

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Analyse av lønnsomhet for overvannstiltak - En casestudie av avløpsnettet ved Grefsen, Oslo kommune.

Profitability analysis for stormwater management
measures
- A case study of the wastewater network in
Grefsen, Oslo municipality.

Phan Åge Samyo Haugård
Master i Industriell Økonomi

Forord

Denne oppgaven er gjort i forbindelse med avsluttende mastergrad på studiet, Master i Industriell Økonomi, med fordypning i Vann- og miljøteknikk, ved Fakultet for realfag og teknologi på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås. Oppgaven er utført våren 2017, og tilsvarer 30 studiepoeng.

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, Avdeling for plan og prosjekt, seksjon utredning. Arbeidet er rettet mot klimaendringer og effektene disse har på avløpsnett. Det er sett på ulike metoder å imøtekomme fremtidens utfordringer, der det hydrauliske og det økonomiske aspektet ved ulike løsninger har blitt analysert ved hjelp av hydraulisk modellering.

Forfatteren vil gjerne rette en spesiell takk til hovedveileder, Oddvar Lindholm, som har gitt gode tips, råd, tilbakemeldinger og vært tilgjengelig under hele semesteret. Samtidig som han har vært en inspirasjon og gjort vannfaget meget interessant.

En takk rettes til VAV som har stilt PC, software, modell og kontorplass til rådighet. Med Julia Kvitsjøen som har vært kontaktpersonen hos VAV og ordnet med praktiske ting og korrekturlest oppgaven, retter jeg også en stor takk til henne. Takk til Samatar Abdi som har hjulpet til med modelleringsbiten av oppgaven og gitt forfatteren økt forståelse av modellering av avløpsnett. Takk til andre personer i VAV med Bent Braskerud, Bjørn Christoffersen, Olga Trubacheva, Per Ole Israelsen, Alexander Pham og Gard Reichborn som har vært tilgjengelige ved spørsmål fra forfatteren.

Takk til Geir Lindholm, fra Aqua Rosim, for hjelp med spørsmål hva angikk modellering og Vegard Nilsen, fra NMBU, som hjalp forfatter med metode av skadeomfang.

Takk til masterkollegaer fra NMBU, Marthe Ingebrigsten og Milna Mandusic, for et fint studentmiljø ved arbeidsplassen hos VAV.

Til slutt vil rette en takk til mamma, pappa og min forlovede – Urai Haugård, Iver Haugård og Thea Marie Jahren som har støttet meg gjennom studietiden.

Ås, 08.05.2017

Phan Åge Samyo Haugård

Sammendrag

Prognosen for befolkningsvekst i Oslo indikerer at innbyggerantallet skal stige med 200 000 personer, til 800 000 personer frem til år 2030. Med et stadig voksende befolkningstall og innflytting til byen, er følgende av dette en foretting av flater. Områder som tidligere var ubebygde og preget av naturlige omgivelser, blir til urbane og tettbebygde områder med økt andel av tette flater. Vannet vil ikke lenger renne sin naturlige vei på overflaten eller infiltrere i bakken, men renne av på de tette flatene og ned i sluk til avløpsnett. Med dagens nedbørshendelser ser vi stadig at det oppstår problemer med kapasiteten på avløpsnett, og som følge av det, oversvømmelser av kjellere, trafikale forsinkelser og skader på bygninger og infrastruktur med mer. Det blir ikke bedre med tiden, da vi kan forvente mer ekstremvær i tiden fremover. Store deler av avløpsnett i Oslo er ikke dimensjonert for dette, og skadene vil øke dersom det ikke iverksettes tiltak for overvannshåndtering.

I denne oppgaven er det blitt studert ulike overvannstiltak i et felt ved Akerselva, ved Grefsen i Oslo. Dette er et boligfelt der det har forekommet flere tilfeller av kjelleroversvømmelser, som følge av dårlig kapasitet på avløpsnett ved kraftige regnbyger. Det er et mål i Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten at ingen skal oppleve kjelleroversvømmelser ved et regn som forekommer 1 gang hvert 30ende år (30-årsregn). Med utgangspunkt i dette har oppgaven tatt for seg hvor omfattende ulike tiltak må være for å forhindre at kjelleroversvømmelser forekommer for en slik regnhendelse. I tillegg er det sett på hvor mye mer omfanget av tiltakene må være for å imøtekomme klimaendringene, da et 30-årsregn vi opplever i dag forventes å være kraftigere i fremtiden. Tiltakene som er vurdert er overvannsdam, takfrakobling av taknedløp med regnbed, oppdimensjonering av rør ved separering av overvann og tilbakeslagsventil i utsatte kjellere. Bruk av tiltakene studeres i første del av oppgaven, mens andre del består av en økonomisk vurdering av nytten. Som en støtte i beslutningen ble det kjørt en hydraulisk modell (ROSIE) for å illustrere hvordan overvannet beveger seg i avløpsnett ved sterk nedbør.

En økonomisk sammenligning ble gjort ved å finne lønnsomheten av å investere i de ulike tiltakene. Den økonomiske studien bestod i å sammenligne tiltakene ved en netto nåverdi-analyse. Ved å finne hva kostnadsbesparelsen var med tiltak, trukket i fra investerings- og driftskostnadene til tiltaket, fant man lønnsomheten. Avkastningen på hver krone brukt i tiltaket ble også studert, noe som ga et annerledes bilde på hvilke tiltak som er larest å gjennomføre.

Resultatene talte for åpne lokale løsninger. Tiltak som oppdimensjonering av rør ved separering av overvann eller installasjon av tilbakeslagsventiler var ikke like kostnadseffektive som det å håndtere vannet på overflaten. Lønnsomheten viste at det generelt var mest hensiktsmessig å dimensjonere for dagens 30-årsregn. Ved å gjøre dette fikk man mest igjen av pengene som var blitt brukt i tiltakene. For hver krone brukt i tiltakene kunne man få igjen alt fra 0,39 kroner til 131 kroner! For åpen overvannsdam var avkastningen 13 167 %, mens for takfrakobling med regnbed var avkastningen 2 120 %. Disse åpne tiltakene skilte seg klart ut, hva gjelder kostnadseffektivitet, ifra de andre tiltakene. Modellen som ble brukt var ikke kalibrert mot reell nedbør og avrenning, og kostnadsdata som er blitt benyttet kommer fra få kilder. Resultatene er derfor heftet av usikkerhet.

Resultatene fra denne oppgaven setter lys på type tekniske løsninger som burde bli prioritert i investeringsprosjekter med overvannshåndtering som formål. Overvannshåndtering er et problem i dag og vil være et enda større problem i fremtiden. Det er store kostnader forbundet med overvannsproblematikken. Ved å forebygge for overvannsskader, vil mye penger være spart og bekymringer om vannskade i innbyggernes boliger bli redusert.

Abstract

Population projections predict that Oslo's population will increase by 200 000 people up to a total of 800 000 people by the year 2030. With a steadily increasing population and immigration to the city, this will result in an increase in impervious surfaces. Areas which previously were undeveloped, with natural characteristics, are now becoming urbanised, densely populated areas with increased amounts of impervious surfaces. Rainfall runoff will no longer be able to drain naturally over surfaces or infiltrate into the ground, but will instead runoff over impervious surfaces and down through drains into the wastewater network. With today's rainfall events we are increasingly seeing problems arising with insufficient capacity in the network, resulting in flooding of basements, traffic delays and damage to buildings and infrastructure, amongst others. The situation will not improve with time, as we can expect more extreme rainfall events in the future. Large parts of Oslo's wastewater network are not dimensioned for these events, and the damages will only become more severe if no measures are taken to manage this stormwater.

In this thesis various stormwater management measures were studied in a catchment along Akerselva river, in Grefsen, Oslo. This is a residential area where there have been multiple incidents of basement flooding, due to insufficient capacity in the network during heavy rain showers. Oslo municipality, Vann- og avløpsetaten, have the goal that there should be no basement flooding due a rain event that occurs once every 30th year (30 year rain event). With this as a starting point, this study has looked at how extensive each of the various stormwater management measures must be in order to prevent basement floods from occurring during such a rain event. In addition, the study has looked at how much more extensive these measures would need to be to meet the challenges of climate change, as the 30 year floods that we experience today are expected to be more intense in the future. The measures studied are stormwater dams, connection of roof guttering directly to rainbeds, increased dimensions of stormwater pipes and installation of non-return valves in affected basements. The use of these measures are studied in the first part of the thesis, while the second part consists of an economic analysis of their benefits. To provide support for the decision, a model (ROSIE) was run which shows the movement of stormwater in the wastewater network during heavy rainfall.

An economic comparison was undertaken to assess the profitability of investing in the various measures. This economic study consists of comparing the measures using a Net present value

analysis. Through finding out the potential savings through use of the measures, subtracted from the investment and maintenance costs of the measures, the profitability was found. The return on each kronor invested was also studied, which gave a different picture of which measure would be best to use.

The results supported local, open solutions. Measures such as increasing the pipe dimensions or installing non-return valves were not as cost efficient as managing the stormwater on open surfaces. The profitability study showed that it was in general better to dimension for the today's 30 years rain event. Through doing so, you get the most value out of your money invested. For each kronor each in stormwater management measure one can get back anything from 0,39 kronor to 131 kronor! For open stormwater dams, the return on investment was 13 167 %, whereas for connecting roofs to rainbeds the return was 2 120 %. These open measures stood out clearly, in regards to cost effectiveness compared to the other measures. The model that was used was not calibrated against real rainfall and runoff data, and the price data that was used comes from only a few sources. Hence these results have an uncertainty margin.

The results from this these indicate which projects should be prioritised in investment projects aimed towards stormwater management. Stormwater management is a problem today and will be an even bigger problem in the future. There is a large cost involved in this stormwater problem. Through taking preventative measures against stormwater damage, a lot of money can be saved and concerns about water damage in residents' buildings will be reduced.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Figurliste.....	XIII
Tabelliste	XVII
Liste over forkortelser	XXI
Del 1: Innledning.....	1
1 Innledning.....	3
1.1 Problemstilling.....	4
1.2 Rapportstruktur.....	4
Del 2: Teori	5
2 Klima.....	7
2.1 Klimasystemet	7
2.2 Klimaendringer.....	8
2.3 Framskrivninger.....	9
2.3.1 Klimamodell.....	9
2.3.2 Framskrivning	10
2.3.3 Usikkerhet ved klimaframskrivningene	13
3 Urbanhydrologi	14
4 Avløpssystemet	17
4.1 Separatsystem og fellessystem	17
4.2 Dimensjoneringskriterier	19
5 Nedbørs- og avrenningsberegninger	22
5.1 Viktige parametere.....	22

5.1.1	Regn	22
5.1.2	Avrenningsfaktor, ϕ	25
5.1.3	Konsentrasjonstid, t_k	26
5.2	Rasjonelle metode.....	27
5.3	Hydraulisk modellering	27
5.3.1	MOUSE Runoff.....	28
5.3.2	MOUSE Pipe Flow.....	31
6	Klimatilpasset overvannshåndtering	33
6.1	Strategi.....	33
6.2	LOD-tiltak	35
6.3	Klimafaktor.....	38
7	Kostnader	40
7.1	Samfunnskostnader.....	40
7.2	Enhetskostnader på tiltak.....	42
Del 3: Casestudie.....		45
8	Overløp AK45 – Grefsen, Oslo kommune.....	47
8.1	Feltet	48
8.2	Avløpsnettet.....	50
9	Metode.....	52
9.1	Modell over AK45	52
9.1.1	Klargjøring av modell	52
9.1.2	Konstruksjon av regnhyetogram	54
9.1.3	Kjøring av modell.....	57
9.2	Metode for telling av antall kjelleroversvømmelser.....	58
9.3	Metode for simulering av klimatilpasningstiltak.....	59
9.3.1	Oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.....	60
9.3.2	Takfrakobling med regnbed	62

9.3.3	Fordrøyningsbasseng.....	64
9.3.4	Tilbakeslagsventil.....	69
9.4	Følsomhetsanalyse.....	69
9.5	Økonomisk analyse.....	70
9.5.1	Metode for beregning av antall kjelleroversvømmelser over 100 år.....	71
9.5.2	Nåverdimetoden	72
9.5.3	Beregning av totale skadekostnader med hensyn til stigende klimafaktor	74
9.5.4	Kostnader som er hensyntatt i analysen	75
9.5.5	Alternativ metode for skadeomfang over tid (Dansk metode).....	80
10	Resultater – Hydraulisk analyse	82
10.1	Dagens situasjon	82
10.2	Situasjon om 100 år	84
10.3	Oppdimensjonering av rør ved separering av overvann	86
10.3.1	For 30-årsregn	86
10.3.2	For 30-årsregn om 100 år	88
10.4	Fordrøyning.....	89
10.4.1	For 30-årsregn	89
10.4.2	For 30-årsregn om 100 år	91
10.5	Takfrakobling med regnbed.....	92
10.5.1	For 30-årsregn	92
10.5.2	For 30-årsregn om 100 år	94
10.6	Tilbakeslagsventil	95
10.6.1	For 30-årsregn	95
10.6.2	For 30-årsregn om 100 år	96
10.7	Sammenstilling av resultater for ulike tiltak	98
10.8	Følsomhetsanalyse	101
10.9	Overløpsresultater.....	103

11	Resultater – Økonomisk analyse	104
11.1	Nåverdi av skadekostnadene over 100 år med dagens avløpsnett uten tiltak	104
11.2	Oppdimensjonering av rør ved separering av overvann	105
11.2.1	For 30-årsregn	105
11.2.2	For 30-årsregn om 100 år	105
11.3	Fordrøyning.....	106
11.3.1	For 30-årsregn	106
11.3.2	For 30-årsregn om 100 år	107
11.4	Takfrakobling med regnbed	107
11.4.1	For 30-årsregn	107
11.4.2	For 30-årsregn om 100 år	108
11.5	Tilbakeslagsventil	109
11.5.1	For 30-årsregn	109
11.5.2	For 30-årsregn om 100 år	109
11.6	Sammenstilling av lønnsomhetsresultater for ulike tiltak.....	110
11.7	Alternativ metode for skadeomfang over tid (Dansk metode).....	113
Del 4:	Diskusjon og konklusjon	117
12	Diskusjon.....	119
12.1	Vurdering av benyttede metoder.....	119
12.1.1	Regndata.....	119
12.1.2	Usikkerhet i klimaframskrivningene	120
12.1.3	Bestemmelse av oversvømte kjellere	121
12.1.4	Takfrakobling med regnbed og fordrøyningstiltak	122
12.1.5	Skadekostnader over 100 år ved bruk av EAD	122
12.1.6	Usikkerhet i kostnadsbildet	124
12.2	Usikkerhet som følge av modell	125
12.2.1	Avløpsnettet	125

12.2.2	Kartdata	126
12.2.3	Delvis kalibrert	126
12.2.4	Følsomhetsanalyse	127
12.3	Vurdering av resultater.....	127
12.3.1	Hydrauliske resultater.....	128
12.3.2	Økonomiske resultater.....	128
13	Konklusjon	130
14	Personlige refleksjoner av oppgaven og videre arbeid.....	132
15	Kilder.....	135
	Vedlegg	i
	Vedlegg A - Regnhyetogram.....	iii
	Vedlegg B - Oppdimensjonering av rør ved separering av OV	v
	Vedlegg C - Fordrøyningsdata for delfelt	vi
	Vedlegg D – Data for følsomhetsanalyse	vii
	Vedlegg E – Antall kjelleroversvømmelser over 100 år	ix

Figurliste

Figur 2.1: Klimasystemets komponenter og deres interaksjon med hverandre (IPCC 2001)....	7
Figur 2.2: Energibalansen i atmosfæren og på kloden. Tall for energi er oppgitt i W/m^2 . Verdiene oppgitt er kun estimerte gjennomsnittlige globale verdier og gjelder ikke nødvendigvis for Norge (Kiehl and Trenberth 1997).....	8
Figur 2.3: Framskrivning for utslippsmengde av $GtCO_2$ per år fra 1950 og frem mot år 2100 for ulike RCP'er. Fargede felt ligger innenfor 5 % og 95 % persentilet og angir ulike scenario for partikkelkonsentrasjonen i luften i ppm (Pachauri et al. 2014).....	10
Figur 2.4: Framskrivning for forandring i temperatur ($^{\circ}C$) frem mot år 2100 for RCP2.6 og RCP8.5 relativt til perioden 1986-2005. Tall for hver av grafene angir gjennomsnittstemperaturen (Pachauri et al. 2014).....	11
Figur 2.5: a) Figuren viser avviket i temperatur ($^{\circ}C$) i forhold til perioden 1970-2000. Videre viser den utvikling av temperatur ($^{\circ}C$) i perioden 1900-2100 for Norge dersom utslippsscenario (RCP8.5) skulle inntreffe. Kurven viser medianverdien, mens arealet viser spredning mellom 10% og 90% persentilet. b) Tilsvarende vises det for Østlandet. (Norsk klimaservicesenter 2017b).....	12
Figur 2.6: a) Figuren viser verdier i avvik (%) i forhold til perioden 1970-2000. Videre vises utvikling av nedbør i Norge fra 1900-2100 for verst tenkelige utslippsscenario (RCP8.5). Grafen representerer medianverdien, mens arealet viser spredning mellom 10% og 90% persentilet. b) Tilsvarende vises det for Østlandet. (Norsk klimaservicesenter 2017b).....	13
Figur 3.1: Vannets hydrologiske kretsløp på jorden (USGS 2017).	14
Figur 3.2: Forskjell i avrenning under naturlige forhold og etter urbanisering (Aasen et al. 1994).....	16
Figur 4.1: Prinsippskisse for de ulike avløpssystemene. Øverste figur viser prinsippet for et fellessystem der overvann og spillvann går i samme rør. Ved overbelastning går vannet i overløp (CSO). Nederste figur viser prinsippet for separatsystemet, der overvann går til resipient, men spillvann går til renseanlegg (WTP) (Butler et al. 2004b).....	18
Figur 4.2: Samfunnsoptimalt gjentakintervall ved minimum totale kostnader (Lindholm 2015).....	20
Figur 5.1: IVF-kurver for et område i Trondheim i en logaritmisk skala. De ulike grafene representerer gjentakintervallet til regnhendelser. X-aksen er varigheten (konsentrasjonstid eller regnvarighet), y-aksen gir oss regnintensiteten (Ødegaard et al. 2013).....	23

Figur 5.2: Eksempel på et konstruert regnhyetogram som er symmetrisk om sin midtakse. Varighet på regnet er 60 min og den har en toppintensitet ved midten av regnforløpet. Intensiteten ved ulike tidspunkter igjennom regnforløpet er gitt ved y-aksen (Ødegaard et al. 2013).....	24
Figur 5.3: IVF-kurver som effekt av klimaendringer. På x-aksen er det representert gjentakintervall, mens på y-aksen er det regnintensitet.....	26
Figur 5.4: Form på ulike type felt. Rektangulær, divergent og konvergent, vist med konsentriske sirkler som deler feltene opp i celler. Grafene i koordinatsystemet nederst viser hvor stor del av feltet som bidrar til avrenningen, fra avrenningen begynner til den har nådd sitt maksimale punkt og alle punktene i feltet bidrar til avrenningen (DH1b).	30
Figur 5.5: Illustrasjon av simulering av avløpsnett med MOUSE Pipe Flow-modulen. (DH1c).	32
Figur 6.1: Treleddsstrategien: Fanger opp regnet og infiltrer, forsinker for større regn, og sikrer flomveier for enda større regn. Tallene på regnstørrelse må tilpasses lokalt (Lindholm et al. 2008).....	34
Figur 6.2: Figur til venstre viser hvordan overvannet håndteres ved treleddsstrategien, mens figuren til høyre viser den tradisjonelle løsningen der vannet skal føres til sluk og videre igjennom avløpsrør til resipient (Storemyr 2017).	35
Figur 8.1: Tilfeller av kjelleroppstuvinger i ved case-området.....	48
Figur 8.2: Feltets plassering i Oslo vist ved rødt areal.....	49
Figur 8.3: Infiltrasjonsevne for området som studeres (Norges geologiske undersøkelse 2017).	49
Figur 8.4: Avløpsnett i AK45-feltet.....	50
Figur 8.5: Diagram, avløpsnett i AK45-feltet.....	51
Figur 9.1: AK45-feltet for modellering.....	53
Figur 9.2: IVF-kurver fra nedbørstasjonen på Blindern. Regnvarighet på x-aksen (min) og akkumulert regnvolum på y-aksen(mm).	54
Figur 9.3: Regnhyetogram for 10-årsregn med varighet 60min og beregningssteg på 5min...	57
Figur 9.4: Oppdimensjonering av rør for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn uten klimafaktor. Aktuell(e) rør er vist med blå markering.	61
Figur 9.5: Oppdimensjonering av rør for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn med klimafaktor. Aktuell(e) rør er vist med blå markering.	62

Figur 9.6: Delfelt der takvann har blitt frakoblet fra avløpsnett, for en belastning tilsvarende 30-årsregn uten klimafaktor. Aktuell(e) delfelt er vist med blå markering av linjer for delfeltets grense.....	63
Figur 9.7: Delfelt der takvann har blitt frakoblet fra avløpsnett for en belastning tilsvarende 30-årsregn med klimafaktor. Aktuell(e) delfelt er vist med blå markering av linjer for delfeltens grenser.....	64
Figur 9.8: Grafisk illustrasjon av nødvendig fordrøyningsvolum for ett delfelt.....	66
Figur 9.9: Oversikt over delfelt det er gjort fordrøyningstiltak i, for en belastning tilsvarende 30-årsregn uten klimafaktor.	68
Figur 9.10: Oversikt over delfelt det er gjort fordrøyningstiltak i, for en belastning tilsvarende et 30-årsregn med klimafaktor.	69
Figur 9.11: To ledninger inn mot overløpet benyttes i følsomhetsanalysen; ledning 205019 til venstre og ledning 205023 til høyre.....	70
Figur 9.12: Gjennomsnittlig forventet årlig kjelleroversvømmelser gitt fremtidens klima med klimafaktor 1,5.	72
Figur 9.13: Prinsippet med økende skadekostnader som følge av økende klimafaktor.	75
Figur 9.14: Gjennomsnittlig skadekostnad for bygg i forhold til flomtype i Trondheim (NORVAR 2004).	76
Figur 9.15: Fiktivt eksempel på observerte skadeomkostninger for to byer under antakelse at 100 års hendelse har omkostningen 100.....	80
Figur 10.1: Potensielle kjelleroversvømmelser i dagens avløpsnett for gitte årsregn.....	83
Figur 10.2: Dagens avløpsnett belastet med 30-årsregn.	84
Figur 10.3: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for ulike årsregn i dag og om 100 år med dagens avløpsnett.	85
Figur 10.4: Dagens avløpsnett belastet med 30-årsregn om 100 år.	86
Figur 10.5: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.....	88
Figur 10.6: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.	89
Figur 10.7: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved fordrøyningstiltak.	91
Figur 10.8: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved fordrøyningstiltak.	92

Figur 10.9: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved takfrakobling med regnbed.....	93
Figur 10.10: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved takfrakobling med regnbed.....	95
Figur 10.11: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved installasjon av tilbakeslagsventiler.....	96
Figur 10.12: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved installasjon av tilbakeslagsventiler.....	97
Figur 10.13: Sammenstilling av ulike tiltak belastet med dagens årsregn, der tiltak er dimensjonert for et 30-årsregn.....	98
Figur 10.14: Sammenstilling av ulike tiltak belastet med årsregn om 100 år, der tiltak er dimensjonert for et 30-årsregn.....	99
Figur 10.15: Sammenstilling av ulike tiltak belastet med dagens årsregn, der tiltak er dimensjonert for et 30-årsregn om 100 år.....	100
Figur 10.16: Sammenstilling av ulike tiltak belastet med årsregn om 100 år, der tiltak er dimensjonert for et 30-årsregn om 100 år.....	101
Figur 10.17: Følsomhetsanalyse for ledning 205019.....	102
Figur 10.18: Følsomhetsanalyse for ledning 205023.....	102
Figur 11.1: Sammenstilling av lønnsomhetsresultater for ulike tiltak igjennom 100 år.....	111
Figur 11.2: Sammenstilling av avkastning per krone brukt i ulike tiltak igjennom 100 år....	112
Figur 11.3: Trendlinje for antall kjelleroversvømmelser ved ulike regns gjentakintervall. .	114
Figur 12.1: Hydrogrammer fra tre ulike nedbørsmålere plassert ved korte avstander mellom hverandre, for et og samme regnhendelse (Lindholm 2016a).....	120
Figur 12.2: Gjennomsnittlig forventet årlig kjelleroversvømmelser gitt fremtidens klima med klimafaktor 1,5.....	123
Figur 12.3: Gjennomsnittlig forventet årlig kjelleroversvømmelser gitt dagens klima.....	123
Figur 12.4: Svanke/motfall i avløpsledning.....	125
Figur 12.5: Ledninger og kum i luften over terrenget.....	125
Figur 12.6: Forskjell i takutforming i GIS og fra et satellittbilde.....	126
Figur A.1: Regnhyetogrammer for ulike årsregn med og uten klimafaktor med varighet på 60 min.....	iv
Figur E.1: Kurver for forventet gjennomsnittlig antall kjelleroversvømmelser hvert år for ulike tiltak.....	x

Figur E.2: Kurver for forventet gjennomsnittlig antall kjelleroversvømmelser hvert år for ulike tiltak.....	xii
---	-----

Tabelliste

Tabell 4.1: NORVARs anbefalte minimums dimensjonerende gjentaksintervall for separat- og felles-avløpssystem.	21
Tabell 5.1: Maksimale avrenningskoeffisienter for noe flater (Mays 2001).....	25
Tabell 6.1: Oversikt over enkelte LOD-tiltak med beskrivelse og deres fordeler og ulemper.	36
Tabell 6.2: Staten vegvesens veileder av klimafaktor.....	39
Tabell 7.1: Type skader og enhetskostnader forbundet med hver av dem, brukt i en samfunnsøkonomisk analyse for byområdene Roskilde og Aalborg (Arnbjerg-Nielsen et al. 2007).....	41
Tabell 8.1: Overløpsdata fra AK45 med tid i overløp (min) og antall overløpstilfeller fra 2011 til 2015 (Israelsen 2017).....	47
Tabell 9.1: Data fra IVF-kurve for et regn med 10års gjentaksintervall.....	56
Tabell 9.2: Forventet skade pr hendelse i forhold til en 100 års hendelse.	81
Tabell 10.1: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for ulike årsregn i dag.	83
Tabell 10.2: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for ulike årsregn i dag og om 100 år med dagens avløpsnett.	85
Tabell 10.3: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.....	87
Tabell 10.4: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.	89
Tabell 10.5: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved fordrøyningstiltak.	90
Tabell 10.6: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved fordrøyningstiltak.	92
Tabell 10.7: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved takfrakobling med regnbed.....	93
Tabell 10.8: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved takfrakobling med regnbed.....	94

Tabell 10.9: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved installasjon av tilbakeslagsventiler.	96
Tabell 10.10: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved installasjon av tilbakeslagsventiler.	97
Tabell 10.11: Overløpsdata, mengde [m ³] som går i overløp for ulike årsregn med og uten klimafaktor ved forskjellige tiltak på avløpsnettet.	103
Tabell 11.1: Nåverdiberegning av skadekostnader med dagens avløpsnett uten tiltak.	105
Tabell 11.2: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved oppdimensjonering av rør ved separering, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn.	105
Tabell 11.3: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved oppdimensjonering av rør ved separering, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.	106
Tabell 11.4: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved fordrøyning med åpen overvannsdam, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn.	106
Tabell 11.5: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved fordrøyning med åpen overvannsdam, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.	107
Tabell 11.6: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved takfrakobling med regnbed, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn.	108
Tabell 11.7: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved takfrakobling med regnbed, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.	108
Tabell 11.8: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved installasjon av tilbakeslagsventiler, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn.	109
Tabell 11.9: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved installasjon av tilbakeslagsventiler for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.	110
Tabell 11.10: Rangering av tiltak etter hvor lønnsomme de er relativt til hverandre.	111
Tabell 11.11: Rangering av tiltak etter relativ lønnsomhet i forhold til hverandre.	113
Tabell 11.12: Forventet antall kjelleroversvømmelser i Grefsen, for ni gjentakintervaller som er benyttet i den danske metoden.	115
Tabell A.1: Intensitetsverdier for symmetriske regnhyetogrammer. Verdiene har enhet mm/s.	iii
Tabell B.1: Oppdimensjonering ved separering av OV-ledning(er) for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn uten klimafaktor.	v
Tabell B.2: Oppdimensjonering ved separering av OV-ledning(er) for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn med klimafaktor.	v
Tabell C.1: Fordrøyningsdata for tiltak gjort for 30-årsregn uten klimafaktor.	vi

Tabell C.2: Fordrøyningsdata for tiltak gjort for 30-årsregn med klimafaktor.....	vi
Tabell D.1: Følsomhetsanalyse: data for ruhet og konsentrasjonstid.....	vii
Tabell D.2: Følsomhetsanalyse: data for gropmagasin og andel tette flater.....	viii
Tabell E.1: Antall kjelleroversvømmelser for ulike tiltak.....	ix
Tabell E.2: Antall kjelleroversvømmelser for ulike tiltak dividert med gjentaksintervall på regn opphøyd i to.....	ix
Tabell E.3: Beregning av gjennomsnittlig forventet antall kjelleroversvømmelse hvert år for ulike tiltak.....	ix
Tabell E.4: Antall kjelleroversvømmelser for ulike tiltak.....	xi
Tabell E.5: Antall kjelleroversvømmelser for ulike tiltak dividert med gjentaksintervall på regn opphøyd i to.....	xi
Tabell E.6: Beregning av gjennomsnittlig forventet antall kjelleroversvømmelse hvert år for ulike tiltak.....	xi

Liste over forkortelser

AF – Forkortelse for fellesledninger som frakter spillvann og overvann

AK45 – Navn på overløp i som definerer casefeltet i oppgaven

APP – Avdeling for plan og prosjekt

AR5 - Fifth Assessment Report

BGF - Blågrønn faktor

CSO - Combined Sewer Overflow

DHI - Danish Hydraulic Institute

EPANET - Environmental Protection Agency NET

ESRI - Environmental Systems Research Institute

FN - De Forente Nasjoner

FNO - Finans Norge

FR - Froude-tallet

GIS - Geographic Information System

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IT - Informasjonsteknologi

IVF - Intensitet, Varighet, Frekvens

KF - Klimafaktor

KPI – KonsumPrisIndeksen

KVU - Konseptvalgutredning

LOD/LOH - Lokal overvannsdiskonering/Lokal overvannshåndtering

MET - Meteorologisk institutt

MFT – Miljø- og Fluidteknikk AS

MOUSE - Model for Urban Sewers

NGU – Norges geologiske undersøkelse

NMBU - Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

NORVAR – Tidligere navn på Norsk Vann

NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat

OV - Forkortelse for overvannsledninger som frakter kun overvann

RCP - Representative Concentration Pathways

RDI – Rainfall Dependent Inflow

SSB – Statistisk sentralbyrå

SP - Forkortelse for spillvannsledninger som frakter kun spillvann

SWMM - Storm Water Management Model

USGS - U.S. Geological Survey

VA - Vann og Avløp

VASK - Vannskadestatistikk

VAV - Vann- og avløpsetaten

WTP - Water Treatment Plant

Del 1: Innledning

1 Innledning

I dag er klimaendringer et uttrykk forbundet med utfordringer. Vi observerer en forandring i klima, og det ventes at denne forverrer seg i tiden fremover. For Norge vil det blant annet si at vi vil få mer ekstremvær. Vi kan forvente kraftigere regnskyll som vil komme hyppigere enn det som først var antatt. Ved kraftigere og mer intensive regneepisoder, vil samfunnet ha utfordringer med å ta unna all vannet som regner ned i områdene. Store deler av dagens avløpsnett er ikke dimensjonert for å ta unna økende overvannsavrenning.

Spesielt i byer og tettsteder vil de største problemene vise seg. Med økende befolkningsvekst i byene er følgende av dette mer utbygging, som fører til større andel med tette impermeable flater. Med større andel tette flater, vil overvannet kunne bli et problem. Overvann er regnvann som renner på overflaten som følge av avrenning på flater. Overvann kan føre til skader på bygg, kjelleroppstuvning, skader i transportsektoren, transportforsinkelser, helse og natur- og miljøskader. Med disse problemene følger det også store kostnader.

Overvann er uønsket og det ønskes å fraktes vekk. Tradisjonelt har det vært vanlig å frakte overvannet til sluk i gatene for så å la det renne igjennom rør og ut til resipientene. Denne tradisjonelle måten å frakte overvannet vekk på er ikke lenger tilstrekkelig, så i tillegg til tradisjonelt ledningsnett må det også benyttes andre tiltak for å håndtere overvannet. Oslo kommune har vedtatt treledds overvannsstrategi som handler om å infiltrere, fordrøye og lede vannet vekk ved trygge flomveier. Dette handler om å benytte overvannet som en ressurs ved at det skal håndteres lokalt der overvannet oppstår, såkalt lokal overvannsdiskonering, LOD. Ved å benytte seg av LOD-tiltak vil ikke overvannet oppta kapasitet i avløpsnettet nedstrøms, og kapasitetsproblemene vil minke. Ved å legge til rette for å håndtere overvannet der det oppstår vil også skadelige flomsituasjoner kunne forhindres.

I denne oppgaven tas det for seg overvannsproblematikk i et nedbørsfelt til Akerselva i Oslo ved overløp AK45. Oslo kommune, VAV, har kartlagt dette feltet som høyt prioritert med tanke på flere tilfeller av kjelleroppstuvning i området og drift av overløp. Det vil gjøres en hydraulisk analyse av avløpsnettet i nedbørsfeltet for å sjekke kapasiteten og omfanget av tiltak som er nødvendig for at kjelleroppstuvning skal bli et mindre problem, også med tanke på fremtidens klimaendring. Oppgaven avgrenses for å se på problemet knyttet til kjelleroppstuvning og ikke overløpsdrift. Hydraulisk datamodell for avløpsnettet benyttes for tiltaksanalyse av feltet. Samtidig vil det ses på det økonomiske aspektet vedrørende

problemene som følge av kjelleroppstuvning og de ulike klimatilpasnings overvannstiltakene som benyttes i oppgaven.

1.1 Problemstilling

Oppgaven ønsker å besvare følgende problemstillinger knyttet til hydrauliske og økonomiske aspekter ved skadepotensiale, vedrørende kjelleroversvømmelser, og mottiltak for å dempe disse.

- Hvordan vil fremtidens klima påvirke kapasiteten i dagens avløpsnett med tanke på kjelleroppstuvning?
- Klarer tiltakene, alene, å tilfredsstille kravene om å forhindre kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn og for et 30-årsregn som kan forventes om 100 år?
- Er åpne LOD-tiltak å foretrekke fremfor konvensjonelle tiltak i ledningsnettet?
- Burde det dimensjoneres for å forhindre kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn eller et 30-årsregn som vil opptre om 100 år?
- Hvilke av mottiltakene for klimaendringer vil være mest kostnadseffektivt?

1.2 Rapportstruktur

I denne oppgaven skal problemstillingene besvares på best mulig måte, og strukturen på oppgaven er satt opp slik den synes å være mest hensiktsmessig for dette. Oppgaven består av totalt fire hoveddeler.

Oppgaven begynner med en innledende del der det settes lys på utfordringene knyttet til temaet. Samtidig vil det klargjøres hvilke problemstillinger som skal besvares ved oppgaven. I del to av oppgaven blir relevant teori fra ulike litteratur og kilder fremstilt og har som hensikt å underbygge det arbeidet som er gjort. Dette er for at forståelsen av oppgaven skal bli mer komplett. Ikke all teori er nødvendigvis brukt direkte i arbeidet og analysene, men er tatt med da forfatter mener det er viktig for en helhetlig forståelse av temaet og oppgaven. Del tre av oppgaven omfatter selve case-studiet som skal analyseres. Her vil det aktuelle området som skal analyseres bli presentert, metode og resultatene for de ulike analysene redegjort. I del fire vil resultatene bli diskutert i tillegg til en konklusjonsdel som skal besvare problemstillingene. Forslag til videre arbeid og personlig refleksjon over oppgaven vil også være med i siste del.

Del 2: Teori

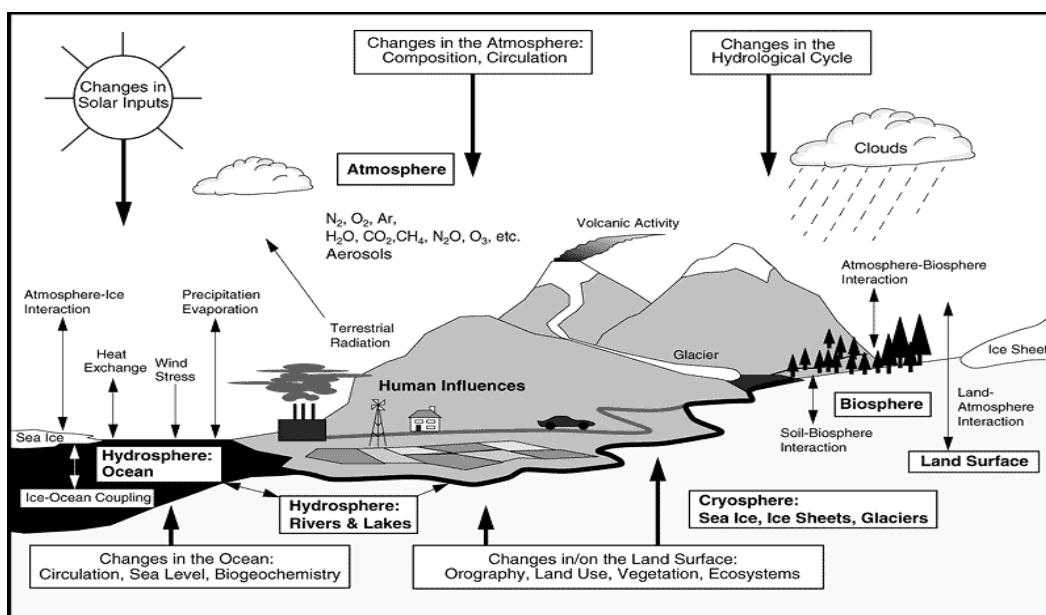
2 Klima

Klima er et begrep som er vanlig å høre om med tanke på fremtiden. Det er viktig å skille mellom vær og klima. Meteorologisk institutt (2017a), MET, definerer klima slikt: «Klima er en beskrivelse av gjennomsnittsværet på ett sted eller område, slik det framkommer når enkeltobservasjoner bearbeides statistisk etter internasjonale retningslinjer.» Vær kan altså sies å være enkelthendelser som kan variere i stor grad fra dag til dag, mens klima er gjennomsnittet av enkelthendelsene. Det er gjerne klima det tas hensyn til ved planlegging.

Slikt som været kan variere fra dag til dag, kan også klima variere, men over en lengre periode. Det opereres med normalperioder, når det er snakk om klima. En normalperiode er normale meteorologiske verdier over en 30 års periode. I dag er vi i en normalperiode som strekker seg fra 1991 – 2020 (Meteorologisk institutt 2017b). Disse normalverdiene brukes som referanseverdier som kan sammenlignes med normalverdier fra andre normalperioder.

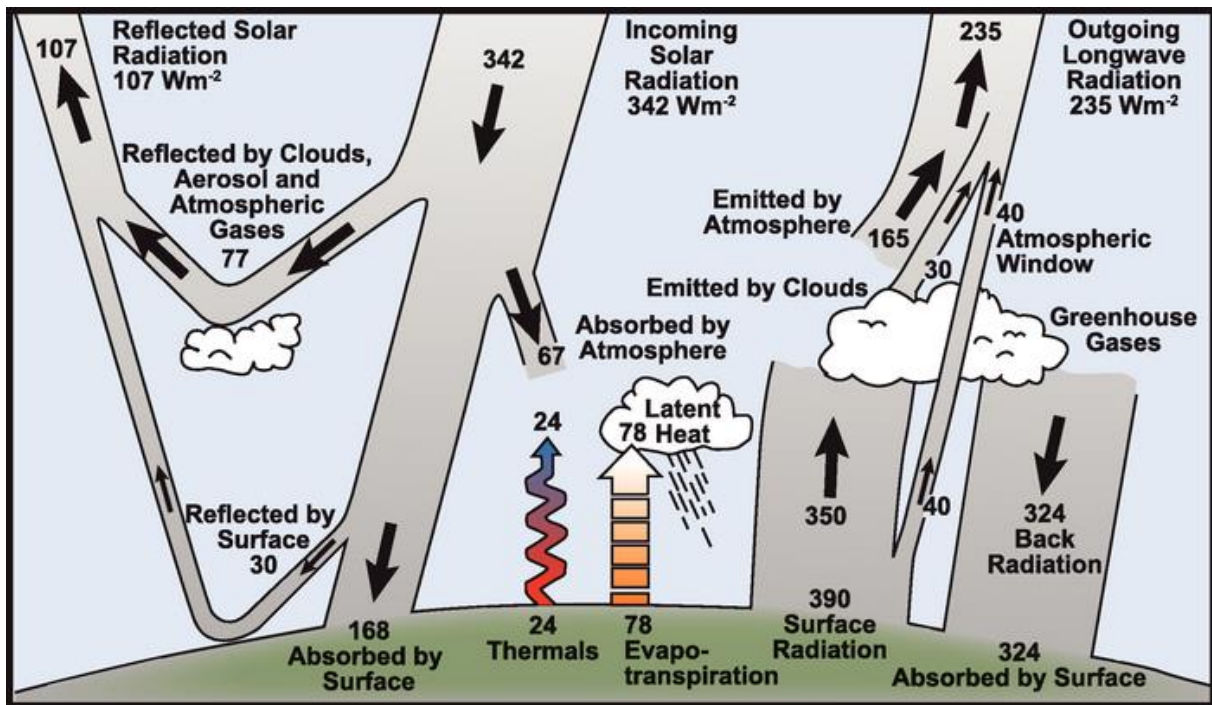
2.1 Klimasystemet

Klimasystemet på denne kloden består av flere komponenter. FNs klimapanel, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2017a), en organisasjon med oppgave å formidle status på klimaet vi har og hvilke forandringer i klimaet vi kan forvente oss, deler klimasystemet i fem deler. Inkludert i disse er luft, hav, sjø, elver, isbreer, snø, is, land og bioorganismer, som alle påvirker hverandre, figur 2.1.



Figur 2.1: Klimasystemets komponenter og deres interaksjon med hverandre (IPCC 2001).

Det er strålingsenergien fra solen som driver klimasystemet vårt. Strålingsenergien tilfører klimasystemet energi, og energi vil forsvinne ut igjen til verdensrommet. Samtidig vil strålingsenergien bli sendt ut av andre varmekilder, absorbert av objekter og reflektert i atmosfæren og på kloden, figur 2.2. Dersom energibalansen forandres, vil dette påvirke interaksjonene og prosessene til de ulike komponentene som klimasystemet består av. Som følge av dette kan det forventes klimaendringer.



Figur 2.2: Energibalansen i atmosfæren og på kloden. Tall for energi er oppgitt i W/m^2 . Verdiene oppgitt er kun estimerte gjennomsnittlige globale verdier og gjelder ikke nødvendigvis for Norge (Kiehl and Trenberth 1997).

2.2 Klimaendringer

I den senere tid har man sett en ekstrem forandring i klima. Tidligere har man antatt at dette har hatt med naturlige årsaker å gjøre, men senere har man ment at det er menneskelig aktivitet som er årsaken til forandringene (Hanssen-Bauer et al. 2015). Det hevdes at det er en korrelasjon mellom drivhusgasser og forandring i klima. Årsaken til det er at større konsentrasjon av drivhusgasser i atmosfæren vil slippe mindre energi ut i rommet, og mye av energien vil bli absorbert eller reflektert tilbake igjen til jorda. Dette fører til at mer energi kommer inn enn det som går ut av systemet og jorda vil stadig bli varmere (Braathen 2000). Tilhengere av at klimaendringene er menneskeskapt, mener da at drivhusgassene i atmosfæren er resultat av utslipp fra menneskelige aktiviteter.

IPCC har igjennom en av deres siste publikasjoner, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, som er første del av samlingen, The Fifth Assessment Report (AR5), rapportert om forandring i klimaet med en rekke indikatorer som de mener forklarer variasjonene godt (Cubasch et al. 2013). Blant noen av indikatorene som tyder på at det er en forandring i klima er at isbreene trekker seg tilbake, mindre is i de arktiske områdene, økning i kraftige regn, økning i havnivå, flere varme og mindre kalde dager og netter.

2.3 Framskrivninger

2.3.1 Klimamodell

For å predikere hvordan klimaet vil forandre seg i framtiden, har man prøvd å lage klimamodeller der man ønsker å beskrive prosesser og interaksjoner i klimasystemet. Dette gjøres basert på matematiske ligninger og ulike scenario med økt varmetilførsel fremover¹ (Hanssen-Bauer et al. 2015). Man mener det er «svært»² sannsynlig at klimagassene er den faktoren som forklarer størsteparten av variasjonen i temperatur og bidrar til global oppvarming (Flato et al. 2013). Så hvordan klimaet forandrer seg avhenger av tilstedeværelsen av klimagasser i atmosfæren.

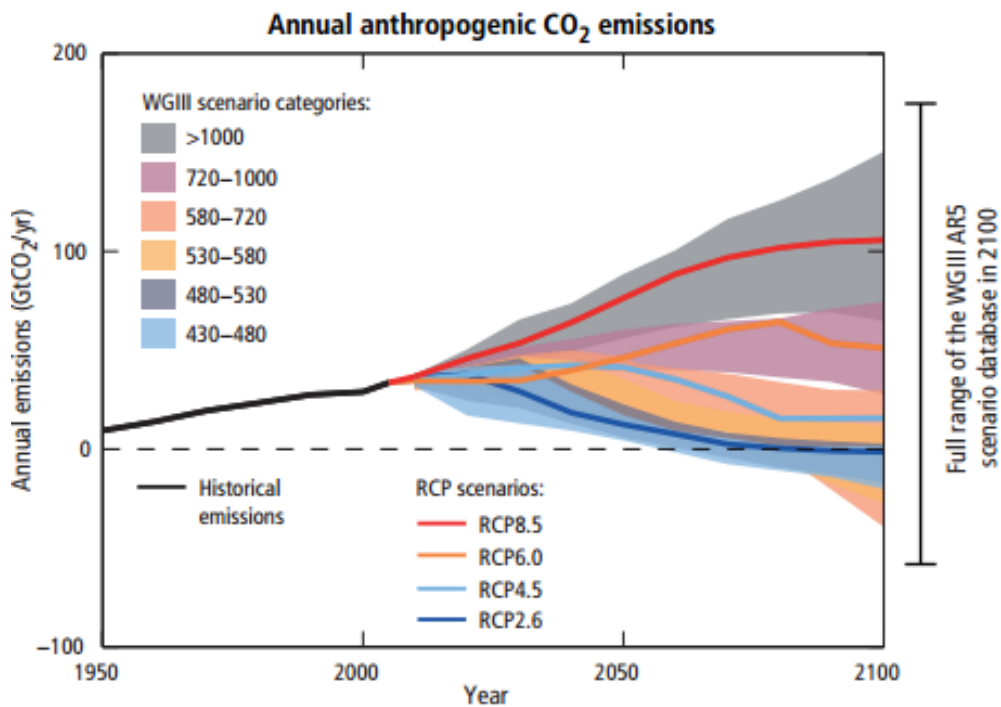
For ulike trender av utslippsscenarioer benyttes «Representative Concentration Pathways» (RCP). Ulike RCP-er kan for eksempel være RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5, der tallene representerer økt varmetilførsel i år 2100 i W/m^2 , i forhold til et referanseår i ca. 1765. RCP2.6 er et lavt utslippsscenario der dagens utslipp reduseres og innen 2080 har blitt redusert til null. For denne utvikling av klimagassutslipp, antas det ut ifra klimamodeller at temperaturen skal ha steget med mindre enn $2^{\circ}C$ ved slutten av dette århundre, i forhold til en periode mellom 1850-1900. RCP4.5 omfatter at det drives en god klimapolitikk globalt, og som følge av det er det estimert en temperaturøkning på ca. $2,5^{\circ}C$. Det siste scenarioet nevnt i avsnittet, RCP8.5, omfatter høye klimautslipp og at trenden fortsetter slik den har gjort i senere tid. Det innebærer at CO_2 -utslippet til atmosfæren tredobles i forhold til dagens utslipp. Resultatet av det vil ifølge klimamodellen gi en temperaturøkning på over $4^{\circ}C$ frem mot år 2100 (Hanssen-Bauer et al. 2015).

¹ Klimamodellene baserer seg på blant annet befolkningsvekst, klimapolitikk, økonomi, livsstil, energiforbruk, og teknologi.

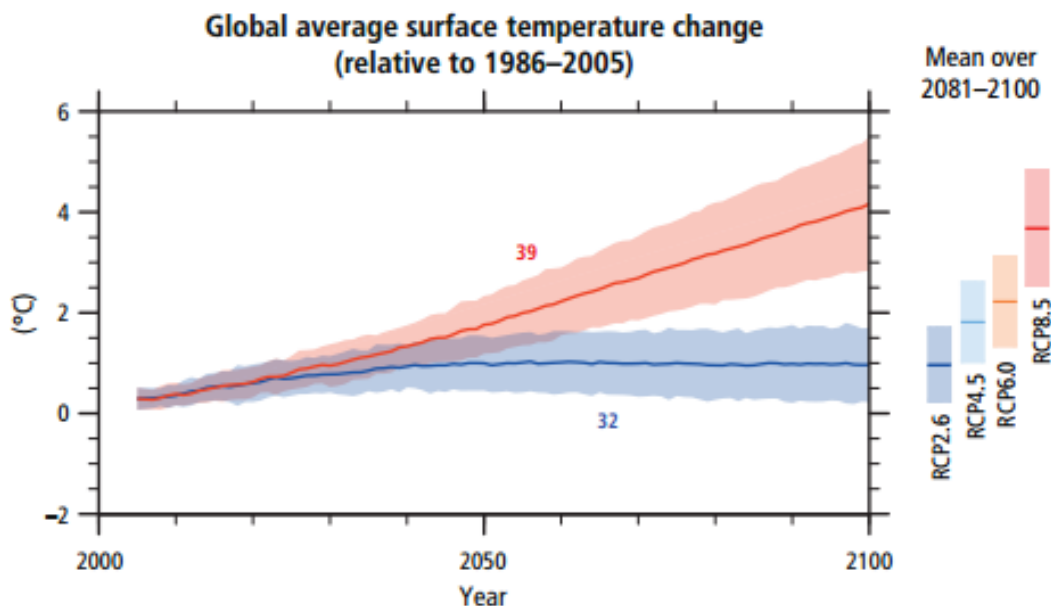
² Klimapanelets terminologi betegner «svært» sannsynlig en sannsynlighet på 95-100% (Hanssen-Bauer et al. 2015).

2.3.2 Framskrivning

I figur 2.3 og figur 2.4 nedenfor er det illustrert framskrivninger for økt klimagassutslipp (CO₂) og temperatur ved jordoverflaten for den globale gjennomsnittstemperaturen, begge avhengig av ulike RCPer. Vi kan se at det er en gjennomgående trend i økning av indikatorene, avhengig av CPR, men en økning kan vi uansett forvente oss. For den globale temperaturen på jorden kan den øke med mellom 0.3°C til 4.8°C, noe som vil påvirke de andre indikatorene.



Figur 2.3: Framskrivning for utslippsmengde av GtCO₂ per år fra 1950 og frem mot år 2100 for ulike RCPer. Fargede felt ligger innenfor 5 % og 95 % persentilet og angir ulike scenario for partikkelkonsentrasjonen i lufta i ppm (Pachauri et al. 2014).



Figur 2.4: Framskrivning for forandring i temperatur (°C) frem mot år 2100 for RCP2.6 og RCP8.5 relativt til perioden 1986-2005. Tall for hver av grafene angir gjennomsnittstemperaturen (Pachauri et al. 2014).

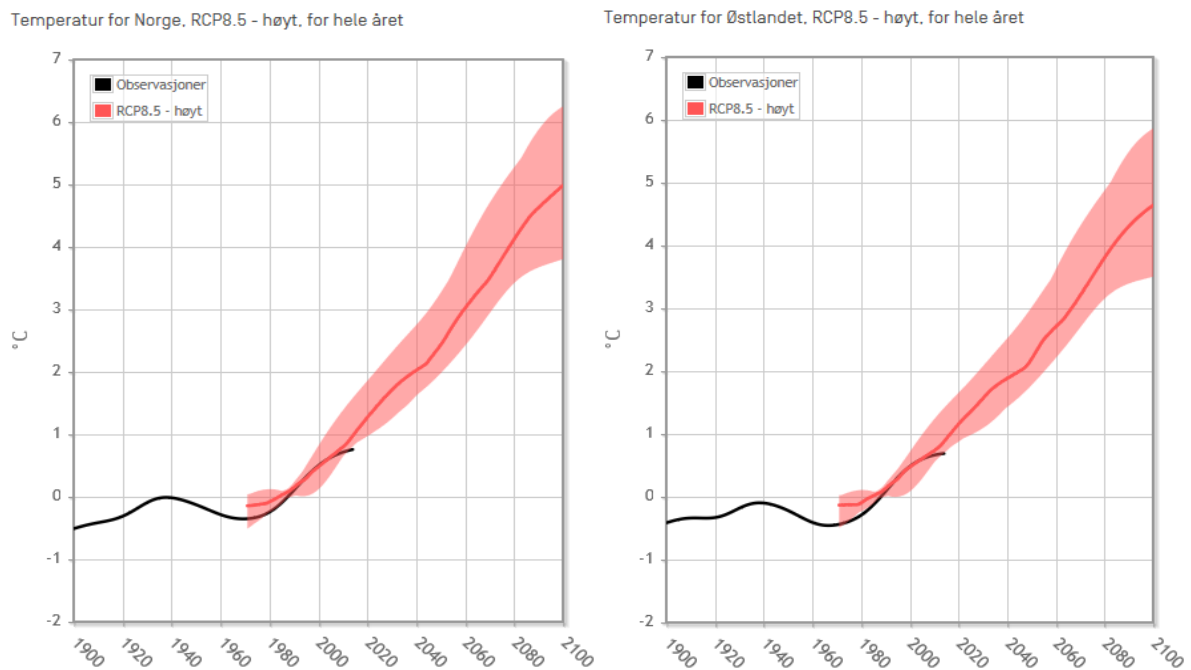
Trenden i klimaindiatorene for de globale framskrivninger, gjelder også lokalt for Norge. I Norge har det vært observert endringer i de hydrologiske prosessene og i temperatur, og de antas å fortsette å forandre seg. Norsk klimaservicesenter (2017a) gjengir hovedtrekkene i rapporten, Klima i Norge 2100.

- I løpet av de siste 115 årene har Norge i gjennomsnitt blitt ca. én grad varmere, og det regnes at økningen vil bli ytterligere ca. 4,5°C.
- Det regnes at nedbøren vil øke med over 18 % i forhold til år 1900, i tillegg til at vi vil oppleve økende antall styrtregneepisoder som blir kraftigere.
- Vannføringene vil også øke, som følges av mer nedbør i form av regn og ikke snø.
- Havnivået regner man også med vil øke mellom 15 cm og 55 cm avhengig av lokalitet.

Det som vil skape størst problemer for Norge i forbindelse med klimaendringene er endringen i nedbøren. Med økt hyppighet, større nedbørsmengder og flere kraftige regnskyll, vil det skape problemer med overvann- og flomhåndtering. Samtidig vil endring i havnivå skape

utfordringer (Norsk klimaservicesenter 2017a). Havnivåstigning³ i Norge er som sagt avhengig av lokalitet. I Oslo, som er området representativt for denne oppgaven, kan vi forvente en stigning på 20 cm med et sannsynlighetsintervall⁴ på – 10 cm – 50 cm. Dette er beregnede verdier for utslippsscenario RCP8.5. Tar man hensyn til at det er stormflo i tillegg, med et 200-års intervall, kan returnivået (over normal vannstand) bli 1,9 m høyere i Oslo (Simpson et al. 2015).

For lokale klimaframskrivninger i Norge og aktuell område (Østlandet), ser vi av figur 2.5 a,b og figur 2.6 a,b hvordan henholdsvis temperatur og nedbør vil forandre seg med tiden.

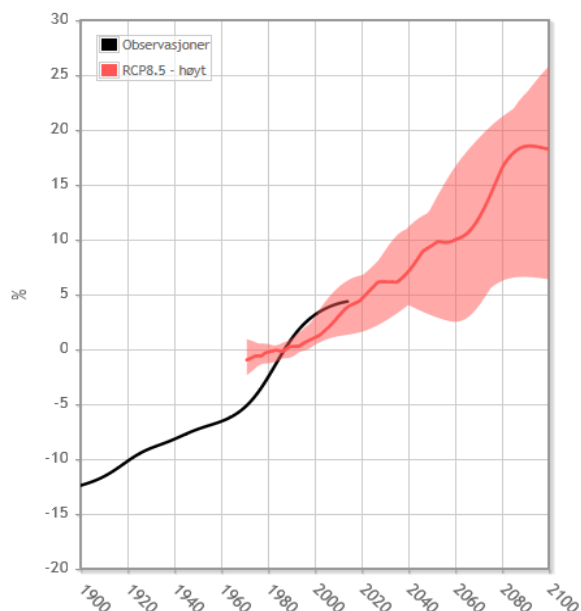


Figur 2.5: a) Figuren viser avviket i temperatur (°C) i forhold til perioden 1970-2000. Videre viser den utvikling av temperatur (°C) i perioden 1900-2100 for Norge dersom utslippsscenario (RCP8.5) skulle inntreffe. Kurven viser medianverdien, mens arealet viser spredning mellom 10% og 90% persentilet. b) Tilsvarende vises det for Østlandet. (Norsk klimaservicesenter 2017b).

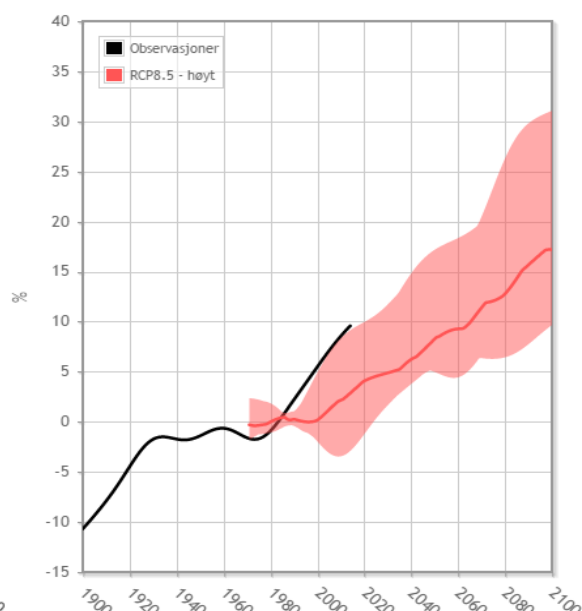
³ Hvor høyt vannstanden vil stå i forhold til en landreferanse avhenger også av landhevingen og ikke kun havnivåstigningen.

⁴ Sannsynlighetsintervallet er den samme som IPCC opererer med, mellom 5 % og 95 % persentilet.

Nedbør for Norge, RCP8.5 - høyt, for hele året



Nedbør for Østlandet, RCP8.5 - høyt, for hele året



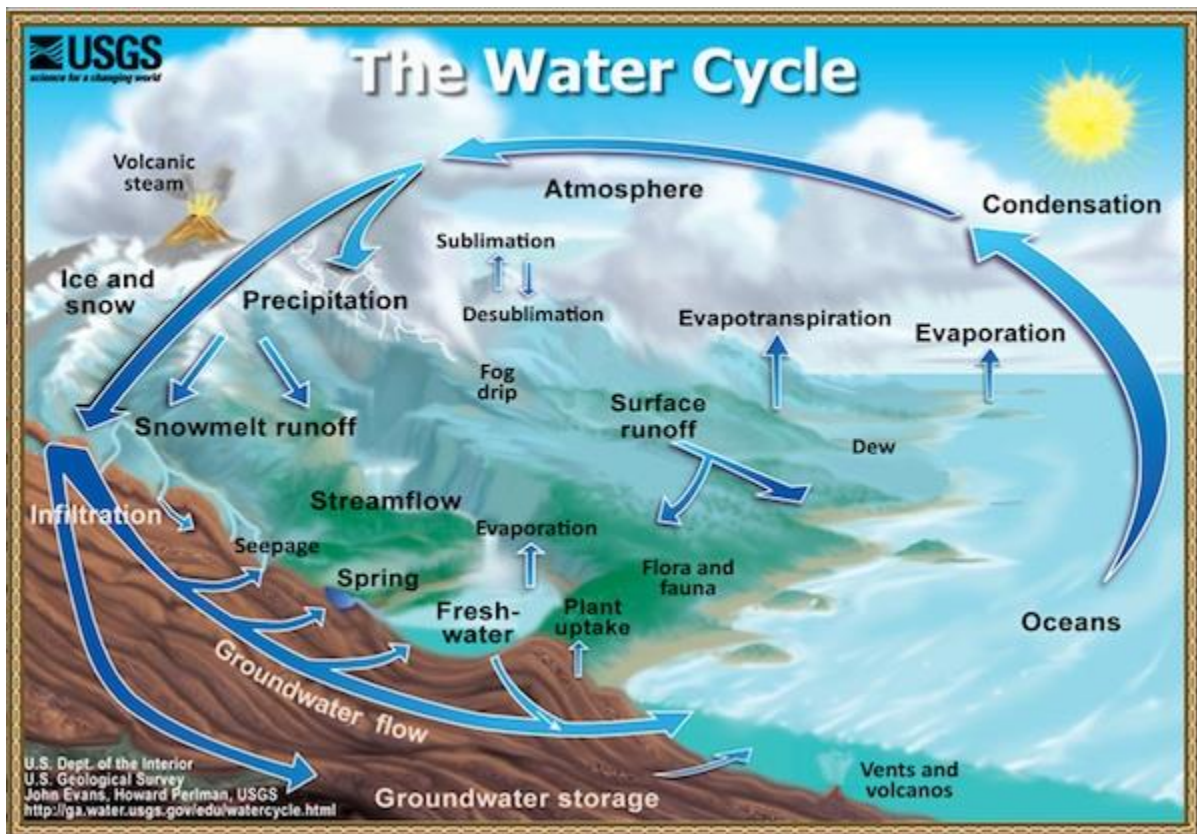
Figur 2.6: a) Figuren viser verdier i avvik (%) i forhold til perioden 1970-2000. Videre vises utvikling av nedbør i Norge fra 1900-2100 for verst tenkelige utslippsscenario (RCP8.5). Grafen representerer medianverdien, mens arealet viser spredning mellom 10% og 90% persentilet. b) Tilsvarende vises det for Østlandet. (Norsk klimaservicesenter 2017b).

2.3.3 Usikkerhet ved klimaframskrivningene

Det er viktig å ta høyde for usikkerheten ved framskrivning av klimaendringene. Den første usikkerheten er knyttet til fremtidige menneskelig utslipp av klimagasser, men analyser og beregninger av ulike scenarier tar hensyn til usikkerheten her. Den andre usikkerheten gjelder variasjon i naturlige klimapådrivere, da vi ikke kan forutse hva som skjer i naturen. Det kan for eksempel være uforutsette solaktiviteter. Den siste usikkerheten forekommer som følge av at det er tatt i bruk modeller for å beregne hva som eventuelt vil komme til å skje. Modeller er bare en forenkling av virkeligheten. Selv om man ved beste evne prøver å beskrive virkeligheten, vil man bare oppnå en tilnærming ved bruk av modell (Hanssen-Bauer et al. 2015).

3 Urbanhydrologi

NVE, Norges vassdrags- og energidirektorat (2017), definerer hydrologi slikt: «Det geofysiske faget som omhandler vannet på jorda, forekomsten, sirkulasjonen og fordelingen av dette, de kjemiske og fysiske egenskapene og reaksjonene med omgivelsene, inkludert relasjonen til levende organismer.». Hydrologien er altså læren om vannet og dens kretsloop. Vi kan grovt dele vannet opp i flere deler avhengig av hvor i kretsløpet den er. De ulike prosessene og hele kretsløpet er illustrert i figur 3.1.



Figur 3.1: Vannets hydrologiske kretsloop på jorden (USGS 2017).

For jordoverflaten som et system, kan vi grovt beskrive de hydrologiske prosessene på overflaten ved hjelp av vannbalanseligningen, formel 3-1.

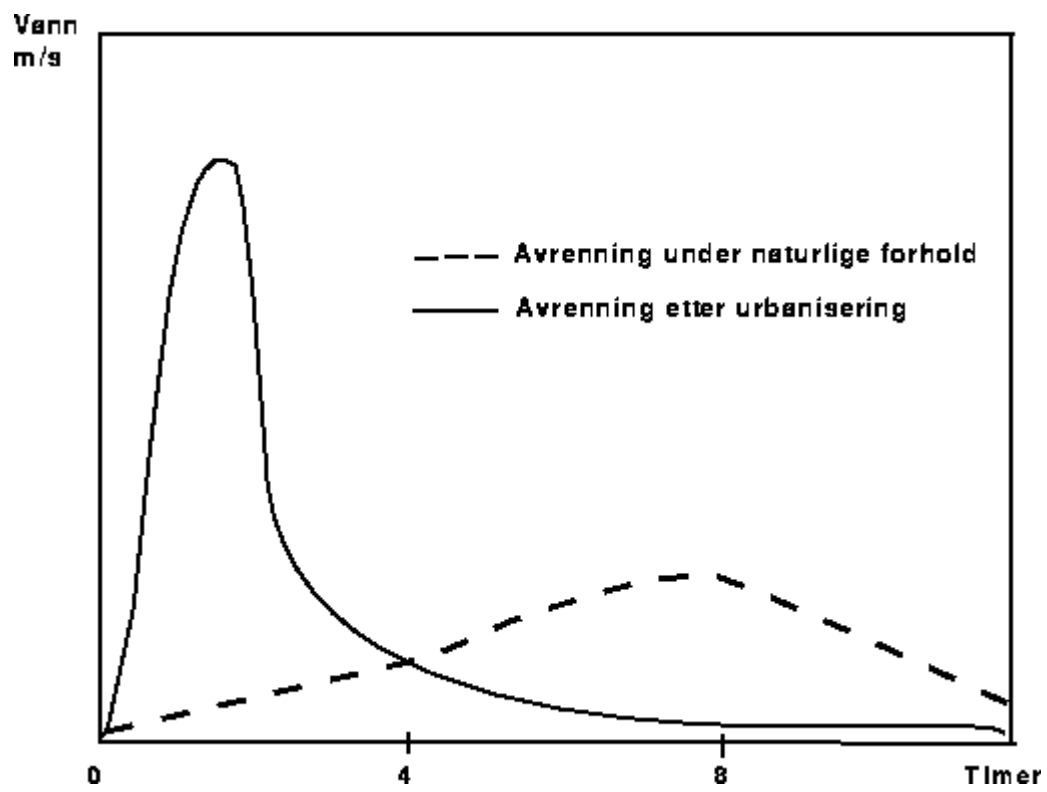
$$P = R + E + I + \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad 3-1$$

der	P	=	Regnintensitet	[L ³ /T]
	R	=	Avrenning	[L ³ /T]
	E	=	Evapotranspirasjon ⁵	[L ³ /T]
	I	=	Infiltrasjon	[L ³ /T]
	ΔS	=	Magasinvolum	[L ³]
	Δt	=	Tid	[T]

Vannbalanseligningen over forteller om hvor mye vann som kommer inn i systemet ved regn, hvor mye som går ut av systemet ved avrenning, infiltrasjon og evapotranspirasjon og hvor mye som blir lagret systemet ved magasinvolum. Alle ledd er gitt som volum per tid.

Ved urbanhydrologi snakker vi om vannets kretsløp ved bebygde strøk. Der vannets kretsløp tidligere hadde mulighet til å infiltrere ned i jorden, er nå kretsløpet preget av tette, impermeable flater. Resultatet av dette er at avrenningen på flaten blir større. Vannet renner i tillegg forttere på den tette overflaten enn på naturlig dekke, slik at konsentrasjonstiden (se avsnitt 5.1.3 for konsentrasjonstid) blir mindre ved et urbanisert område. Årsaken til det er at mer vann vil renne på overflaten, samtidig som en liten del av vannet vil bli holdt tilbake og fordrøyd. Ved urbanisering, vil det også normalt være mindre med vegetasjon. Vegetasjonen er med å holde vannet tilbake når det renner på overflaten. Trær og gresskledde flater, som i utgangspunktet var der, vil ikke kunne samle opp regnvann i bladene for senere å evapotranspirere. Redusert infiltrasjon og evapotranspirasjon, større andel tette impermeable flater og klimaendringer vil gi større og mer intensive avrenninger. Figur 3.2 illustrerer forskjellen i avrenning ved naturlige forhold i forhold til urbanisert område. Vi ser av figuren at grafen for naturlige forhold vil fordrøye regnvannet og skape en flatere topp i avrenningen. For det urbaniserte området vil avrenningen skje mye raskere og det vil oppstå en høyere og spissere topp. Det vil skape utfordringer for avløpssystemet i de urbaniserte områdene.

⁵ Evapotranspirasjon er en betegnelse for evaporasjon og transpirasjon. Evaporasjon er fordampning fra vannflater og våte, fuktige overflater, mens transpirasjon er fordampning av vann som befinner seg i spalteåpningene til planter (Hendriks 2010).



Figur 3.2: Forskjell i avrenning under naturlige forhold og etter urbanisering (Aasen et al. 1994)

4 Avløpssystemet

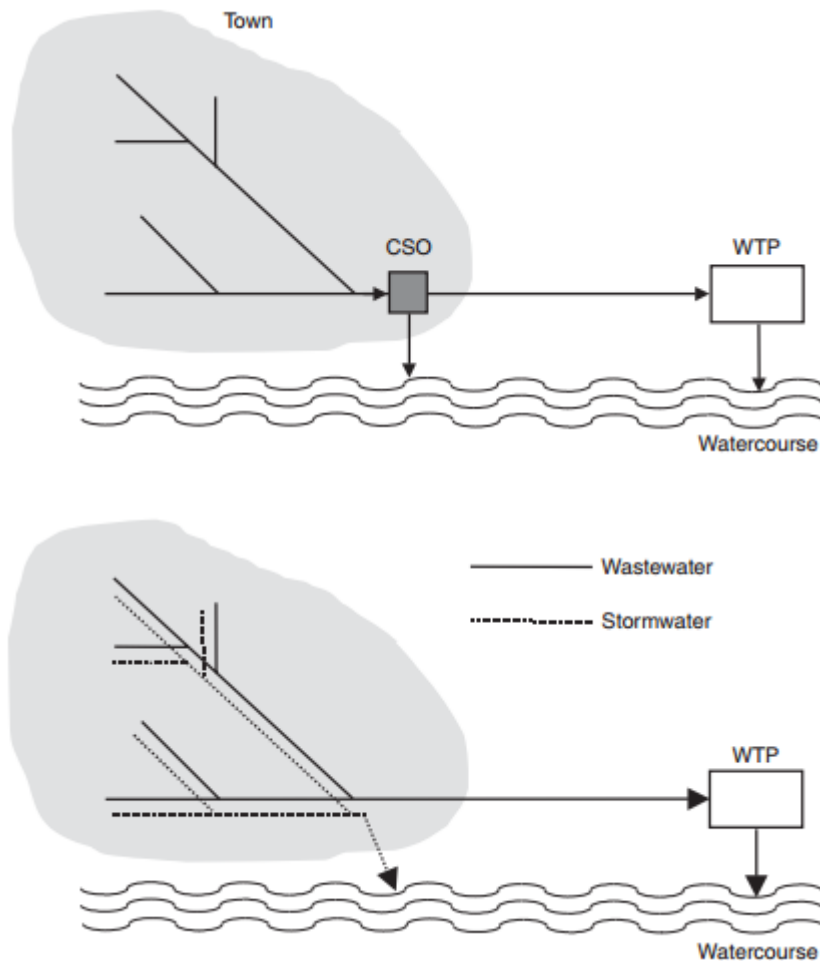
Avløpssystemet vårt kan bestå av spillvann, overvann, infiltrasjonsvann og nedbørvhengige innlekkingsvann (Ødegaard et al. 2012). Hovedhensikten med å ha et avløpssystem er for å hindre sykdom i de bebygde områdene (Butler et al. 2004a). For å frakte avløpssystemet bort fra uønskede områder, har det tradisjonelt vært vanlig å frakte det igjennom rørledninger til renseanlegg og ut til resipientene. Fellesledninger var det mest utbredte i byene, rør som frakter både spillvann og overvann. Separatledninger, som frakter kun spillvann, ble ikke innført før rundt 50- og 60-tallet i Oslo (Vann- og avløpsetaten 2013a).

4.1 Separatsystem og fellessystem

Det finnes to ulike hovedmetoder å frakte vannet bort i fra uønskede områder på, ved separatsystem og fellessystem.

Separatsystemet skal i utgangspunktet frakte spillvann fra forbrukere i spillvannsledninger og overvann i egne overvannsledninger separat. Hensikten med denne metoden er å skille mellom de to avløpsvanntypene da overvann er «rent⁶», mens spillvannet trenger mer omfattende rensing og må igjennom renseanlegg før den kan slippes ut i resipientene. Fellessystemet frakter som sagt både spillvann og overvann i samme ledning. Dette gjør at fortynnet spillvann blir fraktet til renseanleggene. I tillegg risikerer man å få en del av det fortynnede spillvannet sluppet rett ut i resipientene ved overløp, dersom kapasiteten på nettet ikke er god nok (Vann- og avløpsetaten 2013b). I figur 4.1 er det illustrert en prinsippskisse for hvordan de ulike avløpssystemene virker.

⁶ Med «rent» overvann menes overvann som ikke er tilstrekkelig forurenset. Eksempel på dette kan være vann fra taknedløp. Overvann som renner fra for eksempel veiarealer og næringsområder er i større grad forurenset og burde gjennomgå en rensing før utslipp til resipient.



Figur 4.1: Prinsippskisse for de ulike avløpssystemene. Øverste figur viser prinsippet for et fellessystem der overvann og spillvann går i samme rør. Ved overbelastning går vannet i overløp (CSO). Nederste figur viser prinsippet for separatsystemet, der overvann går til resipient, men spillvann går til renseanlegg (WTP) (Butler et al. 2004b).

Det som er felles ved begge avløpssystemene er at type vann som ledningene har som hensikt å føre, mest sannsynlig ikke bare frakter med seg dette. Vanninnholdet i rørene er preget av mye fremmedvann⁷ ved innlekking, infiltrasjon og feilkobling, og dette må tas hensyn til ved dimensjonering. Dette er uønsket vann som opptar noe av kapasiteten til ledningene.

Undersøkelse av forekomsten av fremmedvann gjort ved de 15 største avløpsrenseanleggene i Norge, viser at det i gjennomsnitt er 67 % av avløpsvannet som når renseanleggene er fremmedvann (Lindholm 2010).

⁷ Fremmedvann er en betegnelse for vann som i utgangspunktet ikke er tiltenkt å renne i avløpsrørene. Dette kan for eksempel komme av grunnvannsinnelekking, innlekking fra drikkevann.

Avløpsvannets sammensetning er ulik avhengig av hvilke avløpssystem vi har, se formel 4-1, 4-2 og 4-3, (Ødegaard et al. 2012).

- Fellessystemet : $Q_T = Q_s + Q_o + Q_i + Q_{ind}$ 4-1

- Separatsystemet

a. Spillvannledning : $Q_T = Q_s + Q_i + Q_{ind}$ 4-2

b. Overvannsledning : $Q_T = Q_o + Q_i$ 4-3

der	Q_T	=	Total vannmengde	$[L^3/T]$
	Q_s	=	Spillvann	$[L^3/T]$
	Q_o	=	Overvann	$[L^3/T]$
	Q_i	=	Infiltrasjons- og innlekkingsvann	$[L^3/T]$
	Q_{ind}	=	Industrielt avløpsvann	$[L^3/T]$

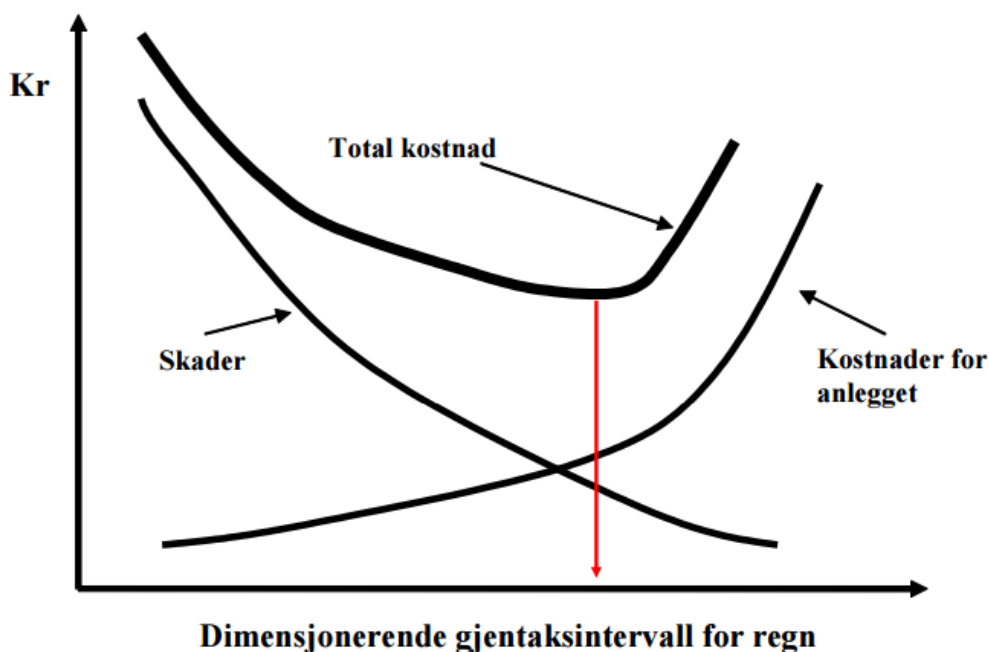
Her kan vi av formlene se at det er fellessystemet som vil få utfordringene med tanke på klimaet. Fellessystemet, som nevnt tidligere, frakter med seg overvann i rørene. Dette blir derimot fraktet i egen overvannsledning i separatsystemet. Man kan for så vidt ikke si at klimaet ikke har noen påvirkning på separatsystemene, for ved vått vær kan grunnvannstanden stå høyt og man kan få innlekking/infiltrasjon i spillvannsrørene. Sett bort i fra det, så er det ingen direkte virkning fra klima på spillvannsledningene i separatsystemet da overvannet ikke renner i spillvannsledningene.

4.2 Dimensjoneringskriterier

Når det skal dimensjoneres for et avløpssystem burde det være samfunnsøkonomiske vurderinger til grunn. «Den optimale dimensjoneringen vil være den som gir den laveste totale kostnad i løpet av anleggets levetid⁸, når alle kostnader og ulemper er medregnet» (Lindholm 2008). Gjentakintervallet⁹ som er samfunnsøkonomisk optimal, tar hensyn til investeringskostnadene til anlegget og driftskostnadene over dens levetid, samtidig som skadekostnadene også må legges til grunn, se figur 4.2.

⁸ Levetid for ledninger settes normalt til 100 år (Vann- og avløpsetaten 2013c). Andre anlegg kan ha lavere levetid, som regnbed, dammer, tilbakeslagsventiler.

⁹ Gjentakintervall er hvor ofte en hendelse i snitt opptrer over en lengre periode. En hendelse med 100-års gjentakintervall, kan vi forvente å opptre i snitt én gang hvert hundrede år over en lengre periode.



Figur 4.2: Samfunnsoptimalt gjentakintervall ved minimum totale kostnader (Lindholm 2015).

Skadekostnadene oppstår når avløpssystemet ikke er dimensjonert tilstrekkelig nok. Eksempler på slike typer kostnader kan være utrykning og skadebegrensning, opprydning, gjenoppbygging og erstatningsutbetalinger (Bygninger og infrastruktur, offentlig og privat) og forsinkelser i bil- og kollektivtrafikken (Samstad 2015). Disse kostnadene kan være vanskelige å beregne. Derfor er det utarbeidet noen retningslinjer for gjentakintervallet, avhengig av skadepotensialet ved bestemte typer områder. Der skadepotensialet er størst, blir også gjentakintervallet større. Se tabell 4.1 for anbefalte gjentakintervaller fra NORVAR (Norsk vann).

Er det muligheter for oppstuvning i spillvannsførende ledninger, bør det være minimum 90 cm i høydeforskjell mellom topp, innvendig rør av hovedledningen ved stikkledningens tilkoblingspunkt, og sluk i kjellergulvet (Lindholm et al. 2012). Oslo kommune, VAV, setter dimensjonerende krav om at det ikke skal forekomme noen kjelleroppstuvninger for et 30-årsregn. Det settes også krav til overløpet i avløpssystemet. Overløpet skal dimensjoneres etter et treårs gjentakintervall. Det vil si at overløpet helst skal være i drift maksimum én gang hvert tredje år (Abdi 2017a).

Tabell 4.1: NORVARs anbefalte minimums dimensjonerende gjentaksintervall for separat- og felles-avløpssystem.

Dimensjonerende regnskyllhyppighet * (1 i løpet av "n" år)	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet ** (1 i løpet av "n" år)
1 i løpet av 5	Områder med lavt skadepotensiale	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysenter/industriområder/forretningsstrøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 30	Undergrunnsbane/underganger/underjordiske næringsområder	1 i løpet av 50

* Ledningsnettets skal bare fylles til topp av rør ved dimensjonerende regnskyllhyppighet.

** Oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til kjellernivået. (90 cm over topp rør)

Når avløpsnettets skal dimensjoneres etter anbefalt gjentaksintervall, burde det også gjøres analyser i det aktuelle området ytterligere ved å ta i bruk modeller og simulere for flom og oppstuvning i rørene, for gitte regnhendelser. Metoder som kan benyttes er hydrologiske avrenningsmodeller eller manuelle beregninger (Lindholm et al. 2008).

5 Nedbørs- og avrenningsberegninger

Som nevnt ovenfor, bør man benytte seg av beregningsmetoder i tillegg til å dimensjonere for aktuell gjentakintervall, for å virke som et supplement. Man kan enten benytte seg av manuell beregningsmetode, eller man kan ta i bruk mer omfattende dataprogrammer.

Nedenfor angis to ulike metoder for å beregne nedbørvhengig avrenning etter at sentrale parametere er presentert.

5.1 Viktige parametere

For nedbørvhengig avrenning er det noen sentrale parametere som må presenteres.

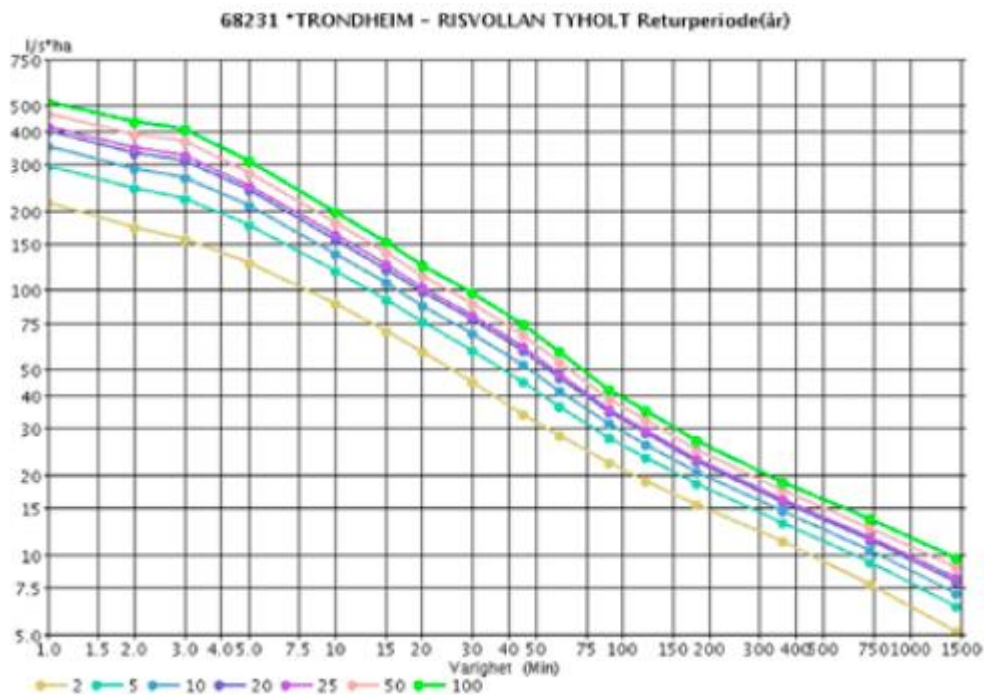
Avrenningen er forårsaket av nedbør, men andre parametere er også med å bestemme størrelsen på avrenningen. Når en nedbørshendelse finner sted, vil ikke alt renne av på overflaten. Størrelsen på avrenning avhenger hovedsakelig av regnintensitet, infiltrasjon til grunnen, størrelse på feltet, konsentrasjonstiden til feltet og helning på terrenget i feltet.

5.1.1 Regn

I Norge er det i snitt 1 500 mm¹⁰ nedbør i året. De mest nedbørrike områdene finner vi på Vestlandet, hvor det normalt er å registrere 4 000 mm nedbør i året. Østlandet kan sies å være av de nedbørfattige områdene, der det normale årsnedbøret ligger på under 400 mm. Det er plassert 500 pluviografer rundt i landet som registrerer nedbør, i tillegg finnes det en del private målestasjoner (Norges vassdrags- og energidirektorat 2010).

Nedbørsmålingene legger grunnlag for nedbørsdata som videre kan brukes i avrenningsanalysene. IVF-kurver utarbeides, basert på målingene, og gir ulike kurver for gitte gjentakintervaller. Ved gitte gjentakintervaller på IVF-kurvene, kan man ved å gå inn med konsentrasjonstid (se avsnitt 5.1.3) finne hva regnintensiteten er (Ødegaard et al. 2013). Figur 5.1 viser et eksempel på IVF-kurver for et bestemt område.

¹⁰ 1 mm nedbør over et areal på 1000 m² tilsvarer en vannmengde på 1 m³ eller 1000 l.

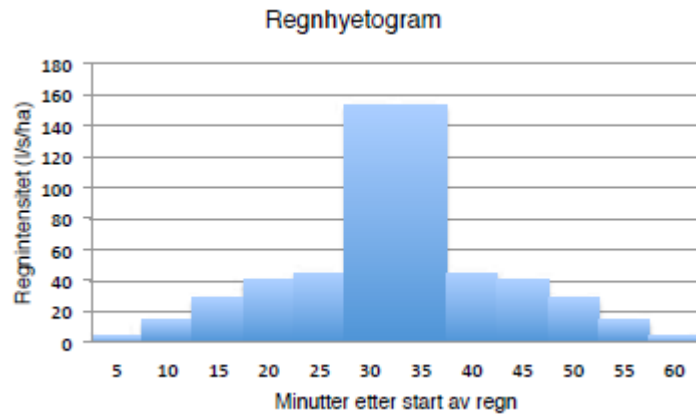


Figur 5.1: IVF-kurver for et område i Trondheim i en logaritmisk skala. De ulike grafene representerer gjentakelsesintervallet til regnhendelser. X-aksen er varigheten (konsentrasjonstid eller regnvarighet), y-aksen gir oss regnintensiteten (Ødegaard et al. 2013).

Mulig anvendelse av regnintensiteten ved IVF-kurve kan brukes direkte i den rasjonelle formel (se avsnitt 5.2, formel 5-2). Ved en slik anvendelse antar man at regnet er i form av et kassereg¹¹. Sjeldent har et regn konstant intensitet. Ved regn som er så sterke at de er dimensjonerende, omdannes heller en IVF-kurve til et symmetrisk regnhyetogram (Ødegaard et al. 2013).

Eksempel på et symmetrisk regnhyetogram er vist i figur 5.2. Lindholm og Aune (1978) publiserte en artikkel for Norsk Vannforening, «Konstruksjon og bruk av nedbørhyetogrammer», hvor de utviklet en metode for konstruksjon av regnhyetogram. Regnhyetogrammet viser intensiteten for et regn med et bestemt gjentakelsesintervall, over hele regnforløpet fra start til slutt. Vi ser av figuren at regnet starter med en lav intensitet i starten og øker fram til regnet er halvveis ute i regnforløpet. Den når et toppunkt før den avtar symmetrisk om sin midtakse.

¹¹ Ved kassereg¹¹ antas det at regnintensiteten er konstant over hele regnforløpet i beregningen.



Figur 5.2: Eksempel på et konstruert regnhyetogram som er symmetrisk om sin midtakse. Varighet på regnet er 60 min og den har en toppintensitet ved midten av regnforløpet. Intensiteten ved ulike tidspunkter igjennom regnforløpet er gitt ved y-aksen (Ødegaard et al. 2013).

De viktigste fordelene ved bruk av regnhyetogrammer er (Ødegaard et al. 2013):

- Regnforløpet, og dermed avrenningsforløpet og maksimal avrenning, blir meget mer realistisk enn ved bruk av «kasseregn».
- I en region med ensartet meteorologiske forhold kan det samme regnhyetogrammet brukes til alle ledningsnettstørrelser uansett konsentrasjonstid.
- Man får dimensjonerende vannføringer i alle deler av avløpsledningsnett i en og samme beregning. Grunnen til dette er at regnhyetogrammet i sin mest intense del inneholder virkningen av korte regn, som er dimensjonerende for de øvre deler av ledningsnett som har korte konsentrasjonstider, mens hele hyetogrammet vil virke dimensjonerende for de nedre deler av nettet som har lengre konsentrasjonstider.

Andre metoder for å gå inn med regndata i en modell er (Lindholm 2016a):

- SIFALDA-regn, SIFNEL-regn.
- Mange kasseregn langs et valgt IVF-kurve.
- Langtidsserier som lager frekvensfordelingsfunksjoner for ulike hendelser.
- Lager dimensjonerende modellregn på basis av lange tidsserier

5.1.2 Avrenningsfaktor, φ

«Avrenningskoeffisienten (φ) angir forholdet mellom avrenningen fra et område og nedbøren over samme område.» (Ødegaard et al. 2013). Koeffisienten tar hensyn til at noe av regnet infiltrerer i grunnen slik at ikke alt renner av på overflaten. Denne avhenger av hvilke masser jorden består av, permeabilitet, fallforholdene i terrenget og nedbørintensitet og varighet (Ødegaard et al. 2013). I områder med god infiltrasjonsevne vil koeffisienten ha en lav verdi mot null, mens det for tette flater vil være opp mot én. I tabell 5.1, fra Mays (2001), er det gjengitt avrenningskoeffisienter for ulike flater. Flater med god infiltrasjonsevne, mener man at massen som vannet skal infiltrere ned i har god hydraulisk ledningsevne. Stein og grus gir god hydraulisk ledningsevne og infiltrasjonsegenskaper, mens leire og silt, som er av finere masse, er det dårligere med. Dette er fordi det er mindre luftporer, som vannet kan renne i, i leire- og siltmassen.

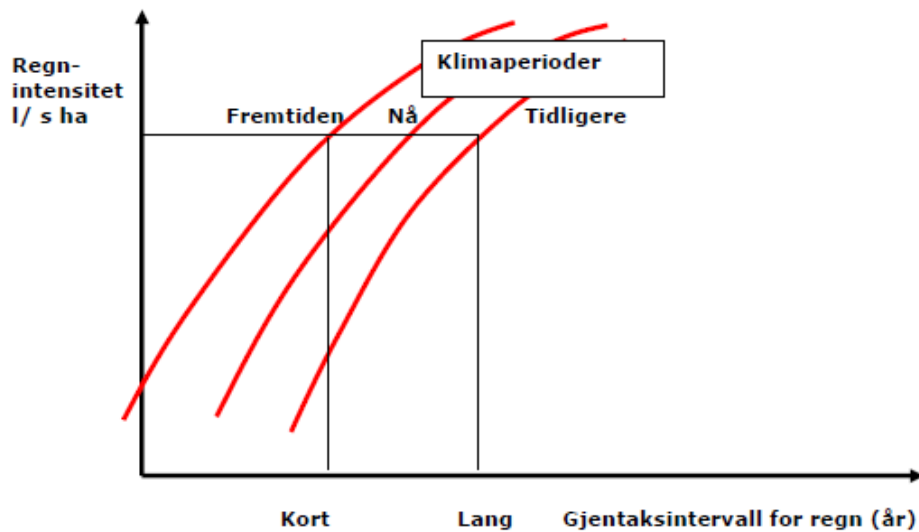
Tabell 5.1: Maksimale avrenningskoeffisienter for noe flater (Mays 2001).

Type Flater	Φ_{spiss}^{12}
Tak	0,8 – 0,9
Asfalterte veger og gater	0,7 – 0,8
Grusveger	0,4 – 0,6
Plen	0,05 – 0,1
<i>Sammensatte flater:</i>	
Bysentrum	0,7 – 0,9
Blokkbebyggelse	0,4 – 0,6
Rekkehusområder	0,3 – 0,4
Åpne eneboligstrøk	0,2 – 0,3

Avrenningskoeffisientene for de ulike flatene vil over en lengere tid øke i forhold til de verdier som er oppgitt i tabell 5.1. Dette har med vannmetningen i jorden. I Norsk Vann Rapport 162/2008, «Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering» (Lindholm et al. 2008), har Lindholm forsøkt å sammenligne ulike IVF-kurver for fortiden, nåtid og fremtid, se figur 5.3. Av figuren ser vi at IVF-kurven beveger seg mot venstre som en effekt av klimaendringene. Nedbør med en gitt intensitet, vil forekomme oftere enn tidligere, da

¹² Spissavrenning, Φ_{spiss} , angir forholdet mellom maksimalt avløp fra et område og midlere regnintensitet over området (Ødegaard 2013).

gjentakstervallet blir kortere. Dette gjør at jorden får den samme vanntilførselen hyppigere enn tidligere og blir mer mettet. Dermed gir det en høyere avrenningskoeffisient.



Figur 5.3: IVF-kurver som effekt av klimaendringer. På x-aksen er det representert gjentakstervall, mens på y-aksen er det regnintensitet.

5.1.3 Konsentrasjonstid, t_k

Konsentrasjonstiden er definert som tiden en dråpe bruker fra den faller ned ytterst i nedbørsfeltet¹³ til den kommer til utløpet av feltet. Konsentrasjonstiden, t_k , består av tiden dråpen bruker på å renne på overflaten, altså fra den detter ned i feltet til den når et sluk, t_t , sammen med tiden den bruker i rørsystemet, t_s (Ødegaard et al. 2013).

$$t_k = t_t + t_s \quad 5-1$$

$$\text{der } t_s = \frac{\text{Lengde på rør}}{\text{Strømningshastighet i rørene}} \quad [\text{T}]$$

For å anslå tiden dråpen bruker i rørene benyttes lengden til røret, fra sluket til utløpet, sammen med antatt strømningshastighet på 1,5 m/s til 2,0 m/s. For urbaniserte områder antas det en konsentrasjonstid rundt 3 – 7 minutter. Konsentrasjonstiden avhenger ellers av strømningsforholdene på overflate og i rør, feltets topografi, regnintensitet og strømningsavstand (Ødegaard et al. 2013).

¹³ Nedbørsfelt er definert ved et felt som omfatter arealet som bidrar til vannmengdetilførselen ved et utløpet.

5.2 Rasjonelle metode

Den rasjonelle metode er en manuell beregningsmetode som brukes dersom det er en direkte relasjon mellom regn og avrenning. Den egner seg ved enkle overslagsberegninger og ved urbane områder med størrelse mindre enn 20 – 50 hektar (ha)¹⁴ (Ødegaard et al. 2013).

Den baserer seg på formelen:

$$Q = \varphi * A * I \quad 5-2$$

der	φ	=	Avrenningskoeffisienten	[-]
	A	=	Feltareal	[L ²]
	I	=	Regnintensitet	[L ³ /(T*L ²)]

Regnes det ut avrenning som et dimensjoneringsgrunnlag for klimatilpasning, benyttes også klimafaktor, k_f , i beregningene som multipliseres med avrenningen, Q, funnet ovenfor. Se avsnitt 6.3 for klimafaktor.

Ulempen med manuelle beregningsmetoder er at man i prinsippet må benytte seg av kasseregner i beregningene. Kasseregner med konstant intensitet er ikke like representativt for et reelt regn, som nevnt i tidligere avsnitt om regn. En annen ulempe ved kasseregner er at man i beste fall får dimensjonerende vannføring for punkter i feltet hvor konsentrasjonstiden er lik regnets varighet. Dette kalles for «Imhoffs sats», men er ikke alltid tilfelle. Dette gjelder for eksempel ikke for smale avlange felt som ikke bidrar særlig til avrenning (Ødegaard et al. 2013).

Andre inngangsmetoder for regn, egner seg da bedre til avrenningsberegninger. Én metode er symmetrisk regnhyetogram som er beskrevet i avsnittet om regn. Fordelene ved det er også beskrevet i avsnittet.

5.3 Hydraulisk modellering

Ved større områder bør det benyttes IT-baserte avrenningsmodeller (Ødegaard et al. 2013). Fordelene ved bruk av dataprogrammer er at man slipper å teste for fullskala anlegg. Det fås bedre oversikt over involverte variable og resultater, følsomhetsanalyser gir informasjon om prioritering av datafangst og datamaskinen regner raskere og sikrere enn det mennesker klarer ved manuelle beregninger. Dette gir i alt bedre innsikt i systemet som skal studeres (Lindholm 2016b).

¹⁴ 1 ha = 10 000 m²

I denne oppgaven vil ROSIE bli benyttet i et ArcGIS¹⁵-miljø. ArcGIS er utviklet av ESRI (Environmental Systems Research Institute). ROSIE er et tilleggsprogram som er utviklet av Aqua ROSIM AS. Det jobbes i et ArcGIS brukergrensesnitt, men man vil også ha tilgang til verktøy for modellering for et VA-miljø igjennom ROSIE. ROSIE kan benyttes for både vandistribusjon og oppsamlingssystem. Den benytter seg da av ulike motorer; EPANET-motor for vandistribusjon og MOUSE-motor for oppsamlingssystem. I denne oppgaven er det MOUSE-motoren som er aktuell. Ved å jobbe i et ArcGIS-miljø, kan det også lett importeres og eksporteres kartdata fra Gemini VA¹⁶ (Aqua ROSIM AS 2017).

MOUSE¹⁷ er motoren som brukes for analyse av det urbane avløpssystemet, den beregner flomoppstuvninger og forurensningstransporter i avløpsnett. Avhengig av hva man ønsker å analysere, tar man i bruk ulike moduler i MOUSE. De modulene som er viktigst med tanke på avrenning er (DH1a):

- MOUSE Runoff: Overflateavrenningsmodell for urbane felt.
- MOUSE HD/Pipe Flow: Hydrodynamisk nettverksmodell.
- MOUSE RDI: Regnavhengig infiltrasjonsmodul.

5.3.1 MOUSE Runoff

MOUSE-modulen, MOUSE Runoff, gir output i form av avrenning som en funksjon av tiden, hydrogram. Det finnes fire ulike måter å regne ut avrenningen i MOUSE Runoff-modulen (DH1b):

- Tid/Areal metoden
- Ikke-lineær reservoar (kinematisk bølgebevegelse) metoden
- Lineær reservoar metoden, i to delvarianter:
 - Hollandsk avrenningsmodell
 - Fransk avrenningsmodell
- Enhetshydrogram

Man velger kun en av de fire metodene for beregning i modellen. De ulike metodene kan gi ulike resultater for samme felt. Årsaken til dette er at de bruker ulike inngangsdata i

¹⁵ ArcGIS er et geografisk informasjonssystem for å registrere, modellere, hente, analysere og presentere geografiske data.

¹⁶ Gemini VA inneholder GIS-funksjonalitet for presentasjon og analyse av VA-data, brukt av mange kommuner i Norge.

¹⁷ MOUSE – beregningsmotor for oppsamlingssystemer utviklet av DHI Water & Environment.

beregningene, ulike modellparametere og beregningskonsept. Ved bruk av alle metodene utenom Enhetshydrogram, kan man kombinere avrenningsberegningen med andre MOUSE-moduler som MOUSE Rainfall Dependent Infiltration Module, MOUSE RDI.

Kort oppsummert tar MOUSE Rainfall Dependent Infiltration Module (RDI) hensyn til at regnvannet kan samles i snømagasiner, i grunnvannet, markvannet og på overflaten. Dette vil resultere i en mer realistisk hydrogram for avrenning på overflaten da man kan sjekke for reaksjoner i avløpssystemet for lengre våte og tørre perioder. Uten dette tas det ikke hensyn til vannmagasinene, og man simulerer i prinsippet for korte intensive nedbør (DH1a).

I denne oppgaven har det blitt benyttet Tid/Areal (T/A) metoden. Konseptet med denne metoden er at formen på hydrogrammene avhenger av konsentrasjonstiden og T/A-kurven. Dette vil videre definere formen på feltet og reaksjonshastighet (DH1b).

Av inndata som trengs for avrenningsberegning er det:

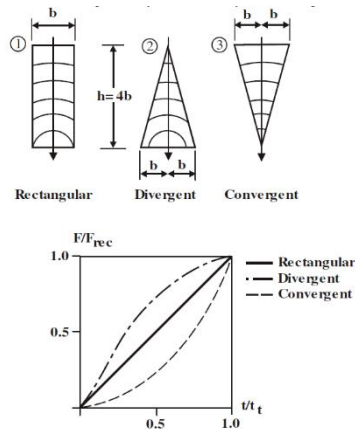
- Feltdata:
 - Felt-ID – unik identifikasjon av delfeltet.
 - Lokasjon – definerer koblingspunktet med avløpssystemet.
 - Feltareal – delfeltets areal.
 - X- og Y-koordinater – feltkoordinater brukt i forbindelse med større felt der regnet må interpoleres.
 - Ekstra avrenning – konstant ekstra tilførsel av avrenning i tillegg til den beregnede hydrogrammet.
- Modellspesifikke data:
 - Impermeable flater – andel av delfeltets areal som ikke bidrar til avrenning.
- Hydrologiske parametere:
 - Initialtap – definert ved maksimal millimeter nedbør som må til før avrenning. Første del av regnet blir magasinert på overflaten. Default-verdien er satt til 0,6 mm.
 - Hydrologisk reduksjon – avrenningsreduksjonsfaktor på grunn av evapotranspirasjon og uperfekt permeabilitet på flatene som bidrar til avrenning. Default-verdien er satt til 0,9.
 - Konsentrasjonstid – tiden det tar fra en dråpe som faller ytterst i feltet

brukes til sluket. Defaultverdien er satt til 7 min.

- T/A-kurve – tar hensyn til formen på delfeltet, hvor det allerede finnes tre allerede definerte typer, se figur 5.4:

1. Rektangulær felt
2. Divergent felt
3. Konvergent felt

For felt med irregulær form kan det defineres egen.



Figur 5.4: Form på ulike type felt. Rektangulær, divergent og konvergent, vist med konsentriske sirkler som deler feltene opp i celler. Grafene i koordinatsystemet nederst viser hvor stor del av feltet som bidrar til avrenningen, fra avrenningen begynner til den har nådd sitt maksimale punkt og alle punktene i feltet bidrar til avrenningen (DH1b).

Avrenningsberegningene baserer seg på at avrenningshastigheten er konstant. Beregningen bruker gitte tidssteg og konsentrasjonstid, for å finne antall celler i feltet, vist som de konsentriske sirklene i figur 5.4. Antall celler tilsvarer:

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

5-3

der	n	=	Antall celler	[-]
	t_c	=	Konsentrasjonstid	[T]
	Δt	=	Tidssteg	[T]

Avrenningen fra delfeltet begynner først når regndybden¹⁸ er overskredet, den tar altså hensyn til initialtapet. Så regnvolum utover dette vil bidra til avrenning til nedenforliggende celler. Av figur 5.4 ser vi at for konvergent form vil avrenningen være liten i starten, men ta seg opp når alle de største cellene øverst i feltet også bidrar til avrenning. For divergent felt bidrar

¹⁸ Regndybden tilsvarer antall mm regn som må til før avrenning starter. Default-verdien er satt til 0,6 mm.

cellene med store arealer, nederst i feltet, raskere til avrenningen, men tilførsel fra avrenning fra de små cellene øverst i feltet bidrar ikke like mye når de kommer frem til utløpet. For et rektangulært felt, øker avrenningen proporsjonalt med tiden (DH1b).

5.3.2 MOUSE Pipe Flow

Med hydrogrammene, beregnet i modulen beskrevet ovenfor, vil disse være inngangsdata i MOUSE Pipe Flow-modulen. Modulen simulerer for unsteady-strømning¹⁹ og benytter seg av Saint Venants likninger for massebevaring og momentbevaring, som løses numerisk.

Modulen egner seg godt i avløpsnett med mange avgreininger og avløpsnett med ringsystemer. Saint Venants ligninger er gitt nedenfor (DH1c):

- Kontinuitetsligningen

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad 5-4$$

- Momentligningen

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + g A I_f = g A I_0 \quad 5-5$$

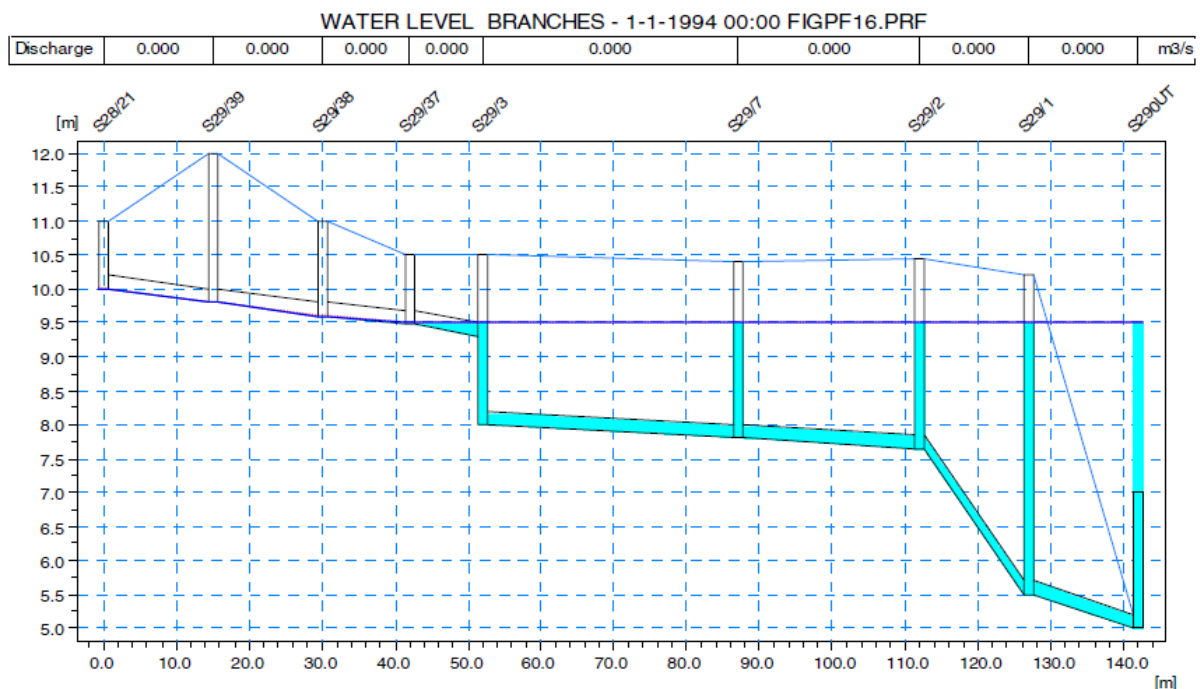
der	Q	=	Vannføring	[L ³ /T]
	A	=	Tverrsnittareal	[L ²]
	y	=	Strømningsdybde	[L]
	g	=	Gravitasjonskonstant (9,81 m/s ²)	[L/T ²]
	x	=	Distanse i strømrretningen	[L]
	t	=	Tid	[T]
	α	=	Hastighet distribusjonskoeffisient	[-]
	I ₀	=	Bunnhelning	[L/L]
	I _f	=	Friksjonshelning	[L/L]

Avhengig av hvor mange ledd som velges å tas i bruk i momentbevaringsligningen, kan det bestemmes om det ønskes å simulere for kinematisk, diffusiv eller dynamisk bølge. Det

¹⁹ Unsteady-strømning er tilfelle når mengden med vann i et bestemt avgrenset rom forandrer seg med tiden. Det vil si at vannføringen inn i det avgrensede rommet ikke er lik vannføringen ut av det avgrensede rommet over tid.

anbefales å ha med alle ledd i ligningen og regne med dynamisk bølge, men da antas det at strømming er underkritisk og ikke overkritisk²⁰.

Med hydrogrammene som inngangsdata i denne MOUSE-modulen, kan vi generere resultater i form av vannstand og vannføring i alle deler av avløpsnett (DHic). Figur 5.5 viser et eksempel på oppstuvning i rør og kummer etter simulering. Figuren viser rørledningene som blir fylt opp med vann i nederste del av systemet. Samtidig kan vi se at det blir oppstuvning i de nederste kummene da trykklinjen²¹ (blå strek) ligger godt over rørledningene.



Figur 5.5: Illustrasjon av simulering av avløpsnett med MOUSE Pipe Flow-modulen. (DHic).

²⁰ Underkritisk strømming er tilfelle når hastigheten til vannet er lavere enn bølgehastigheten. For underkritisk strømming er Froude-tallet under 1, $Fr < 1$. For overkritisk strømming så vil ikke bølger klare å forplante seg oppstrøms da hastigheten i vannet er for stor, $Fr > 1$.

²¹ Trykklinje er definert som den linjen der vannstanden har sin overflate hvor væsketrykket er lik atmosfærisk trykk.

6 Klimatilpasset overvannshåndtering

De overordnede målene for overvannshåndtering er å:

- Forebygge skader på helse, miljø, bebyggelse og infrastruktur.
- Utnytte overvann som ressurs.
- Styrke biologisk mangfold i bymiljøet.

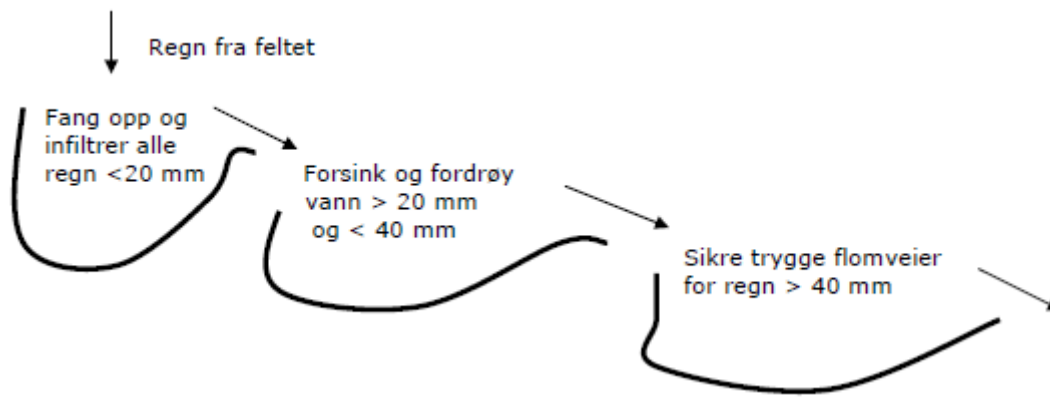
Hvor mye som skal gjøres for å forebygge skader må veies i forhold til de samfunnsøkonomiske konsekvensene, beskrevet i avsnitt 4.2. Det ville ikke vært hensiktsmessig å oppdimensjonere ledningsnett for store regnhendelser uten å se det i sammenheng med de samfunnsøkonomiske kostnadene. Kostnader blir sett nærmere på i avsnitt 7. Å utnytte overvann som en ressurs handler om åpne, blågrønne løsninger²², for å få et positivt landskapselement i bymiljøet, og det skal kunne brukes for rekreasjonsformål. Det er også viktig å ta vare på det biologiske mangfoldet som i utgangspunktet var der før utbygging. For det biologiske mangfoldet burde dette fremmes ved infiltrasjon, åpne vannveger og dammer (Ødegaard et al. 2013).

Tradisjonelt har strategien vært å frakte avløpsvannet fort vekk fra uønskede områder og ut til resipientene. Dagens overvannsledninger, som er i funksjon i dag, ble dimensjonert med utgangspunkt i kunnskap om befolkningsvekst og nedbørforhold ved etableringstidspunktet. Dimensjonene tar beskjeden høyde for klimaendringene og vil ikke lenger være dimensjonert godt nok for det. Derfor er den nye strategien blitt å håndtere problemene med åpne løsninger (Hansen et al. 2015).

6.1 Strategi

Den nye strategien for overvannshåndtering er enkel og kan beskrives med tre ord; infiltrasjon, fordrøyning og flomveier. Strategien omtales som treleddsstrategien i Norsk Vann Rapport, «Veiledning for klimatilpasset overvannshåndtering», (Lindholm et al. 2008) og er illustrert i figur 6.1.

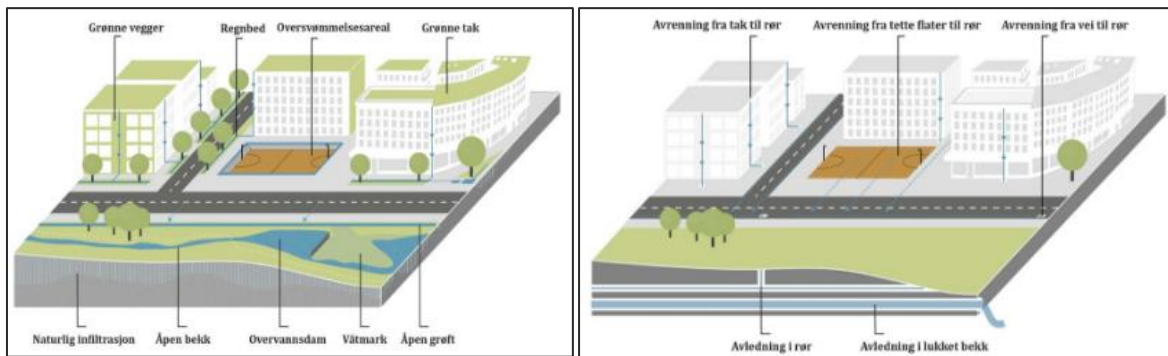
²² Blågrønne løsninger skal sikre at arealbruken også omfatter lokal overvannshåndtering, vegetasjonsbruk og biologisk mangfold, og ikke kun tette flater. Et mål for å regne ut områdetets blågrønne faktor (BGF) er den andelen med økologisk effektiv areal i forhold til total tomteareal (Dronninga Landskap et al. 2013).



Figur 6.1: Treleddsstrategien: Fanger opp regnet og infiltrer, forsinker for større regn, og sikrer flomveier for enda større regn. Tallene på regnstørrelse må tilpasses lokalt (Lindholm et al. 2008).

Tar vi utgangspunkt i figur 6.1, er konseptet med treleddsstrategien at det i første ledd skal fange opp og infiltrere små regn opp mot 20 mm. Når regnet er større enn dette, vil det ikke lenger være mulig å holde igjen vannet, og den må fordrøyes. Å forsinke og fordrøye er andre ledd i overvannsstrategien og er ment for regn mellom 20 mm og opp mot 40 mm. Hvis regnet er enda større, over 40 mm, må det sørges for å frakte vannet bort ved å sikre trygge flomveier i ledd tre av strategien.

Det er vanskelig å implementere slike tiltak i et allerede eksisterende utbygd område, men for områder som er planlagt utbygd eller fortsatt ikke har tett bebyggelse, blir dette lettere. Tidligere ble overvann håndtert av VA-etaten alene, men skal en slik strategi lykkes kreves det medvirkning fra flere fagmiljøer. Flom- og overvannshåndtering må implementeres i arealplanleggingen for kommuneplaner, reguleringsplaner og bebyggelsesplaner (Lindholm et al. 2008). Nedenfor er det illustrert forskjellen i arealutnyttelse ved et område som fører avløpsvannet på den tradisjonelle måten i forhold til et område som benytter seg av treleddsstrategien, figur 6.2:



Figur 6.2: Figur til venstre viser hvordan overvannet håndteres ved treleddsstrategien, mens figuren til høyre viser den tradisjonelle løsningen der vannet skal føres til sluk og videre igjennom avløpsrør til resipient (Storemyr 2017).

Tiltak som kan gjøres for å hindre flom- og oversvømmelsesproblemer er listet opp, der de ulike LOD²³-tiltak beskrives nærmere i avsnitt 6.2 (Lindholm 2009):

- Frakobling av taknedløp som er påkoblet ledningsnett.
- Lokal overvannsdiskonering (LOD) tiltak.
- Separering av overvann og spillvann.
- Fordrøyning i ledningsnett med fordrøynings-tanker.
- Utskiftning til større rør i nettet/rehabilitering. (Mer aktuelt i mindre områder og på begrensede «flaskehals»).

6.2 LOD-tiltak

I tabell 6.1 er det listet opp noen LOD-tiltak. En kort beskrivelse av hver enkelt av dem, i tillegg noen av deres fordeler og ulemper. Det poengteres at dette kun er et lite utvalg av flere ulike LOD-tiltak og generelle tiltak mot overvannsproblematikken.

²³ LOD-tiltak (Lokal overvannsdiskonering). Prinsippet går ut på å håndtere overvannet fra nedbør der nedbøren faller ned. LOD-tiltak omfatter tiltak i de to første leddene i treleddsstrategien.

Tabell 6.1: Oversikt over enkelte LOD-tiltak med beskrivelse og deres fordeler og ulemper.

LOD-tiltak	Fordeler	Ulemper
Regnbed – Anlegg som fremstår som en beplantet forsenkning der tilførsel av overvann fordrøyes i forsenkningen og infiltrerer videre i grunnen (Braskerud og Paus 2016).	<ul style="list-style-type: none"> - Tilbakeholder vannet lokalt og etterfyller grunnvannet. - Kan rense forurenset vann. - Øker BGF. - God evne til å redusere flomtopper. 	<ul style="list-style-type: none"> - Anlegg krever overflateareal. - Krever vedlikehold. - Ved tette masser, må disse skiftes og regnbedet må dreneres. - Lite prøvd på norske forhold.
Permeable dekker – Anlegg som infiltrerer og fordrøyer overvannet igjennom permeable dekker, som videre lagres i porøse masser under dekket (Myhr og Lippestad 2016).	<ul style="list-style-type: none"> - Utnytter ledig magasin i steinfyllingsmassen. - Kan håndtere overvann på egen tomt uten kummer og rør. - Lite isdannelse ved vekslende frysing/tining. - Lang levetid. 	<ul style="list-style-type: none"> - Krever vedlikehold.
Frakobling av taknedløp – tiltaket vil redusere nedløp som samles fra taket og renner direkte inn på avløpsnett. Å frakoble vil si å lede vannet ut mot bakken fra nedløpet. Vannet skal helst renne ut mot gressklede flater og infiltrere i jorden eventuelt til dammer og regnbed. (Braskerud og Skallebakke 2013).	<ul style="list-style-type: none"> - Intensitet på avrenning i avløpsnett reduseres. - Tap av forurensning som går i overløp reduseres. - Metoden er enkel og rimelig. - Robust system som letter oversikten over vannveien i terrenget. - Redusere behovet for vanning av gressplen. - Opprettholder grunnvannsnivået. 	<ul style="list-style-type: none"> - Terrenget som mottar vannet kan være for lite i forhold til takareal. - Utløpsrør ligger i veien og kan være til hinder for ferdsel og gressklipping. - Utløpsrør som er gravd ned i bakken kan lett fryse til. - Med høy vannhastighet i utløpet kan det føre til erosjon på jorden.

<p>Grønne tak – Tak med jord og vegetasjon som vil dempe avrenning fra tak ved at det kan holde tilbake et regnvolum av en viss størrelse. Tiltaket kompensere for tapt infiltrasjon i grunnen. (Braskerud 2016).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reduserer avrenning til avløpsnett. - Forurensing som går i overløp reduseres. - Øker BGF. - Vegetasjon kjøler bygninger ved varme dager, og kan isolere litt på kalde dager. - Svevestøv kan fanges inn. - Vegetasjon skaper større friksjon og mindre fare for snøras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relativt høyere anleggskostnader enn vanlig tak med takpapp/shingel. - Grøntanlegget krever skjøtsel. - Sluk på tak må holdes åpne. Hvis drenering av taket feiler, kan vegetasjonen dø.
<p>Overvannsdammer/Areal for oversvømmelse/Lekeområde – har som funksjon å forsinke overvannet ved utnyttelse av åpne parker, idrettsanlegg, gårdsrom eller byrom. Anlegget bygges med en forsenkning som kan magasinere og fordrøye et bestemt volum (Gabriel og Fiil 2016a, b).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Store mengder overvann kan holdes tilbake. - Kan kreve normal vedlikehold av anlegg, men avhengig av anleggsmateriale. - Lett å tømme og rengjøre etter oversvømmelse. - En viss rensing med sedimentasjon oppstår ved vannets oppholdstid. - Gir muligheter for samfinansiering av klimatilpassing og utvikling av funksjonsanlegg. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ved oppsamlet regnvann ved lekeanlegg kan det gi utfordringer med hygiene. - Større risiko for drukningsulykker.

<p>Vadier – utformes som en grønn grøft som kan ivareta alle tre stegene i tretrinnsstrategien. Den kan fungere som infiltrasjonsanlegg, fordrøyningsanlegg og flomvei (Gabriel og Fiil 2016c).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Kan håndtere normalregn og ekstremregn. - Vadier kan kombinere infiltrasjon og avledning via dren for områder med begrenset infiltrasjonsevne. - Kan forsinke og avlede ekstremregn i området det er fallende terreng. 	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltrasjon kan begrenses ved frost i jorden. - Vadier er følsomme for veisalt og vegetasjonen kan ødelegges. - Oppsamling av sedimenter fører til større vedlikehold.
--	--	---

6.3 Klimafaktor

For å ta høyde for klimaendringene i fremtiden, er det vanlig å gjøre en tilnærming ved å benytte seg av klimafaktor, K_f . Ved økning av ekstreme nedbørshendelser i fremtiden må det også være en økning i dimensjonerende nedbørintensiteter. Dette gjøres ved å multiplisere nedbørintensitetene med klimafaktoren. Klimafaktoren er avhengig av en rekke variabler, se formel 6-1. Formelen tar for seg forholdet mellom fremtidig nedbørintensitet med dagens nedbørintensitet. Selv om klimafaktor er vanlig å benytte seg av i mange land, vil variasjonene av metoder for beregning av klimafaktoren variere (Paus et al. 2014).

$$K_f(GI, t + \Delta t, T, Z, S) = \frac{I(GI, t + \Delta t, T, Z, S)}{I(G, I, t, T, Z)} \quad 6-1$$

der	K_f	=	Klimafaktoren
	I	=	Dimensjonerende nedbørintensitet under gitte forhold
	GI	=	Gjentaksintervall
	T	=	Regnvarighet
	Z	=	Geografisk plassering
	t	=	Referanseperiode eller nåtid
	Δt	=	Varighet på framskrivingsperioden
	S	=	Klimascenariot som legges til grunn for beregningene

Klimafaktor er ikke bare å sette til en verdi. Det kan oppstå en del ekstrakostnader forbundet med høy sikkerhetsfaktor, og samtidig må det tas hensyn til området som skal analyseres. Kritisk infrastruktur og sykehus burde tilegnes en høyere sikkerhetsfaktor enn et hyttefelt, der skadekonsekvensene er mindre. Skadepotensialet må veies opp mot investeringskostnadene.

Statens vegvesen (2014), med deres Håndbok N200 for Vegbygging, operer med klimafaktor avhengig av forventet levetid for installasjon i deres prosjekter, se tabell 6.2. Ellers opererer kommunene med ulike klimafaktorer for sine områder. Statlige myndigheter har anbefalt kommunene å benytte seg av klimafaktorer i sine dimensjoneringsberegninger, men ikke kommet med en konkret anbefaling for verdi av faktor. Oslo kommune, VAV, (2013d) gjengir Stortingsmelding 33, om klimatilpasning i Norge, der regjeringen signaliserer «at det i arbeid med klimatilpasning skal legges til grunn høye alternativer fra de nasjonale klimaframskrivningene når konsekvenser av klimaendringene vurderes». Oslo kommune, VAV, benytter seg av klimafaktor 1,5 for nye ledningsanlegg eller ved oppdimensjonering av gamle rør.

Tabell 6.2: Staten vegvesens veileder av klimafaktor.

Forventet levetid	10 år	100 år	200 år
Klimafaktor	1,3	1,4	1,5

7 Kostnader

Skadepotensiale i forbindelse med overvann kan bli veldig store. Derfor er det nødvendig med overvannstiltak, selv om de kan være dyre når det kommer til investeringskostnader og driftskostnader. Investeringsiltak må selvfølgelig ses i sammenheng med skadepotensiale og skadeverdiene, se avsnitt 4.2 om dimensjoneringskriterier. Administrerende direktør i Finans Norge, Kreutzer (2015), tok opp temaet «Verdien av å forebygge» i en konferanse om klimatilpasning. Han refererte til Verdensbanken og FN som anslo at avkastningen ved skadeforebyggende tiltak mot klimaskader var 1:4 og 1:7. I en rapport «Climate change – is the UK preparing for flooding and water scarcity?», skrevet av «Committee on Climate Change» (2012), tar den blant annet for seg forholdene rundt klimatilpasningstiltak og hvordan dette skal bli et prioritert område fremover. For å rette fokuset mot overvannsproblemet skriver de at kost-nytte-forholdet ligger på 1:8 kontra andre infrastruktur investeringer. Jernbane ble nevnt som et eksempel der avkastning lå på 1:2.

7.1 Samfunnskostnader

Det er gjort flere utredninger hva angår samfunnsøkonomisk vurdering av skader påført av overvann. Samstad (2015) på oppdrag fra VAV Oslo, utførte en analyse der hun tok for seg 26. juni-regnet i 2014. Da falt det et kortidsregn på 44,5 mm på én time og 72,8 mm på et døgn. Hun estimerte de totale skadekostnadene til å bli 10,7 millioner kroner. Her setter hun spørsmålsteget på om dette var et «typisk» regn, samtidig som hun påpeker at regnet inntraff på et «gunstig» tidspunkt, uken etter at skoleferien hadde begynt. Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet (2012) utga et temahefte «Når monsterregnet kommer». Den tar blant annet for seg monstereget som inntraff København i juli 2011. Her anslås det at forsikringsselskapene måtte ut med omkring fem milliarder danske kroner²⁴. Dette regnet registrerte på det meste 30 mm på ti minutter og total regnmengde den kvelden på 177 mm.

De viktigste skadekostnadene som betraktes i samfunnsøkonomiske analyser tar for seg blant annet (Hansen et al. 2015):

- Direkte skader på bygninger.
- Direkte skader på inventar, kjøretøy, osv. i bygninger.

²⁴ Skadekostnadene kan variere avhengig av ulike kilder. Kostnadene ligger mellom 5 mrd og 7 mrd. Oppgitt kostnad fra dansk rapport har ikke tatt hensyn til andre skadekostnader utover de som forsikringsselskapene dekket.

- Kostnader på renseanlegg som følge av tilførsel av overvann.
- Direkte skade på infrastruktur-anlegg, vei, jernbane, VA-anlegg, strømforsyning, telefon og datakabler.
- Tap av kulturskatter.
- Tap av produksjon og omsetning i næringslivet.
- Forsinkelser i trafikken.
- Forurensningsskader.
- Negative helseeffekter.

Mosbæk (2016) har oversatt tabell fra Arnbjerg-Nielsen et al. (2007) som tar for seg anslått enhetskostnader for skader påført av klimaendringene for Roskilde og Aalborg. Tabell 7.1 viser ulike typer skader og enhetskostnader forbundet med hver type.

Tabell 7.1: Type skader og enhetskostnader forbundet med hver av dem, brukt i en samfunnsøkonomisk analyse for byområdene Roskilde og Aalborg (Arnbjerg-Nielsen et al. 2007).

Skade	Enhet	Enhetskostnad
Kjelleroversvømmelse	Antall eiendommer med kjelleroversvømmelse	5 000 – 50 000 DKK/kjeller
Oversvømmelse på stueplan	Antall eiendommer med vann i stueetasje	0 – 800 000 DKK/oversvømmelse
Sykdom som følge av berøring av infisert vann	Antall syke personer	7 200 DKK/person
	eller Antall personer som har vært i kontakt med infisert vann	2 430 DKK/person
Oversvømmelse av varelager	Antall varelager per butikktype	Avhenger av butikktype
Trafikkforstyrrelser	Antall forsinkede bilister	127 DKK/bilist
Veibrudd	Antall veibrudd	1 000 000 DKK/veibrudd
Skader på avløpsanlegg	Antall kummer med skade som følge av oppstuvning	30 000 DKK/kum
	og Antall pumpestasjoner som ødelegges	1 000 000 DKK/pumpestasjon

Administrasjonskostnader (kommunene, rådgivere)	Antall timer kommunalt ansatte bruker på skadene <i>og</i> Antall rådgivningstimer	300 DKK/time 1 000 DKK/time
Transformatorstasjoner	Antall transformatorstasjoner som oversvømmes og må renoveres/rengjøres	1 000 000 DKK/stasjon
Manglende elektrisitetsforsyning	Antall husstander uten elektrisitet i opptil 5 døgn <i>og</i> Antall virksomheter uten elektrisitet i opptil 5 døgn	1 682 DKK/husstand 0,0026 % av årsomsetningen til virksomheten

De elementer som kan knyttes en pris til kostnad eller nytte skal ideelt sett være med i en samfunnsøkonomisk analyse. Det finnes positive og negative eksterne effekter som er vanskelig å prise, og dermed vanskelig å ta med i en slik analyse. Miljø er en effekt som er vanskelig å prise, men dette kan uansett inkluderes igjennom prising av miljøavgifter. Et annet element som er vanskelig å prise, er blågrønne løsninger. Hvorvidt mengden av nytte/kostnad blågrønne løsninger gir i samfunnet er vanskelig å tallfeste, da tiltakene gir rekreasjonsmuligheter, estetisk inntrykk osv. Alternativkostnader²⁵ forbundet med arealutnyttelse er også vanskelig å tallfeste. For åpne overvannstiltak kreves det overflateareal, noe som kunne blitt brukt til andre formål. Hvorvidt nytten/kostnaden til arealbruket kan tallfestes er avhengig av sted/området og mennesker som har en relasjon til det (Magnussen et al. 2015).

Det er altså vanskelig å inkludere «alt» i en samfunnsøkonomisk analyse. Man må benytte seg av de antatt viktigste elementene, og samtidig bestemme seg for detaljeringsgraden analysen skal legge seg på.

7.2 Enhetskostnader på tiltak

Enhetskostnadene på tiltak dreier seg hovedsakelig om investeringskostnadene når anlegget skal legges og drift- og vedlikeholdskostnadene igjennom dens levetid. Magnussen et al.

²⁵ Kostnader forbundet aktiviteten til det nest beste alternativet som ikke blir valgt til fordel for valgt aktivitet.

(2015) i rapporten «Kostnader og nytte ved overvannstiltak», anslår de kostnader for ulike overvannstiltak og deres levetider. Dette inkluderer både investeringskostnader og drift- og vedlikeholdskostnader. Kostnadene baserer seg på erfaringstall fra COWI AS og referanser fra litteratur. Kostnadsdriverne²⁶ som er benyttet for å regne ut enhetskostnadene er mål på lengde, areal og volum, avhengig av tiltak. I tabell 7.2 er kostnadsdataene gjengitt for både tradisjonelle tiltak og for lokale tiltak.

Tabell 7.2: Investeringskostnad, drift- og vedlikeholdskostnad og levetid for ulike overvannstiltak (Magnussen et al. 2015).

Overvannstiltak	Investeringskostnad	Driftskostnad	Levetid (år)
Oppdimensjonering av eksisterende overvannsledninger	3 000-10 000 kr/m	85 kr/m/år	100
Separering av kommunale fellesledninger	3 000-20 000 kr/m	85 kr/m/år	100
Lukket fordrøyningsbasseng:			
- Betongrør	4 700-12 000 kr/m ³	50 kr/m ³ /år	40
- Støpte basseng	7 500-9 000 kr/m ³	50 kr/m ³ /år	40
- GUP-rør	2 000-5 000 kr/m ³	50 kr/m ³ /år	40
Frakobling av takrenner	Lav	Lav	100
Grønne tak (ekstensivt tak – ekstrakostnader sammenlignet med et vanlig tak)	400-600 kr/m ²	2-10 kr/m ² /år	50
Grønne vegger	4 000 kr/m ²	200 kr/m ² /år	50
Infiltrasjonstiltak:			
- Infiltrasjonsgrøft	900 kr/m ²	10 kr/m ² /år	40
- Regnbed	1 400 kr/m ²	15 kr/m ² /år	40

²⁶ Kostnadsdriver er det som driver kostnadene og gjør at de oppstår.

- Infiltrasjonsbasseng	500 kr/m ²	5 kr/m ² /år	40
- Filterbasseng	90 kr/m ²	10 kr/m ² /år	40
Fordrøyningstiltak:			
- Åpent, tørt fordrøyningbasseng	2 100 kr/m ² ²⁷	20 kr/m ² /år	40
- Overvannsdam	1 300 kr/m ²	35 kr/m ² /år	40
- Våtmark	1 400 kr/m ²	35 kr/m ² /år	40
Permeable flater:			
- Gress	50 kr/m ²	10-20 kr/m ² /år	40
- Grus	80-100 kr/m ²	10-20 kr/m ² /år	40
- Betongheller	350-600 kr/m ²	10-20 kr/m ² /år	40
- Armert gress med betongheller	350-500 kr/m ²	10-20 kr/m ² /år	40
- Armert gress med gatestein	800-1 000 kr/m ²	10-20 kr/m ² /år	40
- Gatestein	800-1 000 kr/m ²	10-20 kr/m ² /år	40

²⁷ Her antas det at referansen har benyttet seg av en dybde på fordrøyningmagasin lik én meter, da enheten oppgitt i tabellen er kr/m² og ikke kr/m³ som det antas skal være.

Del 3: Casestudie

8 Overløp AK45 – Grefsen, Oslo kommune

Vann og avløpsetaten (VAV) har ansvar for vannrelaterte oppgaver i Oslo kommune, både når det gjelder vannforsyning og avløp. Etaten er inndelt i flere avdelinger med underseksjoner. Avdeling for plan og prosjekt (APP) har ansvar for planlegging og gjennomføring av investeringsprosjekter, der seksjon for utredning har ansvar for tidlig prosjektfase med utarbeidelse av taktiske planer og utredninger der i blant KVVU-er. På avløpssiden jobber utredningsseksjonen overløpsvis. Det vil si at feltene som studeres defineres ved overløpet. Vannet som kommer oppstrøms fra det definerte feltet vil altså kunne renne mot overløpskummen.

Flere felt i Oslo blir klassifisert avhengig av behovet for å gjøre tiltak. Det tas i bruk 3 x 3 risikomatrix der det på den ene aksen, fra én til tre, bestemmer sannsynligheten for at en hendelse inntreffer. Den andre aksen, fra én til tre, bestemmer konsekvenser av at en hendelse inntreffer. Verdi 1 er mindre alvorlig, mens 3 er mest alvorlig i risikomatrixen. Risikoen er et produkt av sannsynligheten multiplisert med konsekvensen. For avløp bestemmes sannsynligheten ved antall registrerte hendelser over en gitt tidsperiode, mens konsekvensen vurderes ut ifra hvilke overløpsform det er i feltet, hvor mange personer som er i feltet, resipienten som avløpsvannet går i overløp til og om resipienten brukes til badeformål. Får risikoen ved feltet en verdi 6 eller 9 blir den klassifisert som prioritert.

Feltet som skal studeres i denne oppgaven er definert ved overløp, AK45. Data fra overløpet sier at den, fra og med 2011 til 2015, har gått i overløp 58 ganger, der den i 2015 gikk i overløp i tolv tilfeller. I 2015 varte overløpsdriften i 573 min, mens det totalt fra 2011 til 2015 varte i totalt 5320 min, se tabell 8.1 (Israelsen 2017). Med disse dataene til grunn har dette feltet fått en sannsynlighetsklasse på 2 av 3.

Tabell 8.1: Overløpsdata fra AK45 med tid i overløp (min) og antall overløpstilfeller fra 2011 til 2015 (Israelsen 2017).

	Tid11	Tid12	Tid13	Tid14	Tid15	Ant11	Ant12	Ant13	Ant14	Ant15
AK45	23	486	4099 ²⁸	139	573	1	7	33	5	12

²⁸ Total tid og antall tilfeller av overløpsdrift for 2013 er betydelig høyere enn de andre årene. Her kan det ha vært feilregistrering av overløpsmåler. Måleutstyret som benyttes ved overløpet er Xepto, der to stenger registrerer mengde overløp ved kontakt med vann og hvor høyt opp på stengene vannet står. I dette tilfelle kan det ha vært en gjenstand som har satt seg fast i stengene og registrert overløp selv om det nødvendigvis ikke er tilfelle.

Ved konsekvens av overløpsdrift, blir de ovennevnte faktorene tatt hensyn til. Blant de mest kritiske faktorene er resipienten overløpet går til. Feltet som ligger ved Grefsen, ligger i den øvre delen av Akerselva, noe som er uheldig for de nedstrøms liggende områdene.

Konsekvensklassen som tilegnes feltet er satt til 3 av 3. Dette gir en risikoklasse på $2 \times 3 = 6$ som betyr et prioritert område for VAV.

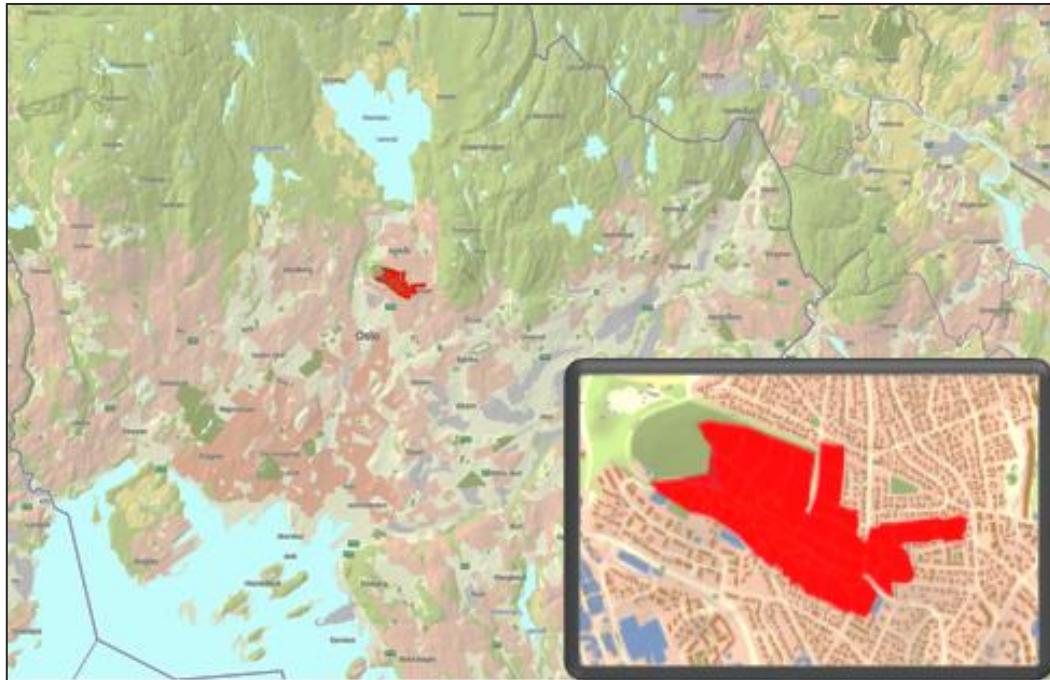
I tillegg har feltet også vært utsatt for en del kjelleroversvømmelser, se figur 8.1. Totalt er det registrert ni kjelleroversvømmelser i Gemini VA. Av figuren fremkommer antall registrerte kjelleroversvømmelser per adresse. Figuren oppgir tilfeller rundt hele området, og ikke bare for felt AK45. Samtidig er det et par hendelser som er registrert inn, men ikke fremkommer i figuren.



Figur 8.1: Tilfeller av kjelleroppstuvinger i ved case-området.

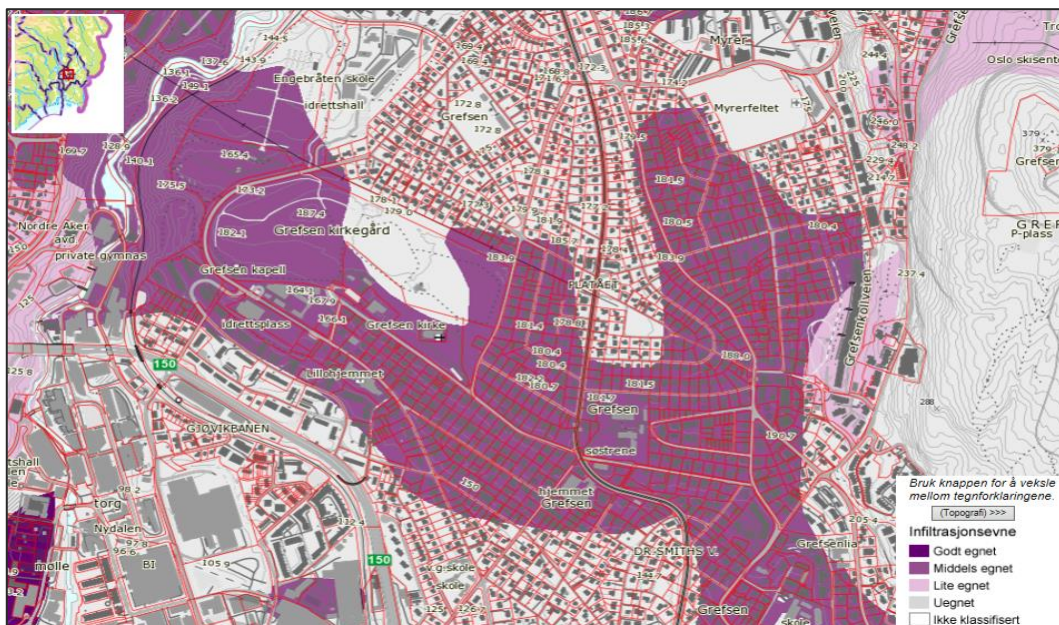
8.1 Feltet

Feltet som skal analyseres er vist i figur 8.2. Den har et totalareal på 345 018 m² og huser 1 014 innbyggere med totalt 196 bygg inkludert offentlige bygg. Topografien gir en høydeforskjell i feltet mellom høyeste punkt i terrenget og terrenghøyde ved overløp på ca. 40 m. I alt består AK45-feltet av 52 delfelt, definert ved sine tilkoblingskummer som samler opp overvannet til ledningsnettet. Andelen av takflater og veiflater som utgjør tette flater, er 18%, noe som skulle tilsi at området består av en god andel med permeable flater. Takareal utgjør 12% av total areal med 40 485 m², og veiareal utgjør 6% med areal på 21 029 m². Området består hovedsakelig av hus omringet med hage. Nordvest i feltet ligger Grefsen kirkegård som utgjør en stor andel av de permeable flatene i feltet.



Figur 8.2: Feltets plassering i Oslo vist ved rødt areal.

Infiltrasjonsevnen til massene i feltet er gode, se figur 8.3. Området ligger i utgangspunktet under marin grense, noe som potensielt kan gi dårlig infiltrasjonsevne, men ifølge NGU, skal det være «middels egnet» for infiltrasjon i feltet. Kun en liten del av feltet som skal studeres, ved Grefsen kirkegård, har ikke blitt klassifisert med tanke på infiltrasjonsevne.



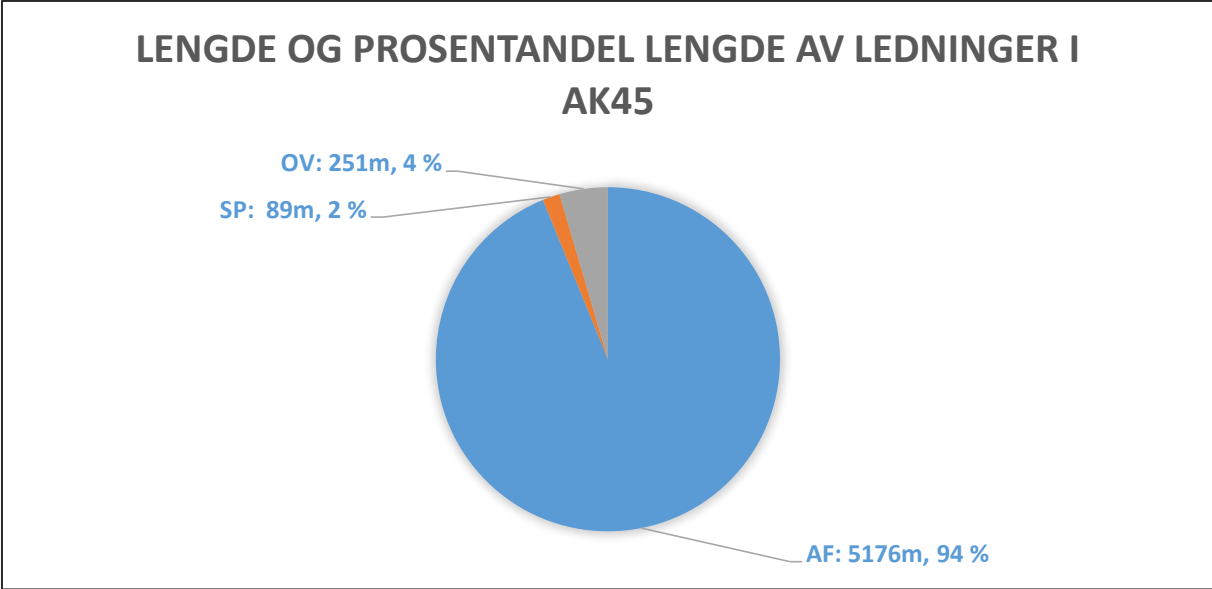
Figur 8.3: Infiltrasjonsevne for området som studeres (Norges geologiske undersøkelse 2017).

8.2 Avløpsnett

I figur 8.4 er det gitt en oversikt over avløpsnett. Feltet består hovedsakelig av AF-ledninger, med 94 % av den totale lengden til avløpsrørene, i avløpsnett. AF-ledningene utgjør 5 176 m i total lengde. Separatsystem er også installert i en liten del av feltet, men dette ser ut til å renne rett inn i AF-ledning. Spillvannsledning og overvannsledning omfatter henholdsvis 89 m (2 %) og 251 m (4 %) av avløpsnett i feltet. Overløpet, AK45, er vist med halvveis fylt rød sirkel. Ellers er de grønne sirklene på kartet kummer der noen av dem også er tilkoblingspunkter til et delfelt. Røde linjer er fellesledninger som fører spillvann og overvann, mens sorte linjer presenterer overvannsledning og grønne linjer er ledninger som fører kun spillvann. Ledningsdata for feltet er gjengitt i diagrammet i figur 8.5.



Figur 8.4: Avløpsnett i AK45-feltet.



Figur 8.5: Diagram, avløpsnett i AK45-feltet.

9 Metode

I denne delen tas det for seg metode brukt for å generere resultatene i oppgaven; hvordan studiet er utført og hvilke forutsetninger som ligger til grunn i analysene. Fremgangsmåte for både den hydrauliske delen og økonomiske delen blir presentert, og den bygger på teorien som er blitt presentert tidligere i oppgaven.

9.1 Modell over AK45

For å kunne kjøre simulering av avløpsnett i AK45-feltet, har det blitt benyttet software; ROSIE, utviklet av Aqua ROSIM. Det har blitt jobbet i ArcGIS map, der data har vært hentet fra Gemini VA-database. For beregningene benytter ROSIE seg av motoren, MOUSE. Oslo kommune, VAV, har stilt lisenser til software og avløpsmodell av hele Oslo til disposisjon, for å kunne utføre studiet.

AK45-feltet er et felt som er prioritert, men som det enda ikke er gjort noe med. Annet enn registrerte hendelser i feltet og data for overløpet, ligger ikke noe mer data tilgjengelig. Det har ikke blitt gjort noen vannføringsmålinger i feltet, og dermed har det ikke vært mulig å kalibrere modellen. Denne oppgaven baserer seg altså på en ukalibrert modell, og den kjøres som den er uten at det er gjort forandringer på den. Selv om det ikke er gjort noe direkte kalibrering av modellen i feltet, er mange av delfeltene manuelt tilegnet verdier. Grunnen til det, er at disse delfeltene ligger oppstrøms et annet felt som har blitt studert og kalibrert tidligere. Feltet det gjelder er definert av AK52, som ligger på nordsiden av AK45-feltet. Kun et titalls av delfeltene er ikke kalibrert mot noen målepunkter. Resultatene vil relativt ikke avvike altfor mye i forhold til virkeligheten, men de burde ikke benyttes direkte i videre arbeid før det er foretatt en kalibrering for AK45-feltet.

9.1.1 Klargjøring av modell

I denne oppgaven er det kun feltet, AK45, som er av interesse. For å gjøre klar modellen til simulering, har feltet blitt isolert fra resten av Oslos avløpsnett, se figur 9.1. Ledninger, kummer og felt som kan føre vann til overløpet må tas med i modellen for simulering. Ledninger, kummer og felt som fører vann ut av feltet som skal studeres, kan fjernes fra modellen. Dette er gjort ved å sjekke helningen på rør ved ytterkant av feltet. Det vil si, hvis helningen på ledningen gjør at vannet renner vekk fra feltet som studeres, kan det plasseres et utløp (rød trekant i figur 9.1) i en kum nedstrøms denne ledningen. Etter å ha identifisert hele ytterkanten har det blitt plassert utløp slik at vannet kan forsvinne ut av feltet. Ved å plassere

utløp i alle kummer (som ikke er connection point/tilkoblingspunkt)²⁹ ved ytterkanten av feltet som skal studeres, har feltet nå blitt isolert fra resten av Oslo.

Parametere i delfeltene er det ikke gjort noe med og feltet kjøres som den er, da det ikke ligger noe grunnlag for å forandre på dem. Arealer for takflater, veiflatter og permeable flater er forskjellige fra delfelt til delfelt. Ellers er parameterverdiene som er brukt i modellen som følger:

Reduksjonsfaktor:	0,9
T/A-kurve:	Rektangulært felt (1)
Hydrologisk reduksjon takareal:	Varies
Hydrologisk reduksjon veiareal:	Varies
Konsentrasjonstid:	7 min
Initialtap:	0,0006



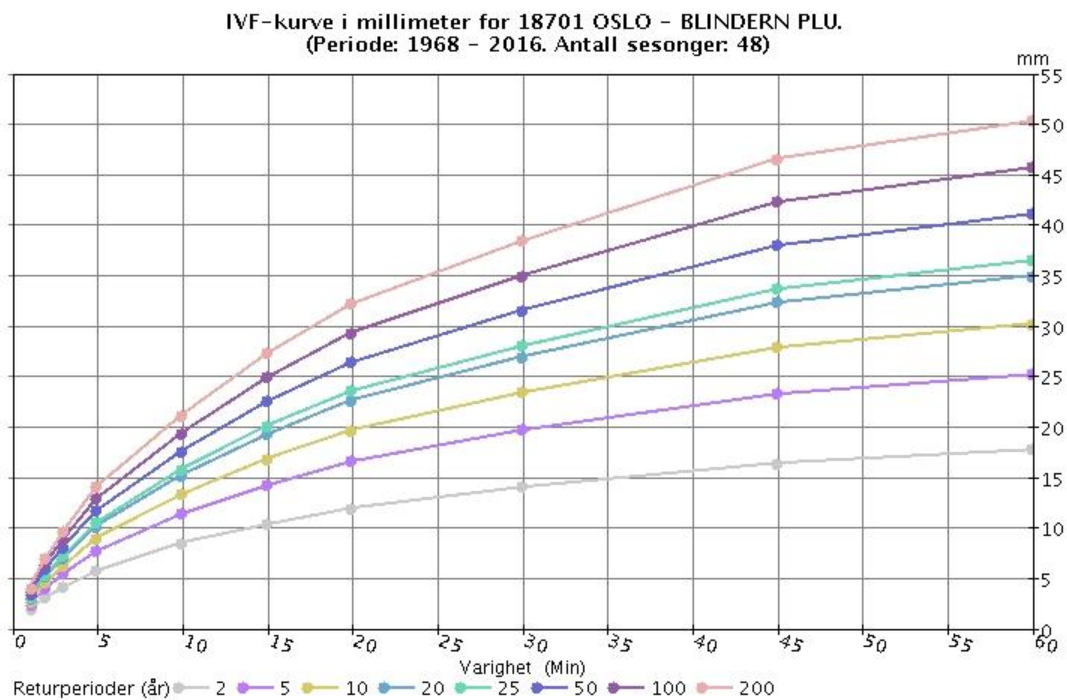
Figur 9.1: AK45-feltet for modellering.

²⁹ Utløp kan ikke settes ved kummer som også er connection point, da bidrag fra delfeltene registreres i disse kummene.

9.1.2 Konstruksjon av regnhyetogram

Det er valgt å kjøre for enkeltregn og ikke tidsserieregner i denne oppgaven. Begrunnelse for valget er gjort med hensyn til tiden. Det tar mye lengre tid å kjøre simulering for et tidsserieregner i forhold til enkeltregn. Dessuten er vi i oppgaven interessert i å finne ut hvilken innvirkning enkeltregn med ulike gjentakintervaller har på kjelleroppstuvingsproblemet og skadeomfanget knyttet til hvert enkeltregn. Oslo kommune, VAV, opererer med å dimensjonere VA-anleggene etter gitte gjentakintervaller på regn. Oppgaven har dermed valgt å følge det VAV til vanlig praktiserer.

For å kjøre modellen for enkeltregn, finnes det flere ulike metoder å gå inn med regndata på. I denne oppgaven er det valgt å benytte seg av symmetriske regnhyetogrammer, noe VAV også gjør. Konstruksjonen av regnhyetogrammene er gjort ut i fra data som følger IVF-kurver hentet fra eklima.no. Figur 9.2 viser eksempel på IVF-kurver fra Blindern, som er blitt benyttet i denne oppgaven. Figuren viser IVF-kurvene for 2 års gjentakintervall og opp til 200 års gjentakintervall. IVF-kurvene i figur 9.2 ser annerledes ut enn for figur 5.1 da enheten for intensitet er forskjellig i figurene. Regnintensiteten som benyttes som inndata til modellen har enhet mikro-meter/sekund og ikke liter/(hektar*sekund).



Figur 9.2: IVF-kurver fra nedbørstasjonen på Blindern. Regnvarighet på x-aksen (min) og akkumulert regnvolum på y-aksen(mm).

For å finne ut hvor lenge enkeltregnet skal vare, må konsentrasjonstiden til hele feltet først beregnes. Regnets varighet skal helst være lengre enn feltets konsentrasjonstid. Årsaken til dette er for å sørge for at avrenningen fra alle delfelt vil bidra til den totale avrenningen ved feltets utløpspunkt før regnet slutter. Varer regnet for kort i forhold til feltets konsentrasjonstid, vil delfeltene nærmest utløpet bidra til avrenning først. Dette uten at regnet fra de ytterste feltene har rukket å komme fram til utløpet før regnets slutt. Etter regnets slutt vil de nærmeste delfeltene ikke lenger bidra til avrenning, mens avrenningen fra de ytterste feltene nå bidrar til avrenning ved utløpspunktet.

Feltets konsentrasjonstid er summen av tiden det tar for regnet som faller ytterst i feltet bruker frem til sluket, og tiden den bruker i røret frem til utløpet (overløp i oppgavens tilfelle). I modellen er det satt en default-verdi på 7 min på hvert felt, fra den detter ned ytterst i feltet til den når et sluk. I urbaniserte områder anslås det ofte til å ligge mellom 3 – 7 minutter. For å finne regnets tid i ledningsnett, er vi avhengige av å finne det lengste ledningstrekket. Det lengste ledningsstrekket vannet kan ta fra et sluk til overløpet er 1 115 m. For vann i rør er det vanlig å sette hastigheten til 1,5 – 2 m/s. Sier vi at regndråpen har den tregeste hastigheten på 1,5 m/s, vil feltets konsentrasjonstid være

$$t_k = 7 \text{ min} * 60 \text{ s/min} + 1115 \text{ m} / 1,5 \text{ m/s} = 1163,3 \text{ s} = 19,4 \text{ min}$$

Med en konsentrasjonstid på mellom 19 – 20 min, vil et 60 min regn være tilstrekkelig for bruk i denne modellen.

For å finne intensitetene til et symmetrisk regnhyetogram for et bestemt gjentaksintervall, ligger følgende utregning til grunn. Eksempelet er vist for et 10-årsregn med varighet 60 min og et beregningssteg på 5 min.³⁰ Verdiene oppgitt i tabell 9.1, er hentet fra eklime.no, for Blindern, og er grunnlaget for konstruksjon av regnhyetogrammene.

³⁰ Tallene kan avvike noe i forhold til verdier brukt i modellen pga. avrunding i mellomregninger i eksempelet. Verdier brukt i modellen er regnet ut med regneark.

Tabell 9.1: Data fra IVF-kurve for et regn med 10års gjentaksintervall.

Regnvarighet	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
Akkumulert mengde (mm)	13,2	19,5	23,3	26,3	28,6	30,1
Intensitet (mm/t)	79,2	58,5	46,6	40,2	34,7	30,1
Intensitet ($\mu\text{-m/s}$) ³¹	22	16,25	12,94	11,18	9,6	8,36

I_{10}

$$= 22\mu\text{-m/s}$$

$I_{20}-I_{10}$

$$= (16,25\mu\text{-m/s} * 20\text{min} * 60\text{s/min} - 22\mu\text{-m/s} * 10\text{min} * 60\text{s/min}) / 600\text{s} = 10,5\mu\text{-m/s}$$

$I_{30}-I_{20}$

$$= (12,94\mu\text{-m/s} * 30\text{min} * 60\text{s/min} - 16,25\mu\text{-m/s} * 20\text{min} * 60\text{s/min}) / 600\text{s} = 6,3\mu\text{-m/s}$$

$I_{40}-I_{30}$

$$= (11,18\mu\text{-m/s} * 40\text{min} * 60\text{s/min} - 12,94\mu\text{-m/s} * 30\text{min} * 60\text{s/min}) / 600\text{s} = 5,9\mu\text{-m/s}$$

$I_{50}-I_{40}$

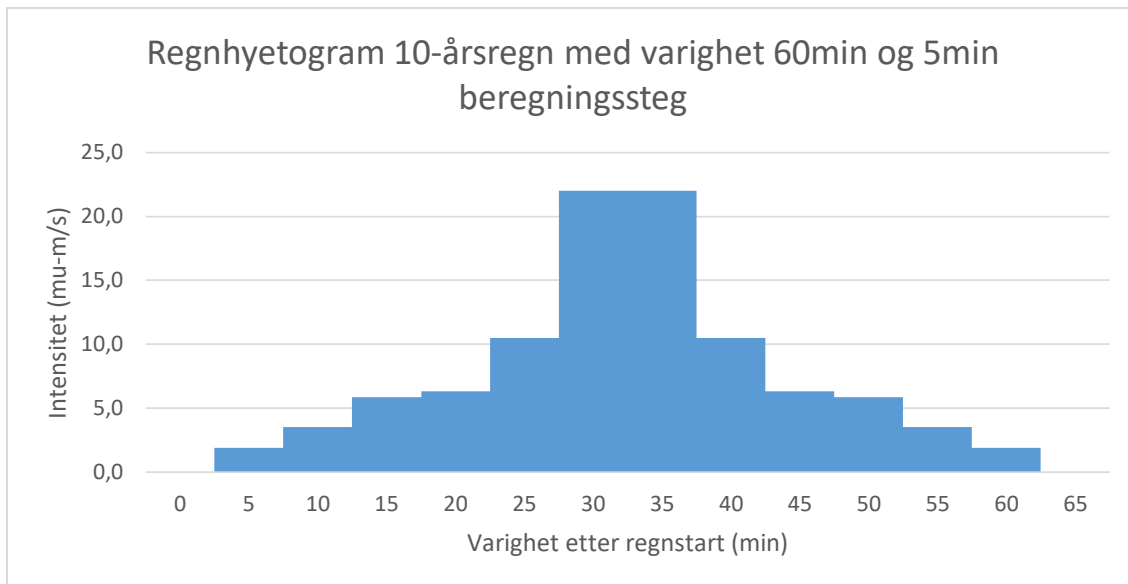
$$= (9,6\mu\text{-m/s} * 50\text{min} * 60\text{s/min} - 11,18\mu\text{-m/s} * 40\text{min} * 60\text{s/min}) / 600\text{s} = 3,5\mu\text{-m/s}$$

$I_{60}-I_{50}$

$$= (8,36\mu\text{-m/s} * 60\text{min} * 60\text{s/min} - 9,6\mu\text{-m/s} * 50\text{min} * 60\text{s/min}) / 600\text{s} = 1,9\mu\text{-m/s}$$

Intensitetsverdiene fordeles symmetrisk om regnhyetogrammets midtakse slik som i figur 9.3 under. I vedlegg A finnes tabell over verdier brukt for å konstruere regnhyetogram for 2-, 5-, 10-, 20-, 25-, 30-, 50- og 100-årsregn med og uten klimafaktor og deres regnhyetogrammer.

³¹ Enhet $\mu\text{-m/s}$ er mikrometer per sekund.



Figur 9.3: Regnhyetogram for 10-årsregn med varighet 60min og beregningssteg på 5min.

IVF-kurvene fra eklima.no inneholdt ikke kurve for regn med 30 års gjentakintervall. Oslo kommune, VAV, bruker regn med 30 års gjentakintervall i noen av sine utredninger, og for å finne verdier for 30-årsregn tar de utgangspunkt i 25-årsregn og multipliserer dette med en faktor på 1,04. Altså sier de at intensiteten på et 30-årsregn er 4 % større enn for et 25-årsregn (Abdi 2017b). Dette er også gjort i denne oppgaven.

9.1.3 Kjøring av modell

MOUSE er det som benyttes som motor i utregningene ved simulering av modellen. Det finnes flere moduler i MOUSE, men i denne oppgaven er det tatt i bruk tre moduler. Den ene er RDI/RDII, den andre MOUSE Runoff, og den siste MOUSE Pipe Flow.

For å generere sluttresultatene for hver simulering blir modellen først kjørt med en RDI-hotstart. Med RDI-hotstart vil initialbetingelsen for de ulike vannmagasinene i feltet stabilisere seg før avrenning-beregningene kjøres. Inputen for denne kjøringen er regndata, i form av regnintensiteter, slik som ved et regnhyetogram. De konstruerte regnhyetogrammene blir lest inn som en tekstfil, men blir først kjørt etter en stund ute i simuleringen. For at modellen skal stabiliserer initialbetingelsen i feltet, kjøres det først regndata for et gjennomsnittlig hydrologisk år, bestemt av meteorologisk institutt til å være fra 1993. Etter at regnintensitetene for et helt hydrologisk år er kjørt, legges så intensitetene til det konstruerte regnhyetogrammet til slutt i tekstfilen.

Etter at RDI-hotstart er kjørt, kjøres Runoff-modulen for å generere hydrogrammer i delfeltene.

Til slutt kjøres Pipe Flow-modulen, der inndata er hydrogrammene fra Runoff-modulen. Pipe Flow-modulen vil da generere resultater for avløpsnett, der oppstuvning og hastighet i kummer og rør, overløpsdata o.l. vil kunne bli fremstilt i case-feltet.

9.2 Metode for telling av antall kjelleroversvømmelser

For å kunne telle opp antall potensielle kjelleroppstuvninger i feltet som studeres, har metoden vært å telle antall hus med stikkledninger som er koblet til en ledning, der trykket har stått 90 cm over topp, innvendig rør. Det er gjort forenklinger ved denne metoden.

Forutsetningene som er gjort er at for hver stikkledning som er knyttet en kritisk ledning, vil den få kjelleroppstuvning og kjelleroversvømmelse³². Det vil si at det antas alle kjellersluk ligger akkurat 90 cm over topp, innvendig rør. I tillegg er det gjort en forutsetning om at alle husstander har kun én kjeller, hverken mindre eller flere. Installasjoner gjort for å hindre tilbakeslag av avløpsvann er også sett bort ifra. Dette kan være installasjoner som tilbakeslagsventil, som gjør at vannet kun kan renne én retning, ut av huset og ikke inn. En kjeller som opplever oversvømmelse vil kunne virke som et magasin der vannet kan lagre seg. Dette har heller ikke blitt tatt hensyn til, noe som egentlig er en fordel for husstander som ligger lenger oppstrøms.

Av resultat-lagene som blir brukt for å avgjøre kritiske ledninger med tanke på kjelleroppstuvning, er det «Pipe: Overflow» som blir brukt. Dette resultatlaget deler resultatene inn i flere kategorier avhengig av hvor høyt trykket er i røret; No overflow, 0-50 cm, 50-75 cm, 75-100 cm, >100 cm. Ettersom ingen av kategoriene i utgangspunktet er >90 cm, har det blitt lagt eget lag med kategori som viser ledning med oppstuvning over 90 cm topp, innvendig rør, for å kunne telle antall tilknyttede stikkledninger.

For å være helt korrekt i metoden å telle opp antall kjelleroppstuvninger, hadde det krevd mye tid i feltet for å kartlegge hvilke husstand som har kjeller og å måle kotehøyder for eventuelle kjellersluk og hovedledninger. I tillegg måtte en hatt nøyaktige data for påkoblingspunktet for stikkledningene på det kommunale nettet. Dette ville vært for tidkrevende og er ikke blitt gjort i denne oppgaven.

³² Laget for stikkledninger kan slås på i arbeidsområdet, for å se hvilke husstand som er knyttet til hvilke hovedledning. Stikkledningene som blir vist i laget, er ikke nøyaktig plassering, da VAV, Oslo kommune, ikke har oversikt over stikkledningsdata.

Denne oppgaven tar kun for seg kjelleroversvømmelse i forbindelse med at avløpsvann kommer opp i kjellerslukene fra avløpsnettets. Andre årsaker til kjelleroversvømmelse kan være at vannet trenger inn igjennom husets kjellervegger og gulv, igjennom ytre åpninger og at vannet strømmer ut fra lekkende vanninstallasjoner. Denne oppgaven begrenser seg kun til inntrenging fra avløpsnettets.

9.3 Metode for simulering av klimatilpasningstiltak

Det er tre tiltak som er blitt studert i denne oppgaven; konvensjonelle tiltak der rør som er flaskehals i avløpsnettets er blitt oppdimensjonert ved separering av overvann, takfrakobling slik at vannet som renner av fra taket ikke renner til avløpsnettets, men til et regnbed og fordrøyning av overvannet for at vannet skal bruke lengre tid før det når sluket i feltet.

Omfanget av tiltakene er gjort med hensyn til delmål 07 og delmål 20 fra Hovedplan avløp og vannmiljø (Vann- og avløpsetaten 2013b):

- DM07: VAV skal ta høyde for klimaendringer i sine dimensjoneringsretningslinjer og valg av løsninger.
- DM20: Ingen skal ha kjelleroversvømmelser på grunn av avløpsnettets kapasitet med gjentaksintervall opp til 30-årsregn.

I denne oppgaven er omfanget av tiltakene begrenset til å hindre kjelleroversvømmelse i feltet for et 30-årsregn. Det er også blitt sett på hvor omfattende tiltakene må være for å hindre kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn om 100 år, altså 30-årsregn med klimafaktor. For å ta høyde for klimaendringer benyttes klimafaktor 1,5 som multipliseres med regnintensitetene i regnhyetogrammene. Dette skal representere forandringen til de ulike årsregns intensitet om 100 år.

Samtidig er det gjort en liten studie med tilbakeslagsventiler som et tiltak, som en økonomisk sammenligning i forhold til de andre tiltakene. Her er det også gjort forenklinger og forutsetninger for den økonomiske analysen. Disse er listet opp i avsnitt 9.5.4 under «Tilbakeslagsventil». Ingen simuleringer er gjort for dette tiltaket, da det antas at tilbakeslagsventilene hindrer at hus, knyttet til en kritisk ledning, ikke får kjelleroppstuvning. Antall installerte tilbakeslagsventiler vil da være antall husstander som er knyttet til kritiske ledninger for dagens 30-årsregn og et 30-årsregn om 100 år.

9.3.1 Oppdimensjonering av rør ved separering av overvann

Oppdimensjonering av rør ved separering av overvann er gjort ved å simulere avløpsnettets for de aktuelle dimensjonerende årsregnene og gjøre tiltak på risikoledninger. Dette er gjort ved å se på hvilke rør som er flaskehals i nettet med resultatlaget, «Pipe: Max flow (relative)». Flere ledninger i nettet kan ha oppstuvning der trykklinjen står over 90 cm over topp innvendig rør, men ledningene selv er ikke nødvendigvis årsaken til oppstuvningen. Årsaken kan ligge i en ledning nedstrøms som er en flaskehals. Disse flaskehalsene vises i resultatlaget som sorte ledninger, og det er disse som er blitt oppdimensjonert og separert. Oppdimensjoneringen er gjort ved prøve-feile-metode, for å minimalisere tiltaket til akkurat nødvendig for å hindre kjelleroversvømmelse. Ny diameter på rør er økt til neste størrelsesorden i forhold til vanlige rørdiametere som allerede er brukt i modellen for feltet.

Ved å benytte seg av et slikt tiltak, løser man problemet i feltet ved å få unna vannet raskere ved flaskehalsen. Gitt at det er ønskelig å beholde dagens utslippsnivå i overløpet likt før og etter tiltaket, flyttes ofte problemet til nedstrøms felt. Derfor vil det kunne bli aktuelt å oppdimensjonere rørene nedstrøms overløpet frem til nærmeste utslippspunkt. For dette feltet ligger nærmeste utløp til en avløpstunnel 1 970 ledningsmeter fra overløp AK45³³. Tiltak på rør nedstrøms overløpet er ikke gjort, da oppgaven begrenser seg til kun felt AK45.

Figur 9.4 viser oversikt over ledningene som er oppdimensjonert og separert for å forhindre kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn. Se også vedlegg B «Oppdimensjonering ved separering av OV-ledning(er) for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn uten klimafaktor.» for data om oppdimensjonerte rør. Som figur 9.4 viser er det kun gjort oppdimensjonering på ett rør som ligger rett oppstrøms overløpet, vist med blå markering på ledning. Total ledningslengde på oppdimensjonert rør er 18,58 meter, som utgjør 0,34 % av det totale ledningsnettets i feltet.

³³ En avløpstunnel er å anse som å ha såpass stor dimensjon at kapasiteten ikke er en begrensende faktor.



Figur 9.4: Oppdimensjonering av rør for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn uten klimafaktor. Aktuell(e) rør er vist med blå markering.

For et avløpsnett som blir belastet med 30-årsregn med klimafaktor blir tiltakene mer omfattende, og flere rør må oppdimensjoneres ved separering av overvann. Figur 9.5 viser aktuelle rør ved blå markering, se også vedlegg B «Oppdimensjonering ved separering av OV-ledning(er) for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn med klimafaktor.» for data om oppdimensjonerte rør. Totalt er det 15 rør som skal oppdimensjoneres. Dette utgjør total ledningslengde på 683,04 meter, er 12,38 % av det totale ledningsnettet.



Figur 9.5: Oppdimensjonering av rør for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn med klimafaktor. Aktuell(e) rør er vist med blå markering.

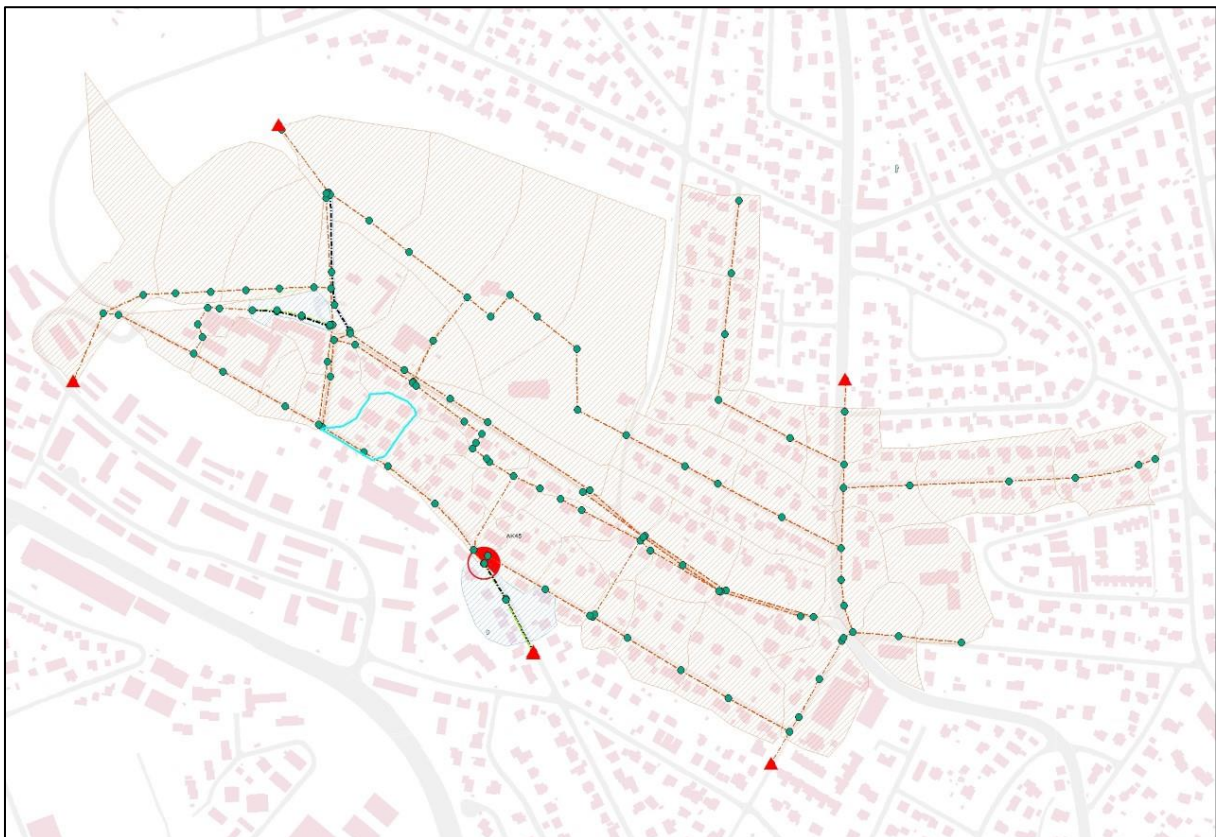
9.3.2 Takfrakobling med regnbed

Ved takfrakobling vil tiltakene utført for et delfelt gjelde tak for alle husstander, og det deles ikke opp for hver husstand. For et delfelt som består av tre hus vil for eksempel ikke tiltaket gjelde for ett hus, men for alle tre husene. Tak for ulike typer bygg blir det ikke skilt på, som for eksempel bohus og garasje. Tiltakene blir gjort uavhengig om taket er på en garasje eller bohus. Det er testet for hvor omfattende tiltaket må være for et 30-årsregn med og uten klimafaktor for at det ikke skal forekomme kjelleroppstuvning i feltet.

Metoden benyttet for dette tiltaket er som for oppdimensjonering ved separering av overvann, ved å se på resultatlaget «Pipe: Max flow (relative)», for å kartlegge flaskehalsene som fører til oppstuvning. Etter å ha skaffet oversikt over risikoledninger, som er flaskehals, har det blitt gjort tiltak i delfeltene som ligger oppstrøms risikoledningen for å minke tilførselen av vann til disse ledningene. Delfelt som ligger oppstrøms en risikoledning er gitt ved plassering av tilkoblingspunktet/connection point til delfeltet. Ligger tilkoblingspunktet til delfeltet oppstrøms risikoledningen, er også delfeltets avrenningsbidrag til avløpsnett oppstrøms risikoledningen.

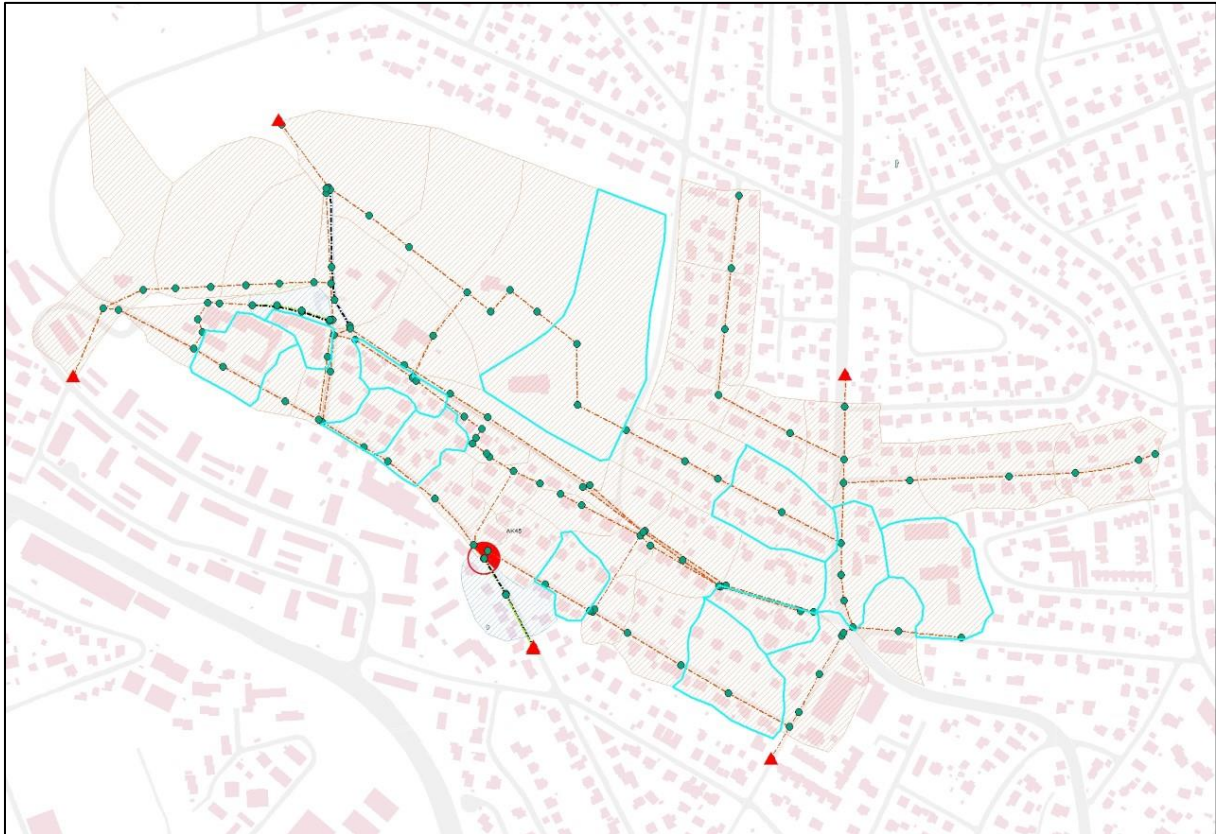
For å modellere dette tiltaket er det gjort en forenkling, ved å si at all vann som renner av taket ikke vil finne veien til avløpsnettet og forsvinner ut av modellen. Det antas at takvannet renner til et regnbed. Dette forutsetter også at det ikke vil forekomme innlekking til ledningsnettets fra det samme vannet som har infiltrert i fra regnbedet. I modellen settes «Factor» for «Roof» lik null for aktuell delfelt. I virkeligheten vil noe takvann, selv om det er koblet fra, finne veien til avløpsnettet. I oppgaven antas det at regnbedet klarer å forhindre at all vannet finner veien til avløpsnettet. Alternativt blir det da å sette samme «Factor» til en litt høyere verdi slik at den bidrar litt til avrenning i ledningsnettets. I denne oppgaven er «Factor» satt til null for «Roof».

Figur 9.6 viser delfelt det er gjort tiltak i for en belastning tilsvarende 30-årsregn. De aktuelle felt(ene) er vist med blå markering ved linjene som avgrensner delfelt(ene). Totalt er det ett felt det er gjort tiltak i. Dette tilsvarer frakoblet takareal på 897,1 m² som er 2,2 % av total takareal.



Figur 9.6: Delfelt der takvann har blitt frakoblet fra avløpsnettets, for en belastning tilsvarende 30-årsregn uten klimafaktor. Aktuell(e) delfelt er vist med blå markering av linjer for delfeltets grense.

For å ta hensyn til klimafaktor i tillegg, blir tiltaket enda mer omfattende, se figur 9.7. Dette krever tiltak i tolv delfelt, for å tilfredsstille kravet om null kjelleroversvømmelser. Frakoblet takareal tilsvarer 14 206,2 m² og er 35,1 % av takarealene i feltet.



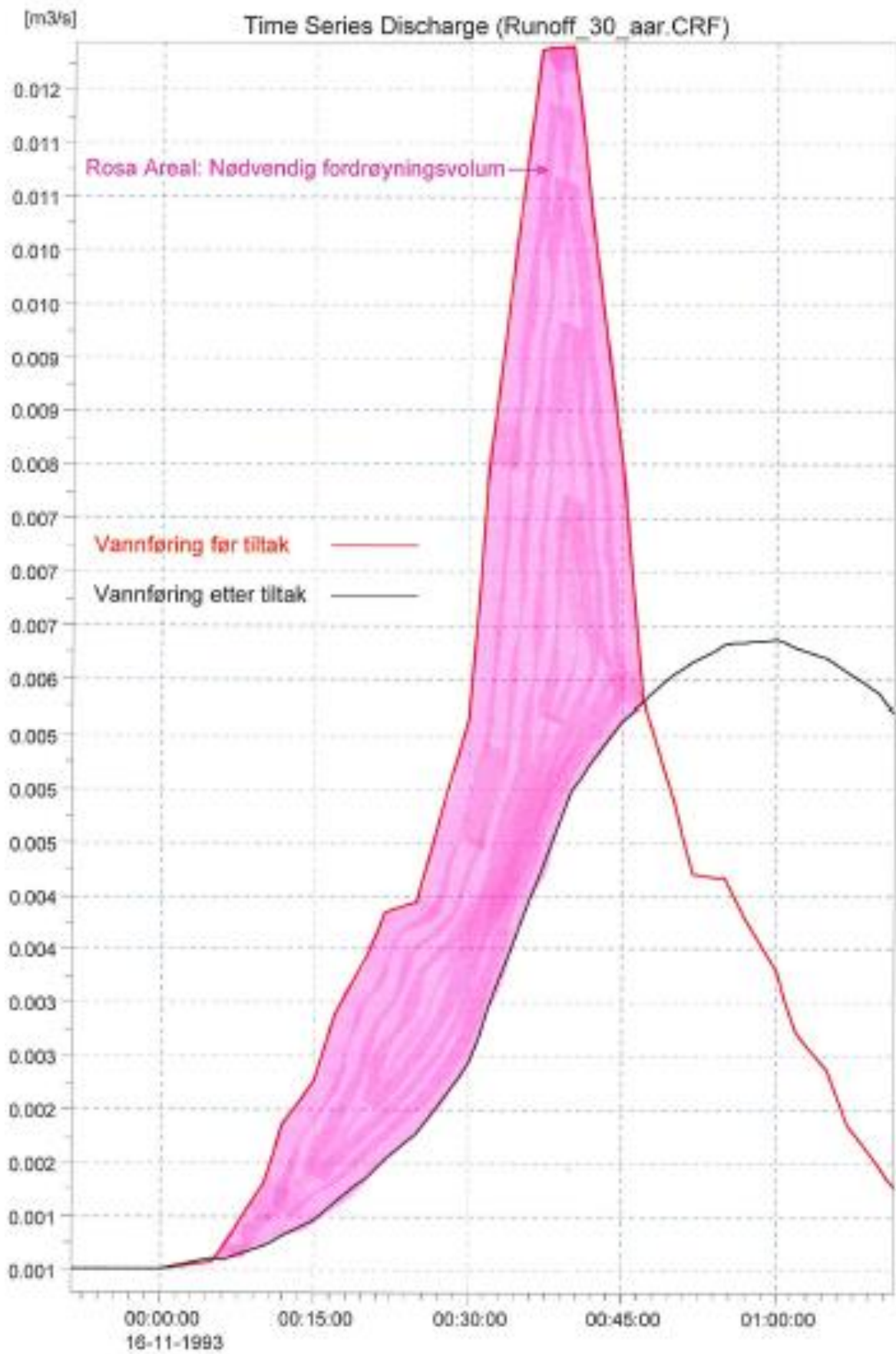
Figur 9.7: Delfelt der takvann har blitt frakoblet fra avløpsnett for en belastning tilsvarende 30-årsregn med klimafaktor. Aktuell(e) delfelt er vist med blå markering av linjer for delfeltens grenser.

9.3.3 Fordrøyningsbasseng

Med fordrøying som tiltak, er hensikten å holde tilbake vannet. Dette gjøres for at vannføringstoppen blir lavere og forsinket. Belastningen på avløpsnett blir dermed mildere. Det tas utgangspunkt i risikoledninger som er flaskehalser. Deretter gjøres det fordrøyingstiltak i delfelt, med tilkoblingspunkter som ligger oppstrøms risikoledningene, for å minke avrenningsbidraget. Fordrøyingstiltaket er i modellen gjort ved å øke konsentrasjonstiden til delfeltene. Det tar altså lengre tid for vannet å «reise» igjennom feltet før det når avløpsnett. I denne oppgaven har konsentrasjonstiden blitt forandret fra 7 min til 45 min. Fordrøying kan enten være av lukket eller åpen type. Ved lukket fordrøying, er det vanlig med fordrøying under bakken, mens ved åpen fordrøying er det fri, synlig vannflate med et overflatemagasin. Oslo kommune, VAV, ønsker at LOD-tiltakene skal være av åpne løsninger.

Nødvendig fordrøyningsvolum for hvert delfelt, er funnet ved hjelp av volumstrømbidraget til avløpsnett fra delfeltene, før og etter tiltak. Omfanget av tiltaket er også her testet for å hindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn med og uten klimafaktor. Metode for å finne nødvendig fordrøyningsvolum for delfelt, gitt økt konsentrasjonstid fra 7 min til 45 min, gjengis punktvis nedenfor og illustreres også ved figur 9.8.

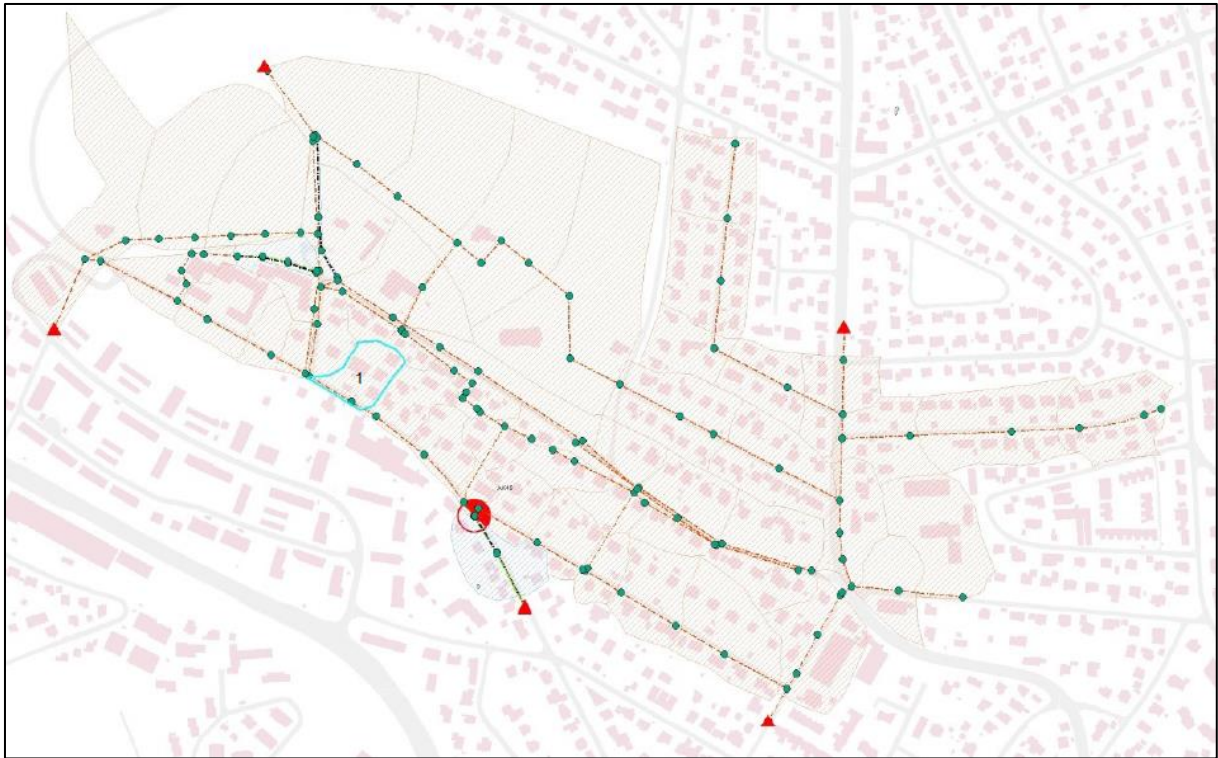
1. Volumstrøm per tid fra delfelt før tiltak: Differanse av volumstrøm per tid fra ledning nedstrøms tilkoblingspunkt til delfelt og volumstrøm per tid fra ledning oppstrøms tilkoblingspunkt til delfelt, før tiltak iverksettes.
2. Volumstrøm per tid fra delfelt etter tiltak: Differanse av volumstrøm per tid fra ledning nedstrøms tilkoblingspunkt til delfelt og volumstrøm per tid fra ledning oppstrøms tilkoblingspunkt til delfelt, etter tiltak har blitt gjort.
3. Tilførsel til / videreføring fra fordrøyningsmagasin: Differanse av volumstrøm per tid fra delfelt før tiltak og volumstrøm per tid fra delfelt etter tiltak, (punkt 1 – punkt 2).
4. Antar at volumstrøm er konstant over et tidsintervall på 1 min. Regner så ut akkumulert volum ved gitte tidspunkter til fordrøyningsmagasin fra verdier regnet ut i punkt 3.
5. Nødvendig volum: Finner maksverdi av akkumulert volum ved gitte tider fra punkt 4.



Figur 9.8: Grafisk illustrasjon av nødvendig fordrøyningsvolum for ett delfelt.

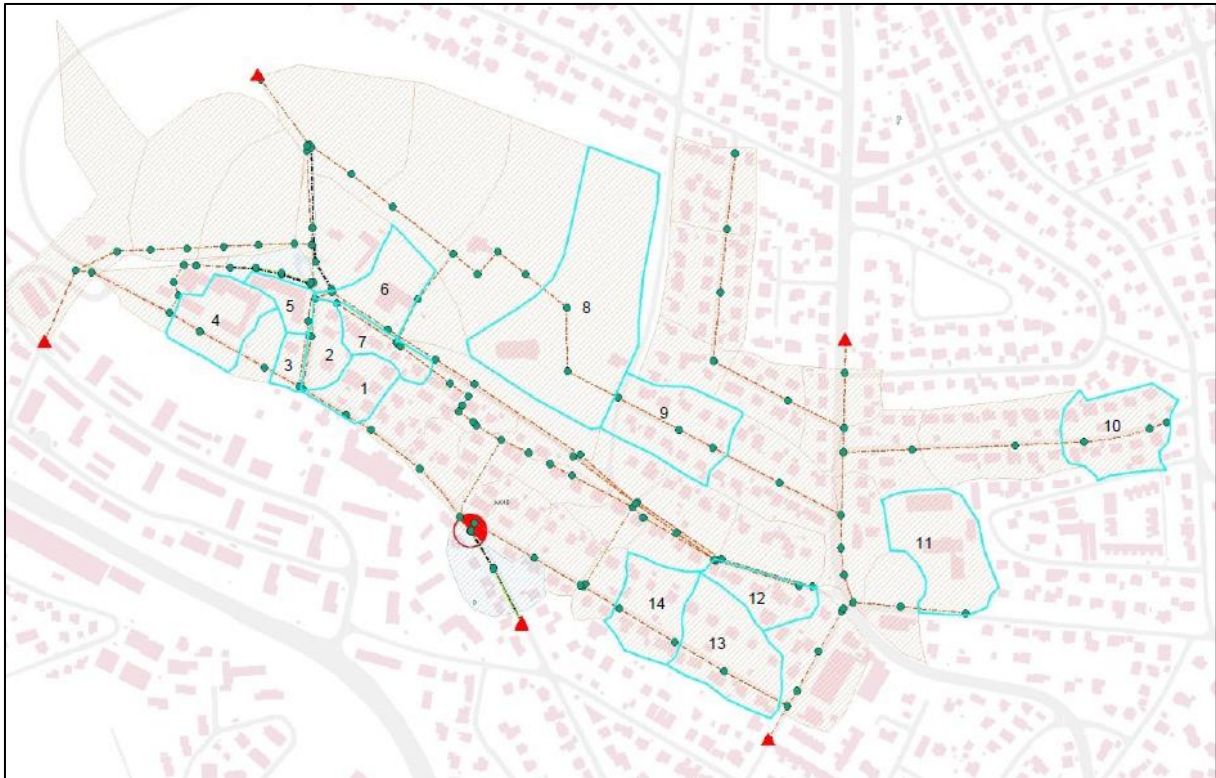
Vanligvis er det utslippskontroll på overvann til det kommunale nettet. Dette er for at abonnenter ikke fritt skal kunne slippe store vannmengder og oppta kapasiteten til avløpsnettet. Ved utløpet til fordrøyningsbassenger er det da vanlig å regulere utslippsmengden. Dette kan gjøres ved struping av utløpet, strupet ledning, virvelkammer med mer. Utslippskontroll er ikke modellert opp i denne oppgaven. Dette hadde i så fall blitt tatt hensyn til i utregning av fordrøyningsvolum. Istedenfor at fordrøyningsmagasinet har mengderegulator, benyttes vannføring fra delfeltet, etter at tiltak er gjennomført, som volumstrøm ut av fordrøyningsmagasinet. Tilførsel til magasinet er vannføringen til delfeltet før tiltaket er gjort.

Figur 9.9 viser hvilke delfelt det er gjort fordrøyningstiltak i, for at det ikke skal forekomme kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn med dagens intensitet. Delfeltet med nummerering er vist med blå markering av delfeltets grenser. I alt er det behov for tiltak i kun ett felt, med et fordrøyningsvolum på $7,74 \text{ m}^3$. Gitt at fordrøyningsmagasinet har en dybde på én meter, utgjør tiltaket et arealbruk på 0,0027 % av de permeable flatene i AK45-feltet, eller 0,28 % av de permeable flater i delfeltet det er aktuelt å gjøre tiltak i. Se også vedlegg C for «Fordrøyningsdata for tiltak gjort for 30-årsregn uten klimafaktor». I vedlegget er det oppgitt hvor stort fordrøyningsvolum som trengs for hvert delfelt, der nummerering av delfeltene tilsvarer nummerering i figur 9.9.



Figur 9.9: Oversikt over delfelt det er gjort fordrøyningstiltak i, for en belastning tilsvarende 30-årsregn uten klimafaktor.

Figur 9.10 viser hvilke delfelt det er gjort fordrøyningstiltak i, for at det ikke skal forekomme kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn vi kan forvente om 100 år. Delfeltene med nummerering er vist med blå markering av delfeltenes grenser. Tiltaket omfatter fordrøyning i 14 delfelt, med totalt fordrøyningsvolum på 185,7 m³ for hele feltet. Gitt at fordrøyningsmagasinet har en dybde på én meter, utgjør tiltaket et arealbruk på 0,066 % av de permeable flatene i AK45-feltet, eller 0,20 % av de permeable flatene i delfeltene som det er aktuelt å gjøre tiltak i. Se også vedlegg C for «Fordrøyningsdata for tiltak gjort for 30-årsregn med klimafaktor». I vedlegget er det oppgitt hvor stort fordrøyningsvolum som trengs for hvert delfelt, der nummerering av delfeltene tilsvarer nummerering i figur 9.10.



Figur 9.10: Oversikt over delfelt det er gjort fordrøyningsiltak i, for en belastning tilsvarende et 30-årsregn med klimafaktor.

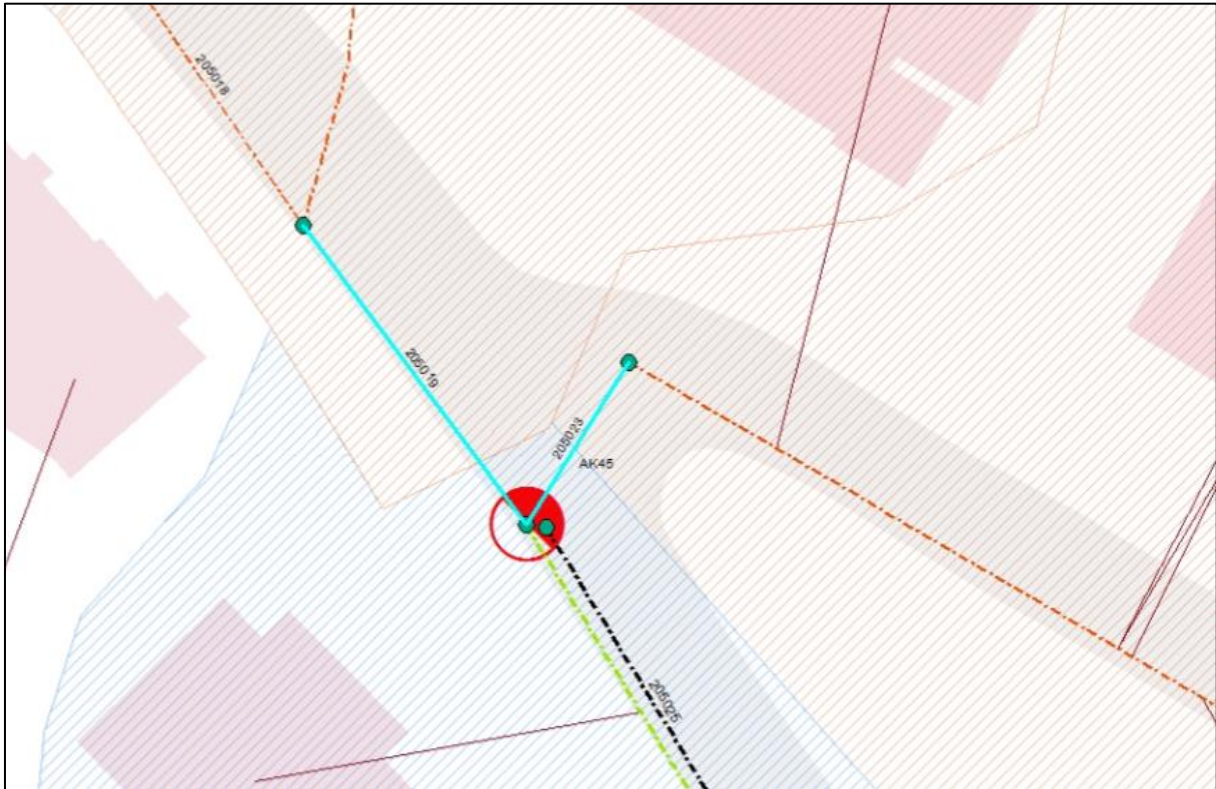
9.3.4 Tilbakeslagsventil

Metode for vurdering av potensiell antall kjelleroversvømmelser ved ulike årsregn, for tiltak som gjelder tilbakeslagsventil, er dette gjort ved å installere tilbakeslagsventiler for alle husstander som kan oppleve oversvømmelse for et 30-årsregn med og uten klimafaktor. Når ytterligere simuleringer gjøres for andre årsregn, trekkes antall husstander det er gjort installasjon av tilbakeslagsventil på, i fra det totale antall husstander som får kjelleroversvømmelse, for et scenario der det ikke er gjort tiltak.

9.4 Følsomhetsanalyse

Da forekomsten av kjelleroppstuvning er avhengig av kapasiteten i avløpsnett, som igjen er avhengig av vannføringen, er det foretatt en følsomhetsanalyse for å se på korrelasjonen mellom relativ endring i maksimal vannføring, i to ledninger inn mot overløpet, som følge av relativ endring ved fire ulike parametere for et 5-årsregn. Se figur 9.11 for aktuelle ledninger benyttet i analysen; ledning 205019 som ligger til venstre for overløpskummen og ledning 205023 som ligger til høyre for overløpskummen er markert blå. Årsaken til at det er gjort analyse i disse to ledningene er fordi begge fører inn til overløpet og er kritiske i forhold til

oppstuvning. Disse ledningene ligger også lengst ned i feltet og får bidrag fra samtlige felt ovenfor.



Figur 9.11: To ledninger inn mot overløpet benyttes i følsomhetsanalysen; ledning 205019 til venstre og ledning 205023 til høyre.

Følsomhetsanalysen er gjort ved å senke/øke én parameter med et spenn på 50 % av sin verdi, mens alle andre parametere holdes konstant. Parameterne som er blitt analysert er gropmagasin, ruhet, andel tette flater og konsentrasjonstid. Forandring i parametere er gjort for alle delfelt i AK45.

9.5 Økonomisk analyse

I den økonomiske analysen er det forsøkt å se på de økonomiske følgene av de ulike tiltakene gjort i feltet, for å se hvilke tiltak som er lønnsomme, eventuelt ikke er lønnsomme. I tillegg sammenstilles de økonomiske resultatene for hvert tiltak opp mot hverandre.

Tidshorizonten på den økonomiske analysen vil som for hydrauliske analysen være på 100 år. Antatt levetid på ledninger fra installasjonstidspunktet er 100 år. Andre installasjoner som er aktuelle med kortere levetid vil bli vurdert mot et 100 års tidsperspektiv, for å få et så sammenlignbart økonomisk grunnlag som mulig.

Tiltakene blir vurdert i en kost/nytte-vurdering. Dette gjøres ved å se på hvor omfattende kostnadene forbundet med å la være å gjøre tiltak i feltet er, i forhold til kostnadene ved et avløpsnett med tiltak, dersom tiltaket blir implementert i dag. Ved å ikke gjøre tiltak i feltet, vil kostnadene utgjøres kun av antall kjelleroversvømmelser over 100 år. Ved å utføre tiltak, er kostnadene tiltaket i seg selv og antall kjelleroversvømmelser som oppstår for en 100-års periode i det «nye» avløpsnettet. Tiltak vil vurderes å være lønnsomt dersom kostnadene forbundet ved det «nye» anlegget er mindre enn skadekostnadene ved «gammelt» avløpssystem, over et 100 års perspektiv.

9.5.1 Metode for beregning av antall kjelleroversvømmelser over 100 år

Et årsregn med bestemt gjentaksintervall, T , vil ha en gjennomsnittlig intensitet på I_T . Vi kan da forvente å observere at regn med intensitet $I \geq I_T$ vil komme med en frekvens lik $1/T$. Det vil si at frekvensen er et mål på hvor ofte vi kan forvente, i snitt over en lang periode, at en regnhendelse som opptrer har en intensitet som er lik eller overskrider en viss verdi. For å illustrere poenget, kan vi forvente at det, per definisjon, vil opptre ett 100-årsregn i løpet av 100 år³⁴. For et 50-årsregn er frekvensen 0,02 (2%). Altså forventes det at vi opplever to regnhendelser som har intensitet lik eller større enn 50-årsregnet. Da 100-årsregnet har intensitet kraftigere enn 50-årsregnet, har vi allerede opplevd en av to 50-årsregn. Så for en 100 års periode, vil det opptre ett regn med intensitet tilsvarende et 50-årsregn.

Skadeomfanget ved antall potensielle kjelleroversvømmelser, er gitt i den hydrauliske analysen for ulike, enkelte årsregn med og uten klimafaktor. Men hvor ofte kan vi forvente at regn med skadepotensiale opptrer i løpet av en 100 års periode? Nilsen (2017), har etter ønske av forfatteren, satt seg inn i problemstillingen og lagd et notat over antall skader som kan forventes i løpet av en 100 års periode. Forventet antall skader i snitt per år kan finnes ved hjelp av formel 9-1:

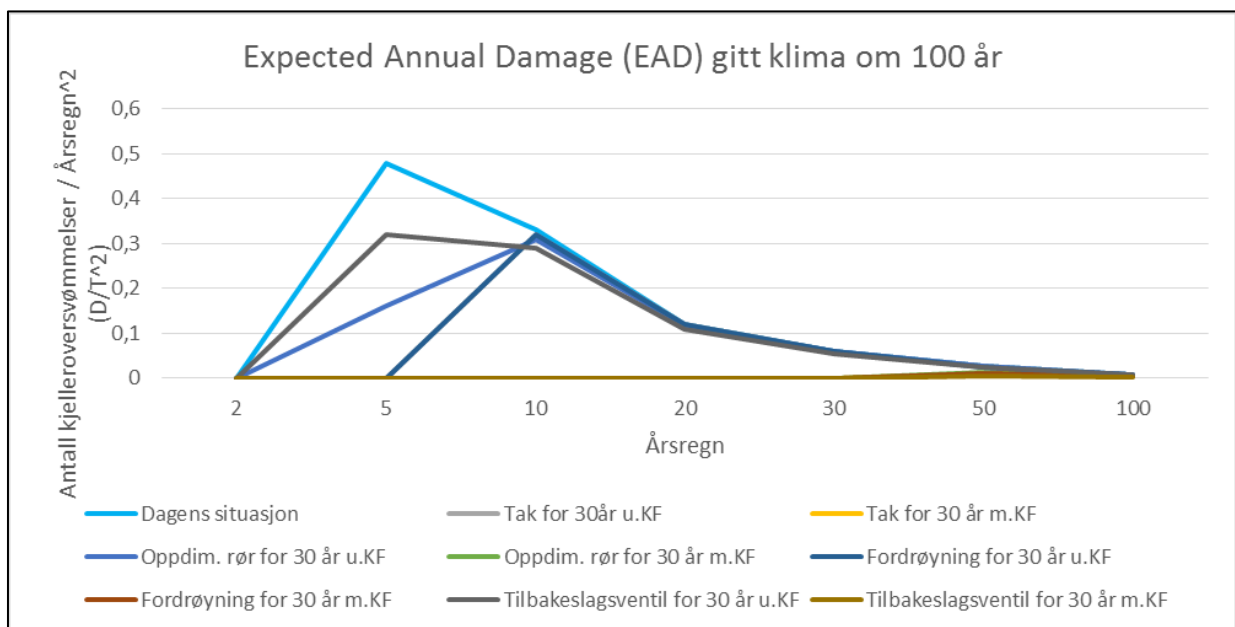
$$EAD = \int_0^{\infty} \frac{D[f_d(T)]}{T^2} dT \quad 9-1$$

der	EAD	=	Gjennomsnittlig forventet årlig antall skader
	$D[f_d(T)]$	=	Skadefunksjon gitt gjennomsnittlig regnintensitet, for regn med gitt gjentaksintervall
	T	=	Gjentaksintervall på regn

³⁴ Det antas at i løpet av en 100 års periode at intensiteten tilsvarende et 100-årsregn er det kraftigste regnet som oppleves.

Arealet, eller integralet, finner forventet antall skader i snitt per år (Expected annual damage). For å finne forventet antall kjelleroversvømmelser over t år, gitt uforandret klima, multipliseres EAD med $t =$ antall år.

Figur 9.12 illustrerer metoden benyttet for å finne EAD for ulike tiltak. Den viser hvor mange kjelleroversvømmelser vi i snitt kan forvente hvert år, for ulike scenarier, ved å beregne arealet til den aktuelle kurven. For å finne ut hvor mange kjelleroversvømmelser vi får i løpet av 100 år, multipliseres areal-verdien med 100. Se også vedlegg E for data knyttet til metode for å finne forventet antall kjelleroversvømmelser over 100 år gitt dagens klima og fremtidens klima.



Figur 9.12: Gjennomsnittlig forventet årlig kjelleroversvømmelser gitt fremtidens klima med klimafaktor 1,5.

Tilsvarende figur som figur 9.12 finnes i vedlegg E for gjennomsnittlig forventet årlig kjelleroversvømmelser, gitt dagens klima.

9.5.2 Nåverdimetoden

Penger i dag er mer verdt enn penger i fremtiden. For å illustrere påstanden, så er det bedre å motta 100 kroner i dag enn om et år. Har du 100 kroner i dag, kan du eksempel sette de i banken eller investere i statsobligasjoner og få renter av dem. Om et år har du da 100 kroner pluss rentene du fikk av de 100 kronene.

For å ta hensyn til tidsverdien av penger er det vanlig, i problemstillinger knyttet til investeringer, å diskontere³⁵ fremtidens kroneverdi til dagens kroneverdi. For å sjekke lønnsomheten i prosjekter, er det vanlig å benytte seg av nåverdimetoden. Metoden går ut på å diskontere alle fremtidige kontantstrømmer til dagens verdi (nåverdi). Ved å diskontere for alle kostnader og inntekter til dagens kroneverdi og summere disse, kan man finne lønnsomheten, også kalt netto nåverdi. For at et investeringsalternativ skal være lønnsomt, må nåverdien av nytte³⁶ være høyere enn investeringskostnaden ved investeringstidspunktet. Sagt på en annen måte, netto nåverdi må være null eller positiv, se formel 9-2 (Ross et al. 2014):

$$NNV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{U_t}{(1+r)^t} \quad 9-2$$

der	NNV	=	Netto nåverdi
	I_0	=	Investeringskostnad ved år null
	U_t	=	Nytte ved år t
	t	=	Antall år
	r	=	Diskonteringsrente

I oppgavens tilfelle vil I_0 være eventuelle investeringskostnader forbundet med implementering av tiltak. Nyten, U, vil være kostnadsbesparelsen av skader ved å innføre tiltaket i forhold til ikke å ha tiltaket fra år én til år 100. Nyten vil diskonteres til år null, som er ved investeringstidspunktet.

Summasjonsleddet i formel 9-2 må itereres over en 100 års periode. Summen av nåverdien for alle år kan gjøres enkelt ved hjelp av regneark. Alternativt kan formel 9-3 brukes dersom nytten, U_t , over alle år er like (Ross et al. 2014).

$$\text{Annuitetsnåverdi} = C * \left\{ \frac{1 - [1/(1+r)^t]}{r} \right\} \quad 9-3$$

der	Annuitetsnåverdi	=	Nåverdi av fremtidige annuitetsstrømmer
	C	=	Annuitetsstrømmer
	r	=	Diskonteringsrente
	t	=	Antall år

³⁵ Diskontere – omgjøre fremtidens pengeverdi til dagens pengeverdi.

³⁶ Nyte – Positiv effekt minus negativ effekt.

Diskonteringsrente

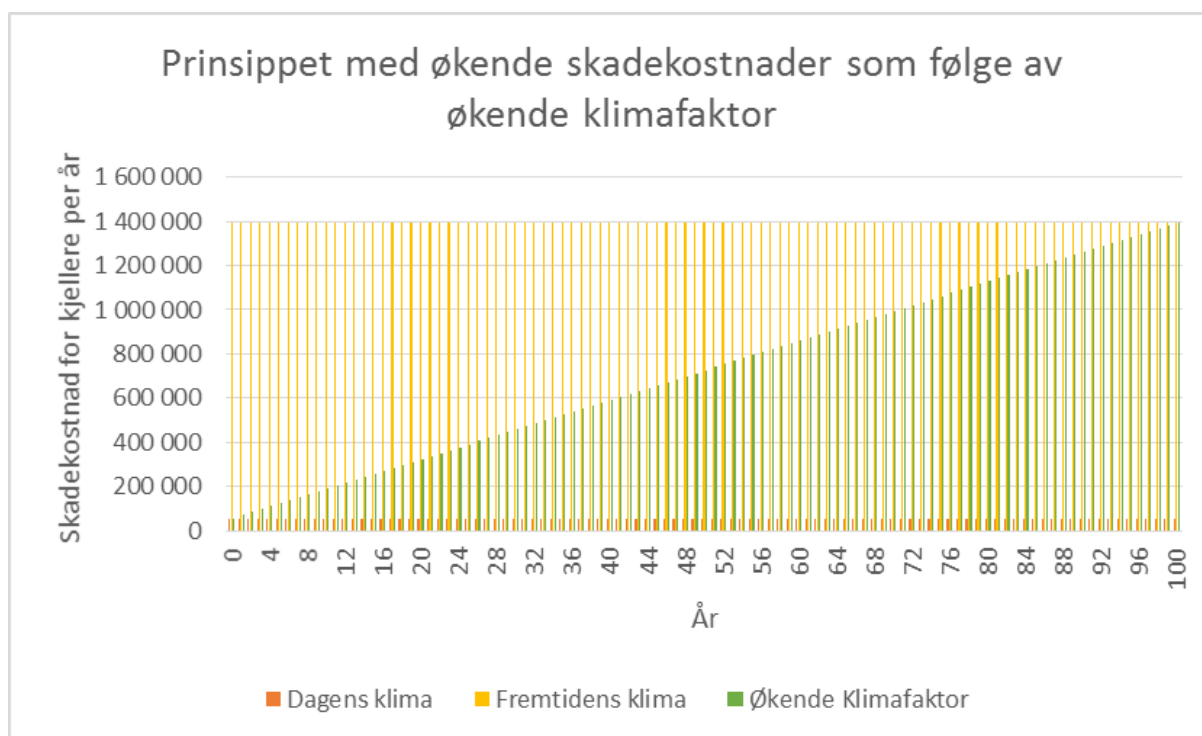
Diskonteringsrenten representerer vanligvis risiko eller avkastningskravet som er satt i et prosjekt. Hvis avkastningskravet eller risikoen er høy, vil diskonteringsrenten være tilsvarende høy, og lav ved lavt avkastningskrav eller risiko.

Ved investeringer settes det ulike avkastningskrav avhengig av investeringsobjektet. Ideelt sett hadde hvert element i en investering fått tildelt egen diskonteringsrente, men for enkelthetens skyld er det benyttet én diskonteringsrente for alle elementer i alle investeringstiltak. Etter samtale med Lindholm (2017), er det bestemt å benytte seg av en diskonteringsrente tilsvarende 4 %, for alle investeringsobjekter i et 100 års perspektiv. Dette er en forutsetning som gjøres i den økonomiske analysen. I realiteten forandres renten kontinuerlig.

9.5.3 Beregning av totale skadekostnader med hensyn til stigende klimafaktor

Da vi antar at klima forandrer seg i løpet av 100 år, må vi ta hensyn til det i kostnadsberegningen. I løpet av en 100 års periode vil antall kjellerskader per tid øke, i snitt over en lang periode. Vi vet ikke om for eksempel et 100-årsregn vil forekomme i dag, om 50 år eller om 100 år. Med tanke på at regnhendelsene opptrer stokastisk i løpet av en periode, kan de totale skadekostnadene netto nåverdi, over en 100 års periode, variere en del som følge av tidsverdien av penger. For å møte disse utfordringene gjøres det en forutsetning om at klimaet forverrer seg lineært, fra klimafaktor lik null i dag til klimafaktor lik 1,5 om 100 år. Det beste grunnlaget for en økonomisk analyse blir å finne gjennomsnittlig skadekostnad per år (EAD multiplisert med skadekostnad per kjeller) fra formel 9-1, og anta at disse kostnadene gjelder for alle år i den økonomiske perioden. Gjennomsnittlig skadekostnad per år blir funnet både for dagens klima og for klima om 100 år. For å finne økningen i skadekostnader per år, gjøres det en forenkling ved å si at den øker med samme lineære forhold som klimafaktoren. For en 100 års periode, vil kostnadene hvert år øke med én prosent av differansen mellom de gjennomsnittlige skadekostnadene per år for fremtidens klima og for dagens klima. Figur 9.13 illustrerer prinsippet for økning i skadekostnader per år som følge av økende klimafaktor. Etter at skadekostnadene for hvert år er funnet, vil de bli diskontert til dagens kroneverdi, gitt diskonteringsrenten på 4 %, og summert for å finne nåverdien av scenariet.

Denne metoden blir benyttet for å finne nåverdien av skadekostnadene uten implementering av tiltak, og for alle de ulike tiltakene som er studert i oppgaven.



Figur 9.13: Prinsippet med økende skadekostnader som følge av økende klimafaktor.

9.5.4 Kostnader som er hensyntatt i analysen

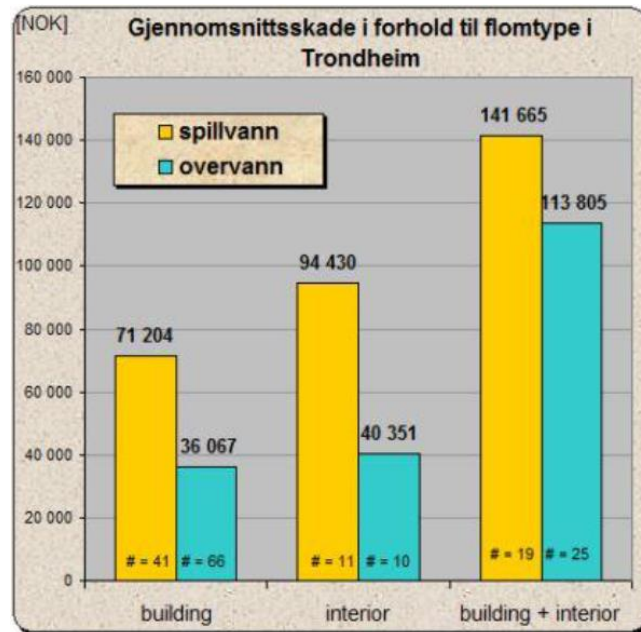
Innledningsvis ble det nevnt at det mest optimale var å se på kostnadene i en samfunnsøkonomisk sammenheng. Dette har ikke blitt gjort i oppgaven, da det er mange elementer som har måtte blitt kartlagt, noe som ville vært tidkrevende. Da det er utelatt mange kostnadselementer i et samfunnsøkonomisk perspektiv, vil kostnadsbildet være undervurdert. Eksterne og indirekte virkninger er sett bort i fra i kostnadsanalysen. Dette kan være kostnader forbundet med helse, trafikk, miljø, folks subjektive oppfatning av nytteverdien i blågrønne løsninger osv.

I denne oppgaven har kostnadene blitt begrenset til å gjelde investeringskostnader og driftskostnader for ulike tiltak, og skadekostnadene forbundet med kjellerskader som følge av oppstuvning fra ledningsnett. Skade som følge av dårlig drenering er sett bort i fra. Det vil si at skadekostnadene, forbundet med oppstuvning fra kjellersluk, består av interiørskader og bygningsskader som følge av vann som trenger opp fra kjellersluk.

I en tid preget av teknologisk fremskritt og innovasjon, vil en økonomisk periode på 100 år være en veldig lang tidshorison. Det gjøres en forutsetning om at det ikke skjer teknologiske fremskritt med tanke på nye metoder og produkter for overvannshåndtering.

Skadekostnader

Skadekostnadene som vurderes i denne oppgaven tar for seg, som sagt i avsnittet ovenfor, skade skjedd på interiør og bygg som følge av at spillvann stuver opp i ledningsnett og opp igjennom kjellersluk. Med anbefaling fra Lindholm (2017) er det benyttet kostnadsdata fra NORVAR (2004) som har regnet ut kostnader for bygninger med gjennomsnittsskade i forhold til flomtype i Trondheim, se figur 9.14.



Figur 9.14: Gjennomsnittlig skadekostnad for bygg i forhold til flomtype i Trondheim (NORVAR 2004).

Det er tatt utgangspunkt i kostnad ved gul søyle (spillvann) for bygg og interiør. Dette er gjort med grunn i at det er spillvann fra ledningsnett som det er fokusert på i denne oppgaven, og at interiør og bygg som følge av det utgjør skadeverdiene. Figuren oppgir datidens gjeldende verdi til å være 141 665 kr. For å omgjøre datidens kroneverdi til 2017-verdier, justeres den for KPI (Konsumprisindeksen)³⁷ ved hjelp av KPI-kalkulator fra Statistisk Sentralbyrå (SSB 2017). Fra 2004 til mars 2017 har det vært en prisstigning på 29,6 %, noe som vil si at skadekostnadene omgjort til dagens kroneverdi tilsvarer 183 640 kr.

Takfrakobling med regnbed

For å danne et økonomisk sammenligningsgrunnlag for takfrakobling, tas det utgangspunktet i resultatene fra den hydrauliske analysen med takfrakobling. Da avrenningskoeffisienten for tak ble satt til null, antas det at vannet fra taket renner til et anlegg som ikke fører vannet

³⁷ KPI er en betegnelse for den generelle prisutviklingen på varer og tjenester som etterspørres av private husholdninger.

videre til avløpsnett. Dersom tiltaket hadde bestått i å kaste takvannet ut på en gressplen, ville noe av vannet etter hvert funnet veien til et sluk. Derfor blir det ikke riktig modelleringsmessig å sette avrenningsfaktoren for tak lik null, uten at det implementeres et anlegg, som for eksempel et regnbed som kan ta unna opp mot alt vannet i fra å gå til avløpsnett. Den økonomiske betraktningen for dette tiltaket kombinerer altså takfrakobling med regnbed, for de feltene avrenningskoeffisienten for tak har blitt redusert. For at avløpsnett skal kunne forhindre kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn, måtte totalt 897,1 m² med takareal bli frakoblet gitt forutsetningene i oppgaven. For å takle et 30-årsregn om 100 år må det 14 206,2 m² med takareal til.

Fra Paus og Braskerud (2013) gjengis det fra MPCA (2008) at overflateareal til et regnbed burde være i størrelsesorden 5-10 % av arealet som bidrar til avrenning mot regnbedet, i dette tilfelle takarealene som er koblet i fra. I en masteroppgave skrevet av Saksæther og Kihlgren (2012), har de benyttet et overflateareal på regnbed til å være 6 % av takarealene. I denne oppgaven benyttes det 6 % slik som Saksæther og Kihlgren har gjort. Kostnader knyttet til regnbed kan også variere en del avhengig av en rekke faktorer, men i denne oppgaven er det valgt å holde seg til de kostnadsdataene som er gitt i tabell 7.2. Kostnadene gitt i tabellen angir hvor mye et regnbed koster som en funksjon av overflatearealet til regnbedet. Investeringskostnadene ligger på 1 400 kr/m², mens driftskostnaden ligger på 15 kr/m²/år. Levetiden er anslått til å være 40 år. Det vil si at regnbedet må installeres tre ganger i løpet av en 100 års periode. For å gjøre kostnadsverdiene om til dagens verdier, justerer de for KPI (SSB 2017). De nye kostnadstallene brukt videre i analysen er for investering 1 470 kr/m² og for driftskostnad 15,75 kr/m²/år.

Fordrøyningsbasseng

Av kostnadene ved implementering av fordrøyningsbasseng, brukes verdiene fra tabell 7.2. Det finnes flere ulike fordrøyningsbassenger, avhengig om de er åpne eller lukkede og tørre eller våte. Vann- og avløpsetaten (2013e) ønsker, med sin strategi for overvannshåndtering i Oslo, å velge åpne løsninger for overvannet. Dermed blir lukkede løsninger sett på som uaktuelt. Tiltaket som blir vurdert vil være åpen overvannsdam av de åpne løsningene presentert i tabell 7.2. Dette på grunn av at størrelsen er lett å regulere i forhold til behov ved de ulike delfeltene som er tiltenkt det skal gjøres tiltak i. Samtidig er det den billigste åpne fordrøyningsløsningen gitt i tabellen.

Fra den hydrauliske analysen ble nødvendig fordrøyningsvolum bestemt til å være $7,74 \text{ m}^3$, dersom avløpsnettets skulle klare å forhindre kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn. Hvis avløpsnettets skulle klare å forhindre kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn om 100 år, ble nødvendig fordrøyningsvolum bestemt til å være $185,7 \text{ m}^3$. Investeringskostnaden for tiltaket $1\,300 \text{ kr/m}^2$, mens driftskostnaden er $35 \text{ kr/m}^2/\text{år}$. Antatt levetid på tiltaket er 40 år. Det betyr at tiltaket må installeres totalt tre ganger i løpet av en 100 års periode. Det antas at kostnadene forblir de samme som dagens verdi for de andre årene tiltaket må reinstallerer. Disse kostnadene justeres også for KPI, fra 2015-verdier, for å få dagens verdi ved hjelp av SSBs KPI-kalkulator (SSB 2017). Nye verdier benyttet videre i analysen er $1\,365 \text{ kr/m}^3$ som investeringskostnad og $36,75 \text{ kr/m}^3/\text{år}$ som driftskostnad.

Oppdimensjonering av rør ved separering av overvann

For oppdimensjonering av rør, finnes det også flere alternative muligheter å gjøre det på. Vann- og avløpsetaten (2013b) har gjennom sin hovedplan for avløp og vannmiljø, ved delmål 03, et ønske å separere ved anlegging av nye ledninger. For å innfri dette delmålet skal det «Separere der overvannet er så «rent» at det ikke trenger rensing, i randsonen til Oslo og i områder med mye blågrønn struktur.» Case-området er preget av mye eneboliger med hager, noe som gjør at feltet består av en god del grøntareal. Samtidig ligger feltet utenfor Ring 3 i Oslo. Med det som begrunnelse blir det bestemt at tiltaket ved oppdimensjonering av rør vil være med separatanlegg. Da det ikke gjøres tiltak i hele ledningsnettets i feltet, vil spillvannsledning og overvannsledning ved det nye anlegget foreløpig være ikke-virksomt og renne inn i eksisterende AF-ledninger. Ved å legge separatanlegg nå gjøres det med tanke på fremtidig anlegging av separatanlegg i resten av feltet.

Når tiltaket består i å oppdimensjonere rørene, flytter man ofte problemet lenger nedstrøms. Dersom man ikke ønsker å øke mengden med overløpsutslipp ved tiltaket, burde kapasiteten nedstrøms overløpet vurderes å øke frem til et utslippspunkt. For å kunne slippe ut større mengde i overløp trengs det tillatelse fra fylkesmann, derfor er det lettere å flytte problemet nedstrøms og gjøre tiltak der. I kostnadsanalysen tas det ikke hensyn til det, da kostnadene forbundet med dette burde vurderes i sammenheng med tiltak av andre nedstrøms delfelt frem til tunnelutløpet. Det vil ikke være riktig å belaste alle kostnadene forbundet med å oppdimensjonere rørene fra overløp AK45 ned til tunell, på et prosjekt som omhandler kun delfelt AK45, da det kommer bidrag fra andre delfelt med avrenning til ledningene ned mot tunnelen. De totale ledningsmeterne som måtte oppdimensjoneres ved separering dersom det ikke skulle forekomme kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn, var 18,58 meter. Hvis

avløpsnettets skulle takle et 30-årsregn om 100 år, ble totalt 683,04 meter oppdimensjonert ved separering.

Kostnadene kan som vi ser av tabell 7.2, for separering av kommunale fellesledninger, variere mye. Derfor er det valgt å ta et gjennomsnitt av maksimal og minimal oppgitte verdier. Det vil si at investeringskostnaden kommer på 11 500 kr/m, driftskostnaden er 85 kr/m/år. Levetiden på ledningen er 100 år. Justeres disse verdiene for KPI, blir dagens verdi på investeringskostnaden 12 075 kr/m, driftsutgifter 89,25 kr/m/år (SSB 2017).

Tilbakeslagsventil

Tilbakeslagsventil er en annen metode for å ta hånd om overvannsproblemet. Dette gjøres ved å forhindre at vann kan renne inn i kjeller. Som tidligere nevnt, har tilbakeslagsventil blitt tatt med i oppgaven, uten at hovedfokuset har ligget på dette som et aktuelt tiltak. Tiltaket er tatt med i oppgaven kun for en sammenligning med de aktuelle tiltakene. Vann- og avløpsetatens holdninger til bruk av tilbakeslagsventiler har vært å unngå dette i så stor grad som mulig. VAV ønsker at kapasiteten i ledningsnettets skal være tilstrekkelig nok til å håndtere vannet slik at vannet i ledningsnettets ikke står høyt. Hvis det installeres tilbakeslagsventiler er det kun for å fjerne symptomene og ikke problemet i seg selv (Oen 2017).

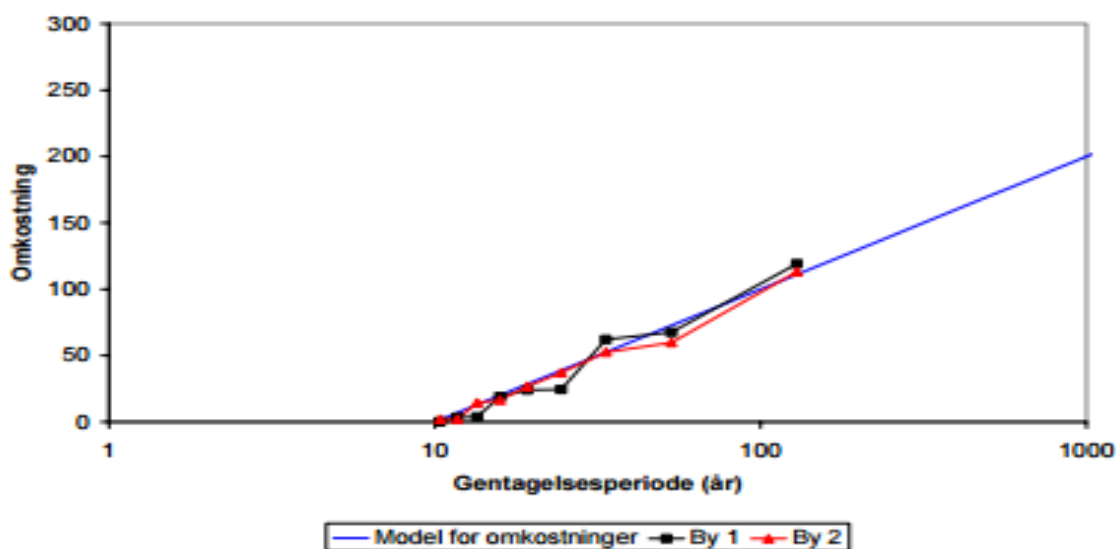
Grunnlaget for den økonomiske analysen for tiltaket kommer fra hydrauliske delen av oppgaven ved antall installerte tilbakeslagsventiler med tilhørende antall kjelleroversvømmelser etter installasjon. Kostnadsdataene knyttet til tiltaket er blitt tildelt av daglig leder i MFT (Miljø- og Fluidteknikk AS), Aaby (2017). Kostnadene for tiltaket vil avhenge av en mengde ulike faktorer og kan variere mye; noen krever hyppigere rengjøring, plassering av ventil utendørs kontra innendørs, levetid på ulike ventiler med mer. Derfor gjøres det forutsetninger for kostnadsdataene som benyttes; ventil monteres på stikkledning til bygning, ventil installeres ikke i kombinasjon med pumpe eller kommunikasjon med vannstopper, ventilen installeres av rørlegger og den vedlikeholdes tilstrekkelig til å gi sikker drift. Det tas et gjennomsnitt av tildelte verdier. Investeringskostnad kommer da på 49 500 kr/ventil, driftskostnad 1 330 kr/ventil/år. Levetiden er antatt å være 20 år. Med en levetid på 20 år må tilbakeslagsventil installeres fem ganger for en 100 års periode.

For at ingen husstander skal oppleve kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn i dag, ble det installert fire tilbakeslagsventiler. For et 30-årsregn om 100 år måtte det installeres 54 tilbakeslagsventiler for å unngå kjelleroversvømmelser.

9.5.5 Alternativ metode for skadeomfang over tid (Dansk metode)

På oppdrag fra Miljøstyrelsens klimakontor har COWI og NIRAS utarbeidet en rapport hvor de analyser konsekvenser av klimaendringer i to danske byer, Roskilde og Aalborg/Nørresundby (Arnbjerg-Nielsen et al. 2007). Der tar de for seg metode for fordeling av skadeomfanget over tid.

Metoden går ut på å finne skadekostnader over 90 år ved hjelp av en modell. Det er kun målt og registrert skader for et 10-årsregn og et 100-årsregn. Ved å anta at det i løpet av en 90 års periode, vil regn med gjentakintervall over et 10-årsregn opptre ni ganger, er det disse som antas vil gi skader i byene. De fleste skader vil være små, men det vil være 2-3 regnhendelser som står for hovedparten av skadene. Prinsippet vises i figur 9.15, og baserer seg på et fiktivt eksempel på observerte skadeomkostninger for to byer under antakelse av at 100 års hendelsen har omkostningen 100. Modellen for omkostninger vises med blå linje.



Figur 9.15: Fiktivt eksempel på observerte skadeomkostninger for to byer under antakelse at 100 års hendelse har omkostningen 100.

Benyttes modellen for omkostninger direkte, kan det forventes skader for en 90 års periode på 3,45 ganger skadeomfanget til et 100-årsregn. Faktoren 3,45 er funnet ved å finne skadeomfanget for ni regnhendelser med bestemte gjentakintervall fra modellen, se tabell 9.2.

Tabell 9.2: Forventet skade pr hendelse i forhold til en 100 års hendelse.

Rang	Forventet gjentakelsesperiode av største hendelser med 90 års observasjonsperiode (år)	Forventet skade pr hendelse i forhold til en 100 års hendelse (indeks 100)
1	129,1	111,1
2	53,2	72,6
3	33,5	52,5
4	24,4	38,8
5	19,2	28,4
6	15,9	20,0
7	13,5	13,0
8	11,7	7,0
9	10,4	1,7
Sum	-	345,0
	Forholdstall	3,45

10 Resultater – Hydraulisk analyse

Resultatene som presenteres i dette kapittelet er bearbeidet data som er blitt generert under simuleringer av avløpsmodellen med og uten tiltak. Resultatene som er av interesse i denne oppgaven er antall potensielle kjelleroversvømmelser, som følge av oppstuvning i rørene, for enkeltregn med ulike gjentaksintervaller. Forholdene som er blitt studert er dagens avløpsnett uten tiltak, fordrøynings tiltak som skal takle 30-årsregn i dag og om 100 år, takfrakobling med regnbed som skal takle 30-årsregn i dag og om 100 år og oppdimensjonering av rør ved separering av overvann som skal takle dagens 30-årsregn og 30-årsregn om 100 år. I tillegg er det også studert for tilbakeslagsventiler for tilsvarende årsregn i dag og om 100 år frem i tid, men for dette har det ikke vært behov for kjøring av modell.

For hver situasjon er det testet for 2-, 5-, 10-, 20-, 30-, 50- og 100-årsregn med og uten klimafaktor. Det vil si 14 simuleringen for hver situasjon, og totalt 98 for hele oppgaven, da det er syv situasjoner.

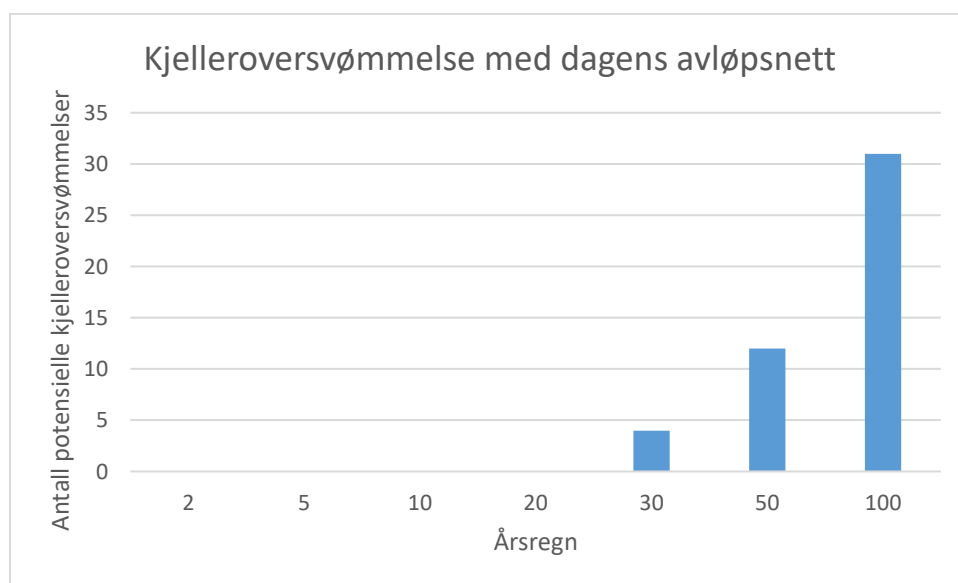
Det har vært et ønske om å se på effekten og omfanget av tiltak for å takle et 30-årsregn i dag og et 30-årsregn om 100 år for å sammenligne disse.

10.1 Dagens situasjon

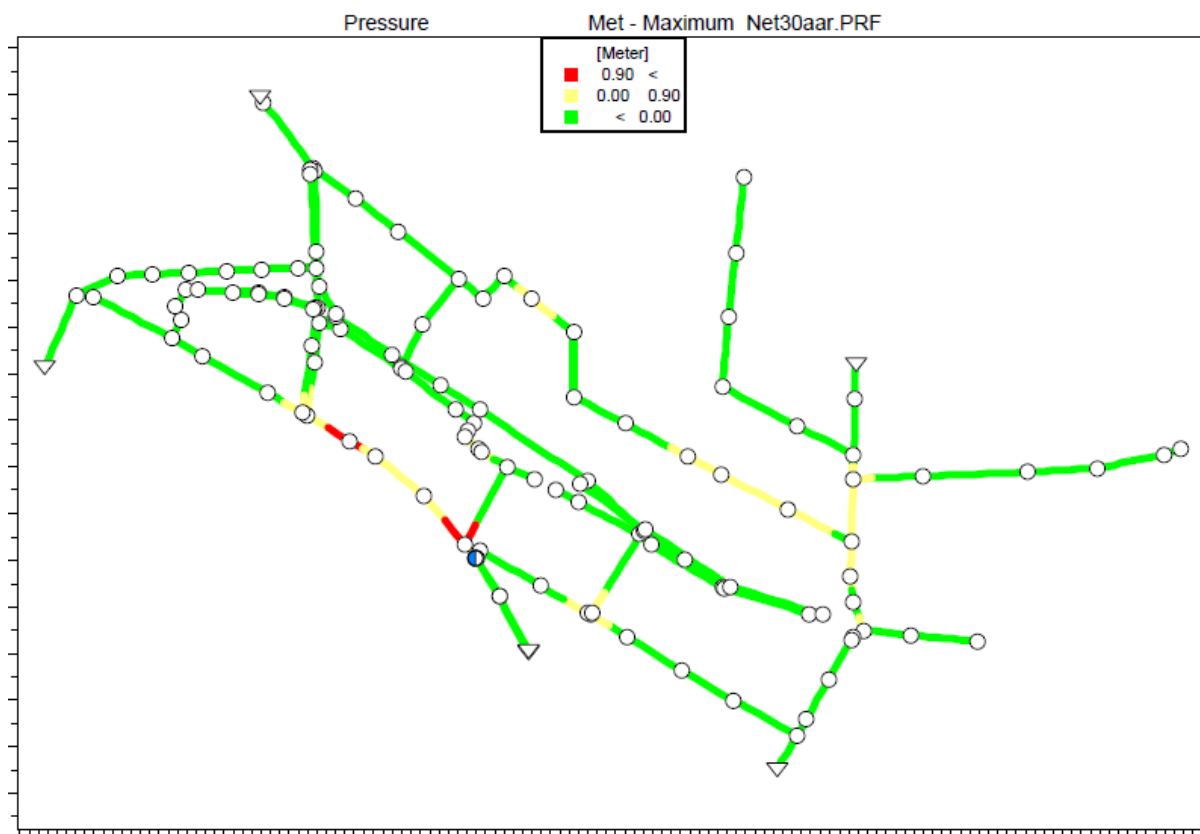
For å sjekke status på dagens nett uten tiltak, er det blitt simulert for de ulike årsregn uten klimafaktor. I tabell 10.1 og figur 10.1, er det presentert antall potensielle kjelleroversvømmelser for gitte årsregn dersom de skulle inntreffe i dag. Av tabellen ser vi at ingen får kjelleroversvømmelse for regn opptil 20 års gjentaksintervall, noe som er veldig godt. Da ingen skal ha kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn, er det allikevel ikke godt nok med fire potensielle oversvømmelser. Figur 10.2 viser oversikt av dagens situasjon, der røde linjer representerer ledninger med oppstuvning over 90 cm topp, innvendig rør for et 30-årsregn.

Tabell 10.1: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for ulike årsregn i dag.

Årsregn	Situasjon i dag
2	0
5	0
10	0
20	0
30	4
50	12
100	31



Figur 10.1: Potensielle kjelleroversvømmelser i dagens avløpsnett for gitte årsregn.



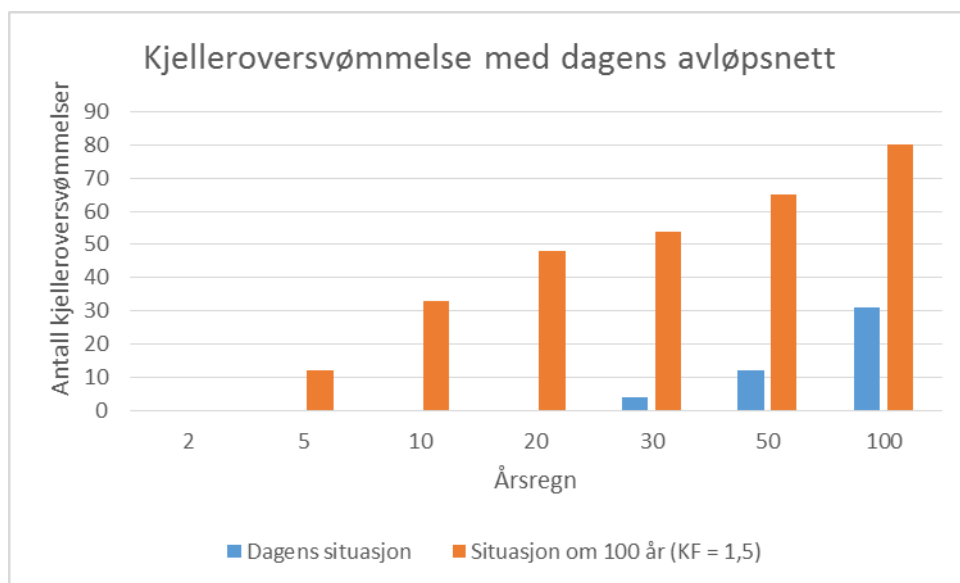
Figur 10.2: Dagens avløpsnett belastet med 30-årsregn.

10.2 Situasjon om 100 år

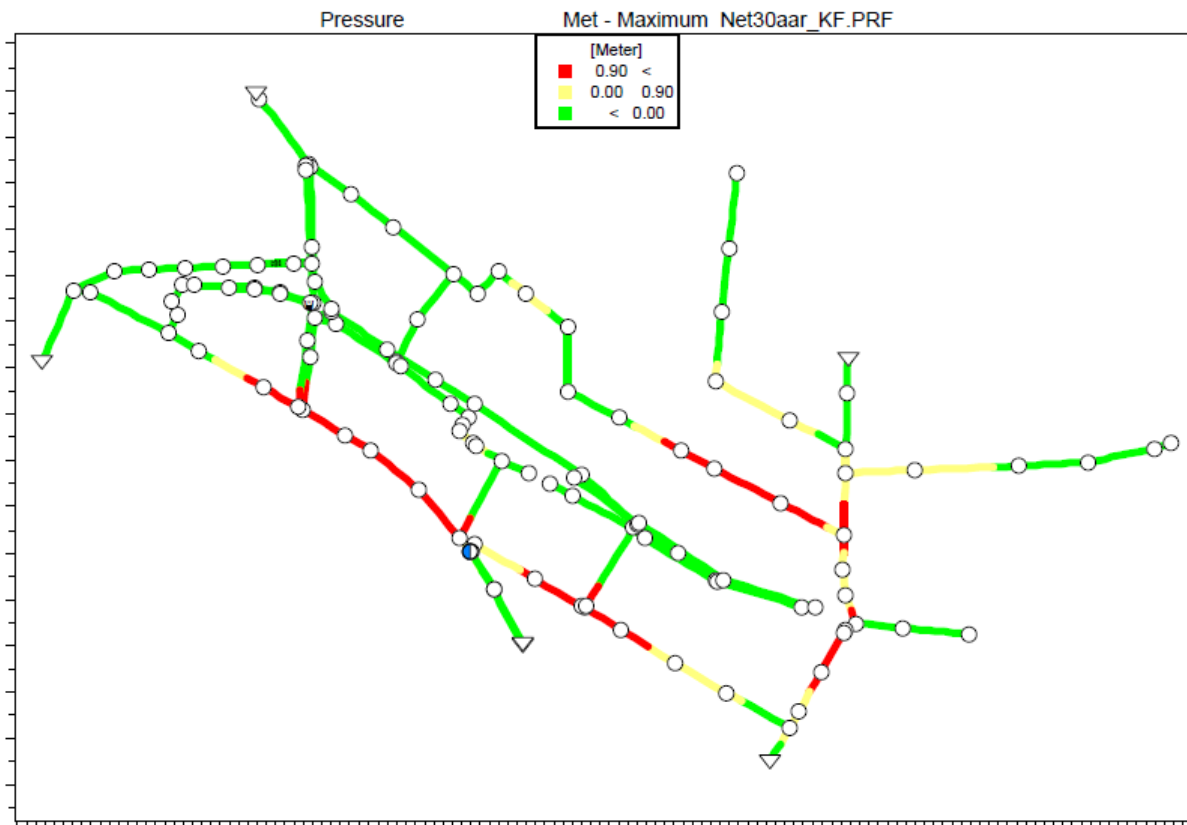
Om 100 år, gitt at klimaendringer blir en realitet og at avløpsnettets er i samme tilstand som dagens, vil situasjonen bli forverret betraktelig. I tabell 10.2 og figur 10.3 presenteres tall for antall potensielle kjelleroversvømmelser om 100 år for dagens avløpsnett og relativ endring i forhold til om årsregnene skulle inntreffe i dag. Figur 10.4 viser oversikt av situasjon om 100 år med dagens avløpsnett, der røde linjer representerer ledninger med oppstuvning over 90 cm topp, innvendig rør for et 30-årsregn med klimafaktor.

Tabell 10.2: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for ulike årsregn i dag og om 100 år med dagens avløpsnett.

Årsregn	Situasjon i dag	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Relativ endring
2	0	0	NaN
5	0	12	NaN
10	0	33	NaN
20	0	48	NaN
30	4	54	1250%
50	12	65	442%
100	31	80	158%



Figur 10.3: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for ulike årsregn i dag og om 100 år med dagens avløpsnett.



Figur 10.4: Dagens avløpsnett belastet med 30-årsregn om 100 år.

Av dataene presentert ovenfor, ser vi at den relative økningen i potensielle kjelleroversvømmelser mangedobler seg for et 30-årsregn om 100 år og avtar ved høyere gjentakintervall på regnet. Dette kan ha med at nettet metter seg ved høyere regnintensitet, og at husene som er mest følsom for intensitetsforandring allerede har blitt oversvømt. De gjenværende husene som ikke får oversvømmelse ligger i deler av avløpsnettets som er lite følsom for regnintensitet.

10.3 Oppdimensjonering av rør ved separering av overvann

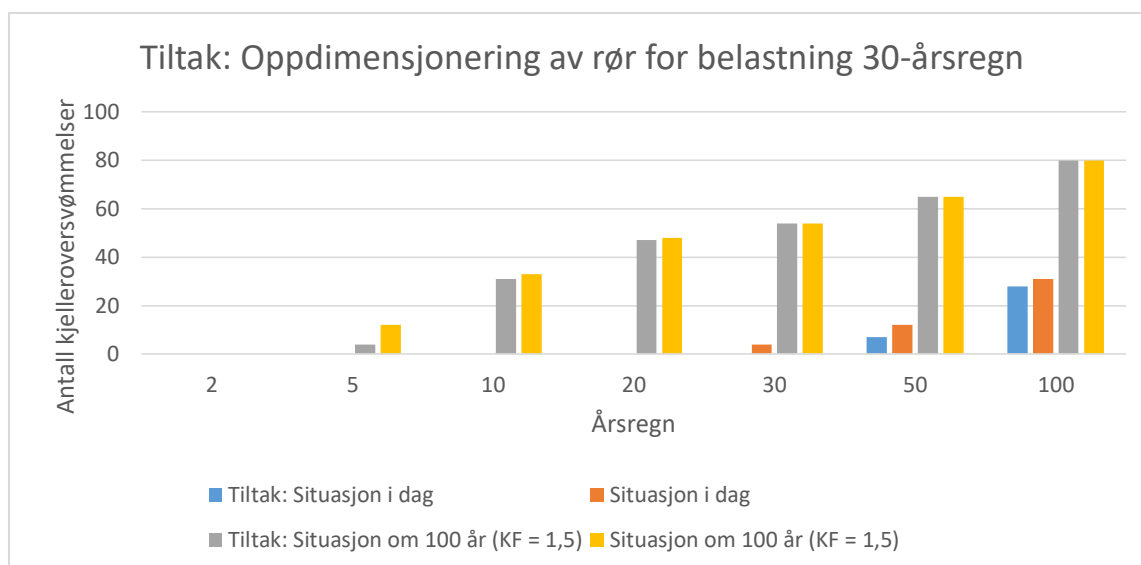
10.3.1 For 30-årsregn

Omfanget av dette tiltaket er for at avløpsnettets skal kunne håndtere dagens 30-årsregn uten at det forekommer kjelleroversvømmelser i feltet. Det gjort simuleringen for å se hvordan dette avløpsnettets reagerer på regn av ulike gjentakintervaller for dagens regn og tilsvarende regn om 100 år. I tabell B.1 i vedlegg B, er data for aktuell ledning gjengitt, med dagens dimensjon og ny dimensjon etter tiltak. Figur 9.4 viser plassering for aktuell ledning i avløpsnettets markert med blå strek. (Da det er et lite ledningsstrekke er det vanskelig å få øye på, men samme ledning kan ses i figur 9.11 for ledning 205019.)

Nedenfor er det i tabell 10.3 gjengitt resultatdata om potensielle kjelleroversvømmelser med og uten tiltaket dersom årsregnene skulle inntreffe i dag og om 100 år. Dette er også illustrert ved diagram i figur 10.5. Vi ser at tiltaket for å hindre dagens 30-årsregn ikke er så omfattende, med kun et ledningsstrekke på 18,58 meter, noe som gjør at forandring i potensielle kjelleroversvømmelser ikke synker i stor grad. Tiltaket er gjort for å hindre fire kjelleroversvømmelser fra dagens 30-årsregn.

Tabell 10.3: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.

Årsregn	Tiltak: Situasjon i dag	Situasjon i dag	Tiltak: Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)
2	0	0	0	0
5	0	0	4	12
10	0	0	31	33
20	0	0	47	48
30	0	4	54	54
50	7	12	65	65
100	28	31	80	80



Figur 10.5: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.

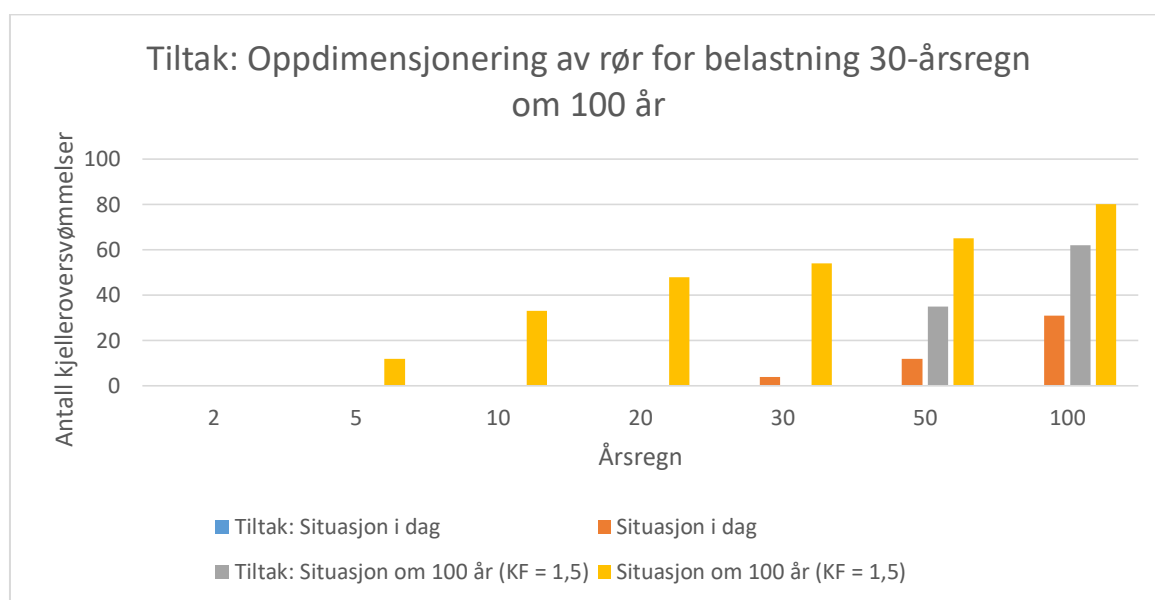
10.3.2 For 30-årsregn om 100 år

Omfanget av dette tiltaket er for at avløpsnettet skal kunne håndtere 30-årsregn om 100 år uten at det forekommer kjelleroversvømmelser i feltet. Det gjort simuleringen for å se hvordan dette avløpsnettet reagerer på regn av ulike gjentakintervaller for dagens regn og tilsvarende regn om 100 år. I tabell B.2 i vedlegg B, er data for aktuelle ledninger gjengitt, med dagens dimensjon og ny dimensjon etter tiltak. Figur 9.5 viser plassering for aktuelle ledninger i avløpsnettet markert med blå streker.

Nedenfor, i tabell 10.4, er det gjengitt oversvømmelsesdata for potensielt antall kjelleroversvømmelser for ulike årsregn. Tiltaket for å håndtere et 30-årsregn om 100 år er mer omfattende enn for dagens 30-årsregn, med 683,04 meter. Mange kjelleroversvømmelser vil kunne unngås ved dette tiltaket. Tiltaket vil føre til at 54 kjelleroversvømmelser unngås for et 30-årsregn om 100 år. Kun for 50-årsregn og 100-årsregn om 100 år vil gi kjelleroversvømmelser, og for disse regnene vil antallet synke betraktelig i forhold til utgangspunktet. Figur 10.6 illustrerer data fra tabell 10.4.

Tabell 10.4: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.

Årsregn	Tiltak: Situasjon i dag	Situasjon i dag	Tiltak: Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)
2	0	0	0	0
5	0	0	0	12
10	0	0	0	33
20	0	0	0	48
30	0	4	0	54
50	0	12	35	65
100	0	31	62	80



Figur 10.6: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann.

10.4 Fordrøyning

10.4.1 For 30-årsregn

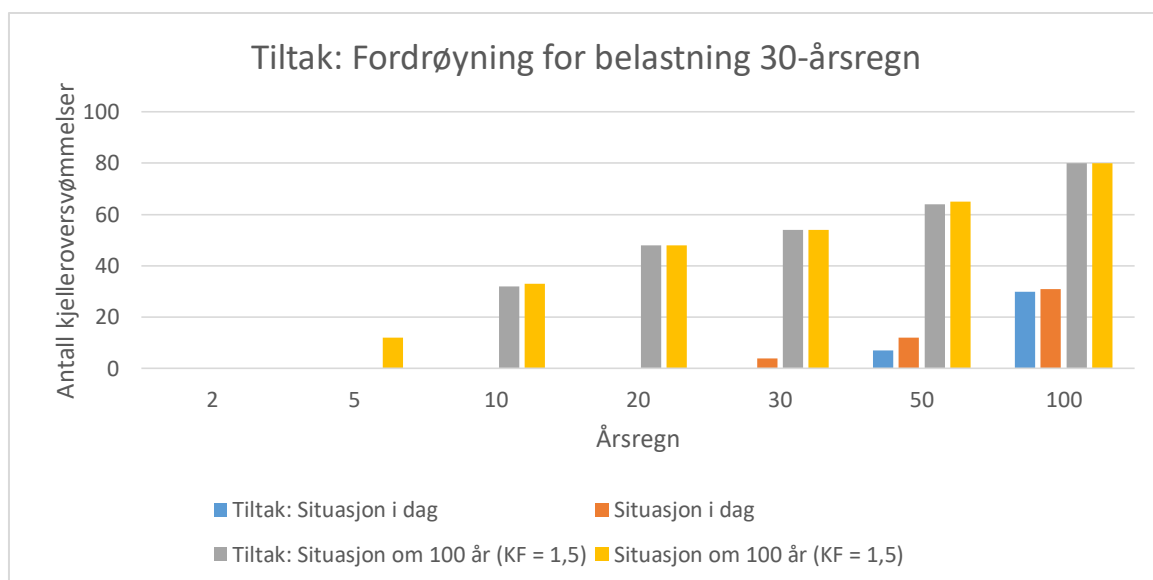
Fordrøyningstiltaket som er gjort er for å hindre de fire kjelleroversvømmelsene som oppstår ved dagens 30-årsregn. Dette fører til reduksjon i antall kjelleroversvømmelser ved regn av små gjentakintervaller. For de større og kraftigere regnene ser vi at effekten ikke gir stor forskjell på antall potensielle kjelleroversvømmelser. I tabell C.1 i vedlegg C, er data for

aktuell felt gjengitt, med nødvendig fordrøyningsvolum. Figur 9.9 viser delfeltets plassering i feltet.

Tabell 10.5 og figur 10.7 gjengir resultatene, gjort fra simuleringer av avløpsnett, for en belastning tilsvarende dagens 30-årsregn. Det er gjort sammenligning med og uten tiltak for dagens regn og regn om 100 år. Antall kjelleroversvømmelser for et 5-årsregn om 100 år blitt eliminert, noe som ikke gjaldt for tiltaket ved oppdimensjonering av rør ved separering av overvann. Totalt fordrøyningsvolum nødvendig er 7,74 m³.

Tabell 10.5: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved fordrøynings tiltak.

Årsregn	Tiltak: Situasjon i dag	Situasjon i dag	Tiltak: Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)
2	0	0	0	0
5	0	0	0	12
10	0	0	32	33
20	0	0	48	48
30	0	4	54	54
50	7	12	64	65
100	30	31	80	80



Figur 10.7: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved fordrøyningstiltak.

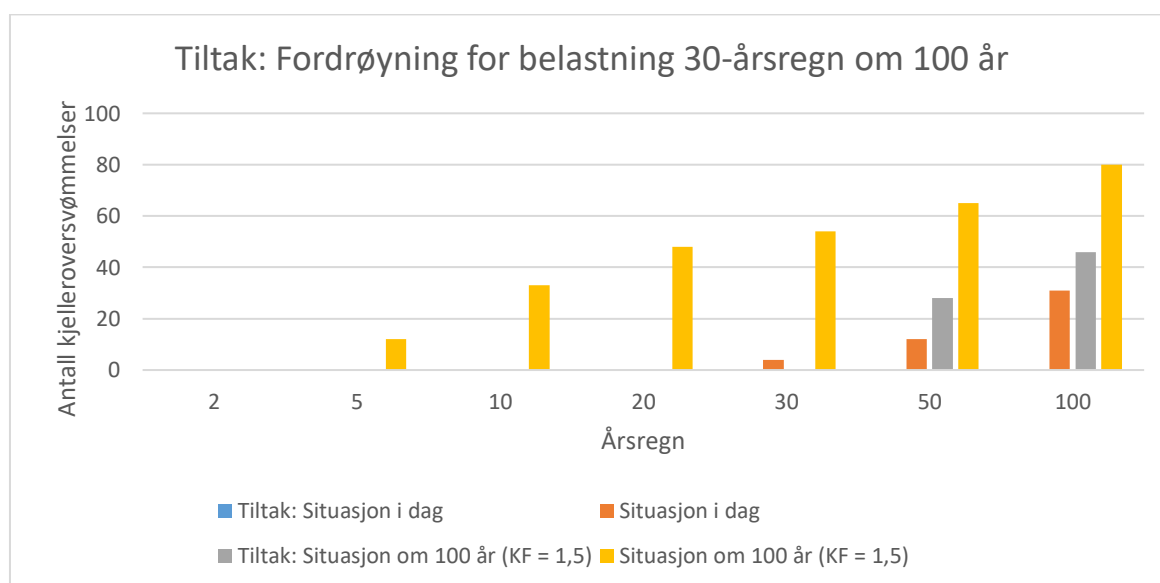
10.4.2 For 30-årsregn om 100 år

For et fordrøyningstiltak som skal takle en belastning tilsvarende 30-årsregn om 100 år, ble det gjort tiltak i 14 delfelt totalt med fordrøyingsvolum på 185,7 m³. Målet var å eliminere de 54 potensielle kjelleroversvømmelsene, slik at det ikke skulle forekomme hos noen av dem. I tabell 10.6 og figur 10.8 er resultatene fra kjøringene presentert og sammenligner tiltaket for dagens regn og tilsvarende regn om 100 år. I tabell C.2 i vedlegg C, er data for aktuelle felt gjengitt, med nødvendige fordrøyingsvolum. Figur 9.10 viser delfeltene plassering i feltet.

Som for tiltaket gjort med oppdimensjonering av rør ved separering for gjentaksintervall 30 år med klimafaktor, forekommer det kun kjelleroversvømmelser for 50-årsregn og 100-årsregn om 100 år. Antallet er noe redusert i forhold til oppdimensjonering av rør ved separering fra 35 til 28 ved et 50-årsregn om 100 år, og 62 til 46 ved et 100-årsregn om 100 år.

Tabell 10.6: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved fordrøyningstiltak.

Årsregn	Tiltak: Situasjon i dag	Situasjon i dag	Tiltak: Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)
2	0	0	0	0
5	0	0	0	12
10	0	0	0	33
20	0	0	0	48
30	0	4	0	54
50	0	12	28	65
100	0	31	46	80



Figur 10.8: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved fordrøyningstiltak.

10.5 Takfrakobling med regnbed

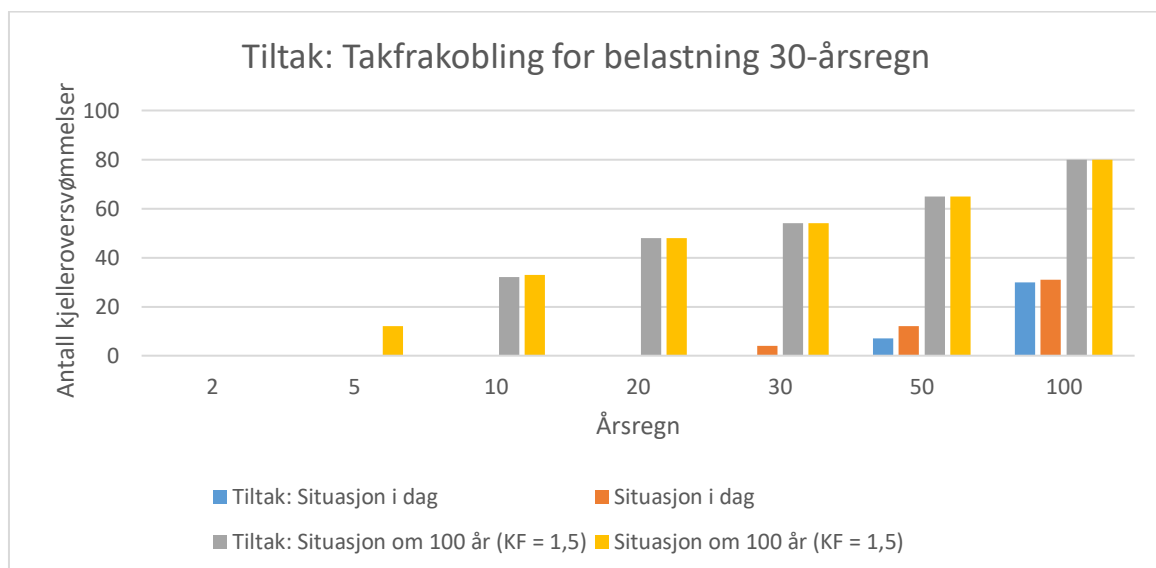
10.5.1 For 30-årsregn

Ved takfrakobling behøvdtes det tiltak i ett felt, med et takareal på 897,1 m², for å hindre kjelleroversvømmelse for de fire utsatte husstandene. Dette reduserte antall fra fire til null for en belastning tilsvarende dagens 30-årsregn. Slik som for de tidligere oppsummerte tiltakene

er det minimalt med kjelleroversvømmelse man forhindrer for regnene med de store gjentakintervallene. For takfrakobling slik som fordrøyningstiltaket, ble alle kjelleroversvømmelsene eliminert for et 5-årsregn om 100 år, se tabell 10.7 og figur 10.9. Figur 9.6 viser det aktuelle delfeltet, som det skal gjøres tiltak i, sin plassering i feltet.

Tabell 10.7: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved takfrakobling med regnbed.

Årsregn	Tiltak: Situasjon i dag	Situasjon i dag	Tiltak: Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)
2	0	0	0	0
5	0	0	0	12
10	0	0	32	33
20	0	0	48	48
30	0	4	54	54
50	7	12	65	65
100	30	31	80	80



Figur 10.9: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved takfrakobling med regnbed.

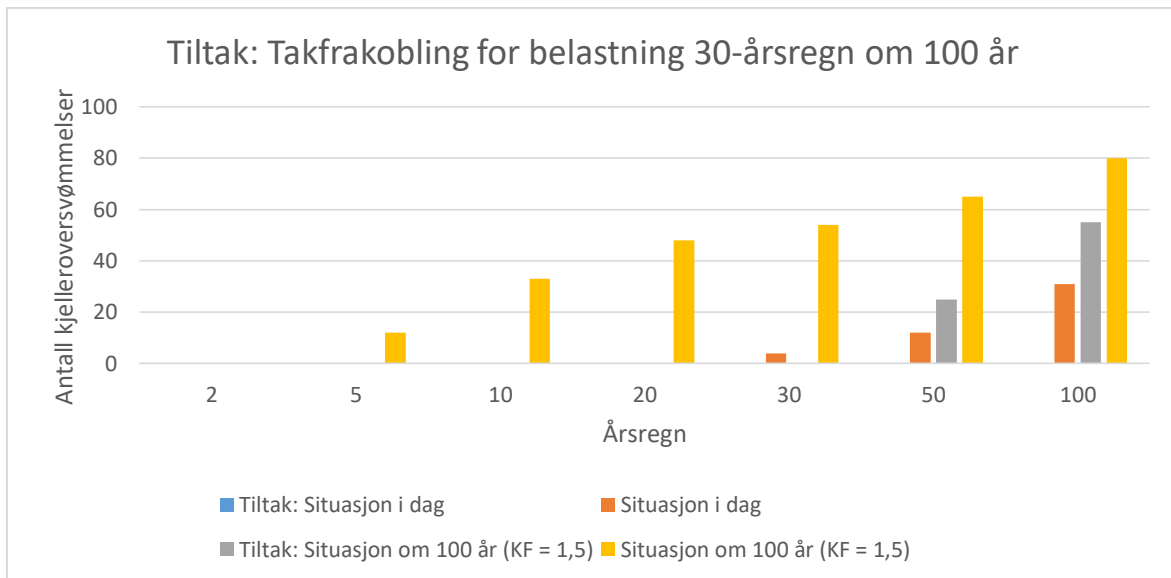
10.5.2 For 30-årsregn om 100 år

Med takfrakobling hvor avløpsnettets skal takle 30-årsregn om 100 år, omfatter tiltak tolv felt med totalt takareal på 14 206,2 m². Dette tar unna, slik som tidligere oppsummerte tiltakene, mange av de potensielle kjelleroversvømmelsene. Alle av dagens regn vil ikke være et problem, og det er kun 50-årsregn om 100 år og 100-årsregn om 100 år som vil gi kjelleroversvømmelser, se tabell 10.8 og figur 10.10. Figur 9.7 viser de aktuelle delfeltene, som det skal gjøres tiltak i, sine plasseringer i feltet.

Tiltaket vil ta unna flere kjelleroversvømmelser ved et 50 års gjentaksintervall om 100 år enn det fordrøyningsiltaket vil, med 25 mot 28 kjelleroversvømmelser. For 100 års gjentaksintervall om 100 år derimot, vil det skje flere kjelleroversvømmelser med takfrakoblingen enn ved fordrøyning med 55 mot 46.

Tabell 10.8: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved takfrakobling med regnbed.

Årsregn	Tiltak: Situasjon i dag	Situasjon i dag	Tiltak: Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)
2	0	0	0	0
5	0	0	0	12
10	0	0	0	33
20	0	0	0	48
30	0	4	0	54
50	0	12	25	65
100	0	31	55	80



Figur 10.10: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved takfrakobling med regnbed.

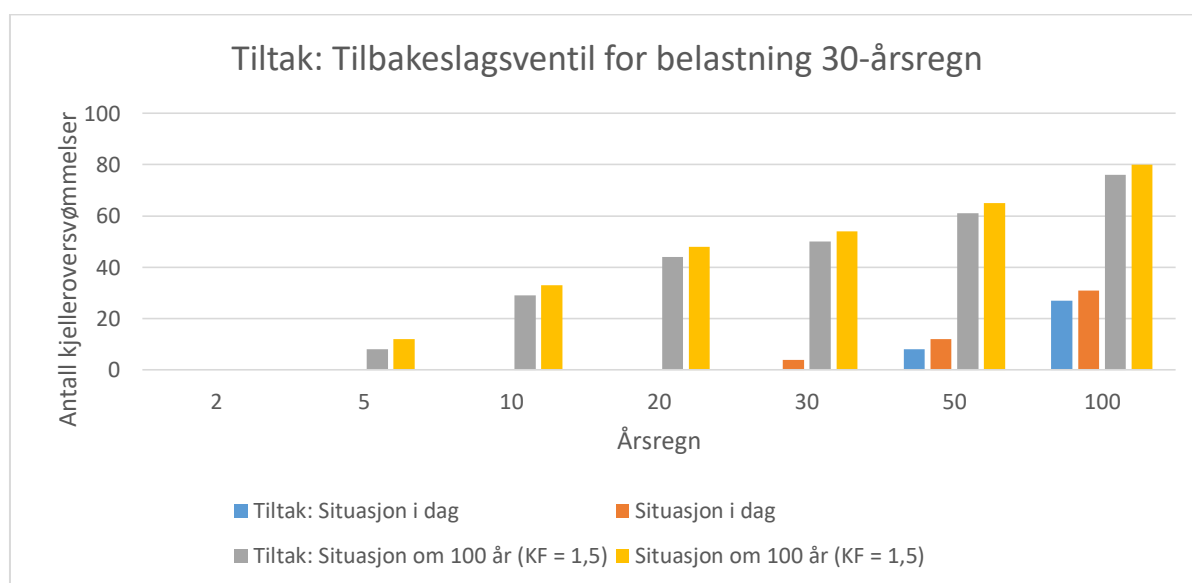
10.6 Tilbakeslagsventil

10.6.1 For 30-årsregn

For installasjon av tilbakeslagsventiler, har man kunne forhindre oversvømmelser enklere på de aktuelle områdene enn for de foregående tiltakene. Den største forskjellen med dette tiltaket i forhold til de foregående er at de husstandene det blir gjort tiltak i ikke vil få oversvømmelse for noen av regnene, heller ikke de som er kraftigere. Dette kan i motsetning være tilfelle for de andre tiltakene. Selv om det har blitt gjort tiltak for at de skal unngå oversvømmelse for et bestemt årsregn, kan et kraftigere regn føre til oversvømmelse. Av tabell 10.9 og figur 10.11, ser vi at differansen mellom situasjon med og uten tiltak er fire, da det er gjort fire installasjoner med tilbakeslagsventiler.

Tabell 10.9: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved installasjon av tilbakeslagsventiler.

Årsregn	Tiltak: Situasjon i dag	Situasjon i dag	Tiltak: Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)
2	0	0	0	0
5	0	0	8	12
10	0	0	29	33
20	0	0	44	48
30	0	4	50	54
50	8	12	61	65
100	27	31	76	80



Figur 10.11: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle dagens 30-årsregn ved installasjon av tilbakeslagsventiler.

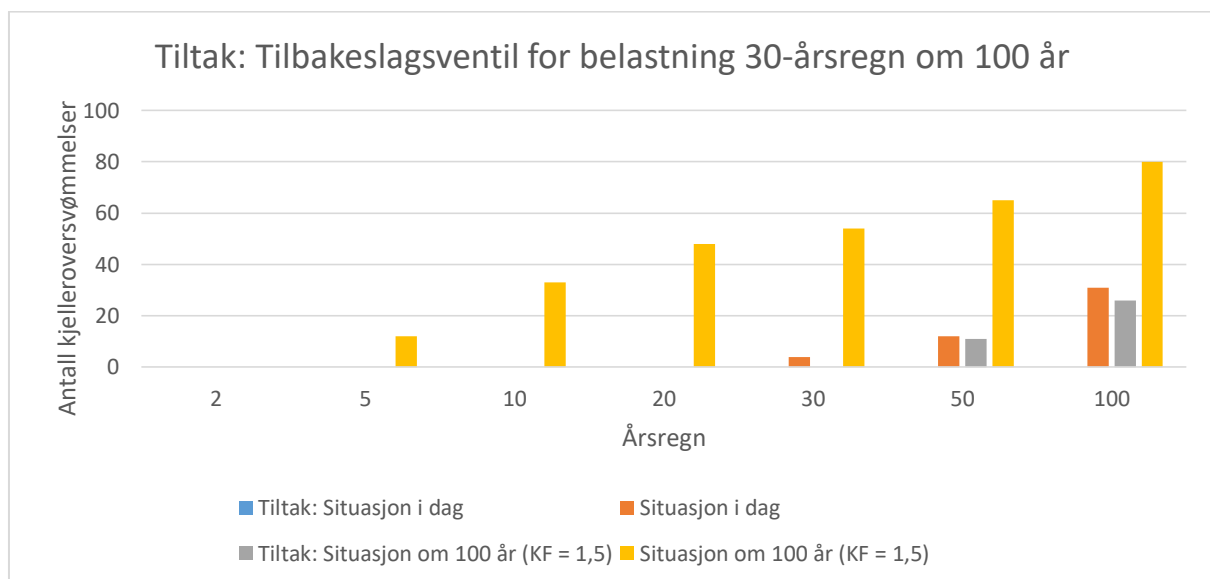
10.6.2 For 30-årsregn om 100 år

Skal avløpsnettets tåle et 30-årsregn om 100 år, må det installeres 54 tilbakeslagsventiler i feltet. Dette vil føre til at ingen av husstandene er i risikozonen for oversvømmelse uansett gjentaksintervall på årsregn. Av tabell 10.10 og figur 10.12 ser vi at differansen med og uten tiltak for hvert av gjentaksintervallene ligger på 54 kjelleroversvømmelser, noe som stemmer med antall installasjoner. Også her som for de foregående tiltakene er det kun regnet med 50-års

og 100-års gjentaksintervall med klimafaktor som vil kunne gi kjelleroversvømmelse i feltet. Antallet har blitt redusert kraftig i forhold til de andre tiltakene, da for et 50-årsregn med klimafaktor kun vil være 11 potensielle kjelleroversvømmelser og for et 100-årsregn med klimafaktor vil være kun 26 potensielle kjelleroversvømmelser.

Tabell 10.10: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved installasjon av tilbakeslagsventiler.

Årsregn	Tiltak: Situasjon i dag	Situasjon i dag	Tiltak: Situasjon om 100 år (KF = 1,5)	Situasjon om 100 år (KF = 1,5)
2	0	0	0	0
5	0	0	0	12
10	0	0	0	33
20	0	0	0	48
30	0	4	0	54
50	0	12	11	65
100	0	31	26	80



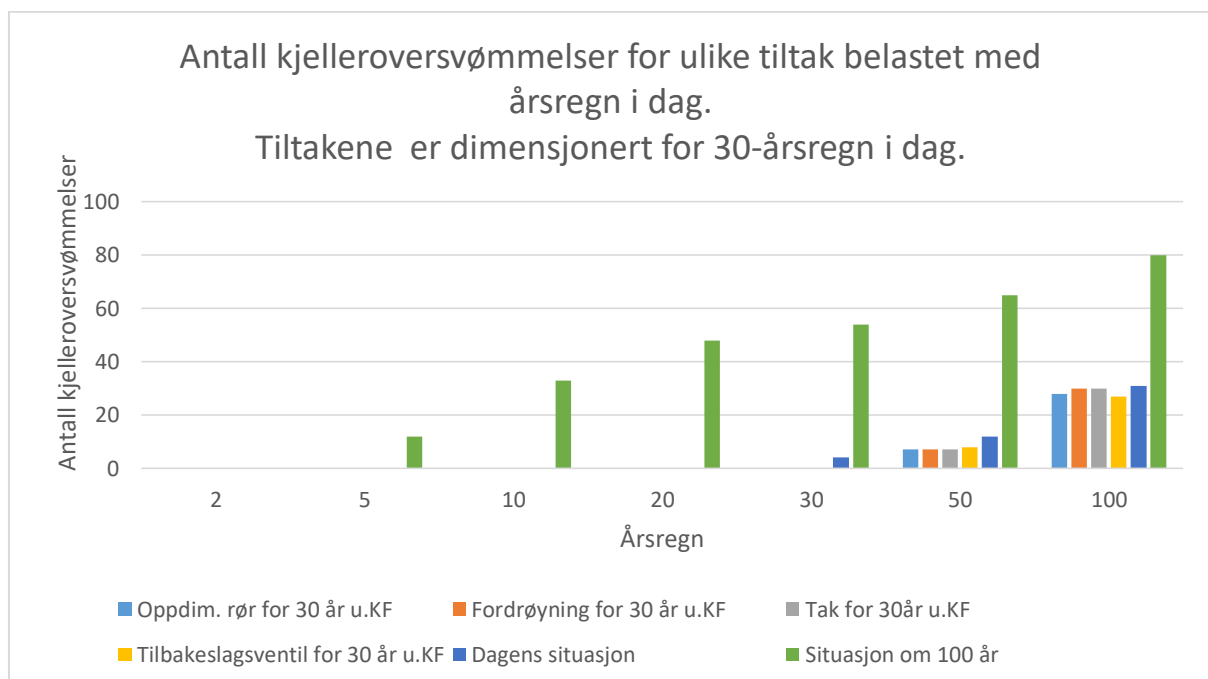
Figur 10.12: Antall potensielle kjelleroversvømmelser for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år ved installasjon av tilbakeslagsventiler.

10.7 Sammenstilling av resultater for ulike tiltak

Avsnittet presenterer fire ulike diagrammer. Diagrammene er avhengig av om avløpsnettet er dimensjonert for 30-årsregn eller 30-årsregn med klimafaktor og om årsregnene inntreffer i dag eller om 100 år.

Alle tiltakene er gjort for å hindre oversvømmelse ved de dimensjonerende årsregn. Derfor forventes det at antall kjelleroversvømmelser ikke vil avvike i relativ stor grad fra hverandre. Det er gjennomgående i alle diagrammene at avvikene mellom tiltakene være størst med små gjentaksintervaller og mindre med større gjentaksintervaller.

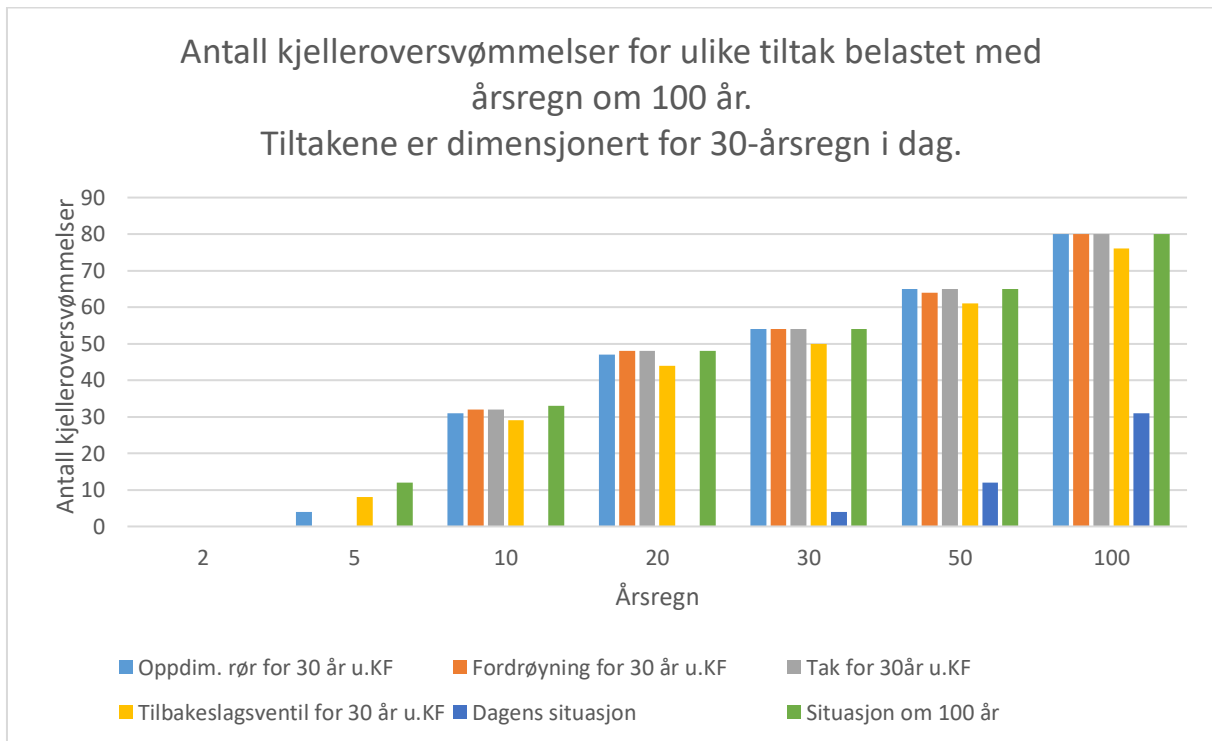
I figur 10.13 presenteres antall kjelleroversvømmelser for et avløpsnett dimensjonert for dagens 30-årsregn. Som vi ser av figuren vil tiltakene kunne ta unna alle kjelleroversvømmelsene for et 30-årsregn eller regn av med lavere gjentaksintervall. Når regnet blir kraftigere med et gjentaksintervall opp mot 50 og 100 år vil de ikke lenger klare å forhindre kjelleroversvømmelsene. Det vi ser er uansett at de har en effekt ved lavere gjentaksintervall, men når gjentaksintervaller går opp mot 50 og 100 år, er effekten veldig liten. Avvikene mellom tiltakene er heller ikke store slik de fremgår. Dette er forventet.



Figur 10.13: Sammenstilling av ulike tiltak belastet med dagens årsregn, der tiltak er dimensjonert for et 30-årsregn.

Der avløpsnettet er dimensjonert for dagens 30-årsregn vil den få vanskeligheter med kapasiteten for de samme årsregnene om 100 år, det ser vi av figur 10.14. Om 100 år, vil

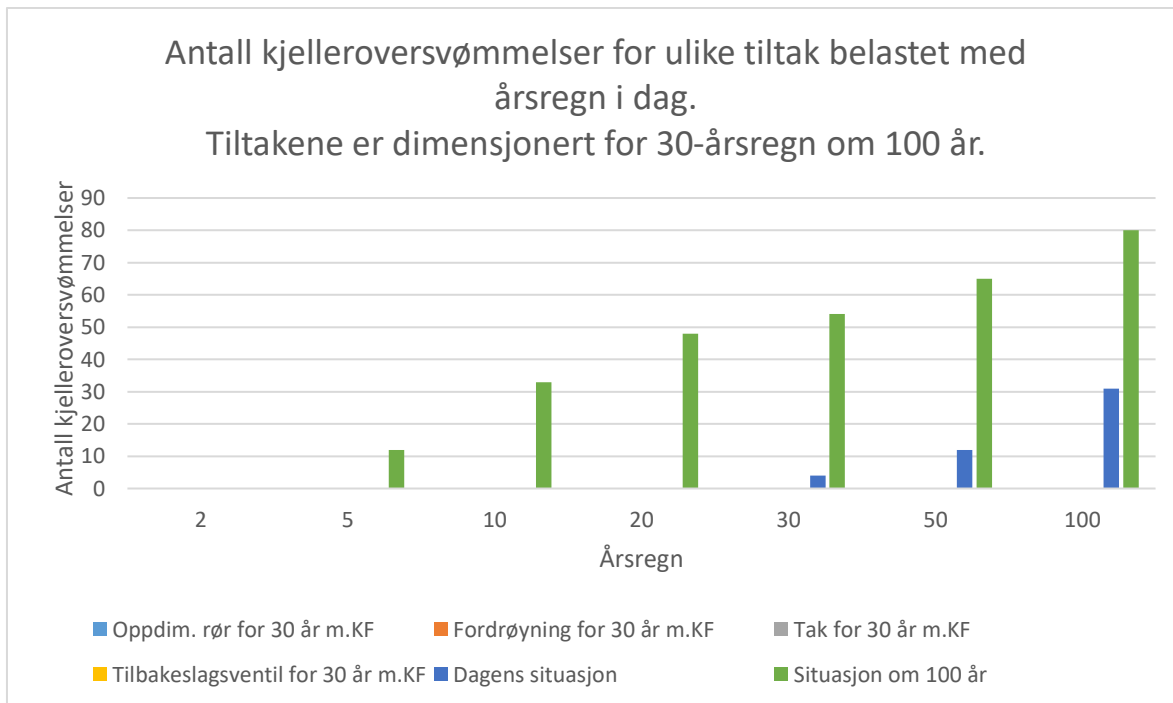
avløpsnett med tiltakene kunne ta unna et 2-årsregn. For takfrakobling og fordrøyningstiltak vil den også kunne ta unna et 5-årsregn. Etter det vil avløpsnett få problemer med regn med høyere gjentaksintervall. Antall kjelleroversvømmelser, vil uansett om tiltak iverksettes, bli mye høyere enn ved dagens situasjon. AK45-feltet vil om 100 år nesten ikke se effekten av tiltakene gjort for dagens 30-årsregn. Avvikene på tiltakene seg imellom er igjen liten, som forventet.



Figur 10.14: Sammenstilling av ulike tiltak belastet med årsregn om 100 år, der tiltak er dimensjonert for et 30-årsregn.

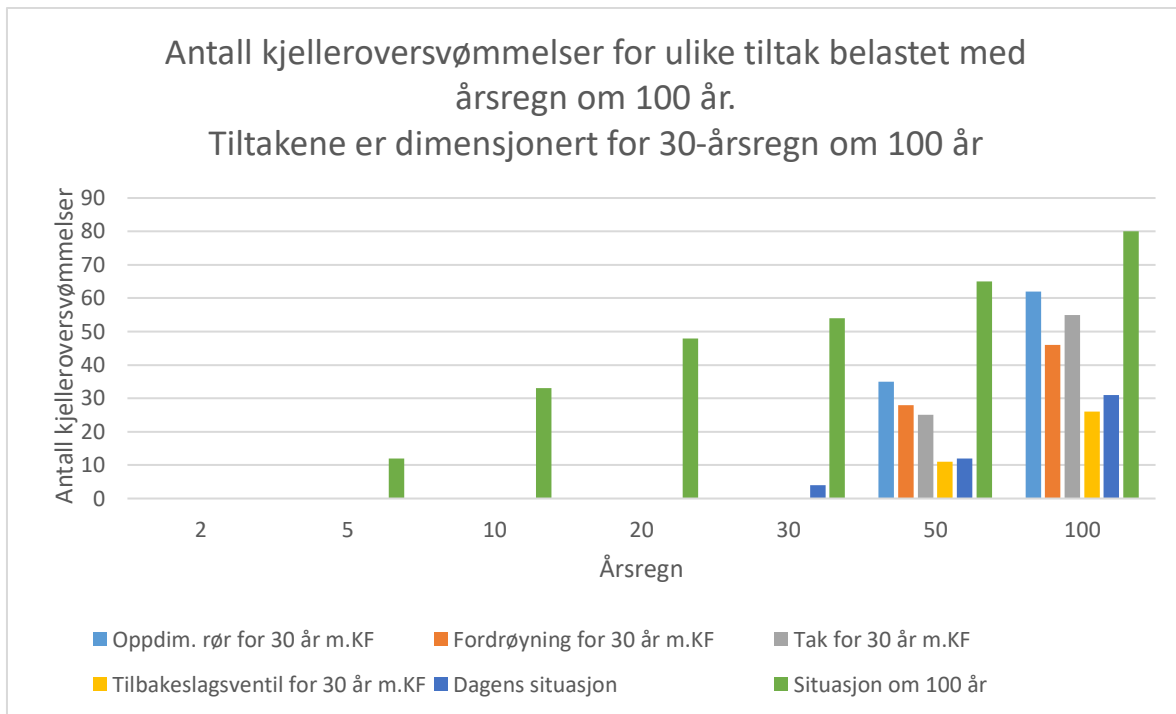
Da vi ser at effekten av tiltakene, med tanke på kjelleroppstuvinger om 100 år, vil være minimale, testes det også for avløpsnett når den er dimensjonert for et 30-årsregn om 100 år. 30-årsregn med klimafaktor på 1,5, er et veldig kraftig regn, og er i størrelsesorden opp mot dagens 200-årsregn.

For dagens årsregn vil avløpsnett, dimensjonert for 30-årsregn med klimafaktor, kunne eliminere alle kjelleroversvømmelser opp til 100 års gjentaksintervall. Dette ser vi av figur 10.15, da det ikke fremkommer noen søyler for de ulike tiltakene. De eneste søylene som fremkommer i figuren er for dagens situasjon og situasjon om 100 år uten tiltak på avløpsnett.



Figur 10.15: Sammenstilling av ulike tiltak belastet med dagens årsregn, der tiltak er dimensjonert for et 30-årsregn om 100 år.

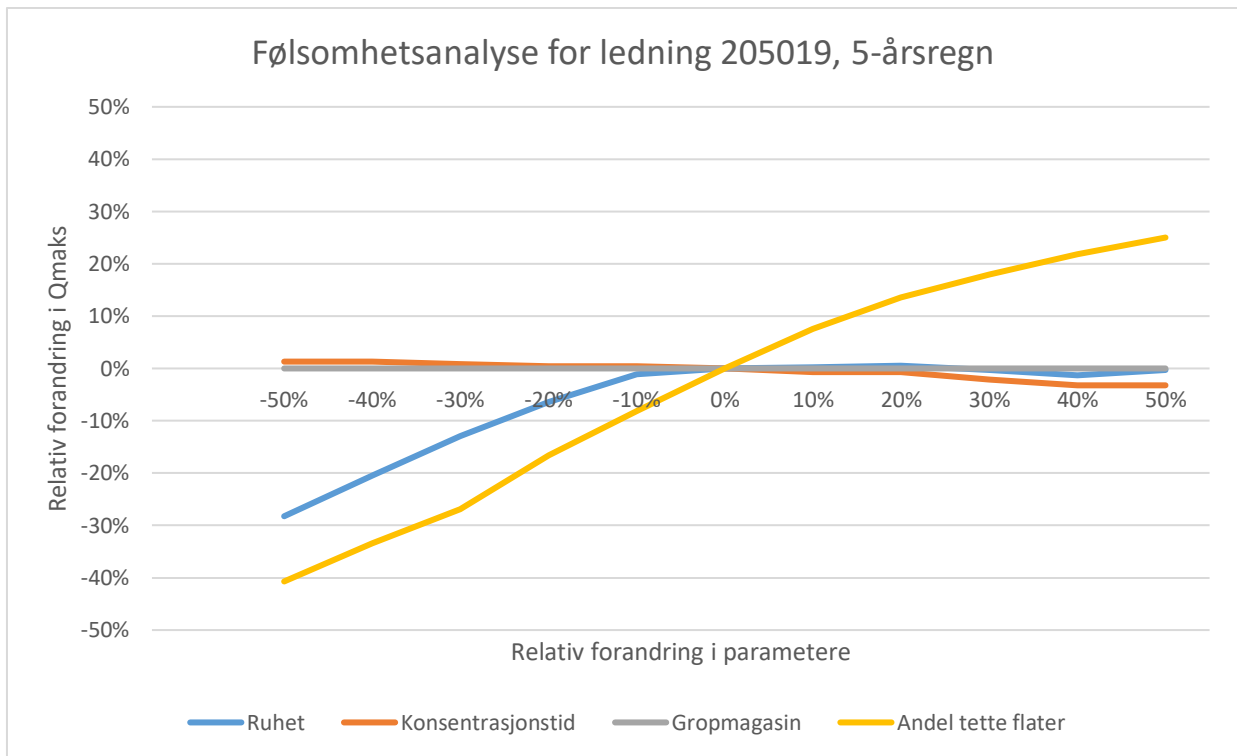
Dersom avløpsnettets blir dimensjonert med et langsiktig perspektiv, vil den kunne ta unna alle kjelleroversvømmelser i feltet for alle årsregn opp mot 30 års gjentaksintervall som skulle inntreffe om 100 år. Bare med et 50 og 100 års gjentaksintervall for regn om 100 år vil det forekomme kjelleroppstuvning, se figur 10.16. Vi ser av figuren for 50 og 100 års gjentaksintervall at avvikene for antall kjelleroppstuvninger, tiltakene seg imellom, er noe mer enn for et avløpsnett som er dimensjonert kun for dagens 30-årsregn. Effekten ser vi er størst for tilbakeslagsventiler enn for de ulike tiltakene. Tilbakeslagsventiler kan bringe antall potensielle kjelleroversvømmelser til under dagens skadenivå ved et 100-årsregn.



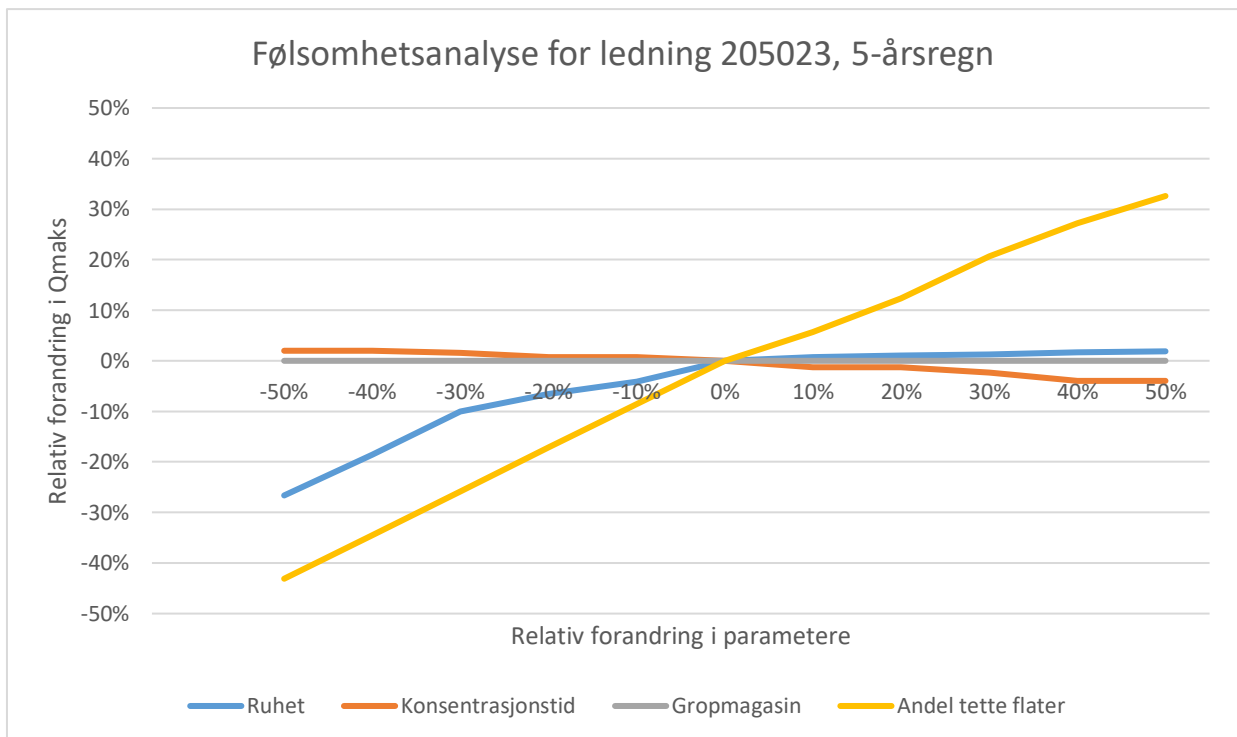
Figur 10.16: Sammenstilling av ulike tiltak belastet med årsregn om 100 år, der tiltak er dimensjonert for et 30-årsregn om 100 år.

10.8 Følsomhetsanalyse

Ledningene det er gjort følsomhetsanalyse for er vist i figur 9.11. Grunn til valg av disse to ledningene er nevnt i metodeavsnittet 9.4. Resultatet av parameteranalysen er illustrert i figur 10.17 for ledning 205019 og figur 10.18 for ledning 205023. Av figurene ser vi at gropmagasin, og konsentrasjonstid gir lite utslag på den maksimale vannføringen. Den maksimale vannføringen er mest følsom for andel tette flater i feltet. Når denne parameteren senkes eller økes, gir det store utslag i relativ forandring i maksimal vannføring. Parameteranalysen for ruhet gir store utslag ved senkning av parameterverdien, mens den gir mindre utslag på vannføringen ved høyere verdier. Ruheten vil ved en relativ forandring mellom -10% og 0% gi overgang fra stor relativ forandring til mindre relativ forandring i maksimal vannføring. Se vedlegg D for data brukt i følsomhetsanalysen.



Figur 10.17: Følsomhetsanalyse for ledning 205019.



Figur 10.18: Følsomhetsanalyse for ledning 205023.

10.9 Overløpsresultater

Uten at overløpsproblematikken er blitt belyst i særlig grad i denne oppgaven og tiltak gjort i feltet ikke er for å redusere overløpsdriften, men for kjelleroversvømmelser, presenteres uansett resultatdata for overløpsdriften for andre interessenter som skal jobbe videre med dette feltet i senere anledning. Dataene presenterer mengde vann [m³] som går i overløp for dagens 2- og 5-årsregn og 2- og 5-årsregn om 100 år for de ulike tiltakene, se tabell 10.11.

Uten at det skal jobbes videre med disse overløpsdataene, kan det legges merke til at ved dimensjonering av avløpsnett for et 30-årsregn om 100 år ved takfrakobling og fordrøyning vil ikke overløpet gå i drift for et 2-årsregn i dag.

Tabell 10.11: Overløpsdata, mengde [m³] som går i overløp for ulike årsregn med og uten klimafaktor ved forskjellige tiltak på avløpsnett.

	2 år	2 år + KF	5 år	5 år + KF
Dagens situasjon	16,1	62,8	51,2	136,8
Oppdim. rør for 30-årsregn	16,2	63,1	51,4	137,0
Oppdim. rør for 30-årsregn med klimafaktor	16,2	63,0	51,3	137,5
Takfrakobling for 30-årsregn	14	58,4	47,2	129,1
Takfrakobling for 30-årsregn med klimafaktor	0	21,1	14,2	61,7
Fordrøyning for 30-årsregn	14,2	59,2	47,9	132,3
Fordrøyning for 30-årsregn med klimafaktor	0	22,6	15,5	94,3

11 Resultater – Økonomisk analyse

De økonomiske resultatene som presenteres i dette kapitlet har grunnlag fra de hydrauliske resultatene. For å bestemme lønnsomheten for hvert scenario, som har blitt studert i denne oppgaven, har det vært tre verdier som har vært av interesse i regnestykkene:

1. Nåverdien av skadekostnadene forbundet med ikke å gjøre tiltak i feltet, i en 100 års periode, med hensyn til stigende klimafaktor.
2. Skadekostnader som oppstår over 100 år, selv om tiltakene blir gjennomført.
3. Nåverdien av investeringskostnadene og driftskostnadene som vil påløpe i løpet av en 100 års periode.

For hvert scenario blir lønnsomheten bestemt ved:

$$\text{Lønnsomhet} = \text{punkt 1.} - \text{punkt 2.} - \text{punkt 3.}$$

Jo mer lønnsomt et prosjekt er, jo mer positiv er lønnsomheten i formelen ovenfor. Er prosjektet mindre lønnsomt, er lønnsomheten mer negativ i formelen ovenfor. Til slutt blir alle scenariene sammenlignet, for å måle lønnsomheten opp mot hverandre. Det er totalt åtte ulike scenarier som blir sammenlignet.

Avkastningen per krone brukt i tiltakene blir også vurdert mot opp mot hverandre, for å danne et annet syn på lønnsomhet. Dette blir gjort ved å dividere absolutt lønnsomhet med nåverdien av kostnadene forbundet med et tiltak igjennom 100 år.

11.1 Nåverdi av skadekostnadene over 100 år med dagens avløpsnett uten tiltak

For dagens avløpsnett, slik tilstanden er i dag uten tiltak, presenteres nåverdien av skadekostnadene gitt at dagens klima er uforandret over 100 år og klimaet om 100 år gitt at denne er uforandret over 100 år. Resultatene er presentert i tabell 11.1. Samtidig oppgir tabellen nåverdi av skadekostnadene ved en lineær økning i klimafaktoren. Denne brukes videre i lønnsomhetsberegningene. EAD-verdiene hentes fra «Sum areal graf» for dagens situasjon i vedlegg E. Dersom det ikke gjøres noe tiltak i feltet kan vi forvente skadekostnader på totalt 9 331 974,71 kr over de neste 100 årene.

Tabell 11.1: Nåverdiberegning av skadekostnader med dagens avløpsnett uten tiltak.

	EAD (Antall kjellerskader per år)	Skadekostnad per kjeller [kr]	Gjennomsnittlig skadekostnad for kjellere per år [kr]	Nåverdi [kr]
KF = 0	0,31	183 640,00	57 326,29	1 404 780,68
KF = 1,5	7,61	183 640,00	1 396 582,20	34 223 245,41
Stigende KF				9 331 974,71

11.2 Oppdimensjonering av rør ved separering av overvann

11.2.1 For 30-årsregn

Dersom avløpsnettet skal ha kapasitet slik at ingen opplever kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn, er lønnsomheten av oppdimensjonering av rør ved å installere separatsystem gitt i tabell 11.2. Av tabellen ser vi at lønnsomheten har en netto nåverdi på 1 824 800,67 kr. For hver krone som går med til tiltaket gjennom 100 år, vil den ha tjent inn 6,89 kr, som vi ser av avkastningscellen.

Tabell 11.2: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved oppdimensjonering av rør ved separering, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn.

	Nåverdi [kr]	
Skadekostnader uten tiltak over 100 år	9 331 974,71	
Skadekostnader ved oppdimensjonering av rør over 100 år	7 242 184,76	
Kostnadsbesparelse av skader ved tiltak vs. uten tiltak	2 089 789,95	
Investering, år 0	224 353,50	
Drift, år 0-100	40 635,78	
Totalkostnad for tiltak over 100 år	264 989,28	
		Netto nåverdi [kr]
Lønnsomhet		1 824 800,67
Avkastning per krone i tiltaket [%]		689 %

11.2.2 For 30-årsregn om 100 år

Hvis avløpsnettet skal ha kapasitet slik at ingen opplever kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn om 100 år, er lønnsomheten av oppdimensjonering av rør ved separering ved å installere separatsystem gitt i tabell 11.3. Av tabellen ser vi at lønnsomheten har en netto nåverdi på -1 105 625,04 kr, noe som ikke vil være lønnsomt. Å benytte seg av dette tiltaket for at avløpsnettet skal tåle en så stor belastning vil være et tapsprosjekt. Avkastningen per krone i tiltaket -11 %.

Tabell 11.3: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved oppdimensjonering av rør ved separering, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.

	Nåverdi [kr]	
Skadekostnader uten tiltak over 100 år	9 331 974,71	
Skadekostnader ved oppdimensjonering av rør over 100 år	696 034,66	
Kostnadsbesparelse av skader ved tiltak vs. uten tiltak	8 635 940,05	
Investering, år 0	8 247 708,00	
Drift, år 0-100	1 493 857,09	
Totalkostnad for tiltak over 100 år	9 741 565,09	
		Netto nåverdi [kr]
Lønnsomhet		-1 105 625,04
Avkastning per krone i tiltaket [%]		-11 %

11.3 Fordrøyning

11.3.1 For 30-årsregn

Skal avløpsnettet ha kapasitet slik at ingen opplever kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn, er lønnsomheten ved åpen overvannsdam gitt i tabell 11.4. Av tabellen ser vi at lønnsomheten har en netto nåverdi på 2 649 478,50 kr. For hver krone som går med til tiltaket gjennom 100 år, vil den ha tjent inn hele 131,67 kr, som vi ser av avkastningscellen.

Tabell 11.4: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved fordrøyning med åpen overvannsdam, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn.

	Nåverdi [kr]	
Skadekostnader uten tiltak over 100 år	9 331 974,71	
Skadekostnader ved fordrøyning over 100 år	6 662 373,42	
Kostnadsbesparelse av skader ved tiltak vs. uten tiltak	2 669 601,29	
Investering, år 0	10 565,10	
Drift, år 0-40	5 570,71	
Investering, år 40	2 200,59	
Drift, år 40-80	1 160,32	
Investering, år 80	458,36	
Drift, år 80-100	167,71	
Totalkostnad for tiltak over 100 år	20 122,79	
		Netto nåverdi [kr]
Lønnsomhet		2 649 478,50
Avkastning per krone i tiltaket [%]		131,67 %

11.3.2 For 30-årsregn om 100 år

Skal avløpsnettets kapasitet slik at ingen opplever kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn om 100 år, er lønnsomheten ved åpen overvannsdam gitt i tabell 11.5. Av tabellen ser vi at tiltaket er lønnsomt i den forstand at den har en netto nåverdi på 8 302 068,09 kr. For hver krone som går med til tiltaket gjennom 100 år, vil den ha tjent inn 17,2 kr, som vi ser av avkastningscellen.

Tabell 11.5: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved fordrøyning med åpen overvannsdam, for at avløpsnettets skal unngå kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.

	Nåverdi [kr]	
Skadekostnader uten tiltak over 100 år	9 331 974,71	
Skadekostnader ved fordrøyning over 100 år	547 115,61	
Kostnadsbesparelse av skader ved tiltak vs. uten tiltak	8 784 859,10	
Investering, år 0	253 480,50	
Drift, år 0-40	133 653,83	
Investering, år 40	52 797,21	
Drift, år 40-80	27 838,63	
Investering, år 80	10 997,08	
Drift, år 80-100	4 023,76	
Totalkostnad for tiltak over 100 år	482 791,01	
		Netto nåverdi [kr]
Lønnsomhet		8 302 068,09
Avkastning per krone i tiltaket [%]		1720 %

11.4 Takfrakobling med regnbed

11.4.1 For 30-årsregn

Skal avløpsnettets kapasitet slik at ingen opplever kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn, er lønnsomheten ved takfrakobling med regnbed gitt i tabell 11.6. Av tabellen ser vi at tiltaket er lønnsomt med en netto nåverdi på 2 534 894,89 kr. For hver krone som går med til tiltaket gjennom 100 år, vil hver krone ha tjent inn 21,2 kr, som vi ser av avkastningscellen.

Tabell 11.6: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved takfrakobling med regnbed, for at avløpsnettets skal unngå kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn.

	Nåverdi [kr]	
Skadekostnader uten tiltak over 100 år	9 331 974,71	
Skadekostnader ved takfrakobling med regnbed over 100 år	6 677 481,15	
Kostnadsbesparelse av skader ved tiltak vs. uten tiltak	2 654 493,56	
Investering, år 0	79 124,22	
Drift, år 0-40	16 602,93	
Investering, år 40	16 480,71	
Drift, år 40-80	3 458,21	
Investering, år 80	3 432,75	
Drift, år 80-100	499,85	
Totalkostnad for tiltak over 100 år	119 598,67	
		Netto nåverdi [kr]
Lønnsomhet		2 534 894,89
Avkastning per krone i tiltaket [%]		2120 %

11.4.2 For 30-årsregn om 100 år

Skal avløpsnettets ha kapasitet slik at ingen opplever kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn om 100 år, er lønnsomheten ved takfrakobling med regnbed gitt i tabell 11.7. Av tabellen ser vi at tiltaket er godt lønnsomt med en netto nåverdi på 6 911 974,26 kr. For hver krone som går med til tiltaket gjennom 100 år, vil hver krone ha tjent inn 3,65 kr, som vi ser av avkastningscellen.

Tabell 11.7: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved takfrakobling med regnbed, for at avløpsnettets skal unngå kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.

	Nåverdi [kr]	
Skadekostnader uten tiltak over 100 år	9 331 974,71	
Skadekostnader ved takfrakobling med regnbed over 100 år	526 072,71	
Kostnadsbesparelse av skader ved tiltak vs. uten tiltak	8 805 902,00	
Investering, år 0	1 252 986,84	
Drift, år 0-40	262 918,95	
Investering, år 40	260 983,43	
Drift, år 40-80	54 763,14	
Investering, år 80	54 359,99	
Drift, år 80-100	7 915,39	
Totalkostnad for tiltak over 100 år	1 893 927,74	
		Netto nåverdi [kr]
Lønnsomhet		6 911 974,26
Avkastning per krone i tiltaket [%]		365 %

11.5 Tilbakeslagsventil

11.5.1 For 30-årsregn

Skal avløpsnettet ha kapasitet slik at ingen opplever kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn, er lønnsomheten ved å benytte seg av tilbakeslagsventil gitt i tabell 11.8. Av tabellen ser vi at tiltaket er lønnsom med en netto nåverdi på 1 260 552,44 kr. For hver krone som går med til tiltaket gjennom 100 år, vil hver krone ha tjent inn 2,61 kr, som vi ser av avkastningscellen.

Tabell 11.8: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved installasjon av tilbakeslagsventiler, for at avløpsnettet skal unngå kjelleroversvømmelser for dagens 30-årsregn.

	Nåverdi [kr]	
Skadekostnader uten tiltak over 100 år	9 331 974,71	
Skadekostnader ved tilbakeslagsventil over 100 år	7 588 310,37	
Kostnadsbesparelse av skader ved tiltak vs. uten tiltak	1 743 664,34	
Investering, år 0	198 000,00	
Drift, år 0-20	69 872,56	
Investering, år 20	90 364,62	
Drift, år 20-40	31 888,92	
Investering, år 40	41 241,23	
Drift, år 40-60	14 553,69	
Investering, år 60	18 821,96	
Drift, år 60-80	6 642,11	
Investering, år 80	8 590,10	
Drift, år 80-100	3 136,71	
Totalkostnad for tiltak over 100 år	483 111,90	
		Netto nåverdi [kr]
Lønnsomhet		1 260 552,44
Avkastning per krone i tiltaket [%]		261 %

11.5.2 For 30-årsregn om 100 år

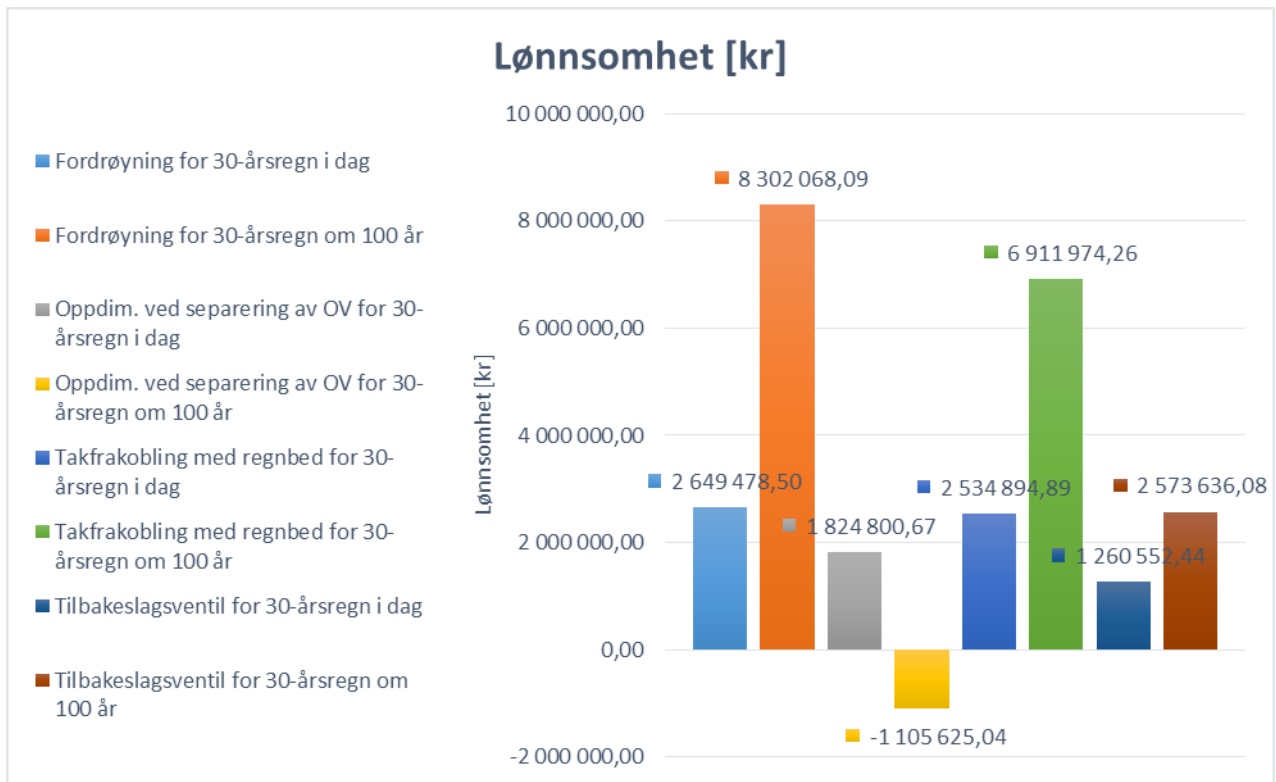
Skal avløpsnettet ha kapasitet slik at ingen opplever kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn, er lønnsomheten ved å benytte seg av tilbakeslagsventil gitt i tabell 11.9. Av tabellen ser vi at tiltaket er lønnsom med en netto nåverdi på 2 573 636,08 kr. For hver krone som går med til tiltaket gjennom 100 år, vil hver krone ha tjent inn kun 0,39 kr, som vi ser av avkastningscellen.

Tabell 11.9: Lønnsomhetsanalyse av tiltak ved installasjon av tilbakeslagsventiler for at avløpsnettets skal unngå kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.

	Nåverdi [kr]	
Skadekostnader uten tiltak over 100 år	9 331 974,71	
Skadekostnader ved tilbakeslagsventil over 100 år	236 328,05	
Kostnadsbesparelse av skader ved tiltak vs. uten tiltak	9 095 646,66	
Investering, år 0	2 673 000,00	
Drift, år 0-20	943 279,53	
Investering, år 20	1 219 922,31	
Drift, år 20-40	430 500,46	
Investering, år 40	556 756,62	
Drift, år 40-60	196 474,79	
Investering, år 60	254 096,45	
Drift, år 60-80	89 668,53	
Investering, år 80	115 966,30	
Drift, år 80-100	42 345,59	
Totalkostnad for tiltak over 100 år	6 522 010,58	
		Netto nåverdi [kr]
Lønnsomhet		2 573 636,08
Avkastning per krone i tiltaket [%]		39 %

11.6 Sammenstilling av lønnsomhetsresultater for ulike tiltak

Figur 11.1 viser diagram der tiltakene er sammenstilte. Av figuren kan vi se lønnsomheten for hvert av de ulike tiltakene opp mot hverandre. Vi kan se at det vil ved å implementere fordrøynings tiltak ved åpen overvannsdam, kan være mest lønnsomt. Dette gjelder når tiltaket er av så stort omfang at det «nye» avløpsnett klarer å håndtere et 30-årsregn om 100 år. På andre plass ser det ut til at takfrakobling med regnbed er det nest mest lønnsomme tiltaket som kan gjøres i feltet. Omfanget av dette tiltaket vil også være for et avløpsnett som skal takle 30-årsregn om 100 år. Det er kun ett tiltak som vil føre til negativ lønnsomhet. Det vil ikke egne seg å oppdimensjonere rørene ved et separatanlegg, slik at avløpsnettets skal takle et 30-årsregn om 100 år mot kjelleroversvømmelser. Utenom det å oppdimensjonere rørene ved separering, kan vi se at det er gjennomgående mer lønnsomt i å gjøre tiltak med et langsiktig perspektiv, altså dimensjonere etter et 30-årsregn som opptrer om 100 år og ikke dagens 30-årsregn.



Figur 11.1: Sammenstilling av lønnsomhetsresultater for ulike tiltak igjennom 100 år.

Tabell 11.10 oppsummerer og rangerer tiltakene etter hvor lønnsomme de er. Nummerering fra 1 til 8 er henholdsvis best til dårligst. Dagens avløpsnett uten tiltak er med som referanse i forhold til de ulike tiltakene.

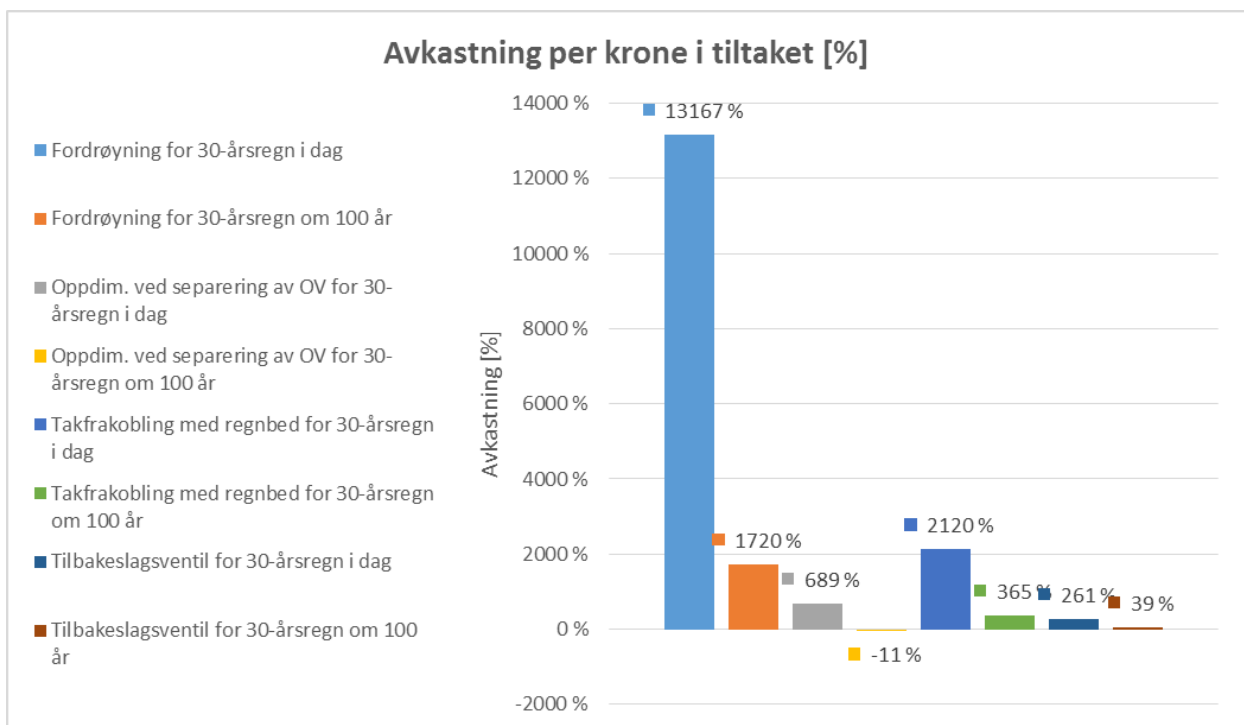
Tabell 11.10: Rangering av tiltak etter hvor lønnsomme de er relativt til hverandre.

Tiltak	Lønnsomhet [kr]	Rangering
Fordrøyning for 30-årsregn om 100 år	8 302 068,09	1
Takfrakobling med regnbed for 30-årsregn om 100 år	6 911 974,26	2
Fordrøyning for 30-årsregn i dag	2 649 478,50	3
Tilbakeslagsventil for 30-årsregn om 100 år	2 573 636,08	4
Takfrakobling med regnbed for 30-årsregn i dag	2 534 894,89	5
Oppdim. ved separering av OV for 30-årsregn i dag	1 824 800,67	6
Tilbakeslagsventil for 30-årsregn i dag	1 260 552,44	7
Dagens avløpsnett	N/A	8
Oppdim. ved separering av OV for 30-årsregn om 100 år	-1 105 625,04	9

Ved å se på lønnsomhet i absolutte verdier, kan det være noe misvisende. Det er derfor også valgt å sammenstille resultatene for de ulike tiltakene etter hvor stor avkastningen er på hver krone brukt i tiltaket. Investorer er ofte interessert i å få igjen så mye som mulig av pengene de setter inn i et prosjekt. For å illustrere det med et eksempel, kan vi sammenligne to ulike scenarier. I det ene scenariet har du tjent 2mill kr, etter å ha fått avkastning på de 1mill kr du

investerte i et prosjekt. I det andre scenariet tjente du 2mill kr etter å ha fått avkastning på de 1,5mill kr du investerte i et annet prosjekt. Du tjente 2mill kr i begge scenarier, men du behøvde ikke å investere med så store midler i det første scenariet for å tjene like mye som i det andre scenariet. Dermed hadde du 0,5mill kr til gode, som du enda ikke har investert med. Det er gitt at begge scenarier har like stor risiko forbundet med å binde opp investert kapital i prosjektene.

Figur 11.2 illustrerer, med et diagram, den relative lønnsomheten forbundet med å investere i de ulike tiltakene. Fortsatt vil det ikke være lurt å bruke pengene på å oppdimensjonere rørene ved et separatanlegg, for å forhindre kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år. Det tiltaket som gir størst lønnsomhet, med tanke på hvor mye penger som er blitt benyttet for å oppnå målet, er fordrøyningstiltak ved åpne overvannsdammer. Omfanget av tiltaket er for å hindre kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn i dag, og den skiller seg klart ut i forhold til de andre tiltakene som er studert. For hver krone brukt i dette tiltaket, får man igjen 131,67 kr! Det er kun to scenarier som gir en avkastning mindre enn 100 % av det som er brukt på prosjektet; oppdimensjonering av rør ved separering og installasjon av tilbakeslagsventiler, der begge skal forhindre kjelleroversvømmelser for et 30-årsregn om 100 år.



Figur 11.2: Sammenstilling av avkastning per krone brukt i ulike tiltak igjennom 100 år.

Tabell 11.11 viser rangering av de ulike tiltakene etter relativ lønnsomhet ved avkastning per brukte krone i et tiltak. Nummerering fra 1 til 8 er henholdsvis best til dårligst. Dagens avløpsnett uten tiltak er med som referanse i forhold til de ulike tiltakene.

Tabell 11.11: Rangering av tiltak etter relativ lønnsomhet i forhold til hverandre.

Tiltak	Avkastning per krone i tiltaket [%]	Rangering
Fordrøyning for 30-årsregn i dag	13167 %	1
Takfrakobling med regnbed for 30-årsregn i dag	2120 %	2
Fordrøyning for 30-årsregn om 100 år	1720 %	3
Oppdim. ved separering av OV for 30-årsregn i dag	689 %	4
Takfrakobling med regnbed for 30-årsregn om 100 år	365 %	5
Tilbakeslagsventil for 30-årsregn i dag	261 %	6
Tilbakeslagsventil for 30-årsregn om 100 år	39 %	7
Dagens avløpsnett	N/A	8
Oppdim. ved separering av OV for 30-årsregn om 100 år	-11 %	9

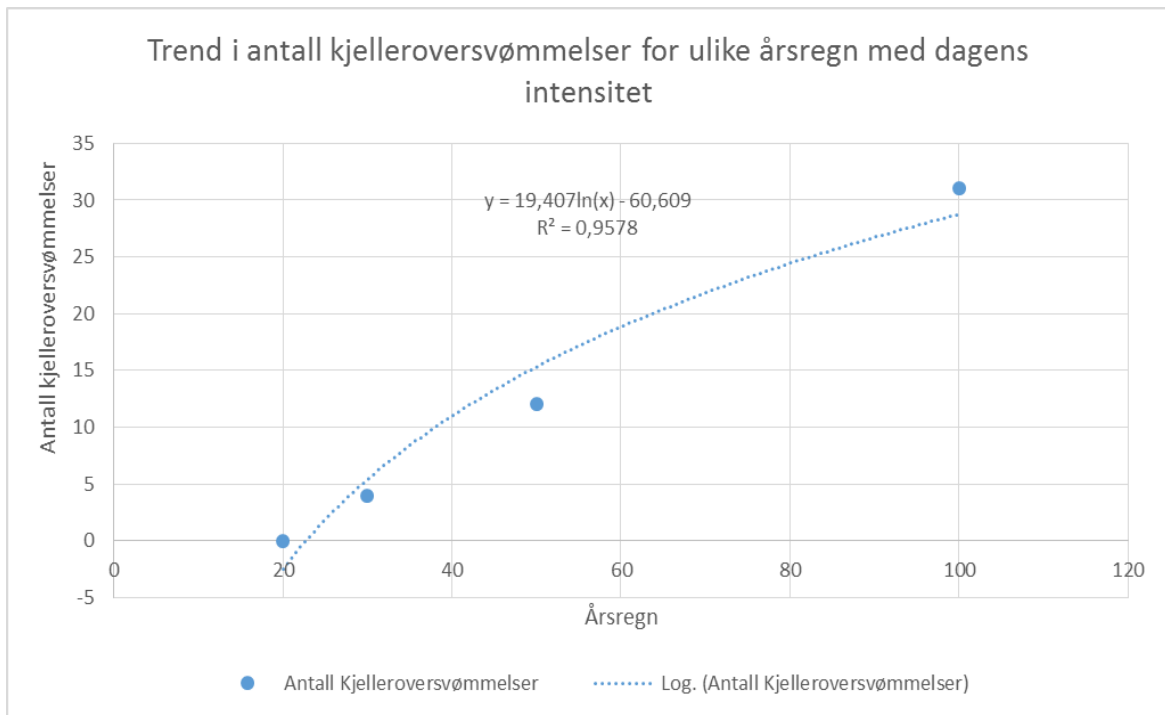
11.7 Alternativ metode for skadeomfang over tid (Dansk metode)

I avsnitt 9.5.5 ble en metode, utført i Danmark, beskrevet for å finne skadeomfanget gjennom en 90 års periode ved hjelp av modell.

For feltet som er studert i Grefsen var det potensielt 31 kjelleroversvømmelser som ville oppstå som følge av en 100 års regnhendelse. Dersom modellen fra Danmark skulle blitt benyttet for Grefsen-feltet, hadde det ført til $3,45 * 31 = 106,95$ potensielle kjelleroversvømmelser over en observasjonsperiode på 90 år. Om faktoren på 3,45 kan overføres til Grefsen-feltet, vurderes i de følgende avsnittene.

Arnbjerg-Nielsen et al. (2007) valgte ut ni regn med ulike gjentaksintervall for å finne skadekostnadene forbundet med disse, ved hjelp av modellen. I denne oppgaven brukes de samme gjentaksintervallene, men for å finne disse interpoleres og ekstrapoleres det av dataene og resultatene som er studert for Grefsen-feltet. For Grefsen-feltet er det funnet antall kjellerskader for 2-, 5-, 10-, 20-, 30-, 50- og 100-årsregn. Det interpoleres og ekstrapoleres kun for 20-, 30-, 50- og 100-årsregn da skadene ikke forekommer før for et 30-årsregn. Ved å ta hensyn til nullverdiene for 2-, 5- og 10-årsregn i tillegg, blir det en skjevhet i trendlinjen som genereres. Trendlinjen vil da vise at det skjer skader for regn med gjentaksintervall 20 og mindre, noe som ikke er tilfelle. Se figur 11.3 for trendlinjen generert ved interpolering og ekstrapolering. Formelen for trendlinjen er gitt i figuren til å være på logaritmisk form, da

økning i antall kjelleroversvømmelser antas å ville synke ved økning av gjentaksintervall på regn.



Figur 11.3: Trendlinje for antall kjelleroversvømmelser ved ulike regns gjentaksintervall.

Tabell 11.12 tar for seg forventet antall kjelleroversvømmelser i Grefsen, for de gjentaksintervaller som ble benyttet i den danske metoden. De gjentaksintervallene fra et 20-årsregn og lavere er satt til verdi null, da det i casestudie ikke ble observert kjelleroversvømmelse for disse årsregnene. Ved bruk av formel for trendlinje ville disse verdiene blitt negative, noe som ikke er fysisk mulig.

Tabell 11.12: Forventet antall kjelleroversvømmelser i Grefsen, for ni gjentakintervaller som er benyttet i den danske metoden.

Rang	Forventet gjentakelsesperiode av største hendelser med 90 års observasjonsperiode (år)	Forventet skade pr hendelse i forhold til en 100 års hendelse (indeks 100)	Forventet skade pr hendelse (Grefsen)
1	129,1	111,1	33,7
2	53,2	72,6	16,5
3	33,5	52,5	7,5
4	24,4	38,8	1,4
5	19,2	28,4	0,0
6	15,9	20,0	0,0
7	13,5	13,0	0,0
8	11,7	7,0	0,0
9	10,4	1,7	0,0
Sum	-	345,0	59,2
	Forholdstall	3,45	1,91

Fra den danske metoden ble faktoren beregnet til å være $345 / 100 = 3,45$. For feltet i Grefsen er den samme faktoren beregnet til å være $59,2 / 31 = 1,91$. Faktoren for Grefsen-feltet er 44,64 % lavere enn for faktoren i Danmark. Modellen fra Danmark kan dermed ikke nødvendigvis overføres direkte til feltet i Grefsen.

Tidligere masterstudenter har studert for samme danske metode tidligere. I masteroppgaven av Myking (2012), diskuterte han mulige årsaker til ulikhetene i faktoren fra egen beregnet og den danske. Disse er gjengitt punktvis nedenfor:

- Modellen av Grefsen gjenspeiler ikke de fysiske funksjonene i feltet på en god nok måte?
- Det laveste skadebringene regnet i den danske rapporten har 10-års gjentakintervall mot modellen av Grefsen som viser skader først for et 30-årsregn. Fra EAD-kurvene ser vi at det er de regn med lavest gjentakintervaller som gir størst skade, og da den danske studien har skader ved små gjentakintervaller, kan vi forventet større skadeomfang over tid?
- Det er ikke mulig å vurdere totalkostnadene i en gitt periode for forskjellige nedbørsfelt på bakgrunn av 100-årsregnet og en gitt faktor?
- Den danske metoden er ikke overførbart til andre felt?

Av de andre masteroppgavene som har sammenlignet data og resultater fra sine studier mot den danske studien, får også de avvik i den utregnede faktoren. Om metoden er overførbart til andre felt burde kartlegges ytterligere, men foreløpig kan ikke metoden verifiseres.

Del 4: Diskusjon og konklusjon

12 Diskusjon

12.1 Vurdering av benyttede metoder

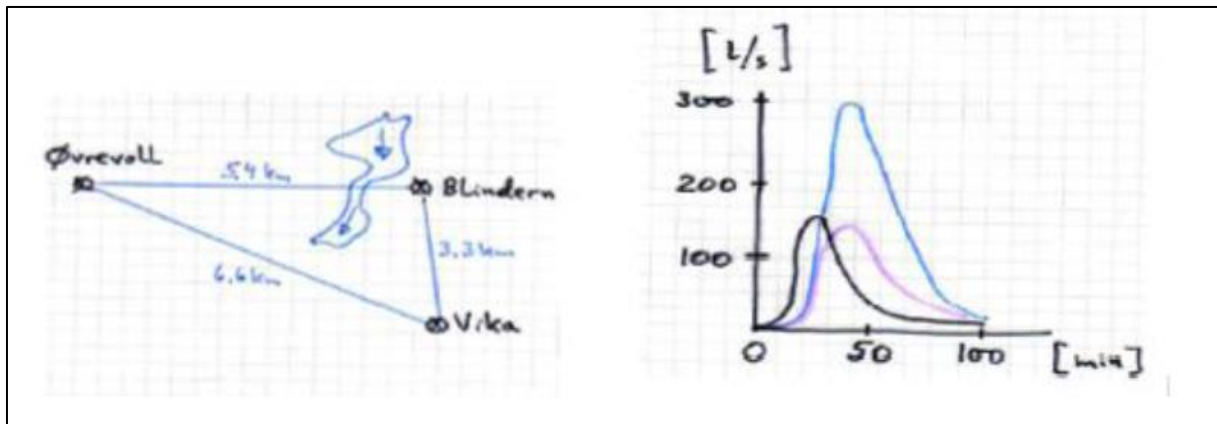
12.1.1 Regndata

Det ble valgt å benytte seg av regndata i form av konstruerte regnhyetogrammer. Ved bruk av disse ble enkeltregn simulert til å gjelde over hele det studerte feltet. Som det ble nevnt i teoridelen, avsnitt 5.1.1, er det flere metoder å gå inn med regndata på. Symmetrisk regnhyetogram ble valgt på bakgrunn av at VAV også benytter seg av dette, samtidig med fordelene knyttet til metoden listet opp i samme avsnitt. En annen mulighet var å benytte seg av langtidsregn, men dette ble ikke aktuelt med tanke på tiden til rådighet og med det store antall simulering som ble kjørt.

Ved å simulere for enkeltregn slik som det er gjort i oppgaven, kan man si at dette er tilfeller som gjelder for sommerhalvåret. For mindre felt er det korte intensive regn som gir dimensjonerende avrenning (Lindholm 2016a). For felt med større arealer burde mer langvarige regn, slik som høstregn og regn som forekommer på vinterstid være dimensjonerende. Om vinteren må det eventuelt tas hensyn til frost, is og snø i feltet, noe som fører til større andel tette flater. Også ved vårtider, der feltet er preget av snøsmelting, kan dette føre til store avrenninger hvis regn skulle komme i tillegg til smeltevann. AK45-feltet utgjør et areal på 34,5 ha. Om dette er stort eller lite felt, kan diskuteres, men for å forsvare bruken av enkeltregn antas det at feltet er liten.

Nedbørshyetogrammene, for enkeltregnene, ble konstruert av IVF-kurver fra nedbørsmåler på Blindern. Blindern ligger 3,15 km unna nærmeste punkt til feltet som er blitt studert. Blindern ble valgt fremfor andre nedbørsmålere, som hadde lokasjon nærmere det studerte feltet, grunnet Blinderns lange tidsserie med registrering av nedbørsdata. Dette ble også gjort med anbefaling fra VAV. Regn kan variere stort over områder. Det er illustrert i figur 12.1.

Figuren viser beregnede hydrogrammer i samme nett, med data fra tre ulike målere. Med bare noen kilometers avstand kan intensiteten variere stort ved samme tidspunkt for samme regn (Lindholm 2016a).



Figur 12.1: Hydrogrammer fra tre ulike nedbørmålere plassert ved korte avstander mellom hverandre, for et og samme regnhendelse (Lindholm 2016a).

Hvorvidt det hadde vært mer hensiktsmessig å benytte seg av en nedbørmåler nærmere feltet som er blitt studert, kan være bedre i den forstand at regn som blir registrert nærmere feltet er mer representativ i forhold til det som faktisk regner i det aktuelle feltet. Eneste kravet som stilles til bruk av nedbørmåler, er at tidsserien strekker seg over ett år tilbake i tid, og ikke har noen «hull» i registreringen. Dette er nødvendig med tanke på RDI-hotstarten i modellen som kjøres, for å stabilisere feltet for de ulike vannmagasinene som finnes, før Runoff-modulen kjøres.

Retningen og hastigheten på regnet kan også gi store utslag på vannføringen i feltet og avløpsnett. Ved Søren Jaabæks gate i Oslo, i 1983, ble effekten av retningen og hastigheten for de 30 største regnene i Oslo studert. Resultatet fra studiet viste at ved å la en regnbygge følge avløpsvannets hovedretning nedstrøms i nettet og med vannets hastighet på ca. 2 m/s, økte Q_{maks} for overvannet med ca. 10 % i forhold til et stasjonert regn (Lindholm 2016a).

I oppgaven er det gjort totalt 98 simuleringer. Dette har blitt gjort for 2-, 5-, 10-, 20-, 30-, 50- og 100-årsregn både med og uten klimafaktor, for syv scenarier. Å kjøre så mange simuleringer virker mye, men har vært nødvendig for å finne skadepotensiale for bestemte årsregn, som forandrer seg som følge av klimaendringene igjennom 100 år.

12.1.2 Usikkerhet i klimaframskrivningene

I denne oppgaven er det valgt å anta lineær økning i klimafaktoren og si at om 100 år har regnintensiteten forverret seg og økt med 50 % av dagens verdi. Dette er gjort ved at dagens regn multipliseres med en klimafaktor lik 1,5. Denne forutsetningen er ikke nødvendigvis riktig beskrivelse av hva som vil skje i løpet av 100 år. Det er viktig å presisere at det er

usikkerheter knyttet til klimaframskrivningene fra klimamodellene. Disse avhenger av en rekke parametere vi kan gjøre noe med, og andre parametere vi ikke har innvirkning på i det hele tatt (Hanssen-Bauer et al. 2015). Klimafaktor på 1,5 er valgt med bakgrunn av at VAV vanligvis benytter seg av denne verdien ved sine dimensjoneringsiltak. Klimafaktor inkluderer de ofte i sine dimensjoneringsberegninger når det skal oppdimensjoneres hovedledninger med dimensjon over Ø300 mm og graving er nødvendig. Siden levetiden på ledninger antas å være ca. 100 år, ble det i denne oppgaven valgt å si at regnintensitet øker med 50 % om 100 år. Bruk av klimafaktor ved dimensjonering, avhengig av størrelse på ledninger, er ikke tatt hensyn til i denne oppgaven. Noe av hensikten med oppgaven har vært å se på effekten av tiltak gjort for dagens regn i forhold til å dimensjonere tiltakene etter regn som opptrer om 100 år.

12.1.3 Bestemmelse av oversvømte kjellere

Metode for bestemmelse av antall kjelleroversvømmelser er gjort ved å telle antall stikkledninger som er knyttet til ledninger som har oppstuvning 90 cm over topp, innvendig rør. Dette er også en forenkling av virkeligheten. Usikkerheten ligger i at vi ikke vet hvor høyt kjellerslukene i husstandene ligger i forhold til ledningene de er knyttet til. I virkeligheten kan disse godt tenke å ligge høyere og ikke få kjelleroversvømmelse selv om trykket står høyt i ledningene, som stikkledningene er knyttet til. I tillegg vet vi ikke om alle husstandene har kjellere, eller om de har flere kjellere. Dette vil for eksempel gjelde for blokker med leiligheter. I etterkant har forfatter også fått oversikt over husstander hvor det er registrert installasjon av tilbakeslagsventiler. Denne oversikten er ikke nødvendigvis riktig. Dersom en fullstendig oversikt over alle tilbakeslagsventiler i feltet hadde blitt fremskaffet, kunne dette blitt hensyntatt i optelling av totalt antall kjelleroversvømmelser.

Antall kjelleroversvømmelser kan også være noe overvurdert da modellen ikke tar hensyn til volumkapasiteten til oversvømte kjellere og stikkledninger som blir fylt. Ved ikke å ta hensyn til dette, vil mengden vann stuve seg lenger opp i ledningsnett.

Eneste årsak til kjelleroversvømmelse, i denne oppgaven, er på grunn av oppstuvning i ledningsnett. Ved kraftige og langvarige nedbør, kan også vannet stå høyt i grunnen og trenge inn i kjeller igjennom vegger og åpninger. Hus som eventuelt kan oppleve dette, og ikke får kjelleroversvømmelse som følge av vann opp fra sluk, har ikke blitt telt med som en husstand med oversvømmelse. Dette vil i så fall føre til en undervurdering av antall kjelleroversvømmelser som følge av nedbørshendelser.

12.1.4 Takfrakobling med regnbed og fordrøyningstiltak

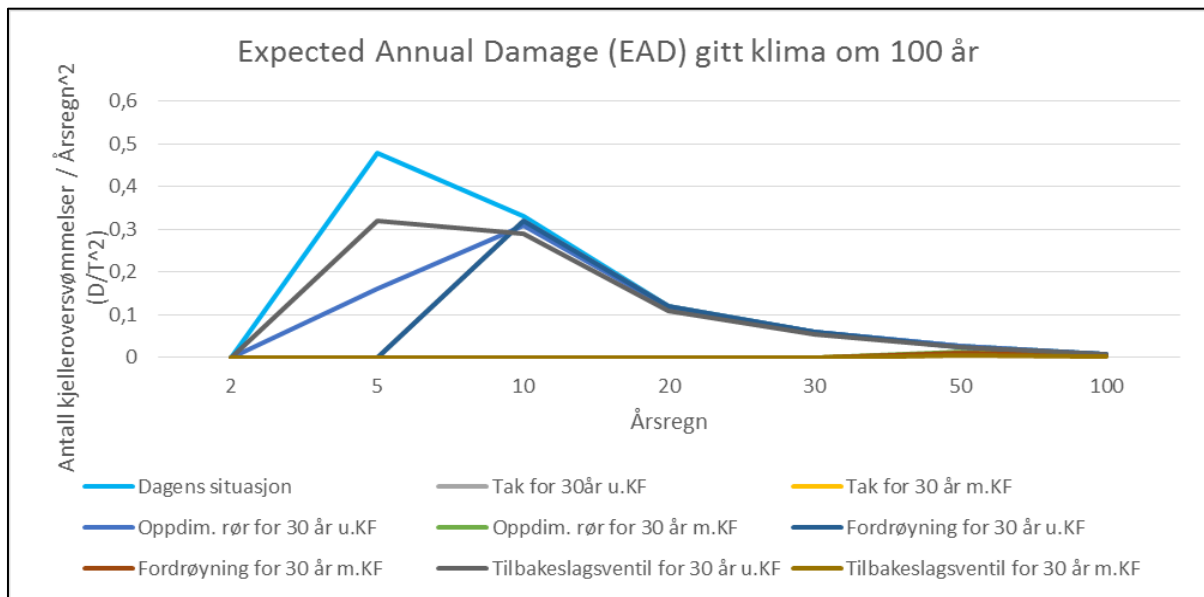
I metode for simulering av takfrakobling har det ikke vært tid til å befare det aktuelle feltet. Dermed har det ikke vært mulighet til å skaffe oversikt over andelen med husstander som allerede har koblet i fra sine tak fra avløpsnett. Det er gjort en antakelse om at alle husstander er påkoblet avløpsnett i form av alt vannet fra takene vil finne veien frem til et sluk. For å modellere opp takfrakobling har dette blitt gjort ved å sette avrenningsfaktoren til tak lik null. Dette er også en forenkling av virkeligheten. I virkeligheten vil noe av vannet fra takene kunne finne frem til ledningsnett, selv om de er koblet i fra. For å forsvare metoden, ble det bestemt at vannet, fra takene som skulle kobles ifra, skulle renne til et regnbed. Hvis dette er tilfelle vil nesten all vannet fra takene unngå å renne til ledningsnett. Da dette tiltaket krever gode infiltrasjonsegenskaper, burde det gjøres infiltrasjonstester for å sjekke om kapasiteten er tilstrekkelig i området. Det burde ikke stoles blindt på kartdata over infiltrasjonskapasiteten i feltet, presentert fra NGU i figur 8.3.

I et fordrøyningstiltak er det vanlig med kontrollert utslipp av vann til avløpsnett. Dette er ikke gjort i denne oppgaven. Her er det antatt at utslippsmengden per tid fra bassenget er gitt av vannføringen fra implementering av tiltak ved økt konsentrasjonstid. Dette kunne vært gjort annerledes med mer tid til rådighet, ved å sette inn mengderegulator i utløpet av et basseng som angir hva maksimal vannføring til avløpsnett skal være. Hvorvidt dette fører til større eller mindre fordrøyingsvolum enn det som er funnet i denne oppgaven, avhenger av den maksimale vannføringen fra utslippskontrollen. Mengden med påslipp til kommunalt nett bestemmes av VAV.

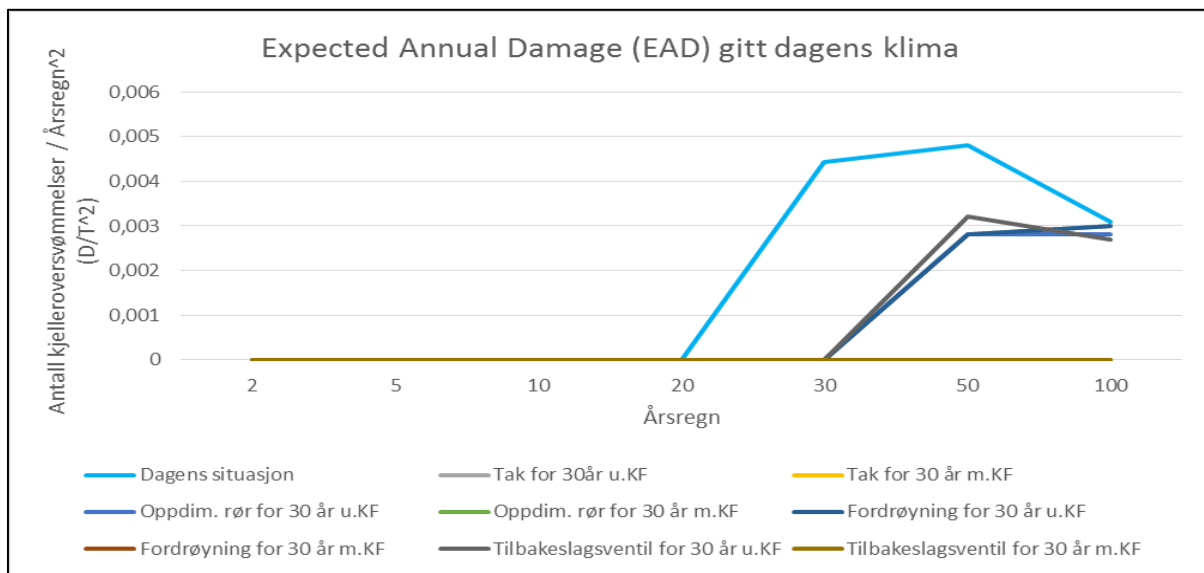
12.1.5 Skadekostnader over 100 år ved bruk av EAD

For å beregne skadekostnader over 100 år ble en metode av Nilsen (2017) brukt, for å finne forventet gjennomsnittlig årlig skadeomfang, EAD. Med grunnlag fra resultater av antall kjelleroversvømmelser for ulike årsregn, ble EAD regnet ut for de ulike scenariene. EAD ble funnet av arealet under kurvene som ble konstruert, se figur 12.2. Figuren viser skadepotensiale for regn med ulike gjentaksintervall, som det i oppgaven antas å skulle opptre om 100 år. Arealene for de ulike scenariene ser vi av figuren er avgrenset mellom x-aksen og grafene. Arealene for beregning av EAD for dagens klima er derimot ikke avgrenset, noe som fører til en undervurdering av det forventede gjennomsnittlige skadepotensiale hvert år, se figur 12.3. Her måtte det i så fall gjort simuleringer for regn med høyere gjentaksintervall. For

begge tilfellene har denne metoden bare vært en tilnærming. For mer nøyaktig beregning av EAD måtte det blitt gjort simuleringer for et uendelig antall gjentaksintervall.



Figur 12.2: Gjennomsnittlig forventet årlig kjelleroversvømmelser gitt fremtidens klima med klimafaktor 1,5.



Figur 12.3: Gjennomsnittlig forventet årlig kjelleroversvømmelser gitt dagens klima.

For å ta hensyn til den forutsatte lineære økningen i klimafaktoren, gjøres det også en forenkling av skadekostnadene ved å si at disse også stiger lineært hvert år. Med dette følger det også en usikkerhet knyttet til kostnadsdataene og resultatene. Det er ikke gitt at forandring i klimafaktoren gir en lineær forandring i skadekostnader. Dette har med at antall husstander som får kjelleroversvømmelse ikke følger en lineær trend avhengig av klimafaktoren, men

avhenger blant annet av hvor husstandene er plassert i forhold til hverandre, ledningsnettets utforming, fall på ledninger og når regnene inntreffer i løpet av 100 års perioden.

12.1.6 Usikkerhet i kostnadsbildet

100 år er en veldig lang tidsperiode i en økonomisk sammenheng. Å gjøre en økonomisk analyse for en periode over 100 år, knyttes det også store usikkerheter til. I oppgaven ble det benyttet en diskonteringsrente på 4 %. Denne forandrer seg kontinuerlig og er relativ lav i forhold til hva den var for noen tiår tilbake. Dette kan forandre seg og verdiene av penger vil da kunne være noe helt annet enn hva det er tatt hensyn til i denne oppgaven. I en tid preget av teknologiske fremskritt, innovasjon og produktutvikling, kan vi heller ikke regne med produktene som benyttes i dag er like effektive i forhold til nye produkter i fremtiden. For å sammenligne de ulike tiltakene fra en økonomisk sammenheng, har det vært forutsatt at når det aktuelle tiltaket skal installeres i dag, vil dette tiltaket gjelde i feltet i 100 år fram i tid. Om noen av tiltakene har en kortere levetid enn 100 år, for eksempel 40 år, betyr det at tiltaket må investeres i total tre ganger i perioden. I virkeligheten kan det godt være mulig å benytte seg av et tiltak den første perioden for deretter å bytte til et annet tiltak senere.

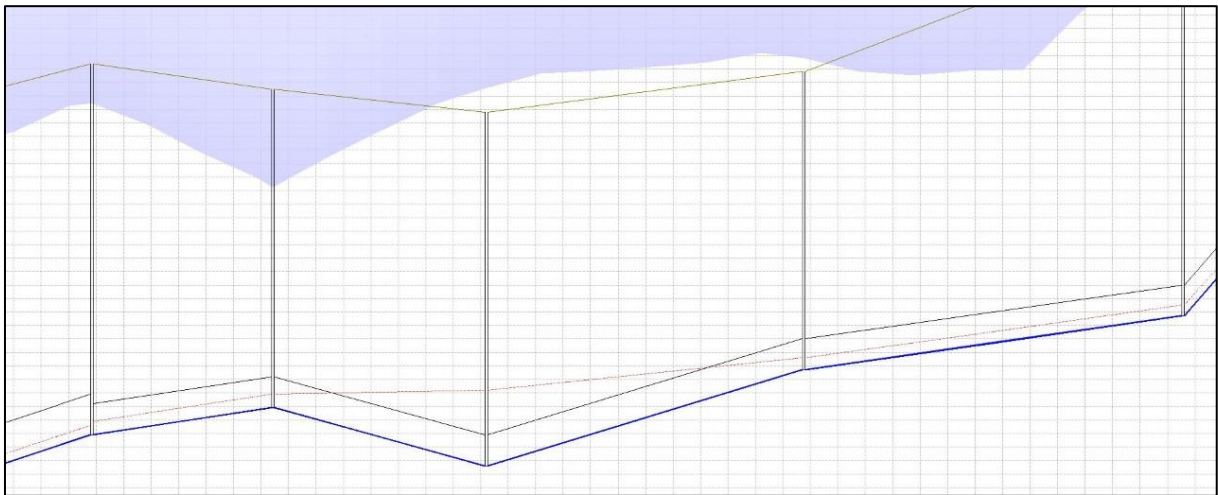
Enhetskostnadene som er tatt med i kostnadsberegningene skal man også være kritiske til. For forfatteren virker de lave i forhold til det som kanskje kan være tilfelle i et høykostland som Norge. Tiltakskostnadene er estimert fra en dansk rapport. Forholdene i Danmark kan være annerledes enn i Norge. Det kan for eksempel være lettere å installere og iverksette tiltak i danske forhold enn norske. Kostnadene som er med i analysen her, er tatt av et gjennomsnitt for hva gjelder det aktuelle tiltaket. Dette kan variere i stor grad avhengig eksisterende teknisk infrastruktur, grunnforhold, ulik kvalitet på samme type tiltak med mer. Siden noe av oppgaven er å sammenligne tiltakene seg imellom, er kanskje ikke betydningen til opprinnelsen av kostnadsdataene viktige så lenge de kommer fra samme kilde. Eneste tiltakskostnad som kommer fra en annen kilde er for tilbakeslagsventiler, som er gitt av MFT.

Skadekostnader forbundet med kjelleroversvømmelse er også et antatt gjennomsnitt fra tidligere studier. Skadekostnadene per kjeller kommer fra en kilde tilbake i 2004. Tidligere var det vanlig å bruke kjeller som oppbevaringssted, men i dag er det vanlig å benytte seg av kjellere som oppholdsrom. Dette kan forandre på kostnadsbilde for verdien av ting i kjelleren i forhold til hva den en gang var.

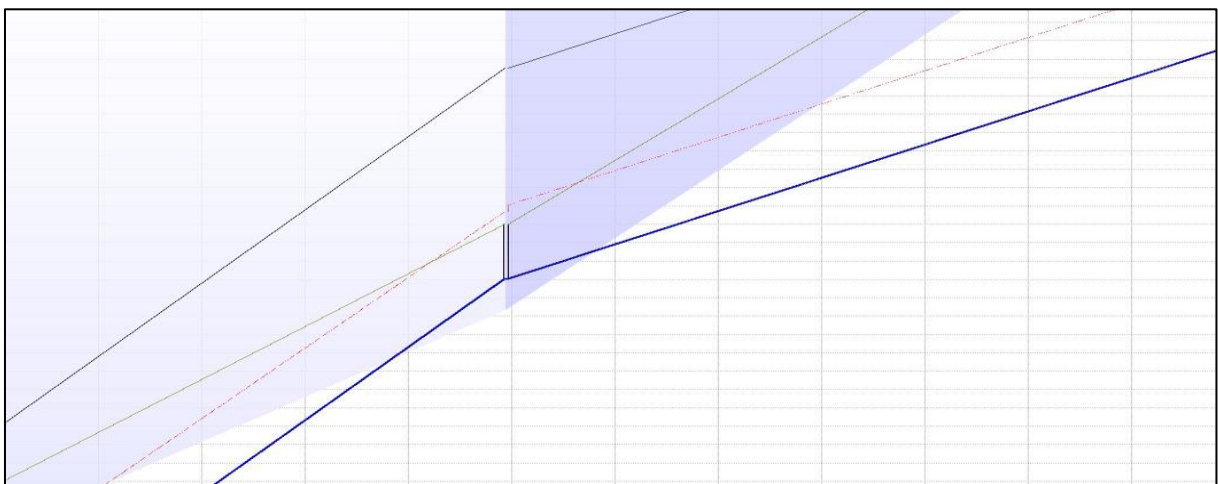
12.2 Usikkerhet som følge av modell

12.2.1 Avløpsnett

Det ble sagt tidligere i oppgaven at modellen kjøres som den er, uten at det er gjort forandringer i den. Ideelt sett hadde det vært lurt og dratt ut i feltet for å gjøre målinger på kotehøyder for innløp og utløp på ledninger i kummer, for å få et så nøyaktig bilde av ledningsnettets som mulig. I modellen har derimot flere verdier blitt tildelt og ikke målt, noe som gir en usikkerhet knyttet til avløpsnettets reaksjon på vannføringen. Figur 12.4 er et eksempel på en svanke i avløpsnettets. Dette kan være en mulig feil da motfall i avløpsledninger ikke burde forekomme. Ellers er det i figur 12.5 vist et eksempel på kum og ledninger som svever i luften og ligger over terrenghøyde, noe den heller ikke burde gjøre.



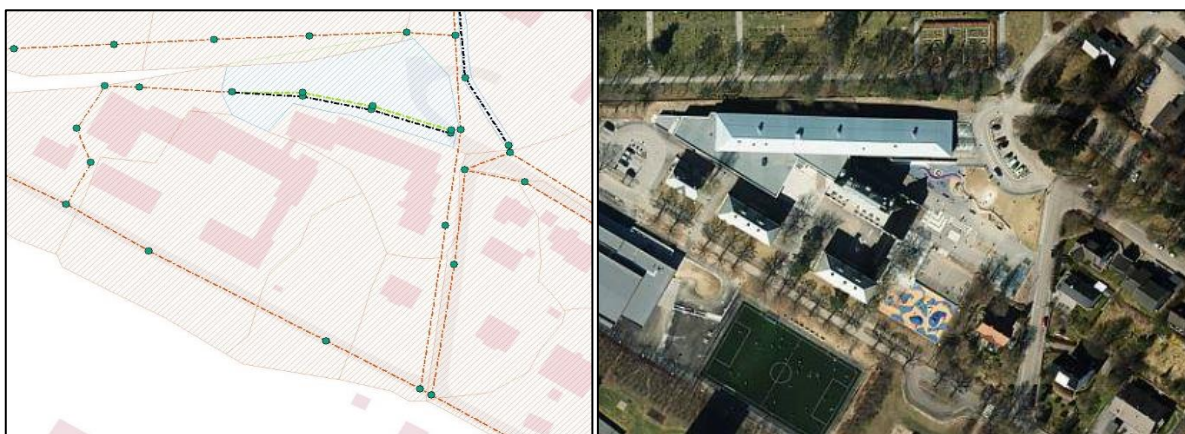
Figur 12.4: Svanke/motfall i avløpsledning.



Figur 12.5: Ledninger og kum i luften over terrenget.

12.2.2 Kartdata

Kartdata brukt i simuleringene er også tatt som gitte verdier. Dataene over flatearealer ligger i GIS-programmet, men disse kan være utdaterte. Figur 12.6 viser et eksempel på dette ved Grefsen skole. Helt til venstre i feltet ligger det som på kartet ser ut til å være et stort bygg med stort takareal. I et satellittbilde er formen og utrekningen av det samme taket annerledes enn det som blir presentert i GIS. Hvis parameteren for takareal tar utgangspunkt i det utdaterte kartbildet, vil dette gi en usikkerhet knyttet til modellen i forhold til det som faktisk ligger i feltet.



Figur 12.6: Forskjell i takutforming i GIS og fra et satellittbilde.

12.2.3 Delvis kalibrert

Feil i selve avløpsnettet kan rettes på ved å forandre på ledninger og kummer i rommet og deres egenskaper. Om kartdataene ikke stemmer helt overens med virkeligheten, så er det ikke noe vits å bytte ut bakgrunnsbildet til et nytt kart. Dette kan ordnes opp i ved kalibrering av modellen. Det gjøres ved å forandre på parametere slik at verdier på vannføringsmålinger og verdier av simulert vannføringskurve er samstemte. I denne oppgaven har vi også kjørt RDI-modulen (Rainfall dependent infiltration), så modellen tar hensyn til parameterverdiene for ulike vannmagasin over og i grunnen for feltet som studeres. Disse parameterne er heller ikke kalibrert.

Denne modellen er IKKE kalibrert, da det ikke foreligger noe målingsdata på vannføring til dette feltet. Feltet er uansett delvis kalibrert. Det vil si at størsteparten av delfeltene har fått tilegnet parameterverdier fra tidligere, mens et mindretall av delfelt ikke har det. Grunnen til at noen av delfeltene, manuelt, har fått tilegnet parameterverdier, er at det har vært et tidligere prosjekt i et felt nedstrøms disse delfeltene som det gjort kalibrering for (AK52-feltet).

Parameterverdiene til de delfelt som ikke er manuelt tilegnet, er heller ikke tatt helt ut ifra løse luften. Default-verdiene til delfeltenes parametere skal ha verdier i samme størrelsesorden som et tilnærmet likt felt. Parameterverdiene tilsvarer ikke for eksempel samme verdier som det er å finne nede i Oslo by, men kanskje fra et felt med tilsvarende bebyggelse som feltet ved siden av (Abdi 2017a). Da vi ikke har noe måledata å referere til, er det uansett vanskelig å si noe om virkelighetsgraden til modellen i forhold til de faktiske forhold.

12.2.4 Følsomhetsanalyse

For å sjekke med usikkerheten til modellen, avhengig av parameterverdier, er det blitt gjort følsomhetsanalyse der resultatene er presentert i avsnitt 10.8. Vi ser at utslaget er størst ved andel tette flater. Dette gjelder for begge ledningene som går inn mot overløpet. Det skal ikke ses bort ifra at andel tette flater brukt i modellen kan ligge +/- 20 % unna riktig verdi. Om det skulle være tilfelle at parameterverdien ligger rundt +/- 20 % i fra virkelig verdi, gir dette utslag på maksimal vannføring på +/- 15 % noe som kan være utslagsgivende for resultatene fra modellkjøringen. For ruhet, med Mannings tall, ser vi også at følsomheten blir ganske stor ved å senke verdien. Dersom den virkelige verdien for ruhet ligger under minus 5-10 % av den som er brukt i modellen, kan også denne ha stor betydning for den maksimale vannføringen. En økning i parameteren vil ikke være så følsom, da kurven for maksimal vannføring legger seg langs x-aksen for høyere verdier. For de to andre parameterne, gropmagasin og konsentrasjonstid, har disse lite innvirkning på den maksimale vannføringen. En grov feil i verdiene for disse parameterne i modellen, vil ikke være utslagsgivende på resultatet.

12.3 Vurdering av resultater

Tiltakene som er tenkt skal bli implementert i feltet skal alle nå det samme målet. Det er valgt å se på hvor omfattende tiltakene må være for å forhindre kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn. Samtidig er det interesse for å se på hvor mye mer omfattende tiltakene må være, dersom det skal tenkes langsiktig, ved å dimensjonere for å forhindre kjelleroversvømmelse for et 30-årsregn om 100 år. Grunnen til at de ulike tiltakene skal testes for disse to scenariene er for å finne ut om det lønner seg å tenke kortsiktig dersom tiltak skal iverksettes i feltet, eller om det lønner seg å ha et lengre perspektiv.

12.3.1 Hydrauliske resultater

Siden alle tiltakene har samme mål, blir det forsøkt å innføre minimalt med tiltak i feltet, slik at målet akkurat blir innfridd. Resultatene er presentert i avsnitt 10.7. Som forventet ble det ikke store avvik mellom de ulike tiltakene som ble gjort, da de skulle innfri de samme målene. Et avløpsnett hvor kjelleroversvømmelser ikke forekommer for et 20-årsregn med dagens intensitet, kan sies å være veldig bra. For et 30-årsregn med dagens intensitet var det kun fire husstander som fikk kjelleroversvømmelse. Alle disse husene ligger plassert i samme område og er knyttet til samme ledning. Derfor skal det ikke mye til for å redusere dette til null kjelleroversvømmelser. Det ser vi også av resultatene, at for regn kraftigere enn 30-årsregnet avviker det ikke nevneverdig fra opprinnelig tilstand uten tiltak.

Hvis avløpsnettet belastes med fremtidens 30-årsregn, ville det gi mange flere kjelleroversvømmelser i forhold til dagens intensiteter. Et 30-årsregn med klimafaktor 1,5 er et veldig kraftig regn. Av regnhyetogrammene som er konstruert, se vedlegg A, ligger toppintensiteten til et 30-årsregn med klimafaktor langt over dagens 100-årsregn. Et regn med et slikt gjentakintervall tilsvarer størrelsesorden ca. 200-årsregn. Ved å iverksette tiltak i dag, for fremtidens 30-årsregn vil mange kjelleroversvømmelser unngås. Det er kun fremtidens 50-årsregn og fremtidens 100-årsregn som vil føre til kjelleroversvømmelser.

Det skal igjen nevnes at det er store usikkerheter knyttet til de hydrauliske resultatene. Dette er diskutert i avsnittene over. Både inndata, bakgrunnsdata, modell og metode er det knyttet usikkerheter til da det gjort forenklinger og forutsetninger i oppgaven. I tillegg blir kjellerskadene kun forårsaket av oppstuvning fra ledningsnettet og tar for eksempel ikke hensyn til dårlig drenering.

12.3.2 Økonomiske resultater

Selv om det er mulig å forhindre kjelleroversvømmelse ved store og kraftige regn i det studerte feltet, er det ikke sikkert det er lurt fra et økonomisk perspektiv. I avsnitt 12.1.6 ble usikkerheten knyttet til de økonomiske elementene belyst. For kostnadsresultatene kommer disse usikkerhetene i tillegg til usikkerheten fra de hydrauliske resultatene, da den økonomiske analysen bygger på disse.

Kostnadsresultatene fra avsnitt 11.6 er uansett interessante å studere. Ved å sammenligne lønnsomheten for de ulike scenariene, ser vi at absoluttverdien av lønnsomheten er klar på at ved å iverksette LOD-tiltak og installere tilbakeslagsventiler, burde det dimensjoneres for et

30-årsregn med klimafaktor. For det konvensjonelle tiltaket med oppdimensjonering av rør ved separering av overvann er tilfelle motsatt, og det burde dimensjoneres for dagens 30-årsregn. Oppdimensjonering av rør ved separering burde uansett ikke velges da det ikke er lønnsomt i forhold til LOD-tiltakene og ved installasjon av tilbakeslagsventiler. Skal et av tiltakene velges fremfor de andre, med grunnlag i den absolutte lønnsomheten, burde fordrøyning med åpen overvannsdam velges. Takfrakobling med regnbed gir også stor lønnsomhet, og disse to tiltakene skiller seg klart ut i forhold til de andre. Dette er gitt dersom det skal dimensjoneres for et 30-årsregn som vi kan forvente om 100 år.

Ser vi på lønnsomheten fra en annen vinkel blir bildet annerledes. Skal det bevilges midler til et tiltak eller prosjekt, vil man gjerne bruke midlene på det alternativet man får mest igjen av pengene for. Ser vi på lønnsomheten av per krone brukt i tiltaket over 100 år, er fortsatt fordrøyning med åpen overvannsdam den mest lønnsomme, men nå dersom det dimensjoneres for dagens 30-årsregn. Dette scenariet skiller seg klart ut i forhold til de andre scenariene. For hver krone brukt i tiltaket har den klart å tjene inn 131,67 kr! Det nest beste alternativet er å innføre takfrakobling med regnbed for å forhindre kjelleroversvømmelse for dagens 30-årsregn. For hver krone brukt her får man igjen 21,2 kr. Dette gir også god avkastning, men fortsatt et godt stykke ifra fordrøyningstiltaket med åpen overvannsdam.

Avkastningen på hver krone brukt i en del av tiltakene er gode. Da kostnadsbilde, i denne oppgaven, utelater mange samfunnskostnader/nytter er avkastningen undervurdert. Det betyr at avkastning kan forventes noe høyere for tiltakene i forhold til de som er funnet her.

13 Konklusjon

Grunnet mange usikkerhetsfaktorer og svakheter i resultatene, belyst i diskusjonskapittelet, blir det vanskelig å gi noen konkrete svar på problemstillingene. Konklusjonen baserer seg kun på resultater som er generert i feltet som er studert og kan ikke nødvendigvis generaliseres til å gjelde andre felt. Resultatene antas å være gyldige ved de forutsetninger som er gitt for området AK45-feltet. Skal problemstillingen kunne besvares mer konkret, må det gjøre flere slike studier i andre felt, for å se om konklusjonen er gjeldene for de andre feltene også.

De viktigste funnene i oppgaven oppsummeres punktvis nedenfor:

- Fremtidens klima vil kunne gi mange flere kjelleroversvømmelser enn hva dagens klima gjør. Gjennomsnittlig forventet antall kjelleroversvømmelser per år, vil øke fra 0,31 kjellere med dagens klima, til 7,61 kjellere med klimaet om 100 år. Dette er tilfelle dersom det ikke gjøres tiltak i feltet.
- De totale skadekostnadenes nåverdi igjennom 100 år, gitt lineært stigende klimatillegg, ligger på 9 331 974 kr, dersom det ikke gjøres tiltak i feltet. Denne kostnaden er undervurdert, da det er flere samfunnsøkonomiske kostnadsposter det ikke er tatt hensyn til.
- Omfanget av hvert tiltak har kunne blitt gjennomført uten kombinasjon av andre tiltak. Alle tiltakene klart å tilfredsstille målene om å forhindre kjelleroversvømmelse ved dagens 30-årsregn og et 30-årsregn om 100 år.
- Åpne LOD-tiltak ser ut til være det mest foretrukne i forhold til å gjøre tiltak på ledningsnett, ved enten oppdimensjonering av rør ved separatanlegg eller installere tilbakeslagsventiler. Åpne LOD-tiltak vil være mest kostnadseffektivt.
- Om det skal dimensjoneres for dagens 30-årsregn eller for et 30-årsregn om 100 år, er avhengig av den økonomiske tilnærmingen til problemstillingen. For den absolutte lønnsomheten burde det dimensjoneres for et 30-årsregn om 100 år. Med tanke på avkastning fra hver krone brukt i et tiltak, burde det dimensjoneres for dagens 30-årsregn. Dette kan også være lurt med tanke på at LOD-tiltakene har 40 års levetid, som er kortere enn 100 år. I en tid med teknologiske fremskritt og muligheten for at nye og mer effektive løsninger

kommer på markedet i løpet av 40 år, vil gi muligheten til å bytte ut løsningene i dag med nye om 40 år.

- En helhetlig vurdering av tiltakene tilsier at det burde iverksettes tiltak i form av åpne LOD-tiltak, der åpne overvannsdammer er det mest effektive tiltaket. Årsaken ligger i at tiltaket tilfredsstiller kravene om å forhindre kjelleroversvømmelser ved de gitte dimensjoneringskriterier, samtidig som tiltaket gir mest igjen for pengene brukt for å forhindre dette.
- Overvannshåndtering ved bruk av LOD-tiltak er absolutt noe det burde bevilges midler til, fra et samfunnsøkonomisk ståsted. I forhold til kostnadene forbundet med tiltakene, spares det flere ganger det samme beløpet ved å forhindre skadene. Dette ses fra avkastningen tiltakene har.

14 Personlige refleksjoner av oppgaven og videre arbeid

- Det første som fanger oppmerksomheten er hvor mye som kan forhindres ved å gjøre lite. Avkastningen generelt ved åpen og lokal overvannshåndtering er veldig høye. Burde åpen og lokal overvannshåndtering være et reelt alternativ i alle investeringsprosjekter på avløpssiden? Er også dette å foretrekke fremfor investeringsprosjekter i andre sektorer som for eksempel transportsektoren? Hvis avkastningen ikke er like høy i investeringsprosjekter i andre sektorer, burde det kanskje bevilges mer midler til å håndtere overvannet åpent og lokalt?
- I denne oppgaven er et gjentaksintervall på 30 år og for 30 år med klimafaktor lagt til grunn. Forfatteren setter spørsmålstegn ved om dette er lurt fra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Ville avkastningen vært høyere ved å dimensjonere for andre gjentaksintervaller?
- Kostnadsdataene har forfatteren vært noe kritisk til, og det hadde vært et ønske om å gjøre kostnadsanalysen enda mer detaljert. Dette for å finne mer nøyaktige verdier for tiltakskostnader ved investerings og drift. En mulighet hadde vært å benytte seg av prispoka utarbeidet av Norconsult, men forfatteren fikk kjennskap til denne sent i forhold til innleveringsfrist på oppgaven.
- Til videre arbeid kan det for lignende oppgaver verifiseres/falsifiseres om den høye avkastningen for LOD er gjeldende for andre felt også. De absolutte kostnadene forbundet med skader i dette feltet er lavt, da avløpsnett er «relativt» godt med tanke på at kjelleroversvømmelser ikke forekommer for et 20-årsregn. Ved større felt med dårligere kapasitet i ledningsnett antas det at skadekostnadene vil være enda større, og at ved implementering av tiltak vil kunne få en enda større kostnadsbesparelse. Vil avkastningen på tiltak være i samme størrelsesorden som det den har vært i denne oppgaven?
- Da denne oppgaven tar for seg kjelleroversvømmelser, har ikke fokuset vært på overløpsutslipp. Videre arbeid kan være å sjekke for hvor mye mer omfattende tiltakene må være, for å forhindre at overløpet skal gå i drift. Dette for å tilfredsstille kriteriene som stilles for overløpsutslipp.

- Videre arbeid kan være å sjekke for påliteligheten av resultatene i dette arbeidet etter at kalibrering av modellen er gjort. Om resultatene skulle være innenfor gyldighetsområdet for hva som er godtatt, kan dette brukes som grunnlag til igangsettelse av tiltak for VAV sin del.
- Det ville også vært interessant å gjøre en hydrologisk analyse av overflateavrenning i tillegg til hydraulisk analyse av ledningsnett. Dette vil gi bedre grunnlag for lokalisering og dimensjonering av tiltak.
- Denne oppgaven har kun tatt for seg scenarier hvor 100% av tiltaket består av én løsning. Videre arbeid kan være å se på effekten av å kombinerer tiltakene i feltene, og ikke kun benytte seg av ett tiltak.
- Dette kan også være et grunnlag for videre arbeid for landskapsarkitekter, som fra denne oppgaven vet hvor omfattende tiltakene behøver å være. Da forfatteren kun er flink med tall, kan den estetiske utformingen av tiltakene overlates til landskapsarkitektene.

15 Kilder

- Aaby, N. (2017). MFT, Daglig Leder. Tilbakeslagsventil i bygninger. Personlig meddelelse (Mail: 04.04.17).
- Aasen, I., Løyland, B., Backer, I.L., Ajer, J.D., Berg, M., Høisveen, P.H., Lund, T.R., Samuelsen, E., Simonsen, B., Terjesen, T., Traagstad, Ø., Ødegaard, K. and Aalstad, S. (1994). Lov om vassdrag og grunnvann, NOU 1994:12. s.372.
- Abdi, S.M. (2017a). VAV, Seksjon Utredning, Overingeniør. Personlig meddelelse (Møte: 01.03.17).
- Abdi, S.M. (2017b). VAV, Seksjon Utredning, Overingeniør. Personlig meddelelse (Møte: 01.03.17). Retningslinjer for modellering av avløpsledninger og overløp.
- Arnbjerg-Nielsen, K., Snefrup, H., Hansen, J.H., Olsen, D.B., Seidelin, C., Nielsen, T and Kunnerup, T. (2007). Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning: økonomisk analyse. Miljøprojekt nr.1187: Miljøstyrelsen. s.77-80, 85.
- Aqua ROSIM AS. (2017). ROSIE, Modellering av vann- og avløpsnett. Tilgjengelig: <http://web.rosim.no/index.php/produkter-2/desktop/rosie/> (Besøkt: 20.01.17).
- Braathen, Geir O. (2000). Norsk klima- og ozonforskning, De første 10 år. 16. NILU.
- Braskerud, B. & Paus, K.H. (2016). Regnbed for lokal flomdemping.
- Brakserud, B. (2016). Grønne tak for flomdemping.
- Braskerud, B. & Skallebakke, O.P. (2013). Frakobling av takrenner fra kommunalt nett, Flomdemping i små nedbørsfelt.
- Butler, D. & Davies, J.W. (2004a). Urban Drainage. 2. utg. Introduction. 5.
- Butler, D. & Davies, J.W. (2004b). Urban Drainage. 2. utg. Approaches to urban drainage. s.18-21.
- Committee on Climate Change. (2012). Climate change – is the UK preparing for flooding and water scarcity? Adaption Sub-Committee Progress Report 2012. s.38.
- Cubasch, U., D. Wuebbles, D. Chen, M.C. Facchini, D. Frame, N. Mahowald and J.-G. Winther. (2013). Introduction. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. s.119–158.
- DHI. (a). MOUSE Short Introduction and Tutorial.

DHI. (b). MOUSE Surface Runoff Models - Reference Manual.

DHI. (c). MOUSE Pipe Flow – Reference Manual.

Dronninga Landskap, COWI, C.F.Møller. (2014). Blågrønn Faktor, Veileder byggesak.

Flato, G., J. Marotzke, B. Abiodun, P. Braconnot, S.C. Chou, W. Collins, P. Cox, F. Driouech, S. Emori, V. Eyring, C. Forest, P. Gleckler, E. Guilyardi, C. Jakob, V. Kattsov, C. Reason and M. Rummukainen, (2013): Evaluation of Climate Models. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. s.746.

Gabriel, S. & Fiil, L. (2016a). Areal tilrettelagt for oversvømmelse.

Gabriel, S. & Fiil, L. (2016b). Flerfunksjonelle lekeområder.

Gabriel, S. & Fiil, L. (2016c). Vadi – byens grønne vannveier.

Hansen, A-J., Refling, D., Ebeltoft, M., Riise, E., Johansen, R., Skofteland, H., Stenersen, J., Hjelle, H., Kipperberg, G. (2015). Overvann i byer og tettsteder, Som problem og ressurs, NOU 2015:16. s.32-43, 49.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Åndlandsvik, B., et al. (2015). Klima i Norge 2100, Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015, NCCS report no. 2/2015. s.92, 93, 137-138.

Hendriks, Martin R. (2010). Introduction to physical hydrology. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-929684-2. s.8.

IPCC. (2017). The Climate System. Tilgjengelig:
<https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/040.htm> (Besøkt: 11.01.17).

Israelsen, P.O. (2017). VAV, Seksjon Utredning, Overingeniør. Personlig meddelelse (Møte: 19.01.17). Overlopsrisiko 2016 – taktisk plan avløp 2017 v2.

Kreutzer, I. (2015). Verdien av forebygging – Et finansielt perspektiv. Konferanse om klimatilpasning.

Det Natur- og Biovidenskapelige Fakultet, Københavns Universitet. (2012). Når monsterregnen kommer. s.4, 10.

- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S. and Smith, B.T. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem. Norsk Vann rapport. s.7.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. and Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann rapport. s.17, 20, 162.
- Lindholm, O. (2008). Overvann. Valg av dimensjonerende gjentakintervall. VA/Miljø-blad nr.85.
- Lindholm, O. (2009). Flomskader og utslipp etter klimaendringer. Presentasjon.
- Lindholm, O. (2010). Fremmedvann. THT300 Vassdragsplanlegging og VA-systemer, Institutt for matematiske realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Lindholm, O. (2015). Dimensjonerende overvannsmengder, sikkerhetsfaktor, optimalt valg av gjentakintervall. Presentasjon, Larvik.
- Lindholm, O. (2016a). Videregående emner om nedbør til bruk i urbanhydrologien. THT300 Vassdragsplanlegging og VA-systemer, Institutt for matematiske realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Lindholm, O. (2016b). Om matematiske modeller for beregning av urbane avløpssystemer. THT300 Vassdragsplanlegging og VA-systemer, Institutt for matematiske realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Lindholm, O. (2017). Personlig meddelelse. (Møte: 10.04.17).
- Lindholm, O. & Aune, B. (1978). Konstruksjon og bruk av nedbørhyetogrammer. VANN nr.2.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I. and Reinvang, R. (2015). Kostnader og nytte ved overvannstiltak. COWI. Rapport 2015/02. s.12, 37-38, 63.
- Mays, Larry W. (2001). *Stormwater collection systems design handbook*. McGraw-Hill Professional.
- Meteorologisk institutt. (2017a). Klima. Tilgjengelig: <http://met.no/Klima/> (Besøkt: 11.01.17).
- Meteorologisk institutt. (2017b). Normalperioder. Tilgjengelig: <https://metlex.met.no/wiki/Normalperioder> (Besøkt: 11.01.17).

- Meteorologisk institutt (2017c). Klimaet i Norge. Tilgjengelig: http://met.no/Klima/Klima_i_Norge/ (Besøkt: 12.01.17).
- Mosbæk, L. (2016). Virkningen av etterinstallering av LOD-tiltak i Mysen, Eidsberg kommune. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi. s.29-30.
- Minnesota Pollution Control Agency (MPCA). (2008). Minnesota Stormwater Manual. St.Paul, Minnesota, USA.
- Myhr, K., Lippestad, S.L. (2016). Belegningsstein som håndterer overvann.
- Myking, J.S.E. (2012). Analyse av klimatilpasningstiltak – En casestudie av avløpsnett i Veumdalen, Fredrikstad kommune. Masteroppgave. Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi. s.93-95.
- Nilsen, V. (2017). IDF-statistics and expected annual damage.
- Norges geologiske undersøkelse (NGU). (2017). Løsmasser. Tilgjengelig: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (Besøkt: 06.03.17).
- Norsk klimaservicesenter. (2017a). Klima i Norge 2100. Tilgjengelig: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/klima-i-norge-2100> (Besøkt 12.01.17)
- Norsk klimaservicesenter. (2017b). Klimaframskrivninger. Tilgjengelig: https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/scenarios.xhtml?climateIndex=precipitation_amo&period=Annual&scenario=RCP85®ion=R1&mapInterval=2085 (Besøkt 12.01.17).
- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). (2010). Vassdragshåndboka. Hydrologi. s.33-34.
- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). (2017). Hydrologi. Tilgjengelig: <https://www.nve.no/hydrologi/> (Besøkt: 13.01.17).
- NORVAR. (2004). Kurskompendium etterutdanningskurs. «Reduksjon av oversvømmelser – Planlegging, dimensjonering, drift og vedlikehold av overvanns- og avløpsnett».
- Oen, H. (2017). VAV, Seksjon Utredning, Funksjonsleder. Personlig meddelelse (Muntlig: 21.04.17).

Pachauri, R.K., Allen, M., Barros, V., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J., Clarke, L., Dahe, Q. and Dasgupta, P. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III, to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. s.9, 11.

Paus, K.H., Braskerud, B.C. (2013). Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold. Dimensjonering av regnbed.

Paus, K.H., Førland, E.J., Fleig, A., Lindholm, O., Åstebøl, S.O. (2014). Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet.

Ross, S.A., Westerfield, R.W., Jordan, B.D. (2014). Essentials of corporate finance, eighth edition. McGraw-Hill/Irwin. s.132, 240.

Saksæther, V. og Kihlgren, K.S. (2012). Regnbed som tiltak for overvannshåndtering i småhusbebyggelse. s.61.

Samstad, H. (2015). Kostnader ved kraftig nedbør & Nyttekostnadsmetode for overvannstiltak. COWI. Presentasjon.

Simpson, M.J.R., Nilsen, J.E.Ø., Ravndal, O.R., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H.P., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M. og Vestøl O. (2015). Sea Level Change for Norway, Past and Present Observations and Projections to 2100, NCCS report no. 1/2015. s.7-10.

Statens vegvesen. (2014). Vegbygging. Håndbok N200. Vegdirektoratet, Oslo 2014.

SSB. (2017). Konsumprisindeksen, mars 2017. Tilgjengelig:
<https://www.ssb.no/kpi?fokus=true> (Besøkt: 20.04.17).

Storemyr, H.H. (2017) Illustrasjon. Tilgjengelig:
<http://www.klimatilpasning.no/sektorer/vann-og-avlop/oppgaver/handtering-av-overvann/>
(Besøkt: 25.01.17).

USGS (U.S. Geological Survey). (2017). The Water Cycle. Tilgjengelig:
<https://water.usgs.gov/edu/watercycle.html> (Besøkt: 13.01.17).

Vann- og avløpsetaten, VAV. (2013a). Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030. Historie. 2.

Vann- og avløpsetaten, VAV. (2013b). Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030. Delmål og tiltak. s.15, 22-23, 28, 39.

Vann- og avløpsetaten, VAV. (2013c). Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030. Bakgrunn. 1.

Vann- og avløpsetaten, VAV. (2013d). Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030. Klimatilpasning. s.27.

Vann- og avløpsetaten, VAV. (2013e). Strategi for overvannshåndtering i Oslo 2013-2030. Vi skal bruke åpne og flerfunksjonelle overvannsløsninger. s.7.

Ødegaard, H., Lindholm, O., Mosevoll, G., Thorolfsson, S.T., Heistad, A., Østerhus, S.W. og Særgrov, S. (2013). Vann- og avløpsteknikk. 1. utg. Norsk Vann. s.62, 341, 353, 362, 363, 364, 365, 366, 412.

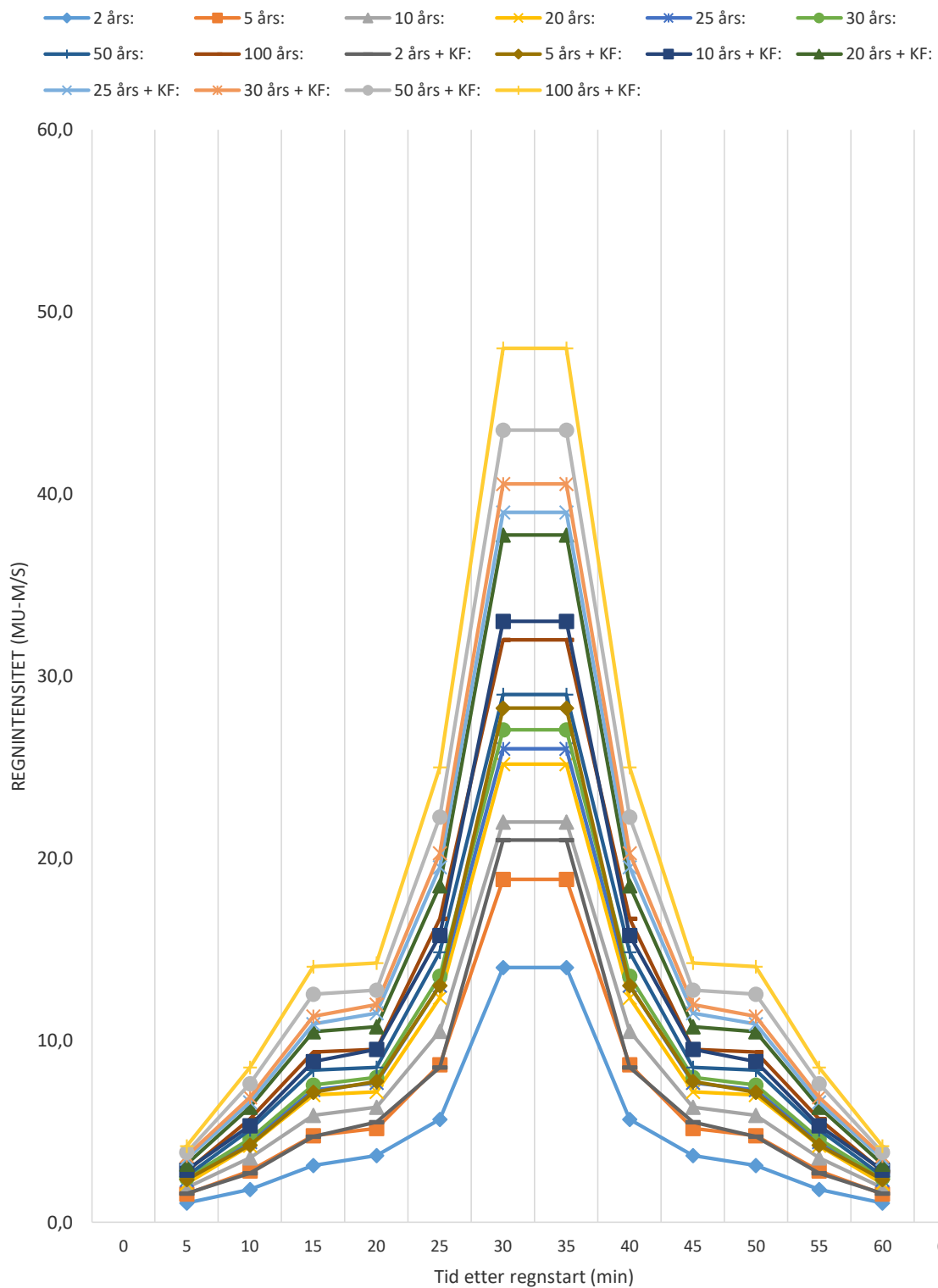
Vedlegg

Vedlegg A - Regnhyetogram

Tabell A.1: Intensitetsverdier for symmetriske regnhyetogrammer. Verdiene har enhet $\mu\text{-m/s}$.

	Tid etter regnstart (min)													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
2 års:	1,1	1,8	3,1	3,7	5,7	14,0	14,0	5,7	3,7	3,1	1,8	1,1		
5 års:	1,6	2,8	4,8	5,2	8,7	18,8	18,8	8,7	5,2	4,8	2,8	1,6		
10 års:	1,9	3,5	5,9	6,3	10,5	22,0	22,0	10,5	6,3	5,9	3,5	1,9		
20 års:	2,1	4,2	7,0	7,2	12,3	25,2	25,2	12,3	7,2	7,0	4,2	2,1		
25 års:	2,3	4,4	7,3	7,7	13,0	26,0	26,0	13,0	7,7	7,3	4,4	2,3		
30 års:	2,4	4,6	7,5	8,0	13,5	27,0	27,0	13,5	8,0	7,5	4,6	2,4		
50 års:	2,6	5,1	8,4	8,5	14,8	29,0	29,0	14,8	8,5	8,4	5,1	2,6		
100 års:	2,8	5,7	9,4	9,5	16,7	32,0	32,0	16,7	9,5	9,4	5,7	2,8		
2 års + KF:	1,6	2,7	4,7	5,5	8,5	21,0	21,0	8,5	5,5	4,7	2,7	1,6		
5 års + KF:	2,4	4,2	7,1	7,8	13,0	28,3	28,3	13,0	7,8	7,1	4,2	2,4		
10 års + KF:	2,9	5,3	8,8	9,5	15,8	33,0	33,0	15,8	9,5	8,8	5,3	2,9		
20 års + KF:	3,2	6,3	10,5	10,8	18,5	37,8	37,8	18,5	10,8	10,5	6,3	3,2		
25 års + KF:	3,5	6,6	10,9	11,5	19,5	39,0	39,0	19,5	11,5	10,9	6,6	3,5		
30 års + KF:	3,6	6,9	11,3	12,0	20,3	40,6	40,6	20,3	12,0	11,3	6,9	3,6		
50 års + KF:	3,8	7,6	12,5	12,8	22,3	43,5	43,5	22,3	12,8	12,5	7,6	3,8		
100 års + KF:	4,2	8,5	14,0	14,3	25,0	48,0	48,0	25,0	14,3	14,0	8,5	4,2		

REGNHYETOGRAMMER FOR ULIKE ÅRSREGN MED OG UTEN KLIMAFAKTOR MED VARIGHET PÅ 60 MIN



Figur A.1: Regnhyetogrammer for ulike årsregn med og uten klimafaktor med varighet på 60 min.

Vedlegg B - Oppdimensjonering av rør ved separering av OV

Tabell B.1: Oppdimensjonering ved separering av OV-ledning(er) for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn uten klimafaktor.

Element *	Fra diameter (meter)	Til diameter (meter)
205019	0,23	0,25

Tabell B.2: Oppdimensjonering ved separering av OV-ledning(er) for å forhindre kjelleroversvømmelse for 30-årsregn med klimafaktor.

Element *	Fra diameter (meter)	Til diameter (meter)
204990	0,23	0,25
204991	0,23	0,3
204992	0,23	0,3
205018	0,3	0,315
205019	0,23	0,315
205022	0,23	0,25
205023	0,23	0,25
205280	0,25	0,315
205414	0,23	0,25
205415	0,23	0,25
205782	0,2	0,23
336925	0,25	0,3
336927	0,25	0,3
336949	0,23	0,25
205440_A	0,23	0,25

Vedlegg C - Fordrøyningsdata for delfelt

Tabell C.1: Fordrøyningsdata for tiltak gjort for 30-årsregn uten klimafaktor.

Delfelt nr.	Fordrøyningsvolum (m3)
1	7,74

Tabell C.2: Fordrøyningsdata for tiltak gjort for 30-årsregn med klimafaktor.

Delfelt nr.	Fordrøyningsvolum (m3)
1	8,82
2	9,6
3	8,52
4	16,86
5	9,06
6	7,02
7	12,06
8	6,48
9	23,28
10	24,12
11	13,62
12	14,52
13	19,14
14	12,6

Vedlegg D – Data for følsomhetsanalyse

Tabell D.1: Følsomhetsanalyse: data for ruhet og konsentrasjonstid.

Ruhet (Manning)	Verdi	Relativ endring	Qmaks		Relativ endring Qmaks	
			205019	205023	205019	205023
	42,5	-50 %	0,0823	0,0628	-28,25 %	-26,64 %
	51	-40 %	0,0912	0,0697	-20,49 %	-18,57 %
	60	-30 %	0,0999	0,077	-12,90 %	-10,05 %
	68	-20 %	0,1073	0,08	-6,45 %	-6,54 %
	76,5	-10 %	0,1134	0,0821	-1,13 %	-4,09 %
	85	0 %	0,1147	0,0856	0,00 %	0,00 %
	93,5	10 %	0,115	0,0862	0,26 %	0,70 %
	102	20 %	0,1153	0,0865	0,52 %	1,05 %
	110	30 %	0,1144	0,0867	-0,26 %	1,29 %
	119	40 %	0,1132	0,087	-1,31 %	1,64 %
	127,5	50 %	0,1144	0,0872	-0,26 %	1,87 %

Konsentrasjonstid (Time of Concentration)	Verdi	Relativ endring	Qmaks		Relativ endring Qmaks	
			205019	205023	205019	205023
	3,5	-50 %	0,1162	0,0873	1 %	2 %
	4,2	-40 %	0,1162	0,0873	1 %	2 %
	4,9	-30 %	0,1157	0,0869	1 %	2 %
	5,6	-20 %	0,1152	0,0862	0 %	1 %
	6,3	-10 %	0,1152	0,0862	0 %	1 %
	7	0 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %
	7,7	10 %	0,1139	0,0845	-1 %	-1 %
	8,4	20 %	0,1139	0,0845	-1 %	-1 %
	9,1	30 %	0,1123	0,0836	-2 %	-2 %
	9,8	40 %	0,111	0,0822	-3 %	-4 %
	10,5	50 %	0,111	0,0822	-3 %	-4 %

Tabell D.2: Følsomhetsanalyse: data for gropmagasin og andel tette flater.

Gropmagasin (Initial loss)	Verdi	Relativ endring	Qmaks		Relativ endring Qmaks	
			205019	205023	205019	205023
			0,0003	-50 %	0,1147	0,0856
0,00036	-40 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,00042	-30 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,00048	-20 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,00054	-10 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,0006	0 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,00066	10 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,00072	20 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,00078	30 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,00084	40 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
0,0009	50 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	

Andel tette flater	Verdi	Relativ endring	Qmaks		Relativ endring Qmaks	
			205019	205023	205019	205023
				-50 %	0,068	0,0487
	-40 %	0,0764	0,0561	-33 %	-34 %	
	-30 %	0,0839	0,0635	-27 %	-26 %	
	-20 %	0,0957	0,071	-17 %	-17 %	
	-10 %	0,1054	0,0783	-8 %	-9 %	
	0 %	0,1147	0,0856	0 %	0 %	
	10 %	0,1234	0,0905	8 %	6 %	
	20 %	0,1303	0,0962	14 %	12 %	
	30 %	0,1353	0,1033	18 %	21 %	
	40 %	0,1397	0,1089	22 %	27 %	
	50 %	0,1434	0,1135	25 %	33 %	

Vedlegg E – Antall kjelleroversvømmelser over 100 år

Gitt dagens klima:

Tabell E.1: Antall kjelleroversvømmelser for ulike tiltak.

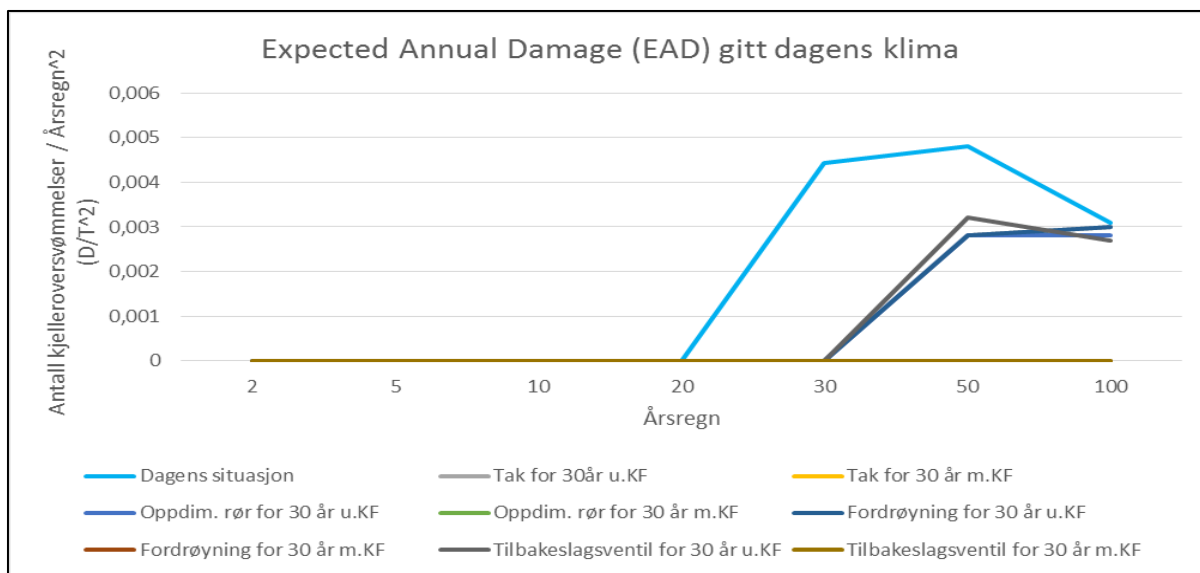
Antall kjelleroversvømmelser									
Årsregn	Dagens situasjon	Tak for 30år u.KF	Tak for 30 år m.KF	Oppdim. rør for 30 år u.KF	Oppdim. rør for 30 år m.KF	Fordrøyning for 30 år u.KF	Fordrøyning for 30 år m.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år u.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år m.KF
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	4	0	0	0	0	0	0	0	0
50	12	7	0	7	0	7	0	8	0
100	31	30	0	28	0	30	0	27	0

Tabell E.2: Antall kjelleroversvømmelser for ulike tiltak dividert med gjentaksintervall på regn opphøyd i to.

Antall kjelleroversvømmelser/T ^{0.2}									
Årsregn	Dagens situasjon	Tak for 30år u.KF	Tak for 30 år m.KF	Oppdim. rør for 30 år u.KF	Oppdim. rør for 30 år m.KF	Fordrøyning for 30 år u.KF	Fordrøyning for 30 år m.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år u.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år m.KF
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0,00444444	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,0048	0,0028	0	0,0028	0	0,0028	0	0,0032	0
100	0,0031	0,003	0	0,0028	0	0,003	0	0,0027	0

Tabell E.3: Beregning av gjennomsnittlig forventet antall kjelleroversvømmelse hvert år for ulike tiltak.

Areal til kurver									
Intervaller mellom årsregnene	Dagens situasjon	Tak for 30år u.KF	Tak for 30 år m.KF	Oppdim. rør for 30 år u.KF	Oppdim. rør for 30 år m.KF	Fordrøyning for 30 år u.KF	Fordrøyning for 30 år m.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år u.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år m.KF
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,02222222	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,09244444	0,028	0	0,028	0	0,028	0	0,032	0
50	0,1975	0,145	0	0,14	0	0,145	0	0,1475	0
Sum areal graf	0,312166667	0,173	0	0,168	0	0,173	0	0,1795	0
EAD * 100 år	31,21666667	17,3	0	16,8	0	17,3	0	17,95	0



Figur E.1: Kurver for forventet gjennomsnittlig antall kjelleroversvømmelser hvert år for ulike tiltak.

Gitt fremtidens klima:

Tabell E.4: Antall kjelleroversvømmelser for ulike tiltak.

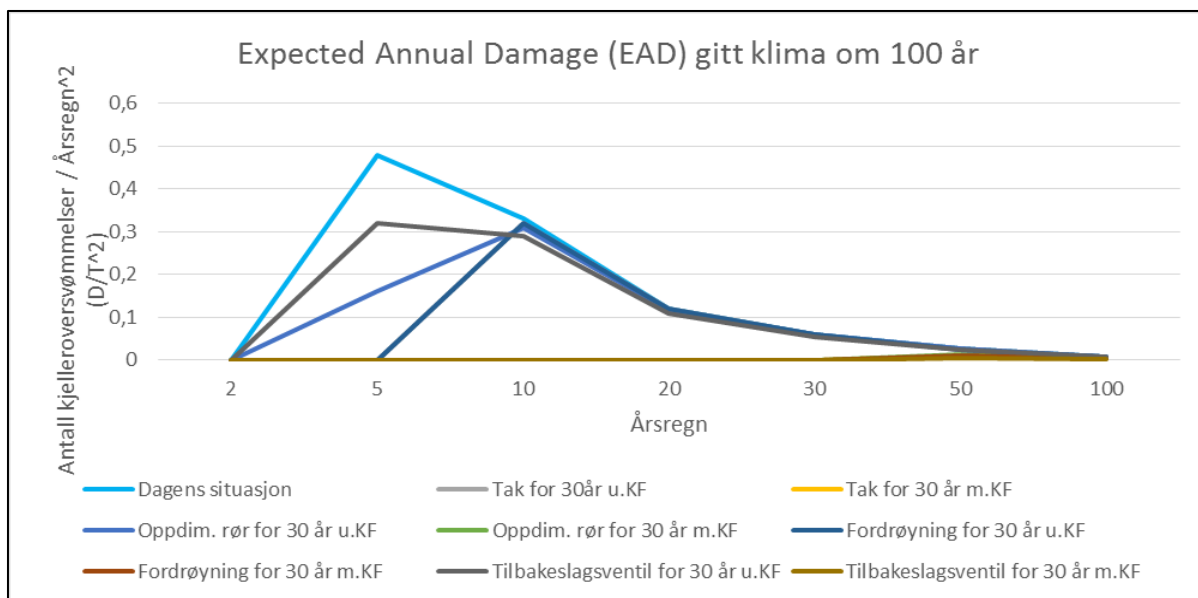
Antall kjelleroversvømmelser									
Årsregn	Dagens situasjon	Tak for 30år u.KF	Tak for 30 år m.KF	Oppdim. rør for 30 år u.KF	Oppdim. rør for 30 år m.KF	Fordrøyning for 30 år u.KF	Fordrøyning for 30 år m.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år u.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år m.KF
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	12	0	0	4	0	0	0	8	0
10	33	32	0	31	0	32	0	29	0
20	48	48	0	47	0	48	0	44	0
30	54	54	0	54	0	54	0	50	0
50	65	65	25	65	35	64	28	61	11
100	80	80	55	80	62	80	46	76	26

Tabell E.5: Antall kjelleroversvømmelser for ulike tiltak dividert med gjentakintervall på regn opphøyd i to.

Antall kjelleroversvømmelser/T ²									
Årsregn	Dagens situasjon	Tak for 30år u.KF	Tak for 30 år m.KF	Oppdim. rør for 30 år u.KF	Oppdim. rør for 30 år m.KF	Fordrøyning for 30 år u.KF	Fordrøyning for 30 år m.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år u.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år m.KF
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,48	0	0	0,16	0	0	0	0,32	0
10	0,33	0,32	0	0,31	0	0,32	0	0,29	0
20	0,12	0,12	0	0,1175	0	0,12	0	0,11	0
30	0,06	0,06	0	0,06	0	0,06	0	0,0555556	0
50	0,026	0,026	0,01	0,026	0,014	0,0256	0,0112	0,0244	0,0044
100	0,008	0,008	0,0055	0,008	0,0062	0,008	0,0046	0,0076	0,0026

Tabell E.6: Beregning av gjennomsnittlig forventet antall kjelleroversvømmelse hvert år for ulike tiltak.

Areal til kurver									
Intervaller mellom årsregnene	Dagens situasjon	Tak for 30år u.KF	Tak for 30 år m.KF	Oppdim. rør for 30 år u.KF	Oppdim. rør for 30 år m.KF	Fordrøyning for 30 år u.KF	Fordrøyning for 30 år m.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år u.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år m.KF
3	0,72	0	0	0,24	0	0	0	0,48	0
5	2,025	0,8	0	1,175	0	0,8	0	1,525	0
10	2,25	2,2	0	2,1375	0	2,2	0	2	0
10	0,9	0,9	0	0,8875	0	0,9	0	0,8277778	0
20	0,86	0,86	0,1	0,86	0,14	0,856	0,112	0,7995556	0,044
50	0,85	0,85	0,3875	0,85	0,505	0,84	0,395	0,8	0,175
Sum areal graf	7,605	5,61	0,4875	6,15	0,645	5,596	0,507	6,43233333	0,219
EAD * 100 år	760,5	561	48,75	615	64,5	559,6	50,7	643,233333	21,9



Figur E.2: Kurver for forventet gjennomsnittlig antall kjelleroversvømmelser hvert år for ulike tiltak.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway