



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Analyse av klimatilpasningstiltak for overvannsnettene rundt Bleiker i Asker kommune.

Analysis of climate change measures for the storm
water network in Bleiker, Asker municipality.

Gjermund Deggerdal
Vann- og Miljøteknikk

Forord:

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet i samarbeid med Asker kommune. Oppgaven er sluttprosjektet for min mastergrad i Vann og Miljøteknikk ved Institutt for matematiske Realfag og Teknologi (IMT) og tilsvarer 30 studiepoeng.

Arbeidet med oppgaven har strukket seg over en periode på litt over 4 måneder. Det har vært veldig gøy og lærerikt å jobbe med oppgaven, selv om det har vært perioder hvor jeg har hatt mer lyst til å spise kattemat enn å feilsøke modellen. utfordringene har til gjengjeld ført til en fantastisk mestringsfølelse når ting endelig har blitt riktig. Det har også vært veldig morsomt å se at jeg har fått benyttet meg av kunnskap som jeg har tilegnet meg tidligere i studiet.

Jeg vil takke min hovedveileder professor Oddvar G. Lindholm for veldig god veiledning gjennom hele perioden. Tusen takk for gode, konstruktive tilbakemeldinger, selv på lørdagskvelder og skjærtorsdag! En stor takk til Kristin Sola Jenssen som har vært min biveileder. Denne oppgaven hadde ikke kommet i mål uten din kompetanse og naturlig hjelpsomme personlighet. Takk for gode råd, assistanse med modellen og for korrekturlesing.

Jeg vil også takke Geir Lindholm og Oliver Dimovski fra Rosim for innføring i modellen og ellers god hjelp. Takk til Asker kommune for tilrettelegging av kontorplass i hele perioden og lån av datamaskin. Takk til Marius Gulbrandsen for innføring i avrenningsmodellen og for den informasjonen du har funnet frem. Takk til Tore Adamsen, Kristian Kleve-Ruud og Stein Petter Nilsen for gode faglige råd og meninger underveis. Tusen takk til alle andre i Asker kommune, for fire hyggelige måneder. Ellers vil jeg takke Kristine Otnes for enorm støtte på hjemmefronten og for korrekturlesing. En liten takk til Sonja Deggerdal for at hun våkner så sjeldent om natten og lar pappa sove i en hektisk periode!

Asker, 11. Mai 2016

Gjermund Deggerdal

Sammendrag:

Denne oppgaven skal se på fremtidige utfordringer for behandling av overvann i Asker kommune. De fremtidige utfordringene kommer i hovedsak fra klimaendringer, befolkningsvekst og fortetningspolitikk. Global klimaendring er for de fleste å regne som et faktum. FNs klimapanel har benyttet mye ressurser for å kartlegge hvordan fremtiden ser ut ved å se på historiske data og klimahistorikk. De har derfor en viss formening om hvilken vei klimaendringene går, men til prognosene er det heftet mye usikkerhet. Den globale tendensen er at det blir mer nedbør ut mot polene. Norge får mer nedbør og mer nedbør med høy intensitet. Norge er et land med store arealer og liten befolkning, men andelen som bor i urbane områder øker. Denne tendensen presser eksisterende infrastruktur. I tillegg til dette bedrives det en aktiv fortetningspolitikk for å hindre klimautslipp i form av transport. Utbygging i de urbane områdene fører til flere impermeable flater, i tillegg til dyrere rehabilitering og utbygging av ledningsnett. Problemer som allerede har dukket opp er økte kjellerskader på grunn av overvann, mer utslipp fra overløp og flere skader på grunn av flom.

Denne masteroppgaven ser nærmere på et område i Asker kommune. En urban kommune i vekst, på Østlandet. Det ble gjort en analyse av overvannsnett i området ved hjelp av en modell i Mike Urban. Modellen ble kalibrert mot en vannføringsmåler. Det ble simulert regnhendelser som er konstruert på bakgrunn av historiske nedbørsmålinger. Disse regnhendelsene ble simulert med og uten et klimatillegg på 50%. Det ble også innført relevante tiltak. Tiltakene som blir simulert er frakobling av takflater, fordrøyning i dam og utvidelse av rørdiameter. De forskjellige tiltakene ble vurdert på bakgrunn av hydraulisk effekt. Til slutt ble det gjennomført en økonomisk analyse av de forskjellige tiltakene.

Resultatene viste at klimaendringene kommer til å medføre en stor økning i overvannsrelaterte skader, men fordi det ble oppdaget underveis at modellen har noen mangler preges analysen av en rekke med usikkerheter. Derfor ble ikke alle resultatene helt som forutsatt.

Det mest effektive tiltaket var frakobling av takarealer, både med tanke på hydraulisk og økonomisk effekt. Ledningsutvidelse ved flaskehals ga effekt på regn med lave gjentakintervaller, tiltaket ble vurdert til lønnsomt ved utblokking. Fordrøyning ga nesten ingen effekt, men resultatet ble vurdert som feil, på bakgrunn av mangler i modellen.

Abstract:

This thesis will discuss future challenges regarding storm water in Asker municipality, and argue the effect of selected preventive measures. Climate changes, increased population and densification of cities are the main cause of these challenges. The UN climate panel has used a lot of resources to estimate future climate based on historical data. The forecast they have come up with contains a lot of uncertainty, but at least it can point in what direction it is going. The global tendency shows that the precipitation will increase in areas near the poles. Norway will get more precipitation and more intense rainfall. Norway is a country with large areas and few people, but the portion of people living in the urban areas is increasing. More rain and increasing population are pushing the existing infrastructure to its limits. Additional development in the existing urban areas leads to more impermeable surfaces and greater expenses to rehabilitate and develop new pipe systems. Several issues have already emerged due to storm water. These are cases like increased damage on basements, more discharges from overflows and more damages on infrastructure caused by flooding.

This thesis will analyse an area in the municipality of Asker, which is located in south-eastern Norway. The municipality is experiencing additional population growth. The simulation of the area is done with a model from Mike Urban. The model was calibrated against a water flow meter. It was simulated rain events that were constructed on the basis of historical precipitation measurements. These rain events were simulated both with and without a climate surcharge of 50%. It was also implemented relevant preventing measures to the model. The preventive measures that were simulated were disconnection of roof surfaces, attenuation in pond and expansion of the diameter in critical pipes. The various measures were evaluated on the basis of hydraulic effect. The thesis ends with an economic analysis of the chosen measures.

The results indicated that climate change will lead to increased damages due to storm water, but because the model is not completely finished the results is very uncertain.

The most effective preventing measure was disconnecting the roof surfaces, both in terms of hydraulic and economic impact. Expansion of diameter gave good effect for precipitation with low intervals of replicate. The preventing measurement was considered profitable by bulging. Attenuation gave almost no effect, but the result was considered wrong on the basis of deficiencies in the model.

Innholdsfortegnelse

FORORD:	I
SAMMENDRAG:	II
ABSTRACT:	III
INNHOLDSFORTEGNELSE	IV
FIGURLISTE:	VII
TABELLISTE:	XI
FORMELLISTE:	XIV
LISTE OVER FORKORTELSER:	XV
1 INNLEDNING	1
1.1 FORMÅL	1
1.2 PROBLEMSTILLING	2
1.3 FREMGANGSMÅTE.....	3
1.4 FEILKILDER	3
2 TEORI:	5
2.1 KLIMAFORANDRING	5
2.2 HISTORISK DATA OG KLIMABAKGRUNN.....	9
2.3 FORSKJELLIGE SCENARIER FOR FREMTIDENS KLIMA	11
2.4 PROGNOSE FOR DEN GLOBALE KLIMAFORANDRINGEN.....	13
2.5 KLIMA I NORGE.....	14
2.5.1 <i>Klima i Norge 2100</i>	14
2.5.2 <i>Norges klimahistorie</i>	14
2.5.3 <i>Klima i Norge frem mot 2100</i>	18
2.6 OVERVANN.....	19
2.6.1 <i>Skadeomfang som følge av overvann</i>	20
2.6.2 <i>Urban overvannshåndtering</i>	23
2.6.3 <i>Lokal overvann disponering (LOD)</i>	26
2.6.4 <i>Forurensninger i overvannet</i>	30
2.7 URBANHYDROLOGI	31
2.8 BEREGNINGSBAKGRUNN	33
2.8.1 <i>Beregning av infiltrasjon</i>	33
2.8.2 <i>Den rasjonelle formel</i>	34
2.8.3 <i>Tid- areal metoden</i>	38

2.8.4	<i>Kinematisk bølge</i>	40
2.8.5	<i>Lineær Reservoar:</i>	40
2.8.6	<i>Enhetshydrogram-metoden</i>	41
2.8.7	<i>Hydraulisk beregning for ledninger</i>	41
2.9	MODELLERING	43
2.9.1	<i>Deterministisk modell</i>	44
2.9.2	<i>Mike Urban</i>	44
2.9.3	<i>Rosie</i>	46
3	OMRÅDEANALYSEN	47
3.1	OMRÅDET	47
3.1.1	<i>Geologiske forhold</i>	48
3.1.2	<i>Delområdene</i>	51
3.2	NEDBØRSDATA.....	55
3.3	KLIMATILLEGG	62
3.4	SKADEBEREGNINGER	63
3.5	VANNFØRINGSMÅLERNE.....	65
3.6	MODELLBESKRIVELSE	68
3.7	KALIBRERINGEN	69
3.7.1	<i>Følsomhetsanalyser</i>	72
3.8	INNSTILLINGER ETTER KALIBRERING.....	74
3.8.1	<i>Beregningsgrunnlag</i>	74
3.8.2	<i>Tidssteg</i>	75
3.9	MODELLRESULTATER	76
3.9.1	<i>Hvilket tiltak er kjørt i modellen</i>	76
3.9.2	<i>Modell uten implementering av klimatiltak</i>	77
3.9.3	<i>Frakopling av takareal</i>	77
3.9.4	<i>Overvannsdam</i>	82
3.9.5	<i>Utviding av flaskehals</i>	84
3.9.6	<i>Sammenligning av tiltakene</i>	88
3.10	ØKONOMISK ANALYSE	94
3.10.1	<i>Metode</i>	94
3.10.2	<i>Beregning av tiltakskostnader</i>	96
3.10.3	<i>Beregning av skadekostnader</i>	98
3.11	ØKONOMISK DRØFTING AV LEDNINGSUTVIDELSE VED FLASKEHALSER:.....	101
3.11.1	<i>Ledningsutvidelse med graving:</i>	101
3.11.2	<i>Ledningsutvidelse med utblokking:</i>	102

3.12	ØKONOMISK DRØFTING FOR FRAKOBLING AV TAKAREAL.....	102
3.13	ØKONOMISK SAMMENLIGNING AV TILTAKENE:.....	103
4	DRØFTING AV RESULTATENE	107
4.1	DISKUSJON RUNDT MODELLRESULTATENE.....	107
4.1.1	<i>Fordrøyning i det offentlige området:</i>	<i>107</i>
4.1.2	<i>Frakobling av takareal</i>	<i>110</i>
4.1.3	<i>Utvidelse av ledningsstrekke ved flaskehals</i>	<i>111</i>
4.2	VIDERE ARBEID:.....	111
5	KONKLUSJON	113
6	REFERANSER	115
	VEDLEGG A: KLIMADATA	I
	VEDLEGG B: GEOLOGISK DATA	II
	VEDLEGG C: REGNHYETOGRAMMER:.....	III
	VEDLEGG D: VALIDERING AV MODELLEN.....	IV
	VEDLEGG E: TILTAKENE	IV
	VEDLEGG F: ØKONOMISK ANALYSE:.....	VII
	VEDLEGG G: MODELLRESULTATER VED FORSKJELLIGE REGNHENDELSER	X

Figurliste:

Figur 1: Den globale energibalansen (Kitterød, N.-O. 2015).....	6
Figur 2: Stiplet rød linje er median i perioden 1961 til 2010. Hvit overflate er isen september 2014 (Hanssen-Bauer et al. 2015).	7
Figur 3: Drivhuseffekten (Moen et al. 2014).	7
Figur 4: De tre viktigste klimagassenes økning fra 1750 og frem til 2014 (Pachauri & Meyer 2015).....	10
Figur 5: GHG utslipp ved de forskjellige framtidsscenarioene (Pachauri & Meyer 2015).	12
Figur 6: Skifte i temperatur og nedbør i forhold til perioden 1986-2005. Til venstre er RCP 2,6 og til høyre er RCP8,5 (Pachauri & Meyer 2015).....	13
Figur 7: Årlig gjennomsnittlig temperatur i Skandinavia i normalperioden 1961 til 1990 til venstre og sirkulasjon veier til høyre (Kitterød, N. O. 2015).....	15
Figur 8: Figuren viser en times nedbør med gjentakintervall på fem år målt i millimeter (Hanssen-Bauer et al. 2015).	16
Figur 9: Denne figuren viser avvik i prosent i års avrenning i Norges vassdrag. Avviket er relatert til referanseperioden 1971 til 2000. Mørk linje illustrerer beregnet langtidsendringer (Hanssen-Bauer et al. 2015).	17
Figur 10: Endring i antall dager med 50-årsregn i Norge. Her blir modellene satt i forhold til referanseperioden 1971-2000. a) viser perioden 2031-2060 og b) viser perioden 2071-2100. Førsteaksen viser månedene i året og andreaksen viser prosentvis endring i forhold til referanseperioden.(Hanssen-Bauer et al. 2015).	18
Figur 11: Endring i nedbørintensitet fra perioden 1971-2000 og til a) perioden 2031--2060 og b) 2071-2100. Første aksene viser månedene i året og andreaksen viser forandring i nedbørintensitet i forhold til referanseperioden (Hanssen-Bauer et al. 2015).	19
Figur 12: Erstatningskrav i forskjellige grupper (Skaaraas et al. 2015). (1000kr, KPI-justert).	22
Figur 13: Forholdet mellom urbaniseringsgrad og arealets infiltrasjonsegenskaper. (Braskerud 2016).....	24
Figur 14: Illustrasjon av treleddstrategien, tallene er veiledende og varierer fra sted til sted. (Lindholm et al. 2008).....	27
Figur 15: En vannførende grøft kan gi et veldig fint bilde til byen, bidra til lokal infiltrasjon i tillegg til å føre overflødig vann ut av området (Storemyr 2016).	29

Figur 16: Det urbanhydrologiske kretsløp til høyre (Bøyum et al. 1997) og det hydrologiske kretsløp (Brattebø 2013) til venstre.....	32
Figur 17: Hortens infiltrasjonslikning, ved grafisk fremstilling (Bøyum et al. 1997).	34
Figur 18: Eksempel på konstruering av et tid-areal diagram. a) Et overvannsledningsnett, b) Tid-areal diagram for punktet X (Butler & Davies 2011).....	40
Figur 19: Avrenningsmodell til venstre, flomskader til høyre i nedre Eiker kommune (Brokhaug 2016).	44
Figur 20: Diameterstørrelsen er en hovedparameter for å klassifisere sedimenteringsmaterialer. Her ser vi i hvilken størrelsesorden klassifiseringen følger (UNSW 2007).....	48
Figur 21: Geologisk kart over Asker (Olsen 1981).....	49
Figur 22: Topografibilde av området (Asker 2016).....	50
Figur 23: Område i kommuneplanens arealdel (Asker kommune 2014b).	51
Figur 24: Røde streker er avrenningsveier på overflaten og de blå feltene er området i fare for opphoping av vannmengder (Gulbrandsen 2016). Bleiker videregående skole er de store byggene i midten av bildet. På venstre side av bilde er en kunstgressbane som også er utsatt for akkumulert avrenning, på høyre side er utendørs tennisbaner.	52
Figur 25: Analysefeltet i oppgaven. Her er aldersfordelingen på ledningsnettet kartlagt (Deggerdal 2016b).....	53
Figur 26: Analysefeltet, her er ledningsnettet fordelt på materialtype (Deggerdal 2016b).	54
Figur 27: Nedbørmålerne er markert med svarte prikker og beskrevet med svart uthevet skrift. Analyseområdet er grovt markert med grønn skravur. Asker sentrum er markert med en rød markør (Google 2016).....	55
Figur 28: Bilder av de forskjellige nedbørmålerne. Til venstre er den nye nedbørmåleren på målestasjonen ”Sem”. Det midterste bildet er den gamle nedbørmåleren på Sem og til høyre er et bilde av målestasjonen ”Brannstasjonen” (Deggerdal 2016a).	56
Figur 29: IVF-kurve for Sem nedbørmåler i Asker (Eklima 2016).	58
Figur 30: Regnhyetogram for 20-årsregn.....	61
Figur 31: Symmetrisk regnhyetogram med klimatillegg på 50% for 20-årsregn.	62
Figur 32: Nederste bilde er fra Bleiker, Skytterveien er bildet øverst til høyre. Øverst til venstre er bildet fra Aspelundfaret. Pilene indikerer Nord (Deggerdal 2016a).	66
Figur 33: Illustrasjon av målingsprinsippene. Vannets gjennomsnittshastighet måles over tverrsnittet (v) og fylt tverrsnittsareal (A). En sensor måler hastigheten (v), og en annen sensor måler vannivået i røret og beregner fylt tverrsnittsareal (A) (nivus 2012).	67

Figur 34: Bildet viser hvordan vannmålerne er montert (nivus 2012).....	67
Figur 35: Viser de forskjellige avrenningsfeltene (blått markerte polygoner), ledningene (svarte streker) og kummene (svarte prikker) i modellen.	68
Figur 36: Svart strek er modellen og blå strek er målinger gjort i Aspelundfare. Som vi ser her så mengden vann ved regn større i modellen enn de målte verdiene, men vannføringene mellom regnene er mindre i modellen.....	70
Figur 37: Følsomhetsanalyse for modellen.	74
Figur 38: Arealet som er markert lyseblått er arealet som beregnes uten boligarealet. Resterende beregnes med bolig for å illustrere den avrenningen som kommer fra de offentlige arealene. Bildet er et utdrag fra Mike Urban.....	78
Figur 39: Viser antall potensielle kjellerskader uten tiltak og ved å frakoble takrenner. Modellert ved forskjellige gjentakintervall, <u>med klimafaktor</u>	80
Figur 40: Viser antall potensielle kjelleroversvømmelser både ved frakopling av takrenner og uten gjennomførte klimatiltak for de forskjellige gjentakintervallene, <u>modellert uten klimafaktor</u>	81
Figur 41: Effekten av å endre på tilrenningstiden for hele feltet i nederste utløp. Den blå linjen er tilrenningstiden med 50 minutter og den svarte linjen er med tilrenningstiden på 7 minutter.	82
Figur 42: Samme diagram som i Figur 41, men litt oppskalert. Det er innført symboler for beregning av fordrøyningsvolum.	83
Figur 43: De turkise strekene er ledninger som blir oppdimensjonert.	85
Figur 44: Viser antall potensielle kjellerskader uten tiltak og ved ledningsutvidelser ved flaskehals. Modellert ved forskjellige gjentakintervaller, <u>modellert med klimafaktor</u>	86
Figur 45: Viser antall potensielle kjelleroversvømmelser både etter ledningsutvidelse ved flaskehals og uten klimatiltak for de forskjellige gjentakintervallene, <u>modellert uten klimafaktor</u>	88
Figur 46: Sammenligning av modellerte tiltak ved forskjellige regnhendelser. Her vises antall estimerte skader modellert ved forskjellige tiltak. Modellert <u>uten klimatillegg</u>	90
Figur 47: Sammenligning av modellerte tiltak ved forskjellige regnhendelser. Her vises antall estimerte skader modellert ved forskjellige tiltak. Modellert <u>med klimatillegg</u>	91
Figur 48: Prosentvis reduksjon av estimerte skader ved forskjellige tiltak. Her vises tiltakene frakopling av takrenne og ledningsutvidelse, både med klimatillegg og uten.	92
Figur 49: Viser antall reduserte skader ved tiltakene frakobling av takrenner og ledningsutvidelse.	93

Figur 50: Økonomisk sammenligning av tiltakene.	104
Figur 51: Illustrasjon av differansen mellom skadekostnadene uten tiltak og skadekostnadene ved de forskjellige tiltakene, gitt i million norske kroner.	105
Figur 52: Ortofoto av den offentlige delen av analyseområdet (Google 2016).	107
Figur 53: Oversiktsbilde av de offentlige arealene i analyseområdet. Bildet er tatt fra modellen i MU. De røde tallene er plassert for å belyse forskjeller mellom modellen og realiteten. ...	108

Tabelliste:

Tabell 1: Viser skadeklassifiseringen til Vista Analyse, benyttet for å estimere kostnadsomfanget forårsaket av overvann (Skaaraas et al. 2015).	21
Tabell 2: Sjablongverdier for konsentrasjon i overvann fra forskjellige tette flater gitt i mikrogram per liter ($\mu\text{g/l}$) (Lindholm 2004)	30
Tabell 3: Symbolforklaring for vannbalanselikningen.....	32
Tabell 4: Symbolbeskrivelse for den rasjonelle formel (Fergus et al. 2010).	35
Tabell 5: Klimafaktorer anbefalt av forskjellige land og institusjoner (Paus et al. 2014).	36
Tabell 6: Eksempel på økning i regnintensitet over tid (Lindholm et al. 2012a).....	37
Tabell 7: Avrenningskoeffisienter ved forskjellige arealtyper (Lindholm 2014).	37
Tabell 8: Symbolbeskrivelse av tid-areal metoden.	39
Tabell 9: Symbolforklaring, Saint-Venants likninger	42
Tabell 10: Metoder for å benytte regndata i modellering (Lindholm 2015c).	57
Tabell 11: Nedbørintensitet i liter per sekund per hektar. Beregningsgrunnlag er perioden 1983 til 2010. Tabellen viser forskjellige gjentaksintervall (år) mot regnintensiteter ved forskjellige varigheter (Eklima 2016).	59
Tabell 12: Varighet er gitt i minutter og intensitet gitt i l/s*ha	60
Tabell 13: Forskjellig regnintensitet ved gitt tidspunkt etter påbegynt regn.....	61
Tabell 14: Tabellen viser differansen mellom akkumulert regnhendelser og regnhendelser ved gjeldende gjentaksintervall (Myking 2012).	64
Tabell 15: Symbolforklaring til formell for kvadratssum.	71
Tabell 16: Symbolforklaring til formell for kvadratssum benyttet for målte mot beregnede verdier.....	72
Tabell 17: Følsomhetsanalyse: endring av maksimal vannføring er gitt i prosent, ved multiplikasjon av faktor til parameterverdi (Faktor*Verdi).....	73
Tabell 18: Antall potensielle kjellerskader beregnet i modellen, med og uten klimafaktor (satt til 1,5), modellert uten tiltak.	77
Tabell 19: Viser offentlige bygninger som er ligger i potensielle faresoner for overvannskader modellert uten tiltak. Denne tabellen gjelder også når tiltakene fordrøyning og utvidet ledning ble modellert.....	77
Tabell 20: Potensielle kjelleroversvømmelser med og uten klimafaktor=1,5 modellert med avkoblede takrenner.	79

Tabell 21: Viser antall potensielle private skader uten tiltak og ved å frakoble takrenner. Modellert ved forskjellige gjentaksintervaller <u>med klimafaktor</u> . Viser også antall reduserte potensielle private skader, numerisk og prosentvis.....	79
Tabell 22: Viser antall potensielle private skader uten tiltak og ved å frakoble takrenner. Modellert ved forskjellige gjentaksintervaller <u>uten klimafaktor</u> . Viser også antall reduserte potensielle private skader, numerisk og prosentvis.....	80
Tabell 23: Viser offentlige bygninger som er ligger i potensielle faresoner for overvannskader modellert med tiltak: Frakobling av takrenner.	81
Tabell 24: Symbolforklaring for beregning av fordrøyningsvolum.....	83
Tabell 25: Effekt av fordrøyningsbasseng/dam ved forskjellige gjentaksintervall modellert uten klimafaktor.	84
Tabell 26: Antall potensielle private skader, beregnet i modellen, med og uten klimafaktor på 1,5. Modellert med oppdimensjonering av ledningsnett ved flaskehals.	85
Tabell 27: Viser antall potensielle private skader uten tiltak og ved å oppdimensjonere ledningsnett ved flaskehals. Modellert ved forskjellige gjentaksintervaller <u>med klimafaktor</u> . Viser også antall reduserte potensielle private skader, numerisk og prosentvis.	86
Tabell 28: Viser antall potensielle private skader uten tiltak og ved ledningsutvidelse ved flaskehals. Modellert ved forskjellige gjentaksintervallet <u>uten klimafaktor</u> . Viser også antall reduserte potensielle private skader, numerisk og prosentvis.	87
Tabell 29: Sammenligning av modellerte tiltak ved forskjellige regnhendelser. Her vises antall estimerte skader ved forskjellige modellerte tiltak. Modellert <u>uten klimatillegg</u>	88
Tabell 30: Sammenligning av modellerte tiltak ved forskjellige regnhendelser. Her vises antall estimerte skader modellert ved forskjellige tiltak.. Modellert <u>med klimatillegg</u>	89
Tabell 31: Symbolforklaring til nåverdimetoden.	96
Tabell 32: Viser kostnader for tradisjonelle tiltak. Dette er kostnader som ikke egentlig kan benyttes, da kostnaden er avhengig av stedlige masser og urbaniseringsgrad i tillegg til en rekke andre faktorer (Magnussen et al. 2015).....	97
Tabell 33: Generelle priser for ledningsutvidelse med utblokking, enhetsprisene er hentet fra nærliggende prosjekt i Asker (Lunde et al. 2015).....	97
Tabell 34: Generelle priser for ledningsutvidelse med graving, enhetsprisene er hentet fra nærliggende prosjekt i Asker (Lunde et al. 2015).....	98
Tabell 35: Kostnader og antall skader i analyseområdet ved de forskjellige regnintensiteter estimert uten tiltak. Kostnadene er gitt i norske kroner.	99

Tabell 36: Kostnadsestimering av akkumulerte skader de neste 100 årene i analyseområdet, hvis kostnadene skulle vært i dag.....	99
Tabell 37: Skadekostnader ved forskjellige tiltak.....	100
Tabell 38: Resultat og parametervalgene fra nåverdimetoden benyttet på følgende tiltak: utvidelse av ledningsdimensjoner ved flaskehalsler, <u>ved å grave opp og legge nye ledninger</u>	101
Tabell 39: Resultat og parametervalgene fra nåverdimetoden benyttet på følgende tiltak: utvidelse av ledningsdimensjoner ved flaskehalsler, <u>ved utblokking</u>	102
Tabell 40: Resultat og parametervalgene fra nåverdimetoden, benyttet på tiltak: frakobling av takareal.	102
Tabell 41: Økonomisk sammenligning av tiltakene.....	103
Tabell 42: Differansen mellom skadekostnadene uten tiltak og skadekostnadene ved de forskjellige tiltakene, gitt i norske kroner. Kostnadene er tatt med utgangspunkt i skadeestimeringen fra modellen med klimatillegg.....	105
Tabell 43: Symbolbeskrivelse for den matematiske fremstillingen av økt offentlige arealer.	109

Formelliste:

Formel 1: Likning for vannbalansen	32
Formel 2: Hortons ligning	33
Formel 3: Kontinuitetsligningen	34
Formel 4: Volumstrømning gitt av regnintensitet og overflateareal	35
Formel 5: Den rasjonelle formell	35
Formel 6: Den rasjonelle formel med klimafaktor	35
Formel 7: Generell likning for tid-areal metoden	39
Formel 8: Lineær trinnvis likning for tid-areal metoden.....	39
Formel 9: Kontinuitetsligning på Saint Venants form	41
Formel 10: Saint Venants momentligning	42
Formel 11: Ligning for konsentrasjonstid i ledningsnett	59
Formel 12: Ligning for total konsentrasjonstid.....	59
Formel 13: Utregning av intensitetsintervaller.....	60
Formel 14: Generell ligning for kvadratssum	71
Formel 15: Ligning for kvadratssum med parametere vannvolum, tid og maks vannføring...	72
Formel 16: Generell formell for areal begrenset av to funksjoner	83
Formel 17: Ligning for nettonåverdi	96
Formel 18: Beregning av prosjektoverskudd (K).....	101
Formel 19: Formel for total målt vannføring ut av feltet gitt fra vannføring far offentlig og privat felt	110
Formel 20: Formel for totalt målt vannføring ut av feltet gitt fra regnhøyde og impermeabelt areal i offentlig og privat felt.....	110
Formel 21: Formel for total målt vannføring ut av feltet gitt fra regnhøyde, andel tette flater som bidrar og impermeabelt areal i offentlige og private felt.....	110
Formel 22: Utrykk for målt total vannføring med parametere som kan endres	110

Liste over forkortelser:

A1, A2, B1, B2: Utslippsscenarioer fra IPCC i SRES.

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene

BMP: Best Management Practices

CFD: Computational Fluid Dynamics

DHI: Danish Hydraulic Institute

FN: Forente Nasjoner

GHG: Green House Gasses

GIS: Geografiske Informasjonssystemer

GWP: Global Warming Potential

IPPC: Intergovernmental Panel on Climate Change

IVF: Intensitet Varighets Frekvens

KiN: Klima i Norge

KPI: Konsumprisindeks

LOD: Lokal Overvanns Disponering

MET: Meteorologisk Institutt

MU: Mike Urban

NKSS: Norsk Klima Senter

NNV: Netto nåverdi

NOU: Norges Offentlige Utredninger

NVE: Norges Vassdrags- og Energidirektorat

PAH: Polykromatiske Hydrokarboner

PE: Polyethylene

PVC: Polyvinyl Chloride

RDI: Rainfall Dependent Inflow

RDII: Rainfall Dependent Inflow and Infiltration

RCP: The Representative Concentration Pathways

SNL: Store Norske Leksikon

SRES: Special Report on Emissions Scenarios

SSB: Statistisk Sentralbyrå

UN: United Nations

UNEP: United Nations Environment Programme

VA: Vann- og Avløp

VASK: Vannskadestatistikk

VGS: Videregående Skole

WMO: World Meteorological Organization

WSUD: Water Sensitive Urban Design

1 Innledning

1.1 Formål

Globale klimaendringer er et tema som for tiden får mye oppmerksomhet i mediene. Det er diskusjoner rundt global oppvarming og hvem som har skylden. I denne oppgaven neglisjeres årsak, men forutsetter at endringen er faktum.

Begrepet ”global klimaendring” betyr en endring i energibalansen for jorden. Den endringen som foregår nå er en økning i energi inn i atmosfæren. På grunn av det positive overskuddet av energi kalles denne klimaendringen for global oppvarming.

Klimaendringene vil ikke bare føre til global endring, men også lokale endringer. Når klimaet endrer seg globalt fører det med seg forandring i energiutvekslingen i regionale klimasystemer, som gir interne variasjoner i værmønstrene på kloden. Slike forandringer kan gi helt forskjellige klimatiske utslag. Den generelle tendensen er at nedbør blir flyttet ut mot polene vekk fra ekvator. Dette betyr i praksis for Norge at det blir økt nedbør og økt nedbørintensitet.

Overvann i Norge har tradisjonelt blitt ført vekk fra urbane områder gjennom et ledningsnettverk. Bekker og små elver har blitt lagt i rør til fordel for økt eiendom for boligbygging. Rørene er dimensjonert for gjentaksintervall¹ basert på nedbør fra forrige metrologiske normalperioden (1961-1990). I Norge vil klimaendringene bety økte nedbørsmengder og økt nedbørintensitet. Disse faktorene vil gi høyere samtidighet for avrenningen i ledningsnett, som igjen vil føre til overbelastning. Dette vil være et spesielt stort problem i områder med mye impermeable flater, som er typisk for områder med tett bebyggelse. Overbelastning av ledningsnett vil ikke bare gi skader på ledningsnett, men også på privat eiendom og annen infrastruktur som erosjon på veier, jernbane og strømforsyning. Det kan derfor være gunstig å gjøre forebyggende tiltak for å hindre skader som følge av klimaforandringene. Hvis slike tiltak skal benyttes er det nødvendig å finne ”de beste løsningene” for å takle utfordringene. ”De beste løsningene” er et meget vagt begrep, og

¹ Gjentaksintervall er et mål for hvor mange år det i gjennomsnitt er mellom hver gang en bestemt regnintensitet blir overskredet (Arnbjerg-Nielsen et al. 2007).

for å definere dette er det mulig å se på en rekke faktorer. Faktorer kan være, bærekraftighet, klimautslipp, forstyrrelser i nabolaget, samfunnsnyttien, hydrologisk effekt, kostnadseffekt, osv. (Lindholm 2016). Vektleggingen av disse faktorene er veldig subjektiv og posisjonsavhengig og kan være en veldig komplisert prosess. I denne oppgaven er det i hovedsak bare sett på hydrologisk effekt og kostnadseffekt ettersom dette er faktorer som enkelt kan kvantifiseres, slik at konklusjonen skal være mest mulig objektiv.

Gjennom å se på et konkret område i Norge skal denne oppgaven belyse hvilke utfordringer med overvann som kan oppstå som følge av klimaendringer og hvordan ulike forebyggende tiltak kan bidra til å styrke infrastrukturen for å kunne takle utfordringene. Oppgaven forsøker å gi svar på hvilke av disse forebyggende tiltakene som kan være samfunnsøkonomisk forsvarlig. De forebyggende tiltakene som blir undersøkt i modellen er frakobling av takrenner, fordrøyning i dam og ledningsutvidelse ved flaskehalser.

Asker kommune er en kommune som antageligvis kommer til å oppleve mye utfordringer i fremtiden, med både store lokale klimaendringer og populasjonsvekst. Kommunen har nettopp utviklet en modell for ledningsnett for avløp og overvann. Derfor er Asker kommune valgt ut for denne oppgaven.

1.2 Problemstilling

Som nevnt under formål så er målet med oppgaven å finne ”de beste løsningene” for å håndtere klimaforandringene i Asker. Det blir lagt stor vekt på faktorer som gir stor samfunnsøkonomisk nytte og best mulig hydraulisk effekt. Problemstillingen i oppgaven er definert som følgende:

- *Hvilke tiltak kan gjøres, og er hensiktsmessig å utføre, for å minske den hydrauliske belastningen på overvannsnett, og i størst grad minimere skader som følge av klimaendringene, med hensyn på samfunnsøkonomisk gevinst.*

1.3 Fremgangsmåte

Oppgaven er delt inn i en teoridel, en analysedel (den praktiske delen av oppgaven) og avsluttes med en diskusjon. Teoridelen går igjennom teoretisk bakgrunn for oppgavens analysedel og teori for å underbygge oppgavens problemstilling.

Oppgavens analysedel tar nøye for seg et mindre område i Asker kommune. Området ble valgt fordi det inneholder flere forskjellige overflater som gir forskjellig type avrenning. Området er også det største sammenhengende overvannsnett i kommunen. I området finnes eneboliger med hager, skoler, parkeringsplasser og kunstgressbaner, så området skulle gi et nyansert bilde av avrenningsmengden fra de forskjellige overflatene. Området ble analysert gjennom en simuleringsmodell av ledningsnett som er laget av Rosim og DHI og simuleringene ble gjennomført i Mike Urban (MU). Til slutt presenteres en økonomisk analyse for de modellerte tiltakene. Diskusjonen drøfter resultatene fra oppgaven.

1.4 Feilkilder

Denne oppgaven tar for seg modellering av fremtidige problemstillinger, det vil derfor være en lang liste med usikkerheter knyttet opp mot oppgaven.

- Nedbørmåleren: Det er alltid knyttet store usikkerheter til nedbørmåling. Usikkerheten rundt selve måleren er blant annet (Petersen-Øverleir 2015):
 - Forstyrrelse i vindfeltet: Det dannes et vindfelt rundt måleren som fører til at nedbør ikke faller i måleren. Problemet er gitt som en funksjon av vindhastighet og aerodynamiske egenskaper på nedbørpartiklen og øker ved økt vindhastighet og/eller minkende massetetthet og partikkelstørrelse for nedbøren.
 - Støy på sensorsignalet til nedbørmåleren.
 - Rusk og løv akkumuleres i måleren.
 - Ved intense målinger kan vippe-måleren få problemer med å henge med.
- Det er usikkerhet knyttet til interpoleringen av nedbørmålingene fordi det er så store variasjoner i de lokale forholdene for nedbør. Nedbørmålere som er benyttet ligger ikke i feltet.
- Vannføringsmålingene er ikke nøyaktige. Feil ved vannføringsmålinger fører til at modellen ikke blir kalibrert riktig.

- En av målerne hadde problemer med å måle hastigheten, men klarte å måle vannstand. Dette førte til at måleren beregner vannføring med Mannings formel.
- Måleren på Bleiker fikk bare måleresultat i noen uker. Det er vanskelig å si noe om måleren har kalibrert seg selv. Dessuten var denne måleren plassert i et bend, som er langt fra ideelt.
- Modellen var en feilkilde i seg selv. Det var ikke alt som stemte overens med virkeligheten. En modell er ikke bedre enn målinger og verdier den bygger på.
- Første generasjons modell: Modellen var nettopp konstruert og den var ikke benyttet aktivt i kommunen. Modellen var derfor ikke så god at den kunne benyttes som et fungerende verktøy for planlegging eller drift (Lindholm 2016).
- Metodiske feil:
 - Simuleringen av de forskjellige tiltakene ble gjennomført ved å endre parametere i modellen. Disse parameterendringene var i beste fall basert på egen kvalifisert gjetting, med bakgrunn i målinger fra feltet.
 - Simulering av fordrøyning kan gjennomføres i MU på flere måter, som kan gi forskjellige resultater. Det ble gjennomført indirekte i denne oppgaven ved å endre på avrenningsparametere.
 - Estimeringen av antall overvannsrelaterte skader ble basert på en metodikk som garantert ikke gir et korrekt bilde.
- Antagelser i modellparametere:
 - Antagelser for hvor lang tilrenningstiden på overflaten varte. Dette er vanskelig å si noe om.
- Den økonomiske analysen er det gjort med mange antagelser og forenklinger.
 - Valg av diskonteringsrente. Endres denne vil også utfallet endre seg.
 - Kostnad for de forskjellige skadene var estimert på bakgrunn av VASK og en stor grad kvalifisert gjetting.
 - Priser for graving og utblokking ble estimert, men veldig lite detaljert. Disse prisene kan derfor i beste fall regnes som veiledende.
- Regnhyetogrammene 5-, 10- og 50-årsregn var utlevert materiale fra Asker kommune. 20-årsregnet ble konstruert av kandidaten. Forskjeller i konstruksjonen kan føre til vanskeligheter med sammenligningen.

2 Teori:

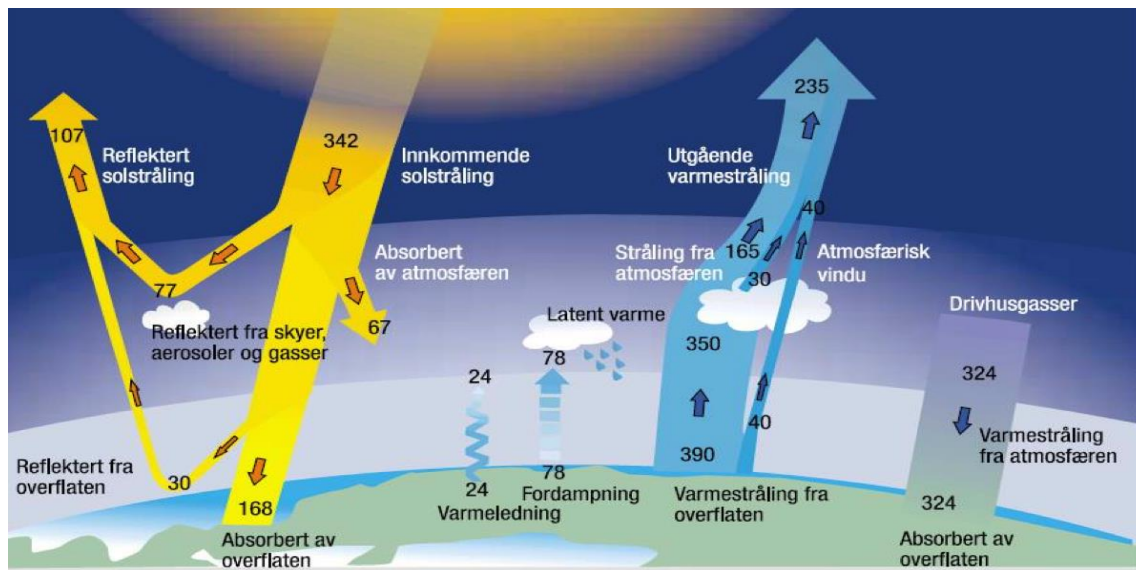
Hensikten med dette kapittelet er å gi en teoretisk bakgrunn for oppgavens praktiske del. Problemstillingen og motivasjonen for å gjennomføre den praktiske delen av oppgaven springer ut av teorien som blir presentert i dette kapitlet. Bakgrunnsteorien presentert i dette kapitlet skal også forhåpentligvis bidra til å skape en forståelse av hvordan simuleringsmodellen fungerer på et fundamentalt nivå, slik at det skal bli enklere å tolke resultatene som blir presentert senere i oppgaven.

2.1 Klimaforandring

Når det snakkes om *været* så snakkes det om hvordan temperatur, nedbør, skydekke, vind, lufttrykk og luftfuktighet oppleves på et gitt tidspunkt. Når det snakkes om klima, da snakkes det om tendenser. Klima er derfor et mer vitenskapelig begrep. Klimaet kan defineres som: *gjennomsnittsværet over et lengre tidsintervall*. Det snakkes da ofte om gjennomsnittstemperaturer i området, men også maksimal- og minimumstemperaturene (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Et klima over et geografisk område blir bestemt gjennom målinger over en lengre periode. Middelerverdier av forskjellige parametere blir regnet ut og dette blir betegnet som normalverdier (Hanssen-Bauer et al. 2015). I Norge er det vanlig å benytte normalperiode (1961-1990), men det er ikke uvanlig at andre tidsperioder benyttes, så lenge tidsintervallet er over lang nok periode.

Det globale klima bestemmes av den globale energifluksen [energi/tid/areal]. Den gjennomsnittlige globale energibalansen omhandler energi fra solen, energi ut av og energi inn av jordens system. Gjennomsnittstemperaturen på jorden er tilnærmet konstant over lengre tidsintervall, derfor kan det konstateres at mengden energi inn i atmosfæren er lik som mengden energi som går ut av atmosfæren, det har oppstått en likevekt (Kitterød, N.-O. 2015).



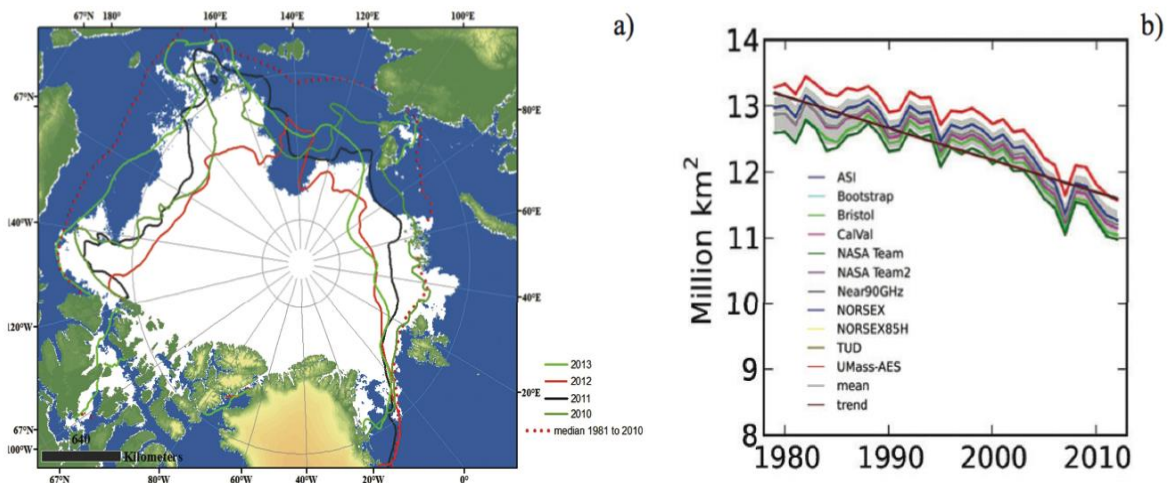
Figur 1: Den globale energibalansen (Kitterød, N.-O. 2015).

Figur 1 illustrerer at det er flere faktorer som bestemmer hvor mye energi jorden tar opp. Et eksempel på eksterne faktorer kan være endring av stråling fra solen. Faktorer på jorda som påvirker et slikt system er; skyer, drivhusgasser og grad av albedo² på bakken.

Jordens albedo kan endre seg som følge av menneskelig aktivitet. Dette kan være ved at store landarealer blir omgjort til f.eks. veier, bygg og landbruk eller ved økt partikkelinnhold i skydekke. Albedo har også en forsterkende effekt på den globale oppvarmingen fordi is har veldig høy albedo og store flater i verden er dekket med is. Når denne isen smelter erstattes flatene med områder med betydelig lavere albedo, som igjen gir høyere opptak av energi, se Figur 2.

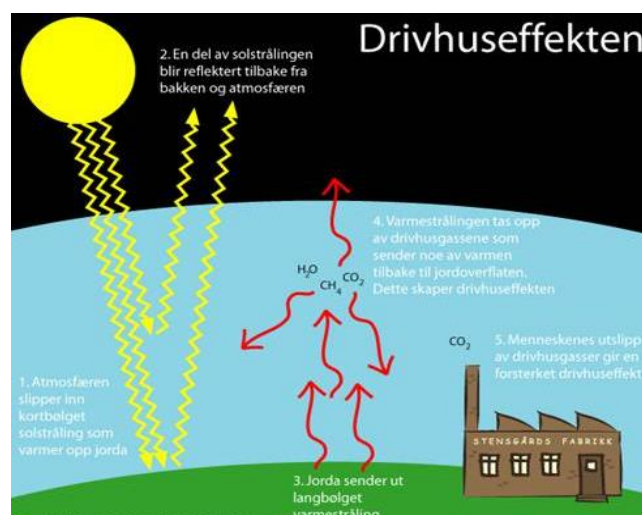
² Albedo er ratioen kortbølget stråling reflektert fra en overflate og stråling inn på en overflate.

$$Albedo = \frac{\text{kortbølget stråling reflektert}}{\text{kortbølget Stråling inn på flaten}}$$



Figur 2: Stiplet rød linje er median i perioden 1961 til 2010. Hvit overflate er isen september 2014 (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Stråling fra solen fører til oppvarming av jorden, denne varmen kalles langbølget stråling, og er ikke synlig stråling. Når den langbølgede strålingen går ut av atmosfæren fra jorden, vil drivhusgassene absorbere eller reflektere strålingen tilbake til jorden igjen, slik at energien blir bevart i jordens system. Dette fenomenet kalles drivhuseffekten, se Figur 1. Når det blir mer gasser, øker drivhuseffekten, og vi får global oppvarming (Mælum 2011). Figur 3 viser drivhuseffekten, kortbølget stråling blir absorbert av jorden. Langbølget stråling fra jorden blir reflektert av drivhusgassene.



Figur 3: Drivhuseffekten (Moen et al. 2014).

Det er i hovedsak gasser som blir fremmet som hovedårsaken til den globale klimaendringen, disse gassene omtales som GHG³. Mengden GHG i atmosfæren har økt betydelig siden den industrielle revolusjon. Hovedgrunnen er at menneske har sluppet en mengde bundet karbon ut i atmosfæren, gjennom fossilt brennstoff (Pachauri & Meyer 2015). Gassenes evne til å holde igjen varme kalles GWP⁴. GWP er opprettet for å kunne sammenligne de forskjellige gassenes påvirkning på den globale oppvarmingen. Det er et mål på hvor mye energiutslipp ett tonn med gass vil absorbere over et gitt tidsintervall, relativt til ett ton med karbondioksid over samme perioden (EPA 2015). Karbondioksid (CO₂) blir regnet som hovedproblemet, men gasser som metan (CH₄) og nitrogenoksid (N₂O) er også problematiske (Pachauri & Meyer 2015).

- *Karbondioksid* regnes som den viktigste menneskeskapt gassen for den globale oppvarmingen. Karbondioksid har per definisjon GWP lik 1, uansett tidsintervall. Det er mange forskjellige prosesser som fjerner karbondioksid fra atmosfæren og det er derfor veldig vanskelig å estimere hvor lang tid det tar før et utslipp blir fjernet naturlig, men estimeringen er på tusenvis av år (EPA 2015).
- *Metan* blir regnet som den nest viktigste menneskeskapt drivhusgassen og står for omtrent 20% av gassenes absorbering av stråling siden år 1750. Gassen har en veldig lav atmosfærisk livstid, så utslipp til atmosfæren vil forsvinne etter 8 til 10 år. Det er estimert at 60% av de globale utslippene av metangass er menneskeskapt kilder (Myhre et al. 2010). Metan blir omtalt som naturgass fordi det opptrer mye i naturen. Metan har estimert GWP på 28-36 over 100 år. Metan bidrar også indirekte ved at den er forløper til ozongass, som i seg selv er en GHG (EPA 2015).
- *Nitrogenoksid* har en GWP på 265 til 298 over 100 års tidsintervall og utslipp forblir i atmosfæren i over 100 år.

FN etablerte i 1988 sitt eget klimapanel, IPCC. Det ble etablert av Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) og FNs miljøprogram (UNEP). En av hovedoppgavene til klimapanelet er å gå igjennom forskning som er utført av andre forskningsinstitusjoner og lage rapporter på statusen til det globale klima. IPCC-rapportene blir ansett som det viktigste

³ Green House Gases

⁴ Global Warming Potentials: for å kunne sammenligne de forskjellige gassenes påvirkning på den globale oppvarmingen

faglige grunnlaget for internasjonal klimapolitikk (Miljødirektoratet 2015). Videre i denne oppgaven benyttes IPCC-rapporten fra 2013. Dette er den siste rapporten og den femte i serien av IPCC-rapporter.

2.2 Historisk data og klimabakgrunn

Historisk data og klimabakgrunn er viktig for at det skal være mulig å sammenligne fremtidsrettede analyser av klimaet med relevant data. Den historiske dataen blir lagt til grunne for å kunne skille mellom naturlig og menneskeskapt klimaendring. De historiske klimaendringene tidligere enn år 1800 blir i hovedsak kartlagt av forskere på feltet fortidsklima, også kalt paleoklima. De måler klima ved hjelp av indirekte målinger, som også går under navnet proksykilder. De viktigste proksykildene er:

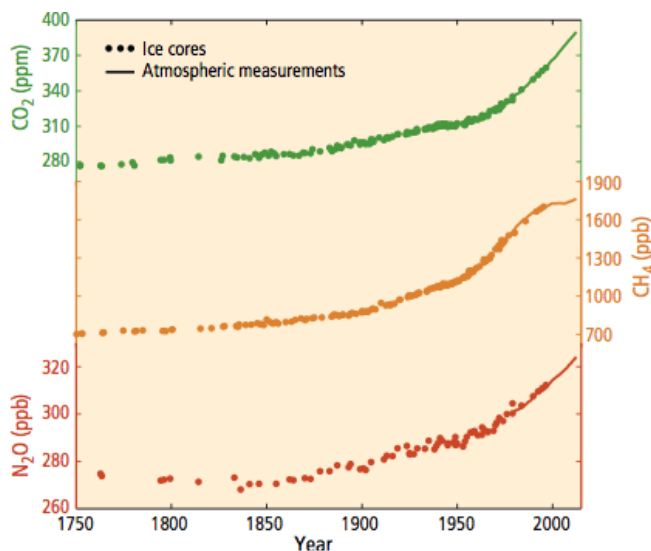
- Geologiske data: Geologiske undersøkelser gir et godt utgangspunkt for tidsepoker.
- Sedimenter: Sedimentene sier mye om hvor mye vannføring det har vært ved forskjellige tidsperioden. Kalkutfelling fra grotter kan også si noe om klima.
- Glasiologiske undersøkelser: Det blir tatt prøver dypt inne i isbreer, ved utboring av iskjerner. Målinger av stabile isotoper og gassinnholdet i luftboblene i iskjernen. Dette er da is som har blitt til for mange 100 år siden. Dette gir godt bilde av hvordan gasser som var i atmosfæren på den tiden isen ble til.
- Biologiske data: Dette kan være pollen, planterester, insekter eller årringer i trær⁵.
- Historiske data fra kirkebøker, brev osv. (Queseth 2015).

Det er mye mer tilgjengelig data om klimaendring etter den industrielle revolusjon og frem til i dag, men pålitelig instrumentelle klimadata starter omkring 1860 (Queseth 2015).

Fra år 1750 til i dag har det blitt observert store endringen i konsentrasjonen av gasser i atmosfæren, se Figur 4. Det er observert en økning i konsentrasjonen for karbondioksid, metan og nitrogenoksid med henholdsvis 40%, 150% og 20% (Pachauri & Meyer 2015). Det finnes eksempler på flere andre målte parametere som har endret seg mye i den siste perioden. Noen viktige eksempler er:

⁵ Det er mange organismer som endrer sin vekst og populasjonsdynamikk som følge av klimaendringer, eksempelvis insekter, trær, koraller og plankton.

- Det har siden perioden 1850-1900 til perioden 2003-2012 vært en forandring i gjennomsnittstemperatur på $0,78\text{C}^\circ$. De tre siste tiårene har vært de varmeste tiårene som er målt siden 1850.
- Den globale overflatetemperaturen har siden 1880 til 2012 steget med $0,85\text{C}^\circ$ basert på det lengste datasettet for temperatur som er tilgjengelig (Pachauri & Meyer 2015). Sjøen tar til seg 90% av den økte varmen i klimasystemet.
- Siden begynnelsen av den industrielle revolusjon og frem til i dag har havets opptak av karbondioksid ført til en økning i pH med 0,1. Dette tilsvarer en økning i syrlighet med 26% målt i hydrogenkonsentrasjon.
- Havnivået har steget med 0,19 m i perioden 1901 til 2010. Denne stigningen kan være mange ganger større i noen områder, fordi denne stigningen er langt i fra uniformt fordelt over kloden. Vest i Atlanterhavet har havnivået steget tre ganger så mye som gjennomsnittet, mens øst i Atlanterhavet er det omtrent ingen økning i havnivået.
- Isbreer trekker seg tilbake, både i fjellområder og i snødekkede områder. Dette er hovedgrunnen til at det globale havnivået stiger, resterende økning er termisk utvidelse av vannet. (Hansen-Bauer et al. 2015).
- Økt mengde aerosoler⁶ i atmosfæren.



Figur 4: De tre viktigste klimagassenes økning fra 1750 og frem til 2014 (Pachauri & Meyer 2015).

⁶ Aerosoler er oppløst partikler i luft, dette er veldig finpartikulært materiale (diameter omkring 0,25 til 6 μm).

2.3 Forskjellige scenarier for fremtidens klima

Det er IPCC som har de mest omfattende prognosene for klimaendringer. Fordi fremtiden er usikker operer IPCC med forskjellige modeller for prognosene sine. Disse modellene bygger på antagelser om hvordan klimapolitikken vil være i fremtiden, hvor godt menneske tilpasser seg klimapolitikken, og hvordan den teknologiske utviklingen vil være. Prognosene er også avhengig av befolkningsvekst og næringsutvikling (Hanssen-Bauer et al. 2015). Det er nesten helt sikkert at ingen av modellene er helt riktig, men en god antagelse vil være at en mellomting av scenarioene eller noe i nærheten av ytterkantene til ekstremscenarioene vil bli realiteten.

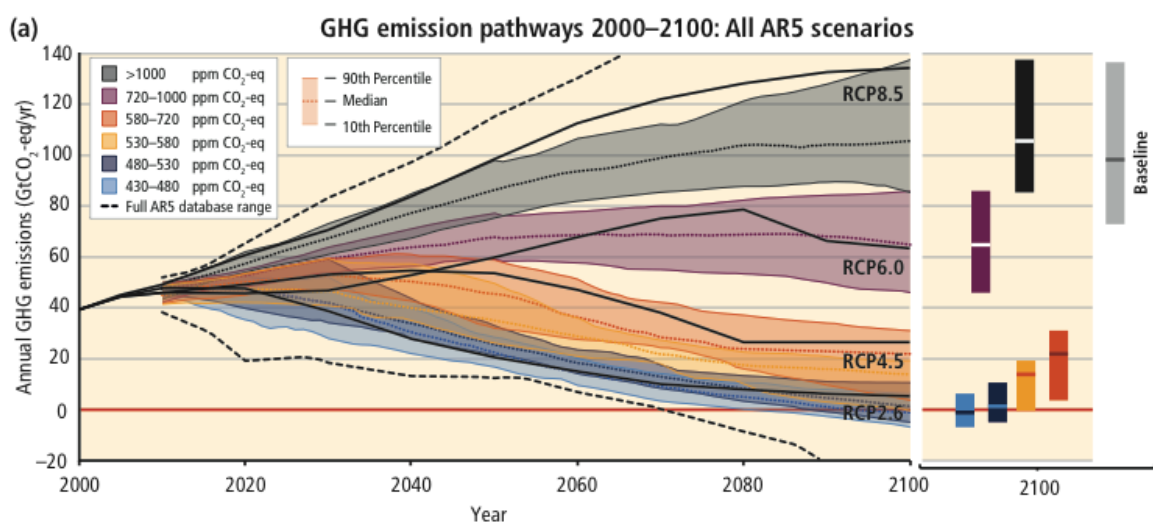
De forskjellige scenarioene i de nyeste rapportene kalles RCP (The Representative Concentration Pathways), dette er siste generasjon med scenarioer. I eldre IPCC-rapporter er det lignende scenarioer, men disse gikk under betegnelsen SRES (Special Report on Emission Scenarios). De klassifiseres da som A1, A2, B1, B2 (Davidsen et al. 2000).

- A1: Rask økonomisk vekst, populasjonsvekst og toppunkt omkring år 2050. Tilgang til mye ny teknologi. Scenarioet deler seg i tre grupper som gir forskjellige veier med hensyn til energiløsninger (Davidsen et al. 2000).
- A2: Rolig populasjonsvekst. Økonomisk vekst er hovedsakelig regionalt fordelt og teknologiutviklingen er svakere enn i de andre scenarioene (Davidsen et al. 2000).
- B1: Populasjonsvekst som toppe seg rundt år 2050. Rolig økning av populasjon og store endringer av den økonomiske strukturen, som gir mindre materiell intensitet og tilgang til ren og ressurseffektiv teknologi (Davidsen et al. 2000).
- B2: Kontinuerlig populasjonsvekst, men veksten er lavere enn i A2. Her er det moderat økonomiske fremskritt og mindre teknologiutvikling enn i B1 og A1. Dette scenarioet er orientert mot miljøbeskyttelse og sosial likhet (Davidsen et al. 2000).

Det er flere forskjeller mellom SRES og RCP, på detaljnivå, men hovedforskjellene er at det ikke er noen fikserte forutsetninger relatert til populasjonsvekst, økonomisk vekst og teknologi. RCP er det nyeste systemet og gir muligheten til å analysere et gitt scenario med forskjellige teknologier og befolkningsvekst og gi indikasjon på hvor mye klimatiltak som må gjøres for å oppnå scenarioet (Bjørnæs 2015). I den siste IPCC rapportene benyttes det fire forskjellige RCP (Pachauri & Meyer 2015):

- **RCP 2,6: Lavt utslipp:** Dette scenarioet sikter etter å holde den globale oppvarmingen under 2 C° i forhold til temperaturene som var før den industrielle revolusjon. Denne fremtiden krever: Forbud mot å benytte olje, lavt energibruk, populasjon på 9 milliarder i år 2100, mindre landbruksområder, mindre dyrehold. Dette vil gi metanreduksjon på 40% og negativt CO₂-utslipp fra 2020 (Bjørnæs 2015). Det er ingen SRES-scenarier som kan sammenlignes med RCP 2,6 (Pachauri & Meyer 2015).
- **RCP 4,5: medium utslipp:** Lavt energiforbruk, sterke programmer for å bygge opp skog. Mindre landbruksområder på grunn av endring i diett. Dette scenarioet kan sammenlignes med B1 (Bjørnæs 2015).
- **RCP 6,0: medium utslipp:** Dette scenarioet er nesten likt som 4,5. Her er det strenge utslippsreducerende tiltak. Stor avhengighet av fossilt brennstoff. Middels bruk av energi, men økning i landbruk. Stabile metanutslipp. CO₂-utslippene er maksimalt i 2060. RCP 6,0 kan sammenlignes med B1 for SRES (Bjørnæs 2015).
- **RCP 8,5: mye utslipp:** Dette scenarioet gir: tre ganger mer CO₂-utslipp i år 2100 enn i dag og det gir kraftig økning i utslipp av metan. Økt populasjon gir også økt areal benyttet til landbruk. Lav teknologisk utvikling og kraftig avhengighet av fossilt brennstoff. Ingen implementering av klimatiltak eller klimapolitikk (Bjørnæs 2015).

Figur 5 viser en sammenligning av de forskjellige scenarioene med hensyn på utslipp av klimagassutslipp, figuren illustrerer god det store spennet på utslippene av klimagasser.



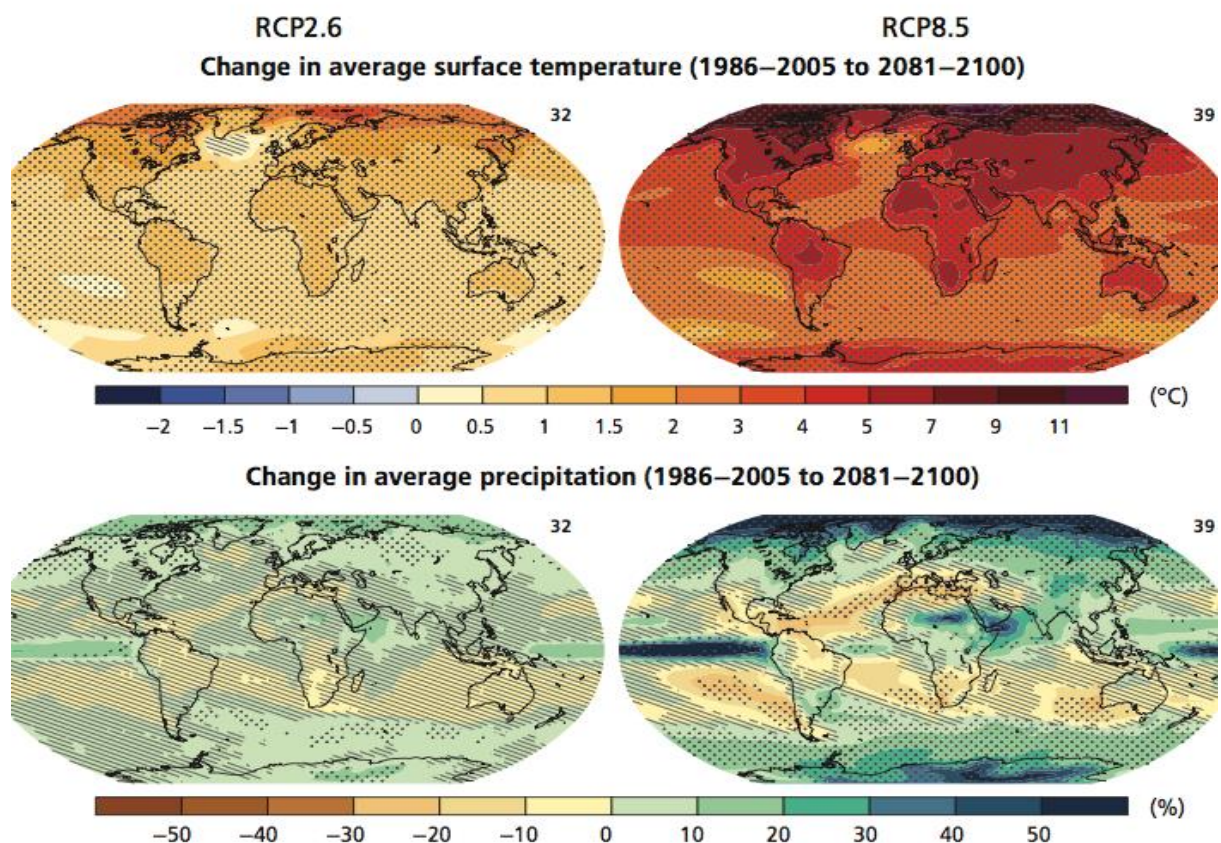
Figur 5: GHG utslipp ved de forskjellige framtidsscenarioene (Pachauri & Meyer 2015).

2.4 Prognoser for den globale klimaforandringen

Gjennomsnittlig havnivå vil øke med 0,26 til 0,55 med RCP2,6 og 0,45 til 0,82 med RCP8,5, havnivået vil ikke stige uniformt globalt, dette er gjennomsnittet for alt hav på jorden.

Som nevnt innledningsvis så vil ikke skiftet i den globale nedbøren være uniform. Områder i de øvre breddegradene og rundt Atlanterhavet ved ekvator vil få økt gjennomsnittnedbør under RCP8,5. I subtropiske, tørre områder og områder i de midtre breddegradene vil gjennomsnittsnedbør sannsynligvis øke. Ekstreme nedbørshendelser ved våte tropiske områder ved midtre breddegrader vil mest sannsynlig øke (Pachauri & Meyer 2015).

Figur 6 viser skifte i temperatur og nedbør i forhold til perioden 1986-2005. Til venstre benyttes RCP 2,6, som er den prognosen med mest klimatiltak og dermed minst menneskeskapte klimapåvirkninger. Til høyre er RCP8,5 som er det scenarioet hvor menneskenes påvirkning er størst.



Figur 6: Skifte i temperatur og nedbør i forhold til perioden 1986-2005. Til venstre er RCP 2,6 og til høyre er RCP8,5 (Pachauri & Meyer 2015).

2.5 Klima i Norge

Hensikten med dette kapitlet er å beskrive kort hva rapporten Klima i Norge 2100 sier om fremtidige værforhold. Dette skal gi en bakgrunnsforståelse for hvorfor klimaforandringene er en faktor når overvannsystemer dimensjoneres i Norge.

2.5.1 Klima i Norge 2100

Metrologisk institutt (MET), uniResearch og NVE har inngått et samarbeid som heter Norsk klimasenter (NKSS). NKSS har fått i oppdrag fra Miljødirektoratet å lage en rapport om klimaforandringene i Norge. Rapporten hadde som hensikt å gi et vitenskapelig grunnlag for fremtidig klimatilpasning i Norge. Resultatet ble rapporten ”Klima i Norge 2100”, som ble utgitt i 2009. Den nye oppdaterte versjonen kom i 2015 og er oppdatert etter nye IPCC-modeller (RCP prognosene), fra den femte og siste hovedrapporten (Hanssen-Bauer et al. 2015).

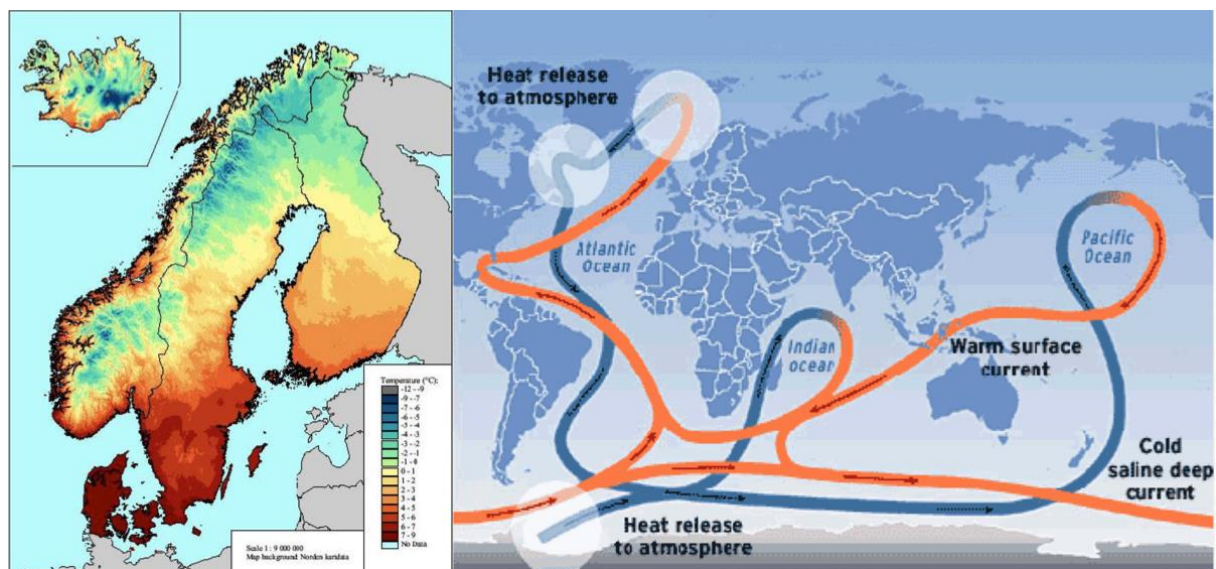
Klima i Norge 2100 (videre omtalt som KiN) gir en rask oversikt over årsakene til klimaendringene og lokale og regionale variasjoner i Norge. KiN tar for seg klimautviklingen i Norge fra siste istid slik den kan tolkes med modellene, og sammenligner med reelle måledata. Neste del er en beregnet klimautvikling frem til år 2100 under RCP2,6, RCP4,5 og RCP8,0 (Hanssen-Bauer et al. 2015). Beskrivelsen av Norges klimatiske fremtid vil i denne oppgaven i stor grad støtte seg til KiN fra 2015, da dette er den mest oppdaterte og grundige informasjonen tilgjengelig.

2.5.2 Norges klimahistorie

Norge er et land som har stor geografisk utstrekning med hensyn til lengdegradene. Norges fastland strekker seg fra Finnmark i nord (71° nord) til Lindesnes i Vest-Agder (57° nord). Dette er en strekning på 1748 km, en avstand som tilsvarer lengden på USA (fra sør til nord). Omtrent en femtedel av Norge er over 900 moh. Norge har en kystlinje på 83 281 km, når øyer, bukter og fjorder er inkludert (Thorsnæs 2015). Kombinasjonen mellom kystland og fjellkjeder har ført til at Norge er et land med mye nedbør.

Norge er et land som ligger veldig langt mot nord, dette fører til at landet opplever et netto strålingstap ut av atmosfæren. Netto strålingstap vil si at det går mindre kortbølget stråling inn i landet i forhold til mengden langbølget stråling som går ut. I Norge opplever vi ikke landet

som spesielt kaldt fordi landet blir tilført store mengder energi fra vann (Atlanterhavstrømmen) og luft som sirkuleres fra varmere områder i verden. Endringer i denne sirkulasjonen kan føre til endringer i Norges klima, se Figur 7. Viktigheten av disse strømmingene illustreres godt ved å måle temperaturene lokalt i områdene i Norge. Kystnære områder i hele Norge har relativt høy gjennomsnittstemperatur i forhold til andre områder på sin lengdegrad, på grunn av påvirkning fra Atlanterhavstrømmen, se Figur 7. Det er en tendens til at kystnære områder har høyere temperatur, dette vises i bildet til venstre. I bildet til høyre vises sirkulasjonsveier for verdenshavet. Norge får varme strømminger fra Mexicokysten og kalde strømminger returneres mellom Grønland og Storbritannia

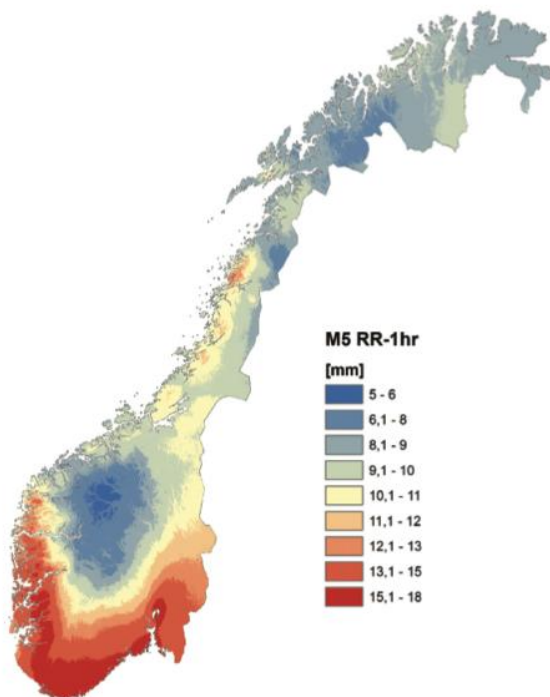


Figur 7: Årlig gjennomsnittlig temperatur i Skandinavia i normalperioden 1961 til 1990 til venstre og sirkulasjonsveier til høyre (Kitterød, N. O. 2015).

I referanseperioden 1971 til 2000 (KiN operer med nyere referanseperiode enn normalperioden i Norge for å få mest mulig oppdaterte prognoser) var gjennomsnittstemperaturen i Norge 1,3°C, dette betyr at årsmiddeltemperaturen har økt med 1°C i perioden mellom år 1900 og 2014. Også gjennomsnittstemperaturen varierer mye med geografien. Minimumstemperaturen var på høyfjellet på Finnmarksvidda 2,6°C og maksimal var i Møre med 7°C. Norge har opplevd størst temperaturøkning om våren og minst økning om vinteren. Minimumstemperaturen øker mer enn middeltemperaturen (Hanssen-Bauer et al. 2015). Varmere luft holder mer fuktighet enn kald luft, derfor kan en økning av gjennomsnittstemperaturen føre til at luften tar med seg mer fuktighet enn tidligere.

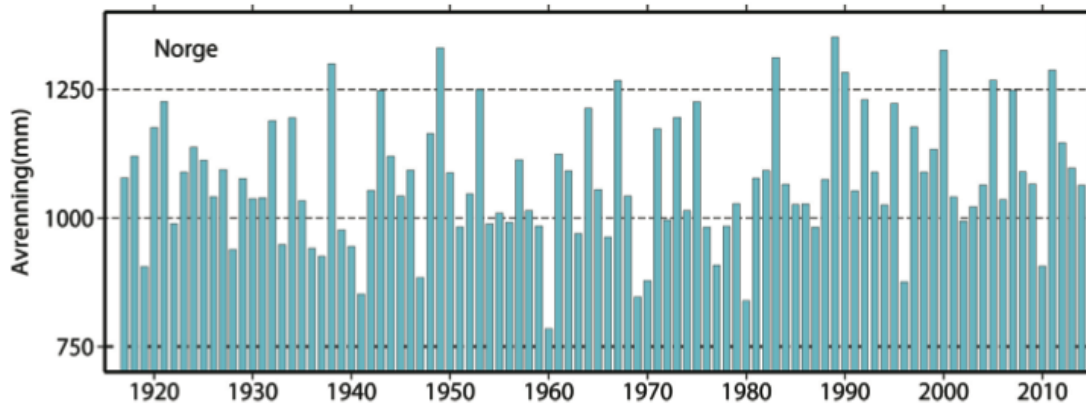
I Norge er det estimert en midlere årsnedbør til 1600 mm og av dette går omtrent 1100 mm til avrenning. Avrenningen og årsnedbør er naturlig nok ikke uniformt fordelt over Norge. Mest nedbør er i midtre strøk på Vestlandet og minst er i øvre Gudbrandsdalen og indre Finnmark. Det er målt gjennomsnittlig årsnedbør på 3500-4000 mm i midtre strøk av Vestlandet. Den største nedbørsmengden er beregnet å være i fjellområdene, men her er det vanskelig å måle nedbøren. Årsnedbøren i de mest nedbørsrike områdene på Vestlandet er over ti ganger så høye som enkelte dalstrøk på Østlandet, noe som understreker de store lokale forskjellene innad på fastlands-Norge. Siden år 1900 har landet hatt en økning i nedbørsmengde på 18%, i Østfold har det økt mest med 27% (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Et tema som er viktig for behandling av overvann er nedbørintensitet, som måles i mengde nedbør per tidsenhet per areal. I større vassdrag er det kraftige nedbørsperioder med varighet på 1 til 10 døgn som fører til de mest omfattende regnflommene. I urbane områder er det annerledes, der er det intens kortvarig nedbør som fører til størst skade. Nedbørintensiteten i Norge er også veldig varierende ved de forskjellige landsdelene, men Oslofjorden og Sørlandskysten har den mest intense bygenedbøren. I områdene rundt Oslofjorden er største nedbørsverdier for regn med varighet fra ett minutt til 60 minutter, Sørlandet fra 1 time til 6 timer og Vestlandet for varighet over 12 timer. Dette er illustrert i Figur 8.



Figur 8: Figuren viser en times nedbør med gjentaksintervall på fem år målt i millimeter (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Det er ikke bare nedbør som er relevant for overvann, men også hvor mye som går over til avrenning. I Norge beregnes årlige totalavrenning i vassdragene fra målinger og observasjoner fra omtrent 180 målestasjoner i perioden mellom år 1916 og 2010. Det er store variasjoner fra år til år, se Figur 9. Det er også her store forskjeller fra område til område.



Figur 9: Denne figuren viser avvik i prosent i års avrenning i Norges vassdrag. Avviket er relatert til referanseperioden 1971 til 2000. Mørk linje illustrerer beregnet langtidsendringer (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Ved å sammenligne gjennomsnittsverdier for referanseperioden 1971-2000 med 1985-2014 blir endringene større enn ved å sammenligne enkeltverdier år for år, se vedlegg A. Vedlegget viser at Østlandet har fått store endringer i den siste perioden med hensyn til avrenning. Vinteravrenning har økt i alle de forskjellige landsdelene bortsett fra på Vestlandet. De tydeligste endringene på landsbasis er at det blir mer avrenning om vinteren og om våren. Vinteravrenning på Østlandet har økt med 8% (Hanssen-Bauer et al. 2015).

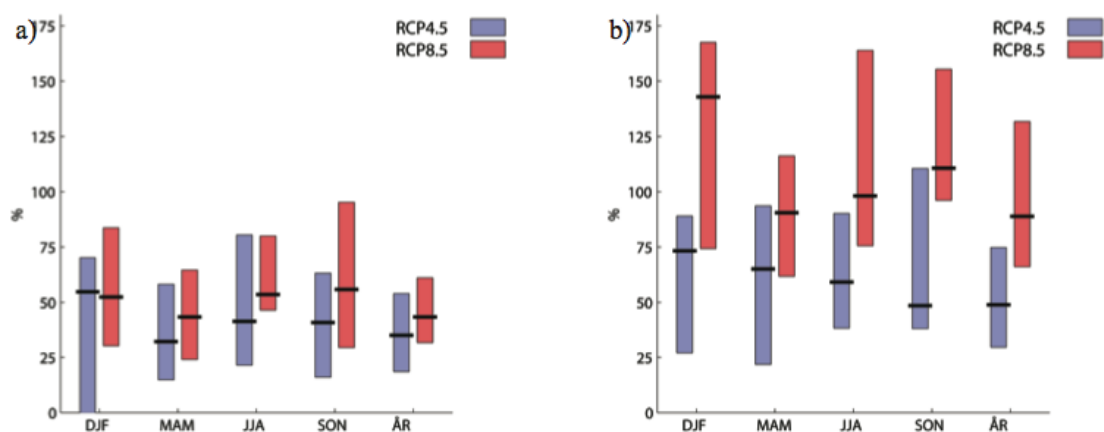
I perioden 1960-2010 er det estimert en årlig stigning i havnivået på 1,9 mm/år. Denne stigningen er ikke mulig å observere fordi fastlands-Norge fortsatt stiger. Den målte endringen i havnivået i perioden mellom 1960 til 2010 varierer mellom -13 cm i Oslo til 6 cm i Stavanger.

Historien viser at det er observert klimaendringer også i Norge, på nesten alle målte parametere som indikerer klimaendringer. Det er derfor gode grunner til å analysere data og prøve å lage gode modeller for fremtidig klimaforhold.

2.5.3 Klima i Norge frem mot 2100

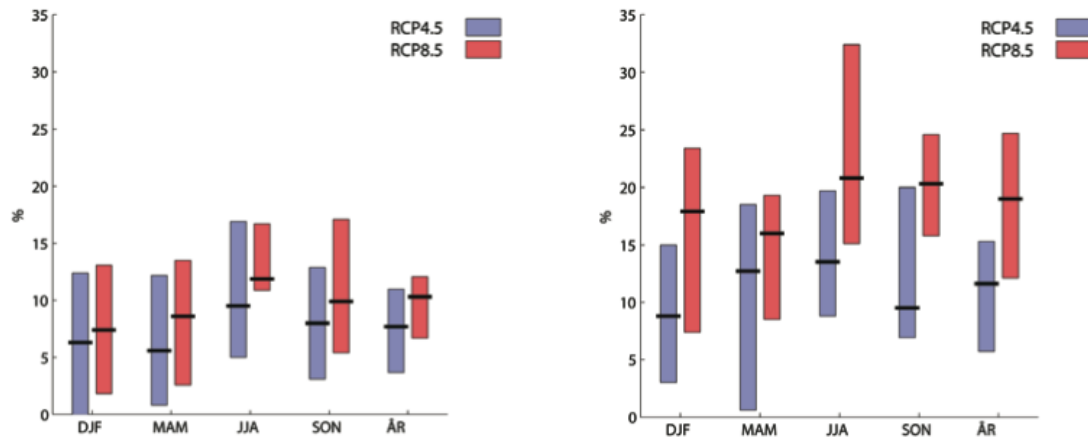
Det er vanskelig å lage gode nok prognoser til at de er på et nivå hvor det er mulig å benytte de som verktøy for planlegging. Derfor anbefaler ikke KiN å benytte IPCC-scenarier som bakgrunn for planlegging på detaljnivå. Dette ble delvis gjort i denne oppgaven, da klimafaktoren ble valgt på bakgrunn av disse prognosene. Dette blir beskrevet i kapittel 2.8.2.1.

Det estimeres at det vil bli en økning av typen 50-årsregn og regn kraftigere enn 50-årsregn frem mot år 2100 i forhold til perioden 1971-2000. RCP8,5 viser en nedbørsøkning på 89% og RCP4,5 vil gi en nedbørsøkning på 49%. Alle modellene viser økning og selv med RCP2,7 er det sannsynlig at antall døgn med kraftig nedbør kan fordoble seg, se Figur 10. Det er derfor trygt å anta at dagens dimensjonering for overvann blir for knapp.



Figur 10: Endring i antall dager med 50-årsregn i Norge. Her blir modellene satt i forhold til referanseperioden 1971-2000. a) viser perioden 2031-2060 og b) viser perioden 2071-2100. Førsteaksen viser månedene i året og andreaksen viser prosentvis endring i forhold til referanseperioden. (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Det er ikke bare hyppigheten på kraftig regn (50-årsregn og de regnhendelsene som er sjeldnere enn dette) som vil forandre seg frem til år 2100, men også nedbørintensiteten. Som nevnt tidligere så er nedbørintensiteten en viktig faktor for avrenning i urbane områder. Figur 11 viser endring frem mot år 2100. Det er heftet en god del usikkerhet til prognosene med nedbørintensitet fordi det benyttes veldig nedskalerte modeller og modellene plukker dårlig opp kortidsnedbør. Disse analysene er for de 13 forskjellige nedbørsregionene i Norge. Det er også store lokale forskjeller innad i regionene som ikke blir med i modellene (Hanssen-Bauer et al. 2015).



Figur 11: Endring i nedbørintensitet fra perioden 1971-2000 og til a) perioden 2031--2060 og b) 2071-2100. Første aksen viser månedene i året og andreaksen viser forandring i nedbørintensitet i forhold til referanseperioden (Hanssen-Bauer et al. 2015).

2.6 Overvann

Det finnes mange forskjellige definisjoner på overvann. I *Urban Drainage* av David Butler og John W. Davies beskrives overvann som:

Regnvann (eller annet vann fra nedbør) som har landet på et oppbygget areal

Denne definisjonen er litt vag, derfor benyttes definisjonen utredet fra NOU2015:16, videre i denne oppgaven. NOU2015:16 operer med følgende definisjon:

Overflateavrenning som følge av nedbør eller smeltevann

NOU2015:16 tar med seg vann som kommer fra skogs- og fjellområder og gjennom byene ved å bruke begrepet overflateavrenning istedenfor oppbygget areal, som er snevrere og utelukker vann fra områder rundt byen.

Fra kapitlene tidligere i oppgaven er det blitt lagt frem dokumentasjon som tyder på at fremtiden vil gi klimaendringer. Disse klimaendringene fører til mer nedbør på kort tid og derfor også mer avrenning på kort tid. Dette er en utfordring.

Det er ikke bare klimaendringene som kan føre til problemer med overvann. Andre trusler er befolkningsvekst og fortetningspolitikk, i henhold til SSB vil befolkningen øke i alle fylker i Norge innen 2040. Fylkene Oslo, Akershus og Rogaland får den høyeste veksten (Skaaraas et al. 2015). I kommuneplanen for Asker 2014-2026 er det tatt høyde for en vekst på 1,5% frem til 2026 og det blir i tillegg lagt til rette for fortetning som hovedvirkemiddel for å håndtere denne veksten (Asker kommune 2014a). Dette betyr at Asker kommune sannsynligvis kommer til å oppleve utfordringer som følge av økt belastning på overvannsnettets sitt.

2.6.1 Skadeomfang som følge av overvann

Vista Analyse har gjort en grundig undersøkelse av de økonomiske konsekvensene som følge av skader forårsaket av overvann. Datagrunnlaget til undersøkelsen er hentet fra VASK⁷ (vannskadestatistikk). Statistikken går tilbake til juli 2007 og er vurdert av Finans Norge som tilstrekkelig god til å vise et korrekt bilde av en skadeutvikling. Vista Analyse spesifiserer i rapporten sin: ”Det er viktig å ha som utgangspunkt at denne statistikken ikke ble utarbeidet med sikte på å kartlegge skader og forsikringsutbetalinger som følge av overvann, og det som registreres er derfor ikke akkurat det man er ute etter når man ønsker å kartlegge overvannsrelaterte skader” (Magnussen et al. 2015). Antall skader oppgitt i statistikkene er antall saker som er meldt inn til forsikringsselskapet, ikke antall forsikringsutbetalinger. For private forsikringer er markedsandelen som er med i VASK på omkring 85%, mens på kommunale forsikringer er tilsvarende 50%. Det er her store kommunale forskjeller, Oslo kommunes bygg har et forsikringsselskap som ikke leverer data til VASK. Når Vista Analyse undersøkte VASK skilte de skadene inn i direkte og indirekte skader (Skaaraas et al. 2015):

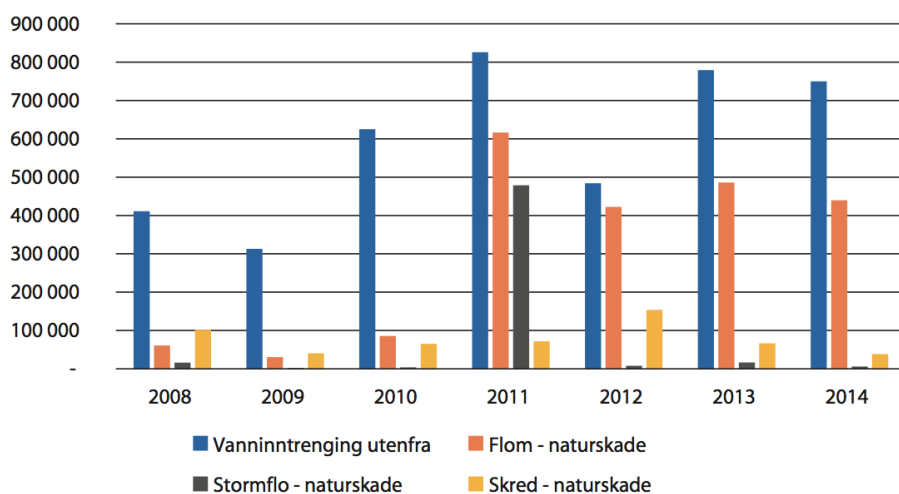
⁷VASK er statistikk over forsikringsutbetalinger i forbindelse med vanninntrenging i bygg og antall hendelser som medfører forsikringssaker (Skaaraas et al. 2015).

Tabell 1: Viser skadeklassifiseringen til Vista Analyse, benyttet for å estimere kostnadsomfanget forårsaket av overvann (Skaaraaas et al. 2015).

Skadevirkning	Kommentar
DIREKTE SKADER	
Direkte skader på bygninger	Hus og andre eiendommer kan få vannskader på selve bygningen.
Direkte skader på inventar, kjøretøy eller lignende, i bygninger	I tillegg til selve bygningen, kan inventar, maskiner, kjøretøy og lignende, utsettes for vannskader.
Direkte skader på infrastruktur som veier, jernbane, VA-system, strømforsyningsanlegg, telefon og data.	En rekke infrastruktur-anlegg kan få direkte skade som medfører kostnader, som utgifter til gjenanskaffelse, istandsetting eller økt vedlikehold.
Tap av kulturskatter	Bygninger eller inventar som får vannskader
Erosjonsskader på trafikkarealer og fritids- og rekreasjonsområder	Arealer kan få direkte skade som medfører kostnader til istandsetting, eller økt vedlikehold.
INDIREKTE SKADER	
Tap av produksjon og omsetning i næringslivet.	Næringsliv, herunder bedrifter og butikker, kan tape produksjon og miste omsetning som følge av vannskader på lokaler eller lagre.
Kostnader til trafikkomlegging og forsinkelser.	Overvann kan medføre stengte veier, bane eller lignende, og gi redusert fremkommelighet. Trafikkforstyrrelser medfører forsinkelsestid for nyttetraffikk, tog, busser, privatbilister, fotgjengere og syklistene.
Tap, ulemper og skader ved at strømforsyning, telefon- og datakabler er ute av drift.	Overvann kan medføre at private og næringsliv får avstengt strøm eller mister tele og/eller dataforbindelser.
Forurensningsskader som følge av overvannshendelser.	Overvann kan føre til forurensende utslipp fra avløpsanlegg som ikke virker eller ikke kan håndtere store nok vannmengder, skadede kjemikalietanker og oljetanker, avrenning fra industriområder og veier.
Tidskostnader til administrasjon og opprydding i etterkant av overvannshendelser	Overvannshendelser medfører ofte behov for opprydding i administrasjon i etterkant, både i privat og offentlig virksomhet.
Negative helseeffekter som følge av overvannshendelser.	Kontakt med flomvann eller vannforsyning som infiseres med spillvann som følge av overvannshendelser kan gi sykdom, som kan gi samfunnsmessige kostnader i form sykedager, medisinsk behandling osv.

I perioden 2008 til 2014 har VASK logført 105 605 skader, med totalt erstatningsbeløp på 4,2 milliarder kroner (KPI-justert til 2014-verdier). Dette gir en gjennomsnittlig årlig utbetaling på omkring 600 millioner. I tillegg kommer egenandelene som tilsvarer omkring 475

millioner i perioden, som tilsvarer en gjennomsnittlig verdi på 68 millioner i året. Som vist i Figur 12 så har det vært en utvikling i de fleste vannrelaterte skadeutbetalinger de siste årene.



Figur 12: Erstatningskrav i forskjellige grupper (Skaaraas et al. 2015). (1000kr, KPI-justert).

NOU2015:16 har ved hjelp av erfaringer fra flom i Gudbrandsdalen estimert at andelen forsikringskader mot de totale skadekostnadene er omtrent 45%. De resterende 55% er skader som er estimert inn i de totale skadekostnadene, men ikke går under forsikringskader. Dette er skader som kostnader på jernbane, vei og samfunnsøkonomiske kostnader. Dette er et tall heftet mye usikkerhet, men kan bidra til å gi et estimat. Legges 45% til grunn på statistikkene fra VASK blir de totale direkte kostnadene fra overvannskader i Norge på omkring 1,8 milliarder kroner per år. Det er også mulig å hente erfaringer om indirekte skade fra Gudbrandsdalen, der denne typen skader omtrent tilsvarte de direkte skadene. I andre tilfeller har det vært erfart at indirekte skader er høyere enn direkte skader, men det er ikke estimert hvor mye. Så en antagelse om at indirekte skader omtrent er lik som direkte skader kan derfor kategoriseres som konservativ. Med disse to antagelsene til grunne estimeres skadeomfanget til mellom 1,6 og 3,6 milliarder kroner per år på landsbasis (Skaaraas et al. 2015). Disse kostnadene kan øke til 45-100 milliarder kroner i løpet a de neste 40 årene på grunn av fortetning og klimaforandringer. Det er derfor mye som tyder på at det kan være samfunnsøkonomisk gunstig å investere penger i overvannstiltak.

2.6.2 Urban overvannshåndtering

Det er et sterkt forhold mellom urbaniseringsgrad og et areals infiltrasjonsevne⁸. Som vist i Tabell 7 er mange av overflatene knyttet til urbane områder også lite permeable. Derfor blir mengden overvann som skal bortledes økende med urbaniseringsgraden, som vist i øverste del av Figur 13.

Det er ikke bare avrenningsmengden som øker når infiltrasjonsegenskapene minsker, men også intensiteten (eller samtidigheten) til avrenningen. Infiltrasjon fører til naturlig fordrøyning slik at vannets reise fra det lander på bakken som regn til det er drenert ut av avrenningsområdet, går over lengre tid. Avrenningsmengden i et område med god infiltrasjonsegenskaper er også fordelt utover en mye større tidsperiode enn det er i urbane områder, dette illustreres i Figur 13. For å si dette enkelt:

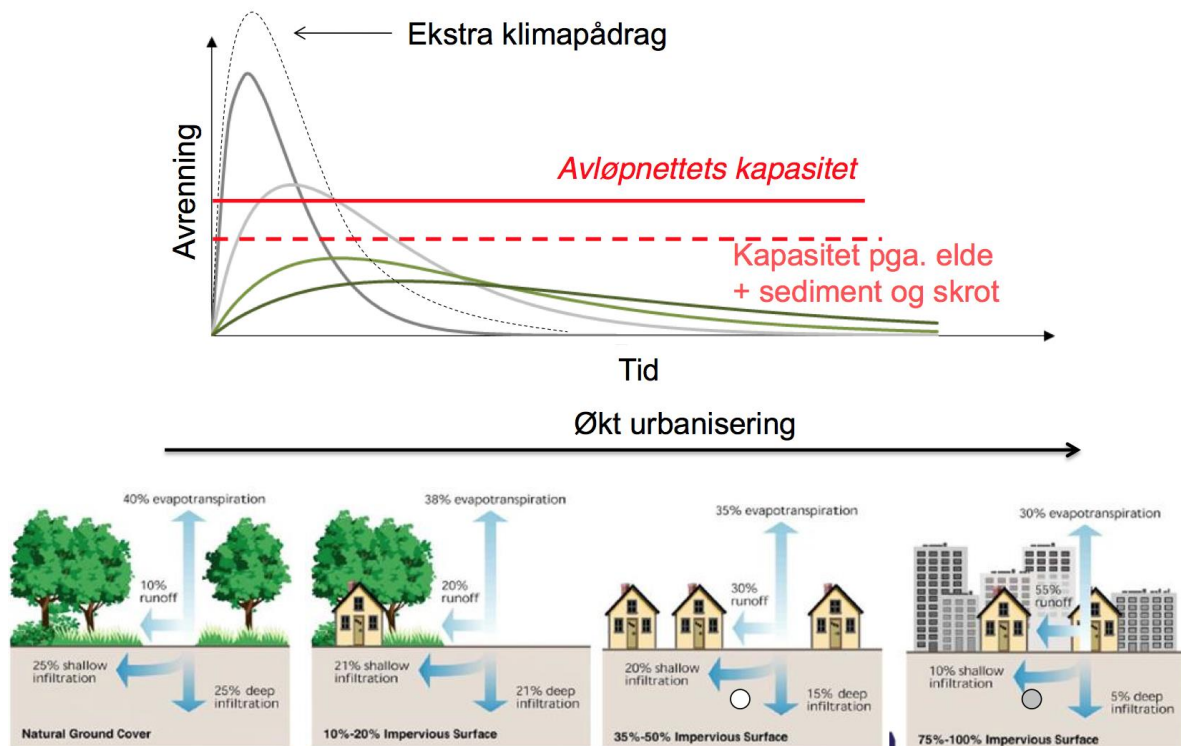
- Urbant området: Mye tette flater gir mye avrenning på kort tid.
- Naturlig grøntområde: Lite tette flater gir mindre avrenning over lengre periode.

Det er derfor store mengder vann som skal fjernes på veldig kort tid fra urbane områder, dette krever god planlegging og store rørdimensjoner hvis man tenker tradisjonell overvannshåndtering.

I Figur 13 illustreres forholdet mellom urbaniseringsgrad og arealets infiltrasjonsegenskaper. Den øvre figuren viser den påfølgende avrenningsintensiteten som øker når infiltrasjonsegenskapene forsvinner. Den nedre figuren viser hvordan avrenningen over tid endrer seg med infiltrasjonsegenskapene til avrenningsområdet. Den grønne linjen nærmest første aksene beskriver avrenning i et naturlig grønt miljø (nederste figur til venstre). Den grå linjen beskriver avrenningen over tid for et urbant miljø. Den stiplede grå linjen beskriver urbant miljø med klimapåslag

⁸ Graden en overflate har til å slippe vann igjennom, for inntrenging i løs masser eller oppsprukket fjell (Skaaraas et al. 2015).

Økt urbanisering og klimaendring => økt avrenning



Figur fra Stream Corridor Restoration Principles, processes, and Practices (2001) USDA-Natural Resources Conservation Service

Figur 13: Forholdet mellom urbaniseringsgrad og arealets infiltrasjonsegenskaper. (Braskerud 2016).

Den tradisjonelle overvannshåndteringen i urbane strøk har vært basert på et kunstig system av rør og strukturer som fanger opp og fører vannet ut av uønskede områder.

Overvannshåndtering har i hovedsak vært å føre vannet fra et sted til et annet (Butler & Davies 2011). Norske kommuner har i dag omtrent 23 500 km med overvannsførende ledninger, 16 500 km benyttes kun til det formålet at det skal frakte overvann vekk (Ræstad 2013). Det har også tradisjonelt vært stort fokus på å lukke bekker og mindre vassdrag for å frigjøre arealer for utbygging i Norge. For å gi et eksempel så har Oslo kommune ivrig praktisert bekkelukking, 67% av vassdragene i Oslo var blitt lagt i rør på starten av 90-tallet. Lukkingen startet i midten av 1800 tallet fordi bekkene ble benyttet som avløp og ga fra seg lukt. Lukkingen sluttet ikke før Grøntplanen kom i 1993 som vedtok at bekker ikke skulle lukkes (Wik 2016). Kulverter og rørene som er benyttet for bekkelukkingen har ikke vært dimensjonert for flom og det har heller ikke blitt konstruert et trygt alternativ. Dette har gitt mange flomskader de siste årene i urbane områder (Leifseth & Schanche 2014).

Utfordringer med den tradisjonelle overvannshåndteringen (Butler & Davies 2011):

- Vannet renner hurtigere over harde flater og gjennom rør enn det ville gjort over naturlige vassdrag. Dette medfører store mengder vann til utslippsområdene over et kortere tidsintervall, som igjen gir høyere ekstremalverdi for strømmingen enn det ville gjort med naturlig avrenning.
- Noen byer har fellessystem⁹, dette gjør at store mengder overvann og kloakkvann blir sendt til rensesanleggene. Rensesanleggene klarer ikke ta i mot alt og må sende urensset kloakkvann i overløpet.
- Fellessystemer blir overbelastet og dette kan føre til oppstuvning og tilbakeslag av kloakk i kjellere.
- Innlekking i rørene kan føre til at grunnvannet følger overvannet ut gjennom rørene. For fellessystemer fører dette til dobbelt opp med kostnader fordi rensesanlegget må rense grunnvannet (Lindholm 2015a).
- Områdets infiltrasjon minkes, noe som fører til at grunnvannet senkes. Dette kan medføre setningsskader og vegetasjonsuttørring (Bøyum et al. 1997). Fra et økonomisk standpunkt er setningsskader veldig alvorlig.
- Vannkvaliteten på utslippene blir dårlige fordi den hurtige avrenningen ikke infiltreres og renner hurtig ut i resipient. Hurtig utslipp fører til kraftig belastning av forurensninger.
- First flush-effekten¹⁰ blir større med mindre grad av infiltrasjon.

Problemenes hendelsesforløp og omfang har økt i de siste årene og som beskrevet i VASK statistikken, så har dette gitt økonomiske følger. Som en motvekt for tradisjonell overvannshåndtering har det oppstått mer fokus på naturlig drenering. Dette innebærer i mye større grad stedvis infiltrasjon og fordrøyning før bortledning. Bortledningen skal i størst mulig grad forekomme gjennom naturlige systemer og vassdrag (Butler & Davies 2011). Oslo kommune har de siste årene fokusert på å infiltrere overvann på stedet og å åpne bekker og elver for å sikre flomveier (Oslo Kommune 2013) og derfor vært med å fremme alternative løsninger for å håndtere overvann, ved å gå frem som et eksempel og lage veiledere for metoder.

⁹ Det skilles mellom fellessystem og separatsystem. Fellessystem er når overvann og spillvann går i samme ledning, separatsystem da går overvann og spillvann i hver sin ledning.

¹⁰ Dette prinsippet blir forklart nærmere i kapittel 2.6.4

2.6.3 Lokal overvann disponering (LOD)

Dette prinsippet går under mange navn internasjonalt. I USA heter det BMP (best management practices) i Australia kalles det WSUD (Water sensitive urban design), i Storbritannia benyttes uttrykket SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems. I Norge kalles det LOD (Butler & Davies 2011). Prinsippet med LOD-tiltak er å infiltrere mest mulig vann lokalt, slik at minst mulig vann må fraktes i rør.

Det er mer bærekraftig å benytte LOD-tiltakene enn å fortsette å håndtere overvann med tradisjonell metode, noen av hovedgrunnene til dette er (Ashley et al. 2007):

- Reduksjon av maksverdien for avrenning, se Figur 13.
- Reduksjon av avrenningsvolumer.
- Reduksjon av erosjon og sedimentasjon i kanaler.
- Ved lokal infiltrasjon vil det resterende overvannet som går til avrenning ha bedre kvalitet ved utslipp til resipient.
- Grunnvannet får tilført vann (økt perkolasjon).
- Mindre flomtopper, Figur 13.
- Reduksjon på flom skader på privat og offentlig eiendom.
- Reduksjon av helsekostnader og sikkerhet som følge av flom (utslipp fra overløp fører til høye verdier av *Escherichia coli*, som indikerer utslipp fra kloakk).
- Mange av tiltakene kan gi gode rekreasjonsverdier.
- Tiltakene skaper arbeidsplasser i form av vedlikeholdsarbeid.
- Mange av tiltakene er med å øke det biologiske mangfoldet og derfor bidrar til bærekraftighet.
- Mange av tiltakene kan gi rensede effekt (oljesøl og diverse tungmetaller).

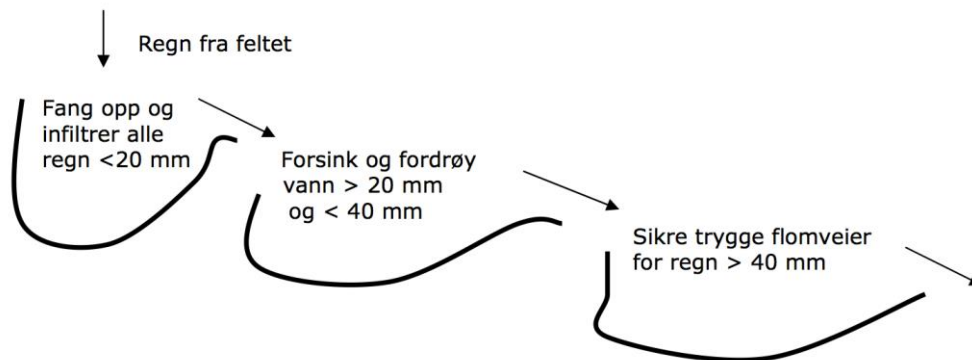
Forklaringen på hvilke mekanismer som påvirker alle disse faktorene beskrives i kapittelet om treleddstrategien.

2.6.3.1 Treleddstrategien:

Optimalisering av bruken av lokale og åpne overvannsløsninger kan bidra til at problemer med forurensninger og skader relatert til overvann minskes. Tanken bak treleddstrategien er at vannet skal håndteres etter tre graderinger (Lindholm et al. 2008).

1. For små vannmengder skal vannet fanges opp og infiltreres på stedet.
2. For mellomstore vannmengder, skal vannet forsinkes og fordrøyes.
3. For store vannmengder, da skal det være sikret trygge flomveier.

Illustrasjon av treleddstrategien er vist i Figur 14. Det er umulig å si noe om hvilke løsning som generelt er best. De lokale forholdene er veldig varierende og det er store forskjeller i urbaniseringsgrad og forventede klimaendringer. Når det skal vurderes tiltak, er det viktig å vurdere hele nedbørfeltet under et, som en totalitet, for å kunne forstå sammenhengen mellom kapasitet på overvannsystemet, ledningsnett, vassdrag og utbyggingsplaner. Tankegangen er at første steg skal implementeres der kostnadene er lave, f.eks. ved å ha overvannstiltak i egen hage. Det vannet som de lokale tiltakene ikke klarer å håndtere skal da dreneres videre til anlegg som fordrøyer¹¹, slik at avrenningsutslippet til resipient blir mindre intenst. Det siste steget i strategien slår til hvis nedbørmengdene er så store at det overstiger den hydrauliske kapasiteten til steg 1 (infiltrasjon) og steg 2 (fordrøyning). Prinsippet er at ved slike hendelser, da skal vannet avledes sikkert til en egnet resipient. Dette kan gjøres ved å bygge flomveier for å minimere skade som kan forekomme ved uønskede flomveier. Eksempler på planlagte flomveier er: Ubebygde traseer i terrenget, veigrøfter, parkeringsplasser og gater (Skaaraas et al. 2015).



Figur 14: Illustrasjon av treleddstrategien, tallene er veiledende og varierer fra sted til sted. (Lindholm et al. 2008).

¹¹ Med fordrøyning mener vi å holde tilbake vannmengder.

2.6.3.2 *Forskjellige LOD-tiltak*

Det finnes veldig mange forskjellige LOD-tiltak, men prinsipielt bygger alle tiltakene på; holde tilbake vann (fordrøyning), perkolasjon (infiltrasjon til grunnvann), eller ved å sikre flomvei. En liste med noen av de mest vanlige tiltakene er gitt her, sammen med en kort forklaring av tiltaket:

- **Fordrøyning:** Innebærer lagring eller å tilbakeholde overvann. Dette har blitt identifisert som en av de viktigste mekanismene for å motvirke flomtopper (Ashley et al. 2007).
- **Forebyggende tiltak:** Som ved mange andre problemer så diskuteres ofte løsninger på problemene i større grad enn hvorfor problemene oppstår og hvordan man kan forebygge problemene. Det finnes eksempler på at folk setter på vann som står og renner hele vinteren for at rør ikke skal fryse. Det kan også forekomme store lekkasjer på vanntilførsel eller lekkasjer hos privatperson som ikke blir fanget opp fordi de ikke gidder å lese vannmåler. I følge SSB så gikk omtrent 1/3 av det rensede vannet i Norge i 2014 ut i jorden som lekkasjevann, dette er omtrent 250 m³ vann i året (Statistisk sentralbyrå 2015). Dette er vann som ofte havner i overvannsnettet og er med å stjele kapasitet.
- **Permeable dekker:** Benytter flater som ikke hindrer infiltrasjon i stedet for å bruke tradisjonelle dekker som er impermeable (veier, betong, belegningsstein, osv.).
- **Grønne tak:** Bepanting på takene minsker avrenningen og fører til dempet avrenning ved intense regnbyger (Storemyr 2016).
- **Grønne vegger:** Klatreplanter plantet i bakken eller i beholder på egen vegg
- **Regnhøsting** for vanning i hagen.
- **Infiltrasjonstiltak:**
 - Regnbed: Et tiltak som fungerer som fordrøyning, men som også har renseseffekt (Braskerud et al. 2013).
 - Infiltrasjonsgrøft
 - Infiltrasjonsbasseng
 - Filterbasseng
- **Dammer:** For å dempe flomtopper kan dammer med permanent vannspeil være ett effektivt tiltak. Dammer renses også overvannet.

- **Tilrettelegge areal for oversvømmelse:** Ved store nedbørsmengder eller smeltevann kan areal avsettes for oversvømmelser. Dette kan være fotballplasser, skateparker eller lekeplasser eller for å lage et dynamisk bilde i et byrom (Storemyr 2016).
- **Åpne flomveier:**
 - **Åpne vassdrag:** Som nevnt tidligere har det tradisjonelt vært en tankegang om at vassdrag skal legges i rør. Nå har pendelen snudd og prinsippet er å åpne opp vassdragene igjen. Ved å legge vassdragene åpne vil det bli mindre sannsynlighet for oppstuvning slik som det skjer i innløpene på store overvannsledninger. Det er mange eksempler på gode løsninger ved åpne vassdrag.
 - **Overvannshåndtering langs vei:** Praktiseres ved å la grøftene være vannførende, se Figur 19.



Figur 15: En vannførende grøft kan gi et veldig fint bilde til byen, bidra til lokal infiltrasjon i tillegg til å føre overflødig vann ut av området (Storemyr 2016).

2.6.4 Forurensninger i overvannet

Det er tradisjonelt ikke blitt satt spørsmålsteget til kvaliteten til overvannet, men det betyr ikke at det er trygt å anta at overvannet er rent. Det er mange forurensningsstoffer i overvannet fra urbane områder, både organiske og uorganiske. Mange av de uorganiske stoffene kommer i hovedsak fra transport, industri eller eroderinger fra flater. Eksempler på utslipp er PAH (polykromatiske hydrokarboner) og tungmetaller som zink, jern, krom, bly, nikkel, kvikksølv, kobber og kadmium¹². Det er vanskelig å si noe om konsentrasjonene på tungmetaller for overvann da dette kan variere veldig mye ved flere faktorer. Blant annet fra ulike avrenningsoverflater, men også hvilket værforhold som har vært i nærliggende periode. Lange tørre perioder etterfulgt av mye regn gir store konsentrasjoner med tungmetaller. Dette fenomenet kalles first-flush effekten (Åstebøl & Roseth 2014). First flush kan føre til store skader på biologisk liv i utslippsresipienten. Enkelthendelser kan også påvirke konsentrasjonen, som oljesøl, vasking av tunneller og lignende (Meland 2012). Det er gjort studier som gir forslag på sjablongverdier for forskjellige areal typer:

Tabell 2: Sjablongverdier for konsentrasjon i overvann fra forskjellige tette flater gitt i mikrogram per liter (µg/l) (Lindholt 2004)

Utslippskilde	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	PAH	BaP	PCB
Sentrumsområder	0,5	5	30	0,1	10	20	140	0,6	0,1	0,01
Bolig- Villaområder	0,15	4	10	0,05	6	4	30	0,2	0,1	0,01
Bolig- rekkehus	0,20	5	15	0,05	7	5	40	0,25	0,1	0,01
Bolig Blokkbebyggelse	0,25	6	20	0,05	9	7	45	0,6	0,1	0,01
Næringsområder	0,5	5	30	0,1	10	20	140	0,6	0,1	0,01
Veier med 5000 ÅDT	0,25	1	38	0,1	1,2	13,5	62	0,3	0,01	0,01
Veier med 30000 ÅDT	0,44	5	72	0,1	4,4	31	197	1,5	0,04	0,01
Overløpsvann	1	8	100	0,25	10	15	140	0,5	0,1	0,01

¹² Kadmium er et veldig toksisk og akutt giftig for vannlevende organismer og pattedyr. Det er kreftfremkallende for mennesker og er bioakkumulerende hos fisk og pattedyr. Dette er derfor et tungmetall hvor utslipp bør kontrolleres.

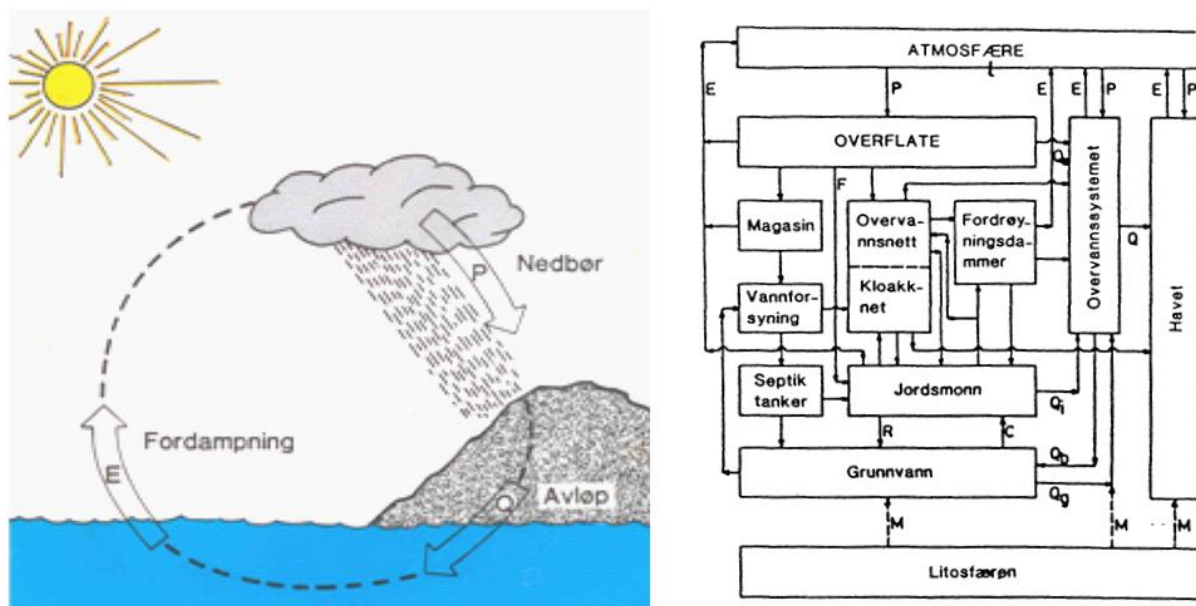
Bidragstyper til forurensninger kan eksempelvis være (Butler & Davies 2011):

- Atmosfærisk nedfall.
- Biler.
- Fyring og forbrenning.
- Bygninger og veier.
- Dyr: Hundeparker kan føre til store konsentrasjoner av E.coli ved avrenning.
- Salting av veier.
- Urbant avfall: Sjøppel eller dødt organisk materiale.
- Lekkasje: Dette kan være husholdningsvaskemidler, motorvæske (olje, kjølevæske), men også industrielle utslipp.

Det er derfor ikke bare på grunn av skadene i form av flom eller kjelleroversvømmelser at man ønsker å benytte seg av lokal overvannshåndtering, men også for å minske forurensningene som forekommer som følge av utslipp. Dette har også en samfunnsøkonomisk effekt, men det er vanskelig å kvantifisere verdien.

2.7 Urbanhydrologi

Vannet har som mange andre elementer i verden et kretsløp. Hydrologi er en geofysisk vitenskap som omfatter læren om vannets kretsløp på kontinentene (Brattebø 2013). For problemer som drøftes i denne oppgaven er interesseområdet innen det hydrologiske kretsløpet begrenset til landfasen, men også i områder med store menneskelige påvirkninger. Ved inngrep i det naturlige området, forstyrres det naturlige kretsløpet i området og det oppstår en hydrologisk endring. På grunn av disse endringene har begrepet urbanhydrologi oppstått. Urbanhydrologi defineres som den delen av det hydrologiske kretsløpet som omfatter bebygde områder (Bøyum et al. 1997).



Figur 16: Det urbanhydrologiske kretsløp til høyre (Bøyum et al. 1997) og det hydrologiske kretsløp (Brattebø 2013) til venstre.

For å bestemme hvor mye vann som er i de forskjellige vannmagasinene (dammer, grunnvann, snømagasiner, osv.) (Kitterød, N.-O. 2015), benyttes likningen for vannbalanse.

$$R = P - E + \frac{M}{t} + \sigma$$

Formel 1: Likning for vannbalansen

Tabell 3: Symbolforklaring for vannbalanselikningen

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
R	$\frac{mm}{\text{år}}$	Avrenning
P	$\frac{mm}{\text{år}}$	Nedbør
E	$\frac{mm}{\text{år}}$	Evapotranspirasjon
M	$\frac{mm}{\text{år}}$	Overflatemagasin
σ	$\frac{mm}{\text{år}}$	Usikkerhet
t	sekunder	Fyllingstid

Når det er mye utbygging i et område vil overflatemagasinet reduseres og i noen tilfeller forsvinne (dette er vann som lagres i trær, bekker, beplantning, dammer, osv.) (Bøyum et al.

1997). Dette kan være fordi bekker fjernes, dammer tettes igjen, eller overflater blir omgjort fra permeable til impermeable, slik at infiltrasjonsegenskapene reduseres. Infiltrasjon av vann er en viktig prosess og ved minkende infiltrasjonsgrad vil overflateavrenningen øke. I tørr tilstand har jorden god infiltrasjon, men ved økt fuktighet vil infiltrasjonsgraden avta. Til slutt oppnås en konstant infiltrasjonskapasitet som kalles jordlagets infiltrasjonskapasitet, dette er illustrert i Figur 17. Denne kapasiteten vil variere ut ifra forskjellige jordsammensetninger.

2.8 Beregningsbakgrunn

Dette kapittelet har som formål å presentere teori bak simuleringene som blir gjennomført i den praktiske delen. De matematiske prinsippene til grunn for beregningsprogrammet MU blir presentert i dette kapittelet.

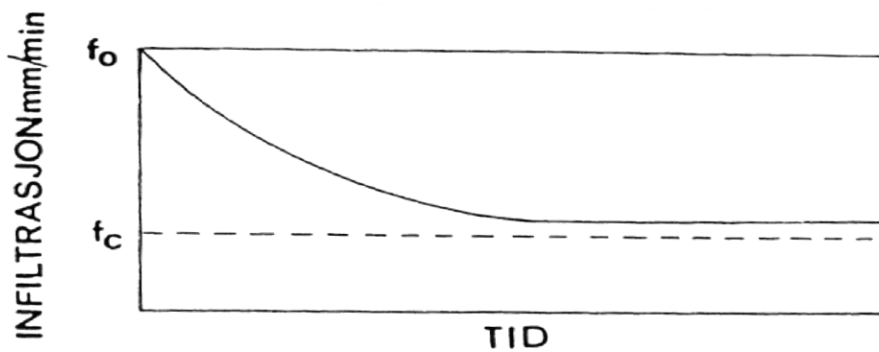
2.8.1 Beregning av infiltrasjon

I modellberegninger ønskes det å modellere infiltrasjon og lagring av vann i jordmagasinene. Dette kan være utfordrende ettersom en god modell krever mye jordartsanalyser. Den mest anvendte infiltrasjonsligningen, som også er benyttet i Mike Urban, er Hortons ligning. Hortons ligning er basert på empirisk bestemte verdier og legger til grunn at infiltrasjonskapasiteten er konstant over hele området, men varierende med tiden (Bøyum et al. 1997). Funksjonen er en horisontal asymptote som går mot f_c når t går mot uendelig.

$$f = f_c + (f_0 - f_c) * e^{-kt}$$

Formel 2: Hortons ligning

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
f	<i>min</i>	Infiltrasjonshastighet ved tid.
f_c	$\frac{P}{min}$	Avsluttende infiltrasjon (jordens infiltrasjonskapasitet).
f₀	$\frac{mm}{min}$	Initialinfiltrasjonen.
e	<i>enhetsløs</i>	Eulers tall.
k	<i>min</i>	ReduksjonsekspONENT. Verdien er avhengig av jordsmonnets struktur, vegetasjonsdekket og forutgående fuktighet. En empirisk verdi ofte benyttet er $k=0,0697 \text{ min}^{-1}$.
t	<i>min</i>	Tid.



Figur 17: Hortens infiltrasjonslikning, ved grafisk fremstilling (Bøyum et al. 1997).

2.8.2 Den rasjonelle formel

Den rasjonale formel er en enkel formel som er mye benyttet når det skal gjøres overslag for dimensjonene til overvannsledninger i tettsteder (Fergus et al. 2010). Den har sin opprinnelse fra midten av 1800-tallet, da den irske ingeniøren Mulvaney publiserte prinsippene den baserer seg på. Det er viktig å være klar over at denne metoden er beregnet for mindre felt (0,2 til 0,5 ha). Hvis metoden benyttes på større feil, blir feilmarginene for store til at resultatet blir anvendbart (Lindholm et al. 2008). Formelen er basert på følgende antagelser (Butler & Davies 2011):

1. Nedbørmengden er konstant over feltet (A) og over tidsintervallet (t).
2. Nedbørsfeltets infiltrasjonsgrad er konstant gjennom hele nedbørsperioden.
3. Nedbørsfeltets infiltrasjonsgrad er uniform over feltet (A).
4. Ledningsnettoperer med en volumstrømning som har konstant fart gjennom hele nedbørsperioden.

Prinsippet forklares ved å visualisere et flat impermeabelt rektangulært areal (A) og en regndybde (I) som kommer i løpet av et gitt tidsintervall (t), dette arealet har usynlige vegger som ikke slipper ut vann. Da vil volumet av regnet over den gitte tidsperioden bli $A \cdot i$ (areal * regnintensitet). Hvis vannet ut fra dette arealet ble ledet ut gjennom et utløp (i praksis et rør ut av området), vil volumet med vann som blir ledet gjennom punktet være $A \cdot i$ over tiden t. Likningen blir gitt som:

$$Q = \frac{IA}{t} = Av$$

Formel 3: Kontinuitetslikningen

Definerer regnintensiteten $i=I/t$ (regndybde/tid) og setter inn:

$$Q = i * A$$

Formel 4: Volumstrømning gitt av regnintensitet og overflateareal

Siden arealet er helt impermeabelt (det ikke tatt hensyn til lokal infiltrasjon) og dette er meget sjeldent i praksis, så må vi innføre en koeffisient som tar høyde for grad av permeabilitet i feltet. Dette er avrenningsfaktoren C. Avrenningsfaktoren settes inn i formelen og resultatet blir den rasjonelle formell:

$$Q = C * i * A$$

Formel 5: Den rasjonelle formell

Det er i Formel 5 ikke tatt hensyn til endring i klima. Det vil derfor benyttes en tilpasset versjon av den rasjonelle formel, med en klimafaktor, for modellvalidering, se vedlegg C. Likningen blir da som følgende:

$$Q = C * i * A * k$$

Formel 6: Den rasjonelle formel med klimafaktor

Tabell 4: Symbolbeskrivelse for den rasjonelle formel (Fergus et al. 2010).

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
Q	$\frac{m^3}{s}$	Strømningsvolum for avrenningen.
t	s	Tidsvarighet for regn.
I	l	Regndybden.
A	km^2 (evt $100ha = 1km^2$)	Areal på feltet.
v	$\frac{m}{s}$	Farten til vannet gjennom rørene.
i	$\frac{l}{s * km^2}$	Dimensjonerende nedbørintensitet.
C	<i>Dimensjonsløs</i>	Avrenningskoeffisient, dette er forholdet mellom avrent nedbør på overflaten og total nedbørmengde.
K	<i>Dimensjonsløs</i>	Klimafaktoren skal ta hensyn til forandringer i klima. Den benyttes for å legge på en økning i regn.

2.8.2.1 Klimafaktoren

Klimafaktoren er benyttet som hjelpemiddel for å dimensjonere mot fremtidige klimautfordringer i flere land. Det er forskjellige anbefalinger i forskjellige land, men oversikten kan gi et estimat på hva som er aktuelt:

Tabell 5: Klimafaktorer anbefalt av forskjellige land og institusjoner (Paus et al. 2014).

Land:	Klimafaktor:
Danmark (Spilvandskomiteen)	Danmark operer med to typer klimafaktorer, en standard og en høy. Den høye klimafaktoren er standardfaktoren pluss et standardavvik. Klimafaktorene ligger da i områdene mellom: <ul style="list-style-type: none">• Standard verdi, 50 år frem i tid, 2 års gjentakintervall: 1,1• Høy verdi, 100 år frem i tid, 100 års gjentakintervall: 2,0
New Zealand (Ministry for the environment)	Landet er vel et av de landene som er lengst unna Norge i distanse, men de to landene har mange klimatiske likheter. Klimafaktoren beregnet her varierer mellom 1 og 1,5.
Norge (statens vegvesen)	N200 anbefaler klimafaktor for små felt på: 1,3, 1,4 og 1,5 for gjentakintervall med henholdsvis 10, 100 og 200 år.
Norge (Jernbaneverket)	De krever at dimensjoneringsberegninger av stikkrenner skal benytte gjentakintervall på 200 år og en klimafaktor på 1,2.
Norge (Norsk Vann 193)	Anbefaler en klimafaktor mellom 1,3 og 1,5 for å dimensjonere nye avløpsanlegg med levetid på 100 år.
Sverige (Svensk vatten P104)	Anbefaler klimafaktor fra 1,05 til 1,3.

Tabell 5 gir verdier som varierer fra 1,0 til 2,0. I denne oppgaven blir det benyttet klimafaktorene gitt av Norsk Vann rapport 193 (Lindholm et al. 2012b).

Regnintensitetens endring vil skje gradvis over tid, men fordi det er ønske om at ledningsnettets skal ha en levetid på 100 år, må klimafaktoren omfatte denne periode. Eksempel på en estimering av denne økningen er gitt i Tabell 6. I den praktiske delen ble det ikke benyttet gradvis økning av regnintensitet, dette forklares nærmere i kapittel 3.10.3.

Tabell 6: Eksempel på økning i regnintensitet over tid (Lindholm et al. 2012a).

Tidshorisont:	Økt regnintensitet:
I dag	0%
Om 10 år	5%
Om 25 år	12,5%
Om 50 år	25%
Om 100 år	50%

Norsk vann rapport 193 referer til Spildevandskomiteen og deres anbefalte klimafaktorer, men Norsk Vann anbefaler selv klimafaktorer 1,3 til 1,5 for ledninger som skal vare i 100 år.

2.8.2.2 Avrenningskoeffisienten

Det er mange forskjellige faktorer som medvirker i valg av avrenningskoeffisienten. De viktigste faktorene er overflatens permeabilitet, fallforhold, nedbørintensiteten og nedbørens varighet. Faktorene må måles og drøftes ved forskjellige lokale felt for å vurdere mest mulig eksakt avrenningskoeffisient, men det finnes også tabeller som gir overslagsverdier for forskjellige områder (Lindholm 2014):

Tabell 7: Avrenningskoeffisienter ved forskjellige arealtyper (Lindholm 2014).

Tette flater (tak, asfalt, osv.)	0,85-0,95
Bykjerne	0,70-0,90
Rekkehus-/leilighetsområder	0,60-0,80
Eneboligområder	0,50-0,70
Grusveier/-plasser	0,50-0,80
Industriområder	0,50-0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark	0,30-0,50
Fjellområder uten lyng og skog	0,50-0,80
Fjellområde med lyng og skog, steinet og sandholdig grunn	0,30-0,50

2.8.2.3 Dimensjonerende nedbørintensitet

Gjentaksintervallet velges likt med varigheten til feltets konsentrasjonstid for å velge dimensjonerende nedbørintensitet. Konsentrasjonstiden er den tiden vannet benytter fra ytterst i feltet til det går ut i utløpet, se Figur 18. Konsentrasjonstiden er definert som tilrenningstiden på overflaten frem til et sluk addert med strømmingstiden i rørene. Tilrenningstiden på overflaten vil variere med faktorer som overflate ruhet, fallgradient og avrenningslengde, feltstørrelse, urbaniseringsgrad, sjøareal, osv. Strømmingstiden i rørene kan kalkuleres fra de hydrauliske egenskapene til røret (Fergus et al. 2010). Bakgrunnen for å velge gjentaksintervall likt varighet til feltets konsentrasjonstid er formulert i Imhoffs sats:

Maksimal vannføring ut av et felt oppnås ved å sette inn i den rasjonelle formel: regnintensiteten til et regn, med regnvarighet lik konsentrasjonstiden.

Dette stemmer ikke for alle felt. Eksempler på slike felt er felt som er smale og avlange eller felt som har lange oppstrøms ledninger som ikke bidrar mye med arealer, men som tilfører mye overvann (Lindholm et al. 2012b). Det må derfor vurderes om et valg på bakgrunn av Imhoffs sats skal gjennomføres eller ikke.

2.8.3 Tid- areal metoden

Et problem med den rasjonelle metode er at den legger til grunn at arealet er konstant, dette stemmer ikke med realiteten. Tid- areal metoden prøver å ta hensyn til denne problemstillingen. Det gjøres ved at det blir tatt hensyn til hvor mye vann hvert delareal tilføres ved forskjellige tidsintervaller. Denne metoden muliggjør også beregninger med varierende regnintensiteter over tid, noe som ikke er mulig med den rasjonelle metoden. Det produseres en hydrograf¹³ og det blir da mulig å konstruere et regnforløp som kan gi et bilde av hvordan vannføringen endrer seg over tid. Metoden er beskrevet i Urban Drainage av (Butler & Davies 2011). Likningen benyttes for å beskrive vannføringen $Q(t)$, ved et kontinuerlig tid-areal diagram er kombinert med nedbørsdybde med intervallene I_1, I_2, \dots, I_N .

¹³ Et hydrogram er en graf som viser forholdet mellom volumstrøm og tid over ett gitt punkt i et rør, elv, kanal eller annen konstruksjon med strømming (NWS 2015).

$$Q(t) = \sum_{\omega=1}^N \frac{dA(j)}{dt} I_{\omega}$$

Formel 7: Generell likning for tid-areal metoden

Tabell 8: Symbolbeskrivelse av tid-areal metoden.

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
$Q(t)$	$\frac{m^3}{s}$	Hydrografen til avrenningen gitt ved tiden t.
$\frac{dA(j)}{dt}$	$\frac{m^2}{s}$	Fallet/helningen til tid-areal diagrammet ved tid j.
I_{ω}	m	Nedbørshøyden i nummer ω av N blokker med varigheten Δt .
j	Enhetsløs	$j = t - (\omega - 1) * \Delta t(s)$

Ved å anta en lineær trinnvis endring i tid-areal diagrammet, $\Delta A_1, \Delta A_2, \dots \Delta A_{j\dots}$ over en blokk med nedbørstid, $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots \Delta t_{j\dots}$, da får vi avrenningen gitt ved:

$$Q(t) = \sum_{\omega=1}^N \Delta A_j i_{e\omega}$$

Formel 8: Lineær trinnvis likning for tid-areal metoden

Her er $i_e = I/\Delta t$

Utfallet blir da:

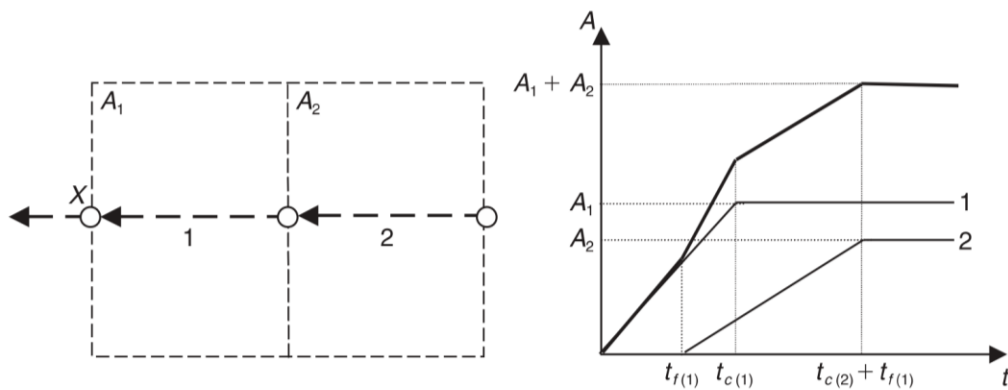
$$Q(1) = A_1 i_1$$

$$Q(2) = A_2 i_1 + A_1 i_2$$

$$Q(3) = A_3 i_1 + A_2 i_2 + A_1 i_3$$

...

Et eksempel på konstruksjon av et tid-areal diagram er gitt i Urban Drainage. Dette eksempelet benyttes her for å illustrere prinsippet.



Figur 18: Eksempel på konstruering av et tid-areal diagram. a) Et overvannsledningsnett, b) Tid-areal diagram for punktet X (Butler & Davies 2011).

Dette er en av de fire metodene som MU benytter seg av for å beregne avrenningen i nedslagsfeltet. De andre metodene er Kinematisk bølge, enhetshydrogram metoden og Lineær reservoar metoden (DHI 2012b). En fordel med tid- areal metoden er at det er mulig å se avrenningsforløpet for nedslagsfeltet. En ulempe er at ved de manuelle beregninger vil det kun være mulig å gjøre lineære bevegelser av vannstrømmen gjennom nedslagsfeltet (Butler & Davies 2011). Det er denne metoden som ligger bak beregningene gjort med MU i den praktiske delen av denne oppgaven. Tid-areal metoden ble valgt fordi det er mulig å se avrenningsforløpet. Det er derfor mulig å simulere avrenningen når det er høyest intensitet.

2.8.4 Kinematisk bølge

Metoden blir også omtalt som ikke lineær reservoar metoden. Her beregnes overflateavrenning som en strømning i en åpen kanal. Her benyttes gravitasjon og friksjonskrefter som eneste parametere. Mengden avrenning blir gitt av forskjellige hydrologiske tapsfaktorer og størrelsene på avrenningsområdene. Størrelsen på avrenningshydrogrammet er gitt ved avrenningsområdets størrelser, helning og ruhet (DHI 2012b).

2.8.5 Lineær Reservoar:

Denne metoden går ut på at avrenningen fra et område blir satt proporsjonal med vannhøyden i avrenningsområdet. Mengden avrenning er kontrollert med strømningstap, størrelse på arealet og infiltrasjonskapasiteter og form på avrenningshydrogrammet (DHI 2012b).

2.8.6 Enhetshydrogram-metoden

Metoden kalkulerer overflødig nedbør og antar at infiltrasjonsmengden kan beskrives som et konstant tap, et proporsjonalt tap (den rasjonelle metoden) eller fra tabeller (U.S soil conservation service) (DHI 2012b). Denne metoden kan ikke benyttes til dimensjonering av et nytt avløpssystem ettersom den er avhengig av målinger fra feltets avrenninger ved et målt regn. Metoden er derimot god for eksisterende ledningsnett (Bekku 2012). Metoden operer med en rekke antagelser de tre viktigste er:

- Overflødig regn har en konstant intensitet.
- Overflødig regn er uniform fordelt.
- Superposisjonsprinsippet gjelder for hydrogrammene.

2.8.7 Hydraulisk beregning for ledninger

Prinsippet om massebevaring fra Newton gir innen for hydraulikk kontinuitetsligningen. En vannføring kan defineres som et volum per tidsenhet. Dette kan skrives som en gjennomsnittshastighet som går normalt over et areal, multiplisert med arealet (Olsen 2015). Dette gir oss kontinuitetsligningen på Saint Venants form (DHI 2004):

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

Formel 9: Kontinuitetsligning på Saint Venants form

Ligningen sier at volumet av vannet ∂Q gjennom et rør med lengde ∂x addert med økningen av tverrsnittsarealet, ∂A over tiden ∂t , er null. Dette betyr at et gitt volum vann tilført rørstrekket vil være balansert med en proporsjonal økning i tverrsnittets areal (DHI 2004).

Newtons 2.lov er grunnlaget for Navier-Stokes ligninger. Disse ligningene beskriver fluidbevegelser i et tredimensjonalt rom. De matematiske modellene som benyttes kalles numerisk strømningsmodellering på engelsk Computational Fluid Dynamics (CFD).

Vangeometrien blir integrert i tre dimensjoner til små celler. Det blir så gjort beregninger i hver celle for vannhastighet, trykk og turbulens. Til grunn for beregningene er Navier-Stokes ligninger. Disse beregningene er tunge og har derfor vært lite benyttet før nå i de siste årene fordi datamaskinene har utviklet tilstrekkelig regnekapasitet (Olsen 2015). Saint Venant beskriver momentbevaring med momentlikningen som er utledet fra Navier-Stokes ligning. Utledning blir ikke med her, men resultatet er gitt i Formel 10.

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + g \frac{(\partial y)}{\partial x} - g(I_0 - I_f) = 0$$

Formel 10: Saint Venants momentligning

Tabell 9: Symbolforklaring, Saint-Venants likninger

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
Q	$\frac{m^3}{s}$	Vannføring.
A	m^2	Strømningsareal.
I_0	Enhetsløs	Bunnhelning.
I_f	Enhetsløs	Friksjonshelning.
g	$\frac{m}{s^2}$	Gjennomsnittlig tyngdeakselerasjon på jordflaten, standard gravitasjons koeffisient.
y	m	Strømningsdybde.
x	m	Avstand i strømningsretning.
t	s	Tid.
α	Enhetsløs	Hastighetsdistribusjons koeffisient. Benyttes for å ta hensyn til ujevn hastighet i tverrsnittet og for å korrespondere med forskjell i momentet i forhold til et tverrsnitt med jevn hastighet.

Saint-Venants momentlikning er delt opp i fem forskjellige ledd, de første to leddene beskriver henholdsvis lokal og konvektiv akselerasjon. Tredje leddet beskriver trykkreftene. De to siste leddene beskriver henholdsvis gravitasjon og friksjonstapet. Ligningen betegnes ved forskjellige navn ettersom hvor mange som benyttes. Den mest kompliserte formen med alle leddene kalles for dynamisk bølgeligning. Hvis akselerasjonen utelates (ledd 1 og 2) blir ligningen omtalt som diffus bølgemodell. Hvis akselerasjon og trykkreftene (de tre første leddene) utelates går ligningen under navnet kinematisk bølgemodell (DHI 2004). Dynamisk bølgeligning gir logisk nok de beste resultatene, men bruker mer prosessorkapasitet og tar lengre tid. Dynamisk bølgeligning er den eneste formen for Saint-Venants ligning som ble benyttet i oppgaven.

2.9 Modellering

Det er mange fordeler ved å modellere avrenning, flom og overvannsnett. Det er spesielt tre hovedargumenter som bør vektlegges:

- **Liv og helse:** En god modell kan fange opp risikosoner som kan føre til tap av liv eller andre personskader og kan lettere identifisere risikosoner. Dette kan være økt erosjonsomfang ved store avrenningsmengder som kan føre til skred i bebygde områder (se Figur 19), eller det kan være hydraulisk belastning på en konstruksjon (Fergus et al. 2010). Det kan også være utslipp fra overløp som kan føre til sykdomsutbredelse.
- **Økonomisk gunstig:** Ved å bygge modeller blir det mulig å identifisere områder som er særlig utsatt. Det kan da bygges tiltak for å forhindre skader. Forebyggende tiltak har vist seg å være ekstremt billig i forhold til det skadeomfanget som oppstår (Skaaraas et al. 2015).
- **Teknisk forståelse:** Ved å jobbe med modellsimulering av nettet vil kommunens tekniske fagkyndige få en større praktisk forståelse av hvordan nettet fungerer (Sola 2016).

En modell kan gi store besparinger ved å unngå ”prøve og feile”-metoden i full skala, dette lar seg gjøre i modellen. Beregninger, analyser og optimaliseringer kan foregå opp til 1000 ganger raskere enn det ville gjort manuelt. Derfor er en slik modell et veldig godt hjelpemiddel når det skal planlegges utbygging av nye områder, planlegge tiltak på eksisterende ledningsnett eller dimensjonere for utbygging (Lindholm 2015b).

Modeller er ikke bare for å modellere ledningsnett, men det kan også benyttes til å kartlegge flomveier ved ekstremnedbør, i Figur 19 sammenlignes skader etter en flom mot en eksisterende avrenningsmodell. Dette er en annen type modell en det som ble benyttet i denne oppgaven, men det illustrerer viktigheten av simuleringsmodeller for overvann.



Figur 19: Avrenningsmodell til venstre, flomskader til høyre i nedre Eiker kommune (Brokhaug 2016).

2.9.1 Deterministisk modell

Mike urban er basert på matematiske og fysiske beregninger, noe som vil gi et forenklet bilde av virkeligheten. Disse modellene er deterministiske, det vil si at hver kalkulasjon uten endring av input-parametere vil gi samme svar. Det blir med andre ord ikke tatt hensyn til tilfeldighet. Motparten er stokastiske modeller, som tar hensyn til tilfeldigheter. Virkeligheten er full av tilfeldigheter, i tillegg til at det er en mengde med hendelser som antageligvis er så kompliserte at vi karakteriserer de som tilfeldige. Når en modell benyttes for å tilegne seg informasjon, er det veldig viktig å være klar over at modellen kun gir tilnærmelser til realiteten, ikke et korrekt bilde av virkeligheten (Butler & Davies 2011).

2.9.2 Mike Urban

Modelleringsverktøyet Mike Urban er utviklet av DHI (Danish Hydraulic Institute). Det er en programvare utviklet for å modellere urban hydrologiske problemstillinger og er GIS integrert. Programmet består av flere moduler, de tre hovedmodulene er:

- **Model manager:** Denne modulen er kjernen til MU brukergrensesnitt og gir GIS-funksjonalitet med ArcGIS. Model manager står også for databehandlingen av tidsserier (evaporasjon, nedbørsmålinger, vannføringsmåler, temperatur, osv.) (DHI 2012a).
- **Collection System (CS):** Beregninger i denne modulen er basert på Mouse, Mike 1D eller SWIMM. CS består av fem undermoduler. Dette er Pipeflow, Control, Pollution Transport, Eco Lab og Rainfall Runoff. Disse modulene benyttes på forskjellige problemstillinger innen modellering av avløpssystemer, kanaler og avrenning. Det er

mulig å modellere forurensningstransport, pumpevirksomhet og kapasitetskontroll (DHI 2012a).

- **Water Distribution system (WD):** Denne modulen benytter seg av beregningsmotoren til EPANET for å simulere strømninger. Denne modulen benyttes for å modellere vannledningsnett med stasjonær strømning, vannkvalitetssimulasjon og kortvarige simuleringer (ikke benyttet i oppgaven).

I denne oppgaven ble det modellert overvann i tettsted og derfor ble modulene under Collection system, med beregningsmotoren Mouse benyttet. Undermodulene som ble benyttet i oppgaven var:

- **Pipeflow:** Ble benyttet for å simulere ikke stasjonær strømning og har en mengde med funksjoner som blant annet: pumper, strømningsreguleringer, sirkulære kummer, fordrøyningsbasseng og overvannsinntak (sluk). Det er mulig å simulere kritisk strømninger på nettet og modellere trykkehøyder i kummer. Modulen benytter seg av strømningsligninger for fri overflate (Saint-Venants ligningene) (DHI 2004). Ligningene løses og gir tilbake vannføring, vannstand og trykkehøyder i rørene.
 - Modulen benytter seg av Saint-Venants` likninger som beskriver massebevaring og momentbevaring.
- **Rainfall runoff:** Denne modulen inkluderer fire nedbørsrelaterte avrenningsmodeller: Tid-areal metoden, kinematisk bølge, lineær reservoar og enhetshydrogram metoden. Modulen inneholder også RDI (Rainfall Dependent Inflow) for å generere hendelser som f.eks. infiltrasjon og innlekking på ledningsnettet.
- **Rainfall dependent inflow and infiltration (RDII):** Denne modulen benyttes for å modellere den landlige delen av den hydrologiske sirkel for å styrke analysene av avrenningsfeltene. Nedbør kan beregnes som lagring i form av snø, overflateavrenning, lagring i umettet sone eller i grunnvannet. Ved å benytte alle lagringsformene blir det mulig å kontinuerlig modellere avrenningsprosesser. Denne modulen er en undermodul til Pipeflow. RDII- modulen benyttes for å kunne si noe om infiltrasjonskapasiteten ved forskjellig tid. Dette betyr at beregningene tar hensyn til at jordlaget eller magasiner kan være mettet for vann før et kraftig regnskyll, noe som kan gi økte mengder avrenning, da dette hindrer infiltrasjon. Modellen har derfor et slags ”hydrologisk minne”. (DHI 2012c).

2.9.3 Rosie

I tillegg til Mike Urban ble programmet Rosie benyttet i oppgaven. Programvaren Rosie er utviklet av selskapet Rosim AS. Programmet er utviklet som en tilleggsapplikasjon til ESRI's standard produkter. Rosie programpakke for modellering av vann og avløpsnett består av ROSIE Mouse (for avløp og overvann) og ROSIE Epanet (vannforsyning). I denne oppgaven ble det benyttet ROSIE Mouse. Rosie er ArcGIS extension. Det vil si at det benytter seg av brukergrensesnittet til ArcGIS, med tilgang til alle funksjonene til ArcGIS, i tillegg til spesialfunksjonene som Rosie kan tilby. Dette er funksjoner som er spesielt utviklet for å forenkle prosessen med modelloppbygging, beregninger, resultatpresentasjon, kalibrering og vedlikehold av modeller for vann- og avløpsnett (ROSIM 2016).

3 Områdeanalysen

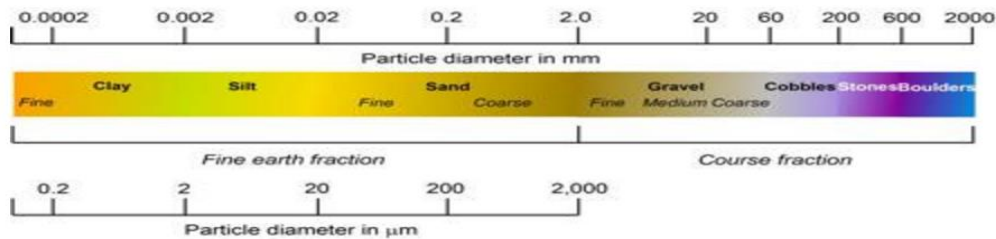
Formålet med områdeanalysen var å se nærmere på hvilken effekt de forskjellige klimatilpasningstiltakene utgjør i en fremtid med klimaendringer. Analysen ble gjennomført ved å bruke en urbanhydrologisk modell av området laget i Rosie og Mike Urban. Det ble så gjort simuleringer med målte nedbørshendelser. Det ble også gjort simuleringer med nedbørshendelser som ble justert med klimafaktorer for å ta høyde for klimaendringer, for å se konsekvensen på ledningsnett. Det ble så estimert antall skader med og uten skadereduserende tiltak. Til sist ble det gjennomført en økonomisk analyse av tiltakene, for å se i hvilken grad tiltakenes kostnader oppveier skadebesparelsen på et samfunnsøkonomisk nivå.

3.1 Området

Studiet omhandler et mindre område i Asker. Asker kommune ligger i Akershus fylke og har omtrent 59 000 innbyggere, dette er Norges 11. største kommune etter folketall (Thorsnæs & Askheim 2016). I 2014 hadde kommunen en prosentvis økning på 2,1% og var rangert som den åttende mest voksende kommunen i Norge med hensyn på stigning i antall folketall (Eika et al. 2015). Området ble valgt fordi det har det største sammenhengende overvannsnett i Asker kommune.

3.1.1 Geologiske forhold

Området består hovedsakelig av leirholdig og siltholdig grunn, men også leirskifer og kalkstein, se Figur 21. Leire og silt er veldig finkornet (fra 0,002 til 0,02 mm diameter) og har derfor lav hydraulisk konduktivitet¹⁴, se Figur 20. Hydraulisk konduktivitet for en rekke materialer og sandfordelingskurver er gitt i vedlegg B.



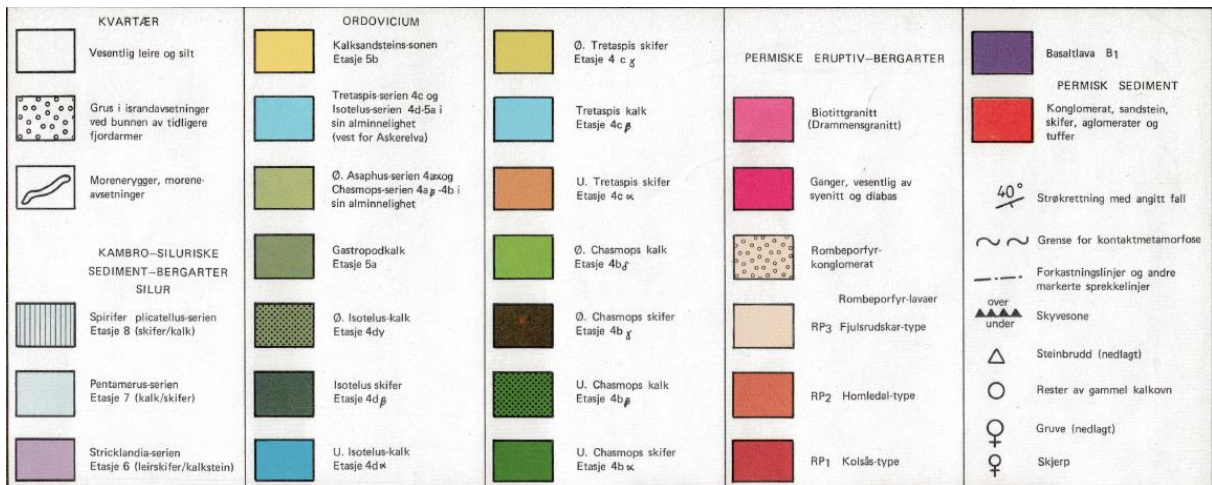
Figur 20: Diameterstørrelsen er en hovedparameter for å klassifisere sedimenteringsmaterialer. Her ser vi i hvilken størrelsesorden klassifiseringen følger (UNSW 2007).

Lav konduktivitet fører til at infiltrasjonskapasiteten i leire er lav. Dette kan forklares ved at små partikler kan ligge mer kompakt inntil hverandre og derfor blir det mindre plass for vann til å innfiltrere. En medvirkende faktor er at overflaten på de små partiklene blir større og da øker fungerende overflatefriksjon på vannet. Med andre ord, vil små partikler ha større overflatekrefter og små porer som gir lengre bevegelsesveier, som fører til at vannet beveger seg langsommere gjennom massene. Leire kan ha en total porøsitet¹⁵ på 60%, men en effektiv porøsitet¹⁶ på 5% (French 2016). Infiltrasjonsegenskapene til leirskifer er også dårlige, da dette er en lagvis sedimentær bergart bygget på finkornede sedimenter. Analyseområdet kan derfor karakteriseres som et område med geologiske forhold som kan gi utfordringer med hensyn til infiltrasjon. God drenering og overvannshåndtering er derfor viktig, spesielt i et område hvor det er så mye bebyggelse.

¹⁴ Hydraulisk konduktivitet beskriver den hydrauliske ledningsevnen i et porøst materiale.

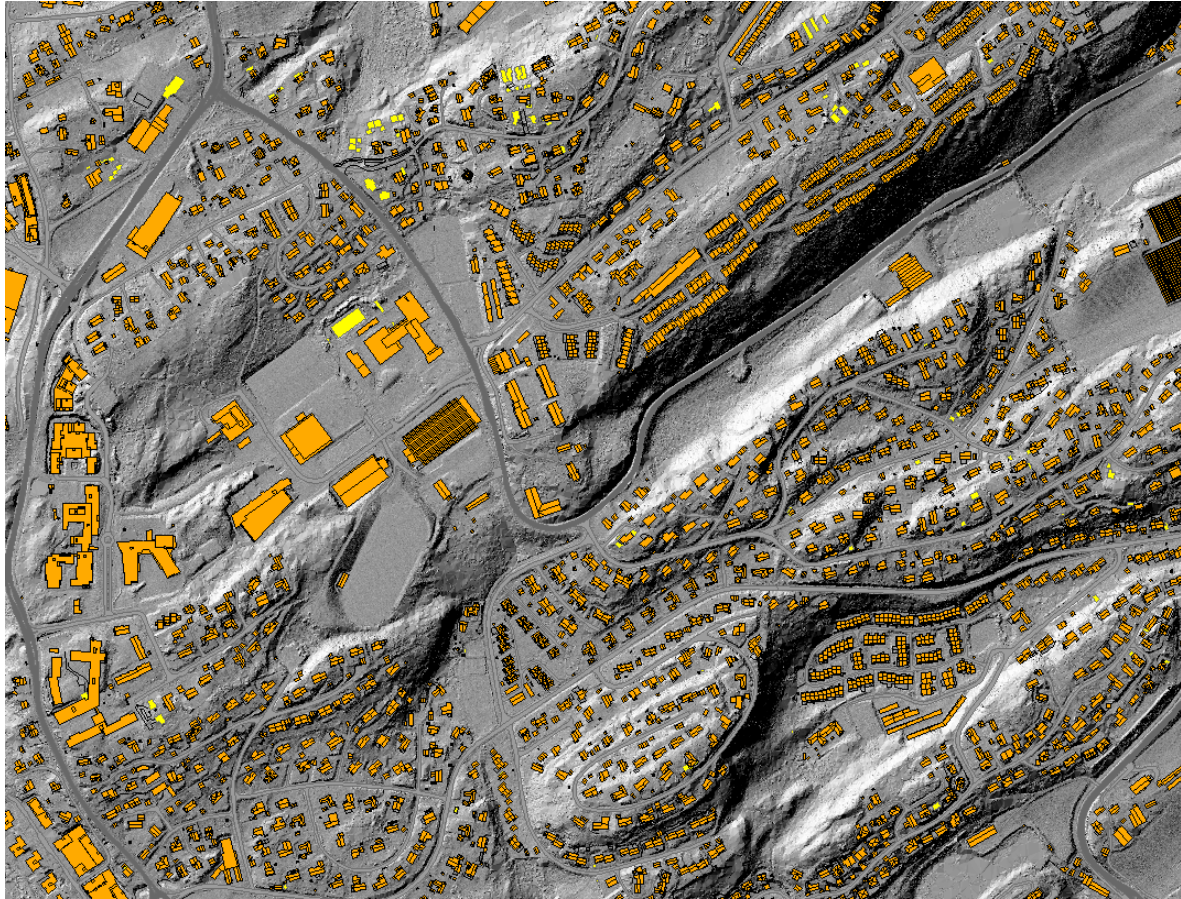
¹⁵ Total porøsitet er det luftvolum som er i et materiale (French 2015)

¹⁶ Effektiv porøsitet er andelen med porer som er koblet sammen, dette er som oftest det samme som drenerbart volum (French 2015)



Figur 21: Geologisk kart over Asker (Olsen 1981).

Topografien varierer relativt mye i området, som illustrert i Figur 22. Analyseområdet domineres av daler med eneboliger, og sval helning ned til sjøen (rett på østsiden av kartet i Figur 22).



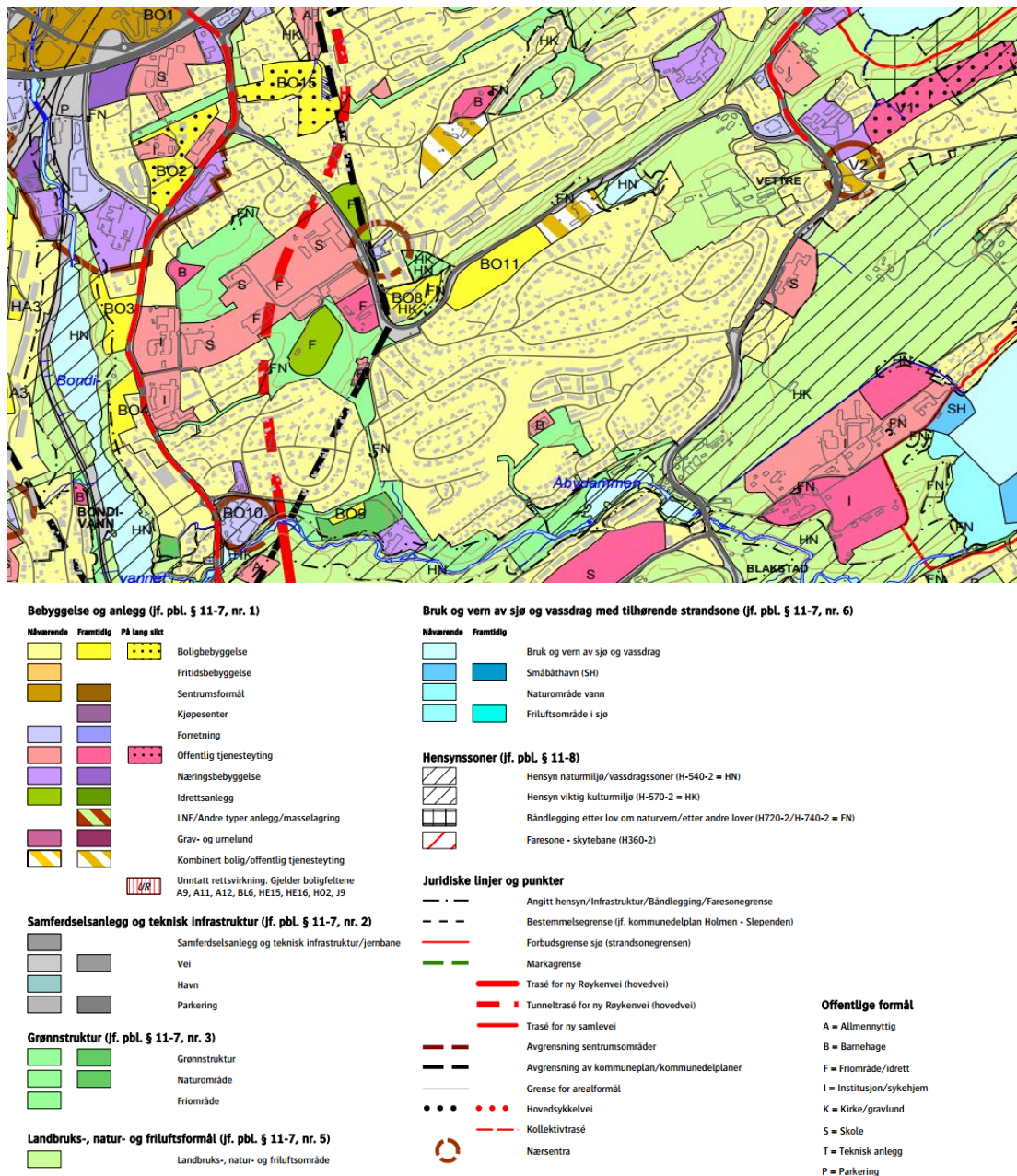
Figur 22: Topografibilde av området (Asker 2016).

Området har et estimert fall på om lag 100 stigningsmeter. Den gjennomsnittlige helningen på terrenget er 5% og går fra vest til øst. Høyeste punktet er 127 moh. og laveste punktet er 10 moh.

Området har ikke utmerket seg som et veldig utsatt område for kjelleroversvømmelser. Det var ingen registrerte utbetalinger fra kommunen for å dekke skader som følge av overvann i området, som følge av dårlig kapasitet i ledningsnett, de siste 7 årene (Adamsen 2016). Kommunen har eksempler på andre type skader, der skader som følge av overflateavrenning på avveier er hovedårsaken. Med andre ord kan overvannsnett i området karakteriseres som et godt fungerende ledningsnett for dagens klimatiske forutsetninger.

3.1.2 Delområdene

Det er mange forskjellige typer overflatearealer på området som kan gi forskjellige avrenningsegenskaper, deriblant parkeringsplasser, gressplener, og store takarealer. Det er også mange forskjellige arealer med forskjellige bruksområder som er spesifisert til diverse formål i kommuneplanens arealdel, se Figur 23. Området er omtrent 1,87 km² og kan grovt sett deles inn i to områder. Det ene området (videre omtalt som privat område) består stort sett av boliger i form av rekkehus og eneboliger. Privat område er lokalisert i sørligste halvdel av feltet og har mye større utstrekning i vest-øst retning enn den andre delen. Privat område er det største delfeltet og sør-øst i feltet er totalfeltets utløp lokalisert.



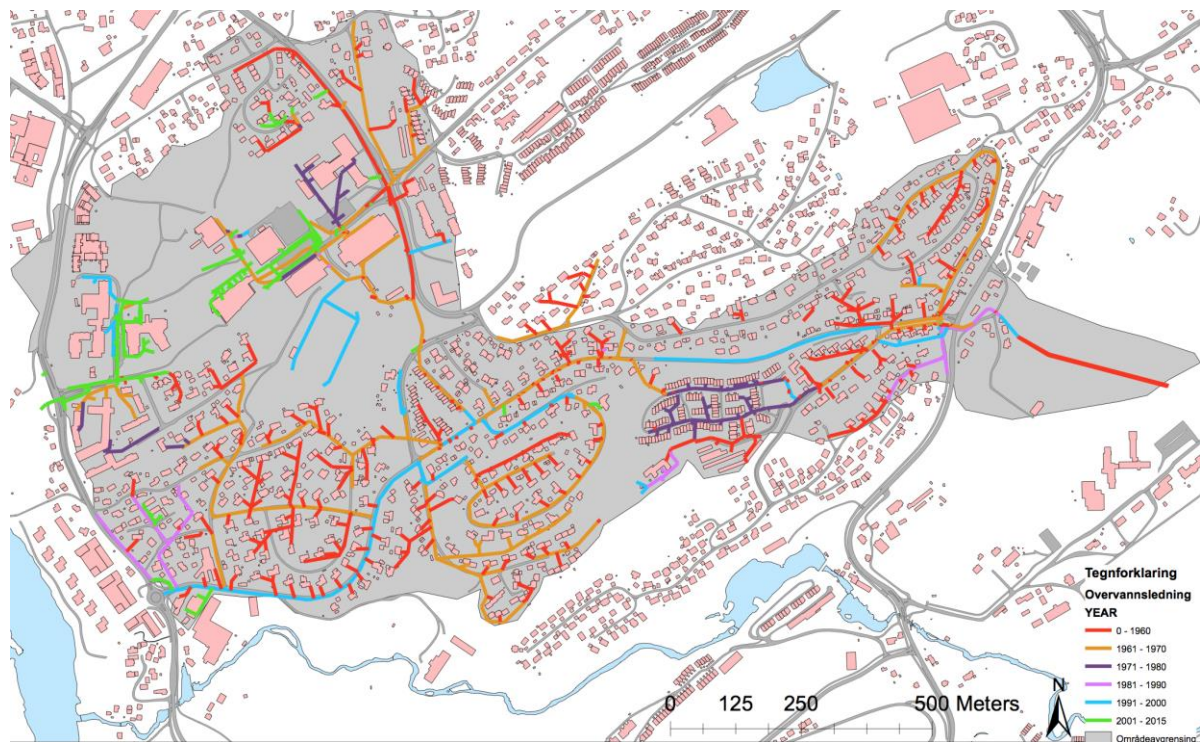
Figur 23: Område i kommuneplanens arealdel (Asker kommune 2014b).

Den andre delen av feltet (videre omtalt som det offentlige område) består stort sett av areal med andre formål enn bolig, med unntak av et lite område på den nord-vestre delen av feltet. Delområdet består av Bleiker videregående skole, Asker-hallen (en ishockeyhall), Bondi barneskole, Risenga ungdomsskole, Risenga svømmehall, Leikvollhallen idrettshall, Risenga kunstisbane, Risenga kunstgressbane, Asker tennishall med tilhørende utvendige tennisbaner, Rimi dagligvare og parkeringsplasser som tilhører de forskjellige enhetene. Dette er områder som fører til store mengder avrenning på grunn av store impermeable flater og er derfor avhengig av et godt system for å behandle overvannet. Mye av området er omtrent 100 moh, deriblant størstparten av de tette flatene. Mesteparten av delfeltet ligger høyere enn store deler av boligfeltet og dette kan gi fremtidige utfordringer. Kombinasjonene av høydeforskjeller og store impermeable flater kan medføre store mengder avrenning og høy belastning på ledningsnettet på nedsiden. Den nordligste delen av feltet består av et lite eneboligområde. Dette området ligger bak Bleiker videregående skole på en topp litt høyere enn resten. Dette feltet dreneres til baksiden av skolen og fører til opphoping av vannmengder ved mye nedbør (Gulbrandsen 2016), se Figur 24.

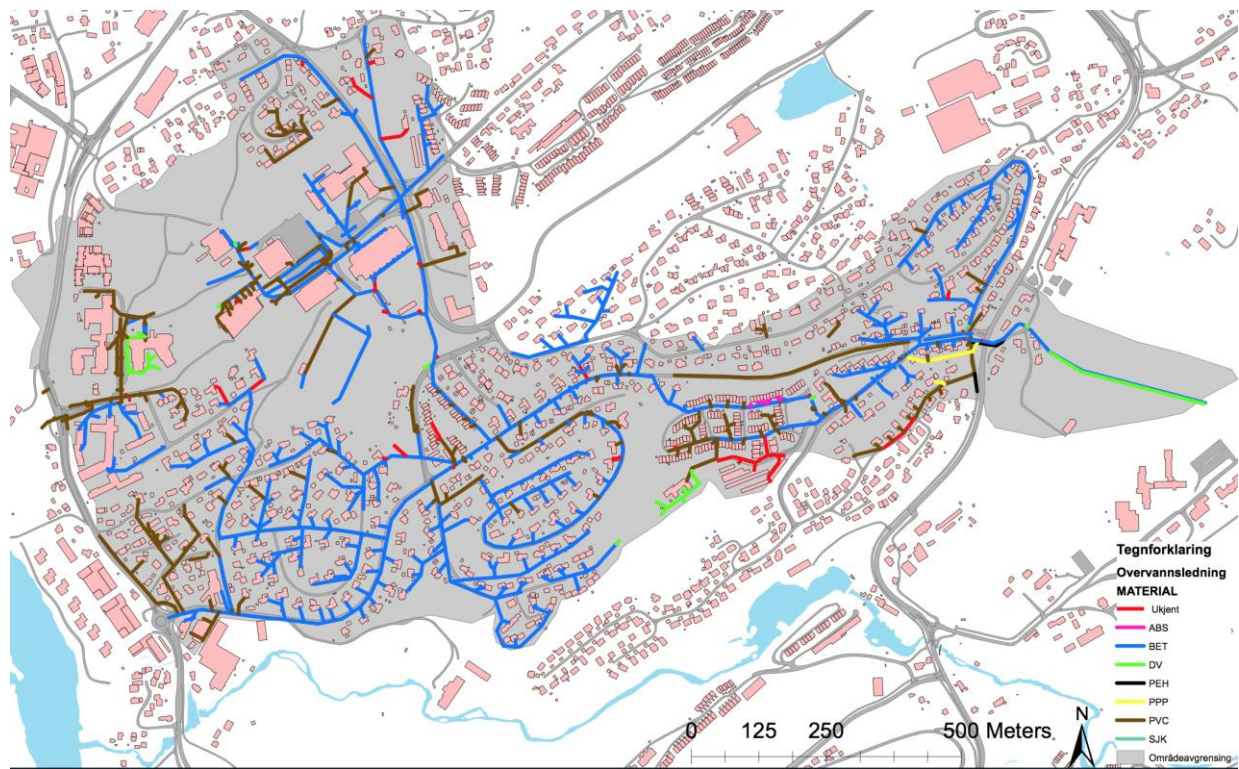


Figur 24: Røde streker er avrenningsveier på overflaten og de blå feltene er området i fare for opphoping av vannmengder (Gulbrandsen 2016). Bleiker videregående skole er de store byggene i midten av bildet. På venstre side av bilde er en kunstgressbane som også er utsatt for akkumulert avrenning, på høyre side er utendørs tennisbaner.

Området har ledningsnettverk med store aldersforskjeller, men i hovedsak spenner ledningsalderen fra 1960 til 2010. Stikkledningene i området har ukjent alder og er derfor merket som lagt ved år 0, deres alder har derfor et feilaktig bilde, men dette er ubetydelig for stikkledningene er ikke inkludert i simuleringsmodellen. Det er også benyttet en rekke ulike typer materiale, deriblant PVC, betong, PE og ABS. Dette er kartlagt i Figur 25 og Figur 26. Det er ingen fellessystemer i Asker kommune og derfor heller ikke noe i modellområdet (Sola 2016). Denne oppgaven omhandler overvannsproblematikk og modellene vil derfor kun bestå av overvannsledninger.



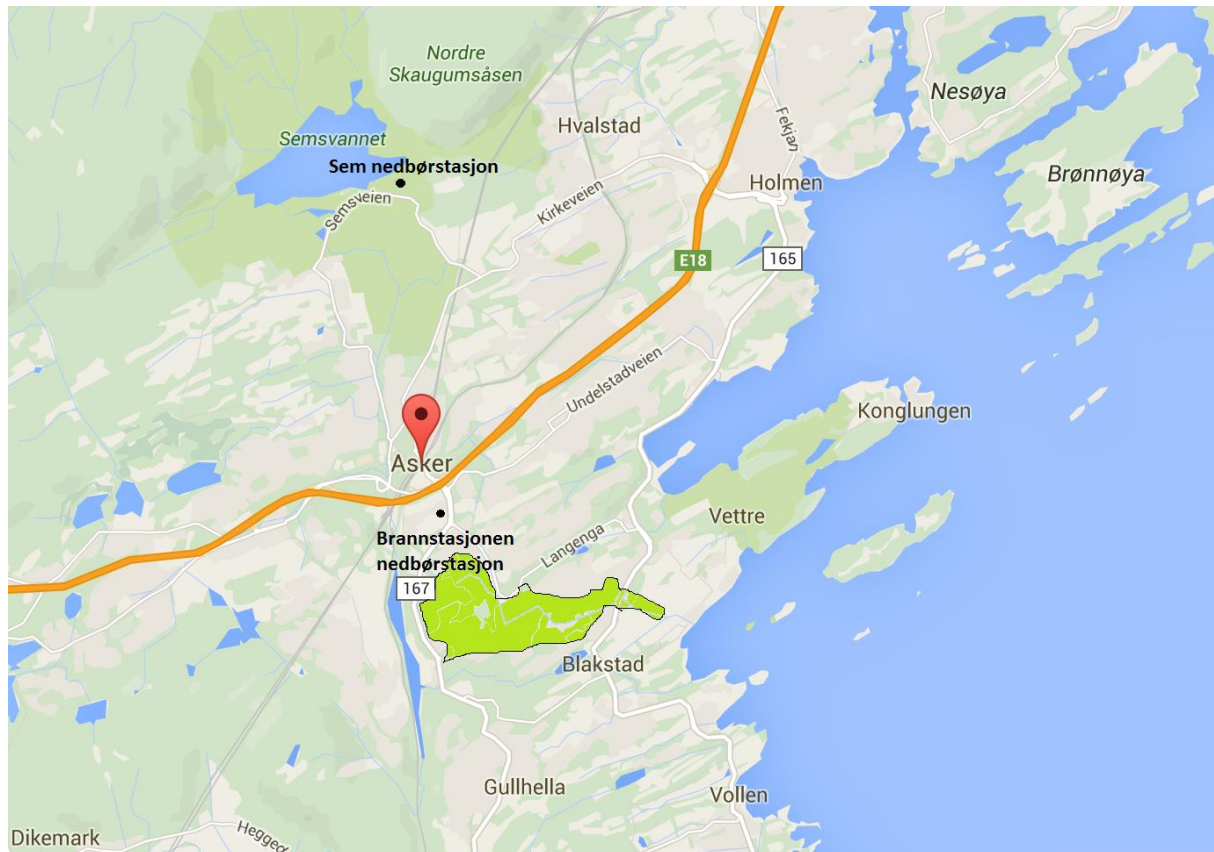
Figur 25: Analysefeltet i oppgaven. Her er aldersfordelingen på ledningsnettet kartlagt (Deggerdal 2016b).



Figur 26: Analysefeltet, her er ledningsnettet fordelt på materialtype (Deggerdal 2016b).

3.2 Nedbørsdata

Det ble i denne oppgaven benyttet nedbørsdata fra to målestasjoner. Den ene målestasjonen var Asker brannstasjon, som er plassert veldig nærme analyseområdet og den andre er Sem som er den eldste målestasjonen i Asker. Plasseringene til disse nedbørmålerne i forhold til analyseområdet er vist i Figur 27. Nedbørsdata fra Asker brannstasjon er benyttet for å kalibrere modellen og nedbørsdata fra Sem er benyttet for å lage regnhyetogrammene. Bilder av nedbørmålerne, tatt fra de to målestasjonene er vist i Figur 28.



Figur 27: Nedbørmålerne er markert med svarte prikker og beskrevet med svart uthevet skrift. Analyseområdet er grovt markert med grønn skravur. Asker sentrum er markert med en rød markør (Google 2016).

Nedbørsdata fra Asker brannstasjon er målt med nedbørmåleren Lambrecht, type 1518H3 (Drange 2013). Dette er en vippemåler som er elektrisk oppvarmet (Lambrecht 2013) og er plassert etter spesifikasjoner fra metrologisk institutt. Måleren registrer når det har falt nedbør tilsvarende 1 mm regn, dette gjør det mulig å beregne intensiteten.

Sem nedbørstasjon består av to forskjellige målere. Målestasjonen ble opprettet i år 1913 (Eliassen 2016), men i denne oppgaven benyttes målinger fra 1983 til 2010.



Figur 28: Bilder av de forskjellige nedbørmålerne. Til venstre er den nye nedbørmåleren på målestasjonen ”Sem”. Det midterste bildet er den gamle nedbørmåleren på Sem og til høyre er et bilde av målestasjonen ”Brannstasjonen” (Deggerdal 2016a).

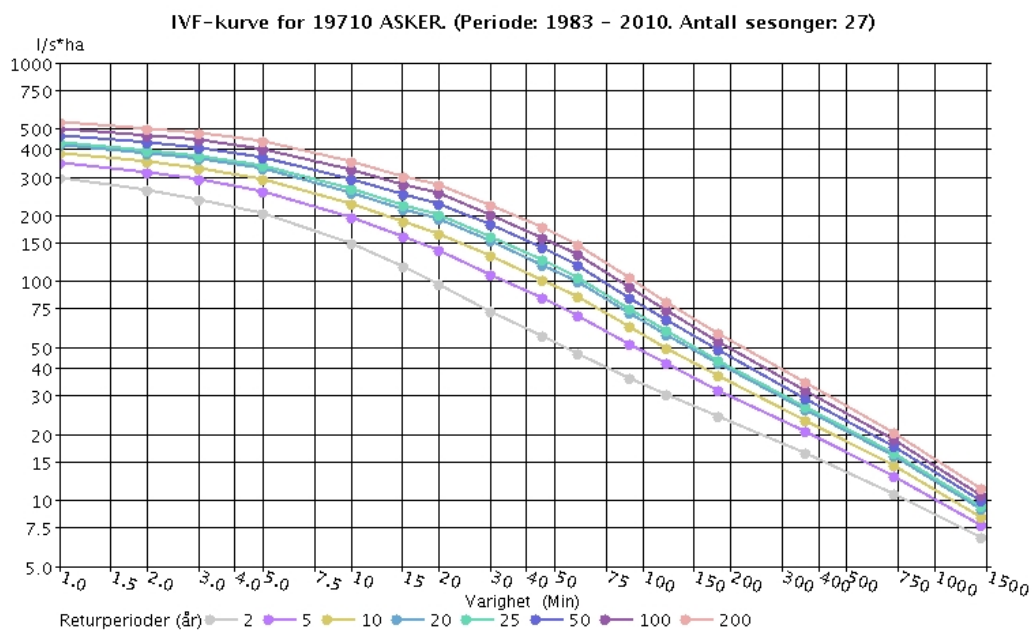
Nedbørsdata blir ofte presentert gjennom intensitet-, varighet- og frekvenskurver (IVF-kurver). IVF-kurver benyttes for å dimensjonere ledningsnett riktig med oppdatert data om kortidsnedbør. IVF-kurvene sier noe om hvilke nedbørintensiteter som kan forventes ved ulike varigheter og returperioder. Kurvene blir konstruert basert på data fra fremtidig intensitet-, varighet- og frekvensverder. Kurvene konstrueres når MET har minst ti år med IVF-statistikk (Miljødirektoratet & Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap 2016).

Det finnes flere ulike måter for å benytte regndataene til beregninger. Modellens grad av nøyaktighet og kompleksitet varierer mellom de forskjellige metodene, de vanligste er oppsummert i Tabell 10 (Lindholm 2015c):

Tabell 10: Metoder for å benytte regndata i modellering (Lindholm 2015c).

<i>Kasseregn</i>	Dette er den enkleste og mest primitive metoden. Ved å benytte seg av et enkelt kasseregn (f.eks. 10 min med 200 l/s*ha) gir man et bilde av et konstant regn, noe som i praksis aldri skjer.	Denne metoden undervurderer regnmengdene.
<i>Omdanning av kasseregn til modellregn</i>	Eksempler på slike modeller er SIFNEL eller SIFALDA. Slike modeller gir et mer realistisk bilde enn et blokkregn fordi de tar hensyn til regnets oppbygging og etter-regn.	SIFALDA-regnet har vist seg å gi for store regnvolumer i forhold til det ekte regnet (Bøyum et al. 1997).
<i>Mange kasseregn</i>	Rekken med kasseregn velges langs hele IVF-kurven, for et gitt gjentakintervall.	
<i>Lange tidsserier</i>	Benyttes ved å lage frekvensfordelingsfunksjoner for ulike hendelser.	Denne metoden er god, men krever at man har god tilgjengelighet av data.
<i>Konstruering av dimensjonerende modellregn</i>	Benyttes som grunnlag fra kjøringene med lange tidsserier.	
<i>Omdanning av IVF-kurven til modellregn</i>	Eksempelvis symmetrisk hyetogram.	Denne metoden benyttes i oppgaven.

I denne oppgaven benyttes metoden med symmetrisk hyetogram. Dette er en metode som gir et godt bilde og som er enkel å benytte i modellen når det skal legges på et klimatillegg. Et regnhyetogram kan i tillegg brukes til alle ledningsnettstørrelser uansett konsentrasjonstid i en region med ensartede meteorologiske forhold, som Østlandet. Når metoden benyttes fanges regnets mest intense del opp, slik at det er mulig å finne dimensjonerende vannføring.



Figur 29: IVF-kurve for Sem nedbørmåler i Asker (Eklima 2016).

Konstruksjon av en symmetrisk hyetogram gjøres med utgangspunkt i en IVF-kurve. For regnhyetogrammet som benyttes i oppgaven benyttes IVF-kurven for Sem nedbørmålestasjon, se Figur 29. Konstruksjonen av hyetogrammet forklares prinsipielt i tre steg (Lindholm 2015c):

- Hyetogrammet antas for å være symmetrisk om sin midtakse.
- Regnvolumet innenfor de X mest intensive minuttene ($X/2$ på hver side av midtaksen) skal nøyaktig tilsvare regnvolumet i et kasseregner med X minutter varighet.
- Hensiktsmessig beregningssteg vil som oftest være om lag 5 minutter. Steg på 1 min vil gi en alt for høyt spissintensitet og, mens steg over 5 min kan gi for lav.

Før et regnhyetogram beregnes må det bestemmes hvilket tidsintervall det er ønskelig at regnet skal ha som varighet. Regnets varighet velges på bakgrunn av Imhoff sats, det er derfor ønske om en regnvarighet som er mest mulig lik konsentrasjonstiden til feltet for at alle delfeltene skal kunne bidra med avrenning. Det lengste ledningstrekket i analyseområdet ble estimert til å være omtrent 2100 meter. Det blir mulig å beregne feltets konsentrasjonstid ved å anta en hastighet på om lag 1,3 m/s (basert på målinger i Aspelundfaret med SID-nummer: 3716 og Bleiker med SID-nummer: 149589). Faglitteratur anbefaler å sette denne hastigheten til 1,5-2 m/s (Ødegaard et al. 2014), og selv om det kan være målefeil, ble det i denne oppgaven benyttet de målte verdiene.

Konsentrasjonstiden for tilrenning til ledningsnett i hvert delfelt ble satt til 7 minutter (standard i modellen). Da ble utregningen gjort på følgende måte:

$$Konsentrasjonstid \text{ ledningsnett} = \frac{\text{avrenningslengde}}{\text{avrenningshastighet}} = \frac{2100m}{1,3 \frac{m}{s}} * \frac{1min}{60s} = 26,92 \text{ min}$$

Formel 11: Ligning for konsentrasjonstid i ledningsnett

Summeres konsentrasjonstiden til ledningsnett (K_L) med konsentrasjonstiden til delfeltene (K_D) gir det en total konsentrasjonstid (K_T):

$$K_T = K_L + K_D = 26,92 \text{ min} + 7 \text{ min} \approx 34 \text{ min}$$

Formel 12: Ligning for total konsentrasjonstid

Beregningene viser at det var hensiktsmessig å benytte et symmetrisk regnhyetogram med en varighet som overstiger den totale konsentrasjonstiden (K_T). Fordi det var mye usikkerhet knyttet til beregningene ble det valgt en varighet som helt sikkert overstiger konsentrasjonstiden. Varighet lik 60 minutter ble derfor vurdert som et godt valg.

Regnhyetogrammene må også beregnes ved forskjellige gjentakintervaller. Det ble i denne oppgaven benyttet flere forskjellige gjentakintervall, men kun utregningen for gjentakintervall på 20 år illustrert her. De andre regnhyetogrammene er utarbeidet av Asker kommune med samme fremgangsmåte. De resterende regnhyetogrammene kan finnes i vedlegg C.

Tabell 11: Nedbørintensitet i liter per sekund per hektar. Beregningsgrunnlag er perioden 1983 til 2010. Tabellen viser forskjellige gjentakintervall (år) mot regnintensiteter ved forskjellige varigheter (Eklime 2016).

År	1min	2min	3min	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min
1	293,4	261	234,9	202,5	147,9	116,3	96,2	72,4	56	46,3	35,8	30,4
5	347,5	314	289,6	255,4	193,9	158,7	137,6	107	83,3	69,2	51,3	41,9
10	383,4	349	325,7	290,4	224,4	186,7	165	129,9	101,4	84,4	61,6	49,6
20	417,9	382,7	360,4	324	253,6	213,6	191,3	159,8	118,8	98,9	71,4	56,9
25	428,9	393,3	371,4	334,7	262,9	222,1	199,7	158,9	124,3	103,5	74,5	59,2
50	462,5	426,2	405,4	367,5	291,5	248,4	225,4	180,4	141,3	117,7	84,1	66,4
100	496	458,8	439	400,1	319,8	274,5	250,9	201,7	158,2	131,9	93,7	73,5
200	529,3	491,3	472,6	432,7	348,1	300,5	276,3	222,9	175	146	103,2	80,6

Det ble tatt utgangspunkt i Tabell 11 for å lage hyetogrammet. For å komme frem til de verdiene som ikke er gitt i Tabell 11 ble det benyttet intervaller på 10 minutter og interpolert de nye verdiene. Resultatet presenteres i Tabell 12.

Tabell 12: Varighet er gitt i minutter og intensitet gitt i l/s*ha.

Varighet:	Intensitet:
10	253,6
20	191,3
30	159,8
40	132,9
50	114,3
60	98,9

Ut fra Tabell 12 ble de forskjellige intensitetsintervallene beregnet (Lindholm 2015c):

$$I_{10} = 253,6 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{20} - I_{10} = \frac{191,3 * 20 - 253,6 * 10}{10} = 129 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{159,8 * 30 - 191,3 * 20}{10} = 96,8 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{40} - I_{30} = \frac{132,9 * 40 - 159,8 * 30}{10} = 52,2 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{114,0 * 50 - 132,9 * 40}{10} = 39,9 \frac{l}{s * ha}$$

$$I_{60} - I_{50} = \frac{98,9 * 60 - 114,3 * 50}{10} = 21,9 \frac{l}{s * ha}$$

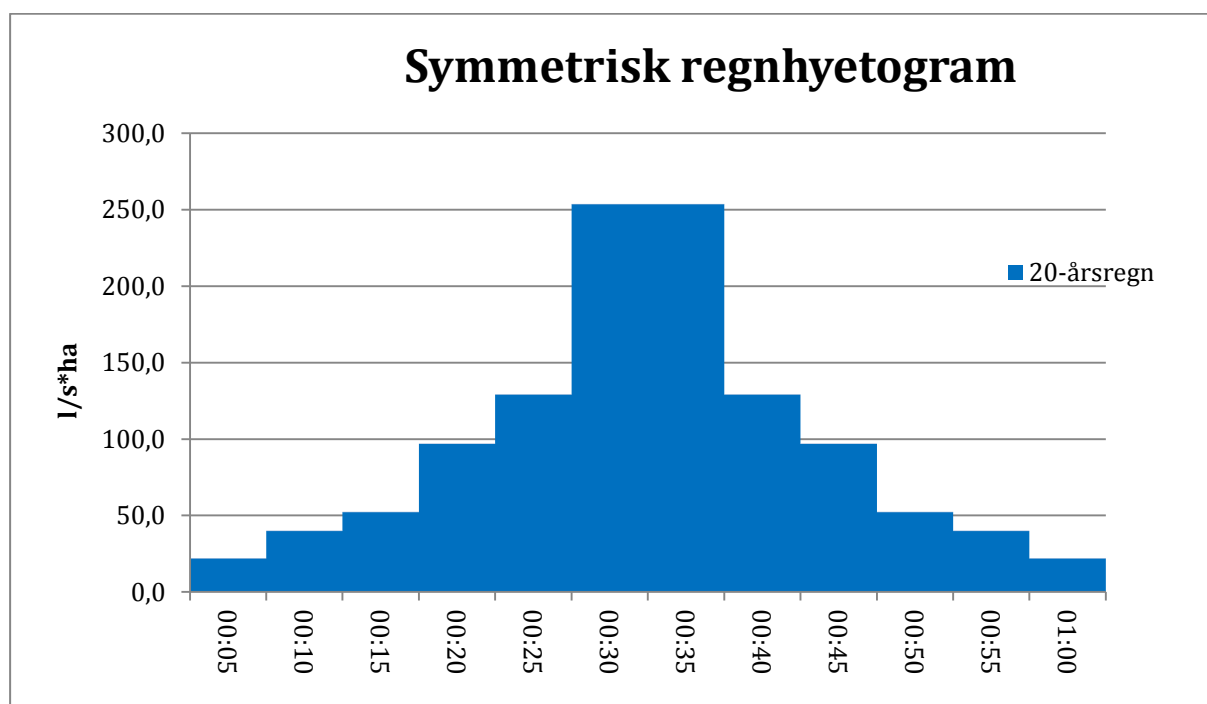
Formel 13: Utregning av intensitetsintervaller

Resultatet fra beregningene i Formel 13 settes inn i en tabell med 5 min intervaller og resulterer i Tabell 13:

Tabell 13: Forskjellig regnintensitet ved gitt tidspunkt etter påbegynt regn.

Minutter fra regnstart:	Intensitet [l/s*ha]:
5	21,9
10	39,9
15	52,2
20	96,8
25	129
30	253,6
35	253,6
40	129
45	96,8
50	52,2
55	39,9
60	21,9

Tabell 13 ble benyttet som utgangspunkt og satt inn i diagram som forklart tidligere og resulterte i et symmetrisk regnhyetogram for 20-årsregnet gitt i Figur 30:

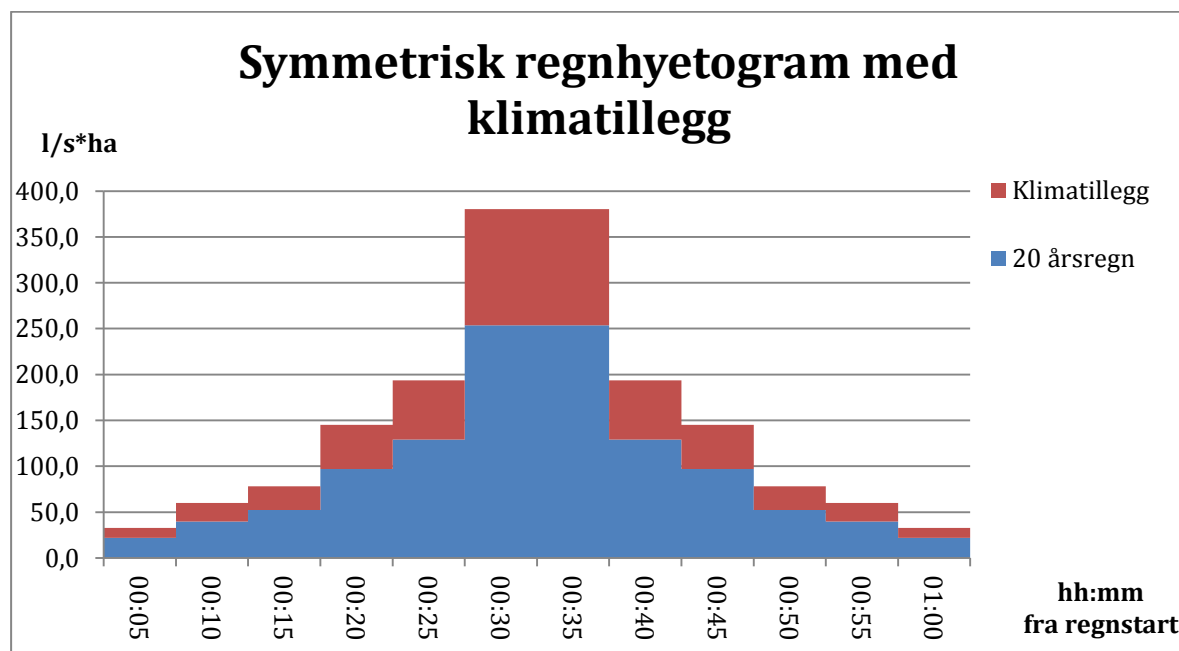


Figur 30: Regnhyetogram for 20-årsregnet.

De forskjellige regnene ble simulert klokken 12.00 den 17. november. Det ble modellert nedbør fra 4. januar til 18. november. Nedbøren som ble modellert før regnhyetogrammet var et normalår fra målestasjonen på Blindern. Dette ble gjort for at de hydrologiske forutsetningene skulle være representative.

3.3 Klimatillegg

I kapittel 2.8.2.1 Klimafaktor, presenteres forskjellige anbefalte verdier som kan benyttes til klimatillegg. På bakgrunn fra Norsk Vann rapport 193 og anbefalinger fra Oddvar Lindholm ble det benyttet en klimafaktor på 1,5 i denne oppgaven (Lindholm et al. 2012b). I teorien betyr dette at en intensitet som i dag er beregnet til et 20-års gjentaksintervall, vil modelleres med et 50% tillegg, se Figur 31. Dette gir 380 l/s*ha etter 10 minutter varighet for en IVF, eller etter 30 min på regnhyetogrammet. Til sammenligning har et 200-årsregn i dag ved samme varighet 347 l/s*ha, klimafaktoren gir med andre ord enorme forskjeller. Gjennomsnittsåret som er benyttet i forkant av regnet blir også summert med klimatillegget under simuleringen.



Figur 31: Symmetrisk regnhyetogram med klimatillegg på 50% for 20-årsregn.

Regnhyetogrammene for regn med gjentaksintervallene 2-, 5-10-, og 50-år med klimatillegg finnes i vedlegg C.

3.4 Skadeberegninger

Verktøyene som ble benyttet for å kartlegge og estimere antall skader ved forskjellige regn var Mike Urban (og modellen utviklet av Rosim), et avrenningskart (utviklet av Asker kommune) i ArcGIS og GeminiVA (for å få oversikt over stikkledninger og felles grøfter). Mike Urban-modellen kalkulerer vannføringen fra overvann ved forskjellige regnintensiteter og viser resultatet som trykkehøyden i ledningsnett. Det er ikke fellessystem i området, så høy trykkehøyde gir ikke nødvendigvis kjelleroversvømmelser. Det ble derfor laget en oversikt over kummer med trykkehøyde som overstiger 90 cm. 90 cm ble valgt på bakgrunn av at dette er minimum avstand mellom vannstanden til den laveste monterte vannlås (som oftest et sluk) i en bolig, relativt til innvendig topp hovedledningen (Gjertsen et al. 2013). De kummene som oversteg 90 cm ble undersøkt nærmere i et snitt. Hvis en kum bare oversteg 90 cm trykkehøyde i en kort tidsperiode ble den vurdert risikofri. Deretter ble det undersøkt om overvannsledningen og avløpsledningen lå i samme grøft og hvilket hus som var tilknyttet denne grøften, dette ble gjort i GeminiVA. Tanken var at hvis det blir høyt trykk i overvannsledningene så kunne dette medføre utlekking i grøften. Hvis avløpsledningene til husene ligger i grøften med overvannsledningene kunne overvannet renne i grøften på grunn av den lave hydrauliske konduktiviteten i grøftens oppbygging. Det ble antatt at 50% av de husene med stikkledninger til en slik grøft ville oppleve kjelleroversvømmelse under modellert regn. Dette er mest sannsynlig en overestimering ettersom en slik kjelleroversvømmelse krever utlekking og innlekking, i tillegg til eventuelt å fylle avløpsledningene. Dessuten vil oppstuvning i en kjeller fungere på ledningsnett som et fordrøyningsmagasin noe som ikke er implementert i modellen.

Hvis trykkehøyden var over bakkeplan, ble avrenningskartet benyttet. Da ble skader som kom fra avrenningen medberegnet i modellen. Denne metodikken er i beste fall en estimering. Det blir ikke benyttet volumbegrensninger for skader. Grunnen til dette er at ledningsnett er separatsystem og det er umulig å si noe om hvor store mengder med oppstuvning som er nødvendig for at det skal bli problemer. Derfor er skadeberegningene regnet som den største usikkerheten i denne oppgaven.

Det er også behov for å estimere de totale fremtidige kostnadene som kan forkomme hvis det ikke blir gjort forbedringer på ledningsnett. Derfor må det regnes ut hvor mange regn som vil forekomme, hvilke typer disse regnene er og hvilke skadeomfang som vil medfølge frem til år 2100. Gjentakintervaller er statistisk bestemte størrelser, som bestemmes ved hjelp av

matematikk. For å beregne det totale skadebildet blir det behov for å forklare hva gjentaksintervallene beskriver. Et gjentaksintervall er gitt fra en kumulativ fordelingsfunksjon, dette betyr i praksis at metoden beregner sannsynligheten for at et utvalg skal være lik eller under en gitt verdi (Ragulina & Taurisano 2014). Et femtiårsregn over en hundre års periode omfavner derfor de 2% største regnene over en periode på hundre år. Dette innebærer da at 50-årsregnet tar med seg 100-årsregnet. Et 20-årsregn over en 100-årsperiode gir de 5% mest intense regnene, som da innebærer 50-årsregn og 100-årsregn.

Tabell 14: Tabellen viser differansen mellom akkumulert regnhendelser og regnhendelser ved gjeldende gjentaksintervall (Myking 2012).

Gjentaksintervall [år]:	Antall regnhendelser for gjeldene regnintervall:	Akkumulert antall regnhendelser:
100	1	1
50	1	2
20	3	5
10	5	10
5	10	20
2	30	50

Skader som oppstår på offentlig eiendom er vanskelig å estimere. Det er spesielt Bondi skole, Risenga eldrehjem, Nedre Bleiker Barnehus, Leikvoll barnehage og Bleiker VGS som er utsatte offentlige bygg. Potensiell kjellerinntrengning for barnehagene ble bestemt på samme måte som for privat eiendom. Det kan også oppstå skader dersom det ble oppstuvning på kunstkøytebanen, ettersom avrenningen herifra går rett til barnehagene. For Bleiker VGS, Bondi skole og Risenga eldrehjem ble det estimerte skader hvis trykklinjen var høyere enn toppen av kummene, slik at det oppsto overflateavrenning og oppstuvning. Dette kunne også gi avrenning til de offentlige areaene, dette ble vurdert stedvis.

3.5 Vannføringsmålerne

Det ble lagt ut vannmålere i tre kummer i området. De har loggført omtrent 3 måneder med data. Bilder av kummene er vist i Figur 32.

Kum 1 (Bleiker):

Rørdiameter: 800 mm, materiale betong. Registret dato kum er 2004. Røret ble nedgravd i 1968 og er loggført i med SID-nummer 149589 og ble i denne oppgaven referert til som Bleiker. Det tok litt tid før denne måleren ble lagt ut. Den har derfor bare målinger fra januar. Dette er en periode med vekslende temperatur mellom positiv og negativ. Det er nedbør i form av snø og regn, i tillegg til at noe av avrenningen kan være snøsmelting. Det er derfor veldig vanskelig å benytte disse målingene.

Kum 2 (Skytterveien):

Rørdiameter: 400, materiale betong. Røret ble nedgravd i 1997 og er loggført med SID-nummer 18330 og blir i denne oppgaven referert til som Skytterveien. Denne måleren ble satt ut i midten av oktober og demontert i slutten av januar. I denne perioden var det aldri nok vann til å få gode nok målinger. Denne måleren er derfor ikke benyttet i oppgaven.

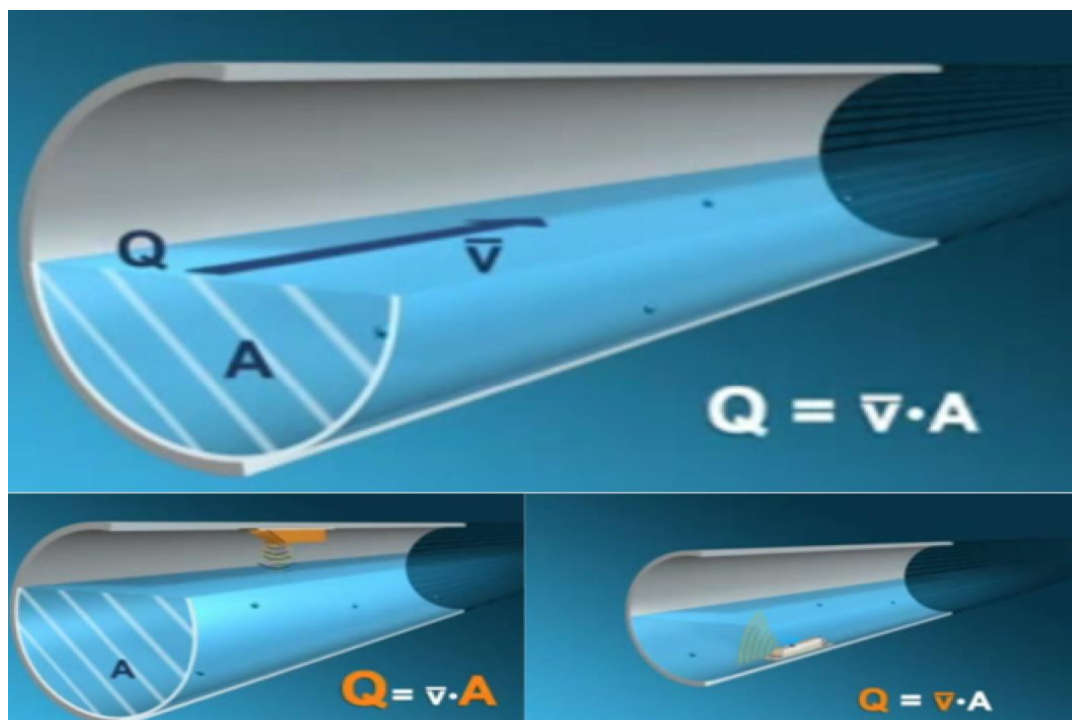
Kum 3 (Aspelundfaret):

Rørdiameter 900, materiale betong. Røret ble nedgravd i 1986 og er loggført med SID-nummer 3716 og blir i denne oppgaven referert til som Aspelundfaret. Denne måleren var den eneste måleren som kunne gi gode nok måledata. Målinger herifra ble derfor benyttet til å kalibrere modellen. Dette røret er plassert nesten ved utløpet av feltet, så vannføringen ble antatt å være høy. Dessuten sier vannføringene her veldig mye om totalfeltets oppførsel.



Figur 32: Nederste bilde er fra Bleiker, Skytterveien er bildet øverst til høyre. Øverst til venstre er bildet fra Aspelundfaret. Pilene indikerer Nord (Deggerdal 2016a).

Rosim AS har stått for utlån av vannføringsmålerne til Asker kommune. Det er også Rosim AS som har stått for montering og drift. De har benyttet en type som heter Nivus, PCM 4. Vannføring kan ikke måles direkte, men beregnes ved å måle andre faktorer. Dette kalles indirekte målinger. For å beregne vannføringen benyttes kontinuitetslikningen, se Figur 33. For å beregne fyllingsgraden av rørtverrsnittet blir det gjort målinger av vannivået i røret, dette er også illustrert i Figur 33. Det er da mulig å beregne arealet til vannet. Det blir i tillegg gjort målinger av farten på vannet ved hjelp av doppler-effekten. Dette er mulig fordi vannet inneholder en hvis andel partikler eller luftbobler som reflekter lydbølgene, se Figur 33 (nivus 2012).



Figur 33: Illustrasjon av målingsprinsippene. Vannets gjennomsnittshastighet måles over tverrsnittet (v) og fylt tverrsnittsareal (A). En sensor måler hastigheten (v), og en annen sensor måler vannivået i røret og beregner fylt tverrsnittsareal (A) (nivus 2012).

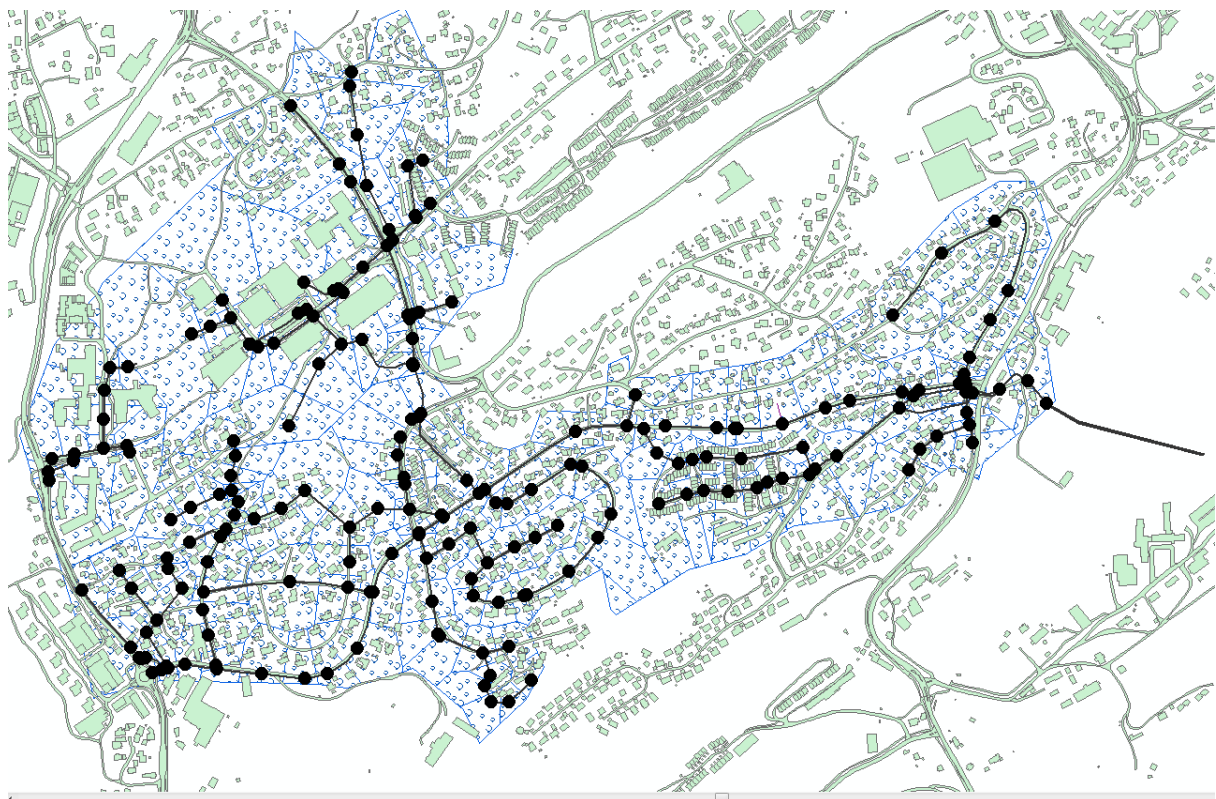
Ferdig montert måler er illustrert i Figur 34. Sensorene er festet i en rigg i røret slik at det ikke er behov for boring eller andre permanente inngrep i røret.



Figur 34: Bildet viser hvordan vannmålerne er montert (nivus 2012).

3.6 Modellbeskrivelse

Modellen består av 206 forskjellige rørstrekk. Ledningslengdene varierer mellom 2,9 m og 304 m, men når ledninger er under 10 m blir de behandlet som at de er 10 m i beregningene. Til sammen, uten å ta hensyn til den forlengelsen av ledningsnettets som oppstår ved å øke de korteste til 10 m, er den totale ledningslengden i modellen på 11 306 m. Gjennomsnittlig lengde på ledningene er på 48 m. Modellen består også av 207 forskjellige noder, som representerer kummer. Bunnhøyden på disse kummene varierer mellom 13 moh. og 126 moh. og er derfor veldig representative i forhold til høydeforskjellene i området. Medianhøyden for kummene er 90 moh. og gjennomsnittlig høyde er 83 moh.



Figur 35: Viser de forskjellige avrenningsfeltene (blått markerte polygoner), ledningene (svarte streker) og kummene (svarte prikker) i modellen.

Modellen består også av 198 forskjellige delområder, som kalles avrenningsfelt. Det største avrenningsfeltet er på 4,3 ha ($43\,000\text{ m}^2$) og det minste feltet er på 0,0065 ha (65 m^2), forskjellene i størrelse er gitt med en faktor på 660 ganger. Den store størrelsesforskjellen sier noe om de store forskjellene i delfeltenes bidrag til det totale feltet. Gjennomsnittlige størrelsen på feltene er 0,58 ha ($5\,800\text{ m}^2$) og medianen er 0,43 ha ($4\,300\text{ m}^2$).

Det er også store forskjeller på hvor stor andel av impermeable flater de ulike avrenningsfeltene har. Det er gjort en antagelse om at 40%¹⁷ av de impermeable flatene skal bidra med vann til ledningsnett, ut fra dette er det beregnet hvor stort arealet med tette flater de forskjellige avrenningsfeltene inneholder. Andel tette flater som bidrar til avrenning til ledningsnett varierer fra 0,4% til 31%. Dette gjenspeiler de store forskjeller av urbaniseringsgrad i de forskjellige delfeltene. Gjennomsnittlig består hvert felt av 10% tette flater som bidrar til ledningsnett, medianen for tilsvarende er 9,7%.

3.7 Kalibreringen

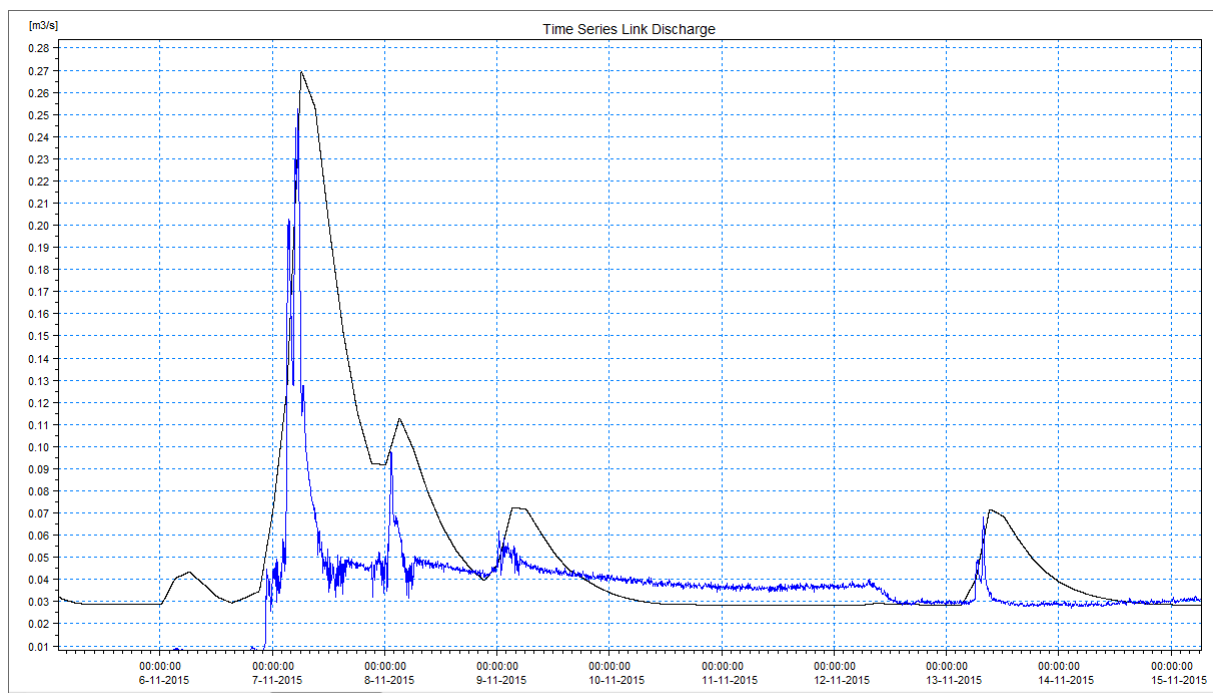
Modellen er som nevnt tidligere laget av Rosim. En del av denne oppgaven har vært å kalibrere modellen i analyseområdet slik at den kunne benyttes for analyse av fremtidige klima. I teorien beskrives kalibrering og forskjellige steg som bør benyttes, i hovedsak i tre steg (Engan 2015):

- **Modellverifikasjon:** Sjekke at regnemaskinene beregner riktig. Utrekninger for hånd ble gjort for å sikre at modellens resultater er realistiske. Dette ble gjort med den rasjonelle formel og gjort for å se om resultatene var realistiske. Beregningene er vist i vedlegg D.
- **Modellfølsomhet:** Analysere modellens respons ved endring av forskjellige parameterverdier i modellen. Dette er viktig verktøy for å kartlegge hvilke parametere som gir store utslag for totalavrenning i modellen. Det ble gjennomført en følsomhetsanalyse som er vist i kapittel 3.7.1.
- **Modellvalidering:** Bestemme hvor godt modellens resultater passer med observasjoner i form av målinger. Det er ikke gjort noen form for validering mot uavhengige regn, men modellen ble kalibrert mot målinger over en kort periode.

I oppgaven ble det ikke gjennomført noe modellverifikasjon, bortsett fra sporadiske utregninger for hånd for å verifisere at modellens resultater var innenfor rimelighetens grenser. Det ble til gjengjeld investert mye tid på modellfølsomhet og modellvalidering. Det ble gjort mot målinger fra Aspelundfarete og det er både benyttet Rosie og Mike Urban for å få best mulig resultat. Mouse runoff calibrator er et verktøy som kan benyttes for å regulere

¹⁷ Grunnlaget for antagelsen på 40% blir gjennomgått i kapittel 3.8.1

parametere for avrenning i et avrenningsområde for en node, slik at modellen beregner mest mulig likt det som ble målt i denne noden. Dette kunne gjøres uten at det blir behov for å kjøre modellen mellom hver gang parametere justeres. Dette forenklet kalibreringsprosessen betydelig og var veldig tidsbesparende. Når parametere var justert slik at Mouse runoff calibrator ga mest mulig like resultater som de målte resultatene, innførtes disse parameterne i Rosie, og en ny modellkalkulering ble kjørt. Underveis ble det oppdaget at det var mulig å benytte mye tid på å perfektionere modellen under kalibreringsprosessen, så modellen ble ikke perfekt, men validert som god nok. Modellen overestimerte mengdene, men ikke maksimal vannmengde. Kalibreringen ble gjort over en periode på omtrent 8 døgn, se Figur 36.



Figur 36: Svart strek er modellen og blå strek er målinger gjort i Aspelundfaret. Som vi ser her så mengden vann ved regn større i modellen enn de målte verdiene, men vannføringene mellom regnene er mindre i modellen.

Det er viktig å understreke at kalibreringen ikke ble gjort mot ekstremregn. Det var derfor vanskelig å si noe om nøyaktigheten til modellen for mer intense regnbyger.

Denne kalibreringen ble som nevnt tidligere gjort over en periode på 8 døgn, i denne perioden har det vært fire forskjellige regnhendelser. Det er da enkelt å visualisere forskjellene mellom modellen og målte verdier, slik som er gjort i Figur 36. Dette blir vanskeligere hvis det er mange forskjellige figurer. Fordi det er mulig å illustrere kalibreringen i en enkelt figur gjennomføres ikke en variansanalyse i oppgaven, men det blir gjennomført en metodisk

innføring. Den metodiske innføringen blir gjennomgått fordi variansanalyse er et viktig verktøy hvis kalibreringen gjøres mot en stor mengde målinger.

En variansanalyse er en fellesbetegnelse på statistiske metoder som brukes for å analysere resultater som er utfallet av flere faktorer (Bjørnstad 2007). Det er dermed mulig å benytte en slik analyse til å numerisk beskrive likhet mellom to eller flere utvalg, slik som likheten mellom målte verdier og beregnet verdier. En enkel form for variansanalyse er å se på størrelsen av en kvadratssum (SS). Det gir et mål på avviket mellom målt verdi og beregnet verdi som en positiv verdi, der størrelsen indikerer graden av avvik. For at denne størrelsen skal ha betydning, må det gjøres flere kalibreringer for så å beregne kvadratssummen for de forskjellige kalibreringene, den minste kvadratssum har minst avvik mellom modellen og målte verdier. Formel for kvadratssum er gitt som (Hornæs 2003):

$$SS = \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2$$

Formel 14: Generell ligning for kvadratssum

Tabell 15: Symbolforklaring til formell for kvadratssum.

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
n	<i>Enhetsløs</i>	Antall rekker
y_i	<i>Enhetsløs</i>	Observasjon 1
y	<i>Enhetsløs</i>	Observasjon 2
SS	<i>Enhetsløs</i>	Kvadratssum

Hvis den generelle formelen for kvadratssum benyttes på kalibreringen, må det bestemmes hvilke parametere som skal måles opp mot hverandre. Det kan benyttes flere parametere, som f.eks. vannvolum, tid eller maksimal vannføring. Det blir da nødvendig å vektlegge tyngden av de forskjellige parametere ettersom noen parametere kan være viktigere enn andre. Det innføres derfor et vekt tall multiplisert inn i hver parameter sin respektable kvadratssum. (Lindholm 2015b).

$$SS = V_1 \sum_{i=1}^n (Q_m - Q_b)^2 + V_2 \sum_{i=1}^n (V_m - V_b)^2 + V_3 \sum_{i=1}^n (t_m - t_b)^2$$

Formel 15: Ligning for kvadratssum med parametere vannvolum, tid og maks vannføring

Tabell 16: Symbolforklaring til formell for kvadratssum benyttet for målte mot beregnede verdier.

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
Q_m	$\frac{m^3}{s}$	Målt maksimal vannføring.
Q_b	$\frac{m^3}{s}$	Beregnet maksimal vannføring.
V_n	Enhetsløs	Vekttall der n indikerer multiplisert parameter.
V_m	m^3	Målt vannvolum.
V_b	m^3	Beregnet vannvolum.
t_m	Klokke og dato	Målt tidspunkt for Q_{maks} .
t_b	Klokke og dato	Beregnet tidspunkt for Q_{maks} .

3.7.1 Følsomhetsanalyser

En følsomhetsanalyse gjennomføres for å opparbeide seg en viss forståelse for en modell. En slik analyse gir et grunnlag for å si noe om hvilken påvirkningsgrad de forskjellige input-parameterne har for modellen. Etter en slik analyse blir det enklere å se hvor mulige feilkilder er, men også hvor det kan være lurt å utbedre måledataene for modellen, da noen parametere bør måles nøyaktig på grunn av høy modellfølsomhet.

Følsomhetsanalysen tar for seg følgende parametere; rørfriksjonstall, andel tette flater, og ekstern innlekking (innlekking/infiltrasjon). Selv om artikkelen ”Følsomhetsanalyse av inngangsparametere i modell for avløpsberegninger” beskriver regnintensitet og tilrenningstiden som svært følsomme, ble ikke disse parametere med i analysen (Lindholm 1987b). Dette ble gjort for å unngå en unødvendig avansert analyse.

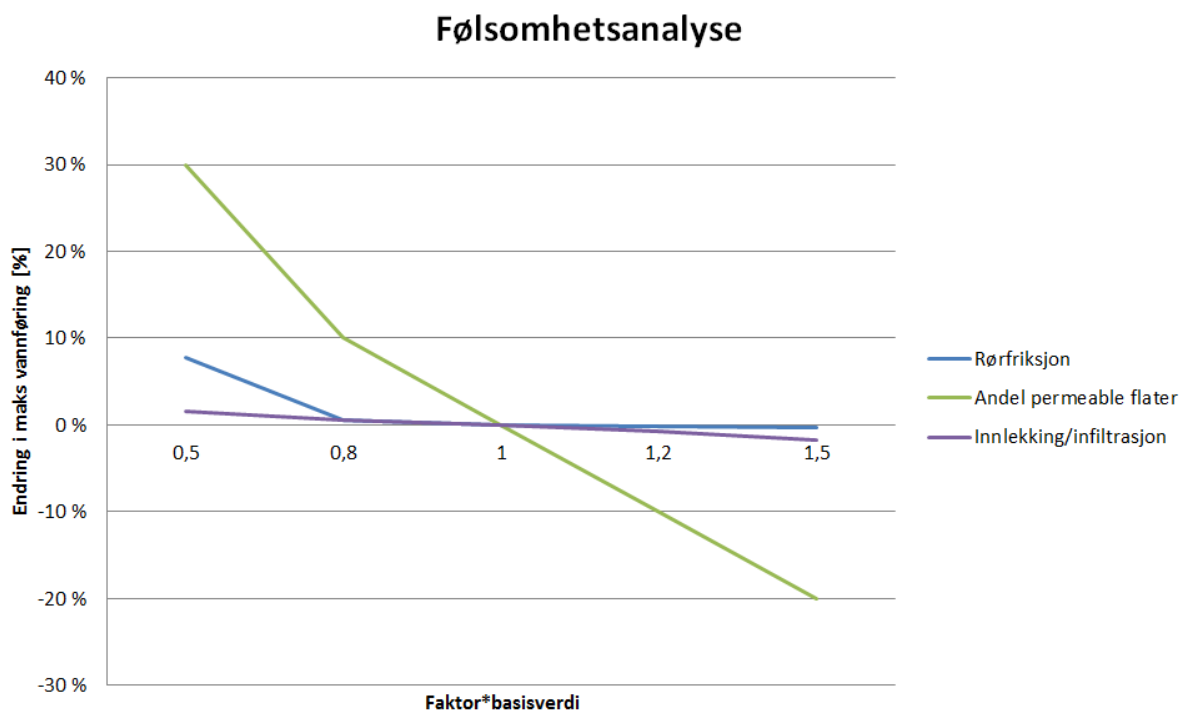
Analysen ble gjennomført ved at en og en parameter blir endret før kalkuleringene gjennomføres. Analysen tokk utgangspunkt i parameterne som ble valgt etter kalibreringsprosessen, disse parameterinnstillingene refereres til som startparameterne. Parameterinnstillingene ble endret ved å summere faktorer til startparameterne. Faktorene

som ble benyttet var 1/2, 4/5, 6/5, 3/2. Parameterendring og maksimal vannføring i et vilkårlig valgt ledningsstrek ble notert (Lindholm 1987a). Ledningsstrekket som ble valgt var utløpet til feltet, på bakgrunn av at her ville summen av endringene være størst, dette ledningsstrekket ble benyttet gjennom hele følsomhetsanalysen. Det ble benyttet et 5-årsregn som simuleringsgrunnlaget. Grunnlaget for dette valget var at regn ned mindre hyppighet hadde mer moderate utslag ved parameterendringer. Tabell 17 viser resultatet fra følsomhetsanalysen. Endringen i maksimal vannføring blir gitt i prosent mot endringen av de forskjellige parameterne.

Tabell 17: Følsomhetsanalyse: endring av maksimal vannføring er gitt i prosent, ved multiplikasjon av faktor til parameterverdi (Faktor*Verdi).

Endring i maksimal vannføring gitt i %:					
Faktor	0,5	0,8	1	1,2	1,5
Rørfriksjon	8%	1%	0%	0%	0%
Andel tette flater	30%	10%	0%	-10%	-20%
Additional flow	2%	1%	0%	-1%	-2%

Tabell 17 er utgangspunkt for i diagrammet vist i Figur 37. Figuren illustrerer viser at andel permeable flater gjør store utslag for maksimal vannføring. Ved å øke permeable flater vil det bli mer infiltrasjon og derfor mer fordrøyning.



Figur 37: Følsomhetsanalyse for modellen.

Figur 37 viser at maksimal avrenning minket ved økt rørfriksjon, innlekking/infiltrasjon og andel tette flater. Vannføringen fra innlekking/infiltrasjon er en konstant størrelse, så denne andelen minket ved større regn. Grunnen til at den ga utslag i følsomhetsanalysen var fordi det ble valgt 5-års gjentaksintervall for analysen. For vannføring ved sterke regn, er denne vannføringen nærmest neglisjerbar. De største forskjellene skjedde ved endring av andel tette flater. Dette var som forventet, da økt tette flater fører til mer avrenning. Når andel permeable flater økes, minsker også Q_{maks} .

3.8 Innstillinger etter kalibrering

Dette kapitlet har til hensikt å formidle de parameterinnstillingene som ble benyttet for å beskrive den hydrauliske og hydrologiske modellen.

3.8.1 Beregningsgrunnlag

I modellen ble det benyttet RDI. Denne typet beregning tar hensyn til den hydrologiske situasjonen i et område, ved at det er et hydrologisk minne fra tidligere hydrologiske hendelser. RDI-modellen tar hensyn til snølagring, overflatelagring, rotsonelagring og grunnvann. Denne modellen krever store mengder input-data, fordelt i tre hovedgrupper (DHI 2012c):

- Et kart med avrenningsområder: Dette er kartlagt og lagt til i modellen av Rosim, sammen med ledningsnettverket.
- RDI-parametere (DHI 2012c), disse benyttes for å kalibrere modellen:
 - *Storage capacity*: Lagringskapasitet på overflate og rotsone.
 - *Overland flow coefficient*: Forholdet mellom avrenning og infiltrasjonsmengde
 - *Time constant for overland flow*: Dette er tiden vannet benytter som avrenning på overflaten.
 - *Groundwater depth minimum*: Minimal dybde til grunnvannet fra overflaten.
 - *Groundwater depth maximum*: Maksimal dybde for grunnvannet under overflaten.
 - *Groundwater depth*: Grunnvannets normalnivå under overflaten, hvor kapillær fluks er 1mm/dag.
 - *Baseflow yield*: Spesifikk avkastning til grunnvannsreservoaret.
- Metrologiske data (evapotranspirasjon, temperatur og nedbørsdata). Dette er data som benyttes fra tidligere målinger i nærområdet.

I tillegg til RDI, ble det benyttet areal-tid metoden for den hydrauliske delen.

Konsentrasjonstiden ble valgt til 7 minutter, på bakgrunn av teoretiske anbefalinger (Ødegaard et al. 2014). Permeabiliteten på feltene ble beregnet på bakgrunn av at 40% av vannet fra veier og bygninger infiltreres. 40% ble valgt fordi dette passet godt overens med de målte verdiene.

3.8.2 Tidssteg

Det ble gjort beregninger ved et gitt tidsintervall i modellen. Dette ble stilt inn på forhånd før beregningene ble gjennomført. Tidsintervallet bestemmes av tre inputparametere, Min, Max og Factor, dette angir henholdsvis minimum og maksimum Tidssteg som kan veksles mellom i modellen. Mindre tidssteg gir en mer nøyaktig modell (Lindholm 2011). I denne oppgaven ble modellen kjørt med tidssteg på 1 eller 3, da er Min: 1, Max: 1 og Factor: 1.

3.9 Modellresultater

Hensikten med den hydrauliske analysen var å finne ut hvordan ledningsnettets oppførte seg ved forskjellige regnhypoteser og dessuten prøve å se graden av effekt forskjellige tiltak hadde på totalfeltet. Det ble modellert med gjentakintervallene 5-årsregn, 10-årsregn, 20-årsregn og 50-årsregn. Det ble ikke benyttet 2-årsregn eller 100-årsregn.

Asker kommune består 100% av separatsystem (Sola 2016). På bakgrunn av dette ble ikke 2-årsregn benyttet fordi det ble gjort en antagelse om at systemet taklet 2-årsregn, selv med klimafaktor. 100-årsregn ble ikke modellert fordi det knyttet enormt mye usikkerheter til slike ekstremisituasjoner. Det er derfor vurdert at 100-årsregnet tar med seg mer usikkerhet inn i kalkulasjonen enn nytteverdi, spesielt med tanke på den økonomiske analysen.

3.9.1 Hvilket tiltak er kjørt i modellen

Det ble testet tre forskjellige tiltak i modellen. Tiltakene ble valgt ut fordi dette er tiltak som var realistiske for et område av slik urbaniseringsgrad som analyseområdet. Det ble valgt ut to LOD-tiltak og et tradisjonelt tiltak. Det er bare mekanismene fordrøyning og infiltrasjon som ble testet i modellen. Det ble ikke testet ut rensing av overvannet, på grunn av at modellen bare ser på hydrauliske problemstillinger. Det ble heller ikke testet ut avrenning på overflaten i form av flomveier¹⁸. De tre tiltakene som ble testet i oppgaven er:

- Frakopling av takrenner
- Overvannsdam
- Utviding av flaskehals, oppdimensjonere rørstrekk.

I tillegg til å simulere med tiltak, ble det kjørt simuleringer uten noen form for tiltak. Dette ble gjort for å danne et referansenivå, som tiltakene kan sammenlignes med.

¹⁸ For å simulere flomveier må det konstrueres en egen modell, i Mike Flow. Asker kommune har et prosjekt gående på dette, som ikke er ferdigstilt per dags dato.

3.9.2 Modell uten implementering av klimatiltak

For å se hvor godt ledningsnettlet taklet de forskjellige ekstremregnene ble det simulert 5-, 10- 20- og 50-årsregn, med og uten klimafaktor. Resultatet fra simulasjonene er presentert i Tabell 18.

Tabell 18: Antall potensielle kjellerskader beregnet i modellen, med og uten klimafaktor (satt til 1,5), modellert uten tiltak.

GJ. Intervall:	Potensielle kjelleroversvømmelser uten klimatillegg:	Potensielle kjelleroversvømmelser, med klimatillegg:	Økning i kjelleroversvømmelser [antall og prosent]:
5	5,5	28	22,5 (509%)
10	11,5	29	17,5 (252%)
20	17	38,5	21,5 (226%)
50	24	48	24 (200%)

Tabell 18 viser at det er stor økning i antall kjelleroversvømmelse når analysen gjennomføres med klimatillegg. Den er størst prosentvis økningen for regn med 5-års gjentakintervall og minst for 50-års gjentakintervall. De offentlige skadene er gitt i Tabell 19.

Tabell 19: Viser offentlige bygninger som er ligger i potensielle faresoner for overvannskader modellert uten tiltak. Denne tabellen gjelder også når tiltakene fordrøyning og utvidet ledning ble modellert.

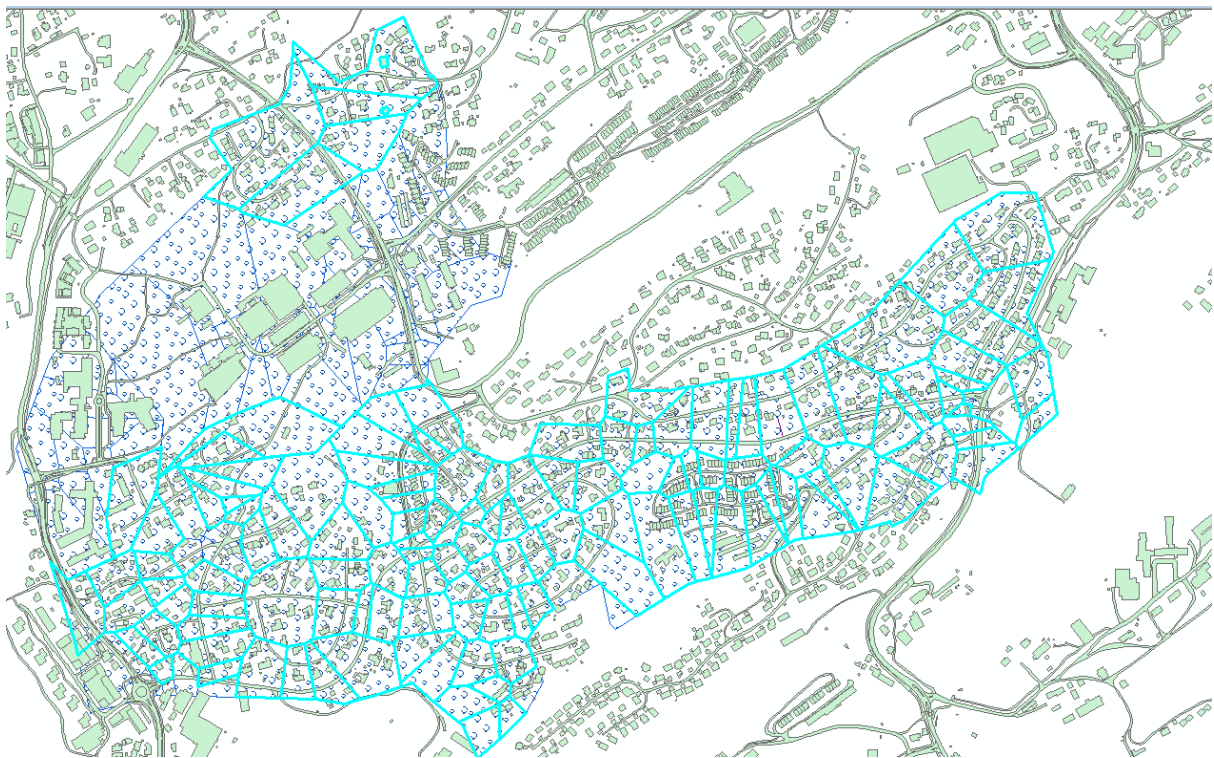
Uten klimafaktor:	Med klimafaktor:			
	5 år	10 år	20 år	50 år
Eldrehjem	Eldrehjem	Eldrehjem	Eldrehjem	Eldrehjem
Bondi skole	Bondi skole	Bondi skole	Bondi skole	Bondi skole
Bleiker VGS	Bleiker VGS	Bleiker VGS	Bleiker VGS	Bleiker VGS
			Barnehagene	Barnehagene

3.9.3 Frakopling av takareal

Det er ingen oversikt over hvilke private eiendommer som har tilkoblet takvannet til det kommunale overvannsnettlet i Asker. Det ble heller ikke gjennomført feltundersøkelser for utredning, men det ble gjort noen antagelser. 40% av vannet som treffer privat bygg går til

overvannsnett. Denne antagelsen ble gjort fordi dette passet godt under kalibreringsprosessen opp mot målte strømningsverdier. Det er i tillegg antatt at 40% av vannet fra veiene går i overvannsnett.

Frakoplingen av takareal ble simulert ved at andel impermeabelt areal i områder med privat bolig ble beregnet uten at byggeareal ble inkludert. Når impermeabelt areal blir beregnet på denne måten, tilsier det at alt vannet som går til avrenning fra takarealer nå blir stedlig infiltrert. Delarealene som beregnes uten boligarealer er vist i Figur 38.



Figur 38: Arealet som er markert lyseblått er arealet som beregnes uten boligarealet. Resterende beregnes med bolig for å illustrere den avrenningen som kommer fra de offentlige arealene. Bildet er et utdrag fra Mike Urban.

Tabell 20 viser at det er stor prosentvis økning i antall kjelleroversvømmelser med klimafaktor i forhold til antall kjelleroversvømmelser uten klimafaktor. Den største forholdsmessige økningen er for 20-årsregn og den minste er for 50-årsregn.

Tabell 20: Potensielle kjelleroversvømmelser med og uten klimafaktor=1,5 modellert med avkoblede takrenner.

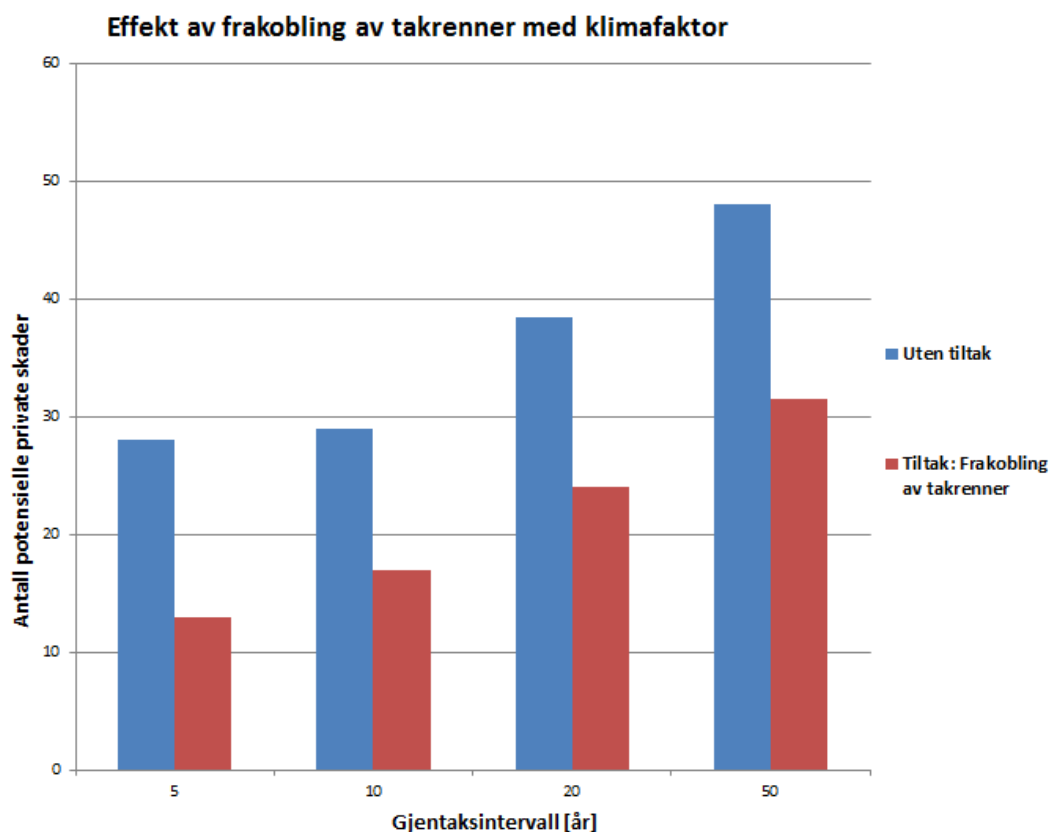
GJ. Intervall [år]:	Potensielle kjelleroversvømmelser, uten klimatillegg:	Potensielle kjelleroversvømmelser, med klimatillegg:	Økning i kjelleroversvømmelser:
5	0	13	13 (0%)
10	1	17	16 (1700%)
20	1	24	23 (2400%)
50	11	31,5	20,5 (286%)

Tabell 21 viser effekten av å frakoble takrenner når klimafaktoren er inkludert. Tabellen er en sammenligning av antall skader med klimafaktor som er oppgitt i Tabell 18 og Tabell 20.

Tabell 21: Viser antall potensielle private skader uten tiltak og ved å frakoble takrenner. Modellert ved forskjellige gjentakintervaller med klimafaktor. Viser også antall reduserte potensielle private skader, numerisk og prosentvis.

GJ. Intervall uten klimafaktor:	Uten klimatiltak:	Med tiltak: frakoblet takrenner:	Potensielle kjelleroversvømmelser redusert:
5	28	13	15 (54%)
10	29	17	12 (41%)
20	38,5	24	14,5 (38%)
50	48	31,5	16,5 (34%)

Figur 39 illustrerer at det ble stor effekt av å frakoble takrenner selv når klimafaktoren inkluderes. Figuren er en sammenligning av antall skader med klimafaktor som er oppgitt i Tabell 18 og Tabell 20.



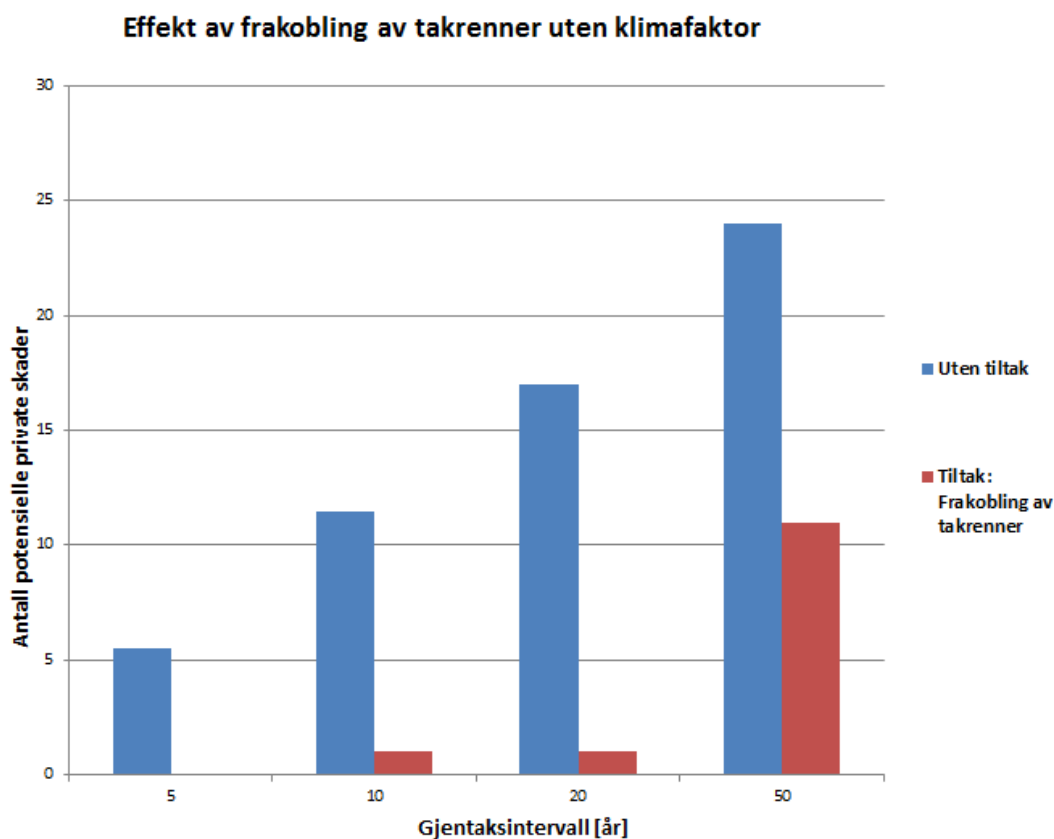
Figur 39: Viser antall potensielle kjellerskader uten tiltak og ved å frakoble takrenner. Modellert ved forskjellige gjentaksintervall, med klimafaktor.

Tabell 22 viser at det ble stor reduksjon i kjelleroversvømmelser ved å fjerne tilkoblede takrenner når det ikke er benyttet klimafaktor på de forskjellige gjentaksintervallene. Tabellen er en sammenligning av antall skader uten klimafaktor som er oppgitt i Tabell 18 og Tabell 20.

Tabell 22: Viser antall potensielle private skader uten tiltak og ved å frakoble takrenner. Modellert ved forskjellige gjentaksintervaller uten klimafaktor. Viser også antall reduserte potensielle private skader, numerisk og prosentvis.

GJ. Intervall uten klimafaktor:	Uten klimatiltak:	Med tiltak: frakoblet takrenner:	Potensielle kjelleroversvømmelser redusert:
5	5,5	0	5,5 (100%)
10	11,5	1	10,5 (91%)
20	17	1	16 (94%)
50	24	11	13 (54%)

Figur 40 illustrer den kraftige reduksjonen i potensielle private skader som kan oppdrives ved å frakoble takrenner for dagens regnbygger ved de forskjellige gjentakintervallene. Skader ved 5-årsregn er helt fjernet og skader ved 10- og 20-årsregn er nesten ikke eksisterende.



Figur 40: Viser antall potensielle kjelleroversvømmelser både ved frakobling av takrenner og uten gjennomførte klimatiltak for de forskjellige gjentakintervallene, modellert uten klimafaktor.

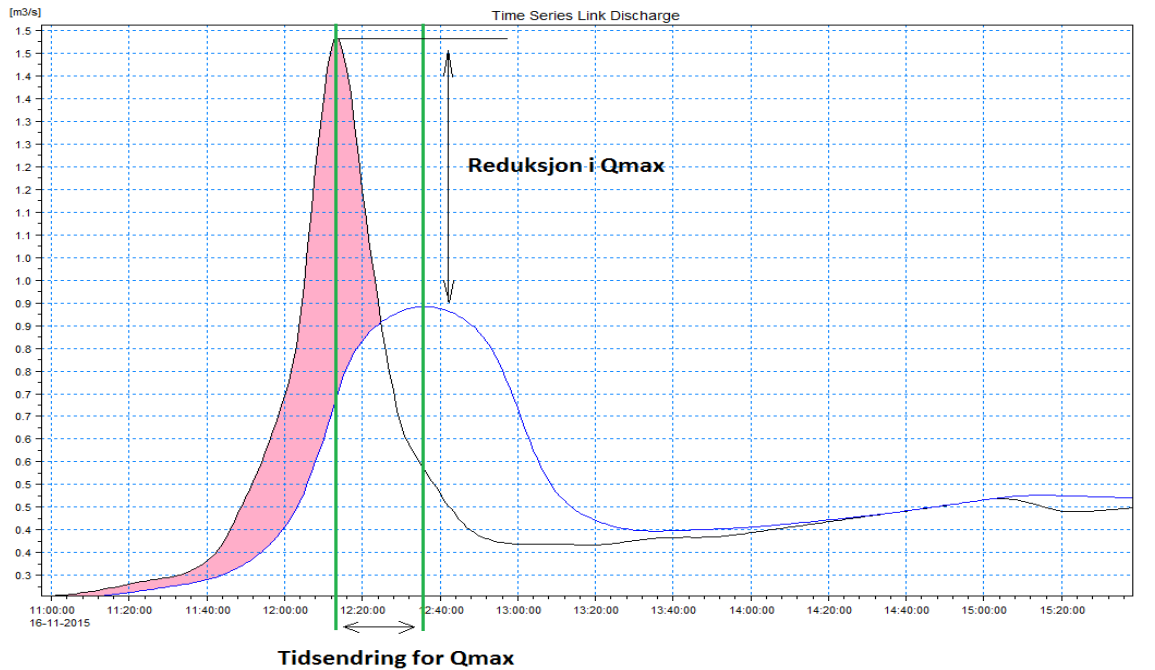
Simuleringene som ble gjort når takarealene var fjernet ga fortsatt skader på de offentlige bygningene. En oversikt over disse hendelsene er gitt i Tabell 23.

Tabell 23: Viser offentlige bygninger som er ligger i potensielle faresoner for overvannskader modellert med tiltak: Frakobling av takrenner.

Uten klimafaktor:	Med klimafaktor:			
	5 år	10 år	20 år	50 år
50 år	5 år	10 år	20 år	50 år
Eldrehjem	Eldrehjem	Eldrehjem	Eldrehjem	Eldrehjem
		Bondi skole	Bondi skole	Bondi skole
		Bleiker VGS	Bleiker VGS	Bleiker VGS
			Barnehagene	Barnehagene

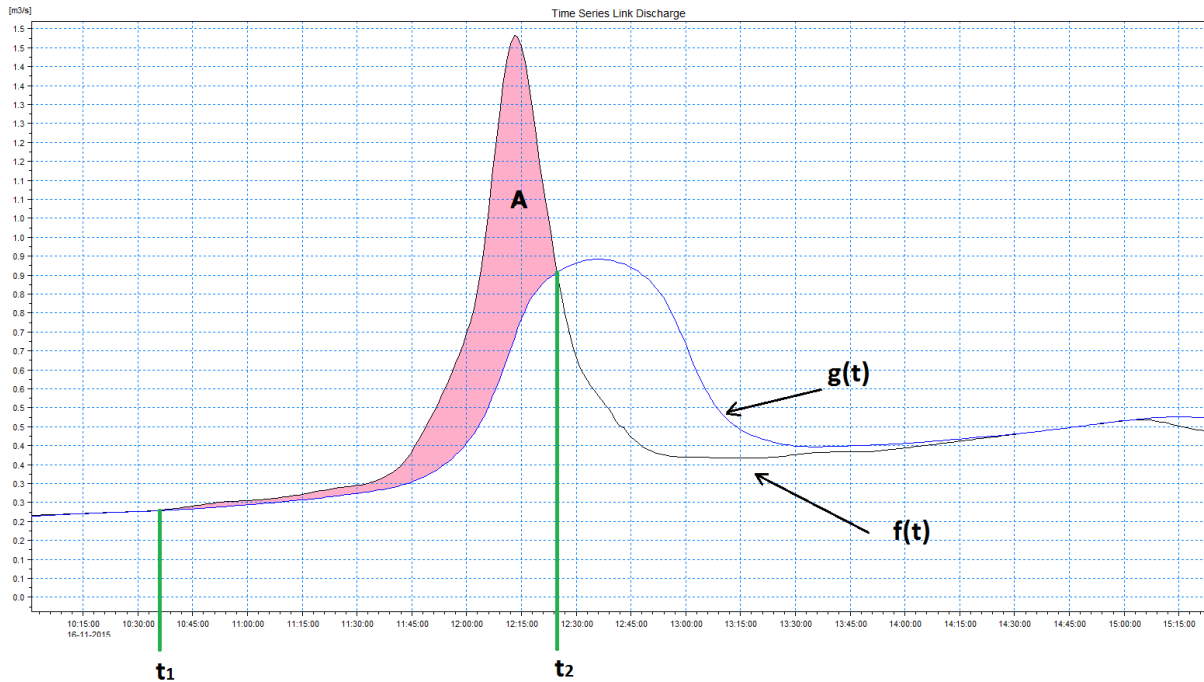
3.9.4 Overvannsdam

Dette tiltaket er veldig aktuelt for de offentlige arealene. De offentlige arealene er de avrenningsområdene som ikke er markert blått i Figur 38. Dammen modelleres ved at tilrenningstiden økes betraktelig i de avrenningsarealene hvor det skal simuleres en dam. Ved å endre tilrenningstiden fra 7 minutter til 50 minutter simuleres en fordrøyningseffekt som kan tilsvare en dam.



Figur 41: Effekten av å endre på tilrenningstiden for hele feltet i nederste utløp. Den blå linjen er tilrenningstiden med 50 minutter og den svarte linjen er med tilrenningstiden på 7 minutter.

Figur 41 viser effekten av å endre tilrenningstiden til 50 minutter for tette flater som følge av bygninger på totalfeltet. I eksempelet i Figur 41 minimeres maksimal vannmengde (Q_{\max}) med 40% og tidsendringen for Q_{\max} endres fra klokken 12.13 til 12.37, en tidsendring på 24 minutter. En slik effekt oppnås ved gode fordrøyningstiltak.



Figur 42: Samme diagram som i Figur 41, men litt oppskalert. Det er innført symboler for beregning av fordrøyningsvolum.

For å beregne størrelsen på fordrøyningsmagasin må mengden vann som må holdes igjen estimeres. Det rosa arealet (A i Figur 42) indikerer dette volumet. Arealet finnes matematisk ved integrasjon. Valgt tidsintervall for integrasjon bestemmes når $g(t)=f(t)$ og $f(t)>g(t)$ innenfor tidsintervallet.

$$A = \int_{t_1}^{t_2} [f(t) - g(t)] dt$$

Formel 16: Generell formell for areal begrenset av to funksjoner

Tabell 24: Symbolforklaring for beregning av fordrøyningsvolum

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
A	m^2	Areal begrenset av $f(t)$ og $g(t)$
f(t)	$\frac{m^3}{s}$	Likning for vannføring når tilrenningstiden er 7min.
g(t)	$\frac{m^3}{s}$	Likning for vannføring når tilrenningstiden er 50min.
t₁	Klokke og dato	Tid når $f(t)=g(t)$ og $f(t)$ går fra å være minst til størst.
t₂	Klokke og dato	Tid når $f(t)=g(t)$ og $f(t)$ går fra å være størst til minst.

Effekten som ble simulert fra fordrøyning i dam er gitt i Tabell 25. Tabellen er en sammenligning av antall skader uten klimafaktor som er oppgitt i Tabell 18 og antall skader som ble simulert etter at fordrøyning er innført.

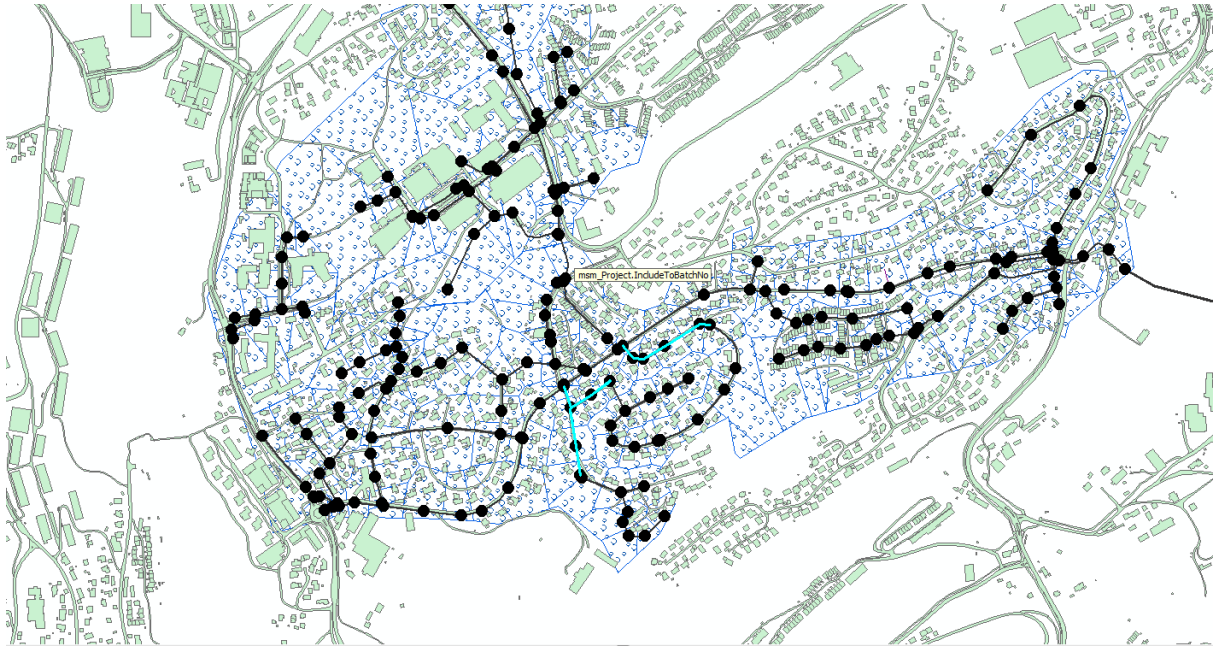
Tabell 25: Effekt av fordrøyningssasseng/dam ved forskjellige gjentakintervall modellert uten klimafaktor.

GJ. Intervall [år]:	Uten klimatiltak:	Med tiltak: Fordrøyningssasseng:	Potensielle kjelleroversvømmelser redusert:
5	5,5	4,5	5,5 (100%)
10	11,5	11,5	10,5 (91%)
20	17	17	16 (94%)
50	24	24	13 (54%)

Det var veldig liten reduksjon av private skader ved implementering av dam. Det er bare en liten reduksjon i antall kjellerskader for 5-årsregn uten klimatillegg, for de andre regnene er det ingen forbedring i forhold til simuleringen uten tiltak. Det blir derfor ikke presentert mer resultater fra simuleringen med fordrøyningstiltak. Drøftingen av manglende resultater blir gjort kapittel 4.1.1.

3.9.5 Utviding av flaskehals

Noen ganger kan tradisjonelle tiltak være det mest økonomisk gunstige. Dette gjelder spesielt i eksisterende infrastruktur som har klare svake punkter. Det ble derfor modellert effekten av å utvide enkelte risikostrekk. Dette ble gjennomført ved at ledningsdimensjonene endres i modellen, deretter analyseres effekten ved forskjellige regnintensiteter. De ledningsstrekene som ble utvidet i modellen er kun de strekkene som gir problemer ved regnhyppheteter nede i 5 år. Dimensjonene som ble valgt for oppdimensjoneringen ble bestemt ved å følge oppstrøms dimensjon og på den måten unngå flaskehals.



Figur 43: De turkise strekene er ledninger som blir oppdimensjonert.

Det var en tendens til at effekten av å oppdimensjonere ledningsnettets ved flaskehalsen minket med økt nedbør. Den største økningen i kjelleroversvømmelser skjedde ved 20-årsregn, dette er gitt i Tabell 26.

Tabell 26: Antall potensielle private skader, beregnet i modellen, med og uten klimafaktor på 1,5. Modellert med oppdimensjonering av ledningsnettets ved flaskehalsen.

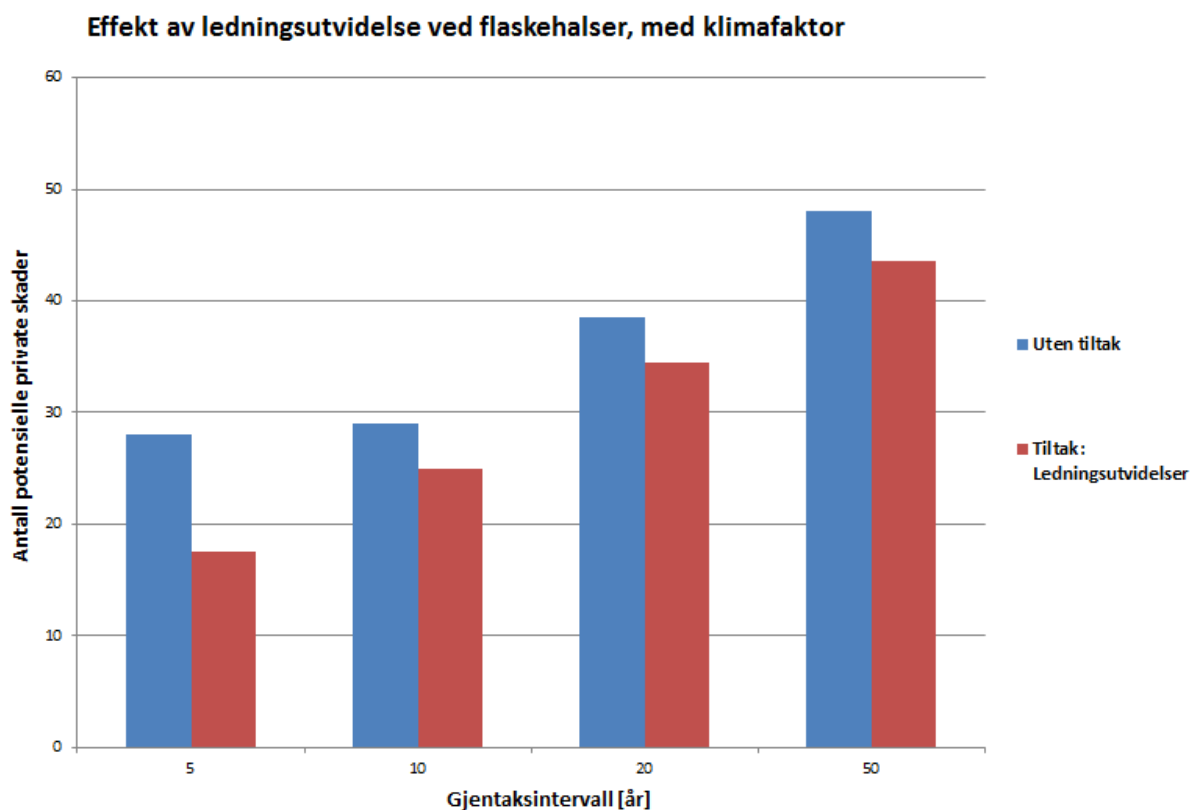
GJ. Intervall [år]:	Potensielle kjelleroversvømmelser, uten klimatillegg:	Potensielle kjelleroversvømmelser, med klimatillegg:	Økning i kjelleroversvømmelser:
5	0	17,5	17,5 (100%)
10	7	25	18 (357%)
20	7	34,5	27,5 (493%)
50	17,5	43,5	26 (249%)

Tabell 27 viser at effekten av å øke ledningsdimensjonene avtar med økning av gjentakintervallene. Tiltaket hadde god effekt for 5-årsregn, her reduseres potensielle kjelleroversvømmelser med 38%. Til sammenligning var det en reduksjon i antall potensielle kjelleroversvømmelser for et 50-årsregn med 9%.

Tabell 27: Viser antall potensielle private skader uten tiltak og ved å oppdimensjonere ledningsnett ved flaskehals. Modellert ved forskjellige gjentakintervaller med klimafaktor. Viser også antall reduserte potensielle private skader, numerisk og prosentvis.

GJ. Intervall [år]:	Uten klimatiltak:	Med tiltak: ledningsutvidelse:	Potensielle kjelleroversvømmelser reduisert:
5	28	17,5	10,5 (38%)
10	29	25	4 (14%)
20	38,5	34,5	4 (10%)
50	48	43,5	4,5 (9%)

Figur 44 viser at effekten av ledningsutvidelse minket ved økt regnintensitet når klimafaktoren ble inkludert. Figuren sammenligner andre og tredje kolonne i Tabell 27 ved de forskjellige gjentakintervallene.



Figur 44: Viser antall potensielle kjellerskader uten tiltak og ved ledningsutvidelser ved flaskehals. Modellert ved forskjellige gjentakintervaller, modellert med klimafaktor.

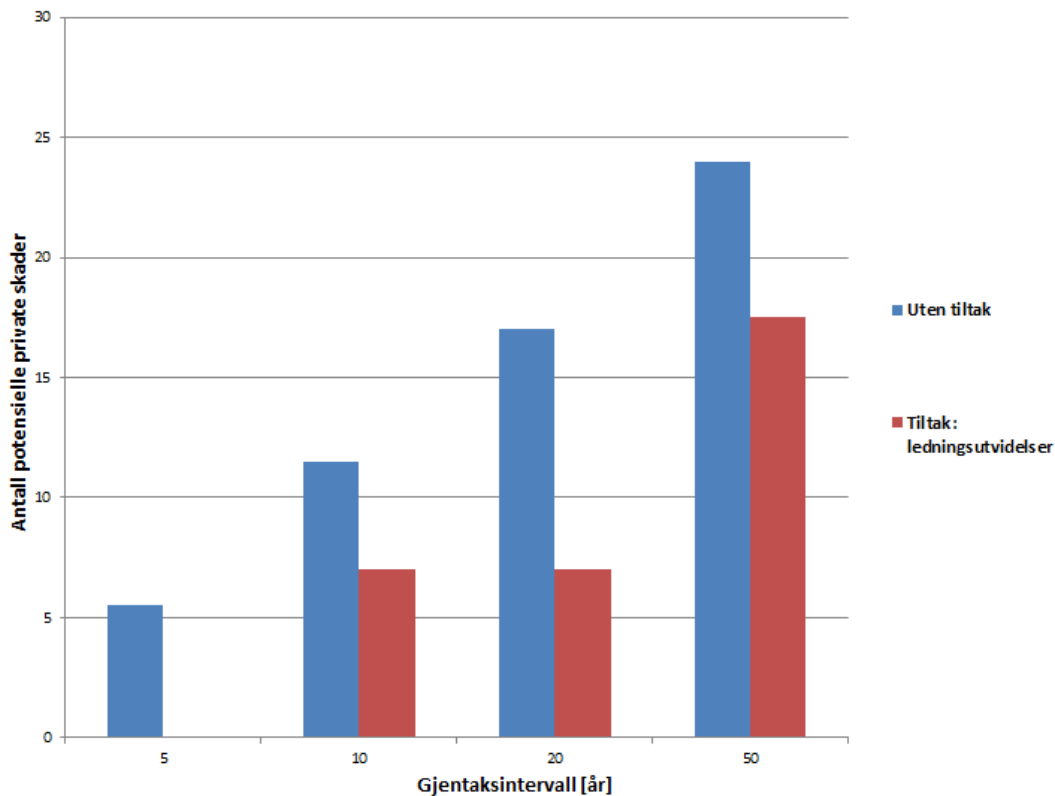
Tabell 28 viser at det var god reduksjon i potensielle skader ved å gjøre konvensjonelle tiltak som å oppdimensjonere ledningene når klimatillegget ikke ble innført. Ved 5-årsregn er det 100% reduksjon og ved 20-årsregn er det 59% reduksjon.

Tabell 28: Viser antall potensielle private skader uten tiltak og ved ledningsutvidelse ved flaskehals. Modellert ved forskjellige gjentaksintervallet uten klimafaktor. Viser også antall reduserte potensielle private skader, numerisk og prosentvis.

GJ. Intervall [år]:	Uten klimatiltak:	Med tiltak:	Potensielle
		Ledningsutvidelse:	kjelleroversvømmelser
			redusert:
5	5,5	0	5,5 (100%)
10	11,5	7	4,5 (39%)
20	17	7	10 (59%)
50	24	17,5	6,5 (27%)

Figur 45 viser at effekten av ledningsutvidelse stort sett var god når klimatillegg ikke ble inkludert. Figuren sammenligner andre og tredje kolonne i Tabell 28 ved de forskjellige gjentaksintervallene.

Effekt av ledningsutvidelse ved flaskehals, uten klimafaktor



Figur 45: Viser antall potensielle kjelleroversvømmelser både etter ledningsutvidelse ved flaskehals og uten klimatiltak for de forskjellige gjentaksintervallene, modellert uten klimafaktor.

3.9.6 Sammenligning av tiltakene

I dette kapittelet sammenlignes resultatene fra de forskjellige simulerte tiltakene. Tabell 29 sammenligner antall estimerte skader som oppstod ved de forskjellige simulerte tiltakene, beregnet uten klimafaktor. Det er også sammenlignet mot antall skader som ble simulert uten å gjennomføre noen tiltak.

Tabell 29: Sammenligning av modellerte tiltak ved forskjellige regnhendelser. Her vises antall estimerte skader ved forskjellige modellerte tiltak. Modellert uten klimatillegg.

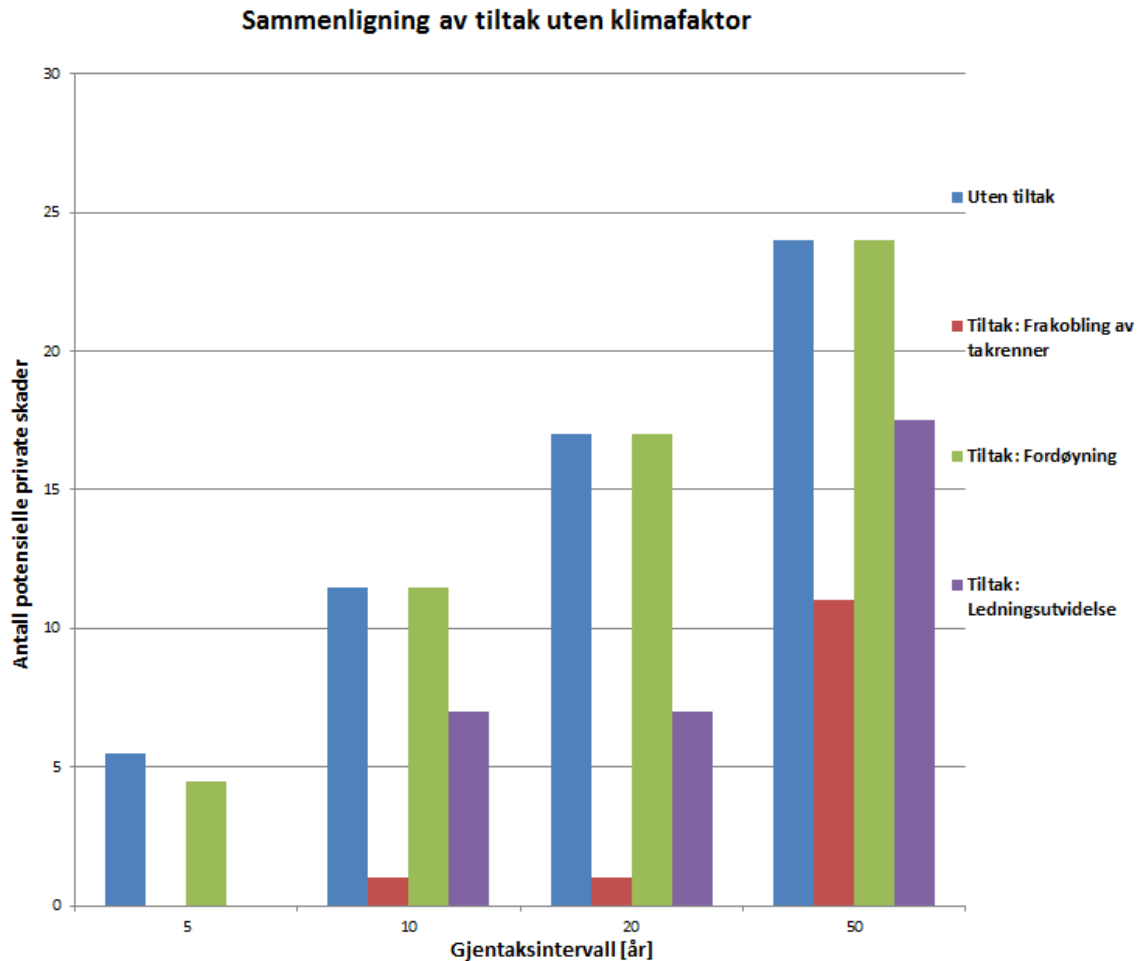
GJ. Intervall [år]:	Ingen tiltak:	Fordrøyning:	Ledningsutvidelse ved flaskehals:	Frakopling av takareal:
5	5,5	4,5	0	0
10	11,5	11,5	7	1
20	17	17	7	1
50	24	24	17,5	11

Tabell 30 sammenligner antall estimerte skader som oppstod ved de forskjellige simulerte tiltakene og uten gjennomført tiltak når klimafaktoren ble inkludert. Forskjellen mellom effekten av tiltakene var størst ved lave gjentaksintervaller og minsker med høye gjentaksintervaller.

Tabell 30: Sammenligning av modellerte tiltak ved forskjellige regnhendelser. Her vises antall estimerte skader modellert ved forskjellige tiltak.. Modellert [med klimatillegg](#).

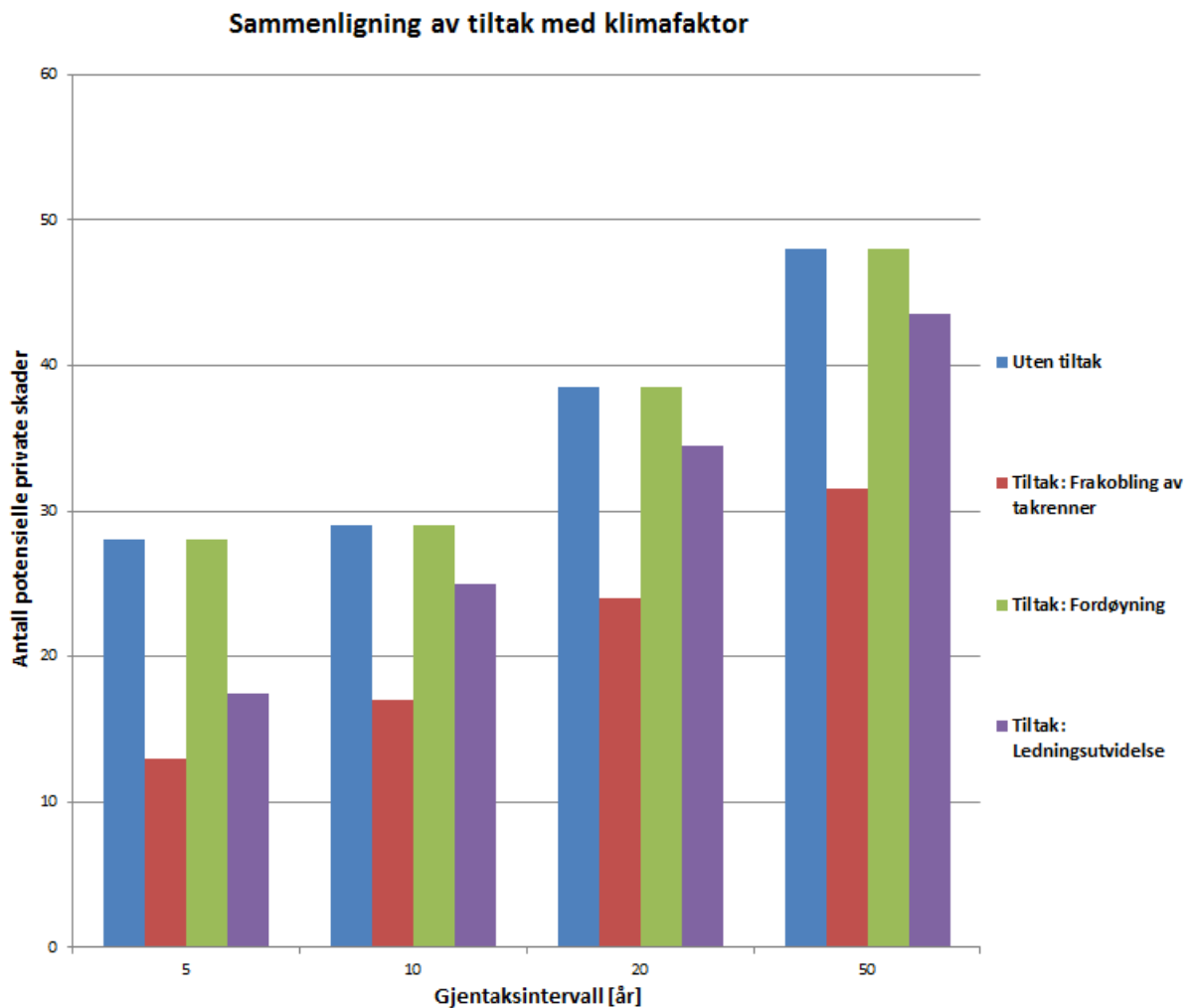
GJ. Intervall [år]:	Ingen tiltak:	Fordrøyning:	Ledningsutvidelse ved flaskehals:	Frakopling av takareal:
5	28	28	17,5	13
10	29	29	25	17
20	38,5	38,5	34,5	24
50	48	48	43,5	31,5

Tabell 29 ble benyttet som grunnlag for å konstruere Figur 46. Figuren sammenligner antall potensielle private skader som ble estimert ved de forskjellige simulasjonsscenarioene, når det ikke ble benyttet klimafaktor. Det var frakobling av takarealer som oppnådde minst skader ved samtlige gjentakintervaller.



Figur 46: Sammenligning av modellerte tiltak ved forskjellige regnhendelser. Her vises antall estimerte skader modellert ved forskjellige tiltak. Modellert uten klimatillegg.

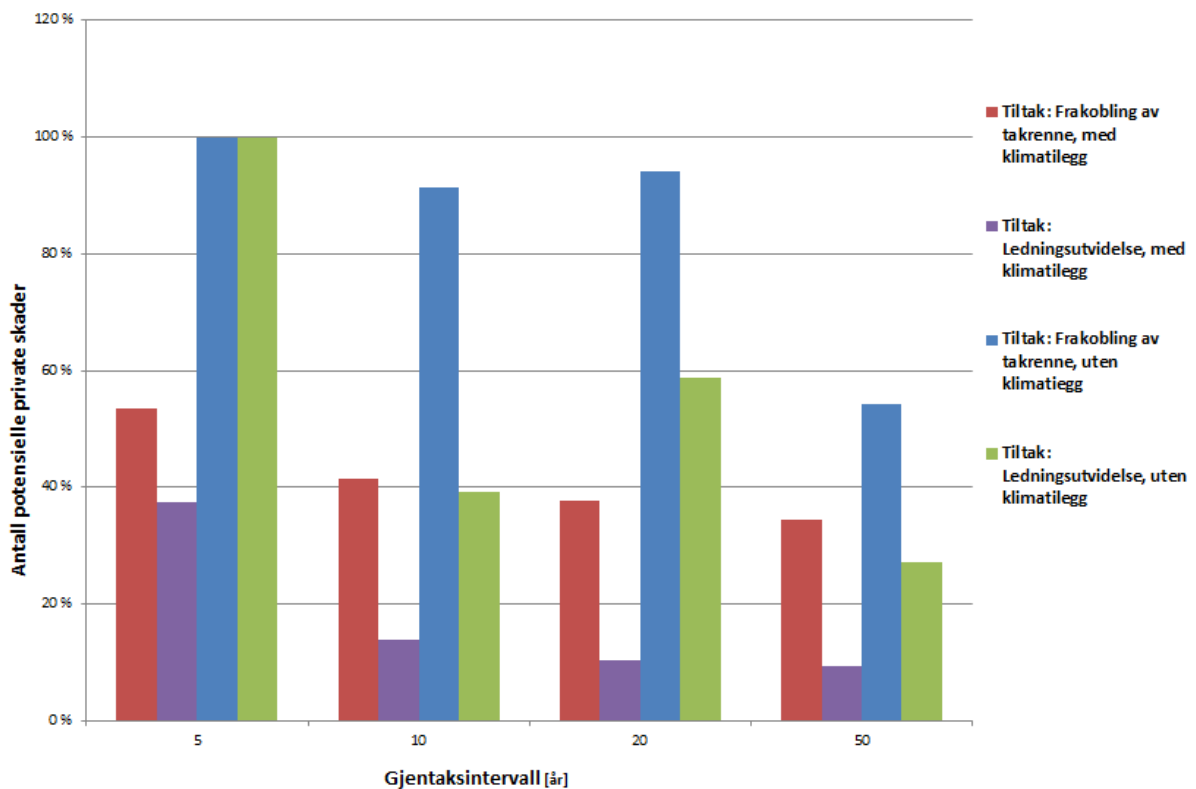
Tabell 30 ble benyttet for å lage Figur 47. Figuren sammenligner antall potensielle private skader som ble estimert ved de forskjellige simulasjonsscenarioene, når klimafaktor ble benyttet. Som Figur 47 viser er det en viss differanse i antall estimerte skader som oppstår ved de forskjellige simulerte situasjonene. Simuleringene antyder at det mest effektive tiltaket var frakobling av takareal, når klimafaktoren er inkludert.



Figur 47: Sammenligning av modellerte tiltak ved forskjellige regnhendelser. Her vises antall estimerte skader modellert ved forskjellige tiltak. Modellert med klimatillegg.

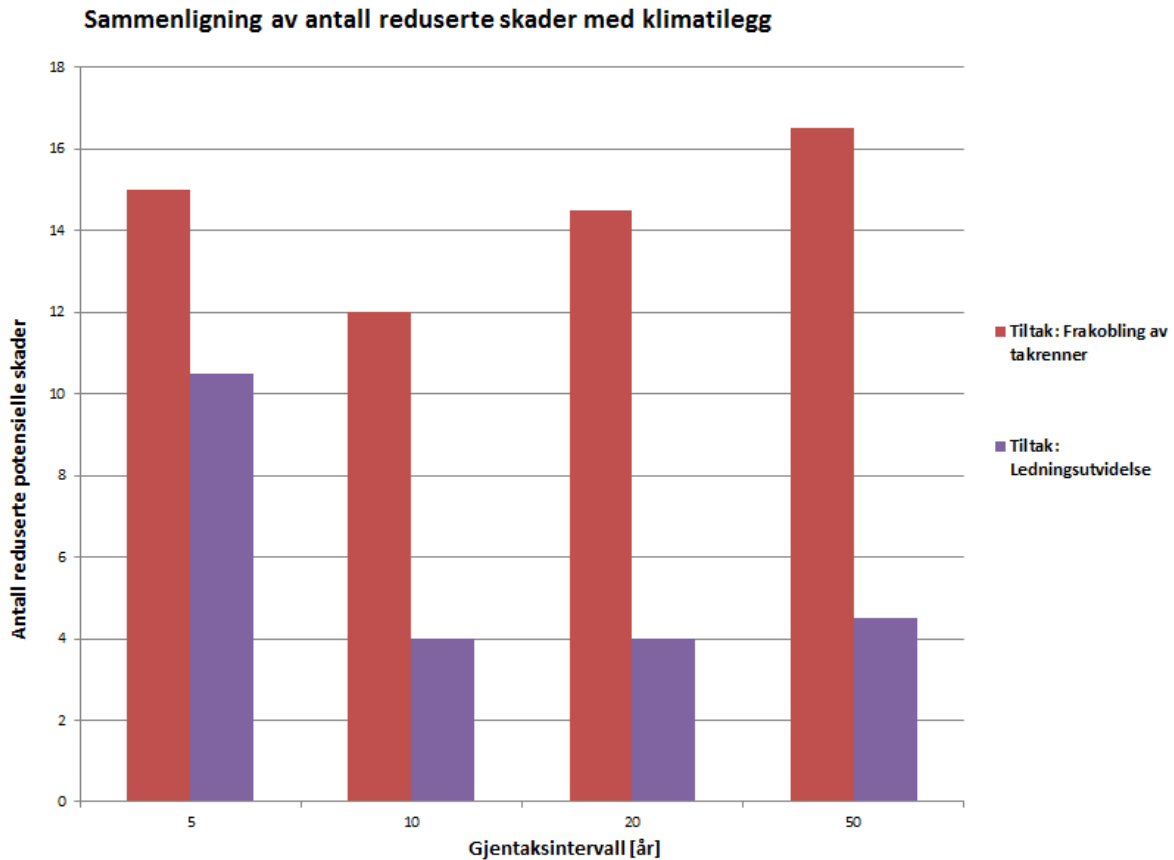
Figur 48 illustrerer den store forskjell det var på hvor god effekt de forskjellige tiltakene hadde. Det var også stor forskjell på hvor effektive tiltakene var avhengig av om de ble simulert med klimatillegg eller ikke. Dette kommer tydelig frem for ledningsutvidelse, men var også en klar tendens for frakobling av takareal.

Sammenligning av prosentvis reduksjon for antall skader med de forskjellige tiltakene, med og uten klimatillegg



Figur 48: Prosentvis reduksjon av estimerte skader ved forskjellige tiltak. Her vises tiltakene frakobling av takrenne og ledningsutvidelse, både med klimatillegg og uten.

Figur 49 sammenligner frakobling av takareal og oppdimensjonering av rørdiameter ved flaskehals. Figuren viser at ved å redusere takareal som er påkoblet ledningsnettets reduseres de estimerte skadene betydelig i forhold til det som er oppnåelig ved å utvide rørdiameter i flaskehals. Reduksjonen av skader var størst ved lave gjentakintervaller.



Figur 49: Viser antall reduserte skader ved tiltakene frakobling av takrenner og ledningsutvidelse.

3.10 Økonomisk analyse

Formålet med den økonomiske analysen var å vurdere hvor stor grad de forskjellige tiltakene var lønnsomme med tanke på kostnad i forhold til nytte (i form av besparing fra skadeomfang). Det ble derfor gjort en kost-nytte analyse av tiltakene på et samfunnsøkonomisk nivå. For at tiltakene skulle være økonomisk forsvarlig, må kostnadene for tiltakene være mindre enn de forventete skadekostnadene som oppsto uten tiltak.

3.10.1 Metode

Finansdepartementets veileder beskriver tre metoder for konsekvensutredning av tiltak. Dette er tiltak i form av investeringer, regelverksendringer osv. Dette kan være et veiprojekt, vaksineprogram eller overvannstiltak. Samfunnsøkonomiske analyser er veldig like bedriftsøkonomiske kalkyler, men den vesentlige forskjellen er at samfunnsøkonomiske modeller ønsker å fange opp et tiltaks virkning på hele samfunnet (Lier-Hansen et al. 2013). De tre ulike forskjellige samfunnsøkonomiske metodene for analyse er (Finansdepartementet 2014):

- **Nytte-kostnadsanalyse:** Som gir en systematisk kartlegging av fordeler og ulemper ved en bestemt type tiltak. Nytte- og kost verdsettes i kr så godt det lar seg gjøre.
- **Kostnadseffektiviseringsanalyse:** En systematisk verdsetting av kostnadene ved ulike alternative tiltak som kan oppnå samme mål. Kostnadene verdsettes i kr, og målet er å fastslå den metoden med minst kostnad som kan gi et ønsket mål.
- **Kostnads-virkningsanalyse:** En kartlegging av kostnader for ulike tiltak rettet mot samme problem, men med ulike grad av effekt. Det skal ikke gå automatikk i å velge det tiltaket med lavest kostnader.

Det ble i denne oppgaven benyttet nytte kostnadsanalyse for hvert enkelt tiltak og en kostnads-virkningsanalyse for samtlige tiltak til slutt.

Fra den tekniske analysen ble skadene kvantifisert over en periode på 100 år. Regnhendelsene ble bestemt ved hjelp av en statistisk metode, noe som førte med seg usikkerhet. Hver regnhendelse er uavhengig av hverandre og kan opptre når som helst igjennom perioden, det er med andre ord umulig å si noe om når de forskjellige regnene opptre (Løvås 2013). Dette betyr at det også er umulig å si noe om når de forskjellige kostnadene fra regnhendelse vill

opptre. Det ble derfor gjort en antagelse om at kostnadene som følge av skader fra regnhendelser, ble fordelt uniformt over en periode på 100 år.

Nåverdimetoden benyttes for at det skal være mulig å sammenligne og summere skadekostnader som påløper ved forskjellige år. Hensikten med nåverdimetoden er å omregne den årlige nytte og kostnadsvirkningene til en nåverdi, slik at inflasjon blir tatt hensyn til. Dette gjøres ved at nytten av et tiltak blir beregnet med en diskonteringsats for fremtidig effekter. Konsekvensen av dette er at virkningene teller mindre, dess lengre frem i tid (Finansdepartementet 2014). Diskonteringsrenten for samfunnsøkonomisk analyse er anbefalt å sette lavere, dess lengre periode som analyseres (Direktoratet for økonomistyring 2014). Diskonteringsrenten i denne oppgaven er bestemt til 3,5%, denne renten kan tolkes som et avkastningskrav. Grunnlaget for denne renten er en drøfting av den gjennomsnittlige renten på lånemarkedet, forventet beste avkastning på andre investeringsalternativet, prosjektets risikograd og infiltrasjonstakten i samfunnet (Bengtsson 2013). Når nåverdi beregnes for samfunnsøkonomisk nytte er det i prinsippet ikke noe ønske om avkastning, men et ønske om å unngå tap. Diskonteringsrenten kan derfor settes litt lavere, og det er derfor Direktoratet for økonomistyring anbefaler en veldig lav rente. Dagens lånerenter er på om lag 2,1%, derfor kan diskonteringsrenten settes lavt. Det er lagt på et godt tillegg på grunn av usikkerheter i oljenæringen og den påfølgende usikkerheten i norsk næring. Nåverdimetoden er gitt med Formel 17:

$$NNV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{K}{(1+r)^t}$$

Formel 17: Ligning for nettonåverdi

Tabell 31: Symbolforklaring til nåverdimetoden.

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
NNV	kr	Nettonåverdi.
<i>K</i>	år	Prosjektoverskudd. Overskudd etter 100-årsperioden, universalt fordelt per år, gitt fra kostnadene ved tiltakene minus besparing ved å unngå skader hvis utgiftene ble plassert i år 0.
<i>I</i> ₀	kr	investeringsutgift som påløper i år 0 (referanseåret).
<i>r</i>	Enhetsløs	Diskonteringsrente.
<i>t</i>	år	Tid fra referanseåret.

Tiltaket vurderer på bakgrunn av to mulige utfall (Direktoratet for økonomistyring 2014):

- $NNV > 0$: Tiltaket er beregnet som samfunnsøkonomisk lønnsomt.
- $NNV < 0$: Tiltaket er ikke beregnet som samfunnsøkonomisk lønnsomt.
- $NNV = 0$: Tiltaket er ikke lønnsomt, men det er ikke noe tap. Diskonteringsrenten på dette tidspunktet kalles internrenten.

Detaljerte beregninger for nåverdien for de forskjellige tiltakene er gitt i vedlegg G.

3.10.2 Beregning av tiltakskostnader

Det var heftet store usikkerheter rundt estimering av kostnadene knyttet til tiltakene. Kostnadene for tiltakene ble bestemt fra en mengde lokale forhold og det var derfor vanskelig å bestemme generelle kostnader. Kostnadene benyttet i oppgaven ble hentet fra en undersøkelse gjort av Vista Analyse og er kun ment som veiledende. Estimerte kostnader for oppdimensjonering av ledningsnett ved utblokking og graving ble gjort mer detaljert enn vist i Tabell 32, for å få mer nøyaktige tall.

Tabell 32: Viser kostnader for tradisjonelle tiltak. Dette er kostnader som ikke egentlig kan benyttes, da kostnaden er avhengig av stedlige masser og urbaniseringsgrad i tillegg til en rekke andre faktorer (Magnussen et al. 2015).

Overvannstiltak:	Investeringskostnad:	Driftskostnad:	Levetid:
Oppdimensjonering av eksisterende overvannsledninger	3000-10 000 kr/m	85 kr/m/år	100 år
Overvannsdam	1300 kr/m ²	35 kr/m ²	40 år
Frakobling av takrenner	Lav	Lav	100 år

I tillegg til Tabell 32 ble det benyttet kostnadsoverslag fra et lignende prosjekt gjort i Asker. Disse overslagene er presentert i Tabell 33 og Tabell 34 (Lunde et al. 2015). Tabell 33 gir en oversikt over kostnadsestimeringen som følge av ledningsutvidelse med utblokking.

Tabell 33: Generelle priser for ledningsutvidelse med utblokking, enhetsprisene er hentet fra nærliggende prosjekt i Asker (Lunde et al. 2015).

Kostnadsgruppe:	Enhet:	Enhetspris:	Antall:	Totalpris [Kr]:
Etablering, drift og avvikling	%	10	-	-
Forundersøkelse/forarbeid/etterarbeid	kr/m	700	492 m	344 400
Innføring av 225 mm ledning	kr/m	2000	492 m	984 000
Innføringsgrop	stk	90 000	2 stk	180 000
Mottaksgrop	stk	60 000	2 stk	120 000
Oppgraving stikk utenom vei	RS	20 000	0	0
Oppgraving stikk i vei	RS	30 000	9	270 000
Totalt				2 088 240
Pris per meter				4244,4

Tabell 34 gir en oversikt over kostnadene som oppstår hvis det skal graves opp og legge nye rør for å oppdimensjonere flaskehalsene.

Tabell 34: Generelle priser for ledningsutvidelse med graving, enhetsprisene er hentet fra nærliggende prosjekt i Asker (Lunde et al. 2015).

Kostnadsgruppe:	Enhet:	Enhetspris	Antall	Totalpris
		[Enhet]:	[m]:	[Kr]:
Etablering, drift og avvikling	%	10	-	-
Graving/sprenging	kr/m	2900 ¹⁹	492	1 426 800
Overvannsledning	kr/m	850	492	418 200
Omfilling/gjenfylling/fundament	kr/m	800	492	393 600
Overflatearbeid utenom vei	kr/m	200	492	98 400
Overflatearbeid veioppbygning	kr/m	2000	492	984 000
Totalt				3 653 100
Pris per meter				7425

3.10.3 Beregning av skadekostnader

Skadeomfanget i området kan i hovedsak deles inn i to grupper. Skader på offentlig eiendom og skader på privat eiendom. I følge VASK ble det utbetalt til 55 042 skader på privat eiendom i Norge mellom 2007 og 2014, dette tilsvarer et beløp på 2729 millioner norske kroner (Magnussen et al. 2015). Dette gir en gjennomsnittlig utbetaling på 49 580 kr per skade. I NOU2015:16 står det ”en typisk skade knyttet til inntrengning av vann eller kloakk i bolig eller næringsbygg ligger på mellom 50 000 til 150 000 kroner. Dessuten kan skadene også bli adskillig dyrere avhengig av innredning i kjelleren og følgeskader som behov for midlertidig utflytting, fuktangrep, lukt etc.” 49 580 kr per utbetaling blir derfor vurdert som konservativt. Det er derfor valgt å benytte 90 000 kr per kjellerskade. Denne summen er innenfor NOU2015:16 sine overslagstall og er heller ikke urealistisk med hensyn til gjennomsnittet fra VASK. Det er dette tallet som ble benyttet videre for å beregne skadeomkostningene for området i oppgaven. Skadene på offentlige utbetalinger ble estimert individuelt per hendelse. Skadene på barnehagene ble estimert likt som de private. Det blir i tillegg lagt til 10 000 kr på grunn av nedsatt drift under oppbyggingsperioden. Skadene til Bondi skole (unntaksvis ved frakobling av takrenner, da det ikke oppstår noe skade der)

¹⁹ Vedlegg XXX, valg kombinasjonsgrøft 3 meter.

Bleiker VGS og Risenga eldrehjem ble estimert som minimale for 50-årsregn uten klimatiltak og 5-årsregn med klimatillegg, så her ble skadene satt til 40 000 kr. For 10-, 20- og 50-årsregn med klimatillegg, ble skadene estimert til 200 000 kr.

Tabell 35: Kostnader og antall skader i analyseområdet ved de forskjellige regnintensiteter estimert uten tiltak. Kostnadene er gitt i norske kroner.

Gjentaksintervall (med klimatillegg):	Antall private skader:	Kostnader private skader:	Antall offentlige skader:	Kostnader offentlige skader:	Totale Kostnader:
5år	28	2 520 000	3	600 000	3 120 000
10år	29	2 610 000	3	600 000	3 210 000
20år	38,5	3 465 000	5	800 000	4 265 000
50år	48	4 320 000	5	800 000	5 120 000

Tabell 14 kan brukes videre som en oversikt over de akkumulerte kostnadene over en 100 årsperiode. Kostnadsestimeringen er en metodisk overdrivelse da den antok 50% klimatillegg hele perioden fra år 2016 til 2116. Siden det er så mye usikkerhet om hvor mye klimatillegget vil være om 100 år, så kan en overestimering i dag være en underestimering ved et senere tidspunkt. I tillegg til dette ble det benyttet regnstatistikk fra perioden 1983 til 2010 til å lage regnhyetogrammene. En statistikk som hadde bygget på 2006 til 2015, hadde mest sannsynlig gitt regnhyetogrammer med høyere intensitet. Det er derfor valgt å benytte 50% over hele perioden.

Tabell 36: Kostnadsestimering av akkumulerte skader de neste 100 årene i analyseområdet, hvis kostnadene skulle vært i dag.

Gjentaksintervall [år]:	Antall regnhendelser for gjeldene regnintervall:	Skadekostnader [kr]:
50	2	10 240 000
20	3	12 795 000
10	5	16 050 000
5	10	31 200 000
TOTALE KOSTNADER:		70 285 000

De totale kostnadene estimert i Tabell 36 må sammenlignes med kostnadene som oppsto etter at de forskjellige tiltakene ble simulert. Disse skadekostnadene presenteres i Tabell 37. Differansen mellom skadekostnadene uten tiltak og det respektive tiltaket, representerer maksimal investering.

Tabell 37 beregner skadekostnader på samme måte som det er gjort i Tabell 36 med opptelling av gjeldene regnhendelser for de forskjellige regnintervallene og ved å anta at kostnadene skjer i dag. Legg merke til at estimert skade er lik for med fordrøyningstiltaket og ved å ikke gjennomføre noe tiltak. Tabellen gir kostnadene i norske kroner.

Tabell 37: Skadekostnader ved forskjellige tiltak.

Gjentaksintervall [år]:	Skadekostnader uten tiltak og ved innført tiltak: Fordrøyning [NOK]:	Skadekostnader ved innført tiltak: Frakobling av takareal [NOK]:	Skadekostnader ved innført tiltak: Ledningsutvidelse ved flaskehals [NOK]:
50	10 240 000	7 270 000	9 430 000
20	12 795 000	8 880 000	11 715 000
10	16 050 000	10 650 000	14 250 000
5	31 200 000	13 700 000	21 750 000
Totale Kostnader:	70 285 000	40 500 000	57 145 000

Tabell 37 sammen med Tabell 36 viser at skadekostnadene med og uten fordrøyning er identiske. Bakgrunn for dette blir gjennomgått i diskusjonen i kapittel 4.1.1, men dette medfører at fordrøyning blir utelatt fra den videre økonomiske drøftingen.

3.11 Økonomisk drøfting av ledningsutvidelse ved flaskehalsler:

Det ble utvidet 492 meter med ledninger i analysen, se vedlegg C for detaljer. Tabell 32 viser kostnader knyttet til tiltakene. Hvis prosjektoverskuddet fordeles (redusert kostnader ved å forhindre vannskader som følge av overvann) uniformt utover de fremtidige hundre årene, da kan nåverdimetoden benyttes for å beregne lønnsomhetsgraden. Resultatet er gitt i Tabell 38 og Tabell 39.

$$K = (\text{Kostnadsreduksjon ved å unngå skader}) - (\text{dritskostnadene ved tiltak})$$

$$K = \frac{(\text{Skadekost uten tiltak} - \text{skadekost med tiltak})kr}{\text{perioden i år}} - \text{driftskostnadene}$$
$$K = \frac{(70\,285\,000 - 40\,500\,000)kr}{100 \text{ år}} - 12 \text{ måneder} * 85 \frac{kr}{\text{måned} * \text{år}} = 130\,380 \text{ kr}$$

Formel 18: Beregning av prosjektoverskudd (K)

3.11.1 Ledningsutvidelse med graving:

Med valgt rente på 3,5% ble lønnsomheten veldig lav. Det ble derfor beregnet maksimal rente før lønnsomheten (internrente) for tiltaket når nåverdien er lik null. Ettersom det er så liten differanse mellom disse to rentene (bare 0,09%²⁰, da er beregnet NNV med valgt rente veldig lav), kan det risikeres at tiltaket ikke er lønnsomt. Det ble ikke vurdert usikkerhet for diskonteringsrenten, men ved så små marginer, er dette noe som bør vurderes ved videre beslutning.

Tabell 38: Resultat og parametervalgene fra nåverdimetoden benyttet på følgende tiltak: utvidelse av ledningsdimensjoner ved flaskehalsler, ved å grave opp og legge nye ledninger.

I ₀	r	K	NNV [NOK]
3 653 100	0,035	130 380	78 814
3 653 100	0,03588242	130 380	≈0
3 653 100	0,05	130 380	-935 941

²⁰ 3,5% - 3,588242% ≈ 0,09%

3.11.2 Ledningsutvidelse med utblokking:

Beregningen gjort på samme måte som for graving, men Tabell 33 legges til grunne for å beregne I_0 . Resultatet for beregningene er gitt i Tabell 39.

Tabell 39: Resultat og parametervalgene fra nåverdimetoden benyttet på følgende tiltak: utvidelse av ledningsdimensjoner ved flaskehals, ved utblokking.

I_0	r	K	NNV [NOK]
2 088 245	0,035	130 380	1 643 670
2 088 245	0,06647915	130 380	≈0
2 088 245	0,05	130 380	628 914,25

Med valgt rente på 3,5% ble lønnsomheten ved å utvide ledningsnettet ved flaskehals god. NNV ble beregnet som så høy at usikkerhetene i renten ikke vil være en bekymring. Internrenten her er på 6,6% og dette er så høyt at det blir vurdert som urealistisk.

3.12 Økonomisk drøfting for frakobling av takareal

Frakobling av takareal er ikke en kostnad på kommunalt nivå. Dessuten er den tekniske kostnaden for å gjøre dette minimal. Grunnen til dette er at tomter i området er regulert med krav til ubebygde areal, som da er tilgjengelig for stedlig infiltrasjon. På bakgrunn av dette, ble $I_0=0$ ved beregning av nåverdi av tiltaket. Resten av utregningene ble utført med lik metodikk som beregningene gjort i kapittel 3.11. Netto nåverdi beregnet med diskonteringsrente satt til 3,5% ble i dette tilfellet mye høyere. Det er derfor sikkert å si at med dette tiltaket er det sikret økonomisk lønnsomhet, selv om diskonteringsrenten stiger. For å underbygge dette, ble netto nåverdi også beregnet med diskonteringsrente på 10%. Det er med andre ord sikret gevinst uansett, usikkerheten ligger i hvor stor gevinsten er. Det ble ikke beregnet noen internrente. Når tiltaket ikke har kostnader så vil $NNV=0$ være en matematisk umulighet, det vil derfor ikke være mulig å oppnå en internrente.

Tabell 40: Resultat og parametervalgene fra nåverdimetoden, benyttet på tiltak: frakobling av takareal.

I_0	r	K	NNV [NOK]
0	0,035	297 850	8 525 469
0	0,05	297 850	6 207 285
0	0,1	297 850	3 276 112

3.13 Økonomisk sammenligning av tiltakene:

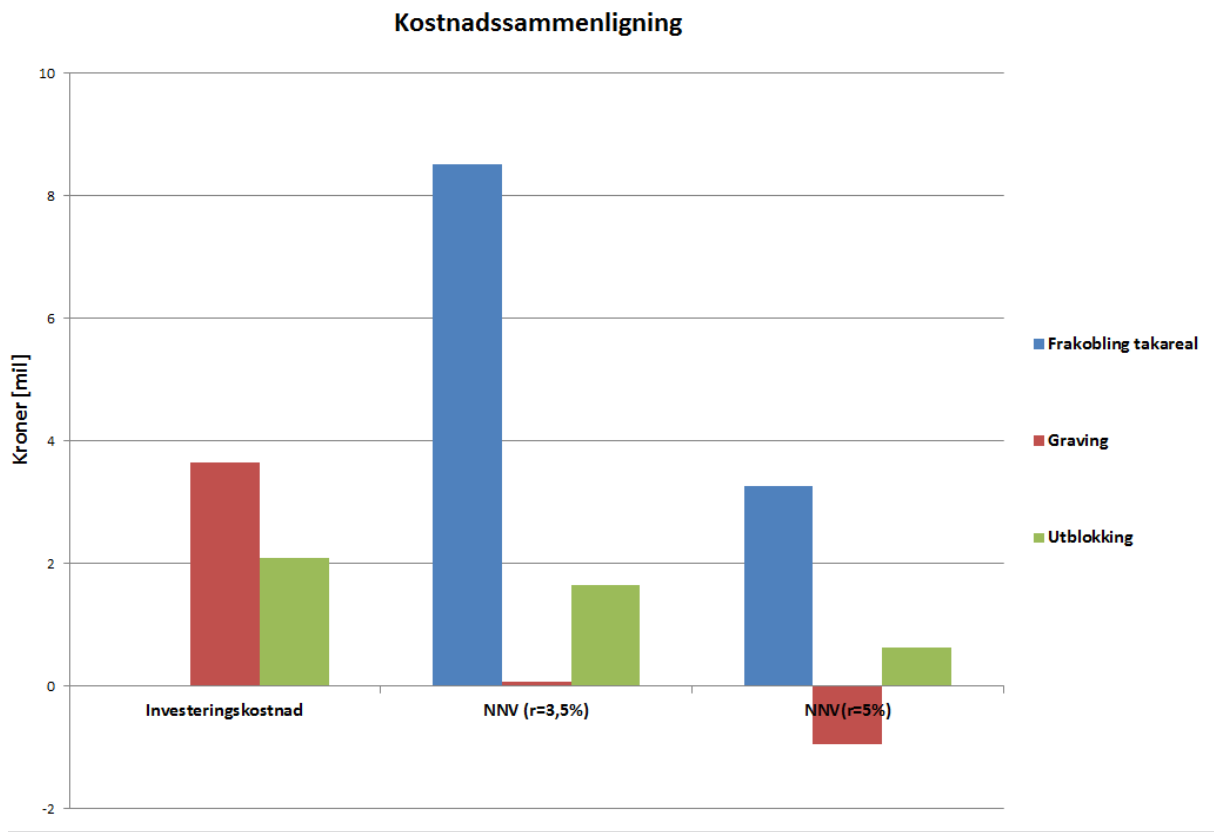
Konklusjonen fra nåverdimetoden var at det mest lønnsomme tiltaket ble frakobling av takareal. Netto nåverdi med diskonteringsrente lik 3,5% (NNV_{3,5}) for frakobling av takareal ble omtrent 108,2 ganger større en netto nåverdi for utvidelse av ledninger ved flaskehalser dersom utvidelsen ble utført med graving. Hvis ledningsutvidelsen ble gjennomført ved utblokking ville denne faktoren gå ned til 5,2. Det var med andre ord mye mer gunstig å gjøre rehabilitering med utblokking, fordi dagens kostnad gikk kraftig ned. Frakobling av takareal ble veldig lønnsomt fordi investeringskostnaden var neglisjerbar i tillegg til et fravær av vedlikeholdskostnader.

Tabell 41 viser nettonåverdi når diskonteringsrenten er 3,5% og 5%. Tabellen sammenligner investeringskostnadene mot de forskjellige nåverdiene for utvidelse av ledningsdiameter ved graving og utblokking og frakobling av takareal.

Tabell 41: Økonomisk sammenligning av tiltakene.

Tiltakstype:	Investeringskostnad	NNV (r=3,5%)	NNV (r=5%)
	[NOK]:	[NOK]:	[NOK]:
Frakobling av takareal	0	8 525 469	3 276 112
Utvidelse av ledningsdiameter med graving	3 653 100	78 814	-935 941
Utvidelse av ledningsdiameter med utblokking	2 088 245	1 643 670	628 914

Tabell 41 er utgangspunktet for Figur 50, Figuren sammenligner netto nåverdi med diskonteringsrente lik 3,5% og 5%, sammen med investeringskostnadene for de forskjellige tiltakene. De store forskjellene i $NNV_{3,5}$ beskrevet i forrige avsnitt illustreres tydelig i Figur 50. Figuren illustrerer også de tapene som kan forekomme hvis ledningsnettet ble oppdimensjonerer ved graving og diskonteringsrenten stiger til 5%.



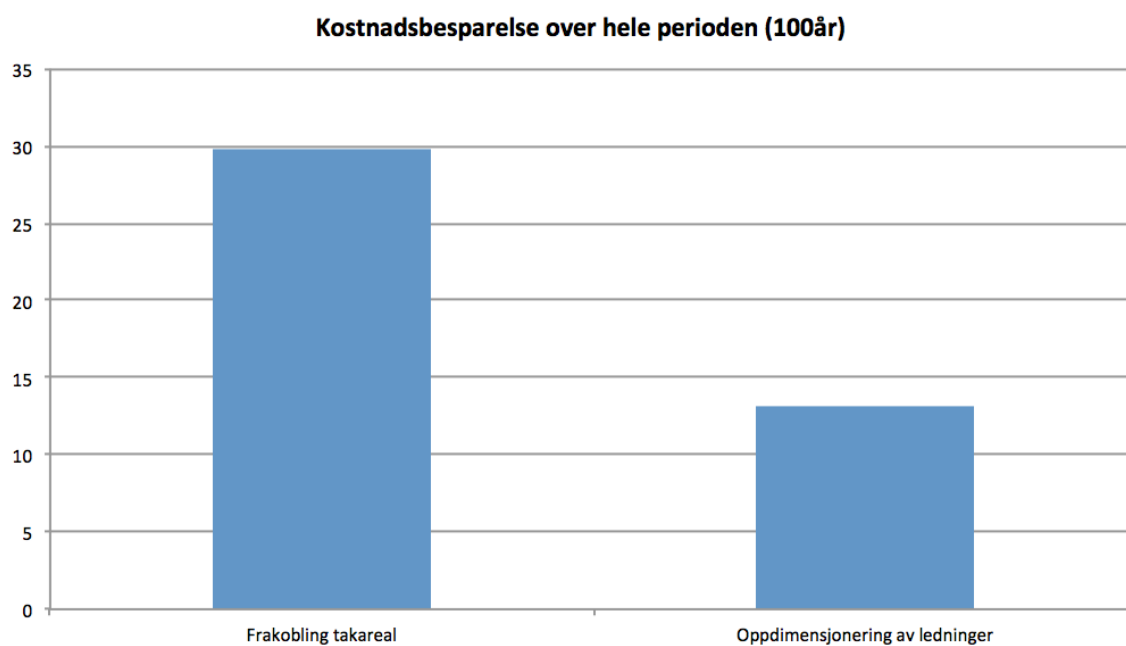
Figur 50: Økonomisk sammenligning av tiltakene.

I Tabell 42 sammenlignes skadebesparelsene ved de to forskjellige tiltakene. Skaderesultatet ble beregnet ved å subtrahere skadekostnadene med tiltak fra skadekostnadene uten tiltak gitt i Tabell 37.

Tabell 42: Differansen mellom skadekostnadene uten tiltak og skadekostnadene ved de forskjellige tiltakene, gitt i norske kroner. Kostnadene er tatt med utgangspunkt i skadeestimeringen fra modellen med klimatillegg.

	Skade kostnad uten tiltak - Tiltak: frakobling av takarealer:	Skade kostnad uten tiltak - Tiltak: Utvidet rør:
Bespart skadekostnad:	29 785 000	13 140 000

Tabell 42 er utgangspunktet for Figur 51. Figuren sammenligner redusert skadekostnad, som var mulig å oppnå med de forskjellige tiltakene. Kostnadene er tatt med utgangspunkt i skadeestimeringen fra modellen med klimatillegg.



Figur 51: Illustrasjon av differansen mellom skadekostnadene uten tiltak og skadekostnadene ved de forskjellige tiltakene, gitt i million norske kroner.

4 Drøfting av resultatene

Hensikten med dette kapittelet er å drøfte resultatene som ble fremlagt i den hydrauliske analysen. Resultatene som drøftes, er fra en første generasjons modell og bygger på mangelfull informasjon. Det er mange høyder og lengder som ikke nødvendigvis er riktig og det er derfor festet stor usikkerhet til resultatene som ble fremlagt.

4.1 Diskusjon rundt modellresultatene

Modellresultatene som ble presentert i kapittel 3.9 blir diskutert i dette kapittelet.

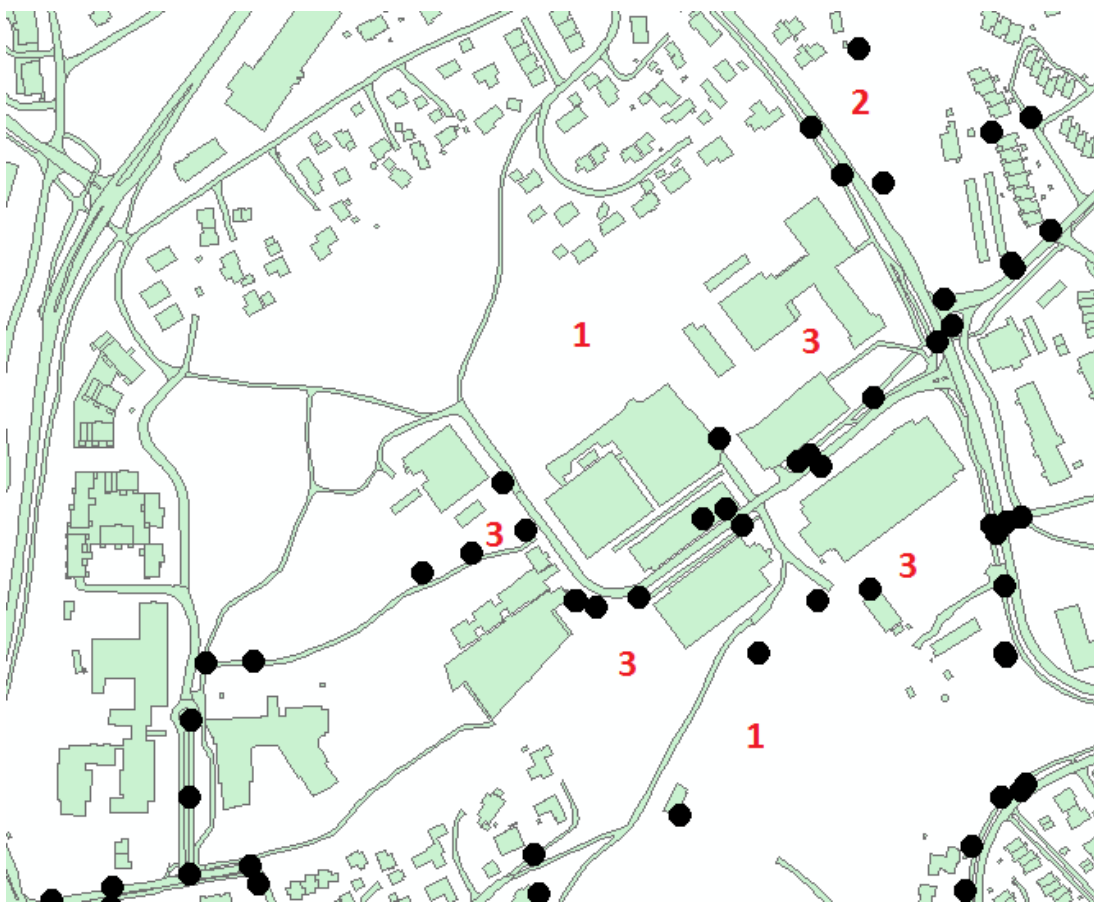
4.1.1 Fordrøyning i det offentlige området:

Den store overraskelsen fra modellresultatene var den dårlige effekten fra fordrøyningen av de offentlige arealene. En av grunnene til dette kan være avvik mellom modellen og virkeligheten. Andel permeable flater estimert i modellen, ble beregnet fra andel bygninger og veier. En sammenligning mellom modellen og satellittbilder, kan fremheve noen forskjeller.



Figur 52: Ortofoto av den offentlige delen av analyseområdet (Google 2016).

Figur 52 viser et ortofoto av de offentlige arealene i analyseområdet. De relevante områdene er markert med tall som skal belyse problemene. Disse tallene er plassert på et bilde av samme område i modellen, i Figur 53. I modellen var det ikke inkludert kunstgressbane og kunstisbane (markert som 1 i Figur 52 og Figur 53), eller de utvendige tennisbanene (markert som 2 i Figur 52 og Figur 53). I tillegg til dette var det heller ikke inkludert en del parkeringsplasser, skolegårder og betongfylte åpne plasser (markert som 3 i Figur 52 og Figur 53). Dette er store mengder avrenning, som skulle vært med å bidra til den totale vannføringen. Dette arealet tilsvarer omtrent $43\,497\text{ m}^2$ (4,3 ha), det totale arealet er $1,87\text{ km}^2$. Dette betyr at det ble utelatt impermeable flater som tilsvarer omtrent 2% av det totale analyseområdet. Med 10 mm regn, og med de forutsetningene som ble presentert i kapittel 3.8.1 ville dette arealet gi $1,7\text{ m}^3$ med vann²¹. Det ville derfor gitt mer effekt med en fordrøyning i disse områdene om alle arealene hadde blitt inkludert i modellen.



Figur 53: Oversiktsbilde av de offentlige arealene i analyseområdet. Bildet er tatt fra modellen i MU. De røde tallene er plassert for å belyse forskjeller mellom modellen og realiteten.

²¹ Til sammenligning: Et 5-årsregn med klimafaktor gir omtrent 40 mm regn over en time.

Dersom disse flatene hadde blitt tegnet inn i modellen, måtte modellen kalibreres på nytt mot de målte vannføringene. Dette ville medført mindre tilførsel med vann fra de tette flatene (samme vannføring, fordelt på mer areal gir mindre avrenning per arealenhet). Dette medfører igjen at de impermeable flatene i de private områdene hadde bidratt mindre til total avrenning. Grunnen til dette er at størrelsen på det private arealet ville vært konstant, mens de offentlige arealene hadde blitt større. Dette hadde ført til at effekten av en fordrøyning i de offentlige områdene ville økt.

Manglene resultat kan også være feil metodikk i modelleringen. En alternativ fremgangsmåte for å simulere fordrøyningen kan være ved å sette inn en kum eller en ledning med et stort volum. En pumpe med gitte pumpeintervaller kan påmonteres slik at det blir mulig å styre utløpet etter behov, og på den måten simulere et fordrøyningsbasseng eller en dam. Effekt av å innføre de resterende tette flatene, illustreres matematisk:

Tabell 43: Symbolbeskrivelse for den matematiske fremstillingen av økt offentlige arealer.

Symbol:	Enhet:	Forklaring:
Q_{tot}	$\frac{m^3}{s}$	Total vannføring ut av feltet. Definert som: $Q_{tot} = Q_{off} + Q_{priv}$
Q_{off}	$\frac{m^3}{s}$	Vannføring ut fra offentlige arealer.
Q_{priv}	$\frac{m^3}{s}$	Vannføring fra private arealer.
A_{off}	m^2	Areal på det offentlige området som bidrar med vann til overvannsnettet. Definert som: $A_{off} = \phi * A_{tot_off}$
A_{priv}	m^2	Areal på det private området som bidrar med vann til overvannsnettet. Definert som: $A_{priv} = \phi * A_{tot_priv}$
ϕ	<i>enhetsløs</i>	Koeffisient som beskriver hvor stor andel av de tette flatene som bidrar med vann til overvannsnettet.
A_{tot_off}	m^2	Totalt areal med tette flater på det offentlige området.
A_{tot_priv}	m^2	Totalt areal med tette flater på det private området.
R	m	Regnmengder

Den totale vannføringen Q_{tot} er målt med vannføringsmåler. Den kan derfor matematisk behandles som en konstant.

$$Q_{tot} = Q_{off} + Q_{priv} = konstant$$

Formel 19: Formel for total målt vannføring ut av feltet gitt fra vannføring fra offentlig og privat felt

Vannføringen er beregnet fra arealene. R er nedbøren som faller over området, og behandles også som en konstant.

$$Q_{tot} = R * A_{off} + R * A_{priv} = konstant$$

Formel 20: Formel for totalt målt vannføring ut av feltet gitt fra regnhøyde og impermeabelt areal i offentlig og privat felt

For å beregne andel med tette flater som bidrar med vann til ledningsnettets innføres phi. Denne har gjennom oppgaven vært 40%, slik som diskutert i kapittel 3.8.1. Phi multipliseres med det totale arealet med tette flater på de forskjellige områdene.

$$Q_{tot} = R * \phi * A_{totoff} + R * \phi * A_{totpriv} = R * \phi * (A_{totoff} + A_{totpriv})$$

Formel 21: Formel for total målt vannføring ut av feltet gitt fra regnhøyde, andel tette flater som bidrar og impermeabelt areal i offentlige og private felt

Dividerer uttrykket på R, slik at konstant' = konstant/R og uttrykket ender opp som:

$$\phi * (A_{totoff} + A_{totpriv}) = konstant'$$

Formel 22: Uttrykk for målt total vannføring med parametere som kan endres

Når det offentlige arealene øker, må phi minkes og andelen offentlige arealer økes i forhold til andelen med private arealer.

4.1.2 Frakobling av takareal

Effekten av å koble av takareal var stor. Dette var som forventet, men effekten kan være overdrevet. Som diskutert i 4.1.1 er konsekvensen av inkludering av mer impermeabelt areal at takarealet bidrar med mindre vann til ledningsnettets. Denne effekten forsterkes ved at andelen påkoblet takareal er bestemt direkte fra kalibreringsprosessen. Derfor er det mye som tyder på at andelen med takareal som bidrar med vann til ledningsnettets i realiteten er

mindre. Dette betyr at potensielt takareal som kan fjernes er mindre enn det som ble modellert.

4.1.3 Utvidelse av ledningsstrekke ved flaskehals

Denne effekten ble mest sannsynlig modellert godt, men også her var det store begrensninger i modellen. Modellen har ikke tatt hensyn til gjengroing eller varierende kvalitet i rørene. Flaskehals som modellen opplever kan være strømperehabiliterede rør, som i realiteten er rør som har bedre hydraulisk belastningsgrad enn rørene før og etter det rehabiliterede rørstrekke. Det er derfor vanskelig å bestemme nødvendigheten oppdimensjoneringen utelukkende basert på modellen. Mike Urban gir små feil med hensyn til hydrauliske beregninger, men er avhengig av å bli matet riktig informasjon. Siden modellen er førstegenerasjon og basert direkte på data fra GeminiVA, kan noen av flaskehalsene som er oppdaget i modellen bare være feilinnført informasjon. Dette kan være feil i beskrivelse av dimensjon, plassering i felt eller høyder. Det er ikke gjort feltarbeid for å undersøke flaskehals, selv om noen av disse kan være et resultat av feil informasjon.

4.2 Videre arbeid:

Denne oppgaven er bygget rundt en modell som er veldig fersk. Den har derfor mange feil og mangler som gjør at den ikke kan beskrive realiteten med nok presisjon til at den kan benyttes til å modellere effekten av tiltak. Det er derfor nødvendig med vannføringsmålinger over lengre tid, slik at det er mulig å følge med på snøsmelting, flomperioder og intense sommerregn, såkalt konvektiv nedbør. Det er også hensiktsmessig å jobbe sammen med driftsavdelingen i kommunen og vurdere resultatene fortløpende. Kalibreringen som er blitt gjort i oppgaven er gjort mot en modell som mangler store impermeable areal i analyseområdet, dette har medført feil i kalibreringen. Det hadde derfor vært mer hensiktsmessig å gjøre en slik analyse når Asker kommune har jobbet for å optimalisere modellen. Asker kommune jobber i tillegg med å utvikle en modell for avrenning på overflaten i Mike flow, som de har ambisjoner for å sammenkoble med ledningsnettmodellen til en sammensatt modell. En tilsvarende oppgave som dette hadde vært mer hensiktsmessig om et par år, når modellen har ristet av seg de fleste barnesykdommene. En annen spennende videreutvikling av oppgaven kunne vært en økonomisk analyse med en den sammensatte modellen, noe som kunne gitt mer et realistisk bilde.

5 Konklusjon

Som nevnt i kapittel 1.1 så er målet med oppgaven å finne de beste løsningene for å håndtere klimaforandringene i Asker kommune. ”De beste løsningene” presentert i denne oppgaven er valgt på bakgrunn av faktorer som gir stor samfunnsøkonomisk nytte og best mulig hydraulisk effekt per krone for det valgte området. Det konkluderes med at det mest effektive tiltaket for analyseområdet i følge modellen er å infiltrere alt takareal lokalt. Det er vanskelig å si noe om hvor effektivt fordrøyning av de offentlige arealene vil være på grunn av unøyaktighet i modellen, men faglitteraturen indikerer mer effekt enn resultatet av oppgaven tilsier. Oppdimensjonering av ledningsnett ved flaskehals er ikke lønnsomt ved tradisjonell omlegging i form av graving. Hvis oppdimensjoneringen skjer ved utblokking vil det derimot være lønnsomt å oppdimensjonere.

Den økonomiske analysen ble gjort som beskrevet i *Veilederen for samfunnsøkonomiske analyser av Direktoratet for økonomistyring*. Kostnadene for de forskjellige ledningsutvidelsene ved flaskehals, ble estimert på bakgrunn av lignende prosjekter i Asker, men det kan fortsatt tenkes at det er store kostnader som er utelatt i kostnadsoverslaget. Det er mye som tyder på at de største usikkerhetene ikke ligger i kostnadene, men i estimeringen av antall skader. Analysen kan uansett benyttes for å vurdere tiltakenes lønnsomhet opp mot hverandre, men gir uklare svar fordi modellen ikke er tilstrekkelig utviklet enda. Dersom en slik analyse skal bli nøyaktig nok til å beregne samfunnsnytt og gi sikre sammenligninger mellom tiltakene, da må det være mer sikkerhet knyttet til antall skadehendelser, i tillegg til en modell som kommunen aktivt har forbedret mot målinger og ved praktisk bruk over tid.

6 Referanser

- Adamsen, T. (2016). *Muntlig konsultasjon om erstatningskrav som følge av vannskader* Asker kommune, teknisk avdeling.
- Arnbjerg-Nielsen, K., Sneftrup, H., Hansen, J. H., Olsen, D. B., Seidelin, C., Nielsen, T. & Kunnerup, T. (2007). Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse. *Miljøprosjekt*.
- Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A. & Zevenbergen, C. (2007). *Urban Flood Management*: Taylor & Francis.
- Asker. (2016). *Kartdata Asker*. Asker kommune database.
- Asker kommune. (2014a). *Kommuneplan 2014-2026*. <http://www.asker.kommune.no>: Vedtatt av Asker kommunestyre 18.november 2014.
- Asker kommune. (2014b). *Kommuneplanens arealdel 2014-26*. <http://www.asker.kommune.no>. https://www.asker.kommune.no/contentassets/3fceb5362e584206ace5b7c1321e83bf/kpl_arealplankart_vedtatt_18-11-2014.pdf: vedtatt av Asker kommunestyre 18.november 2014.
- Bekkum, I. (2012). Analyse av klimatilpasningstiltak - En casestudie av overvannsnett på Bogafjell i Sandnes kommune. *NMBU*.
- Bengtsson, J. (2013). *Investeringer*. Forelesning: Grunnleggende bedriftsøkonomi, NMBU.
- Bjørnstad, J. (2007). *Variansanalyse*. Store Norske Leksikon. <https://snl.no/variansanalyse>: SNL.
- Bjørnæs, C. (2015). A guide to RCP. *Cicero*.
- Braskerud, B. C., Paus, K. H. & Ekle, A. (2013). Anlegging av regnbed. *NVE rapport nr 3-2013*, Norges Vassdrag- og energidirektorat.
- Braskerud, B. C. (2016). *En by som tåler vann - i store mengder*. Klimatilpassing - overvann, Miljødirektoratet: Fylkesmannen Oslo og Akershus.
- Brattebø, H. (2013). Komentium: TVM4101 BM2 Vann- og miljøteknikk. *NTNU*.
- Brokhaug, F. (2016). *Flom og kartlegging. Erfaringer fra Nedre Eiker*. Klimatilpassing - overvann, Miljøverndepartementet: Fylkesmannen i Oslo og Akershus.

- Butler, D. & Davies, J. W. (2011). *Urban Drainage*, b. 3: Taylor & Francies Group.
- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O., Noreide, T., Semb, T., Skretteberg, R. & Markhus, E. (1997). *Anvendt urbanhydrologi. NVE*.
- Davidson, O., Davis, G., Grubler, A., Kram, T., Rovere, E. L. I., Metz, B., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Sankovski, A., et al. (2000). *Special report on emissions scenarios. IPCC*.
- Deggerdal, G. (2016a). *Bilder til masteroppgaven: Possum. Bilder som er tatt ved feltundersøkelser s.*
- Deggerdal, G. (2016b). *Kartlegging av analyseområdet, possum.*
- DHI. (2004). *Manuel: Pipe Flow*. Reference manuel. Mike Urban User Guide.
- DHI. (2012a). *Integrated urban water modelling*. https://www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared_content/mike_by_dhi/flyers_and_pdf/software_flyers/cities/mbd_catextract_mikeurban_uk.pdf.
- DHI. (2012b). *Mouse surface runoff models*. Reference manual. Mike Urban User guide.
- DHI. (2012c). *RDII*. Reference manuel. Mike Urban User Guide.
- Direktoratet for økonomistyring. (2014). *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser: Fagborforlaget Vigmostad & Bjørke AS*.
- Drange, R. (2013). *Etablering av nedbørsmålestasjoner*. Byprosjekter.
- Eika, T., Telle, K., Fæhn, T., Halvorsen, E., Langsrud, Ø., Larsen, B. M., Modalsli, J. H., Storeng, K. & Sørensen, K. (2015). *Økonomiske utsyn over året 2014. SSB: Økonomiske analyser, 1/2015*.
- Eklima. (2016). *IVF-kruve for Asker*. Metrologisk institutt.
- Eliassen, A. (2016). *Målestasjonen i Asker*. Yr. [http://www.yr.no/sted/Norge/Akershus/Asker/Asker_\(Sem\)_m%C3%A5lestasjon/statistik.html](http://www.yr.no/sted/Norge/Akershus/Asker/Asker_(Sem)_m%C3%A5lestasjon/statistik.html); yr.no
- Engan, J. A. (2015). *Modellbygging, kalibrering og praktisk bruk av modeller av vannforsyningsnett*. THT300, NMBU.

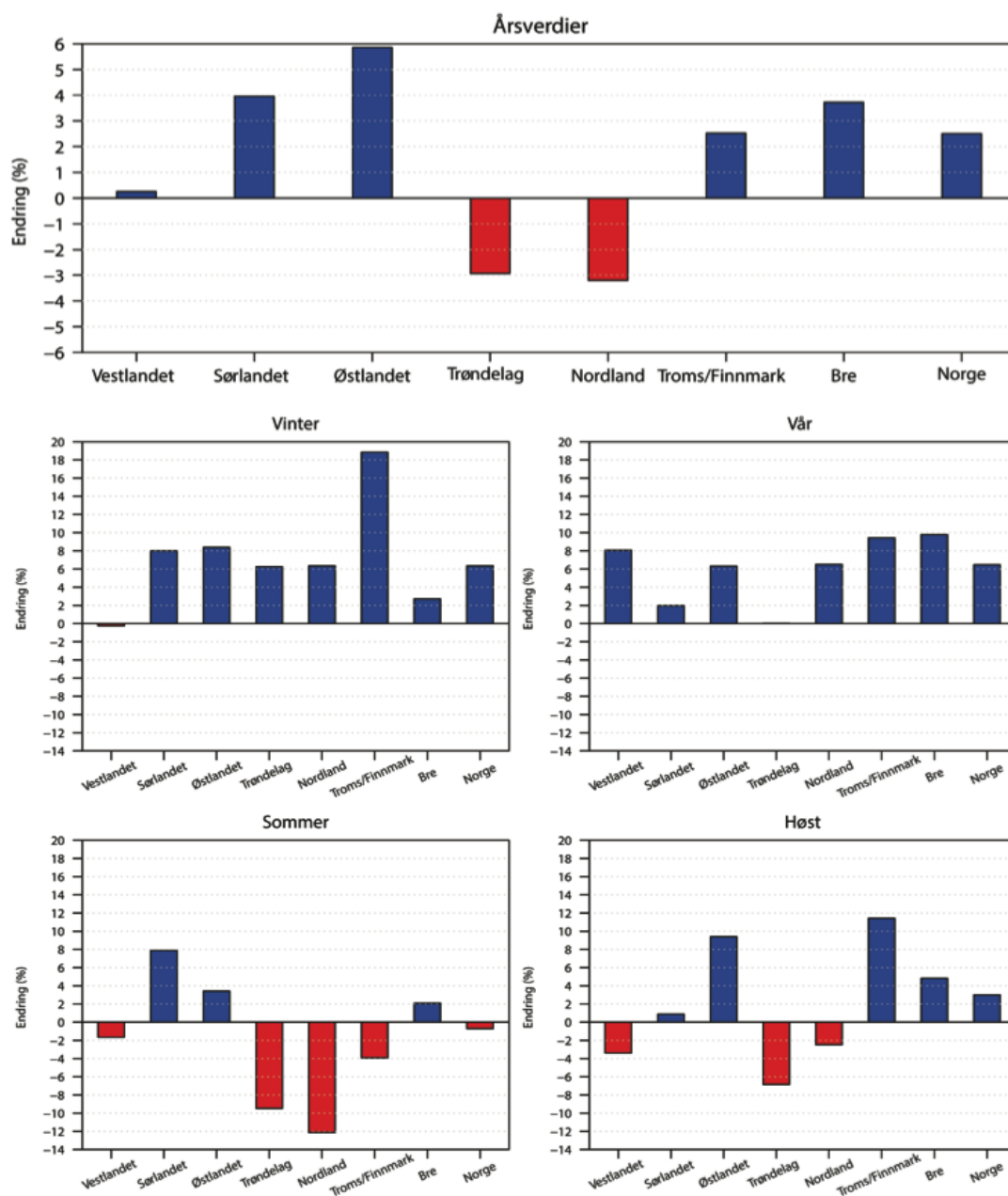
- EPA. (2015). *Understanding global warming potentials*.
<http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gwps.html>: Environmental Protection Agency.
- Fergus, T., Hoseth, K. A. & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka*: Fagbokforlaget.
- Finansdepartementet. (2014). *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*.
- French, H. (2015). *Groundwater movement: Darcys law, Lecture3, Chapter 3*. GEO220, NMBU: NMBU.
- French, H. (2016). *Kommunikasjon med E-post*.
- Gjertsen, T. A., Grimsrud, G., Hofshagen, T., Jakobsen, G., Torgersen, Ø., Wikstrøm, T. & Øien, T. (2013). *Standard abonnementsvilkår for vann og avløp. Tekniske bestemmelser*, Kommuneforlaget.
- Google. (2016). *maps.Google*. <http://www.maps.google.no>.
- Gulbrandsen, M. (2016). *Muntlig konsultasjon*. Asker kommunalteknisk avdeling.
- Hanssen-Bauer, Førland, Haddeland, Hisdal, Mayer, Nesje, Nilsen, Sandven, Sandæ, Sorteberg, et al. (2015). *Klima i Norge 2100. Miljødirektoratet, 2*.
- Hornæs, H. P. (2003). *Hypotestetesting for mastergradsstudium i informasjonssikkerhet. Høgskolen i Gjøvik*.
- Kitterød, N.-O. (2015). *The hydraulic cycle, water balance and global hydrology*. Vann200, NMBU.
- Kitterød, N. O. (2015). *Nordic Hydrology*. Vann200.
- Lambrecht. (2013). *Meteorological instruments*.
- Leifseth, A. B. & Schanche, S. (2014). *Flaum- og skredfare i arealplaner*. NVE.
- Lier-Hansen, S., Vedeld, P., Magnussen, K., Aslaksen, U., Armstrong, C., Hessen, D., Schei, P. J. & Brekke, K. A. (2013). *Naturens goder- om verdier av økosystemtjenester. Norges Offentlige Utredninger, NOU 2013:10*.
- Lindholm, G. (2016). *Muntlige konsultasjon*. Asker kommune.
- Lindholm, O. (1987a). *Avløpsnettberegninger med EDB. NIVA-rapport, 7-84*.

- Lindholm, O. (1987b). Følsomhetsanalyse av inngansparametere i modell for avløpsberegninger.
- Lindholm, O. (2004). Miljøgifter i overvann fra tette flater - en litteraturstudie. *NIVA*, 4775-2004.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. *Norsk vann*, 162 2008.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S. (2012a). Veileder i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem. *Norsk Vann*, 193.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S. (2012b). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem 193. *Norsk Vann*, 193.
- Lindholm, O. (2014). *Overvann*. THT 261, NMBU.
- Lindholm, O. (2015a). *Fremmedvann i avløpsnett*. THT300, NMBU.
- Lindholm, O. (2015b). *Om matematiske modeller for beregning av urbane avløpssystemer*. THT300, NMBU.
- Lindholm, O. (2015c). *Vidregående emner om nedbør til bruk i urbanhydrologien*. THT300, NMBU.
- Lindholm, O. G. (2011). Usikkerheter i flomberegninger i urbane områder. *Norsk vannforening*.
- Lunde, R., Folkedal, B. T. & Svedahl, M. B. (2015). Skisseprosjekt Gullhella-Blakstad: Metodevalg ledningsfornying. *Asplan Viak*, 1.
- Løvås, G. G. (2013). *Statistikk for universiteter og høyskoler*, b. 3: Universitetsforlaget.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I. & Reinvang, R. (2015). Kostnader og nytte ved overvannstiltak. I: *Analyse*, V. (red.). Miljødirektoratet.
- Meland, S. (2012). Tunnelvaskevann - En kilde til vannforurensning. *Vegvesen.no*.
- Miljødirektoratet. (2015). *FNs Klimapanel (IPCC)*. http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/klima/FNs_klimapanel_IPCC//.
- Miljødirektoratet & Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap. (2016). *Beregne framtidig nedbør*. <http://www.miljokommune.no>: Norsk klimaservicesenter.

- Moen, J. T., Formo, A. & Berg, K. A. (2014). *Langbølget og kortbølget stråling*. I: HiST (red.). <http://www.stud.alt.hist.no/~knutab/>.
- Myhre, C. L., Isaksen, I. A., Dalsøren, S. B. & Myhre, G. (2010). Causes and effects of global and arctic changes in the methane budget. *NORKLIMA*.
- Myking, J. S. E. (2012). Analyse av klimatilpasningstiltak - En casestudie av avløpsnett i Veumdalen, Fredrikstad kommune. *NMBU*.
- Mælum, L. (2011). *Drivhuseffekten*. SNL. <https://snl.no/drivhuseffekt>.
- nivus. (2012). *Portable Flow Measurement*. <http://www.nivus.com>: Utlevert materiale fra Rosim.
- NWS. (2015). *Hydrograph*. http://www.nws.noaa.gov/os/hod/SHManal/SHMan017_hydrograph.htm: National weather service.
- Olsen, H. C. (1981). *Geologisk kart over Asker*. Asker kommune.
- Olsen, N. R. B. (2015). Kompendium del 2 og 4 TVM 4116 Hydromekanikk. *Norges Tekniske Naturvitenskapelige Universitet*.
- Oslo Kommune. (2013). Strategi for overvannshåndtering i Oslo, 2013-2030.
- Pachauri, R. K. & Meyer, L. (2015). Climate change 2014. *IPCC*.
- Paus, K. H., Førland, E. J., Fleig, A., Lindholm, O. & Åstebøl, S. O. (2014). Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet. *Miljødirektoratet (Cowi)*.
- Petersen-Øverleir, A. (2015). *Hydrometeorologiske målinger og assosierte usikkerheter*. VANN200, NMBU.
- Queseth, H. (2015). *klimaendring i fortid*. <http://www.bjerknes.uib.no/artikler/fns-klimapanel/fortidsklimaendringer>: Bjerknessenteret.
- Ragulina, G. & Taurisano, A. (2014). Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentaksintervaller? *NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket*.
- ROSIM. (2016). *Om Rosim AS*. <http://web.rosim.no/index.php/om-rosim-as/>.
- Ræstad, C. (2013). Håndtering av overvann fra urbane veier. *Norsk Vann, 200- 2014*.

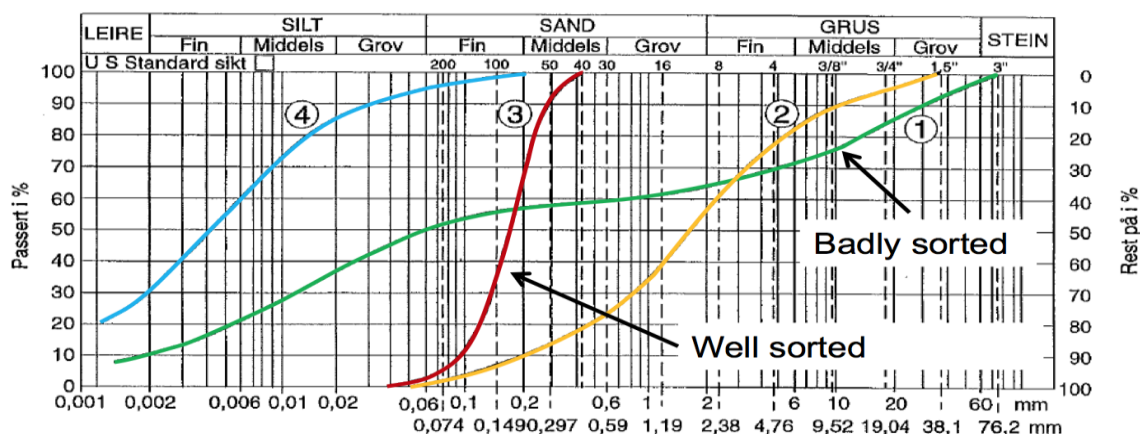
- Skaaraas, H., Hansen, A.-j., Riise, E., Stenersen, J., refling, D., Johansen, R., Hjelle, H., Ebeltoft, M., Skofteland, H. & Kipperberg, G. (2015). Overvann i byer og teettsteder, som problem og ressurs. *Norges Offentlige Utredninger*.
- Sola, K. J. (2016). *Muntlige konsultasjon*. Asker kommunalteknisk avdeling.
- Statistisk sentralbyrå. (2015). Kommunal vannforsyning, 2014. I. https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_koetra/aar/2015-06-16 - content: SSB.
- Storemyr, H. H. (2016). *Blågrønne overvannsløsninger: Verktøy for en blågrønn by*. Klimatilpasning overvann, Miljødirektoratet: Fylkesmannen for Oslo og Akershus.
- Thorsnæs, G. (2015). *Norges Geografi*. I: Leksikon, S. N. (red.). SNL. http://snl.no/norges_Geografi.
- Thorsnæs, G. & Askheim, S. (2016). *Asker*. Store norske leksikon. <https://snl.no/Asker>.
- UNSW. (2007). *Particle size fractions*. I: TerraGIS (red.). http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_particle_size_fractions.html.
- Wik, A. (2016). *Bekker og elver skal fram i dagen!* ByplanOslo. <http://byplanoslo.no/content/bekker-og-elver-skal-fram-i-dagen>: Plan- og bygningsetaten.
- Ødegaard, H., Lindholm, O., Mosevoll, G., Sægrov, S., Thorolfsson, S., Heistad, A. & Østerhus, S. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*, b. 2: Norsk vann.
- Åstebøl, S. O. & Roseth, R. (2014). Vannbeskyttelse i vegplanlegging og vegbygging. *Statens vegvesen*, 295.

Vedlegg A: Klimadata



Figur A1: Endringer i avrenning ved forskjellige regioner i Norge.

Vedlegg B: Geologisk data



Figur B1: Sandfordelingskurven

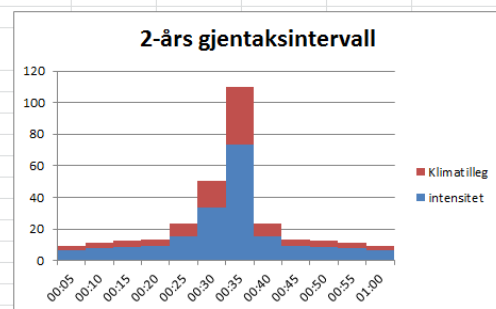
Table 3.4 Representative Values of Hydraulic Conductivity for Various Rock Types

Material	Hydraulic Conductivity (m/s)
SEDIMENTARY	
Gravel	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-2}$
Coarse sand	$9 \times 10^{-7} - 6 \times 10^{-3}$
→ Medium sand	$9 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-4}$
→ Fine sand	$2 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-4}$
→ Silt, loess	$1 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-5}$
Till	$1 \times 10^{-12} - 2 \times 10^{-6}$
Clay	$1 \times 10^{-11} - 4.7 \times 10^{-9}$
Unweathered marine clay	$8 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$
SEDIMENTARY ROCKS	
Karst and reef limestone	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-2}$
Limestone, dolomite	$1 \times 10^{-9} - 6 \times 10^{-6}$
→ Sandstone	$3 \times 10^{-10} - 6 \times 10^{-6}$
→ Siltstone	$1 \times 10^{-11} - 1.4 \times 10^{-8}$
Salt	$1 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-10}$
Anhydrite	$4 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-8}$
Shale	$1 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$
CRYSTALLINE ROCKS	
Permeable basalt	$4 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-2}$
Fractured igneous and metamorphic rock	$8 \times 10^{-9} - 3 \times 10^{-4}$
Weathered granite	$3.3 \times 10^{-6} - 5.2 \times 10^{-5}$
Weathered gabbro	$5.5 \times 10^{-7} - 3.8 \times 10^{-6}$
Basalt	$2 \times 10^{-11} - 4.2 \times 10^{-7}$
Unfractured igneous and metamorphic rocks	$3 \times 10^{-14} - 2 \times 10^{-10}$

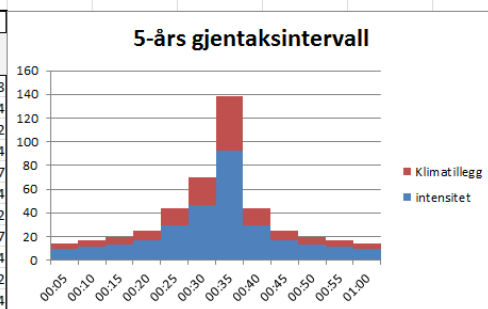
Figur B2: Verdier for konduktivitet for et utvalg materialer.

Vedlegg C: Regnhyetogrammer:

2 års regn					Medklimafaktor 1,5				Differanse [mm/time]
Tid	Intensitet [ls*ha]	Intensitet [mm/time]	Intensitet [mm/periode]	Intensitet [um/s]	Intensitet [ls*ha]	Intensitet [mm/time]	Intensitet [mm/periode]	Intensitet [um/s]	
00:05	17,3	6,24	0,52	1,7	26	9,36	0,78	2,6	3,12
00:10	21,3	7,68	0,64	2,1	32	11,52	0,96	3,2	3,84
00:15	23,0	8,28	0,69	2,3	34,5	12,42	1,035	3,45	4,14
00:20	25,0	9	0,75	2,5	37,5	13,5	1,125	3,75	4,5
00:25	43,3	15,6	1,3	4,3	65	23,4	1,95	6,5	7,8
00:30	93,3	33,6	2,8	9,3	140	50,4	4,2	14	16,8
00:35	203,3	73,2	6,1	20,3	305	109,8	9,15	30,5	36,6
00:40	43,3	15,6	1,3	4,3	65	23,4	1,95	6,5	7,8
00:45	25,0	9	0,75	2,5	37,5	13,5	1,125	3,75	4,5
00:50	23,0	8,28	0,69	2,3	34,5	12,42	1,035	3,45	4,14
00:55	21,3	7,68	0,64	2,1	32	11,52	0,96	3,2	3,84
01:00	17,3	6,24	0,52	1,7	26	9,36	0,78	2,6	3,12

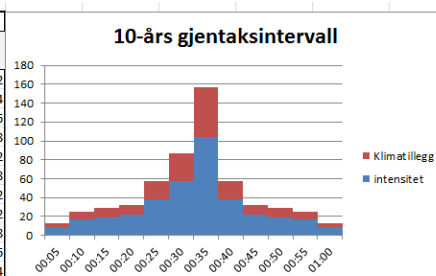


5 års regn					Medklimafaktor 1,5				Differanse [mm/time]
Tid	Intensitet [ls*ha]	Intensitet [mm/time]	Intensitet [mm/periode]	Intensitet [um/s]	Intensitet [ls*ha]	Intensitet [mm/time]	Intensitet [mm/periode]	Intensitet [um/s]	
00:05	26,7	9,6	0,8	2,67	40	14,4	1,2	4	4,8
00:10	31,3	11,28	0,94	3,13	47	16,92	1,41	4,7	5,64
00:15	35,7	12,84	1,07	3,57	53,5	19,26	1,605	5,35	6,42
00:20	46,7	16,8	1,4	4,67	70	25,2	2,1	7	8,4
00:25	81,7	29,4	2,45	8,17	122,5	44,1	3,675	12,25	14,7
00:30	130,0	46,8	3,9	13,00	195	70,2	5,85	19,5	23,4
00:35	256,7	92,4	7,7	25,67	385	138,6	11,55	38,5	46,2
00:40	81,7	29,4	2,45	8,17	122,5	44,1	3,675	12,25	14,7
00:45	46,7	16,8	1,4	4,67	70	25,2	2,1	7	8,4
00:50	35,7	12,84	1,07	3,57	53,5	19,26	1,605	5,35	6,42
00:55	31,3	11,28	0,94	3,13	47	16,92	1,41	4,7	5,64
01:00	26,7	9,6	0,8	2,67	40	14,4	1,2	4	4,8

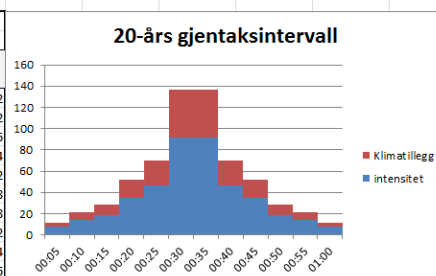


Figur C1: 2- og 5-års regnhyetogram.

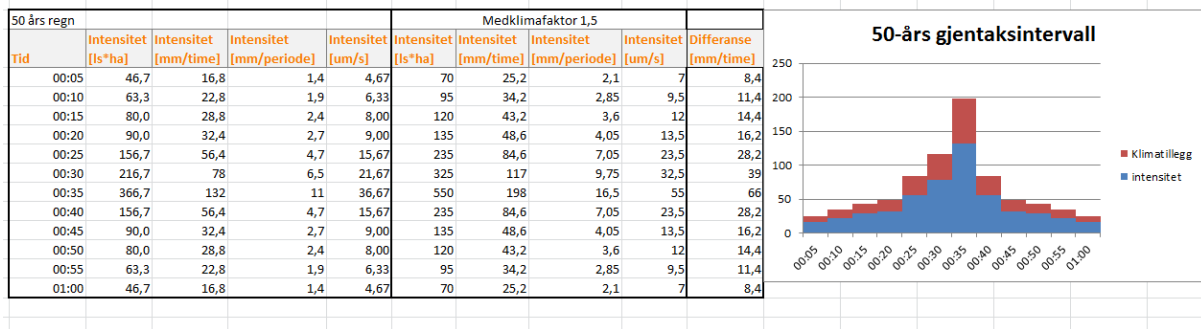
10 års regn					Medklimafaktor 1,5				Differanse [mm/time]
Tid	Intensitet [ls*ha]	Intensitet [mm/time]	Intensitet [mm/periode]	Intensitet [um/s]	Intensitet [ls*ha]	Intensitet [mm/time]	Intensitet [mm/periode]	Intensitet [um/s]	
00:05	23,3	8,4	0,7	2,33	35	12,6	1,05	3,5	4,2
00:10	46,7	16,8	1,4	4,67	70	25,2	2,1	7	8,4
00:15	53,3	19,2	1,6	5,33	80	28,8	2,4	8	9,6
00:20	60,0	21,6	1,8	6,00	90	32,4	2,7	9	10,8
00:25	106,7	38,4	3,2	10,67	160	57,6	4,8	16	19,2
00:30	160,0	57,6	4,8	16,00	240	86,4	7,2	24	28,8
00:35	290,0	104,4	8,7	29,00	435	156,6	13,05	43,5	52,2
00:40	106,7	38,4	3,2	10,67	160	57,6	4,8	16	19,2
00:45	60,0	21,6	1,8	6,00	90	32,4	2,7	9	10,8
00:50	53,3	19,2	1,6	5,33	80	28,8	2,4	8	9,6
00:55	46,7	16,8	1,4	4,67	70	25,2	2,1	7	8,4
01:00	23,3	8,4	0,7	2,33	35	12,6	1,05	3,5	4,2



20 års regn (laget av Gjermund, derfor den ser annerledes ut enn de andre)					Medklimafaktor 1,5				Differanse [mm/time]
Tid	Intensitet [ls*ha]	Intensitet [mm/time]	Intensitet [mm/periode]	Intensitet [um/s]	Intensitet [ls*ha]	Intensitet [mm/time]	Intensitet [mm/periode]	Intensitet [um/s]	
00:05	21,9	7,884	0,657	2,19	32,85	11,826	0,9855	3,285	3,942
00:10	39,9	14,364	1,197	3,99	59,85	21,546	1,7955	5,985	7,182
00:15	52,2	18,792	1,566	5,22	78,3	28,188	2,349	7,83	9,396
00:20	96,8	34,848	2,904	9,68	145,2	52,272	4,356	14,52	17,424
00:25	129	46,44	3,87	12,9	193,5	69,66	5,805	19,35	23,22
00:30	253,6	91,296	7,608	25,36	380,4	136,944	11,412	38,04	45,648
00:35	253,6	91,296	7,608	25,36	380,4	136,944	11,412	38,04	45,648
00:40	129	46,44	3,87	12,9	193,5	69,66	5,805	19,35	23,22
00:45	96,8	34,848	2,904	9,68	145,2	52,272	4,356	14,52	17,424
00:50	52,2	18,792	1,566	5,22	78,3	28,188	2,349	7,83	9,396
00:55	39,9	14,364	1,197	3,99	59,85	21,546	1,7955	5,985	7,182
01:00	21,9	7,884	0,657	2,19	32,85	11,826	0,9855	3,285	3,942



Figur C2: 10- og 20-års regnhyetogram.



Figur B3: 50-årsregnhyetogram.

Vedlegg D: Validering av modellen

Den rasjonelle formel, overslag om modellen fungerer riktig:					gjennomsnittlig tette flater	Estimert maks vannføring i MU-modellen for 5årsregn uten klimatillegg:
	km ²	ha				
Tot areal:	1,87	187			10 %	0,54
Areal tette	0,187	18,7				
vannføring Q[m ³ /s]	Avrenningskoeff c	intensitet i	areal A	klimafaktor k		
0,5984	0,4	8	0,187	1		

Figur D1: Beregning med den rasjonelle formel

Vedlegg E: Tiltakene

Ledningene som er blitt utvidet og dimensjonen de ble utvidet fra og til. Node og Link er gitt i modellnummerering.

Ledningsfornyelse							
	Link endret	lengde	fra dim	til dim	fra NODE	til node	Totalt lengde
Snitt A	25067	45	0,188	0,225	18332	18334	492
SnittB	25051	21	0,188	0,225	1_320	18352	
	25043	84	0,188	0,225	18352	18349	
	25044	52	0,188	0,225	18349	18347	
	25045	20	0,188	0,225	18347	18345	
	25052	33	0,188	0,225	18345	1_284	
snittF	25071	48	0,188	0,225	18337	18334	
	25072	48	0,188	0,225	18338	18337	
Snitt A	25074	80	0,225	0,3	3934	18334	
	22335	61	0,225	0,3	3933	3934	

Figur E1: Ledningsfornyelse

MUID *	Drainage ar	User X coord	User Y coord	Total area	X coordinat	Y coordinat	Max. level	Min. level	System	Sub-system	Description	Person equ	Type	Asset ID	Status	Persons	
Catchment 1416	0.336	580845.205	6632441.298	0.336	580845.205	6632441.298	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1417	0.466	580907.610	6632475.060	0.466	580907.610	6632475.060	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1418	0.355	581301.480	6632457.140	0.355	581301.480	6632457.140	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1419	0.419	581382.900	6632422.970	0.419	581382.900	6632422.970	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1421	0.297	581262.510	6632428.860	0.297	581262.510	6632428.860	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1427	0.337	580748.410	6632402.450	0.337	580748.410	6632402.450	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1428	0.656	581132.750	6632494.132	0.656	581132.750	6632494.132	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1430	0.180	581348.760	6632503.040	0.180	581348.760	6632503.040	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1431	0.290	581368.610	6632501.260	0.290	581368.610	6632501.260	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1432	0.374	581419.220	6632440.930	0.374	581419.220	6632440.930	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1435	0.693	580956.620	6632493.590	0.693	580956.620	6632493.590	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1436	0.282	580844.360	6632518.780	0.282	580844.360	6632518.780	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1437	0.184	580877.400	6632505.790	0.184	580877.400	6632505.790	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1438	0.744	581481.350	6632378.970	0.744	581481.350	6632378.970	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1439	1.217	581534.530	6632439.740	1.217	581534.530	6632439.740	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1440	1.339	581646.180	6632502.390	1.339	581646.180	6632502.390	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1441	0.878	581771.600	6632523.370	0.878	581771.600	6632523.370	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1442	0.611	581697.470	6632519.030	0.611	581697.470	6632519.030	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1444	0.759	581413.720	6632527.650	0.759	581413.720	6632527.650	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1445	0.555	581461.650	6632462.200	0.555	581461.650	6632462.200	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1446	0.787	581557.660	6632482.290	0.787	581557.660	6632482.290	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1447	0.196	581706.710	6632581.980	0.196	581706.710	6632581.980	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1450	0.418	582121.730	6632600.330	0.418	582121.730	6632600.330	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1451	0.421	582153.880	6632624.870	0.421	582153.880	6632624.870	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1452	0.260	582213.390	6632645.880	0.260	582213.390	6632645.880	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1453	0.989	581970.400	6632589.030	0.989	581970.400	6632589.030	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1455	0.373	581908.320	6632604.150	0.373	581908.320	6632604.150	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1456	0.392	580963.460	6632553.330	0.392	580963.460	6632553.330	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1457	0.489	581484.510	6632572.860	0.489	581484.510	6632572.860	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1458	0.499	580873.140	6632589.490	0.499	580873.140	6632589.490	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1459	0.224	582208.390	6632668.410	0.224	582208.390	6632668.410	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1460	0.065	582206.820	6632704.730	0.065	582206.820	6632704.730	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1464	0.526	581586.655	6632643.670	0.526	581586.655	6632643.670	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1465	0.679	581168.750	6632591.030	0.679	581168.750	6632591.030	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1466	0.101	580965.120	6632525.710	0.101	580965.120	6632525.710	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1467	0.672	581921.220	6632554.930	0.672	581921.220	6632554.930	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1470	0.247	581931.240	6632565.360	0.247	581931.240	6632565.360	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1471	0.471	581871.300	6632548.530	0.471	581871.300	6632548.530	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1474	0.491	581641.730	6632594.500	0.491	581641.730	6632594.500	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1475	0.588	581505.410	6632571.060	0.588	581505.410	6632571.060	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1476	0.237	581844.450	6632541.800	0.237	581844.450	6632541.800	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1477	0.241	581691.420	6632575.150	0.241	581691.420	6632575.150	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1478	0.652	581824.340	6632530.640	0.652	581824.340	6632530.640	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>
Catchment 1479	0.370	581727.480	6632525.930	0.370	581727.480	6632525.930	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	False	Storm Water	<Null>	Imported	<Null>

Figur E4: Avrenningsfelt som beregnes uten byggareal

Vedlegg F: Økonomisk analyse:

Skade beregning med Nåverdimetoden:			Tiltak: Frakobling av takareal					
Skadebesparing per år 297850								
I0	r	K						
0	0,035	297850						
	3,50 %							
Forskjell mellom alle utgifter nå, og fordelt over 100 år:			NNV	8525469,352				
ÅR								
	Universelt fordelt skadeutgift (K)	Med nåverdirente	År	Universelt fordelt skadeutgift	Med nåverdirente	År	Universelt fordelt skadeutgift	Med nåverdirente
0	297850	297850						
1	297850	287777,8	34	297850	95711,93	67	297850	30756,3
2	297850	278046,2	35	297850	92475,29	68	297850	29716,3
3	297850	268643,6	36	297850	89348,11	69	297850	28711,4
4	297850	259559,1	37	297850	86326,67	70	297850	27740,4
5	297850	250781,7	38	297850	83407,42	71	297850	26802,4
6	297850	242301,2	39	297850	80586,87	72	297850	25896,0
7	297850	234107,4	40	297850	77861,71	73	297850	25020,3
8	297850	226190,7	41	297850	75228,71	74	297850	24174,2
9	297850	218541,8	42	297850	72684,74	75	297850	23356,7
10	297850	211151,5	43	297850	70226,81	76	297850	22566,9
11	297850	204011,1	44	297850	67851,99	77	297850	21803,7
12	297850	197112,2	45	297850	65557,47	78	297850	21066,4
13	297850	190446,5	46	297850	63340,55	79	297850	20354,0
14	297850	184006,3	47	297850	61198,6	80	297850	19665,7
15	297850	177783,9	48	297850	59129,09	81	297850	19000,7
16	297850	171771,9	49	297850	57129,55	82	297850	18358,2
17	297850	165963,1	50	297850	55197,63	83	297850	17737,4
18	297850	160350,9	51	297850	53331,05	84	297850	17137,5
19	297850	154928,4	52	297850	51527,58	85	297850	16558,0
20	297850	149689,2	53	297850	49785,1	86	297850	15998,1
21	297850	144627,3	54	297850	48101,55	87	297850	15457,1
22	297850	139736,5	55	297850	46474,93	88	297850	14934,4
23	297850	135011,1	56	297850	44903,31	89	297850	14429,4
24	297850	130445,5	57	297850	43384,84	90	297850	13941,4
25	297850	126034,3	58	297850	41917,72	91	297850	13470,0
26	297850	121772,3	59	297850	40500,21	92	297850	13014,4
27	297850	117654,4	60	297850	39130,64	93	297850	12574,3
28	297850	113675,7	61	297850	37807,38	94	297850	12149,1
29	297850	109831,6	62	297850	36528,87	95	297850	11738,3
30	297850	106117,5	63	297850	35293,6	96	297850	11341,3
31	297850	102529	64	297850	34100,09	97	297850	10957,8
32	297850	99061,84	65	297850	32946,95	98	297850	10587,3
33	297850		66	297850	31832,8	99	297850	10229,2
						100	297850	9883,3
						Sum		8525469

Figur F1: Skadeberegning med nåverdi, med tiltak: Frakobling av takareal.

Skade beregning med Nåverdimetoden:			Tiltak:					
			Utvidning av ledningsnett ved flaskehals med graving					
Skadebesparing per år 130380								
IO	r	K						
3653100	0,035	130380						
	3,50%							
			Forskjell mellom alle utgifter nå, og fordelt over 10 NVN=	NNV				
			9408085,6	78814,36665				
ÅR								
	t fordelt skadeutgti	Med nåverdirente	År	t fordelt skadeutgti	Med nåverdirente	År	t fordelt skadeutgti	Med nåverdiren
0	ft			ft			ft	
1	130380	130380	34	130380	41896,66	67	130380	13463,2
2	130380	125971	35	130380	40479,87	68	130380	13007,9
3	130380	121711,1	36	130380	39110,98	69	130380	12568,0
4	130380	117595,3	37	130380	37788,39	70	130380	12143,0
5	130380	113618,6	38	130380	36510,52	71	130380	11732,4
6	130380	109776,5	39	130380	35275,87	72	130380	11335,6
7	130380	106064,2	40	130380	34082,96	73	130380	10952,3
8	130380	102477,5	41	130380	32930,4	74	130380	10581,9
9	130380	99012,08	42	130380	31816,81	75	130380	10224,1
10	130380	95663,84	43	130380	30740,88	76	130380	9878,4
11	130380	92428,83	44	130380	29701,33	77	130380	9544,3
12	130380	89303,22	45	130380	28696,94	78	130380	9221,6
13	130380	86283,31	46	130380	27726,51	79	130380	8909,7
14	130380	83365,51	47	130380	26788,9	80	130380	8608,4
15	130380	80546,39	48	130380	25883	81	130380	8317,3
16	130380	77822,6	49	130380	25007,73	82	130380	8036,1
17	130380	75190,92	50	130380	24162,05	83	130380	7764,3
18	130380	72648,23	51	130380	23344,98	84	130380	7501,7
19	130380	70191,53	52	130380	22555,54	85	130380	7248,1
20	130380	67817,9	53	130380	21792,79	86	130380	7003,0
21	130380	65524,54	54	130380	21055,83	87	130380	6766,1
22	130380	63308,73	55	130380	20343,8	88	130380	6537,3
23	130380	61167,86	56	130380	19655,85	89	130380	6316,3
24	130380	59099,38	57	130380	18991,16	90	130380	6102,7
25	130380	57100,85	58	130380	18348,94	91	130380	5896,3
26	130380	55169,9	59	130380	17728,45	92	130380	5696,9
27	130380	53304,26	60	130380	17128,93	93	130380	5504,3
28	130380	51501,7	61	130380	16549,69	94	130380	5318,1
29	130380	49760,09	62	130380	15990,04	95	130380	5138,3
30	130380	48077,38	63	130380	15449,32	96	130380	4964,5
31	130380	46451,58	64	130380	14926,88	97	130380	4796,6
32	130380	44880,75	65	130380	14422,1	98	130380	4634,4
33	130380	43363,05	66	130380	13934,4	99	130380	4477,7
						100	130380	4326,3
						Sum		3731914,4

Figur F2: Skadeberegning med nåverdi, med tiltak: Utviding av ledningsdiameter med graving.

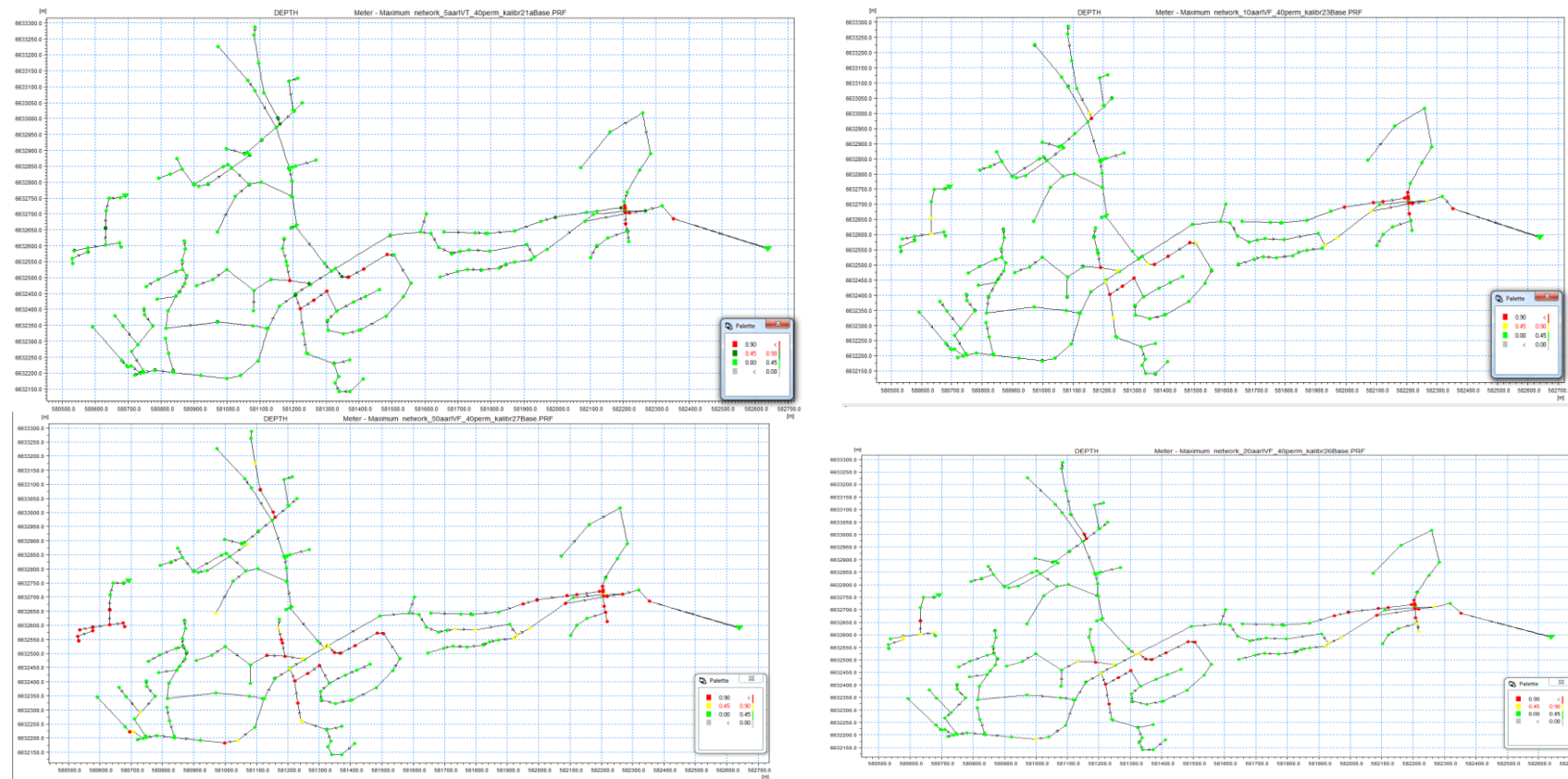
Skade beregning med Nåverdimetoden:			Tiltak: Utvidning av ledningsnett ved flaskehals med utblokking							
Skadebesparing per år 130380										
ID	r	K								
2088245	0,035	130380								
	3,50 %									
			Forskjell mellom alle utgifter nå, og fordelt over 100 år:		NNV					
			11051755		1643669,567					
ÅR										
	t fordelt skadeutgi ft	Med nåverdirente	År	t fordelt skadeutgi ft	Med nåverdirente	År	t fordelt skadeutgi ft	Med nåverdiren		
0										
1	130380	130380		34	130380	41896,66		67	130380	13463,2
2	130380	125971		35	130380	40479,87		68	130380	13007,9
3	130380	121711,1		36	130380	39110,98		69	130380	12568,0
4	130380	117595,3		37	130380	37788,39		70	130380	12143,0
5	130380	113618,6		38	130380	36510,52		71	130380	11732,4
6	130380	109776,5		39	130380	35275,87		72	130380	11335,6
7	130380	106064,2		40	130380	34082,96		73	130380	10952,3
8	130380	102477,5		41	130380	32930,4		74	130380	10581,9
9	130380	99012,08		42	130380	31816,81		75	130380	10224,1
10	130380	95663,84		43	130380	30740,88		76	130380	9878,4
11	130380	92428,83		44	130380	29701,33		77	130380	9544,3
12	130380	89303,22		45	130380	28696,94		78	130380	9221,6
13	130380	86283,31		46	130380	27726,51		79	130380	8909,7
14	130380	83365,51		47	130380	26788,9		80	130380	8608,4
15	130380	80546,39		48	130380	25883		81	130380	8317,3
16	130380	77822,6		49	130380	25007,73		82	130380	8036,1
17	130380	75190,92		50	130380	24162,05		83	130380	7764,3
18	130380	72648,23		51	130380	23344,98		84	130380	7501,7
19	130380	70191,53		52	130380	22555,54		85	130380	7248,1
20	130380	67817,9		53	130380	21792,79		86	130380	7003,0
21	130380	65524,54		54	130380	21055,83		87	130380	6766,1
22	130380	63308,73		55	130380	20343,8		88	130380	6537,3
23	130380	61167,86		56	130380	19655,85		89	130380	6316,3
24	130380	59099,38		57	130380	18991,16		90	130380	6102,7
25	130380	57100,85		58	130380	18348,94		91	130380	5896,3
26	130380	55169,9		59	130380	17728,45		92	130380	5696,9
27	130380	53304,26		60	130380	17128,93		93	130380	5504,3
28	130380	51501,7		61	130380	16549,69		94	130380	5318,1
29	130380	49760,09		62	130380	15990,04		95	130380	5138,3
30	130380	48077,38		63	130380	15449,32		96	130380	4964,5
31	130380	46451,58		64	130380	14926,88		97	130380	4796,6
32	130380	44880,75		65	130380	14422,1		98	130380	4634,4
33	130380	43363,05		66	130380	13934,4		99	130380	4477,7
								100	130380	4326,3
							Sum			3731914,4

Figur F3: Skadeberegning med nåverdi, med tiltak: Utviding av ledningsdiameter med utblokking.

Vedlegg G: Modellresultater ved forskjellige regnhendelser

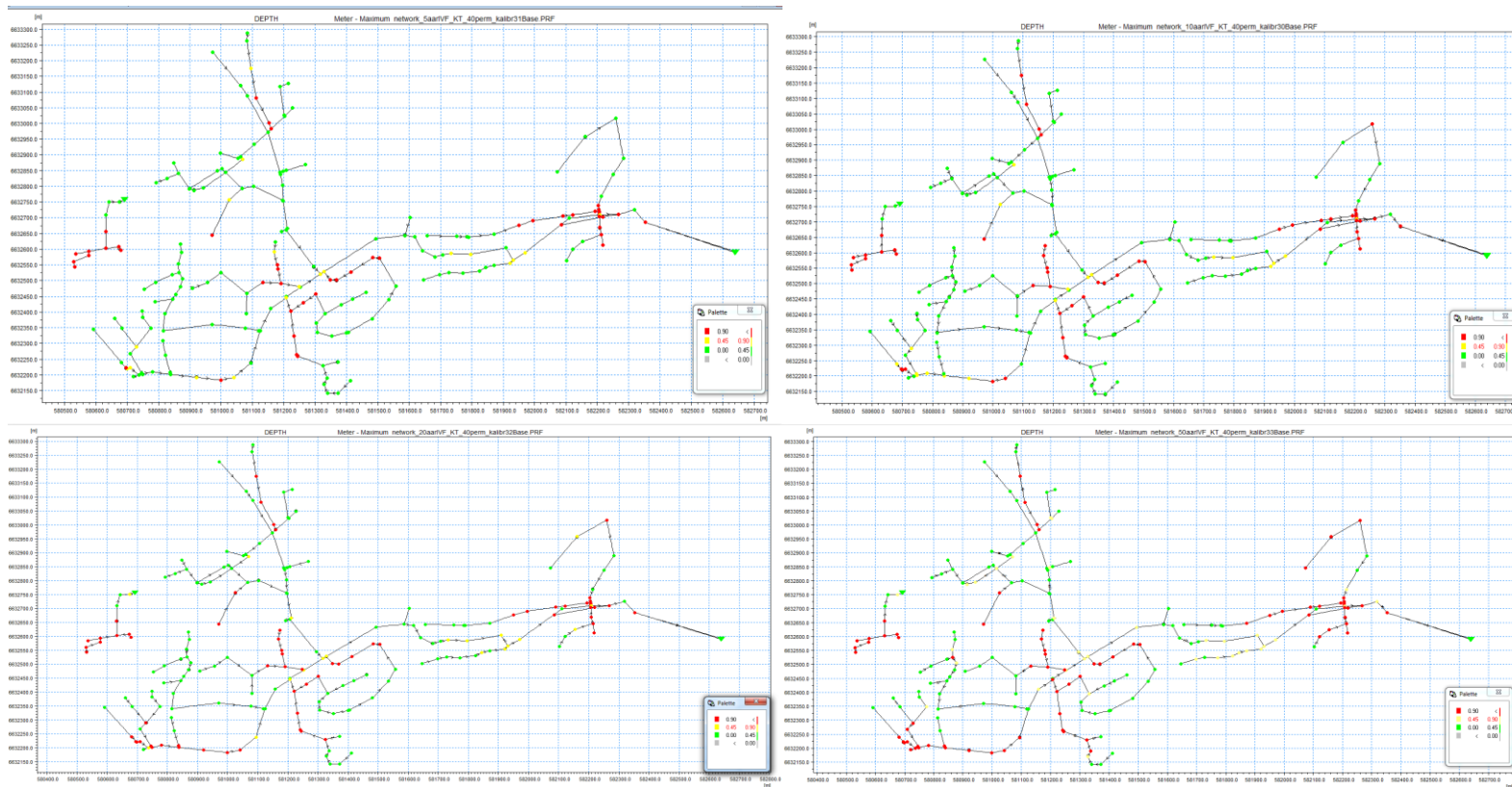
Resultatene i dette vedlegget er trykkehøyde i kummer. Rød er over 90cm, gul er mellom 45 og 90 cm, og grønn er under 45 cm. Oppe til venstre er 5-årsregn, oppe til venstre er 10-årsregn, nede til venstre er 20-årsregn og nede til høyre er 50-årsregn. Dette gjelder hele vedlegg G.

Modellresultater for regn uten klimatillegg, modellert uten tiltak:



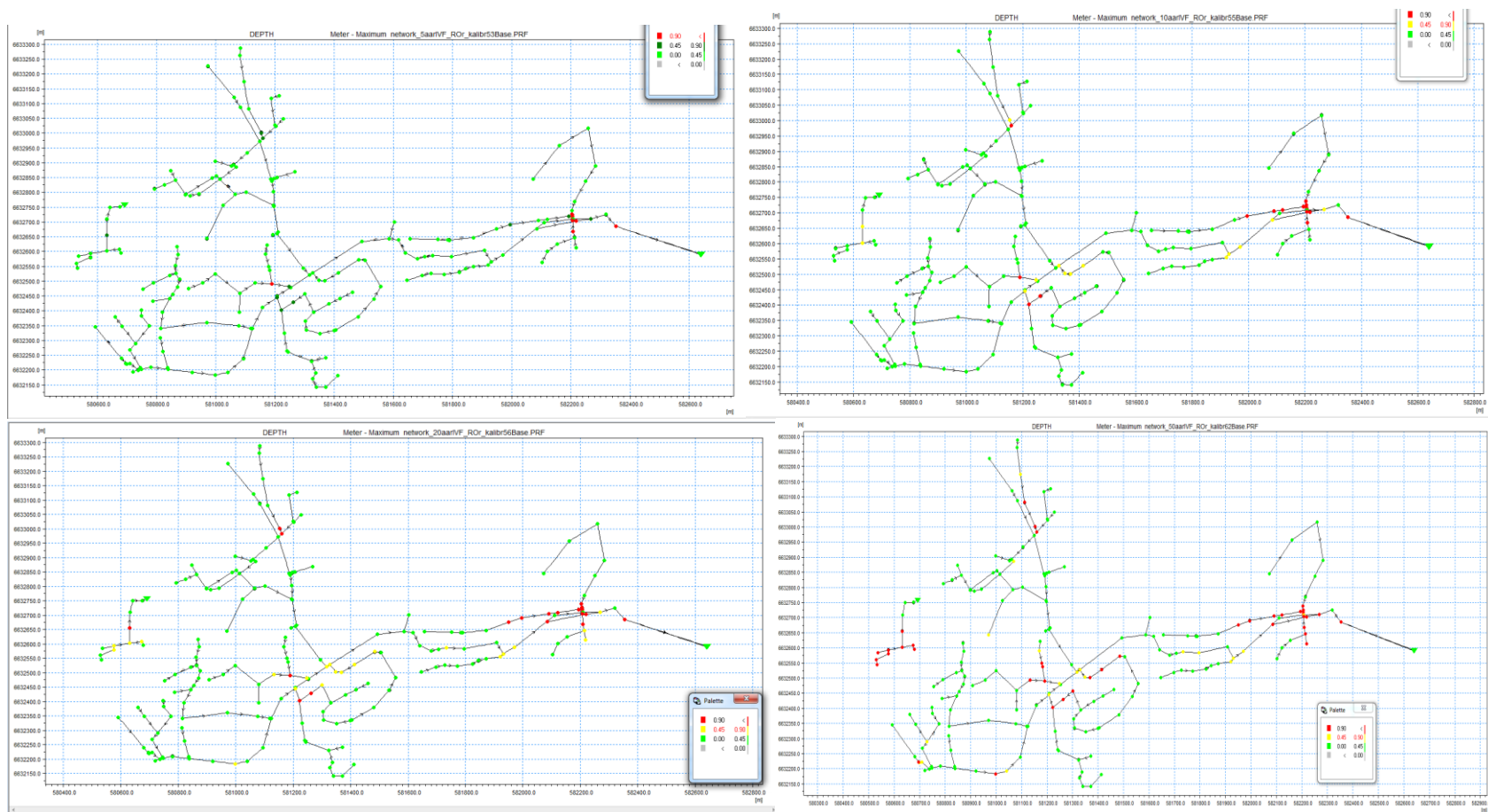
Figur G1: Modellresultater for regn uten klimatillegg, modellert uten tiltak

Modellresultater for regn med klimatillegg, modellert uten tiltak:



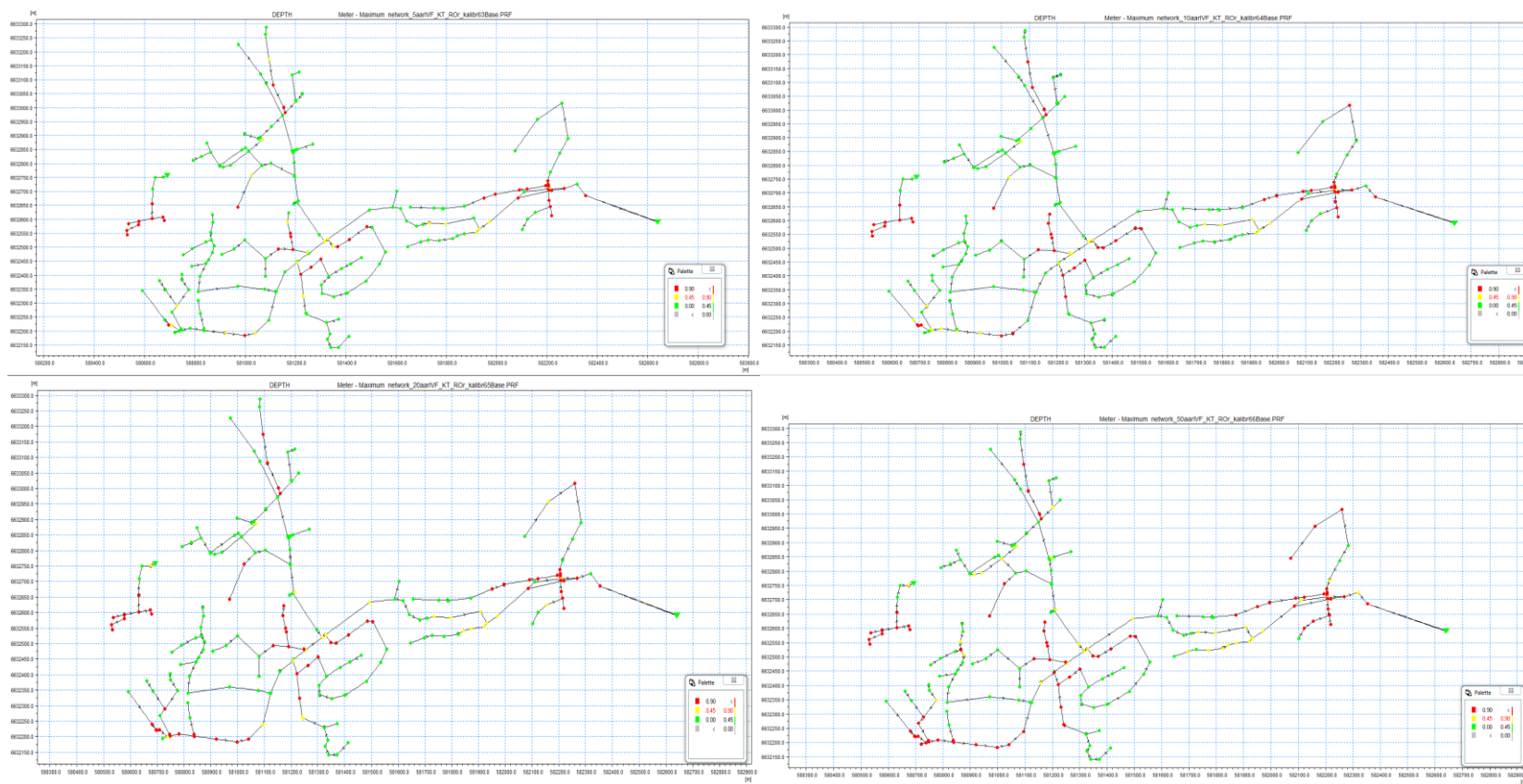
Figur G2: Modellresultater for regn med klimatillegg, modellert uten tiltak.

Modellresultater for regn uten klimatillegg, modellert med tiltak: utvidelse av ledningsnett ved flaskehals



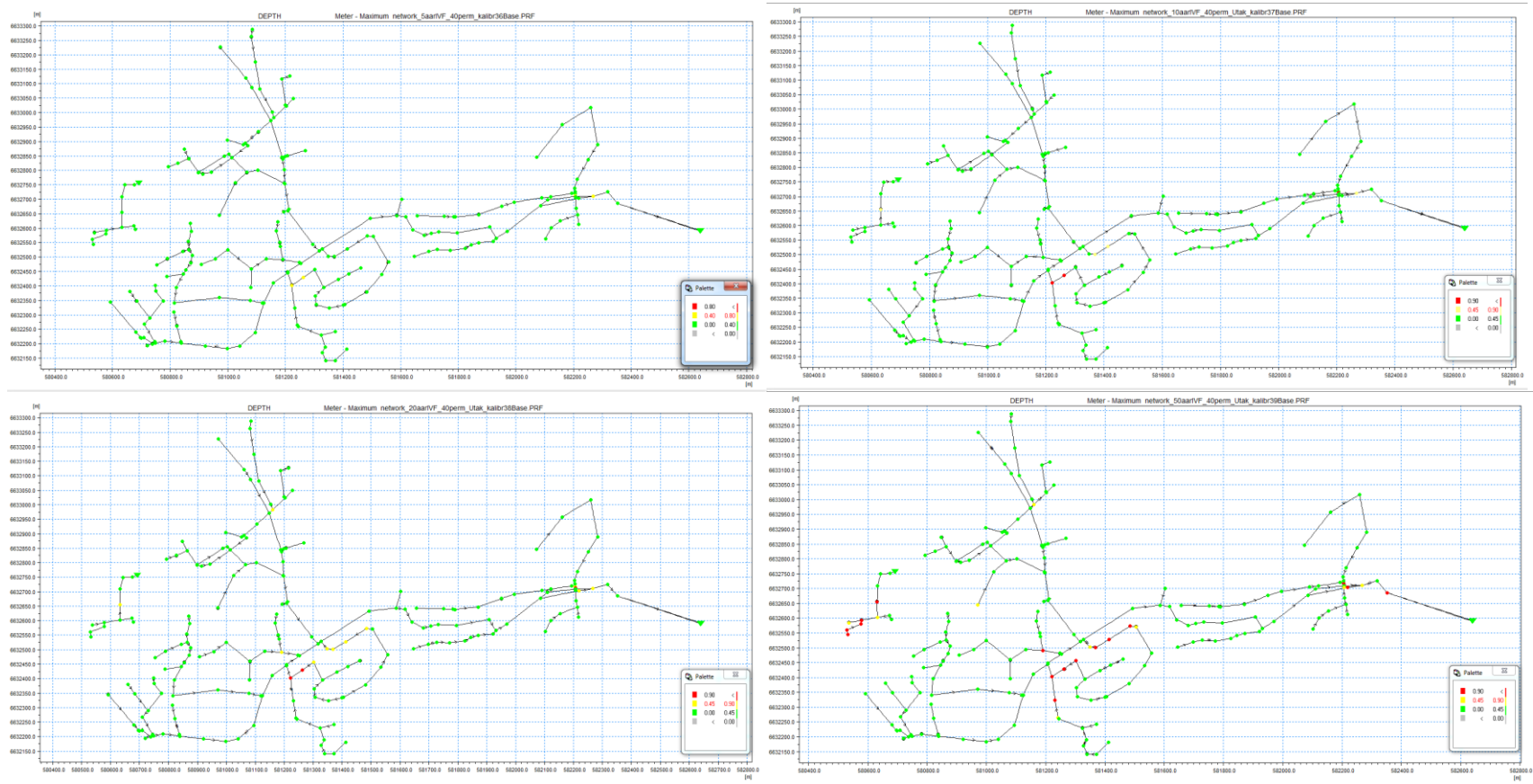
Figur G3: Modellresultater for regn uten klimatillegg, modellert med tiltak: utvidelse av ledningsnett ved flaskehals

Modellresultater for regn med klimatillegg, modellert med tiltak: utvidelse av ledningsnett ved flaskehalsar.



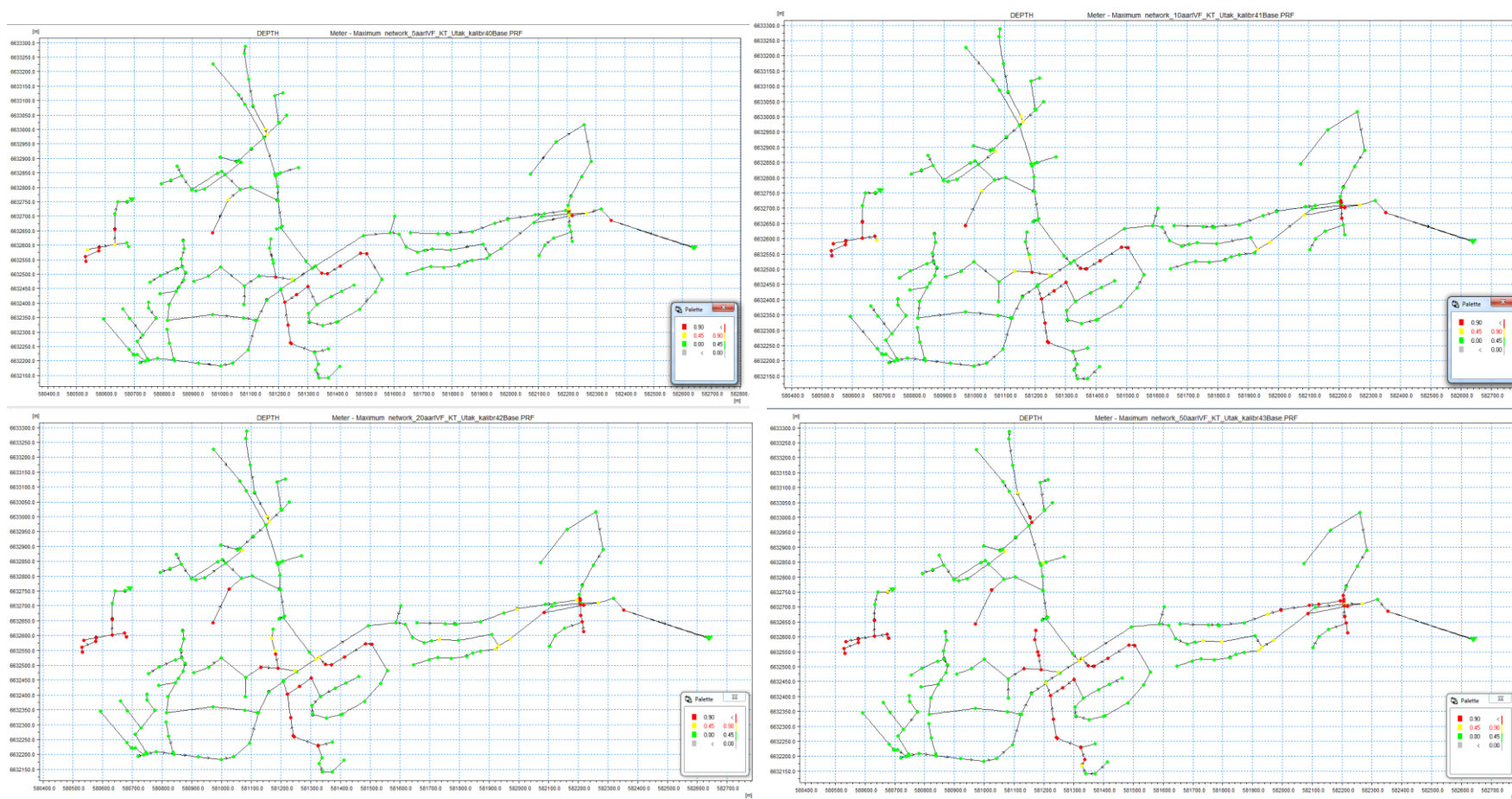
Figur G4: Modellresultater for regn med klimatillegg, modellert med tiltak: utvidelse av ledningsnett ved flaskehalsar.

Modellresultater for regn uten klimatillegg, modellert med tiltak: frakobling av takareal.



Figur G5: Modellresultater for regn uten klimatillegg, modellert med tiltak: frakobling av takareal.

Modellresultater for regn med klimatillegg, modellert med tiltak: frakobling av takareal.



Figur G6: Modellresultater for regn med klimatillegg, modellert med tiltak: frakobling av takareal.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no