

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Samfunnsøkonomisk vurdering av lokal fordrøyning av overvann og dimensjonerende nedbør - En case-studie i Bærum kommune

Socio-economic assessment of retention of
stormwater runoff and design rainfall
- A case study in Bærum municipality

Stig Sander Høylye
Industriell økonomi

Forord

Fem uforglemmelige år på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet går nå mot slutten, og denne oppgaven representerer mitt avsluttende arbeid med mastergraden i Industriell økonomi. Oppgaven ble utarbeidet i tidsrommet januar til og med mai 2021. Arbeidet har vært utfordrende, men veldig spennende og lærerikt.

Jeg ønsker å rette en stor takk til Kim Haukeland Paus og Stian Bjørnsen for veiledning og god hjelp i arbeidet med oppgaven. Videre ønsker jeg å takke Sweco, Bærum kommune, DHI og Lars-Gunnar Nordheim for tilgang til modeller og programvare som var nødvendig for å gjennomføre oppgaven.

Jeg vil takke familie, venner og samboer for all støtte igjennom arbeidet med oppgaven, og for alle fine og morsomme øyeblikk i studietiden.

Ås, 01.06.2021

Stig Sander Høylye

Sammendrag

Overvann fører årlig til store skader på infrastruktur, privat og offentlig eiendom. For å demme opp mot disse skadene stiller kommuner i Norge blant annet krav til overvannshåndtering på egen eiendom. I flere kommuner stilles det like krav til dimensjonerende nedbør ved lokal fordrøyning uavhengig av eiendommens plassering, mens andre kommuner differensierer kravene. Kravene er forankret i eldre veiledere, og det er naturlig å stille spørsmål ved om dagens krav til dimensjonerende nedbør kan forsvares ut ifra et samfunnsøkonomisk perspektiv. I tillegg settes det spørsmålsteget ved hvordan lønnsomheten påvirkes, dersom kravene differensieres med hensyn til arealformål og avrenningslinjer.

Denne oppgaven forsøker å besvare spørsmålene ved å gjennomføre samfunnsøkonomiske analyser for et case-område i Bærum kommune. Fem metoder for differensiering er evaluert mot et 0-alternativet. 0-alternativet er dagens situasjon, hvor samme krav stilles til all bebyggelse. Kostnadstall er generert fra simuleringer av flere nedbørshendelser med ulike gjentaksintervall, i en flommodell og en kostnadsmodell. For å hensynta det totale kostnadsbildet, ble resultatene fra kostnadsmodellen bearbeidet med forsøk på kvantifisering av alle direkte og indirekte skader samt ikke-prissatte effekter.

Resultatene fra analysene indikerer at en videreføring av dagens krav til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning ikke kan forsvares ut ifra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Scenarioene som har blitt vurdert resulterer i at det enten ikke lønner seg med tiltak, eller at det lønner seg med tiltak som er mindre enn dagens krav. For at det skal lønne seg å etablere tiltak må tiltakenes levetid være lang, og investeringskostnader og løpende årlige kostnader må holdes nede. Dersom det etableres tiltak for lokal fordrøyning av overvann, tyder funnene på at dimensjonerende nedbør bør ligge i intervallet 26 til 32 mm med hovedvekt på 32 mm, for det analyserte feltet. Dette tilsvarer regn med gjentaksintervall på 1,3 til 2,8 år lokalt. Ved differensiering av kravene etter arealformål eller avrenningslinjer, tyder resultatene på at det er mulig å redusere skadekostnadene med nærmere 26 %.

I videre arbeid anbefales det å teste metoden i andre felt med annen feltkarakteristikk, analysere andre former for differensiering og studere usikkerhetsmomentene i oppgaven.

Summary

Every year, stormwater runoff leads to significant damage to infrastructure, private and public property. To counteract this damage, municipalities in Norway demands, among other things, retention of stormwater runoff on local property. In many municipalities, equal demands for design rainfall are used for local surface water management regardless of the property's location, while other municipalities differentiate the demands. The requirements are rooted in older reports, and it is natural to ask whether the current demands for design rainfall can be defended from a socio-economic perspective. In addition, it is questioned what impact a differentiation of the demands regarding land use and runoff lines has on the profitability.

This thesis tries to answer the questions by conducting socio-economic analyzes for a case area in Bærum municipality. Five methods for differentiation have been evaluated against the 0-alternative. The 0-alternative is the current situation where every area has the same demands. Cost figures are generated from simulations of several rainfall events with different return periods, in a flood model and cost model. To consider the profitability for the whole society, the results from the cost model were processed with attempts to quantify all direct and indirect damages and non-financial impacts.

The results from the analyzes indicate that continuing with the current demands for local retention cannot be defended from a socio-economic perspective. The scenarios that have been considered result in that it either does not pay off with measures or pays off with smaller measures than the current demands. To make it profitable to establish measures, the lifespan of the measures must be long, and investment costs and annual costs must be kept low. Suppose measures are established for local management of surface water. In that case, the results indicate that design rainfall should be in the interval 26 to 32 mm for the analyzed field. This corresponds to return periods of 1.3 to 2.8 years locally. By differentiating the requirements according to land use or runoff lines, the results indicate that it is possible to reduce the damage costs by almost 26 %.

In future work, it is recommended to test the method against other case areas with different field characteristics, analyze other types of differentiation, and study the uncertainties of the method.

Innhold

FORORD.....	I
SAMMENDRAG.....	III
SUMMARY.....	V
INNHold.....	VII
FIGURER.....	XI
TABELLER.....	XV
FORKORTELSER.....	XVII
1 INTRODUKSJON.....	1
1.1 MOTIVASJON OG PROBLEMSTILLING.....	1
1.2 STRUKTUR I OPPGAVEN.....	2
2 BAKGRUNN OG TEORI.....	3
2.1 GRUNNLEGGENDE OM NEDBØR OG OVERVANN.....	3
2.1.1 Dimensjonerende nedbør.....	3
2.1.2 Klimafaktor.....	3
2.1.3 Symmetriske blokkhyetogram.....	4
2.1.4 Avrenningslinjer.....	4
2.1.5 Tiltak for håndtering av overvann.....	5
2.2 KLIMATILPASSET OVERVANNSHÅNTERING.....	6
2.2.1 Tretrinnsstrategien.....	6
2.2.2 Eksempler på kommunale dimensjoneringskrav for trinn 2.....	6
2.2.3 Eksempler på internasjonale virkemidler for overvannshåndtering.....	8
2.3 HYDRAULISK MODELLERING.....	11
2.3.1 Geografisk informasjonssystem (GIS).....	11
2.3.2 MIKE FLOOD – Flommodellering.....	11
2.3.3 Koblede modeller.....	12
2.3.4 Infiltrasjon.....	12
2.3.5 Romlig variasjon i nedbørmengde.....	13
2.4 ELEMENTER I SAMFUNNSØKONOMISKE ANALYSER.....	14
2.4.1 Arbeidsfaser.....	14

2.4.2	0-alternativ.....	15
2.4.3	Ikke-prissatte effekter.....	15
2.4.4	Usikkerhet.....	15
2.4.5	Anbefale alternativ.....	15
2.5	FAKTORER SOM PÅVIRKER DEN SAMFUNNSØKONOMISKE ANALYSEN.....	16
2.5.1	Investerings- og driftskostnader.....	16
2.5.2	Kalkulasjonsrente.....	18
2.5.3	Ikke-prissatte effekter og indirekte skader.....	19
2.5.4	Kvantifisering av indirekte skader.....	20
2.6	FORMELVERK FOR BEREGNING AV KOSTNADER.....	21
2.7	SAMMENLIGNBARE ARBEID.....	23
3	METODE.....	24
3.1	MODELLBESKRIVELSE: FLOMMODELLEN.....	25
3.2	CASE-OMRÅDET.....	26
3.3	FLOMSIMULERING.....	29
3.3.1	Antakelser.....	29
3.3.2	Konstruksjon av regnhyetogram.....	29
3.3.3	Simulerte nedbørshendelser.....	30
3.3.4	Fordrøyning.....	31
3.4	INNLEDENDE BEREGNINGER FOR Å BESTEMME INFILTRASJONSMETODIKK.....	32
3.4.1	Skadekostnader med og uten aktiv infiltrasjonsmodul.....	32
3.5	ALTERNATIVER.....	33
3.5.1	Alternativ 0: Ingen differensiering.....	34
3.5.2	Alternativ 1 og 2: Screening av differensiering.....	35
3.5.3	Alternativ 3: Tiltak differensiert etter arealformål.....	36
3.5.4	Alternativ 4: Kun tiltak i boligområdene.....	37
3.5.5	Alternativ 5: Tiltak differensiert etter avrenningslinjer.....	38
3.6	MODELLBESKRIVELSE: KOSTNADSMODELLEN.....	40
3.6.1	Antakelser.....	40
3.6.2	Hvordan fungerer kostnadsmodellen?.....	41
3.6.3	Skadekostnader benyttet i kostnadsmodellen.....	41
3.7	SAMFUNNSØKONOMISK ANALYSE.....	42
3.7.1	Antakelser.....	42

3.7.2	<i>Beregning av forventede årlige skadekostnader (EAD) fra kostnadsmodellens resultater.....</i>	42
3.7.3	<i>Beregning av ikke-prissatte effekter og andre direkte og indirekte skader.....</i>	45
3.7.4	<i>Investerings- og årlige kostnader.....</i>	48
3.7.5	<i>Antall kombinasjoner</i>	48
4	RESULTATER OG DISKUSJON.....	49
4.1	EVALUERING AV DAGENS KRAV TIL DIMENSJONERENDE NEDBØR	50
4.1.1	<i>Kostnadskurven</i>	52
4.1.2	<i>Anbefalt tiltaksstørrelse større enn 0 mm</i>	54
4.1.3	<i>Følsomhetsanalyse av krav til dimensjonerende nedbør på 0 til 47 mm</i>	56
4.1.4	<i>Følsomhetsanalyse av krav til dimensjonerende nedbør på 22 til 42 mm</i>	57
4.2	SAMMENLIGNING AV 0-ALTERNATIVET MED DIFFERENSIERTE KRAV	61
4.2.1	<i>Alternativ 1 og 2</i>	64
4.2.2	<i>Skadekostnader alternativ 3: Arealformål</i>	65
4.2.3	<i>Skadekostnader alternativ 4: Kun boligområder</i>	66
4.2.4	<i>Skadekostnader alternativ 5: Avrenningslinjer.....</i>	68
4.3	USIKKERHETSMOMENTER.....	71
4.3.1	<i>Usikkerheter ved flomsimuleringene</i>	71
4.3.2	<i>Usikkerheter ved kostnadsberegningene</i>	75
4.3.3	<i>Rangering av usikkerhetsmomentene</i>	78
4.4	SAMMENLIGNING MED LIGNENDE ARBEID.....	79
5	KONKLUSJON.....	81
5.1	VIDERE ARBEID.....	83
	REFERANSER.....	85
	VEDLEGG A – BEREGNING AV FORVENTEDE ÅRLIGE SKADEKOSTNADER (EAD)	
	VEDLEGG B – RESULTATER FRA KOSTNADSMODELLEN	

Figurer

Figur 2-1: Eksempel på symmetrisk blokkhyetogram med beregningssteg på 5 minutter.	4
Figur 2-2: Utklipp av Norsk Vann rapport 162 sine foreslåtte retningslinjer for tretrinnsstrategien til kommuneplanens arealdel. Hentet fra Lindholm et al. (2008, s. 28).	6
Figur 2-3: Definisjon av netto infiltrasjonsrate. Konstruert med inspirasjon fra DHI (2017b). ...	13
Figur 2-4: Definisjon av infiltrasjon med lagringskapasitet og lekkasje. Konstruert med inspirasjon fra DHI (2017b).	13
Figur 2-5: Flytdiagram for gjennomføring av en samfunnsøkonomisk analyse. Konstruert med inspirasjon fra DFØ (2018, s. 17).	14
Figur 2-6: Antatt form for skadekostnadsfunksjonen EAD. $DF(T)T^2$ plottet mot logaritmisk T.	22
Figur 3-1: Generell beskrivelse av arbeidsgangen i metoden.	24
Figur 3-2: Case-området i Bærum kommune med terrengmodell. Hentet fra Nordheim (2019, s. 24).	26
Figur 3-3: Case-området i Bærum kommune. Avrenning ut av feltet markert med blå piler.	26
Figur 3-4: Modelleringsområde med arealformål.	27
Figur 3-5: Generell beskrivelse av klargjøring av data for flomsimulering. Program markert øverst med tilhørende operasjon.	29
Figur 3-6: Ekstrapolering av 1000-årshendelsen for Øvrevoll nedbørstasjon. $KF = 1,3$	30
Figur 3-7: 200-årsregn uten overvannstiltak.	31
Figur 3-8: 200-årsregn med 10-årstiltak. Tilvenningstid til fordrøyningstiltak ~ 0 minutter.	31
Figur 3-9: Todeling av case-området i feltene nord og syd.	35
Figur 3-10: Case-området inndelt etter arealformål.	36
Figur 3-11: Flomutbredning i case-området ved 100-årsregn uten tiltak.	38
Figur 3-12: Nedbørsfeltet inndelt i skadeutsatte, mindre skadeutsatte, idretts-, og grøntområder.	38
Figur 3-13: Generell beskrivelse av prosessen fra flomresultater til kostnaderklare for bearbeiding. Program markert i fet skrift med tilhørende operasjon og datatypene som generes for hver operasjon.	40
Figur 3-14: Visuell fremstilling av formel 5. Tilnærming til beregning av det bestemte integralet for EAD.	43
Figur 3-15: Reduksjonsfaktor 1–4. Konstruert med inspirasjon fra Bjørnsen (2020, s. 36)	46

Figur 3-16: Påslagsfaktor 1 til 5. Blir benyttet for kvantifisering av indirekte kostnader samt direkte kostnader på annet enn byggverk og innbo. Påslag 1 til 3 konstruert med inspirasjon fra Bjørnsen (2020, s. 34).....	47
Figur 4-1: Prosentmessig fordeling av krav til dimensjonerende nedbørsmengde for lokal fordrøyning på 0 til 47 mm for alle de 300 kombinasjonene av investeringskostnader, årlige kostnader, påslagsfaktorer og reduksjonsfaktorer.....	50
Figur 4-2: Fordeling av de totale kostnadene på skadekostnader, og investerings- og årlige kostnader, hvor investeringskostnader: 1000 kr/m ³ , årlige kostnader: 25 kr/m ³ , påslagsfaktor: 3, reduksjonsfaktor: 3.....	51
Figur 4-3: Kostnadskurver for krav til lokal fordrøyning på 0 til 47 mm. Samfunnsøkonomisk optimal tiltaksstørrelse markert med sort indikator. Investeringskostnader: 1000 kr/m ³ , årlige kostnader: 25 kr/m ³ , påslag: 3, reduksjon: 3.	53
Figur 4-4: Kostnadskurver for krav til lokal fordrøyning på 0 til 47mm. Samfunnsøkonomisk optimal tiltaksstørrelse markert med sort indikator. Investeringskostnader: 2000 kr/m ³ , årlige kostnader: 50 kr/m ³ , påslag: 3, reduksjon: 3.	53
Figur 4-5: Prosentmessig fordeling av krav til dimensjonerende nedbørsmengde for lokal fordrøyning, større enn 0 mm.....	54
Figur 4-6: Følsomhetsanalyse av investeringskostnadenes påvirkning på anbefalt tiltaksstørrelse mellom 22 og 42 mm. Merk at investeringskostnader på 4000 kr/m ³ er fjernet da det ikke var noen kombinasjoner som anbefalte tiltak.....	58
Figur 4-7: Følsomhetsanalyse av de årlige kostnadenes påvirkning på anbefalt tiltaksstørrelse mellom 22 og 42 mm.	59
Figur 4-8: Følsomhetsanalyse av påslagsfaktorenes påvirkning på anbefalt tiltaksstørrelse mellom 22 og 42 mm.....	60
Figur 4-9: Følsomhetsanalyse av reduksjonsfaktorenes påvirkning på anbefalt tiltaksstørrelse mellom 22 og 42 mm.	60
Figur 4-10: Totale kostnader for alternativ 0, 3, 4 og 5 ved total fordrøyning lik 24 mm. Investeringskostnad: 2000 kr/m ³ , årlige kostnader: 25 kr/m ³ , påslagsfaktor 3, reduksjonsfaktor 2.	61
Figur 4-11: Prosentvis fordeling av de mest lønnsomme alternativene fra den samfunnsøkonomiske analysen av tiltak med total fordrøyning lik 24 mm, n = 300.	62
Figur 4-12: Skadekostnadskurver alternativ 0, 4 og 5 for krav til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning mellom 8 og 47 mm. Reduserte skadekostnader mellom 0-alternativet og det optimale differensierte alternativet, oppgitt for hvert datapunkt. Påslagsfaktor 3.....	63

Figur 4-13: Skadekostnadskurve alternativ 0 og 4. Prosentmessig besparelse for alternativ 4 sammenlignet med 0 markert. Påslagsfaktor 5.....	66
Figur 4-14: Totale kostnader for ulike fordelinger av tiltak i rød og gul sone, ingen tiltak i grønn sone. Investeringskostnad: 2000 kr/m ³ , årlig kostnad: 25 kr/m ³ , påslagsfaktor: 3, reduksjonsfaktor: 2.....	68
Figur 4-15: Optimal fordeling av krav til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning for alternativ 5, basert på de 300 kombinasjonene av investeringskostnader, årlige kostnader, påslagsfaktorer og reduksjonsfaktorer.	69
Figur 4-16: Skadekostnadskurve alternativ 0 og 5. Prosentmessig besparelse for alternativ 5 sammenlignet med alternativ 0 markert for hvert datapunkt. Påslagsfaktor 3.....	70

Tabeller

Tabell 2-1: Dimensjonerende gjentakintervall for beregning av fordrøyning på egen tomt i utvalgte kommuner. Kilder: (Asker kommune, 2017; Bergen kommune, 2005; Bærum kommune, 2017; COWI, 2018; COWI, 2020; Frogn kommune, 2015; Kristiansand kommune, 2016; Oslo kommune, 2017; Ås kommune, 2015).	7
Tabell 2-2: Krav til og mål for overvannshåndtering i delstaten Western Australia i Australia.	8
Tabell 2-3: Investeringskostnader for ulike overvannstiltak. Hentet fra Hernes (2018).	16
Tabell 2-4: Kostnadsanslag og levetid for tradisjonelle overvannstiltak. Hentet fra Magnussen et al. (2015, s. 37).	17
Tabell 2-5: Kostnadsanslag og levetid for ulike lokale overvannstiltak. Hentet fra Magnussen et al. (2015, s. 38).	17
Tabell 2-6: Valg av kalkulasjonsrente for tiltak med ulik levetid. Hentet fra Finansdepartementet (2014, s. 5).	18
Tabell 2-7: Potensielle direkte og indirekte skader som følge av overvann. Basert på Magnussen et al. (2015 og tabell 3.1 i NOU 2015: 16).	19
Tabell 2-8: Positive effekter ved åpne overvannstiltak. Basert på tabell 7.1 i NOU 2015: 16.	20
Tabell 3-1: Inndeling av case-området i kategorier etter arealformål med tilhørende areal og farger i kart.	27
Tabell 3-2: Type, antall og andel bygninger i case-området. Hentet fra Nordheim (2019, s. 42).	28
Tabell 3-3: IVF-verdier med konsentrasjonstid på tre timer for Øvrevoll nedbørstasjon. Verdier hentet fra Norsk klimaservicesenter (2021b)	29
Tabell 3-4: Simulerte nedbørshendelser for tiltak på 15 og 24 mm med aktiv infiltrasjonsmodul og infiltrasjonskategorier. Ble benyttet før å undersøke innvirkningen infiltrasjonsmetodikken hadde på resultatene.	32
Tabell 3-5: Resultater 15mm- og 24mm-tiltak, aktiv infiltrasjonsmodul vs. infiltrasjonskategorier.	33
Tabell 3-6: Gjennomførte simuleringer for alternativ 0 av tiltak for lokal fordrøyning med tilhørende gjentakintervall. Hvert tiltak ble simulert for nedbørshendelsene listet opp i tabellen. Merk at de største tiltakene har noen identiske nedbørshendelser. Eksempelvis vil 5-årsregnet med 5-, 10- og 20-årstiltak være like grunnet tiltak innført som nedbørskutt.	34
Tabell 3-7: Simuleringer alternativ 0, 1 og 2.	35
Tabell 3-8: Oversikt over kategorier og arealformål med tilhørende farge i kart for Figur 3-10.	36
Tabell 3-9: Simuleringer alternativ 3. Fordelt på total fordrøyning lik 24 mm og 42 mm.	37

Tabell 3-10: Simuleringer alternativ 4. Total fordrøyning for hele modelleringsområdet og tiltaksstørrelse simulert i boligområdene.	37
Tabell 3-11: Kategorier med beskrivelse og farge i kartet i Figur 3-12.....	39
Tabell 3-12: Simulerte nedbørshendelser for ulike fordelinger av tiltak i rød og gul sone. Sammenlignes ved total fordrøyning på 24 mm.	39
Tabell 3-13: Simulerte nedbørshendelser for alternativ 5 for ulike mengder total fordrøyning. Tiltakene er flyttet fra idrettsområder til de skadeutsatte områdene i rød sone.....	39
Tabell 3-14: Skadekostnader per bygg, samt total kostnad. Hentet fra Nordheim (2019, s. 73) ..	41
Tabell 3-15: Investerings- og årlige kostnader benyttet i den samfunnsøkonomiske analysen. ...	48
Tabell 4-1: Sammenligning av påvirkning på utbygger ved dagens krav til lokal fordrøyning mot median av anbefalte tiltaksstørrelser fra Figur 4-5, ved investeringskostnader = 2000 kr/m ³	55
Tabell 4-2: Forutsetninger for beregning av nødvendig fordrøyingsvolum.....	55
Tabell 4-3: Anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på investeringskostnadene.....	56
Tabell 4-4: Anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på de årlige kostnadene.....	56
Tabell 4-5: Anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på påslagsfaktorene.....	57
Tabell 4-6: Anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på reduksjonsfaktorene.	57
Tabell 4-7: Total skade i et 100-årsperspektiv for alternativ 0, 1 og 2. Besparelse oppgitt i prosent sammenlignet med alternativ 0. Ingen påslag.	64
Tabell 4-8: Skadekostnader alternativ 3, for total fordrøyning lik 24 mm og 42 mm. Påslag 3... ..	65
Tabell 4-9: ln(T) mot Gumbel-metoden ved ulike gjentakintervall (T).	72
Tabell 4-10: Andel skader på bygg og innbo av totale skader, for påslag 1 til 5.....	77
Tabell 4-11: Rangering av usikkerhetsmomentene i oppgaven basert på en subjektiv mening, fra høyest (1) til lavest usikkerhet (9).	78
Tabell A-1: Resultater fra kostnadsmodellen for ulike gjentakintervall uten tiltak.....	
Tabell A-2: Verdier for påslagsfaktor 3.....	
Tabell B-1: Resultater fra simuleringene av case-området uten tiltak. Bygningstype, min, maks og median skadekostnad oppgitt. Bygninger i oppgitt i antall skadde og skadekostnader i MNOK	
Tabell B-2: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-6.....	
Tabell B-3: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-7.....	
Tabell B-4: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-9.....	
Tabell B-5: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-10.....	
Tabell B-6: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-12.....	
Tabell B-7: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-13.....	

Forkortelser

DFØ	Direktoratet for økonomistyrings
EAD	Expected annual damage (forventede årlige skadekostnader)
GIS	Geografiske informasjonssystemer
IVF	Intensitet-varighet-frekvens
KF	Klimafaktor
LOD	Lokal overvannsdiskonering
MNOK	Millioner norske kroner
NNV	Netto nåverdi
NOU	Norges offentlige utredninger
VASK	Vannskadestatistikken

1 Introduksjon

1.1 Motivasjon og problemstilling

Klimaendringer, fortetting av byer og andre overflater kombinert med et underdimensjonert ledningsnett fører til at mer vann renner av på overflaten. Overvannet fører til store skader på infrastruktur, privat og offentlig eiendom. NOU 2015: 16 estimerte skadekostnadene som skyldes overvann til 1,6 til 3,2 milliarder kroner årlig. Ifølge NOU 2015: 16 anser nær 60 % av norske kommuner kapasiteten til overvannssystemene sine for å ikke være tilstrekkelig. For å demme opp mot skadene forårsaket av overvannet stiller kommunene krav til overvannshåndtering på egen eiendom.

Siden 2008 har flere kommuner innlemmet tretrinnsstrategien i sine plandokumenter. Oppgaven stiller spørsmål ved om dagens praktiserte krav er samfunnsøkonomisk lønnsomme. I et samfunnsøkonomisk perspektiv må risikoakseptkriterier vurderes, dersom nytten av tiltak blir overgått av kostnadene ved etablering.

Lindholm et al. (2008) i Norsk Vann rapport 162 kom med anbefalinger til kommunene i Norge om å følge tretrinnsstrategien for overvannshåndtering. Rapporten presenterte i tillegg eksempler på krav som kan stilles til dimensjonerende nedbør. I flere tilfeller har derimot dimensjonerende krav blitt satt vesentlig høyere enn det som Norsk Vann rapport 162 anbefalte. Dagens krav medfører omfattende tiltak på egen tomt, og dermed høye investeringskostnader i utbyggingsprosjekter.

Rapporten anbefaler i tillegg en differensiering av kravene til overvannshåndtering basert på eiendommens beliggenhet. Med dette menes en differensiering basert på beliggenhet i utmark, boligområder, bysenter eller i områder med særdeles høy risiko for skade. Oslo kommune (2017) er en av kommunene som har fulgt den anbefalte differensieringen, mens andre kommuner har derimot valgt å stille samme krav til overvannshåndtering uavhengig av eiendommens plassering. Etablering av overvannstiltak er kostbart, og det kan tenkes at en differensiering vil føre til mer ideell utnytting av overvannstiltakene. Dagens praksis kan i verste fall medføre overdimensjonerte tiltak i områder med mindre skadepotensiale, og underdimensjonerte tiltak i utsatte områder.

Det overordnede målet med oppgaven er å evaluere dagens praksis ved dimensjonering av tiltak for overvannshåndtering for trinn 2. Med trinn 2 forstås her den nedbørsmengde som skal

fordrøyes på egen tomt. Oppgaven analyserer kravene som i dag stilles og undersøker om det er mer lønnsomt å differensiere kravene. I tillegg er det en målsetning å finne en transparent og enkel metode for differensieringen. For å nå det overordnede målet er det stilt to forskningsspørsmål:

Spørsmål 1: Kan dagens krav til dimensjonerende nedbør for trinn 2 forsvares ut ifra et samfunnsøkonomisk perspektiv?

Spørsmål 2: Hvordan påvirkes lønnsomheten i case-området når krav til trinn 2 differensieres med hensyn til arealformål og avrenningslinjer?

Metodikken som benyttes for å besvare forskningsspørsmålene er en samfunnsøkonomisk analyse av dagens dimensjoneringspraksis og foreslåtte endringer for et case-område i Bærum. Resultatene genereres fra simuleringer i en flommodell og en kostnadsmodell. Flommodellen er utviklet i MIKE FLOOD av Friborg og Deggerdal (2018) for Sweco Norge AS, og kostnadsmodellen er utviklet i Python av Nordheim (2019).

1.2 Struktur i oppgaven

Oppgaven er bygd opp etter en variant av IMRaD-strukturen (introduksjon, metode, resultater og diskusjon), hvor det også inkluderes et bakgrunnskapittel med gjennomgang av nødvendig teori for forståelse av analysene, og presentasjon av sammenlignbare arbeid. Denne masteroppgaven er tverrfaglig, hvor det kombineres overvannsmodellering, samfunnsøkonomiske betraktninger og programmering. Det forutsettes ikke at leser har kjennskap til modellering eller programmering, men leser bør ha en generell forståelse for samfunnsøkonomiske analyser.

2 Bakgrunn og teori

2.1 Grunnleggende om nedbør og overvann

2.1.1 Dimensjonerende nedbør

IVF-kurve

Dimensjonerende nedbør er statistikk over nedbør, ofte presentert som intensitets-, varighets-, og frekvenskurver (IVF). Dimensjonerende nedbør blir blant annet brukt i planlegging og dimensjonering av tiltak for overvannshåndtering. IVF beskriver nedbørintensiteten (I), for ulike varigheter (V) med frekvens (F) for hvor ofte de forekommer (Dyrrdal, 2020). I Norge har Meteorologisk institutt utarbeidet IVF-kurver for 90 målestasjoner som kan hentes ut fra nettsidene til Norsk Klimaservicesenter. Meteorologisk institutt anbefaler å bruke IVF-kurver som ligger i nærheten av området som skal dimensjoneres og med lange tidsserier; 20 år og lengre anses som langt (Norsk klimaservicesenter, 2021a).

Gjentaksintervall

Frekvensen uttrykkes ofte som gjentaksintervall eller returperioden. Gjentaksintervallet beskriver hvor ofte en nedbørshendelse med samme nedbørintensitet og -varighet statistisk sett vil forekomme. Gjentaksintervall på 20 år (ofte kalt 20-årsregn) betyr at en slik nedbørshendelse forventes gjennomsnittlig over en lang periode, overskredet én gang i løpet av 20 år. Dette betyr *ikke* at et 20-årsregn kun forekommer én gang i løpet av 20 år, men at det over et langvarig gjennomsnitt skjer én gang i løpet av 20 år. Sannsynligheten er heller ikke 100% for at det kommer et 20-årsregn i løpet av 20 år.

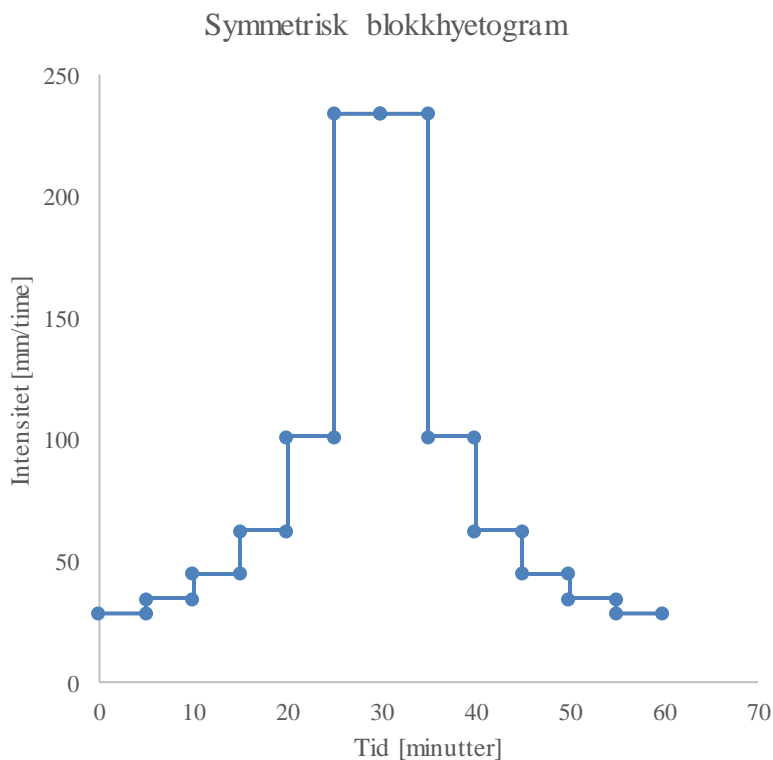
2.1.2 Klimafaktor

Norsk Klimaservicesenter anbefaler å legge til en klimafaktor på dagens dimensjonerende nedbør ved bruk av IVF-kurver. Et klimapåslag betyr at dagens dimensjonerende nedbør blir multiplisert med en faktor som skal ta høyde for fremtidige klimaendringer. Et klimapåslag på 50 % tilsvarer en klimafaktor på 1,5. Anbefalinger til klimafaktor varierer i litteraturen, men ligger som regel i spennet 1,3 til 1,5 for ulike områder og regnvarigheter. Dyrrdal og Førland (2019) anbefaler et påslag på 1,3 for nedbør med varighet på 3 timer i nedbørsrike områder; områder hvor 5-årsregnet er større enn 30 mm.

2.1.3 Symmetriske blokkhyetogram

Modellregn er fiktive regn konstruert fra regnstatistikk, for eksempel IVF-kurver, og brukes for å analysere virkningene av dimensjonerende regn (Lindholm et al., 2012). Valg av korrekt nedbørstatistikk som er representative for området, er essensielt for gode modellregn. Selv korte avstandertil målestasjon kan gi store stedlige variasjoner i nedbørsmengde (Lindholm et al., 2012).

Symmetriske blokkhyetogram er en type modellregn. Disse konstrueres fra IVF-kurver og antas symmetriske om sin midtakse. *Figur 2-1* viser et symmetrisk blokkhyetogram med beregningssteg på 5 minutter og varighet på 60 minutter. For nærmere prosedyre for konstruksjon av symmetriske regnhyetogram henvises til Ødegaard et al. (2014, s. 349-350)



Figur 2-1: Eksempel på symmetrisk blokkhyetogram med beregningssteg på 5 minutter.

2.1.4 Avrenningslinjer

Avrenningslinjer er linjer i terrenget hvor overvannet vil samles og ledes videre etter nedbør og snøsmelting. Avrenningslinjer kan modelleres fra ortofoto og terrengmodeller, og samles i avrenningskart.

2.1.5 Tiltak for håndtering av overvann

Moderne tiltak for overvannshåndtering er ifølge Ødegaard et al. (2014) synonymt med lokal overvannshåndtering, og innebærer å la vannet infiltrere i grunnen, fordrøyes eller transporteres bort via åpne vannveger og dammer. Lokale overvannstiltak er tiltak som hindrer overvannet i å renne direkte til avløpsnettets eller resipienter. Tiltak for lokal overvannshåndtering er eksempelvis infiltrasjonsgrøfter, overvannsdammer, permeable flater og infiltrasjonsbasseng.

2.2 Klimatilpasset overvannshåndtering

2.2.1 Tretrinnsstrategien

I Norge er Norsk Vann sin tretrinnsstrategi en av de mest anerkjente retningslinjene for overvannshåndtering. Strategien ble foreslått for å demme opp mot problemene ved forurensning fra overvann og overløpsutslipp samt økte flomskader, uten å investere store summer i kostbart ledningsnett (Lindholm et al., 2008, s. 8). Strategien innebærer å fange opp, rense og infiltrere avrenning fra mindre regn, forsinke og fordrøye avrenning fra store regn og sikre trygge flomveier ved ekstreme regn. Skillene mellom trinnene må tilpasses lokalt, men Lindholm et al. (2008) eksemplifiserer kommunedelens arealplan å fange opp og infiltrere inntil 20 mm nedbør, forsinke og fordrøye opp til 1-årsflommen og sikre trygge flomveier inntil 100-årsflommen, se *Figur 2-2*.

Noen eksempler på retningslinjer til kommuneplanens arealdel er gjengitt nedenfor:

Fang opp og infiltrer inntil 20 mm nedbør (pr døgn ved sommerforhold)

Forsink og fordrøy opp til 1-års flom lokalt

Sikre trygge åpne flomveier opp til 100-årsflom. Nye tiltak må ikke hindre vannets flomveier. Konstruksjoner som hindrer flomveiene skal vurderes fjernet.

Figur 2-2: Utklipp av Norsk Vann rapport 162 sine foreslåtte retningslinjer for tretrinnsstrategien til kommuneplanens arealdel. Hentet fra Lindholm et al. (2008, s. 28).

2.2.2 Eksempler på kommunale dimensjoneringskrav for trinn 2

Tabell 2-1 oppsummerer krav til dimensjonerende gjentaksintervall for trinn 2 (lokal håndtering på egen tomt) for et utvalg av kommuner. Kravene varierer i norske kommuner. I Ås kommune skal overvann fordrøyes og infiltreres opp til 10-årsnedbøren med klimafaktor lik 1,5 (Ås kommune, 2015, s. 16). Bærum kommune krever 25-års gjentaksintervall og klimafaktor på 1,4 (Bærum kommune, 2017), mens Asker kommune krever at det benyttes 50-års gjentaksintervall og klimafaktor på 1,5 (Asker kommune, 2017, s. 50).

Oslo kommune har delt inn kravene til LOD-anlegg i fire kategorier, basert på plassering i terreng etter anbefaling fra Lindholm et al. (2008): fra 5 år i områder med lavt skadepotensiale, til 30 år i områder med meget høyt skadepotensiale (Oslo kommune, 2017).

Tabell 2-1: Dimensjonerende gjentaksintervall for beregning av fordrøyning på egen tomt i utvalgte kommuner. Kilder: (Asker kommune, 2017; Bergen kommune, 2005; Bærum kommune, 2017; COWI, 2018; COWI, 2020; Frogn kommune, 2015; Kristiansand kommune, 2016; Oslo kommune, 2017; Ås kommune, 2015).

Kommune	Gjentaksintervall	Plassering	Klimafaktor
Ås	10 år		1,5
Frogn	20 år		1,5
Bærum	25 år		1,4
Indre Østfold	25 år		1,5
Enebakk	50 år		1,4
Asker	50 år		1,5
Bergen	2 år	Ubebygde områder	Ikke funnet
		Boligområder	
	10 år	- Åpent	
	20 år	- Lukket	
		By-/sentrumsområde	
	20 år	- Åpent	
	30 år	- Lukket	
Kristiansand	10 år	Områder med lavt skadepotensial: - Utmark, landbruksområder	1,4
	25 år	Områder med betydelig skadepotensial: - Boligområder	
	50 år	Områder med høyt skadepotensial: - Kvadraturen - Sentrale deler av Lund, Grim og Vågsbygd - Viktige samfunnsinstitusjoner	
Oslo	5 år	Områder med lavt skadepotensial (utkantkantområder, landbrukskommuner)	Settes av tiltakshaver
	10 år	Boligområder	
	20 år	Bysenter / Industriområder / Forretningsstrøk	
	30 år	Underganger / Områder med meget høyt skadepotensial	

2.2.3 Eksempler på internasjonale virkemidler for overvannshåndtering

Australia

Government of Western Australia - Department of Water (2011) sin oversikt for overvannshåndtering har flere likhetstrekk med den norske tretrinnsstrategien. Oversikten deler inn metodene og målene for overvannshåndtering i tre kategorier, som vist i *Tabell 2-2*. De tre trinnene har flere likhetstrekk ved den norske modellen, hvor mindre regn skal infiltreres lokalt, mellomstore regn skal fordrøyes og ved større regnhendelser skal det sikres trygge flomveier.

Tabell 2-2: Krav til og mål for overvannshåndtering i delstaten Western Australia i Australia.

Oversatt fra Government of Western Australia - Department of Water (2011)

Kontrollere overvannet før avrenning	Kontrollere avrenning av overvann	Sikre trygge flomveier
1-års gjentakintervall	5-års gjentakintervall for boligområder 10-års gjentakintervall for sentrums- og industriområder	100-års gjentakintervall
<ul style="list-style-type: none">- Holde igjen flomvann lokalt fra konstruerte impermeable flater, opp til hendelser med gjentak 1 år og varighet 1 time.- Redusere arealet av og andelen sammenhengende impermeable flater.- Forbedre vannkvalitet ved infiltrasjon i jord og vegetasjon.- Kontrollere forurensninger ved kilden.- Beskytte økologiske verdier.	<ul style="list-style-type: none">- Holde igjen og fordrøye.- Videreføre vann i veigrøfter, overvannsledninger, swales og levende bekker.- Dempe 5-årsflommen opp til kapasiteten til nedstrøms naturlig og konstruert dreneringsinfrastruktur.- Opprettholde brukbare veier og infrastruktur.- Kontrollere vannhastighet for å forhindre erosjon.	<ul style="list-style-type: none">- Identifisere flomveier under byutvikling.- Sikre flomveier og områder som bilveier, offentlige plasser, levende bekker, vannveier og våtmarker.- Beskytte mennesker og bygninger – etablere eller fastsette dimensjonerende flomnivåer.- Redusere faren ved flom.

Wales

SuDS Wales (2021) ligner også tretrinnsstrategien i Norge, med inndeling av overvannshåndtering i tre steg i tillegg til et planleggingstrinn: kontroll av overvann før avrenning, lokal og regional kontroll av overvannet og planlegging før overvannshendelser. SuDS (Bærekraftige dreneringssystemer) er konstruksjoner som prøver å etterligne naturlige systemer for overvannshåndtering. Løsningene samler opp, lagrer og renser overflatevann før det slippes kontrollert tilbake til naturen. SuDS benyttes for å motvirke konvensjonelle avløpsanlegg som kan

resultere i flom og forurensing av miljøet. Det stilles dog ikke spesifikke krav til gjentak for de ulike stegene:

Planlegging / forhindring:

Minimere tette flater, påse at forurensinger fra eksempelvis bilvask fanges opp.

Kontroll av overvann før avrenning:

Konstruere løsninger som kontrollerer avrenning ved, eller i nærheten av overflaten regnet lander på. Eksempelvis grønne tak, regntanker, infiltrasjonsgrøfter og permeable overflater.

Lokal kontroll av overvannet:

Lokale anlegg for oppsamling og fordrøyning av overvannsavrenning. Eksempelvis fordrøyningsmagasiner og dammer.

Regional kontroll av overvann:

Store løsninger nedstrøms for oppsamling av overvannsavrenning. Kan eksempelvis være store fordrøyningsdammer og våtmarker.

Danmark

Skybrudsplanen fra 2012 for København og Frederiksberg kommune stiller krav til at det kun skal oppstå flomskader ved regn med gjentakintervall større enn eller lik 100 år (København kommune, 2012). Anbefalingen er gitt med bakgrunn i en kost-nytte-analyse av tiltakskostnader mot skadekostnader. Analysen viste at gjentak fra 20 til 400 år vil medføre gevinst for samfunnet, med optimalt dimensjonerende gjentak på 100 år.

Planen foreslår konstruksjon av tiltak som skal hindre at vannet overstiger 10 cm i Københavns gater. 10 cm vannstand fastsettes som akseptabel vannstand i gatene hvor skader på bygninger og hus begrenses og det fremdeles vil være mulig å komme fram for biler, syklistene og fotgjengere (København kommune, 2012). Skybrudsplanen hensyntar ikke samfunnsmessig gevinster av blå-grønne løsninger og planen forutsetter at huseiere sikrer egen eiendom.

Analysene som ble gjennomført for å komme frem til anbefalingene i Skybrudsplanen ble ikke funnet, men de konkrete anbefalingene fra rapporten er som følger:

- København skal sikres mot flomskader opp til nedbørshendelser som statistisk sett faller hvert 100. år. Sikring mot regn med høyere gjentak enn 100 år vil bli dyrere enn hva skadene vil koste.
- Det skal planlegges for og investeres i løsninger som beskytter byen og avlaster kloakksystemet. Det er samfunnsøkonomisk mest lønnsomt med løsninger som også kan håndtere alminnelige regn.
- Det skal ideelt sett konstrueres tiltak som i tillegg bidrar til et mer grønt og blått bybilde.
- De samlede anleggsomkostningene er nåverdiberegnet samlet sett på 3,8 milliarder danske kroner frem mot 2033.

København kommune (2012) lister opp fire forhold som burde inngå i vurdering av risikodimensjonering:

- Meget høy - vil medføre økte omkostninger, uten at man oppnår vesentlige reduksjoner i skade.
- Høy - vil gi en robust by, hvor det sjelden oppstår skader.
- Lav – sparer samfunnet investeringskostnadene, men medfører høyere skadekostnader når skadene inntreffer
- Meget lav – investeringskostnadene blir ikke vesentlig lavere, men skadene stiger betydelig

Utover ovennevnte er det ikke lett å finne internasjonal litteratur med krav til lokal fordrøyning til trinn 2 av tretrinnsstrategien. COWI (2015) gjennomførte en studie av virkemidler innen overvannsarbeid i utlandet. De viser at i litteraturen fra utlandet er utfordringer knyttet til flom og oversvømmelser hovedsakelig koblet til flom i vassdrag og i liten grad som følge av nedbør på tette flater. Videre konkluderer de med at virkemidlene som benyttes gjenspeiler dette fokuset. Konkrete implementeringer som har blitt gjennomført henger ifølge COWI (2015) ofte sammen med nedbørshendelser som har ført til stor skade. Eksempelet fra København er en av dem.

2.3 Hydraulisk modellering

2.3.1 Geografisk informasjonssystem (GIS)

GIS er et verktøy for å samle, administrere, analysere, lagre og presentere geografisk informasjon. GIS blir brukt innenfor blant annet arealplanlegging, arealforvaltning og anleggsvirksomhet, og kanskje mindre intuitive: smittesporing, organisering av redningsarbeid og turistinformasjon (Ørstavik & Mæhlum, 2020).

GIS er en større eller mindre forenkling av virkeligheten. Virkeligheten modelleres som enten objekter eller geografiske felt. Et studieområde basert på objekttilnærming inneholder et endelig antall avgrensede objekter med tilhørende egenskaper (Ørstavik & Mæhlum, 2020). Objektene kan være punkter, linjer eller flater. Linjene er punkter forbundet med linjestykker (polylinjer), og flatene er lukkede polylinjer (polygoner). Objekter lagres i GIS som ett eller flere punkter med tilhørende koordinater.

Alternativt kan virkeligheten oppfattes som et geografisk felt, hvor det legges et rutenett (raster) over studieområder hvor hver rute tildeles sine variabelverdier (Ørstavik & Mæhlum, 2020). Rutenettet kan ha ulik cellestørrelse, for eksempel celler på 4 x 4 meter. Data som organiseres som et geografisk felt kalles rasterdata.

2.3.2 MIKE FLOOD – Flommodellering

MIKE FLOOD er et program utviklet av DHI for flomsimulering (DHI, 2021). Programmet er et rammeverk for å simulere koblede lednings- og overflatemodeller og deres interaksjon. MIKE FLOOD kan brukes i hvilken som helst skala, fra en enkel tomt til regionale modeller. Programvaren kan eksempelvis benyttes til flomvarsling, flomhåndtering, kartlegge flomutsatte områder, kartlegge flomveier, utvikle redningsplaner osv. Detaljert informasjon om MIKE FLOOD og programmets moduler finnes i manualer av og hjemmesiden til DHI (DHI, 2021). Grunnleggende teori for simulering av flommer presenteres i de kommende delkapitlene.

2.3.3 Koblede modeller

Koblede modeller, i dette tilfelle 1D-2D-modeller, er viktig ved modellering av urbane flomhendelser. Ledningsmodellen (1D-modellen) kalkulerer strømming i ledningsnett og nedbør-avrennings hydrografer. 2D-modeller (overflatemodeller) benyttes for routing av strømming på terrengoverflaten (Chen et al., 2007). Modellene løses ved ulike numeriske likninger og benytter ulike tidssteg. Modellene interagerer ved inn- og utstrømming i noder som sluk, overløp og kummer. Inn- og utstrømmingen bestemmes fra likninger for overløp og utløpsarrangement (Chen et al., 2007).

Ledningsmodeller

Ledningsmodeller beskriver transporten av vann fra nedbøren renner inn i en node, fraktes gjennom ledningsnett og ut av modellen. Ledningsnett består av knutepunkter og ledninger. Noder/knutepunkter kan deles inn i ulike objekter som kummer, sluk, overløp, ventiler og pumper med ulike størrelser. Ledningene beskrives oftest ved lengde, diameter, ruhet og fall.

Overflatemodeller

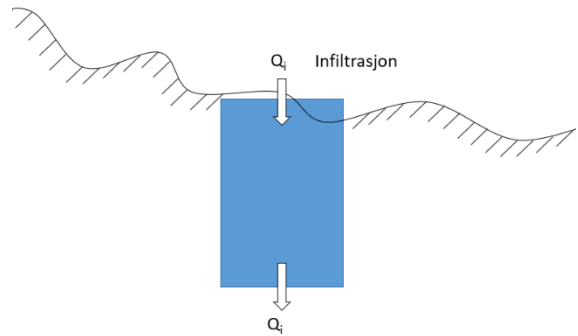
Digitale overflatemodeller beskriver overflater med terreng, vegetasjon og bygninger, som hus, sykehus, skoler, fortauskanter og trafikkøyer (Kartverket, 2019). Alle disse faktorene påvirker overflateavrenningen. Detaljeringsnivået virker i stor grad inn på resultatene av simuleringer. Grov oppløsning kan føre til urealistiske resultater, som vannansamlinger som ikke blir drenert bort og bygninger som ikke er representert korrekt. (Chen et al., 2007). Fortauskanter som vanligvis ville hindret vann fra å strømme utover eiendommer kan bli borte, og føre til oversvømmelser i modellen som ikke ville oppstått i virkeligheten. For høy oppløsning vil føre til uakseptabelt høy simuleringstid (Chen et al., 2007). Detaljeringsnivået blir dermed et kompromiss mellom akseptabel simuleringstid og usikkerhet ved resultatene.

2.3.4 Infiltrasjon

Effekten av infiltrasjon på overflateavrenningen kan spille en stor rolle for flomscenarier (DHI, 2017b). Ved lav infiltrasjon, som er tilfellet på tette flater, vil en stor prosentandel av nedbøren renne av på overflaten og potensielt medføre skader. I områder med høy infiltrasjonskapasitet vil derimot størsteparten av nedbøren renne ned i grunnen og en mindre andel renne av på overflaten. I MIKE FLOOD kan effekten av infiltrasjon inkluderes på to ulike måter: netto infiltrasjon eller konstant infiltrasjon med kapasitet (DHI, 2017b).

Netto infiltrasjon kan spesifiseres på tre ulike måter:

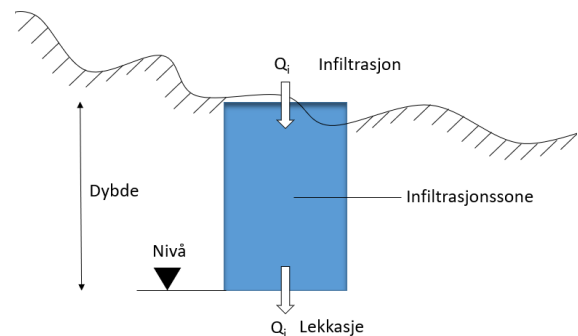
- Konstant (En konstant infiltrasjon «c» for hele modelleringsområdet).
- Konstant i tid, men varierende over området.
- Varierende både i tid og rom.



Figur 2-3: Definisjon av netto infiltrasjonsrate. Konstruert med inspirasjon fra DHI (2017b).

Konstant infiltrasjon med kapasitet er avhengig av fem faktorer:

- Infiltrasjonsraten fra overflaten.
- Porevolumet i infiltrasjonssonen.
- Beskrivelse av størrelsen på infiltrasjonssonen (for eksempel dybde).
- Lekkasjehastighet fra det aktive laget til underliggende løsmasser.
- Initielt vannnivå i prosent av kapasiteten eller som vanninnhold.



Figur 2-4: Definisjon av infiltrasjon med lagringskapasitet og lekkasje. Konstruert med inspirasjon fra DHI (2017b).

2.3.5 Romlig variasjon i nedbørsmengde

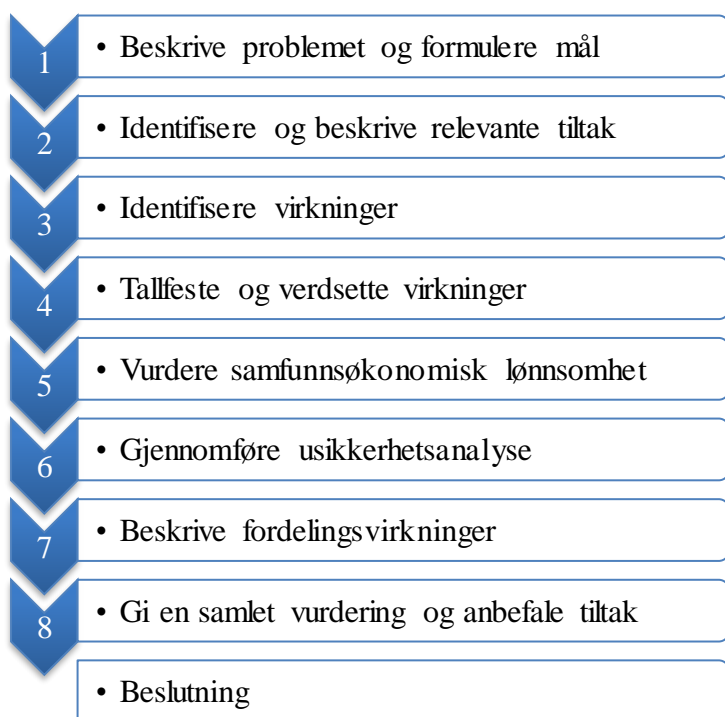
MIKE SHE-verktøyet «dfs2+dfs0 to dfs2» lager en tidsvarierende dfs2-fil, som gjør at et felt kan påføres nedbørsmengder med romlig variasjon. Verktøyet blir brukt til å lage en tidsvarierende dfs2-fil fra en dfs2-rasterfil og én eller flere dfs0-tidsserier (DHI, 2017a). Den tidsvarierende dfs2-filen kan eksempelvis brukes i store felt ved lokale nedbør.

2.4 Elementer i samfunnsøkonomiske analyser

Samfunnsøkonomiske analyser brukes for synliggjøring og kartlegging av alle positive og negative virkningen ved eksempelvis investeringer, reguleringer og reformer (Finansdepartementet, 2014). Dette delkapittelet forklarer hovedprinsipper og krav som stilles til gjennomføringen av samfunnsøkonomiske analyser. Delkapittelet er basert på kravene som stilles i Finansdepartementets rundskriv R-109/2014 «Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv.» samt Direktoratet for økonomistyrings (DFØ) sektorovergripende veileder i samfunnsøkonomiske analyser.

2.4.1 Arbeidsfaser

DFØ (2018) har systematisert arbeidet i en samfunnsøkonomisk analyse i de åtte arbeidsfasene vist i flytdiagrammet i *Figur 2-5*. Flytdiagrammet viser en stilisert og rettlinjjet fremstilling av utredningsprosessen, men i praksis er det en iterativ prosess hvor det kan være nødvendig å gå frem og tilbake mellom de åtte arbeidsfasene (DFØ, 2018, s.17).



Figur 2-5: Flytdiagram for gjennomføring av en samfunnsøkonomisk analyse. Konstruert med inspirasjon fra DFØ (2018, s. 17).

2.4.2 0-alternativ

For å kunne gjennomføre en samfunnsøkonomisk analyse er det behov for en referansesituasjon. 0-alternativet representerer en forsvarlig videreføring av dagens situasjon, og er referansen de øvrige alternativene skal sammenlignes mot (Finansdepartementet, 2014). 0-alternativet har en sentral funksjon i den samfunnsøkonomiske analysen når virkningen av tiltakene, som utredes i arbeidsfase 3 og tallfestes i arbeidsfase 4, skal identifiseres (DFØ, 2018). Virkningene av foreslåtte tiltak skal beskrives som endringer sammenlignet med 0-alternativet (Finansdepartementet, 2014).

2.4.3 Ikke-prissatte effekter

DFØ (2018) definerer ikke-prissatte effekter som virkninger det ikke er faglig forsvarlig å verdsette i kroner, eller som det ikke er ønskelig å verdsette kvantitativt. Virkninger som ikke kan verdsettes direkte i kroner og øre skal kartlegges og omtales slik at det er grunnlag for å vurdere deres påvirkning på samfunnsøkonomisk lønnsomhet (Finansdepartementet, 2014). Eksempler er kvalitet på arbeid, sikkerhet, miljø, rekreasjon og ulemper som forsinkelser og forurensning. Det bør tilstrebes å forklare disse kvantitativt, men dersom det ikke er gjennomførbart bør slike ikke-prissatte effekter forklares best mulig kvalitativt (Finansdepartementet, 2014).

2.4.4 Usikkerhet

I arbeidsfase 6 skal det gjennomføres en usikkerhetsanalyse. Usikkerhetsanalysen er viktig ettersom virkningene av foreslåtte alternativer samt kvaliteten på kalkulasjonsprinsipper normalt er usikre (Finansdepartementet, 2014). Usikkerheten rundt forutsetningen for analysen bør belyses for å gi beslutningstaker et bilde av variasjonen som kommer ved endring i ulike faktorer. Usikkerhetsanalysen skal ifølge DFØ (2018) inneholde en kartlegging og beskrivelse av usikkerhetsfaktorer, gjennomføring av analysen og vurdering av eventuelle risikoreducerende aktiviteter. Følsomhetsanalyser er en metode som benyttes for å vise hvilken endring i én eller flere faktorer betyr for utfallet av den samfunnsøkonomiske analysen.

2.4.5 Anbefale alternativ

Avslutningsvis, i arbeidsfase 8, skal det gjennomføres en samlet vurdering av alternativene, og beslutningstaker skal opplyses om analysen av resultatene på en mest mulig oversiktlig måte før en velbegrunnet anbefaling gis (DFØ, 2018). De ulike alternativene skal vurderes og rangeres etter samfunnsøkonomisk lønnsomhet fra beregnet netto nåverdi, ikke-prissatte effekter og usikkerhet

(Finansdepartementet, 2014). Usikkerhet skal vurderes, og dersom den er for stor kan usikkerheten medføre en endret rangering av alternativene. Alternativet med størst samfunnsøkonomisk lønnsomhet anbefales gjennomført.

2.5 Faktorer som påvirker den samfunnsøkonomiske analysen

2.5.1 Investerings- og driftskostnader

Investerings- og årlige kostnader for overvannssystemer finnes det få tallfestede verdier på. Magnussen et al. (2015) på oppdrag for Miljødirektoratet og Hernes (2018) i prosjektoppgave ved NTNU har prøvd å tallfeste investerings- og løpende årlige kostnader ved ulike grå og blågrønne overvannstiltak. *Tabell 2-3*, utarbeidet av Hernes (2018), er en sammenstilling av kostnadstall hentet fra åtte skoleprosjekter og seks byggeprosjekter, i tillegg til et konstruert prøveprosjekt. Kostnadene for grønne tak og lukkede fordrøyningsanlegg har et godt datagrunnlag og er forholdsvis treffsikre og troverdige (Hernes, 2018). For regnbed har grunnlaget vært noe dårlig og åpne fordrøyningsanlegg og permeable dekker har et såpass tynt datagrunnlag at troverdigheten til tallene er noe lav (Hernes, 2018).

Tabell 2-3: Investeringskostnader for ulike overvannstiltak. Hentet fra Hernes (2018).

Overvannstiltak	Investeringskostnad
Grønne tak	350-800 kr/m ²
Lukkede fordrøyningsanlegg	3.000-10.000 kr/m ³
Åpne fordrøyningsanlegg	15.000-30.000 kr/m ³
Regnbed	1.000-10.000 kr/m ²
Permeable dekker	1.000-1.400 kr/m ²

Tabell 2-4 og *Tabell 2-5* er utarbeidet av Magnussen et al. (2015) fra COWIs erfaringstall, litteratur og anslag fra lignende tiltak. *Tabell 2-4* med kostnadsanslag for tradisjonelle overvannstiltak er erfaringsbasert fra flere prosjekter, mens erfaringsgrunnlaget for lokale overvannstiltak, listet opp i *Tabell 2-5* er begrenset, og det er dermed knyttet usikkerhet til disse verdiene (Magnussen et al., 2015). Kostnadsanslagene dekker et betydelig intervall ettersom kostnadene avhenger av lokale forhold og varierer med hensyn til geografi, grunnforhold, kompleksitet i eksisterende

infrastruktur osv. For de lokale blågrønne overvannstiltakene, listet opp i *Tabell 2-5*, spiller blant annet faktorer som valg av løsning, behov for utskifting av masser og plantetyper en viktig rolle for kostnadsanslagene. De lokale overvannstiltakene velges i større grad avhengig av de lokale forholdene. Eksempelvis konstrueres det ikke infiltrasjonsbasseng i områder uten infiltrerbare masser (Magnussen et al., 2015). Dette fører til at kostnadsanslagene for lokale overvannstiltak ikke har et like vidt spenn som de tradisjonelle.

Tabell 2-4: Kostnadsanslag og levetid for tradisjonelle overvannstiltak. Hentet fra Magnussen et al. (2015, s. 37)

Overvannstiltak	Investeringskostnad	Årlige kostnader	Levetid
Separering av private stikkledninger	3.000–20.000 kr/m	85 kr/m	100 år
Oppdimensjonering av eksisterende overvannsledninger	3.000–10.000 kr/m	85 kr/m	100 år
Separering av kommunale fellesledninger	3.000–20.000 kr/m	85 kr/m	100 år
Lukket fordrøyningsbasseng			40 år
- Betongrør	4.700–12.000 kr/m	50 kr/m ³	
- Støpte basseng	7.500–9.000 kr/m	50 kr/m ³	
- GUP-rør	2.000–5.000 kr/m	50 kr/m ³	

Tabell 2-5: Kostnadsanslag og levetid for ulike lokale overvannstiltak. Hentet fra Magnussen et al. (2015, s. 38)

Overvannstiltak	Investeringskostnad	Årlige kostnader	Levetid
Frakobling av takrenner	Lav	Lav	100 år
Grønne tak			
- Ekstensive tak (ekstrakostnader sammenlignet med et vanlig tak)	400–600 kr/m ²	2–10 kr/m ²	50 år
Grønne vegger	4000 kr/m ²	200 kr/m ²	50 år
Infiltrasjonstiltak			40 år
- Infiltrasjonsgrøft	900 kr/m ²	10 kr/m ²	
- Regnbed	1400 kr/m ²	15 kr/m ²	
- Infiltrasjonsbasseng	500 kr/m ²	5 kr/m ²	
- Filterbasseng	90 kr/m ²	10 kr/m ²	

Fordrøyningstiltak			40 år
- Åpent, tørt fordrøyningsbasseng	2100 kr/m ²	20 kr/m ²	
- Overvannsdam	1300 kr/m ²	35 kr/m ²	
- Våtmark	1400 kr/m ²	35 kr/m ²	
Permeable flater		10-20 kr/m ²	40 år
- Gress	50 kr/m ²		
- Grus	80–100 kr/m ²		
- Betongheller	350–600 kr/m ²		
- Armert gress med betongheller	350–500 kr/m ²		
- Armert gress med gatesten	800–1000 kr/m ²		
- Gatesten	800–1000 kr/m ²		

2.5.2 Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrente kan benyttes til å sammenligne og summere nytte- og kostnadsvirkninger som oppstår på ulike tidspunkt (Finansdepartementet, 2014). Diskontering ved bruk av kalkulasjonsrente er en systematisk metode for omregning av alle prissatte verdier til et bestemt år. I nåverdiberegninger omregnes alle verdiene til starten av tiltakets levetid (Finansdepartementet, 2014). *Tabell 2-6* angir kalkulasjonsrenter for tiltak med ulik levetid. For et tiltak med levetid 100 år skal kostnader og nytte diskonteres med en rente på 2,0 %.

Tabell 2-6: Valg av kalkulasjonsrente for tiltak med ulik levetid. Hentet fra Finansdepartementet (2014, s. 5)

	0-40 år	40-75 år	Etter 75 år
Risikojustert rente	4,0 %	3,0 %	2,0 %

2.5.3 Ikke-prissatte effekter og indirekte skader

I et samfunnsøkonomisk perspektiv er det ikke kun de direkte kostnadene knyttet til skade på bygninger som skal tas med i analysen. En analyse gjort med samfunnsøkonomiske briller ser både på direkte kostnader og indirekte kostnader, i tillegg til ikke-kvantifiserbare faktorer.

Magnussen et al. (2015) og NOU 2015: 16 har analysert mulige negative og positive effekter ved overvann. *Tabell 2-7* og *Tabell 2-8* er basert på disse publikasjonene, hvor det listes opp henholdsvis negative effekter ved overvann og positive effekter av åpne overvannstiltak.

Tabell 2-7: Potensielle direkte og indirekte skader som følge av overvann. Basert på Magnussen et al. (2015 og tabell 3.1 i NOU 2015: 16.

Skadevirkning	Beskrivelse
Direkte skader	
Skader på bygninger	Vannskader på hus og andre eiendommer
Skader på inventar, kjøretøy o.l.	Vannskader på annet materiell enn selve bygningen.
Skader på infrastruktur som veier, jernbane, vann, avløp osv.	Skader på infrastrukturanlegg kan medføre kostnader til gjenanskaffelse av ødelagt materiell, reparasjon eller økt vedlikehold.
Erosjonsskader på fritids-, rekreasjon- og trafikkarealer	Kostnader til istandsettelse etter skader / økte vedlikeholdskostnader.
Tap av kulturskatter	Vannskader på bygninger eller inventar
Indirekte skader	
Tap av produksjon og omsetning i næringslivet	Næringsliv, herunder bedrifter og butikker, kan tape produksjon og miste omsetning som følge av vannskader på lokaler og lagre.
Kostnader knyttet til trafikkomlegging	Overvann kan medføre stengte veier, baner osv.
Kostnader knyttet til forsinkelser	Overvann kan medføre redusert fremkommelighet som medfører forsinkelser for nyttetraffic, tog, buss, bilister, fotgjengere og syklister.
Forurensingsskader fra overvann	Overvannshendelser kan føre til overløpsaktivitet, utslipp fra avløpsrensaneanlegg, avrenning fra industriområder/veier o.l.
Tidskostnader til administrasjon og opprydding i etterkant av overvannshendelser	Overvannshendelser fører ofte til behov for opprydding og administrasjon i etterkant, både i private og offentlige virksomheter.
Negative helseeffekter som følge av overvannshendelser.	Sykdom som skyldes kontakt med overvann, kan føre til kostnader forbundet med sykedager medisinsk behandling og andre velferdseffekter.

Tabell 2-8: Positive effekter ved åpne overvannstiltak. Basert på tabell 7.1 i NOU 2015: 16.

Positive effekter	Beskrivelse
Overvannshåndtering	Infiltrasjon, forsinkelse og fordrøyning av overvann.
Gjenbruk av vann	Blågrønne infiltrasjonstiltak kan rense forurenset vann.
Rekreasjon, mental og fysisk helse	Blågrønne overvannstiltak med grønne omgivelser gir mulighet til opplevelser, stressreduksjon, trening, lek osv.
Estetikk, stedsidentitet og kulturarv	Åpning av bekker og dammer samt etablering av blågrønne tiltak gir estetiske områder og kan bidra til stedsidentitet. Bevaring av kulturarv gjennom gjenåpning av tidligere lukkede bekker.
Utdannelse og kognitiv utvikling	Grønne omgivelser, dyreliv og liv i vann, gir grunnlag for barns utvikling og læring.
CO ₂ -opptak (og lagring)	Fotosyntese og CO ₂ -binding i vegetasjon, grønne tak og vegger.
Lokalklimaregulering og støydemping	Både vann og vegetasjon kan virke avskjermende, gi skygge, hindre vind. Grønne tak isolerer og hindrer varmetap. Dempe støy ved å absorbere reflekterte lydbølger.
Forbedret luftkvalitet	Grønne elementer renser og gir en friskere luft. Kan forhindre astma/allergi og andre luftveissykdommer.
Biologisk mangfold	Både vann og grønne elementer vil kunne tiltrekke seg fugle- og dyreliv.

2.5.4 Kvantifisering av indirekte skader

NOU 2015: 16 tar for seg et viktig aspekt ved den samfunnsøkonomiske analysen, vist ved et beregningseksempel som gjengis i dette delkapittelet. Beregningseksempel viser et grovt overslag av direkte kostnader kontra indirekte kostnader knyttet til skader fra overvann. NOU 2015: 16 tar utgangspunkt i Vanskadestatistikken (VASK) som viser forsikringsutbetalinger for direkte skader på bygninger grunnet vann. VASK dekker grovt sett 85 % av markedet, men tar ikke hensyn til egenandelen ved erstatningene.

For årene 2008 til 2014 var det ifølge VASK gjennomsnittlige årlige utbetalinger på 600 millioner kroner. Korrigert for egenandel og markedsandelen ender summen på 800 millioner kroner. I tillegg til disse 800 millionene kommer direkte skader på bygg som ikke er forsikret og direkte skader på infrastruktur som veier, jernbane, vann- og avløpsanlegg osv.

Eksempler fra virkelige hendelser benyttes for å kvantifisere kostnader ved de øvrige direkte skadene. Ekstremværet Firda førte til meldte forsikringsskader i Nedre Eiker kommune på ca. 242 millioner kroner, hvor meldte skader på annet enn bygg utgjorde 26 %. I Gudbrandsdalen var det en flom hvor beregninger i etterkant viste at andelen forsikringsskade av total direkte skade var på ca. 45 %. Korrigert for disse to prosentandelene, ender totale kostnader ved direkte skader på 1,8 milliarder kroner årlig.

I samme eksempel fra flommen i Gudbrandsdalen viste beregninger at de indirekte kostnadene var tilnærmet like store som de direkte kostnadene. NOU 2015: 16 viser også til at det i andre sammenhenger er anslått at de indirekte kostnadene er større enn de direkte, men dette er ikke nærmere tallfestet. Med utgangspunkt i like store indirekte og direkte skadekostnader viser NOU 2015: 16 at et grovt overslag gir totale årlige skadekostnader knyttet til nedbørshendelser på 1,6 til 3,6 milliarder kroner på landsbasis. VASK-statistikken korrigert for egenandel og markedsandel viste årlige utbetalinger på 800 millioner kroner. De faktiske skadene kan altså være 2,0 til 4,5 ganger så høye som den korrigerte VASK-statistikken gir uttrykk for.

2.6 Formelverk for beregning av kostnader

For å kunne sammenligne kostnader mellom alternativene i den samfunnsøkonomiske analysen må blant annet forventede årlige skadekostnader beregnes. Ifølge Olsen et al. (2015) er forventet årlig skadekostnad (EAD) integralet av flomrisiko tetthetskurven over alle overskridelsessannsynligheter. Integralet kan uttrykkes som:

$$EAD = \int_A \int_p D(p) dp dA \quad (1)$$

Hvor integralt er betegnet ved skaden $D(p)$, som oppstår ved nedbørshendelsen med overskridelsessannsynlighet p (inverse av gjentaksintervallet) i nedbørsfeltet med areal A .

Nilsen (2017) viste at overskridelsessannsynligheten p i det indre integralet i formel (1) kan uttrykkes direkte ved gjentaksintervallet, som gir:

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

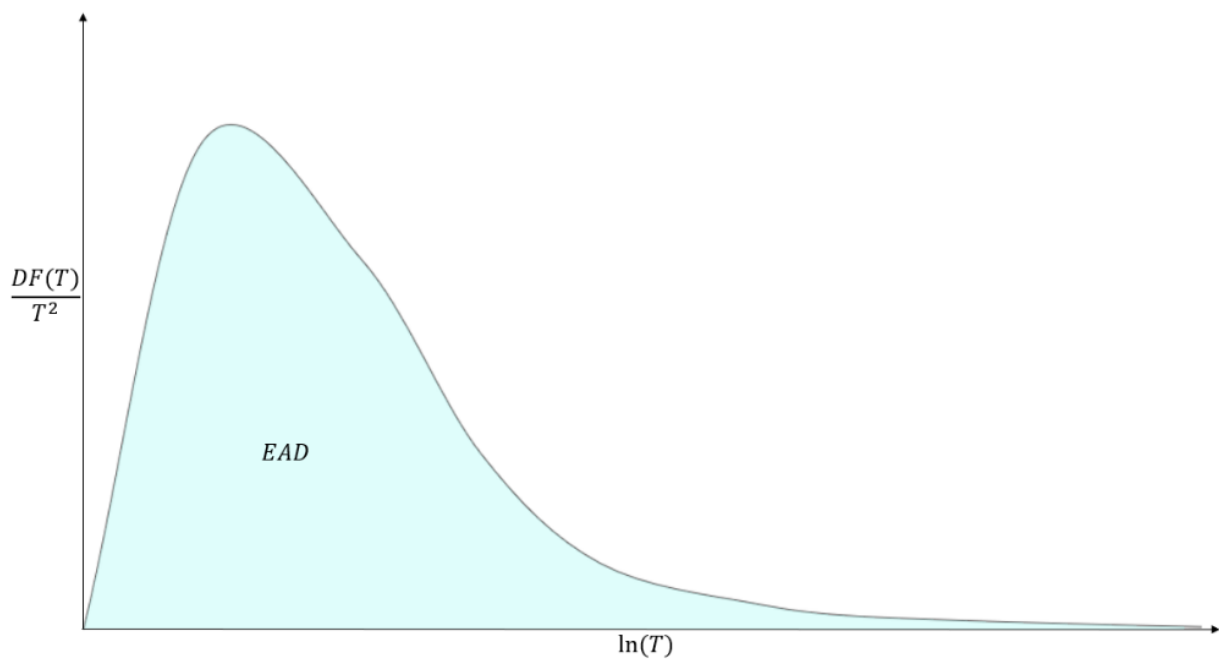
hvor,

$EAD = (\text{Expected annual damage})$ Forventede årlige skadestnader

$DF(T) = \text{Skadestnad for hendelse med gjentakintervall } T$

$T = \text{Gjentaksintervall for nedbørshendelse}$

Skadestnadskurven EAD kan fremstilles som grafen i *Figur 2-6*. Merk at T^2 gjør at bidrag fra nedbørshendelser med stort gjentak ikke nødvendigvis gir et stort bidrag til EAD.



Figur 2-6: Antatt form for skadestnadsfunksjonen EAD. $\frac{DF(T)}{T^2}$ plottet mot logaritmisk T .

2.7 Sammenlignbare arbeid

Oppgaven en videreføring av masteroppgaven til Bjørnsen (2020) og metodikken bygger på de samme modellene, og samme case-område i Bærum kommune. Bjørnsen (2020) viste at kravene satt i case-området til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning ikke er lønnsomt i et samfunnsøkonomisk perspektiv. Bjørnsen (2020) fokuserte dog på optimal tiltaksstørrelse for case-området ved innføring av samme tiltak i hele feltet. Første del av denne oppgaven gjennomfører tilsvarende analyse, men fjerner grøntområder og bruker en annen infiltrasjonsmetodikk. Metodikken Bjørnsen (2020) benyttet for infiltrasjon, underestimerer skadekostnadene sammenlignet med infiltrasjonsmodulen i MIKE FLOOD.

I likhet med denne oppgaven undersøkte Haugård (2017) lønnsomheten ved strategisk plassering av overvannstiltak, i et tilsvarende case-studie på Grefsen i Oslo kommune. Haugård (2017) konkluderte med at investeringer i LOD-tiltak vil føre til innsparing av flere ganger det samme beløpet ved forhindring av skader. I motsetning til denne oppgaven undersøkte Haugård (2017) påvirkningen på skader ved tilbakeslag i kjellere og ulike LOD-tiltak ble vurdert mot hverandre.

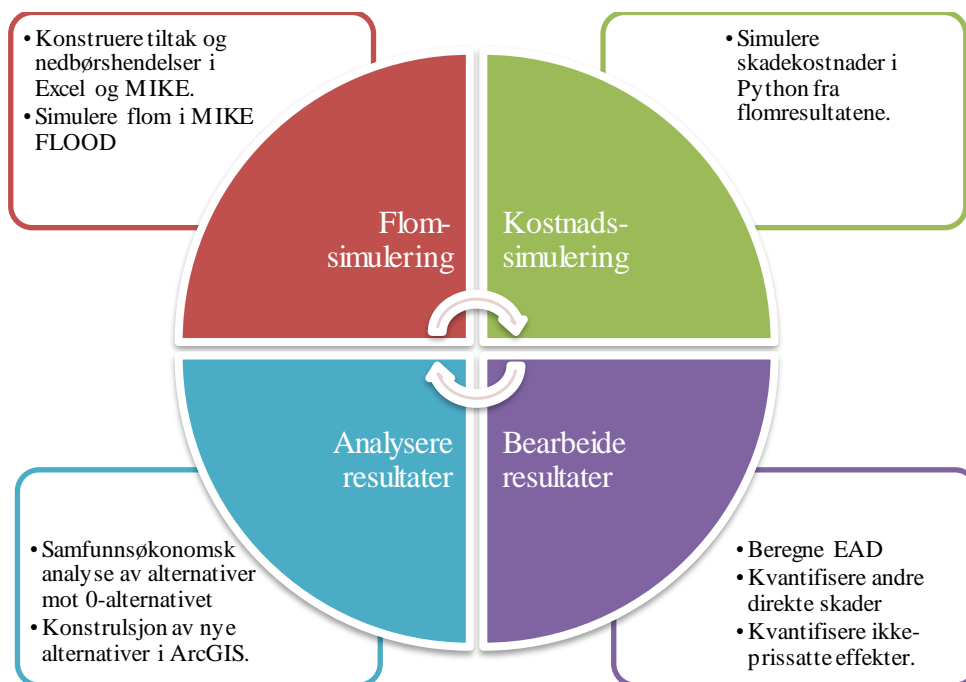
Zhou et al. (2013) gjennomførte en tilsvarende kost-nytte analyse av en case-studie i Aarhus i Danmark, hvor den samfunnsøkonomiske påvirkningen av ulike metoder for klimatilpasninger ble evaluert. De evaluerte fire scenarioer: ingen endring av dagens situasjon, oppdimensjonering av ledningsnett, lokal infiltrasjon og åpne fordrøyningsanlegg. Scenarioene ble simulert i blant annet MIKE FLOOD. Forventede årlige skadekostnader fra 2-, 10-, 50- og 100-årgjentak resulterte i at alle tiltak lønte seg sammenlignet med ingen endring av dagens situasjon. Av de tre andre var åpne fordrøyningsanlegg mest samfunnsøkonomisk lønnsomt.

MIKE ble også brukt i kost-/nytteanalyse for overvannstiltak langs vei av Skogvold et al. (2018). I likhet med denne oppgaven ble tiltak for demping av flom modellert i en hydraulisk modell og analysert i en kost-/nyttemodell. De gjennomførte et prosjekt med mål om å utvikle en metode for analyse og prioritering av tiltak for demping av urban flom ved bruk av hydraulisk modellering og kost-/nytteanalyse. De gjennomførte analyser for to forskjellige veier i Oslo, og undersøkte samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved innføring av tiltak for å dempe flom langs veiene.

3 Metode

Et modelleringsområde i Bærum kommune, med tilhørende flom- og kostnadsmodell ble valgt for å finne svar på forskningsspørsmålene. Flommodellen er utviklet i MIKE FLOOD av Friborg og Deggerdal (2018) i et prosjekt for Sweco Norge AS. Kostnadsmodellen er utviklet av Nordheim (2019) i hans arbeid med masteroppgaven «Utvikling av en kost-nyttmodell basert på urban flommodellering og FKB-data». Resultatene fra kostnadsmodellen tar kun hensyn til skader på bygninger og innbo. For å ta hensyn til andre skader samt ikke-prissatte effekter ble det brukt påslags- og reduksjonsfaktorer inspirert av Bjørnsen (2020).

Figur 3-1 viser arbeidsgangen i metoden fra konstruksjon av alternativer, til analyse av resultater til konstruksjon av nye alternativer. Gjennomføringen av metoden var en gjentakende prosess der genererte resultater danner utgangspunktet for nye simuleringer. Innledningsvis ble det foretatt en enkel to-delning av feltet for å undersøke om det var noen faktorer som skilte seg ut ved differensiering av kravene til dimensjonerende nedbør. På bakgrunn av resultatene fra disse simuleringene ble tiltak plassert mer strategisk. Tiltak er her forstått som overvannstiltak som imøtekommer kravene til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning. I tillegg til flom- og kostnadsmodellen ble ArcGIS Pro benyttet for å danne kategorier for differensiering av tiltakene.



Figur 3-1: Generell beskrivelse av arbeidsgangen i metoden.

3.1 Modellbeskrivelse: Flommodellen

Den hydrauliske modellen er en «kombinert modell» og består av en kombinasjon av overflatemodellen av Sweco Norge AS og ledningsmodellen av ROSIMAS (Friborg & Deggerdal, 2018). Nedbørshendelsene ble modellert i programvaren MIKE FLOOD av DHI.

Modellen ble konstruert slik at nedbør treffer overflatemodellen og renner av i fallretningen. Dersom vannet renner over en kobling (kum) og det er kapasitet i ledningsnett, vil vannet gå inn i ledningen. For å sette opp en stabil modell ble oppløsningen til overflatemodellen nedjustert til 4 x 4 m fra høydemodellen til Bærum kommune, noe som medførte at detaljer i terrenget som grøfter, kantstein o.l. ikke kom med. Gate- og grøftesluk er ikke tatt med i modellen og ledningsmodellen inneholder kun ledningsnett, sluk og fordrøyningsmagasiner som tilhører Bærum kommune. Anlegg tilhørende eksempelvis Statens Vegvesen, Sporveien og private anlegg er ikke med i modellen (Friborg & Deggerdal, 2018).

Kun delene av ledningsnett som er koblet til overflatemodellen tilføres vann, dette gjelder ledninger over Ø160 mm (Friborg & Deggerdal, 2018). Dersom ledningene går fulle og det er trykk i ledningsnett vil vann sive opp fra koblingene og strømme videre i overflatemodellen. Modellen er kalibrert mot en reell nedbørshendelse fra 6. august 2016. Regnet som falt denne dagen var langt og volummessig stort. Spissavrenningen var ikke så høy, anslagsvis 5-årsregnet. Volumet derimot var større enn et 200-årsregn med varighet på seks timer (Friborg & Deggerdal, 2018).

Infiltrasjon ble brukt i denne modellen i stedet for avrenningsfaktor for å beskrive hvilken andel av nedbøren som renner av på overflaten. I MIKE FLOOD kan infiltrasjon settes på som netto infiltrasjon eller konstant infiltrasjon med kapasitet. I denne modellen ble det valgt konstant infiltrasjon med kapasitet. Infiltrasjonshastigheter er valgt basert på områdenes arealbruk og løsmasser. Verdiene er justert fra tabellverdier etter kalibrering mot hendelsen 6. august 2016 (Friborg & Deggerdal, 2018).

3.2 Case-området

Case-området er markert i *Figur 3-2* og *Figur 3-3*. Området på tilnærmet 808 hektar består hovedsakelig av boligområder og grøntarealer, i tillegg består det av idretts-, industri- og sentrumsområder. Feltet har avrenning mot sørvest, og ut av området i de to bekkene, Øverlandselva i vest og Stabekken i øst, markert i *Figur 3-3* med blå piler (Friborg & Deggerdal, 2018). *Figur 3-2* viser området med terrengmodell. Feltet består av langstrakte rygger og forsenkninger fra sørvest til nordøst, noe som er typisk for Oslofeltet som case-området er en del av. Vann vil mest sannsynlig samle seg i nedsenkningene mellom ryggene og bli ført ut av feltet i naturlige flomveier (Nordheim, 2019).

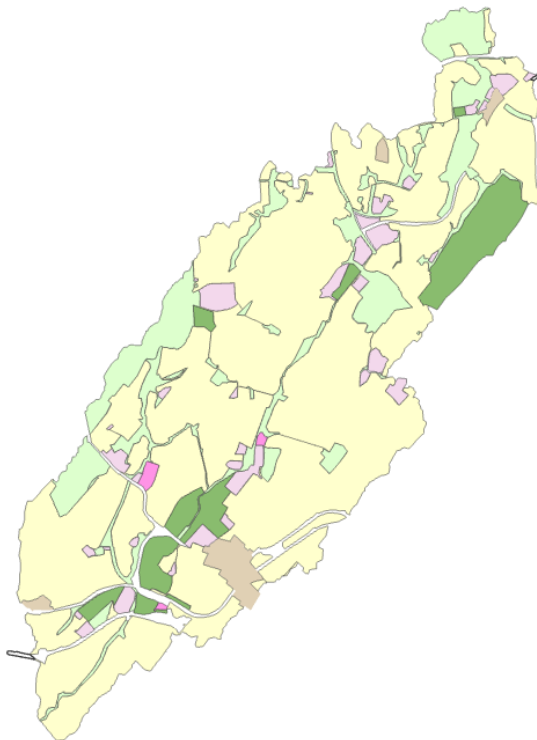


Figur 3-2: Case-området i Bærum kommune med terrengmodell. Hentet fra Nordheim (2019, s. 24)



Figur 3-3: Case-området i Bærum kommune. Avrenning ut av feltet markert med blå piler.


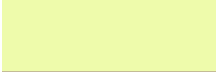



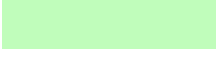
Arealformål fra kommuneplanens arealdel for Bærum kommune er presentert i *Figur 3-4* og *Tabell 3-1*. Boligområdene utgjør ca. 70 % av feltet, grøntarealene 15 % og idrettsanlegg 7 %. Sentrumsområder, offentlig og privat tjenesteyting, næringsbebyggelse og veier utgjør de resterende 8,3 % av feltet.



Figur 3-4: Modelleringsområde med arealformål.

Konstruert i ArcGIS fra kommuneplanens arealdel for Bærum kommune (2021).

Tabell 3-1: Inndeling av case-området i kategorier etter arealformål med tilhørende areal og farger i kart.

Kategori	Arealformål	Farge i kart	Areal [ha]	Andel
1	Idrettsanlegg		56,7	7,0 %
2	Boligbebyggelse		561,5	69,5 %
3	Sentrumsformål		15,6	1,9 %
4	Offentlig eller privat tjenesteyting		38,0	4,7 %
5	Næringsbebyggelse		2,6	0,3 %
6	Grøntområder/ Grav og urnelund		122,3	15,1 %
0	Annet (veier o.l.)		11,3	1,4 %
Totalt			808	100,0 %

I case-området er det 12 875 bygninger fordelt på ulike typer bygg listet i *Tabell 3-2*. Boligbygg og anneks utgjør 96,9 % av bygningene.

Tabell 3-2: Type, antall og andel bygninger i case-området. Hentet fra Nordheim (2019, s. 42).

Type	Antall	Andel
Anneks	4875	37,86 %
Barnehage	34	0,26 %
Boligbygg	7601	59,04 %
Brann og ambulanse	1	0,01 %
Forretninger	73	0,57 %
Helseinstitusjoner	13	0,10 %
Hotell og restaurant	7	0,05 %
Industri	154	1,20 %
Kultur og idrett	47	0,37 %
Skole	70	0,54 %
Totalt	12 875	100,0 %

3.3 Flomsimulering



Figur 3-5: Generell beskrivelse av klargjøring av data for flomsimulering. Program markert øverst med tilhørende operasjon.

3.3.1 Antakelser

Til tross for at modellen av Friborg og Deggerdal (2018) kun er kalibrert mot nedbørshendelsen 6. august 2016 ble modellen antatt å være representativ for virkeligheten. Selve modellen er slik Friborg og Deggerdal (2018) konstruerte den med uendret topografi, ledningsmodell, ruhetsfaktorer, infiltrasjon osv. Denne oppgaven evaluerer ikke om flommodellen gir en korrekt gjengivelse av virkeligheten.

3.3.2 Konstruksjon av regnhyetogram

For å konstruere regnhyetogram må regnets varighet bestemmes. Regnets varighet skal helst være lenger enn konsentrasjonstiden til feltet slik at alle feltets delfelt kan bidra til den totale avrenningen ved feltets utløp før regnet slutter. Konsentrasjonstiden til nedbørsfeltet ble beregnet til to timer av Friborg og Deggerdal (2018).

Bærum kommune (2017) krever at nedbørstatistikk skal hentes fra den nærmeste nedbørstasjonen, for case-området er Øvrevoll nedbørstasjon nærmest og ble benyttet i beregningene. Nedbørstasjonen har 36 sesonger med nedbørstatistikk. Regnvarighet på tre timer velges for å sikre tilrenning fra alle delfeltene. Dyrddal og Førland (2019) anbefaler klimafaktor på 1,3 for regn med denne varigheten. Verdiene i Tabell 3-3 benyttes til å konstruere de symmetriske blokkhyetogrammene etter prosedyre av Lindholm et al. (2012).

Tabell 3-3: IVF-verdier med konsentrasjonstid på tre timer for Øvrevoll nedbørstasjon. Verdier hentet fra Norsk klimaservicesenter (2021b)

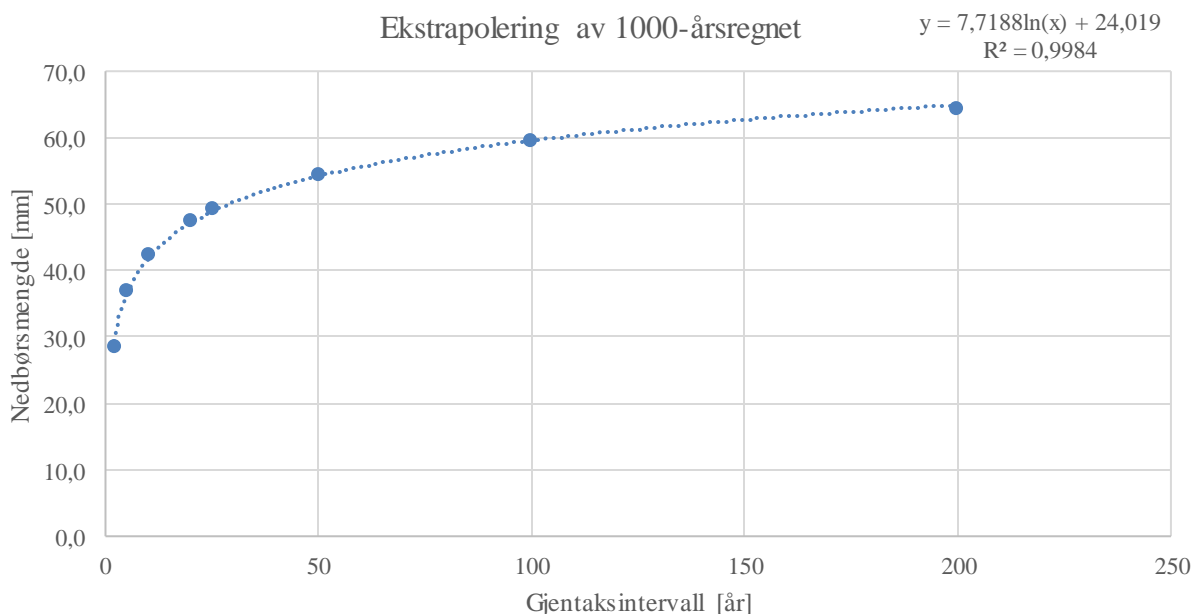
Gjentaksintervall [år]	IVF-verdier [mm]	IVF-verdier m. KF = 1,3 [mm]
2	21,9	28,5
5	28,3	36,8
10	32,5	42,8

20	36,5	47,5
25	37,8	49,1
50	41,8	54,3
100	45,7	59,4
200	49,6	64,4

3.3.3 Simulerte nedbørshendelser

Solheim et al. (2017) viste i sin feltstudie i Oslo kommune at vannmengder på 20 mm i de fleste tilfeller infiltreres greit på egen tomt. Basert på dette ble det antatt at det ikke skjer noen skader ved regn opp til ett år. Bjørnsen (2020) antok at regn med gjentakintervall på 6000 år skjer så sjeldent at vi kan anta at forventet årlig skadekostnad foret slikt regn kan neglisjeres. Nullpunktene for skadekostnadskurven settes derfor til 1 og 6000 år.

For å dekke et vidt spekter av gjentakintervall og for å konstruere representative EAD-kurver velges gjentakintervall på 2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000 år til simuleringene. Verdiene for 2 til 100 år hentes direkte fra *Tabell 3-3*. Verdien for 1000-årsregnet ekstrapoleres fra IVF-verdiene til Øvrevoll nedbørstasjon i *Figur 3-6*. Den logaritmiske kurven for gjentakintervall forklarer 99,84 % av endringen i nedbørsmengde og antas derfor for å være representativ for ekstrapolering av verdien for 1000-årsregnet. Ekstrapolering gir 1000-årsregnet med klimafaktor på 1,3 lik 77,3 mm.

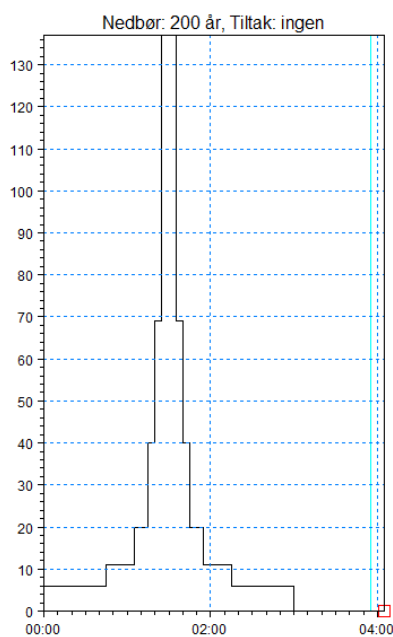


Figur 3-6: Ekstrapolering av 1000-årshendelsen for Øvrevoll nedbørstasjon. $KF = 1,3$.

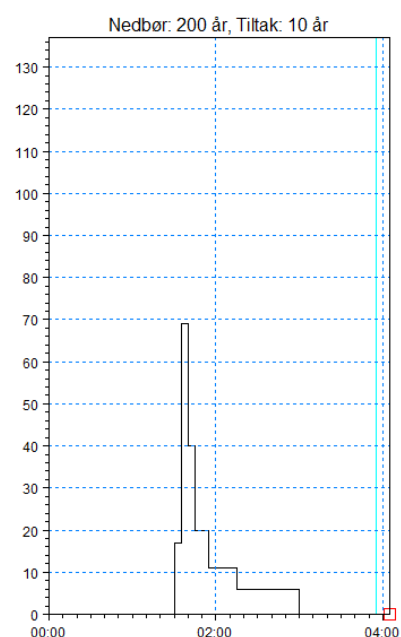
3.3.4 Fordrøyning

Fordrøyningstiltak ble innført som kutt i nedbør slik Bjørnsen (2020) gjorde. Det ble antatt at all nedbør som hadde landet på nedbørsfeltet ville havnet i overvannstiltaket. I stedet for å legge inn tiltak i cellene som etterligner reelle overvannstiltak ble nedbøren, tilsvarende fordrøyningmengden, fjernet fra det konstruerte blokkhyetogrammet. I praksis betydde dette at det kun regnet 22 mm på en celle med et 10-årstiltak (42 mm) under et 200-årsregn (64 mm).

Figur 3-7 og Figur 3-8 viser hvordan det symmetriske blokkhyetogrammet vil se ut for 200-årsregn med og uten 10-årstiltak, gitt at tilrenningstiden til fordrøyningstiltak ~ 0 minutter.



Figur 3-7: 200-årsregn uten overvannstiltak.



Figur 3-8: 200-årsregn med 10-årstiltak.

Tilvenningstid til fordrøyningstiltak ~ 0 minutter.

3.4 Innledende beregninger for å bestemme infiltrasjonsmetodikk

En viktig antakelse ved Bjørnsen (2020) sine resultater var valget om å skru av infiltrasjonsmodulen i MIKE FLOOD ettersom hver simulering tok i gjennomsnitt 20 % lenger tid å gjennomføre. Bjørnsen (2020) erstattet infiltrasjonsmodulen med infiltrasjonskategorier som gir en romlig variasjon i nedbørsmengden til hver celle med bakgrunn i infiltrert mengde fra grunnsimuleringen (Bjørnsen, 2020). MIKE SHE-verktøyet «dfs2+dfs0 to dfs2» kombinerer tidsseriedata og griddata for å gi denne romlige distribusjonen av nedbør ved samme tid.

Samme fremgangsmetode kan ikke benyttes i denne oppgaven da løsningen for å innføre differensierte krav til overvannshåndtering er avhengig av MIKE SHE-verktøyet «dfs2+dfs0 to dfs2». Det betyr at dersom resultatene i denne oppgaven skal kunne sammenlignes direkte med Bjørnsen sine må de ulike metodene for infiltrasjon først testes for eventuelle variasjoner. Hvilken påvirkning aktivert infiltrasjonsmodul kontra infiltrasjonskategorier har å si på resultatene testes ut ved gjennomføring av simuleringene i *Tabell 3-4*.

Tabell 3-4: Simulerte nedbørshendelser for tiltak på 15 og 24 mm med aktiv infiltrasjonsmodul og infiltrasjonskategorier. Ble benyttet for å undersøke innvirkningen infiltrasjonsmetodikken hadde på resultatene.

Tiltak	Infiltrasjon	Nedbør [mm]
15 mm	Infiltrasjonsmodul	40, 50, 70 mm
15 mm	Infiltrasjonskategorier	40, 50, 70 mm
24 mm	Infiltrasjonsmodul	40, 50, 70 mm
24 mm	Infiltrasjonskategorier	40, 50, 70 mm
Totalt: 12 simuleringer		

3.4.1 Skadekostnader med og uten aktiv infiltrasjonsmodul

Tabell 3-5 viser resultatene fra simuleringene i *Tabell 3-4*. Disse regnene ble valgt for sammenligning med Bjørnsen (2020) sine resultater og for å finne hvilken metodikk som skulle benyttes for infiltrasjon i oppgaven. Resultatene fra simuleringene med infiltrasjonskategorier er identiske med resultatene til Bjørnsen (2020, s. 42) for samme regn og tiltak.

Tabell 3-5: Resultater 15mm- og 24mm-tiltak, aktiv infiltrasjonsmodul vs. infiltrasjonskategorier.

Tiltak/Regn	40 mm		50 mm		70 mm	
	Inf. modul	Inf. kategori	Inf. modul	Inf. kategori	Inf. modul	Inf. kategori
15 mm	806 066	77 457	3 507 885	650 337	19 802 916	10 203 878
24 mm	21 463	5 598	684 636	129 749	11 383 423	3 896 636

De tre nedbørshendelsene for begge tiltakene viser en underestimert av kostnader ved bruk av egne kategorier med kutt i nedbør som infiltrasjonsmetodikk. Ettersom infiltrasjonsmodulen er kalibrert mot en reell hendelse, jamfør delkapittel 3.1 antas det at disse resultatene har større troverdighet enn resultatene fra infiltrasjonskategoriene. Disse punktene medførte at en aktiv infiltrasjonsmodul ble benyttet som metodikk for infiltrasjon i de resterende simuleringene.

Skadekostnadene simulert med aktiv infiltrasjonsmodul for 24 mm-tiltak ser ut til å samsvare med resultatene for infiltrasjonskategorier ved tiltak på 15 mm. Dette taler for at infiltrasjonskategoriene ble overestimert med 9 mm jevnt over modelleringsområdet. Bjørnsen (2020) anbefalte optimal tiltaksstørrelse på 15 mm. Disse resultatene kan tyde på at faktisk anbefaling burde ligge rundt 24 mm. Investerings- og årlige kostnader vil følgelig øke i takt med økt tiltak og må analyseres nærmere.

3.5 Alternativer

I dette delkapittelet presenteres ulike alternativene for plassering av overvannstiltak, disse evalueres så videre i kapittel 4. Først presenteres 0-alternativet som er en videreføring av dagens praksis, hvor det stilles samme krav til lokal fordrøyning for alle tomter. 0-alternativet analyserer lønnsomheten i et 100 års perspektiv, forutsatt at alle tomtene imøtekommer dette kravet. I virkeligheten vil utbygging forkomme sporadisk i et felt, men det er gjort en antakelse om simultan utbygging av case-området.

Alternativ 1 til 5 er ulike former for differensiering av kravene til lokal fordrøyning i case-området. Alternativ 1 og 2 er to-delinger av feltet for å undersøke innvirkningen differensiering har på skadekostnadene. I disse to alternativene tas det ikke høyde for hvilke strukturer som finnes i området. Alternativ 3, 4 og 5 representerer strategiske plasseringer av fordrøyningstiltak i nedslagsfeltet. Alternativ 3 baserer seg på modellen presentert i Norsk Vann rapport 162. I

alternativ 4 plasseres tiltakene kun i boligområdene. Alternativ 5 benytter Scalgo, resultater fra flomsimuleringene samt terrengprofilen i *Figur 3-2* til plassering av overvannstiltakene. Alle alternativene analyserer lønnsomheten i et 100 års perspektiv, og sammenlignes mot 0-alternativet.

3.5.1 Alternativ 0: Ingen differensiering

I Bærum kommune er det satt krav til gjentakintervall på 25 år, jamfør delkapittel 2.2.2 Bjørnsen (2020) fant derimot ut at optimal tiltaksstørrelse for dette feltet er 15 mm, under en tredel av 25-års gjentak på 49 mm. Som vi så i delkapittel 3.4.1 var det et betydelig avvik i kostnader ved å bytte ut infiltrasjonsmodulen med infiltrasjonskategorier slik Bjørnsen (2020) gjorde. Det ble derfor gjennomført nye simuleringer for tiltaksstørrelsene i spennet 0 til 47 mm for å evaluere dagens dimensjoneringspraksis.

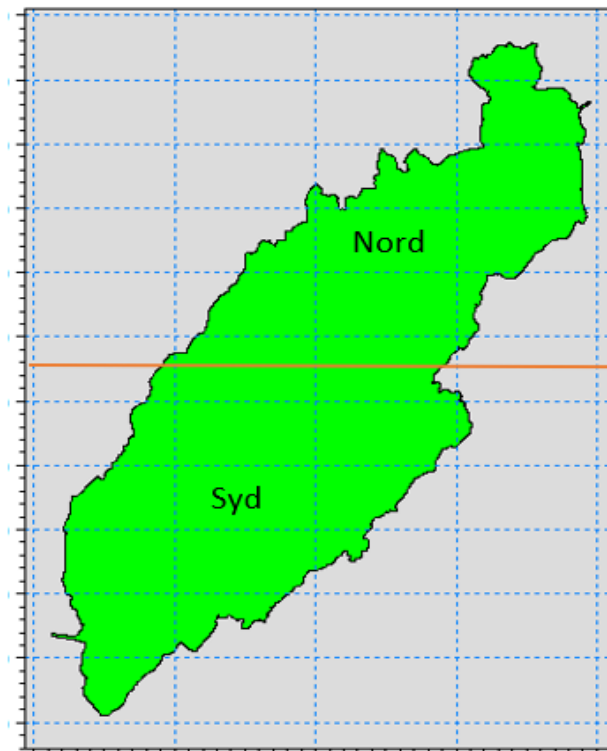
Alle områdene i feltet ble tildelt samme tiltak med unntak av grøntområdene. Det ble antatt at grøntområdene kun ville medført økte investerings- og årlige kostnader ettersom skadepotensialet her er lavt. Tiltakene for lokal fordrøyning som ble simulert er listet opp i *Tabell 3-6*:

Tabell 3-6: Gjennomførte simuleringer for alternativ 0 av tiltak for lokal fordrøyning med tilhørende gjentakintervall. Hvert tiltak ble simulert for nedbørshendelsene listet opp i tabellen. Merk at de største tiltakene har noen identiske nedbørshendelser. Eksempelvis vil 5-årsregnet med 5-, 10- og 20-årstiltak være like grunnet tiltak innført som nedbørskutt.

Tiltak	Gjentaksintervall	Nedbørshendelser [år]
0 mm		2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
4 mm		2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
8 mm		2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
12 mm		2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
16 mm		2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
20 mm		2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
22 mm		2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	1 år (Ekstrapolert)	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
26 mm		2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
29 mm	2 år	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
32 mm		5, 10, 20, 50, 100 og 1000
37 mm	5 år	5, 10, 20, 50, 100 og 1000
42 mm	10 år	10, 20, 50, 100 og 1000
47 mm	20 år	20, 50, 100 og 1000
Totalt: 91 simuleringer		

3.5.2 Alternativ 1 og 2: Screening av differensiering

Alternativ 1 og 2 er en todeling av case-området i et nordlig og et sydlig felt slik *Figur 3-9* viser. Begge alternativene sammenlignes mot 0-alternativet ved total fordrøyning tilsvarende 15 mm- og 24 mm-tiltak. I alternativ 1 plasseres de største tiltakene i nord og minste i syd, i alternativ 2 er fordelingen motsatt. Antall simuleringer og størrelse på tiltakene som ble simulert er listet opp i *Tabell 3-7*.



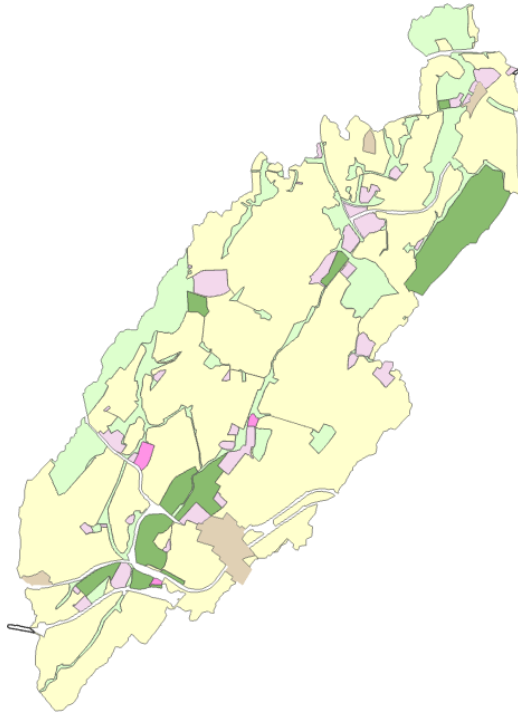
Figur 3-9: Todeling av case-området i feltene nord og syd.

Tabell 3-7: Simuleringer alternativ 0, 1 og 2.

Differensiering	Nord	Syd	Nedbør
Ingen differensiering	15 mm	15 mm	40, 50, 70 mm
	24 mm	24 mm	40, 50, 70 mm
Alternativ 1: Størst tiltak nord i feltet	18 mm	12 mm	40, 50, 70 mm
	21 mm	9 mm	40, 50, 70 mm
Alternativ 2: Størst tiltak syd i feltet	12 mm	18 mm	40, 50, 70 mm
	9 mm	21 mm	40, 50, 70 mm
Totalt: 24 simuleringer			

3.5.3 Alternativ 3: Tiltak differensiert etter arealformål

I alternativ 3 differensieres tiltakene etter arealformålene i Bærum kommunes arealplan. *Figur 3-10* og *Tabell 3-8*, tilsvarende som i delkapittel 3.2, viser inndelingen av case-området etter arealformål. Lindholm et al. (2008) i Norsk Vann rapport 162 og Oslo kommune (2017) satt kravene til overvannshåndtering etter tilsvarende differensiering, se delkapittel 2.2.2



*Figur 3-10: Case-området inndelt etter arealformål.
Konstruert i ArcGIS Pro fra Bærum kommune (2021)*

Tabell 3-8: Oversikt over kategorier og arealformål med tilhørende farge i kart for Figur 3-10.

Kategori	Arealformål	Farge i kart
1	Idrettsanlegg	Grønn
2	Boligbebyggelse	Gul
3	Sentrumsformål	Brunn
4	Offentlig eller privat tjenesteyting	Rosa
5	Næringsbebyggelse	Lilla
6	Grønnstruktur / Grav og urnelund	Limegrønn

Ulike metoder for differensiering undersøkes for dette alternativet. Oslo kommune (2017) sin metode gir en total fordrøyning tilsvarende 42 mm-tiltaket uten differensiering og evalueres mot dette. 1-årstiltaket på 24 mm testes mot differensiering som vist i *Tabell 3-9*. Første muligheten som sammenlignes mot ingen differensiering er 3 mm i idrettsområder, 27 mm i boligområder og

15 mm i industri- sentrums-, og områder for offentlig og privat tjenesteyting. I tillegg analyseres hvilken innvirkning ingen tiltak i idrettsområdene har, og til slutt analyseres skadekostnadene som kommer av at tiltakene legges kun til boligområdene.

Tabell 3-9: Simuleringer alternativ 3. Fordelt på total fordrøyning lik 24 mm og 42 mm.

Notasjon	Tiltak						Nedbørshendelser [år]
	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 4	Kat. 5	Kat. 6	
Ingen diff.	42 mm	42 mm	42 mm	42 mm	42 mm	Ingen tiltak	Fra Tabell 3-6
Oslo	5 år	10 år	20 år	20 år	20 år	Ingen tiltak	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
Ingen diff.	24 mm	24 mm	24 mm	24 mm	24 mm	Ingen tiltak	Fra Tabell 3-6
3, 27, 15	3 mm	27 mm	15 mm	15 mm	15 mm	Ingen tiltak	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
Uten idrett	0 mm	26 mm	26 mm	26 mm	26 mm	Ingen tiltak	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
Kun bolig	0 mm	29 mm	0 mm	0 mm	0 mm	Ingen tiltak	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000

Totalt: 28 simuleringer

3.5.4 Alternativ 4: Kun tiltak i boligområdene

Alternativ 4 setter søkelys på tiltak kun i boligområdene. Ifølge Tabell 3-2 utgjør boligbygg og anneks 96,9 % av de 12 875 bygningene i case-området. De største skadepotensialene ligger altså i boligområdene og alternativet tester hvorvidt skadeforebygging her overgår mulige skader i de øvrige områdene. Det ble gjennomført simuleringer for utvalgte mengder total fordrøyning listet i Tabell 3-10. Total fordrøyning i tabellen tilsvarer alternativ 0, ingen differensiering.

Tabell 3-10: Simuleringer alternativ 4. Total fordrøyning for hele modelleringsområdet og tiltaksstørrelse simulert i boligområdene.

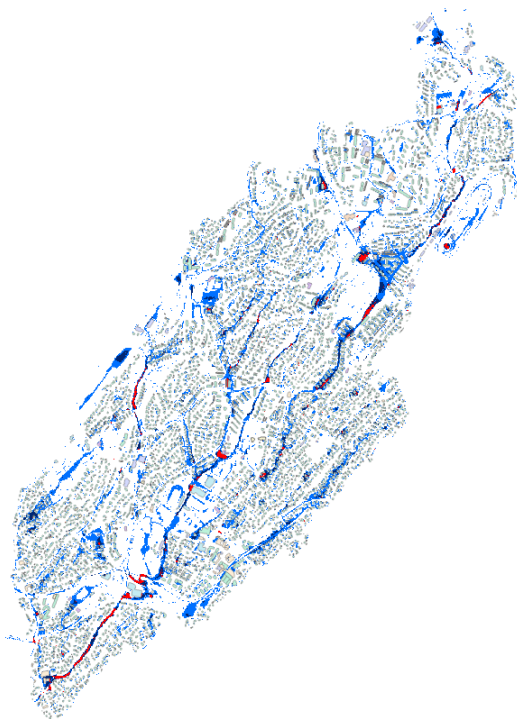
Total fordrøyning	Boligområder	Grønt-, idretts- industri-, og sentrumsområder		Nedbørshendelser [år]
8 mm	10 mm		0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
12 mm	14 mm		0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
22 mm	26 mm		0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	29 mm		0 mm	Fra Tabell 3-9
26 mm	31 mm		0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
32 mm	38 mm		0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
42 mm	50 mm		0 mm	5, 10, 20, 50, 100 og 1000
47 mm	56 mm		0 mm	20, 50, 100 og 1000

Totalt: 45 simuleringer

3.5.5 Alternativ 5: Tiltak differensiert etter avrenningslinjer

Resultatet fra simuleringen av 100-årsregnet uten tiltak for overvannshåndtering er vist i *Figur 3-11*. Figuren viser tidspunktet for maksimal vannstand i feltet over de fire simulerte timene. Figuren viser at vannet samler seg i avrenningslinjer som følger ryggene i feltet. NOU 2015: 16 anbefaler kommuner å kartlegge disse avrenningslinjene og sårbare områder for overvann i sitt planarbeid.

På bakgrunn av resultatet og anbefaling i NOU 2015: 16 ble kategoriene for alternativ 5 konstruert. Bolig-, industri-, sentrums- og områdene for offentlig og privat tjenesteyting er nå inndelt i skadeutsatte og mindre skadeutsatte områder, henholdsvis rød og gul sone i *Figur 3-12*. Rød sone er sentrert rundt avrenningslinjene fra 100-årsflommen og dekker byggene hvor flomresultatene i *Figur 4-11* viser vannstand over 10 cm. Områder med like høy vannstand, men ingen byggverk ble ikke klassifisert i rød sone. Gul sone er områdene rundt med avrenning til rød sone. Idretts- og grøntområdene har lavere skadepotensial og ble plassert i grønn sone, som ikke ble tildelt tiltak for lokal fordrøyning. Kategoriene med tilhørende farge i kart er vist i *Tabell 3-11*.






Figur 3-11: Flomutbredning i case-området ved 100-årsregnet uten tiltak.



Figur 3-12: Nedbørsfeltet inndelt i skadeutsatte, mindre skadeutsatte, idretts-, og grøntområder.

Tabell 3-11: Kategorier med beskrivelse og farge i kartet i Figur 3-12.

Kategori	Beskrivelse	Farge i kart
1	Skadeutsatte områder (Rød sone)	
2	Mindre utsatt skadeutsatte områder (Gul sone)	
3	Idrettsanlegg og grøntområder (Grønn sone)	

For å finne optimal fordeling av tiltak i rød og gul sone ble ulike kombinasjoner av tiltak simulert med en total fordrøyning tilsvarende 24 mm-tiltak. De ulike kombinasjonene er listet i Tabell 3-12 og sammenlignes mot hverandre i kapittel 4.

Tabell 3-12: Simulerte nedbørshendelser for ulike fordelinger av tiltak i rød og gul sone. Sammenlignes ved total fordrøyning på 24 mm.

Total fordrøyning	Rød sone	Gul sone	Grønn sone	Nedbørshendelser [år]
24 mm	54 mm	10 mm	0	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	42 mm	17 mm	0	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	37 mm	20 mm	0	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	33 mm	22 mm	0	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	29 mm	24 mm	0	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	20 mm	29 mm	0	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	13 mm	33 mm	0	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	6 mm	37 mm	0	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000

Totalt: 56 simuleringer

Flytte tiltakene fra idrettsområdene til de skadeutsatte områder

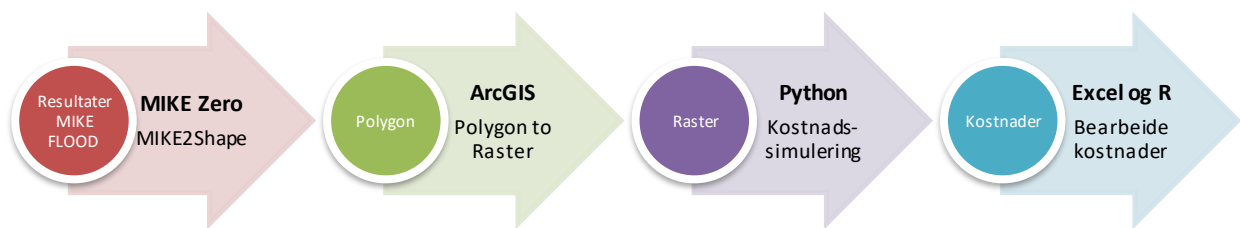
Fordelingen 29/24 mm i rød/gul sone viser seg mest lønnsom ifølge delkapittel 4.2.4. Fordelingen tilsvarer å flytte tiltakene i idrettsområdene for 0-alternativet, til områdene langs avrenningslinjene. Samme fordeling simuleres for andre mengder av total fordrøyning for å kunne gjennomføre lønnsomhetsanalyser ved ulike tiltaksstørrelser, simuleringene er listet i Tabell 3-13.

Tabell 3-13: Simulerte nedbørshendelser for alternativ 5 for ulike mengder total fordrøyning. Tiltakene er flyttet fra idrettsområder til de skadeutsatte områdene i rød sone.

Total fordrøyning	Rød sone	Gul sone	Grønn sone	Nedbørshendelser [år]
8 mm	10 mm	8 mm	0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
12 mm	15 mm	12 mm	0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
22 mm	26 mm	22 mm	0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
24 mm	29 mm	24 mm	0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000

26 mm	32 mm	26 mm	0 mm	Fra Tabell 3-12
32 mm	39 mm	32 mm	0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
42 mm	51 mm	42 mm	0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
47 mm	57 mm	47 mm	0 mm	2, 5, 10, 20, 50, 100 og 1000
Totalt: 49 simuleringer				

3.6 Modellbeskrivelse: Kostnadsmodellen



Figur 3-13: Generell beskrivelse av prosessen fra flomresultater til kostnader klare for bearbeiding. Program markert i fet skrift med tilhørende operasjon, og datatypene som generes fra hver operasjon.

Resultatene fra flommodellen må konverteres til filer kostnadsmodellen kan lese før de kan gjøres om til skadekostnader. *Figur 3-13* viser hovedpunktene i prosessen fra flomresultater til kostnader. Resultatene fra flomsimuleringen blir lagret som individuelle filer med maksimum vannstand i MIKE sitt eget filformat, en dfsu-fil. Disse må først konverteres til polygoner ved hjelp av verktøyet MIKE2Shape i MIKE Zero Toolboxen. Polygon-filene blir så gjort om til raster-data i ArcGIS med georeference-verktøyet «Polygon to Raster». Raster-filene kan så leses av kostnadsmodellen. Resultatene blir lagret som Excel-filer med data for antall skadde bygninger, samt minimum, maksimum og median skadekostnad fra 1000 simuleringer.

3.6.1 Antakelser

Nordheim (2019) viste at kostnadsmodellen klarer å gi en tilfredsstillende gjengivelse av skadekostnadene fra den kalibrerte hendelsen 6. august 2016. Nordheim (2019) konkluderte videre med at kostnadsmodellen klarer å kvantifisere flomutsatte objekter på linje med manuell opptelling. Modellen kan dog ikke benyttes direkte som beslutningsgrunnlag da modellen ikke tar høyde for viktige kostnadsparametere innenfor andre materielle og immaterielle skader. Det ble derfor antatt at kostnadsmodellen er god nok til å gjengi skadekostnader på bygninger og innbo, men ikke tilstrekkelig til å vise hele kostnadsbildet.

3.6.2 Hvordan fungerer kostnadsmodellen?

Kostnadsmodellen finner bygninger med vannspeil over 10 cm rundt minst 60 % av bygget, og plasseres disse i et utvalg. Nordheim (2019) så at kostnadsmodellen overestimerte skadekostnadene dersom den kun tok utgangspunkt i bygninger med 10 cm vannspeil. Utvikler måtte derfor nedjustere antall skadde bygg i utvalget ved å legge til en utvalgspareparameter. Det betyr at for hver simulering får hvert objekt i utvalget et tilfeldig nummer fra 0,0 til 1,0. Bygninger som har fått tallet 0,6 eller høyere blir klassifisert som skadet. Resultatet av 1000 simuleringer gir maksimum, minimum og median total skadekostnad. Median total skadekostnad er variabelen som blir brukt videre. For mer detaljert utredning av kostnadsmodellens funksjon henvises det til Nordheim (2019).

3.6.3 Skadekostnader benyttet i kostnadsmodellen

Tabell 3-14: Skadekostnader per bygg, samt total kostnad. Hentet fra Nordheim (2019, s. 73)

	Bygg- og innbokost per bygg per m ²	Antall	Totalpris per m ²	Andel
Anneks	6721	4875	32 764 875	11,93 %
Barnehage	30 057	34	1 021 938	0,37 %
Boligbygg	30 523	7601	232 005 323	84,44 %
Brann og ambulanse	26 138	1	26 138	0,01 %
Forretninger	26 138	73	1 908 074	0,69 %
Helseinstitusjoner	34 657	13	450 541	0,16 %
Hotell og restaurant	26 137	7	182 959	0,07 %
Industri	15 682	154	2 415 028	0,88 %
Kultur og idrett	26 136	47	1 228 392	0,45 %
Skole	39 204	70	2 744 280	1,00 %
Totalt		12 875		100,00 %

Tabell 3-14 lister skadekostnadene benyttet i kostnadssimuleringene. Av de totale kostnadene per m² utgjør anneks og boligbygg 96,37 %, med hovedvekt på boligbygg med 84,44 %. Andre bygg er følgelig større og totalprisen for alle bygninger vil fordele seg noe annerledes, men de største kostnadsdriverne er fortsatt anneks og boligbygg. Dette tyder på at i et samfunnsøkonomisk perspektiv er det byggene fra kategorien «boligområder» fra kommuneplanens arealdel som er kostnadsdriverne.

3.7 Samfunnsøkonomisk analyse

Dette delkapittelet viser bearbeidingen av rådataene fra kostnadsmodellens resultater til kvantitative verdier. Dette ble gjort for å kunne beregne samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

3.7.1 Antakelser

Bjørnsen (2020) viste at optimal tiltaksstørrelse avhenger mer av tiltakenes kostnad enn av skadekostnadene. Kostnadsdrivere er investeringskostnader, løpende årlige kostnader samt levetid for tiltakene. Bjørnsen (2020) konkluderte med at disse kostnadsdriverne må holdes nede for at innføring av tiltak skal lønne seg. Bjørnsen (2020) analyserte virkning av levetid på tiltak på 50 og 100 år. Etersom levetiden påvirker investeringskostnadene i så stor grad antas levetiden for tiltakene å være 100 år. For analyse av virkningen av levetid på 50 år henvises det til Bjørnsen (2020, s. 54-56).

Ikke-prissatte effekter og skader på annet enn bygninger og innbo blir ikke kvantifisert av kostnadsmodellen. Disse blir derimot kvantifisert i reduksjons- og påslagsfaktorer i delkapittel 3.7.3 . Antar at faktorene dekker alle andre direkte og indirekte skader samt virkninger av ikke-prissatte effekter.

3.7.2 Beregning av forventede årlige skadekostnader (EAD) fra kostnadsmodellens resultater

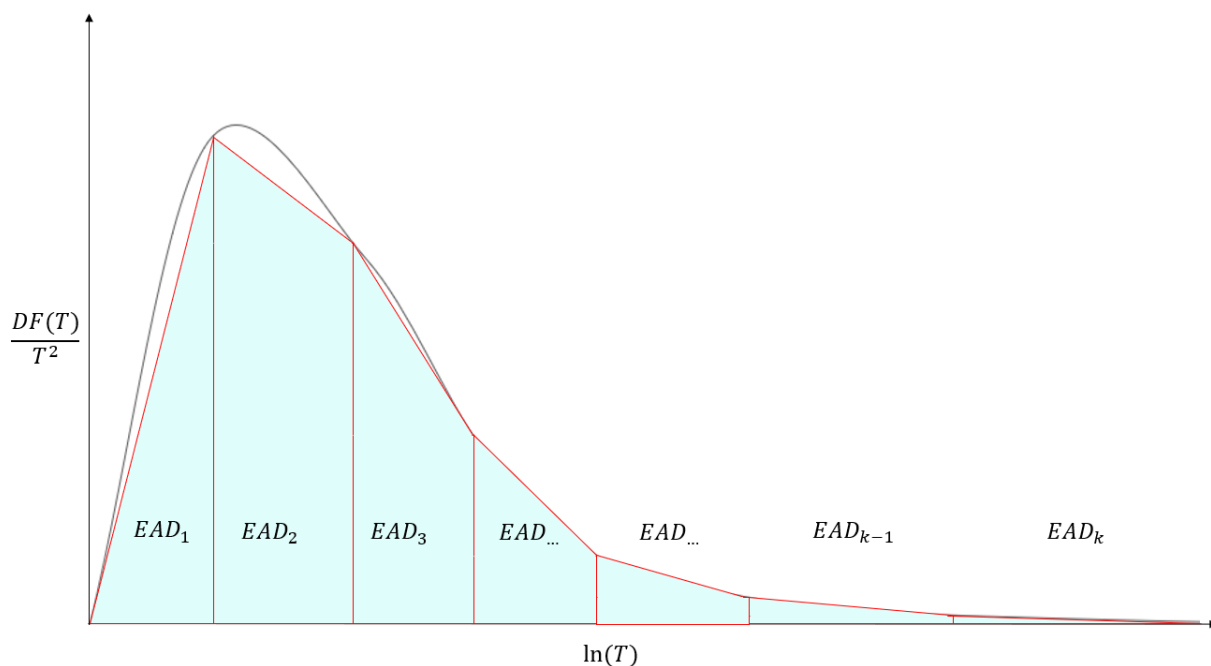
For å beregne forventede årlige skader fra kostnadsmodellens resultater benyttes formel (2) for EAD. Til dette er trapesregelen benyttet, som er en tilnærmingsteknikk fra numerisk analyse, for å løse det bestemte integralet for EAD. Trapesregelen tilnærmer området under grafen for funksjonen $f(x)$ som et trapes og beregner arealet. For varierende skrittlengde, Δx , følger det at:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \sum_{k=1}^N \frac{f(x_{k-1}) + f(x_k)}{2} \Delta x_k \quad (3)$$

Setter vi inn for $f(x)dx$ fra formel (2) i formel (3) følger:

$$\int_a^b f(x)dx = \int_a^b \frac{DF(T)}{T^2} dT \quad (4)$$

$$EAD = \int_a^b \frac{DF(T)}{T^2} dT \approx \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \left(\frac{DF(T_k)}{T_k^2} + \frac{DF(T_{k-1})}{T_{k-1}^2} \right) \Delta T_k \quad (5)$$



Figur 3-14: Visuell fremstilling av formel 5. Tilnærming til beregning av det bestemte integralet for EAD.

Nåverdifaktor eller annuitetsfaktor er en størrelse brukt for omregning av en lang rekke kontantstrømmer til dagens verdi. Tusen kroner neste år er ikke like mye verdt som tusen kroner i dag. Årlige kostnader på tusen kroner kan omregnes til dagens kroner ved å multiplisere terminbeløpet på tusen kroner med en nåverdifaktor. Nåverdifaktoren avhenger av antall terminer og renten som legges til grunn.

Nåverdifaktoren kan beregnes med følgende formel:

$$c = \frac{(1+r)^n - 1}{r * (1+r)^n} \quad (6)$$

hvor,

$c =$ nåverdifaktor

$n =$ antall terminer

$r =$ kalkulasjonsrente

Dersom renten settes til 2 % og beløpet skal betales årlig i 100 år vil nåverdifaktoren bli 43,1. Årlige utbetalinger på tusen kroner i hundre år, vil omregnet til dagens beløp tilsvare 43 100 kroner.

Skadekostnader over en lengre periode kan kalkuleres ved EAD over flere år, eksempelvis 100 år. Formel (7) kommer fra (5) og (6):

$$K_{skade} = c * EAD \quad (7)$$

hvor,

K_{skade} = Skadekostnader for n år

c = nåverdifaktor

EAD = Forventede årlige skadekostnader

I Vedlegg A kan det studeres et beregningseksempel av K_{skade} . Skadekostnadene benyttet i eksempelet er fra simuleringene uten tiltak i case-området, første linje i Tabell 3-6.

Nettonåverdi for en investering i år 0 med årlige kontantstrømmer kan uttrykkes ved formel

$$NNV = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (8)$$

Dersom de årlige kontantstrømmene er konstante, kan formel (8) gjøres om til:

$$NNV = C_0 + c * C \quad (9)$$

hvor,

NNV = Netto nåverdi

C_0 = Investeringsutgift

c = Nåverdifaktor

C = Årlig utgift

Investerings- og årlige kostnader for et overvannstiltak over hele levetiden kan beregnes i dagens kroner fra formel (9). Formelen forutsetter at de årlige utgiftene er konstante.

$$K_{inv} = I_0 + c * D \quad (10)$$

hvor,

K_{inv} = Investerings- og årlige kostnader for tiltak med levetid t

I_0 = Investeringskostnad i år 0

c = Nåverdifaktor

D = Løpende årlige kostnader, ved konstante årlige utgifter

De totale kostnadene ved et overvannstiltak kan beregnes ved å kombinere formel (7) og (10):

$$K_{tot} = K_{skade} + K_{inv} \quad (11)$$

Innsatt for K_{skade} og K_{inv} gir:

$$K_{tot} = c * EAD + I_0 + c * D \quad (12)$$

hvor,

K_{tot} = Totale skade-, investerings- og årlige kostnader

c = Nåverdifaktor

EAD = Forventede årlige skadekostnader

I_0 = Investeringskostnad for overvannstiltak

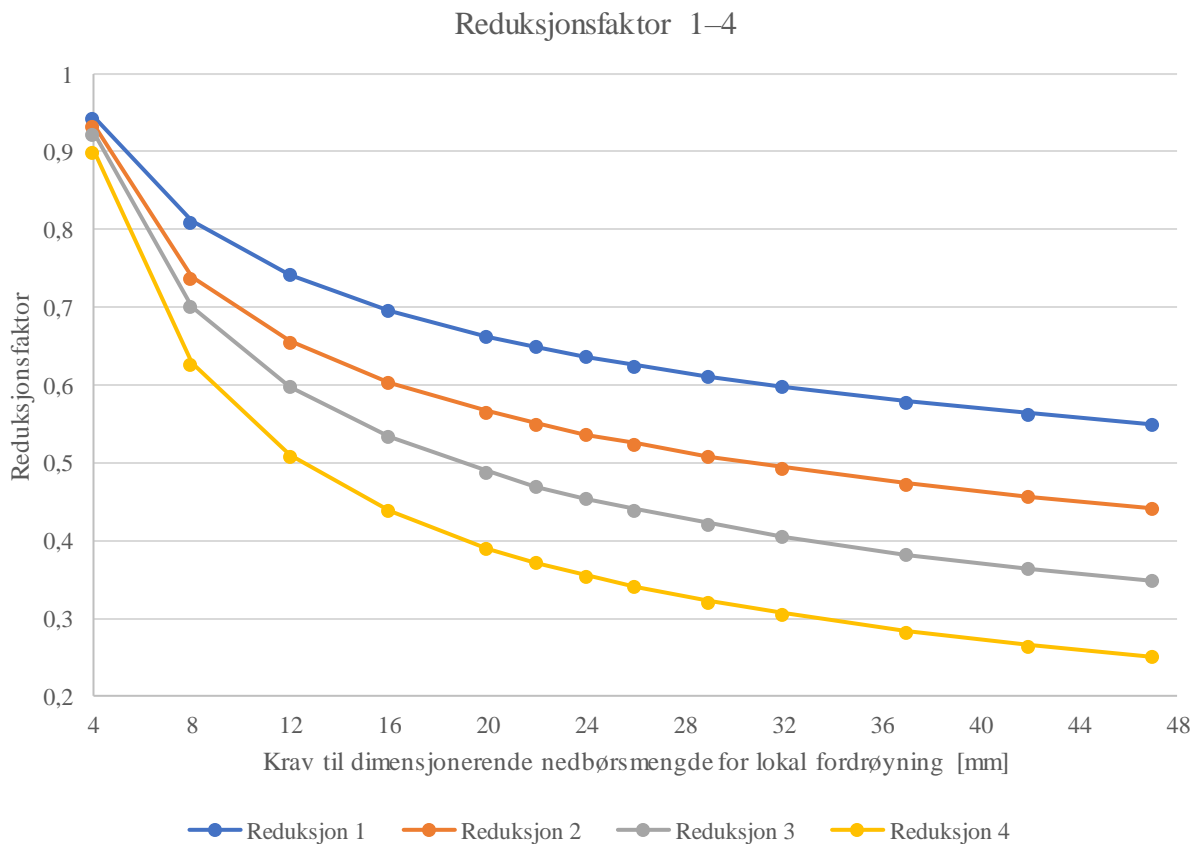
D = Løpende årlige kostnader, ved konstante årlige utgifter

3.7.3 Beregning av ikke-prissatte effekter og andre direkte og indirekte skader

For å kunne sammenligne kostnader i et samfunnsøkonomisk perspektiv må ikke-prissatte effekter kvantifiseres, og skader på annet enn bygninger og inventar må tallfestes. Dette er ingen enkel oppgave og det er knyttet betydelig usikkerhet til metodene. Bjørnsen (2020) kvantifiserte de ikke-prissatte effektene og andre direkte og indirekte skader ved å innføre reduksjons- og påslagsfaktorer. Den samme metodikken er benyttet i denne oppgaven.

Reduksjonsfaktorene i *Figur 3-15* tar høyde for kvantumsrabatter, og forsøker å kvantifisere ikke-prissatte effekter. Noen av disse ikke-prissatte er vist i *Tabell 2-8*. Kvantumsrabbattene er ment som reduksjon i pris ved innkjøp av større kvantum, i tillegg til lavere enhetskostnader for anleggsarbeid og administrasjon. I oppgaven er det benyttet fire ulike reduksjonsfaktorer, som skal

vise hvordan resultatene endrer seg med økende og minkende reduksjon i investerings- og årlige kostnader.

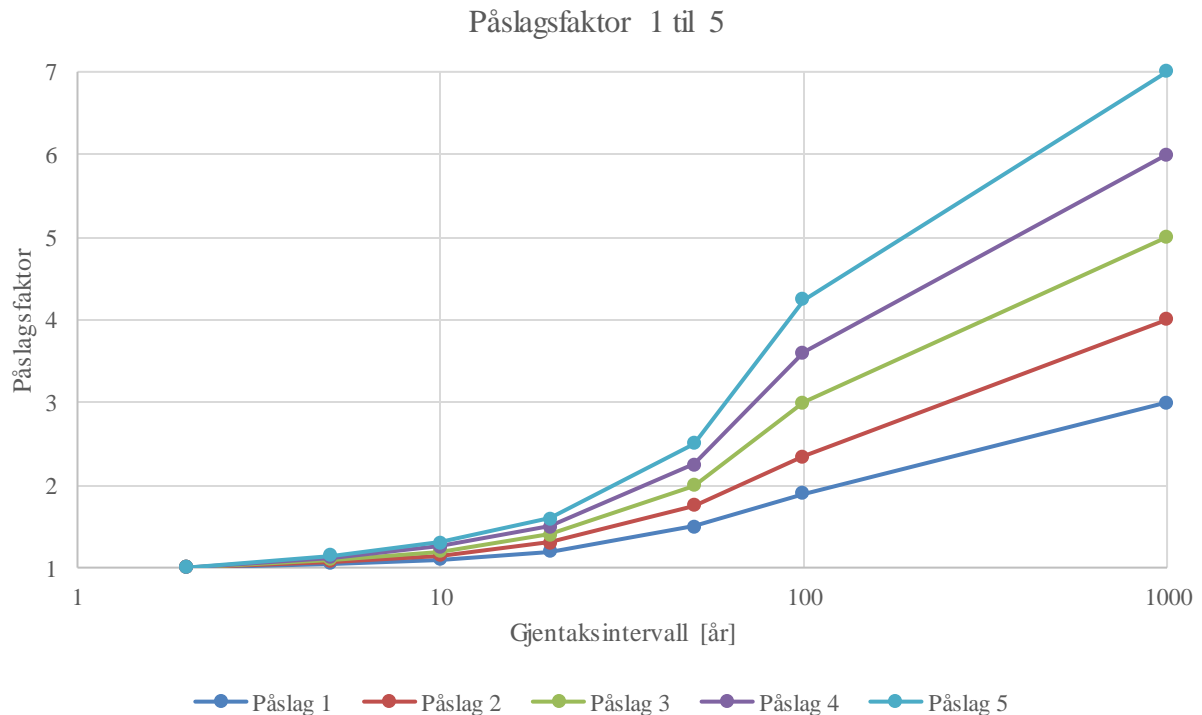


Figur 3-15: Reduksjonsfaktor 1–4. Konstruert med inspirasjon fra Bjørnsen (2020, s. 36)

I denne oppgaven ble det innført fem påslagsfaktorer for å hensynta andre direkte og indirekte skader. Kostnadsmodellen tar kun hensyn til direkte skader på bygninger og innbo, andre direkte og indirekte skader fra overvann som oppsummert i delkapittel 2.5, blir ikke kalkulert. Påslagsfaktorene videreførte de tre største påslagene av Bjørnsen (2020) i tillegg til at to nye ble innført.

Påslagsfaktorene er som vist i Figur 3-16 satt forholdsvis lavt for lave gjentak og høyere for de større nedbørshendelsene. Flommodellen overestimerer ifølge Nordheim (2019) mengden nedbør som renner av ved lave gjentakintervall. Påslagsfaktorene ble derfor satt til ca. 1,0 til 1,3 for disse gjentakene. For større gjentak ble det tatt utgangspunkt i NOU 2015: 16 sitt eksempel for kvantifisering av andre direkte og indirekte skader fra virkelige hendelser, vist i delkapittel 2.5.4. Eksempelet viste at et 100-årsregn grovt sett kan multipliseres med 2,0 til 4,5 for å gi en pekepinn

på hvordan det totale kostnadsbildet ser ut. Med dette utgangspunktet ble påslagsfaktor 1 til 5. 1000-årsregnene ble valgt mer pragmatisk, hvor påslagene ble valgt med varierende økning av 100-årsregnene for de fem faktorene.



Figur 3-16: Påslagsfaktor 1 til 5. Blir benyttet for kvantifisering av indirekte kostnader samt direkte kostnader på annet enn byggverk og innbo. Påslag 1 til 3 konstruert med inspirasjon fra Bjørnsen (2020, s. 34)

Det samfunnsøkonomisk optimale tiltaket for nytte-kostnadsanalysen kommer frem fra beregning av skadekostnader samt investerings- og årlige kostnader fra formel (12), korrigert for påslags- og reduksjonsfaktorene. Endelig formel for sammenligning av tiltak med samfunnsøkonomiske øyne er som følger:

$$K_{tot} = K_{skade} + K_{inv}$$

$$K_{tot} = \left(c * \left(\frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \left(\frac{p_{T_k} * DF(T_k)}{T_k^2} + \frac{p_{T_{k-1}} * DF(T_{k-1})}{T_{k-1}^2} \right) \Delta T_k \right) \right) + r * (I_o + c * D) \quad (13)$$

hvor,

K_{tot} = Totale skade-, investerings- og årlige kostnader

$c = \text{Nåverdifaktor}$

$p_{T_k} = \text{påslagsfaktor for gjentaksintervall } T$

$DF(T_k) = \text{Skadekostnad for hendelse med gjentaksintervall } T_k$

$T_k = \text{Gjentaksintervall for nedbørshendelse}$

$r = \text{reduksjonsfaktor}$

$I_0 = \text{Investeringskostnad for overvannstiltak}$

$D = \text{Løpende årlige kostnader}$

Tiltaket med de laveste totale kostnadene beregnet fra formel (13) er det samfunnsøkonomisk optimale tiltaket. Hvilket tiltak som er optimalt kan variere med varierende påslagsfaktor, reduksjonsfaktor, investeringskostnad og årlige kostnader.

3.7.4 Investerings- og årlige kostnader

Kostnader ved tiltak for overvannshåndtering spriker, som beskrevet i delkapittel 2.5.1 De fleste investeringskostnadene, for det lavere sjiktet, ligger i intervallet 500–4000 kr, og årlige kostnader i intervallet 10–50 kr/m³. For å hensynta usikkerheten ved disse verdiene velges fem ulike investeringskostnader og tre ulike årlige kostnader. Disse er listet opp i *Tabell 3-15*.

Tabell 3-15: Investerings- og årlige kostnader benyttet i den samfunnsøkonomiske analysen.

Investeringskostnader				
500 kr/m ³	1000 kr/m ³	2000 kr/m ³	3000 kr/m ³	4000 kr/m ³
Årlige kostnader				
10 kr/m ³		25 kr/m ³		50 kr/m ³

3.7.5 Antall kombinasjoner

De ulike påslags- og reduksjonsfaktorene, investeringskostnadene og årlige kostnadene utgjør en rekke ulike kombinasjoner. Det totale antallet ulike måter disse kan kombineres på er 300, følger av fem påslagsfaktorer, fire reduksjonsfaktorer, fem investeringskostnader og tre ulike årlige kostnader. I kapittel 4 vil flere figurer representere det totale utvalget på $n = 300$.

4 Resultater og diskusjon

I dette kapitlet presenteres og diskuteres resultatene fra totalt 305 simuleringer. Det er de bearbejdede resultatene som presenteres i kapitlet. Rådataen fra kostnadsmodellen kan studeres i *Vedlegg B*.

Delkapittel 4.1 presenterer først resultatene fra evalueringen av dagens krav til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning før optimal tiltaksstørrelse for case-området blir vist. Hvilken påvirkning investeringskostnadene, de årlige kostnadene, påslagsfaktorene og reduksjonsfaktorene har på resultatene, analyseres så i følsomhetsanalyser i slutten av delkapitlet.

Delkapittel 4.2 forsøker å svare ut forskningsspørsmål 2 ved å sammenligne kostnadene for alternativ 0, samme krav til lokal fordrøyning i hele case-området, med de ulike metodene for differensiering i alternativ 1 til 5. Først sammenlignes 0-alternativet med alternativ 3 til 5 ved en total fordrøyning på 24 mm, før de mest lønnsomme alternativene analyseres for ulike tiltaksstørrelser. Detaljerte resultater fra de fem alternativene presenteres senere i delkapitlet.

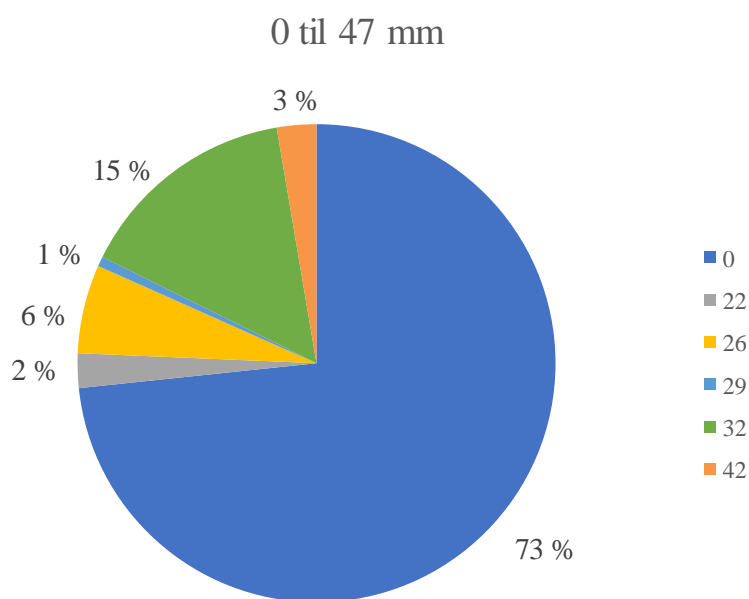
I delkapittel 4.3 blir usikkerhetsmomentene ved metoden diskutert og rangert. Flommodellen og kostnadsmodellen ble antatt å være gode nok representasjoner av virkeligheten, men usikkerhetene ved disse vil bli diskutert for at resultatene skal kunne tolkes i lys av de unøyaktigheter som er ved metoden.

I siste delkapittel sammenlignes oppgaven med lignende arbeid.

4.1 Evaluering av dagens krav til dimensjonerende nedbør

Spørsmål 1: Kan dagens krav til dimensjonerende nedbør for trinn 2 forsvares ut ifra et samfunnsøkonomisk perspektiv?

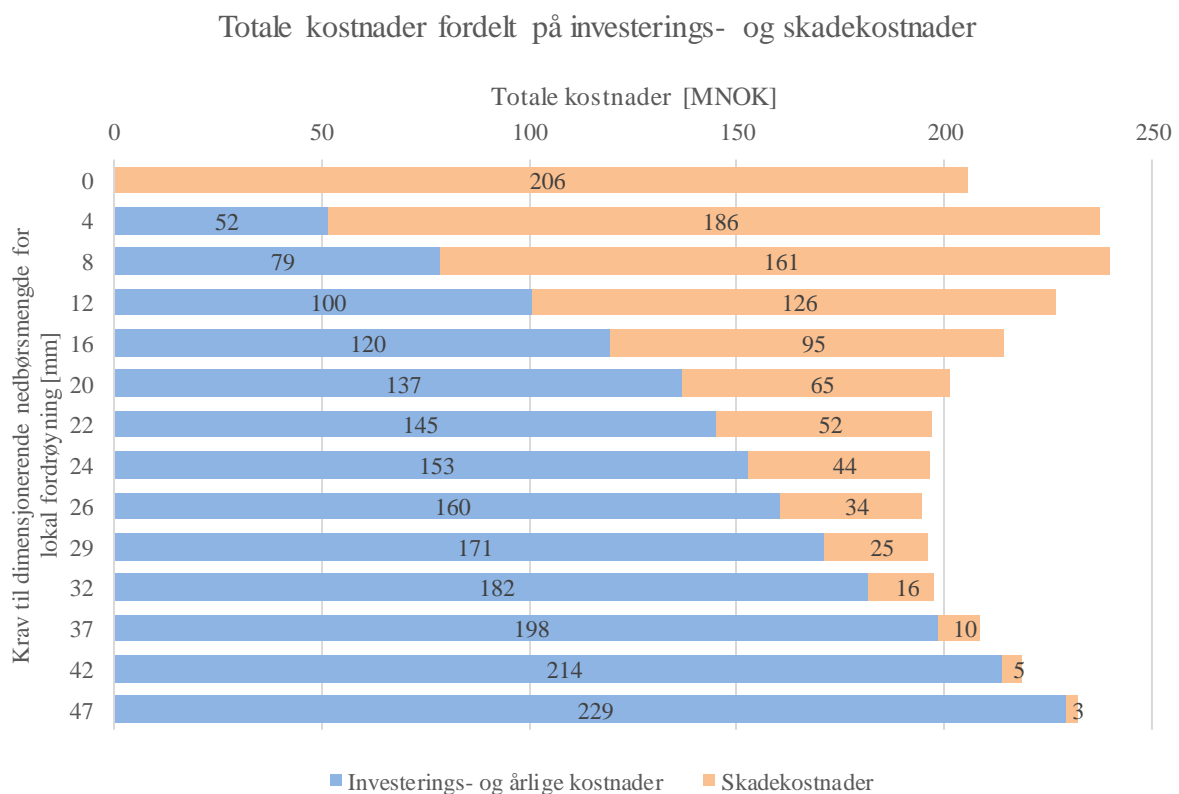
Ifølge *Figur 4-1* lønner det seg **ikke** å etablere tiltak i case-området i 73 % av utfallene av den samfunnsøkonomiske analysen. Figuren oppsummerer hvilke tiltak som lønner seg for hver av de 300 mulige kombinasjonene av investeringskostnader, årlige kostnader og påslags- og reduksjonsfaktorer. Av de simulerte tiltakene fra 0 til 47 mm er det kun seks alternativer som har lønnsomme kombinasjoner. Alle de anbefalte tiltakene større enn 0 mm ligger i intervallet 22 til 42 mm. I likhet med denne analysen, endte en stor andel (48 %) av kombinasjonene Bjørnsen (2020) studerte ut med at det ikke lønner seg med tiltak i case-området.



Figur 4-1: Prosentmessig fordeling av krav til dimensjonerende nedbørsmengde for lokal fordrøyning på 0 til 47 mm for alle de 300 kombinasjonene av investeringskostnader, årlige kostnader, påslagsfaktorer og reduksjonsfaktorer.

Kravet som stilles til case-området er 25-års gjentaksintervall, tilsvarende 49 mm. Det største tiltaket som anbefales er ifølge *Figur 4-1* på 42 mm, tilsvarende 10-års gjentaket. Resultatene antyder at dagens krav til dimensjonering **ikke** er samfunnsøkonomisk lønnsomt for dette feltet. Det skyldes at skadekostnadene blir såpass lave at det som spares inn av skadekostnader ved økte tiltaksstørrelser ikke kan forsvares av de økte investeringskostnadene.

Utfallet i *Figur 4-2* viser at en økning i tiltaksstørrelse fra 42 til 47 mm medfører 2 MNOK i reduserte skadekostnader, men på bekostning av at investeringskostnadene økes med 15 MNOK. Figuren viser én av de 300 kombinasjonene. For dette utfallet er det ikke samfunnsøkonomisk lønnsomt med større eller mindre tiltak enn 26 mm. For andre kombinasjoner av investeringskostnader, årlige kostnader, påslagsfaktorer og reduksjonsfaktorer flytter anbefalt tiltaksstørrelse seg til 0 mm eller intervallet 22 til 42 mm, jmfør *Figur 4-1*. Dimensjonering av 47 mm-tiltaket eller større, fører til minimering av skadekostnadene, men de vil ikke være samfunnsøkonomisk lønnsomme for noen av de analyserte scenarioene.



Figur 4-2: Fordeling av de totale kostnadene på skadekostnader, og investerings- og årlige kostnader, hvor investeringskostnader: 1000 kr/m³, årlige kostnader: 25 kr/m³, påslagsfaktor: 3, reduksjonsfaktor: 3.

Samfunnsøkonomisk sett, vil det lønne seg for dette feltet med den økte risikoen ved å ikke innføre tiltak eller innføre mindre tiltak, sammenlignet mot dagens krav til dimensjonerende nedbør. Resultatene viser at selv ved ytterpunktene med de laveste investeringskostnadene, årlige kostnadene og ved de største reduksjons- og påslagsfaktorene, lønner det seg ikke med større tiltak enn 42 mm. Bjørnsen (2020) konkluderte med at metodikken har høy overførbarhet til andre områder og det anbefales derfor å undersøke om samme resultater viser seg for andre felt.

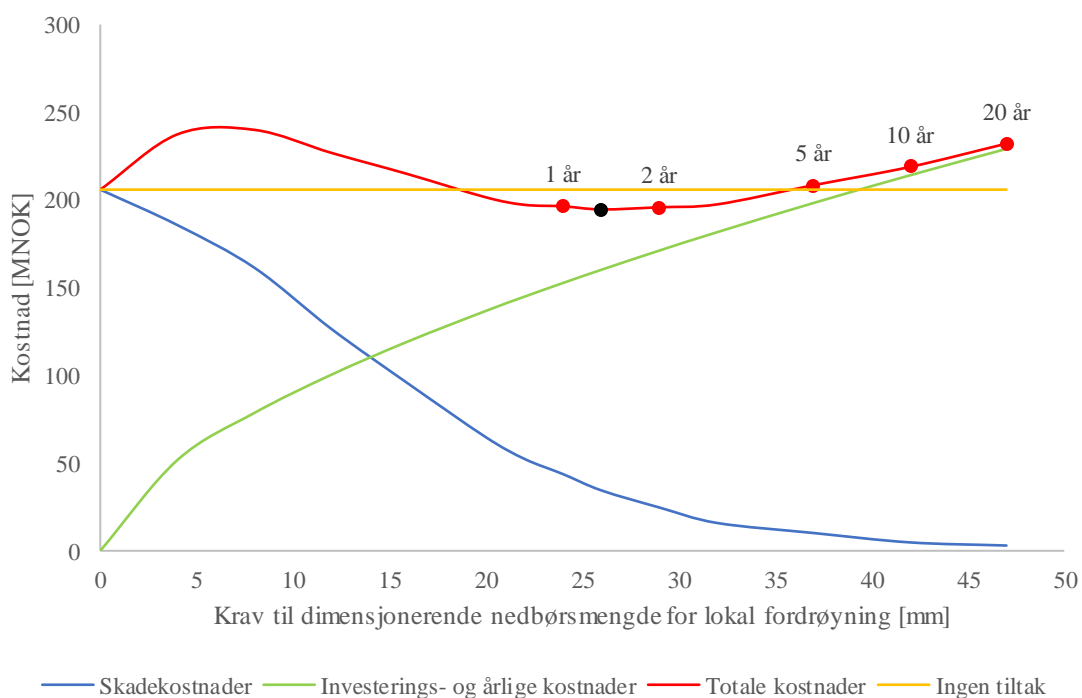
Hvem som skal stå for de økte kostnadene er en viktig faktor som også burde vurderes dersom det viser seg at kravene til lokal fordrøyning settes ned. En samfunnsøkonomisk analyse viser totalen for samfunnet, men det betyr ikke nødvendigvis at alle aktørene i samfunnet kommer godt ut. Ved høyere krav må utbygger og kunde betale høyere summe for etablering og drift av tiltak. Dersom tiltaksstørrelsen reduseres, og det er aksept for høyere skadekostnader vil forsikringsselskaper og eiere av bolig uten forsikring, få økte utbetalinger. Det anbefales derfor en interessentanalyse i videre arbeid med evaluering av kravene til lokal fordrøyning.

4.1.1 Kostnadskurven

De totale kostnadene følger en S-kurve, noe som innebærer at anbefalt tiltak ender på 0 mm eller intervallet 22 til 42 mm. *Figur 4-3* viser et eksempel på én av de 300 kombinasjonene av ulike parametere. Grafen for totale kostnader er summen av skadekostnadene og investeringskostnadene. S-formen kommer av at investeringskostnadene følger en tilnærmet lineær linje, mens skadekostnadskurven er avtagende.

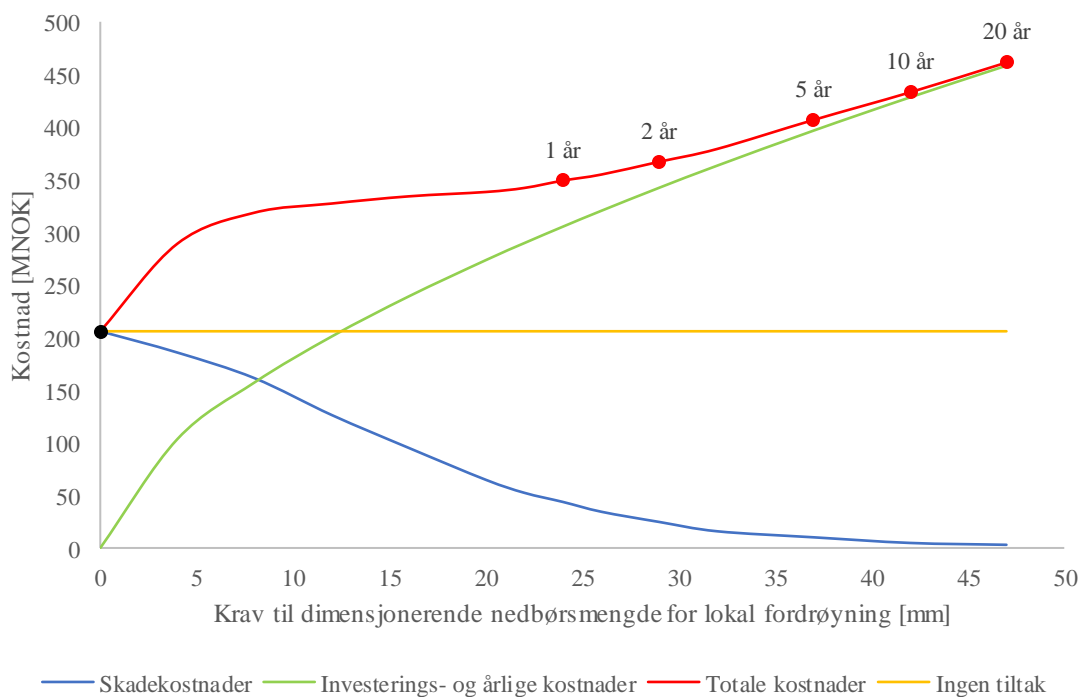
Utfall hvor investeringskostnadene er høye eller skadekostnadene lave, gir kurver hvor bunnpunktet er i begynnelsen av grafen og andre tiltak aldri vil lønne seg, som *Figur 4-4*. Variasjonen mellom alternativene er store og skyldes usikkerheten ved blant annet investeringskostnadene. De laveste investeringskostnadene er lik 500 kr/m³ og de årlige kostnadene lik 10 kr/m³, noe som gir totale investeringskostnader for 24 mm-tiltaket på 92,5 millioner kroner. På andre siden av skalaen med investeringskostnader lik 4000 kr/m³ og årlige kostnader lik 50 kr/m³, er de totale investeringskostnadene over 100 år på 611,4 millioner kroner. De dyreste tiltakene er hele 660 % dyrere enn de billigste.

Kostnadskurver 0 til 47 mm



Figur 4-3: Kostnadskurver for krav til lokal fordrøyning på 0 til 47 mm. Samfunnsøkonomisk optimal tiltaksstørrelse markert med sort indikator. Investeringskostnader: 1000 kr/m³, årlige kostnader: 25 kr/m³, påslag: 3, reduksjon: 3.

Kostnadskurver 0 til 47 mm

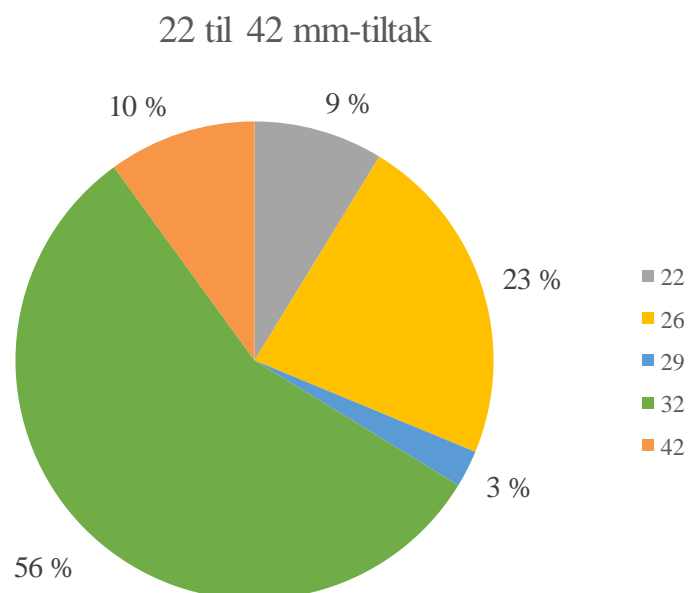


Figur 4-4: Kostnadskurver for krav til lokal fordrøyning på 0 til 47 mm. Samfunnsøkonomisk optimal tiltaksstørrelse markert med sort indikator. Investeringskostnader: 2000 kr/m³, årlige kostnader: 50 kr/m³, påslag: 3, reduksjon: 3.

4.1.2 Anbefalt tiltaksstørrelse større enn 0 mm

Kjennetegnet ved de 73 % av utfallene i *Figur 4-1*, som anbefaler at det ikke innføres tiltak i case-området, er at investeringskostnadene er høyere enn skadekostnadene. 0 mm er mest lønnsomt hvor påslags- og reduksjonsfaktorene er lave, og tiltakskostnadene er dyre. For at det skal lønne seg å etablere tiltak, må tiltakskostnadene reduseres eller skadekostnadene økes. Eksempelet av NOU 2015: 16 viste at det kreves påslag opp mot 4,5-gangen for at alle kostnadene skal være hensyntatt. Hvilke påslag og reduksjoner som er mest realistiske er et komplisert spørsmål, da det er vanskelig å kvantifisere indirekte kostnader og ikke-prissatte effekter. Det samme gjelder investeringskostnadene og de årlige kostnadene, for eksempel er verdiene fra Magnussen et al. (2015) og Hernes (2018) i delkapittel 2.5.1 sprikende. For at det skal lønne seg å etablere tiltak må det antas at tiltakskostnadene kan holdes nede.

Av tiltakene større enn 0 mm, anbefales det i flest kombinasjoner å etablere 32 mm-tiltaket i case-området. I *Figur 4-5* er det lagt til grunn at tiltakskostnadene holdes lave, og at det lønner seg med etablering av overvannstiltak. Figuren benytter de samme resultatene som *Figur 4-1*, men «ingen tiltak» er fjernet. Median av anbefalte tiltak i *Figur 4-5* er 32 mm. Sammenlignet mot 25-års gjentaket på 49 mm er disse resultatene lavere. Resultatene antyder at det overdimensjoneres i case-området med dagens dimensjoneringspraksis.



Figur 4-5: Prosentmessig fordeling av krav til dimensjonerende nedbørmengde for lokal fordrøyning, større enn 0 mm.

4.1.2.1 Påvirkning på utbygger

Tabell 4-1 viser at forskjellen på dagens dimensjoneringspraksis og anbefalt tiltaksstørrelse fra forrige delkapittel, kan bety en differanse på ca. 185 000 kroner per hektar i investeringskostnader for utbygger. Nødvendig fordrøyningsvolum er beregnet med regnenvelopmetoden for dagens krav i Bærum kommune på 25 år, mot median av anbefalte tiltaksstørrelser i Figur 4-5 som tilsvarer 2,8 år lokalt. Forutsetningene for beregningene er listet opp i Tabell 4-2. Differansen i investeringskostnader er beregnet med og uten påslipp til kommunalt nett. Bærum kommune (2017) sine veiledende verdier for påslipp er 20–30 l/(s*ha). Ved investeringskostnader på 2000 kr/m³ vil en endring av dimensjonerende nedbør bety 87 000 til 185 000 kroner per hektar lavere kostnader for utbygger.

Tabell 4-1: Sammenligning av påvirkning på utbygger ved dagens krav til lokal fordrøyningsvolum mot median av anbefalte tiltaksstørrelser fra Figur 4-5, ved investeringskostnader = 2000 kr/m³.

Krav til trinn 2		Nødvendig volum per areal* [m ³ /ha]	Nødvendig volum per areal** [m ³ /ha]
Dagens krav	25 år (49 mm)	452	138
Optimal tiltaksstørrelse fra Figur 4-5	2,8 år (32 mm)	340	86
Differanse i investeringskostnader		151 MNOK totalt 185 000 per hektar	70 MNOK totalt 87 000 per hektar

*) Tillat påslipp til offentlig ledningsnett lik 0 l/(s*ha)

***) Tillat påslipp til offentlig ledningsnett lik snittet av veiledende verdier i Bærum kommune: 25 l/(s*ha).

Tabell 4-2: Forutsetninger for beregning av nødvendig fordrøyningsvolum.

Forutsetninger	
Nedbørstasjon	Øvrevoll
Areal	808 ha
Midlere avrenningskoeffisient	0,6
Konsentrasjonstid	180 min
Klimafaktor	1,3
Påslipp	0 / 25 l/(s*ha)

4.1.3 Følsomhetsanalyse av krav til dimensjonerende nedbør på 0 til 47 mm

Tabell 4-3 til Tabell 4-6 viser følsomhetsanalyser av anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på påslagsfaktorer, reduksjonsfaktorer, investeringskostnader og årlige kostnader. Følsomhetsanalysene avdekker at det er store sprik i anbefaling av tiltak ved endringer i de ulike parameterne. For at det skal lønne seg med tiltak i case-området viser resultatene at investerings- og årlige kostnader må være lave, påslagene på skadekostnadene bør være høye og investeringskostnadene bør tillegges høye reduksjonsfaktorer.

Samfunnsøkonomisk lønnsomhet for etablering av tiltak endres ifølge Tabell 4-3 og Tabell 4-4 betydelig ved økning i investeringskostnader og årlige kostnader. Økning i investeringskostnader fra 500 kr/m³ til 4000 kr/m³, fører til anbefaling av tiltak større enn 0 mm endres fra 68 % til at ingen utfall er samfunnsøkonomisk lønnsomme. Endring i årlige kostnader fra 10 kr/m³ til 50 kr/m³ medfører en nedgang fra 45 til 6 %. Det betyr at spørsmålet om det skal etableres tiltak eller ikke, er helt avhengig av størrelsen på tiltakskostnadene. For at det skal lønne seg å etablere tiltak tyder resultatene på at investeringskostnadene må ned mot 500-1000 kr/m³, og de årlige kostnadene helst lavere enn 10 kr/m³.

Tabell 4-3: Anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på investeringskostnadene.

Investering /tiltak	0 mm	22 mm	26 mm	29 mm	32 mm	42 mm
500 kr/m ³	32 %	5 %	15 %	2 %	36 %	10 %
1000 kr/m ³	50 %	7 %	12 %	2 %	26 %	3 %
2000 kr/m ³	87 %	-	-	3 %	10 %	-
3000 kr/m ³	98 %	-	-	2 %	-	-
4000 kr/m ³	100 %	-	-	-	-	-

Tabell 4-4: Anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på de årlige kostnadene.

Årlig kostnad/tiltak	0 mm	22 mm	26 mm	29 mm	32 mm	42 mm
10 kr/m ³	55 %	4 %	8 %	2 %	24 %	7 %
25 kr/m ³	66 %	3 %	9 %	-	20 %	2 %
50 kr/m ³	94 %	-	1 %	-	5 %	-

Påslagsfaktorene varierer ifølge *Tabell 4-5* fra 17 til 37 % anbefalte krav til dimensjonerende nedbør større enn 0 mm. Til tross for at skadekostnadene multipliseres med ganske høye påslag, er det overvekt av utfallene som ikke anbefaler etablering av overvannstiltak. Tilsvarende tendens viser *Tabell 4-6* for reduksjonsfaktorene. Ved større reduksjon i tiltakskostnad anbefales det naturlig nok større tiltak. For reduksjonsfaktor 1 anbefales det ikke tiltak i 85 % av tilfellene, mens for reduksjonsfaktor 4 er andelen nede i 57 %. Det er dog fortsatt overvekt av utfall som ikke anbefaler etablering.

Hvilke påslag og reduksjoner som er mest realistiske er vanskelig å konkludere med, men det resultatene viser er at disse må være høye for at det skal lønne seg å etablere tiltak. I videre arbeid anbefales det derfor å analysere hvilke påslag og reduksjoner som er mest representative for virkeligheten.

Tabell 4-5: Anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på påslagsfaktorene.

Påslag /tiltak	0 mm	22 mm	26 mm	29 mm	32 mm	42 mm
1	83 %	3 %	7 %	-	7 %	-
2	80 %	3 %	5 %	2 %	8 %	2 %
3	73 %	3 %	5 %	2 %	15 %	2 %
4	66 %	2 %	7 %	-	22 %	3 %
5	63 %	-	7 %	-	23 %	7 %

Tabell 4-6: Anbefalt krav til dimensjonerende nedbør fordelt på reduksjonsfaktorene.

Reduksjon/tiltak	0 mm	22 mm	26 mm	29 mm	32 mm	42 mm
1	85 %	4 %	7 %	1 %	3 %	-
2	79 %	5 %	7 %	-	9 %	-
3	72 %	-	8 %	1 %	18 %	1 %
4	57 %	-	3 %	-	31 %	9 %

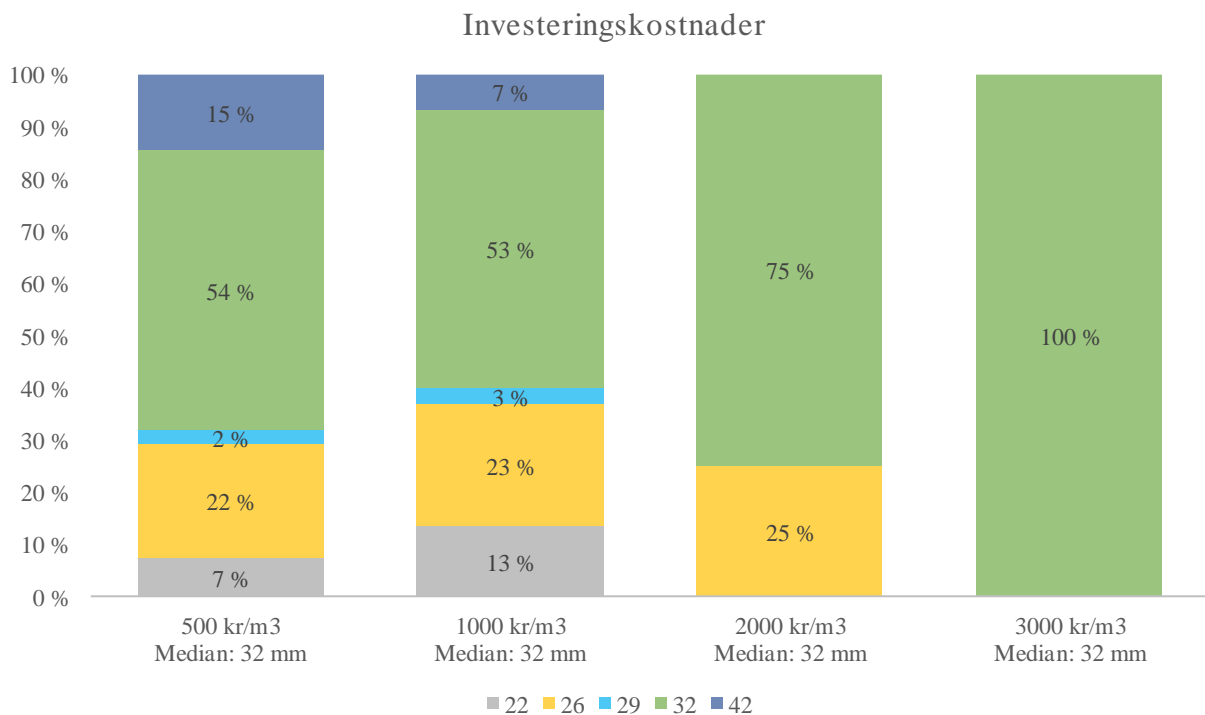
4.1.4 Følsomhetsanalyse av krav til dimensjonerende nedbør på 22 til 42 mm

4.1.4.1 Investerings- og årlige kostnader

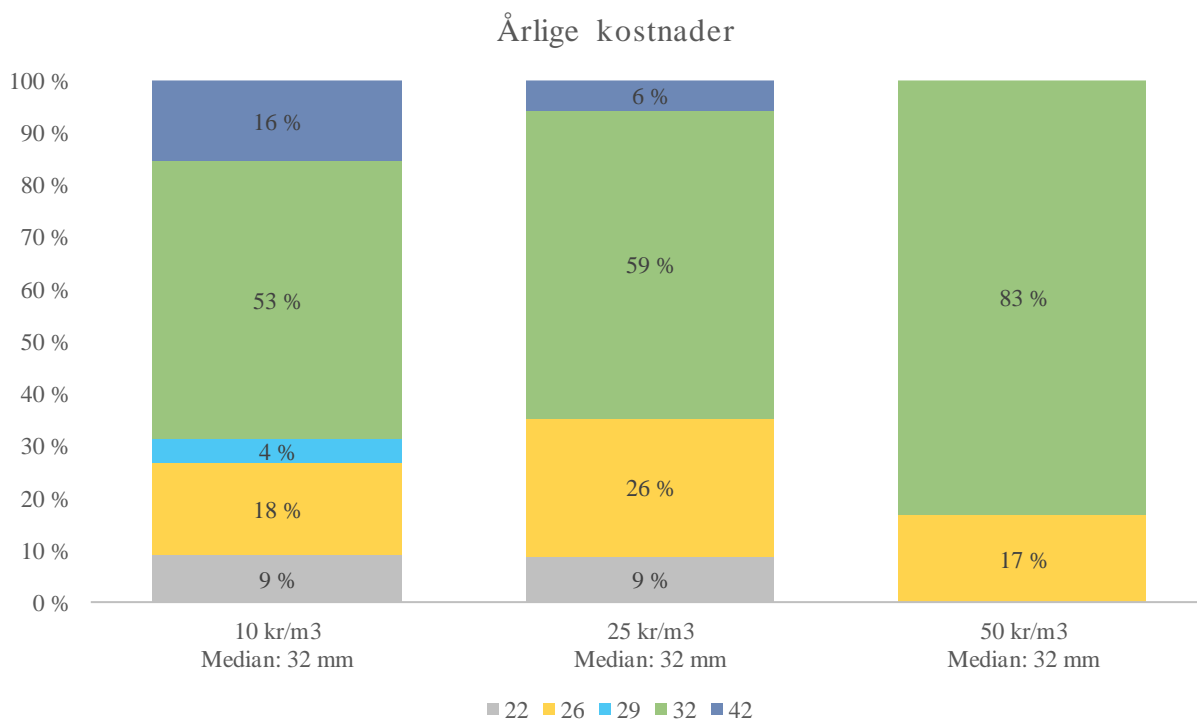
I *Figur 4-6* til *Figur 4-9* er 0 mm fjernet for å vise variasjonen i anbefalt krav til dimensjonerende nedbør for scenarioene hvor det lønner seg å etablere tiltak. Resultatene må ses i sammenheng med *Tabell 4-3* til *Tabell 4-6* ettersom fordelingen i prosent for hver parameter kan være på bakgrunn

av få anbefalte tiltak. For eksempel viser 3000 kr/m³ i *Figur 4-6* at 100 % av utfallene anbefaler etablering av tiltak på 32 mm, men det er kun én lønnsom kombinasjon som ligger bak resultatet.

Median tiltaksstørrelse er ifølge *Figur 4-6* og *Figur 4-7* på 32 mm for alle investeringskostnader og årlige kostnader. Disse resultatene taler for at anbefalt tiltaksstørrelse ikke er følsom for endringer i disse to parameterne. Anbefalt tiltaksstørrelse varierer fra større tiltak ved lave kostnader til mindre tiltak ved dyrere investerings- og årlige kostnader, men median er lik for alle. Det største anbefalte tiltaket på 42 mm er kun lønnsomt ved de to billigste investeringskostnadene og de to billigste årlige kostnadene. Tiltaket som blir anbefalt oftest, 32 mm, varierer fra 53 til 100 % lønnsomme kombinasjoner.



Figur 4-6: Følsomhetsanalyse av investeringskostnadenes påvirkning på anbefalt tiltaksstørrelse mellom 22 og 42 mm. Merk at investeringskostnader på 4000 kr/m³ er fjernet da det ikke var noen kombinasjoner som anbefalte tiltak.



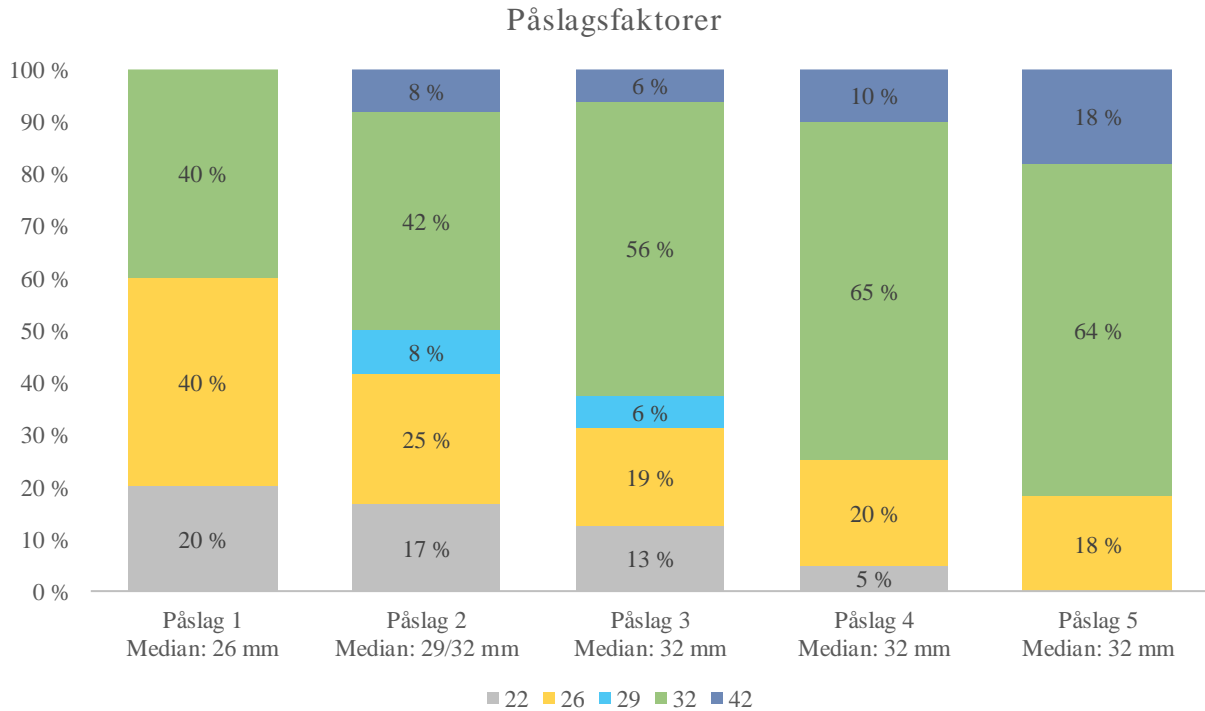
Figur 4-7: Følsomhetsanalyse av de årlige kostnadenes påvirkning på anbefalt tiltaksstørrelse mellom 22 og 42 mm.

4.1.4.2 Påslags- og reduksjonsfaktorene

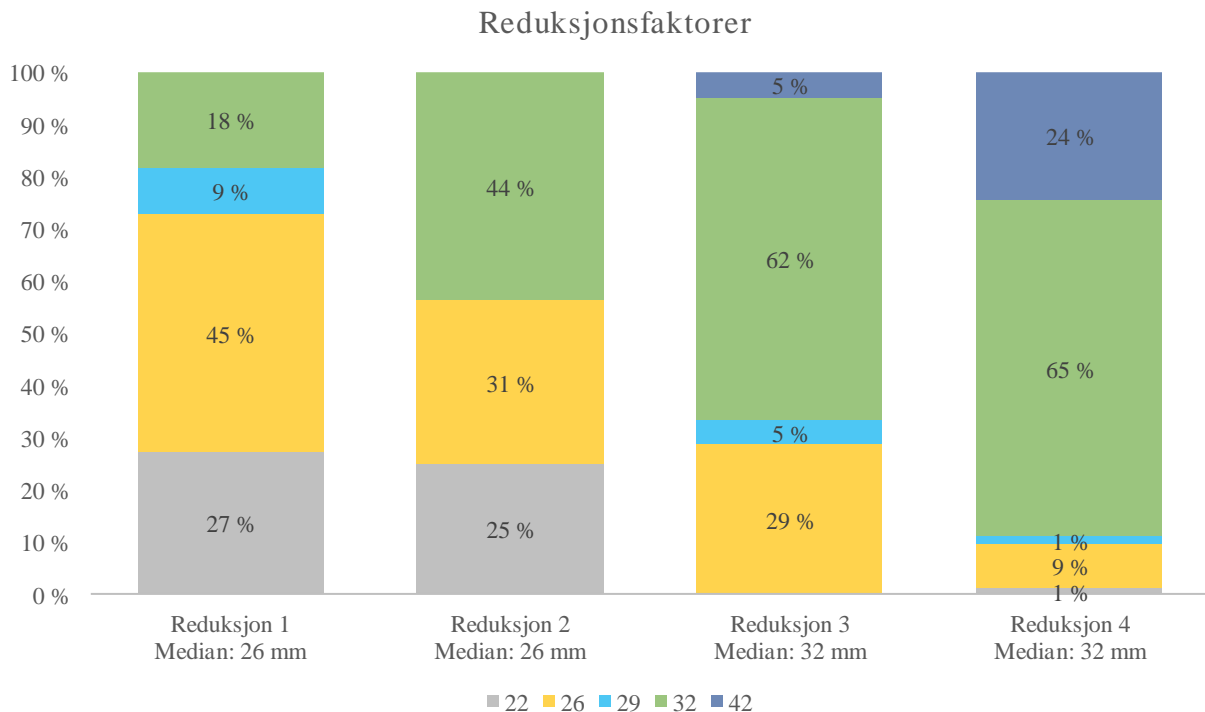
Påslags- og reduksjonsfaktorene følger den samme trenden hvor de laveste påslagene og reduksjonene viser høyest lønnsomhet for de mindre tiltakene og motsatt. Median varierer fra 26 til 32 mm. Hvilket tiltak som anbefales er hele tiden en vurdering av det totale kostnadsbildet. Når investeringskostnadene blir redusert eller skadekostnadene økt vil større tiltak være mer samfunnsøkonomisk lønnsomme. Naturlig at det kreves større tiltak for å demme opp mot de økte skadekostnadene. Med unntak av påslag 1 og reduksjon 1 har 32 mm flest lønnsomme kombinasjoner.

Påslagene og reduksjonene er til dels følsomme for endringer. Median anbefaling ligger mellom 26 og 32 mm for alle parameterne. Tyder på at det er mest samfunnsøkonomisk lønnsomt å sette krav til lokal fordrøyning i dette intervallet dersom det skal etableres tiltak. Minner om at et klart overtall av kombinasjoner ikke anbefaler tiltak.

Det ble testet for enda større påslag, men disse ble ekskludert da de ikke kunne forankres i litteratur. Resultatene endret seg dog ikke for anbefalt tiltaksstørrelse ved de de økte påslagene som ble testet. Kan tyde på at resultatene ikke er altfor følsomme for endringer i påslagsfaktorene.



Figur 4-8: Følsomhetsanalyse av påslagsfaktorenes påvirkning på anbefalt tiltaksstørrelse mellom 22 og 42 mm.

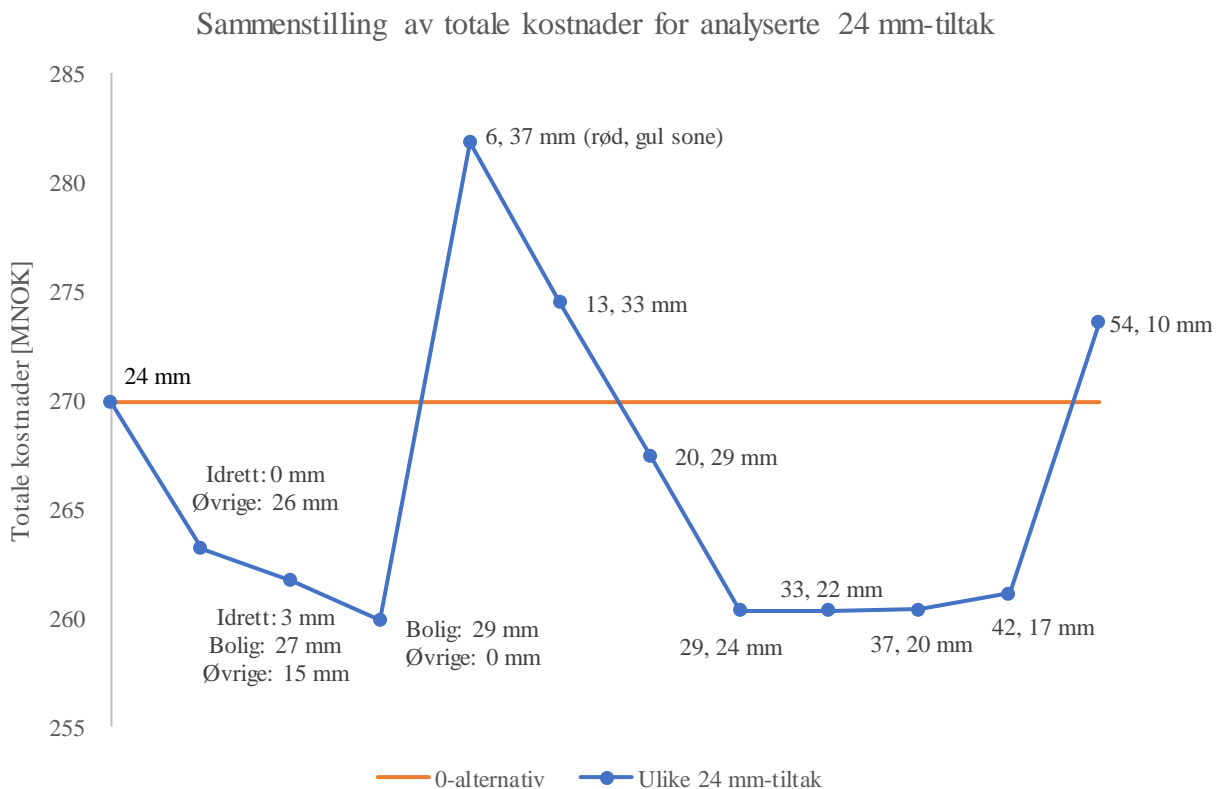


Figur 4-9: Følsomhetsanalyse av reduksjonsfaktorenes påvirkning på anbefalt tiltaksstørrelse mellom 22 og 42 mm.

4.2 Sammenligning av 0-alternativet med differensierte krav

Spørsmål 2: Hvordan påvirkes lønnsomheten i case-området når krav til trinn 2 differensieres med hensyn til arealformål og avrenningslinjer?

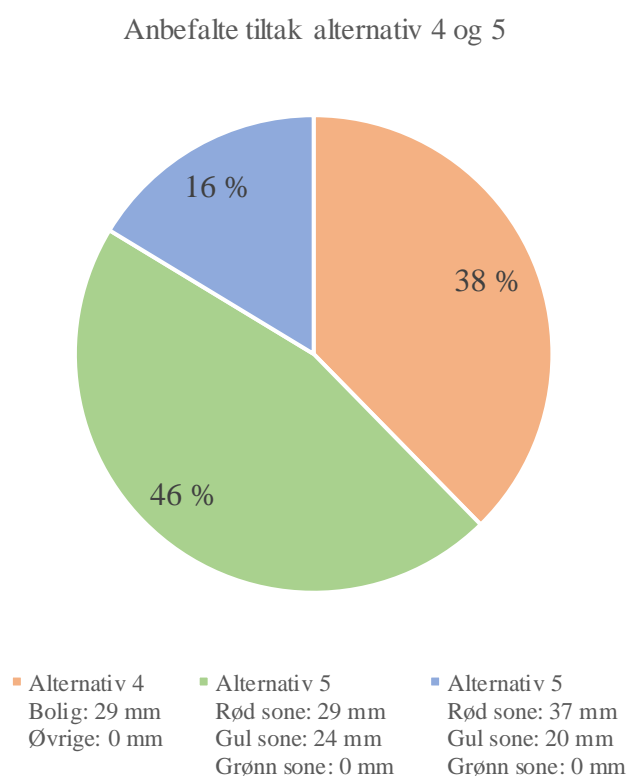
Differensiering av kravene til lokal fordrøyning kan ifølge *Figur 4-10* føre til besparelser i case-området på flere millioner kroner. Figuren viser totale kostnader for alternativ 3, 4 og 5 sammenlignet med 0-alternativet, for total fordrøyning på 24 mm. De differensierte alternativene i figuren er fra venstre til høyre: alternativ 3 (arealformål) og alternativ 4 (kun tiltak i boligområdene) etterfulgt av alternativ 5 (avrenningslinjer). Alternativene under den oransje grafen er mer samfunnsøkonomisk lønnsomme enn 0-alternativet. De åtte metodene som ligger under grafen taler for at det er mulig å oppnå besparelser i case-området, dersom kravene til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning differensieres etter arealformålene i Bærum kommunes arealplan eller differensieres etter avrenningslinjene i feltet.



Figur 4-10: Totale kostnader for alternativ 0, 3, 4 og 5 ved total fordrøyning lik 24 mm. Investeringskostnad: 2000 kr/m³, årlige kostnader: 25 kr/m³, påslagsfaktor 3, reduksjonsfaktor 2.

For de 300 utfallene av ulike kombinasjoner av parametere er det kun tre av de åtte alternativene under grafen som har lønnsomme kombinasjoner. *Figur 4-11* viser disse tre. Alternativ 4 med tiltak kun i boligområdene er mest lønnsomt i 38 % av utfallene. Alternativ 5 med 29 mm-tiltak i skadeutsatt sone og 24 mm i områdene rundt kommer best ut i 46 %, og fordelingen 37/20 mm i rød/gul sone er mest lønnsomt i 16 %.

Følsomhetsanalyser ble testet for resultatene av de tre metodene i *Figur 4-11*, men differansen i kostnader dem imellom er under en prosent. Forskjellen i resultatene i løpet av analyseperioden på 100 år, er altså ikke signifikante selv ved signifikansnivå på 0,01. Eventuelle trender i resultatene er dermed mindre enn usikkerhetene, og det er ikke mulig å konkludere med hvilket tiltak som er det mest optimale. I videre analyser av alternativ 5 er fordelingen «29, 24 mm» valgt, men optimal fordeling innenfor alternativet kan være en annen.

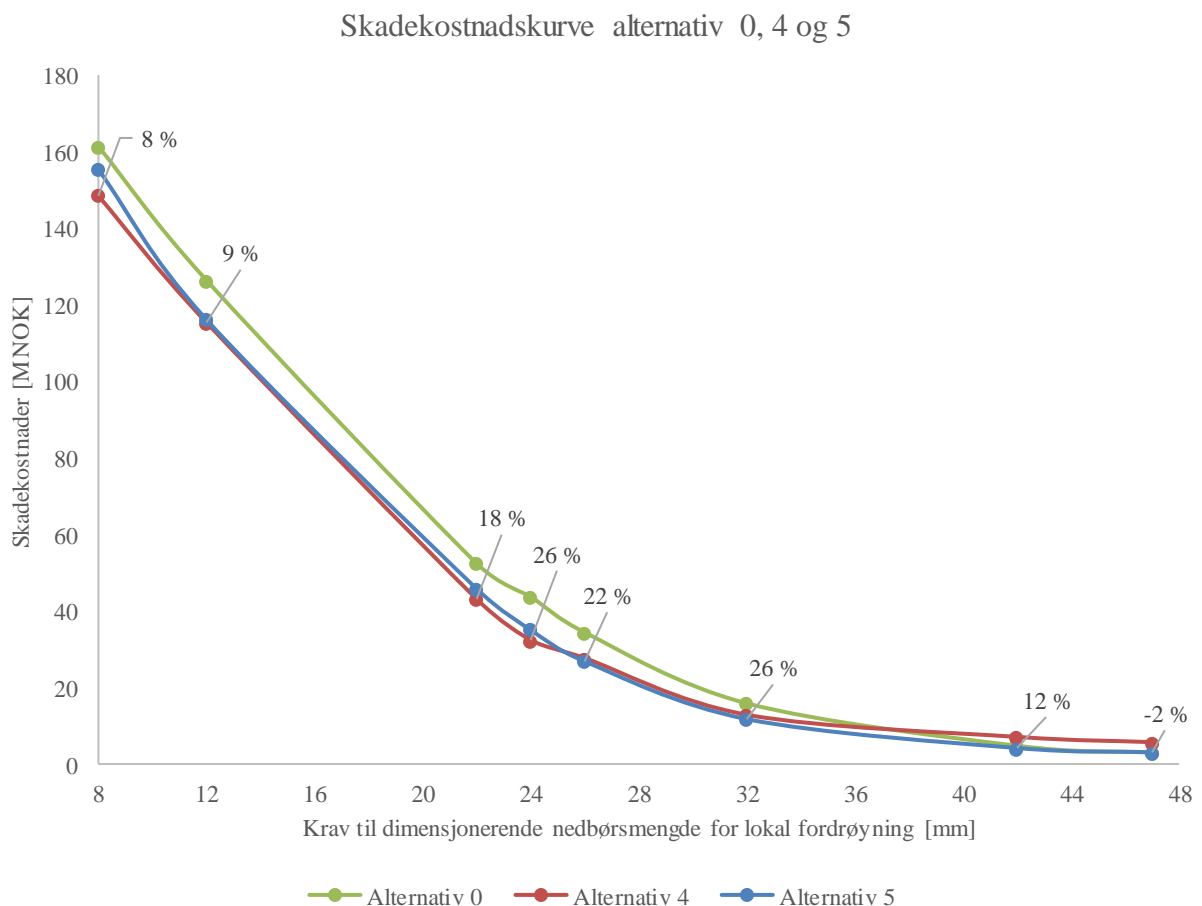


Figur 4-11: Prosentvis fordeling av de mest lønnsomme alternativene fra den samfunnsøkonomiske analysen av tiltak med total fordrøyning lik 24 mm, n = 300.

Differensiering av kravene til lokal fordrøyning med hensyn til arealformål eller avrenningslinjer kan ifølge *Figur 4-12* resultere i reduksjon av skadekostnadene med nærmere 26 %. De to beste alternativene fra *Figur 4-11* sammenlignes med 0-alternativet i *Figur 4-12* for krav til

dimensjonerende nedbør mellom 8 og 47 mm. Reduksjonen i skadekostnader ved differensiering sammenlignet med 0-alternativet, er oppgitt for hver av de simulerte tiltaksstørrelsene.

Resultatene i delkapittel 4.1.2 viste at tiltaket på 32 mm har flest lønnsomme utfall. Dersom kravene til lokal fordrøyning differensieres for dette tiltaket, er det mulig å redusere skadekostnadene i case-området med 26 %. Reduksjonen i skadekostnader varierer fra ca. 10 % ved de minste tiltakene til ca. 25 % for tiltakene i mellomsjiktet, og avtar for de større tiltakene. Lønnsomheten i kroner fordeler seg derimot annerledes, da skadekostnadene reduseres fra ca. 160 MNOK til ca. 5 MNOK. 0-alternativet viser seg mest lønnsomt for det største tiltaket, men disse resultatene er tilnærmet like. Det er uansett vanskelig å konkludere for de største tiltakene ettersom usikkerheten ved innføring av tiltak som nedbørskutt påvirker disse tiltakene, og dermed validiteten til resultatene.



Figur 4-12: Skadekostnadskurver alternativ 0, 4 og 5 for krav til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning mellom 8 og 47 mm. Reduserte skadekostnader mellom 0-alternativet og det optimale differensierte alternativet, oppgitt for hvert datapunkt. Påslagsfaktor 3.

Optimal metode for differensiering?

Usikkerhetene ved metoden og modellene gjør at de to alternativene for differensiering i *Figur 4-12* ikke kan skilles, da forskjellen dem imellom er minimal. I oppgaven er noen metoder for differensiering analysert, men det kan være andre metoder som gir større kostnadsreduksjoner. Andre metoder burde undersøkes i videre arbeid og sammenlignes mot disse. På et generelt grunnlag taler resultatene for at differensiering er samfunnsøkonomisk lønnsomt i case-området.

4.2.1 Alternativ 1 og 2

Skadekostnadene fra alternativ 1 og 2 sammenlignes med 0-alternativet for å se om det er noen klare tendenser til at det lønner seg med større tiltak høyt eller lavt i feltet. Alternativ 1 og 2 differensierer feltet etter grovdeling i Nord og Syd, hvor alternativ 1 har størst tiltak i Nord og mindre i Syd og motsatt for alternativ 2. Etersom total fordrøyning er tilnærmet lik for de tre alternativene har investeringskostnadene og reduksjonsfaktorene liten innvirkning på resultatene, og kan dermed neglisjeres. Påslagsfaktorene skaleres likt mellom hverandre og vil heller ikke ha noen innvirkning på den prosentmessige forskjellen i resultatene.

Ifølge *Tabell 4-7* vil ikke de differensierte alternativene gi store besparelser sammenlignet med 0-alternativet. For total fordrøyning tilsvarende 15 mm-tiltaket i hele case-området, er alternativ 2 mest lønnsomt med en besparelse på 2,8 % sammenlignet med alternativ 0. Alternativ 1 derimot, har 23,8 % høyere skadekostnader enn alternativ 0. Alternativ 0 er det mest lønnsomme alternativet ved total fordrøyning på 24 mm. Alternativ 1 og alternativ 2 har henholdsvis 57 og 20,6 % høyere skadekostnader. Til tross for at alternativ 2 endte best ut for 15 mm-tiltakene viser ikke analysen tydelige tegn på at differensiering etter Nord/Syd-delning gir besparelser sammenlignet med samme tiltak i alle områdene.

Tabell 4-7: Total skade i et 100-årsperspektiv for alternativ 0, 1 og 2. Besparelse oppgitt i prosent sammenlignet med alternativ 0. Ingen påslag.

Total fordrøyning	15 mm			24 mm		
	0	1	2	0	1	2
Alternativ	0	1	2	0	1	2
Tiltak	15 mm	21-9 mm	9-21 mm	24 mm	30-18 mm	18-30 mm
Skadekostnader [MNOK]	60,7	75,2	59,0	16,6	26,1	20,1
Besparelse ift. alternativ 0	-	- 23,8 %	2,8 %	-	- 57 %	- 20,6 %

4.2.2 Skadekostnader alternativ 3: Arealformål

Differensierte krav til lokal fordrøyning fordelt på arealformål, vil ifølge *Tabell 4-8* kunne føre til besparelser opp mot 26 % sammenlignet med 0-alternativet. I alternativ 3 deles case-området etter arealplanen til Bærum kommune, inn i bolig-, grønt-, idretts-, industri- sentrums-, og områder for offentlig og privat tjenesteyting. Resultatene viser en sammenheng mellom størrelsen på tiltakene i boligområdene og skadekostnadene. Av bygningene i case-området utgjør boligbygg og anneks 96,9 % av totalen. De største skadepotensialene ligger derfor i disse områdene. Tiltak kun i boligområdene med total fordrøyning på 24 mm har 26 % lavere skadekostnader enn 0-alternativet, og oppnår i tillegg lavere skadekostnader enn tiltak uten differensiering på 26 mm. 2 mm spart i tiltak tilsvarer 6 % besparelse i investeringskostnader. Ved investeringer i flere hundre millioners klassen kan 6 % bety betydelige summer.

Resultatene i *Tabell 4-8* viser at Norsk Vann sin foreslåtte metode for differensiering med kravene satt i Oslo kommune, ikke gir noen besparelser sammenlignet med 0-alternativet. Skadekostnadene er ifølge tabellen tilnærmet like. Årsaken til at de ender ut med like skadekostnader, er mest sannsynlig at samme krav ble satt i boligområdene i de to alternativene. I dette feltet oppstår det veldig få skader på andre byggverk enn boligbygg og anneks, se *Vedlegg B*. Krav til lokal fordrøyning i boligområdene skiller seg dermed ut som en viktig faktor for differensiering.

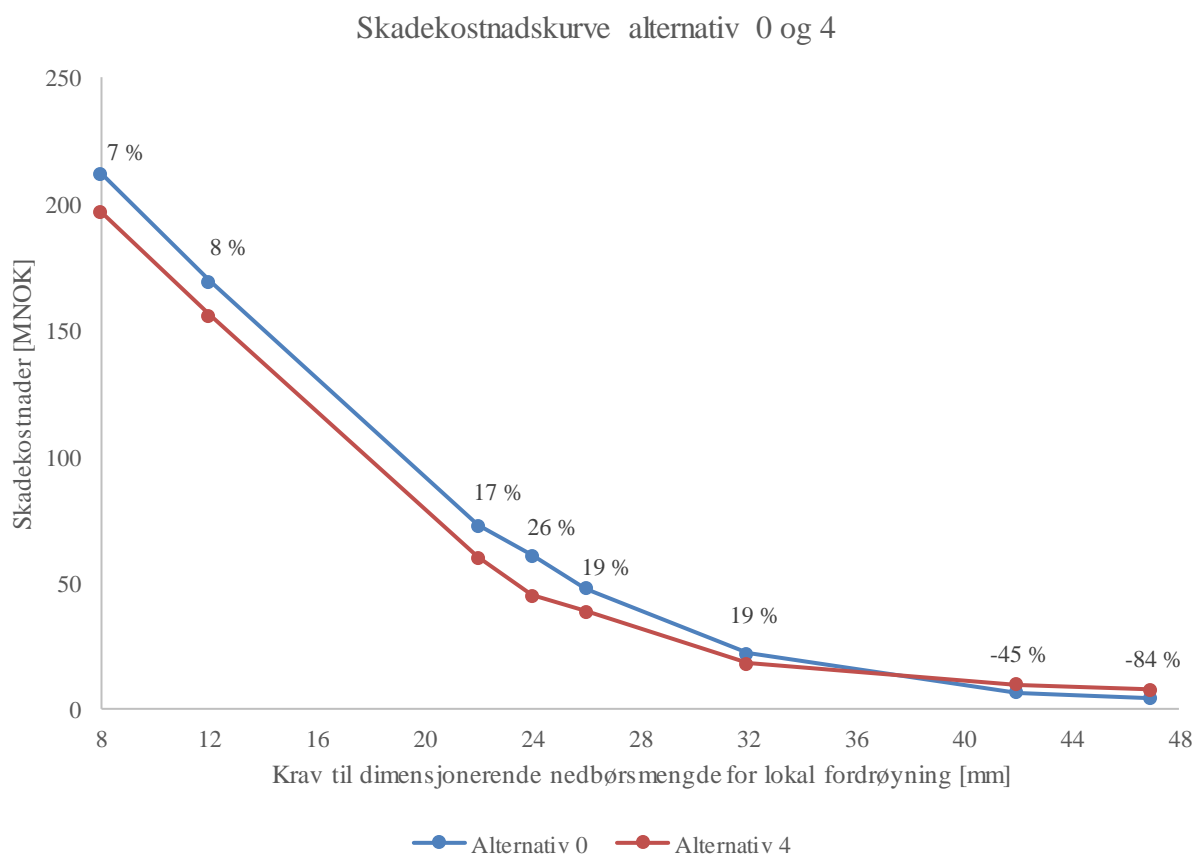
Tabell 4-8: Skadekostnader alternativ 3, for total fordrøyning lik 24 mm og 42 mm. Påslag 3.

Total fordrøyning	24 mm				26 mm	42 mm	
	Ingen diff. 24	Bolig: 27 Sentrum /industri: 15	Idrett: 0 Øvrige: 26	Kun bolig: 29	Ingen diff. 26	Ingen diff. 42	Norsk Vann/ Oslo:
Skadekostnad [MNOK]	44	36	36	32	34	4,8	4,9
Besparelse	-	18 %	17 %	26 %	-	-	-2 %

4.2.3 Skadekostnader alternativ 4: Kun boligområder

Skadekostnadene til alternativ 4 varierer fra 26 % lavere enn 0-alternativet, til å være høyere. I Tabell 4-8 var skadekostnadene for tiltak kun i boligområdene 26 % lavere enn tiltak uten differensiering, men ifølge Figur 4-13 viser ikke samme reduksjon seg for de øvrige tiltaksstørrelsene i spennet 8 til 47 mm. For de mindre tiltakene er det mulig med besparelser rundt 7 til 8 %, og for den anbefalte tiltaksstørrelsen på 32 mm fra delkapittel 4.1.2 er det mulig å redusere ca. 19 % av skadekostnadene. For de to største tiltakene på 42 og 47 mm er derimot skadekostnadene for alternativ 4 hele 45 og 84 % dyrere enn alternativ 0.

De prosentmessige reduksjonene gir likevel ikke hele bildet av besparelsene. I kroner vil reduksjonene på 7–8 % bety mye når skadekostnadene er beregnet til 170 til 210 millioner kroner. Resultatene for de største tiltakene er som nevnt mindre troverdige, da metoden ikke tar høyde for den ekstra kapasiteten til overvannstiltakene.



Figur 4-13: Skadekostnadskurve alternativ 0 og 4. Prosentmessig besparelse for alternativ 4 sammenlignet med 0 markert. Påslagsfaktor 5.

Resultatene viser at boligområdene bidrar mest til skadekostnadene og antyder at kravene her burde settes høyere enn for andre områder i feltet. En av årsakene til at bygg som helseinstitusjoner, brannstasjoner og ambulansesentraler ikke blir skadd, kan være krav til hvor bygg får lov til å bli plassert.

Ifølge plan- og bygningsloven § 12-5 kan områder for bebyggelse og anlegg reguleres ganske fritt til hvilket som helst underformål, som sentrumsformål, bolig, industri eller annet. Med andre ord stilles det ikke noen spesielle krav til områderegulering som kan forklare resultatene.

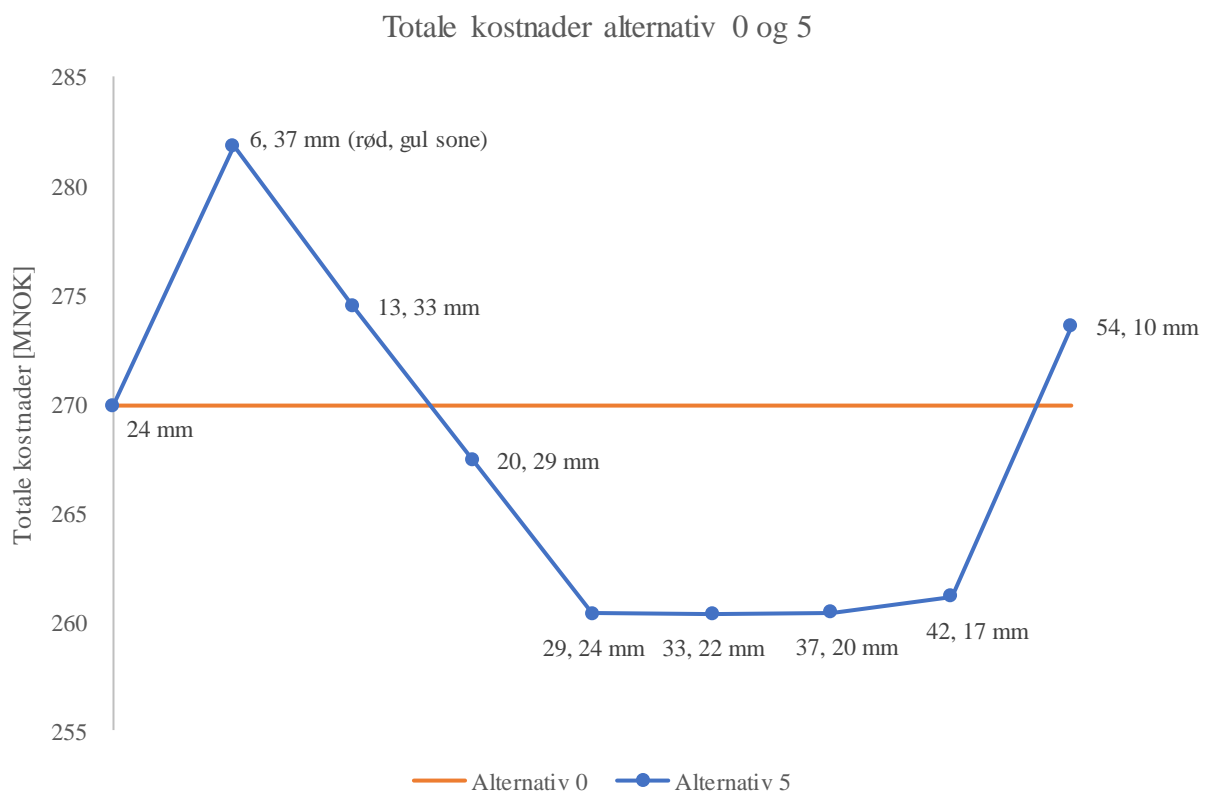
TEK17 § 7-2 «sikkerhet mot flom og stormflo» stiller derimot krav til hvor bygg kan plasseres. TEK17 plasserer byggverk i sikkerhetsklassene F1, F2 og F3. Sikkerhetsklassene stiller krav til hvordan byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom. Helseinstitusjoner, brannstasjoner og ambulansesentraler er blant byggverkene i sikkerhetsklasse F3. Bygningene i denne klassen har sårbare samfunnsfunksjoner og tillegges høyere krav enn bygninger som skoler, boliger og industribygg.

Resultatene i *Vedlegg B* viser at bygningene i sikkerhetsklasse F3 ikke ble skadet selv uten tiltak for overvannshåndtering. Dette kan bety at de er plassert slik i terrenget at avrenningen i caseområdet ikke treffer disse bygningene. Det er mulig at kravene til lokal fordrøyning for bygningene i sikkerhetsklasse F3 ikke trenger å være like høye, siden disse byggene er plassert på en strategisk plass som gjør de mindre skadeutsatte enn for eksempel boligbygg. Det er dog vanskeligere å se årsaken til at skolene og industribyggene får så få skader. I videre arbeid bør det gjennomføres nærmere analyse av hva som skjer i feltet, og hvorfor enkelte kategorier av bygg ikke skades.

4.2.4 Skadekostnader alternativ 5: Avrenningslinjer

Ulike metoder for differensiering av tiltak i og rundt avrenningslinjene viser seg ifølge *Figur 4-14* både mer og mindre lønnsomt enn 0-alternativet. Alternativ 5 differensierer etter avrenningslinjene i case-området hvor tiltak plasseres i rød eller gul sone. Rød sone følger avrenningslinjene til vannet, funnet fra Scalgo og flomresultatene, og er sentrert rundt skadeutsatte bygninger. Gul sone er de øvrige delene av case-området, med unntak av grøntarealer og idrettsområder. Ett eksempel er «54, 10 mm», hvor tiltak på 54 mm plasseres i rød sone og 10 mm i gul sone.

Fra *Figur 4-14* ser vi at ytterpunktene 6, 37 mm, 13, 33 mm og 54, 10 mm er mindre lønnsomme enn 0-alternativet. Lønner seg altså ikke med store tiltak rundt skadeutsatte områder og mindre i, og heller ikke veldig store tiltak i de skadeutsatte områdene og små rundt. Kombinasjonene imellom viser derimot at det er mulig å redusere skadekostnadene ved differensiering av tiltakene etter avrenningslinjene. Av de fem kombinasjonene som er mer lønnsomme enn 0-alternativet, skiller de fire seg ut som har noe større tiltak i skadeutsatt sone enn i omkringliggende områder.

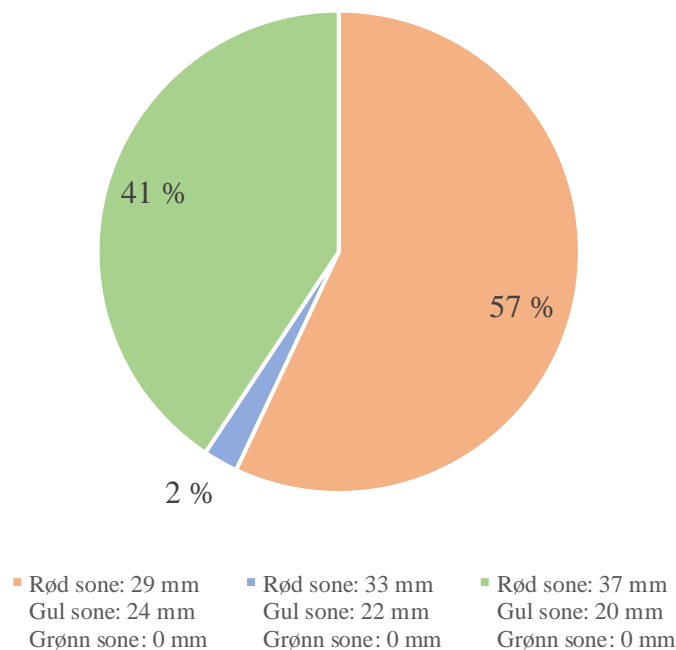


Figur 4-14: Totale kostnader for ulike fordelinger av tiltak i rød og gul sone, ingen tiltak i grønn sone. Investeringstkostnad: 2000 kr/m³, årlig kostnad: 25 kr/m³, påslagsfaktor: 3, reduksjonsfaktor: 2.

Figur 4-15 viser at det er mer lønnsomt å plassere overvannstiltak i skadeutsatte områder enn i områder med avrenning til skadeutsatte områder. Det er altså bedre å fjerne vannet fra områdene som har avrenning fra andre områder, enn å fjerne vannet før det rekker å renne av til skadeutsatte områder. *Figur 4-14* er én av de 300 mulige kombinasjonene av påslagsfaktorer, reduksjonsfaktorer og investerings- og årlige kostnader. Resultatene fra de øvrige er oppsummert i *Figur 4-15* og viser at det kun er tre av metodene som gir én eller flere anbefalt løsninger.

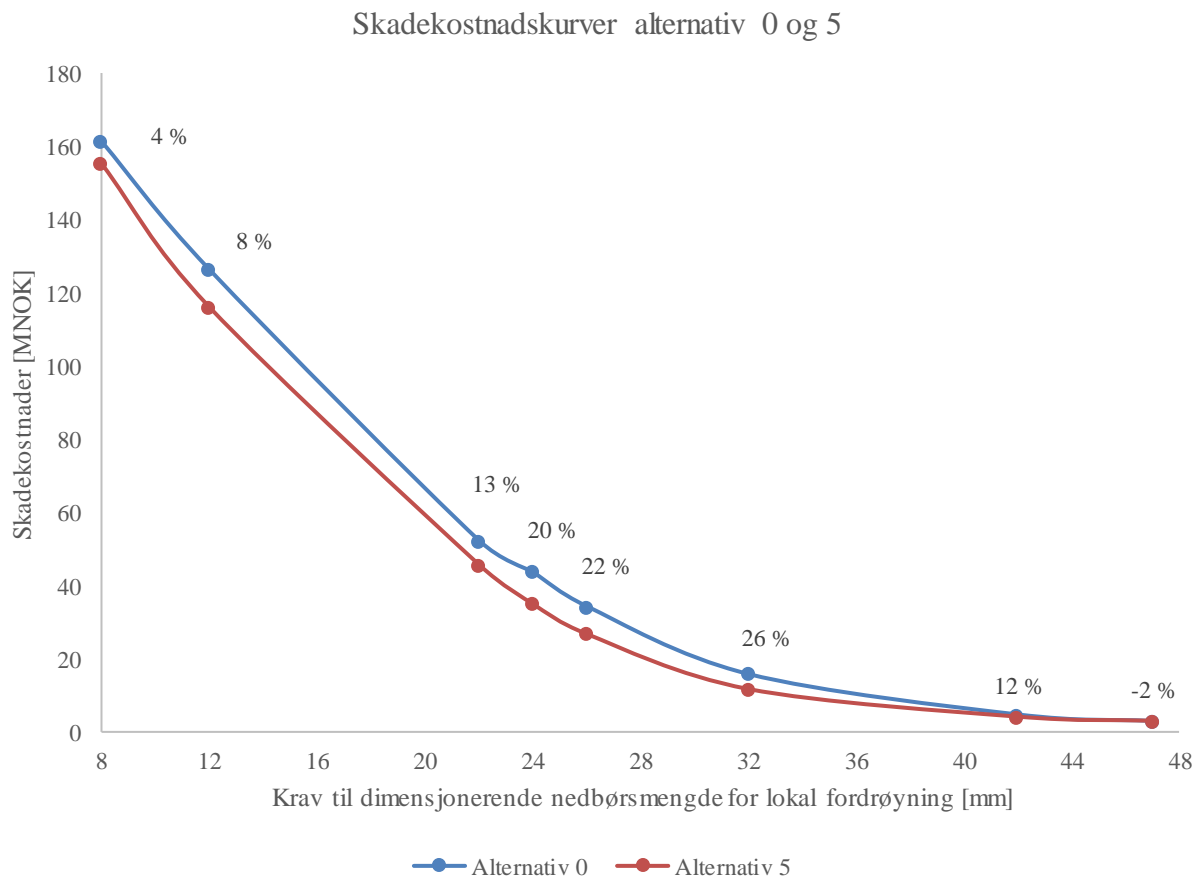
Som diskutert tidligere er forskjellen mellom de tre metodene vist i figuren, ikke statistisk signifikant. I videre analyse fokuseres det på «29, 24 mm» som er fordelingen som kom best ut, men det betyr ikke at denne metoden nødvendigvis er bedre enn de andre. En økning fra 24 til 29 mm i de skadeutsatte områdene tilsvarer forflytning av tiltakene opprinnelig plassert i idrettsområdene til de skadeutsatte områdene.

Optimal fordeling av tiltaksstørrelser for alternativ 5



Figur 4-15: Optimal fordeling av krav til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning for alternativ 5, basert på de 300 kombinasjonene av investeringskostnader, årlige kostnader, påslagsfaktorer og reduksjonsfaktorer.

Figur 4-16 viser at differensiering med hensyn til avrenningslinjene, kan føre til reduksjon av skadekostnadene i dette feltet med nærmere 26 % for tiltaksstørrelser i spennet 8 til 47 mm. Figuren viser de bearbejdede resultatene fra simuleringene i Tabell 3-13, hvor tiltak flyttes fra idrettsområder til skadeutsatte områder. For total fordrøyning lik 24 mm er det «29, 24 mm» som er presentert i grafen. Skadekostnadene reduseres for alle de foreslåtte kravene til dimensjonerende nedbør med unntak av det største tiltaket på 47 mm, men skadekostnadene for dette tiltaket er tilnærmet like for de to alternativene.



Figur 4-16: Skadekostnadskurve alternativ 0 og 5. Prosentmessig besparelse for alternativ 5 sammenlignet med alternativ 0 markert for hvert datapunkt. Påslagsfaktor 3.

Resultatene antyder at kravene til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning bør settes noe høyere i de skadeutsatte områdene langs avrenningslinjene, enn i områdene rundt. Det kan dermed trekkes paralleller til sikkerhetsklassene i TEK17. Sikkerhetsklassene kan danne et grunnlag for differensiering av krav til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning. Ettersom sikkerhetsklassene allerede er kjent i kommunene i Norge, kan det være enklere å få innført en tilsvarende differensiering av tiltak enn en helt ny metode, men da med andre krav.

4.3 Usikkerhetsmomenter

Metoden fra konstruksjon av regnhyetogram via flomsimuleringer og kostnadssimuleringer til den samfunnsøkonomiske vurderingen henger direkte sammen, så usikkerhet ved en del av metoden vil forplante seg direkte til de neste stegene. Det er viktig å forstå usikkerhetsmomentene ved metoden for å kunne tolke troverdigheten til resultatene. I dette delkapittelet vil usikkerhetene ved flomsimuleringene og beregninger av kostnader presenteres før usikkerhetene avslutningsvis rangeres.

4.3.1 Usikkerheter ved flomsimuleringene

4.3.1.1 Klimaframskriving

Klimaet i fremtiden er vanskelig å spå, men klimafaktorer benyttes for å hensynta endringene som forventes å komme. Hanssen-Bauer et al. (2015) lister usikkerhetene ved klimaframskriving i tre hovedkategorier:

- Usikkerhet knyttet til fremtidige menneskeskapte utslipp.
- Usikkerhet knyttet til naturlige variasjoner som vulkanutbrudd og solinnstråling.
- Modellsikkerhet.

Paus et al. (2015) foreslår syv metoder for beregning av klimafaktorer, men påpeker at det er knyttet stor usikkerhet til alle estimeringsmetodene.

Metoden benyttet her tar utgangspunkt i Dyrddal og Førland (2019) sine anbefalinger for klimafaktorer. Usikkerheten dette medfører er ikke større i den benyttede metoden enn det hadde vært for andre. En følsomhetsanalyse av endringene i resultater for ulike klimafaktorer hadde vært optimalt å teste for, men det hadde mangedoblet antall simuleringer.

4.3.1.2 IVF og symmetriske blokkhyetogram

Ved konstruksjon av symmetriske regn kombineres ulike varigheter for ett gjentakintervall. I virkeligheten opptrer regn typisk med ett gjentakintervall og én regnvarighet. Dette medfører at symmetriske regn er unaturlig, men regnforløpet, og dermed avrenningsforløpet og maksimal avrenning, blir mer realistisk enn andre modellregn som «kasseregner» (Ødegaard et al., 2014, s.

349). Dette skyldes at sterke, dimensjonerende regn sjelden har en konstant regnintensitet. Toppintensitet kommer vanligvis en tid ut i nedbørshendelsen.

Det optimale hadde vært regndata som tilsvarte de ulike gjentaksintervallene som er benyttet. Om det finnes for dette området er ikke undersøkt. Det anbefales i videre arbeid å se om det finnes data som tilsvarer noen av gjentaksintervallene som er benyttet, simulere disse og se hva innvirkningen blir på resultatene.

Alle måleserier som benyttes for å beregne IVF-kurver er ifølge Mamen og Iden (2010) korte med hensyn til å beregne verdier med gjentaksintervall på 50 år og lengre. Disse gjentaksintervallene gir dermed generelt stor usikkerhet.

Det finnes ulike metoder for ekstrapolering av ekstremverdier. Ekstrapolering av verdien for 1000-årsregnet i denne oppgaven ble gjort med tilnærming av linjen for $\ln(T)$. IVF-statistikk er typisk basert på Gumbel ekstremverdi fordeling (se Dyrddal et al., 2016). Dyrddal et al. (2016) har også utviklet en ny metodikk for ekstrapolering av ekstremnedbør. Metoden i denne oppgaven oppfører seg noe annerledes enn Gumbel-fordelingen, hvor nedbørsmengden er en funksjon av $-\ln(\ln(T/(T-1)))$. Bruken av $\ln(T)$ vil kunne føre til mer nedbør for samme gjentaksintervall. Variasjonen er ifølge *Tabell 4-9* størst ved små gjentaksintervall og mindre ved store gjentak.

Tabell 4-9: $\ln(T)$ mot Gumbel-metoden ved ulike gjentaksintervall (T).

T	$\ln(T)$	$-\ln(\ln(T/(T-1)))$
2	0,693147181	0,36651292
10	2,302585093	2,25036733
50	3,912023005	3,90193866
1000	6,907755279	6,90725507

4.3.1.3 Fordrøyningsmetodikken

Overvannstiltakene som er større enn nedbøren som påføres, ble ikke utnyttet 100 %. Ettersom tiltakene ble innført som nedbørskutt, vil eksempelvis et 20-årstiltak under et 10-årsregnet kun håndtere 10-årsregnet. Den resterende kapasiteten til tiltaket går til spille. 20-årstiltaket vil i virkeligheten kunne ta imot avrenning fra andre felt før det fylles helt opp. Sammenligningen av 0-alternativet mot de differensierte alternativene viser besparelser for samtlige

fordrøyningsmengder, med unntak av de største som påvirkes av nevnte usikkerhet. Innvirkningen dette har på resultatene er vanskelig å si, men skadestnadene for de største tiltakene ved små nedbørshendelser vil nok overestimeres. En annen måte å innføre overvannstiltak på kan være interessant å studere i videre arbeid.

4.3.1.4 Flommodellen

Flommodellen ble antatt å være god nok for bruk i denne oppgaven, men det er viktig å forstå unøyaktighetene ved den i tolkningen av resultatene. Den største usikkerheten i modellen er ifølge Friborg og Deggerdal (2018) hvordan regn omgjøres til avrenning når det treffer bakken, samt fordelingen av avrenningen mellom ledningsnett og overflate. Usikkerheten ble som tidligere beskrevet forsøkt redusert av Friborg og Deggerdal (2018) ved kalibrering mot én reell nedbørshendelse.

Nordheim (2019) trekker frem modellering av nedbør ved lavere gjentaksintervall som en svakhet. Flommodellen overestimerer mengden vann som renner av på overflaten, ved disse gjentakene. Tiltakene under 20 mm er de som får skader ved 2-årsregnet. Det er i tillegg ingen av disse som blir anbefalt som mest lønnsomme i analysene. Om det er tilfeldig er vanskelig å si, men usikkerheten har nok en viss betydning. For å redusere denne usikkerheten noe, ble det brukt lave påslagsfaktorer for nedbørshendelsene med små gjentaksintervall. For ytterligere reduksjon av usikkerheten anbefales flere kalibreringer av modellen mot reelle nedbørshendelser, med størst fokus på lavere gjentaksintervall.

For å sette opp en stabil modell ble oppløsningen til overflatemodellen nedjustert til 4 x 4 m fra høydemodellen til Bærum kommune. Detaljer i terrenget som grøfter, kantstein og lignende vil ikke komme med. Dette kan føre til at vannet renner veier i modellen som det ikke ville tatt i virkeligheten. Gate- og grøftesluk er heller ikke tatt med i modellen, noe som kan føre til vannansamlinger i lavpunkter som i virkeligheten ville blitt drenert bort. Friborg og Deggerdal (2018) trekker frem lavpunkter i boligområder som hadde blitt drenert av sluk og områder helt nederst i feltet, som mest påvirket disse usikkerhetene. Resultatene viser dog ikke tydelige skiller mellom hvor de skadde bygningene er. De er godt spredt utover hele modelleringsområdet.

Ledningsmodellen inneholder kun ledningsnett, sluk og fordrøyningsmagasiner som tilhører Bærum kommune. Anlegg tilhørende eksempelvis Statens Vegvesen, Sporveien og private anlegg er ikke med i modellen (Friborg & Deggerdal, 2018).

Den hydrauliske modellen blir kjørt med samme betingelser for alle nedbørshendelser. Kun mengden nedbør og plassering av tiltak endres mellom simuleringene. Infiltrasjon, gropmagasiner osv. holdes konstant. Usikkerhetene ved lednings- og overflatemodellen vil dermed være konstante for alle regn.

4.3.1.5 Infiltrasjon

Infiltrasjonsegenskapene til modellen er også usikre. Bjørnsen (2020) gjennomførte en grunnsimulering av modellen med aktiv infiltrasjonsmodul, for så å trekke ut infiltrerte mengder i hver celle og subtrahere dette fra regnene som ble påført. Resultatene i delkapittel 3.4.1 viste at metoden Bjørnsen (2020) benyttet overestimerte mengden infiltrert nedbør sammenlignet med MIKE FLOOD sin infiltrasjonsmodul. Dette viser at endring av infiltrerte mengder har stor innvirkning på resultatene.

Solheim et al. (2017) viste at infiltrasjonsevnen varierte fra 1-895 mm/time for seks lokasjoner i Oslo kommune. Studiet viste også variasjoner innad på en tomt. Infiltrasjonsevne er altså en faktor som kan variere mye over et større område. Friborg og Deggerdal (2018) simulerte scenarioet 6. august 2016 flere ganger, og tilpasset infiltrasjonsparameterne fra tabellverdier til å gjengi hendelsen. I modellen ble det brukt seks ulike infiltrasjonshastigheter avhengig av arealbruk i området. Videre kalibrering av modellen burde undersøke de valgte infiltrasjonshastighetene.

4.3.1.6 Simultan utbygging av case-området

Oppgaven tar utgangspunkt i en simultan utbygging av feltet. I virkeligheten vil utbygging skje sporadisk når nye bygg føres opp og områder transformeres. Dersom tiltakene differensieres i case-området, kan det i verste fall være områdene med lavest krav som bygges ut først, og de øvrige senere. Innvirkningen en gradvis utbygging har på resultatene anbefales studert i videre arbeid.

4.3.2 Usikkerheter ved kostnadsberegningene

4.3.2.1 Kostnadsmodellen

Kostnadsmodellen ble ikke endret og ble kun brukt som et verktøy for å gjøre om resultatene fra flommodellen til skadekostnader. Om resultatene fra kostnadsmodellen faktisk er representative for virkeligheten, er essensielt for troverdigheten til resultatene. Tabell 4.7 fra Nordheim (2019) lister opp skadedata inkludert egenandel, hentet fra VASK-statistikken for modelleringsområdet for årene 2008–2018. Gjennomsnittet av disse kostnadene er 2 027 000 kroner.

Det å sammenligne gjennomsnittet av kostnadene fra VASK med resultatene for forventede årlige skadekostnader uten tiltak, vil gi en god pekepinn på evnen kostnadsmodellen har til å estimere skader på bygg og innbo. Forventede årlige skadekostnader for området uten tiltak og uten påslag, er 2 445 700 kroner. Dette er beregnet ut ifra resultatene i *Vedlegg B*.

Vannskadestatistikken dekker ca. 85 % av det norske forsikringsmarkedet (FinansNorge, u.å.) Gjennomsnittet fra VASK på 2 027 000 kroner vil for 100 % av markedet tilsvare 2 384 705 kroner. Resultatet fra kostnadssimuleringen på 2 445 700 kroner, skiller kun 2,5 % fra resultatene i vannskadestatistikken. Kostnadsmodellen tyder dermed å gjengi virkelige skader godt.

Usikkerhetene ved selve modellen kan studeres nærmere i Nordheim (2019). En av usikkerhetene som er verdt å nevne er selve metodikken for klassifisering av skadde bygninger. For at et bygg skal være skadet må det ha 10 cm vannspeil ved 60 % eller mer av omkretsen til bygget. Som Bjørnsen (2020) påpeker vil det være lettere for et rekkehus å bli skadet enn en enebolig slik metodikken er lagt opp. Eneboliger har fire vegger som kan dekkes av vann, mens rekkehus kun har to eller tre.

4.3.2.2 Diskonteringsrente og levetid

Diskonteringsrenten skal gjenspeile fremtidig økonomisk utvikling, noe det er knyttet stor usikkerhet til. Ifølge NOU 2012: 16 er det utfordrende å benytte markeddata for fastsetting av kalkulasjonsrente, og det er økonomisk teori som må være utgangspunktet for fastsetting av renten. NOU 2009: 16 diskuterer også usikkerhet ved diskontering. De to rapportene lister tre hovedpunkter for usikkerhet tilknyttet valg av diskonteringsrente:

-
- Usikkerhet rundt den generelle økonomiske utviklingen.
 - Den systematiske usikkerheten ved prosjektets avkastning og diskonteringsrentes tidsutvikling.
 - Diskontering og globale miljøutfordringer. Vi vet ikke i dag om tiltakene som etableres har en virkning i fremtiden.

Ser vi på formel (6) for nåverdifaktoren vil endring av diskonteringsrenten fra 2 til 3 %, endre nåverdifaktoren fra 43 til 32. Dette tilsvarer en kostnadsreduksjon på 25 %.

Levetiden til tiltakene ble antatt å være 100 år, noe som stemmer dårlig med virkeligheten dersom vi ser på levetiden til de fleste tiltakene i *Tabell 2-5* og *Tabell 2-6*. Bjørnsen (2020) vurderte innvirkningen levetid på henholdsvis 50 år og 100 år har på resultatene, og konkluderte med at tiltakene må ha lang levetid for at det skal vise seg samfunnsøkonomisk lønnsomt å etablere dem. Valget i denne oppgaven ble gjort på bakgrunn av det, og til tross for at det ikke er helt representativt for dagens situasjon er det et budskap om at levetiden må økes på overvannstiltak.

4.3.2.3 Forventede årlige skadekostnader (EAD)

Nilsen (2017) setter spørsmålsteget ved hvordan man kan inkludere en klimafaktor i formel (2) for beregning av EAD. I oppgaven ble nedbørshendelser inkludert klimafaktor analysert. Begrunnelsen for spørsmålet til Nilsen fremkommer ikke, men årsaken kan være hva det gjør med sammenhengen mellom skadekostnad og gjentaksintervall. Gjentaksintervallet som i oppgaven er 10 år, tilsvarer 50 år uten klimafaktor.

Skadekostnadene kan være overestimert ettersom de divideres på en lavere teller. T^2 i eksempelet over endres fra $50^2 = 2500$ til $10^2 = 100$ ved bruk av klimafaktor. Overestimering av kostnadene presser formodentlig anbefalt tiltak oppover, ettersom større tiltak må demme opp for høyere skadekostnader. Det mest samfunnsøkonomisk lønnsomme tiltaket befinner seg muligens noe lavere enn det oppgaven gir uttrykk for. Her hører det med at anbefalt tiltak allerede ligger under dagens dimensjoneringspraksis.

Hvilken innvirkning det har på resultatene er ikke lett å tyde, ettersom beregning av EAD mot kostnadene fra VASK i delkapittel 4.3.2.1 viste samstemte resultater. Nordheim (2019) kalibrerte kostnadsmodellen ved å legge til en utvalgsparemeter for å ta i betraktning overestimeringen modellen syntes å gjøre. Det er mulig utvalgsparemeteren og klimafaktor motvirker hverandre i

beregningen av EAD, men dette er kun en teori. Dette kan medføre at usikkerheten ved EAD-beregningene ikke er like stor som først antatt. Kostnadsmodellen burde analyseres videre uten klimafaktor for å teste teorien.

4.3.2.4 Ikke-prissatte effekter, indirekte skader og andre direkte skader

En samfunnsøkonomisk analyse innebærer kvantifisering av alle virkningene av tiltak, så langt det lar seg gjøre. I oppgaven ble andre direkte og indirekte skader samt ikke-prissatte effekter, forsøkt kvantifisert ved hjelp av påslagsfaktorer og reduksjonsfaktorer. Det er stor usikkerhet ved disse verdiene, og virkelige verdier vil nok variere fra prosjekt til prosjekt. For å redusere usikkerheten ble det valgt fem påslags- og fire reduksjonsfaktorer. Følsomhetsanalysene i delkapittel 4.1.3 og 4.1.4 viste variasjonene innad faktorene.

Eksempelet utført av NOU 2015: 16, diskusjon i Magnussen et al. (2015) og analyser av Skogvold et al. (2018) viser at det må påslags til for at det totale kostnadsbildet skal vises. NOU 2015: 16 viste at 100-årsregnet kan føre til kostnader 2,0 til 4,5-ganger større enn korrigert VASK-statistikk. Påslagene ble valgt til å være innenfor dette intervallet. Skogvold et al. (2018) viser til en analyse av COWI, hvor forsinkelseskostnadene alene utgjorde ca. en tredel av totalkostnadene. Analysen av COWI ble ikke funnet.

Nordeidet et al. (2019) viste at bygningsskade, opprydning og produksjonstap utgjorde ca. 62 % av de totale samfunnsøkonomiske kostnadene. I *Tabell 4-10* er de ulike påslagene i oppgaven listet opp med andel skade på bygg og innbo av de totale beregnede skadekostnadene. Påslag 2 og resultatene til Nordeidet et al. (2019) er mest nærliggende da Nordeidet et al. (2019) inkluderte opprydning og produksjonstap.

Tabell 4-10: Andel skader på bygg og innbo av totale skader, for påslag 1 til 5.

Påslag	Skadekostnad [MNOK]	Andel skader på bygg og innbo av totale skadekostnader
(Ingen påslag)	105,4	100 %
1	152,4	69 %
2	175,8	59 %
3	205,9	51 %
4	234,3	45 %
5	264,4	39 %

Følsomhetsanalysen i *Tabell 4-5* viser at for påslag 2 lønner det seg kun med tiltak i 20 % av utfallene. Av de lønnsomme utfallene er anbefalt tiltaksstørrelse ifølge *Figur 4-8* mellom 29 og 32 mm.

Enhetskostnadene blir følgelig lavere desto større tiltak som etableres, da det ikke er lineær sammenheng mellom transport-, anleggs og administrasjonskostnader per enhet. Kostnadene vil følge en synkende kurve. De ikke-prissatte effektene som kommer av større tiltak som rekreasjonsmuligheter, miljø osv., vil nok også følge en avtagende kurve. Verdien av ikke-prissatte effekter antas større ved økning av tiltaksstørrelser fra 0 til 10 mm enn fra 20 til 30 mm.

Hvor fort disse to kurvene for enhetskostnader og ikke-prissatte effekter avtar er derimot vanskelig å si. Av den grunn er det benyttet fire ulike reduksjonsfaktorer for å vise hvordan kostnadene og effektene endrer seg ved ulike faktorer. Kvantifisering av de ikke-prissatte effektene anbefales studert i videre arbeid.

4.3.3 Rangering av usikkerhetsmomentene

Tabell 4-10 er et forsøk på å rangere usikkerhetene i oppgaven, basert på en subjektiv mening av hvilke usikkerheter som har størst påvirkning på resultatene. Usikkerhetene er i tillegg vurdert ut ifra hva det er mulig å rå over. Det er for eksempel stor usikkerhet ved valg av diskonteringsrente, IVF-statistikk og klimaframskriving, men usikkerheten vil være lik for tilsvarende analyser. Usikkerhetene som kan skille dette studiet fra andre studier, samt modellene benyttet fra andre, vektlegges mest.

Tabell 4-11: Rangering av usikkerhetsmomentene i oppgaven basert på en subjektiv mening, fra høyest (1) til lavest usikkerhet (9).

Rangering av usikkerhetsmomentene	
1	Kvantifisering av ikke-prissatte effekter, indirekte skader og andre direkte skader
2	Flommodellen (spesielt ved lave gjentaksintervall)
3	Fordrøyningsmetodikken
4	Infiltrasjon
5	Beregning av forventede årlige skadekostnader (EAD)
6	Tiltakenes levetid
7	Simultan utbygging av case-området
8	Kostnadsmodellen
9	IVF, symmetriske blokkhyetogram, klimaframskriving, diskonteringsrente

4.4 Sammenligning med lignende arbeid

I delkapittel 2.7 ble sammenlignbare arbeid fra fire andre studier presentert. Av studiene er det masteroppgaven til Bjørnsen (2020) som er mest nærliggende, ettersom denne oppgaven er en videreutvikling av hans arbeid.

Første del av oppgaven kan sammenlignes med Bjørnsens arbeid, hvor kravene til dimensjonerende nedbør ikke differensieres. Resultatene i begge oppgaver viste et flertall av scenarioer hvor det ikke lønner seg med etablering av tiltak i case-området. Blant utfallene hvor det lønner seg med tiltak antyder resultatene til Bjørnsen (2020) at optimal tiltaksstørrelse for case-området tilsvarer dimensjonerende nedbør på 15 mm.

I denne oppgaven viser resultatene at verdien bør ligge på 32 mm. Som nevnt benyttet Bjørnsen en annen metode for infiltrasjon, som underestimerer skadekostnadene sammenlignet med den kalibrerte infiltrasjonsmodulen.

En annen forskjell mellom oppgavene er at grøntområdene ble fjernet fra de delene av feltet som fikk tiltak i denne oppgaven, mens Bjørnsen (2020) inkluderte grøntområdene. Grøntområdene antas å presse anbefalt tiltaksstørrelse nedover da skadepotensialet her er lavt. Investeringskostnadene og de løpende årlige kostnadene økes, uten at det medfører nevneverdige reduksjoner i skadekostnadene. Verdiene for dimensjonerende nedbør ligger et stykke fra hverandre, men felles for dem er at de ligger under dagens krav som stilles i Bærum kommune.

Resultatene kan til dels sammenlignes med Haugård (2017), som undersøkte lønnsomhet ved strategisk plassering av overvannstiltak i et case-område på Grefsen i Oslo kommune. Haugård (2017) analyserte et mindre felt på 34,5 hektar, i motsetning til 808 hektar i denne oppgaven. Han konkluderte med at strategisk plassering av tiltak kan føre til at investerte kroner i overvannstiltak kan betale seg tilbake med flergangen. I denne oppgaven viser også strategisk plassering av tiltak, ved differensiering av kravene i området, at det er mulig å øke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten, men ikke i samme størrelsesorden.

De to studiene viser at omfattende analyser av case-områder kan resultere i at man oppdager områder hvor overvannstiltak kan plasseres strategisk for å optimalisere investeringer. Det er dog

omfattende og krever tidkrevende analyser. En enkel tilnærming til overvannsproblematikken vil nok bli brukt lenge; det er behov for enklere metoder.

Zhou et al. (2013) gjennomførte en tilsvarende studie i Aarhus, Danmark, hvor de i likhet med denne oppgaven benyttet 1D-2D-simuleringer i blant annet MIKE FLOOD. De benyttet en mer komplisert kostnadsmodell. Området i Aarhus virker å inneholde flere tette flater og bebyggelse enn området i denne oppgaven. Studiet viste at alle de tre foreslåtte metodene for overvannshåndtering var bedre enn dagens situasjon. Det skiller seg fra resultatene i denne oppgaven, hvor resultatene fra 73 % av scenarioene ikke anbefaler endring av dagens situasjon.

Skogvold et al. (2018) derimot, fikk tilsvarende resultater som denne oppgaven ved analysering av tiltak mot flom i Venåsvegen i Oslo. De modellerte tiltakene hadde negativ samfunnsøkonomisk nytte, som betyr at investeringskostnadene overgikk reduksjonen av skadekostnader.

5 Konklusjon

Målet med denne oppgaven har vært å vurdere dagens krav til dimensjonerende nedbør for lokal fordrøyning, samt undersøke variasjoner i lønnsomhet når kravene differensieres med hensyn til arealformål og avrenningslinjer. Den samfunnsøkonomiske analysen av et case-område i Bærum kommune antyder at det ikke er lønnsomt, med dagens krav til lokal fordrøyning av fremtidens nedbør med 25 års gjentaksintervall. Over en analyseperiode på 100 år viser resultatene at det enten ikke lønner seg med etablering av tiltak for lokal fordrøyning, eller at det lønner seg med tiltak dimensjonert for nedbør i størrelsesorden 22 til 42 mm for regnvarighet på 180 minutter. Resultatene tyder på at skadekostnadene som reduseres ved større tiltaksstørrelser ikke kan forsvares når en tar i betraktning investeringene de medfører.

Det er i analysene antatt en simultan utbygging av hele case-området. I virkeligheten vil utbyggingen og dermed etablering av overvannstiltak forekomme gradvis. Basert på investeringskostnader og løpende årlige kostnader, samt forsøk på kvantifisering av både direkte og indirekte skader og ikke prissatte effekter, viser resultatene at det kun vil lønne seg med tiltak i 27 % av de analyserte scenarioene. Prisen og levetiden til tiltakene er drivende faktorer for økt lønnsomhet. Av tiltaksstørrelsene som lønner seg, ligger median mellom 26 og 32 mm med hovedvekt på 32 mm. Lokalt for Bærum kommune tilsvarer 32 mm et gjentaksintervall på 2,8 år.

Resultatene viser at skadekostnadene kan reduseres, og dermed forbedre den samfunnsøkonomiske lønnsomheten, ved differensiering av kravene til overvannshåndtering med hensyn til arealformål eller avrenningslinjer. Fordeling av tiltakene med større tiltak i boligområdene eller langs avrenningslinjene, vil for tiltak i størrelsesorden 8 til 42 mm kunne medføre reduksjon av skadekostnadene på ca. 8 til 26 %. Dette er sammenlignet med en lik fordeling av tiltak i hele case-området, med unntak av grøntområdene som ikke får tiltak. Tilsvarende besparelse viser seg ikke for tiltak dimensjonert for å fordrøye 47 mm, men usikkerheten ved fordrøyningsmetodikken reduserer validiteten ved resultatene til dette tiltaket. Det skyldes at større tiltak ikke kan benytte restkapasiteten ved nedbørshendelser med lave gjentaksintervall.

På grunn av flere usikkerhetsmomenter kan ikke resultatene fra den samfunnsøkonomiske analysen overføres direkte til andre felt. Blant usikkerhetene er metodene for kvantifisering av

skader på annet enn bygninger og innbo, indirekte skader og ikke-prissatte effekter. Det må også bemerkes at den hydrauliske modellen og kostnadsmodellen, kun er kalibrert mot én reell ekstremnedbørshendelse. Modellene klarer å kvantifisere de hydrauliske og kostnadsmessige forholdene ved denne hendelsen, men modellene bør kalibreres mot flere nedbørshendelser fra virkeligheten for å styrke troverdigheten til modellene og forklaringskraften til resultatene.

Til tross for slike usikkerhetsmomenter, kan det likevel konkluderes med at analysen taler for at kravene som stilles til dimensjonerende nedbør innebærer overdimensjonering. I flere scenarioer viser det seg samfunnsøkonomisk lønnsomt med høyere risiko for skader på bygninger, ettersom kostnadsdriverne for investeringer i tiltak for lokal fordrøyning blir for store. Dette kan bety at vi i større grad må lære å leve med regnet, i stedet for å bygge oss ut av utfordringene. Resultatene fremmer også behov for å tydelig definere risikoakseptkriterier for overvannsskader knyttet til lokal håndtering av overvann.

5.1 Videre arbeid

1. Studere innvirkningen av andre metoder for lokal fordrøyning.

I denne oppgaven ble det ikke plassert ut overvannstiltak i feltet, men tiltakene ble innført som kutt i nedbør. I praksis vil det si at overvannstiltakene ikke kan ta imot avrenning fra andre felt i nærheten, og tilrenningstiden er 0 minutter fra egen tomt. Hvordan vil andre metoder for lokal fordrøyning påvirke resultatene?

2. Kalibrere flommodellen og kostnadsmodellen mot andre reelle nedbørshendelser.

Flommodellen og kostnadsmodellen er kun kalibrert mot én reell nedbørshendelse. Det anbefales i videre arbeid å undersøke hvordan modellene estimerer flom og kostnader fra andre reelle nedbørshendelser, helst med andre gjentak og varigheter. Det krever verdier for flomnivåer og kostnadstall som kan knyttes direkte til reelle nedbørshendelser.

3. Analysere andre former for differensiering av overvannstiltakene, samt teste resultatene mot andre felt.

Differensiering med hensyn på arealformål og avrenningslinjer ble analysert i denne oppgaven. Faktorer som kan analyseres i videre arbeid er for eksempel offentlig mot privat eiendom. Hvor store kostnader kan det offentlige stå for? Et annet eksempel er tilknytning til offentlig ledningsnett. Metodene fra denne oppgaven og andre metoder anbefales analysert for andre felt med annen feltkarakteristikk for å finne optimal metode for differensiering.

4. Hvordan vil en gradvis utbygging påvirke resultatene?

Metoden tar utgangspunkt i en simultan utbygging av tiltak for overvannshåndtering i hele case-området. I virkeligheten vil tiltakene komme gradvis i takt med fornyelse og oppføring av bygg, samt i rykk og napp med transformasjonen av større områder. Hvordan vil en slik gradvis utbygging påvirke resultatet?

5. Tilleggsverdien til ikke-prissatte effekter og kvantifisering av indirekte kostnader

Ved samfunnsøkonomiske analyser spiller verdien av de ikke-prissatte effektene og indirekte skadene inn. Kvantifisering av ikke-prissatte effekter knyttet til LOD-tiltak anbefales studert i videre arbeid. En enkel oppgave er det nok likevel ikke, da subjektive meninger spiller inn. Spør du en politiker, VA-ingeniør, landskapsarkitekt og entreprenør får du mest sannsynlig fire forskjellige svar på hvilken tilleggsverdi for eksempel et regnbed skal gi.

6. Hvilke interessenter skal bære kostnadene for overvannsproblematikken?

Arbeidsfase 7 av den samfunnsøkonomiske analysen fra delkapittel 2.4.1 er ikke inkludert i denne oppgaven, men anbefales studert. Formålet med arbeidsfasen er å se på fordeling av virkningene av tiltakene mellom ulike grupper i samfunnet. DFØ (2018) viser til at dersom noen grupper i samfunnet kommer spesielt dårlig ut, bør man vurdere om disse gruppene kan kompenseres og eventuelt på hvilken måte. Det er flere interessenter i overvannsproblematikken: kommuner, utbygger, privatperson, forsikringsselskap osv. En interessentanalyse anbefales gjennomført for ulike scenarioer av risikoakseptkriterier.

Referanser

- Asker kommune. (2017). *VA-norm Asker kommune*. VA-norm.no.
- Bergen kommune. (2005). *Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune*: Bergen kommune - Byrådsavdeling for byutvikling - Vann- og avløpsetaten.
- Bjørnsen, S. L. (2020). *Optimal tiltaksstørrelse for lokal overvannshåndtering: samfunnsøkonomisk vurdering av case-område på Nadderud, Bærum*. Masteroppgave. Ås: Norwegian University of Life Sciences, Ås. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2720986>.
- Bærum kommune. (2017). *Overvannshåndtering Bærum kommune - En kort veileder for utbyggere og grunneiere*: Bærum kommune Vann og avløp.
- Bærum kommune. (2021). *Kommuneplanens arealdel*. Tilgjengelig fra: <https://www.baerum.kommune.no/om-barum-kommune/organisasjon/styringsdokumenter/kommuneplanen-arealdel/#chapter5>.
- Chen, A. S., Djordjevic, S., Leandro, J. & Savic, D. (2007). The urban inundation model with bidirectional flow interaction between 2D overland surface and 1D sewer networks. *NOVATECH 2007*.
- COWI. (2015). *Overvannsarbeid i utlandet. Virkemidler for å redusere nedbørbetinget oversvømmelse i urbane områder. Oppdragsrapport M-316/2015, Miljødirektoratet*.
- COWI. (2018). *Norm og veileder for overvannshåndtering - Enebaakk kommune*.
- COWI. (2020). *Overvannsveileder for Indre Østfold kommune*: COWI, oppdragsnr. A102891.
- DFØ. (2018). *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*: Direktoratet for økonomistyring (DFØ).
- DHI. (2017a). *MIKE SHE Toolbox*: DHI.
- DHI. (2017b). *MIKE 21 Flood Screening Tool*.
- DHI. (2021). *MIKE FLOOD - Urban, coastal and riverine flooding*. <https://www.mikepoweredbydhi.com/>: DHI. Tilgjengelig fra: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-flood> (lest 11.05.2021).
- Dyrddal, A. V., Skaugen, T., Stordal, F. & Førland, E. J. (2016). Estimating extreme areal precipitation in Norway from a gridded dataset. *Hydrological Sciences Journal*, 61 (3): 483-494.
- Dyrddal, A. V. & Førland, E. J. (2019). *Klimapåslag for korttidsnedbør, Anbefalte verdier. NCCS report no. 5/2019.*: Norsk Klimaservicesenter.
- Dyrddal, A. V. (2020). *dimensjonerende nedbør*. snl.no: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/dimensjonerende_nedb%C3%B8r (lest 24.02.2021).

-
- Finansdepartementet. (2014). *Rundskriv R-109/2014*. Det kongelige finansdepartement.
- FinansNorge. (u.å.). *Vannskadestatistikk (VASK) - Om VASK*: Finans Norge. Tilgjengelig fra: <https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/vask/> (lest 06.05.2021).
- Friborg, T. & Deggerdal, G. (2018). *Overvannskartlegging Nadderud. Teknisk rapport*: Sweco.
- Frogn kommune. (2015). *VA-norm for Frogn kommune*. VA-norm.no: Frogn kommune.
- Government of Western Australia - Department of Water. (2011). *Water sensitive urban design - Stormwater design considerations*: Department of Water.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A., et al. (2015). *Klima i Norge 2100: kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert 2015*, b. 2015:2. Oslo: Norsk klimaservicesenter. Tilgjengelig fra: https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/_attachment/6616?_ts=14ff3d4eeb8.
- Haugård, P. Å. S. (2017). *Analyse av lønnsomhet for overvannstiltak - En casestudie av avløpsnett ved Grefsen, Oslo kommune*. Masteroppgave. Profitability analysis for stormwater management measures - A case study of the wastewater network in Grefsen, Oslo municipality. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2450252>.
- Hernes, R. R. (2018). *Kostnader ved lokale overvannstiltak*.
- Kartverket. (2019). *Produktspesifikasjon: DTM 10 Terrengmodell*.
- Kristiansand kommune. (2016). *Overvannsveileder for Kristiansand kommune*.
- København kommune. (2012). *Københavns kommunes Skybrudsplan 2012*.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). *Norsk Vann Rapport 162: Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Hamar.
- Lindholm, O., Endresen, S., Tønder Smith, B. & Thorolfsson, S. (2012). *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem*. Norsk Vann Rapport 193. Hamar: Norsk Vann.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I. & Reinvang, R. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak. Teknisk rapport*, 305.
- Mamen, J. & Iden, K. A. (2010). *Analyse av korttidsnedbør i Norge 1967-2009*.
- Nilsen, V. (2017). *IDF-statistics and expected annual damage*. Upublisert manuskript.
- Nordeidet, B., Hansen, C. B., Munk, T. S. & Nielsen, C. N. (2019). *Ekstremnedbør i Oslo. Skadeomfang og kostnader*: Rambøll.

-
- Nordheim, L.-G. (2019). *Utvikling av en kost-nyttemodell basert på urban flommodellering og FKB-data*. Masteroppgave. Development of a cost-benefit model based on urban flood modeling and FKB-data. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2606004>.
- Norsk klimaservicesenter. (2021a). *Hjelp til valg av IVF*. Norsk klimaservicesenter: Norsk klimaservicesenter. Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/kss/vrdata/ivf-veiledning> (lest 24.02.2021).
- Norsk klimaservicesenter. (2021b). *Nedbørintensitet (IVF-verdier) Øvrevoll, Bærum*. Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb&locationId=SN19510> (lest 04.03.2021).
- NOU 2009: 16. *Globale miljøutfordringer - norsk politikk. Hvordan bærekraftig utvikling og klima bedre kan ivaretas i offentlige beslutningsprosesser*. Oslo: Norges offentlige utredninger.
- NOU 2012: 16. *Samfunnsøkonomiske analyser*. Oslo: Norges offentlige utredninger.
- NOU 2015: 16. *Overvann i byer og tettsteder. Som problem og ressurs*. Oslo: Norges offentlige utredninger.
- Olsen, A. S., Zhou, Q., Linde, J. J. & Arnbjerg-Nielsen, K. (2015). Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments. *Water*, 7 (1): 255-270.
- Oslo kommune. (2017). *Overvannshåndtering - En veileder for utbygger*: Oslo kommune Vann- og avløpsetaten.
- Paus, K. H., Førland, E. J., Anne, F., Lindholm, O. & Åstebøl, S. O. (2015). *Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet*. Miljødirektoratet, Rapport M-292/2015
- Skogvold, T., Hoven, L. E., Bramslev, J. P., Sælthun, N. R., Valla, T. & Flatlandsmo, I. (2018). *Klimatilpassing: Kost-/nytteanalyse for overvannstiltak langs vei*: Oslo kommune og Klimaetaten
- Solheim, E. B., French, H. K. & Braskerud, B. C. (2017). Måling av infiltrasjon fra overflaten for bruk av åpen LOD i praksis. *Vannforeningen*.
- SuDS Wales. (2021). *Sustainable Drainage Systems (SuDS) Wales*. Tilgjengelig fra: <https://www.sudswales.com/education/background/prevention-controls/> (lest 20.05.2021).
- Zhou, Q., Panduro, T. E., Thorsen, B. J. & Arnbjerg-Nielsen, K. (2013). Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: An integrated hydrological cost-benefit analysis. *Environmental management*, 51 (3): 586-601.
- Ødegaard, H., Lindholm, O., Østerhus, S. W., Thorolfsson, S., Heistad, A., Sægvog, S. & Mosevoll, G. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*.

Ørstavik, E. & Mæhlum, L. (2020). *geografisk informasjonssystem - GIS*. snl.no: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/geografisk_informasjonssystem_-_GIS (lest 01.03.2021).

Ås kommune. (2015). *Ås kommune. Norm for overvannshåndtering*.

Vedlegg A – Beregning av forventede årlige skadekostnader (EAD)

I dette vedlegget presenteres et beregningseksempel for forventede årlige skadekostnader. I beregningseksempelen er det tatt utgangspunkt i skadekostnadene fra *Tabell A-1*. Tilsvarende beregninger kan gjennomføres for å finne andre forventede årlige skadekostnader fra *Vedlegg B*.

Tabell A-1: Resultater fra kostnadsmodellen for ulike nedbørshendelser uten tiltak.

Nedbørshendelse	Tiltak	Skadekostnad
2 år	0 mm	722 708
5 år	0 mm	2 708 096
10 år	0 mm	4 331 745
20 år	0 mm	5 529 152
50 år	0 mm	11 297 026
100 år	0 mm	16 050 854
1000 år	0 mm	34 488 633

Tabell A-2: Verdier for påslagsfaktor 3.

Nedbørshendelse	Påslag
2 år	1,0
5 år	1,1
10 år	1,2
20 år	1,4
50 år	4
100 år	3
1000 år	5

For et 100-årsperspektiv velges diskonteringsrente = 2 %, jamfør delkapittel 2.5.2 . Dette gir nåverdifaktor (c) = 43,1. Denne faktoren benyttes for alle netto nåverdiberegninger i oppgaven.

$$K_{skade} = \left(c * \left(\frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \left(\frac{p_{T_k} * DF(T_k)}{T_k^2} + \frac{p_{T_{k-1}} * DF(T_{k-1})}{T_{k-1}^2} \right) \Delta T_k \right) \right)$$

Totale skadekostnader for et 100-årsperspektiv beregnes ved innsetting i formelen over. For skadekostnader for 0 mm-tiltak, nåverdifaktor 43,1 og påslagsfaktor 3 fra *Tabell A-2* ender totale skadekostnader på 205 907 381 kroner.

Vedlegg B – Resultater fra kostnadsmodellen

Tabell B-1: Resultater fra simuleringene av case-området uten tiltak. Bygningstype, min, maks og median skadekostnad oppgitt. Bygninger oppgitt i antall skadde og skadekostnader i MNOK.

	2 år	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år	1000 år
Anneks	14,0	34,9	43,1	49,8	75,9	95,9	151,0
Barnehage	-	-	-	-	0,1	0,1	1,0
Boligbygg	8,8	19,8	26,7	31,1	47,8	65,2	112,5
Brannstasjoner og ambulansesentraler	-	-	-	-	-	-	-
Forretninger	-	-	-	-	-	-	1,6
Helseinstitusjoner	-	-	-	-	-	-	-
Hoteller og restauranter	-	-	-	-	-	-	-
Industri	0,9	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	2,6
Kultur- og idrettsbygg	-	-	-	0,2	0,6	0,6	1,0
Skole	-	-	-	-	-	0,3	0,6
Min Skadekostnad	0,19	1,12	2,14	3,08	7,15	11,66	26,42
Maks Skadekostnad	1,87	5,04	6,90	8,66	15,53	20,94	45,66
Skadekostnad	0,72	2,74	4,33	5,53	11,30	16,05	34,49

Videre er «Skadekostnad» fra tabellen over listet for alle de gjennomførte simuleringene.

Alternativ 0

Tabell B-2: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-6.

Nedbør/Tiltak	0 mm	4 mm	8 mm	12 mm	16 mm	20 mm	22 mm
2 år	722 709	385 324	202 247	38 245	1 105	0	0
5 år	2 738 097	2 278 925	1 583 257	790 030	311 311	111 930	60 316
10 år	4 331 746	3 916 489	3 341 529	1 840 977	980 066	329 250	232 125
20 år	5 529 153	4 944 068	4 381 820	3 371 470	2 023 785	861 727	567 662
50 år	11 297 026	10 578 812	9 529 665	7 826 308	5 328 519	3 472 739	2 651 565
100 år	16 050 855	15 309 782	13 891 210	11 790 653	9 491 294	6 691 083	5 334 110
1000 år	34 488 633	33 615 687	31 999 385	29 943 453	26 987 462	22 252 782	20 302 616
Nedbør/Tiltak	24 mm (1 år)	26 mm	29 mm (2 år)	32 mm	37 mm (5 år)	42 mm (10 år)	47 mm (20 år)
2 år	0	0	0	0	0	0	0
5 år	53 862	49 060	52 690	45 174	0	0	0
10 år	172 056	89 872	52 592	54 881	49 017	0	0
20 år	392 825	217 524	156 759	86 945	51 337	46 314	0
50 år	1 944 926	1 345 159	675 318	336 705	222 986	155 649	108 801

100 år	4 321 710	3 263 470	2 219 095	1 200 603	701 202	241 480	191 719
1000 år	19 242 457	17 473 346	14 225 369	11 307 214	8 147 437	4 613 753	2 630 790

Alternativ 1 og 2

Tabell B-3: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-7.

Tiltak/Regn	15 mm	21 mm - 9 mm	9 mm - 21 mm
30 mm	66 696	198 724	81 936
40 mm	805 066	1 597 875	1 054 419
50 mm	3 581 432	4 059 084	3 103 618
70 mm	19 802 916	18 788 439	20 062 837
Tiltak/Regn	24 mm	30 mm - 18 mm	18 mm - 30 mm
30 mm	0	0	0
40 mm	21 463	199 288	79 889
50 mm	684 636	1 475 214	949 569
70 mm	11 383 423	11 637 247	11 776 561

Alternativ 3

Tabell B-4: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-9.

Nedbør/Tiltak	Uten idrett 26, 26 mm	3, 27, 15 mm	Kun bolig 29 mm	42 mm	Oslo
2 år	-	-	958	-	-
5 år	47 925	44 812	56 754	-	-
10 år	89 793	61 946	84 366	-	50 223
20 år	200 706	199 400	190 272	46 314	51 831
50 år	1 375 414	1 336 682	1 062 703	155 649	147 682
100 år	3 518 733	3 491 991	3 123 939	241 480	233 597
1000 år	17 931 380	17 715 529	16 339 532	4 613 753	4 592 345

Alternativ 4

Tabell B-5: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-10.

Nedbør/Tiltak	Bolig 10mm	Bolig 14mm	Bolig 26mm	Bolig 29mm
2 år	93 698	9 050	965	958
5 år	1 179 693	476 668	60 131	56 754
10 år	2 834 755	1 575 834	122 180	84 366
20 år	4 177 736	2 893 374	280 030	190 272
50 år	9 305 740	7 293 808	1 776 955	1 062 703
100 år	13 249 818	11 130 466	4 398 783	3 123 939
1000 år	30 908 244	28 725 119	18 608 658	16 339 532

Nedbør/Tiltak	Bolig 31mm	Bolig 38mm	Bolig 50mm	Bolig 56mm
2 år	958	958	958	958
5 år	54 495	48 580	48 580	48 580
10 år	81 608	64 715	69 918	69 918
20 år	121 844	89 215	86 747	86 747
50 år	745 050	298 806	202 298	196 193
100 år	2 641 166	864 795	553 669	492 258
1000 år	14 625 924	9 811 083	3 912 965	2 349 992

Alternativ 5

Tabell B-6: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-12.

Nedbør/Tiltak	6, 37 mm	13, 33 mm	20, 29 mm	29, 24 mm
2 år	38 507	-	-	-
5 år	473 781	172 468	57 596	49 700
10 år	733 872	420 601	155 898	86 346
20 år	914 218	645 245	323 874	264 898
50 år	2 778 698	2 205 880	1 740 150	1 386 438
100 år	5 223 209	4 914 201	4 323 269	3 329 844
1000 år	17 195 089	18 179 958	18 543 320	17 569 395

Nedbør/Tiltak	33, 22 mm	37, 20 mm	42, 17mm	54, 10 mm
2 år	-	-	-	55 375
5 år	54 843	75 445	110 448	469 424
10 år	109 564	138 573	407 515	872 891
20 år	308 512	481 398	583 779	1 216 629
50 år	1 350 161	1 401 319	1 507 333	2 315 697
100 år	3 146 664	2 804 665	2 797 101	3 736 247
1000 år	16 619 562	16 283 147	16 159 825	14 479 433

Tabell B-7: Resultater fra simuleringene i Tabell 3-13.

Nedbør/Tiltak	Avr. 8mm	Avr. 12mm	Avr. 22mm	Avr. 24mm
2	156060	27929	-	-
5	1383933	633990	51231	49700
10	2872321	1559767	179074	86346
20	4339412	2844851	394745	264898
50	9309381	7614833	2114787	1386438
100	13732659	10923761	4578683	3329844
1000	31490942	29040032	19603886	17569395

Nedbør/Tiltak	Avr. 26mm	Avr. 32mm	Avr. 42mm	Avr. 47mm
2	-	-	-	-
5	50313	47630	47630	47630
10	53251	50535	53972	53972
20	172004	54696	51925	51925
50	848626	257732	105495	99620
100	2429074	693047	182642	152176
1000	15109324	10059068	3428870	1965931



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway