

ANALYSE AV KLIMATILPASNINGSTILTAK  
-EN CASESTUDIE AV AVLØPSNETTET I VEUMDALEN,  
FREDRIKSTAD KOMMUNE.

ANALYSIS OF CLIMATE CHANGE ADAPTION MEASURES  
-A CASE STUDY OF THE SEWER SYSTEM IN VEUMDALEN, FREDRIKSTAD  
MUNICIPALITY.

JAKOB SEVERIN EIDE MYKING

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP

INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI  
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2012





## **Forord**

Denne masteroppgaven er skrevet som avslutning på mine 5 år som masterstudent innen vann- og miljøteknikk ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) våren 2012. Oppgaven er skrevet ved Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi, og er en videreføring av arbeid gjort av tidligere masterstudenter ved UMB. Temaet kan kort beskrives som en vurdering av klimaendringenes effekt på kommunale avløpssystemer.

Masteroppgaven har tatt form i løpet av i overkant av 4 måneder, og jeg føler at jeg i denne perioden har fått en god smakebit på hvilke utfordringer som kommer til å møte meg i arbeidslivet. Utfordringene har bidratt til mye frustrasjon, men har også gitt meg mye motivasjon da utfordringene som kommer til å møte meg er mange, spennende og tverrfaglige.

Jeg vil takke Professor Oddvar Lindholm og Instituttleder Jarle Tommy Bjerkholt for god veiledning og tilstedeværelse i hele perioden. Kontaktpersonen i Fredrikstad kommune har vært Ole Petter Skallebakke, og jeg vil takke for hans engasjement og bidragsvilje.

En stor takk må rettes til DHI, ved daglig leder Tomas Eidsmo, for tilgang til MIKE URBAN. Jeg vil også takke ROSIM ved Geir Lindholm for opplæring i programvaren, samt hjelp til problemer og spørsmål som oppstod underveis.

Takk til mine foreldre, Nina Myking og Morten Eide, for å ha gitt meg tilbakemeldinger på oppgavens struktur og oppbygning, og for at de har lest korrektur.

Sist, men ikke minst vil jeg takke mine gode venner på Fløy 5 for godt samarbeid og mange gode minner. En spesiell takk går til Ina Bekkum, som har skrevet en lignende oppgave, for godt samarbeid og diskusjoner rundt de fleste emner i oppgaven.

Ås, 12. mai 2012

---

**Jakob Severin Eide Myking**

## Sammendrag

Økt forståelse av fortidens klimaendringer og klimasystemet i sin helhet, har gitt forskerne mulighet til å anta fremtidens klimaendringer. Denne økte forståelsen har gitt sikre tegn på at klimaendringene er knyttet til en stor grad av usikkerhet. Det eneste som er sikkert, er at klimaendringer kommer til å skje, og at det er umulig å si med sikkerhet når eller med hvilken kraft de vil inntreffe. Det som derimot kan sies med sikkerhet, er at befolkningen kommer til å øke. Dette vil føre til økt arealbruk og flere flater med impermeable dekker. Både klimaendringer og fremtidige endringer i landoverflaten vil kunne endre de hydrologiske forhold, slik at urbane oversvømmelser vil øke både i omfang og frekvens. Mange eksisterende avløpssystemer er allerede utsatt, og de belastes jevnlig med avrenning over eller nær tålegrensen. Når kapasiteten overskrides, skapes det problemer ved at overvann, ofte blandet med spillvann, finner andre veier enn hva som er planlagt, og strømmer til steder hvor vann kan medføre ulemper. Ulemper kan være midlertidige ved oversvømmelse av veier, parkeringsarealer eller lignende, men kan også gi permanente skader på bygninger, natur og vannressurser, som alle representerer samfunnsmessige og økonomiske kostnader.

I denne oppgaven er økningen i antall kjellerskader i Veumdalen (Fredrikstad), som effekt av verst tenkelige klimaendring, om 100 år vurdert ved bruk av simuleringsverktøyet MIKE URBAN. Videre er denne økningen forsøkt redusert til nåværende situasjon ved simulert implementering av tiltak, som virker inn på de mest sentrale faktorene innen urbanhydrologien. Tiltakene som er simulert er frakobling av takflater (Infiltrasjon), økt magasinering på overflaten (fordrøyning) og utvidelse av rørdiametre (hurtigere bortledning). Tiltakene er vurdert etter hydraulisk funksjon og kostnadseffektivitet. Kostnadseffektiviteten er vurdert i en nåverdianalyse av kostnader relatert til kjellerskader, over en 100-års periode.

Det vist i denne oppgaven at økning i de nåværende regnintensitetene med 50 %, fører til en økning i antall kjellerskader i Veumdalen med 68 – 118 %, og at antall kjellere som blir påført skader, som følge av ekstreme nedbørshendelser, øker eksponentielt med økt regnintensitet. Det er også vist at regn med lave gjentakintervall er de største bidragsyterne til totalkostnaden over 100 år.

Tiltakene som er vurdert i denne oppgaven har varierende kostnadseffektivitet, og det viser seg at de enkleste og billigste tiltakene gir høyest lønnsomhet, også på lengre sikt.

Klimaendringer har stor innvirkning på antall kjellerskader som oppleves ved ekstremnedbør i Veumdalen, og det vil være mulig å redusere skadene på en kostnadseffektiv måte ved bruk av åpne og lokale overvannsløsninger.

Resultatene i oppgaven bygger på data med høy grad av usikkerhet. Resultatene må derfor brukes med skjønn.



## Abstract

Increased understanding of past climate changes and climate system as a whole, has given researchers the opportunity to assume future climate changes. This increased understanding has provided definitive evidence that climate change is linked to a large degree of uncertainty. The only thing certain is that climate change is going to happen, and that it is impossible to say with certainty when, or with what impact change will occur. However, it is certain that the population will increase. This will lead to increased land use and more surfaces with impermeable covers. Both climate change and future changes in land surface may change the hydrological conditions, so that urban flooding will increase, both in scale and frequency. Many existing drainage systems are already exposed and charged regularly with runoff over or near the limit of tolerance. When the capacity is exceeded, problems with surface water, often mixed with wastewater, occurs. Water finds other ways than what is planned, and flows to places where water can lead to disadvantages. The disadvantages may be temporary due to flooding of roads, parking areas, etc., but can also cause permanent damage to buildings, nature and water resources, all of which represents social and economic costs.

In this thesis, the increase in number of flood damages to basements in Veumdalen (Fredrikstad), as an effect of the worst climate change scenario at year 2100 is assessed using the simulation tool, MIKE URBAN. Furthermore, this increase is reduced to the current situation, with simulated implementation of measures which has an impact on the key concepts in the urban hydrology. The measures simulated are; disconnection of roof surfaces (infiltration), increased storage on the surface (retention) and pipe expansion (increased drainage). The measures that are evaluated is the hydraulic function and cost effectiveness of the different measures. Cost-effectiveness is considered in a present-value-analysis of costs related to damages to basements, over a 100-year period.

It is demonstrated that increases in rainfall-intensity by 50% leads to an increase in the number of basement damages in Veumdalen with 68-118%, and that the number of basements that are damaged, as a result of extreme precipitation events, will increase exponentially with increased rainfall intensity. It is also shown that rainfalls with low return periods are the largest contributors to total cost over 100 years.

The measures being considered in this paper have varying cost-effectiveness, and it turns out that the easiest and cheapest measures provide the highest profitability.

Climate change has major impact on the number of basement damages in cases of extreme precipitation in Veumdalen, and it will be possible to reduce the damage in a cost effective way by the use of local surface-water adaption measures.

The results in this paper are based on data with a high degree of uncertainty. The results must be therefore be used with discretion.

## Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag.....	ii
Abstract.....	iii
Liste over figurer.....	vii
Liste over tabeller.....	xi
Liste over forkortelser.....	xiii
Del 1: Innledning.....	1
1 Innledning.....	3
1.1 Problemstilling.....	4
1.2 Fremgangsmåte og struktur.....	4
Del 2: Teori og fakta.....	5
2 Exflood.....	7
2.1 Prosjektplan.....	8
3 Klima og klimaendringer.....	10
3.1 Klimasystemet.....	10
3.2 Klimaendringer.....	10
3.2.1 Klimaendringenes historie.....	10
3.2.2 Registrerte klimaendringer.....	11
3.3 Klimamodeller.....	14
3.4 Framskrivninger.....	16
3.4.1 Globale framskrivninger.....	17
3.4.2 Framskrivninger for Europa.....	19
3.4.3 Framskrivninger for Norge.....	21
3.5 Usikkerhet ved klimamodellering.....	26
3.6 Oppsummering.....	27
3.7 Klimafaktor.....	28
4 Urbanhydrologi.....	28
4.1 Avløpssystemet.....	29
4.2 Lokal overvannshåndtering.....	32
5 Kostnader.....	34
5.1 Kjellerskader.....	34

5.2	Samfunnsøkonomi .....	34
5.3	Investeringskostnader .....	39
6	Modellmiljø .....	40
6.1	Mike Urban .....	40
6.1.1	Mouse runoff .....	41
6.1.2	Mouse pipeflow .....	43
Del 3: Casestudie .....		45
7	Fredrikstad kommune .....	47
7.1	Veumdalen .....	47
7.1.1	Rørsystemet .....	49
7.1.2	Landskap .....	50
7.1.3	Grunnforhold .....	51
7.1.4	Grøntstruktur .....	52
7.1.5	Arealtyper .....	53
7.1.6	Kjelleroversvømmelser .....	54
8	Generell metode .....	56
8.1	Modelloppbygning .....	56
8.2	Regndata .....	57
8.2.1	Konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram .....	58
8.2.2	Valg og vurdering av klimatillegg .....	62
8.3	Metode for beregning av kjellere med mulighet for skade .....	64
8.4	Metode for beregning av antall skadelige regn i løpet av 100 år .....	66
9	Hydraulisk analyse .....	68
9.1	Følsomhetsanalyse .....	68
9.2	Metode .....	70
9.2.1	Frakobling av tette flater (Infiltrasjon) .....	70
9.2.2	Fordrøyning .....	71
9.2.3	Utvidelse av rørdiameter .....	72
9.3	Resultater .....	73
9.3.1	Generelle resultater og observasjoner .....	73
9.3.2	Nåværende situasjon .....	74
9.3.3	Situasjonen om 100 år .....	76

9.3.4	Frakobling av tette flater (Infiltrasjon) .....	79
9.3.5	Fordrøyning.....	80
9.3.6	Konvensjonelle tiltak (utvidelse av rørdiameter) .....	81
9.3.7	Sammenligning av tiltak.....	82
10	Økonomisk analyse .....	85
10.1	Nåverdimetoden.....	85
10.2	Tiltakskostnader .....	86
10.3	Kostnader ved kjelleroversvømmelser .....	86
10.4	Resultater .....	86
10.4.1	Nåværende situasjon .....	86
10.4.2	Kostnad over de neste 100 år .....	87
10.4.3	Frakobling av tak.....	88
10.4.4	Fordrøyning.....	89
10.4.5	Utvidelse av rørdiametere .....	89
10.4.6	Sammenligning av tiltak.....	90
11	Dansk metode (metode til fordeling av skadeomkostninger over tid) .....	91
11.1	Resultater .....	93
11.2	Diskusjon rundt den danske metoden .....	95
Del 4: Diskusjon og konklusjon .....		97
12	Diskusjon.....	98
12.1	Vurdering av modellens oppbygning og mulige feil.....	98
12.1.1	Inndeling av arealer .....	98
12.1.2	Ledningsnett .....	100
12.1.3	Andre hensyn .....	101
13	Konklusjoner .....	102
14	Videre arbeid.....	102
15	Litteraturliste .....	104
16	Vedlegg .....	108

## Liste over figurer

Figur 1: Nedbørsfelt hvor mindre utbygde områder drenerer ned til og gjennom urbant område (ExFlood 2009a).....	8
Figur 2: Skjematisk fremstilling av arbeidspakkene i ExFlood- Prosjektet (ExFlood 2009a). ....	8
Figur 3: Estimert av jordens gjennomsnittlige globale årlige energibalanse(Parry 2007).....	10
Figur 4: Endringer i temperatur (rød linje) og atmosfæriske konsentrasjoner av karbondioksid (gul) over de siste 649.000 årene. Den vertikale røde baren helt til høyre er økning i CO <sub>2</sub> -konsentrasjoner over de siste 2000 år frem til 2007 (EPA 2007).....	11
Figur 5: "Global temperaturvariasjon siden slutten av 1800-tallet relativt til 30-års perioden 1979–2008. De blå kurvene angir temperatur over land og hav basert på målinger med termometer, mens de røde kurvene viser to analyser av lufttemperaturen for de nederste 3–5 km av atmosfæren basert på målinger fra satellitt. Alle tidsseriene viser en langtidsøkning av jordens temperatur, der de fleste av de varmeste årene har forekommet helt på slutten av serien" (Hanssen-Bauer et al. 2009).....	12
Figur 6: Endring i global gjennomsnittlig temperatur, havnivå og snødekke på den nordlige halvkule i perioden 1850-2003 (Solomon 2007). ....	13
Figur 7: Klimamodellene er under stadig utvikling, både ved forbedring av eksisterende modeller og utvikling av nye (Johannesen 2009b). ....	14
Figur 8: Skjematisk fremstilling av en kartesiansk rutenettstruktur brukt i GCM modeller (WIRE 2010). ....	15
Figur 9: skjematisk fremstilling av SRES scenarier og kategorier(IPCC 2007). ....	17
Figur 10: Illustrasjon av forskjellige utslippsscenarioer til venstre og endring i global oppvarming som følge av dette til høyre. Helt til høyre vises usikkerheten ved de forskjellige scenarioene (Solomon 2007). ....	17
Figur 11: I en omfattende klimamodell vil fysiske og kjemiske representasjoner av prosessene tillate en entydig tallfesting av usikkerhet (Solomon 2007). ....	18
Figur 12: Endringer i temperatur og nedbør over Europa fra simuleringer av A1B scenarioet. Topprad: Årlig gjennomsnitt og gjennomsnittet i månedene DJF og JJA i temperaturendringer mellom 1980-1999 til 2080-2099, over 21 modeller. Midterste rad: Samme som topprad, men for gjennomsnittlig endring i nedbør. Nederste rad: Antall modeller av 21 som projiserer endring i nedbør (Solomon 2007). ....	20
Figur 13: Til venstre: Temperaturregioner, Til høyre: Nedbørregioner (Hanssen-Bauer et al. 2009). ....	21
Figur 14: Sammenhengen mellom eksponering og sårbarhet for vær- og klimahendelser og konsekvensen og sannsynligheten for skader. Figuren er oversatt. (IPCC 2010).....	27
Figur 15: Det hydrologiske kretsløp i ubebygde område (venstre) og bebygde område (høyre) (Norsk hydrologiråd 2011). ....	28
Figur 16: Effekten av avrenning over tid som funksjon av økt fortetting (Norsk hydrologiråd 2011). ....	29
Figur 17: Fellessystem med og uten vann (Svensk Vatten 2007). ....	30
Figur 18: Separatsystem med og uten vann (Svensk Vatten 2007).....	31

Figur 19: Treleddstrategi. Illustrasjon for håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt (Lindholm 2008). .....	33
Figur 20: Gjennomsnittskade i forhold til flomtype i Trondheim (Schilling et al. 2004). .....	34
Figur 21: "Grafen viser antall naturskader og erstatninger etter naturskader i perioden 1980-2011. Erstatningene er oppgitt i faste 2011-priser der det har blitt justert for endringer i konsumprisindeksen" (FNO 2012). .....	35
Figur 22: De tre forhåndsdefinerte tid- arealkurvene tilgjengelig i Mouse (DHI 2009c). .....	42
Figur 23: Figur 17: Områdeklassifisering Fredrikstad (Fredrikstad kommune 2007a). .....	47
Figur 24: Kjelleroversvømmelser i Veumdalen ved ulike tilfeller i løpet av de siste 10 årene. Kartet viser kun tilfeller i Veumdalen (Vadum 2011). .....	48
Figur 26: Oversikt over ledningstyper i Fredrikstad. AF = Fellesavløpsledninger, OV = overvannsledninger, PF = pumpeledning fellesavløp, PS = pumpeledning spillvann, SP = spillvannsledning. ....	49
Figur 25: Pumper og overløp i Veumdalen. Overløp = rød delt sirkel (venstre), Pumper = Firkant med rød trekant (høyre) .....	49
Figur 27: Høydelagskart (Vadum 2011). .....	50
Figur 28: Kvartærgeologisk kart (Vadum 2011). .....	51
Figur 29: Grøntstruktur (Vadum 2011). .....	52
Figur 30: Arealtypene i Veumdalen. Tallene gir kun et estimat på avrenningsforholdene (Vadum 2011). .....	53
Figur 31: Store regnhendelser i Fredrikstad i perioden 1915-2008. Det er vanskelig å si noe om hva som er ment med antall skader i denne figuren, men det kan antas at skadeantallet representerer antall kjelleroversvømmelser. Figuren er ufullstendig (Skallebakke 2012). ....	54
Figur 32: IVF- kurve for målestasjon 3030, Fredrikstad (Eklima 2011). .....	58
Figur 33: Tabell og Figur. Konstruert regnhyetogram for et 70 minutters regn med 20-års gjentaksintervall. ....	61
Figur 33: Grafisk fremstilling av dagens IVF-kurve med den forventede 9-års kurven i år 2070-2100. Grafen er ment som illustrasjon og viser kun en tilnærming til den forventede 9-års kurven. ....	63
Figur 35: Plott av meter ledning med oppstuvning over 75cm topp rør mot antall opptelte mulige kjelleroversvømmelser. Data hentet fra masteroppgaven til Hval og Køste (2011). ...	64
Figur 36: Intensitet-Frekvenskurve. maksimal intensitet ved bestemte varigheter mot forskjellige returperioder (Marg & Khas 2002). .....	66
Figur 37: IVF-kurve. Intensitet-Varighet-Frekvenskurve (Marg & Khas 2002). .....	67
Figur 38: Det markerte ledningstrekket er brukt i følsomhetsanalysen. Strekket er valgt ut på grunnlag av erfaringer samt at beliggenheten har store ovenforliggende avrenningsarealer (Hval & Køste 2011). .....	68
Figur 39: Nedbørsområdet som er forventet å gi avrenning til ledningstrekket vist i Figur 38 (markert område) (Hval & Køste 2011). .....	68
Figur 40: "Resultater for følsomhetsanalysen i modellen med fokus på andel bidragende tette flater og tilrenningstid i delfeltene. Det er tatt utgangspunkt i et regn med 20-års	

gjentaksintervall. Basisverdien til de undersøkte parameterne er satt til den verdien modellen opprinnelig har i tidligere kjøringer. For andel bidragende tette flater tilsvarer basisverdien (1) en andel bidragende tette flater fra tak på 30 % og vei på 40 %. For tilrenningstiden til delfeltene i modellen er basisverdien (1) gitt til 7 minutter. Basisverdiene multipliseres med en faktor (F) for å se på endring i maks vannføring i ett gitt punkt” (Hval & Kjøste 2011). .....	69
Figur 40: Områder med hus hvor avrenningen fra takflatene er koblet fra ledningsnett er markert med turkis. Inndelingen gjelder også for fordrøyningstiltak. ....	70
Figur 42: Avrenning fra et delfelt med og uten tiltak. Tiltaket fører til 22min forskyvning og 57 % reduksjon av toppintensiteten. 48 % av den totale avrenningen fra hvert delfelt forventes fordrøyd.....	71
Figur 42: Oppdimensjonerte rør er markert med turkis.....	72
Figur 44: Antall kjelleroversvømmelser og meter ledning med oppstuvning mot avrenning.	73
Figur 45: Antall kjelleroversvømmelser og meter ledning med oppstuvning mot gjentaksintervall.....	73
Figur 46: Antall kjellerskader, nåværende situasjon, ved forskjellige gjentaksintervall. ....	74
Figur 46: Situasjonsskart for berørte områder ved forskjellige gjentaksintervall.....	75
Figur 48: Antall kjellerskader om 100 år ved forskjellige gjentaksintervall sett i forhold til nåværende situasjon.....	76
Figur 49: Prosentvis endring i antall kjellerskader om 100 år i forhold til dagens nivå. For regnhendelsen med 50-års gjentaksintervall ser vi en økning på 118 % ved 50 % økning av regnintensitet.....	77
Figur 50: Til venstre: Nåværende situasjon. Til Høyre: Situasjonen om 100 år. Områder som vil være i fare for oversvømmelser er markert med fargede prikker, hvor fargen beskriver det laveste gjentaksintervallet som vil føre til skade. ....	78
Figur 51: Situasjonen om 100 år med frakoblede takarealer sett i forhold til nåværende situasjon.....	79
Figur 52: Situasjonen om 100 år med fordrøyningstiltak sett i forhold til nåværende situasjon.....	80
Figur 53: Situasjonen om 100 år med tiltak i form av økte rørdiametre sett i forhold til nåværende situasjon.....	81
Figur 54: Sammenligning av tiltak ved forskjellige gjentaksintervall om 100 år. ....	82
Figur 55: Logaritmisk fremstilling av skadepotensial ved forskjellige gjentaksintervall. ....	83
Figur 56: Fremstilling av kjellerskader mot avrenning for nåværende situasjon og situasjonen om 100 år samt både nåværende situasjon og situasjonen om 100 år for frakobling av takareal, fordrøyning og utvidelse av rørdiametre. ....	84
Figur 57: Gjennomsnittlig kostnad per år for nåværende situasjon, situasjonen om 100 år og antagelsen om at det vil være en lineær stigning i årlig kostnad i 100 år.....	87
Figur 58: Kostnad i snitt per år for forskjellige gjentaksintervall med og uten klimatillegg....	87
Figur 59: Sammenligning av investeringskostnad, kostnadsbesparelse og lønnsomhet for de ulike tiltakene.....	90

Figur 60: "Fiktivt eksempel på observerte skadeomkostninger for to byer under antagelse om at 100-års hendelsen har omkostningen 100. I praksis vil de dominerende utgifter utgjøres av de største 2-3 hendelsene, og det vil være forskjell mellom de faktiske utgifter og den gjennomsnittlige modell. Data er i virkeligheten basert på observasjoner av ekstremregn" (Holse et al. 2007).....	91
Figur 61: antall kjellerskader ved forskjellige gjentaksintervall. Den logaritmiske trendlinjen viser grunnlaget for ekstrapolering og interpolering. ....	93
Figur 62: områder som er feilsøkt er markert med Orange. ....	98
Figur 63: Det totale nedbørsfeltet (rødt) og inndelingen til modellen (uthevet).....	98
Figur 64: Et utvalg av arealer som ligger på bakketopper. Utløpskummene er markert med grønn farge.....	99
Figur 65: En av 5 svanker som viser en mulig oppbygningsfeil av modellen: Svanke 1 med oppstuvning ved simulering av regn med 2-års gjentaksintervall.....	100
Figur 66: Mulige feil i modellen. ....	100



## Liste over tabeller

Tabell 1: Middels, lav og høy temperaturframskrivning for Norge og Østlandet, sesonger og tidsperspektiv (Hanssen-Bauer et al. 2009).....	23
Tabell 2: Relativ forandring (%) i års- og årstidsnedbør i Norge og utvalgte regioner fra perioden 1961–90 til perioden 2071–2100 ifølge middels (M), høy (H) og lav (L) framskrivning (Hanssen-Bauer et al. 2009). .....	24
Tabell 3: Relativ forandring (%) i antall dager med mye nedbør, og relativ forandring (%) i nedbørmengden på dager med mye nedbør, fra perioden 1961–90 til perioden 2071–2100 ifølge middels (M), høy (H) og lav (L) framskrivning. «Dager med mye nedbør» er her definert som dager med nedbørmengder som i normalperioden 1961–90 ble overskredet i 0,5 % av dagene (Hanssen-Bauer et al. 2009). .....	24
Tabell 4: anbefalte klimafaktorer (DANVA 2011).....	28
Tabell 5: Oversikt over fordeler og ulemper knyttet til tiltak mot økt avrenning fra urbane områder (Olsen 2011).....	37
Tabell 6: Oversikt over eksterne implikasjoner ved tiltak mot økt avrenning fra urbane områder (Olsen 2011).....	38
Tabell 7: Investeringskostnad, driftskostnad og levetid for utvalgte tiltak. tallene er basert på kostnader samlet inn av Lindholm (2011) og grove estimater utarbeidet i samarbeid med Lindholm (2012) og Skallebakke(2012) (Lindholm 2012; Skallebakke 2012).....	39
Tabell 8: Målestasjon 3030 Fredrikstad 1970 – 1995 (25 sesonger). Gjentakintervall (år) mot varighet (min). Regnintensitet er gitt i l/s*ha. (Eklima 2011). .....	59
Tabell 9: Regnintensitet ved ulike regnvarigheter. Data for 10-30 samt 60 min varighet er hentet direkte fra eklima.no mens data merket med gult er justert til å passe det endelige regnhyetogrammet.....	60
Tabell 10: I tabellen ser vi at det er forventet 50 intensiteter som er større eller lik intensiteten til et 2-års regn, men at det samtidig kun er 30 regn som representerer intensiteten til 2-års regnet. ....	67
Tabell 11: Nåværende situasjon i Veumdalen for forskjellige gjentakintervall. ....	74
Tabell 12: Situasjonen i Veumdalen om 100 år ved forskjellige gjentakintervall (50 % klimatillegg).....	76
Tabell 13: Situasjonen i Veumdalen om 100 år med frakoblede flater ved forskjellige gjentakintervall.....	79
Tabell 14: Situasjonen i Veumdalen om 100 år med fordrøyningstiltak ved forskjellige gjentakintervall.....	80
Tabell 15: Situasjonen i Veumdalen om 100 år med tiltak i form av utvidelse av rørdiametre ved forskjellige gjentakintervall .....	81
Tabell 16: Antall kjellerskader ved forskjellige gjentakintervall ved nåværende situasjon og situasjonen om 100 år med og uten klimatillegg. ....	82
Tabell 17: Kostnad ved regnhendelser med forskjellig gjentakintervall.....	86
Tabell 18: Nåverdi av kostnadene for nåværende situasjon, situasjonen om 100 år og stigende klimatillegg. Tallene er oppgitt i millioner kr. ....	88

Tabell 19: Nåverdiberegning av kostnadsbesparelsen ved å koble fra takarealer over 100 år. .....	88
Tabell 20: Nåverdiberegning av kostnadsbesparelsen ved fordrøyningsiltak over 100 år....	89
Tabell 21: Nåverdiberegning av kostnadsbesparelsen ved tiltak i form av utvidelse av rørdiametre over 100 år. ....	89
Tabell 22: Lønnsomhet for ulike tiltak i netto nåverdi. Alle verdier er gitt i millioner kroner.	90
Tabell 23: Sammenheng mellom forventet gjentakintervall og forventet skade for de 9 hendelser, som forventes å gi skader i løpet av en 90-års periode. De forventede omkostninger til skader i høyre kolonne er basert på modellen i Figur 60, blå kurve (Holse et al. 2007). ....	92
Tabell 24: Utvalg av regn som forventes å gi skade i løpet av en 90-års periode. Kolonnen til høyre viser antall kjellerskader som er forventet i Fredrikstad ved de tilhørende gjentakintervallene. Kolonnen i midten viser resultatene fra den danske analysen.....	94

## Liste over forkortelser

- A1, A1B, A1F1, A1T, A2, B1, B2** Utslippsscenarioer fra IPCC i SRES familien
- AGCM** Atmosphere General Circulation Model
- AMIP** Atmospheric Intercomparison Project
- AOGCM** Atmosphere Ocean General Circulation Model
- AR4/FAR** IPCCs fjerde hovedrapport
- CMIP** Coupled Model Intercomparison Project
- DHI** Dansk Hydraulisk Institut
- FNH** Finansnæringens Hovedorganisasjon
- GCM** General Circulation Model
- GIS** Geographic Information System
- ILP** Institutt for landskapsplanlegging ved UMB
- IMT** Institutt for matematikk og teknologi ved UMB
- IPPC** The Intergovernmental Panel on Climate Change
- IVF** Intensitet Varighet og Frekvens
- KTH** Kungliga Tekniska Högskolan
- LID** Low impact development
- LOD/LOH** Lokal overvannsdistribusjon/ Lokal overvannshåndtering
- MIP** model intercomparison project
- MOUSE** Simuleringsprogram fra DHI
- NN1954** Normalnull 1954
- NorACIA** Norsk oppfølging av Arctic Climate Impact Assessment
- NorClim** Norges forskningsråds klimaprogram
- NOU** Norges offentlige utredninger
- NTNU** Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- NVE** Norges vassdrags- og energidirektorat
- OGCM** Ocean General Circulation Model
- PRUDENCE** The Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining Europe Climate risks and Effects
- RCM** Regional Climate Models
- RegClim** Regional Climate Development Under Global Warming
- RIF** Rådgivende Ingeniørers Forening
- SCS** Soil Conservation Service
- SNL** Store norske leksikon
- SRES** Special Report on Emissions Scenarios
- T/A** Tid areal
- UHM** Unit hydrograph model
- UMB** Universitetet for miljø- og biovitenskap
- UMB** Universitetet for miljø- og biovitenskap
- VA** Vann og avløp
- WP** Work package



# Del 1

## Innledning



## 1 Innledning

Klimaet er i stadig endring. Dette er noe dyr og mennesker har måttet tilpasse seg ved flere anledninger i fortiden og vi er nå i gang med å tilpasse oss fremtidens klima. Forskjellen mellom fortiden og fremtidens klimaendringer, er at endringene stort sett har skjedd saktere enn endringene vi risikerer å oppleve i tiden fremover. Dette og måten vi er låst fast i byer og tettsteder på, gjør at vi ikke kan bevege oss langsomt vekk fra problemene, som vi har gjort i alle år, men må tilpasse oss endringene på stedet, og det raskere enn vi har gjort før.

Denne fastlåste tilstanden vi er i, er mye av grunnen til klimaendringene vi opplever i dag, og forventer å oppleve i fremtiden. De siste århundrene har vi bygget oss ut, rundt industri, til store byer som slipper ut store mengder klimagasser. Klimagasser har, sammen med den naturlige variasjonen, innvirkning på jordens energibalanse som igjen har innvirkning på klimasystemet. På grunn av denne innvirkningen, er det blant annet forventet mer intensive nedbørshendelser med større hyppighet i Norge.

Regn som faller i bebygde strøk og som på en eller annen måte må ledes tilbake til det naturlige kretsløpet, enten gjennom renseanlegg og ut i sjøen eller via kanaler eller rør til en egnet resipient, kalles overvann. Overvann er i de fleste tilfeller uønsket, da denne typen vann kan føre til flomskader ved store nedbørshendelser. Som en effekt av klimaendringene er det i fremtiden forventet stor økning i mengden overvann som må bortledes fra bebygde strøk og det kan forventes større skader på bygg og infrastruktur, hvis byer og tettsteder ikke tilpasser seg disse endringene i tide.

Denne oppgaven vil ta for seg overvannsproblematikken knyttet til et bestemt område i Fredrikstad, og bygger videre på en masteroppgave skrevet av Hval og Køste våren 2011: "Modellering avløpsnettverk med hensyn på klimaendringer i Fredrikstad kommune", som har gjort en analyse av det samme området. Ved bruk av modellerings- og simuleringsverktøy, har Hval og Køste gjort analyser av klimaendringenes innvirkning på avløpsnett i Fredrikstad, ved bruk av konstruerte regn med forskjellige klimatillegg. I oppgaven til Hval og Køste ble det konkludert med at en prosentvis økning i regnintensitet vil føre til en større prosentvis økning i skader på bygninger. I denne oppgaven vil jeg videreføre deres resultater og erfaringer, og det vil gjøres vurderinger av mulige mottiltak som kan redusere effekten klimaendringene har på ledningsnett, ned til nåværende nivå. Mottiltakene vil bli vurdert etter hydraulisk- og økonomisk effekt.

## **1.1 Problemstilling**

Oppgavens formål er i hovedsak å bidra til kunnskap om klimaendringenes effekt på avløpssystemet i byer og tettsteder, samt kostnader knyttet til kjelleroversvømmelser og tiltak.

**Oppgavens problemstilling er derfor definert som følgende:**

- Hvor stor innvirkning har klimaendringer på kjellerskadene grunnet oppstuvninger i avløpssystemet i Fredrikstad?
- Vil klimatilpasningstiltak redusere disse skadene på en kostnadseffektiv måte?

## **1.2 Fremgangsmåte og struktur**

I oppgaven vil problemstillingen overfor bli forsøkt besvart på best mulig måte ved hjelp av teori og en casestudie av Veumfeltet i Fredrikstad. Oppgaven vil først ta for seg teoretiske betraktninger ved litteraturstudie av emner som er funnet nødvendig for å få forståelse av oppgavens tema og relevans. Informasjon i den teoretiske delen vil videre underbygge resultatene og antagelsene gjort i casestudiet.

Oppgaven er delt inn 4 deler med totalt 14 kapitler. Oppgaven er bygget opp etter en struktur som funnet hensiktsmessig og naturlig. Del 2 presenterer litteraturstudiet hvor kapittel 2 til 6 inngår. Del 3 presenterer casestudiet og de tilhørende resultatene og består av kapittel 7 til 11. I del 4 presenteres en diskusjon og konklusjon samt videre arbeid. Her inngår kapitlene 12 til 14.



# Del 2

## Teori og Fakta



## 2 Exflood

Exflood er et forprosjekt i regi av Bioforsk, der hovedmålet er å definere og analysere tiltak for å motvirke den negative effekten av ekstreme værhendelser på infrastruktur i små nedbørsfelt i Norge. Videre skal dette innlemmes i et planleggingsverktøy for arealbruk.

Spesifikke delmål er som følgende:

- Klassifisere og vurdere eksisterende tilnærminger som blir brukt i dag ved ekstreme værhendelser, som er identifisert av de ulike samarbeidspartene.
- Identifisere og utvikle modelleringsteknikker for å kvantifisere utløp fra multifunksjonelle nedbørsfelt, som for eksempel fra det urbane og landbruk.
- Utvikle og analysere arealplanleggingsstrategier basert på innspill fra samarbeidspartene.
- Produsere et planleggingsverktøy som skal brukes for arealplanlegging i nedbørsfeltet til å håndtere ekstreme værhendelser. (NORKLIMA 2009, Extreme weather in small catchments: New method for flood protection ExFlood)

Exflood er et samarbeidsprosjekt ledet av Bioforsk. Samarbeidspartene er Universitet for Miljø- og Biovitenskap, Norges vassdrags- og energidirektorat, Statens Vegvesen, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), University of Minnesota, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet(NTNU), Sandnes kommune, Trondheim kommune, Fredrikstad kommune og Finansnæringens Hovedorganisasjon(FNH) (ExFlood 2009a; ExFlood 2009b).

NORKLIMA som finansierer prosjektet, ble opprettet i 2004 og har programperiode fra 2004 til 2013. Programmet har som hovedmål å "gi nødvendig ny kunnskap om klimasystemet, klimaets utvikling i fortid, nåtid og fremtid, samt direkte og indirekte effekter av klimaendringer på natur og samfunn som grunnlag for samfunnsmessige tilpasningstiltak". NORKLIMA som er et av Forskningsrådets store programmer, er igjen finansiert av Miljødepartementet og Utdannings- og forskningsdepartementet og har et årlig budsjett på 70-110 millioner kroner (Forskningsrådet 2004). Exflood prosjektet har stor relevans i forhold til dette prosjektet.

Parallelt med denne masteroppgaven blir det i ExFlood-prosjektet skrevet 6 andre masteroppgaver, hvor 4 blir skrevet for Institutt for matematikk og teknologi (IMT) og 2 blir skrevet for Institutt for landskapsplanlegging (ILP). 3 av disse masteroppgavene på IMT vil vurdere hydrauliske og økonomiske konsekvenser i forskjellige nedbørsfelt, mens én vil vurdere effekten av regnbed i kaldt klima. Masteroppgavene ved ILP konsentrerer seg om Veumfeltet i Fredrikstad.

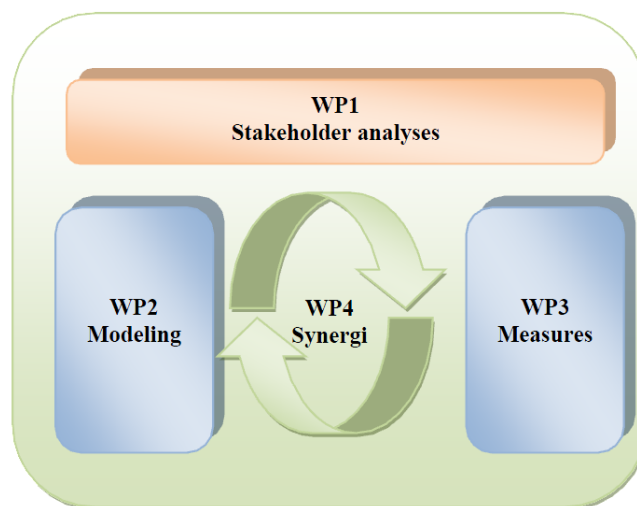


Figur 1: Nedbørsfelt hvor mindre utbygde områder drenerer ned til og gjennom urbant område (ExFlood 2009a).

Nedbørsfeltene som vil bli analysert er Bogafjell i Sandnes, Ranheim i Trondheim og Veumfeltet i Fredrikstad. Spesielt for denne sammensetningen av nedbørsfelt er at de beskriver 3 forskjellige kystklimate i Norge, som alle er en sammensetning av mindre utbygde områder oppstrøms, koblet med urbane områder nedstrøms via elv/bekk, se Figur 1.

## 2.1 Prosjektplan

Prosjektet er delt inn i fire arbeidspakker illustrert i Figur 2, og denne masteroppgaven vil inngå i WP2 og WP3, men vil også benytte seg av resultater oppnådd i WP1.



Figur 2: Skjematisk fremstilling av arbeidspakkene i ExFlood- Prosjektet (ExFlood 2009a).

### WP1: Stakeholders analysis (Analyse av Interessentene)

Denne arbeidspakken vil fokusere på analysering og identifikasjon av interessenter som er berørt av effektene av ekstremværhendelser i små nedbørsfelt. Ved hjelp av spørreskjema vil dette være en kvalitativ analyse av hvordan interessentene forholder seg til forskjellige problemstillinger i nedbørsfeltet. Analysen vil hjelpe i identifikasjonsprosessen av hvilke

lokasjoner man har opplevd flomproblemer og i hvilket omfang. Problemområdene vil registreres i en geografisk database med detaljer om vær- og feltforhold

#### WP2: Modeling (Modellering)

Arbeidspakke 2 vil søke etter modelleringstilnærminger for å modellere effekten av fremtidige ekstremværhendelser. Basert på kunnskap opparbeidet i WP1, skal forskjellige hydrologiske modeller velges. Et mål er at samkjøring av de valgte modellene vil føre til en helhetlig hydrologisk modell for nedbørsfeltet. Det vil bli gjort analyser på arealbruk, endret nedbør og klima og flomdempende tiltak.

#### WP3: Measures (Effektivitet)

Arbeidspakke 3 skal analysere effektiviteten av tiltak identifisert i WP1. Effektiviteten vil bli vurdert etter under hvilke omstendigheter og hvordan de er forskjellige, og om de håndterer ekstreme hendelser tilfredsstillende. Ved å bruke modelltilnærmingen i WP2 vil tekniske tiltak i alle deler av feltet bli vurdert etter effektivitet både hydraulisk og økonomisk.

#### WP4: Synthesis (Erfaringer og resultater, Syntese)

Denne arbeidspakken kombinerer resultater fra de foregående arbeidspakkene (WP1-3), og tester vil bli gjort på de valgte nedbørsfeltene (Veumdalen, Ranheim og Bogafjell) for å analysere gjennomførbarheten til den valgte modelltilnærmingen. Syntesen vil inneholde både tekniske og sosiale komponenter (ExFlood 2009a).

## 3 Klima og klimaendringer

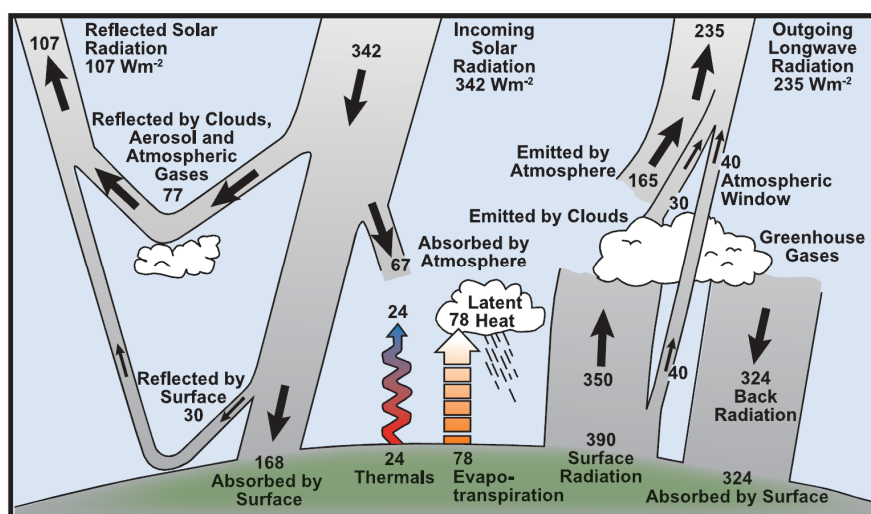
### 3.1 Klimasystemet

Klima beskrives vanligvis som den gjennomsnittlige variasjonen i temperatur, nedbør og vind over en periode som kan variere fra måneder til millioner år. Klimasystemet endres over tid, som et resultat av interne dynamiske påvirkninger og eksterne faktorer. Eksterne faktorer omfatter naturlige fenomener som Vulkanutbrudd og Solstrålingsvariasjoner, samt menneskeskapte endringer i atmosfærens sammensetning. Solinnstråling er den drivende faktoren i klimasystemet, og alle variasjoner i denne innstrålingen vil endre klimaet i større eller mindre grad.

Strålingsbalansen blir endret på tre grunnleggende måter:

1. Endring av stråling fra solen (f.eks. endringer i jordens bane eller solens aktivitet)
2. Endring av strålingsmengden fra solen som blir reflektert (f.eks. endringer i skydekket, atmosfæriske partikler eller vegetasjon)
3. Endring i den langbølgede utstrålingen fra jorden (f.eks. endring i drivhusgasskonsentrasjonen i atmosfæren)

Klimaet påvirkes direkte eller indirekte av disse endringene og gir tilbakemelding i form av endring i blant annet regnintensiteter, vindhastigheter og temperatur (Parry 2007).



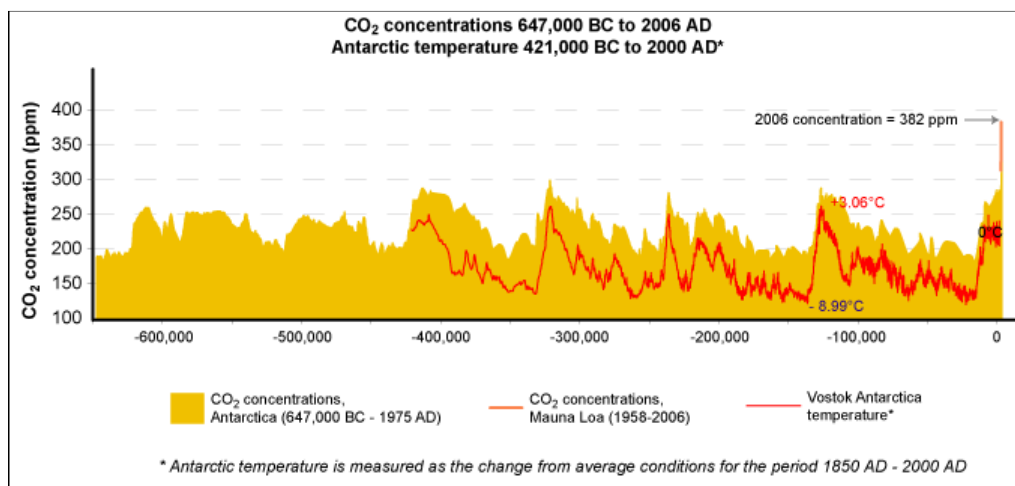
Figur 3: Estimert av jordens gjennomsnittlige globale årlige energibalanse (Parry 2007).

### 3.2 Klimaendringer

#### 3.2.1 Klimaendringenes historie

For å få et bilde av hvilke klimaendringer fremtiden vil bringe, må man ta utgangspunkt i klimaendringene hittil, spesielt med tanke på å skille klimaendringene som er menneskeskapte (etter den industrielle revolusjonen) eller som et resultat av naturlige klimaendringer. Studier av fortidens klimaendringer har vist at dagens klimaendringer i hovedsak er menneskeskapte (Johannesen 2009a).

Historisk sett er naturlige klimavariasjoner som regel regionale og ikke globale, særlig for klimasvingninger med varighet kortere enn 100 år. Som et eksempel skjedde klimavariasjonene i steinalderen først og fremst rundt polarområdene, mens tropeområdene var uberørt. Langvarige temperatursvingninger på jorda, som under istidene, skyldes i hovedsak variasjoner i jordens bane og vinkelen på jordaksen i forhold til solen (Johannesen 2009a; Parry 2007) mens de kortvarige temperatursvingningene i hovedsak skyldes vulkanutbrudd, solens 11-års syklus<sup>1</sup> og naturlige temperaturvariasjoner i havet (Hanssen-Bauer et al. 2009). Når den globale temperaturen endres som en effekt av de overnevnte variasjonene, fører dette til endringer i klimagasskonsentrasjonene i atmosfæren. For eksempel vil en økning i global temperatur føre til at CO<sub>2</sub> blir frigjort fra verdens hav, noe som gir økt drivhuseffekt. Når temperaturene synker, vil CO<sub>2</sub> bindes til havene og føre til nedkjøling. Over de siste 650.000 år har CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene hatt en tendens til å følge de glasiiale syklusene, da de ved varme interglasiiale perioder har vært høye, og i kalde glasiiale perioder har vært lave (EPA 2007), (se Figur 4).



Figur 4: Endringer i temperatur (rød linje) og atmosfæriske konsentrasjoner av karbondioksid (gul) over de siste 649.000 årene. Den vertikale røde baren helt til høyre er økning i CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner over de siste 2000 år frem til 2007 (EPA 2007).

Paeloklimatisk forskning har vist at middeltemperaturen på den nordlige halvkule under den andre halvdel av det 20. århundret svært sannsynlig har vært høyere enn i noen annen 50-års periode de siste 500 år og trolig den høyeste på minst 1300 år.

### 3.2.2 Registrerte klimaendringer

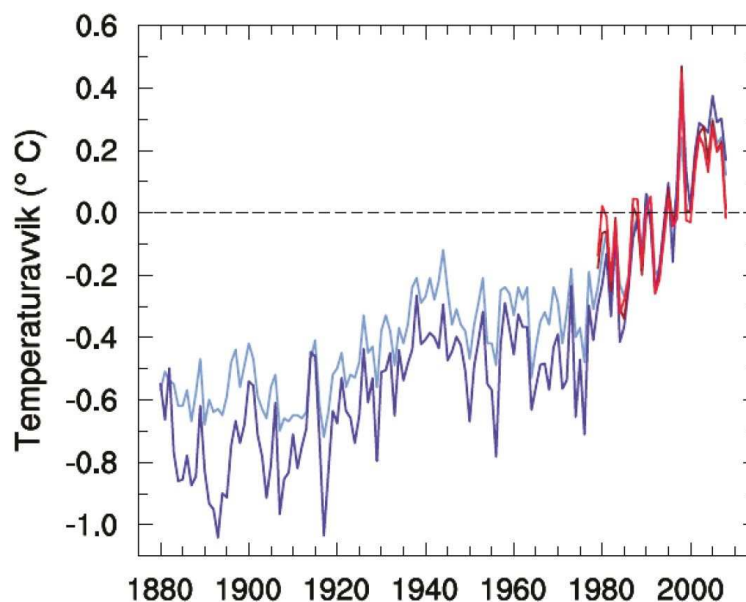
Fortidens klimavariasjoner er frem til midten av 1800-tallet basert på "naturlige arkiv" som geologiske data, glasiologiske data og biologisk data, for å nevne noen (Johannesen 2009a). På det tidlige 1600-tallet ble termometeret oppfunnet, men det var først i løpet av det

<sup>1</sup> "Solens aktivitet varierer med en 11-årssyklus der antall solflekker, solstørmer og energiutstråling går fra et lavt til et høyt nivå. Kraftige eksplosjoner og store mengder gass som slynges ut har sitt utspring i ustabile magnetfelt som er dannet dypt nede under solens overflate" (Brekke).

19. århundret systematiske observasjoner av været ble gjort i nesten alle bebodde områder i verden (Solomon 2007). Senere ble det også vanlig å ta målinger av vind og nedbør.

Instrumentelle målinger har gitt grunnlag for etablering av serier for midlere lufttemperatur mer enn 150 år tilbake i tid (Figur 5). Naturlige variasjoner fører til at kurven ikke øker jevnt, selv i perioder hvor det registreres jevnt økende konsentrasjon av drivhusgasser.

Temperaturøkningen de siste 150 år er gjeldene for hele kloden, men det er registrert størst oppvarming på nordlige breddegrader. I følge IPCC (2007) skyldes den observerte økningen i global middeltemperatur de siste 150 årene, mest sannsynlig den observerte økningen i konsentrasjonen av drivhusgasser fra menneskelig aktivitet. IPCC (2007) mener også at det er sannsynlig at oppvarmingen de siste 50 årene skyldes menneskeskapt oppvarming. Den globale middeltemperaturen har, i hundreårsperioden 1906–2005, hatt en økning på 0,074 °C/tiår (Solomon 2007). I 12års perioden fra 1995 til 2006 ble det registrert 11 år med gjennomsnittlig høyere temperatur enn noen gang siden målingene begynte i 1850 (Kirby 2009).



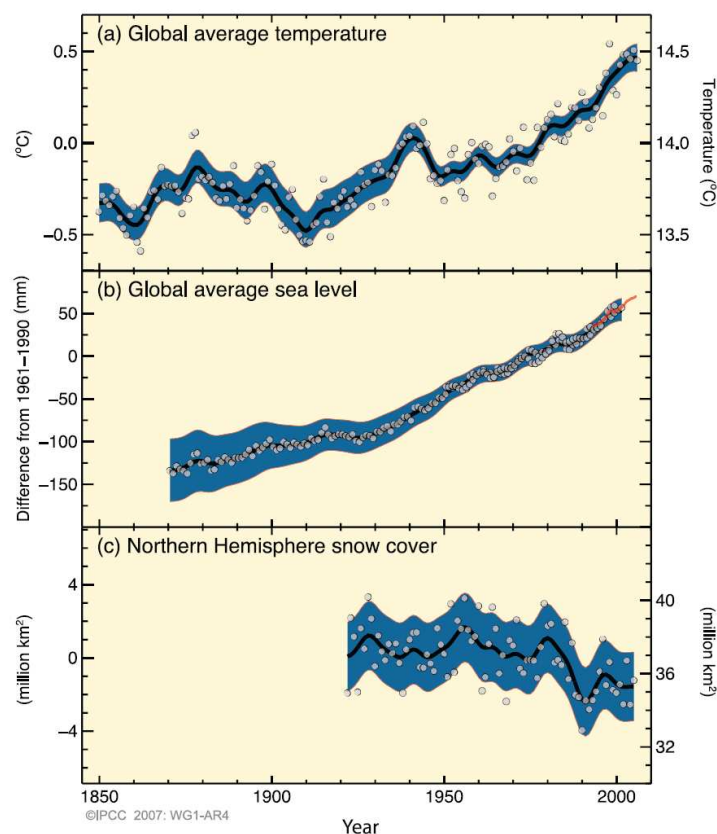
Figur 5: "Global temperaturvariasjon siden slutten av 1800-tallet relativt til 30-års perioden 1979–2008. De blå kurvene angir temperatur over land og hav basert på målinger med termometer, mens de røde kurvene viser to analyser av lufttemperaturen for de nederste 3–5 km av atmosfæren basert på målinger fra satellitt. Alle tidsseriene viser en langtidsøkning av jordens temperatur, der de fleste av de varmeste årene har forekommet helt på slutten av serien" (Hanssen-Bauer et al. 2009).

IPCC har listet opp en rekke observerte klimaendringer som har ulik betydning for de forskjellige beslutningstakerne. Noen av de observerte endringene er oppsummert i listen under (Solomon 2007):

- 11 av 12 år i perioden 1995–2006 kommer innenfor de 12 varmeste årene registrert siden 1850.



- Den lineære 100-års trenden for perioden 1906-2005 viser en økning i global gjennomsnittstemperatur på 0,74 °C.
- Det gjennomsnittlige atmosfæriske vanddampinnholdet har økt siden 1980. Økningen er i samsvar med økt potensial for innhold av vanddamp i varmere luft.
- Gjennomsnittlig global havstigning lå på 1,8mm/år i perioden 1961-2003. I perioden 1993-2003 lå den på 3,1mm/år.
- Det er i perioden 1900 til 2005 blitt observert store økninger i nedbørsmengder i de østlige delene av Nord- og Sør-Amerika, Nord-Europa og Nord- og Sentral-Asia.
- Middelhavsområdene er blitt tørrere.
- Hyppigheten av kraftige regnskyll har økt over de fleste landområder, noe som samsvarer med de observerte endringene i vanddampinnhold i atmosfæren.
- Hyppigheten av varme dager, varme netter og varmebølger har økt de siste 50 årene. Kalde dager, kalde netter og kuldebølger har blitt mindre hyppige i samme periode.
- Det har vært en økning i de sterkeste tropiske syklonene, både i varighet og styrke.
- Isbreer i fjellregioner og snødekke har trukket seg tilbake på begge halvkulene.
- Det totale volumet av innlandsis i Grønland og Antarktis har blitt mindre.

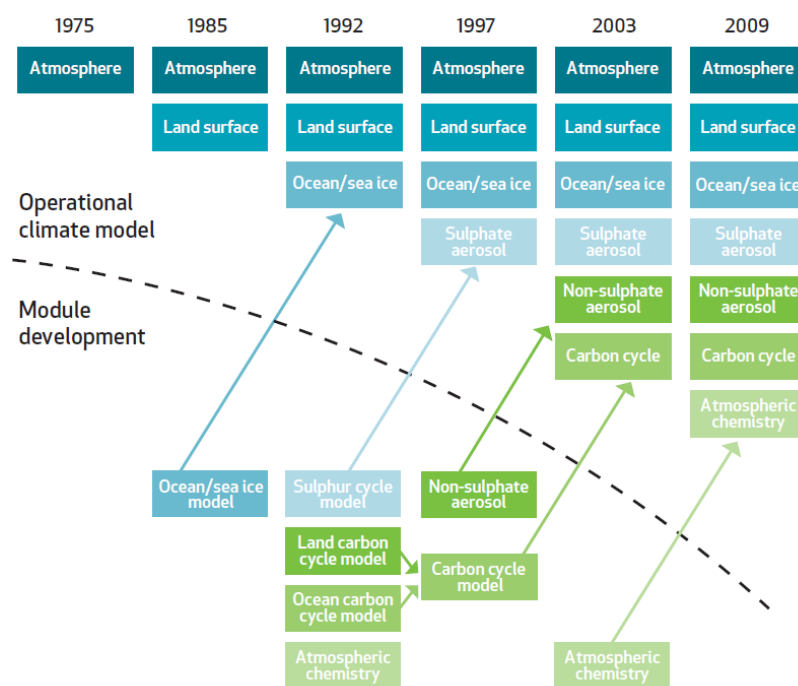


Figur 6: Endring i global gjennomsnittlig temperatur, havnivå og snødekke på den nordlige halvkule i perioden 1850-2003 (Solomon 2007).

### 3.3 Klimamodeller

Klimascenarioene er avhengige av numeriske modeller for å beskrive naturlovene og deres sammensetning på best mulig måte, slik at en størst mulig forståelse av fremtidige klimaendringer kan oppnås. De numeriske modellene er bygget opp av en rekke naturlover og uttrykk som blir løst på store datamaskiner. Naturlovene beskriver blant annet hva som bestemmer vindhastigheter og vindretninger, havstrømmer, nedbør og temperatur, mens klimamodellene tar hensyn til viktige medvirkende elementer i strålingsballansen (Johannesen 2009b; Solomon 2007).

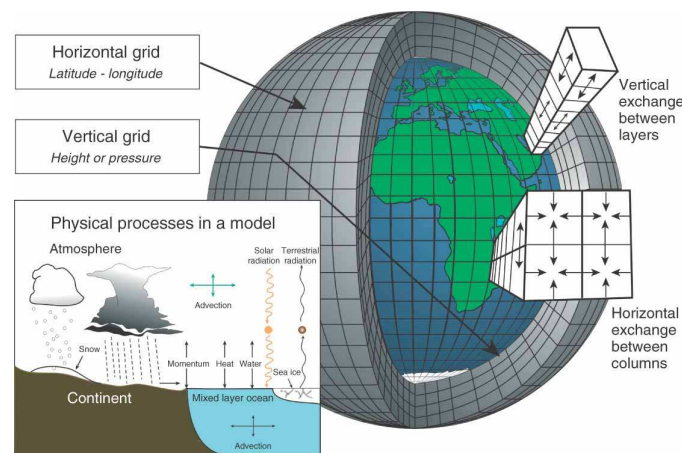
Klimamodellene har vært i kontinuerlig og i rask utvikling over de siste tiårene. Mye av grunnen til denne utviklingen er en betydelig økning i databehandlingskapasitet hvor hastigheten til såkalte supercomputere har økt med en faktor på om lag 1 million siden 1970-tallet, noe som har tillatt en tilsvarende økning i modellkompleksitet og oppløsning. En parallell utvikling mot økt kompleksitet og oppløsning har skjedd innen numerisk værvarsling, hvor man har opplevd store verifiserbare forbedringer i værvarslingskvaliteten. Dette eksempelet alene viser at dagens modeller er mer realistiske enn de som eksisterte bare et tiår tilbake. Det har imidlertid også utviklet seg en bevissthet om at modeller ikke gir en perfekt simulering av virkeligheten. Mye av denne usikkerheten beror på at modellene har begrenset mulighet til å løse ligninger i rom og tid, grunnet begrenset datakapasitet (Solomon 2007).



Figur 7: Klimamodellene er under stadig utvikling, både ved forbedring av eksisterende modeller og utvikling av nye (Johannesen 2009b).

De mest avanserte numeriske modellene som representerer fysiske prosesser i atmosfæren, havet, kryosfæren og landoverflaten er såkalte generelle sirkulasjonsmodeller (GCM). GCM-

modellene kan simulere responsen det globale klimasystemet har på økte konsentrasjoner av klimagasser. Enklere modeller er blitt brukt til å gi globale eller regionale estimater av den gjennomsnittlige klimaresponsen, men kun GCM, eventuelt i sammenheng med koblede regionale klimamodeller, har potensialet til å gi geografiske og fysiske estimater av regionale klimaendringer. GCM avbilder klimaet ved hjelp av et tredimensjonalt rutenett over hele verden som har en horisontal oppløsning på 250-600 km, 10-20 vertikale lag i atmosfæren og opp til 30 lag i havet (IPCC 2011). Se Figur 8.



Figur 8: Skjematisk fremstilling av en kartesiansk rutenettstruktur brukt i GCM modeller (WIRE 2010).

Selv om det er utviklet meget komplekse modeller, har ikke bruken av enklere modeller forsvunnet. Det har tvert imot blitt lagt sterkere vekt på konseptet “hierarkiske modeller”, som er den eneste måten man kan få en kobling mellom teoretisk forståelse og kompleksiteten av modeller. Hierarkiske modeller er linket med ideen om skala, hvor globale sirkulasjonsmodeller er koblet med regionale modeller som har høy oppløsning over et gitt område, eller prosessmodeller som for eksempel skysimuleringsmodeller.

Det har siden 1990-tallet blitt gjort forsøk på å koble forskjellige GCM’er i såkalte “model intercomparison projects”(MIP’s). Slike modellsammenligninger beskriver de fysiske prosessene bedre enn enkeltstående GCM’er og har blitt viktige i standardiseringen av blant annet modellparametere, filformater, navn og enheter. En av de første modellsammenligningene var et atmosfærisk sammenligningsprosjekt (“Atmospheric Intercomparison Project”, AMIP) som studerte kobling mellom atmosfæriske GCM’er (AGCM). Utviklingen av koblede modeller førte videre til utvikling av et modellkoblings-sammenligningsprosjekt (“Coupled Model Intercomparison Project”, CMIP) som studerte koblede hav-atmosfære GCM’er (AOGCM) og responsen på disse av langsiktige idealiserte projeksjoner, som for eksempel 1 % årlig økning i den atmosfæriske CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen. Det faktum at modellresultatene ble lagret separat og uavhengig av de forskjellige modelleringssentrene og at analysen av produksjonene ble gjort av uavhengige forskningsgrupper, har gitt resultatene større tillit (Solomon 2007). Resultatene fra CMIP’ene er tilgjengelig for studier ved godkjente diagnostiske delprosjekter, og forskningen på disse resultatene har gitt mye av det nye materialet som ligger bak IPCC’s

fjerde hovedrapport (AR4/FAR) (PCMDI 2007). AR4 er brukt i betydelig grad i denne masteroppgaven.

### 3.4 Framskrivninger

I 1996 fikk FNs klimapanel (IPCC) oppgaven med å utvikle en spesialrapport om utslippsscenarioer (Special Report on Emission Scenarios, SRES) (Kolshus 2000). Det er utviklet en rekke utslippsscenarioer som dekker et bredt utvalg av de viktigste utviklingsbaner, hvor de viktigste drivkreftene for klimagassutslipp og i så måte klimaendringer er befolkningsstørrelse, økonomisk utvikling og teknologisk utvikling. Disse scenarioene er gruppert i fire forskjellige hovedkategorier, A1, A2, B1 og B2, som beskriver forholdet mellom utslippenes drivkrefter og deres utvikling frem mot 2100 (IPCC 2007).

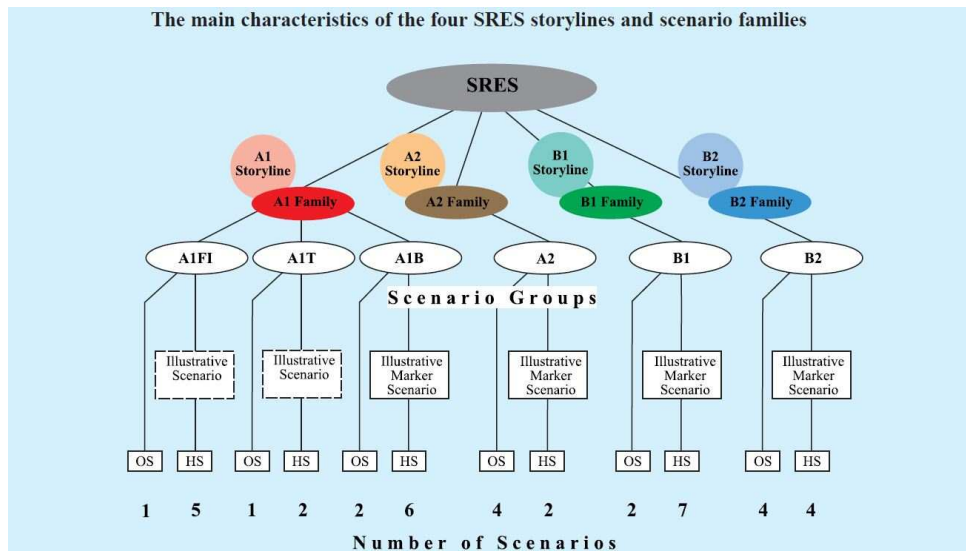
**A1** beskriver en verden med svært rask økonomisk vekst, befolkningsvekst frem mot midten av århundret som deretter vil avta, og rask innføring av ny og mer effektiv teknologi. Store underliggende temaer er konvergens mellom ulike regioner, kapasitetsutvikling og økt kulturelt og sosialt samspill med en betydelig reduksjon i regionale forskjeller i inntekt per innbygger. Scenariokategorien utvikler seg i tre grupper som beskriver forskjellige retninger som følge av teknologisk utvikling innen energibruk. Forskjellen ligger i om energiforbruket forblir fossilintensivt (A1FI), endres mot ikke-fossil energibruk (A1T) eller er en balansegang på tvers av kildene (A1B) (Nakićenović 2000).

**A2** beskriver en svært heterogen verden hvor sentrale temaer er selvstendighet og bevaring av lokale identiteter. Fruktbarheten på tvers av regioner konvergerer meget sakte, noe som resulterer i kontinuerlig befolkningsvekst. Teknologisk endring og økonomisk vekst er fragmentert og langsommere enn i de andre scenariokategoriene, som et resultat av at økonomisk vekst primært er basert regionalt (Nakićenović 2000).

**B1** Beskriver en konvergent verden med global befolkningsvekst frem mot midten av århundret som deretter vil avta. Kategorien beskriver en hurtig endring i økonomiske strukturer mot tjeneste- og informasjonsbasert økonomi, med reduksjon av det materielle fokuset og innføring av rene og resurseffektive teknologier. Det legges vekt på globale økonomiske, sosiale og miljømessige bærekraftige løsninger, herunder bedret egenkapital, men uten ytterligere klimatiltak (Nakićenović 2000).

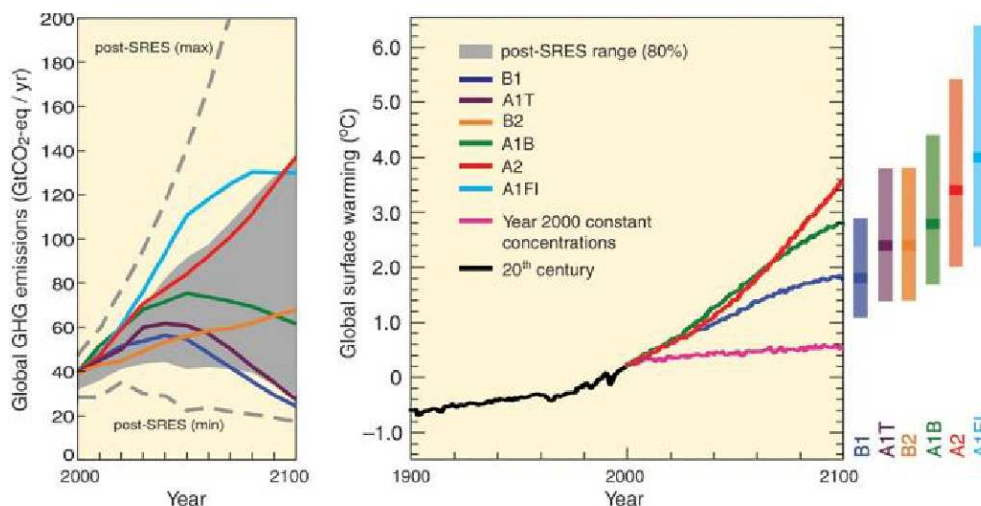
**B2** Beskriver en verden der lokale løsninger for økonomisk, sosial og miljømessig bærekraft står i fokus. Befolkningstallet vil øke konstant, men mer moderat enn i kategori A2, med en middels økonomisk utvikling og mindre hurtig og mer variert teknologisk forandring enn i B1- og A1-scenariene. Kategorien er rettet mot miljøvern og sosial likhet, men fokuserer på lokale og regionale nivåer (Nakićenović 2000).

Hovedkategoriene er vurdert på samme grunnlag uten å ha bli tildelt forskjellig hendelsessannsynlighet (IPCC 2007).



Figur 9: skjematisk fremstilling av SRES scenarier og kategorier(IPCC 2007).

I hver hovedkategori finner man ulike underscenarioer som er utviklet gjennom forskjellige modelltilnærminger. På denne måten kan man utforske de forskjellige utfallene man får ved å bruke de samme forutsetningene for drivkreftene. Seks modeller ble brukt, hvor alle er representative for en integrert vurdering av rammene som er satt. De forskjellige modellene har resultert i 40 SRES scenarier som sammen representerer det aktuelle spekteret av usikkerhet som følge av ulike egenskaper ved de forskjellige modellene (IPCC 2007).



Figur 10: Illustrasjon av forskjellige utslippsscenarioer til venstre og endring i global oppvarming som følge av dette til høyre. Helt til høyre vises usikkerheten ved de forskjellige scenarioene (Solomon 2007).

### 3.4.1 Globale framskrivninger

Estimatene av de fremtidige klimaendringene er basert på hierarkiske modeller som er alt fra AOGCM'er til enkle klimamodeller. Modellene er vurdert i det største modellsammenligningseksperimentet noen sinne, ("Coupled Model Intercomparison Project phase three", CMIP3) for å gi det mest omfattende multimodellperspektivet om

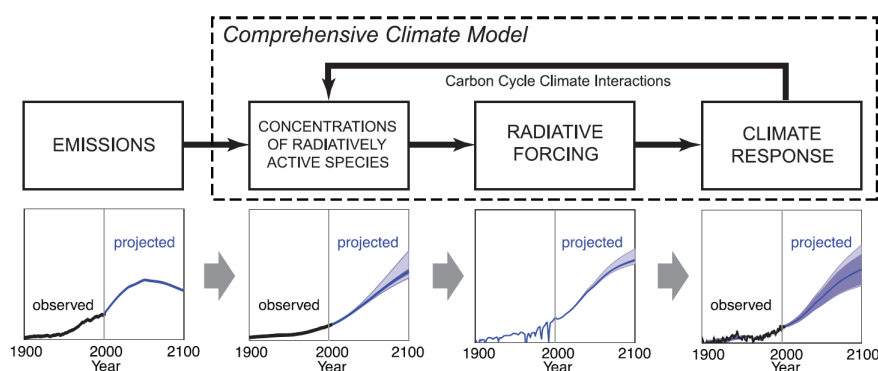
klimaendringer mulig. Disse modellene er matet med data om klimagasskonsentrasjon og andre bestanddeler avledet fra forskjellige utslippsscenarioer og idealiserte langsiktige scenarioer (Solomon 2007).

For å simulere anslåtte klimaendringer i det 21. århundret, er det valgt tre av de i alt seks scenariokategoriene fra IPCC's spesialrapport om utslippsscenarioer. De er valgt med hensyn på grad av utslipp, hvor de forskjellige scenariokategoriene (B1, A1B og A2) representerer "lavt", "medium" og "høyt" utslipp. Grunnen til at bare tre av de i alt seks scenariokategoriene er valgt, er utelukkende på grunn av begrenset datakapasitet og valget baserer seg kun på at man ønsker to ytterpunkter og representasjon av en slags middelværdi, uten at det er lagt vekt på kvalifisering, preferanser eller en sannsynlighetsvurdering av de forskjellige scenariokategoriene (Solomon 2007).

Noen av de estimerte klimaendringen gitt i IPCC klimarapport (AR4) vises under:

- Gjennomsnittlig temperatur er estimert til å stige mellom 1,8 °C og 4 °C frem mot 2100.
- Den globale oppvarmingen har en tendens til å redusere opptaket av atmosfærisk CO<sub>2</sub> i landområder og hav. Dette gjør at andelen menneskeskapte utslipp som forblir i atmosfæren øker.
- Ikke-tropiske stormer er forventet å bevege seg mot polene og gi endringer i vind-, nedbør- og temperaturmønstre i pol-nære områder.
- Det er meget sannsynlig at varmebølger og intense nedbørshendelser vil fortsette å øke i hyppighet.
- Is- og snødekke er forventet å bli mindre.
- Det er forventet at havnivået kommer til å stige og at termisk ekspansjon av havet alene vil føre til at havnivået kommer til å stige mellom 0,3 til 0,8m frem mot 2300.

Det er viktig å understreke at det er en grad av usikkerhet ved alle klimaprojeksjonene, og at de forskjellige stegene mot en klimaprojeksjon bidrar til hver sin del av den totale usikkerheten (Solomon 2007).



**Figur 11:** I en omfattende klimamodell vil fysiske og kjemiske representasjoner av prosessene tillater en entydig tallfesting av usikkerhet (Solomon 2007).

### 3.4.2 Framskrivninger for Europa

Klimaet varierer fra region til region. Variasjonen er et resultat av den ujevne fordelingen av solvarme og den individuelle responsen til atmosfære, hav- og landoverflater samt interaksjonen mellom disse. Menneskeskapte endringer påvirker først og fremst atmosfæren og er globale i noen tilfeller, men regionale i andre. For eksempel vil utslipp av karbondioksid føre til oppvarming globalt, da karbondioksid blir fordelt jevnt over hele kloden, mens utslipp av f.eks. sulfataerosoler (små partikler), som motvirker oppvarmingen, vil ha regional innvirkning.

På grunn av fremskritt i datakraft og modelleringsforståelse, blir det utviklet stadig mer pålitelige regionale anslag av klimaendringenes effekt. En rekke viktige temaer har dukket opp på grunn av denne utviklingen:

- Oppvarming over mange landområder er større enn den gjennomsnittlige årlige oppvarmingen, da det er mindre vann tilgjengelig for evaporativ nedkjøling og en lavere termisk treghet i forhold til havområder.
- Oppvarming øker generelt den romlige variasjonen av nedbør, med reduksjon av nedbør i subtropene og økt nedbør i de høyere breddegrader og deler av tropene.
- Utvidelse av de subtropiske regionene mot polene kombinert med reduksjon i subtropisk nedbør skaper et spesielt robust anslag på at nedbør i de subtropiske grensene mot polene vil reduseres.
- På grunn av økt evapotranspirasjon vil det være en tendens mot at monsunene vil ha økt intensitet. Det er imidlertid en viss usikkerhet ved disse tropiske responsene.

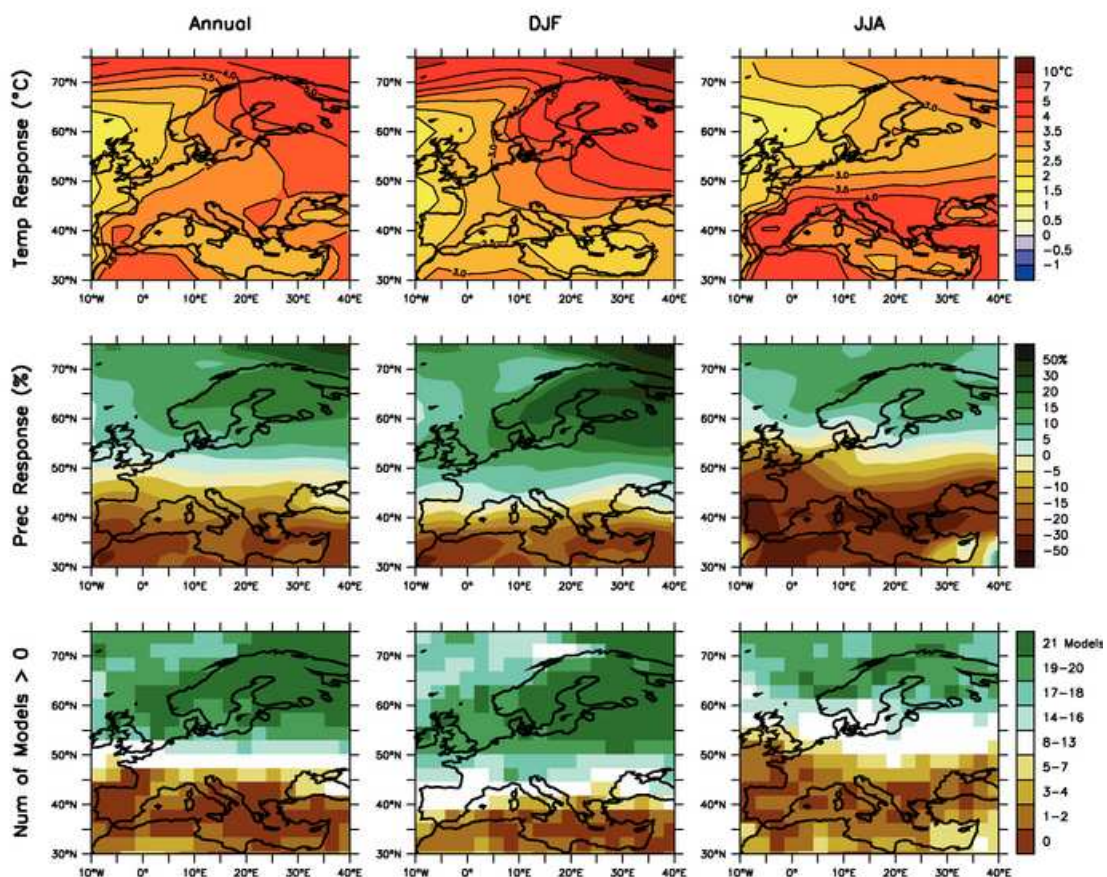
AOGCM'er er fortsatt primærkilden til regional informasjon om de forskjellige klimaprojeksjonene. På grunn av økt oppløsning får man et klarere bilde av de regionale klimaendringene, men oppløsningen er fortsatt så lav (200km<sup>2</sup>) at nedskalering av resultatene er nødvendig i mange tilfeller. Nedskalering kan bli gjort med dynamiske modeller med høy oppløsning (Regional Climate Models, RCM) eller empiriske statistiske nedskaleringer. Nedskalerte klimaendringsprosjeksjoner skreddersydd til de spesifikke behovene i forskjellige regioner begynner først nå å bli tilgjengelige (Solomon 2007).

AOGCM,er viser varierende pålitelighet ved simulering av det nåværende klimaet i Europa og Middelhavsområdet. De simulerte temperaturene varierer på begge sider av de observerte verdiene i sommerhalvåret, mens de har en tendens til å være lavere enn de observerte temperaturene i vinterhalvåret, spesielt i Nord-Europa. Blant annet av denne grunn er det utviklet et prosjekt med over 20 medvirkende europeiske forskningsgrupper (The Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining Europe Climate risks and Effects, PRUDENCE). Hovedobjektivet til PRUDENCE er å gi nedskalerte høyoppløselige regionale dynamiske modeller av klimaendringsscenarioene (RCM,er) mot slutten av det 21. århundret, og samtidig vurdere usikkerheten ved disse anslagene.



Sammenligningsprosjekter med observerte data viser at samlede data fra PRUDENCE RCM'er gir resultater med gode overenstemmelser med observerte data i mange tilfeller, men at enkeltstående RCM'er kan gi resultater med varierende grad av nøyaktighet. Noen av de simulerte klimaprojeksjonene fra IPCC (2007) er gitt under:

- Det er sannsynlig at oppvarmingen i Nord-Europa er størst i vinterhalvåret og at oppvarmingen i Middelhavsområdene er størst i sommerhalvåret.
- Til tross for nedgang i de nordatlantiske havstrømmene i de fleste modeller, vil det fortsatt være en oppvarming i Storbritannia og det kontinentale Europa, som en effekt av økt klimagasskonsentrasjon.
- Det er simulert en økning i nedbør i de nordlige delene og avtagende nedbør i de sørlige delene av Europa.
- En simulering viser at det vil bli en økning i vestlige vinder fra Atlanterhavet, som følge av økt nord-sør trykkgradient, som etterfølges av økninger på opp til 70 % i årlig nedbør over de skandinaviske fjellområdene. En annen simulering, som ikke har den samme økningen i trykkgradient, viser en endring i intervallet 0-20 %. Disse modellene beskriver to ytterpunkter i simuleringene.



Figur 12: Endringer i temperatur og nedbør over Europa fra simuleringer av A1B scenarioet. Topprad: Årlig gjennomsnitt og gjennomsnittet i månedene DJF og JJA i temperaturendringer mellom 1980-1999 til 2080-2099, over 21 modeller. Midterste rad: Samme som topprad, men for gjennomsnittlig endring i nedbør. Nederste rad: Antall modeller av 21 som projiserer endring i nedbør (Solomon 2007).



### 3.4.3 Framskrivninger for Norge

I 1998 delte Hansen-Bauer og Førland Norge inn i 13 regioner med noenlunde lik langtidsutvikling av nedbør og 6 regioner med noenlunde lik langtidsutvikling av temperatur. Disse oppdelingene er basert på måleserier som strekker seg tilbake til 1900. (se Figur 13).

Disse inndelingene er brukt i framskrivningene for de ulike regionene i Norge og Veumfeltet. Befinner seg i temperaturregion 1 og nedbørregion 1.



Figur 13: Til venstre: Temperaturregioner, Til høyre: Nedbørregioner (Hanssen-Bauer et al. 2009).

På grunn av luft- og havstrømmer er klimaet i Norge relativt varmt i forhold til andre steder på samme breddegrad, og variasjon i disse strømningsforholdene gir store utslag i det lokale klimaet. Dette gjør at de naturlige klimavariasjonene i Norge er store, både i tid og geografisk. I Norge er årsmiddeltemperaturen ca. +1 °C og varierer fra -4 °C i høyfjellet til +6 °C på kysten (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Den beregnede gjennomsnittlige årsnedbøren i Norge er 1486 mm, og av dette anslås det at 346 mm fordampes, mens 1140 mm går til avrenning. På grunn av Norges varierende topografi er øvre Gudbrandsdalen og indre Troms tørrest med årsnedbør på mindre enn 300mm, mens midtre strøk av Vestlandet er våtest med over 5000 mm årsnedbør enkelte steder. I gjennomsnitt overskrides ett-døgns nedbørverdi<sup>2</sup> 3-4 ganger per år, og varierer fra under 15 mm i nedbørfattige områder til 150 mm i nedbørrike områder.

For nedbørsvarigheter fra et minutt til en time er det i hovedtrekk Østlandet som har de største nedbørsverdiene, Sørlandet har de største i løpet av 2-6 timer, mens Vestlandet har de største for varigheter fra 12 timer og oppover (Hanssen-Bauer et al. 2009).

<sup>2</sup> **Ett-døgns nedbørsverdi:** Akkumulert nedbør i løpet av ett døgn.

Framskrivningene for Norge er basert på scenarioer for menneskeskapt utslipp av drivhusgasser og -partikler, globale beregninger av klimasystemets respons på disse og metoder for å regionalisere beregningene med større geografisk detaljrikdom. En kilde til usikkerhet i disse framskrivningene er manglende kjennskap til framtidige utslipp av klimagasser og -partikler samt mangler og forenkling av klimamodeller. Disse usikkerhetene er større på lokal enn på global skala. Likevel vil modellering av menneskeskapt påvirkning på klimasystemet gi en indikasjon på hvilke endringer vi kan få i Norge i det 21. århundret (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Klimaframskrivningene i Norge er i hovedsak basert på nedskalerte data fra AOGCM'er. Nedskaleringsmetodene som er brukt er den regionale klimamodellen HIRHAM og en global atmosfæremodell med variabel oppløsning og med høyest oppløsning i det samme området HIRHAM vurderer. I NOU's klimarapport "klima i Norge 2100" er det benyttet 50 klimaframskrivninger beregnet ved statistiske metoder og 22 basert på dynamiske modeller. Resultatene bygger på klimasimuleringer fra en rekke nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter (RegClim, GeoExtreme, NorACIA, NorClim og PRUDENCE) og er satt sammen i ensembler. Klimaendringene frem mot 2100 er i grove trekk oppsummert under (Hanssen-Bauer et al. 2009):

- Alle landsdeler i Norge vil i alle årstider bli varmere, og årsmiddeltemperaturen forventes å øke mellom 2,3-4,6 °C.
- Vekstsesongen blir betydelig lengre, og det forventes en økning på 1-2 måneder i store deler av landet og 2-3 måneder i en del områder.
- Årsnedbøren i Norge beregnes til å øke med 5 til 30 %.
- Vinternedbør beregnes til å øke med over 40 % i deler av Øst-, Sør- og Vestlandet.
- Sommernedbøren på Sør- og Østlandet antas avtagende.
- Nedbøren forventes å øke for alle årstider i alle regioner.
- Det forventes flere dager med mye nedbør og gjennomsnittlig nedbørsmengde i disse dagene blir høyere i hele Norge i alle årstider.
- Det er forventet at snøsesongen blir kortere i hele landet, hvor 2-3 måneders reduksjon kan forventes i lavlandet mot slutten av århundret.
- Det forventes at størrelsen på regnflommer kommer til å øke, mens smeltevannsflokker forventes å avta.
- Et varmere klima vil føre til at flomtidspunktet forskyver seg og at vi får tidligere vårflom, samtidig som at faren for flommer sent på høsten og om vinteren vil øke.
- Havnivået langs kysten er forventet å stige med rund 70 cm langs kysten av Sør- og Vestlandet, rund 60 cm i Nord-Norge og ca. 40 cm innerst i Oslo- og Trondheimsfjorden. Usikkerhet gjør at framskrivningene kan variere med -20cm til + 35cm.

### 3.4.3.1 Middeltemperatur

I Tabell 1 er gjennomsnittet av de forskjellige framskrivningene for middeltemperatur delt opp i "Høy"(H), "Middels"(M) og "Lav"(L) temperaturframskrivning, hvor H er gjennomsnittet av ensembles 90-prosentil, M er gjennomsnittet av middelverdiene og L er gjennomsnittet av 10-prosentilene. Det er i utgangspunktet beregnet verdier for endringer i perioden 1961-90 til 2071-2100, men ved enkel lineær skalering er det også gitt verdier for 2021-50. Verdiene for 2021-50 er vurdert til å gi høyere verdier enn det man strengt tatt skulle forvente, da økningen forventes å være ikke-lineær (Hanssen-Bauer et al. 2009).

For Østlandsregionen ser vi fra tabellen at det forventes en økning frem mot 2070-2100 på 2,3 (L) til 4,8 °C (H), som tilsvarer tilnærmet landets gjennomsnitt. Tallene viser uansett at det forventes betydelige temperaturendringer frem mot 2070-2100. Intervallet mellom H og L gir en indikasjon på hvor nøyaktige framskrivningene kan forventes å være (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Tabell 1: Middels, lav og høy temperaturframskrivning for Norge og Østlandet, sesonger og tidsperspektiv (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Region	Sesong	Økning (°C) til 2021–50			Økning (°C) til 2071–2100		
		M	L	H	M	L	H
Norge	År	1,9	1,2	2,5	3,4	2,3	4,6
	Vinter DJF	2,3	1,5	3,3	4,3	2,8	6,0
	Vår MAM	1,9	1,2	2,6	3,5	2,3	4,8
	Sommer JJA	1,3	0,8	1,9	2,4	1,4	3,5
	Høst SON	1,9	1,3	2,6	3,5	2,4	4,8
TR-1 Østlandet	År	1,9	1,2	2,6	3,4	2,3	4,8
	Vinter DJF	2,4	1,5	3,5	4,5	2,8	6,5
	Vår MAM	1,7	1,1	2,5	3,2	1,9	4,6
	Sommer JJA	1,3	0,8	2,0	2,5	1,5	3,8
	Høst SON	1,9	1,3	2,8	3,6	2,5	5,1

### 3.4.3.2 Middelnedbør

Framskrivningen for middelnedbør er delt opp på samme måte som for middeltemperatur i H, M og L, men det er ikke gitt at de samme framskrivninger for temperatur under definisjonen H gjelder for middelnedbør under den samme definisjonen.

Middelverdiene for nedbør er ifølge Tabell 2 økende. Det samme gjelder i stor grad også sesongmiddelverdiene med unntak av sommeren, hvor Østlandsregionen og Østfold får lavere verdier enn de nåværende. Gjennomsnittlig økning i middelnedbør for Østfoldregionen viser seg å være lavere enn gjennomsnittet for Norge, med unntak av vintermånedene desember, januar og februar. Her ser vi at den forventede økningen i middelnedbør ligger på 10,2 til 52,6 % for desember, januar og februar og at gjennomsnittet for året ligger på 2,7 til 22,2 %. Den midlere framskrivningen ligger på henholdsvis 24,7 % og 12,2 %. Vi ser at det er en stor grad av usikkerhet ved framskrivningene for Østfoldregionen, da det er stor differanse mellom høy (H) og lav (L) verdi (Hanssen-Bauer et al. 2009).

**Tabell 2: Relativ forandring (%) i års- og årstidsnedbør i Norge og utvalgte regioner fra perioden 1961–90 til perioden 2071–2100 ifølge middels (M), høy (H) og lav (L) framskrivning (Hanssen-Bauer et al. 2009).**

Region	Sesong	1961–90 til 2021–50: Endring (%) i nedbørsom			1961–90 til 2071–00: Endring (%) i nedbørsom		
		M	L	H	M	L	H
Norge	År	9,6	2,4	14,0	18,3	5,4	30,9
	Vinter DJF	11,1	3,8	18,4	21,4	8,5	39,9
	Vår MAM	10,0	3,7	20,0	19,4	7,2	41,5
	Sommer JJA	5,0	-1,6	9,7	9,2	-3,2	17,4
	Høst SON	12,2	2,1	16,1	23,3	4,6	33,4
NR-1 Østfold	År	6,7	1,5	12,1	12,2	2,7	22,2
	Vinter DJF	13,5	5,6	28,7	24,7	10,2	52,6
	Vår MAM	7,6	1,4	16,9	14,0	2,6	31,0
	Sommer JJA	-3,8	12,2	10,9	-7,0	-22,4	19,9
	Høst SON	9,2	-2,0	15,0	16,8	-3,7	27,5
NR-2 Østlandet	År	6,7	3,1	10,3	12,2	5,6	18,8
	Vinter DJF	15,8	7,0	26,6	28,9	12,9	48,8
	Vår MAM	7,6	2,9	15,5	14,0	5,4	28,5
	Sommer JJA	-2,4	-11,5	5,1	-4,4	-21,0	9,4
	Høst SON	8,2	1,0	12,5	15,1	1,8	22,9

### 3.4.3.3 Dager med mye nedbør

Det ble i 2009 gjennomført en analyse der det ble bestemt en "0,5-prosentil" for døgnnedbøren for perioden 1961-90 (den døgnverdien som ble overskredet ca. to ganger per år), hvor det ble sett på hvor ofte denne verdien ble overskredet i perioden 2071-2100. Disse verdiene er gitt som prosentvis økning i venstre del av Tabell 3. M-framskrivningen gir en prosentvis endring i slike dager på 75 % på landsbasis og en endring på 83,5 % i Østfoldregionen. Samtidig som det er forventet at det blir et økt antall dager med mye nedbør, er også nedbørsmengden i dager med mye nedbør forventet å stige. På høyre side i Tabell 3 ser vi at M-framskrivningene gir en forventet økning i nedbørsmengde på 15,5 % på landsbasis og en økning på 18,5 % i Østfoldregionen.

**Tabell 3: Relativ forandring (%) i antall dager med mye nedbør, og relativ forandring (%) i nedbørsmengden på dager med mye nedbør, fra perioden 1961–90 til perioden 2071–2100 ifølge middels (M), høy (H) og lav (L) framskrivning. «Dager med mye nedbør» er her definert som dager med nedbørsmengder som i normalperioden 1961–90 ble overskredet i 0,5 % av dagene (Hanssen-Bauer et al. 2009).**

Region	Sesong	1961–90 til 2071–2100: Endring (%) i antall dager med mye nedbør			1961–90 til 2071–2100: Endring (%) i nedbørsmengde på dager med mye nedbør		
		M	L	H	M	L	H
Norge	År	75,7	40,6	139,9	15,6	7,2	23,1
	Vinter DJF	126,5	80,0	250,9	16,5	1,9	32,3
	Vår MAM	88,3	41,6	193,1	15,5	5,9	29,1
	Sommer JJA	71,4	30,0	86,9	16,5	6,4	21,5
	Høst SON	110,3	55,9	192,5	17,5	9,7	26,4
NR-1 Østfold	År	83,5	45,3	120,8	18,5	9,0	26,2
	Vinter DJF	180,7	78,1	356,9	28,5	15,8	44,2
	Vår MAM	79,0	11,9	156,4	17,4	2,3	36,6
	Sommer JJA	39,3	-20,9	92,9	9,7	-3,7	31,4
	Høst SON	143,4	32,7	209,3	26,9	8,5	39,7
NR-2 Østlandet	År	65,4	34,8	94,8	14,4	8,0	19,0
	Vinter DJF	188,0	118,3	335,5	22,8	17,5	34,6
	Vår MAM	91,6	26,3	199,9	17,4	6,0	32,4
	Sommer JJA	44,9	6,1	81,0	10,8	0,2	20,4
	Høst SON	103,3	53,7	150,9	17	9,1	25,6

#### **3.4.3.4 Korttidsnedbør og times nedbør**

Tradisjonelle vær- og nedbørstasjoner måler nedbør to til én gang per døgn. Hyppigere målinger enn dette er i mange tilfeller nødvendig, og met.no har siden 1960-tallet opprettet en rekke pluviometerstasjoner<sup>3</sup> med tidsoppløsning ned til ett minutt. Det har også blitt installert flere automatstasjoner med kontinuerlige målinger med tidsoppløsning på en time (Mamen & Iden 2010).

I skrivende stund opparbeides det en publikasjon som skal omhandle analyse av korttidsnedbør i Norge i tidsperioden 1968 – 2008. Før denne publiseres er det ikke mulig å oppdrive en samlet beskrivelse av korttidsnedbør i Norge. Mamen & Iden (2010) har imidlertid gjort noen foreløpige analyser som i hovedtrekk viser at Østlandsregionen har de største nedbørsverdiene i varighet fra et minutt til én time. For varigheter fra 12 timer og oppover er det Vestlandsregionene som dominerer.

Timesnedbør er, spesielt om sommeren, forbundet med bygenedbør. Dagens klimamodeller er lite egnet for simulering av “timing” eller romlig utstrekning av bygenedbør, hvilket gir lite grunnlag for å se på fremtidig endring i disse verdiene. Det er likevel et gyldig resultat at ekstrem nedbør er forventet å endre seg mer enn midlere nedbør (Innbjør & Larsen 2011).

---

<sup>3</sup> **Pluviometeer:** “Et pluviometer består av en sylinder med en trakt inni. Under trakten er det to små kar som rommer 0,1 eller 0,2 mm nedbør hver. Når nedbør faller blir det ene karet fylt opp og vipper slik at det tømmes. Det andre karet vipper da opp og fylles. Antall slike vipp blir registrert og summert opp for å vite nedbørmengden som har falt for eksempel i løpet av en time eller et døgn.”(Metrologisk institutt 2010)

### 3.5 Usikkerhet ved klimamodellering

Som nevnt tidligere vil det alltid være en viss usikkerhet rund klimaframskrivningene. Disse usikkerhetene kan kategoriseres i fire deler, hvor noen av usikkerhetene lar seg tallfeste mens andre bare kan estimeres (Hanssen-Bauer et al. 2009):

1. Naturlige klimavariasjoner
2. Naturlige klimapådriv
3. Menneskeskapte klimapådriv
4. Ufullstendig kunnskap

**Naturlig klimavariasjon** er naturlige og tilfeldige variasjoner i klima med varierende tidsperiode og geografisk utstrekning. Klimaet er som nevnt middelværet over tid, typisk fra noen tiår og oppover. De typiske naturlige klimavariasjonene varer som regel fra noen år til noen tiår og kan strekke seg ut regionalt så vel som å dekke store deler av kloden. Variasjoner i havtemperaturen, i Stillehavet, langs og nær ekvator er den viktigste kilden til naturlige klimavariasjoner, og disse endringene skjer typisk med en tidsskala på 3-7 år (Hanssen-Bauer et al. 2009).

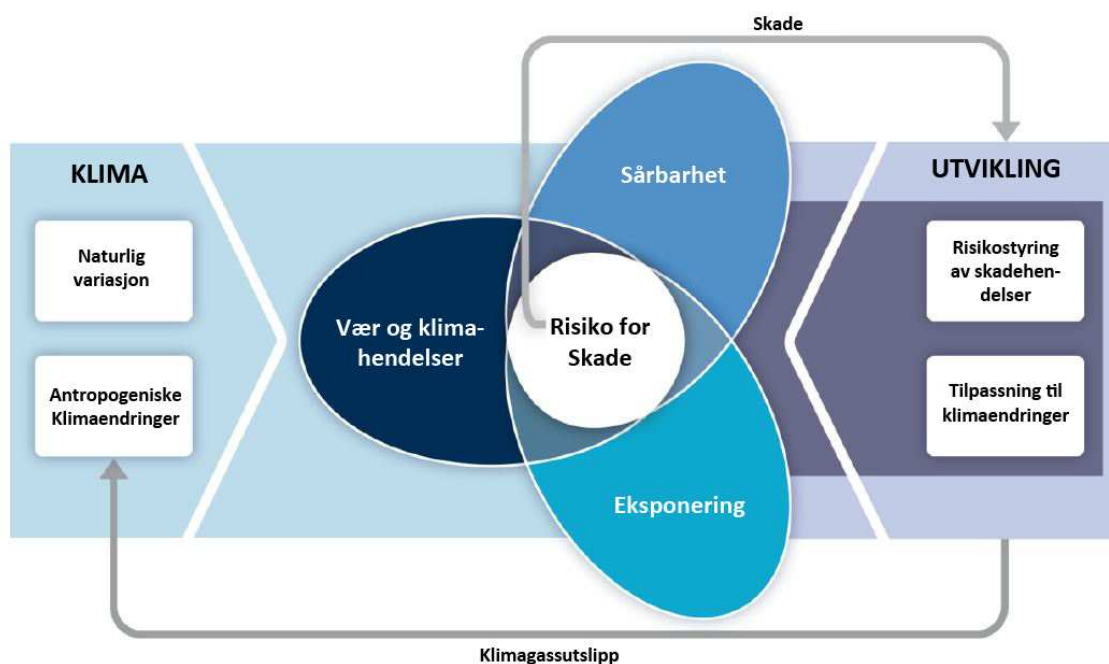
**Naturlig klimapådriv** er ukontrollerte endringer i klimapådriv som for eksempel vulkanutbrudd eller endringer i solens utstråling. Vulkanutbrudd som påvirker jordens klima skjer typisk en gang per 10-20 år, og solflekksyklusen har normalt en periode på 11 år (Hanssen-Bauer et al. 2009).

**Menneskeskapt klimapådriv** skyldes i hovedsak utslipp av klimagasser og – partikler fra forbrenning av kull, olje eller gass og endring i bruk av land, som f.eks. skogshogst. De fremtidige menneskeskapte klimapådrivene avhenger blant annet av befolkningsøkning, endring i levestandard og forbruk, lagring av karbon og innfasing av ikke-fossile energiformer. Det er stor usikkerhet knyttet til hvordan utviklingen vil bli, og dette gir igjen usikkerhet ved modellframskrivningene (Hanssen-Bauer et al. 2009).

**Ufullstendig kunnskap** er en kilde til usikkerhet fordi klimasystemet er komplisert, og at man aldri vil kunne opparbeide seg fullstendig kunnskap om hvordan klimaet fungerer. Av denne grunn er det umulig å lage en perfekt klimamodell, og det vil alltid følge en grad av usikkerhet i resultatene fra modellene (Hanssen-Bauer et al. 2009).

### 3.6 Oppsummering

Klimaendringer er et faktum, og uansett hvor mye vi klarer å redusere endringene gjennom redusert klimagassutslipp, må vi til syvende og sist tilpasse oss de klimaendringene som vil komme (Selstad 2010). De samfunnsmessige tilpasningene kan bli omfattende. Hvor omfattende tilpasningene blir i forskjellige samfunn, har sammenheng med hvor stor sårbarhet utviklingen har medført og i hvilken grad samfunnet er eksponert for klimaendringene.



Figur 14: Sammenhengen mellom eksponering og sårbarhet for vær- og klimahendelser og konsekvensen og sannsynligheten for skader. Figuren er oversatt. (IPCC 2010).

### 3.7 Klimafaktor

Det er knyttet stor usikkerhet til hvordan utviklingsforløpet til ekstremregn vil være i tiden fremover. Man kan stille spørsmål om hvor store endringer som er forventet og hvor hurtig de vil komme. DANVA nevner i sin Klimakogebog (2011) at det kan forventes en endring på 20 – 50 % i løpet av perioden 1960-1990 til 2070-2100. Det blir også nevnt at modellberegninger viser at det er stor variasjon fra område til område, og at noen områder kan forvente en endring på opptil 100 %. Endringene ser ut til å variere uten at det kan forklares ut ifra topografi eller geografi, og kan derfor betegnes som tilfeldige. DANVA har derfor valgt å anbefale samme klimafaktor for hele landet. Dataanalysene viste at det var en tendens til at faktoren var voksende med stigende gjentaksintervall.

Tabell 4: Anbefalte klimafaktorer (DANVA 2011).

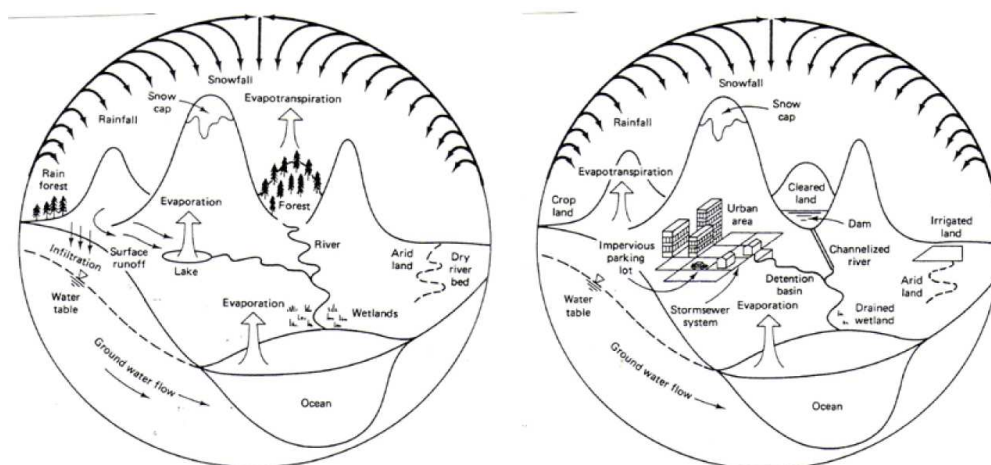
Gjentaksintervall:	2 år	10 år	100 år
Klimafaktor:	1,2	1,3	1,4

DANVA (2011) nevner følgende at grunnlaget for å beskrive utviklingen til ekstremregn for resten av dette århundret fortsatt er beskjedent, og at det i planleggingen må innregnes en lineær stigning i faktoren gjennom det neste århundret.

I den nye veilederen for klimatilpasset overvannshåndtering, vil Norsk Vann med grunnlag i undersøkelser gjort i Danmark, Storbritannia og Sverige anbefale at et tillegg på ca. 50 % på IVF-kurver utarbeidet før 2011 (Lindholm 2012).

## 4 Urbanhydrologi

Urbanhydrologi omfatter det hydrologiske kretsløpet i bebygde områder, både over og under bakken. Temaet har blitt meget aktuelt i dagens samfunn, som følge av at økt urbanisering, klimaendringer og aldring av infrastruktur gir økte avrenningsproblemer og hydrologiske utfordringen i Norske byer (Norsk hydrologiråd 2011).



Figur 15: Det hydrologiske kretsløp i ubebygde område (venstre) og bebygde område (høyre) (Norsk hydrologiråd 2011).

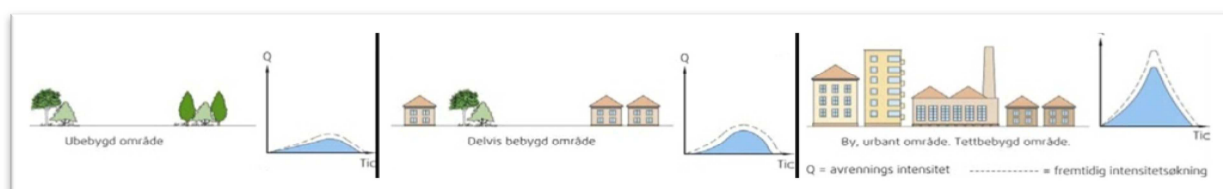


Utbygging og urbanisering fører til større arealer med impermeabilitet eller redusert permeabilitet. Det vil si tette overflater vannet ikke klarer å trenge gjennom, eller overflater med redusert gjennomtrengelighet. Endringer i permeabilitet endrer karakteren til nedbørsfeltet og vannbalansen, og fører til utfordringer i nedbørsfeltet. De viktigste hydrologiske effektene av urbanisering er (NVE 2009):

- Økt overflateavrenning både av intensitet og volum
- Redusert infiltrasjon
- Redusert fordampning
- Senkning av grunnvannsstanden

Disse effektene har flere praktiske konsekvenser (NVE 2009):

- Større fare for oversvømmelse av hus, veier og anlegg
- Setningsskader på hus og anlegg samt vegetasjonsuttørring
- Økt påkjenning på resipient, både volum- og forurensningsmessig



Figur 16: Effekten av avrenning over tid som funksjon av økt fortetting (Norsk hydrologiråd 2011).

Disse effektene kombinert med klimaendringene gir økt avrenning og kapasitetsproblemer for avløpssystemet.

#### 4.1 Avløpssystemet

Det er viktig med gode avløpssystemer på grunn av innvirkningen av menneskelig aktivitet på den naturlige vannsyklusen i bebygde områder. Denne menneskelige innvirkningen har to hovedformer: utnyttelse av vann fra den naturlige syklusen for å tilfredsstille vannbehovet i bebygde områder, og fortetting som fører til flere impermeable flater og avrenning bort fra de naturlige avløpsveiene (Butler & Davies 2011).

Disse to hovedformene gir opphav til to avløpsformer som må håndteres på en forsvarlig måte (Butler & Davies 2011):

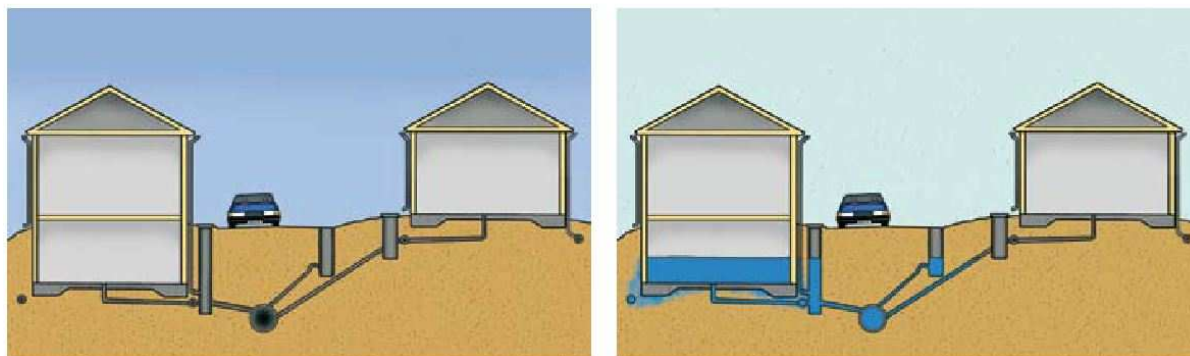
- **Spillvann** er vann som er brukt av forbruker. Dette vannet har etter det er brukt, i husholdning eller industri, et innhold av oppløst- og suspendert stoff. Disse stoffene utgjør en potensiell helserisiko for befolkningen i bysamfunnet.
- **Overvann** er regnvann som faller på et utbygd område. Hvis dette vannet ikke blir håndtert på en forsvarlig måte, kan det føre til oversvømmelse og dermed en helserisiko for bysamfunnet.

Det overordnede målet for avløpssystemer er å håndtere disse to avløpsformene, slik at helsemessig risiko blir minst mulig for byens befolkning og områdene rundt, mens de funksjonsmessige kravene til et avløpssystem primært er at det samler og transporterer de to overnevnte avløpstypene på en slik måte at det ikke medfører noen helsemessig risiko for befolkningen (Winther 2006).

Elver som gikk gjennom områder som var under utbygging ble i mange tilfeller tidligere lagt i kulverter og rør, og ble dermed en del av avløpsnett. Dette har i senere tid ført til kapasitetsproblemer både i nettet og i renseanlegg. Kapasitetsprobleme kan føre til oppstuvning i nettet og flom ved store regnhendelser samt mye vann i overløp. En slik måte å drive kommunalteknikk på er nå forbudt, og mange kommuner jobber for å åpne og rense disse tidligere byvassdragene.

Avløpsvann skal i prinsippet transporteres fra kilden (bebyggelse og arealer), renses tilstrekkelig, før det føres til godkjent resipient (grunnvann, innsjø, hav eller elv) (Bøyum & Thorolfsson 2001; Winther 2006). Dette er historisk sett gjort på mange måter, men i nyere tid er det to hovedsystemer som er regjerende; Fellessystem og Separatsystem (Winther 2006).

### Fellessystem



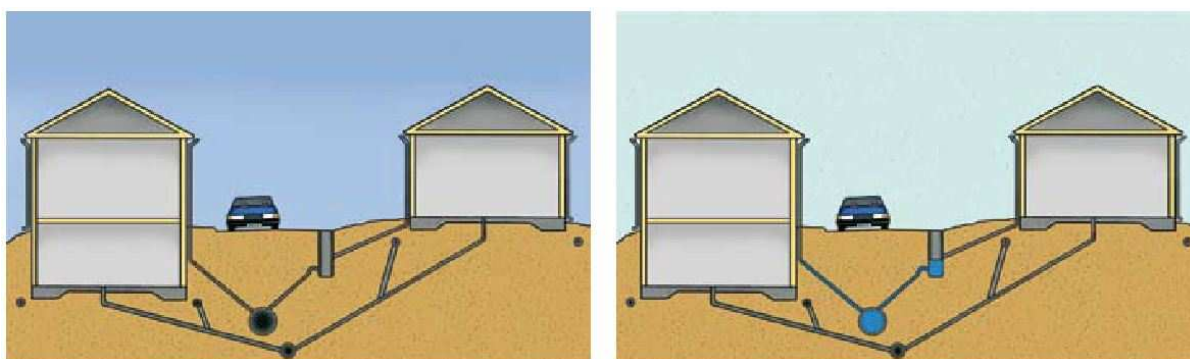
Figur 17: Fellessystem med og uten oppstuvning (Svensk Vatten 2007).

Fellessystemet omfatter transport av spillvann fra bygninger og regnvann fra overflater i felles ledning frem til renseanlegg, og var frem til 1960 hovedmåten avløpsvann ble transportert på (Fredrikstad kommune 2007a). Systemet har enkel struktur og oppbygning, og er relativt sett billig å anlegge, samt at både spillvann og overvann blir renses i renseanlegg før utslipp til resipient. Sistnevnte er fordelaktig hvis overvannet er forurenset. Fellessystemet er i nyere tid derimot ikke sett på som hensiktsmessig, da regnvannsavrenningen kan bli 50 til 100 ganger spillvannsavrenningen og føre til oppstuvninger i nettet, samt at store mengde forurenset vann går i overløp<sup>4</sup> og videre

<sup>4</sup> Et overløp trer i kraft når avrenningen blir større en dimensjonert videreført vannmengde. Overløpene har mange utforminger og fraskillingsgrader, men felles for dem alle er at de slipper ut urenses avløpsvann direkte til resipient.

urenset til resipient. De fleste renseanlegg er kun dimensjonert for 2-3 ganger spillvannsavrenningen (Butler & Davies 2011; Lindholm 2008). Oppstuvning og overløp kan føre til helsemessige ulemper, da spillvann med innhold av helseskadelige komponenter kan komme i direkte kontakt med mennesker. Et annet aspekt er at spillvann inneholder store mengder næringsalter (nitrogen og fosfor) som ved direkte utslipp kan føre til eutrofiering i resipient. I Renseanlegget vil Konsentrasjonen av forurensninger i perioder med regn bli tynnet ut, noe som kan føre til redusert rensegrad og større utslipp av miljø- og helseskadelige stoffer (Butler & Davies 2011).

## Separatsystem



Figur 18: Separatsystem med og uten oppstuvning (Svensk Vatten 2007).

Separatsystemet kom inn i bildet på 1950-tallet, da man så problemene med utslipp av urenset spillvann som oppstår når overløpene trer i kraft ved regn. Separatsystemet transporterer overvann og spillvann i separate ledninger ofte lagt i samme grøft. Spillvannsavløpet varierer over dagen, men spillvannsledningen er dimensjonert for maksimal spillvannsføring slik at oppstuvning ikke skal forekomme. Overvannsledningen er dimensjonert for et gitt gjentakintervall og oppstuvning eller oversvømmelse vil som regel ikke skje mer enn en gang i løpet av 10 til 50 år (Lindholm 2008). Dette er et kostbart system, men fordelene med separatsystemet er mange (Butler & Davies 2011):

- Overløp er ikke nødvendig, og utslippene relatert til disse blir avverget.
- Hvis kjelleroversvømmelser skulle inntre, vil vannet være forholdsvis rent og det vil bli mindre helsefare relatert til slike hendelser.
- Det er i de fleste tilfeller ikke nødvendig å rense overvannet, og det kan slippes urenset til resipient.
- Renseanleggene vil oppleve jevnere og lavere tilførsel av avløpsvann med jevnere konsentrasjon, noe som gjør renseprosessen mindre kostbar og komplisert.
- Investeringskostnadene blir høyere, men besparelser innen energi og arbeidstimer, siden mindre avløpsvann må renses ved renseanlegg, vil føre til besparelser i det lange løp.

Selv om separatsystemene har flere fordeler, må også noen negative sider nevnes. De negative effektene relaterer seg til det faktum at perfekt separasjon er nesten umulig å oppnå. For det første er det vanskelig å forsikre seg om at forurenset vann kun blir transportert i spillvannsrørene, da det er observert feilkoblinger i mange systemer. For det andre kan overvannsledninger bli tilført forurensninger ved bla. tilrenning over forurensete flater eller lekkasje fra spillvannsledningen.

## 4.2 Lokal overvannshåndtering

God overvannshåndtering baserer seg på å opprettholde eller tilbakeføre den naturlige vannbalansen (naturtilstanden) i et urbant område ved å fordrøye og redusere/infiltrere overflateavrenningen på en fremtidsrettet og bærekraftig måte. Dette kan gjøres ved å minimalisere effekten av menneskelige inngrep gjennom hydrologisk orientert arealplanlegging og bruk av velfungerende håndteringsmetoder (Bergen kommune 2005). Det må også nevnes at "løsningene skal tilføre kvaliteter til omgivelsene og at de valgte løsningene må fungere godt ved vanlig nedbør, ved flom og i tørrvær" (Lindholm 2008). Et slikt syn på vannet strider mot den tradisjonelle overvannsteknikken, hvor vannet utelukkende var sett på som et problem og skulle føres raskest mulig ned i sluk og bort i rør. I nyere tid har den tradisjonelle metoden i mange tilfeller vist seg ikke å være tilfredsstillende og lokal overvannsdiskonering (LOD) har dermed fått sitt innpass (Lindholm 2008).

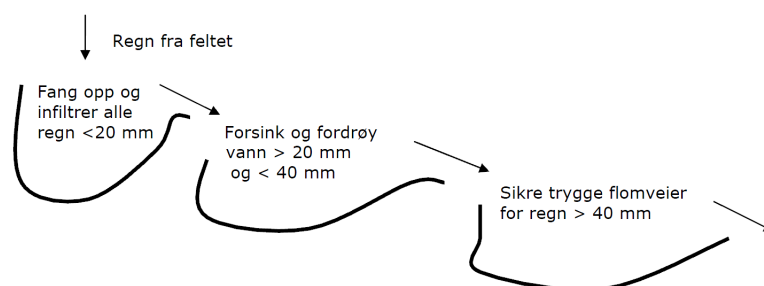
Visjonene for en helhetlig og god overvannshåndtering er å "håndtere overvannet i størst mulig grad på overflaten som en synlig del av vassdraget og bybildet" (Lindholm 2008) og hovedvisjonene kan oppsummeres i (Lindholm 2008):

- **Forebygge skader**  
Overvannet skal håndteres slik at tilfredsstillende sikkerhet for liv, helse og miljø oppnås. Vannforurensning skal reduseres.
- **Utnytte overvann som ressurs**  
Overvannet bør utnyttes som positivt landskapselement i bymiljøet og for bruk til rekreasjonsformål.
- **Styrke biologisk mangfold – bymiljøet**  
Gjennom infiltrasjon, bruk av åpne vannveier og dammer skal det biologiske mangfoldet fremmes.

Tidligere overvannshåndtering ble kun betraktet som et kapasitetsproblem. I nyere tid har prinsippet om en langsiktig og bærekraftig overvannshåndtering ført til at forurensnings- og miljøspørsmål også må tas med i planleggingen. Lokal overvannshåndtering (LOD) baserer seg på å holde overvannet i området ved fordrøyning og reduksjon av overvannsavrenningen, samt å unngå at overvannet blir forurenset. LOD ser systemet som en helhet og bygger på metoder og teknikker som omfatter mange fagdisipliner, som blant

annet arealplanlegging, landskapsarkitektur, urbanhydrologi, hydraulikk, hydrometri, meteorologi/klimaforskning, vannkjemi, geologi/geoteknikk, VA-teknikk, biologi, økologi mm. Dette fører til at innføring av LOD tiltak er en tidkrevende prosess hvor planleggingen må skje i mange ledd. Samtidig vil man med en god, helhetlig og fremtidsrettet overvannshåndtering senke kostnader ved utbygging i sammenheng med kapasitetsutbedring for de kommende generasjonene i tillegg til å øke kvalitetene i allerede utbygde områder.

LOD-tiltak baserer seg på en treleddsstrategi hvor vannet skal infiltreres, forsinkes, fordrøyes og avledes trygt, alt etter størrelsen på regnet.



Figur 19: Treleddsstrategi. Illustrasjon for håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt (Lindholm 2008).

Prinsippet er at første ledd som regel klarer å infiltrere eller holde tilbake vannet i regn med små nedbørsmengder. Når det faller større regn, vil de overskytende vannmengdene renne videre til anlegg som forsinker og fordrøyer avrenningen. Ved store nedbørshendelser, vil systemet normalt ikke klare å håndtere avrenningen alene, og det blir viktig å avlede vannet i trygge flomveier. LOD baserer seg på teknologi som simulerer naturlige prosesser, og det finnes en rekke tiltak som går inn under LOD-kategoriene (Lindholm 2008). Løsningene vil bli nevnt inngående i kapittel 5.2 og 5.3 men noen hovedprinsipper listes allikevel opp under:

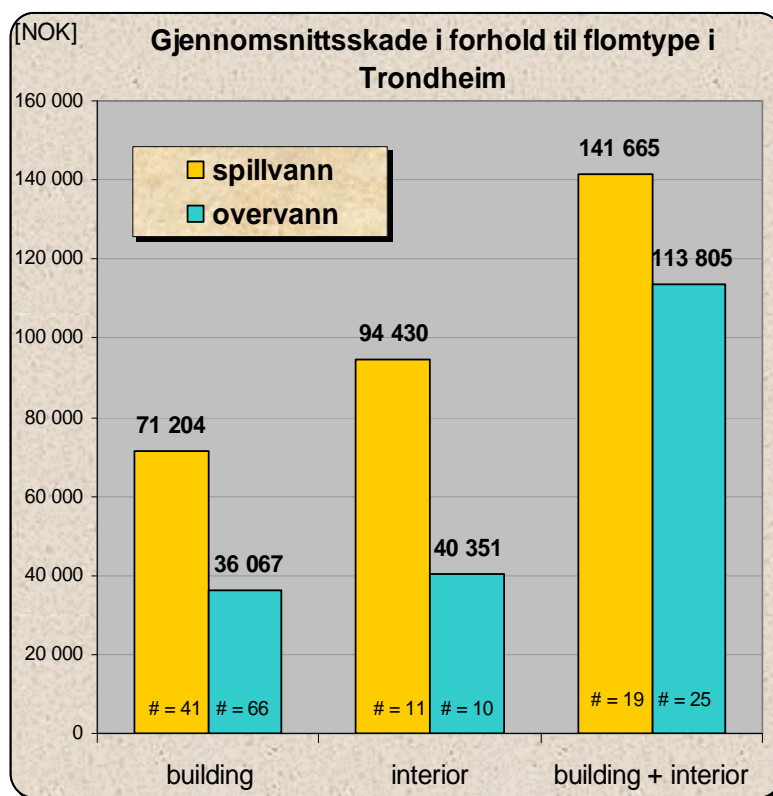
- Infiltrasjon i form av konstruerte grøfter og infiltrasjonsbassenger
- Frakobling av tette flater, med drenering til grøntområder (infiltrasjon og fordrøyning)
- Dammer og dype grøfter (fordrøyning)
- Grønne tak (fordrøyning)

## 5 Kostnader

Ekstreme regnhendelser representerer store kostnader i form av skader på bygg og infrastruktur, og fører også til samfunnsmessige kostnader i form av tapte arbeidstimer og andre ulemper.

### 5.1 Kjellerskader

Norske kjellere har utviklet seg fra å være et sted man hadde potetbingen, fryseboksen og et vaskerom til å bli beboelsesrom med tv-stuer, gjesterom og hobbyrom som alle representerer store verdier (IF 2006). Ved en kjellerskade er dette verdier som må bli erstattet av forsikringsselskaper, huseier eller kommunen, alt etter om huseier har tilstrekkelig forsikring eller om hendelsen er av en slik art at kommunen må ta på seg skylden. Uansett representerer kjelleroversvømmelser store verdier, og gjennomsnittsskade for enkelthus i Trondheim er vist i Figur 20.



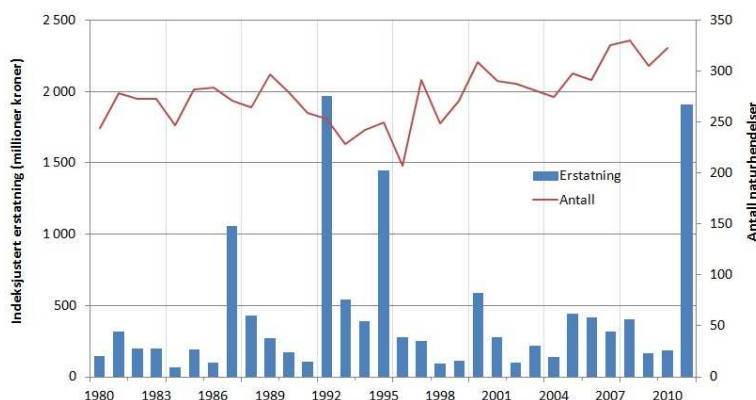
Figur 20: Gjennomsnittsskade i forhold til flomtype i Trondheim (Schilling et al. 2004).

En annen ulempe med kjelleroversvømmelser er usikkerheten rundt når dette vil skje igjen. Kvaliteten til boligen kan dermed bli senket i betydelig grad, noe som medfører at boligene får lavere verdi for en potensiell kjøper. Kjelleroversvømmelser er derfor meget kostbare både samfunnsmessig og økonomisk.

### 5.2 Samfunnsøkonomi

Det vil i fremtiden være større grad av risiko knyttet til endringene i klima, både for enkeltpersoner og samfunnet generelt. Forsikringsselskapene må årlig ut med flere hundre

millioner kroner i erstatningspremie for skadetilfellene som er definert som naturskader, og trenden er forventet å stige mot år 2100 (FNO 2011). I 2011 ble hele året preget av flere store naturskadehendelser, og erstatningene etter skade på bygninger og lignende kom på ca. 1,9 milliarder kroner. Ikke siden 1992 har det vært utbetalt lignende erstatningssummer (FNO 2012).



**Figur 21:** “Grafen viser antall naturskader og erstatninger etter naturskader i perioden 1980-2011. Erstatningene er oppgitt i faste 2011-priser der det har blitt justert for endringer i konsumprisindeksen” (FNO 2012).

I rapporten “State of the Nation”, utarbeidet av RIF (2010), er det gjort en tilstandsvurdering av infrastrukturen i Norge. Her er områder innen norsk infrastruktur vurdert, hvor de verst stilte områdene er kommunale bygg, avløp, riks- og fylkesvei og jernbane. De forskjellige områdene er gitt en karakter i forhold til dagens tilstand, tendens og fremtidssikring, og avløpssektoren kommer dårligst ut av samtlige. “Tilstandskarakteren benytter en karakterskala fra 1 til 5, hvor 1 er laveste oppnådde resultat, og 5 er høyeste oppnådde resultat. Tendensen er veksten i 2009, det vil si 2008 målt mot 2009 og gir en indikasjon på om området har fått forbedret, forverret eller nøytral tilstand i forhold til foregående år. Fremtidssikringstendensen er dannet på grunnlag av tilstandskarakteren, tendensen og planlagt innsats frem mot 2020 og viser sektorens evne til å tilpasse seg den fremtidige utviklingen og de krav og behov som stilles” (RIF 2010).

### Tilstand

Kommunale avløpsanlegg har blitt tildelt tilstandskarakter 2, som vil si at “anlegget er i en dårlig forfatning, funksjonaliteten er truet og det kreves umiddelbar innsats for at funksjonaliteten ikke skal reduseres” (RIF 2010). Det nevnes at “på grunn av dårlige avløpsledninger er det dokumentert et stort antall kloakkstopper og kjelleroversvømmelser som indikerer en mangelfull standard på ledningsnettets i de fleste kommuner” (RIF 2010).

## Tendens

Fornysesgraden på ledningsnettene er betegnet som alt for lav i forhold til behovet, og tendensen viser en forverret tilstand i forhold til foregående år. Fornyelse av avløpsnettene er ansett som "avgjørende for å forhindre skader på bebyggelse og utilsiktet forurensing av miljøet som følge av lekkasjer og tilstopninger" (RIF 2010).

## Fremtidssikring

Klimaendringene vil føre til økt hydraulisk belastning som gir krav til utarbeidelse av nye retningslinjer for dimensjonering og strukturelle endringer eller oppjusteringer. Blant annet det faktum at flere kommuner ikke har oppdatert hovedplanen for vann og avløp, gir avløpssektoren en lav karakter for fremtidssikring.

For å få tilstandskarakteren opp på nivå 4, forventes det en investering for både vann og avløp på rundt 110 milliarder kroner, som er hele 23 % av gjenanskaffelsesverdien.

VA-bransjen er per dags dato selvfinansierende, hvor vann og avløpsgebyrer satt av kommunen gir grunnlag for investeringer. Da lokalpolitiske forhold medfører vegring fra å øke gebyrene, til nivåene våre naboland opererer med, medfører dette at færre midler går til investering og renovasjon. Det er også en differanse i vann- og avløpsgebyrene fra kommune til kommune, noe som medfører at det kan bli dyrere for innbyggerne å bo i visse kommuner og billigere i andre. Dette fører til konkurranse mellom kommunene, og vann- og avløpsgebyrene blir derfor presset ned for å fremme innflytning og nybygging. Det faktumet at forfallet er skjult i bakken, virker også inn på vegringen mot å investere. I masteroppgaven til Olsen (2011) lister han opp en rekke forhold det er viktig å poengtere:

- Informasjon i henhold til innbyggernes belastning på VA-systemene er uvisst på mikronivå. Dette fører til at det er vanskelig å gebyrlegge enhver innbygger etter virkelig belastning og kostnad. Administrasjonskostnader ved et slikt gebyrsystem kan dessuten antas å være uforholdsmessig høy.
- VA-sektoren kan bli brukt som et instrument for å føre ønsket lokalpolitikk. Ønske om et høyere innbyggertall og mer tilflytning kan føre til høy fortetting og uheldig utbygging i forhold til hva som er optimalt. Dette er et eksempel på at interessegrupper kan påvirke VA-sektoren til endret adferd i forhold til hva som er samfunnsøkonomisk optimalt.
- VA-sektoren er på grunn av store transaksjonskostnader knyttet til flytting i en posisjon for å kunne utøve markedsmakt, og selvkostprinsippet som VA-sektoren drives etter gir ikke i seg selv tilstrekkelige økonomiske insentiver til å minimere kostnader eller opprettholde kvalitet i henhold til økonomisk teori på området.
- Ved funksjonssvikt som skyldes overskridelser av dimensjonerende normer vil store deler av skaden dekkes av nasjonal forsikringsbransje, noe som gir svakere



økonomisk signal til å investere i mer kapasitet og større sikkerhet, enn hva som kan tenkes samfunnsøkonomisk optimalt, da kostnadene ved oversvømmelser ikke må dekkes av kommunen og lokalsamfunnet alene.

- Det er knyttet stor usikkerhet til samfunnsøkonomisk endring av nytte i forhold til endret risiko for svikt i VA-sektoren. De faktiske kostnadene for personene det gjelder, avhenger av om personene er risikoavers eller risikovillige.
- Samfunnsøkonomiske analyser kan ikke behandle alle mulige forhold i en beslutningsfase, og de kan dermed ikke være eneste beslutningsmoment.

Det er også viktig å poengtere at kommunene i prinsippet har penger, det er bare et spørsmål om de vil heve VA-gebyrene eller ikke. Det er også økt interesse fra politisk hold til å investere i infrastruktur som omfatter vann og avløp i følge Ræstad (2012). Problemet ligger på vilje og kompetanse i kommune-Norge (Ræstad 2012).

Watt et. Al (2003) har vurdert fordeler og ulemper ved flere klimatiltak som kan implementeres i et utbygd område. Det er også gjort vurderinger av tiltakenes effekt på miljø, samfunn og estetikk. Disse vurderingene er oversatt av Olsen (2011) og vises under:

Tabell 5: Oversikt over fordeler og ulemper knyttet til tiltak mot økt avrenning fra urbane områder (Olsen 2011).

Tiltak	Fordel	Ulempe
Utskiftning av rør <ul style="list-style-type: none"> <li>• Installasjon av større rør for å hindre oversvømmelse.</li> </ul>	Øker kapasiteten for røret slik at bortledingen av ønskede vannmengder er mulig.	For store kostnader hvis rørene ikke må skiftes på grunn av annet vedlikehold.
Frakobling av tette flater <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frakobling av takflater, slik at vannet drenerer til grøntområder.</li> </ul>	Reduserer vannmengdene inn i avløpssystemet og reduserer vanningsbehovet.	Det kan være vanskelig å motivere huseiere til å gjennomføre tiltaket, og tilgjengelig areal kan være for lite til å ta hånd om vannmengdene fra taket. Vann kan renne til naboer på overflaten.
Øke overflatemagasineringsen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lede avrenningen på overflaten til offentlige plasser.</li> </ul>	Vann kan ledes til permeable flater og i infiltrere ned i grunnen.	Offentlige områder som benyttes vil være utilgjengelige i perioder etter kraftig regnvær.
Redusere mengder regnvann som drenerer til avløpet <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strupe gatesluk etc. og bruke gater og parkeringsplasser for midlertidig overflatemagasineringsen.</li> </ul>	Overflatevann kommer ikke inn i avløpssystemet.	Vann i veien kan hindre trafikk, og vannet kan samles opp på privat grunn, hvis tiltaket ikke planlegges godt nok.
Øke volumet i dammer <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifisere utløpsarrangementet og endre arealet av dam.</li> </ul>	Overflatevann kommer ikke inn i avløpssystemet.	Dette tiltaket kan medføre store byggekostnader. Ør det kan være problemer med å anskaffe nødvendig areal.
Infiltrasjon <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstruere grøfter og infiltrasjonsbassenger.</li> </ul>	Avrenning infiltrerer til grunnen.	Dette krever at grunnen har infiltrasjonskapasitet.

Tabell 6: Oversikt over eksterne implikasjoner ved tiltak mot økt avrenning fra urbane områder (Olsen 2011).

Tiltak og fysisk beskrivelse	Type implikasjon		
	Miljø	Samfunn	Estetikk
Utskiftning av rør <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utgravning, fjerning og utbytting av rør.</li> </ul>	- øker fluks til resipient (f. eks økt fare for erosjon) (4)	- ingen virkning på samfunnet (3)	- under utførelse <sup>11</sup> (5) - etter fullføring (ny asfalt etc.) (1)
Frakobling av tette flater <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vann fra tak ledes til plen og avrenning kan infiltrere</li> </ul>	- effektiv reduksjon av vannstrøm i avløpsnett (1) - mulighet for å øke grunnvannet i urbane områder (1)	- reduserer behovet for vanning (2) - vann kan komme på naboens eiendom (2)	- ingen opplagte estetisk på virkning (3)
Økt overflatelagring av vann <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tilrettelegging av offentlig land slik at avrenning er lagret med mulighet til å infiltrere</li> </ul>	- reduserer vann i avløpssystemet (2) - mulighet for å opprettholde grunnvannet (2) - konsentrasjon av forurensing på gress (4)	- området kan ikke benyttes etter gitte regnhendelser (f. eks så må de dreneres og tørkes) (4)	- det kan gro ugress på diker (4) - stille overflatevann kan være habitat for mygg (4)
Redusere mengder regnvann som drenerer til avløpet <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strupe gatesluk etc. og bruke gater og parkeringsplasser for midlertidig</li> </ul>	- reduserer regnvann inn i systemet, som igjen reduserer faren for erosjon (2)	- vann i gaten kan påvirke trafikk (4)	- ingen opplagte estetisk på virkning (3)

I Tabell 6 blir implikasjonene vurdert etter:

1. Store positive følger
2. Små positive følger
3. Ingen opplagte følger
4. Små negative følger
5. store negative følger

### 5.3 Investeringskostnader

Alle tiltak vil i større eller mindre grad medføre investeringskostnader, rehabiliteringskostnader og vedlikeholdskostnader. Da LOD tiltak er et relativt nytt felt innen overvannshåndteringen er det begrenset informasjon om kostnader, spesielt drift- og rehabiliteringskostnader i tillegg til levetid er lite dokumentert. I tabellen under er estimerte kostnader for forskjellige tiltak listet opp, med grunnlag i et samledokument Lindholm (2012) har laget og egne vurderinger i samarbeid med Skallebakke (2012).

Tabell 7: Investeringskostnad, driftskostnad og levetid for utvalgte tiltak. tallene er basert på kostnader samlet inn av Lindholm (2011) og grove estimater utarbeidet i samarbeid med Lindholm (2012) og Skallebakke(2012) (Lindholm 2012; Skallebakke 2012).

Tiltak	Investeringskostnad	driftskostnad	Levetid (år)
Utskiftning av rør (Konvensjonelt)	Ca. 4500 kr/m	Lav og varierende for overvannsnett	Ca. 100
Frakobling av takareal (tette flater) (Infiltrasjon)	Ca. 20 kr/m <sup>2</sup>	Lav og gjøres av den enkelte huseier	Ca. 100
Økt overflatelagring av vann (Fordrøyning)	Ca. 5000 kr/m <sup>3</sup>	Kostnader knyttet til estetikk (ukjent)	Høy levetid ved riktig anleggelse (ca. 100)

## 6 Modellmiljø

Modellmiljøet som blir brukt i denne oppgaven er en sømløs integrasjon mellom MIKE URBAN og ArcMap med tilleggsmodulen ROSIE.

ArcMap er et ArcGIS<sup>5</sup> verktøy brukt til å skape og visualisere ulike typer geografisk data, inkludert kart og kartfunksjoner. ArcMap kan også brukes til å løse grunnleggende geografiske spørsmål om plassering, størrelse og sammenstillinger. En av ArcMap's mest kraftfulle funksjoner er evnen til å tilpasses spesifikke analyseringsverktøy via sitt tilpasningsdyktige grensesnitt (GLOBE 2009). Det er sistnevnte mulighet ROSIE benytter seg av.

ROSIE er en tilleggsmodul utviklet av ROSIM AS. Denne tilleggsmodulen inkluderer beregningsmotorer for både vann- og avløpssystemer spesielt tilpasset norske standarder og forhold. Kartdata fra Gemini VA, som er et kartleggingsprogram brukt av de aller fleste kommunene i landet, kan effektivt importeres eller eksporteres fra eller til ArcMap ved bruk av ROSIE, samt at prosessene med modelloppbygning, beregninger, resultatpresentasjon er forenklet.

### 6.1 Mike Urban

Mike Urban er et fleksibelt system for modellering av vanddistribusjons- og avløpssystemer i et GIS miljø. Systemet bygger på beregningsmotoren fra MOUSE men med forbedret grensesnitt. Begge programmene er utviklet av DHI (Danmarks Hydrologiske Institutt) og brukes daglig i alle verdensdeler. Mouse er bygget opp av en rekke moduler som hver for seg tar for seg og behandler ulike problemstillinger (DHI 2009b) hvor de viktigste for denne oppgaven er uthevet under:

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

---

<sup>5</sup> **ArcGis** – Flaggskipet til ESRI (Environmental Systems Research Institute) innen Geografiske InformasjonsSystemer (GIS). Software som inkluderer en rekke integrerte programmer for å behandle, skape, prosessere, analysere og gi rapporter om geografisk data.

### 6.1.1 Mouse runoff

Modulen Mouse runoff beregner overflateavrenningen og dermed overflatens bidrag til ledningsnettets. Beregningen av overflateavrenningen kan gjøres på fire forskjellige måter, hvor blant annet tilgjengelig data og ønsket kompleksitet bestemmer valget av metode eller modell. De forskjellige konseptene som kan brukes er:

- Tid- areal metoden (Modell A)
- Ikke lineære kar (kinetisk bølge) (Modell B)
- Lineært kar (Modell C)
- UHM – Unit hydrograph model (Modell D)

Det er viktig å ha god kunnskap og forståelse om de forskjellige modellene, da beregning av samme situasjon i forskjellige modeller kan gi svært forskjellige resultater.

Felles for alle modellene er at de bruker samme data for nedbørsfeltet. Disse dataene består av informasjon om nedbørsfeltets areal, ledningsnettets beliggenhet, forskjellige typer flater, tillrenningspunkter, grunnvannsstand, innbyggertall og innlekking av fremmedvann. Annen nødvendig informasjon om feltet bestemmes av modellen som blir brukt.

Modell B og C krever store mengder data med god nøyaktighet, spesielt om nedbørsfeltets grunnforhold, infiltrasjonskapasitet og flatenes ruhet. Disse dataene finnes normalt ikke for nedbørsfelt i Norge, da det er en tidkrevende prosess å samle inn denne typen informasjon. UHM (unit hydrograph model) er et alternativ til de andre avrenningsmodellene og brukes der avrenningsdata ikke er tilgjengelig eller hvor UHM er veletablert. UHM kalkulerer det overskytende regnfallet ved å anta at tapet grunnet infiltrasjon er satt konstant, proporsjonalt til nedbørintensiteten eller ved bruk av SCS<sup>6</sup> metoden (DHI 2009c). Med bakgrunn i dette og tilgjengelige data er Tid- arealmetoden brukt i denne oppgaven.

#### 6.1.1.1 Tid- arealmetoden

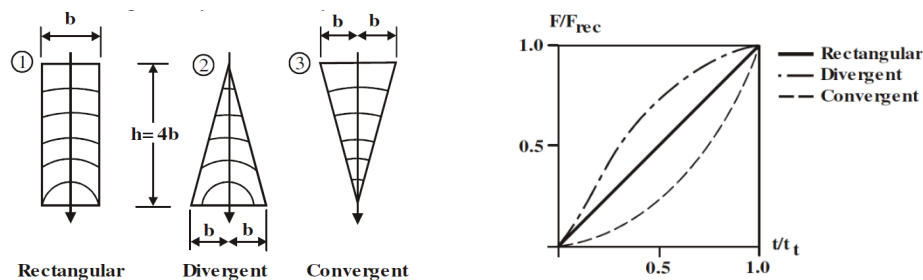
Tid- arealmetoden baserer seg på den rasjonelle formel hvor avrenningen kontrolleres av et initialtap, størrelsen på det bidragende feltet og et kontinuerlig hydrologisk tap. Spesifikke data for denne modellen er prosent tette flater som antas å ha en bidragende effekt på avrenningen. Denne typen data blir beregnet på bakgrunn av GIS data som er lagt inn i modellen og antagelser om hvor mye vann som renner av de forskjellige flatene og inn i ledningsnettets. På denne måten gis arealet to verdier: impermeabelt areal og permeabelt areal. De hydrologiske parameterne modellen bruker er listet under:

- **Initialtap** – Definerer nedbørsmengden (m) som kreves for at overflateavrenningen skal finne sted. Dette er en engangskompensasjon for tapet som består av våtgjøring og oppfylling av nedsenkninger i terrenget.

---

<sup>6</sup> SCS - Empirisk modell for uttak av regn som er basert på jordens potensiale for å absorbere en viss mengde fuktighet

- **Hydrologisk reduksjon** – Er en avrenningsreduksjonsfaktor som tar høyde for vanntap som effekt av blant annet evapotranspirasjon og grad av permeabilitet i det bidragende feltet.
- **Tid- arealkurve** – Denne parameteren bestemmes av arealets form, hvor en dertil egnet tilgjengelig T/A kurve blir brukt i beregningene. Det er tre tilgjengelige forhåndsdefinerte T/A kurver:
  - 1 – Rektangulært nedbørsfelt
  - 2 – Divergent nedbørsfelt
  - 3 – Konvergent nedbørsfelt



Figur 22: De tre forhåndsdefinerte tid- arealkurvene tilgjengelig i Mouse (DHI 2009c).

- **Tid- areal koeffisient** – Er en videreutvikling av T/A kurven, hvor man ved hjelp av en koeffisient kan beskrive kurver som ligger mellom de to forhåndsbestemte kurvene (konvergent og divergent). Dette er en del av autokalibreringsmuligheten som ble introdusert i 2002 og vil ikke bli brukt i denne oppgaven.
- **Konsentrasjonstid** – Definerer tiden det tar (min) for vann å renne fra det fjerneste punktet i feltet til utløpet.

### Avrenningsberegning

Kalkuleringen av avrenningsprosessen er delt opp i tid over tidssteget  $\Delta t$ . Antagelsen om konstant avrenningshastighet gir derfor mulighet for å dele opp feltet i konsentriske sirkler med senter i utløpet. Vist i Figur 22. Antall celler ( $n$ ) er gitt ved:

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

*Hvor:  $t_c$  er konsentrasjonstid og  $\Delta t$  er simuleringstidssteget*

Arealet til hver celle regnes ut på basis av den spesifiserte T/A kurven, hvor det totale arealet av alle cellene er det samme som det spesifiserte impermeable arealet. Avrenningen starter etter at nedbørintensiteten overskrider det spesifiserte initialtapet og stopper når den samme intensiteten går under initialtapet.

Ved hvert tidssteg etter at avrenningen har startet, blir det oppsamlede regnvolumet i hver celle forskjøvet nedstrøms til neste celle. Dermed er selve volumet i cellen beregnet som en kontinuitetsbalanse mellom tilsig fra oppstrøms celle, nedbør (multiplisert med cellens areal) og utstrømning til nedstrøms celle. Utstrømningen fra den siste cellen gir, etter at

hydrologisk reduksjon er tatt med i beregningen, den resulterende avrenningshydrografen (DHI 2009c).

### 6.1.2 Mouse pipeflow

Pipeflow modellen i MOUSE er et beregningsverktøy for simulering av ujevn strømning i rørnettverk ved varierende trykkforhold og -fuktet omkrets. Beregningene er basert på St. Vennants ligningssett som tar for seg dynamisk strømning. Dette gir muligheter for å simulere oppstuvning i kummer, tilbakestrømningseffekter, reversert strømning, utjevningssasseng, strømninger med fri overflate eller under trykk, samt tidevannseffekter. Ligningssettet som ligger til grunnlag for MOUSE pipeflow er listet opp under (DHI 2009a):

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{\partial Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} - gA(I_0 - I_f) = 0$$

Hvor:

Q = volumfluks	[L <sup>3</sup> /T]	[m <sup>3</sup> /s]
A = Arealet på det strømmende tverrsnitt	[L <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
y = vannspeilets høyde	[L]	[m]
g = tyngdeakselerasjonen	[L/T <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]
x = Avstand fra knutepunkt i rør eller kanal	[L]	[m]
t = tid	[T]	[s]
I <sub>0</sub> = Bunnens helning	[L/L]	[m/m]
I <sub>f</sub> = Helning pga. friksjon	[L/L]	[m/m]

Med dette ligningssettet kan MOUSE beskrive dynamiske bølger numerisk. MOUSE pipeflow bruker hydrogrammene, som beskriver hvor mye vann som entrer ledningsnettets til enhver tid, som er resultater fra MOUSE runoff og brukes som inndata i beregningene. Resultatene fra simuleringene er vannstand, trykk og volumfluks i alle deler av ledningsnettets (DHI 2009a).





# Del 3

## Casestudie

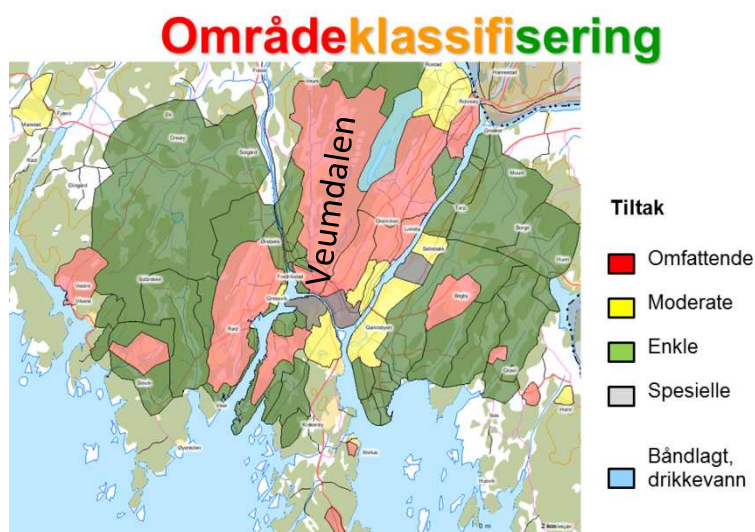


## 7 Fredrikstad kommune

Vann- og avløpstjenestene i Fredrikstad kommune er i sin helhet finansiert gjennom vann- og avløpsgebyrer pålagt husstandene. Grunnlaget for gebyrer er i all hovedsak knyttet til det kommunale VA-nettet, og det er ikke lov å kreve høyere gebyrer enn det som brukes på bygging, drift og vedlikehold av dette. Nå, når LOD stadig blir et større felt innen overvannshåndtering, faller mange LOD-utbyggingsmuligheter i regi av VA-etaten bort, da kostnader i sammenheng med arealinngrep ved bygging av vei-, og parkeringsareal ikke går inn under VA-gebyrene. Parkeringsarealer og veier er store bidragsyttere til den totale avrenningen, og Fredrikstad kommune ser det derfor som viktig å utforme bestemmelser som ivaretar finansieringen av drift og vedlikehold av åpne overvannssystemer, veier og parkeringsareal.

Fredrikstad kommune har i sin strategi for helhetlig overvannshåndtering gjort det klart at overvann i bebygde områder i størst mulig grad skal tas hånd om ved kilden, slik at vannbalansen opprettholdes tilnærmet lik naturtilstanden. De setter også fokus på at vann skal gjøres synlig i bymiljøet og til glede for innbyggerne, som er i tråd med norsk vann rapport 162 ("Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering"). Det er også lagt vekt på at overvannshåndteringen må samordnes med arealplanleggingen i kommunen, slik at prinsipper og løsninger for overvannshåndtering vurderes og fastsettes i kommuneplaner, kommunedelplaner, regulerings- og bebyggelsesplaner så vel som i den enkelte byggesak.

Fredrikstad kommune har opplevd økende problemer med overvann de siste årene, og de har derfor sett seg nødt til å sette i gang en rekke vurderinger og tiltak. En vurdering er en områdeklassifisering som beskriver problemområdene i Fredrikstad, og Veumdalen er et av områdene som har blitt klassifisert som et felt med omfattende behov for tiltak (Fredrikstad kommune 2007a) da det har vært mange skader knyttet til kjelleroversvømmelser i dette området.

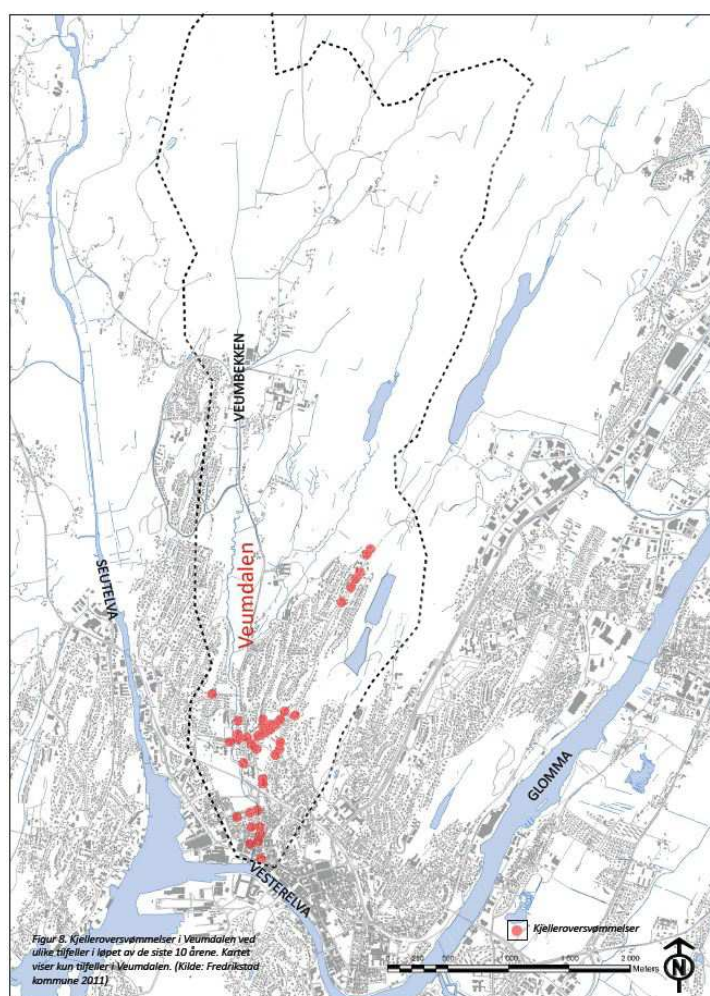


Figur 23: Figur 17: Områdeklassifisering Fredrikstad (Fredrikstad kommune 2007a).

### 7.1 Veumdalen

Veumdalen er et område midt i Fredrikstad kommune. Dette området omfatter nedbørsfeltet til Veumbekken, som er ca. 7km langt, og strekker seg fra skog- og jordbruksområder i nord til bysentrum i sør. Området har blitt utsatt for en rekke flomepisoder de siste årene grunnet ekstreme regnhendelser og for lav avledningskapasitet.

Oversvømmelsene har ført til vannskader i kjellere og andre ødeleggelser for flere titalls millioner kroner. Det toppet seg i 2002 da 250 kjellere i Veumdalen ble oversvømt etter et kraftig regn. Forsikringselskaper måtte til sammen ut med 14.5 millioner kroner til de berørte huseierne. Dette førte til at forsikringselskapene fremmet et regreskrav hvor de mente at kommunen måtte stilles til ansvar for vannskader som var forårsaket av tilbakeslag i avløpsnettet og førte til kjelleroversvømmelser. Kommunen tapte først i tingretten, men anket til lagmannsretten hvor det ble dømt i kommunens favør. Begrunnelsen til lagmannsretten var at regnhendelsen var av en slik dimensjon at den måtte regnes som en force majeure<sup>7</sup> hendelse. Dommen har, selv om den var i kommunens favør, vært en vekker for kommunen og ført til større pengebevilgninger fra politisk hold (Vadum 2011). Det bor ca. 8700 personer i feltet.



Figur 24: Kjelleroversvømmelser i Veumdalen ved ulike tilfeller i løpet av de siste 10 årene. Kartet viser kun tilfeller i Veumdalen (Vadum 2011).

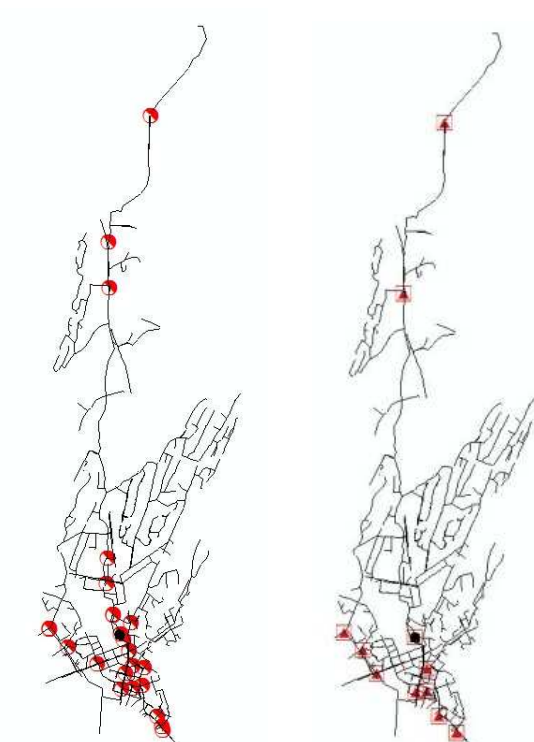
<sup>7</sup> **Force majeure:** er en uforutsett hendelse som ikke kan avverges. f.eks. brann, krigsutbrudd, naturkatastrofe, streik o.l. Kan etter omstendighetene fritas for oppfyllelse av kontraktsforpliktelsene (SNL 2012).

### 7.1.1 Rørsystemet

Rørsystemet i Fredrikstad er mange steder gammelt og slitt, og er bygget etappevis siden 1940 tallet. Avløpssystemet er 43 km langt hvor 39 % består av fellessystem og 61 % av separatsystem. Mye av separatsystemet i Veumdalen er bygget oppstrøms fellessystemet, noe som gjør at dette ikke er virksomt da vannet renner inn på fellessystemet før transport til rensesanlegg. Det er 15 pumpestasjoner og 24 overløp og nødoverløp i feltet.

Veumbekken, som tar unna store deler av overvannet er lagt i en ca. 800m lang kulvert gjennom hele sentrumsområdet. Denne kulverten er lagt med avvik fra det naturlige bekkeløpet som gikk 20-30 meter øst for hvor kulverten ligger nå, før utløpet i Vesterelva. Avløpsvannet blir pumpet ut av feltet via to hovedledninger, hvor en går østover langs Vesterelva og en går sørover over Vesterelva til Kråkerøya.

I Figur 25 ser vi en oversikt over ledningsnett i Veumdalen. Både spillvannsledningene (grønne) og overvannsledningene (blå) går under betegnelsen separatsystem. Grunnen til at det ikke er vist overvannsledninger nord i feltet, er fordi vannet som blir transportert i disse ledningene har utløp i Veumbekken og de kan derfor, i følge Rosim AS og kommunen, ekskluderes fra modellen. Fysisk sett ligger det overvannsledninger parallelt med spillvannsledningene nord i feltet, men disse er altså ikke tatt med i modellen.



Figur 26: Pumper og overløp i Veumdalen. Overløp = rød delt sirkel (venstre), Pumper = Firkant med rød trekant (høyre)

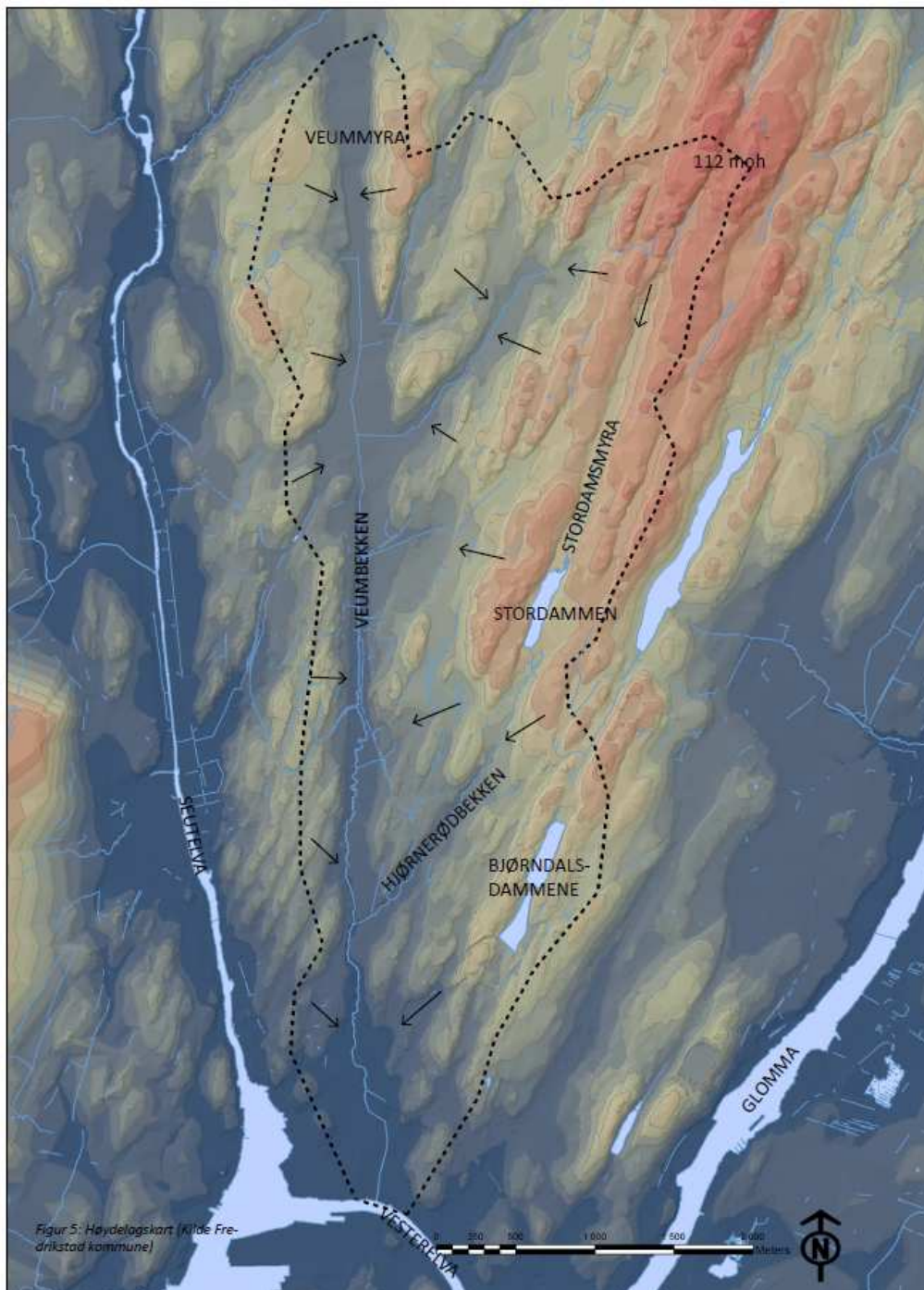


Figur 25: Oversikt over ledningstyper i Fredrikstad. AF = Fellesavløpsledninger, OV = overvannsledninger, PF = pumpeledning fellesavløp, PS = pumpeledning spillvann, SP = spillvannsledning



### 7.1.2 Landskap

Veumdalens landskap domineres av grunne daler som går i fallets retning. Terrenget har svakt fall, og faller generelt fra nord mot sør med lite fall i vest og større fall i øst. Gjennomsnittlig fall i østlig del er ca. 15 promille. Vest i feltet, langs Veumbekken, er fallet begrenset til ca. 5 promille. Feltet består av flere koller, og høydeforskjellen mellom kolle og dalbunn kan være opptil 50m. Det høyeste punktet ligger helt nordøst i feltet, og har en høyde på 112 m (Vadum 2011).



Figur 27: Høydelagskart (Vadum 2011).

### 7.1.3 Grunnforhold

Berggrunnen består i stor grad av massiv Østfoldgranitt (Iddefjordgranitt). Denne bergarten er eruptiv og ble dannet for ca. 900 millioner år siden. Bergarten har lav forvitringsevne og gir dårlig grobunn for planter. Bevegelser i jordskorpa og senere isbevegelser har formet kollene. For ca. 10 000 år siden, da isen trakk seg tilbake, lå hele kommunen under vann, og smeltevann som kom ut under iskappen førte til store avsetninger på det som før var havbunn. Disse avsetningene har ført til frodige dalbunner med mye marine hav- og fjordavsetninger (Vadum 2011).

#### **Bart fjell m/ stedvis tynt dekke av løsmasser**

Disse områdene gir dårlig utgangspunkt for infiltrasjon da grunnfjellet består av massiv granitt.

#### **Hav og fjordavsetninger, tykt dekke**

Disse områdene består av finkornige leire- og siltforekomster med mektighet fra 0,5 til flere titalls meter. Disse massene er meget tette og kompakte og gir dårlig grunnlag for infiltrasjon.

#### **Marine strandavsetninger**

Noen steder i dalførene i feltet er det forekomster av marine strandavsetninger. Disse er begrensede volumer av sand og grus som gir middels grunnlag for infiltrasjon.

#### **Hav og fjordavsetninger, strandavsetninger, tynt dekke**

Disse massene består av en blanding av hav- og fjordavsetninger og strandavsetninger, og er lite egnet for infiltrasjon.

#### **Torv og myr**

Organisk materiale. Ikke egnet til infiltrasjon.

#### **Randmorene**

Middels egnet til infiltrasjon. Svært begrensede mengder i Veumdalen.



Figur 28: Kvartærgeologisk kart (Vadum 2011).

### 7.1.4 Grøntstruktur

Veumdalen er et sammensatt felt hvor de fleste arealtyper er representert. I nord og sørøst finner vi Fredrikstadmarka (avgrenset med grønn linje) som i hovedsak består av bartrær med noe jordbruk (Vadum 2011).

#### Bartrær (Skog)

Disse områdene har stor naturlig fordrøyning- og infiltrasjonskapasitet og vil ikke ha effekt på nedstrøms avrenning ved korte regn. Ved langvarige regn derimot vil disse områdene renne av til bekker og vassdrag og ha en effekt nedstrøms.

#### Jordbruksområder

Disse områdene ligger på rike marine avsetninger og er ofte drenert. Disse områdene kan inneholde store mengder næringsstoffer som blir transportert til elv og ut i havet ved store regnskyll. Disse områdene har infiltrasjonskapasitet, men i noen tilfeller kan bortimot halvparten av regnet renne av som overflateavrenning.

#### Urbane områder

De urbane områdene preges av småhusbebyggelse med tilhørende villahager og parkeringsplasser. Innimellom bebyggelsen finnes fragmenterte restarealer med tett tresjikt. Arealene har grunnet tette flater som vei, parkeringsplasser og hustak lav infiltrasjonskapasitet og opptil 70 % av regnvannet kan renne av som overflateavrenning (Sekse 2006).

#### Bykjerne

Ned mot Vesterelva finnes områder som kan klassifiseres som bykjerne. Vegetasjonen begrenser seg til private hager og offentlige anlegg som parker og kirkegårder. Disse områdene består i hovedsak av impermeable flater og 70 – 90 % av regnvannet kan renne av som overflateavrenning i disse områdene.



Figur 29: Grøntstruktur (Vadum 2011).



### 7.1.5 Arealtyper

Nedbørsfeltet kan klassifiseres etter avrenningsforholdene på overflaten. Veumdalen er i dette tilfellet delt inn i fire klasser som beskriver områdene som skog, landbruk, semi-urbane og urbane. Hver arealtype er gitt en avrenningskoeffisient som indikerer hvor mye vann som renner av på overflaten. Tallene varierer fra 0 til 1 og beskriver hvor stor prosentandel som renner av, hvor 1 = 100 % og 0 = 0 % (Vadum 2011).

#### Skog (0,1 – 0,2)

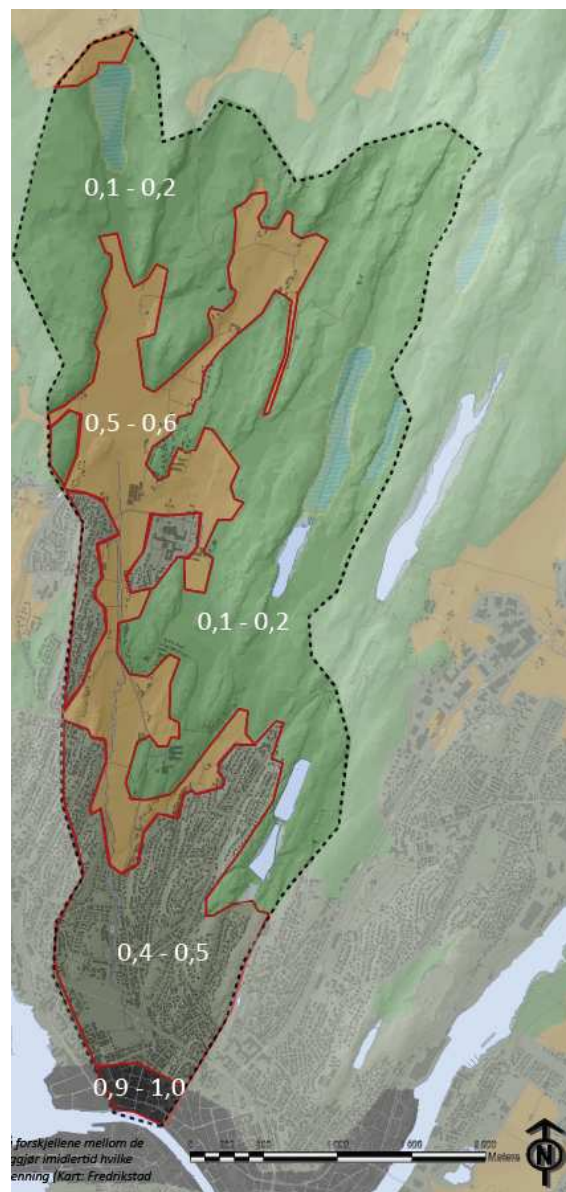
Skogen i Veumdalen vokser på skrinne koller og marine avsetninger, som begge gir lite infiltrasjonspotensiale og i seg selv høy avrenning. Skogen har forøvrig tett tresjikt og myrområder som gir fordrøyende forhold. Avrenningskoeffisienten i skog er vurdert til ca. 0,1 – 0,2 men kan forventes ikke å være bidragsgivende til ledningsnettets ved korte intensive regn.

#### Landbruk (0,5 - 0,6)

Landbruksområdene er godt drenerte flater hvor det er lite ønskelig med stående vann på overflaten. Det opprinnelige vassdraget er derfor lagt i dype rette grøfter som avleder vannet på hurtigst mulig måte. Avrenning fra jordbruksområder drar ofte med seg store mengder næringsstoffer som kan føre til eutrofiering i resipient. Avrenningskoeffisienten er i disse feltene vurdert til ca. 0,5 - 0,6, men kan forventes å ha liten effekt på ledningsnettets, da mye av vannmassene transporteres i Veumbekken og videre i kulvert gjennom sentrumsområdet.

#### Urbane områder (0,4 - 1)

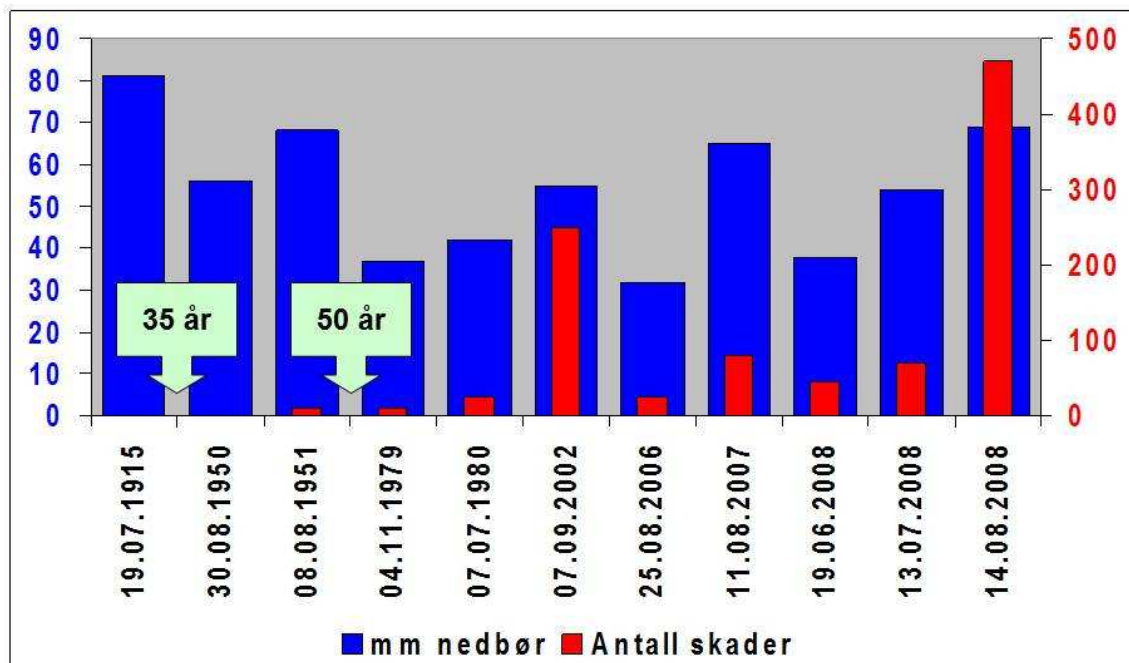
Urbanisering fører til flere tette flater og avledning av overvann i rør. De naturlige fordrøyningskvalitetene blir borte og man får raskere respons ved nedbør. Veier og hustak representerer store deler av de impermeable flatene, og avrenningskoeffisienten i disse arealene er satt til 0,4 – 1. Disse arealene har stor effekt på ledningsnettets, da de impermeable flatene i de fleste tilfeller er koblet direkte til avløpssystemet.



Figur 30: Arealtypene i Veumdalen. Tallene gir kun et estimat på avrenningsforholdene (Vadum 2011).

### 7.1.6 Kjelleroversvømmelser

Fredrikstad har hatt en historie med mange store regn som har forårsaket betydelige skader. Det er gjort sporadiske dokumenteringer av disse hendelsene, og vi kan lese fra figuren at de siste 10 årene har vært preget av spesielt store hendelser.



Figur 31: Store regnhendelser i Fredrikstad i perioden 1915-2008. Det er vanskelig å si noe om hva som er ment med antall skader i denne figuren, men det kan antas at skadeantallet representerer antall kjelleroversvømmelser. Figuren er ufullstendig (Skallebakke 2012).

Disse hendelsene har medført at innbyggerne i Fredrikstad kommune har vært utsatt for hyppige kjelleroversvømmelser de siste årene, og noen husstander har opplevd å få kjelleren oversvømt 2-3 ganger på et år. I følge Skallebakke (2012) kan det tenkes at opptil 100 husstander i snitt per år de siste 10 år har vært utsatt for kjelleroversvømmelser. At en kjeller er utsatt for kjelleroversvømmelser kan ha mange mulige årsaker, hvor blant annet topografi, plassering av avløpsnett og permeabilitet i omkringliggende områder er viktige faktorer for om vann kan finne veien ned i kjelleren eller ikke. Vann kan trenge inn i kjelleren på fire forskjellige måter (Fredrikstad kommune 2007b):

1. Vannet trenger inn gjennom husets avløpsnett
2. Vannet trenger inn gjennom husets kjellervegg og/eller gulv
3. Vannet trenger inn gjennom ytre åpninger
4. Vannet strømmer ut fra lekkende vanninstallasjoner

Det er spesielt punkt 1, 2 og 3 som vektlegges i denne masteroppgaven.

1. Overvannsledningene i Fredrikstad er dimensjonert for regn med 25års gjentaksintervall. Det vil si at regn med høyere intensitet en dette vil, i uheldige

situasjoner, kunne føre til kjelleroversvømmelser. Det er i hovedsak hus med tilknytning til avløpsnett som vil kunne oppleve oversvømmelser inn gjennom sluk eller sanitære innredninger.

2. Hvis en drensledning er direkte koblet til en ledning som fører overvann, kan det ved kraftige regn føre til at vann kan stige opp i husets drenering. Dette kan igjen føre til at vann trenger inn gjennom kjellervegg og/eller gulv.
3. Overvann som stuver opp på markoverflaten kan i visse tilfeller trenge inn gjennom husets kjellervinduer, garasjeinnkjørsløp og/eller kjellertrapper.

## 8 Generell metode

### 8.1 Modelloppbygning

Modellen er bygget opp etter data fra Fredrikstad kommune, hvor forskjellige kartgrunnlag er lagt oppå hverandre i forskjellige lag. De forskjellige kartgrunnlagene viser bebyggelse, veier og parkeringsarealer, vannflater, terreng, kummer, ledningsnett, overløp, pumper og utløp, alle med tilhørende verdier som sier noe om høyde og utforming. MOUSE bruker alle disse kartgrunnlagene med unntak av vannflater i oppbygningen av modellen og i beregningsprosessen.

Oppbygningen av modellen blir i denne oppgaven gjort i 5 steg og er listet opp under (Punkt 6 er ikke gjort i denne masteroppgaven):

#### 1. Inndeling i delarealer

Inndeling i delarealer er i denne oppgaven gjort etter skjønn, da det ikke var gode topografiske data tilgjengelig. Arealene er delt opp med en gjennomsnittsstørrelse på 0,99 ha og er tilpasset ledningsnettet med tilhørende kummer. Arealene er klassifisert etter type ledningsnett det er tilkoblet og defineres som overvannsareal, kombinert areal (spillvann og overvann) eller separat areal (kun spillvann). Det totale arealet til alle delfeltene er 438 ha.

#### 2. Kobling mellom areal og ledningsnett

Hvert delareal må kobles til et utstrømningspunkt. Dette punktet blir valgt etter skjønn og er en kum innenfor delarealet. Det er viktig at kombinerte arealer, overvannsarealer og separatarealer kobles til henholdsvis fellesledninger, overvannsledninger og spillvannsledninger. Det er totalt 444 delarealer i modellen med samme antall tilkoblede kummer.

#### 3. Tildeling av pumpekurver og overløpsterskler

Det forutsettes at alle pumper er gitt riktig pumpekurve og at alle overløp har riktig terskelhøyde. Denne typen data er lagt inn i modellen etter målinger gjort av kommunen og pumpekurvene til de forskjellige leverandørene. Det er totalt 15 pumper og 24 overløp i modellen.

#### 4. Tilpasninger

Da data oversendt fra kommunen hadde noen mangler, er det gjort diverse tilpasninger for at modellen skal kunne kjøres uten feil. Noen ledninger manglet høyder og ble derfor tilpasset omkringliggende ledninger og tilkoblede kummer. Noen kummer manglet dybde og ble derfor i noen tilfeller tilpasset tilkoblede ledninger. Kummer som ikke hadde en bestemt referanse som de kunne justeres etter ble satt til 2m dybde.

#### 5. Fastsetting og tildeling av verdier

Informasjonen oversendt fra kommunen inneholder ikke data om hvor stor avrenning det er forventet fra de forskjellige overflatene i modellen. Det er derfor gjort antagelser om hvor

mye hver flate bidrar til avrenningen og defaultverdiene i MOUSE er brukt med antagelsen om at disse gir det beste resultatet. Verdiene i hvert delfelt er som følger:

Initialtap:	0,0006
Reduksjonsfaktor:	0,9
Hydrologisk reduksjon bygning:	0,3
Hydrologisk reduksjon veiareal:	0,4
T/A kurve:	Rektangulære felt (1)
Konsentrasjonstid	7min

Hvor stor del av hvert delfelt som er veiareal eller bygningsareal blir beregnet av MOUSE. Av det totale arealet har MOUSE beregnet det til at 9 % er bygninger (takarealer) og 6,2 % er veiarealer.

## 6. Kalibrering (ikke gjort i denne oppgaven)

Som et siste punkt i modelloppbygningen bør kalibrering gjennomføres for å sikre at modellen beskriver feltet riktig. Ved kalibrering er det mulig å finne feil og mangler samt å optimalisere modelldata til å beskrive feltet på best mulig måte. Modellen brukt i denne masteroppgaven er kun delvis kalibrert og resultatene vil derfor ha lav troverdighet med tanke på å beskrive den faktiske tilstanden i Veumfeltet.

## 8.2 Regndata

Det finnes flere metoder for å gå inn med regndata i beregningene på. Metodene varierer i nøyaktighet og bruksområde og er listet opp under (Lindholm 2011):

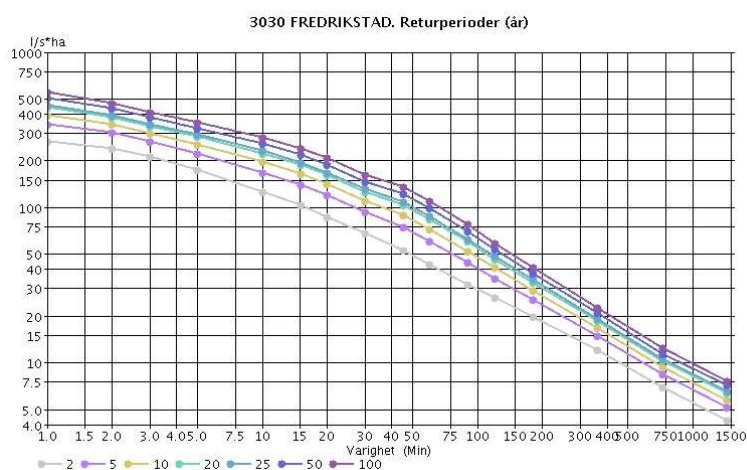
- **Kasseregn**  
F.eks. 10 minutter med 200 l/s\*ha
- **Omdanning av et kasseregn til modellregn**  
F.eks. SIFNEL, SIFALDA e.l.
- **Mange kasseregn**  
Mange kasseregn blir valgt langs hele IVF- kurven for et gitt gjentakintervall
- **Omdanning av IVF- kurven til modellregn**  
F.eks. Symmetrisk regnhyetogram
- **Lange tidsserier**  
Frekvensfordelingsfunksjoner for ulike hendelser
- **Historiske regn**  
Utarbeidelse av dimensjonerende modellregn basert på kjøring av lange tidsserier

Det finnes fordeler og ulemper med alle disse metodene. Ved å bruke et kasseregn mister man for- og etterregnet, noe som fører til underestimert av den virkelige situasjonen. Det er bevist at bare 60 % av det totale regnvolumet ligger i kasseregnet til et 60 minutters regn. Et SIFALDA regn beregner volumet godt i forhold til et kasseregn, men konstruksjonen av

dette er noe komplisert. Ved bruk av et symmetrisk regnhyetogram vil det totale regnvolumet bli beregnet bedre enn et kasseregn, samt at konstruksjonen av dette kan gjøres relativt enkelt ved direkte bruk av IVF-kurver. For lange tidsserier og historiske regn belager man seg på at det finnes en mengde data med god kvalitet og kontinuitet langt tilbake i tid (Lindholm 2011). På bakgrunn av dette og data fra Fredrikstad målestasjon, har valget av metode i denne oppgaven falt på symmetrisk regnhyetogram.

### 8.2.1 Konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram

Ved konstruksjon av et symmetrisk regnhyetogram brukes historiske og teoretiske data i form av en IVF kurve som grunnlag for beregningene.



Figur 32: IVF- kurve for målestasjon 3030, Fredrikstad (Eklima 2011).

Prinsippene bak konstruksjon av et nedbørhyetogram er følgende (Lindholm 2011):

- Det antas at regnet er symmetrisk om sin midtaks
- Konstruksjonsprinsippet er at regnvolumet innenfor de X mest intensive minuttene (X/2 minutter på hver side av midtaksen) i hyetogrammet nøyaktig skal tilsvare regnvolumet i et "kasseregn" av varighet X minutter.
- Hensiktsmessig beregningssteg vil i de fleste tilfeller være ca. 5 minutter, da kortere eller lengre steg gir henholdsvis for høye eller lave spissintensiteter.

#### Konstruksjonen av et symmetrisk regnhyetogram gjøres på følgende måte:

##### 1. Velger gjentaksintervall for ønsket regn.

I dette eksempelet blir et regn med 20 års gjentaksintervall beregnet.

##### 2. Beregner konsentrasjonstiden til feltet regnet skal falle på.

Konsentrasjonstiden er et mål på tiden det tar for en regndråpe som faller i det fjerneste punktet i feltet til utløpet. En regndråpe vil først renne på overflaten og ned til et sluk, før den tar veien i ledningsnett til utløpet. Tiden det tar for en regndråpe å renne ned i sluket er satt i modellen til 7 min for hvert delfelt. Tiden det tar for regndråpen å renne den

lengste mulige veien i ledningsnett er gitt etter formelen;  $tid = \frac{\text{strekning}}{\text{hastighet}}$ , hvor strekningen ble målt til 6100 m og hastigheten er estimert til 1,6 m/s. Dette gir en konsentrasjonstid i rørene på  $\frac{6100m}{\left(\frac{1,6m/s}{60min/s}\right)} = 63,5min$ , som gir en total konsentrasjonstid på 7min + 63,5min = 70,5min. Konsentrasjonstiden er i dette tilfellet derfor satt til 70 min.

### 3. Finner intensitetene i kurven for ønsket gjentakintervall, ved stigende varighet i IVF kurven.

Da hyetogrammet skal være symmetrisk om sin midtakse velges varigheter med 10 minutters intervall, slik at tidssteget blir 5 min når intensitetene senere skal fordeles på begge sider av midtaksen. I dette tilfellet 10, 20, 30, 40, 50, 60 og 70 min.

Tabell 8: Målestasjon 3030 Fredrikstad 1970 – 1995 (25 sesonger). Gjentakintervall (år) mot varighet (min). Regnintensitet er gitt i l/s\*ha. (Eklima 2011).

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

Verdier som ikke er representert i tabellen (40,50 og 70 min) må estimeres på best mulig måte. I denne oppgaven er tallene justert slik at det endelige regnhyetogrammet stiger og avtar jevnt.

Tabell 9: Regnintensitet ved ulike regnvarigheter. Data for 10-30 samt 60 min varighet er hentet direkte fra klima.no mens data merket med gult er justert til å passe det endelige regnhyetogrammet.

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

For å finne intensitetene i regnhyetogrammet som blir brukt i beregningene er følgende formler benyttet:

For toppintensiteten, som er regnet med kortest varighet, hentes intensiteten direkte ut fra tabellen:

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

De resterende intensitetene beregnes de på denne måte (Lindholm 2011):

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

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

$$I_{40} - I_{30} = \frac{(106 \cdot 40) - (125,3 \cdot 30)}{30} = 48,1 \frac{l}{s} \cdot ha$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{(94 \cdot 50) - (106 \cdot 40)}{40} = 46 \frac{l}{s} \cdot ha$$

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

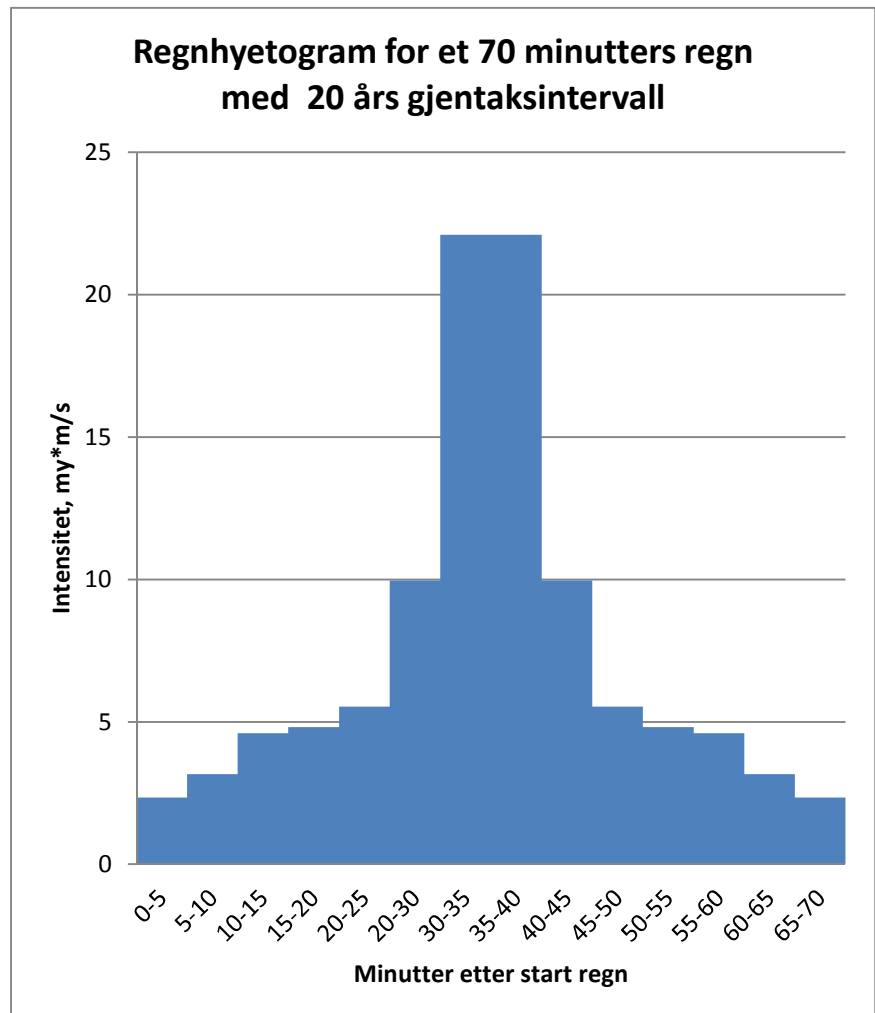
$$I_{70} - I_{60} = \frac{(75 \cdot 70) - (83,6 \cdot 60)}{60} = 23,4 \frac{l}{s} \cdot ha$$



#### 4. Fordeling av intensiteter på hver side av midtaksen

Fordelingen gjøres ved å dele varigheten til hver intensitet på to for så å fordele dem på hver side av midtaksen, som vist i Tabell og Figur nedenfor. Da MOUSE krever inngangsdata for regnintensitet i formen  $\mu\text{m/s}$  må tallene omformes til dette formatet. Dette gjøres enkelt da  $1 \mu\text{m/s} = 10 \text{ l/s*ha}$ .

tid etter start regn (min)	Intensitet ( $\mu\text{m/s}$ )
0 - 5	2,34
5 - 10	3,16
10 - 15	4,6
15 - 20	4,81
20 - 25	5,53
25 - 30	9,96
30 - 35	22,1
35 - 40	22,1
40 - 45	9,96
45 - 50	5,53
50 - 55	4,81
55 - 60	4,6
60 - 65	3,16
65 - 70	2,34



Figur 33: Tabell og Figur. Konstruert regnhyetogram for et 70 minutters regn med 20-års gjentaksintervall

Denne fremgangsmåten er fulgt for alle regn som er brukt som inngangsdata i modellen og det er konstruert regnhyetogrammer for 2, 5, 10, 20 og 50 -års gjentaksintervall, med og uten klimatillegg. (se vedlegg 1).

### 8.2.2 Valg og vurdering av klimatillegg

Med grunnlag i klimaframskrivningene beskrevet i kapittel 3.4.3.3 kan det gjøres en vurdering av hvordan IVF-kurven for Fredrikstad kan se ut om 100 år. I de høye (H) framskrivningene for Relativ forandring (%) i antall dager med mye nedbør, og relativ forandring (%) i nedbørmengden på dager med mye nedbør er, det forventet henholdsvis 120,8 % og 26,2 % økning for Østfoldregionen.

Det vil i gjennomsnitt skje 5 regnhendelser som er større eller lik intensiteten til et regn med 20-års gjentaksintervall, i løpet av en 100-års periode. En 120,8 % økning i antall dager med mye nedbør, gir at det vil skje 11,04 slike hendelser (ila. 100 år) om ca. 100 år. Dette tilsvarer et 9-års gjentaksintervall. Da det forventes en 26,2 % økning i nedbørmengder på dager med mye nedbør kan intensiteten til et regn med 10-års gjentaksintervall om ca. 100 år regnes ut:

Dagens intensitet ved et 20-års regn med 10 min varighet =  $221 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$

Antall hendelser med intensitet lik eller høyere enn intensiteten til et regn med 20-års gjentaksintervall, ila. 100 år = 5

Antall hendelser ved 120,8 % økning i antall dager med mye nedbør:

$$(5 \cdot 120,8\%) + 5 = 11,4 \text{ hendelser}$$

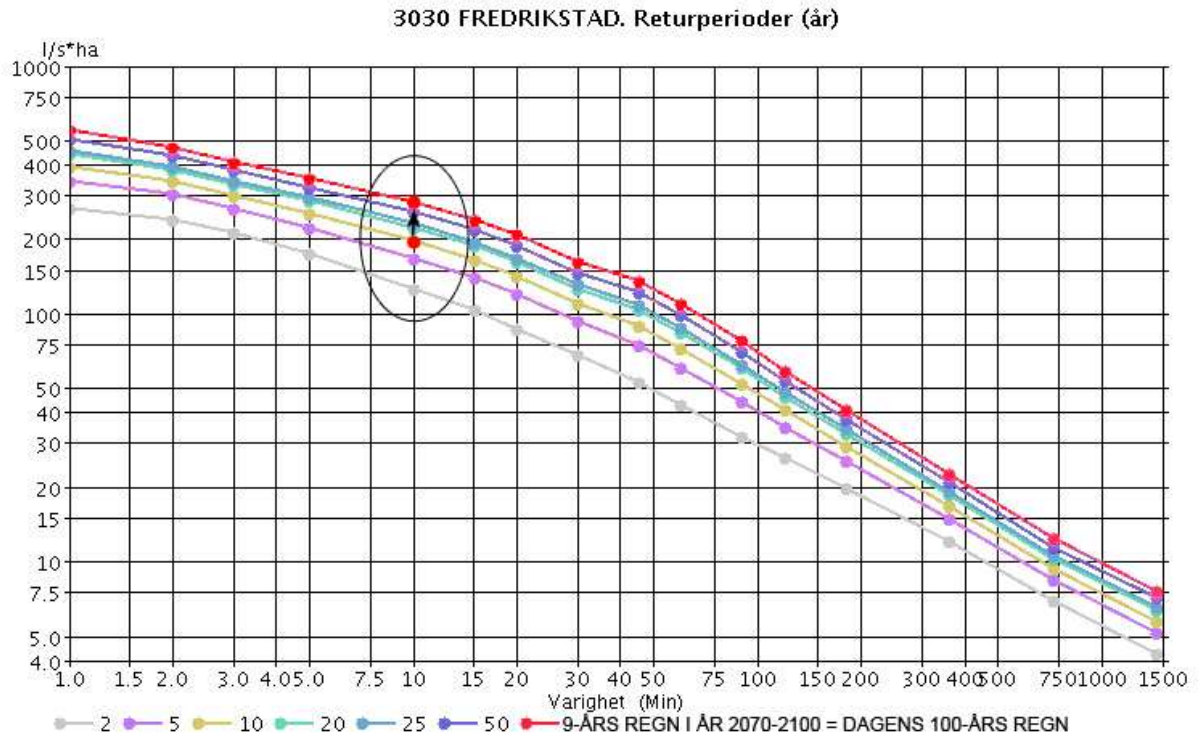
Tilsvarende gjentaksintervall ved 11,4 hendelser ila. 100 år:

$$\frac{100}{11,4} \approx 9 - \text{års gjentaksintervall}$$

Intensiteten til et regn med 20-års gjentaksintervall ved 26,2 % økning i regnintensitet i år 2070-2100:

$$\left(221 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}} \cdot 26,8\%\right) + 221 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}} \approx 280 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}}$$

Dette vil si at et 10-minutters regn med 9-års gjentaksintervall vil ha en intensitet på 280 l/s\*ha i år 2070-2100. Dette tilsvarer et regn med 100-års gjentaksintervall i dag. (data fra Tabell 8 er brukt i denne analysen)



**Figur 34: Grafisk fremstilling av dagens IVF-kurve med den forventede 9-års kurven i år 2070-2100. Grafen er ment som illustrasjon og viser kun en tilnærming til den forventede 9-års kurven.**

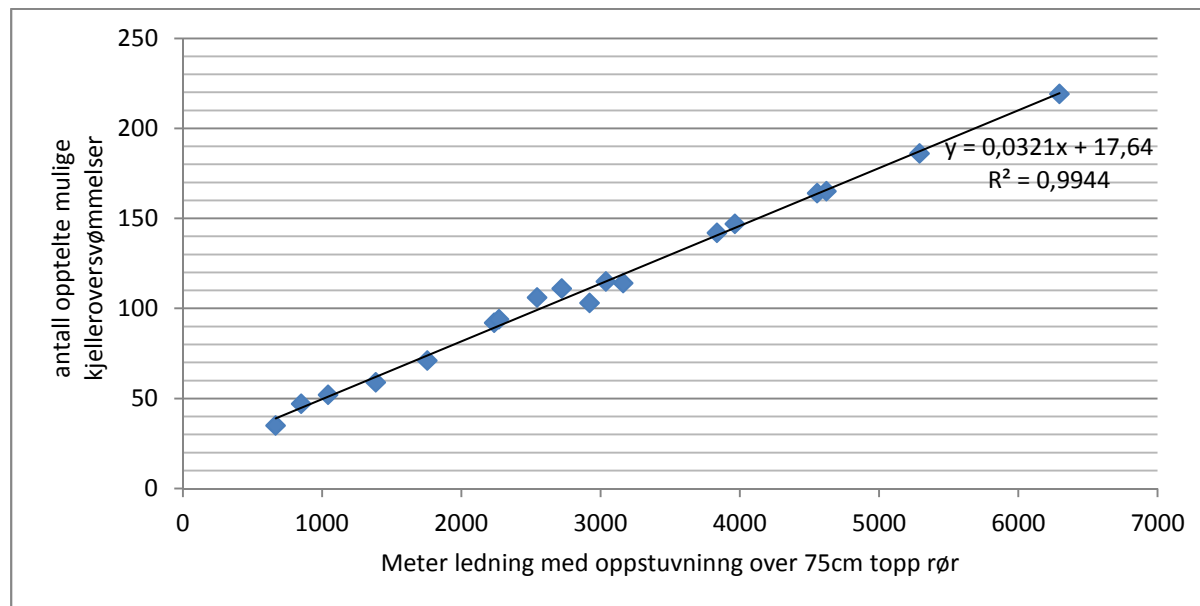
Sammenligner vi dagens 10-års regn med 9-års regnet i år 2070-2100, finner vi en økning på ca. 44 %. Dette er en underestimering da det ikke var gode tilgjengelige data for regn med 9-års gjentaksintervall. Da det også er forventet økt fortetting i Fredrikstad, kan klimatillegget på 50 % i kapittel 3.7 forsvares, og et klimatillegg på 50 % vil derfor bli brukt i denne oppgaven.

### 8.3 Metode for beregning av kjellere med mulighet for skade

De fleste hus i Veumdalen er bygget med kjeller. Retningslinjene for anleggelse av kjeller har variert, og nåværende krav er at det minimum bør være 90 cm høyde mellom sluk i kjellergulv og topp rør i tilknytningspunktet (Lindholm 2008). Denne retningslinjen har vært gjeldende siden 1980. I perioden 1909 – 1980 varierte retningslinjene, og på 70-tallet var det f.eks. regnet som tilstrekkelig med 50 cm mellom topp rør til sluk. Da det ikke er mulig å legge inn regler for varierende oppstuvningsnivå som fører til skade, er det vurdert til at oppstuvning over 75 cm topp rør fører til skade i alle deler av feltet.

I en tidligere master skrevet av Hval og Kjøste (2011), hvor hovedfokuset har ligget på å finne problemområder i Veumdalen, er det gjort beregninger i forhold til hvor mange kjellere som blir berørt av oppstuvning. Metoden brukt i oppgaven til Hval og Kjøste (2011) er en manuell beregning, hvor antall berørte kjellere er talt opp for hånd i kartvisningsvinduet til ArcMap. I denne oppgaven er deres tidligere beregninger lagt til grunn for estimeringene, samt at resultatene er verifisert ved kontrolltelling.

I Masteroppgaven til Hval og Kjøste (2011) er det gitt tall på antall kjellere berørt samt ledninger med oppstuvning over 75 cm topp rør, for gjentaksintervallene 10, 20 og 50 år med varierende klimatillegg. Dette gir grunnlag for å finne et forholdstall mellom disse. Ved å plote meter ledning med oppstuvning over 75 cm topp rør mot antall opptelte kjelleroversvømmelser kan man se en klar lineær trend.



Figur 35: Plott av meter ledning med oppstuvning over 75cm topp rør mot antall opptelte mulige kjelleroversvømmelser. Data hentet fra masteroppgaven til Hval og Kjøste (2011).

Den lineære trendlinjen er lagt til grunn for beregning av antall hus med oppstuvning, og tallene gir en god indikasjon på hvor mange meter det er mellom hver stikkledning, noe som ser ut til å stemme godt overens med virkeligheten i følge Skallebakke (2012).

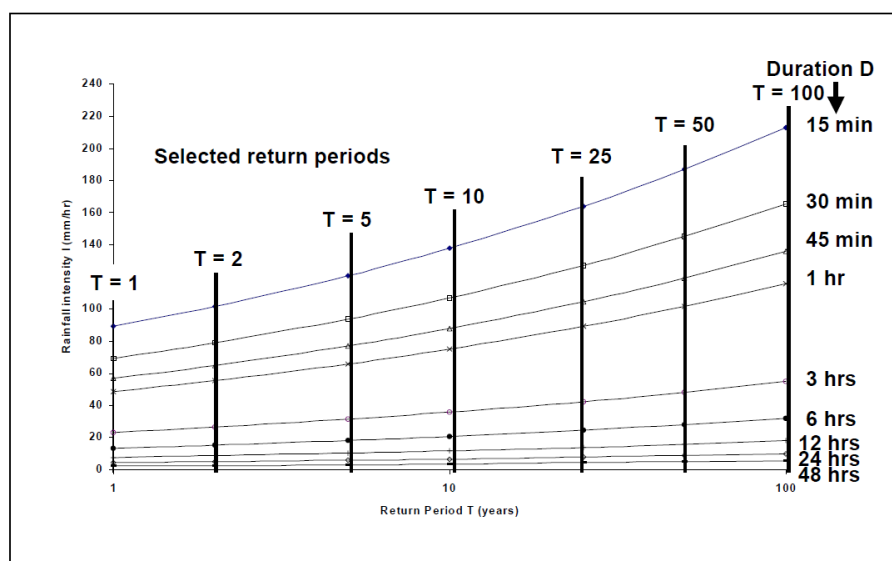
Gjennomsnittlig antall meter mellom hver stikkledning varierer fra 21,6 m for de laveste

intensitetene, til 29,7 m for de høyeste. Grunnen til at forholdstallet blir høyere med økende meter ledningsstekk med oppstuvning kan tenkes å være at mindre tett bebyggelse, som ligger lengre oppstrøms, blir berørt først ved kraftigere regnskyll og at disse ikke er anlagt med like stor tetthet som bebyggelse i sentrumsområdene. Grunnen til det ikke er brukt data om antall kjelleroversvømmelser eller ledningsstrek med oppstuvning direkte fra denne masteroppgaven, er at modellen er blitt oppdatert og at nye felt er lagt til siden den tid. De nye områdene som er lagt til omfatter sentrumsområdet og et villaområde øst for det tidligere området.

## 8.4 Metode for beregning av antall skadelige regn i løpet av 100 år

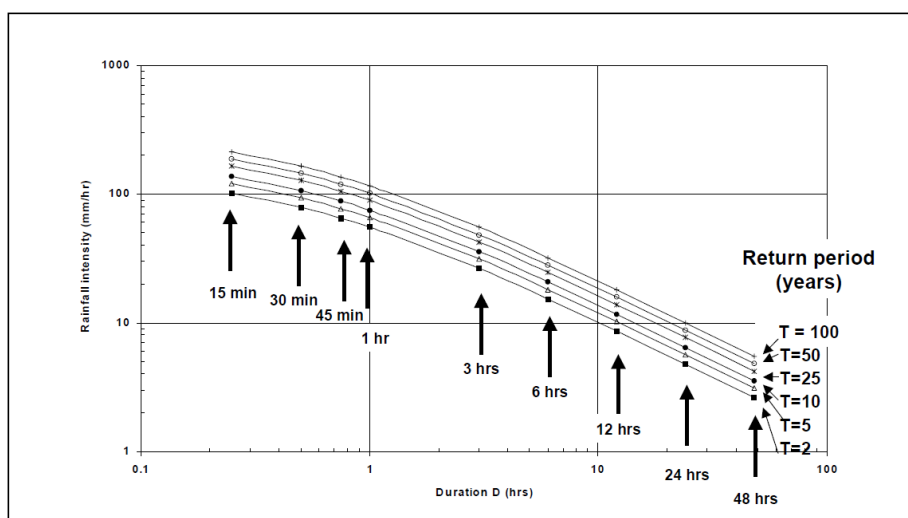
For å finne hvor mange regn som fører til skade over en 100-års periode og hvilket gjentaksintervall de representerer, må det gjøres en analyse av IVF-kurven og dens oppbygning. Hvis nedbørsdata fra en periode på 25 år eller mer er tilgjengelig fra en bestemt målestasjon, kan frekvensen av en forekomst med en gitt intensitet bestemmes. Dette gir grunnlaget for å finne Intensitet-Varighet-Frekvens (IVF) relasjoner.

Oppbygningen baserer seg på at alle målingene fra hvert år blir analysert for å finne intensiteten til nedbør ved forskjellige varigheter. Dermed kan man hente ut verdier for maksimal intensitet ved en gitt varighet for hvert år. Hvis måleperioden er på 25 år, vil man få 25 forskjellige intensiteter for hver valgte varighet. Videre blir det gjort en frekvensanalyse av de forskjellige intensitetene ved de bestemte varighetene, og man vil få et tall på hvor ofte en intensitet med en gitt varighet vil opptre i løpet av 25 år. Dette blir så gjort med de resterende varighetene, og man vil få grafer som viser maksimal intensitet ved de bestemte varighetene for forskjellige returperioder (Se Figur 36). Den observerte frekvensfordelingen passer godt med Gumbel-distribusjonen, og denne kan bli brukt for å finne intensiteter ved enda høyere gjentaksintervall (Marg & Khas 2002).



Figur 36: Intensitet-Frekvenskurve. maksimal intensitet ved bestemte varigheter mot forskjellige returperioder (Marg & Khas 2002).

Ved å lese av intensitetene for hver varighet for den distinktive returperioden, kan en intensitet-varighet kurve bli laget for hver enkelt returperiode. Videre er intensiteten for ulike varigheter ved sammenfallende returperioder koblet som vist i Figur 37.



Figur 37: IVF-kurve. Intensitet-Varighet-Frekvenskurve (Marg & Khas 2002).

Ved første øyekast ville man kanskje tenke at regn med 10 og 25-års gjentaksintervall i gjennomsnitt vil skje henholdsvis 10 og 4 ganger i løpet av en 100-års periode. Dette stemmer ikke, da de 10 regnene som vil skje ved 10-års gjentaksintervall i løpet av en 100-års periode representerer intensiteter som er større eller lik intensiteten til et 10-års regn. Det vil si at av de 10 regnene som skjer i løpet av en 100-års periode ved 10-års gjentaksintervall, representerer fire av regnene intensiteter som er større eller lik et regn med 25-års gjentaksintervall. Av de fire intensitetene som er større eller lik intensiteten for et regn med 25-års gjentaksintervall, representerer to av dem intensiteter som er større eller lik intensiteten til et 50-års regn. Videre representerer en av intensitetene til et 50-års gjentaksintervall én intensitet som er større eller lik et 100-års regn. Antall forventede regn for hvert gjentaksintervall er listet opp under:

Tabell 10: I tabellen ser vi at det er forventet 50 intensiteter som er større eller lik intensiteten til et 2-års regn, men at det samtidig kun er 30 regn som representerer intensiteten til 2-års regnet.

Gjentaksintervall	Antall regnhendelser ved gjeldende gjentaksintervall ila. perioden	Akkumulert antall regnhendelser lik eller større intensiteten til gjeldende gjentaksintervall ila. perioden
100 år	1	1
50 år	1	2
20 år	3	5
10 år	5	10
5 år	10	20
2 år	30	50
Sum	50	88

## 9 Hydraulisk analyse

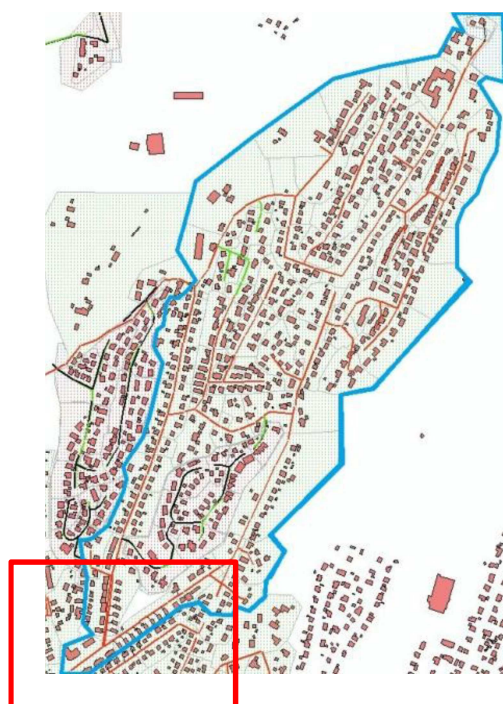
### 9.1 Følsomhetsanalyse

I masteroppgaven til Hval og Kjøste (2011) ble det gjort en følsomhetsanalyse av andel tette flater og tilrenningstid. Da jeg bruker tilnærmet samme modell og ligningssett som ble brukt i 2011 kan jeg forvente samme resultater i en eventuell følsomhetsanalyse, og jeg vil derfor referere til resultater opparbeidet i masteroppgaven til Hval og Kjøste (2011).

Hval og Kjøste (2011) valgte å gjøre en punktanalyse av et utvalgt ledningsstrek i sørøstlig del av Veumfeltet. Dette punktet har problemer med oppstuvning ved lave gjentakintervall samt tilrenning fra et stort område med mange delfelt. Ledningsstrekket som ble valgt vises i Figur 38 og Figur 39.



Figur 38: Det markerte ledningsstrekket er brukt i følsomhetsanalysen. Strekket er valgt ut på grunnlag av erfaringer samt at beliggenheten har store ovenforliggende avrenningsarealer (Hval & Kjøste 2011).

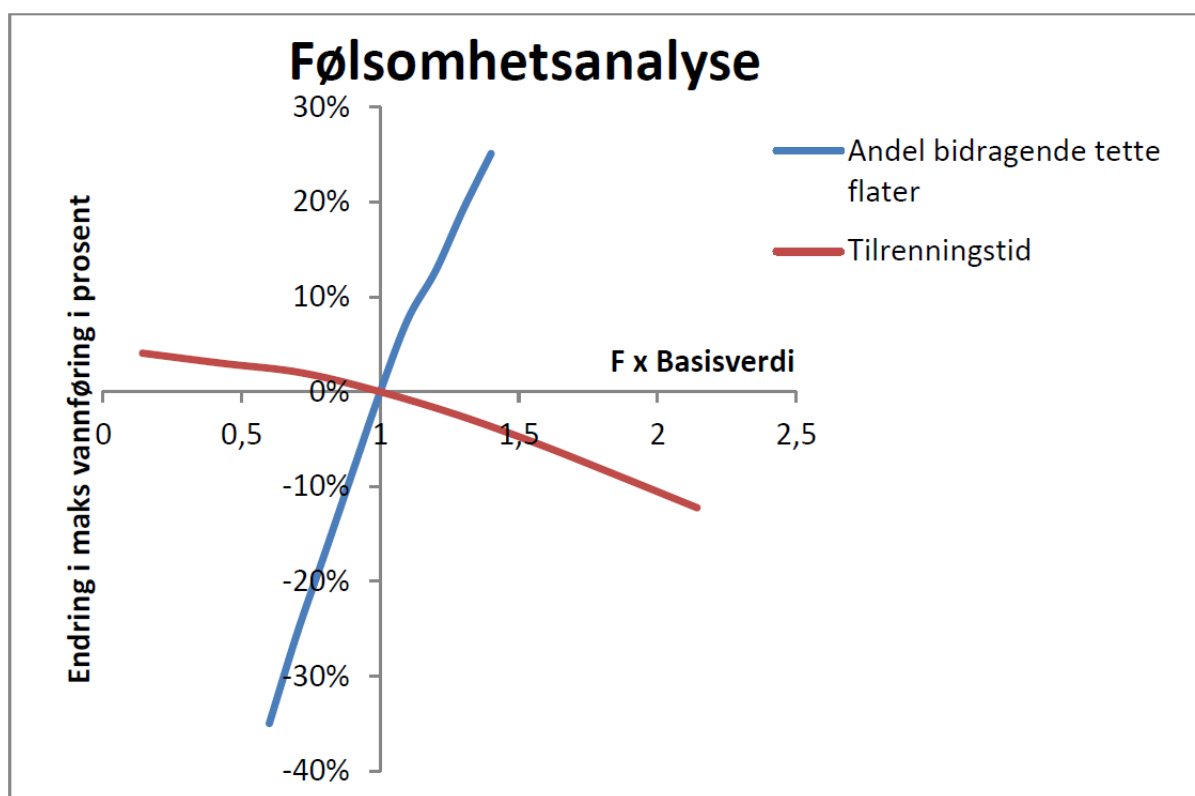


Figur 39: Nedbørsområdet som er forventet å gi avrenning til ledningsstrekket vist i Figur 38 (markert område) (Hval & Kjøste 2011).



Det ble valgt å bruke et regn med 20-års gjentaksintervall fordi dette ledningsstrekket ikke opplever oppstuvning ved dette gjentaksintervallet.

I Figur 40 vises resultatene av følsomhetsanalysen for andel bidragende tette flater og tilrenningstid i delfeltene. Påvirkningsgraden til parameterne gis fra stigningstallet til kurven. Hvis kurven er bratt, vil en liten endring i parameterverdien gi stort utslag på den maksimale vannføringen til ledningen. Hvis kurven er slak, vil en stor endring i parameterverdien gi et lite utslag i maksimal vannføring. Det er vist i figuren at andel bidragende tette flater har stor innvirkning på vannføringen, mens tilrenningstiden har lav innvirkning på vannføringen. En 50 % økning i andel bidragende tette flater ( $F = 1,5$ ) vil gi økning i maksimal vannføring på ca. 25 %, mens tilsvarende økning i tilrenningstid vil føre til en reduksjon av maksimal vannføring på 5 %.



Figur 40: "Resultater for følsomhetsanalysen i modellen med fokus på andel bidragende tette flater og tilrenningstid i delfeltene. Det er tatt utgangspunkt i et regn med 20-års gjentaksintervall. Basisverdien til de undersøkte parameterne er satt til den verdien modellen opprinnelig har i tidligere kjøring. For andel bidragende tette flater tilsvarer basisverdien (1) en andel bidragende tette flater fra tak på 30 % og vei på 40 %. For tilrenningstiden til delfeltene i modellen er basisverdien (1) gitt til 7 minutter. Basisverdiene multipliseres med en faktor (F) for å se på endring i maks vannføring i ett gitt punkt" (Hval & Køste 2011).

## 9.2 Metode

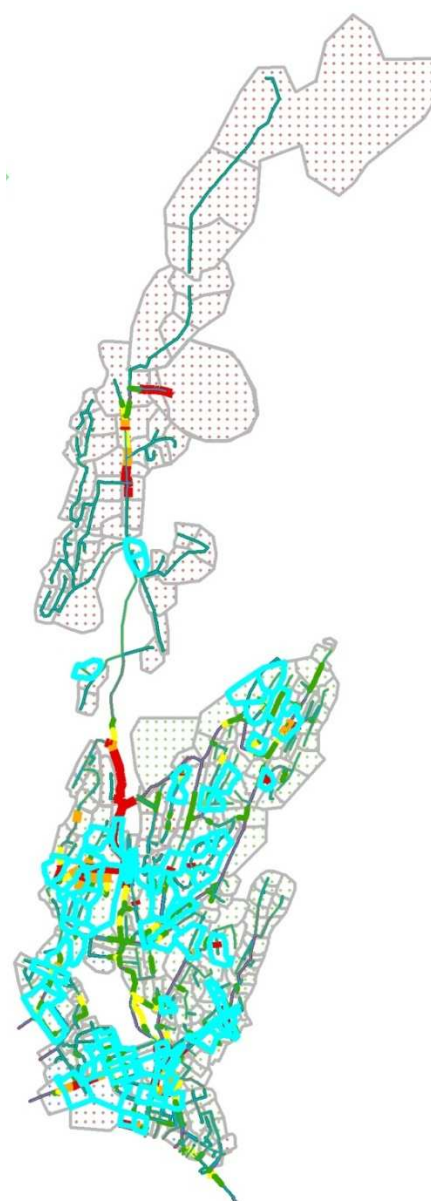
I denne oppgaven vil tre ulike tiltak bli simulert. Det er valgt to LOD tiltak som tar for seg to av hovedprinsippene innen urbanhydrologien, infiltrasjon og fordrøyning, og et konvensjonelt tiltak som omfatter utvidelse av rørdiameter. Formålet med å simulere tiltak er å redusere skadeomkostningene for regn med klimatillegg til det nåværende nivået. Det vil si at hvis et 100-års regn med et klimatillegg på 50 % forårsaker 350 kjelleroversvømmelser og et 100-års regn uten klimatillegg forårsaker 200 kjelleroversvømmelser, er formålet med tiltaket å redusere antall kjelleroversvømmelser med 150 for regnet med klimatillegg. Det er ikke tatt hensyn til anleggsperiode og alle tiltak er ansett som ferdig utbygget i år 0.

### 9.2.1 Frakobling av tette flater (Infiltrasjon)

For å simulere frakobling av tette flater fra rørnettet, er den andelen tak som ligger innenfor delfeltene som blir berørt av oppstuvning ved et regn med 50-års gjentaksintervall med 50 % klimatillegg satt til ikke å bidra til avrenning (se Figur 41). Grunnen til at valget av arealer er gjort med referanse i 50-årsregnet med 50 % klimatillegg er denne inndelingen gav den ønskede effekten ved simulering av et 100-års regn med 50 % klimatillegg.

De markerte områdene i Figur 41 tilsvarer et areal på 92 ha som er 21,1 % av det totale arealet. I dette området er takarealet 16,8 ha, som tilsvarer ca. 1190 husstander og 30 % av det totale takarealet i feltet. Det totale effektive takarealet i de markerte områdene er 4,54 ha når initialtapet og den hydrologiske reduksjonsfaktoren medregnes.

For å simulere frakoblingen er reduksjonsfaktoren i de markerte feltene endret fra 0,3 til 0, slik at effektivt takareal i de markerte feltene tilsvarer 0 ha og derfor ikke bidrar til avrenning.

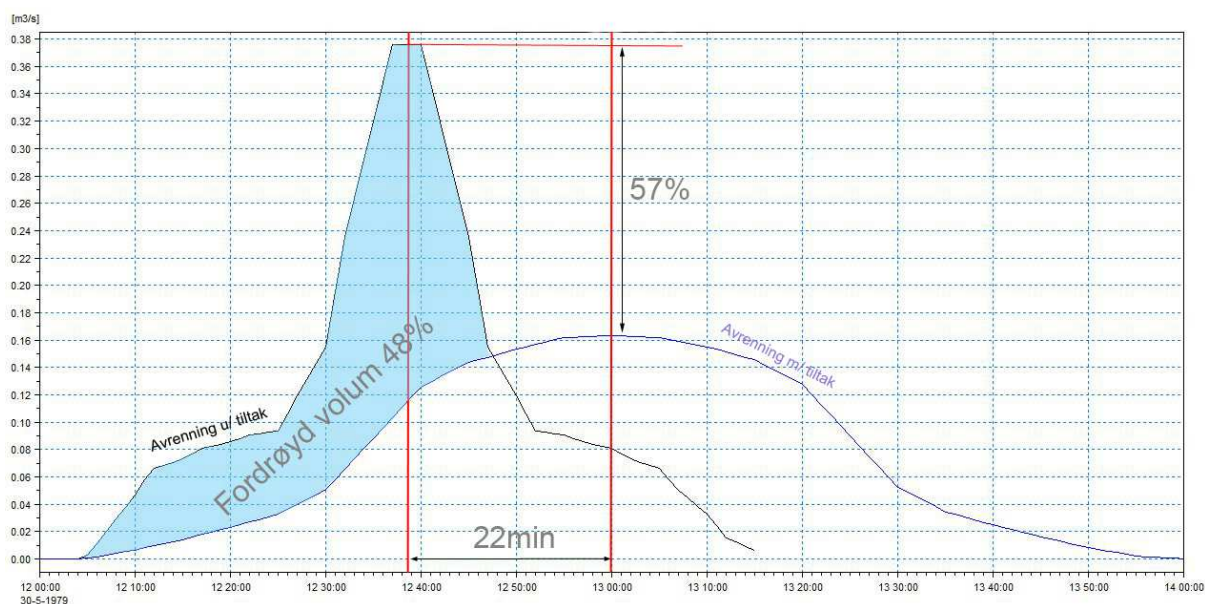


Figur 41: Områder med hus hvor avrenningen fra takflatene er koblet fra ledningsnettet er markert med turkis. Inndelingen gjelder også for fordrøyningstiltak. Data om de frakoblede flatene er gitt i vedlegg 2.

## 9.2.2 Fordrøyning

For å simulere fordrøyningstiltak ble tilrenningstiden i utvalgte felt oppjustert slik at rørnettets belastning ble redusert over en lengre periode og med lavere intensitet. De utvalgte feltene representerer felt som blir berørt av oppstuvning ved et 50-års regn med et klimatillegg på 50 %, altså samme felt som er valgt for frakobling av takflater. (se Figur 41). Grunnen til at disse feltene er valgt, er fordi de gir den ønskede effekten ved simulering av et 100-års regn med 50 % klimatillegg. I de fleste fordrøyningstiltak er den videreførte vannmengden justert, ved bruk av strupet utløp, virvelkammer eller lignende, til å være tilnærmet konstant. Dette er komplisert og tidkrevende å gjøre i modellen, og denne typen tiltak ble derfor ikke simulert. Fordrøyningstiltaket som blir simulert i denne oppgaven kan representere en dam/nedsenkning med v-utløp eller lignende, og det forutsettes at det anlegges et tiltak av denne typen i hvert av de 88 feltene.

Tilrenningstiden for de utvalgte flatene ble endret fra 7min til 50min for å oppnå ønsket effekt. Dette resulterte i at toppintensiteten ble forskjøvet med 22min og redusert med ca. 57 %. Da kurvene som representerer avrenning med og uten tiltak kan representere henholdsvis ut- og innløpskurven til et magasin, kan det nødvendige magasinivolumet for hvert delfelt beregnes. Volumet ble beregnet til 48 % av den totale avrenningen for alle delfelt (se Figur 42).



Figur 42: Avrenning fra et delfelt med og uten tiltak. Tiltaket fører til 22min forskyvning og 57 % reduksjon av toppintensiteten. 48 % av den totale avrenningen fra hvert delfelt forventes fordrøyd.

### 9.2.3 Utvidelse av rørdiameter

For å simulere utvidelse av rørdiameter, er det gjort endringer i alle overvann- og fellesledninger med oppstuvning over 75 cm topp rør ved et 100-års regn med 50 % klimatillegg. Dette tilsvarer en utskiftning av 34 % av fellesledningene og 21,6 % av overvannsledningene med en total utskiftet lengde på 12 182m. Noen av spillvannsledningene ble også utsatt for oppstuvning, og dette kan skyldes feildefineringer i konstruksjon av modellen. Det ble ikke gjort endringer på spillvannsledningene, da det ikke fantes tilstrekkelig data for å omdefinere ledningsstrekken og de ble derfor utelukket fra resultatene.

Det ble sett på som hensiktsmessig å doble vannføringen i de utvalgte rørene og diameteren ble derfor endret med 41,2 % i samtlige ledninger uten å vurdere spesielt utsatte rørstrekk.

Kontinuitetsligningen ble brukt for å finne den prosentvise utvidelse av rørene som kreves for å doble vannføringen:

$$Q = V \cdot A$$

Det antas at hastigheten er tilnærmet lik ved begge

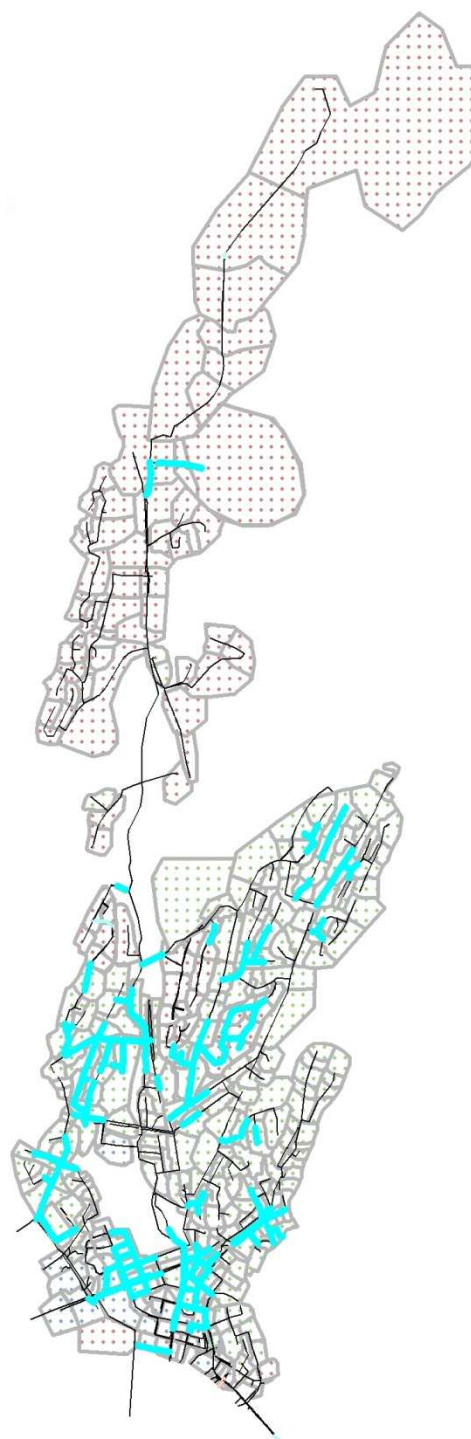
tilfeller slik at  $V_1 = V_2$  og  $Q_1 = \frac{Q_2}{2}$

$$V_1 = V_2 \rightarrow \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \rightarrow \frac{Q_2}{2A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \rightarrow 2A_1 = A_2$$

Setter inn for  $A = \frac{\pi D^2}{4}$  som gir

$$\sqrt{2}D_1 = D_2$$

Oppdimensjoneringen ble gjort ved å multiplisere diameteren til alle utvalgte rørstrekk med 1,412.

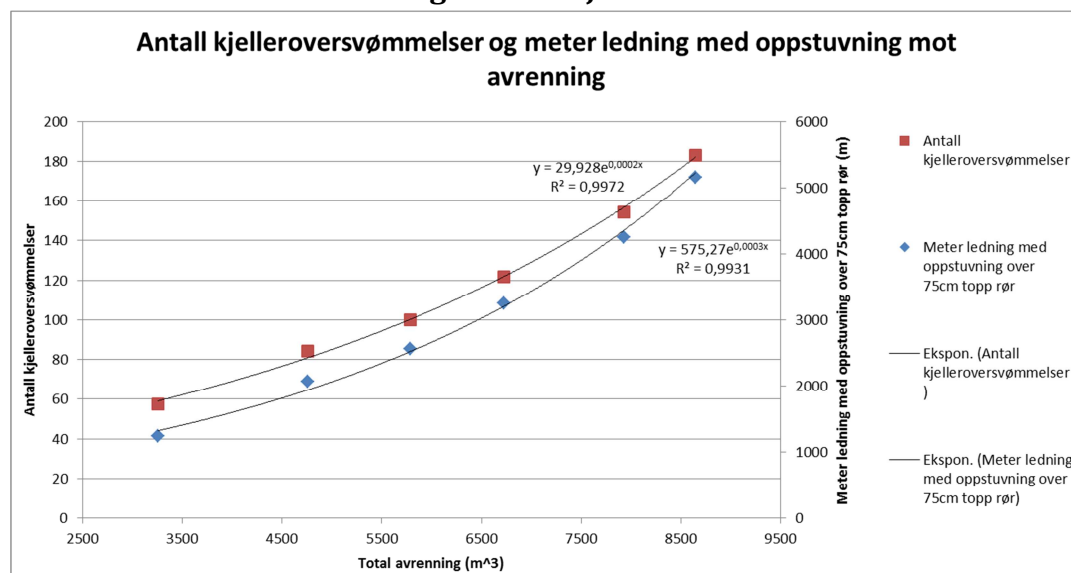


Figur 43: Oppdimensjonerte rør er markert med turkis. Data om de utskiftede ledningene er gitt i vedlegg 2.

## 9.3 Resultater

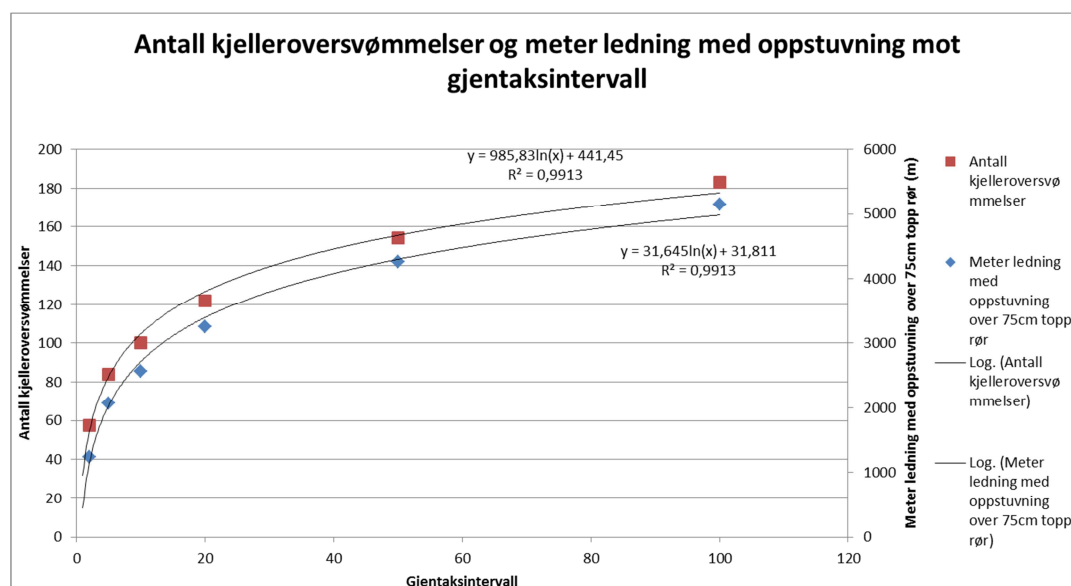
Resultatene i dette kapittelet er basert på simulering av 12 regnhendelser med varierende gjentakintervall for hver av de fire modelloppbygningene; normalsituasjon, frakobling av tak, utvidelse av rørdiameter og fordrøyning. Det er i alt gjort 48 individuelle simuleringer.

### 9.3.1 Generelle resultater og observasjoner



Figur 44: Antall kjelleroversvømmelser og meter ledning med oppstuvning mot avrenning.

Simuleringene viser at antall kjelleroversvømmelser og antall meter ledning med oppstuvning øker eksponentielt med økende avrenning. Da det er et lineært forhold mellom avrenning og nedbørintensitet i modellen, viser resultatene indirekte at antall kjellere med skadepotensiale øker eksponentielt med økende nedbørintensitet. Dette forholdet gjelder for alle utførte simuleringer.



Figur 45: Antall kjelleroversvømmelser og meter ledning med oppstuvning mot gjentakintervall.

Når vi ser på antall kjellerskader og meter ledning med oppstuvning mot gjentaksintervall, ser vi at resultatene gjenspeiler Gumbel fordelingen som IVF-kurven er bygget opp etter.

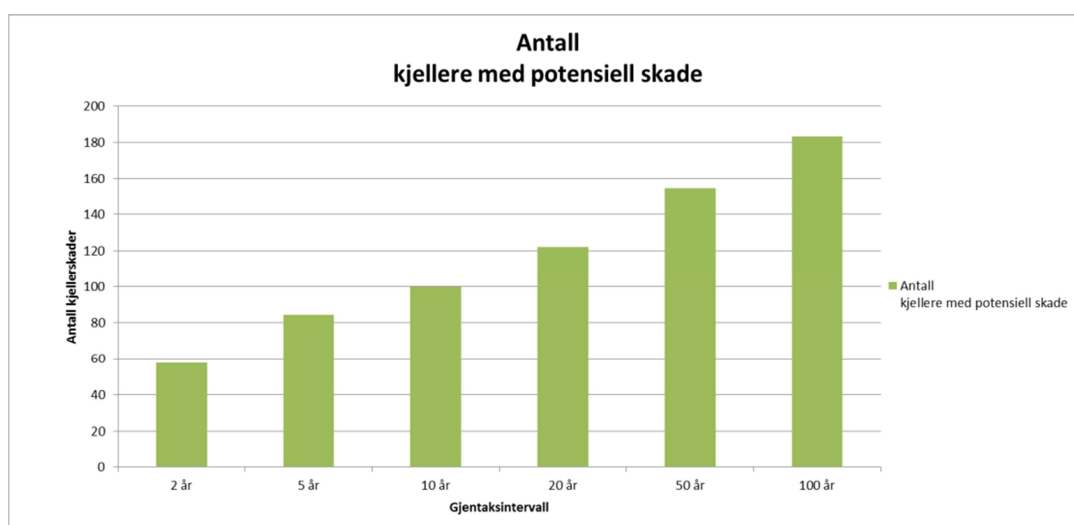
### 9.3.2 Nåværende situasjon

Den nåværende situasjonen gir en beskrivelse av tilstanden i feltet i dag og er referansenivå for den ønskede effekten av tiltakene om 100 år.

Tabell 11: Nåværende situasjon i Veumdalen for forskjellige gjentaksintervall.

gjentaksintervall	Ledninger (m) med oppstuvning over 75cm topp ledning	Antall kjellere med potensiell skade
2 år	1245	58
5 år	2072	84
10 år	2565	100
20 år	3249	122
50 år	4255	154
100 år	5153	183

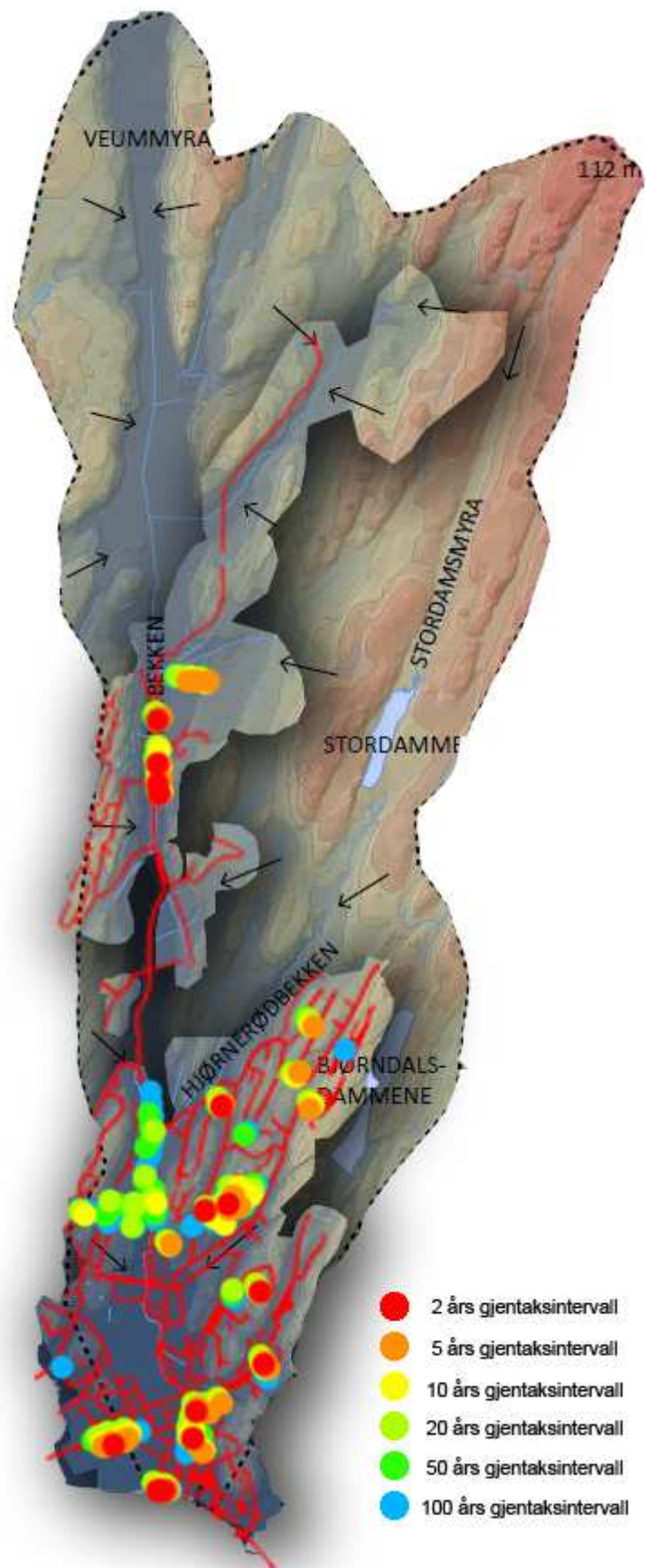
I tabellen ser vi at antall kjellere med fare for kjellerversvømmelser øker fra 58 til 183 ved stigende gjentaksintervall. At det oppstår et såpass høyt antall kjellerversvømmelser ved lave gjentaksintervall selv uten klimatillegg, vil bli diskutert i kapittel 12.



Figur 46: Antall kjellerskader, nåværende situasjon, ved forskjellige gjentaksintervall.



I Figur 47 er hele nedbørsfeltet til Veumdalen representert. Det uthevede området er nedbørsfeltinndelingen i modellen, og de røde linjene representerer avløpsnettets beliggenhet. Områder som vil være i fare for oversvømmelser er markert med fargede prikker, hvor fargen beskriver det laveste gjentaksintervallet som vil føre til skade. For eksempel vil røde markeringer beskrive områder som vil oppleve kjelleroversvømmelser ved regnhendelser med 2-års gjentaksintervall eller høyere. Videre vil områder markert med gult oppleve kjelleroversvømmelser ved regn med 10-års gjentaksintervall eller høyere, men ikke ved regn med 2 og 5-års gjentaksintervall. Der blå markeringer er synlige, vil kun 100-års regnet føre til skade.



Figur 47: Situasjonsskart for berørte områder ved forskjellige gjentaksintervall. Figuren er laget på grunnlag av resultater vist i vedlegg 3.

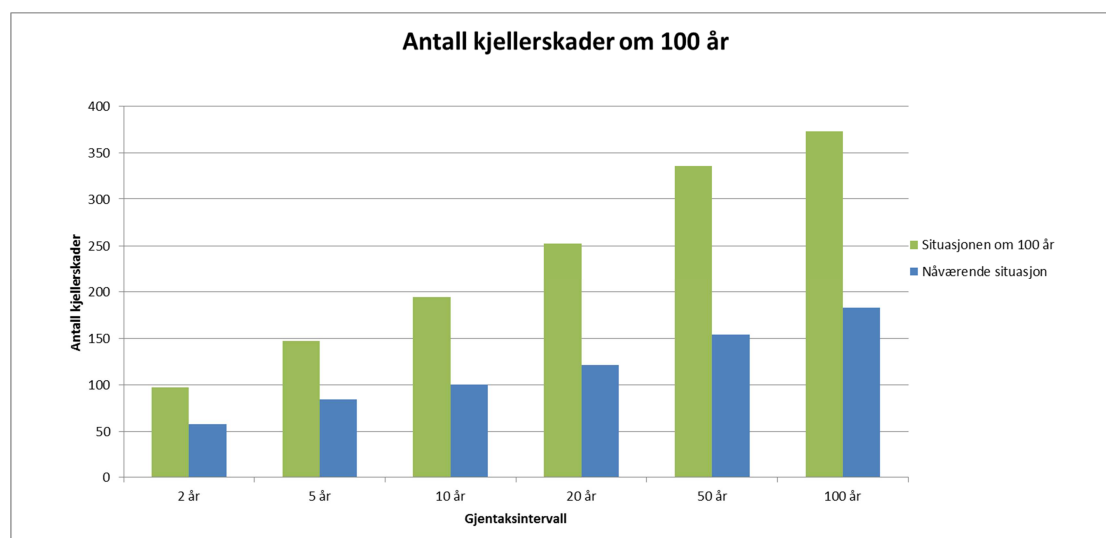
### 9.3.3 Situasjonen om 100 år

Situasjonen om 100 år er simulert med en antagelse om at regnene kommer til å bli 50 % mer intensive rundt år 2100. Ved simulering av tiltak ønskes disse verdiene redusert til nåværende nivå.

Tabell 12: Situasjonen i Veumdalen om 100 år ved forskjellige gjentakintervall (50 % klimatillegg).

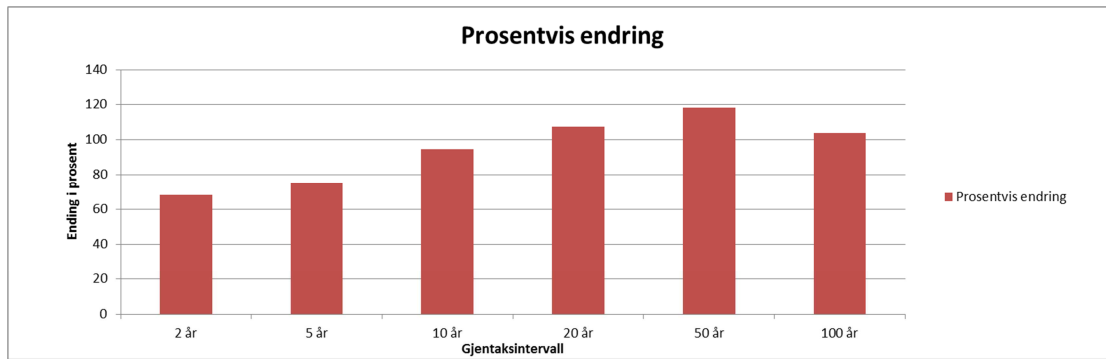
gjentakintervall	Ledninger (m) med oppstuvning over 75cm topp ledning	Antall kjellere med potensiell skade Nåværende situasjon	Antall kjellere med potensiell skade situasjon om 100 år	Prosentvis endring
2 år	2467	58	97	68 %
5 år	4042	84	147	75 %
10 år	5504	100	194	94 %
20 år	7323	122	253	107 %
50 år	9931	154	336	118 %
100 år	11070	183	373	104 %

I tabellen ser vi at antall kjellere med fare for kjelleroversvømmelser øker fra 97 til 373 ved stigende gjentakintervall.



Figur 48: Antall kjellerskader om 100 år ved forskjellige gjentakintervall sett i forhold til nåværende situasjon.

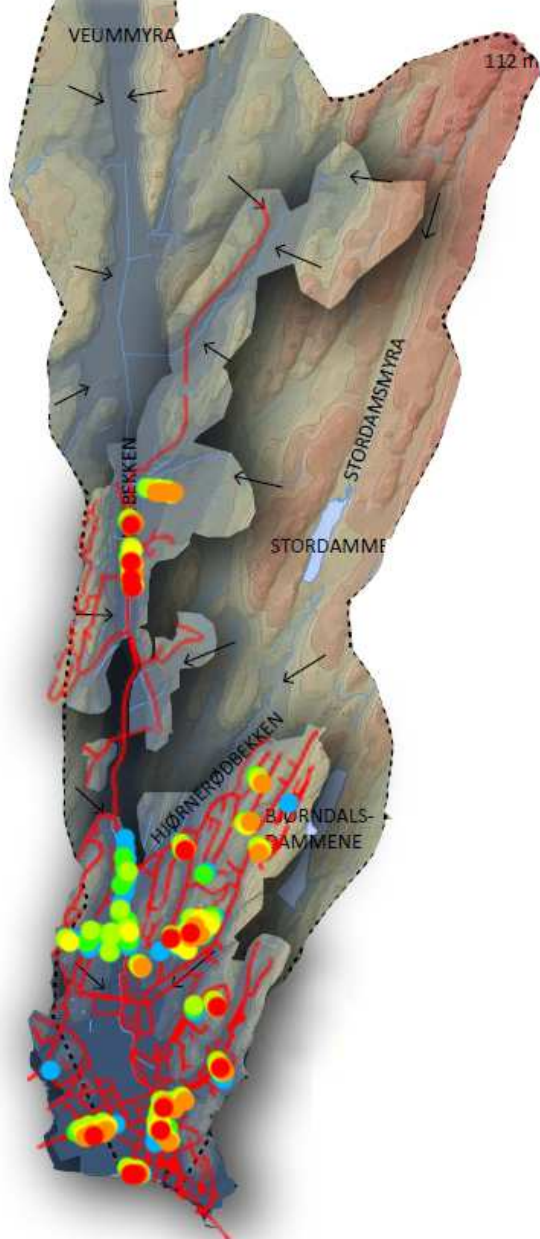




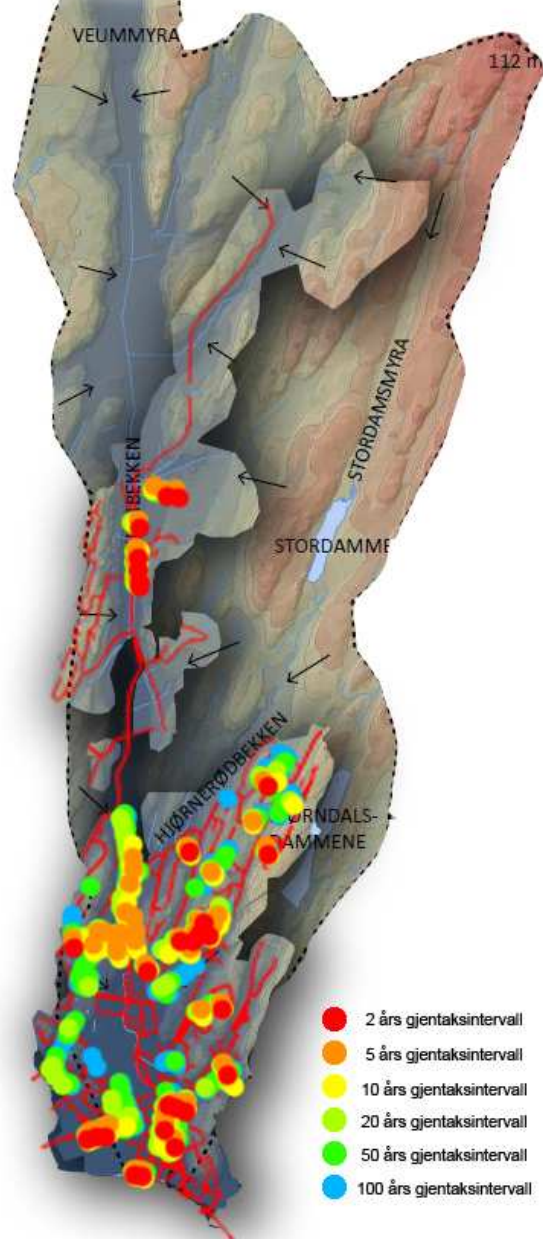
**Figur 49: Prosentvis endring i antall kjellerskader om 100 år i forhold til dagens nivå. For regnhendelsen med 50-års gjentaksintervall ser vi en økning på 118 % ved 50 % økning av regnintensitet.**

I Figur 48 og Figur 49 Ser vi at antall kjellerskader ikke øker med et bestemt forhold til økning i regnintensitet. At den prosentvise endringen ser ut til å avta etter 50-års hendelsen, kan være en indikasjon på at nettet er "mettet". Det vil si at alle de "utsatte" ledningsstrekene med lite fall er berørt, og at ledninger med mye fall ikke blir berørt med like stor rate.

## Nåværende situasjon



## Situasjonen om 100 år



- 2 års gjentakintervall
- 5 års gjentakintervall
- 10 års gjentakintervall
- 20 års gjentakintervall
- 50 års gjentakintervall
- 100 års gjentakintervall

Figur 50: Til venstre: Nåværende situasjon. Til høyre: Situasjonen om 100 år. Områder som vil være i fare for oversvømmelser er markert med fargede prikker, hvor fargen beskriver det laveste gjentakintervallet som vil føre til skade. Figuren er laget på grunnlag av resultater vist i vedlegg 3.

I Figur 50 ser vi at situasjonen om 100 år er en kraftig forverring av nåværende situasjon, og at det spesielt ved regn med 50-års gjentakintervall vil være en betydelig økning i skadeutsatte områder.

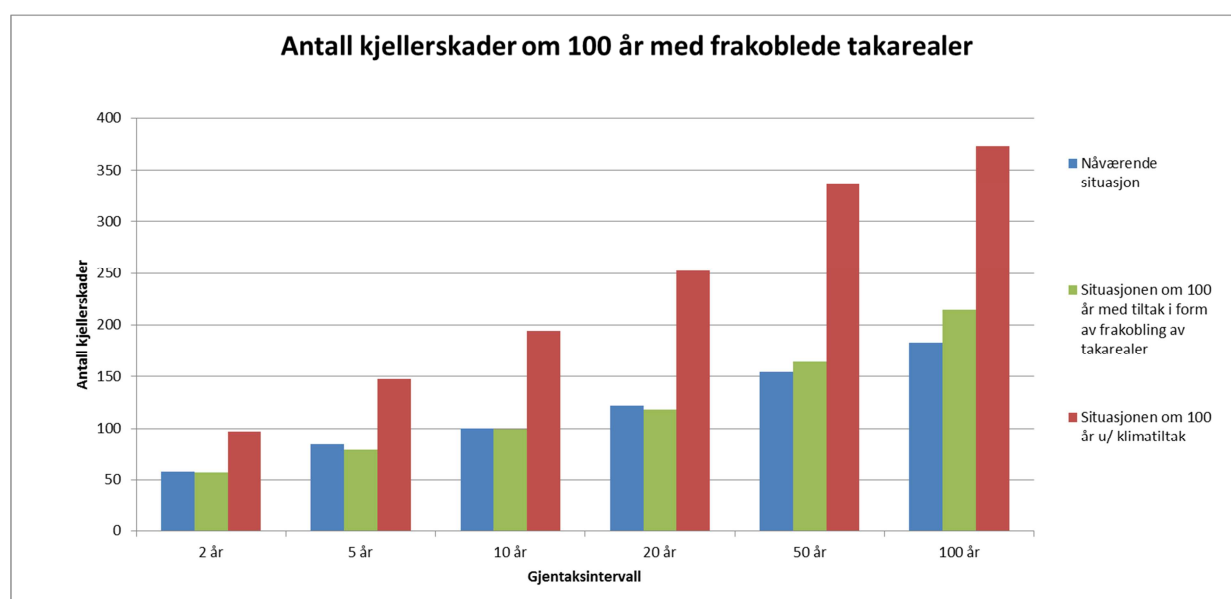
### 9.3.4 Frakobling av tette flater (Infiltrasjon)

Frakobling av tette flater (takarealer) ble gjort med ønske om å redusere skadepotensialene til regnene som er forventet om 100 år ned til dagens nivå.

Tabell 13: Situasjonen i Veumdalen om 100 år med frakoblede flater ved forskjellige gjentaksintervall.

Gjentaksintervall	Ledninger (m) med oppstuvning over 75cm topp ledning	Antall kjellere med potensiell skade med klimatiltak om 100 år	Antall kjellere med potensiell skade Nåværende situasjon	Antall kjellere med potensiell skade sit. om 100 år
2 år	1221	57	58	97
5 år	1913	79	84	147
10 år	2543	99	100	194
20 år	3137	118	122	253
50 år	4575	164	154	336
100 år	6145	215	183	373

I tabellen ser vi at antall kjellere med fare for kjelleroversvømmelser øker fra 57 til 215 ved stigende gjentaksintervall.



Figur 51: Situasjonen om 100 år med frakoblede takarealer sett i forhold til nåværende situasjon.

I Figur 51 ser vi at å koble fra takarealene i områdene beskrevet i kapittel 9.2.1 reduserer antall kjelleroversvømmelser til tilnærmet dagens nivå. Av figuren kan det leses at tiltaket senker nivået mer mot nåværende nivå ved små regn med lavt gjentaksintervall, i motsetning til store og intensive regn med større gjentaksintervall.

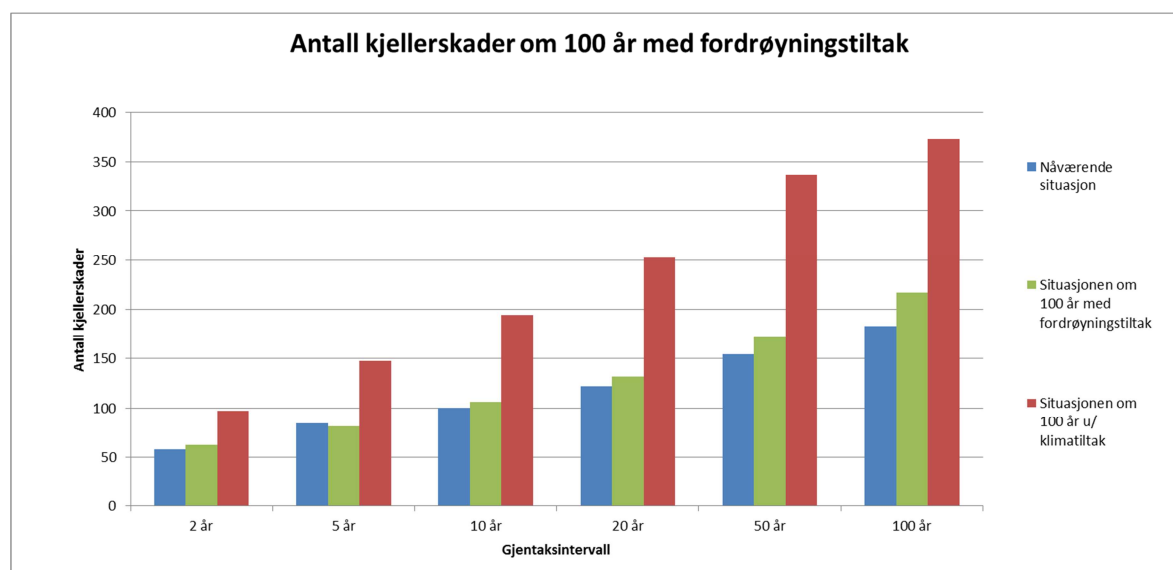
### 9.3.5 Fordrøyning

Fordrøyningstiltak ble simulert med ønske om å redusere skadepotensialene til regnene som er forventet om 100 år ned til dagens nivå.

Tabell 14: Situasjonen i Veumdalen om 100 år med fordrøyningstiltak ved forskjellige gjentaksintervall.

Gjentaksintervall	Ledninger (m) med oppstuvning over 75cm topp ledning	Antall kjellere med potensiell skade med tiltak om 100 år	Antall kjellere med potensiell skade Nåværende sit.	Antall kjellere med potensiell skade sit. om 100 år
2 år	1400	63	58	97
5 år	1978	81	84	147
10 år	2750	106	100	194
20 år	3546	131	122	253
50 år	4803	172	154	336
100 år	6214	217	183	373

I tabellen ser vi at antall kjellere med fare for kjelleroversvømmelser øker fra 63 til 217 ved stigende gjentaksintervall.



Figur 52: Situasjonen om 100 år med fordrøyningstiltak sett i forhold til nåværende situasjon.

I Figur 52 ser vi at ved å innføre fordrøyningstiltak i områdene beskrevet i kapittel 9.2.2 reduseres antall kjelleroversvømmelser til tilnærmet dagens nivå. Av figuren kan det leses at tiltaket har større effekt på små regn med lavt gjentaksintervall kontra store og intensive regn med større gjentaksintervall.

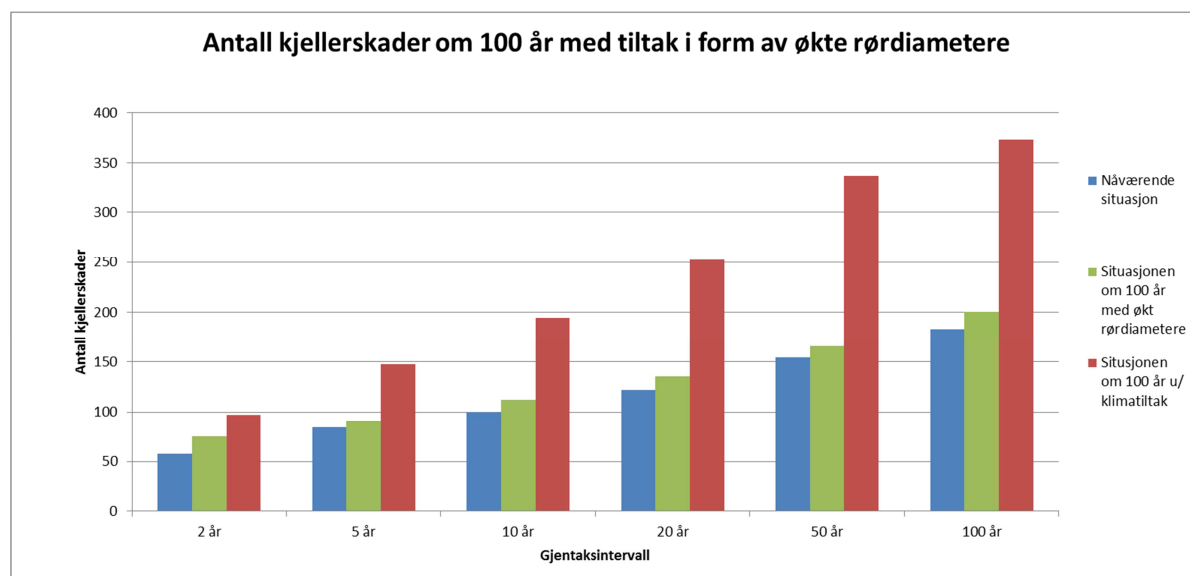
### 9.3.6 Konvensjonelle tiltak (utvidelse av rørdiameter)

Tiltak i form av utvidelse av rørdiameter ble simulert med ønske om å redusere skadepotensialene til regnene som er forventet om 100 år ned til dagens nivå.

Tabell 15: Situasjonen i Veumdalen om 100 år med tiltak i form av utvidelse av rørdiameter ved forskjellige gjentaksintervall

Gjentaksintervall	Ledninger (m) med oppstuvning over 75cm topp ledning	Antall kjellere med potensiell skade med tiltak om 100 år	Antall kjellere med potensiell skade Nåværende situasjon	Antall kjellere med potensiell skade sit. om 100 år
2 år	1799	75	58	97
5 år	2285	91	84	147
10 år	2946	112	100	194
20 år	3677	136	122	253
50 år	4602	165	154	336
100 år	5696	200	183	373

I tabellen ser vi at antall kjellere med fare for kjelleroversvømmelser øker fra 75 til 200 ved stigende gjentaksintervall.



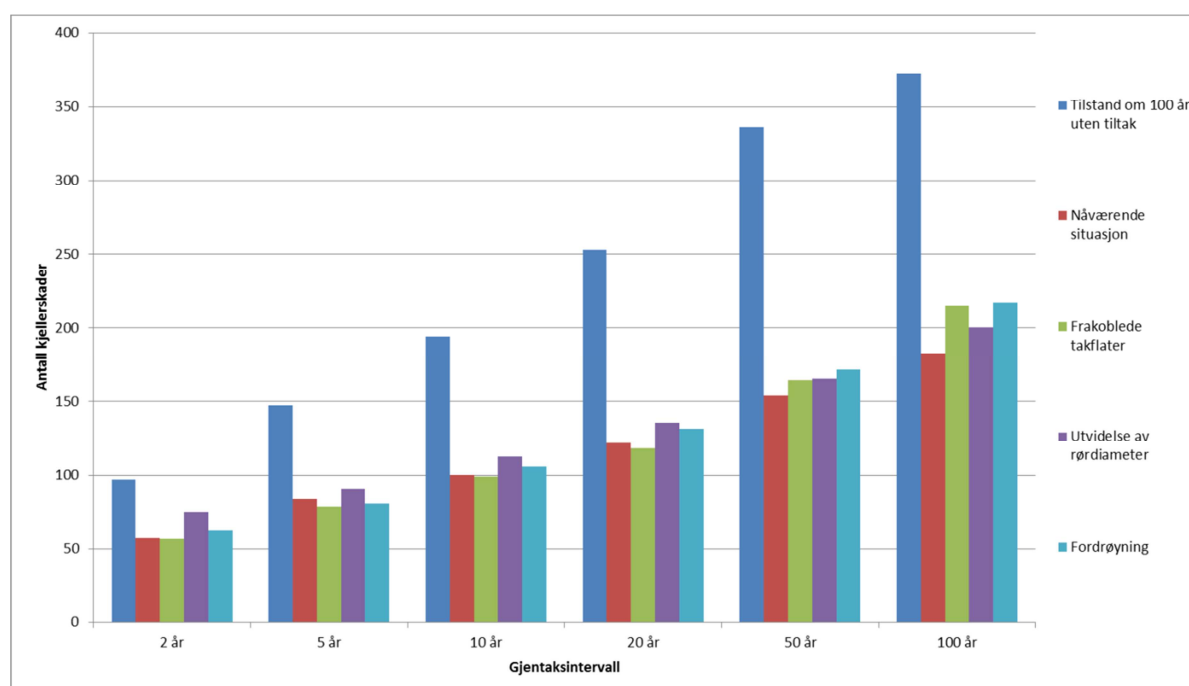
Figur 53: Situasjonen om 100 år med tiltak i form av økte rørdiameter sett i forhold til nåværende situasjon.

I Figur 53 ser vi at å øke rørdiameterne i rørstrekene beskrevet i kapittel 9.2.3 reduserer antall kjelleroversvømmelser til et noe høyere nivå enn dagens situasjon. Av figuren kan det leses at tiltaket har tilnærmet lik effekt på alle gjentaksintervall.

### 9.3.7 Sammenligning av tiltak

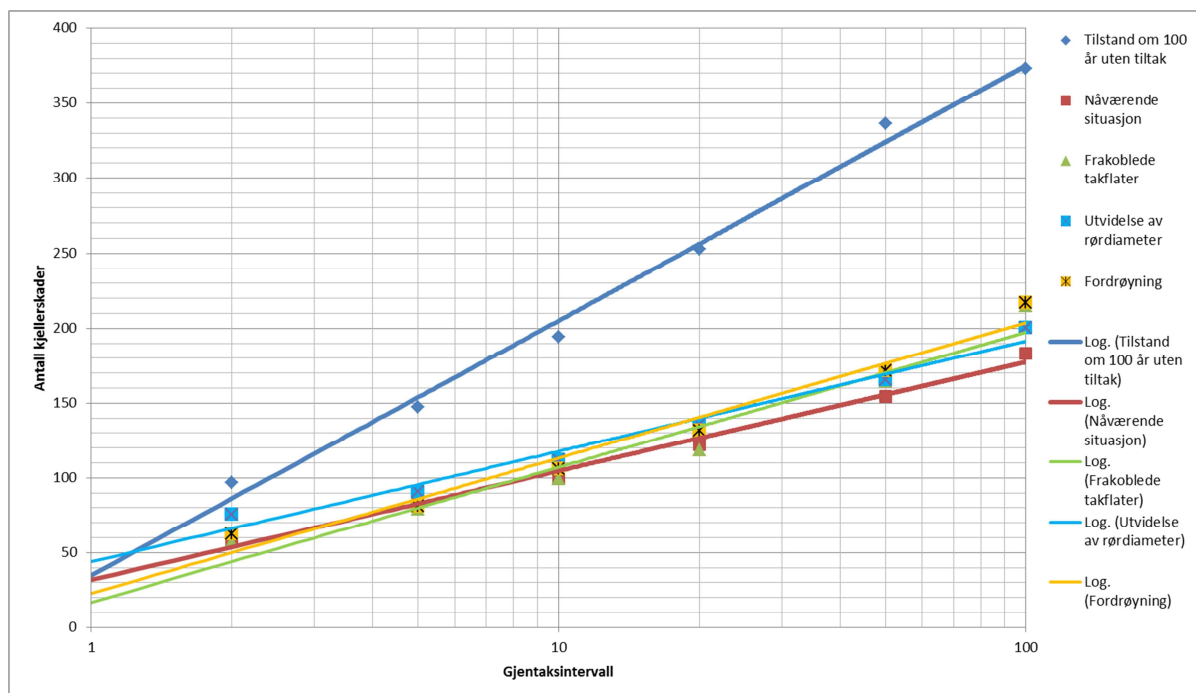
Tabell 16: Antall kjellerskader ved forskjellige gjentaksintervall ved nåværende situasjon og situasjonen om 100 år med og uten klimatillegg.

Gjentaksintervall	Nåværende situasjon	Situasjonen om 100 år, med klimatillegg	Frakobling av takarealer	Fordrøynings løsninger	Utvidelse av rørdiametre
2 år	58	97	57	63	75
5 år	84	147	79	81	91
10 år	100	194	99	106	112
20 år	122	253	118	131	136
50 år	154	336	164	172	165
100 år	183	373	215	217	200



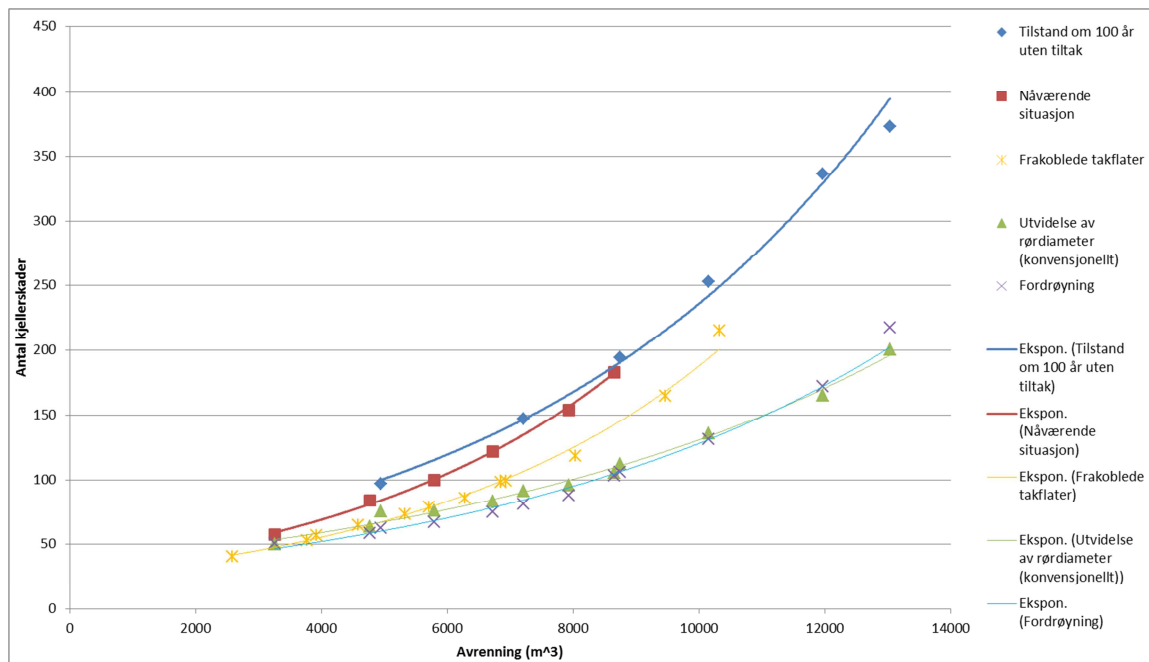
Figur 54: Sammenligning av tiltak ved forskjellige gjentaksintervall om 100 år.

De forskjellige tiltakene viser seg å ha varierende effekt for de forskjellige regnintensitetene. Fra figuren kan det observeres at frakobling av tette flater og fordrøyning har tilnærmet lik effekt ved alle gjentaksintervall. For simulering tiltak i form av økt rørdiametre kommer ikke tilstanden helt ned på nåværende nivå, men har et noe høyere skadepotensiale enn den nåværende situasjonen ved alle gjentaksintervall.



Figur 55: Logaritmisk fremstilling av skadepotensial ved forskjellige gjentaksintervall.

I Figur 55 ser vi at logaritmisk fremstilling av skadepotensiale mot gjentaksintervall viser at den logaritmiske trendlinjen for fordrøyningstiltak og frakobling av takarealer skjærer trendlinjen for nåværende situasjon ved 5-års gjentaksintervall. Regn med lavere intensitet enn dette gir lavere skadepotensiale enn nåværende situasjon, mens høyere gjentaksintervall gir høyere skadepotensiale. Trendlinjen for utvidelse av rørdiameter har ingen skjæring med trendlinjen for nåværende situasjon og gir høyere skadepotensiale ved alle gjentaksintervall. Trendlinjen for utvidelse av rørdiameter har tilnærmet lik stigning som trendlinjen for den nåværende situasjonen.



**Figur 56: Fremstilling av kjellerskader mot avrenning for nåværende situasjon og situasjonen om 100 år samt både nåværende situasjon og situasjonen om 100 år for frakobling av takareal, fordrøyning og utvidelse av rørdiameter.**

Den røde og blå linjen viser henholdsvis nåværende situasjon og situasjonen om 100 år, mens de resterende linjene viser situasjonen om 100 år med tiltak av forskjellig art. I Figur 56 ser vi at fordrøyningstiltak og utvidelse av rørdiameter har innvirkning på effekten av avrenningen, mens frakobling av tette flater har direkte effekt på avrenningen.



## 10 Økonomisk analyse

I den økonomiske analysen er målet å vurdere kostnaden av de forskjellige tiltakene opp mot hverandre, og mot kostnaden av den forverrede nedbørsituasjonen i fremtiden i en enkel kost-effekt analyse. Effekten av tiltakene er beskrevet i foregående kapittel hvor nåværende situasjon er benyttet som referansesituasjon. For at tiltakene skal være samfunnsøkonomisk optimale, må kostnaden ved anlegning være mindre enn kostnadene ved en forverret nedbørsituasjon over 100 år. Det vil si at tiltakene må føre til en økonomisk besparelse over tid.

### 10.1 Nåverdimetoden

I løpet av en 100-års periode vil det forekomme et antall skadevoldende hendelser, men det er umulig å si noe om når disse hendelsene vil inntreffe. Hendelsene vil opptre uavhengig av hverandre, og det er statistisk sett mulig at alle hendelsene skjer i starten eller slutten av perioden, eller jevnt fordelt. Det er derfor hensiktsmessig å fordele kostnadene jevnt utover hele perioden. For å vise en god sammenligning av kostnad og nytteelementer som skjer ved ulike tidspunkt i en 100-års periode benyttes nåverdimetoden.

Nåverdien er dagens verdi av de samlede nytteeffekter og kostnader som påløper i ulike perioder. Begrepet tar utgangspunkt i at "en krone i dag har ikke samme verdi som en krone i morgen" (Finansdepartementet 1997). Dette gjøres ved å neddiskontere fremtidige kontantstrømmer og føre dem tilbake til investeringstidspunktet, slik at man får en netto nåverdi for fremtidige kostnader. Diskonteringsrenten har stort utslag på prosjektets lønnsomhet. Da analysen er meget lang i forhold til vanlige nåverdianalyser, vil diskonteringsrenten ha spesielt stort utslag. Diskonteringsrenten er vurdert til 4 % på bakgrunn av dagens rentenivå, og et lite tillegg grunnet lave renter ved nåværende tidspunkt. Formelen for beregning av netto nåverdi er (Finansdepartementet 1997):

$$NVN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{U_t}{(1+k)^t}$$

Hvor:

NVN = netto nåverdi

$I_0$  = investeringsutgift som påbeløper i år 0

$U_t$  = nytteoverskudd i år t

K = diskonteringsrenten

Nytteoverskuddet vil i denne oppgaven være eventuelle besparelser i perioden fra år 1 til 100. Det vil bli beregnet nåverdi for de gjennomsnittlige kostnadene per år for skadeomkostningen med og uten klimatiltak for en lineær økning av regnintensitet for å finne det eventuelle nytteoverskuddet for de forskjellige tiltakene.

Det stigende klimatillegget er i kostnadsanalysen gjort ved å vurdere gjennomsnittskostnaden per år for nåværende tilstand og tilstanden om 100 år.

Gjennomsnittet av disse to kostnadsanalysene vil så bli brukt som grunnlag for nåverdiberegningene.

## 10.2 Tiltakskostnader

Kostnadsvurderinger for tiltak er av så omfattende karakter at det er blitt sett på som nødvendig å gjøre noen forenklinger. For det første er det ikke tatt hensyn til anleggsperiode eller gradvis oppgradering av nettet, og byggekostnadene er vurdert som en enkelt sum som investeres i år 0. For det andre foreligger det ikke god data om driftskostnader, og disse derfor ikke tatt med i den økonomiske analysen. Med andre ord er det kun investeringskostnaden til de ulike tiltakene som vil bli vurdert i denne analysen.

## 10.3 Kostnader ved kjelleroversvømmelser

Kostnaden for kjelleroversvømmelser er kalkulert med grunnlag i tallene for gjennomsnittsskade i Trondheim nevnt i avsnitt 5.1. Her er gjennomsnittsskadekostnad for skader på både bygning og interiør vurdert til 141.665kr for skader påført av spillvannsintrenging og 113.805kr for skader påført av overvannsintrenging. Det er sett på som hensiktsmessig å bruke gjennomsnittet av disse to verdiene. Kostnaden er rundet opp til 130 000kr per kjelleroversvømmelse.

## 10.4 Resultater

### 10.4.1 Nåværende situasjon

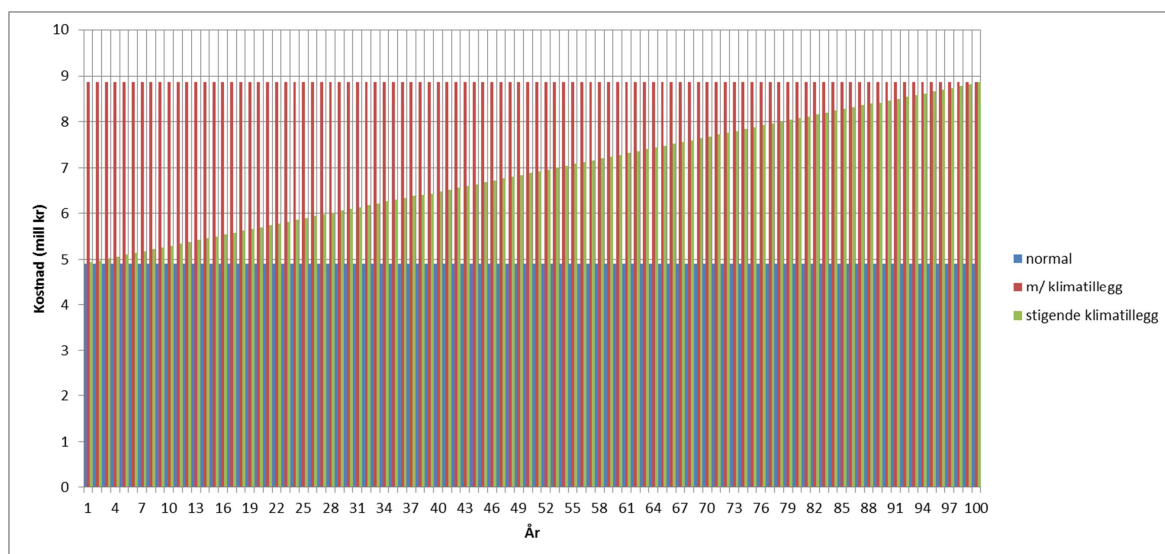
Tabell 17: Kostnad ved regnhendelser med forskjellig gjentaksintervall.

Kostnad pr. kjellerskade		kr 130 000
gjentaksintervall	Antall kjellerskader	kostnad
2 år	58	kr 7 487 767
5 år	84	kr 10 941 502
10 år	100	kr 12 996 047
20 år	122	kr 15 849 966
50 år	154	kr 20 049 464
100 år	183	kr 23 795 081

Tabellen viser kostnadene ved forskjellige gjentaksintervall hvis hendelsen skulle skjedd i dag. F.eks.: Hadde det skulle skjedd en regnhendelse med 10-års gjentaksintervall i dag, ville den totale kostnaden kommet på rundt 13 millioner kroner for skader på totalt 100 kjellere.

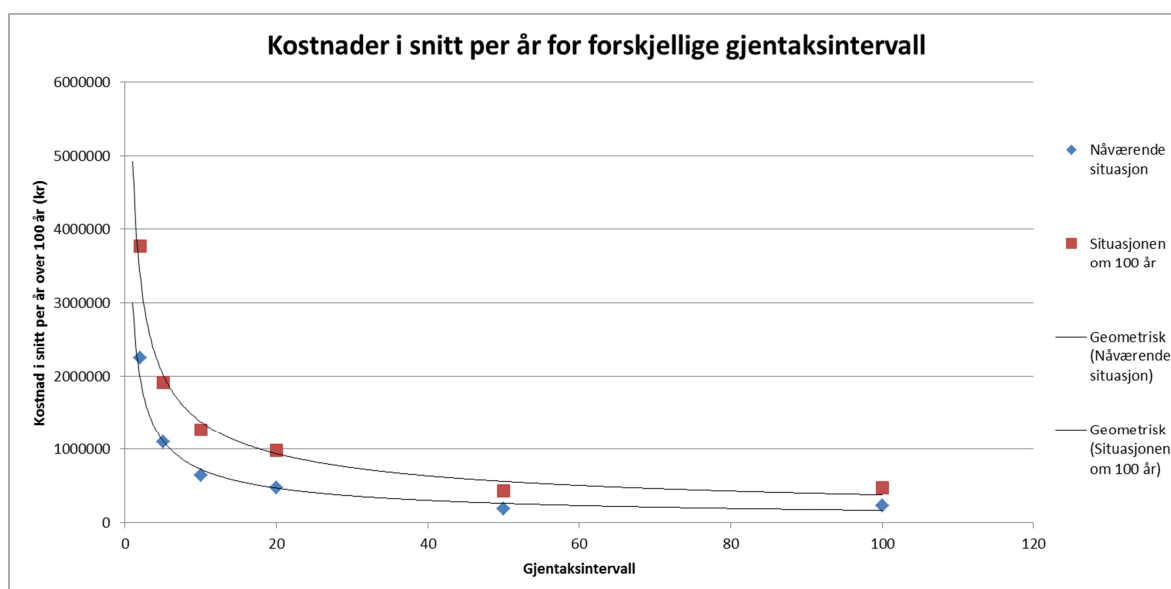
### 10.4.2 Kostnad over de neste 100 år

Da det er forventet en lineær stigning i regnintensiteten de neste 100 år, er det antatt at årlig kostnad vil stige med det samme lineære forholdet.



Figur 57: Gjennomsnittlig kostnad per år for nåværende situasjon, situasjonen om 100 år og antagelsen om at det vil være en lineær stigning i årlig kostnad i 100 år.

Som nevnt i kapittel 8.4 er det forventet et ulikt antall regn for forskjellige gjentakintervall, og det kan nevnes at regn med mellom 2- og 5-års gjentakintervall statistisk sett vil opptre 30 ganger i løpet av en 100-års periode, mens et regn med 100-års gjentakintervall eller høyere vil opptre 1 gang i samme periode. Dette gir grunnlag for vurdering av hvor stort bidrag hvert gjentakintervall har på den totale kostnaden. (se Figur 58).



Figur 58: Kostnad i snitt per år for forskjellige gjentakintervall med og uten klimatillegg.

I Figur 58 ser vi at selv om kostnadene for enkelttilfeller er større for høye gjentakintervall vil de lave intensitetene føre til størst kostnad i snitt per år, og dermed er de de største bidragsyterne til totalkostnaden.

Tabell 18: Nåverdi av kostnadene for nåværende situasjon, situasjonen om 100 år og stigende klimatillegg. Tallene er oppgitt i millioner kr.

<b>kostnad nåværende situasjon</b>	120 mill kr
<b>kostnad m/ klimatillegg</b>	217 mill kr
<b>Kostnad stigende klimatillegg</b>	169 mill kr

For at tiltakene skal være kostnadseffektive, må kostnaden ved stigende klimatillegg reduseres til kostnaden ved stigende klimatillegg minus investeringskostnaden eller lavere.

### 10.4.3 Frakobling av tak

Tabell 19: Nåverdiberegning av kostnadsbesparelsen ved å koble fra takarealer over 100 år.

<b>pris (kr/m<sup>2</sup>)</b>	<b>antall (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total skadekostnad u/ klimatiltak (Nåverdi)</b>	169 mill kr
20	167992	<b>Total skadekostnad m/ klimatiltak (Nåverdi)</b>	99 mill kr
		<b>Kostnadsbesparelse (Nåverdi)</b>	70 mill kr
<b>Investeringskost (mill kr)</b>	3	<b>Lønnsomhet (Netto nåverdi)</b>	<b>67 mill kr</b>

Tabell 19 viser netto nåverdi av besparelsene som følge av investering i frakobling av takarealer i år 0. Som vi ser er det en meget stor økonomisk gevinst ved investering i dette tiltaket. Tiltaket fører til en reduksjon av kostnadene til et nivå godt under nåværende situasjon. Dette kan være et resultat av at frakobling av tak har større effekt på lave gjentakintervall, som i sin tur har størst bidragende effekt på totalkostnadene.

#### 10.4.4 Fordrøyning

Tabell 20: Nåverdiberegning av kostnadsbesparelsen ved fordrøyningstiltak over 100 år.

<b>pris (kr/m<sup>3</sup>)</b>	<b>antall (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total skadekostnad u/ klimatiltak (Nåverdi)</b>	169 mill kr
5000	2244	<b>Total skadekostnad m/ klimatiltak (Nåverdi)</b>	111 mill kr
		<b>Kostnadsbesparelse (Nåverdi)</b>	58 mill kr
<b>Investeringskost (mill kr)</b>	11	<b>Lønnsomhet (Netto nåverdi)</b>	<b>47 mill kr</b>

Tabell 20 viser netto nåverdi av besparelsene som følge av investering i fordrøyningstiltak i år 0. Resultatene viser at det er stor økonomisk gevinst knyttet til fordrøyning i Veumfeltet. Her reduseres skadekostnadene til under kostnadene ved nåværende situasjon. Dette kan, også for dette tiltaket, skyldes at fordrøyningstiltak har større effekt på lave gjentaksintervall, som i sin tur gir størst bidrag til total kostnadene.

#### 10.4.5 Utvidelse av rørdiametre

Tabell 21: Nåverdiberegning av kostnadsbesparelsen ved tiltak i form av utvidelse av rørdiametre over 100 år.

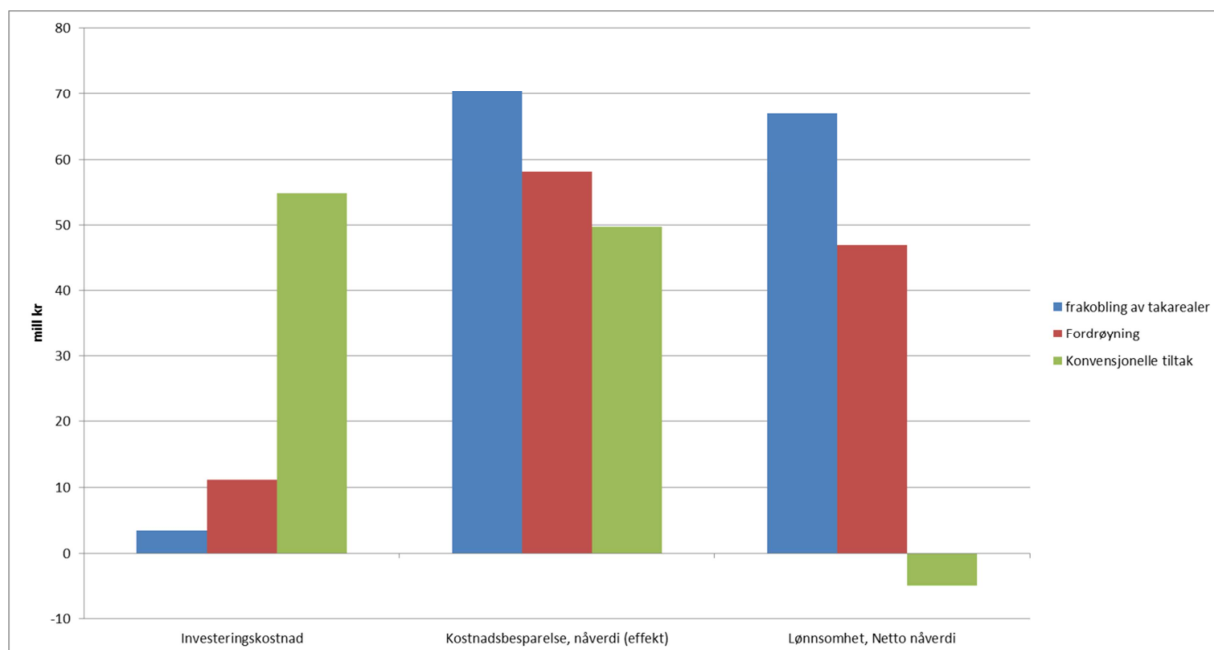
<b>pris (kr/m)</b>	<b>antall (m)</b>	<b>Total skadekostnad u/ klimatiltak (Nåverdi)</b>	169 mill kr
4500	12182	<b>Total skadekostnad m/ klimatiltak (Nåverdi)</b>	119 mill kr
		<b>Kostnadsbesparelse (Nåverdi)</b>	50 mill kr
<b>Investeringskost (mill kr)</b>	55	<b>Lønnsomhet (Netto nåverdi)</b>	<b>-5 mill kr</b>

Tabell 21 viser netto nåverdi av besparelsene som følge av investering i nye rør i år 0. Som vi ser er netto nåverdi negativ og investeringen kan derfor ikke ansees som lønnsom. Dette tiltaket har heller ikke like stor effekt som frakobling av takarealer eller fordrøyningstiltak. Et viktig moment er derimot at mye av rørnettverket i Veumdalen er gammelt og trenger fortløpende fornying. Rehabiliteringskostnadene vil utgjøre store kostnader som er uunngåelige og av den grunn ikke burde medregnes i denne analysen. Dessverre finnes det ikke nok data eller tid til å gjennomføre denne typen analyse i denne masteroppgaven og som et resultat av dette kan det tenkes at investering i fornyelse av ledningsnettets også har en gevinst.

## 10.4.6 Sammenligning av tiltak

Tabell 22: Lønnsomhet for ulike tiltak i netto nåverdi. Alle verdier er gitt i millioner kroner.

	frakobling av tak	fordrøyning	utvidelse av rør
Investeringskostnad	3	11	55
Kostnadsbesparelse	70	58	50
<b>Lønnsomhet (Netto nåverdi)</b>	<b>67</b>	<b>47</b>	<b>-5</b>



Figur 59: Sammenligning av investeringskostnad, kostnadsbesparelse og lønnsomhet for de ulike tiltakene.

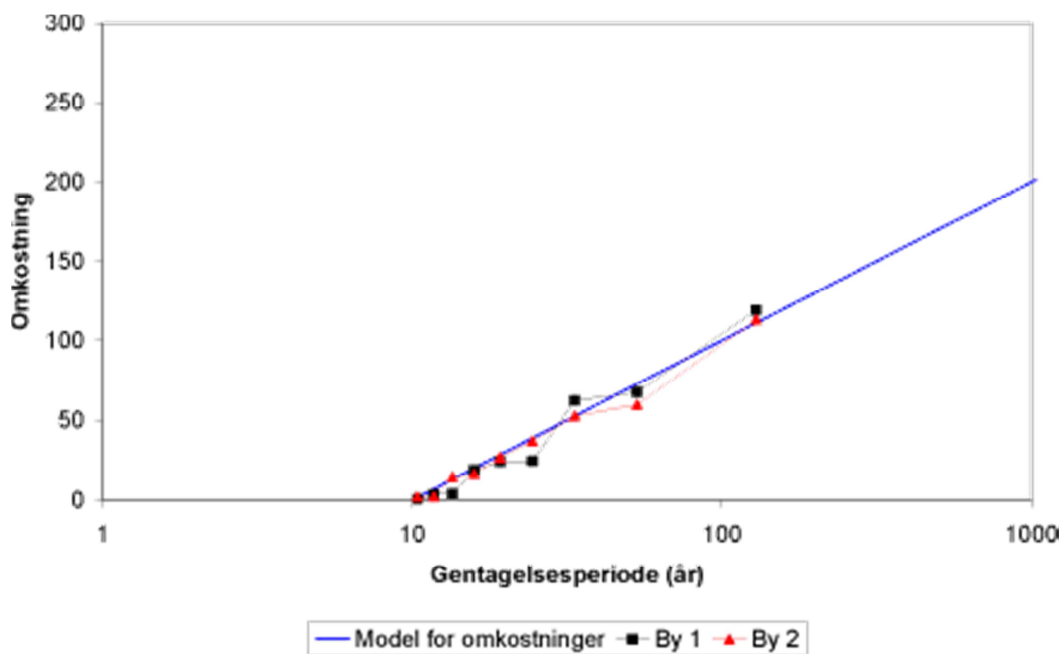
Figur 59 viser forholdet mellom Investeringskostnad og kostnadsbesparelse for de forskjellige tiltakene. Fra figuren kan vi se at å koble fra takarealer har lavest investeringskostnad og høyest kostnadsbesparelse, og dermed den høyeste lønnsomheten. Fordrøyningsløsninger gir også en høy lønnsomhet, mens tiltak i form av utvidelse av rørdiameter ikke er lønnsomt.

## 11 Dansk metode (metode til fordeling av skadeomkostninger over tid)

Denne metoden er utarbeidet av COWI- og NIRAS Danmark i samarbeid med Envidan, Roskilde- og Aalborg kommune i en dansk miljørapport.

Metoden tar utgangspunkt i sjeldne regnhendelser som gir skader på infrastruktur hvor begrepet om gjentaksintervall står sentralt. I rapporten er skadeomkostninger målt opp mot gjentaksintervallet til forskjellige regnhendelser. Det er kun målt skader for regn med 10 og 100-års gjentaksintervall, og det presiseres at resultatene er basert på grove skjønn.

Prinsippet om at det i løpet av en periode på 90 år er 9 regnhendelser som gir skade på infrastruktur, hvorav 2-3 regnhendelser vil representere de største enkeltomkostningene, gir i følge rapporten grunnlag for å finne en lovmessighet for totale skadeomkostninger i løpet av en 90-års periode.



Figur 60: "Fiktivt eksempel på observerte skadeomkostninger for to byer under antagelse om at 100-års hendelsen har omkostningen 100. I praksis vil de dominerende utgifter utgjøres av de største 2-3 hendelsene, og det vil være forskjell mellom de faktiske utgifter og den gjennomsnittlige modell. Data er i virkeligheten basert på observasjoner av ekstremregn" (Holse et al. 2007).

I Figur 60 ser vi en trend på hvordan omkostningen stiger med stigende gjentaksintervall i to kommuner i Danmark. Direkte bruk av modellen gir at totale kostnader i løpet av 90 år er lik 3,45 ganger 100-års kostnaden. (se Tabell 23).

Tabell 23: Sammenheng mellom forventet gjentakintervall og forventet skade for de 9 hendelser, som forventes å gi skader i løpet av en 90-års periode. De forventede omkostninger til skader i høyre kolonne er basert på modellen i Figur 60, blå kurve (Holse et al. 2007).

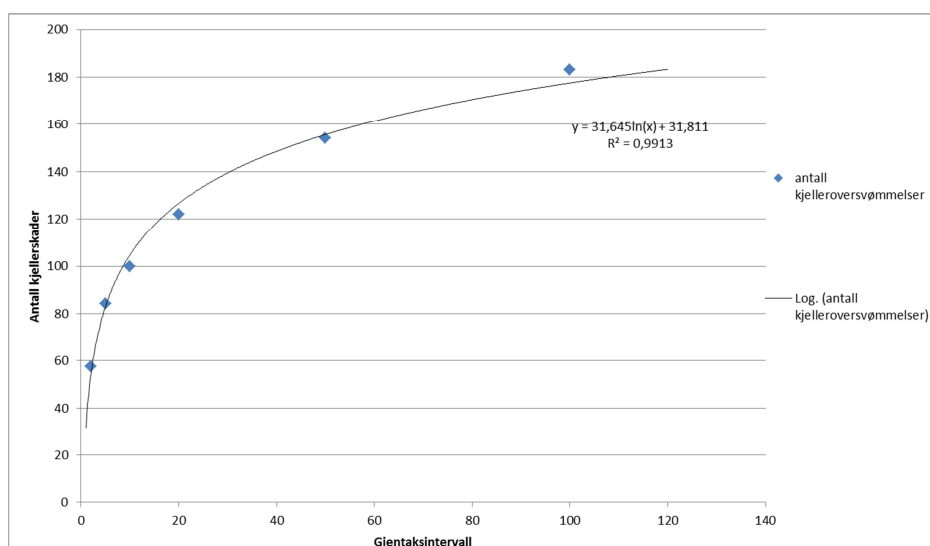
Rang	Forventet gjentakintervall av de største hendelsene ved 90-års observasjonsperiode (år)	Forventet antall kjellerskader pr hendelse i forhold til en 100-års hendelse, dansk metode
1	129	111,1
2	53	72,6
3	33	52,5
4	24	38,8
5	19	28,4
6	16	20
7	13	13
8	12	7
9	10	1,7
sum	-	345,1



## 11.1 Resultater

I den danske metoden utarbeidet av Holse et.al (2007) forventes det at den totale skaden i løpet av en 90-års periode er 3,45 ganger kostnaden av 100-års regnet. Simulering av nåværende situasjon gir forventet skade ved et 100-års regn på 183 kjellerskader. I følge den danske rapporten er da den totale skaden i løpet av 90 år 3,45 ganger 183 = 631,5 kjellerskader. Om denne faktoren stemmer for tilstanden i Veumfeltet er vurdert videre i dette avsnittet.

Holse et.al (2007) har valgt ut 9 regn som er forventet å gi skade i en 90-års periode, og de samme regnene vil bli valgt i denne analysen. Tallene er basert på ekstrapolering og interpolering av resultatene fra kjøring av 2, 5, 10, 20, 50 og 100-års gjentakintervall vist i Figur 61.



Figur 61: antall kjellerskader ved forskjellige gjentakintervall. Den logaritmiske trendlinjen viser grunnlaget for ekstrapolering og interpolering.

Tabell 24: Utvalg av regn som forventes å gi skade i løpet av en 90-års periode. Kolonnen til høyre viser antall kjellerskader som er forventet i Fredrikstad ved de tilhørende gjentaksintervallene. Kolonnen i midten viser resultatene fra den danske analysen.

Rang	Forventet gjentaksintervall av de største hendelsene ved 90-års observasjonsperiode (år)	Forventet antall kjellerskader pr hendelse i forhold til en 100-års hendelse, dansk metode	Forventet antall kjellerskader pr hendelse (Fredrikstad)
1	129,1	111,1	185,6
2	53,2	72,6	157,6
3	33,5	52,5	142,9
4	24,4	38,8	132,9
5	19,2	28,4	125,3
6	15,9	20	119,4
7	13,5	13	114,2
8	11,7	7	109,6
9	10,4	1,7	105,9
sum	-	345,1	1193,4

I Tabell 24 ser vi utvalget av regnhendelser som er brukt som grunnlag for vurderingene i den danske rapporten. Tallene fra simuleringene av Veumfeltet i Fredrikstad er ikke justert med indeks 100 for 100-års gjentaksintervall, da dette ikke har innvirkning på resultatene.

Det totale skadepotensialet, i områdene vurdert i den danske rapporten, for en periode på 90 år ved de utvalgte regnhendelsene, er 345. Dette gir at den totale skadepotensialet er 100-års hendelsen med indeks 100 ganger 3,45, som nevnt tidligere.

$$\frac{345}{100} = 3,45$$

For Veumfeltet er det totale skadepotensialet over en 90-års periode ved de samme utvalgte regnhendelsene 1191 kjellerskader. Dette gir at den totale skaden er 100-års hendelsen, med 183 hendelser, ganger 6,42.

$$\frac{1193}{183} = 6,42$$

Denne verdien er 86 % høyere en den danske verdien.

## 11.2 Diskusjon rundt den danske metoden

Som vi ser fra resultatene er den danske metoden ikke overførbart til modellen av Veumfeltet. Dette kan ha mange **mulige** årsaker som er listet opp under:

- Modellen av Veumfeltet gjenspeiler ikke de fysiske funksjonene i Veumfeltet på god nok måte?
- Det laveste skadebringene regnet i den danske rapporten har 10-års gjentaksintervall mot modellen av Veumfeltet som har skader helt ned på 2-års gjentaksintervall. Det er også vist, i kapittel 9.3.1, at de lavere gjentaksintervallene har størst innvirkning på totalkostnadene i modellen av Veumfeltet. Den danske metoden kan derfor muligens ikke benyttes i felt med skader ved lave gjentaksintervall?
- Det er ikke mulig å vurdere totalkostnadene i en gitt periode for forskjellige nedbørsfelt på bakgrunn av 100-års regnet og en gitt faktor?
- Den danske metoden er ikke overførbart til andre felt?

Det er vanskelig å presisere hvorfor metoden ikke er overførbart til modellen av Veumfeltet på bakgrunn av én vurdering, og det bør bli gjort mange flere sammenligninger, spesielt med fysiske hendelser, før metoden kan verifiseres eller falsifiseres.



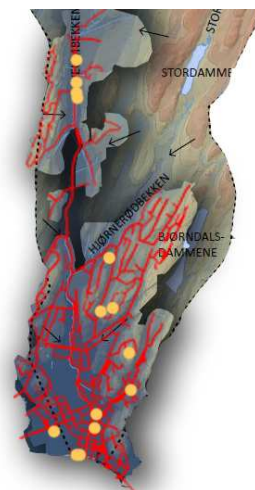
# Del 4

## Diskusjon og konklusjon

## 12 Diskusjon

### 12.1 Vurdering av modellens oppbygning og mulige feil

Det ble ikke satt av spesielt mye tid i starten av simuleringsprosessen til å finne feil og mangler ved modellen. Jeg regnet med at modellen jeg fikk fra Rosim skulle være så og si feilfri, og visste fra andres erfaring at simuleringsprosessen kom til å ta lang tid, og ville komme i gang med denne fortrest mulig. Det faktum at jeg ikke hadde noen erfaring med Mouse eller Rosie gjorde feilsøking vanskelig i starten av prosessen. I simuleringsprosessen ble det derfor oppdaget en rekke mulige feilkilder som jeg noterte meg ned. For å beskrive mulige feil, er det tatt utgangspunkt i simulering av regn med 2-års gjentaksintervall. (vist i Figur 62).



Figur 62: områder som er feilsøkt er markert med Orange.

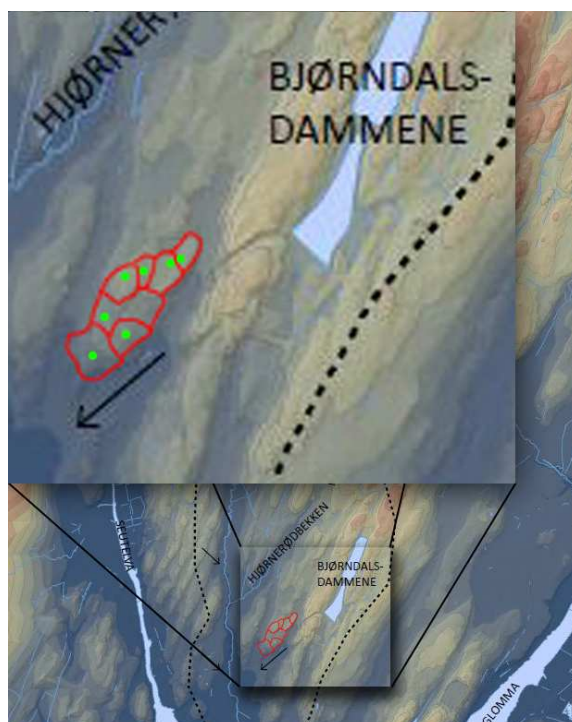
#### 12.1.1 Inndeling av arealer

Bare rundt 50 % av det totale nedbørsfeltet er tatt med i modellen, fordi det er gjort antagelser om at det er 7 minutters tilrenningstid for hvert delfelt, og at områder rundt derfor ikke vil bidra ved korte regn. Uansett er denne antagelsen en mulig feilkilde. Det viser seg også at flere arealer som ikke hører til nedbørsfeltet er tatt med i modellen. (se Figur 63).



Figur 63: Det totale nedbørsfeltet (rødt) og inndelingen til modellen (uthevet)

Inndelingen i delfelt er ikke gjort med hensyn på topografi, og det er mange steder hvor topografien viser at tilrenningen burde tatt en annen vei enn hva som er vist i modellen. I Figur 64 ser vi et utvalg av arealer hvor noen "omsvøper" en hel bakketopp. At utløpspunktet for avrenningen fra de forskjellige feltene er plassert på toppen av åsen kan derfor vurderes som feilplasseringer. Områdene vist i figuren er områder som opplever oppstuvning ved små gjentaksintervall og bekrefter derfor denne feilplasseringen.



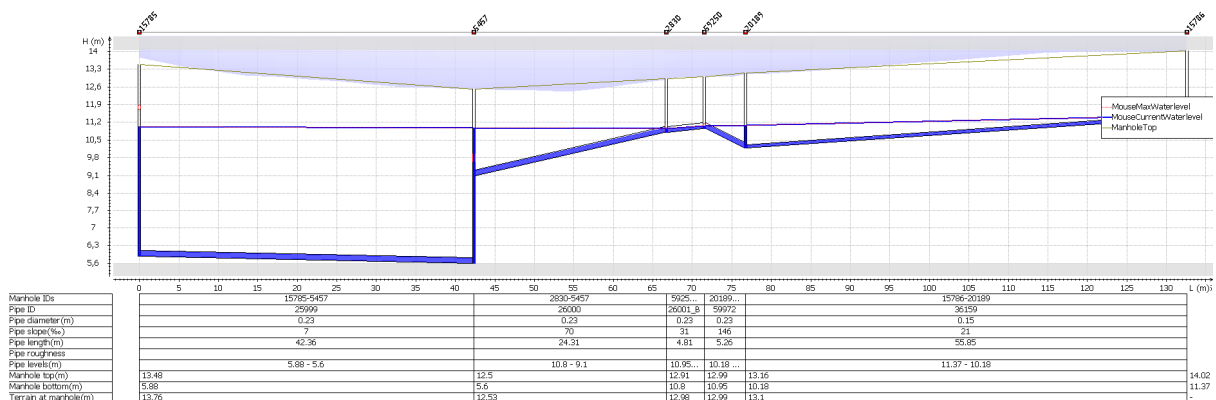
**Figur 64:** Et utvalg av arealer som ligger på bakketopper. Utløpskummene er markert med grønn farge.

Et annet tilfelle er et stort areal helt syd i feltet som grenser til Vestreelva hvor det opplever oppstuvning i nettet ved små gjentaksintervall. Det kan tenkes at mye av vannet i dette feltet renner ut i Vestreelva, og at arealinndelingen eller avrenningskoeffisienten burde vært redusert. Det er også mulig at modellen beskriver dette arealet på rett måte.

## 12.1.2 Ledningsnett

Det viste seg underveis at det fantes mange potensielle feil med modellen og at antall kjelleroversvømmelser, spesielt ved lave gjentaksintervall, muligens burde vært lavere. Grunnen til dette er at modellen ikke er kalibrert, og det kan derfor ikke gis stor tiltro til resultatene, samt at modellen kan ikke vurderes til å gi et godt bilde på tilstanden i Veumfeltet. Analyse av en kalibrert modell ville gitt større tiltro til resultatene.

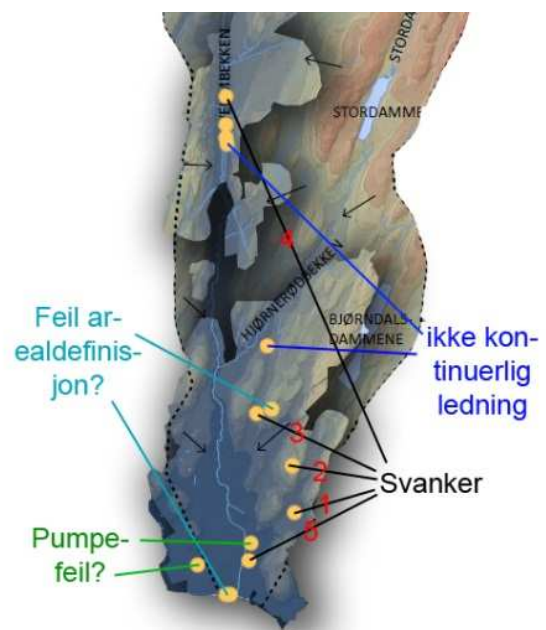
Flere steder i feltet er det funnet svanker hvor det oppleves oppstuvning. Dette kan være beskrivelse av realiteten, men kan også være feil i modelloppbyggingen.



Figur 65: En av 5 svanker som viser en mulig oppbygningsfeil av modellen: Svanke 1 med oppstuvning ved simulering av regn med 2-års gjentaksintervall.

Hvor de forskjellige svankene befinner seg er beskrevet i Figur 66.

Andre mulige feil er der det er funnet ikke-kontinuerlige ledninger og mulige pumpefeil. Ikke-kontinuerlige ledninger vil si at ledningene stopper og vannet ikke får renne videre. Det kan tenkes at det er feildefinisjoner der pumpene ikke klarer å ta unna regn med 2-års gjentaksintervall da de burde vært dimensjonert for mye høyere gjentaksintervall. Det er funnet mulige feil ved alle steder med oppstuvning ved regn med 2-års gjentaksintervall, men det er umulig å vurdere om dette er feil med modellen eller beskrivelse av realiteten, da det ikke ligger data til grunn for å gjøre slike konklusjoner. Mulige feilkilder, og deres plassering, er beskrevet i Figur 66.



Figur 66: Mulige feil i modellen.

Modellen er bare en tilnærming til virkeligheten. Det hydrologiske systemet er komplekst sammensatt og modellen bygger på en rekke forenklinger av virkeligheten som bidrar til usikkerhet.



### 12.1.3 Andre hensyn

Grunnlaget i oppgaven er et klimatillegg på 50 %. Som nevnt i kapittel 3.7 er det usikkerhet ved klimaprojeksjonene, og i retningslinjene satt av DANVA påføres det et lavere klimatillegg på lave gjentaksintervall. Det ville derfor vært hensiktsmessig å vurdere varierende klimatillegg for forskjellige gjentaksintervall, samt vurdere tilstanden i nettet ved andre tidspunkt enn 100 år frem i tid. Det ville også vært hensiktsmessig å vurdere andre klimatillegg, siden fremtidsprosjeksjonene er av såpass usikker karakter. Det må nevnes at 50 % klimatillegg er verst tenkelige situasjon.

I den økonomiske analysen i kapittel 10 er det ikke tatt hensyn til driftskostnader eller reinvesteringskostnader ved anleggelse av tiltak. Den totale kostnaden er derfor muligens noe undervurdert for de forskjellige tiltakene.

Investeringskostnadene for de forskjellige tiltakene er generelle og gjennomsnittlige. For eksempel har grunnforhold og grad av utbyggelse stor innvirkning på investeringskostnadene, og disse kan være undervurdert, spesielt for tiltak i bykjernen.

Nåverdien av kostnadene for utvidelse av rørdiametre er mest sannsynlig overvurdert, da mye av nettet er gammelt og trenger utskiftning uansett. Hvis det hadde ligget gode nok data til grunn for fremtidig utskiftning, kunne disse kostnadene vært ekskludert fra nåverdianalysen, fordi de da burde bli ført under rehabiliteringskostnader og ikke tiltakskostnader.

IVF-kurven brukt i denne oppgaven er bygget på data fra perioden 1979-1995. Med tanke på at det i perioden etter 1995 har skjedd en rekke ekstremhendelser i Fredrikstad (se kapittel 7.1.6) er det grunn til å tro at IVF-kurven er kraftig undervurdert.

Tiltak vil ikke ha like stor effekt i alle områder, og visse steder er grunnforholdene ikke egnet til infiltrasjon. Andre steder er det ikke plass til å anlegge store nok fordrøyningsbasseng. Det er derfor grunn til å tro at det flere steder i feltet ikke er mulig å anlegge de spesifikke tiltakene som er simulert, og at modellen derfor ikke beskriver situasjonen med tiltak om 100 år optimalt.

Det er ikke gjort vurderinger av hvor de forskjellige tiltakene vil ha størst effekt, fordi det ikke ble sett på som hensiktsmessig å bruke for mye tid til dette. Tiltakene ble plassert i de områdene som er utsatt for oversvømmelser og det er meget mulig at plassering andre steder har lik eller bedre effekt.

## 13 Konklusjoner

Norge vil møte økende utfordringer knyttet til håndtering av overvann i urbane områder i tiden som kommer. Mye av grunnen til dette er menneskepåvirket økning av nedbørshyppighet og – intensitet, samt økning i andelen tette flater i bebygde områder.

Klimaendringene vi føre til en betydelig økning i antall kjellerskader og det vil være stigende prosentvis økning i kjellerskader ved økende gjentaksintervall helt til nettet når sitt “metningspunkt”.

Ved forutsetningene gitt i modellen vil frakobling av takflater og fordrøyningsløsninger ha størst effekt på små regn, mens økning av rørdiameter vil ha tilnærmet lik effekt på alle regnintensiteter. Det viser seg også at lite intensive regn med lave gjentaksintervall vil ha større bidragende effekt på totalkostnaden over 100 år, i motsetning kraftige regn med større gjentaksintervall.

Frakobling av takflater vil, ved de forutsetningene som er satt, være den mest kostnadseffektive løsningen, mens utvidelse av rørdiameter vil gi negativ kostnadseffektivitet.

**Oppsummert vil;** klimaendringer ha stor innvirkning på antall kjellerskader som oppleves ved ekstremnedbør i Veumdalen, og det vil være mulig å redusere skadene på en kostnadseffektiv måte ved bruk av åpne og lokale overvannsløsninger.

## 14 Videre arbeid

Denne oppgaven er bygget opp rundt simuleringer av en modell som ikke er kalibrert. Resultatene kan derfor ikke gis stor tiltro. Å gjøre en lignende analyse av en modell som er kalibrert ville gitt resultater med større tiltro.

Da det er estimert at nedbørintensitetene kommer til å øke mest i vinterhalvåret, vil det være spennende å gjøre langtidssimuleringer slik at frost og snøsmelting blir tatt med i analysen.

Veumbekken, som ligger i kulvert gjennom hele sentrumsområdet, har ved flere anledninger ført til oversvømmelser i området ovenfor innløpet til kulverten. Å gjøre en analyse av hvilke regn som gir oversvømmelser som følge av mangel på kapasitet i kulverten, samt hvilke flomveier vannet ville tatt, kan være en spennende videreføring.

En vurdering av kommunens visjoner og utbygnings- og rehabiliteringsplaner ved å simulere forskjellige tiltak i samme simulering og effektiviteten av disse vil være en mulig videreføring.

Da det viste seg å være mangel på gode data for drift og investeringskostnader til forskjellige LOD-tiltak, hadde en kartlegging av slike kostander vært svært nyttig for

vurdering av slike tiltak opp mot konvensjonelle tiltak, slik at de kan vurderes opp mot hverandre i en utbyggingsprosess.

En bedre feltundersøkelse og vurdering av hvor forskjellige tiltak kan implementeres vil gi et bedre bilde på hvilke utfordringer man står ovenfor i en utbyggingsprosess. Dette vil derfor være en spennende videreføring.

Simuleringsmotoren MIKE URBAN har mulighet til å simulere havstigning og stormflo. Analyse av stormflo kombinert med regnhendelser hadde gitt mye ny kunnskap om slike hendelser.

## 15 Litteraturliste

- Bergen kommune. (2005). Overvannshåndtering i bergen kommune. 35 s. Tilgjengelig fra:  
<http://www.regjeringen.no/upload/MD/Kampanje/klimatilpasning/Bilder/Kommunecase/Hordaland/Retningslinjer.pdf>.
- Brekke, P. *Heftig solsyklus i vente*: Norsk Romsenter. Tilgjengelig fra:  
<http://www.romsenter.no/Heftig+solsyklus+i+vente.d25-TgdzIZa.ips> (lest 06.02.2012).
- Butler, D. & Davies, J. W. (2011). *Urban drainage*. London: Spon Press. 625 s.
- Bøyum, Å. & Thorolfsson, S. T. (2001). *VA-teknikk del 2, Avløp*. VA-teknikk. Trondheim: Institutt for vassbygging, NTH.
- DANVA. (2011). En kokebog for analyser af klimaændringers effekter på afløbssystemer - med fokus på oversvømmelser. *DANVA F&U rapport nr. 5*: 159 s. Tilgjengelig fra: <http://www.danva.dk/Default.aspx?ID=221&TokenExist=no>.
- DHI. (2009a). Mouse Pipeflow. *Reference manual*: 134 s. Tilgjengelig fra:  
[http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document\\_public/Project/Manuals/US/MOUSE\\_ReferenceManual\\_Pipe\\_Flow.pdf](http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_ReferenceManual_Pipe_Flow.pdf) (lest 21.03.2012).
- DHI. (2009b). Mouse short introduction and tutorial *Reference manual*: 73 s. Tilgjengelig fra:  
[http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document\\_public/Project/Manuals/US/MOUSE\\_Intro\\_Tutor.pdf](http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_Intro_Tutor.pdf) (lest 10.03.2012).
- DHI. (2009c). Mouse surface runoff models. *Reference manual*: 53 s. Tilgjengelig fra:  
[http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document\\_public/Project/Manuals/US/MOUSE\\_ReferenceManual\\_Runoff.pdf](http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_ReferenceManual_Runoff.pdf) (lest 10.03.2012).
- Eklima. (2011). *Eklima*: Eklima. Tilgjengelig fra:  
[http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39049&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL) (lest 22.03.2012).
- EPA. (2007). *Past Climate Change*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.epa.gov/climatechange/science/pastcc.html> (lest 30.01.2012).
- ExFlood. (2009a). Extreme weather in small catchments: new method for flood protection.
- ExFlood. (2009b). *Partners*. Tilgjengelig fra:  
[http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p\\_dimension\\_id=22783&p\\_menu\\_id=22793&p\\_sub\\_id=22784&p\\_dim2=22804](http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22783&p_menu_id=22793&p_sub_id=22784&p_dim2=22804) (lest 24.01.2012).

- Finansdepartementet. (1997). *Nytte-kostnadsanalyser*: Finansdepartementet. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/fin/dok/nouer/1997/nou-1997-27/3/6/1.html?id=347211> (lest 23.04.2012).
- FNO. (2011). *Naturskader - Antall og anslått erstatning*. FNO (red.).
- FNO. (2012). *1,9 milliarder i naturskadeerstatninger*. Tilgjengelig fra: <http://fnh.no/no/Fokus/Naturskadearet-2011/> (lest 16.04.2012).
- Forskningsrådet. (2004). *Om programmet*. Tilgjengelig fra: <http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?c=Page&cid=1226993599882&pagename=norklima%2FHovedsidemal> (lest 24.01.2012).
- Fredrikstad kommune. (2007a). *Overvannsrammeplan*. 44 s. Tilgjengelig fra: <http://www.fredrikstad.kommune.no/Documents/Politikk/Planer/Regulering%20og%20Teknisk/Overvannsrammeplan%20Fredrikstad%20kommune.pdf>.
- Fredrikstad kommune. (2007b). *Viktig å vite om kjelleroversvømmelser*.
- GLOBE, W. V. (2009). *ArcMap Tutorial 1.0*. 10 s. Tilgjengelig fra: [http://www.wvview.org/ArcMap\\_Tutorial.pdf](http://www.wvview.org/ArcMap_Tutorial.pdf) (lest 07.03.2012).
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, A., et al. (2009). *Klima i Norge 2100*. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassning. Oslo: Norsk klimasenter. 240 s s.
- Holse, D., Frich, P., Plesner, V., Boom, J. T., Tengvad, R., Johansen, N. B., Gudiksen, S., Laden, B. & Arnbjerg, K. (2007). *Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse. Miljøprosjekt nr. 1187, 2007*: 79 s.
- Hval, J. P. & Køste, A. (2011). *Modellering av avløpsnettverk med hensyn på klimaendringer i Fredrikstad kommune*. 128 s.
- IF. (2006). *Kommuner skyld i kjellerflom*. Tilgjengelig fra: <http://www.if.no/web/no/om/sistenytt/pages/kommunerskyldikjellerflom.aspx> (lest 13.03.2012).
- Innbjør, L. & Larsen, K. (2011). *Klimatilpasning i Norge - bakgrunn, årsakssammenhenger og forskningsfunn*. 84 s. Tilgjengelig fra: [http://www.ciens.no/data/no\\_NO/file/5426.pdf](http://www.ciens.no/data/no_NO/file/5426.pdf) (lest 12.04.2012).
- IPCC. (2007). *Special report on emmissions scenarios; Summary fo Polycymakers*. Tilgjengelig fra: <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>.
- IPCC. (2010). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. 20 s. Tilgjengelig fra: [http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-SPMbrochure\\_FINAL.pdf](http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-SPMbrochure_FINAL.pdf) (lest 02.02.2012).

- IPCC. (2011). *What is GCM?*: IPCC. Tilgjengelig fra: [http://www.ipcc-data.org/ddc\\_gcm\\_guide.html](http://www.ipcc-data.org/ddc_gcm_guide.html) (lest 07.02.2012).
- Johannesen, J. (2009a). Klimaendringer i fortiden. 2 s. Tilgjengelig fra: <http://www.bjerknes.uib.no/filer/1372.pdf>.
- Johannesen, J. (2009b). Klimamodeller og fremtidens klima. 2 s. Tilgjengelig fra: <http://www.bjerknes.uib.no/filer/1365.pdf>.
- Kirby, A. (2009). *Klimaet i fare: en innføring i de siste rapportene fra FNs klimapanel*. Arendal: UNEP/GRID-Arendal. 59 s.
- Kolshus, H. H. (2000). *SRES utslippsscenarier: en gjennomgang av bakgrunn, drivkrefter og resultater*. Policy note, b. 2000:2. Oslo: CICERO. 26 s.
- Lindholm, O. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann rapport, b. 162, 2008. Hamar: Norsk Vann BA. 79 s.
- Lindholm, O. (2011, 31.04.2012). *Videregående emner om nedbør til bruk i urbanhydrologien*. THT 300: IMT.
- Lindholm, O. (2012). *Personlig meddelelse* (17.04.2012).
- Mamen, J. & Iden, K. A. (2010). Analyse av korttidsnedbør i Norge 1967-2009. 46 s. Tilgjengelig fra: [http://met.no/Forskning/Publikasjoner/filestore/metno\\_report\\_11\\_2010.pdf](http://met.no/Forskning/Publikasjoner/filestore/metno_report_11_2010.pdf) (lest 12.04.2012).
- Marg, O. P. & Khas, H. (2002). How to analyse rainfall data. 40 s. Tilgjengelig fra: <http://www.mahahp.org/resource/modules/12%20How%20to%20analyse%20rainfall%20data.pdf> (lest 14.04.2012).
- Metrologisk institutt. (2010). *Pluviometre*. I: institutt, M. (red.): Met.no. Tilgjengelig fra: <http://metlex.met.no/wiki/Pluviometre> (lest 08.05.2012).
- Nakićenović, N. (2000). *Special report on emissions scenarios*. Cambridge: Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change [by] Cambridge University Press. 599 s.
- Norsk hydrologiråd. (2011). *Urbanhydrologi. Fagseminar, NTNU trondheim*. Tilgjengelig fra: [http://www.grunnvanninorge.no/Seminar/Fagseminar\\_Urbanhydrologi\\_sept2011.pdf](http://www.grunnvanninorge.no/Seminar/Fagseminar_Urbanhydrologi_sept2011.pdf).
- NVE. (2009). *Urbanhydrologi*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/Vannstandvannforing/Urbanhydrologi/>.
- Olsen, M. (2011). Analyse av klimaendingenes innvirkning på avløpsnett i Charlottenlund og Ranheim, Trondheim kommune - Norge.: 88 s.

- Parry, M. (2007). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability : contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. 976 s.
- PCMDI. (2007). *Model Intercomparison*. Tilgjengelig fra: [http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/model\\_intercomparison.php](http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/model_intercomparison.php) (lest 07.02.2012).
- RIF. (2010). State of the nation. 80 s. Tilgjengelig fra: [http://www.rif.no/images/Files/State%20of%20the%20Nation\\_RIF\\_22032010.pdf](http://www.rif.no/images/Files/State%20of%20the%20Nation_RIF_22032010.pdf) (lest 16.04.2012).
- Ræstad, C. (2012, 16.04.2012). *Norges VA-ledningsnett, Status og utfordringer*. 360 symposium, Brødrene Dahl.
- Schilling, W., Sægrov, S., Lindholm, O. & Mosevoll, G. (2004). Reduksjon av oversvømmelser - Planlegging, dimensjonering, drift og vedlikehold av overvanns- og avløpsnett. 107 s.
- Sekse, T. (2006). Overvannshåndtering. 32 s. Tilgjengelig fra: [http://www.driftsassistansen.org/admin/rapport\\_filer/Aarsm06\\_12\\_Overv\\_utfo\\_rdringer\\_trond\\_sekse.pdf](http://www.driftsassistansen.org/admin/rapport_filer/Aarsm06_12_Overv_utfo_rdringer_trond_sekse.pdf) (lest 06.03.2012).
- Selstad, T. (2010). Lokalsamfunn og klimatilpasning – et framtidsperspektiv på Fredrikstad. 51 s. Tilgjengelig fra: [http://www.fredrikstad.kommune.no/Documents/Politikk/Planer/Klima/Lokal\\_samfunn\\_og\\_klimatilpasning\\_i\\_Fredrikstad.pdf](http://www.fredrikstad.kommune.no/Documents/Politikk/Planer/Klima/Lokal_samfunn_og_klimatilpasning_i_Fredrikstad.pdf) (lest 06.03.2012).
- Skallebakke, O. P. (2012). *Overingeniør, Fredrikstad kommune* (17.04.2012).
- SNL. (2012). *Force majeure*. Store norske leksikon.
- Solomon, S. (2007). *Climate change 2007: the physical science basis : contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. 996 s.
- Svensk Vatten. (2007). Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem. 48 s.
- Vadum, E. A. (2011). Overvannshåndtering i Veumdalen, Fredrikstad. 87 s.
- Winther, L. (2006). *Afløbsteknik*. Lyngby: Polyteknisk Forlag. 635 s.
- WIRE. (2010). *History of climate modelling*. Tilgjengelig fra: <http://wires.wiley.com/WileyCDA/WiresArticle/wisId-WCC95.html> (lest 07.02.2012).

## 16 Vedlegg

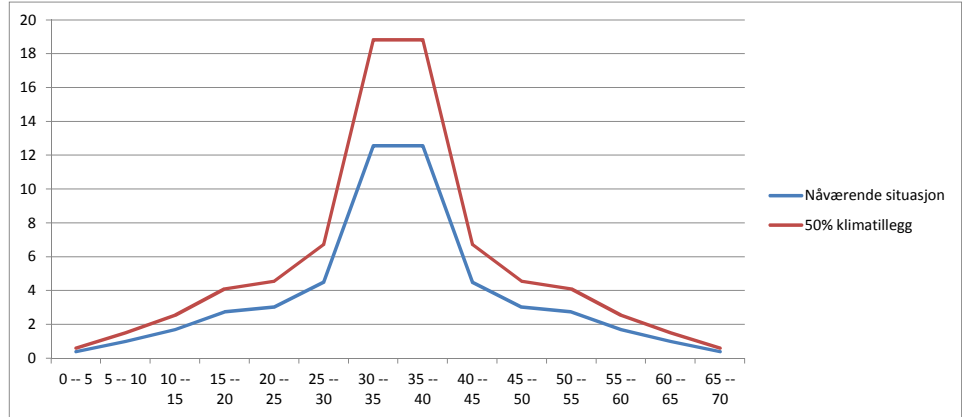


# Vedlegg 1

Regnhyetogrammer

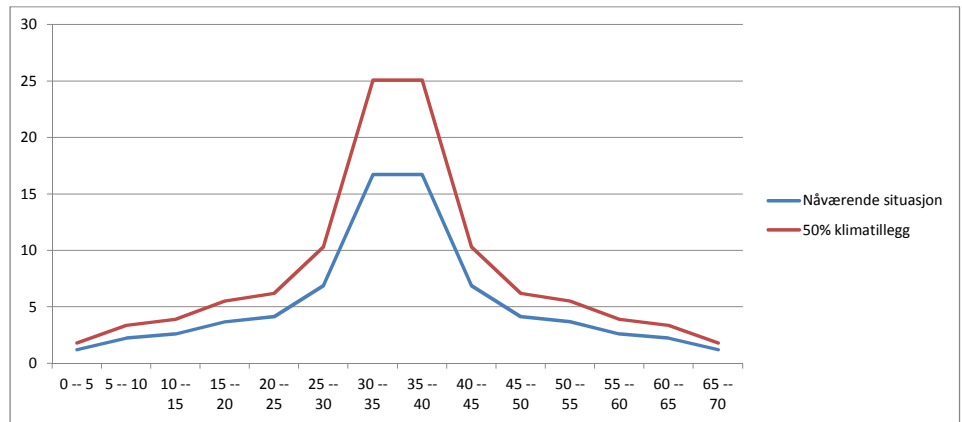
Regnhyetogram, 2 års gjentaksintervall

tid etter start regn	Nåværende situasjon	50% klimatillegg
0 -- 5	0,4	0,6
5 -- 10	1	1,5
10 -- 15	1,7	2,55
15 -- 20	2,73	4,095
20 -- 25	3,03	4,545
25 -- 30	4,49	6,735
30 -- 35	12,55	18,825
35 -- 40	12,55	18,825
40 -- 45	4,49	6,735
45 -- 50	3,03	4,545
50 -- 55	2,73	4,095
55 -- 60	1,7	2,55
60 -- 65	1	1,5
65 -- 70	0,4	0,6
sum	51,8	77,7



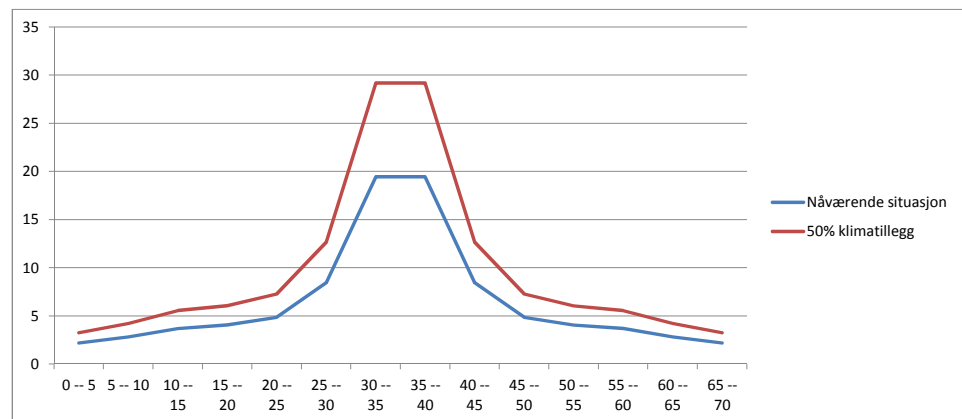
Regnhyetogram, 5 års gjentaksintervall

tid etter start regn	Nåværende situasjon	50% klimatillegg
0 -- 5	1,21	1,815
5 -- 10	2,24	3,36
10 -- 15	2,6	3,9
15 -- 20	3,68	5,52
20 -- 25	4,14	6,21
25 -- 30	6,87	10,305
30 -- 35	16,71	25,065
35 -- 40	16,71	25,065
40 -- 45	6,87	10,305
45 -- 50	4,14	6,21
50 -- 55	3,68	5,52
55 -- 60	2,6	3,9
60 -- 65	2,24	3,36
65 -- 70	1,21	1,815
sum	74,9	112,35



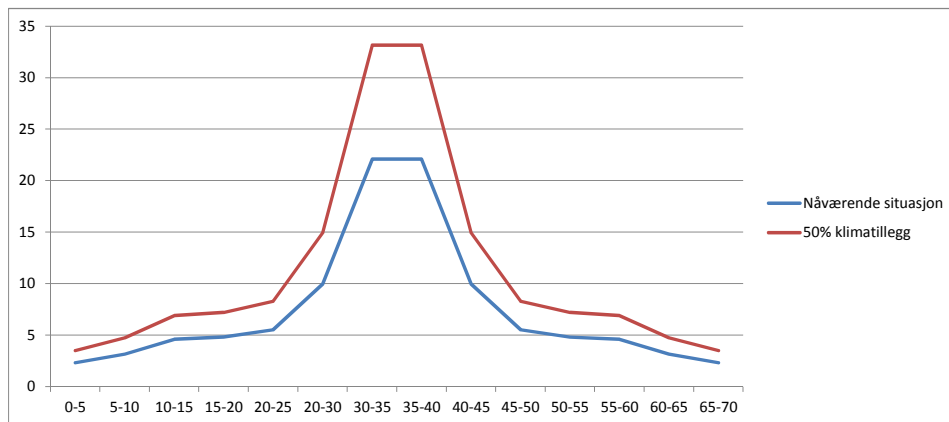
Regnhyetogram, 10 års gjentaksintervall

tid etter start regn	Nåværende situasjon	50% klimatillegg
0 -- 5	2,18	3,27
5 -- 10	2,82	4,23
10 -- 15	3,7	5,55
15 -- 20	4,04	6,06
20 -- 25	4,86	7,29
25 -- 30	8,44	12,66
30 -- 35	19,46	29,19
35 -- 40	19,46	29,19
40 -- 45	8,44	12,66
45 -- 50	4,86	7,29
50 -- 55	4,04	6,06
55 -- 60	3,7	5,55
60 -- 65	2,82	4,23
65 -- 70	2,18	3,27
sum	91	136,5



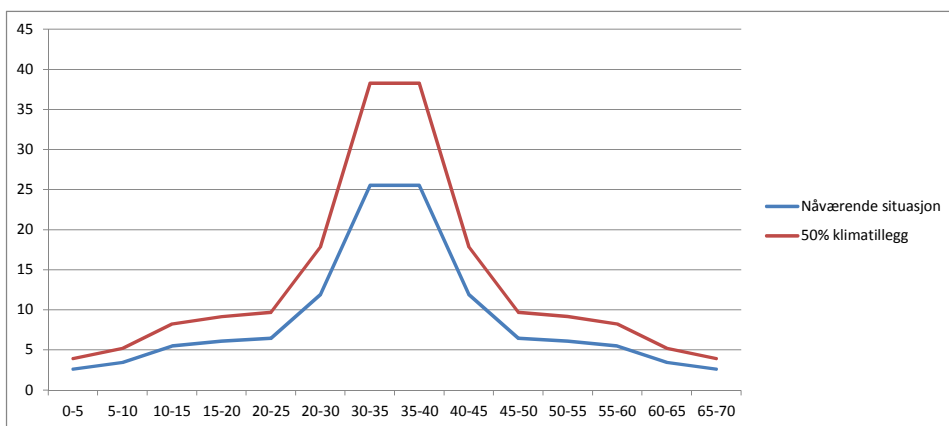
Regnhyetogram, 20 års gjentakintervall

tid etter start regn	Nåværende situasjon	50% klimatillegg
0-5	2,34	3,51
5-10	3,16	4,74
10-15	4,6	6,9
15-20	4,81	7,215
20-25	5,53	8,295
20-30	9,96	14,94
30-35	22,1	33,15
35-40	22,1	33,15
40-45	9,96	14,94
45-50	5,53	8,295
50-55	4,81	7,215
55-60	4,6	6,9
60-65	3,16	4,74
65-70	2,34	3,51
sum	105	157,5



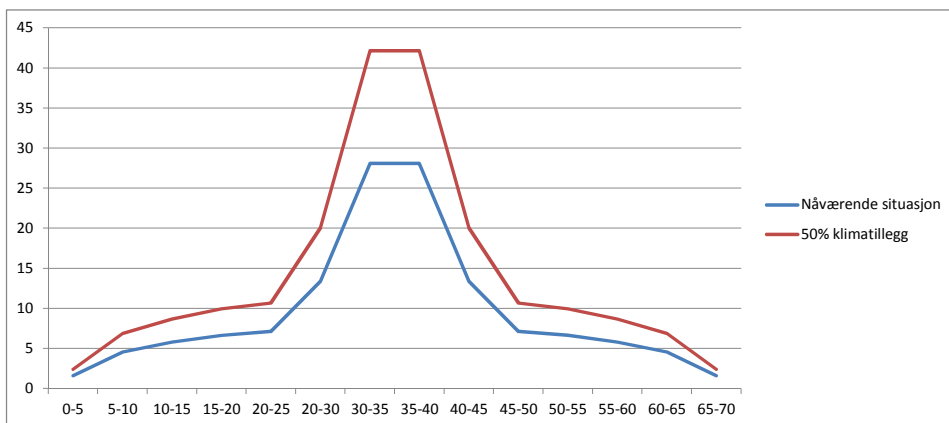
Regnhyetogram, 50 års gjentakintervall

tid etter start regn	Nåværende situasjon	50% klimatillegg
0 -- 5	2,62	3,93
5 -- 10	3,48	5,22
10 -- 15	5,5	8,25
15 -- 20	6,11	9,165
20 -- 25	6,45	9,675
25 -- 30	11,92	17,88
30 -- 35	25,52	38,28
35 -- 40	25,52	38,28
40 -- 45	11,92	17,88
45 -- 50	6,45	9,675
50 -- 55	6,11	9,165
55 -- 60	5,5	8,25
60 -- 65	3,48	5,22
65 -- 70	2,62	3,93
sum	123,2	184,8



Regnhyetogram, 100 års gjentakintervall

tid etter start regn	Nåværende situasjon	50% klimatillegg
0 -- 5	1,62	2,43
5 -- 10	4,58	6,87
10 -- 15	5,8	8,7
15 -- 20	6,63	9,945
20 -- 25	7,11	10,665
25 -- 30	13,38	20,07
30 -- 35	28,08	42,12
35 -- 40	28,08	42,12
40 -- 45	13,38	20,07
45 -- 50	7,11	10,665
50 -- 55	6,63	9,945
55 -- 60	5,8	8,7
60 -- 65	4,58	6,87
65 -- 70	1,62	2,43
sum	134,4	201,6



## Vedlegg 2

Flater simulert med frakoblede takflater og fordrøyningstiltak,  
samt rørstrekk med endret diameter

Arealer simulert med frakoblede takflater og fordrøyning

ID	TOTAL_AREA	BUILD_AREA	ROAD_AREA	PERV_AREA	BUILD_PCT	ROAD_PCT	PERV_PCT	BUILD_FACT	ROAD_FACT	PER_FACT	IMPERV_TOT	IMPERV_PCT	A_CTIME	A_RFACTOR	A_LOSS	Shape_Area
3405	20.80	2.04	0.95	17.81	9.80	4.57	85.63	0.30	0.40	1.00	2.99	14.37	7.00	0.90	0.0006	207990.94
3464	0.75	0.14	0.06	0.54	19.87	8.05	73.30	0.30	0.40	1.00	0.20	26.72	7.00	0.90	0.0006	7501.77
3465	0.37	0.07	0.02	0.28	19.87	4.55	75.57	0.30	0.40	1.00	0.09	24.43	7.00	0.90	0.0006	3683.29
3466	0.76	0.15	0.05	0.55	20.00	6.75	73.24	0.30	0.40	1.00	0.20	26.76	7.00	0.90	0.0006	7572.92
3467	0.78	0.14	0.02	0.62	17.79	2.04	80.17	0.30	0.40	1.00	0.15	19.83	7.00	0.90	0.0006	7751.28
3468	1.70	0.34	0.12	1.23	20.26	7.25	72.49	0.30	0.40	1.00	0.47	27.51	7.00	0.90	0.0006	17007.58
3469	1.50	0.19	0.08	1.24	12.49	5.15	82.36	0.30	0.40	1.00	0.28	17.64	7.00	0.90	0.0006	15021.52
3476	1.15	0.26	0.11	0.77	22.73	9.99	67.29	0.30	0.40	1.00	0.38	32.71	7.00	0.90	0.0006	11491.96
3486	0.75	0.14	0.06	0.55	19.11	7.94	72.95	0.30	0.40	1.00	0.20	27.05	7.00	0.90	0.0006	7503.06
1662	0.74	0.05	0.08	0.61	6.48	11.29	82.23	0.30	0.40	1.00	0.13	17.77	7.00	0.90	0.0006	7414.19
1663	0.73	0.04	0.11	0.59	5.23	14.62	80.15	0.30	0.40	1.00	0.15	19.85	7.00	0.90	0.0006	7318.29
1664	0.98	0.13	0.06	0.78	13.75	6.08	80.18	0.30	0.40	1.00	0.19	19.82	7.00	0.90	0.0006	9753.07
1671	1.19	0.18	0.10	0.92	14.78	8.21	77.00	0.30	0.40	1.00	0.27	23.00	7.00	0.90	0.0006	11688.54
1672	1.33	0.17	0.13	1.03	13.09	9.57	77.40	0.30	0.40	1.00	0.30	22.60	7.00	0.90	0.0006	13324.72
1673	1.17	0.14	0.08	0.95	12.93	6.51	81.10	0.30	0.40	1.00	0.22	18.90	7.00	0.90	0.0006	11684.83
1675	0.85	0.08	0.05	0.73	9.38	5.43	85.18	0.30	0.40	1.00	0.13	14.82	7.00	0.90	0.0006	8535.43
1676	1.12	0.20	0.12	0.81	17.43	10.57	72.01	0.30	0.40	1.00	0.31	27.99	7.00	0.90	0.0006	11194.56
1678	0.72	0.12	0.08	0.52	16.11	11.15	72.74	0.30	0.40	1.00	0.20	27.26	7.00	0.90	0.0006	7189.60
1680	0.46	0.09	0.04	0.33	18.77	9.53	71.70	0.30	0.40	1.00	0.13	28.30	7.00	0.90	0.0006	4630.76
1681	1.14	0.12	0.08	0.94	10.28	7.35	82.37	0.30	0.40	1.00	0.20	17.63	7.00	0.90	0.0006	11393.13
1683	0.80	0.10	0.08	0.62	12.66	10.29	77.05	0.30	0.40	1.00	0.18	22.95	7.00	0.90	0.0006	8020.32
1684	0.54	0.07	0.07	0.39	13.05	13.65	73.30	0.30	0.40	1.00	0.14	26.70	7.00	0.90	0.0006	5361.47
1688	1.57	0.35	0.13	1.09	22.15	8.03	69.82	0.30	0.40	1.00	0.47	30.18	7.00	0.90	0.0006	15654.13
1690	2.03	0.23	0.14	1.66	11.43	6.89	81.68	0.30	0.40	1.00	0.37	18.32	7.00	0.90	0.0006	20329.77
1701	0.53	0.06	0.04	0.44	11.07	7.05	81.80	0.30	0.40	1.00	0.10	18.11	7.00	0.90	0.0006	5341.16
1706	1.41	0.21	0.15	1.04	14.97	10.96	74.07	0.30	0.40	1.00	0.36	25.93	7.00	0.90	0.0006	14069.23
1707	1.31	0.24	0.11	0.96	8.20	8.20	73.45	0.30	0.40	1.00	0.35	26.55	7.00	0.90	0.0006	13082.03
1708	1.34	0.25	0.11	0.98	18.65	8.24	73.11	0.30	0.40	1.00	0.36	26.89	7.00	0.90	0.0006	13357.82
1713	0.68	0.12	0.05	0.51	18.10	6.82	75.09	0.30	0.40	1.00	0.17	24.91	7.00	0.90	0.0006	6820.72
1725	1.07	0.22	0.09	0.76	20.72	8.27	71.00	0.30	0.40	1.00	0.31	28.98	7.00	0.90	0.0006	10741.44
1727	0.60	0.18	0.08	0.35	26.26	12.96	57.28	0.30	0.40	1.00	0.26	42.22	7.00	0.90	0.0006	6043.85
1729	0.57	0.15	0.05	0.36	26.80	9.47	63.73	0.30	0.40	1.00	0.21	36.27	7.00	0.90	0.0006	5663.18
1731	1.09	0.15	0.07	0.86	13.64	6.67	79.70	0.30	0.40	1.00	0.22	20.30	7.00	0.90	0.0006	10853.06
1749	1.27	0.23	0.05	0.99	18.09	3.82	78.10	0.30	0.40	1.00	0.28	21.90	7.00	0.90	0.0006	12704.50
1752	1.63	0.26	0.12	1.25	15.88	7.21	76.91	0.30	0.40	1.00	0.38	23.09	7.00	0.90	0.0006	16265.20
1764	0.40	0.75	0.04	0.38	185.58	9.49	95.98	0.30	0.40	1.00	0.79	195.68	7.00	0.90	0.0006	4038.13
1765	0.91	0.13	0.13	0.66	14.07	14.22	71.70	0.30	0.40	1.40	0.26	28.30	7.00	0.90	0.0006	9139.59
1767	1.30	0.20	0.10	1.00	15.37	7.59	77.04	0.30	0.40	1.00	0.30	22.96	7.00	0.90	0.0006	12989.35
1776	0.55	0.09	0.03	0.43	15.90	5.77	78.34	0.30	0.40	1.00	0.12	21.66	7.00	0.90	0.0006	5512.01
1777	2.07	0.41	0.27	1.39	19.98	13.15	66.88	0.30	0.40	1.00	0.69	33.12	7.00	0.90	0.0006	20720.91
1778	1.18	0.20	0.09	0.88	16.81	25.71	57.48	0.30	0.40	1.00	0.50	42.52	7.00	0.90	0.0006	11796.65
1781	1.28	0.08	0.02	0.42	15.63	4.42	79.95	0.30	0.40	1.00	0.10	20.05	4.00	0.90	0.0006	5188.95
1782	0.94	0.10	0.06	0.78	10.86	6.32	82.82	0.30	0.40	1.00	0.16	17.18	7.00	0.90	0.0006	9368.84
1929	3.76	0.53	0.30	2.93	14.01	8.03	77.96	0.30	0.40	1.00	0.83	22.04	7.00	0.90	0.0006	37621.82
1930	0.90	0.18	0.11	0.61	19.98	12.30	67.73	0.30	0.40	1.00	0.29	32.27	7.00	0.90	0.0006	9026.24
Des 2 2 2 2 1	0.57	0.10	0.12	0.35	18.22	20.69	61.09	0.30	0.40	1.00	0.22	38.91	7.00	0.90	0.0006	5687.00
Des 1 2 2 2 2	1.67	0.43	0.24	0.99	20.19	54.13	61.39	0.30	0.40	1.00	0.71	42.87	7.00	0.90	0.0006	15709.65
Des 2 2 2 2 1 2	1.53	0.31	0.20	1.03	19.88	12.71	67.41	0.30	0.40	1.00	0.50	32.59	7.00	0.90	0.0006	15344.88
Des 4 1 2 1	0.42	0.13	0.09	0.20	31.71	21.10	47.20	0.30	0.40	1.00	0.22	51.80	7.00	0.90	0.0006	4213.83
Des 4 1 2 2 1	0.45	0.13	0.12	0.19	29.75	27.10	43.15	0.30	0.40	1.00	0.26	56.85	7.00	0.90	0.0006	4505.38
Des 4 1 2 2 2 2 1	0.54	0.08	0.15	0.31	15.62	27.02	57.35	0.30	0.40	1.00	0.23	42.65	7.00	0.90	0.0006	5367.04
Des 4 1 2 2 2 2 2	0.62	0.16	0.16	0.30	25.81	25.75	48.44	0.30	0.40	1.00	0.32	51.56	7.00	0.90	0.0006	6248.94
Des 4 1 2 2 1 1 2 1	0.78	0.15	0.09	0.53	19.24	4.42	79.95	0.30	0.40	1.00	0.24	31.35	7.00	0.90	0.0006	7770.61
Des 5 2 2 1 2 2 2 2	0.19	0.04	0.01	0.14	22.32	7.39	70.30	0.30	0.40	1.00	0.06	29.70	7.00	0.90	0.0006	1925.01
Des 5 2 2 1 2 2 2 1 2	0.22	0.07	0.01	0.14	33.09	5.45	61.47	0.30	0.40	1.00	0.09	38.53	7.00	0.90	0.0006	2209.60
Des 5 2 2 1 2 2 2 1 2 2	0.12	0.03	0.05	0.03	26.20	46.32	27.48	0.30	0.40	1.00	0.09	72.52	7.00	0.90	0.0006	1181.85
Des 5 2 2 1 2 2 1 1	0.20	0.06	0.06	0.07	32.57	30.27	37.16	0.30	0.40	1.00	0.12	62.84	7.00	0.90	0.0006	1977.16
Des 5 2 2 1 2 2 1 2	0.30	0.09	0.07	0.14	29.55	25.02	45.43	0.30	0.40	1.00	0.16	54.57	7.00	0.90	0.0006	2975.61
Des 5 2 2 1 2 2 2 1 2 1	0.69	0.29	0.08	0.31	42.21	12.22	45.58	0.30	0.40	1.00	0.37	54.42	7.00	0.90	0.0006	6874.13
Des 5 2 2 1 2 2 2 1 2	0.31	0.06	0.03	0.22	20.01	8.62	71.36	0.30	0.40	1.00	0.09	28.64	7.00	0.90	0.0006	3059.13
Des 5 2 2 1 2 2 2 1 1 2	0.35	0.08	0.05	0.21	24.28	14.08	61.65	0.30	0.40	1.00	0.13	38.35	7.00	0.90	0.0006	3456.31
Des 14 1	1.27	0.03	0.17	1.08	2.22	13.12	84.66	0.30	0.40	1.00	0.20	15.34	7.00	0.90	0.0006	12732.39
Des 2 1 1 2	0.63	0.18	0.09	0.37	28.61	13.54	57.79	0.30	0.40	1.00	0.27	42.21	7.00	0.90	0.0006	6848.18
Des 2 1 1 1 2	0.38	0.04	0.09	0.26	9.51	23.62	66.87	0.30	0.40	1.00	0.13	33.13	7.00	0.90	0.0006	3817.72
Des 16 2 1 1 1 1 2 2 1	0.40	0.12	0.05	0.23	29.68	11.52	58.81	0.30	0.40	1.00	0.16	41.19	7.00	0.90	0.0006	3963.98
Des 16 2 1 1 2 1 2	1.92	0.99	0.24	0.69	51.58	12.68	35.74	0.30	0.40	1.00	1.23	64.26	7.00	0.90	0.0006	19185.41
Des 10 2 1 1 2 2 2 1	0.37	0.14	0.07	0.17	36.96	18.29	44.74	0.30	0.40	1.00	0.21	55.26	7.00	0.90	0.0006	3717.10
Des 4 1 2 2 2 1 1	0.35	0.09	0.06	0.20	24.40	18.19	57.40	0.30	0.40	1.00	0.15	42.80	7.00	0.90	0.0006	3499.18
Des 4 1 2 2 2 2 1 1 2 1	0.53	0.16	0.12	0.25	30.36	22.78	46.87	0.30	0.40	1.00	0.28	53.13	7.00	0.90	0.0006	5318.46
Des 16 2 1 1 1 2 2 1	0.50	0.07	0.09	0.34	13.82	17.60	68.58	0.30	0.40	1.00	0.16	31.42	7.00	0.90	0.0006	5009.28
Des 16 2 1 1 2 2 1 2	0.50	0.16	0.06	0.28	32.08	12.00	55.92	0.30	0.40	1.00	0.22	44.08	7.00	0.90	0.0006	

# Ledninger med økt diameter

ID	FM_ID	TM_ID	F_PZ	T_PZ	P_LENGTH	P_HEIGHT (Diameter)	P_TYPE_SUB	SLOPE	
22014	Des_49	Des_50		12,30	8,00	41,00	0,47	OV	105,00
22478	19427	1072		-1,20	0,64	86,98	0,13	PS	21,00
23203_B	67491	3259		16,67	15,86	149,61	0,55	AF	5,00
25466	4836	4824		10,22	7,97	103,47	0,65	AF	22,00
25468	65135	4824		13,58	8,23	176,50	0,28	AF	30,00
25469	4828	Des_56		10,81	8,14	82,81	0,55	AF	32,00
25474	4833	65108		22,47	18,39	33,75	0,15	AF	121,00
25484_A	4824	Des_56		8,23	8,14	3,65	0,55	AF	25,00
25484_B	Des_56	4815		8,14	5,92	94,76	0,55	AF	23,00
25494	4834	48895		16,09	15,67	14,48	0,47	AF	29,00
25495	4727	4834		21,20	13,58	107,86	0,37	AF	71,00
25521	4805	4806		5,49	5,10	20,91	0,37	AF	19,00
25523	5528	2384		4,20	3,90	53,77	0,86	AF	6,00
25535	4812	2383		7,94	7,37	46,29	0,13	AF	12,00
25540	2370	2384		6,76	4,09	24,27	0,28	AF	110,00
25576	2376	2364		8,83	7,97	45,19	0,28	AF	19,00
25577	2364	3519		7,97	7,25	43,23	0,28	AF	17,00
25586	2129	70148		12,00	11,96	68,16	0,28	AF	1,00
25598	2372	2235		3,87	3,87	12,37	0,86	AF	0,00
25600	2235	2234		3,87	3,86	17,47	0,86	AF	1,00
25601	2234	2233		3,86	3,60	30,44	0,86	AF	9,00
25602	2233	2820		3,60	3,50	71,83	0,86	AF	1,00
25610	2384	2372		3,90	3,88	6,03	0,86	AF	3,00
25637	2816	2130		27,10	26,37	36,11	0,28	AF	20,00
25638	2815	2816		31,64	27,10	40,50	0,28	AF	112,00
25646	2319	5368		39,18	37,00	66,34	0,28	AF	33,00
25695	5021	1204		0,62	-0,11	73,58	0,47	AF	10,00
25704	2126	2342		0,61	0,53	52,03	0,37	AF	2,00
25705	2342	2340		0,53	0,05	67,15	0,37	AF	7,00
25706	2340	2339		0,05	0,47	60,81	0,37	AF	7,00
25707	2339	2334		0,47	0,01	74,22	0,37	AF	6,00
25714	2809	2342		1,18	0,53	79,58	0,28	AF	8,00
25717	Des_6	2340		0,50	0,05	29,10	0,28	AF	15,00
25720	2246	2274		0,29	-0,61	61,53	0,37	AF	15,00
25721	1545	2246		0,74	0,29	23,87	0,37	AF	19,00
25722	2217	1545		1,06	0,74	11,20	0,37	AF	29,00
25723	4873	2217		1,02	1,06	37,17	0,28	AF	1,00
25727	5399	62986		0,64	1,55	138,98	0,31	PS	7,00
25729	Des_41	5393		1,04	2,74	190,20	0,31	PS	9,00
25731	19463	5393		0,70	2,70	371,08	0,31	PS	5,00
25734	46861	5396		-2,14	1,20	47,80	0,36	AF	70,00
25735	5408	Des_16		1,02	1,20	43,02	0,18	AF	4,00
25737	46861	5396		-2,14	1,20	46,08	0,73	AF	72,00
25742	2302	46880		1,50	1,47	41,73	0,73	AF	1,00
25747	64277	5398		2,03	1,30	6,91	0,15	AF	106,00
25748	2294	64277		2,28	2,28	22,80	0,28	AF	11,00
25749	5403	2294		5,90	2,28	64,52	0,18	AF	56,00
25750	2299	2302		2,35	1,50	24,10	0,28	AF	35,00
25752	5401	2294		2,47	2,28	30,60	0,28	AF	6,00
25758	2284	2302		1,80	1,50	72,51	0,65	AF	4,00
25776	2260	2261		3,31	3,01	5,26	0,28	AF	57,00
25777	2262	2261		4,41	3,01	6,35	0,28	AF	220,00
25778	2265	2261		3,42	3,01	34,28	0,28	AF	12,00
25804	5424	2260		6,60	3,31	55,80	0,28	AF	59,00
25805	2807	2262		6,94	4,41	51,89	0,28	AF	49,00
25806	2261	4496		3,01	2,04	46,51	0,28	AF	21,00
25950	2273	4886		13,34	10,14	62,91	0,28	AF	51,00
25955	5466	2823		10,54	9,37	54,35	0,65	AF	22,00
25961	60265	4878		10,06	8,20	83,84	0,28	AF	22,00
25970	2299	4873		2,09	1,02	77,24	0,47	AF	14,00
25971	2830	60265		10,80	10,06	81,78	0,28	AF	9,00
25987	46880	1545		1,49	0,74	81,26	0,28	AF	9,00
25998	5459	15785		17,63	11,68	77,67	0,28	AF	77,00
25999	15785	5457		5,88	5,60	42,36	0,28	AF	7,00
26000	2830	5457		10,80	9,10	24,31	0,28	AF	70,00
26001_A	4885	59250		12,10	10,95	37,31	0,28	AF	31,00
26002	2124	4885		15,14	12,10	66,96	0,28	AF	45,00
26008	Des_46	58877		15,00	12,12	46,93	0,28	AF	61,00
26063	5533	5532		5,69	5,49	51,56	0,86	AF	4,00
26064	5532	5531		5,46	4,59	50,33	0,86	AF	17,00
26065	5531	5530		4,62	4,40	22,43	0,86	AF	10,00
26066	5530	5529		4,40	4,24	43,42	0,86	AF	4,00
26067	5529	5528		4,24	4,20	28,50	0,86	AF	1,00
26070	6033	5532		9,18	6,03	63,57	0,37	AF	50,00
26071	Des_61	Des_62		10,12	6,18	100,52	0,86	AF	39,00
26164	4743	4742		29,98	25,95	25,14	0,28	AF	160,00
26172	4745	4743		31,49	29,98	35,65	0,28	AF	42,00
26173	4747	4745		32,05	31,49	35,70	0,40	AF	16,00
26178	5614	4747		33,09	32,05	48,95	0,40	AF	21,00
26179	4749	5614		35,15	33,09	39,41	0,40	AF	52,00
26194	Dup_4722	4724		25,39	19,86	58,52	0,28	OV	94,00
26196	4724	4725		19,86	18,64	19,17	0,28	OV	64,00
26224	4761	4747		34,64	32,05	36,79	0,28	AF	70,00
26225	4760	4761		37,21	34,64	52,72	0,28	AF	49,00
26227	4763	4761		35,07	34,64	32,87	0,28	AF	13,00
26228	4764	4763		35,50	35,07	41,73	0,28	AF	10,00

# Ledninger med økt diameter

ID	FM_ID	TM_ID	F_PZ	T_PZ	P_LENGTH	P_HEIGHT (Diameter)	P_TYPE_SUB	SLOPE
26229	4766	4764		35,87	35,50	50,56	0,28 AF	7,00
26230	5620	4766		36,58	35,87	48,79	0,28 AF	15,00
26258	2714	5630		40,13	42,15	18,73	0,28 AF	108,00
26261	5629	5630		57,51	42,15	42,28	0,18 AF	363,00
26265	5632	5630		47,95	42,15	62,45	0,31 AF	93,00
26295	4716	70043		42,05	40,73	35,70	0,23 AF	37,00
26296	5583	70043		45,48	40,73	68,07	0,23 AF	70,00
26426	5711	4788		41,26	39,55	106,08	0,47 AF	16,00
26427	5712	5711		42,23	41,26	54,32	0,47 AF	18,00
26428	18357	5712		44,04	42,23	48,89	0,47 AF	37,00
26429	18372	18357		45,55	43,40	80,90	0,47 AF	27,00
26447	5717	18357		44,99	43,40	42,69	0,28 AF	37,00
26448	5718	5717		50,03	44,99	41,76	0,28 AF	121,00
26482	5593	4777		39,57	38,64	37,64	0,28 AF	25,00
26483	5594	5593		40,62	39,57	38,72	0,28 AF	27,00
26487	18387	4697		47,03	46,82	89,93	0,28 AF	2,00
26488	5710	18387		47,43	47,03	52,87	0,28 AF	8,00
26490	73345	5710		47,83	47,43	51,11	0,28 AF	8,00
26491	18378	73345		48,11	47,83	36,33	0,28 AF	8,00
26492	5738	18378		48,31	48,11	16,93	0,28 AF	12,00
26520	5808	49505		0,43	-1,25	29,77	0,47 AF	56,00
26545	49542	5399		0,54	0,64	165,09	0,31 PS	1,00
26583	5853	5851		-0,10	-0,22	21,70	0,37 AF	6,00
26584	5851	5831		-0,22	-0,48	45,57	0,37 AF	6,00
26585	5830	5831		-0,43	-0,48	12,33	0,37 AF	4,00
26586	5853	5852		-0,02	-0,17	16,80	1,10 AF	9,00
26587	5852	5830		-0,17	-0,43	53,39	1,10 AF	5,00
26589_A_A	5856	71087		0,41	0,16	25,78	0,28 AF	10,00
26589_A_B	71087	Des_7		0,16	0,15	1,37	0,28 AF	7,00
26589_B	Des_7	5853		0,15	-0,10	26,21	0,28 AF	10,00
26590	5858	5856		1,57	0,40	45,12	0,23 AF	26,00
26592	2334	55037		0,01	-0,33	54,07	0,37 AF	6,00
26593	2340	5831		0,05	-0,48	74,89	0,37 AF	7,00
26594	Des_5	5853		0,87	-0,10	73,26	0,28 AF	13,00
26595	2126	5856		0,61	0,41	74,04	0,28 AF	3,00
26596	5858	5863		1,57	0,73	71,37	0,28 AF	12,00
26597	5863	2126		0,73	0,61	48,35	0,37 AF	2,00
26630	5879	50488		1,21	-0,09	100,38	0,47 AF	13,00
26633	50482	50475		-0,17	-0,71	93,13	0,47 AF	6,00
26640	5891	5863		1,10	0,73	52,44	0,28 AF	7,00
26643	50475	50476		-0,71	-1,11	17,90	0,36 AF	22,00
26645	50472	50475		-0,21	-0,66	42,33	0,55 AF	11,00
26649	5874	50466		2,54	1,06	42,13	0,29 AF	35,00
26656	6172	50466		1,41	1,09	35,52	0,37 AF	9,00
26669	5914	6172		1,78	1,41	56,65	0,36 AF	7,00
26680	5908	5914		16,34	1,78	128,53	0,29 AF	113,00
26682	58785	5914		1,93	1,78	36,86	0,36 AF	4,00
26684	48868	5916		6,87	3,66	60,55	0,24 AF	53,00
26694	5932	5934		10,81	8,60	30,82	0,18 AF	72,00
26706	5935	5934		9,64	8,60	54,69	0,28 AF	19,00
26707	5934	5949		8,64	7,97	76,50	0,37 AF	9,00
26709	5937	5934		8,71	8,60	32,35	0,37 AF	3,00
26710	5938	5937		9,04	8,71	26,05	0,37 AF	13,00
26711	5939	5938		9,18	9,04	41,93	0,37 AF	3,00
26768	56533	5976		14,93	12,67	41,06	0,37 AF	55,00
26769	5976	5986		12,67	9,64	114,65	0,37 AF	26,00
26770	5986	5985		9,64	9,47	5,46	0,37 AF	31,00
26776	56533	5974		14,84	14,84	14,80	0,23 AF	0,00
26778	5975	5974		19,85	14,84	62,82	0,24 AF	80,00
26780	5988	5987		9,58	9,38	28,25	0,28 AF	7,00
26781	5989	5988		10,29	9,59	46,19	0,28 AF	15,00
26783	5990	5992		10,34	9,59	45,14	0,28 AF	17,00
26785	5992	5994		9,59	8,68	102,94	0,28 AF	9,00
26792	5978	5977		10,18	9,52	60,95	0,28 AF	11,00
26793	5980	5978		10,71	10,18	36,48	0,28 AF	15,00
26794	5980	5981		10,70	9,96	62,65	0,28 AF	12,00
26795	5981	5982		9,96	9,80	41,54	0,28 AF	4,00
26797	5982	5985		9,80	9,47	51,23	0,28 AF	6,00
26804	5977	5939		9,53	9,18	55,91	0,28 AF	6,00
26806	5987	5937		9,38	8,71	54,17	0,28 AF	12,00
26808_A	Des_71	Des_72		8,67	8,48	20,87	0,28 AF	9,00
26808_B	Des_72	5997		8,48	8,28	22,12	0,28 AF	9,00
26809	5997	5998		8,35	7,87	46,89	0,28 AF	10,00
26810	5998	5999		7,87	7,43	48,51	0,28 AF	9,00
26813	5991	Des_72		10,04	8,48	49,92	0,18 OV	31,00
26839	57178	5914		1,85	1,78	11,28	0,23 AF	6,00
26841	5891	6189		1,05	4,00	59,31	0,28 AF	50,00
26842	6015	5975		26,18	19,85	39,78	0,23 AF	159,00
26846	6030	6015		28,40	26,18	32,83	0,24 AF	68,00
26847	6017	6015		29,13	26,18	35,00	0,23 AF	84,00
26849	6028	5985		10,55	9,47	69,21	0,28 AF	16,00
26855	5985	5994		9,47	8,68	59,16	0,37 AF	13,00
26856	5994	5999		8,68	7,43	56,31	0,37 AF	22,00
26867	6023	6022		39,94	39,94	58,13	0,23 AF	9,00
26868	6052	6023		41,07	39,94	62,49	0,23 AF	18,00
26923	5999	4805		7,43	5,49	60,50	0,37 AF	32,00
28281	4886	4879		10,14	8,40	75,66	0,28 AF	23,00
28282	7155	4886		10,50	10,14	56,68	0,28 AF	6,00
35657	3237	3232		24,19	18,58	122,02	0,28 AF	46,00

# Ledninger med økt diameter

ID	FM_ID	TM_ID	F_PZ	T_PZ	P_LENGTH	P_HEIGHT (Diameter)	P_TYPE_SUB	SLOPE	
35658	3242	3237		29,80	24,19	73,36	0,28	AF	76,00
35921	15854	15852		1,02	-0,04	47,21	0,37	AF	22,00
35923	15853	1073		0,83	0,17	72,05	0,47	OV	9,00
35931	15858	15859		-0,24	-0,31	40,47	1,84	OV	2,00
35932	15859	15860		-0,31	-0,31	40,67	1,84	OV	0,00
35933	4863	15860		-0,06	-0,31	29,90	0,47	OV	8,00
36158	2303	15786		12,00	11,37	52,08	0,18	AF	12,00
36159	15786	20189		11,37	10,18	55,85	0,18	AF	21,00
36551	16509	16513		0,56	0,36	75,29	0,29	OV	3,00
36552	16513	16505		0,36	0,18	67,40	0,23	OV	3,00
40803	1204	40802		-0,11	-0,26	36,30	0,36	AF	4,00
40804	40802	18410		-0,26	-0,31	33,71	0,36	AF	1,00
40810	2274	40808		-0,61	-0,66	30,68	0,23	AF	2,00
40816	2274	40815		-0,61	-1,08	31,89	0,23	AF	15,00
41837	41740	1666		29,42	17,58	97,86	0,23	OV	121,00
46858	2119	2245		0,02	-0,03	99,47	1,84	OV	1,00
46869	58464	4885		12,29	12,10	3,22	0,15	OV	59,00
46879	46878	64277		2,10	2,03	5,56	0,18	AF	13,00
48898	48895	4003		15,68	13,75	84,11	0,28	AF	23,00
48925	48873	48875		40,27	39,74	52,66	0,18	OV	10,00
48933	48875	48878		39,74	36,00	149,27	0,18	OV	25,00
48938	48880	48878		37,71	36,00	48,16	0,20	OV	36,00
48945	48878	48882		36,00	33,80	70,29	0,18	OV	31,00
48955	48887	48875		41,79	39,74	37,65	0,18	OV	54,00
48960	48886	48882		42,11	33,80	162,80	0,18	OV	51,00
48974	48882	48892		33,80	26,04	135,55	0,18	OV	57,00
48990	48892	48895		26,04	15,58	125,85	0,18	OV	83,00
50469	50466	50472		1,06	-0,16	114,70	0,55	AF	11,00
55038	55037	5831		-0,33	-0,48	8,05	0,37	AF	19,00
59737	2645	5594		42,40	40,62	28,97	0,28	AF	61,00
59786	4742	2568		25,95	21,89	40,51	0,28	AF	100,00
59789	4084	4003		14,24	13,69	4,68	0,23	AF	118,00
59974	58877	15786		12,12	11,37	30,80	0,28	AF	24,00
60097_A	2245	40811		-0,03	-0,09	39,59	1,84	OV	2,00
60098	2249	59263		-0,10	-0,17	44,92	1,84	OV	2,00
60106	4873	5021		1,02	0,62	40,64	0,47	AF	10,00
60107	15852	1204		-0,04	-0,11	2,91	0,37	AF	24,00
60115	59272	1085		-0,10	-0,34	16,94	0,47	OV	14,00
60118	4867	59272		-0,05	-0,10	4,47	0,18	OV	11,00
61955	4806	2372		5,10	4,93	17,26	0,37	AF	10,00
61974	5979	5978		10,45	10,18	20,95	0,28	AF	13,00
62045	6178	57178		4,84	2,65	61,07	0,23	AF	36,00
62049	5916	58785		3,66	1,93	31,90	0,23	AF	54,00
62051	50488	50482		-0,09	-0,17	43,66	0,47	AF	2,00
65129	1666	4991		17,58	15,47	21,67	0,23	OV	97,00
65130	4991	4084		15,47	13,75	26,32	0,23	OV	65,00
65133	4003	4831		13,75	13,58	6,49	0,28	AF	26,00
69560	15850	15647		-0,09	0,50	75,05	0,47	AF	8,00
69766	70046	70047		40,14	39,70	53,31	0,24	OV	8,00
69767	70044	70046		40,52	40,14	22,91	0,24	OV	17,00
70329	71089	Des_7		1,35	0,15	59,30	0,24	OV	20,00
70629	71090	61177		2,03	-0,56	93,61	0,61	OV	28,00
71103	5776	5717		51,36	44,99	36,54	0,28	AF	174,00

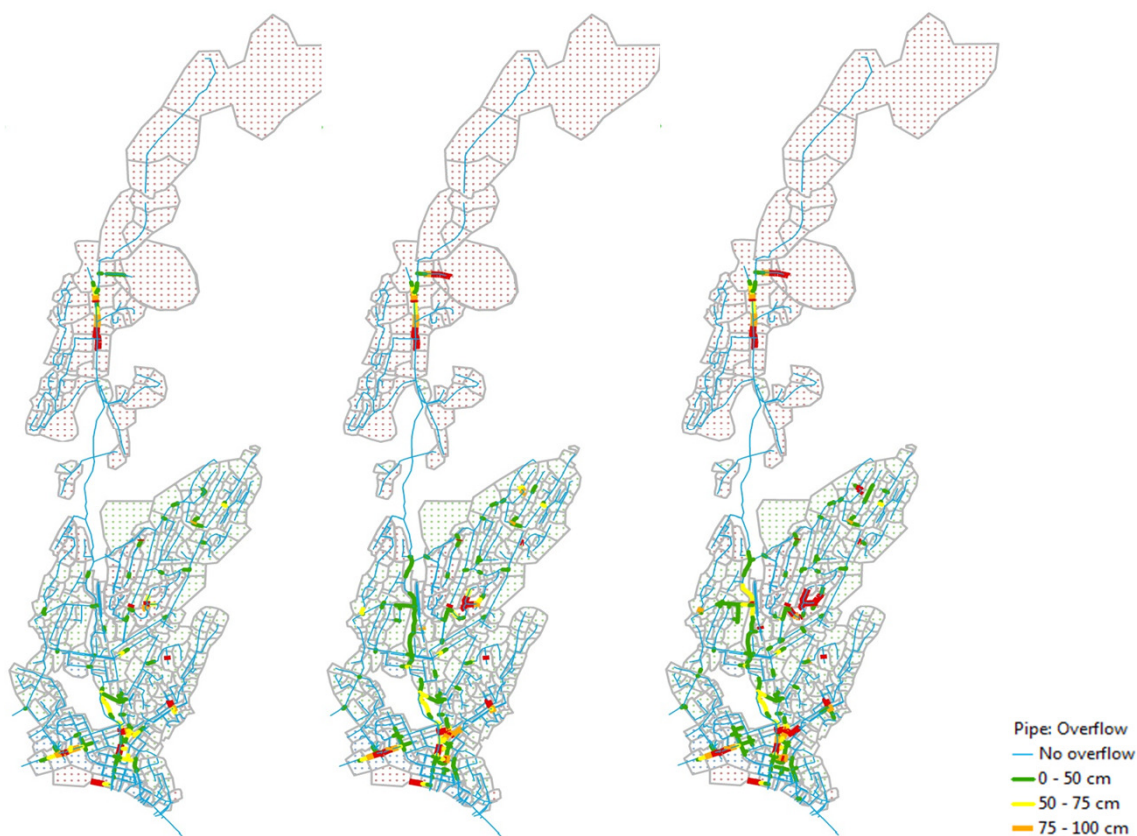
ID	Idendifikasjonssnr.	F_PZ	Starthøyde	P_HEIGHT (Diameter)	Diameter
FM_ID	Fra kumID	T_PZ	Slutthøyde	P_TYPE_SUB	Rørtype
TM_ID	Til kumID	P_LENGTH	Ledningslengde	SLOPE	fall



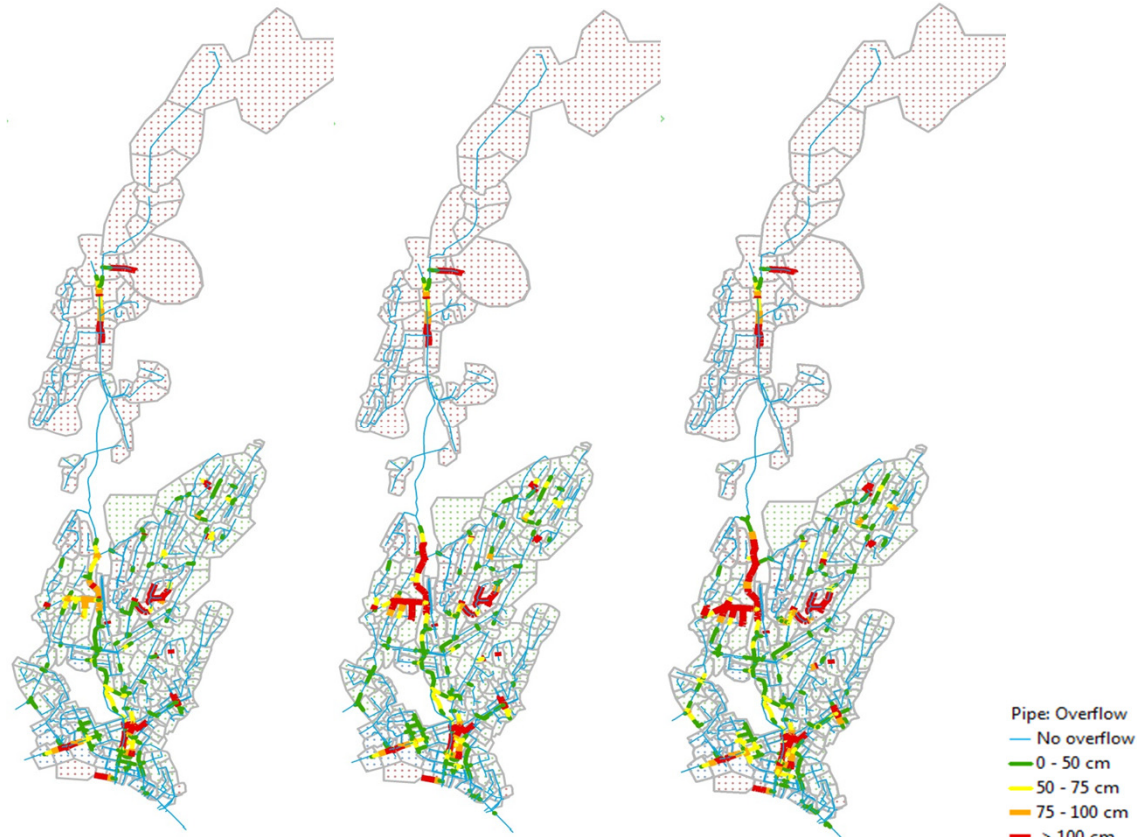
# Vedlegg 3

Visuell fremstilling av resultater

# Visuell fremstilling av resultater, nåværende tilstand

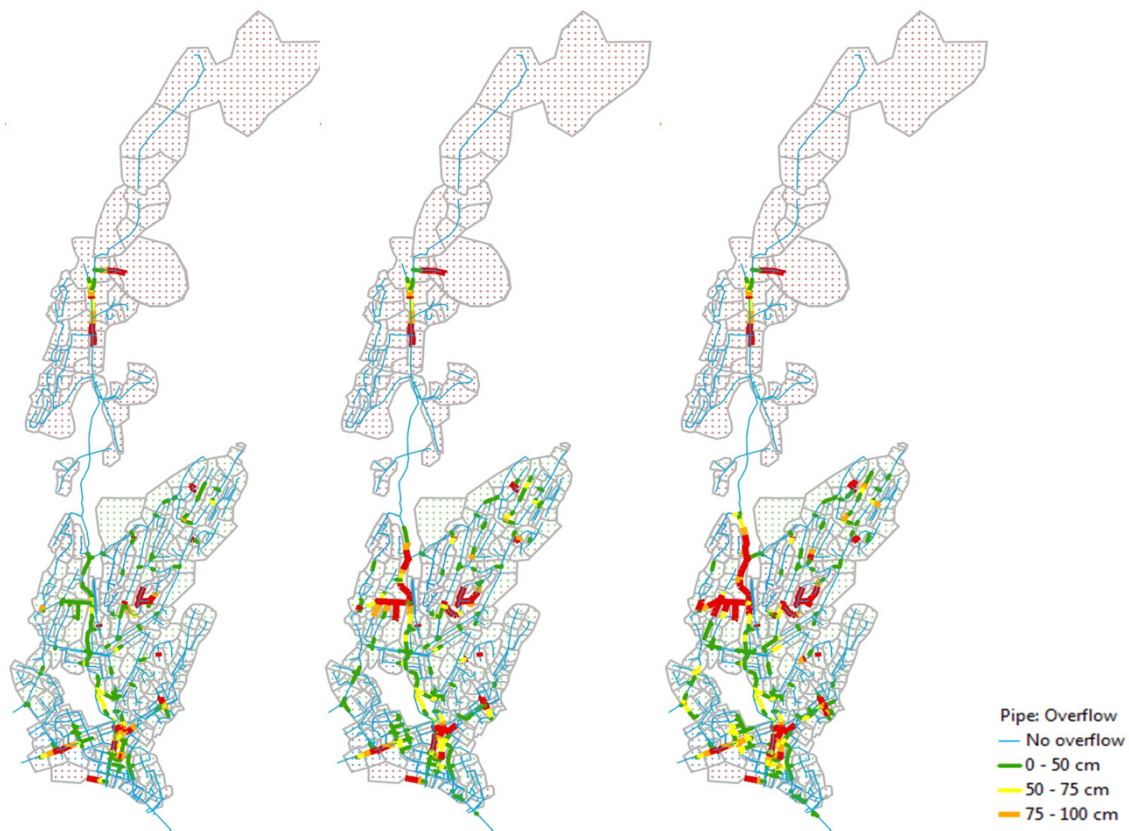


2-års gjentakintervall	5-års gjentakintervall	10-års gjentakintervall
------------------------	------------------------	-------------------------

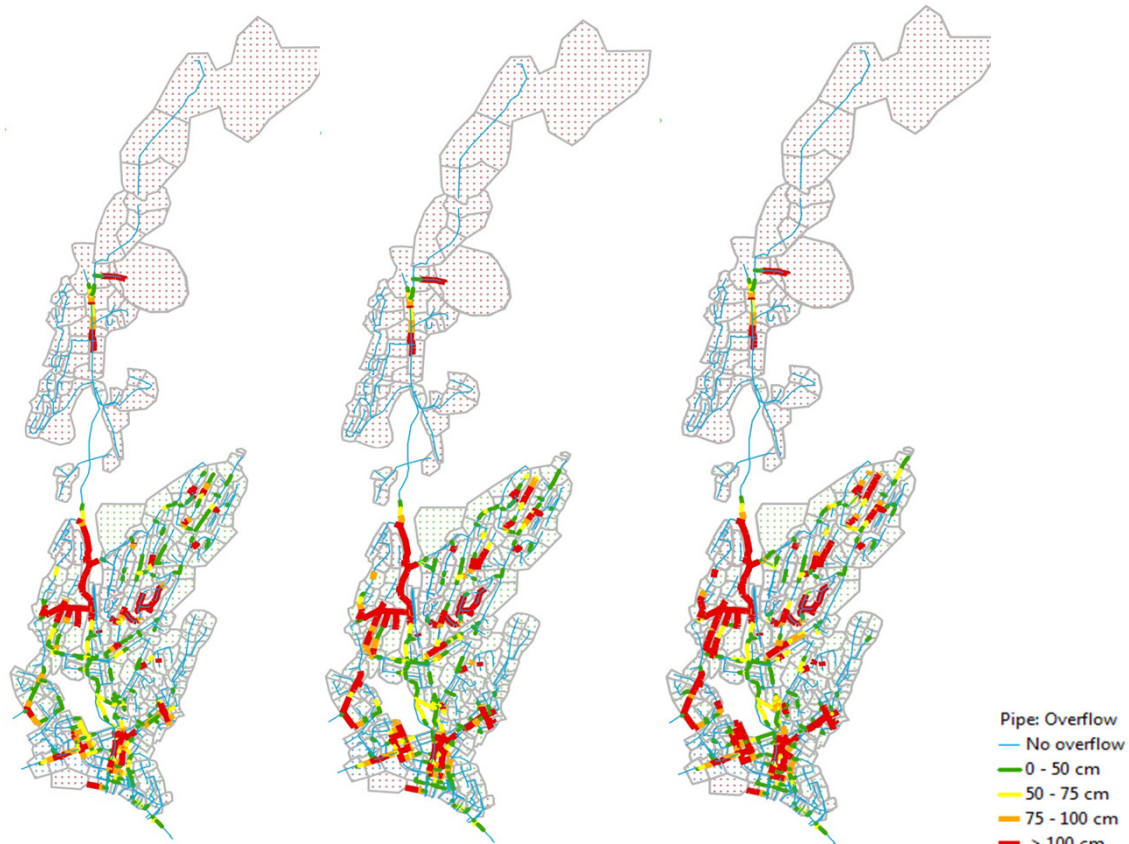


20-års gjentakintervall	50-års gjentakintervall	100-års gjentakintervall
-------------------------	-------------------------	--------------------------

Visuell fremstilling av resultater, Situasjonen om 100 år (50 % klimatillegg)



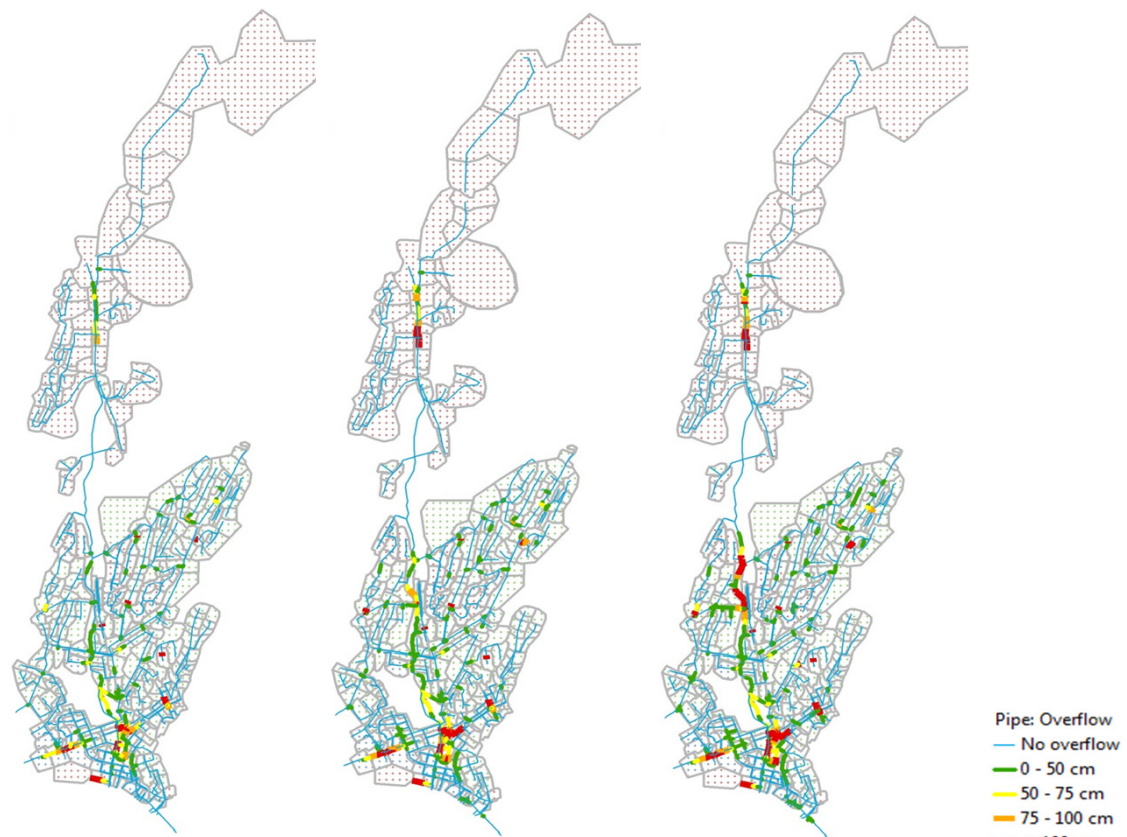
2-års gjentaksintervall + 50%    5-års gjentaksintervall + 50%    10-års gjentaksintervall + 50%



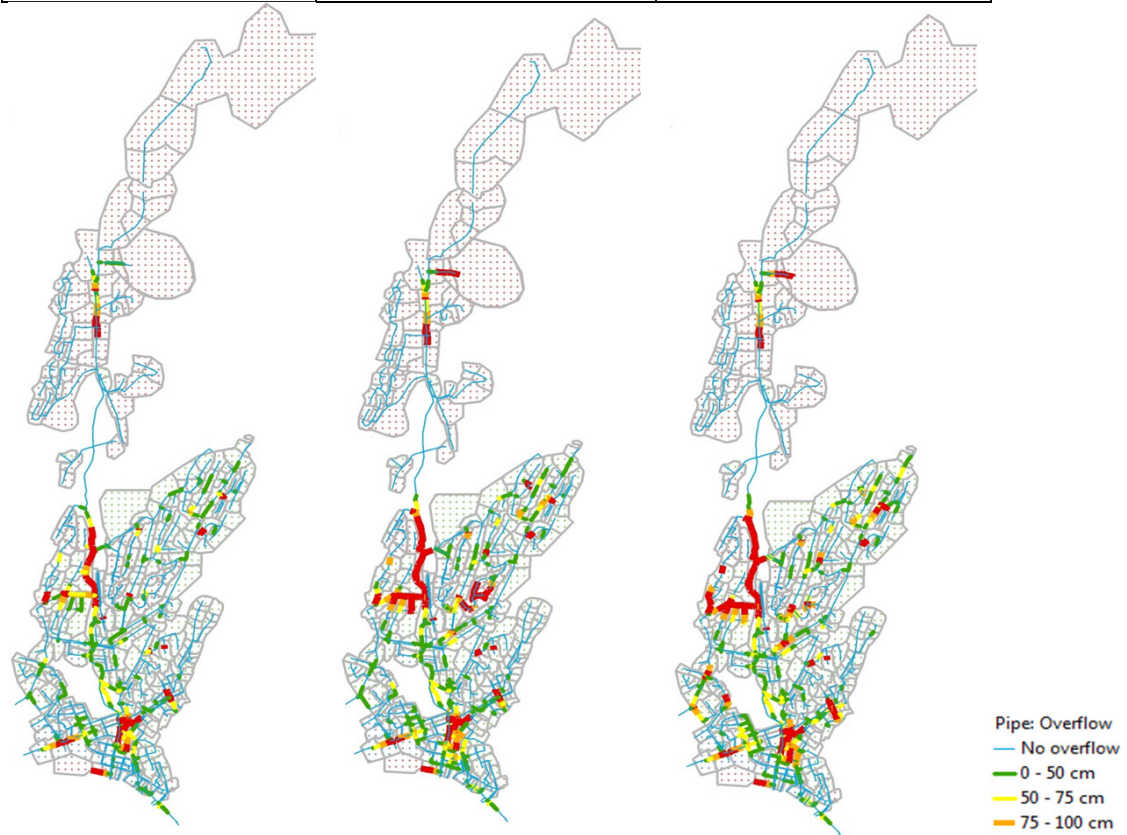
20-års gjentaksintervall + 50%    50-års gjentaksintervall + 50%    100-års gjentaksintervall + 50%



Visuell fremstilling av resultater, Situasjonen om 100 år (50 % klimatillegg), frakoblede takflater



2-års gjentakintervall + 50%    5-års gjentakintervall + 50%    10-års gjentakintervall + 50%

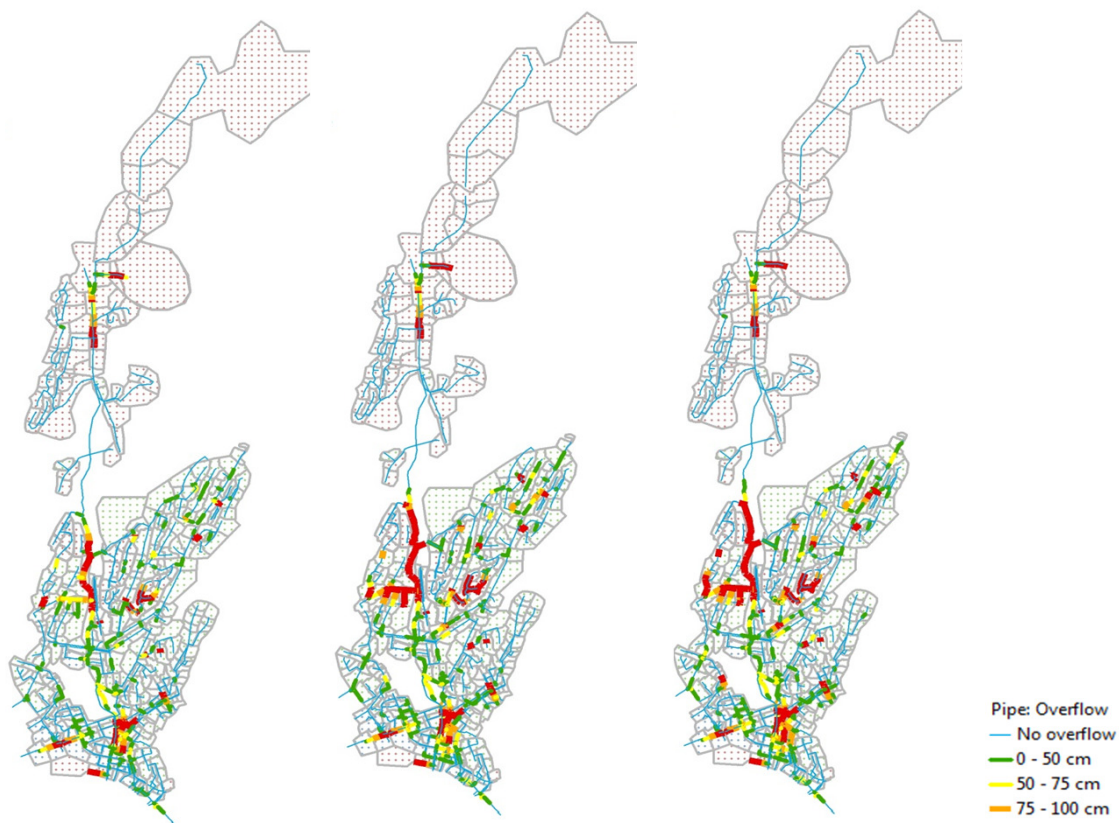


20-års gjentakintervall + 50%    50-års gjentakintervall + 50%    100-års gjentakintervall + 50%

Visuell fremstilling av resultater, Situasjonen om 100 år (50 % klimatillegg), Fordrøyning



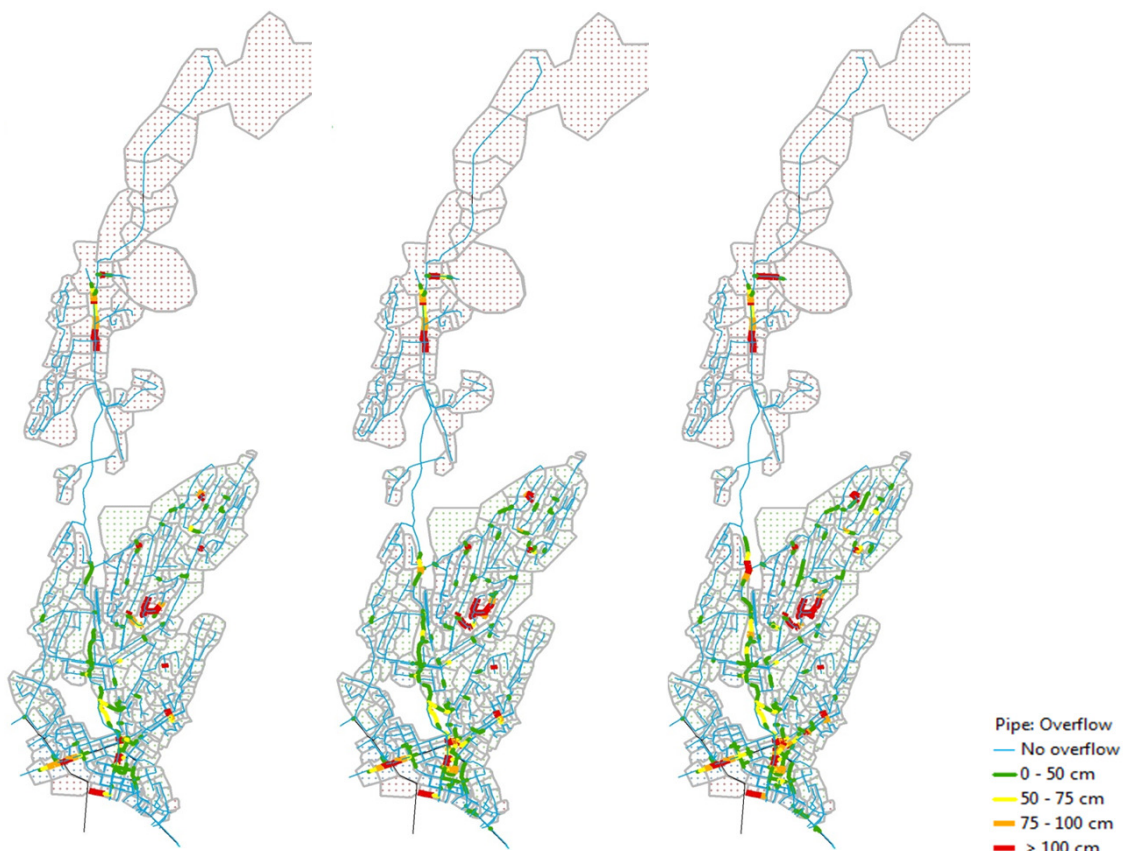
2-års gjentakintervall + 50%    5-års gjentakintervall + 50%    10-års gjentakintervall + 50%



20-års gjentakintervall + 50%    50-års gjentakintervall + 50%    100-års gjentakintervall + 50%



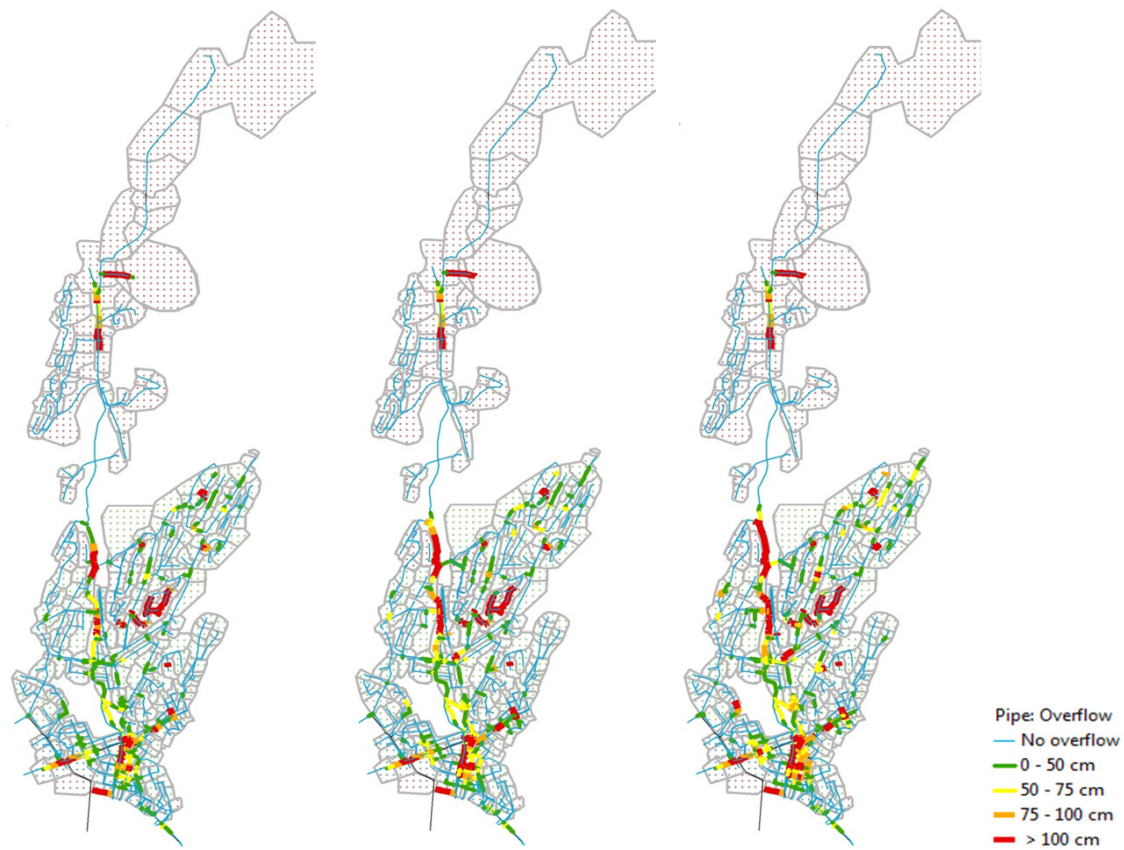
Visuell fremstilling av resultater, Situasjonen om 100 år (50 % klimatillegg), Utvidelse av rørdiametre



2-års gjentaksintervall + 50%

5-års gjentaksintervall + 50%

10-års gjentaksintervall + 50%



20-års gjentaksintervall + 50%

50-års gjentaksintervall + 50%

100-års gjentaksintervall + 50%