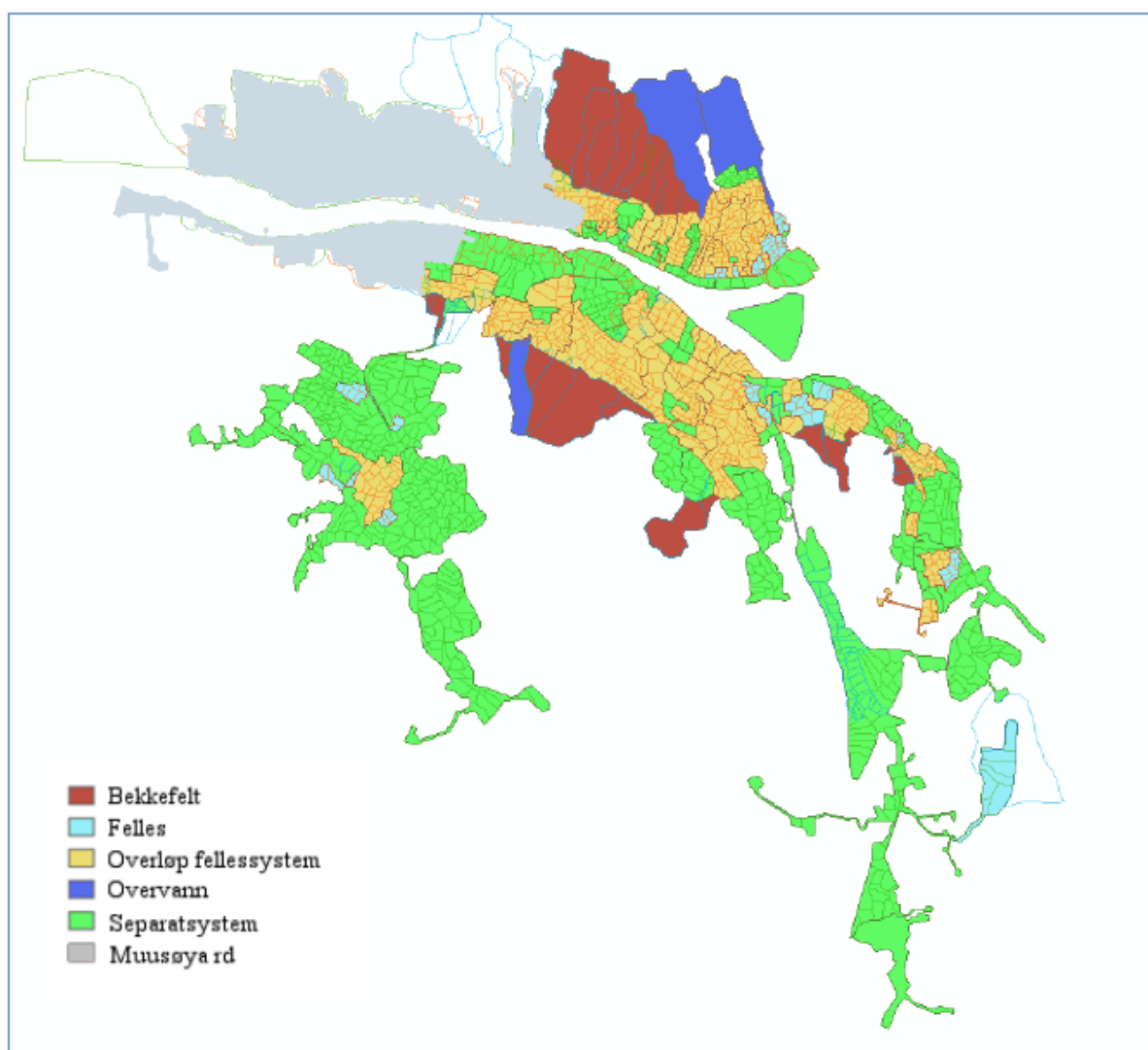
50 års gjentaksintervall

Minutter etter start av regn	Dagens situasjon	50 % klimatillegg
5	1.67	2.51
10	4.67	7.01
15	6.33	9.50
20	8.00	12.00
25	9.00	13.50
30	15.67	23.51
35	21.67	32.51
40	36.37	54.56
45	21.67	32.51
50	9.00	13.50
55	8.00	12.00
60	6.33	9.50
65	4.67	7.01
70	1.67	2.51



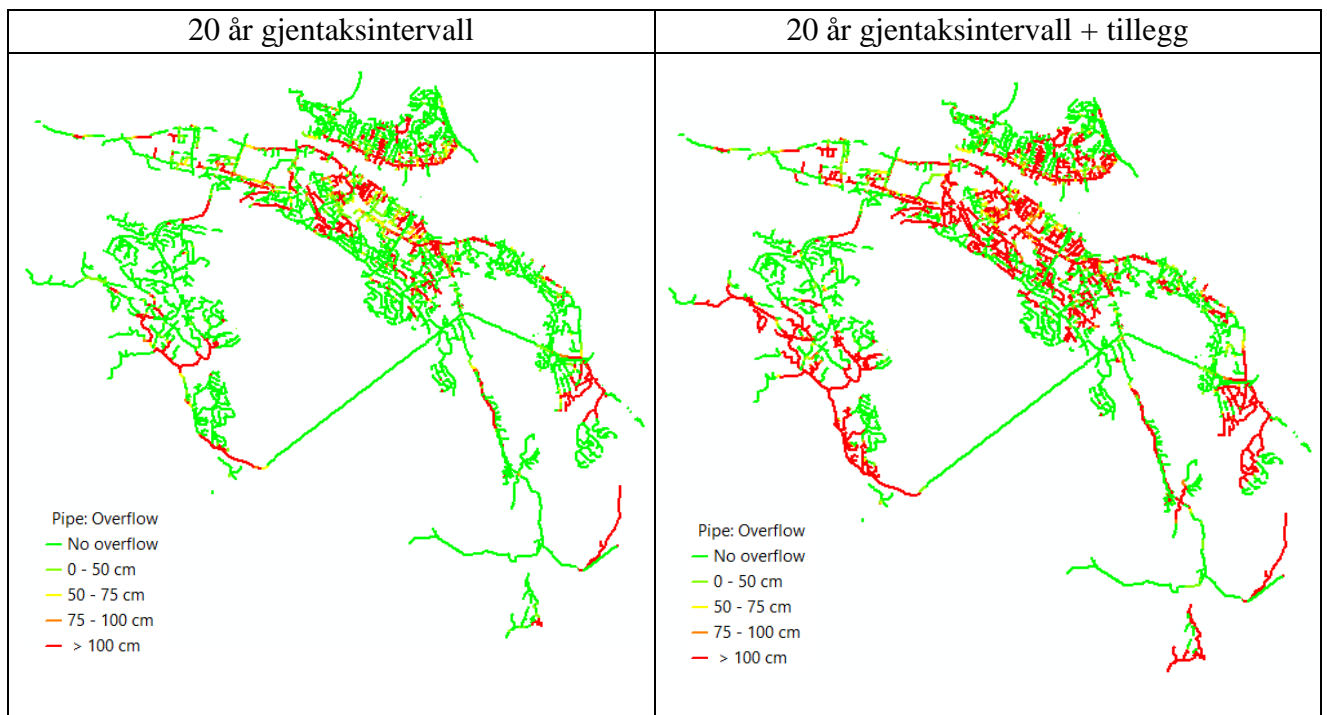
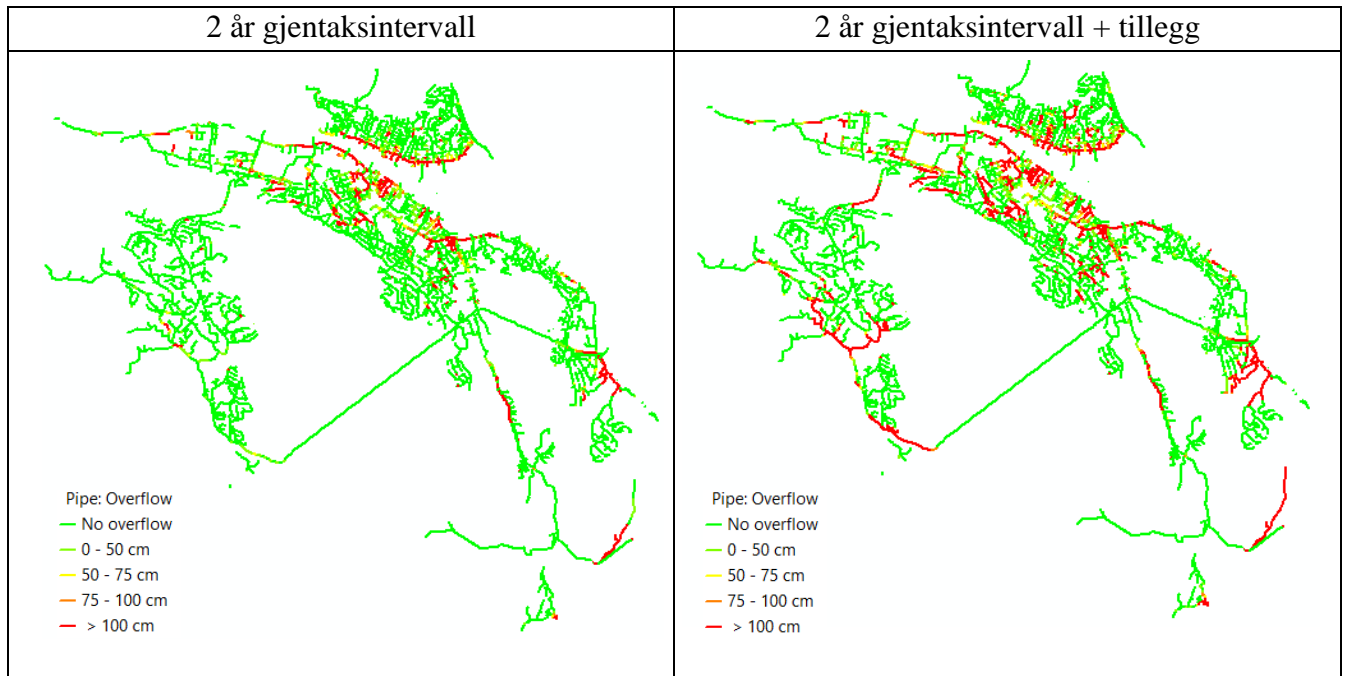
Vedlegg B

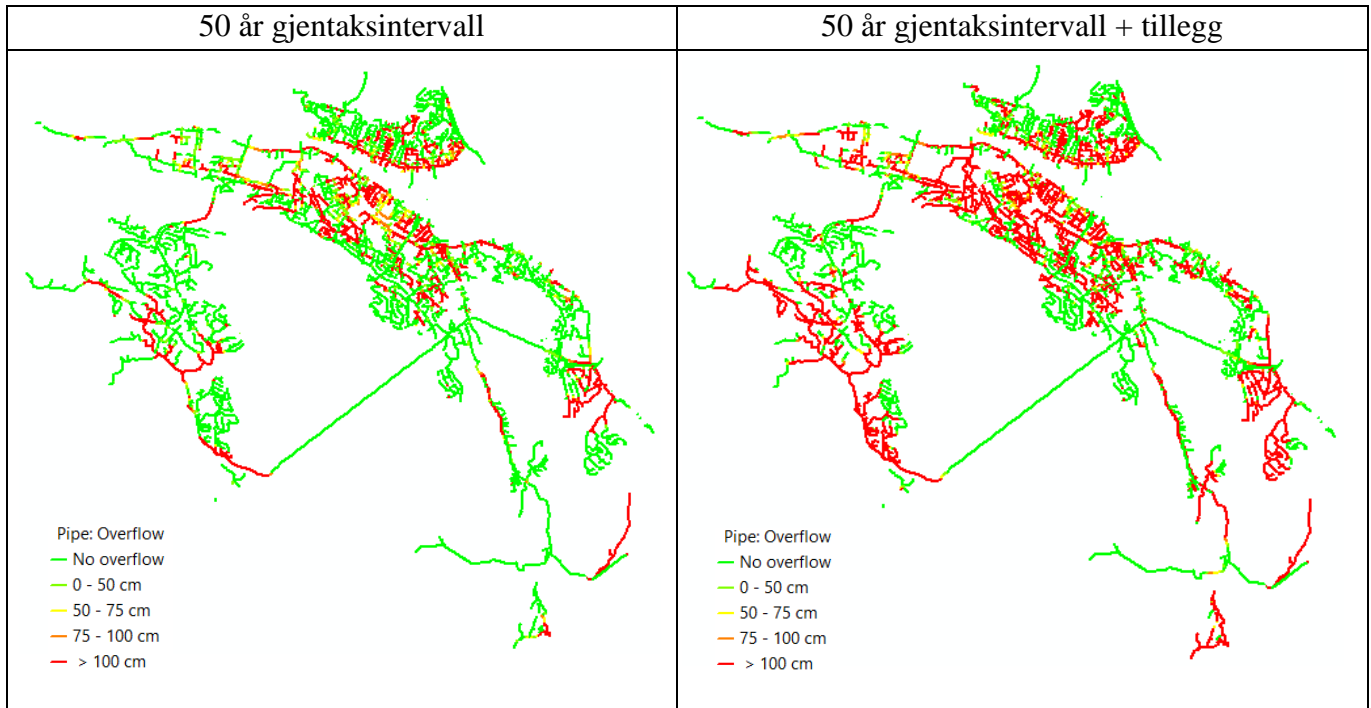
Oversikt over nedbørsfelt for Solumstrand rensedistrikt.



Vedlegg C

Figurene illustrerer overbelastning på avløpsnettet som følge av dagens regnhendelser og regnhendelser 100 år frem i tid.







Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway