



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 30 stp
Fakultetet for realfag og teknologi

Optimal tiltaksstørrelse for lokal overvannshåndtering – Samfunnsøkonomisk vurdering av case-område på Nadderud, Bærum

Optimal sizing of local stormwater management
measures –
Socio-economic assessment of case area at
Nadderud, Bærum

Stian Lundberg Bjørnsen
Industriell økonomi

Forord

Denne masteroppgaven representerer mitt avsluttende arbeid på studiet Industriell Økonomi (INDØK) ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet. Oppgaven ble utarbeidet av undertegnede i perioden november 2019 til og med mai 2020. Målsetningen med oppgaven viste seg kjapt å være en krevende prosess å besvare, da den kombinerer flere fagfelt i stor grad. At metodikken inkorporerer viktig forståelse fra ulike fagfelt gjorde samtidig arbeidet meget spennende og lærerikt.

Jeg kan ikke unngå å rette en stor takk til Sweco og Bærum kommune for prosjektgrunnlaget, samt DHI for nødvendige lisenser til den nødvendige programvaren oppgaven har benyttet. Jeg vil også gi en oppmerksomhet til Torbjørn Friborg og Lars-Gunnar Nordheim som takk for tilgang til, og hjelp med, modeller som er benyttet i oppgaven. Videre ønsker jeg å takke veilederne mine Kim H. Paus og Vegard Nilsen for gode diskusjoner og hjelp med arbeidet. Utover dette vil jeg presisere hvor takknemlig jeg er for all hjelp som Erle Kristvik og Stig S. Høylye har bidratt med underveis i prosessen.

Avslutningsvis vil jeg få takke venner, familie og min kone for støtten jeg har fått gjennom skrivearbeidet.

Langhus, juni 2020

Stian Lundberg Bjørnsen



Sammendrag

Fremtiden forventes å bringe større og mer intensive nedbørhendelser. I Norge viser skadestatistikken at overvann bidrar til store skadekostnader hvert eneste år, med en økende trend. Dette har ført til at problematikken knyttet til overvannshåndtering de siste årene har fått økt oppmerksomhet blant beslutningstakere. Tiltaksstrategier mot denne trenden utforskes i stor grad, både nasjonalt og internasjonalt. Tretrinnsstrategien er et eksempel på en tiltaksstrategi som benyttes i Norge. De ulike strategiene som presenteres medfører tiltakskostnader; det stilles dermed spørsmål om hvilke tiltak, og hvilken størrelse på tiltakene, som er mest effektiv per krone investert.

Denne oppgaven presenterer en metodikk for å estimere den samfunnsøkonomisk optimale tiltaksstørrelsen for fordrøyning av overvann lokalt, altså trinn 2 i tretrinnsstrategien, gitt at det stilles like krav til over et nedbørfelt. Dersom den optimale tiltaksstørrelsen for de ulike tiltakstrinnene i strategien kan estimeres for et nedbørfelt, forenkler det prosessen til beslutningstakerne som skal sette dimensjonerende krav. Oppgaven tar utgangspunkt i et case-område på Nadderud i Bærum kommune. Det benyttes to eksisterende modeller for å estimere ulike tiltaksstørrelsers nytte på case-området over en 100-års analyseperiode; en flom- og en kostnadsmodell.

Innledningsvis gjennomføres simuleringer av ulike nedbørhendelser ved hjelp av flommodellen. Simuleringene presenterer hvordan ulike nedbørhendelser forventes å påvirke nedbørfeltet ved de ulike tiltaksstørrelsene. Deretter benyttes kostnadsmodellen for å analysere resultatene og estimere skadede bygningers kostnad grunnet nedbørhendelsene. Ettersom oppgaven forsøker å anslå tiltaksstørrelsen som er mest lønnsom for *samfunnet*, behøves det estimerer på de øvrige kostnadsdriverne. Disse ble brakt inn ved hjelp av påslagsfaktorer på bygningsskadene. Herfra beregnes lønnsom gjennomsnittsstørrelse på tiltakene ved å analysere ulike betingelser som påvirker det totale kostnadsbildet, på et forholdsvis detaljert nivå. Betingelsene påvirker altså kostnadsbildet til både skadene og tiltakene.

Resultatene tyder på at den optimale lokale tiltaksstørrelsen for case-feltet er $150 \text{ m}^3/\text{ha}$, med de valgte tilnærminger. Dette er godt under dagens dimensjoneringspraksis i Norge. Oppgaven gir dermed indikasjoner på at bransjen dimensjonerer for store tiltak, sett i et samfunnsøkonomisk perspektiv. Funnene indikerer også at dagens praksis om felles krav til dimensjonering innad i kommunene, uavhengig av de lokale forhold, bør evalueres nærmere. Optimal tiltaksstørrelse virker også å være mer sensitiv for endring av tiltakets kostnader, enn av skadekostnadene; altså bør fokuset ligge på å holde tiltakenes kostnad nede. De valgte tilnærmingerens betydning anmodes undersøkt nærmere i en eventuell videreføring av oppgaven.



Summary

The future is expected to bring larger and more intensive precipitation. In the past, the damages caused by these precipitation events have resulted in high costs for the society in Norway; especially in urban areas. Over the years the damage costs have increased. As a result, extreme precipitation events have become a part of the agenda of decision-makers in Norway's municipalities. Scientists in Norway, and internationally, have studied strategies to manage the problem. As the suggested strategies to manage these events have certain costs, it is desirable to identify the most cost-efficient strategy.

If decision-makers have a tool to estimate the most cost-efficient criteria for local measures, at an economic level, it will be easier for both the municipalities and the developers to understand them. This thesis presents a way to estimate the optimal size of local measures against damages caused by precipitation, through a cost-benefit analysis. The approach assumes that each local plot inside a catchment area are given the same criteria. The method is based on a case-catchment area in Bærum municipality and makes use of two existing models; one model for flood modelling and one cost-model.

First, the method makes use of the flood model to simulate some precipitation events against different measures in the catchment. These simulations present how the varying precipitation events are estimated to influence the catchment, based on the size of the measure. The results of the simulations are then analyzed by the cost-model, which estimates the damage cost due to damaged buildings, caused by each simulated precipitation event. As the thesis aims to estimate the optimal size of the local measures on an economic level, one must include the cost drivers that influence the society, in addition to damaged buildings. This is achieved through the addition of a markup, based on the costs from damaged buildings. After adding the markups, it is possible to estimate the total costs throughout the 100-year analysis period for every measure size. This is done by adding the expected costs of the measures to the estimated damage costs with the size of the measure.

Based on the approaches, the results suggest that the optimal size of the local measures in the case-catchment area are $150 \text{ m}^3/\text{ha}$, which due to stricter regulations is below normal dimensions in Norway. This indicates that the country's municipalities are demanding cost-inefficient, large measures. Furthermore, the findings of the thesis suggest that the municipalities should evaluate ways to differentiate the measure size criteria, also in a single catchment. The optimal size of the measures interesting to note seems more dependent on the costs of the measure than the damage costs.



Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	v
Figurer	x
Tabeller	xiii
Forkortelser	xv
1 INTRODUKSJON.....	1
1.1 MOTIVASJON OG PROBLEMSTILLING	1
1.2 RELATERT ARBEID	3
1.3 STRUKTUR I OPPGAVEN.....	3
2 BAKGRUNN OG TEORI.....	4
2.1 OVERVANN – HVA ER DET OG HVORDAN OPPSTÅR DET?.....	5
2.1.1 <i>Hva er overvann?</i>	5
2.1.2 <i>IVF – data og gjentaksintervall</i>	5
2.2 FAKTORER SOM PÅVIRKER SKADEPOTENSIALET.....	7
2.2.1 <i>Nedbørfelt og konsentrasjonstid</i>	7
2.2.2 <i>Effektiv nedbør – mengden overvann som ender som avrenning</i>	7
2.3 MODELLERING AV URBANE PLUVIALE FLOMMER	11
2.3.1 <i>Geografiske informasjonssystemer (GIS)</i>	11
2.3.2 <i>MIKE FLOOD – Overvannsimuleringsverktøy</i>	11
2.4 SAMFUNNSØKONOMISK ANALYSE.....	13
2.4.1 <i>Normal prosedyre</i>	13
2.4.2 <i>Nullalternativ</i>	14
2.4.3 <i>Risiko og mulighet – usikkerheter</i>	14
2.4.4 <i>Sammenlikning av kostnader ved netto nåverdi</i>	15
2.4.5 <i>Beslutningstaking – hvilket alternativ er best?</i>	17
2.5 DIMENSJONERING AV FORDRØYNINGSMENGDER – EKSEMPLER PÅ DIMENSJONERINGSKRAV I NORGE	18
3 METODE	20
3.1 KORT OM VALG AV METODE	20
3.2 CASE-OMRÅDET	21
3.3 FLOMMODELLEN.....	22
3.3.1 <i>Viktige antakelser ved for modellen</i>	22
3.3.2 <i>Simulerte nedbørhendelser</i>	23
3.4 KOSTNADSMODELLEN.....	29
3.4.1 <i>Antakelser</i>	29
3.4.2 <i>Bearbeiding av resultater fra flomsimuleringene</i>	30
3.4.3 <i>Bygningene: FKB-data</i>	30
3.4.4 <i>Kostnadsmodellens funksjon</i>	31
3.5 SAMFUNNSØKONOMISKE VURDERINGER	32
3.5.1 <i>Skadekostnad på bygg kalkuleres i modellen; hva med resterende kostnadsdrivere?</i> 33	
3.5.2 <i>Håndtering av faktorer som ikke enkelt kan verdsettes</i>	34
3.5.3 <i>EAD – forventet årlig skade</i>	35
3.5.4 <i>Tiltakskostnader</i>	36

3.5.5	<i>Diskonteringsrente og inflasjon</i>	37
3.5.6	<i>De andre faktorene som påvirker tiltakskostnadene</i>	37
3.5.7	<i>Metoden på stikkordsform</i>	38
4	RESULTATER	40
4.1	FLOMSIMULERINGENE.....	40
4.2	KOSTNADSSIMULERINGENE	42
4.2.1	<i>Simulerte skadekostnader fra én hendelse</i>	42
4.2.2	<i>EAD inkludert påslag for andre faktorer</i>	42
4.2.3	<i>Tiltakskostnader</i>	43
4.2.4	<i>Totale kostnader med ulike tiltaksstørrelser</i>	46
5	DISKUSJON	50
5.1	FØLSOMHETSANALYSE AV RESULTATENE	50
5.1.1	<i>Totalkostnadene</i>	50
5.2	FORSKNINGSSPØRSMÅLENE	57
5.2.1	<i>Hvordan kan optimalt dimensjonerende gjentaksintervall for trinn 2 beregnes?</i>	57
5.2.2	<i>Hvilke variabler påvirker optimalt dimensjonerende gjentaksintervall for trinn 2? Hvor stor er påvirkningen?</i>	59
5.2.3	<i>Hvilken overføringsverdi har resultatene fra case-området?</i>	61
5.3	METODEDISKUSJON OG USIKKERHETER	62
5.3.1	<i>Usikkerheter ved flommodellen</i>	62
5.3.2	<i>Usikkerhet ved kostnadsmodellen</i>	66
5.4	SAMMENLIKNING MED LIKENDE ARBEID	68
6	KONKLUSJONER OG VIDERE ARBEID	70
6.1	FORESLÅTTE FORSKNINGSSPØRSMÅL FOR VIDERE ARBEID	72



Figurer

Figur 1-1: Skadekostnader i Norge. Grunnlag hentet fra VASK (Finans Norge, 31.12.2019).....	1
Figur 1-2: Illustrasjon av tretrinnsstrategien. (Paus, 2018, fig. 2)	1
Figur 2-1: IVF-kurven for Blindern målestasjon i Oslo, varighet 0-1440 minutter.....	5
Figur 2-2: Eksempel på et symmetrisk blokkhyetogram. (Lindholm, 1986, fig. 1).....	6
Figur 2-3: Infiltrasjonskapasitet ved konstant nedbørintensitet. Kilde: (Bøyum, et al., 1997).....	9
Figur 2-4: Blågrønn faktor forbedres fra øvre til nedre situasjon med 0,5 poeng; fra 0,3 til 0,8..	10
Figur 3-1: Illustrasjon for total kostnadsminima. X-aksen er i oppgaven gitt ved kubikkmeter per hektar. Hentet fra Paus (2019).....	21
Figur 3-2: Området som analyseres er belyst i bildet til venstre. Illustrasjon av alle bygninger på feltet til høyre.	21
Figur 3-3: Gjentakintervall med klimafaktor. Ekstrapolering av dataen i figur 2-1 for de simulerte varighetene.	23
Figur 3-4: Utklipp fra MIKE Flood. Eksempel med tidsvarierte nedbørintensitet. Bildet viser et 3 timers 20mm nedbør uten tiltak. X-aksen er tidspunkt, mens y-aksen viser nedbørintensitet [mm/time].....	27
Figur 3-5: Utsnitt fra ArcGIS. Grønne celler tilsvarer fotavtrykket til en bolig.	32
Figur 3-6: Påslagsfaktorer	34
Figur 4-1: Flombildet ved 70mm nedbør, 12 mm tiltak. Vanndybde i meter[m]. Bildet under brun prikk er gjengitt ved ulike nedbørhendelser i tabell 13.	40
Figur 4-2: 20 mm – 0 mm	41
Figur 4-3: 20 mm – 12 mm	41
Figur 4-4: 50 mm – 0 mm	41
Figur 4-5: 50 mm – 12 mm	41
Figur 4-6: 50 mm – 24 mm	41
Figur 4-7: 70 mm – 0 mm	41
Figur 4-8: 70 mm – 12 mm	41
Figur 4-9: 70 mm – 24 mm	41
Figur 4-10: EAD Påslag 1	42
Figur 4-11: EAD Påslag 2	42
Figur 4-12: EAD Påslag 3	43
Figur 4-13: EAD Påslag 4	43
Figur 4-14: EAD Påslag 5	43
Figur 4-15: Investeringskostnad 100 års levetid.	44
Figur 4-16: Investeringskostnad 50 års levetid	44
Figur 4-17: Investeringskostnad 50 års levetid	44
Figur 4-18: Årlige kostnaders bidrag til total kostnaden for tiltaket, 2% rente	45
Figur 4-19: Årlige kostnaders bidrag til total kostnaden for tiltaket, 3% rente	45
Figur 4-20: Grafisk fremstilling av tiltaksvariasjonene i tabell 12	45
Figur 4-21: Eksempel på situasjonen ved et sett betingelser. Legg merke til ulikt hopp i tiltaksstørrelser [m ³ /ha] på X-aksen; derfor bratt kurve på høyre side.	46
Figur 4-22: Andelen simuleringer som anbefalte tiltak av gitt størrelse. Utvalget er på 720 betingelses-kombinasjoner.	47
Figur 4-23: Andelen simuleringer som anbefalte tiltak av gitt størrelse, større enn 0. Det er 377 mulige kombinasjoner. Legg merke til fargedifferansen mellom denne og figur 4-22.	47
Figur 4-24: IK2000, ÅK10, 100år, DR2%, P3, R2	47

Figur 4-25: IK2000, ÅK40 , 100år, DR2%, P3, R2	47
Figur 4-26: IK2000, ÅK70 , 100år, DR2%, P3, R2	47
Figur 4-27: IK3000, ÅK10 , 100år, DR2%, P3, R2	48
Figur 4-28: IK3000, ÅK40 , 100år, DR2%, P3, R2	48
Figur 4-29: IK3000, ÅK70 , 100år, DR2%, P3, R2	48
Figur 4-30: IK4000, ÅK10 , 100år, DR2%, P3, R2	48
Figur 4-31: IK4000, ÅK40 , 100år, DR2%, P3, R2	48
Figur 4-32: IK4000, ÅK70 , 100år, DR2%, P3, R2	48
Figur 4-33: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P2, R2	49
Figur 4-34: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P3, R2	49
Figur 4-35: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P4, R2	49
Figur 4-36: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P2, R4	49
Figur 4-37: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P3, R4	49
Figur 4-38: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P4, R4	49
Figur 5-1: Antall simuleringer som endte med å anbefale tiltaksstørrelse «X» ved gitt påslag og reduksjon. P1-5 og R1-4. Det er 36 mulige kombinasjoner i hver søyle.	50
Figur 5-2: Andel av simuleringene som endte med å anbefale gitt tiltaksstørrelse ved P2-P5 og R1-R3, ekskludert nullalternativet.	53
Figur 5-3: Fordelingen av figur 5-2 basert på påslags- og reduksjonsfaktor. Det er 36 mulige utfall i hver søyle; de resterende konkluderte med nullalternativet. Legg merke til fargedifferansen i de to figurene.	53
Figur 5-4: Grafisk fremstilling av andelen lønnsomme tiltak ved gitt betingelse.....	55
Figur 5-5: Skadekostnad uten tiltak, påslag 3	56
Figur 5-6: 1, 3 og 6 timers kostnadspåvirkning. Logaritmisk skala på x-aksen.	63
Figur 5-7: Rekkehus, raster	67
Figur 5-8: Samme rekkehus – polygon	67



Tabeller

Tabell 1: Eksempler på tretrinnstrategier.	2
Tabell 2: Mettet hydraulisk konduktivitet fra målte verdier fra overflatetester masteroppgavens testede lokaliteter (Solheim, 2017).....	9
Tabell 3: Ulike faktorer som påvirker en beslutning ved ulike analysetyper. (Direktoratet for økonomistyring, 2018, s. 152).....	17
Tabell 4: Simulerte regnstørrelser, gjentakintervall = T med utgangspunkt i Blindern målestasjon.	23
Tabell 5: Infiltrasjonskategorier med tilhørende potensiell nedbørreduksjon i mm. GS = Grunnsimulering.....	26
Tabell 6: Oversikt over hvilke tiltak som er simulert.....	28
Tabell 7: Tiltakenes størrelse med ulik enhet.....	29
Tabell 8: FKB data over bygninger. Hentet fra (Nordheim, 2019, s. 28–29)	30
Tabell 9: Kostnader per kvadratmeter. (Nordheim, 2019, s. 73)	31
Tabell 10: Påslagsfaktorer	34
Tabell 11: Tiltakets enhetskostnader ved 30 m ³ per hektar.	36
Tabell 12: Tiltaksfaktorer – reduksjon grunnet kvantum.....	36
Tabell 13: Illustrasjoner for hvordan overvannsmengden rundt et bygg påvirkes av tiltakene. Skala for vanndybde i figur 4-1. Grønne celler tilsvarer to tilfeldig valgte bygninger på feltet, ikke samme utsnitt som Figur 3-5.	41
Tabell 14: Estimert skadekostnad ved én nedbørhendelse med gitt tiltaksstørrelse	42
Tabell 15: Beregnet EAD ved de ulike påslagene.....	43
Tabell 16: Ulike analyserte variabler/betingelser.....	46
Tabell 17: Endring i ÅK eller IK påvirker totalresultatet ved gitte betingelser.. Tabellen viser med andre ord enkelte betingelseskombinasjoner fra figur 4-21 og 4-22. X-aksen tilsvarer m ³ /ha, mens y-aksen viser feltets totale kostnader. Legg merke til ulikt hopp i tiltaksstørrelser på X-aksen; derfor bratt kurve på høyre side.	47
Tabell 18: Endring i påslagsfaktor eller reduksjonsfaktor ved ellers konstante betingelser. X-aksene tilsvarer [m ³ /ha], mens y-aksen viser feltets totale kostnader. Legg merke til ulikt hopp i tiltaksstørrelser på X-aksen; derfor bratt kurve på høyre side.	49
Tabell 19: Total skade uten tiltak.....	51
Tabell 20: Tiltakskostnader ved like betingelser, men ulik reduksjonsfaktor på tiltakskostnadene	52
Tabell 21: Sammenlikning av anbefalt tiltak ved ulike betingelser, men likt påslag (nr.3) og reduksjon (nr. 2)	54
Tabell 22: Sammenlikningsstrategi for tabell 21	54
Tabell 23: Sammenlikning av totale grunnhetskostnader (Kostnad ved 30 m ³ /ha)	59



Forkortelser

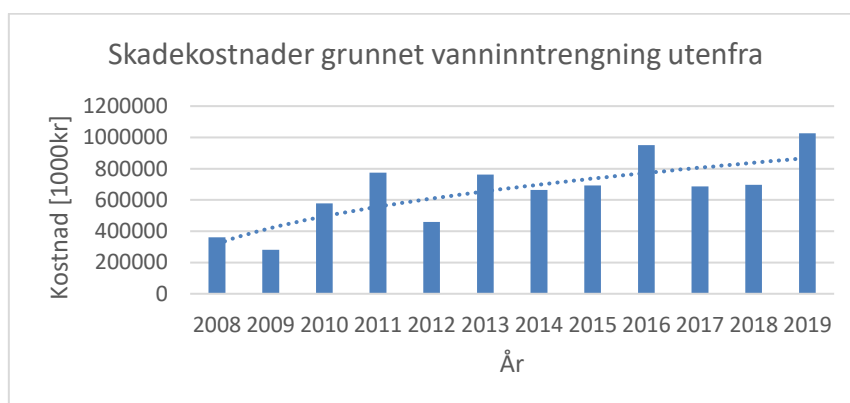
VA	Vann og avløp
GIS	Geografiske informasjonssystemer
IVF	Intensitet-varighet-frekvens
NNV	Netto nåverdi
DOM	Digital overflatemodell
DTM	Digital terrengmodell
EAD	Expected Annual Damagecost
P	Påslagsfaktor
R	Reduksjonsfaktor
DR	Diskonteringsrente
ÅK	Årlig Kostnad
IK	Investeringskostnad



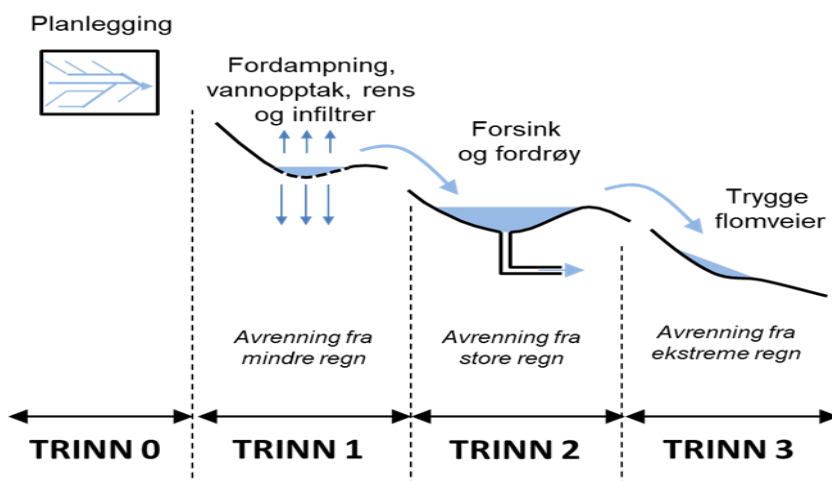
1 Introduksjon

1.1 Motivasjon og problemstilling

Overvann har de siste årene fått økt oppmerksomhet. I fremtiden forventes større og mer intensive nedbørhendelser grunnet klimaendringene. Samtidig fortettes overflaten til med flere bygg, veier og andre harde flater. Dette fører til at vannet har vanskelig for å finne vei gjennom byene uten å skape ulemper; ulemper kommune-Norge har merket i form av skader for mange millioner krone, se figur 1-1. Legg spesielt merke til trenden som viser at skadekostnadene har økt de siste årene. Norge er ikke alene om å oppleve trenden om større og mer intensive nedbørhendelser. De senere år har det blitt forsøkt å finne bedre løsninger for å håndtere problemet på en god måte. Tretrinnsstrategien, som blant annet presenteres i Norsk vann rapport 162 er et eksempel på dette; se illustrasjon i figur 1-2 (Lindholm et al., 2008). Strategien innebærer å infiltrere avrenningen fra mindre regn, forsinke og fordrøye større hendelser og sørge for sikre flomveier for de ekstreme hendelsene. Det viser seg dog at skillene mellom de ulike trinnene i strategien er noe vag. Noen tilnærminger som er foreslått tidligere vises i Tabell 1.



Figur 1-1: Skadekostnader i Norge. Grunnlag hentet fra VASK (Finans Norge, 31.12.2019)



Figur 1-2: Illustrasjon av tretrinnsstrategien. (Paus, 2018, fig. 2)

Tabell 1: Eksempler på tretrinnsstrategier.

Klassifisering	Eks. 1: Millimeter[mm]	Eks 2: [Varierende enhet]	Eks. 3: Gjentaksintervall
Mindre nedbør	(0, 20]	<20mm	<1 år
Store nedbør	(20, 40]	<1-års flommen	<25 år inkl klimafaktor 1,5
Ekstremnedbør	[40,∞)	<100-års flommen	<200år inkl klimafaktor 1,5

Dimensjonerende grense for trinn 2 settes i dag av kommunen (Direktoratet for byggkvalitet, 2017), men trenden viser at selv om veiledere påpeker behov for lokal tilpasning og vurdering et det ofte store likhetstrekk mellom nabokommuner. Er det gjennomført lokale undersøkelser i forkant av kravsettingen? Det overordnede målet med oppgaven er å vurdere dimensjonerende grense for fordrøyning på egen tomt i henhold til tretrinnsstrategien, ut fra et kost-nytte perspektiv. I disse dager ligger det ute et høringsforslag som ser på presiseringer av disse kravene (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2020). Et interessant spørsmål blir dermed om funnene fra oppgavens caseområde stemmer overens med planforslaget. Hovedfokuset i oppgaven legges på det samfunnsøkonomiske bildet, altså inkluderes også faktorer som ikke enkelt kan verdsettes i kroner og ører. For å imøtekomme dette er det satt opp følgende spørsmål som oppgaven forsøker å besvare:

Spørsmål 1: Hvordan kan optimalt dimensjonerende gjentaksintervall for trinn 2 beregnes?

Spørsmål 2: Hvilke variabler påvirker optimalt dimensjonerende gjentaksintervall for trinn 2 og hvor stor er påvirkningen?

Spørsmål 3: Hvilken overføringsverdi har resultatene fra case-området?

Spørsmålene er forsøkt besvart ved å benytte to ferdigutviklede modeller; en flom- og en kostnadsmodell. Flommodellen er utviklet i programmet Mike Flood av Sweco Norge AS, med Torbjørn Friborg i spissen. Lars-Gunnar Nordheim utviklet og kalibrerte kostnadsmodellen i Python med utgangspunkt i en tidligere versjon av samme flommodell, under en tidligere masteroppgave (Nordheim, 2019). Oppgavens metodikk fremkommer detaljert i kapittel 3, men utgangspunktet er å simulere ulike nedbørhendelser på et case-område for deretter å analysere resultatene ved hjelp av kostnadsmodellen og ytterligere evaluering.

1.2 Relatert arbeid

VA Miljøblad 85 (Endresen, 2008) så på valg av dimensjonerende gjentakintervall for overvannsanlegg gjennom en liknende analyse som oppgaven presenterer. Legg merke til at miljøbladet fokuserer på dimensjonering av overvannsanlegg, altså ikke bare dimensjonering av fordrøyningsiltak. Analysemetodikken har likevel likhetstrekk denne oppgavens. De benytter dog ikke samme formelverk for å evaluere hvor store årlige skadekostnader som kan forventes fra nedbørhendelser, men går mer pragmatisk til verks.

Phan Åge Haugård undersøkte i en masteroppgave fra 2017 lønnsomheten for ved overvannstiltak (Haugård, 2017). Han konkluderte med at den mulige kostnadsbesparelsen av overvannstiltak var skyhøy; spesielt ved benyttelse av åpne og lokale overvannsløsninger. Hans oppgave undersøkte dog påvirkning av ledningsnett og kostnader knyttet til tilbakeslag i kjeller. Tiltak ble også strategisk plassert, noe som ikke er gjort i denne oppgaven.

Menon-publikasjon nr. 97/2018 (Kaja Høiseth-Gilje et al., 2018) presenterer en samfunnsøkonomisk analyse for hvordan et sett ulike endringer av kravspesifikasjoner for overvannshåndtering vil kunne påvirke lønnsomheten ved håndteringen. Publikasjonen benytter en rapport fra 2015 (Magnussen et al., 2015) som utgangspunkt for å vurdere lønnsomhet ved tiltakene.

Rambøll, ved Nordeidet et al. (2019), undersøkte hvor store kostnader en nedbørhendelse på 155 mm over 2 timer vil føre til for et område på Bislett, i Oslo kommune. Dette var også en samfunnsøkonomisk undersøkelse. De undersøkte ikke hvilke tiltak som anbefales, hverken dimensjon eller type, men så eksplisitt på hvor stor ulempe en slik enkelthendelse vil påføre samfunnet.

1.3 Struktur i oppgaven

Oppgaven er skrevet i «IMRAD»-stil (Introduksjon, Metode, Resultat og Diskusjon (og konklusjon)). Det er i tillegg valgt å inkludere et bakgrunns kapittel som presenterer nødvendig teoretisk bakgrunn for å forstå omfanget til analysen. Denne masteroppgaven er meget tverrfaglig med innspill av overvannsmodellering, programmering og økonomiske vurderinger.

2 Bakgrunn og teori

For å velge riktig nivå for håndtering av overvann behøves en kompleks samfunnsøkonomisk analyse. Det vesentlige er å tenke på helheten, altså hele samfunnet. Et nedbørfelt, forklares nærmere i kapittel 2.3.1, skal etter dagens lovverk ikke oppleve store skader ved nedbørhendelser under dimensjonerende grenser (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, s. 28). Feltet skal samtidig ikke påvirke feltene som ligger nedstrøms negativt, innenfor samme rammer. Med andre ord må nedbøren som faller på et nedbørfelt håndteres lokalt, inntil dimensjonerende grenser. Uttrykk som LOD («*Lokal overvannsdiskonering*») er hyppig brukt for å beskrive dette (Lindholm et al., 2008, s. 30).

For å beregne nødvendig fordrøyningsmengde for en tomt, eller et nedbørfelt, er det en del parametere som må være kjent. Parameterne kan prinsipielt sett deles inn i fordeler og ulemper som veies mot hverandre. For å avklare fordelene ved en tiltaksstørrelse sammenliknet med en annen behøves det en kompleks og tidkrevende prosess; det er som nevnt mange faktorer som skal avklares. Viktige faktorer er eksempelvis skadepotensialet på bygninger, infrastruktur, fare for liv og helse med mer (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2016, s. 26–36). Samtidig medfører et tiltak flere negative ringvirkninger. Eksempler kan være kostnader til drift og vedlikehold eller uønsket tomteutnyttelse; et tiltak tar opp arealer som ofte ønskes utnyttet på annet vis.

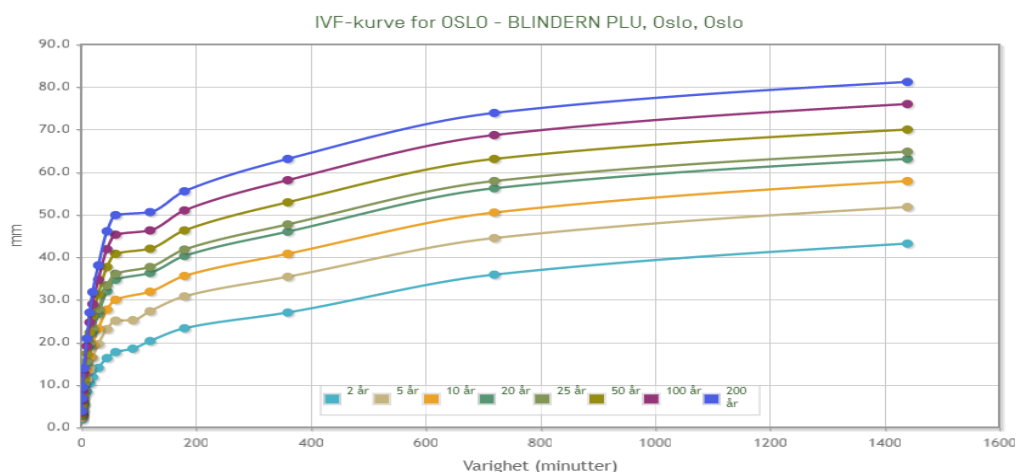
Norsk vann rapport 162 anbefaler at nødvendig fordrøyningsmengde, altså tiltakets nødvendige størrelse og kapasitet, bestemmes lokalt (Lindholm et al., 2008). En nevnt samfunnsøkonomisk analyse for *alle* lokale områder vil grunnet kompleksiteten være ekstremt fordyrende; i hvert fall dersom analysen ikke behøves. Dette medfører at det gjøres en del forenklinger ved dimensjonering av overvannshåndteringen. Kompleksiteten til denne masteroppgaven medfører et behov for en kort innførsel i nødvendig teori før metoden beskrives. Kapittel 2 er derfor ment å gi et bilde av hva som forårsaker overvann, hvilke faktorer som kan redusere mengden og hva dette medfører av kostnader og andre virkninger. Først gis dermed en innføring i overvannsproblematikken. Deretter presenteres en kortversjon av hvordan en samfunnsøkonomisk analyse gjennomføres, før kapittelet avsluttes med noen eksempler på hvilke krav noen norske kommuner setter i dag.

2.1 Overvann – hva er det og hvordan oppstår det?

2.1.1 Hva er overvann?

Overvann tolkes som avrenning på overflaten som følge av enten nedbør eller smeltevann (Lindholm et al., 2008). For å forstå hvordan dette overvannet oppstår og dernest oppfører seg må en sette seg inn i en del faktorer. En nedbørhendelse med en gitt intensitet og størrelse kan potensielt føre til store mengder overvann enkelte steder, mens det andre steder vil påvirke minimalt. Bare se til differansen i snøforholdene mellom Nord- og Øst-Norge, så forstår du at nedbør av samme karakter ikke automatisk påvirker samfunnet likt. Hvilken nedbørstørrelse som vil medføre skade i et vilkårlig område er det dermed ingen fasit for, men lokalt vil det være større sannsynlighet for å predikere korrekt. Generelle aspekter som er viktige i forebyggingsanalyser presenteres i de kommende avsnittene.

2.1.2 IVF – data og gjentaksintervall



Figur 2-1: IVF-kurven for Blindern målestasjon i Oslo, varighet 0-1440 minutter.

Hentet fra Norsk Klimaservicesenter (24.05.2020)

Klassifisering av nedbørintensitet gjøres ved intensitet-varighet-frekvens (IVF) kurver. Ved hjelp av slike kurver kan intensiteten ved en gitt regnvarighet og et gitt gjentaksintervall leses av. Et eksempel på en IVF-kurve vises i Figur 2-1. Gjentaksintervallet forteller oss om *overskridelses-sannsynligheten* til en hendelse; hvor mange år tar det statistisk mellom hver gang en nedbørhendelse med gjentaksintervall «T» overskrides (Norsk Klimaservicesenter, udatert). Norsk Klimaservicesenter leverer kurver som i figuren over for hver enkelt nedbørmålestasjon. Disse kurvene benyttes i Norge for å estimere dimensjonerende nedbørparametere. En kommune kan i dag eksempelvis sette krav til at fordrøyningskapasiteten skal dimensjoneres for et 20-års nedbør, ved boligbygging (Frogn kommune, 2015, s. 28; Oslo kommune, 2017, s. 19). Det er viktig å forstå at samme gjentaksintervall **ikke** er synonymt med identisk nedbørintensitet ved alle nedbør-

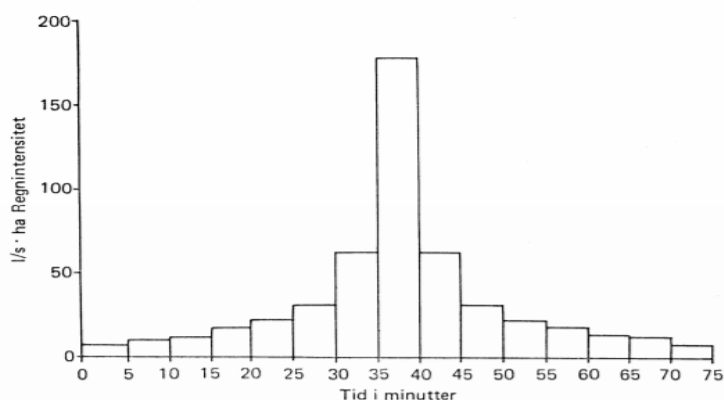
varigheter. Et kortvarig 100-års nedbør vil ha *større intensitet* enn et lengre. Nedbørmengden vil på sin side være større ved lange varigheter.

2.1.2.1 Klimaendringer

Klimaendringene verden står ovenfor ser ut til å påvirke nedbørbildet for fremtiden. Norsk klimaservicesenter (Dyrddal & Førland, 2019) anbefaler grunnet dette at det på generell basis et påslag på rundt 40% på IVF-dataen ved nedbørhendelser opp til 3 timer. For lengre hendelser anbefales det 30% påslag. Påslagene kalles ofte for klimafaktor. Forskningen antyder altså både mer nedbør og større nedbørintensitet i fremtiden. Dette medfører at dimensjonering etter IVF-data blir mer usikkert. Det som tidligere var en ekstremhendelse kan i fremtiden bli normalt. Usikkerheten ved dimensjoneringskriteriene blir altså økende grunnet økt usikkerhet i forventet nedbørkarakteristikk.

2.1.2.2 Symmetrisk blokkhyetogram

Når en skal modellere overvannsfloem er det normalt å konstruere symmetriske blokkhyetogram, se eksempel i Figur 2-2. Disse utarbeides fra IVF-kurver ala den i Figur 2-1. For å se mer på utarbeidelsen av slike symmetriske blokkhyetogram henvises det til (Lindholm et al., 2012, s. 64–65). Det finnes også andre typer syntetiske nedbør, altså konstruerte nedbør, eksempelvis kassenedbør og Chicago-metoden. Av de nevnte er Chicago-metoden og symmetriske blokkhyetogram å foretrekke i modelleringssammenheng, spesielt ved konvektive nedbørhendelser som er kortvarige og kraftige. Dette ettersom begge hensyntar en variasjon i nedbørintensitet og viser til høy intensitetstopp. Under vises et eksempel på et symmetrisk blokkhyetogram med beregningssteg på 5 minutter.



Figur 2-2: Eksempel på et symmetrisk blokkhyetogram. (Lindholm, 1986, fig. 1)

2.2 Faktorer som påvirker skadepotensialet

Forståelsen om at et 100-års *nedbør* **ikke** nødvendigvis medfører en 100-års *flom* er viktig. Flommens størrelse avhenger av en rekke andre faktorer. Dette vil utdypes nærmere i dette kapitlet. I korte trekk: At det er nedbør som er dimensjonerende faktor, og ikke flom-størrelsene, medfører en del usikkerheter. Likevel er det vanlig å sette dimensjonerende grenser etter nedbøren grunnet mangel på lokale målestasjoner som måler flombildet lokalt. Vi har rett og slett ikke bedre verktøy for å predikere det pluviale flombildet per i dag.

2.2.1 *Nedbørfelt og konsentrasjonstid*

Et nedbørfelt kan forstås som det området som har utløp i samme punkt (Heggstad & Rosvold, sist revidert 20.12.2019). Det finnes mindre delfelt innad i et nedbørfelt. Størrelsen til nedbørfeltet og delfeltene avhenger av terrengprofilen, også kalt topografien, i området feltet befinner seg, samt nedbørkarakteristikken. I et nedbørfelt vil responsen, altså avrenningen, avhenge av noen faktorer som forklares nærmere i kapittel 2.2.2. Først bør leser forstå seg på begrepet *konsentrasjonstid*. Uttrykket har *ikke* en fastsatt definisjon, men en vanlig tolkning viser til tiden det tar fra det fjerneste hydrauliske punktet i nedbørfeltet til utløpet (Stenius et al., 2015). Med det fjerneste hydrauliske punktet menes i det punktet som medfører lengst avrenningstid; ikke nødvendigvis punktet med størst geografisk avstand. Konsentrasjonstiden er altså korrelerende med avrenningen fra feltet og dernest påvirkes avrenningsmønsteret av hvordan feltet responderer på nedbøren.

Konsentrasjonstid uttrykkes ofte med hensyn på effektiv nedbørintensitet, feltlengde, helning i feltet, ruhet og urbaniseringsgrad. Ved økt ruhet eller feltlengde øker konsentrasjonstiden, mens større helning, nedbørintensitet eller urbaniseringsgrad generelt antas å medføre en forkortet konsentrasjonstid og økt avrenningsrespons (Bøyum, Eidsmo, Lindholm, et al., 1997). Ruheten varierer mellom årstidene og vil i tillegg ofte variere med hensyn på hvordan terrenget bearbeides. Utbygging og fortetting innad i et nedbørfelt vil for eksempel påvirke konsentrasjonstiden dersom noen av de nevnte faktorene endrer seg; ofte viser det seg at konsentrasjonstiden synker og medfører en økt respons i form av mer overvann. Hvilken avrenningsrespons som vil gi problemer både innad i og nedstrøms nedbørfeltet blir da et vesentlig spørsmål.

2.2.2 *Effektiv nedbør – mengden overvann som ender som avrenning*

Effektiv nedbør kan tolkes som den delen av nedbøren som ender opp som avrenning. For å beregne effektiv nedbør behøves det altså data om hvor mye av nedbøren som ender opp andre steder enn som overvannsavrenning. Nedbørtapet avhenger blant annet av hva som befinner seg

på terrenget, hvordan terrenget er utformet og infiltrasjonsevnen. Mengden effektiv nedbør et nedbørfelt opplever blir altså utgangspunktet for hvilken overvannsflom en nedbørhendelse vil kunne føre til. Formelen for effektiv nedbør er dermed:

$$P_e = P - P_{tap} \quad (1)$$

hvor P henviser til nedbør og P_{tap} viser til nedbørtap.

2.2.2.1 Nedbørintensitet

Hvor mye nedbør, altså nedbørmengden, en nedbørhendelse bringer er viktig for responsen til et felt. Enda viktigere er nedbørintensiteten som vil si nedbørmengden dividert på nedbørvarigheten. Dersom det eksempelvis faller 10 mm nedbør på fem minutter er responsen, og dermed skadepotensialet, større enn dersom samme mengde faller på én time, ved ellers like forutsetninger. Uten videre kjennskap til nedbørfeltet og forutsetningene kan en derimot ikke fastslå skadepotensialet. Vi må kjenne til nedbørtapet som forventes i feltet.

2.2.2.2 Ulike årsaker til nedbørtap

2.2.2.2.1 Topografi: Gropmagasinering og intersepsjon

Terrengets utforming, altså topografien, påvirker skadepotensialet, ettersom det påvirker avrenningsmengden og konsentrasjonstiden til nedbørfeltet i stor grad. Kunnskap om *intersepsjonsevnen*, *gropmagasineringspotensialet* er vesentlige i beregninger for avrenning. Gropmagasinering (Bøyum, et al., 1997, s. 20) omfatter en forminskelse av effektiv nedbør som følge av vannoppsamling i groper, sprekker og liknende. *Intersepsjon* medfører nedbørtap grunnet oppsamling av vann, primært på vegetasjon (Bøyum et al., 1997, s. 31); men en kan også la andre objekter som kan samle vann på objektoverflaten slik at vannet ikke når bakkenivå falle under begrepet. Intersepsjon medfører altså at vannet ikke når bakkenivå, mens gropmagasinering holder vannet igjen på bakken.

2.2.2.2.2 Infiltrasjon

Infiltrasjon er den faktoren som bidrar til det største nedbørtap om en ser på lengre hendelser. Dette er en betegnelse for prosessen der overvann trenger gjennom overflaten (NOU 2015:16, 2015), noe som kan ses på som umettet strømming i vertikal retning. Infiltrasjon representerer kun strømmingen igjennom overflaten; det gjelder altså ikke strømmingen under overflaten. Strømmingen under bakken kalles på sin side for perkolasjon og omtales ikke nærmere. Infiltrasjonshastigheten er dog avhengig av perkolasjonshastigheten. Mengden vann som infiltrerer avhenger altså av jordsmonn og topografi. Richards likning (Richards, 1931) viser standardmodellen for umettet strømming i vertikalretning:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

hvor,

θ = vanninnhold [ingen enhet]

t = tid [T]

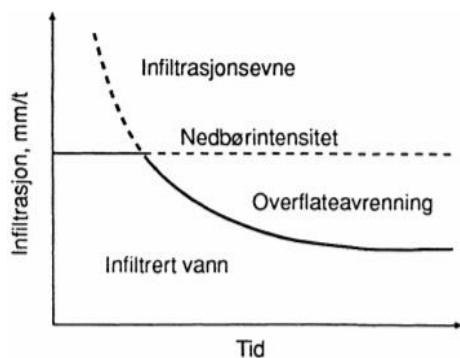
K = Hydraulisk konduktivitet $\left[\frac{L}{T} \right]$

z = vertikal avstand fra datum [L]

h = vannets energihøyde [L]

Denne likningen er en partiell differensiallikning noe som innebærer at den ikke er enkel å løse analytisk. Det finnes andre modeller som Horton (Horton, 1933) og Green-Ampt (Heber Green og Ampt, 1911) som ser på problematikken empirisk. Oppgaven tar som nevnt utgangspunkt i Mike Flood som bruker en analysemetode som skiller seg fra disse igjen. For å se mer om hvordan Mike Flood løser infiltrasjonsproblematikken henvises det til side 7 i «Utvikling av en kost-nyttmodell basert på urban flommodellering og FKB-data» (Nordheim, 2019) og manualen til DHI (DHI, 2017, s. 21).

For å gi en prinsipiell forståelse av infiltrasjonsraten presenteres en liten egenformulert forklaring. Infiltrasjonsraten avhenger av jordens metning, vannmengde over bakken, overflatetettheten og topografien i terrenget. Dette betyr at dersom jordsmonnet er nokså tørt, overflaten er nokså flat og har mye sprekker, samt at det befinner seg mye vann på overflaten, vil vannet infiltrere raskt. Hardere og tettere overflate medfører en vesentlig reduksjon i infiltrasjonspotensialet, og dermed økt avrenning. Hvilke løsmasser som befinner seg under overflaten påvirker også infiltrasjonsraten (Solheim, 2017). Figur 2-3 viser infiltrasjonshastighetens variasjon i tid, med hensyn på konstant nedbørintensitet. Tabell 2 viser til en masteroppgaves målte infiltrasjonshastigheter på overflaten ved ulike lokasjoner (Solheim, 2017). Vold_B sin overflate er siltig leire/siltig mellomleire, mens det ved Kuba er Siltig sand/sand. Masteroppgavens resultater viste vesentlig differanse på målte verdier mellom jordartene, men også innad i samme jordart.



Figur 2-3: Infiltrasjonskapasitet ved konstant nedbørintensitet.

Kilde: (Bøyum, et al., 1997)

Tabell 2: Mettet hydraulisk konduktivitet fra målte verdier fra overflatetesten masteroppgavens testede lokaliteter (Solheim, 2017)

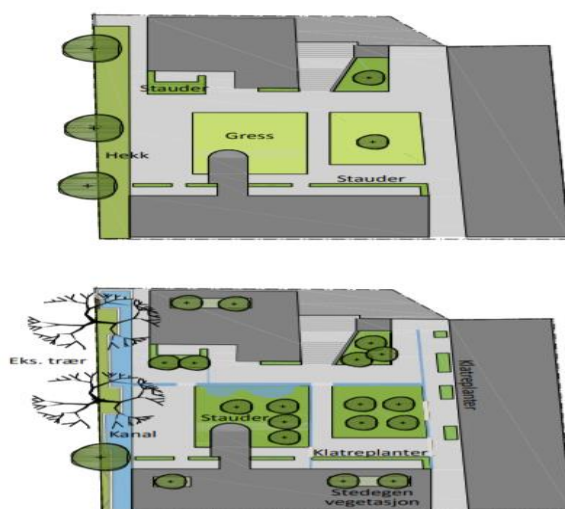
K _{sat} [cm/t] på overflaten			
Lokalitet	MPD*	MPD	Dobbelring
Deich_A	NA	NA	6,2
Deich_B	19,2 (40 min)	36,5 (38 min)	12,5 (60 min)
Jupiter_A	7,2 (35 min)	16,7 (60 min)	16,6 (60 min)
Jupiter_B	6,3 (70 min)	15,5 (50 min)	21,3 (40 min)
Kuba_A	13,3 (30 min)	11,7 (40 min)	20,4 (35 min)
Kuba_B	13,8 (25 min)	7,5 (118 min)	10,6 (30 min)
Langmyr_A	9,3 (40 min)	5,1 (85 min)	89,5 (28 min)
Langmyr_B	7,9 (60 min)	33,1 (20 min)	62,5 (35 min)
Sofie_A	2,2 (140 min)	9,2 (60 min)	8,9 (35 min)
Sofie_B	2,7 (110 min)	26,2 (75 min)	1,5 (75 min)
Vold_A	6,6 (50 min)	17,3 (40 min)	12,4 (40 min)
Vold_B	15,5 (70 min)	1,1 (60 min)	0,5 (60 min)

2.2.2.3 Tiltak

Tiltak vil i denne oppgaven defineres som inngrep som gjøres lokalt for å begrense overvannsavrenningen; tiltak begrenser altså effektiv nedbør og avrenningspotensialet fra et område i nedbørfeltet. Eksempler på tiltak kan være fordrøyningsmagasiner under bakken, regnbed, grønne tak, eller økning av kapasiteten til overvannsnett (Magnussen et al., 2015, s. 20). Tiltakene kan i tillegg til å dempe overvannsflommen medføre både positive og negative ringvirkninger. Av negative faktorer er spesielt drift- og vedlikeholdskostnader viktig, men også arealutnyttelsen: Tiltakene vil ta opp plass på tomten til utbygger. De medfører også investeringskostnader for utbyggeren. På den positive siden finnes mange tiltak som endrer bybildet i en gunstig retning. Overvannstiltak som grønne tak, regnbed, flere trær og vannspeil endrer bybildet på en positiv måte; det blir enkelt sett et mer estetisk bybilde.

2.2.2.3.1 Blågrønn faktor

For mange kommuner er blå-grønn faktor (BGF) blitt vesentlig under beslutningsprosesser. Faktoren er ment å gi utbyggere forutsigbarhet for hva som kreves av grøntarealer i nye prosjekter (Stange et al., 2014). $BGF = \frac{\text{økologisk effektiv overflate}}{\text{totalt tomteareal}}$. Skalaen går dermed fra 0 til 1, der 1 tilsvarer et godt resultat for BGF. Flere grønne arealer eller eksempelvis større trær forbedrer BGF-skåren. Ås kommune krever i sin veileder en BGF på minimum 0,7 i bykjernen ved tett blokkbebyggelse (Ås kommune, 2015, s. 27). Figur 2-4 viser et eksempel. Faktoren benyttes for å sikre at innbyggere skal føle en tilhørighet og trivsel, selv om de befinner seg i bykjernen. Faktoren benyttes også for å sørge for at ikke alle overvannstiltak skjer under bakken. Dette gir altså en samfunnsøkonomisk nytte utover å dempe overvannsflommer.



Figur 2-4: Blågrønn faktor forbedres fra øvre til nedre situasjon med 0,5 poeng; fra 0,3 til 0,8.

Kilde: (Stange et al., 2014, s. 9)

2.3 Modellering av urbane pluviale flommer

2.3.1 Geografiske informasjonssystemer (GIS)

Overvannsanalyser er avhengige av kartdata og geografiske informasjonssystemer som sier noe om topografien i et nedbørfelt. Data som analysemodellene benytter hentes ofte rett fra GIS. Det finnes eksempelvis kartdata som kalles FKB-data (Kartverket, 2014). Slike data omfatter kart over eksempelvis infrastruktur og boligmasser. Detaljert data om plassering av veier, bygninger, fortauskanter, samt vann og avløps nett gir et nødvendig grunnlag for en god overvannsanalyse. Kartdata representeres normalt ved vektor- eller rasterdata (Kartverket, 2020). Førstnevnte innebærer at objekter defineres ved punkter med definerte koordinater. Deretter kan det trekkes linjer mellom punktene for å vise overflaten til objektet. Et hus vil ofte representeres ved punkter på hjørnene. Vektordata gir dermed en god presentasjon, noe som bidrar til at FKB-data blir lagret på vektorformat.

Når en analyserer rasterdata vil analyseområdet deles opp i celler med definert størrelse, eksempelvis 2x2m, og hver raster tilegnes koordinater. Objekter presenteres nå ved å tilegne dem den verdien som overlapper objektet best. Dette innebærer at større rasterceller vil representere et objekt dårligere enn et mindre; vi er altså avhengig av god oppløsning for gode resultater. Dersom en nøyaktig representasjon ønskes er vektordata å foretrekke, men rasterdata har på sin side fordeler ved at analyser på cellenivå ofte er enklere. Kostnadsmodellen denne oppgaven er utarbeidet med utgangspunkt i, benytter matriseoperasjoner på rasterdata.

2.3.2 MIKE FLOOD – Overvannsmodelleringsverktøy

Mike Flood er en anerkjent programvare for modellering av urbane pluviale flommer. Programvaren tillater å koble modeller for ledningsnett under bakken med en overflatemodell. Den fullstendige beregningsmetodikken til modellen vil ikke beskrives i oppgaven. Mer detaljert informasjon om dette finnes manualene (DHI, udatert). I det videre presenteres likevel grunnleggende teori for flommodellering.

2.3.2.1 Strømningsmønster

I hydrauliske modeller er utgangspunktet numeriske beregninger av ikke-stasjonære strømninger for inkompressible væsker. Disse beregningene benytter Navier-Stokes likninger, se formel (3). Hvordan de kan utledes beskrives kort i Gilles & Moore (2010, s. 3). Likningene kan løse de aller fleste strømningsbilder som kan oppstå. Ulempen er at beregninger med disse likningene er meget komplekse og tidkrevende.

$$\begin{aligned}
\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x \\
\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_y \\
\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_z
\end{aligned} \tag{3}$$

hvor,

$$\begin{aligned}
\rho &= \text{tetthet} \left[\frac{M}{L^3} \right] \\
p &= \text{trykk} \left[\frac{M}{T^2 L^2} \right] \\
g &= \text{tyngdeaksellerasjon} \left[\frac{M}{T^2} \right] \\
t &= \text{tid} [T] \\
\mu &= \text{væskens tetthet} \left[\frac{M}{L^3} \right] \\
x, y, z &= \text{kartesiske koordinater} [L] \\
u, v, w &= \text{hastighetskomponent i } x, y \text{ og } z \text{ - retning} \left[\frac{L}{T} \right]
\end{aligned}$$

Et kjent ordtak er at «Tid er penger». Grunnet tidsbruken er det normalt å analysere med færre dimensjoner ettersom dette fortsatt kan kvantifisere flomdybde, flomutbredelse og hastighet (Gilles & Moore, 2010). Ved beregninger i eksempelvis kanaler benyttes noe som kalles Saint Venants likninger. Disse likningene er gyldige for én-dimensjonal strømning og beskriver bevaring av masse og moment. Ved større overganger, eksempelvis overganger som forårsaker turbulens kreves to eller tredimensjonale beregninger. En overgang kan for eksempel være ved utløpet til en kanal, der vannet vil spre seg ut over overflaten (Bates og De Roo, 2000).

Ved slike tilfeller er det normalt å benytte en tilpasset form av St. Venants-likninger som kalles St. Venants gruntvannslikninger i to dimensjoner. Gruntvannslikningene er da dybdemidlet, noe som innebærer at hastighetsvariasjon mellom bunnen og overflaten ikke hensyntas. Likningene evner da å gi en god visualisering av flomutbredelsen. Dog er de som nevnt komplekse, så det kreves god grunnlagsdata. Med et godt datagrunnlag menes data med tilstrekkelig oppløsning. I delkapittel 2.3.2.3 forklares dataproblematikken noe nærmere.

2.3.2.2 Ledningsmodeller

Ledningsmodeller viser til hvordan vannet oppfører seg i rørene under bakken. Det er vanlig at ledningsnettets komponenter representeres ved noder, også kalt knutepunkt, og ledninger. Knutepunktene er ment å representere kummer, sluk, overløp og liknende. Ledningene ligger mellom nodene og representeres normalt ved størrelse, ruhet, lengde, fall også videre. Kapasiteten til et

ledningsnett kan dermed modelleres ved disse faktorene. Nærmere utdypning vil ikke presenteres her. Mer informasjon om hvordan MIKE løser dette finnes på nettsidene til DHI (DHI, 2019).

2.3.2.3 Overflatemodeller

Utarbeidelsen av overflatemodeller innebærer å lage en sammenstilling nedbørdata og overflatekarakteristikk. Hvordan sammenstillingen skjer avhenger av modellen, men det er som nevnt viktig å være klar over at beregningene som skjer ved spesielt urbane settinger er meget komplekse. Dette setter altså store krav til datavalidering. Wang et. al (2018) så på viktigheten av nøyaktigheten til grunnlagsdataen som benyttes i flommodellering. De fire viktigste momentene som ble trukket frem var detaljnivået på topografisk informasjon, mangel på kalibreringsdata, metodene som benyttes for å se på interaksjon mellom overflatevann og transportsystem under bakken, samt usikkerhet rundt arealutnyttelsen i fremtiden.

Hva angår topografiske modeller skilles det mellom digitale terrengmodeller (DTM) og digitale overflatemodeller (DOM). Sistnevnte inkluderer objekter som hus, anneks, fortauskanter, trafikkøyer også videre. Alle disse objektene påvirker overflateavrenningen i stor grad. Variasjon i detaljnivå på dette planet kan påvirke analyseresultatene i stor grad (Chen et.al., 2012a, b). Generelt minker usikkerheten i analysene med stigende kvalitet på grunnlagsinformasjonen en besitter. Mengden informasjon er altså ikke direkte korrelert med mindre usikkerhet, med mindre kvaliteten er god. Denne oppgaven ser hverken på validering eller kalibrering av modellene direkte, men forsøker å validere resultatene fra den sammenstilte modellen.

2.4 Samfunnsøkonomisk analyse

2.4.1 Normal prosedyre

En samfunnsøkonomisk analyse har følgende steg i prosessen(Direktoratet for økonomistyring, 2018, s. 38). Denne oppgaven fokuserer på de uthevede punktene:

- 1) **Beskrive problemene og formulere mål, spesielt «Null alternativet» (se 2.4.2)**
- 2) Identifisere og beskrive relevante tiltak
- 3) **Identifisere virkninger tiltakene medfører**
- 4) **Tallfeste og verdsette virkningene**
- 5) **Vurdere den samfunnsøkonomiske lønnsomheten**
- 6) Gjennomføre en usikkerhetsanalyse
- 7) **Beskrive mulige fordelingsvinklinger**
- 8) **Gi en samlet vurdering og anbefale tiltak**
- 9) Beslutning

En kort oppsummering av hva som forventes: Nullalternativet skal først utredes samtidig som det settes *effekt- og samfunns mål* for analysen. Videre skal det identifiseres aktuelle tiltak og vurdere virkninger tiltakene vil medføre. Deretter skal alternativene så langt det lar seg gjøre tallfestes og verdsettes. Faktorer som ikke lar seg pris-sette vurderes kvalitativt. Prosessen fortsetter normalt med en *nåverdiberegning* (se kapittel 2.4.4) og derfra beregnes alternativenes samfunnsøkonomiske lønnsomhet inkludert ikke-prissatte faktorer. Det forventes så en usikkerhetsanalyse og en beskrivelse av andre virkninger tiltakene medfører. Avslutningsvis bør det foreligge en sammenstilling av tiltakenes resultater og forutsetningene analysen bygger på, før en anbefaler et eller flere alternativer. De uthevede delene er fokusert på i *denne* masteroppgaven.

Samfunnsøkonomiske vurderinger er dermed både avanserte og tidkrevende analyser. Blant det vanskeligste er å behandle usikkerheten ved analysene og dette forklares derfor noe nærmere i delkapittel 2.4.3.

2.4.2 Nullalternativ

I en samfunnsøkonomisk analyse kreves det at en sammenlikner løsninger. Et alternativ som ofte kalles «*Nullalternativet*» tilsvarer alternativet som lar ting være som i dag (Direktoratet for økonomistyring, 2018; Finansdepartementet, 2010). Sammenlikning av foreslåtte løsningsalternativer foretas etter en utretning av fordeler og ulemper ved hvert alternativ. Det er normalt å se på hvor mye bedre alternativet som velges er sammenliknet med nullalternativet; altså nytten av dette tiltaket sett opp mot dagens løsninger.

2.4.3 Risiko og mulighet – usikkerheter

Begrepet risiko er vesentlig i samfunnsøkonomiske analyser. Det er viktig å forstå at det er usikkerhet, og dermed risiko ved alle avgjørelser. En vanlig definisjon på risiko er sannsynligheten, eller potensialet, for uønskede hendelser og tap, multiplisert med konsekvensen av at ulempen inntreffer (NOU 2006:6, 2006, s. 31). Ved innføring av et tiltak mot en ulempe finnes det risiko ved både over- og underdimensjonering. En vil oppleve tap i form av unødvendige kostnader ved overdimensjonering, mens det vil være betydelige ulemper ved underdimensjonering. Hvilket risikobilde som godtas er opp til beslutningstakere. Usikkerhet behandles ofte gjennom risiko og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser). Her identifiseres mulige risikoaspekter, mulige konsekvenser av at risikoen inntreffer og hvordan risikoen kan håndteres og forebygges (NOU 2006:6, 2006).

Det er viktig å ikke glemme *mulighetene* når det gjennomføres ROS-analyser. Dersom et tiltak har positive ringvirkninger utover analysens problemstilling, bør dette vektes positivt, på samme måte som det vektes negativt i andre fall. Analysene må avslutningsvis utnyttes ved å innføre en risikostyringsprosess; med andre ord må det avklares hvordan risikoen skal håndteres.

2.4.4 Sammenlikning av kostnader ved netto nåverdi

Penger antas generelt å være mer verdt i dag enn i morgen (Hagen, 2011). Dette medfører at en sammenlikning med en fremtidig kontantstrøm ikke kan gjennomføres direkte. Å diskontere betyr å omregne en fremtidig kontantstrøm til dagens verdi, altså nåverdi. Netto-nåverdi er altså en metode som benyttes for å hensynta variasjonen i pengers tidsverdi, ved hjelp av en diskonteringsrente. Denne teorien benyttes aktivt ved analyser av investeringers lønnsomhet. Negativ netto nåverdi medfører at en investering ikke er lønnsom; i motsatt fall er den lønnsom.

$$NV_0 = -K_0 + \frac{X_1}{(1+r)^1} + \frac{X_2}{(1+r)^2} + \frac{X_n}{(1+r)^n} \quad (4)$$

hvor,

NV_0 = Netto nåverdi

K_0 = Investeringskostnaden på tiltaket, altså kontantstrømmen i år 0

X_n = Kontantstrøm i år n, eller *nytt*en ved år n.

r = Diskonteringsrente, *ofte lest som avkastningskravet*

Hvor mye mer er en krone verdt i dag enn om eksempelvis 10 år? Spørsmålet kan ikke besvares med sikkerhet, men det er vanlig å anta omkring 2% diskontering ved 100 års analyseperiode (NOU 2012:16, 2012, s. 13; Direktoratet for økonomistyring, 2018, s 121). Inflasjon beskriver en vedvarende vekst i det generelle prisnivået. Dersom en ønsker å bevare dagens kjøpekraft må altså diskonteringsrenten være minimum 2%, dersom en ser på tradisjonelle tall.

2.4.4.1 Ulemper fra skade – «EAD»

Hvor stor er kontantstrømmen grunnet skader i et tilfeldig år? Forventet årlig skadekostnad summert med tiltakskostnaden for året tilsvarer kontantstrømmen i år «n». Tiltakskostnader, altså investerings- og driftskostnader, avhenger av tiltakets størrelse og tiltaksvariant. Skadekostnadene avhenger på sin side av tilfeldige nedbørhendelser, feltkarakteristikk og tiltaksstørrelsen på feltet. For alt vi vet kan et nedbørfelt unnsnippe alle skadelige nedbørhendelser i et gitt år. Dermed må vi se på statistiske modeller for å anslå hva som kan forventes av årlig skade ved en tiltaksstørrelse. Dette innebærer at en forsøker å forutse hvor mange nedbør som forventes av en gitt karakter.

I artikkelen «Comparing Methods of Calculating Expected Annual Damage in Urban Pluvial Flood Risk Assessments» (2015, s. 261) benyttes et formelverk for beregningene av forventet årlig skade.

Formelverket utnytter skadepotensialet for nedbørhendelser med gitte overskridelsessannsynligheter.

$$EAD = \int_A \int_p D(p) dp dA \quad (5)$$

hvor,

EAD (Expected annual damage) = Forventet årlig skade

p = overskridelsessannsynlighet for nedbørhendelsen

$D(p)$ = skadekostnaden ved en hendelse med overskridelsessannsynlighet lik p

A = Areal

Postdoktor Vegard Nilsen viste i et upublisert notat fra 2017 at det indre integralet i formel (5) for EAD (altså, uten hensyn til skadenes arealfordeling) kan uttrykkes med hensyn på gjentakintervallet til hendelsene (Nilsen, 2017), istedenfor overskridelsessannsynligheten.

$$EAD = \int_0^{\infty} \frac{DF(T)}{T^2} dT \quad (6)$$

hvor,

EAD = Forventet årlig skade

$DF(T)$ = Skadekostnad fra én hendelse med gjentakintervall T

T = Gjentakintervall for en nedbørshendelse

At formel (5) og (6) er ekvivalente, kan motiveres med en variabelsubstitusjon i (6).

$$p(T) = \frac{1}{T}; p = 0 \text{ når } T \rightarrow \infty; p \rightarrow \infty \text{ når } T \rightarrow 0$$

$$dT = -\frac{1}{p^2} dp$$

$$EAD = \int_{\infty}^0 DF\left(\frac{1}{p}\right) p^2 \left(-\frac{1}{p^2}\right) dp = -\int_{\infty}^0 DF\left(\frac{1}{p}\right) dp = \int_0^{\infty} DF\left(\frac{1}{p}\right) dp$$

Vi har altså at $DF(1/p)$ i formel (6) er lik $D(p)$ i formel (5). Formel (6) benyttes i oppgaven for å beregne den forventede årlige kostnaden. Det estimeres skadekostnader for disse enkelthendelsene med varierende gjentakintervall mellom $T=0$ og $T=\infty$, der det antas at årlig bidrag fra gjentak med overskridelsessannsynlighet både lik 0 og 1, er så liten at integralet for EAD ikke påvirkes.

Det er to særlig interessante aspekter ved formel (6). Først og fremst er telleren kvadrert. Dette innebærer at nedbøren fra de største gjentakintervallene ikke vil gi et veldig stort bidrag til EAD , selv om de vil medføre en stor negativ kontantstrøm dersom den inntreffer. Det andre aspektet er en lite utforsket, men viktig poengtering. Formelen forutsetter egentlig at alle hendelser, med et gitt gjentakintervall, medfører samme skadekostnad uavhengig av varigheten på nedbøren. Dette

innebærer at det i samme analyse ikke bør inkluderes ulike nedbørvarigheter for å finne skadefunksjonen $DF(T)$. I hvilken grad dette påvirker resultatet er vanskelig å forutse og faller utenfor oppgavens målsetting.

Nytten «X» av å bygge et tiltak av en gitt størrelse vil følgelig være:

$$X_n = EAD(n)_{uten\ tiltak} - EAD(n)_{med\ tiltak}$$

Uttrykket over sier dog ingenting om tiltakskostnadenes driftskostnader eller eventuelle re-investeringer. Derfor benyttes følgende formel i oppgaven for å hensynta dette:

$$X_n = EAD(n)_{uten\ tiltak} - (EAD(n)_{med\ tiltak} + TTK(n)) \quad (7)$$

hvor,

$EAD(n)_{uten\ tiltak}$ = Forventet skadekostnad uten tiltak i år n

$EAD(n)_{med\ tiltak}$ = Forventet skadekostnad med tiltak i år n

$TTK(n)$ = Tiltakskostnaden i år n , normalt sett årlig drifts – og vedlikeholdskostnad

2.4.5 Beslutningstaking – hvilket alternativ er best?

Det er ønskelig å finne det alternativet med størst total nytte – ikke bare størst netto nåverdi. Andre faktorer er vel så viktig. Hvem påvirkes, hvordan påvirkes de og er eventuelle negative påvirkninger håndterbare? Er det andre ringvirkninger tiltaket medfører som bør hensyntas; både positive og negative? Ofte vil en analyse fokusere på én påvirkning tiltaket skal føre til, men tiltaket vil i mange tilfeller påvirke andre elementer i tillegg. Et eksempel kan være noe så basalt og subjektivt som estetikk. Dersom noen synes et alternativ ser stygt ut vil det ikke bli godt mottatt. Hvor mye «bedre» det stygge alternativets funksjon må være sammenliknet med det mer estetiske kan derfor måtte evalueres. Et annet eksempel er plassbehovet til et alternativ; om plassbehovene varierer, opptar større alternativer områder som kunne vært utnyttet på en annen, mer ønsket måte.

Tabell 3: Ulike faktorer som påvirker en beslutning ved ulike analysetyper. (Direktoratet for økonomistyring, 2018, s. 152)

Samfunnsøkonomisk lønnsomhet		
Analysetyper	Prissatte virkninger	Ikke-prissatte virkninger
	Lønnsomhetsberegning	Lønnsomhetsvurdering
Kost-nytteanalyse	Netto nåverdi = NV nytte – NV kostnad	Kvalitativt
Kostnadseffektivitetsanalyse	Nåverdi kostnader	Kvalitativt
Kostnadsvirkningsanalyse	Nåverdi kostnader	Kvalitativt

Tabell 3 viser normale kriterier som betraktes ved beslutningstaking. «Kost-nytte analyser» er beskrevet tidligere. «Kostnadseffektivitetsanalyser» benyttes når nytten ikke kan skilles ved alternativene; altså at kun kostnaden vil være avgjørende. «Kostnadsvirkningsanalyse» betyr at en

undersøker et tiltaks kostnader og sammenlikner med virkningen (Direktoratet for økonomistyring, 2018, s. 46). Ikke pris-satte effekter er et eksempel på dette. Det finnes flere metoder å analysere slike ikke-prissatte faktorer. Et eksempel er pluss-minus metoden. Ved denne metoden verdsettes faktorene kvalitativt; altså etter hva tiltaket medfører (Direktoratet for økonomistyring, 2018, s. 110). En deler da inn en skala og tilfører tiltaket en skåre innenfor skalaen. Skalaen kan eksempelvis være på ni nivåer, der det varierer fra (++++), 0 og (----). Fire plusstegn henviser til stor positiv ringvirkning, 0 tilsvarer ingen påvirkning og fire minus tilsvarer store negative konsekvenser.

2.5 Dimensjonering av fordrøyningsmengder – Eksempler på dimensjoneringskrav i Norge

I kommune-Norge er det veldig varierende praksis for hvordan overvann håndteres. Dette medfører at det er meget varierte dimensjonerende grenser. Rapport 162 fra Norsk vann anbefaler som nevnt lokal tilpasning for overvannshåndteringen (Lindholm et al., 2008). Dette innebærer at dimensjonerende størrelser potensielt kan variere, også innad i en kommune. Slik er det ikke i alle kommuner. Under eksemplifiseres kravene til Oslo-, Ås- og Frogn kommune. De fleste kommuner tillater et *påslipp* til kommunalt overvannsnett som eksempelvis avhenger direkte av tomte-størrelsen, altså en sjablongverdi. Dette betyr i praksis at dersom tomten som analyseres er på 1 hektar, og kommunen tillater 10 liter per sekund per hektar, kan tomten påføre det kommunale ledningsnettet en belastning på maksimalt 10 liter per sekund inntil dimensjonerende nedbørhendelse. Se to eksempler på påslippstillatelser fra Ås- og Frogn kommune på neste side.

I følge Oslo kommunes overvannshåndteringsveileder tillates ikke påslipp på kommunalt ledningsnett, med mindre andre løsninger ikke er gjennomførbare (Oslo kommune, 2017); trinn 1 og 2 skal altså håndtere alt overvannet på egen tomt inntil dimensjonerende nedbør. De krever videre at fordrøyningsvolumet skal håndtere mellom 5- og 30-års nedbøren, noe som varierer med lokasjon og bygningstype. Eksempelvis kreves dimensjonering etter minimum 20 års gjentakintervall i bysenteret (Oslo kommune, 2017). Klimapåslaget er ikke fastsatt til en gitt faktor, men skal tilpasses lokalt. Hvor mye vann dette tilsvarer avhenger som forklart tidligere av det lokale feltets egenskaper. Dermed er det snakk om en viss grad av lokal tilpasning i denne kommunen.

I henhold til Ås kommunes overvannsnorm (Ås kommune, 2015, s. 16) skal 10-års regnet med 20 minutters varighet og 50% klimapåslag håndteres lokalt. Det hevdes videre at normal-avrenningen

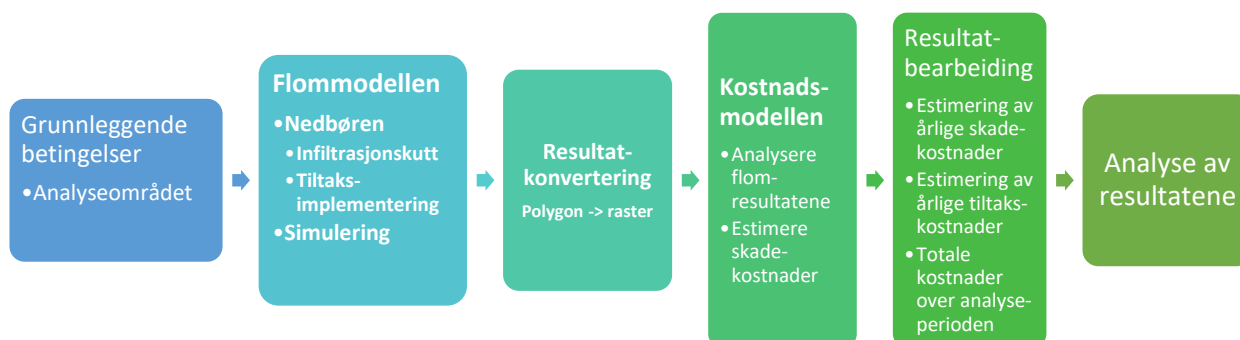
til *hele* kommunen er satt til 10 liter per sekund per hektar. Denne verdien er den samme som påslippet som tillates til kommunalt nett.

Frogn kommune krever på sin side at *20-års* nedbøren med samme klimapåslag og varighet håndteres lokalt, altså på egen tomt (Frogn kommune, 2015, s. 28–29). I Frogn kommunes VA-norm står det at normalt tillatt påslipp til kommunalt nett tilsvarer normalavrenningen til tomten ved en 20 minutters nedbørhendelse av dimensjonerende størrelse, men at det kan settes andre krav av kommunen. Denne kommunen setter altså ikke en konkret verdi for hvor mye som kan slippes på nettet; påslippet vil avgjøres ved hver enkel utbygging. For ytterligere kjennskap til en dagens praksis og kunnskapsnivå i Norges kommuner, henvises det til en nokså ny utredning av dette i NOU 2015:16 (2015).

3 Metode

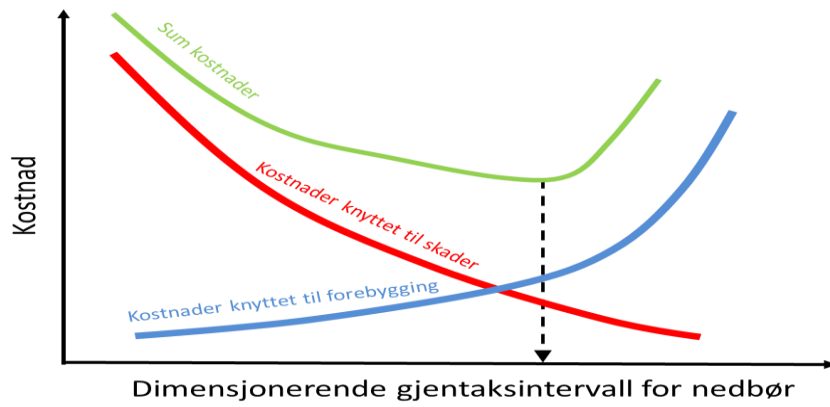
3.1 Kort om valg av metode

Det overordnede målet med oppgaven er å undersøke hvor store tiltak mot overvann som vil lønne seg for samfunnet, dersom det stilles like krav for alle lokale områder i et nedbørfelt. Et relativt stort casefelt på Nadderud i Bærum kommune ble derfor undersøkt i dette øyemed. For å estimere optimal tiltaksstørrelse er det benyttet en eksisterende flommodell for området og en eksisterende kostnadsmodell som kan analysere resultatene fra flommodellen. Det er videre benyttet ulike statistiske verktøy og erfaringsdata for å bearbeide resultatene. Flommodellen er utviklet i Mike Flood av Sweco Norge AS, med blant andre sivilingeniør Torbjørn Friborg i spissen. Kostnadsmodellen er et Python-script utviklet av Lars Gunnar Nordheim under hans master: «Utvikling av en kost-nyttmodell basert på urban flom-modellering og FKB-data» (Nordheim, 2019). Videre er det gjort en del antakelser og forenklinger for å forminske analysemengdene.



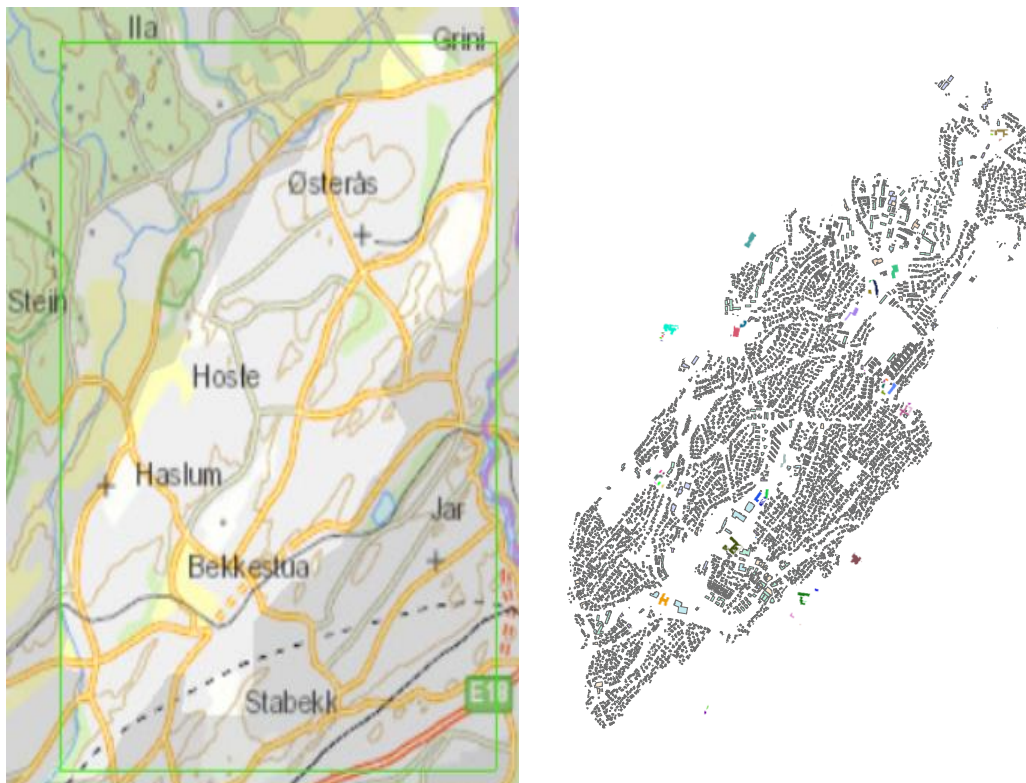
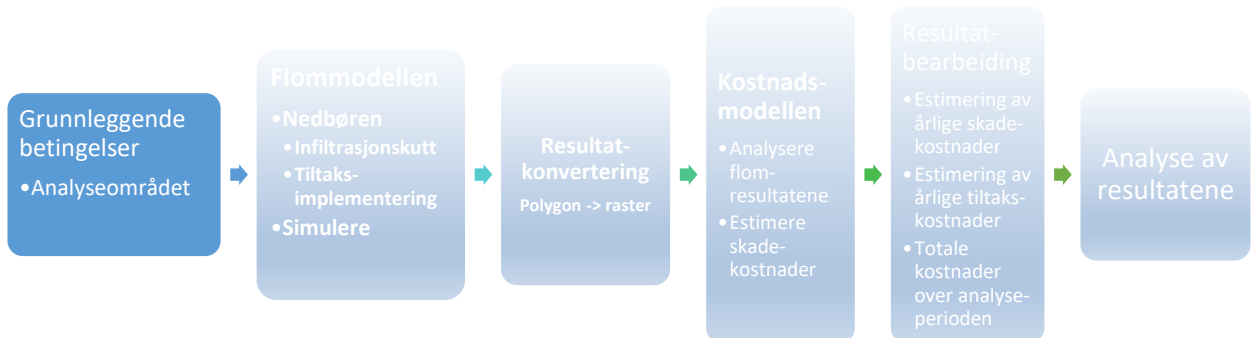
Fremgangsmåten vises i flytdiagrammet. Den innebærer å simulere ulike nedbørhendelsers påvirkning på et stort pluvialt felt ved ulike tiltaksstørrelser. Feltets respons, altså overvanns-avrenningen, er først modellert i Mike Flood ved varierende tiltaksstørrelser. Flomresultatene evalueres deretter gjennom kostnadsmodellen som beregner forventet skadekostnad grunnet dybde på vannspeilet rundt bygningene. Disse kostnadene påføres så noen påslag for å gi et riktigere skadekostnadsbilde av hendelsene på et samfunnsmessig plan; altså for å inkludere kostnader knyttet til andre skadekostnadsdrivere enn skade på bygg. Deretter omformes de bearbeidede resultatene til forventede årlige skadekostnader ved hjelp av EAD-formelverket (formel (6)).

Herfra summeres og diskonteres de forventede skadekostnadene med tiltakskostnadene, ved alle tiltaksstørrelsene over en analyseperiode på 100-år. Det er også innført en rekke variabler for tiltakskostnadene, så før det kan konkluderes må en evaluere hvilken tiltakskostnad som kan forventes. Figur 3-1 viser et eksempel på hvordan dette kan se ut for gitte kostnadsrammer for både tiltaks- og skadekostnadene, over analyseperioden. I kapittel 3.5.7 finner du en noe detaljert metodegjennomgang på stikkordsformat.



Figur 3-1: Illustrasjon for total kostnadsminima. X-aksen er i oppgaven gitt ved kubikkmeter per hektar. Hentet fra Paus (2019).

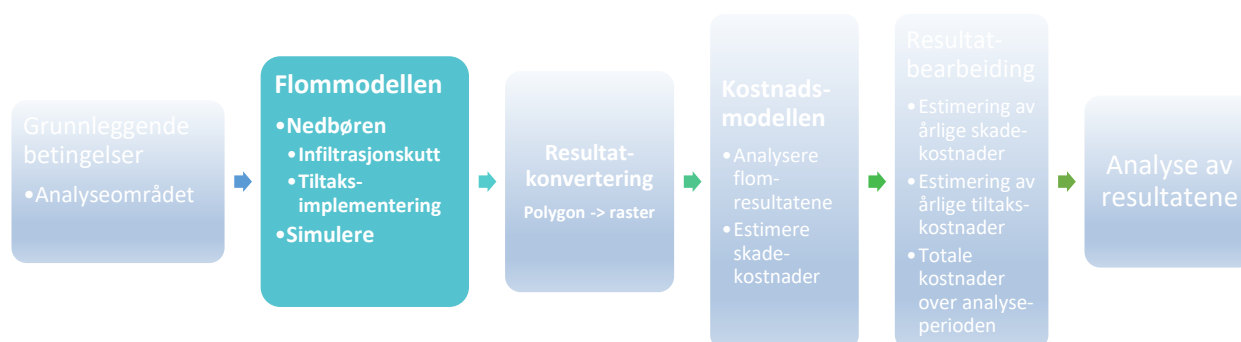
3.2 Case-området



Figur 3-2: Området som analyseres er belyst i bildet til venstre. Illustrasjon av alle bygninger på feltet til høyre.

Figur 3-2 viser case-området. Feltet er på 808 hektar og ligger i Bærum kommune. Det er et nokså tettbebyggt felt, altså er det snakk om et urbant område. Av bebyggelse på feltet er det blant annet omtrent 70 skolebygg, 5200 boligbygg, 3500 anneks og 6 helsebygninger. Det er også en T-bane linje på feltet. Om en ser på topografien er det en del fall på feltet, noe som medfører at selv om feltet er stort, ble konsentrasjonstiden beregnet til omtrent 2 timer av Torbjørn Friborg (Flommodellutvikler og Sivilingeniør VA for Sweco Norge AS, personlig møte, 06.01.2020).

3.3 Flommodellen



3.3.1 Viktige antakelser ved for modellen

Flommodellen ble benyttet for å forsøke å presentere et realistisk bilde på hvordan en gitt det modellerte området responderer på en gitt nedbørhendelse. Dette innebærer at det antas at viktige faktorer som infiltrasjonsevne og terrengdata er godt utarbeidet av utviklerne. Det presiseres at modellen er kalibrert for å gjengi én reell nedbørhendelse, noe som styrker grunnlaget for å si at dette er en god modell. Kalibreringen skjedde mot en nedbørhendelse som opptrådte 06.08.2016, og det var målt overvannstand ved ulike steder i feltet som ble lagt til grunn. Når denne hendelsen inntraff var ikke jordsmonnet tørt, altså var faktisk infiltrasjonkapasitet i feltet noe redusert (Modellutvikler Torbjørn Friborg, Sivilingeniør VA for Sweco Norge AS, personlig møte, 06.01.2020).

Videre er det i denne oppgaven valgt å slå av Mike Floods-infiltrasjonsmodul under simuleringene, med de usikkerheter dette medfører. Dette for å spare stimuleringsstid ettersom det er gjort 92 ulike (vellykkede) simuleringer, og tid ble derfor en essensiell faktor. Hvordan infiltrasjonens bidrag likevel er forsøkt hensyntatt er beskrevet i kapittel 3.3.2.2.

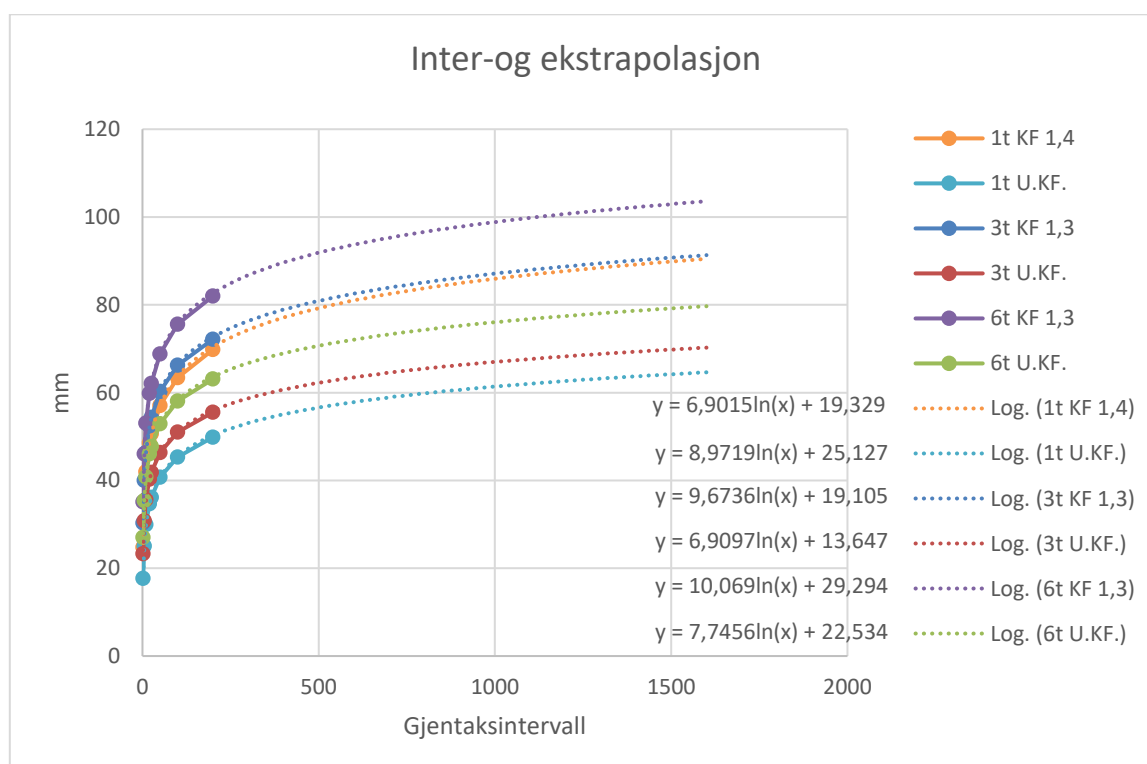
For å simulere de ulike tiltaksstørrelser på feltet er det også gjort en antakelse: Nedbørmengden som faller på en celle vil bli fanget opp av nærmeste tiltak umiddelbart. Dette medfører at det ikke hensyntas konsentrasjonstid for hvert enkelt delfelt innad i nedbørfeltet før tiltakene er fulle. Delkapittel 3.3.2.3 gir en nærmere beskrivelse av metoden for tiltaksinnførselen.

3.3.2 Simulerte nedbørhendelser

Det er valgt å simulere nedbørhendelser av ulike størrelse og intensitet; de står oppført i Tabell 4. Figur 3-3 viser formlene som er benyttet for å anslå de simulerte hendelsers gjentakintervall via både inter- og ekstrapolering. Nedbørhendelser med et gjentakintervall under 1 år, ekskludert klimafaktor, er ikke evaluert ettersom skadepotensialet fra små hendelser med lav intensitet er minimalt. Som tidligere nevnt uttalte Torbjørn Friborg i et møte 06. januar 2020 at konsentrasjonstiden til hele feltet er omtrent to timer. Det er valgt å legge vekt på hendelser som har noe lengre varighet ettersom skadepotensialet for store felt ser ut til å øke ved lange hendelser med høy intensitet (Sörensen & Mobini, 2017). Tre timers varighet finnes det IVF-statistikk for, og dette ble dermed et naturlig valg. Det er også gjennomført noen simuleringer av nedbør med både én- og seks timers varighet, men disse omtales kun i kapittel 5.3.1.1.2.

Tabell 4: Simulerte regnstørrelser, gjentakintervall = T med utgangspunkt i Blindern målestasjon.

Størrelse [mm]	Varighet [minutter]	KF	Toppintensitet [mm/time]	Gjennomsnittlig intensitet [mm/time]	T uten KF [år]	T inkl. KF [år]
20	180	1,3	50	6,7	1,1	0,6
30	180	1,3	68	10,0	4,7	1,7
40	180	1,3	90	13,3	20,0	5,2
45	60	1,4	105	45,0	93,5	14,5
50	180	1,3	105	16,7	85,1	16,0
60	60	1,4	155	60,0	819,3	68,5
70	180	1,3	155	23,3	1543,8	148,6
80	360	1,3	155	13,3	1667,7	153,8
100	360	1,3	188	16,7	22054,9	1121,2



Figur 3-3: Gjentakintervall med klimafaktor. Ekstrapolering av dataen i figur 2-1 for de simulerte varighetene.

Nedbøren ble påført i form av symmetriske blokkhyetogram som ble distribuert med variasjon i tid, noe som innebærer at det kan være varierende intensitet over nedbørvarigheten. Dette innebærer at det er simulert kunstige nedbørhendelser, altså representerer de ikke reelle hendelser. Hyetogrammene er i oppgaven begrenset av følgende faktorer: Størrelse i millimeter, toppintensitet og varighet. Mengden nedbør og intensiteten den påføres med påvirker som nevnt tidligere skadepotensialet. *Toppintensiteten* er valgt å være i nærheten av å representere 10-minutters regnet med tilsvarende gjentaksintervall som nedbørhendelsen. Se neste delkapittel for ytterligere informasjon. Spredningen i simulerte nedbørstørrelser er valgt med hensyn på å gi et bredt bilde på skadepotensialet ved ulike hendelser; EAD-formelverket gir best resultater dersom en besitter estimerte kostnadsdata for mange gjentaksintervall. Under oppsummeres nedbørens størrelse over en celle kort:

$$\text{Potensiell effektiv nedbør på en celle} = X_{mm} - Y_{mm} - Z_{mm} \quad (8)$$

hvor,

X_{mm} = nedbøren som simuleres

Y_{mm} = antall mm som reduseres grunnet infiltrasjonskategori.

Z_{mm} = antall mm som reduseres grunnet tiltak.

To enkle regneeksempler med formel (8):

- 1) Dersom det simuleres et 20 mm regn vil det på celler av infiltrasjonskategori 2 (se Tabell 5) regne 15,5 mm, uten tiltak.

$$20 \text{ mm} - 4,5 \text{ mm} - 0 \text{ mm} = 15,5 \text{ mm nedbør}$$

- 2) Ved en simulering av et 40 mm regn når området har 60 m³/ha tiltak, altså 6 mm, vil det på en celle av kategori 2 falle 29,5 mm nedbør.

$$40 \text{ mm} - 4,5 \text{ mm} - 6 \text{ mm} = 29,5 \text{ mm nedbør}$$

Som en ser fra Tabell 4 og Tabell 5, samt formel (8) påføres **ikke** en celle nedbør dersom summen av infiltrert mengde i cellens kategori og tiltakets størrelse *overstiger* nedbørens størrelse. Dette betyr at celler fra kategori 25 til 30 aldri(!) opplevde nedbør under simuleringene. Likevel vil de sistnevnte celler oppleve tilrenning av overvann fra naboceller. Det betyr også at et 20 mm nedbør ikke vil påføres feltet dersom det er mer enn 20 mm nedbørtap fra infiltrasjonen og tiltak. Er derimot summen av infiltrasjon og tiltak på cellenivå lik 18 mm, vil den samme nedbøren medføre at disse cellene påføres 2 mm nedbør. Dette kan gi et *inntrykk* av at nedbøren er romlig distribuert. Nedbøren er *ikke* romlig distribuert ettersom den romlige intensitetsvariasjonen kun er ment å ta hensyn til variasjoner i feltkarakteristikken til de ulike cellene. I de følgende delkapitler gjennomgås en mer detaljert forklaring for hvordan de symmetriske blokkhyetogrammene er konstruert, samt hvordan infiltrasjon hensyntas og tiltak implementeres.

3.3.2.1 De konstruerte symmetriske blokkhyetogrammene

$$\text{Potensiell effektiv nedbør på en celle} = X_{mm} - Y_{mm} - Z_{mm}$$

I oppgaven er ikke de symmetriske blokkhyetogrammene utarbeidet direkte fra IVF-dataen på Blindern; kun gjentaksintervallet er hentet derfra. Istedenfor er de konstruert med utgangspunkt om at toppintensitet skal tilsvare gjennomsnittintensiteten til 10-minutters nedbøren fra Blindern-målestasjon, med samme gjentaksintervall.

Et 40mm 3-timersnedbør er inkludert klimafaktor på 1,4 tilsvarende en nedbør med ~5 års gjentaksintervall. Toppintensiteten er da sagt å være lik 90 mm/time og vare i 10 minutter. Dette tilsvarer Blinderns IVF-data for 10 minutters regnet med samme klimafaktor og gjentaksintervall. Samtidig skal varigheten være på 3 timer og totalt 20 mm. Måten resterende intensiteter ble valgt var manuell tilpasning med hensyn på de nevnte begrensningene, men metodeusikkerheten dette medfører antas å være minimal siden fremtidens nedbør er ukjent og klimafaktor alene bidrar til stor usikkerhet.

3.3.2.2 Infiltrasjon

$$\text{Potensiell effektiv nedbør på en celle} = X_{mm} - Y_{mm} - Z_{mm}$$

Infiltrasjonen er som nevnt trukket ut fra simuleringene. Dette ble gjort på følgende måte:

- 1) Først ble det kjørt en simulering, refereres til som grunnsimulering, med infiltrasjonsmodulen aktiv. Grunnsimuleringen ble gjennomført med nedbørhendelsen feltet opplevde 06.08.2016; en 6 timers hendelse på 87mm.
- 2) Resultatet for total infiltrasjonsmengde i kubikkmeter per celle ble loggført.
- 3) Videre ble mengden infiltrert vann i cellen omformet fra kubikkmeter til millimeter ved å dividere antall kubikkmillimeter som ble infiltrert i cellen på cellens areal i millimeter.
- 4) Deretter ble hele feltet delt inn i 30 ulike infiltrasjonskategorier. Infiltrerte cellen mellom 0 og 3 mm ble den plassert i kategori 1, mens om den infiltrerte mellom 3 og 6 mm havnet den i kategori 2 også videre. Se detaljene i Tabell 5.
- 5) Gjennomsnittsverdien av kategoriens infiltrerte mengde ble videre trukket fra de simulerte nedbørmengdene. Operasjonen for å fordele nedbøren med variasjon i rom ble utført med Mike SHE-verktøyet «dfs2+dfs0 to dfs2». Dette tillot å gi en romlig variasjon i nedbørmengde på cellene ved samme tid.

Tabell 5: Infiltrasjonskategorier med tilhørende potensiell nedbørreduksjon i mm. GS = Grunnsimulering

Infiltrasjons-kategorier	Infiltrasjon ved GS [mm]	Potensiell reduksjon av nedbørmengden
1	0 < 3	0
2	3 < 6	4,5
3	6 < 9	7,5
4	9 < 12	10,5
5	12 < 15	13,5
6	15 < 18	16,5
7	18 < 21	19,5
8	21 < 24	22,5
9	24 < 27	25,5
10	27 < 30	28,5
11	30 < 33	31,5
12	33 < 36	34,5
13	36 < 39	37,5
14	39 < 42	40,5
15	42 < 45	43,5
16	45 < 48	46,5
17	48 < 51	49,5
18	51 < 54	52,5
19	54 < 57	55,5
20	57 < 60	58,5
21	60 < 70	65
22	70 < 80	75
23	80 < 90	85
24	90 < 100	95
25	100 < 125	112,5
26	125 < 150	137,5
27	150 < 200	175
28	200 < 250	225
29	250 < 300	275
30	300 <	350

Infiltrasjonen i cellene ble altså hensyntatt ved å senke nedbørintensiteten tilsvarende infiltrasjonshastigheten cellen hadde under grunnsimuleringen; helt til infiltrasjonskapasiteten er fullt utnyttet. Infiltrasjonshastigheten var i originalmodellen konstant, og i de fleste celler lik 7,2mm/time eller 18mm/time. Noen celler i feltet infiltrerte dog *mer enn* 300mm i løpet av grunnsimuleringen. Infiltrasjonshastigheten er ved disse beregningene sagt å være uavhengig av regnets varighet, noe som ikke stemmer med realiteten, se Figur 2-3. Dette er en forenkling som gjør resultatene mer usikre, men ble valgt for å spare tid. En kan si at infiltrasjonen kan bli overestimert ved korte hendelser.

Forklarende regneeksempel for reduksjonen av påført nedbør grunnet infiltrasjon: I eksemplene er nedbørintensiteten $P=8\text{mm/time}$ og infiltrasjonshastigheten $I = 7,2\text{mm/time}$.

- 1) Dersom nedbørmengden er ennå ikke redusert nok ved tidspunkt «t»:

Påført nedbørintensitet blir da:

$$P(t)-I = 8\text{mm/time}-7,2\text{mm/time} = \underline{0,8\text{mm/time}} \text{ ved tidspunkt «t»}.$$

- 2) Dersom nedbørmengden «nesten» er redusert nok ved tidspunkt «t»:

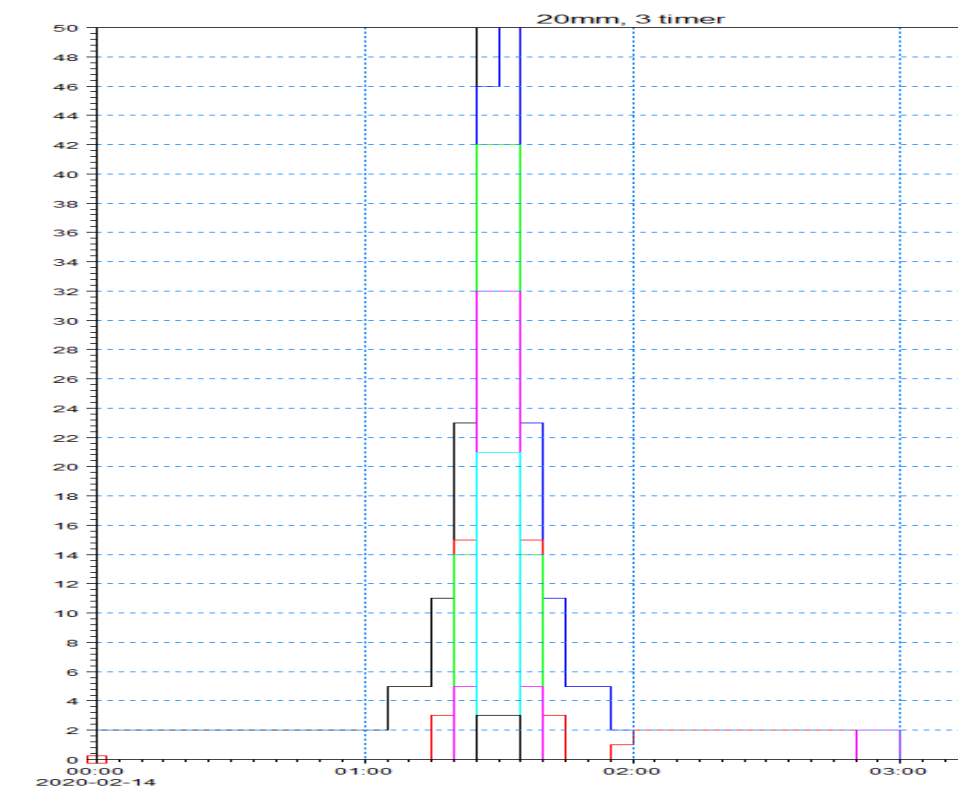
Påført nedbørintensitet = $P(t) - \left(\frac{1}{x}\right) * (I)$, der x tilsvarer gjenstående tid som behøves for

å fylle infiltrasjonslagrene ved infiltrasjonshastighet I. Dersom gjenstående kapasitet i cellen er 0,1mm er det kun ledig kapasitet i cellen for 50 nye sekunder med samme infiltrasjonsraten. Påført nedbørintensitet ble derfor kuttet i siste 5-minutters blokk: $P(t) - \left(\frac{1}{x}\right) * (I), = 8 - (1/6) * 7,2\text{mm/time} = \underline{1,2\text{mm/time}}$ ved tidspunkt «t». Dette tilsvarer 0,1mm i løpet av 5 minutter.

3) Dersom nedbørmengden er redusert nok ved tidspunkt «t»:

Påført nedbørintensitet blir da: $P(t) = \underline{8\text{mm/time}}$. Infiltrasjons-kapasiteten er med andre ord fullt utnyttet ved tidspunktet, og alt vannet vil ende som avrenning dersom det ikke er andre faktorer som begrenser.

Figur 3-4 viser nedbørintensitetens variasjon over tiden mellom infiltrasjonskategoriene ved et 20 mm nedbør. Hver farge representerer en infiltrasjonskategori sin intensitet ved et gitt tidspunkt. Ettersom det er 7 ulike intensiteter representert i denne grafen overlapper intensitetene hverandre en del, noe som forringer lesbarheten til grafen. Ytterste linjer tilsvarer nedbøren som påføres celler av kategori 1. Kategori 1 representerer den simulerte nedbøren, «Xmm» i formel (8), altså nedbøren som feltet er simulert for å oppleve i utgangspunktet grunnet mangel på infiltrasjon i cellene.



Figur 3-4: Utklipp fra MIKE Flood. Eksempel med tidsvarierte nedbørintensiteter. Bildet viser et 3 timers 20mm nedbør uten tiltak. X-aksen er tidspunkt, mens y-aksen viser nedbørintensitet [mm/time].

3.3.2.3 Tiltak

$$\text{Potensiell effektiv nedbør på en celle} = X\text{mm nedbør} - Y\text{mm infiltrert} - Z\text{mm tiltak}$$

For å gi lesere en forståelse for hva som er gjort presenteres et lite eksempel: Det simuleres en nedbørhendelse over et felt med størrelse 1 ha. Tiltaket tar unna 30 kubikkmeter vann per hektar. I eksemplet er tiltaket et nedgravd fordrøyningsbasseng på 10 x 3 x 1 meter. Måten simuleringene har foregått medfører at **all** nedbør, som *egentlig* faller på hele feltet, faller rett i bassenget inntil dette er fullt. Dette er ekvivalent med å si at det ikke genereres effektiv nedbør, altså ingen avrenning, den første perioden av nedbøren. Det er antatt at dette tilsvarer at det ikke regner på cellen før tiltaket er fullt. Deretter regner det på hele feltet, slik at avrenning kan genereres.

Innløpet til tiltaket er altså ikke begrenset av noen intensitetsfaktor under simuleringene. All nedbøren som ville falt på feltet havner i umiddelbart i tiltakene inntil disse er fulle. Tiltakene har samme størrelse over absolutt hele feltet under den samme simuleringen; det er altså like krav overalt, ingen strategisk plassering. Et tiltak som er omtalt med kapasitet på 3 mm tilsvarer da en volummessig kapasitet på 30 kubikkmeter per hektar, mens et på 40 mm tilsvarer 400 kubikkmeter per hektar. Tabell 7 viser tiltakenes kapasitet med ulik enhet.

Tabell 6: Oversikt over hvilke tiltak som er simulert.

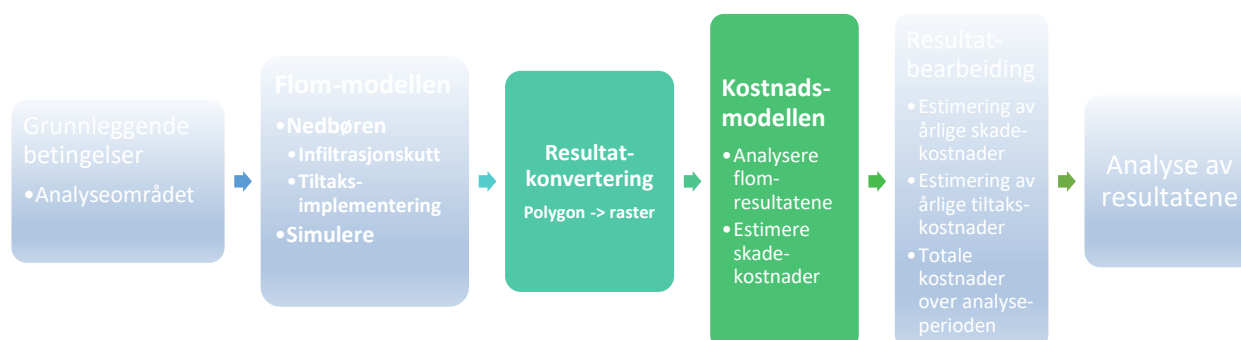
Nedbørstørrelser	Tiltak per hektar										
	0 m3	30 m3	60 m3	90 m3	120 m3	150 m3	180 m3	210 m3	240 m3	300 m3	400m3
20mm	x	x	x	x	x	x	x	N.a	N.a	N.a	N.a
30mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	N.a	N.a
40mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	N.a
45mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
50mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
60mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
70mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
80mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
100mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabell 7: Tiltakenes kapasitet med ulik enhet

Tiltak [mm]	Tiltak $[\frac{m^3}{ha}]$	Tilsvarende gjentakintervall for et 3-timers nedbør uten klimafaktor med samme varighet [år]
0	0	0,00
3	30	0,09
6	60	0,14
9	90	0,22
12	120	0,35
15	150	0,53
18	180	0,82
21	210	1,27
24	240	1,97
30	300	4,69
40	400	19,99

Alle nedbørhendelsene ble deretter simulert med ulike tiltak; se Tabell 6. «N.a.» (Not applicable) betyr at hendelsen ikke er simulert grunnet at forutsetningene medfører at det ikke blir avrenning. En antagelse om at vannet renner umiddelbart til tiltaket er en forenkling. Dette gjør også tiltakenes virkemåte noe urealistisk. Det ble likevel valgt å simulere på denne måten ettersom det *antas* at resultatene ikke vil påvirkes mye, og det var en forholdsvis enkel metode å innføre tiltak på. At det kun bygges et enkelt tiltak alene for å håndtere én hektar er ikke usannsynlig, men det er normalt med flere mindre tiltak i kombinasjon for å oppnå den forventede tiltaksfunksjonen. Dersom et enkelt tiltak skal håndtere et så stort område, må det i de fleste tilfeller være flere innløp til tiltaket. Virkemåten er altså nødvendigvis ikke veldig ulik for færre, som flere tiltak. Dette reduserer usikkerheten altså antakelsen medfører.

3.4 Kostnadsmodellen



3.4.1 Antakelser

Kostnadsmodellen benyttes med antakelsen om at vannspeilene flommodellen presenterer er forholdsvis korrekte. Videre antas det at minimum 60% av omkretsen til et bygg må være dekket av et 10cm vannspeilet for å kunne medføre skade; det er dog ikke garantert at bygg som oppfyller

begge betingelsene klassifiseres som skadet. Begge disse tersklene forklares nærmere i kapittel 3.4.4. Det antas også at bygg som er av samme bygningstype (bolig, anneks, forretning osv.) vil ha samme skadekostnader per kvadratmeter. Kostnadene modellutvikler valgte for en enhetsskader på bygg i 2019 antas også å stemme godt.

3.4.2 *Bearbeiding av resultater fra flomsimuleringene*

Flommodellen er i utgangspunktet kjørt ved bruk av et vektordatasett. Kostnadsmodellen benytter rasterdata, noe som medførte at vektordatasettet måtte konverteres til raster. Dette ble konvertert ved hjelp av programmet ArcGIS. Rasteret ble valgt til en størrelse på 2x2 meter. Høyere oppløsning ville gitt mer presise data, men medførte en drastisk økning i simuleringstid, noe som måtte hensyntas grunnet mengden data som skulle evalueres. Når modellen ble utviklet i 2019 benyttet utvikleren rastere på 4x4 meter, men da var flommodellen en vesentlig flaskehals, med simuleringstid over 20 timer. Flommodellen er i ettertid bearbeidet slik at simuleringene foretas på vektorformat og derfor kan gjennomføres mye raskere.

3.4.3 *Bygningene: FKB-data*

FKB-data er som nevnt kartdata over for eksempel antall bygninger og veier med geografisk plassering og størrelse. Dataen som ble benyttet i denne oppgaven er identisk med den Lars Gunnar Nordheim benyttet i 2019 og deles inn i følgende bygningskategorier; se Tabell 8.

Tabell 8: FKB data over bygninger. Hentet fra (Nordheim, 2019, s. 28–29)

FKB – DATA: Bygningstyper
Anneks Beskriver mindre bygninger knyttet til en bolig. Eksempler er garasjer, dukkehus, vedskjul mm.
Boligbygg Beskriver alle boliger; både blokker, eneboliger og rekkehus.
Brann og ambulansetasjon Beskriver brann- og ambulansetasjoner
Forretninger Beskriver all bygningsmasse som driver forretning. Det kan eksempelvis være matbutikk eller klesbutikk.
Helseinstitusjoner Beskriver helseinstitusjoner som gamlehjem, legekontor, sykehus og liknende.
Hotell og restaurant Beskriver bygninger med hotell og/eller restauranter.
Industri Beskriver bygningsmasse som driver industri.
Kultur og idrett Beskriver bygninger knyttet til kultur og idrett.
Skole Beskriver bygninger som er tilknyttet skoler.
Barnehage Beskriver bygninger knyttet til barnehager.

3.4.3.1 Skadekostnader per kvadratmeter

Oppgaven benytter også her samme data som modellutvikler gjorde, ettersom modellen var kalibrert med disse kostnadsantakelsene. Det skilles mellom kostnader per kvadratmeter for ulike bygningstyper; se Tabell 9.

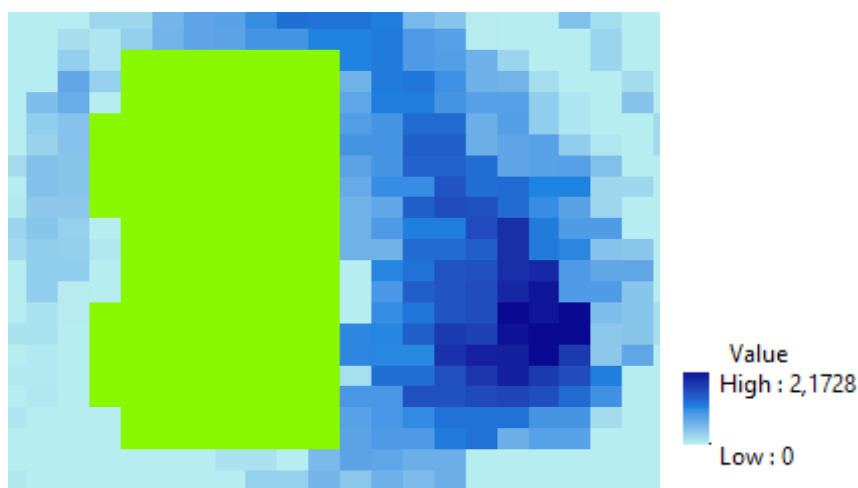
Tabell 9: Kostnader per kvadratmeter. (Nordheim, 2019, s. 73)

Type	Pris per m ²		Totalpris per m ²
	Byggekost	Innbo	
Anneks	5601	1120	6721
Barnehage	21469	8588	30057
Boligbygg	21469	10735	30523
Brann og ambulanse	18669	7468	26138
Forretninger	18669	7468	26136
Helseinstitusjoner	24763	9894	34657
Hotell og restaurant	18669	7468	26137
Industri	11201	4481	15682
Kultur og idrett	18669	7468	26136
Skole	28003	11201	39204

3.4.4 Kostnadsmodellens funksjon

Modellutvikler Lars Gunnar Nordheim har kalibrert modellen for å gjengi skadekostnadene og antall skader som oppsto i det kraftige regnet feltet opplevde den 06.08.2019, altså den samme nedbørhendelsen som flommodellen er kalibrert mot. Skadekostnaden tilsvarte i overkant av 28 millioner kroner knyttet til skader på bygg ifølge modellutvikler (Nordheim, 2019, s. 50).

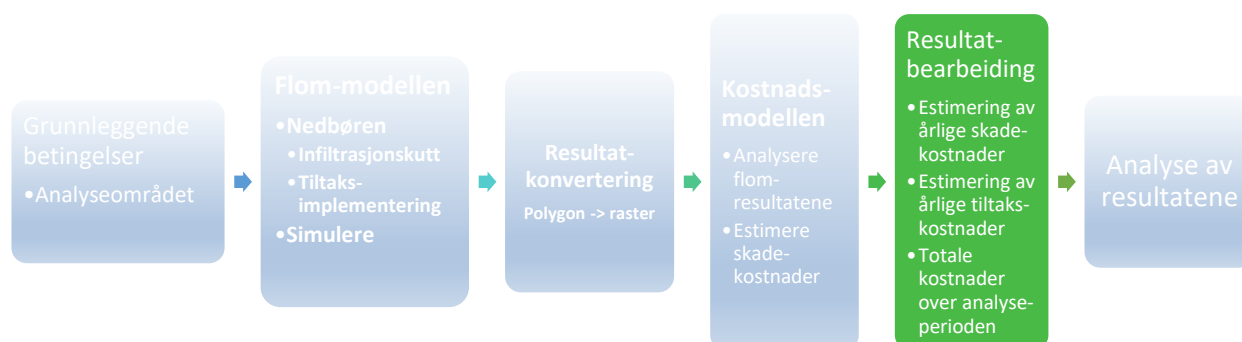
Kostnadsmodellen analyserer om bygninger har minst 10cm dypt vannspeil, ved minimum 60% av omkretsen. Dersom en bygning passerer terskelverdi-testen, tas den videre med i et utvalg. Alle bygninger som passerer testen for terskelverdiene, vil så testes så mot hver sin tilfeldig valgte nye terskelverdi mellom 0,6 og 1; alle bygningene i utvalget får trukket en egen verdi. Dersom vannspeilet utenfor bygningen var større enn den nye terskelverdien blir bygget klassifisert som skadet, mens i motsatt fall er den uskadet. Tilnærmingen ble valgt av modellutvikler Lars Gunnar Nordheim under kalibreringen mot nedbørhendelsen, ettersom modellen virket å overestimere kostnadene dersom utvalgs-parameteren ikke ble hensyntatt. For å lese mer om dette anbefales det å se på modellutviklers masteroppgave (Nordheim, 2019).



Figur 3-5: Utsnitt fra ArcGIS. Grønne celler tilsvarer fotavtrykket til en bolig.
«Value» har enhet meter[m]

Modellen betrakter kun de cellene som ligger inntil en bygning. Dette betyr at de mørkeste cellene i Figur 3-5 ikke vil være med i betraktningen som avgjør om dette eksempelbygget er utsatt. Dess mørkere blåfarge cellene har, dess mer dypere vannspeil er det loggført i cellen i løpet av flom-simuleringen. Legg merke til at den høyeste verdien i dette utklippet *kun* er 0,65m, mens høyeste verdi for hele feltet var 2,1728m. Det betyr at den mørkeste blåfargen i fargeskalaen er altså ikke representert i bildet.

3.5 Samfunnsøkonomiske vurderinger



Analyseperioden er valgt til å være 100 år, altså fra år 2020 til 2120. Periodens varighet er valgt ettersom tiltak under bakken er dokumentert å ha levetid på rundt 40 år, mens tiltak som terrengbearbeiding vil overskride dette tallet drastisk (Magnussen et al., 2015, s. 35–36). Dette betyr at pengenes tidsverdi må hensyntas i analysen. Det er forøvrig forsøkt å hensynta valg av tiltak med 50 års levetid i følsomhetsanalysen.

3.5.1 Skadekostnad på bygg kalkuleres i modellen; hva med resterende kostnadsdrivere?

Kostnadsmodellen er kalibrert for å gjengi skadetilfellet som nedbørhendelsen 06.08.2016 medførte. Denne kalibreringen skjedde som nevnt mot antall skader på bygg og skadekostnadene som oppsto fra disse; det vil si de kostnader som ble meldt inn til forsikringsselskaper etter hendelsen. Dessverre ble skadekostnadene begrenset til å gjelde skader på bygg; hvilke bygg som ble skadet ble heller ikke kjent. En antakelse om at bygningsskade er eneste kostnadsdriver ved pluviale flommer er urealistisk. Eksempler kan være skader på infrastruktur og biler, eller noe så enkelt som trafikkforsinkelser. Store nedbørhendelser kan eksempelvis forårsake store oversvømmelser på en byggeplass (Heszlein-lossius, 2011). Da er det nærliggende å tro at det vil medføre en økning i byggetid, og dernest øke prosjektkostnadene.

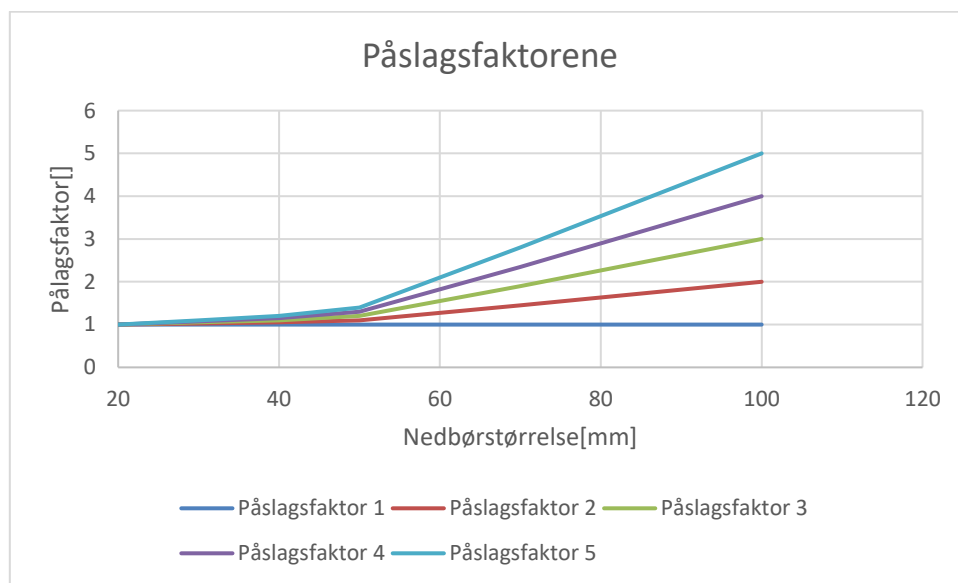
Det er derfor viktig å ta med de andre ulempene, altså de andre skadekostnadsdriverne for samfunnet, i analysen. Analysens kompleksitet er allerede stor, noe som medførte at det ble valgt å medregne disse skadene ved hjelp av påslagsfaktorer. Påslag innebærer å legge til en faktor basert på skadekostnadene knyttet til byggene. Bestemmelsen av påslagsfaktorenes størrelse er dog vanskelig uten en mengde erfaringsdata. Analysene ser av den grunn på flere ulike påslagsstørrelser for å se hvilken påvirkning de har for resultatet.

Det er lite litteratur for å støtte opp om hvilket påslag som er korrekt, men Rambøll utredet i 2019 et område på Bislett i Oslo (Nordeidet et al., 2019). Her konkluderte de med at én ekstremhendelse på 155 mm over 2 timer ville medføre en skadekostnad på 580 millioner kroner. Av disse var 351 millioner, altså 60,5%, knyttet til skade på bygninger (Nordeidet et al., 2019, s. 44). Ettersom Bislett-feltet er tettere bebygd enn Nadderud-feltet kan det antyde at en påslagsfaktor *større enn* 2x skadekostnaden knyttet til bygg er korrekt ved ekstremnedbør. Denne oppgavens case-område på Nadderud har altså større areal tilgjengelig for rekreasjonsområder, veier og annen arealutnyttelse som kan skades. Påslagene som analyseres er gjengitt i Tabell 10 og Figur 3-6.

Avslutningsvis om påslagsfaktorene presiseres følgende: Bjørnar Nordeidet, en av forfatterne av rapporten for feltet på Bislett, uttalte at flommodellen Rambøll benyttet ikke var kalibrert mot reelle nedbørhendelser (Bjørnar Nordeidet, avdelingsleder vann Rambøll, telefonsamtale, 21.05.2020). Derimot var de spesielt nøye ved undersøkelsen av andre kostnader knyttet til trafikk, veiskader, erosjon med mer. Det er dermed antatt at nevnte rapport er godt utarbeidet, med de usikkerheter det medfører at flommodellen ikke er kalibrert. En generalisering av hvilke påslag som kan forventes er også usikkert, noe som derfor diskuteres nærmere i kapittel 5.1.1.1.

Tabell 10: Påslagsfaktorer

MM nedbør	Påslagsfaktor 1 (ingen påslag)	Påslagsfaktor 2	Påslagsfaktor 3	Påslagsfaktor 4	Påslagsfaktor 5
20	1	1	1	1	1
30	1	1,025	1,05	1,075	1,1
40	1	1,05	1,1	1,15	1,2
45	1	1,1	1,2	1,3	1,4
50	1	1,1	1,2	1,3	1,4
60	1	1,25	1,5	1,75	2
70	1	1,45	1,9	2,35	2,8
80	1	1,7	2,4	3,1	3,8
100	1	2	3	4	5



Figur 3-6: Påslagsfaktorer

3.5.2 Håndtering av faktorer som ikke enkelt kan verdsettes

Det er i analysen valgt å la ulemper som ikke enkelt pris-settes falle under påslagene som er forespeilet ovenfor; ulempene blir altså i praksis en del av skadekostnadene. Ikke pris-satte faktorer kan eksempelvis være både ønskede og uønskede endringer i bybildet, tidstap i prosjekter og støy, forbedret BGF med mer. Det er stor usikkerhet ved størrelsen på faktorene i utgangspunktet, og ettersom analysen ikke ser på valg av tiltak, faller det utenfor oppgaven å klassifisere disse presist. Ikke-prissatte virkninger er ofte betydelige i en samfunnsøkonomisk analyse (Bull-Berg et al., 2014).

3.5.3 EAD – forventet årlig skade

Simuleringene og påslagene estimerer forventet kostnad fra én hendelse med **fremtidens** gjentakintervall T , eller sagt på en annen måte: Én nedbørhendelse av størrelse X mm med en varighet « t » tilsvarer om 100 år et *anslått* gjentakintervall T og forventes å medføre en skadekostnad på Y kroner. [Formel](#) (6) benyttes som nevnt for å beregne forventede årlige kostnader med hensyn på et gjentakintervalls overskridelsessannsynlighet. At det er fremtidens nedbør som er analysert, begrunnes med stor usikkerhet i hvordan nedbørbildet vil arte seg de nærmeste årene. Dette innebærer et potensiale for at de årlige kostnadene for spesielt de første årene av analyseperioden kan overestimeres, gitt oppsettet i formel (6). En nedbørhendelse med gjentakintervall T om 100 år, vil i analysens første år forventes å opptre sjeldnere.

Beregninger med denne formelen forutsetter et spredt utvalg av estimerte skadekostnader for ulike gjentakintervall. Oppgaven baserer seg hovedsakelig på 3 timers regnene, altså 5 ulike gjentakintervall, se Tabell 4. Disse nedbørhendelsene representerer gjentakintervall mellom 0,6 og 148,3 år, når hendelsene har fått et inkludert klimapåslag på 1,3. Det er også gjennomført en simulering på et 6 timers nedbør som tilsvarer nedbør som i fremtiden er anslått til 1121-års gjentakintervall. Denne verdien ble valgt å ta med i EAD-beregningene for å inkludere flere gjentakintervall. Mye tyder på at lengre varigheter påfører dette feltet større kostnader enn korte, så valget vil trolig medføre et noe overestimert bidrag av kostnadene mellom $T = 148,3$ og $T = 1121,2$ (se kapittel 5.3.1.1.2).

Det er også forenklet at bidraget fra en hendelse med gjentakintervall på 6000 år tilsvarer 0 kroner i forventet årlig skade, grunnet oppsettet i formel (6). I formelen divideres skadekostnaden for hendelsen på gjentakintervallet T kvadrert. Gjentakintervallet kvadrert er i dette tilfellet lik 36 millioner. En hendelse med gjentak 6000 år vil trolig medføre kostnader som er mye større enn 36 millioner, men å anta at det er under 720 millioner kroner karakteriseres av undertegnede som høyst sannsynlig. En beregning med funksjonen $\frac{DF(T)}{T^2}$ ville i så tilfelle estimert i underkant av 20 kroner i årlig kostnad. Denne forenklingen medfører altså et underestimat på EAD fra intervallet $T = 1120$ til uendelig. Underestimatet er trolig så lite at det ikke får nevneverdig betydning for resultatene.

EAD-resultatene benyttes så til å estimere analyseperiodens totale forventede skadekostnader for alle tiltakssituasjoner som er simulert. EAD beregnes i praksis ved å beregne arealet under grafen til funksjonen $\frac{DF(T)}{T^2}$. Deretter estimeres analyseperiodens totale skadekostnad i nåverdi ved hjelp av det tidligere forklarte formelverket for netto nåverdi (se kapittel 2.4.4).

3.5.4 Tiltakskostnader

Med tanke på at det for tiltak eksisterer mye erfaringsdata er disse enklere å estimere enn skadekostnadene. Analysen fokuserer kun på tiltakets funksjon, nemlig å sørge for at skadekostnadene holdes nede ved å dempe overvannsfloppen. Det er dermed ikke sett på hvilket tiltak som innføres. Valg av analyserte tiltakspriser, presentert i Tabell 11, er på tatt med basis av at en tradisjonelt ser investeringskostnader knyttet til trinn 2 mellom 2000- og 15000 kr per kubikkmeter håndtert (Hernes, 2018; Magnussen et al., 2015; Skogvold et al., 2018). Dog finner rapportene vesentlig høyere priser ved enkelte prosjekter. Det er likevel valg å analysere nedre percentil i kostnadsutvalget for enhetskostnadene ettersom analysene ikke viste lønnsomhet ved eksempelvis 8000kr i investeringskostnad per kubikkmeter, uavhengig av hvordan de andre kostnadsdriverne ble variert.

Oppgaven ser som nevnt etter bunnpunktet i grafen for forventet *total kostnad*. Totalkostnaden er altså summen av forventede skadekostnader og tiltakskostnader ved en gitt tiltaksstørrelse. Tiltakskostnadene består av både investerings-, drifts- og vedlikeholdskostnader. Dette medfører at total kostnaden vil altså være sensitiv for endringer i tiltakskostnader, så vel som skadekostnadene. Det er videre også valgt å analysere med ulike variasjoner i tiltakskostnader. Tiltakskostnadene i Tabell 11 tilsvarer derfor estimert enhetspris ved tiltaksstørrelser på 30 m³/ha, heretter også kalt «grunnkostnader». Videre antas det at tiltak blir billigere per enhet [m³] med tiltaksstørrelsen; kall det gjerne «kvantumsrabatt». Denne variasjonen er presentert i Tabell 12.

Tabell 11: Tiltakets enhetskostnader ved 30 m³ per hektar.

Investeringskostnad [$\frac{kr}{m^3}$]	Drifts- og vedlikeholdskostnader [$\frac{kr}{m^3 \cdot \text{år}}$]			Levetid	Diskonterings- rente
2000	10	40	70	50 år	2%
3000					3%
4000				100 år	2%
					3%

Tabell 12: Tiltaksfaktorer – reduksjon grunnet kvantum

Tiltaksvariasjonsfaktor nr:	Tiltak[m ³ /ha] ->	0	30	60	90	120	150	180	210	240	300	400
1	Tiltaksfaktor = $\frac{\text{kroner per m}^3 \text{ ved gitt tiltak}}{\text{kroner per m}^3 \text{ ved } 30 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}$	1	1	0,9	0,81	0,73	0,69	0,66	0,64	0,63	0,61	0,6
2	Tiltaksfaktor = $\frac{\text{kroner per m}^3 \text{ ved gitt tiltak}}{\text{kroner per m}^3 \text{ ved } 30 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}$	1	1	0,85	0,72	0,64	0,59	0,56	0,55	0,54	0,52	0,5
3	Tiltaksfaktor = $\frac{\text{kroner per m}^3 \text{ ved gitt tiltak}}{\text{kroner per m}^3 \text{ ved } 30 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}$	1	1	0,85	0,7	0,6	0,53	0,49	0,45	0,43	0,42	0,4
4	Tiltaksfaktor = $\frac{\text{kroner per m}^3 \text{ ved gitt tiltak}}{\text{kroner per m}^3 \text{ ved } 30 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}$	1	1	0,8	0,62	0,52	0,44	0,39	0,36	0,33	0,32	0,3

Dette betyr at det er forsøkt å hensynta at tiltak kan ha variasjon i levetid, og at drifts- og vedlikeholdskostnader både varierer med størrelsen til tiltaket og tiltakstypen. Det beregnes altså en total tiltakskostnad i år 2020-verdi med disse parameterne ved bruk av den tidligere forklarte nåverdimetoden (se kapittel 2.4.4).

3.5.5 Diskonteringsrente og inflasjon

Det er vanlig å hensynta inflasjon i analyser, altså at det er realpriser som evalueres (NOU 2012:16, 2012, s. 34). I oppgaven er det valgt å benytte fast kontantstrøm for både de årlige forventede skadekostnadene, de årlige drift- og vedlikeholdskostnadene, samt investeringskostnadene. Dette innebærer at inflasjon ikke er evaluert i oppgaven. Det nylige Covid-19 utbruddet *kan* sette tilbake personers kjøpekraft, altså at realprisene blir nedjustert, til 2013-nivå (Bjørnstad, 2020). Dette viser at inflasjonsjusteringer *kan* medføre usikkerhet. Det antas også at usikkerheten ved å real prisjustere skadekostnadene ved hjelp av inflasjon ville økt, ettersom det kan argumenteres for at det disse kostnadene er overestimert i utgangspunktet (se kapitlene 3.5.3 og 5.3.1.1.2).

Valg av diskonteringsrenter er gjort med tanke på å ikke overestimere verdien av fremtidige kontantstrømmer for hverken skader eller tiltak. Hvordan avkastningen til tiltak, samt prisnivået i samfunnet ligger i fremtiden er vanskelig å spå. Dette viser at valg av diskonteringsrente medfører usikkerhet. Diskonteringsrentene som evalueres velges derfor å holde seg på det tradisjonelle gjennomsnittsnivået på mellom 2 og 3% årlig økning i kjøpekraft per år; altså i tråd med tidligere nevnte NOU 2012:16 om Samfunnsøkonomiske analyser (2012, s. 35). Denne NOUen hevder at 2% diskonteringsrente normalt skal benyttes ved 100 års analyseperiode, og 3% ved 75 års.

3.5.6 De andre faktorene som påvirker tiltakskostnadene

Investeringskostnader: Kostnadene avhenger av tiltakets enhetspris. Det antas at prisene som oppgis tilsvarer total enhetskostnad for et ferdig tiltak. Kostnaden, altså kontantstrømmen, er forenklet til å være like stor over analyseperioden. Dette innebærer at en reinvestering krever samme kontantstrøm i år som alle andre år.

Levetiden: Levetiden påvirker de totale investeringskostnadene. Kortere levetid medfører økte investeringskostnader ettersom tiltaket må skiftes ut i løpet av analyseperioden. Hvordan levetiden påvirker *driftskostnadene* til tiltakene er **ikke** evaluert, da dette kompliserer analysen ytterligere.

Årlige kostnader: De årlige kostnadene tilsvarer som nevnt summen av drift- og vedlikehold. Kostnadene antas å være en konstant årlig kontantstrøm.

Reduksjonsfaktorene («kvantumsrabatt»): De forventede enhetskostnadene ved en gitt tiltaksstørrelse gis altså ved enhetskostnaden ved 30 m³/ha (grunnkostnadene) multiplisert med reduksjonsverdien som er foreslått ved tiltaksstørrelsen.

3.5.7 Metoden på stikkordsform

- **Valg av område**

- Urbant nedbørfelt på Nadderud i Bærum kommune på 808 hektar

- **Flommodell for området**

- Ferdigutviklet koblet lednings- og overflatemodell i Mike Flood
 - Modellen er kalibrert mot en større nedbørhendelse fra 06.08.2016
 - Gjennomfører simuleringer med ulike tiltaksstørrelser
 - Påførte nedbør med variasjon i tid
 - Infiltrasjonsmodulen er trukket ut av modellen for å spare tid, men infiltrasjon er likevel hensyntatt
 - Tiltak medfører reduksjon i avrenning, her antatt at det kan forenkles som reduksjon i nedbørmengde

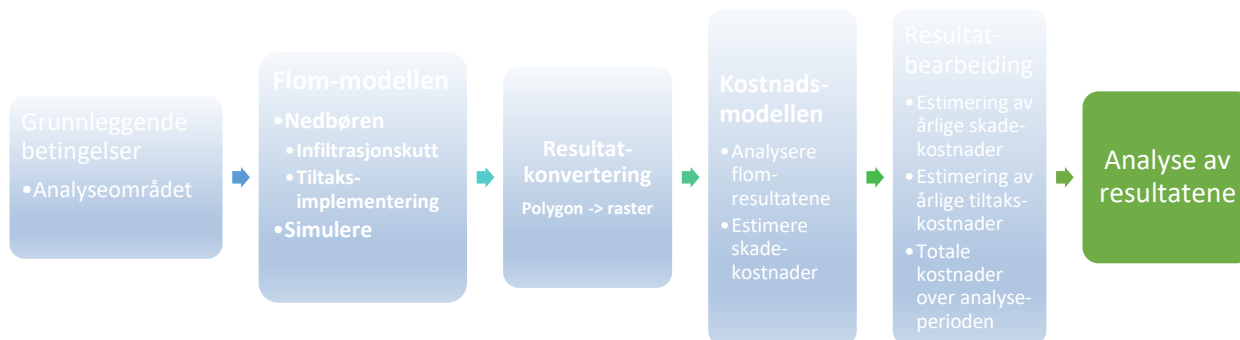
- **Kostnadsmodell**

- Ferdigutviklet Python script
 - Modell er kalibrert mot skadekostnadene fra nedbørhendelsen 06.08.2016
 - Plukker bygninger med 10cm vannspeil ved 60% av omkretsen som mulige skadetilfeller ved hjelp av flommodellens analyse og FKB-data
 - Plukker deretter blant dette utvalget for å angi hvilke bygg som er skadet.
 - Gjennomfører 1000 simuleringer for alle nedbørhendelsene og tiltaksstørrelsene som opptrer. (92 ulike situasjoner)
 - Avslutningsvis finner modellen gjennomsnittlig skadekostnad for nedbørhendelsen knyttet til skade på bygg

- **Samfunnsøkonomiske betraktninger**

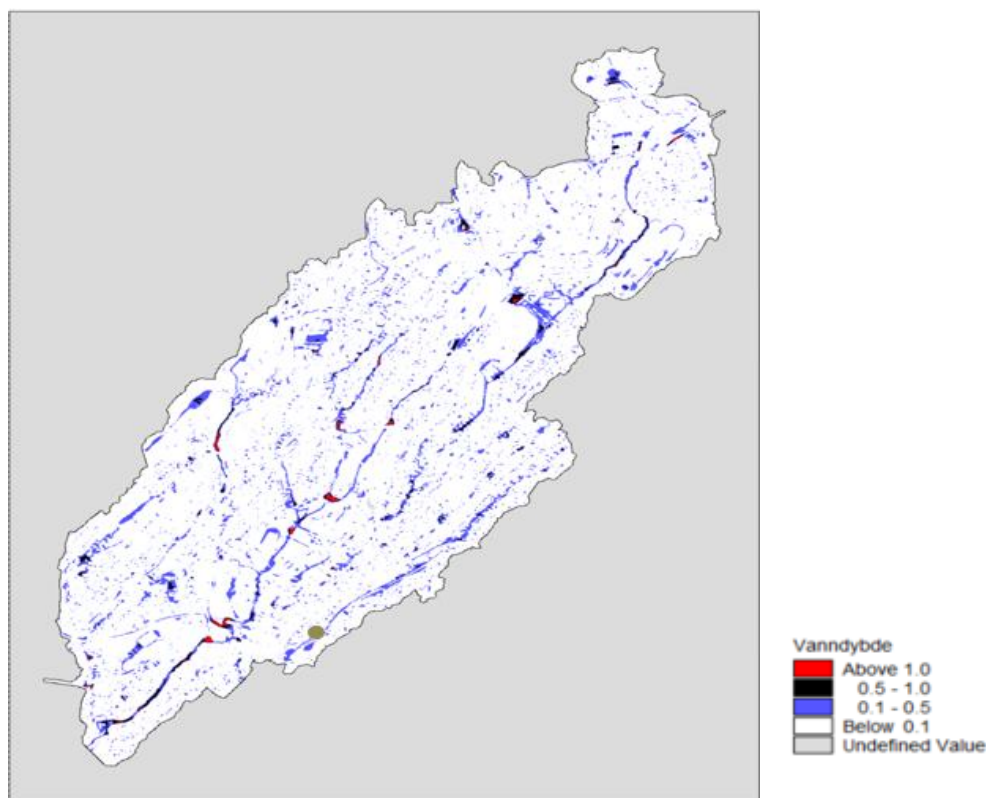
- Hvor stor er skadekostnaden ved hendelsene?
 - Fem ulike påslagsfaktorer for å hensynta faktorer som kostnadsmodellen ikke hensyntar.
 - Andre faktorer kan kort sies å være skader og ulempe for:
 - Biler
 - Trafikk
 - Skader på vei
 - Liv og helse
 - Skader på kulturminner med mer.
 - Skade på annen infrastruktur
 - Påslagene er avhengige av nedbørens størrelse og intensitet
 - Større hendelse => større påslag
 - Beregne EAD ved alle tiltaksstørrelser for de ulike påslagene
- Hva koster tiltakene?
 - Innførte variasjon i investerings- og driftskostnader med hensyn på både:
 - Grunnpriser
 - Størrelse
- Summere tiltaks- og skadekostnadene som estimeres for hele perioden ved hver tiltaksstørrelse
 - Evaluere resultatene mot hverandre.

4 Resultater



I dette kapitlet fremheves resultatene fra simuleringene og analysene. Først presenteres flomsimuleringenes resultater. Deretter skade- og tiltakskostnadene som er simulert og estimert, på bakgrunn av flomsimuleringene. Figurene og tabellene viser et utvalg av tiltaksstørrelsene og betingelsene som er evaluert. Kapitlet avsluttes med tabeller, grafer og figurer som beskriver noen av de endelige utfallene fra analysen; altså hvor endte tiltaksstørrelsen. Tekst i kapittel 4 er ment som forklarende tekst for figurene og tabellene; det kan altså tolkes som en guide for hvordan de skal leses. For mer inngående betraktninger om resultatene henvises det til kapittel 5. Med andre ord tilsvarer kapittel 4 og 5 siste bolke i flytdiagrammet.

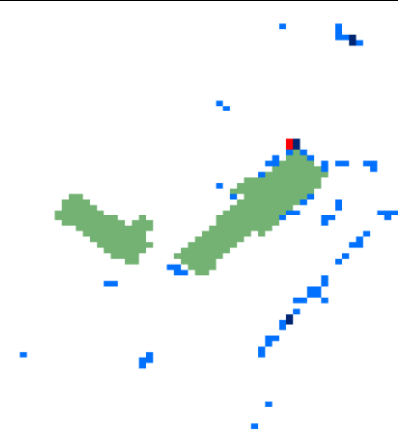
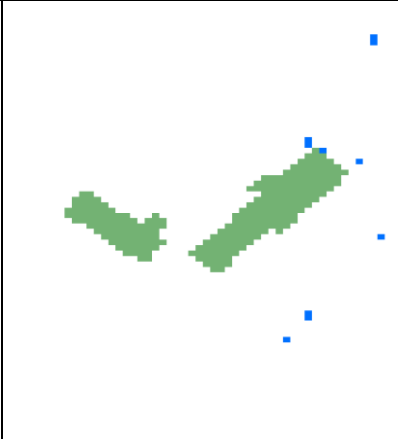
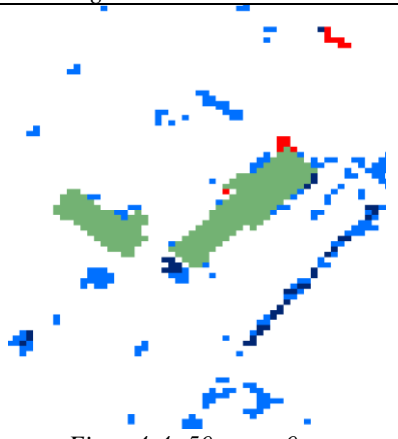
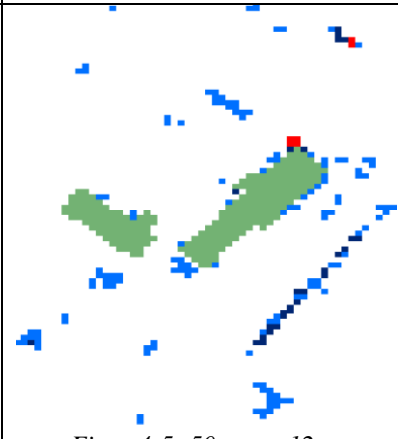
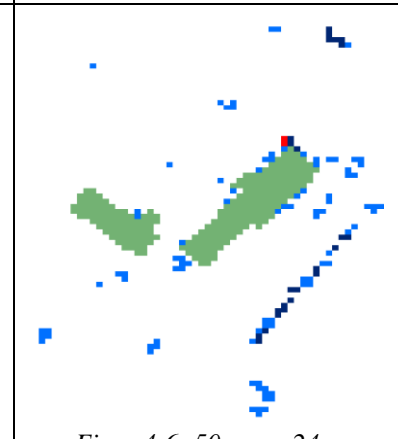

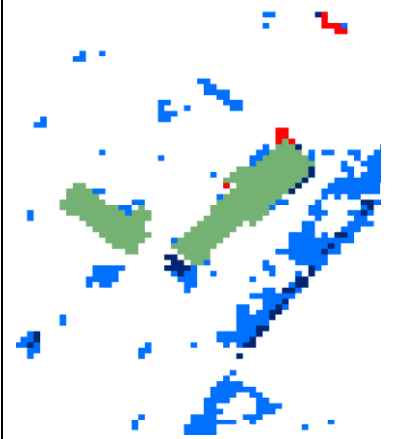
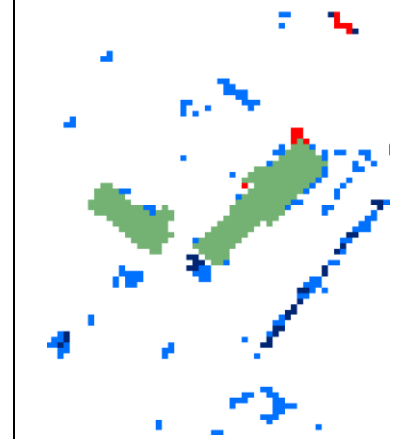
4.1 Flomsimuleringene



Figur 4-1: Flombildet ved 70mm nedbør, 12 mm tiltak. Vanndybde i meter[m]. Bildet under brun prikk er gjengitt ved ulike nedbørhendelser i tabell 13.

Figur 4-1 presenterer flomsimuleringsresultatet ved 70 mm nedbør og 12 mm tiltak. Grå felter har enten ikke vært påvirket av nedbøren, eller er utenfor analysens område. Tabell 13 presenterer detaljerte bilder av området den brune prikken i Figur 4-1 dekker over, ved et utvalg nedbørhendelser; henholdsvis 20-, 50 og 70 millimeter. Figur 4-2 til Figur 4-9 i tabellen er dermed ment å gi lesere et bilde av effekten av en tiltaksstørrelse, eller økt nedbørmengde.

Tabell 13: Illustrasjoner for hvordan overvannsmengden rundt et bygg påvirkes av tiltakene. Skala for vanndybde i figur 4-1. Grønne celler tilsvarer to tilfeldig valgte bygninger på feltet, ikke samme utsnitt som Figur 3-5.

	Tiltak på 0 mm, 0 år gjentak	Tiltak på 12 mm – 0,35 år gjentak	Tiltak på 24 mm – 1,97 år gjentak
20 mm nedbør	 <p><i>Figur 4-2: 20 mm – 0 mm</i></p>	 <p><i>Figur 4-3: 20 mm – 12 mm</i></p>	Ingen simulering: Antakelsene medfører ingen effektiv nedbør.
50 mm nedbør	 <p><i>Figur 4-4: 50 mm – 0 mm</i></p>	 <p><i>Figur 4-5: 50 mm – 12 mm</i></p>	 <p><i>Figur 4-6: 50 mm – 24 mm</i></p>
70 mm nedbør	 <p><i>Figur 4-7: 70 mm – 0 mm</i></p>	 <p><i>Figur 4-8: 70 mm – 12 mm</i></p>	 <p><i>Figur 4-9: 70 mm – 24 mm</i></p>

4.2 Kostnadssimuleringene

4.2.1 Simulerte skadekostnader fra én hendelse

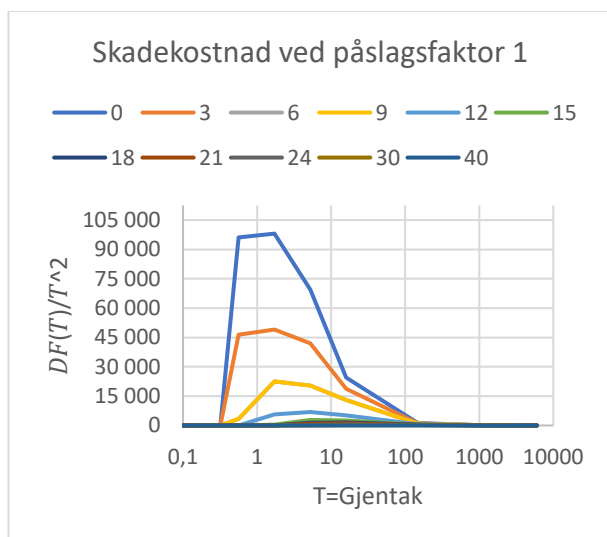
Tabell 14: Estimert skadekostnad ved én nedbørhendelse med gitt tiltaksstørrelse

Estimerte skadekostnader	Nedbørvarighet og nedbørmengde [mm]										
	3 timer		3 timer		3 timer		1 time		6 timer		6 timer
Tiltaksstørrelse [m ³ /ha]	20	30	40	45	50	60	70	80	100		
0	30 650,49	290 624,01	1 914 039,40	4 267 521,03	6 272 327,05	19 397 458,34	27 687 674,94	36 002 204,97	58 563 699,12		
30	14 796,05	145 254,62	1 155 700,97	2 979 842,34	4 810 126,41	15 771 558,91	23 262 023,40	31 456 525,81	55 004 145,90		
60	1 058,39	66 696,09	559 251,55	1 785 083,66	3 340 595,45	12 304 289,59	20 359 295,42	27 461 324,47	51 296 207,40		
90	-	32 310,45	343 434,83	985 279,46	2 140 003,00	9 178 509,74	16 894 344,87	23 136 570,59	48 075 194,88		
120	-	16 712,21	189 231,50	618 282,86	1 322 708,61	6 174 455,87	13 031 048,58	19 638 275,93	43 520 451,12		
150	-	1 036,89	77 456,99	323 167,31	650 336,54	4 472 068,15	10 203 877,55	16 453 114,20	39 017 394,56		
180	-	-	39 692,28	172 366,55	391 764,98	3 120 724,85	7 537 781,80	12 423 468,19	34 287 189,57		
210	-	-	25 049,88	75 592,17	277 689,62	1 841 016,60	5 069 668,64	9 791 438,04	29 936 165,61		
240	-	-	5 597,60	34 446,02	129 748,92	1 011 196,85	3 896 431,94	7 911 385,03	25 561 833,28		
300	-	-	-	5 700,26	31 803,63	331 872,56	1 623 882,92	3 870 584,99	17 904 929,39		
400	-	-	-	-	-	31 971,54	313 855,98	1 395 442,42	7 976 328,68		

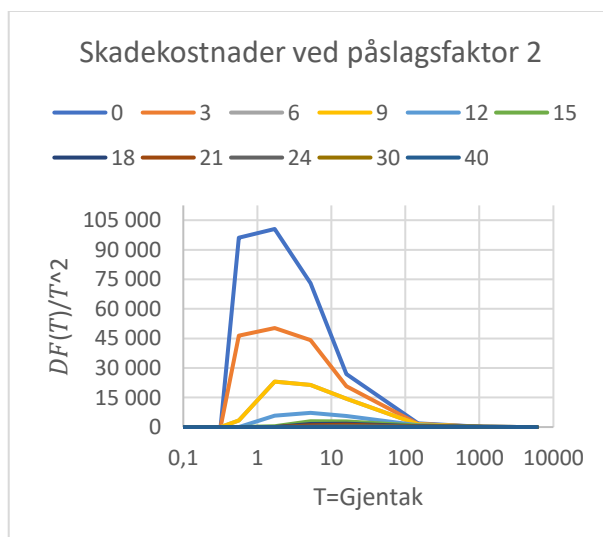
Nedbørstørrelsene, på 45-, 60- og 80 millimeter hensyntas ikke i EAD-beregningene. De inngår kun for en følsomhetsanalyse i kapittel 5.3.1.1.2; årsaken til dette er utdypet i kapittel 3.5.3. De øvrige kostnadene i Tabell 14 benyttes for å estimere EAD for hver tiltaksstørrelse.

4.2.2 EAD inkludert påslag for andre faktorer

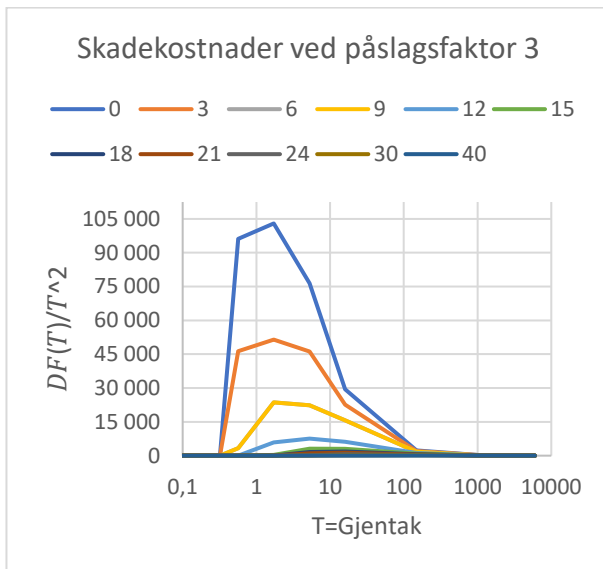
Under følger Figur 4-10 til Figur 4-14 og Tabell 15. Figurene presenterer forventet årlig skade ved ulike tiltakssituasjoner. Forventet årlig skade er gitt ved arealet under grafene i figurene, og tabellen viser beregnet verdi for hver tiltaksstørrelse med alle påslagsfaktorene. For eksempel viser modellen ved påslagsfaktor 1, altså faktoren som ikke hensyntar andre kostnadsdrivere enn skade på bygg, at det forekommer skadekostnader på tilnærmet 8,1 millioner kroner per år dersom det ikke bygges tiltak. Dersom det derimot er bygget tiltak på eksempelvis 15 mm, altså tilsvarende 15 m³/ha, vil årlig skade være nede i 1,25 millioner kroner per år. Dette tilsvarer en reduksjon i årlige skadekostnader på omtrent 85%. Påslagsfaktorene finner du i kapittel 3.5.1. Kurvene i Figur 4-10 til Figur 4-14 tilsvarer skadekostnadsfunksjonen $\frac{DF(T)}{T^2}$ ved et gitt påslag og en gitt tiltaksstørrelse i millimeter [mm].



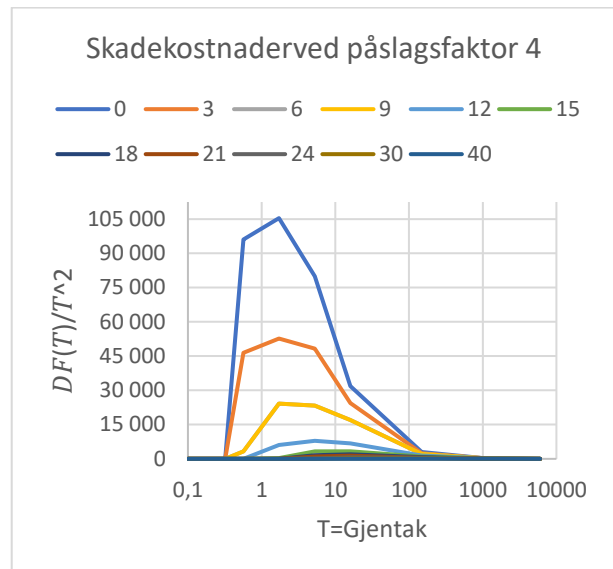
Figur 4-10: EAD Påslag 1



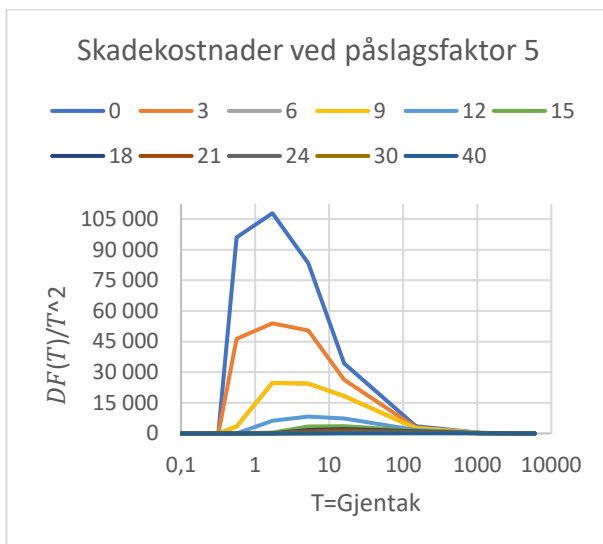
Figur 4-11: EAD Påslag 2



Figur 4-12: EAD Påslag 3



Figur 4-13: EAD Påslag 4



Figur 4-14: EAD Påslag 5

Tabell 15: Beregnet EAD ved de ulike påslagene

Tiltak [mm]	Gjentak 3t u.KF. [år]	P1-EAD [1000kr]	P2-EAD [1000kr]	P3-EAD [1000kr]	P4-EAD [1000kr]	P5-EAD [1000kr]
0	0,00	8122	9541	10960	12378	13797
3	0,09	6089	7239	8388	9538	10687
6	0,14	4309	5238	6168	7097	8026
9	0,22	3007	3735	4462	5190	5918
12	0,35	2026	2570	3113	3657	4201
15	0,53	1247	1649	2051	2453	2856
18	0,82	852	1150	1449	1748	2047
21	1,27	594	807	1020	1233	1446
24	1,97	390	551	712	872	1033
30	4,69	156	232	308	386	465
40	19,99	34	56	78	100	123

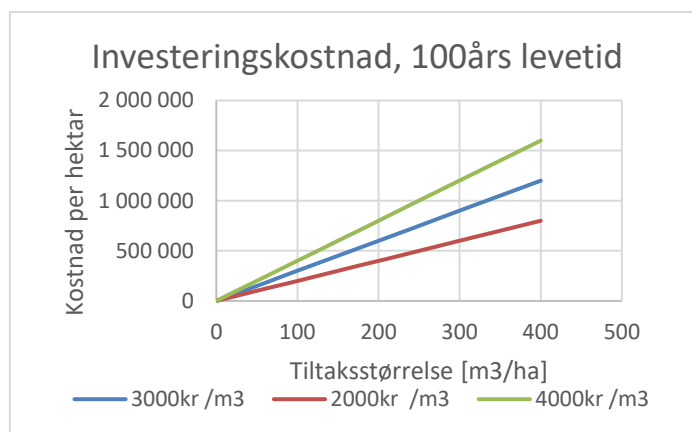
EAD-verdiene i Tabell 15 kan ikke avleses til at pluviale flommer vil forårsake skadekostnader til denne summen hvert år, men heller at dette er forventet gjennomsnittsverdi over en lang tidsperiode. Årsaken til dette er at nedbørhendelsene kan oppstå når som helst, og dermed antas å være uavhengige av hverandre. I praksis betyr dette at den årlige skadekostnaden som er presentert ovenfor vil avvike, men over tid forventes det at bildet vil være korrekt dersom en ser på et stort tidsintervall.

4.2.3 Tiltakskostnader

I dette delkapitlet presenteres noen av faktorene som bidrar til tiltakskostnadene, slik at leser kan sette seg inn i betydningen til de ulike faktorene som påvirker et tiltaks kostnader.

4.2.3.1 Investeringskostnader

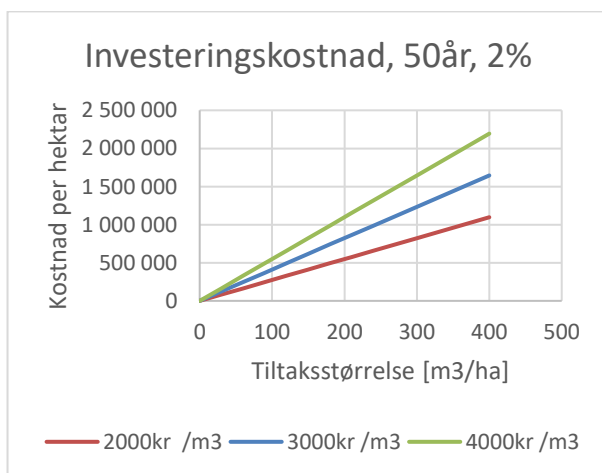
Som en ser av figur Figur 4-15 øker kostnadene lineært med størrelsen til tiltaket, såfremt enhetskostnadene er konstante. En viktig antakelse som må ligge til grunn for at dette skal stemme er at hele feltet investerer samtidig.



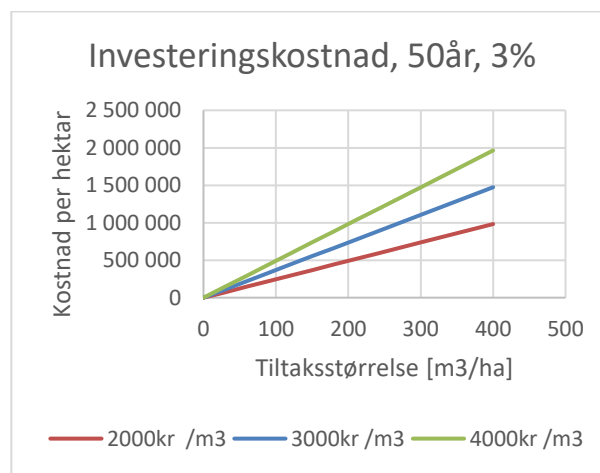
Figur 4-15: Investeringskostnad 100 års levetid.

4.2.3.2 Levetidens påvirkning på investeringskostnaden

Studer Figur 4-15, Figur 4-16 og Figur 4-17 for å se hvordan kostnadsbildet arter seg over 100-års perioden med hensyn på størrelsen og levetiden til tiltakene, samt diskonteringsrenten. Som nevnt er det forenklet sagt at det kreves samme kontantstrøm for å bytte ut tiltaket i 2070 som i 2020. Ved å sammenlikne Figur 4-15 og Figur 4-16 forstås det at et tiltak med 100 års levetid medfører en besparelse på 27% sammenliknet med 50-års levetid ved 2% diskonteringsrente.



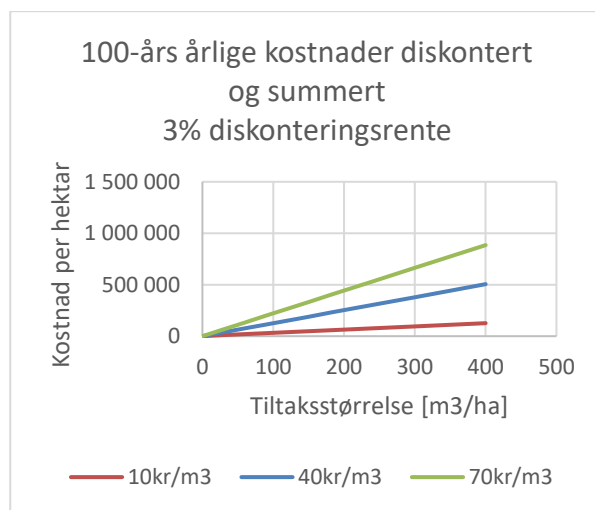
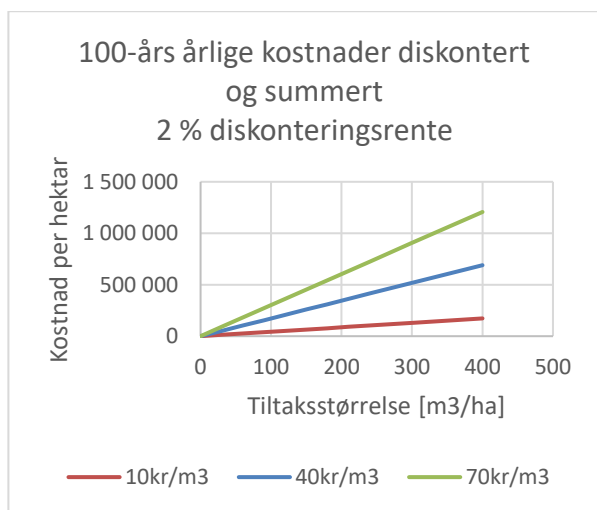
Figur 4-16: Investeringskostnad 50 års levetid
2% diskonteringsrente



Figur 4-17: Investeringskostnad 50 års levetid
3% diskonteringsrente

4.2.3.3 Årlige kostnader summert og diskontert

Hvordan variasjon i årlige kostnader påvirker tiltakskostnaden er illustrert i Figur 4-18 og Figur 4-19. Det gjentas: En endring i diskonteringsrente medfører at 2020-kronens verdi endres med en annen takt. Variasjonen i bidrag fra årlige kostnader over en 100-års periode er på hele 26,7% ved en endring fra 2% til 3% diskonteringsrente. Økt diskonteringsrente medfører at kostnadene målt i 2020-verdi blir lavere, selv om kontantstrømmen er konstant. Samme figurer viser dermed også hvordan diskonteringsrenten påvirker kostnadsbildet fra årlige kostnader.



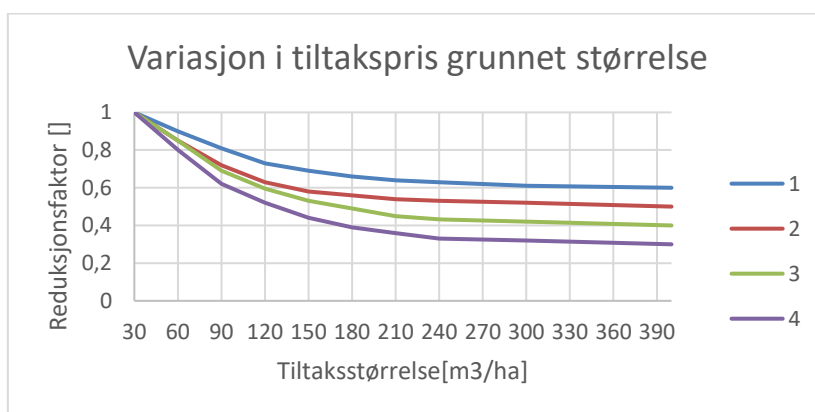
Figur 4-18: Årlige kostnaders bidrag til totalcostnaden for tiltaket, 2% rente

Figur 4-19: Årlige kostnaders bidrag til totalcostnaden for tiltaket, 3% rente

4.2.3.4 De ulike reduksjonsfaktorene – «Kvantumsrabatt»

De grunnleggende tiltakskostnadene er oppført i Tabell 11; det presiseres på ny at denne tabellen presenterer et foreslått kostnadsbilde dersom det bygges tiltak i størrelsesorden 30 kubikkmeter per hektar.

Tabell 12 og Figur 4-20 viser hvilke variasjoner som analyseres på bakgrunn av at størrelsen til tiltakene øker; kan som nevnt tolkes som «kvantumsrabatt».



Figur 4-20: Grafisk fremstilling av tiltaksvariasjonene i tabell 12

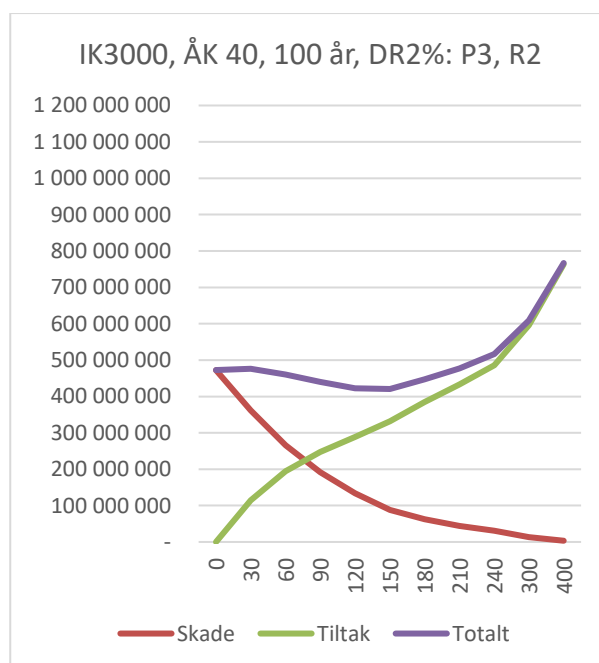
4.2.4 Totale kostnader med ulike tiltaksstørrelser

I dette delkapittelet presenteres ulike kostnadsgrafer ved ulike betingelser. Forkortelsene P, R og DR i dette kapittelet står henholdsvis for påslagsfaktor, reduksjonsfaktor og diskonteringsrente. Det er utarbeidet tallmateriale for å sette sammen 720 ulike kostnadsgrafer som eksemplet i Figur 4-21 viser. Variablene som er benyttet for å estimere tiltakenes kostnad og skadekostnadene er gjengitt i Tabell 16. En av disse variabelkombinasjonene, altså en betingelseskombinasjon, sin optimale tiltaksstørrelse, heretter også kalt anbefaling, er som tidligere beskrevet gitt ved den tiltaksstørrelsen som estimeres å medføre lavest totale kostnader. Betingelseskombinasjonen som gjelder i Figur 4-21 har dermed anbefalt 150 m³/ha.

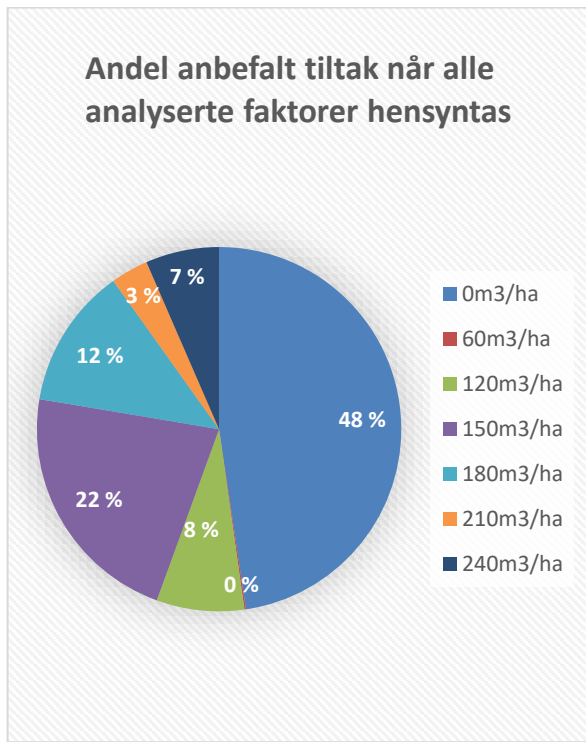
Figurene i Tabell 17 og Tabell 18 viser hvordan en endring av ulike variabler påvirker den optimale tiltaksstørrelsen. Sistnevnte tabell inneholder figurer som fremstiller hvordan en endring i påslagsfaktor eller reduksjonsfaktor påvirker resultatet, mens figurene i Tabell 17 viser utslaget for en endring i årlige kostnader eller investeringskostnad. Figur 4-22 viser hvordan samtlige betingelseskombinasjoners optimale tiltaksstørrelse fordelte seg. Figur 4-23 henviser bare til anbefalte tiltaksstørrelser større enn nullalternativet.

Tabell 16: Ulike analyserte variabler/betingelser

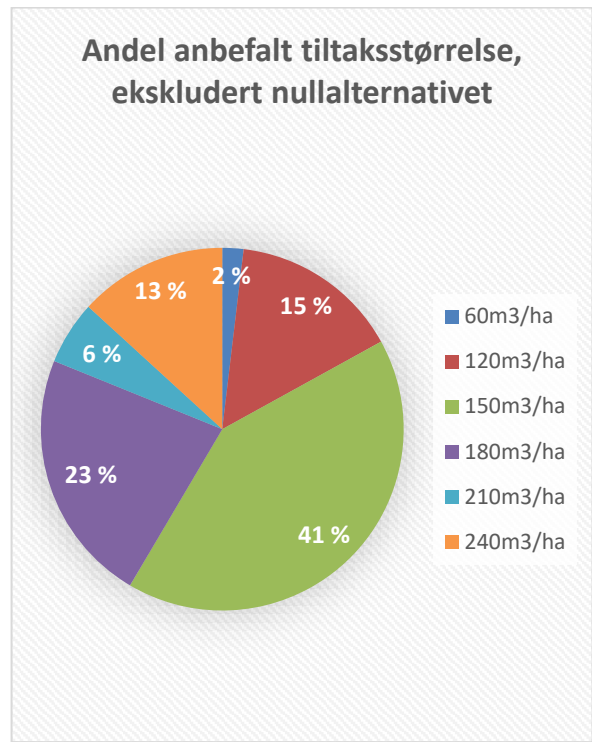
Variabel	Ulike variabler:	Antall alternativer:
Påslagsfaktor	Se Tabell 10	5
Reduksjonsfaktor	Se Tabell 12	4
Investeringskostnad	2000,- 3000,- 4000,-	3
Årlig kostnad	10,- 40,- 70,-	3
Levetid	50 år 100 år	2
Diskonteringsrente	2% 3%	2
Mulige kombinasjoner		720



Figur 4-21: Eksempel på situasjonen ved et sett betingelser. Legg merke til ulikt hopp i tiltaksstørrelser [m³/ha] på X-aksen; derfor bratt kurve på høyre side.

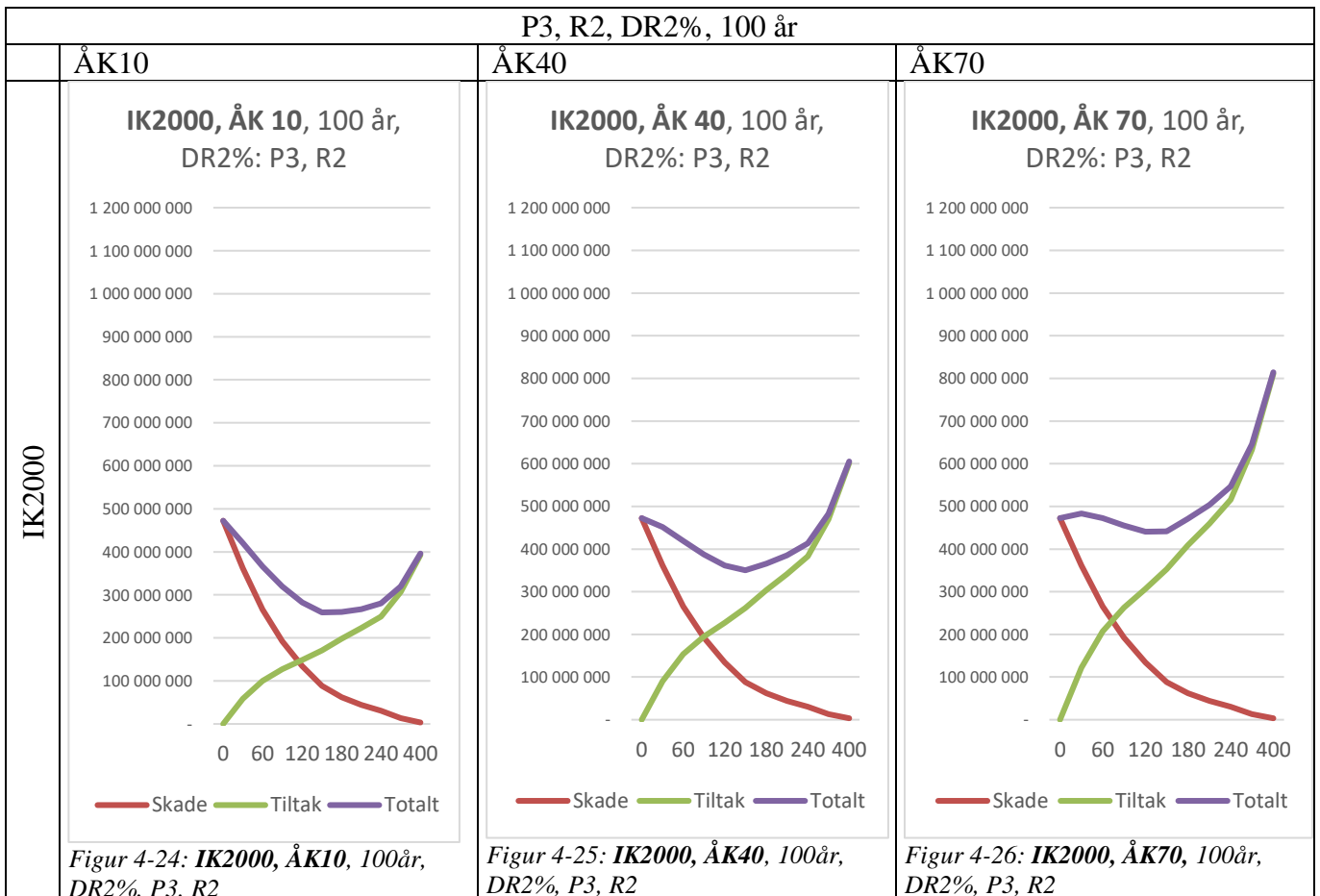


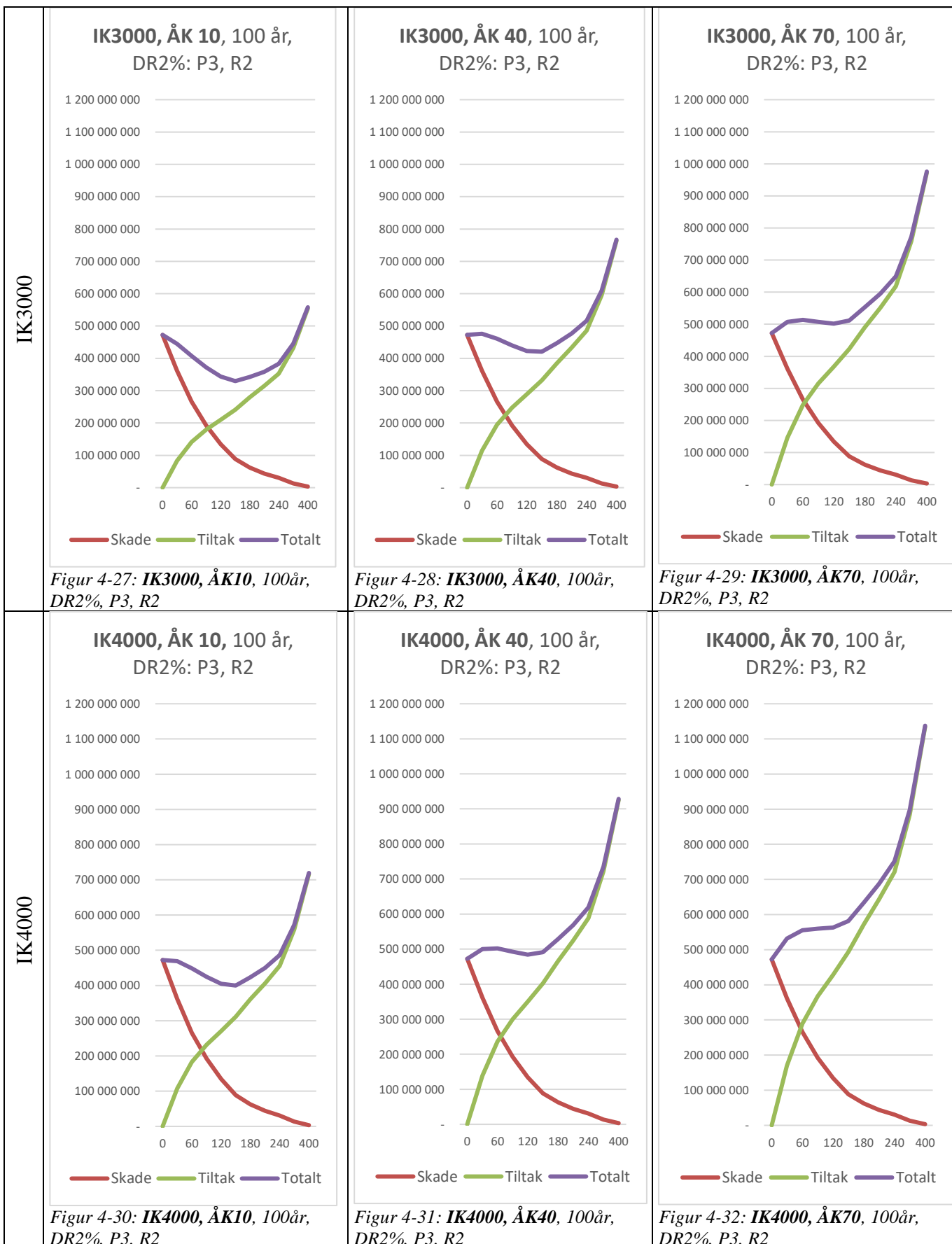
Figur 4-22: Andelen simuleringer som anbefalte tiltak av gitt størrelse. Utvalget er på 720 betingelses-kombinasjoner.



Figur 4-23: Andelen simuleringer som anbefalte tiltak av gitt størrelse, større enn 0. Det er 377 mulige kombinasjoner. **Legg merke til fargedifferansen mellom denne og figur 4-22.**

Tabell 17: Endring i ÅK eller IK påvirker totalresultatet ved gitte betingelser.. Tabellen viser med andre ord enkelte betingelseskombinasjoner fra figur 4-21 og 4-22. X-aksen tilsvarer m³/ha, mens y-aksen viser feltets totale kostnader. Legg merke til ulikt hopp i tiltaksstørrelser på X-aksen; derfor bratt kurve på høyre side.





Tabell 18: Endring i påslagsfaktor eller reduksjonsfaktor ved ellers konstante betingelser. X-aksene tilsvarende $[m^3/ha]$, mens y-aksen viser feltets totale kostnader. Legg merke til ulikt hopp i tiltaksstørrelser på X-aksen; derfor bratt kurve på høyre side.

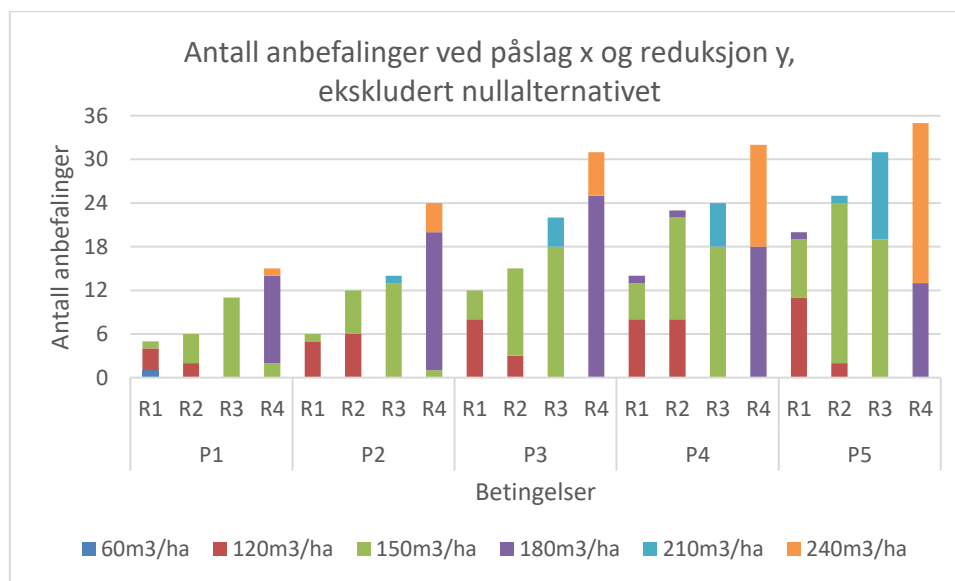
IK3000, ÅK40, DR2%, 100 år			
	Påslagsfaktor for skade 2	Påslagsfaktor for skade 3	Påslagsfaktor for skade 4
Reduksjonsfaktor for tiltakskostnad 2	<p>IK3000, ÅK 40, 100 år, DR2%: P2, R2</p> <p>Figur 4-33: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P2, R2</p>	<p>IK3000, ÅK 40, 100 år, DR2%: P3, R2</p> <p>Figur 4-34: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P3, R2</p>	<p>IK3000, ÅK 40, 100 år, DR2%: P4, R2</p> <p>Figur 4-35: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P4, R2</p>
	Reduksjonsfaktor for tiltakskostnad 4	<p>IK3000, ÅK 40, 100 år, DR2%: P2, R4</p> <p>Figur 4-36: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P2, R4</p>	<p>IK3000, ÅK 40, 100 år, DR2%: P3, R4</p> <p>Figur 4-37: IK3000, ÅK40, 100 år, 2%: P3, R4</p>

5 Diskusjon

5.1 Følsomhetsanalyse av resultatene

5.1.1 Totalkostnadene

Figur 4-22 til Figur 4-38 ligger til grunn for nesten hele følsomhetsanalysen. Først presiseres det at Figur 4-22 viser at 48% av betingelseskombinasjonene anbefaler nullalternativet; altså at tiltak ikke vil lønne seg. Dette er tilfellet ved høyere nivåer av tiltakskostnader, samt de laveste skadekostnadene. Figur 4-23 viser på sin side til andelen tiltaksanbefalinger *større enn* nullalternativet. Å anse nullalternativet som et reelt alternativ er heller vanskelig. Det blir som å si: «Vi tar det som det kommer». Fordrøyningen fra tiltakene **har** en effekt på skadekostnadene, men om effekten er stor nok til at totalkostnaden fra tiltak og skader blir lavere enn nullalternativet, avhenger av begge faktorer i kombinasjon. Ettersom det ved lave nivåer av tiltakskostnader lønner seg med tiltak i alle skadekostnadsestimater, unnlates nullalternativet fra den videre analysen. Spørsmålet blir altså: Hvor stort tiltak skal bygges; ikke om det bør bygges.



Figur 5-1: Antall simuleringer som endte med å anbefale tiltaksstørrelse «X» ved gitt påslag og reduksjon. P1-5 og R1-4. Det er 36 mulige kombinasjoner i hver søyle.

Tabell 18 viste en eksemplifisert og mer detaljert versjon av Figur 5-1. Sammen viser de følsomheten i utvalgsanbefalingen basert på kun påslags- og reduksjonsfaktorer. Grunnet utfallene analyseres figur 5-1 først uten R4. Da ser vi først at det er et klart flertall av simuleringene som ender med å anbefale 150 m³/ha. Videre er det ingen utvalgs kombinasjoner som konkluderer med 240 m³/ha, dersom tiltakene ikke er like billige som ved reduksjonsfaktor 4. En ser også at det ved spesielt lave skadekostnader, som eksempelvis P1 og P2, skal mye til for at tiltak i det hele tatt skal lønne seg. For at etablering av tiltak skal lønne seg, må prisen på tiltakene derfor ligge i den nedre delen av verdiene som er vurdert.

Ser en isolert sett på reduksjonsfaktor 4 tyder mye på at enda større tiltak lønner seg; altså ettersom tiltakene nå er enda billigere vil det lønne seg å bygge større tiltak. Ved R4 konkluderer analysen i stor grad med at 180-240 m³/ha lønner seg, med et flertall på 180 m³/ha. Dermed blir det et spørsmål om det er reelt at kvantumsrabatten er like stor som foreslått i reduksjonsfaktor 4. Er dette ikke reelt, virker det til at lønnsomheten er størst ved 150 m³/ha, mens det i motsatt fall antydes at 180 kubikkmeter per hektar lønner seg.

5.1.1.1 Endring av påslagsfaktoren

Tabell 19 oppsummerer forventet skadekostnad over analyseperioden for de fem påslagsfaktorene dersom det ikke blir bygget tiltak.

Tabell 19: Total skade uten tiltak

Uten tiltak er skadekostnadene over analyseperioden estimert til:	2% diskontering [Mnok]	3% diskontering [Mnok]
Påslag 1	350	257
Påslag 2	411	301
Påslag 3	472	346
Påslag 4	533	391
Påslag 5	595	436

I mangel på god kalibreringsdata for ytterligere påvirkning er det grunnet beregningene Noreidet et.al (2019) gjorde på feltet på Bislett fokusert på påslagsfaktorene 2 - 4; altså at ekstremhendelser har et større kostnadsbidrag fra andre kostnadsdrivere enn skade på bygninger i dette feltet. En ser likevel av tabellen over at skadekostnaden endres med hele +/- 61 millioner kroner bare av ett hopp i påslagsfaktor ved 2% diskonteringsrente. Dette innebærer en større grad av sensitivitet for endringer.

Påslagsfaktor 1 antas for øvrig å være et grovt underestimat for en samfunnsmessig analyse, ettersom dette kun tilsvare skader på bygningene. Andre kostnadsdrivere blir helt glemt ved dette påslaget. Ved de mindre nedbørhendelsene kan dette likevel stemme godt, ettersom skader på bygninger vil være en viktig kostnadsdriver ved flomskader. Påslagsfaktor 1 viser kun til en andel lønnsomme variasjoner på 26,4 prosent i henhold til Figur 5-1; altså er det kun 26,4% av utvalget som benytter påslag 1 som predikerer størst lønnsomhet når de bygges tiltak. Denne faktoren blir dermed ansett som urealistisk; men den er valgt å ta med i analysene hittil på grunn av at dette var utfallet fra simuleringene til kostnadsmodellen.

Påslag 5 representerer på sin side meget høye skadekostnader. Ettersom fremtidens klima er meget usikker antas den likevel for å være plausibel. En konklusjon for hvilke skadekostnader som er *mest korrekt* er likevel vanskelig å presentere; erfaringsdataen er rett og slett for knapp. Resonnementet gitt i kapittel 3.5.1 er for øvrig en generalisering som ikke nødvendigvis stemmer. At kostnadsdrivere skal oppføre seg likt innad i ulike felt er heller usannsynlig, men grunnet mangel på liknende analyser og fremgangsmåter ble dette sett på som en pragmatisk tilnærming. Dersom det hadde vært større sikkerhet på dette aspektet ville det ikke vært nødvendig å teste følsomheten over så mange faktorer som det er gjort i analysen. Dermed ble usikkerheten herfra forsøkt fanget opp og håndtert i følsomhetsanalysen fra dette kapitlet.

5.1.1.2 Endring av reduksjonsfaktoren

Enhetskostnadene består som nevnt tidligere av faste og variable kostnader. Antakelsen om at veldig mange og store tiltak forårsaker lavere enhetskostnader, kan begrunnes med sannsynligheten for underproporsjonale variable kostnader og relativt stabile faste kostnader. De faste kostnadene påvirkes kun i intervaller; det skal en større kvantumsendring til for å påvirke totale faste kostnader. Dermed kan du produsere, eller bygge, flere enheter og oppnå fallende faste enhetskostnader. De variable enhetskostnadene vil på sin side falle med antall enheter grunnet eksempelvis kvantumsrabatter eller konkurranse blant produsentene. Tabell 20 viser beregninger av total tiltakskostnad over 100-års perioden ved to ulike reduksjonsfaktorer. Det er valgt å ha fire ulike reduksjonsfaktorer grunnet usikkerhet rundt hvor mye lavere enhetskostnad som kan forventes grunnet størrelsen til tiltakene.

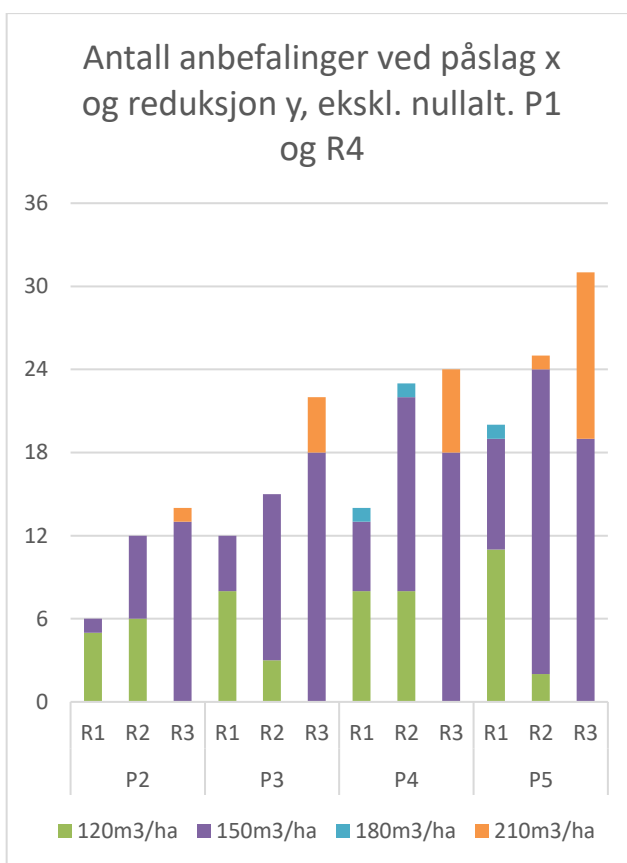
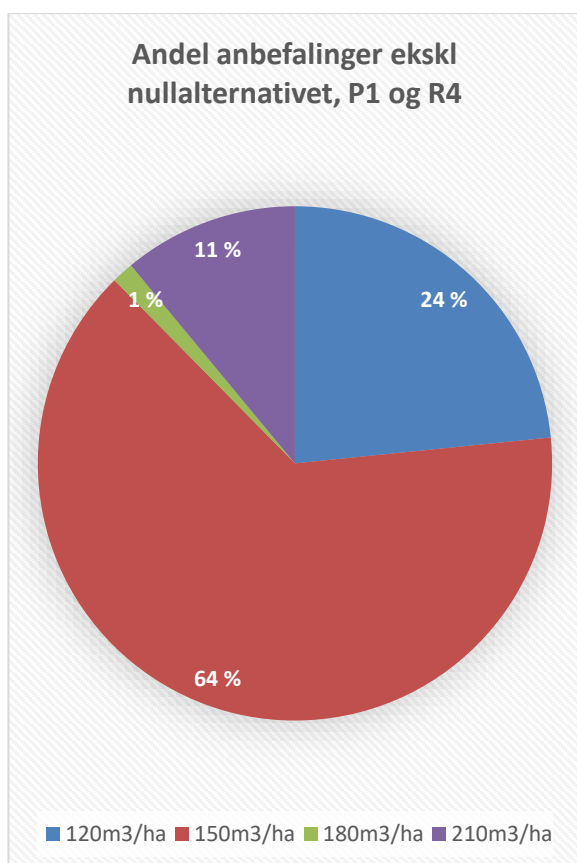
Tabell 20: Tiltakskostnader ved like betingelser, men ulik reduksjonsfaktor på tiltakskostnadene

Diskonteringsrente	Årlig kostnad (v/ 30 m ³ /ha) [kr/(m ³ *år)]	Investeringskostnad (v/ 30 m ³ /ha) [kr/m ³]	Levetid [år]	Størrelse [m ³ /ha]	Reduksjonsfaktor	Total tiltakskostnad [MNok]
2 %	40	2000	100	150	Kat. 2. Red: 0,58	262
2 %	40	2000	100	150	Kat. 3. Red: 0,53	235
2 %	40	2000	100	210	Kat. 2. Red: 0,54	341
2 %	40	2000	100	210	Kat. 3. Red: 0,45	284
2 %	40	2000	100	300	Kat. 2. Red: 0,52	470
2 %	40	2000	100	300	Kat. 3. Red: 0,42	379

I Tabell 20 betyr «Kat» reduksjonskategori og «Red» reduksjonsfaktor. Analyse av tabellen viser at en nedgang i enhetskostnadene på 10% utgjør en total tiltakskostnadsdifferanse på over 91 millioner ved det største tiltaket i eksemplet (300 m³/ha). Dette tilsvarer en nedgang på 19% for

tiltakets total kostnad. For tiltaksstørrelse $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ betyr derimot en enhetskostnadsvariasjon på 5% en endring på 27 millioner kroner over analyseperioden. Dette er på sin side 10% reduksjon i den totale tiltakskostnaden over 100-årsperioden.

Ut fra følsomhetsanalysen ser vi at endring av reduksjonsfaktor har stor påvirkning på tiltakskostnaden. For å konkludere hvilket kostnadsnivå som er korrekt må dette undersøkes nærmere, og er derfor anbefalt som videre arbeid. Det antydes likevel at en enhetskostnadsbesparelse på 70% er å dra den noe langt ettersom kildene som ble listet opp i kapittel 3.5.4 ikke fant så store variasjoner grunnet kvantum. Oppgaven konkluderes derfor med hensyn på at maksimal enhetsbesparelse er rundt 50%, altså i fokuseres det på reduksjonsfaktor 1 til 3. Figur 5-2 og Figur 5-3 viser for oversiktens skyld situasjonen *uten* å inkludere påslagsfaktor 1 og reduksjonsfaktor 4. Sammenliknes disse med Figur 4-23 og Figur 5-1 ser en klare linjer for at det lønner seg med en mellomstørrelse på tiltakene, såfremt man ikke inkluderer reduksjonsfaktor 4.



Figur 5-2: Andel av simuleringene som endte med å anbefale gitt tiltaksstørrelse ved P2-P5 og R1-R3, ekskludert nullalternativet.

Figur 5-3: Fordelingen av figur 5-2 basert på påslags- og reduksjonsfaktor. Det er 36 mulige utfall i hver søyle; de resterende konkluderte med nullalternativet. **Legg merke til fargedifferansen i de to figurene.**

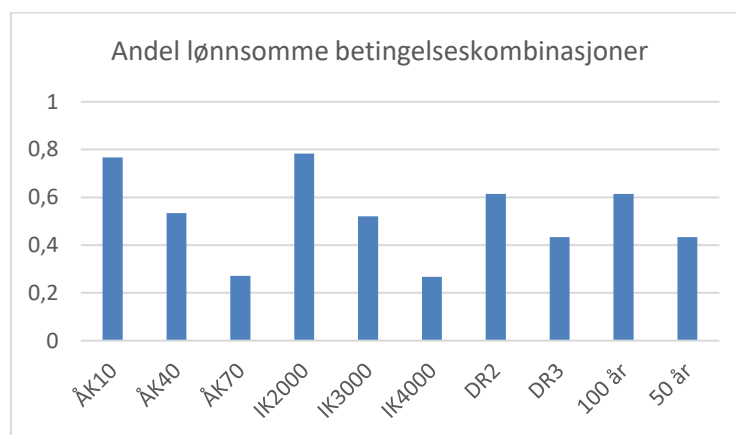
5.1.1.3 Endring av andre faktorer; hvordan påvirkes total anbefaling ved konstant reduksjon og påslag

Tabell 21: Sammenlikning av anbefalt tiltak ved ulike betingelser, men likt påslag (nr.3) og reduksjon (nr. 2)

Andre betingelser			Tiltaksanbefaling	Tiltaksanbefaling	Tiltaksanbefaling
IK 2000			Årlig kostnad	Årlig kostnad	Årlig kostnad
Levetid	Diskonteringsrente	Kategori nr. [x.y]	10 kr [z = 1]	40 kr [z = 2]	70 kr [z = 3]
100 år	2%	1.1	150/180 m ³ /ha	150 m ³ /ha	120/150 m ³ /ha
100 år	3%	2.1	150 m ³ /ha	120/150 m ³ /ha	Nullalternativet
50 år	2%	3.1	150 m ³ /ha	120/150 m ³ /ha	Nullalternativet
50 år	3%	4.1	150 m ³ /ha	120/150 m ³ /ha	Nullalternativet
IK 3000			Tiltaksanbefaling	Tiltaksanbefaling	Tiltaksanbefaling
			Årlig kostnad	Årlig kostnad	Årlig kostnad
Levetid	Diskonteringsrente	Kategori nr.	10 kr	40 kr	70 kr
100 år	2%	1.2	150 m ³ /ha	120/150 m ³ /ha	Nullalternativet
100 år	3%	2.2	120/150 m ³ /ha	Nullalternativet	Nullalternativet
50 år	2%	3.2	120/150 m ³ /ha	Nullalternativet	Nullalternativet
50 år	3%	4.2	120 m ³ /ha	Nullalternativet	Nullalternativet
IK 4000			Tiltaksanbefaling	Tiltaksanbefaling	Tiltaksanbefaling
			Årlig kostnad	Årlig kostnad	Årlig kostnad
Levetid	Diskonteringsrente	Kategori nr.	10 kr	40 kr	70 kr
100 år	2%	1.3	120/150 m ³ /ha	Nullalternativet	Nullalternativet
100 år	3%	2.3	Nullalternativet	Nullalternativet	Nullalternativet
50 år	2%	3.3	Nullalternativet	Nullalternativet	Nullalternativet
50 år	3%	4.3	Nullalternativet	Nullalternativet	Nullalternativet

Tabell 22: Sammenlikningsstrategi for tabell 21

Hva ønsker du å sammenlikne?	Se på følgende:
Hvordan påvirker investeringskostnaden anbefalingen?	Sammenlikn celler med varierende investeringskostnad, men ellers like betingelser. Altså celle 1.y.z, 2.y.z og 3.y.z, der z = y. Eksempelvis celle 1.1.1, 2.1.1 og 3.1.1 eller 1.3.3, 2.3.3 og 3.3.3.
Hvordan påvirker årlig kostnad anbefalingen?	Sammenlikn hver kategori sine årlige kostnader. Altså celle x.y.1, x.y.2 og x.y.3. Eksempelvis: 1.2.1, 1.2.2 og 1.2.3. eller 2.1.1, 2.1.2 og 2.1.3.
Hvordan påvirker levetiden anbefalingen?	Sammenlikn kategorier med ulik levetid, men ellers samme betingelser. Altså celle 1.y.z og 3.y.z eller 2.y.z og 4.y.z. Eksempelvis 1.1.1 og 3.1.1 eller 2.4.3 og 4.4.3
Hvordan påvirker diskonteringsrenten anbefalingen?	Sammenlikn kategori med ulik diskonteringsrente, men ellers samme betingelser. Dette tilsvarer 1.y.z og 2.y.z eller 3.y.z og 4.y.z. Eksempelvis 1.2.4 og 2.2.4 eller 3.1.1 og 4.1.1.



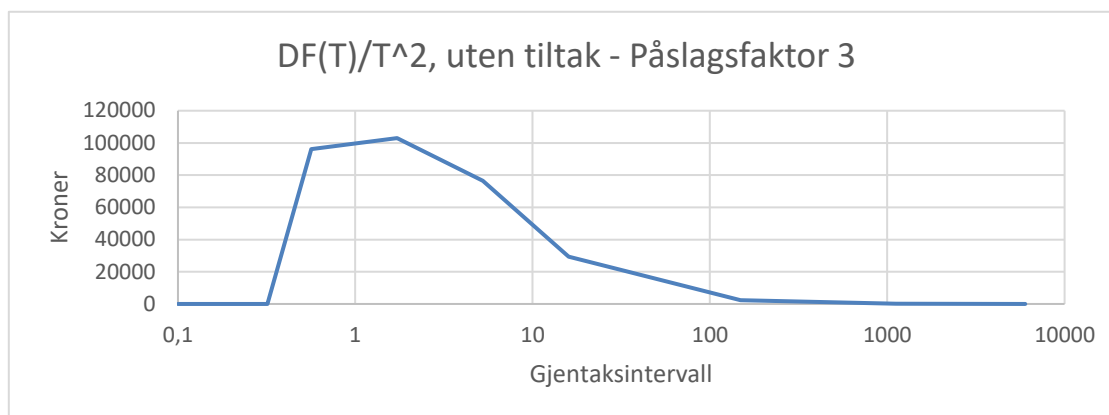
Figur 5-4: Grafisk fremstilling av andelen lønnsomme tiltak ved gitt betingelse

Dersom Tabell 17, Figur 5-1, Tabell 21 og Figur 5-4 analyseres sammen, finner en fort ut at ulike faktorer som påvirker tiltakskostnadene har mye å si for den resulterende anbefalingen. Benytt guiden i Tabell 22 dersom du ønsker å studere Tabell 21 nærmere. Et eksempel på en faktor som betyr mye er de årlige tiltakskostnadene. Ved betingelsene som er fastsatt i Tabell 21 viser det seg at dersom årlig kostnad er på 70 kr/m³, lønner det seg *kun* å investere i tiltakene ved minste investeringskostnad. Alle de øvrige kombinasjonene i Tabell 21 som inkluderer ÅK 70 kr/m³, anbefaler nullalternativet. Samtidig viser Figur 5-4 kun lønnsomhet ved 27% av kombinasjonene som benytter årlig kostnad på 70 kroner, altså er flere muligheter ved større reduksjonsfaktorer på tiltaksprisen. På andre siden av skalaen har vi årlige kostnader på 10 kroner; da lønner derimot 76,7% av kombinasjonene seg ifølge samme figur.

Ved nærmere undersøkelser av Figur 5-4 ser en at andelen lønnsomme betingelseskombinasjoner er veldig avhengig av den faste betingelsen, altså faktoren på x-aksen, sin størrelse. For eksempel faller andelen kombinasjoner som ble lønnsom fra 78,3% til 26,7% ved å doble investeringskostnaden. Dette viser viktigheten av å jobbe for lave tiltakskostnader.

5.1.1.4 Diskonteringsrentens påvirkning

Diskonteringsrentene påvirker også valget. Ved 2% rente og 100 års levetid er *alle* alternativ med laveste investeringskostnad lønnsom. Endres derimot renten til 3% er det plutselig ikke lønnsomt dersom årlig kostnad er 70 kr. Andelen lønnsomme betingelseskombinasjoner endres også fra 61% til 43% ved 1-prosents endring diskonteringsrente. Figur 5-5 viser kurven for skadekostnadene som forventes for nullalternativet, ved påslagsfaktor 3:



Figur 5-5: Skadekostnad uten tiltak, påslag 3

Når det årlige bidraget summeres og diskonteres, ender total skadekostnad, ved 2% diskonteringsrente, på omtrent 472 millioner kroner over 100-års perioden. Ved 3% er det snakk om ca. 346 millioner kroner over analyseperioden. Med andre ord: 1 prosents endring i diskonteringsrente påvirker verdien av skadekostnadene drastisk. Figur 5-4 og Tabell 21 viste at diskonteringsrenten også påvirker andelen lønnsomme tiltak; større rente ser ut til å presse *ned* lønnsomheten av tiltak. Dette betyr at det er viktig å sette så korrekt diskonteringsrente som mulig for å predikere korrekt nivå. Det er dog viktig å huske på at diskonteringsrenten inngår i beregningene for både totale skadekostnader og tiltakenes kostnad.

5.1.1.5 Oppsummering av de ulike faktorene

De ovenfor nevnte faktorene viser at resultatet er meget sensitivt for endringer i tiltakskostnader, mens avhengigheten av skadekostnadene er mindre. Sensitiviteten til faktorene medfører at konklusjonene blir betinget på at de foreslåtte faktorer er mest korrekt; dersom skadekostnadene som forventes faktisk er høyere **vil** anbefalingen bevege seg mot større tiltak. Det samme gjelder dersom tiltakene blir billigere.

5.2 Forskningsspørsmålene

5.2.1 *Hvordan kan optimalt dimensjonerende gjentakintervall for trinn 2 beregnes?*

Metodikken som er foreslått består av å estimere totale skade- og tiltakskostnader ved 11 ulike tiltaksstørrelser over en 100-års periode, ved hjelp av to modeller; en flom- og en kostnadsmodell. Metodikken ser på situasjonen ved å sette like krav overalt; altså at det er like stor tiltaksfunksjon i alle lokale områder. Det differensieres dermed *ikke* på tiltaksstørrelsene med lokale tilpasninger.

Ved å undersøke bygningene på feltet, både karakteristikk og plassering, kan resultater fra flommodellens nedbørsimuleringer benyttes av kostnadsmodellen. Denne modellen estimerer da skadekostnadene som forventes fra alle de simulerte nedbørhendelsene, grunnet flomrammede bygninger, ved hver av tiltaksstørrelsene.

De estimerte skadekostnadene ville optimalt sett også inkludert skader på vei, rekreasjonsområder, biler og fare for liv og helse med mer, men denne dataen er per i dag ikke enkel å estimere. Dermed ble det innført påslagsfaktorer på bygningsskadekostnadene for å fange opp de ytterlige forventede kostnadene. I oppgaven antydes det at en ved ekstremnedbørhendelser kan forvente vesentlige kostnader utover skade på bygninger, mens mindre hendelser har mindre påslag.

Disse estimerte nedbørhendelsenes kostnader beregnes så om til forventet årlig skadekostnad ved hjelp av formelverket som er beskrevet i kapittel 2.4.4.1. Deretter beregnes den 100-årige analyseperiodens forventede totalkostnad ved hjelp av netto-nåverdi beregninger. NNV-beregningene inkluderer variasjon i diskonteringsrente.

Videre må en estimere tiltakenes kostnader. Tiltakenes kostnad estimeres ved variasjoner i årlig driftskostnad, investeringskostnad, levetid og diskonteringsrente. Tiltakenes enhetskostnad som følge av årlig kostnad og investeringskostnader varierer også med hensyn på størrelsen til tiltakene. Tiltakenes kostnader summeres og diskonteres også ved hjelp av netto-nåverdi beregninger.

Ut fra disse operasjonene får en estimerer for hvilke totale kostnader som kan forventes i feltet ved de gitte tiltaksstørrelsene. Om en plotter dataen for en betingelseskombinasjon ser det eksempelvis ut som i Figur 3-1. Herfra må betingelseskombinasjonene evalueres opp mot hverandre for å estimere hvilket utfall som er mest reelt.

Metodikken viser at casefeltet estimerer lønnsomme tiltak i rundt 50 % av simuleringene, gitt de ulike betingelsene; betingelser som altså medfører variasjoner i skade- og tiltakskostnader. I kapittel 5.1 er det diskutert hvilke faktorer som ser ut å påvirke resultatene i størst grad. På bakgrunn av dette viser det seg at case-feltet ved gitte betingelser ser ut til å ha en lønnsom tiltaksstørrelse på $150 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Kommentar til delkapitlet: Et interessant aspekt ved resultatene er at det antydes at $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ lønner seg i de fleste tilfeller for casefeltet. Dette tilsvarer altså at en tomt på 1 hektar må bygge et tiltak på 150 kubikkmeter. Sammenliknes dette med dagens praksis og krav ser en at dette tilsvarer lave fordrøyningsmengder. Sivilingeniør Jogeir Ueland fra Sweco Norge har vært med å prosjektere fordrøyningsanlegg i Vestby kommune og Kolbotn i Nordre Follo kommune (personlig meddelelse, 21.04.2020). Av eksemplene han presenterte for undertegnede endte fordrøyningsvolumene på 309-, 248- og $231 \text{ m}^3/\text{ha}$. En interessant faktor ved disse prosjektene var at tiltakene endte med så store volumer, selv om det var tillat påslipp til kommunalt overvannsnett på mellom 15- og 50 liter per sekund per hektar. Denne oppgaven har ikke analysert tiltaksfunksjonen med påslipp til overvannsnettet. Metodikken ville trolig estimert enda mindre tiltak dersom påslipp også ble inkludert.

I oppgavens introduksjon ble det nevnt at det ligger ute et høringsutkast (se kapittel 1.1). Dette utkastet virker å gi beslutningstakere, eksempelvis kommuner, rom for å sette strengere krav enn i dag. Oppgavens resultater antyder at dette potensielt sett kan være et steg i feil retning, ettersom analysene indikerer at dagens krav i realiteten er for strenge; i hvert fall ved like krav for alle i nedbørfeltet. Det må nevnes at disse eksempelprosjektene fra Jogeir Ueland var på et annet område enn Nadderud og topografien i de feltene er ukjent for undertegnede. Hvor sammenliknbare resultatene er vil derfor være noe vanskelig å estimere uten en nærmere analyse.

Et viktig delspørsmål til oppgaven blir videre: Ønsker man å dimensjonere for at det trolig skal lønne seg totalt sett over eksempelvis en 100-års periode; eller skal man forsikre seg mot skader fra de fleste mindre hendelser? En må huske på at store som små nedbørhendelser kan opptre «når som helst» historisk sett. Dersom det dimensjoneres med $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ viser resultatene at man over hele feltet godtar stipulerte, altså simulerte, bygningsskader til varierende kostnader. Eksempelvis vil et av fremtidens 3 timers nedbør med 5 års gjentakts-intervall estimeres til å påføre feltet en totalkostnad på 77000 kroner, bare grunnet skader på bygninger (Se tabell Tabell 14). Spesifikk bygningsskadekostnad blir da $77000 \text{ kr}/808,2 \text{ hektar} = 95 \text{ kr}/\text{ha}$. Fremtidens 16-års nedbørhendelse med samme varighet vil ifølge kostnadsmodellen medføre en total bygningsskadekostnad på 650000 kroner. Dette tilsvarer 800 kroner per hektar.

Dersom tiltaksstørrelsen eksempelvis dobles til $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ vil de samme nedbørhendelsene tilsvare bygningsskader for henholdsvis 0 og 39 kroner per hektar. Dette er et vesentlig kutt i skadekostnad fra enkelthendelsene, men er det verdt det? Det bidrar tross alt til en økning i tiltakskostnad som ikke ser ut til å lønne seg. Å velge tiltaksstørrelse for beslutningstakere er ikke oppgavens målsetning; metodikken er kun ment å besvare hva som anses som lønnsomt ved de gitte forutsetninger. Det er dog en del usikkerheter knyttet til funnene og metodikken. Disse er delvis tatt opp i forrige kapittel, men tas opp nærmere i kapittel 5.3.

5.2.2 Hvilke variabler påvirker optimalt dimensjonerende gjentakintervall for trinn 2? Hvor stor er påvirkningen?

Faktorene som hovedsakelig påvirker dimensjonerende gjentakintervall er sammenhengen mellom skadekostnadene og tiltakskostnadene og er diskutert i kapittel 5.1. Mye tyder på at tiltakskostnadene trumfer skadekostnadenes påvirkningskraft i mange tilfeller, ettersom metodikken estimerer samme anbefalte tiltaksstørrelse ved store variasjoner i skadekostnader. Skadekostnadene blir vi aldri sikre på; de forblir estimater basert på statistiske modeller over forventet nedbør. Usikkerheten blir heller ikke mindre av at klimaforskerne *antar* at fremtiden bringer kraftigere nedbør; noe som medfører at vårt historiske datagrunnlag blir mindre brukbart. Ettersom det skal store endringer i skadekostnader til for å påvirke tiltaksstørrelsen vesentlig er det klart at tiltaks-kostnadene er viktig å holde nede.

Tabell 23: Sammenlikning av totale grunnhetskostnader (Kostnad ved $30 \text{ m}^3/\text{ha}$)

Sammenlikning av enhetskostnadene ved ulike betingelser		ÅK 10		ÅK 40		ÅK 70	
		DR2	DR3	DR2	DR3	DR2	DR3
100 år	IK2000	2431	2316	3724	3264	5017	4212
	IK3000	3431	3316	4724	4264	6017	5212
	IK4000	4431	4316	5724	5264	7017	6212
50 år	IK2000	3174	2772	4467	3720	5760	4668
	IK3000	4546	3772	5839	4948	7132	5896
	IK4000	5917	4772	7210	6176	8503	7124

Figur 5-4 viser hvordan endringer i grunnkostnadene for tiltakene påvirker andelen lønnsomme variasjoner. En ser store grafiske likhetstrekk ved endringer av årlig kostnad og endringer av investerings-kostnad, men andelen lønnsomme kombinasjoner faller raskere grunnet investerings-enn årlige kostnader. En dobling i investeringskostnad medfører at den lønnsomme betingelses-kombinasjonsandelen faller fra 78% til 27%, mens en endring i årlig kostnad fra 10 til 70 kroner medfører et tilnærmet likt fall. Med andre ord virker det å være viktigere å holde nede

investeringskostnadene sammenliknet med de årlige kostnadene. Dog kan dette bildet lyve noe, ettersom investeringskostnadene også er avhengig av levetiden, noe som gjør at levetidens påvirkning er med i denne beregningen.

Både halvering av levetiden og én-prosents økning i diskonteringsrente er i samme figur vist å senke andelen lønnsomme tiltak med 17%. Årsaken til at levetiden medfører kutt er direkte knyttet til at investeringskostnadene da øker. Dermed blir det en betydelig faktor å finne tiltak med lang levetid.

Tabell 23 viser de totale grunnhetskostnadene ved ulike betingelser. En halvert levetid øker de totale enhetskostnadene med 37,2% av investeringskostnaden dersom en analyserer 2% diskonteringsrente. Kombinasjonen av levetid og investeringskostnad er dermed betydelig. Dobles levetiden medfører det en altså betydelig besparelse.

En dobling av investeringskostnad medfører naturlig nok dobbelt så store investeringskostnader, uavhengig av levetiden og årlige kostnader. Tabell 23 viser at investeringskostnaden betyr mye mer enn årlige kostnader når det er lave verdier på de årlige kostnadene som vurderes. En årlig kostnad på 40 kroner tilsvarer 1724 kroner over 100-års perioden ved 2% diskonteringsrente. Låses ved dette tilfellet investeringskostnaden til 2000 kr vil det være mye å hente på å redusere de årlige kostnadene, ettersom de da tilsvarer $1724/3724 = 46,3\%$ av totalen. Ved samme årlige kostnad og investeringskostnad på 4000 kroner utgjør årlig kostnad bare $1724/5724 = 30,1\%$. Én krone spart i årlig enhetskostnad tilsvarer en besparelse på 43,1 kroner per enhet over perioden ved denne diskonteringen. En kronas kutt i årlig kostnad betyr da henholdsvis 2,5% og 1,1% kutt i totale kostnader ved tiltaket.

Det endelige budskapet blir dermed nokså likt som mange trolig estimerer: Finn tiltak med lang levetid, som er rimelige i både drift og etablering/investering. Er det noe som bør prioriteres er det å kutte investeringskostnadene, ettersom de eksempelvis ofte har endt noe høyere enn de verdier denne analysen fokuserer på ifølge blant andre Hernes (2018). Har en først kuttet investeringskostnadene til nivåene analysen fokuserer på, lønner det seg i mye større grad å påvirke årlig kostnad. Levetiden bør på sin side presses opp, gitt at dette ikke øker investeringskostnadene mer enn det lønner seg. Ved en dobling fra 50 til 100 års levetid er terskelen som nevnt 37,2%.

5.2.3 Hvilken overføringsverdi har resultatene fra case-området?

Oppgaven er utarbeidet med hensyn på et stort case-område, i hvert fall sett i forhold til normale VA-prosjekters størrelse. Feltets størrelse styrker trolig overførbarheten for å sette mer standardiserte krav for dimensjoneringen, men uten å teste metodikken på flere felter med ulik karakteristikk, vil en ikke kunne besvare dette spørsmålet. Ettersom det utover bygninger finnes mange kostnadsdrivere; veier og annen infrastruktur, liv og helse og skade på biler med mer, bør disse faktorene evalueres nærmere for hvert felt. Faktorene vil ha variert størrelse og betydning ved de ulike feltene; eksempelvis urbane områder vs. ikke-urbane områder. Illustrerende eksempel: Konsentrasjonen av bygg forventes generelt å være større dersom feltet er i Oslo kommune, enn på Finnmarksvidda.

Spørsmålet om en bør variere enhetskostnadene ved for eksempel skade på boliger, basert på området de ligger i er også viktig å evaluere. Skader på et område med mange villaer vil medføre en høyere enhetskostnad enn et område med høy konsentrasjon av «normale boliger». En videreutvikling av den automatiserte kostnadsmodellen vil kunne fange opp større deler av usikkerheten og medføre at analyser med metodikken blir enklere.

Metodikken med dagens kostnadsmodell, altså når kostnadsmodellen kun estimerer kostnad knyttet til skade på boliger, vil trolig være best egnet på områder med høy bebyggelsestetthet. Ved veldig lave konsentrasjoner av bygninger vil resterende skadekostnadsdrivere trolig overskyte den estimerte boligskadekostnaden i vesentlig grad, noe som øker usikkerheten ved påslagenes nødvendige størrelse vesentlig.

Det vil altså være et stort pluss å teste den fullstendige metodikken på andre nedbørfelt, men med en lokalt tilpasset og kalibrert flommodell, for deretter å evaluere om det kan trekkes generelle retningslinjer mellom ulike felter. En generalisering resultatene fra denne oppgavens resultater til andre felt med liknende karakteristikk er det større sannsynlighet for, men metodikken bør testes på flere felt før det konkluderes. Dermed er dette viktig videre arbeid.

5.3 Metodediskusjon og usikkerheter

5.3.1 Usikkerheter ved flommodellen

Det er som nevnt tidligere mange usikkerheter når pluviale flommer skal modelleres. Gir topografien modellen benytter et reelt bilde? Hvor godt representerte infiltrasjonsmodulen til flommodellen den realistiske infiltrasjonen i området? Disse spørsmålene er ikke spørsmål som har vært fokusert mye på under gjennomføringen av oppgaven. Antakelsen om at modellutviklerne har gjort en god jobb blir dermed en overhengende usikkerhet. For eksempel er 7,2 mm per time en veldig lav infiltrasjonshastighet (Solheim, 2017), se Tabell 2. Likevel: Modellen er kalibrert for å representere en reell nedbørhendelse via vannstanden som ble målt rundt om på feltet. Dette antyder at flommodellen gjør en tilfredsstillende jobb, men det hadde vært gunstig å validere modellen mot flere reelle hendelser.

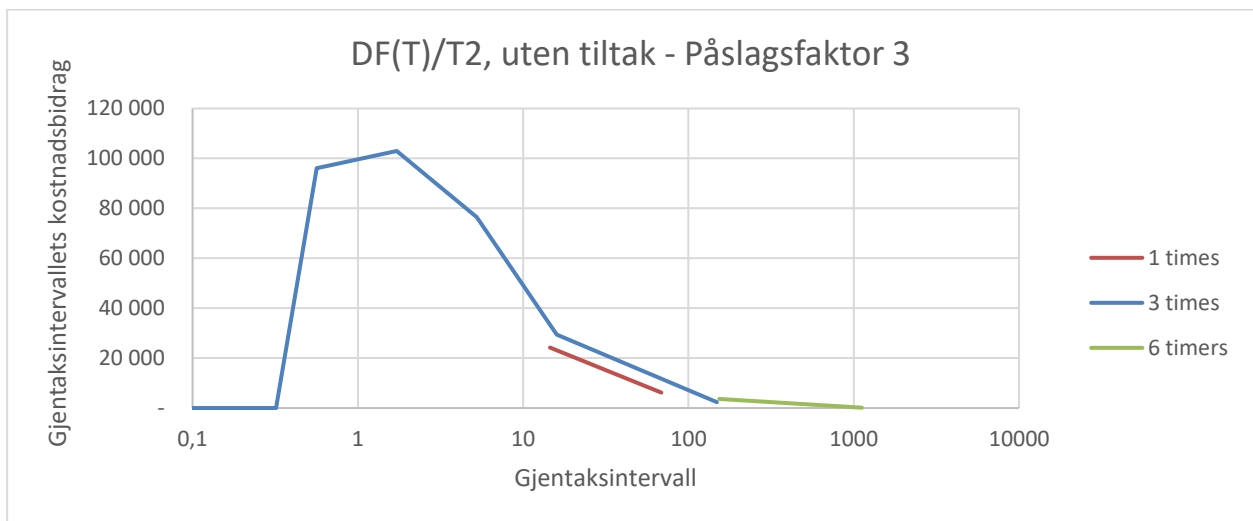
5.3.1.1 Nedbøren som påføres

5.3.1.1.1 Utarbeidelsen av regnhyetogrammene

Tilgang til flere reelle nedbørhendelser av ulik intensitet og karakteristikk ville vært en styrke for modellen, men dette var ikke tilfellet. Dette medførte at det ble konstruert symmetriske regnhyetogram. Faktumet at de symmetriske regnhyetogrammene ikke er utarbeidet etter standardmetodikken antas å ha en innvirkning på resultatene, men ettersom fremtidens nedbør er meget usikker, er det lite som tyder på at dette hverken styrker eller svekker analysen. Vi hensyntar i dag fremtidens nedbør ved å legge til et klimapåslag på tidligere målte verdier, med de vesentlige usikkerheter dette innebærer.

5.3.1.1.2 Usikkerhet ved EAD og nedbørvarighet

Som beskrevet i kapittel 4.2.1 er det simulert en del hendelser for å vurdere skadepotensialet. Hver enkelthendelse har en stipulert kostnad knyttet til vanninntrenging utenfra. Formelverket for EAD hjelper oss med å estimere en forventet årlig kostnad knyttet til skader på grunnlag av overskridelsessannsynligheten for hver enkelthendelse. En utfordring ved formelverket er som tidligere nevnt at det ikke hensyntar at kostnadsbildet trolig varierer innad samme gjentakintervall ved ulike varigheter.



Figur 5-6: 1, 3 og 6 timers kostnadspåvirkning. Logaritmisk skala på x-aksen.

I Figur 5-6 ser en at omtrent samme gjentak vil ha en annen skadekostnad ved 1 timers og 6 timers nedbørvarighet, sammenliknet med 3 timers nedbøren. Dette er ikke oppgavens målsetning å evaluere, men simuleringene antyder likevel at de stipulerte skadekostnadene for samme gjentaksintervall øker med nedbørvarigheten. Det kan dog argumenteres for at både 1- og 3 timers nedbøren kan bakes inn i en 6 timers hendelse, altså at de ikke er statistisk uavhengige. Hvilken varighet som medfører korrekte estimater er dermed materiale for videre arbeid.

Faktum at vi ikke kan si med sikkerhet at hverken store eller små nedbørhendelser vil skje i løpet av analyseperioden, er en annen vesentlig usikkerhet ved beregningene. EAD - formelverket baserer seg på statistiske modeller. Nedbør med et lavt gjentak forventes å opptre mye oftere enn de store gjentaksintervallene, men hva som forventes og hva som opptrer trenger ikke bety det samme. I løpet av 100 år forventes det én 100-års hendelse eller større, mens det forventes to hendelser som overskrider 50-års gjentak.

Legg for øvrig også merke til at metodikken har analysert *fremtidens nedbør*; nedbøren er analysert inkludert klimafaktor. Det betyr at det som i oppgaven er en hendelse med gjentaksintervall T tilsvarer et høyere gjentaksintervall ved år 0 i analysen, enn i det T tilsvarer. Dette kan føre til et overestimat av skadekostnadene ettersom årlig bidrag fra en hendelse i EAD – formelverket (formel (6)) er dividert på gjentaksintervallet i andre potens. Eksempel: Dersom en nedbørhendelses gjentaksintervall beveger seg fra 11 år til 3 år grunnet inkludering av klimafaktor, vil nevneren inkludert klimafaktor være 9 mot 121 uten klimafaktor. Beregningen estimerer et høyere årlig kostnadsbidrag, enn dagens situasjon tilsier. Videre er påslagene tatt på de enkelte nedbørhendelsenes skadekostnader; altså $DF(T)$. Det betyr at dersom skadekostnaden i utgangspunktet er overestimert, vil den absolutte økningen grunnet påslagene være vesentlig større enn ønsket. Dette taler for at oppgaven overestimerer skadekostnadene for det neste århundret, gitt

metodikken og formelverket. Et eventuelt overestimat av skadekostnadene indikerer, som tidligere presisert, at enda mindre tiltak lønner seg.

5.3.1.2 Simulering uten infiltrasjon

Tidlig i prosessen ble det valgt å gjennomføre flomsimuleringene uten flommodellens infiltrasjonsmodul aktivert. Valget ble tatt etter et par testkjøringer av modellen der tidsbruken per simulering gikk ned med i overkant av 20%. Infiltrasjonsmodulen ble dermed erstattet med et kutt i nedbørmengde. Infiltrasjonshastigheten cellen hadde ble likevel forsøkt hensyntatt ved å subtrahere infiltrasjons-hastigheten med nedbørintensiteten; se kapittel 3.3.2.2. Feilen som dette medfører antas å være minimal ettersom modulen benytter konstant infiltrasjonsrate.

En faktor som dog ikke hensyntas ved å fjerne infiltrasjonsmodulen, er at infiltrasjonen fra grunnsimuleringen tillot tilrenning fra naboceller. En slik tilrenning medfører at noen celler infiltrerte vann som falt på en annen celle. Tilrenningen oppstår grunnet manglende kapasitet i cellen nedbøren faller på. Det betyr at det finnes celler som infiltrerte vann som falt på et annet sted i feltet.

I simuleringene som oppgaven har benyttet er ikke denne avrenningen hensyntatt ettersom kuttet ble gitt direkte til cellene som infiltrerte den målte mengden. Likevel: De fleste cellene har utnyttet det meste av infiltrasjonskapasiteten før nedbørtoppen. Forventet *avrenningstopp*, altså det tidspunktet det renner mest vann i cellen, er generelt sett på et senere tidspunkt enn nedbørtoppen. Det finnes dog noen lokale unntak. Ettersom det er forventet at en celles høyeste vannstand opptrer under avrenningstopp på cellen, antydes det at usikkerhetsbidraget fra den manglende simulerte tilrenningen er liten for resultatene i analysen. I hvilken grad dette *faktisk* påvirker resultatene ville likevel vært gunstig å undersøke nærmere i videre arbeider.

5.3.1.3 Tiltak – viktige faktorer

5.3.1.3.1 Ikke strategisk plassering av tiltak

Hvordan tiltakene, altså flomhåndteringen utover infiltrasjon, blir simulert er trolig en av de vesentlige usikkerhetene ved metodikken. Med dagens praksis er det normalt å finne en strategisk plassering av tiltaket, eller i det minste plassere av innløpene strategisk; effektiviteten til tiltaket avhenger naturligvis av at overvannet som er tiltenkt faktisk blir håndtert av tiltaket. Det betyr at vannet ikke nødvendigvis må håndteres direkte i alle lokale deler av feltet, men at det kan lønne seg å håndtere overvannet på strategiske punkter som sørger for samme, eller bedre, utnyttelse av tiltaksfunksjonen. På NTNU Gløshaugen har det blitt analysert viktigheten av plassering av

regnbed i urbane områder. Resultatene viste at bedre plassering av regnbedene potensielt kan medføre et kraftig redusert arealbehov for samme nytte (Muthanna et al., 2018). Redusert arealbehov er igjen en indikator for lavere tiltakskostnader, noe som igjen gir ytterligere nytte fra at areal blir tilgjengelig for andre formål.

Denne oppgavens metodikk hensyntar ikke strategisk plassering ettersom hver eneste celle i området har et tiltak av identisk funksjon og størrelse, altså er det helt likt tiltak overalt. Flombildet modellen presenterer ved en gitt tiltaksstørrelse vil dermed kunne medføre at flere bygg vil klassifiseres som truffet, enn det ville ved en mer strategisk plassering av tiltakene. Dersom dette stemmer vil kostnadsmodellen estimere for mange utsatte bygninger i modellen etter tiltaksinnførselen. I neste omgang medfører et eventuelt overestimat på utsatte bygninger en overestimert skadekostnad. Dog er det sannsynlig at denne eventuelle feilen fanges opp og slås sammen med usikkerheter ved påslagsfaktorene. De minste nedbørhendelsene har ikke store påslag, så her er det større usikkerhet enn ved de større.

Strategisk plassering antas dermed å *kunne* medføre bedret funksjon av samme tiltak, og videre føre til lavere skadekostnader enn metodikken estimerer. Dette vil igjen føre optimal tiltaksstørrelse mot mindre tiltak, dersom skadekostnadsnivået holdes konstant. Videre undersøkelser vil kunne avgjøre hvor stor usikkerheten fra dette er.

5.3.1.3.2 Tiltakskostnadene og valg av type tiltak

Kostnadene som er analysert viser som nevnt ikke hele bildet over typiske investeringskostnader. Analysemetodikken viste tidlig at skadekostnadene, selv med store påslag, ikke er estimert store nok til at *særlig* dyrere tiltak vil lønne seg; gitt at en bare evaluerer flomdempingsfunksjonen til tiltaket. Merverdien fra tiltak som grønne tak, regnbed og grønne vegger vil medføre at slike tiltak er gunstigere enn metodikken hensyntar. Nytte-økningen til tiltak med merverdi er ikke hensyntatt, ettersom tiltaksvalg ikke er en del av oppgaven. Det blir dermed opp til beslutningstakere å evaluere om merverdien til en bestemt tiltaksvariant gjør opp for kostnadsøkningen som eventuelt opptrer.

5.3.1.3.3 Investerings tidspunktet og årlig kostnad

Disse analysene er gjort med utgangspunkt i at absolutt alle deler av et felt innfører samme tiltaksstørrelse, og at samtlige tiltak bygges ved år 0 i analyseperioden. Det er høyst usannsynlig at alle områder i et felt på 808 hektar ville foretatt en tiltaksutbygging samtidig. Dette medfører at reell kontantstrøm knyttet til investeringer i realiteten vil spres utover analyseperioden, noe som igjen påvirker kontantstrømmen fra årlige tiltakskostnader. Forenklingen ble likevel tatt ettersom

kompleksiteten i analysen ville blitt enda større ved å variere denne faktoren i tillegg. Dersom tiltakene blir investert ved ulike år i analyseperioden, vil de totale skadekostnadene øke grunnet færre tiltak gjennom analyseperioden. Samtidig går total tiltakskostnad ned. Det totale bidraget fra denne potensielle feilen vil variere med utbyggingstakten i det analyserte nedbørfeltet, og er ikke analysert i oppgaven. Betydningen fra dette kan være stor, men det blir bare synsing å estimere. Dette anbefales derfor også for videre arbeid.

Den årlige kostnaden, samt re-investeringer av tiltak vil for øvrig også kunne påvirkes av KPI; på samme måte som forklart om skadekostnadene i kapittel 5.3.1.1.2. Dette er heller ikke hensyntatt da oppgaven ser på konstant kontantstrøm. Dette vil på sin side medføre et underestimat av kostnadsbidraget fra både årlige tiltakskostnader og eventuelle re-investeringskostnader; altså vil det potensielt medføre at optimal tiltaksstørrelse blir mindre.

5.3.1.3.4 Påslipp

Opgaven hensyntar ikke påslipp av overvann til kommunalt nett etter fordrøyningen, ettersom dette ikke har en fastsatt størrelse for alle områder, og dermed ville vært enda en usikker variabel. Et påslipp tillates for øvrig ikke automatisk i alle norske kommuner. Eksempel: Oslo kommune skriver følgende i sin overvannshåndteringsveileder for utbygger: «På grunnlag av hovedprinsippene gis det kun mulighet for påslipp av overvann til offentlig avløpsnett, dersom det kan dokumenteres at åpne og lokale løsninger ikke, eller delvis ikke, lar seg gjennomføre.» (Oslo kommune, 2017, s. 16). Utbygger må altså dokumentere behov for påslipp for å få tillatelse av Oslo kommune.

Dette betyr at tiltakene, som i den foreslåtte metoden i prinsippet fungerer som vannlagre, fylles raskere enn dersom det tillates påslipp. Ved simuleringsmetodikken tilsvarende dette at tiltaket har en konstant kapasitet som fylles i første del av nedbøren. Dersom det derimot var tillatt påslipp til kommunalt overvannsnett på magre 1 liter per sekund, ville det samme tiltaket kunne håndtert 10,8 kubikk ekstra ved et 3-timers nedbør; gitt konstant påslipp over hele nedbørvarigheten. Dette ville vært med å senke avrenningen på feltet ytterligere, og dermed også senke skadekostnadene (Les: Forbedret funksjonen til tiltakene). Ved forbedret funksjon ville også disse analysene endt med lavere tiltaksbehov.

5.3.2 Usikkerhet ved kostnadsmodellen

Kostnadsmodellen er først og fremst avhengig av at resultatene fra flommodellen er gode, ellers blir estimatene tatt på feil grunnlag. Utover dette er et stort usikkerhetsmoment ved kostnadsmodellen metodikken bak utvelgelsen av skadede bygninger. Hvilke terskelverdier skal benyttes?

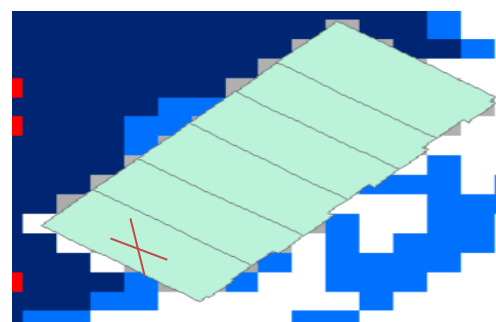
Et 10 cm dypt vannspeil for å klassifisere bygninger som skadet, er benyttet i flere andre analyser. Dette ble dermed valgt som en av terskelverdiene i denne oppgaven (Nordeidet et al., 2019; Olsen et al., 2015). Er det et 10 cm dypt vannspeil som vil medføre skader i de fleste tilfeller, eller kreves det i realiteten en annen størrelse? Burde det vært fokusert på andre faktorer enn vannspeil, eksempelvis vannføring eller hastighet? Andre faktorer har ikke blitt vurdert nærmere i denne oppgaven, men vannføring og hastighet vil være mer aktuell ved undersøkelser av eksempelvis erosjon.

I Danmark benyttes det en øvre terskel ved dimensjonering på 10 cm, ettersom skader på bygningsmasser forventes å være lave ved mindre vannstander (COWI, 2015, s. 30). Andre analyser har også benyttet ulike terskelverdier for ulike typer bygg. «Ekstremnedbør Oslo – Skadeomfang og kostnader» (Nordeidet et al., 2019) er et eksempel på dette. Her ble det eksempelvis benyttet ulike terskelverdi på bygg med og uten kjeller. Dette feltet var dog vesentlig mindre enn denne oppgavens casefelt og de differensierte kostnadsbildet i mye større grad.

En annen faktor ved utvelgesmetodikken som er diskuterbar er at bygninger må ha 10cm dypt vannspeil *ved minimum 60% av omkretsen*. Dette medfører i realiteten at eksempelvis rekkehus i varierende grad vil klassifiseres som skadet sammenliknet med eneboliger, ettersom disse har færre vegger på hver seksjon. Figur 5-7 og Figur 5-8 viser hvordan situasjonen modellen leser ved et tilfeldig rekkehus. Byggene i midten har kun to yttervegger som kan påvirkes, og oppnår dermed 60% vannspeil enkelt. Dette eksemplet viser et bygg som så vidt *ikke* hadde sluppet unna utvelgelsen dersom det var en enebolig. Som rekkehus ser en at den søndre seksjonen, markert med «X», muligens ikke har dekket over 60% av sin omkrets, og derfor ikke vil bli med i utvelgelsen.



Figur 5-7: Rekkehus, raster



Figur 5-8: Samme rekkehus – polygon

Uavhengig av disse usikkerhetene ble kostnadsmodellen antatt å være god til å estimere skadekostnader knyttet til bygninger, ettersom den er kalibrert mot en reell hendelse og klarer å gjengi

denne hendelsen tilfredsstillende. En validering av kalibreringen mot flere reelle hendelser for å se hvordan kostnadsmodellen håndterer disse vil være gunstig for fremtidige analyser.

5.4 Sammenlikning med liknende arbeid

I kapittel 1.2 ble det presentert et par studier som også så på overvannsproblematikk for å estimere kostnader med mer. Av de nevnte er trolig Haugård (2017) den studien som likner denne oppgavens metodikk og målsetning mest. Han benyttet blant annet det samme formelverket, samt en liknende fremgangsmåte for å estimere EAD. Likevel er det stor differanse i tilnærmingene ellers. Haugård så på lønnsomhet ved overvannstiltak for å forhindre spesielt tilbakeslag i ledningsnett, mens denne oppgaven har fokusert på overvannsavrenningen. Han valgte i sin oppgave å plassere tiltak strategisk på utsatte steder. Dette vil, som diskutert tidligere, ofte medføre at tiltakene som implementeres gir en stor nytte. Nyten ses her i lys av potensialet for besparelser. Likevel: Det er ikke normalt at kommuner, i utgangspunktet, setter differensierte krav rundt om i kommunen. Dette betyr at overførbarheten til Haugårds studie er diskutabel, men det viser stort potensiale ved tiltaksimplementering.

Rambøll gjennomførte en studie et case-område der det undersøkes hvor stor den samfunnsøkonomiske ulempen fra en ekstremnedbørhendelse på 155 mm over 2 timer vil være (Nordeidet et al., 2019). Denne studien ser altså på kostnadene nedbøren vil medføre dersom den inntreffer på case-området på Bislett. Dette er altså ikke en studie for å beregne lønnsomheten ved tiltak, men en studie for å se på hvor skadelig en slik hendelse kan være. Studiet gikk meget grundig til verks ved estimeringen av kostnadene, i hvert fall sammenliknet med denne masteroppgaven. I denne masteroppgaven estimeres skadestandardene grunnet flomrammede bygninger ved hjelp av en kostnadsmodell, før det innføres påslag på disse estimatene for å hensynta andre ulemper. Skadestandardene fra enkelthendelsene vil trolig bli vesentlig bedre estimert ved deres metodikk, men som nevnt: Dersom kostnadsmodellen videreutvikles kan den trolig gjøre hele fremgangsmåten både enklere og mer presis.

Menon-publikasjon nr. 97/2018 (Høiseth-Gilje et al., 2018) er en rapport som ligger til grunn for det tidligere nevnte høringsutkastet som ligger ute i disse dager. De undersøkte den samfunnsøkonomiske nytten ved forskjellige endringer av krav til overvannshåndtering i byggeteknisk forskrift. De estimerte ikke skadestandardene selv i publikasjonen, men benyttet overvannsutvalget som arbeidet med NOU 2015 :16(2015) sine anslag. Disse anslagene lå på 1,6 til 3,6 milliarder kroner per år, på landsbasis. NOUen sine anslag var basert på tidligere skadestatistikk fra forsikringsselskaper. Menon-publikasjonen benytter også tiltakskostnadene fra

Magnussen et al. (2015) som ikke evaluerte variasjon i enhetskostnad grunnet størrelse. De godtar også at kostnadene fra 2015 er representativ for prisnivået i dag. Det er i denne masteroppgaven ikke sett på anslåtte skader på landsbasis, men simulert for et case-område. Samtidig er det innført en kvantumsrabatt for tiltak, altså rimeligere enhetskostnader grunnet størrelse og omfang. Tiltakskostnadene som ligger til grunn, altså før eventuell kvantumsrabatt, er også i det nedre prissjiktet dersom en sammenlikner mot Magnussen et al. (2015).

6 Konklusjoner og videre arbeid

Formålet med oppgaven har hovedsakelig vært å estimere hva som er den mest lønnsomme tiltaksstørrelsen for å fordrøye overvann lokalt, under forutsetning at tiltakene etableres jevnt over hele nedbørfeltet. Resultatene viser at dersom hele case-nedbørfeltet håndterer en overvannsmengde tilsvarende $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ lokalt, vil dette gi de laveste samfunnsøkonomiske kostnadene ved et perspektiv på 100 år. Ved etablering av tiltak med kapasitet større enn dette vil de økte tiltakskostnadene gjøre det mindre lønnsomt. Tilsvarende vil tiltak under $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ medføre for store skadekostnader, og dermed fall i lønnsomhet.

Ved en tiltaksstørrelse på $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ har tiltaket kapasitet til å håndtere en nedbørmengde på 15 millimeter. Denne nedbørmengden tilsvarer anslagsvis fremtidens 3 timers nedbør med 0,3-års gjentakintervall. Til sammenlikning setter mange kommuner i dag krav til at en hendelse med 20-års gjentakintervall inkludert klimapåslag skal håndteres lokalt. Selv om de to verdiene ikke direkte kan sammenliknes, virker det likevel tydelig at dagens dimensjoneringspraksis medfører at tiltakskostnadene blir for høye; i hvert fall om kravene skal settes udifferensiert over hele nedbørfeltet.

Videre viser resultatene at optimal tiltaksstørrelse for lokal overvannshåndtering er sensitiv for de variablene som undersøkes. Variablene består av ulike faktorer som påvirker kostnadsbildet knyttet til både tiltakskostnader; altså kostnader knyttet til forebygging, og skadekostnader; altså skadekostnader som oppstår grunnet pluviale flommer. Et interessant funn ved metodikken er at optimal tiltaksstørrelse generelt sett er mer avhengig av tiltakenes kostnad. Eksempelvis endret ikke optimal tiltaksstørrelse seg selv for mange scenarioer der skadekostnadene ble økt med hele 30%.

Kostnadsdriverne for tiltakene er investeringskostnader, årlige drifts- og vedlikeholdskostnader, samt levetiden til tiltaket. Fra dette kan det konkluderes med at det er viktig å holde disse kostnadsdriverne nede for at tiltakene skal lønne seg. Eksempelvis viser resultatene at dersom levetiden øker fra 50 til 100 år, så vil de midlere tiltakskostnadene for case-området reduseres med 67,5 millioner, dersom en antar diskonteringsrente på 2% og at alle bygger lokale tiltak tilsvarende $150 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Både flom- og kostnadsmodellen har en usikkerhet i at de kun er kalibrert mot én reell nedbørhendelse. Samtidig er begge modellene i stand til å gjengi de hydrauliske og kostnadsmessige forholdene for denne hendelsen med tilfredsstillende nøyaktighet. Dersom kostnadsmodellen blir

kalibrert mot de totale kostnader som påløper for fremtidige reelle nedbørhendelser, så er den utviklet slik at det er enkelt å oppdatere verdier for skadekostnader og eventuelt legge til flere skadekostnadsdrivere; eksempelvis skader på vei og biler.

Under forutsetning om at flommodellen er tilpasset lokalt er det vurdert til at metodikken har høy overførbarhet til andre områder. Den optimale tiltaksstørrelsen som er beregnet for case-området kan derimot ikke benyttes som en standard for andre felt. Dette fordi blant annet feltkarakteristikk vil ha stor betydning for resultatene av flommodellen, og dernest optimal tiltaksstørrelse.

Oppsummert konkluderes det derfor med at metodikken kan benyttes til å estimere lønnsomt nivå for midlere tiltaksstørrelse i et nedbørfelt, under forutsetning at alle lokale tiltak har like funksjonskrav. Samtidig peker resultatene og litteraturen på at totalkostnaden kan reduseres betraktelig dersom tiltak plasseres strategisk på de steder de har høyest effekt; altså der de reduserer skadepotensialet best. Viktigheten av at kommuner vurderer å differensiere krav til fordrøyning istedenfor å vise til sjablongverdier kommer da frem. Dette fordrer at kommunen har tilstrekkelig kjennskap til å vurdere overvannssituasjonen lokalt. Med dette menes kunnskap om kapasiteten i avløpsnettet, flomveiene og at de evaluerer situasjonen med hensyn på fremtidig utbygging.

Det anbefales at usikkerhetsforhold som er tatt opp i diskusjonen undersøkes i videre arbeider. Dersom feltet analyseres på nytt, men denne gangen med nøye utvalgte og strategiske plasseringer av tiltakene, kan det trolig påregnes et potensial for kostnadsreduksjon av å sette differensierte krav til fordrøyning. Videreutvikles kostnadsmodellen for å håndtere flere samfunnsaktuelle kostnadsdrivere, og dernest kalibreres og valideres mot skadekostnader fra reelle nedbørhendelser, er det stor sannsynlighet for at metodikken kan predikere den lønnsomme dimensjonerende tiltaksstørrelse med tilfredsstillende presisjon; gitt de øvrige usikkerhetsmomenter. Avslutningsvis presiseres det at metodikken bærer preg av å være en lønnsomhetsanalyse. Det er dermed videre opp til beslutningstakere å avgjøre om en ønsker å forsikre seg mot uønskede skader i enda større grad, ved å øke tiltaksstørrelsen utover metodikkens estimater.

6.1 Foreslåtte forskningsspørsmål for videre arbeid

- 1) Hvor stor variasjon observeres i anbefalt tiltaksstørrelse ved å benytte samme metodikk på et nedbørfelt med annen feltkarakteristikk, men som har omtrent samme geografiske størrelse?

Spørsmål 1 ville vært meget interessant å undersøke, med hensyn på hvor stor variasjon i optimal tiltaksstørrelse en kan forvente ved ulike feltkarakteristikker. Er det mulig å gjøre valg av dimensjonerende grense på en mer generell basis? Min antakelse er at det finnes noe likhetstrekk som kan generaliseres, men at endelige dimensjoner til syvende og sist bør evalueres lokalt.

- 2) Hvor mye påvirkes anbefalt tiltaksstørrelse dersom en også estimerer tiltakenes merverdi (økt nytte) utover flomdemping?

Spørsmål 2 er særlig interessant siden tiltakene kan påvirke andre elementer av samfunnet, i tillegg til flomdemping. Faktorer som estetikk og BGF vil være viktig ved valg av tiltak for mange beslutningstakere. Dersom de fleste utbyggere velger, eller pålegges, dyrere tiltaksløsninger, vil ikke denne analysen besvare spørsmålet om lønnsom fordrøyningsmengde godt nok. De andre positive faktorene har ikke fått oppmerksomhet i analysen, ettersom tiltakstype ikke var en variasjon som ble sett på. Merverdien i tiltak av ulik karakter kan være betydelig. Mangel på dette bidraget fører til at nytten ved slike tiltak underestimeres ved metodikken som foreslås. Hvor mye dyrere kan tiltak være, dersom de har en merverdi?

- 3) Hvordan påvirkes anbefalt tiltaksstørrelse dersom en innfører tiltakene mer strategisk og forsøker å hindre skade på spesielt utsatte områder?

Fremgangsmåten for å undersøke spørsmål 3 er vanskelig å spesifisere, men det kreves trolig grundigere analyser av topografien og grunnforholdene i feltet, noe som bidrar til økt tidsbruk på dette feltet. Øvrige faktorer fra denne oppgavens foreslåtte metodikk bør ikke varieres for mye, dersom følsomheten til den endrede tiltaksinnførselen skal testes. Dersom denne variasjonen i tillegg undersøkes nærmere for *flere* nedbørfelt, vil det trolig være mulig å trekke noen generelle retningslinjer som forteller hvor stor påvirkning forenklingen i denne oppgaven faktisk har for optimal tiltaksstørrelse.

-
- 4) Hvordan kan EAD-formelverket på en best mulig måte utnyttes med hensyn på varighetene til nedbøren; hvilke faktorer påvirker valg av korrekt nedbørvarighet for estimering av årlige kostnader i et nedbørfelt?

Er det korrekt å analysere korte eller lange nedbørhendelsers skadepotensiale; hvor lang bør analysert nedbørvarighet være for et gitt nedbørfelt? Et utdypende svar på dette spørsmålet vil være behjelpelig for fremtidige analyser, ved at en bedre kan estimere hvor lang nedbørvarighet som bør analyseres for estimering av kostnader. Dersom en kan vise at en sammenstilling av faktorer avgjør hvilken nedbørvarighet som gir det korrekte kostnadsbilde, vil det minke usikkerheten til analysene noe. Eksempler på faktorer som antas å være viktige er eksempelvis konsentrasjonstid, konsentrasjon av bygninger og infrastruktur, og nedbørfeltets størrelse.

Referanser

- Bates, P. og De Roo, A. (2000). *A simple raster-based model for flood inundation simulation*. Journal of Hydrology 236 (1-2): 54–77. doi: 10.1016/S0022-1694(00)00278-X.
- Bjørnestad, S. (2020, 07. mai). 2013–2023: Ti år med null vekst i kjøpekraften. *E24*. Hentet 20.05.2020 fra: <https://e24.no/norsk-oekonomi/i/LA7en1/20132023-ti-aar-med-null-vekst-i-kjoepkraften>
- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O., Noreide, T., Semb, T., Skretteberg, R., & Markhus, E. (1997). *Anvendt urbanhydrologi*. Norges vassdrags- og energidirektorat, 10, 193. http://publikasjoner.nve.no/publikasjon/1997/publikasjon1997_10.pdf
- Bull-Berg, H., Volden, G. H., & Grindvoll, I. L. T. (2014). *Ikke-prissatte virkninger i samfunnsøkonomisk analyse- Praksis og erfaringer i statlige investeringsprosjekter* Concept rapport nummer 38.
- Chen, A. S., Evans, B., Djordjević, S. og Savić, D. A. (2012a). *A coarse-grid approach to representing building blockage effects in 2D urban flood modelling*. Journal of Hydrology 426-427: 1–16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.007>
- Chen, A. S., Evans, B., Djordjević, S. og Savić, D. A. (2012b). *Multi-layered coarse grid modelling in 2D urban flood simulations*. Journal of Hydrology 470-471: 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.022>
- DHI (udatert). *MIKE FLOOD Documentation*. Hentet 27. mai 2020 fra https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/MIKE_Flood.htm#Documentation
- DHI (2017). *MOUSE - Runoff Reference Manual*.
- DHI (2019). *MIKE URBAN Documentation Index*. https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/MIKE_Urban.htm#More_Information
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). Veiledning om tekniske krav til byggverk -*TEK17*.
- Direktoratet for økonomistyring. (2018). Veileder i samfunnsøkonomiske analyser.
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. (2016). *Risikoanalyse av regnflom i by*.
- Dyrrdal, A. V., & Førland, E. J. (2019). *Klimapåslag for korttidsnedbør. Anbefalte verdier for Norge*. NCCS rapport 5/2019.
- Endresen, S. (2008). VA Miljøblad 85: *Overvann. Valg av dimensjonerende gjentakintervall*.
- Finansdepartementet (2010). Nullalternativet. Concept rapport nr. 8.
- Finans Norge (2019). Vannskadestatistikk (VASK) | Finans Norge. Hentet 22.05.2020 fra <https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/vask/>
- Frogn kommune (2015). *VA-Norm*.

-
- Gilles, D., & Moore, M. (2010). Review of Hydraulic Flood Modeling Software used in Belgium, The Netherlands, and The United Kingdom. Undersøkelse fra University of Iowa om flommodelleringsprogramvare.
- Hagen, K. P. (2011). Verdssetting av fremtiden. Tidshorisont og diskonteringsrenter. Consept rapport nummer 27.
- Haugård, P. Å. S. (2017). Analyse av lønnsomhet for overvannstiltak - En casestudie av avløpsnett ved Grefsen, Oslo kommune. Masteroppgave fra NMBU.
- Heber Green, W. og Ampt, G. A. (1911). *Studies on soil physics*. The Journal of Agricultural Science 4 (1): 1–24. doi: <https://doi.org/10.1017/S0021859600001441>
- Heggstad, R., & Rosvold, K. A. (2019, 19. desember). Nedbørfelt. Hentet 25. mai 2020, fra <https://snl.no/nedbørfelt>
- Hernes, R. R. (2018). Kostnader ved lokale overvannstiltak. Prosjektoppgave NTNU.
- Heszlein-lossius, H. (2011, 07. november). Byggeplass ble basseng. *Avisartikkel i Bergens Tidene*. Hentet fra <https://www.bt.no/nyheter/lokalt/i/3qBjM/byggeplass-ble-basseng>
- Horton, R. E. (1933). The Rôle of infiltration in the hydrologic cycle. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 14 (1): 446–460. doi: <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>
- Høiseth-Gilje, K., Magnussen, A., Ulstein, H., & Dombu, S. V. og Wingstedt, A. (2018). Samfunnsøkonomisk analyse av endringsforslag til byggeteknisk forskift-overvannshåndtering. Menon-publikasjon nr. 97/2018.
- Kartverket (2014, 01. mars). Felles KartdataBase (FKB) - Kartkatalogen. Hentet 23. mai 2020, fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/felles-kartdatabase-fkb/0e90ca71-6a02-4036-bd94-f219fe64645f>
- Kartverket (2020, 28. januar) Brukerveiledning om formater og programvare for kartdata. Hentet 30. mai 2020, fra <https://www.kartverket.no/data/Brukerveiledning-for-kartdata/>
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2020). Høringsnotat - Forslag til endringer i plan- og bygningsloven (Håndtering av overvann i plan- og bygningsloven). Saksnr. 19/1221.
- Lindholm, O. (1986). Følsomhetsanalyse av inngangsparametere i modell for avløpsberegninger. Vann 01 – 1987.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T., & Thorolfsson, S. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem. Norsk vann rapport 193.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., & Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk vann rapport 162.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I., & Reinvang, R. (2015). Kostnader og nytte ved overvannstiltak. Miljødirektoratet-rapport nummer 305.

-
- Muthanna, T. M., Sivertsen, E., Kliewer, D., & Jotta, L. (2018). Coupling field observations and Geographical Information System (GIS)-based analysis for improved Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) performance. *Sustainability (Switzerland)*, 10(12), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su10124683>
- Nilsen, V. (2017). IDF-statistics and expected annual damage. Ikke publisert notat.
- Nordeidet, B., Hansen, C. B., Munk, T. S., & Nielsen, C. N. (2019). Ekstremnedbør Oslo – Skadeomfang og kostnader. Rapport fra Rambøll.
- Nordheim, L.-G. (2019). Utvikling av en kost-nyttemodell basert på urban flommodellering og FKB-data. Masteroppgave fra NMBU.
- Norsk Klimaservicesenter (udatert). Hentet 24. mai 2020, fra https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/di-mensjonerende-nedbør/hva-er-dimensjonerende-nedbør&org.apache.catalina.filters.CSRF_NONCE=95C9C3716239221E508183AE470A0192
- NOU 2006: 6 (2006). Når sikkerheten er viktigst. Besyttelse av landets kritiske infrastrukturer og kritiske samfunnsfunksjoner. Oslo: Justis- og politidepartementet
- NOU 2012: 16 (2012). Samfunnsøkonomiske analyser. Oslo: Finansdepartementet
- NOU 2015: 16 (2015). Overvann i byer og tettsteder: som problem og ressurs. Oslo: Klima- og miljødepartementet
- Olsen, A., Zhou, Q., Linde, J. J., Arnbjerg-Nielsen, K. (2015) Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments. Artikkel 7 i «Water». Doi:10.3390/w7010255
- Oslo kommune, Vann og avløpsetaten. (2017). Overvannshåndtering en veileder for utbygger. Versjon 1.3.
- Paus, K. H. (2018). Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann. Fagfelleurdert artikkel, VANN 01.
- Paus, K.H. (2019). Kurs i overvannshåndtering i arealplaner. 24.april 2019. Kurs for Norsk Vann.
- COWI (2015). Overvannsarbeid i utlandet - Virkemidler for å redusere nedbørbetinget oversvømmelse i urbane områder. Oppdragsrapport for Miljødirektoratet: M-316.
- Richards, L. A. (1931). *Capillary conduction of liquids through porous mediums*. *Journal of Applied Physics* 1 (5): 318–333. doi: 10.1063/1.1745010.
- Skogvold, T., Hoven, L. E., Bramslev, J. P., Sælthun, N. R., Valla, T., & Flatlandsmo, I. (2018). *Klimatilpassing: Kost-/nytteanalyse for overvannstiltak langs vei*. Miljødirektoratet-rapport nummer 1103.

-
- Solheim, E.B. (2017) Infiltrasjon for lokal overvannsdiskonering (LOD) - Vurdering av metoder for å måle infiltrasjon på lokal tomt. Masteroppgave ved NMBU.
- Sörensen, J., & Mobini, S. (2017). *Pluvial, urban flood mechanisms and characteristics – Assessment based on insurance claims*. Journal of Hydrology, 555(October), 51–67. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.039>
- Stange, R., Clavier, K., Åstebøl, S. O., Hagen, J. O., Ellefsen, U., Ardila, P., Kjeldsberg, K., Gunleiksrud, P., Horn, E., Leskinen, K., Fahlstrøm, S., Bråthen, C., Steiro, I., de Caprona, M., Kaperdal, M., & Kolnes, J.-M. (2014). *Blågrønn faktor - Veileder byggesak*.
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K., & Væringstad, T. (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*. NVE veileder nr. 7-2015
- Wang, Y., Chen, A. S., Fu, G., Djordjević, S., Zhang, C., & Savić, D. A. (2018). *An integrated framework for high-resolution urban flood modelling considering multiple information sources and urban features*. *Environmental Modelling and Software*, 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.06.010>
- Ås kommune (2015). *Norm for overvannshåndtering*.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway