



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Metode for utarbeidelse av plan for overvannshåndtering ved bruk av MIKE 21 og GIS

Method for designing a stormwater management
plan by using MIKE 21 and GIS

Eivind Hagen og Martin Andersen
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne oppgaven markerer avslutningen på vår mastergrad innen Vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven omfatter 30 studiepoeng og er skrevet ved Fakultetet for Realfag og Teknologi (REALTEK).

Hensikten med oppgaven er å teste en metodikk for overvannshåndtering. Metodikken kan være et bidrag til implementering av overvannsstrategi i norske kommuner. Oppgaven omfatter en rekke analyser som danner et prioriteringsgrunnlag for valg av LOD-tiltak til overvannsdistribusjon i urbane områder i Norge. Dataverktøyene benyttet for analysene i oppgaven er MIKE 21 og ArcMap.

Vi ønsker å takke Vann- og avløpsetaten (VAV) for å ha stilt opp med arbeidsplass, PC, modell og programvare. Takk til seksjon utredning i avdeling plan og prosjekt, VAV, for et godt arbeidsmiljø og gode tips i løpet av oppgaveskrivingen. Takk til Samatar Abdi og Sindre Aal Sellæg fra VAV for teknisk bistand. En takk rettes også til Jon Arne Engan for kurs i ArcGIS Pro. Karen Brinchmann, Halvor Hardang, Kristina Tvedalen og Christofer Karlsson fra DHI har vært svært hjelpelige under modelleringsprosessen. Tusen takk til Inger Marie Hagen, Sigvald Hagen og Simon Kavanagh for korrekturlesning. Dette løftet oppgaven et stort hakk. Vi ønsker også å takke vår biveileder Vegard Nilsen for gode tilbakemeldinger og hjelp underveis. Tilslutt ønsker vi å rette en stor takk til vår hovedveileder Julia Kvitsjøen for et godt samarbeid.

Ås, 12. mai 2018

Eivind Hagen

Martin Andersen

“When it rains, it pours”

- Engelsk ordtak

Sammendrag

Ifølge rapporten utgitt av Hanssen-Bauer et al. (2015), forventes det en økning i nedbørsintensitet og hyppighet av kraftige nedbørshendelser. Som følge av befolkningsvekst i byer og tettsteder vil andelen impermeable flater kunne øke. Dette fører videre til at en større del av regnet ender opp som overflateavrenning. Byer på Østlandet har tidligere opplevd problemer i forbindelse med pluviale flommer og det er forventet betydelige samfunnsmessige kostnader i forbindelse med disse (DSB 2016).

I 2017 utviklet DHI og SWECO en metodikk for håndtering av overvann etter bestilling fra Stadsbyggnadskontoret - Göteborgs Stad. Metodikken ble brukt for å undersøke to områder i Göteborg by og baserte seg på 2D-simuleringer av flomforløp etterfulgt av kartanalyser av tilgjengelig data og identifisering av risikoområder. Fremgangsmåten begynte med å organisere et nedbørsfelt inn i flere mindre delnedbørsfelt, etterfulgt av vannbalanseanalyser, konsekvensvurderinger, analyse av tiltakspotensial og analyse av overvannsmengder som kunne bli håndtert ved hjelp av LOD-tiltak. Disse analysene ga et grunnlag for utvelgelse og plassering av LOD-tiltak i området. Modifisering og reorganisering av LOD-tiltak fortsatte helt frem til konsekvensene av oversvømmelsen fra modellanalysene ble redusert til et akseptabelt nivå.

Denne masteroppgaven har hovedsakelig basert seg på det ovennevnte arbeidet og ønsker å etterprøve og tolke metodikken for anvendelse i norske kommuner. Metodikken for utarbeidelse av en plan av overvannshåndtering blir i denne oppgaven testet for østre del av Akerselva nedbørsfelt. Planen analyserer konsekvensene av et 200-års regn med hensyn til bygninger, trafikk og veinett. LOD-tiltak blir deretter implementert i modellen for å avlede overvannet fra områdene hvor de største konsekvensene forekommer. Hydrauliske analyser av nedbørsfeltet er utført ved bruk av dataverktøyet MIKE 21 og etterfølgende analyser ved bruk av dataverktøyet ArcMap.

En av målsettingene for oppgaven er å danne et prioriteringsgrunnlag for valg av løsninger til overvannsdiskonering i urbane områder i Norge. Metoden beskrevet i oppgaven er anvendbar for å identifisere problemområder i et stort nedbørsfelt, i tillegg til problemer på detaljnivå for bygninger og infrastruktur. Som følge av dette kan analysene indikere områder hvor flomsituasjonen bør forbedres. Analysene inkluderer parametre som normalt ikke inkluderes i VA-planlegging, herunder samfunnsrelevante objekter. Dermed kan prioriteringskartet, som fremgår ved bruk av metodikken, benyttes av kommunale instanser i deres arbeid for å redusere virkningen av pluvial flom. Dette kan videre danne et utgangspunkt for samarbeid på tvers av etatene.

Etter endt gjennomføring fremgår det at kvaliteten på datagrunnlaget er avgjørende for å få frem pålitelige resultater. I tillegg er bransjeerfaring, teknisk kompetanse og lokalkunnskap om et område sentralt for at resultatene skal kunne valideres og være av høy kvalitet. Sluttproduktet ved bruk av denne metodikken vil kunne gi en oversikt over delområder i nedbørsfeltet hvor gjennomføring av LOD-tiltak gir størst effekt og en vurdering av egnethet av ulike typer tiltak i delnedbørsfeltene på et overordnet nivå.

Abstract

According to the report by Hanssen-Bauer et al. (2015), an increase in the intensity and frequency of heavy rainfall is expected towards the end of the century. As a result of population growth in cities and towns, the proportion of impermeable surfaces will increase. This causes a larger part of the rain to end up as runoff. Cities in Eastern Norway have previously experienced pluvial floods and the significant social costs connected with them (DSB 2016).

In 2017 DHI and SWECO developed a methodology for stormwater management on behalf of the urban planning department in Gothenburg municipality. The methodology was used to examine two areas in Gothenburg city and was based on 2D simulations of flooding followed by analysis of available map data and identification of risk areas. The process began by organizing a catchment area into several smaller subdivision fields, followed by water balance analysis, impact assessment, action potential analysis and volume analysis for SuDS measurements. These analyses provided a basis for selecting and placing SuDS measurements in the area. Modification and reorganization of SuDS measurements continued until the consequences of flooding from the model analyses were reduced to an acceptable level.

This master's thesis is predominantly based on the work mentioned above and wishes to test and verify the methodology for use in Norwegian municipalities. The methodology is tested for the eastern part of the Akerselva river catchment area. The plan analyses the consequences of a 200-year rain event with regard to buildings, traffic and road networks. SuDS measures are then implemented in the model to drain stormwater from the areas where the biggest consequences occur. Hydraulic analysis of the catchment area is performed using the MIKE 21 data tool and subsequent analyses using the ArcMap data tool.

One of the objectives of this thesis is to form a basis for prioritizing stormwater solutions in urban areas in Norway. The method described in the thesis is useful for identifying problem areas in a large catchment area, as well as problems at a detailed level for buildings and infrastructure. As a result, the analyses may indicate areas where the flood situation should be improved. The analyses include parameters that are not normally included in water and sanitation planning, including objects of social significance. Thus, the priority map, as will be apparent from the methodology, can be utilized by municipalities in their efforts to reduce the impact of pluvial flooding. Furthermore this can form a starting point for cooperation across the agencies.

After completion of this study, it appears that the quality of the data is crucial for a satisfactory analysis. In addition, industrial experience, technical expertise and local knowledge of an area are key in order for the results to be validated and to be of high quality. The final product by using this methodology could give an overview of sub-areas in the catchment area, where implementation of SuDS measurements gives the greatest effect and an assessment of the suitability of various types of measurements in the subdivision fields.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	V
Abstract	VII
Figurliste	XI
Tabelliste	XII
Liste over forkortelser	XIII
1 Innledning	1
1.1 Problemstilling	2
1.2 Oppgavens struktur	2
2 Bakgrunn	3
2.1 Klima	3
2.1.1 Klima i Norge 2100	3
2.1.2 Klimafaktor	4
2.1.3 Nedbør	4
2.2 Urbanisering	6
2.3 LOD og treleddsstrategien	8
2.3.1 Infiltrasjon	11
2.3.2 Fordrøyning	12
2.3.3 Sikre flomveier	12
2.4 Vannskadestatistikk	15
2.5 Hydraulisk modellering av overvann	17
2.6 Metoder for tilnærming av overvannshåndtering	19
2.6.1 New York	19
2.6.2 Fagerheim	20
2.6.3 Gøteborg	21
3 Metode for utarbeidelse av plan for overvannshåndtering	23
3.1 Analyseområde	23
3.2 Begrensninger og antagelser	24
3.3 Del I – Innledende modellberegninger og analyser	26
3.3.1 Inndeling i delnedbørsfelt	26
3.3.2 Analyser av vannbalanse	26
3.3.3 Konsekvensvurdering	27
3.3.4 Analyse av tiltakspotensial	32

3.3.5	Valg av overordnet ledd fra treleddsstrategien og distribuering av oversvømmelsesvolum	32
3.4	Del II – Innføring av LOD-tiltak	34
3.4.1	Tiltaksmodellering og effektvurdering	34
3.4.2	Håndtering av uløste områder	34
4	Resultater	37
4.1	Resultater fra planen for overvannshåndtering	37
4.1.1	Innledende modellberegninger	37
4.1.2	Analyser av vannbalanse	41
4.1.3	Konsekvensvurdering	43
4.1.4	Tiltakspotensial	49
4.1.5	Valg av overordnet ledd fra treleddsstrategien og distribuering av oversvømmelsesvolum	51
4.1.6	Innføring av LOD-tiltak	56
4.1.7	Effektvurdering	60
4.1.8	Håndtering av uløste områder	67
5	Diskusjon	71
5.1	Videre arbeid	73
6	Konklusjon	75
	Referanser	76
	Vedlegg A: Beskrivelse av metodikk	I
	Vedlegg B: Bakgrunn for konsekvenslag	XVII

Figurliste

2.1	Grenseverdier for hendelser som klassifiseres som kraftig regn	5
2.2	Befolkningsframskrivinger i Oslo kommune frem mot 2040	6
2.3	Avrenningsforhold i ubebygde og bebygde områder	7
2.4	Konvensjonell og åpen lokal overvannsdiskonering	8
2.5	Treleddsstrategi	10
2.6	Prosentvis håndtering fra treleddsstrategien	11
2.7	Prinsippskisse for åpen overvannshåndtering	14
2.8	Fremgangsmåte for overvannshåndtering utviklet for New York	20
2.9	Fremgangsmåte for overvannshåndtering i Fagerheim	20
2.10	Metodikk for overvannshåndtering utviklet for Gøteborg	22
3.1	Oversikt over parametere i vannbalansen for et delnedbørsfelt	27
3.2	Oversikt over stegene i Del I	33
3.3	Oversikt over stegene i Del II	36
4.1	Vanndybder fra tidssteget hvor summen av de totale vanndybdene fra hele nedbørsfeltet er på sitt høyeste	39
4.2	Vannføringer fra tidssteget hvor summen av de totale vanndybdene fra hele nedbørsfeltet er på sitt høyeste	40
4.3	Vannbalanseanalyser ved 200-års regn	42
4.4	Relativ konsekvensfordeling for kategorien samfunnsrelevante institusjoner	44
4.5	Relativ konsekvensfordeling for kategorien «skadekostnad»	45
4.6	Relativ konsekvensfordeling for kategorien «framkommelighet»	46
4.7	Sammenlagt relativ konsekvensvurdering av delnedbørsfeltene	48
4.8	Relativt tiltakspotensiale for delnedbørsfeltene	50
4.9	Valg av ledd fra treleddsstrategien og oversvømmelsesvolum	53
4.10	Utrekninger av volum for diverse fordrøyningstiltak	57
4.11	Utrekninger av vannføringer for diverse sikre flomveier	58
4.12	Innførte LOD-tiltak i terrengmodellen	59
4.13	Endring i vanndybder før og etter tiltak	61
4.14	Forandret konsekvens samfunnsrelevante institusjoner	63
4.15	Forandret konsekvens skadekostnad	64
4.16	Forandret konsekvens framkommelighet	65
4.17	Problemområder	67
4.18	Problemområde 0, Hammerfestgata barnehage	68
4.19	Problemområde 1, Ring 3	68
4.20	Problemområde 2 og 3, Askeladden og Guldalen barnehage	69
4.21	Problemområde 4, Justis og beredskapsdepartementet	69

Tabelliste

2.1	Klimafaktorer fra ulike utslippsscenarioer	4
2.2	Potensielle skadevirkninger som følge av overvann	16
3.1	Oversikt over ledningsnettet i Akerselva nedbørsfelt	23
3.2	Kategorier innenfor samfunnsrelevante institusjoner	28
3.3	Kategorier innenfor skadekostnad	29
3.4	Kategorier innenfor framkommelighet	30
3.5	Klassifisering av areal typer med hensyn til tiltakspotensial	32
4.1	Vekting og rangering av total konsekvens for de ulike delnedbørsfeltene.	47
4.2	Oversvømmelsesvolum og valg av overordnet ledd fra treleddsstrategien.	55
4.3	Relativ konsekvensforandring	66
4.4	Oversvømmelsesvolum i de respektive delnedbørsfeltene før og etter tiltak, samt anslagsvis effekt av LOD-tiltak	70

Liste over forkortelser

Akronym	Forklaring
BYM	Bymiljøetaten
dfs2	«Digital file system type 2». Filtype benyttet i MIKE 21
DSB	Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap
FKB	Felles kartdatabase
GIS	Geografiske Informasjonssystemer
KVU	Konseptutvalgsutredning
LOD	Lokal overvannsdiskonering
MET	Meteorologisk institutt
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
NGU	Norges Geologiske Undersøkelse
NOU	Norges offentlige utredninger
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
SSB	Statistisk sentralbyrå
SuDS	Sustainable drainage system
TEK	Teknisk forskrift
TP	Taktisk plan
VASK	Vannskadestatistikk
VA	Vann og avløp
VAV	Vann- og avløpsetaten

1. Innledning

Det er ventet at klimaendringer som følge av økte utslipp av drivhusgasser vil føre til økning i omfang og hyppighet av ekstreme nedbørshendelser. Store nedbørsmengder i samspill med en betydelig andel impermeable flater i urbane områder vil kunne resultere i store samfunnsmessige kostnader knyttet til skade på bebyggelse og infrastruktur. I NOU 2015:16 (2015) anslår et utvalg at disse kostnadene vil ligge i området mellom 1,6 og 3,6 milliarder kroner hvert år i tiden fremover. Utvalget anslår videre at skadekostnadene kan utvikles til å bli betydelige, med mindre skadeforebyggende tiltak settes i verk.

Det fremgår av NOU 2015:16 (2015) at et tettere samarbeid mellom ulike sektorer innenfor kommunen er sentralt for å oppnå hensiktsmessige resultater med hensyn til overvannshåndtering. Som landets største fagmiljø innen vann- og avløp, har VAV utarbeidet handlingsplaner for å håndtere fremtidig overvannsproblematikk (Oslo kommune 2013; Oslo kommune 2016c). For videre oppfølging av handlingsplanene vil det kunne være et behov for kartfestede planer for overvannshåndtering i ny og eksisterende bebyggelse. Ved opprettelse av en plan for overvannshåndtering kan kommunen etablere et hjelpemiddel som kan bidra til tverrfaglig samarbeid og eventuelt oppnå tydeligere retningslinjer overfor private utbyggere.

Denne masteroppgaven er en del av et tverrfaglig studentprosjekt som er initiert i regi av det offentlige doktorgradsarbeidet til Julia Kvitsjøen «Økonomisk og robust overvannshåndtering for en by i vekst og et klima i endring». Doktorgradsprosjektet utføres i samarbeid med VAV, NMBU og Norges forskningsråd. I tillegg til denne masteroppgaven, skal studenter fra fagdisiplinene landskapsarkitektur, hydrogeologi, byggteknikk og økonomi også levere sine bidrag til prosjektet. Formålet med det tverrfaglige prosjektet er å redusere negative overvannsrelaterte konsekvenser, samt

redusere volumet av fremmedvann som føres til renseanleggene fra Torshovbekken nedslagsfelt. Målet er å sitte igjen med bærekraftige og robuste interdisiplinære løsninger for håndtering av overvann i urbane strøk.

Planen for overvannshåndteringen i denne oppgaven vil bli eksemplifisert ved østre del av Akerselva nedbørsfelt, som er et område på om lag 12,3 km². Datagrunnlaget for analysene benyttet i oppgaven er ulike kartlag på ca. 11000 bygninger, kommunale parker i Oslo, parkeringsplasser, t-bane og trikkspor og veier benyttet til kollektivtransport og privatbilisme. Kartlagene er innhentet fra VAV og BYM sine databaser.

1.1 Problemstilling

Formålet med denne oppgaven er å teste en metodikk for utarbeidelse av plan for overvannshåndtering ved bruk av digitale kartbaserte analyseverktøy. Oppgaven omfatter prioritering av urbane delområder med hensyn til konsekvenser som følge av overvann i en innledende planleggingsfase. Problemstillingen som denne masteroppgaven ønsker å besvare er:

- Hvilke parametre og analyser er tilstrekkelig for utvelgelse og dimensjonering av LOD-tiltak på et overordnet nivå, i en innledende planleggingsfase for urbane områder?

I tillegg ønskes følgende spørsmål besvart:

- Er metodikken anvendbar for både eksisterende og ny bebyggelse i urbane områder?

1.2 Oppgavens struktur

Oppgaven består av seks hovedkapitler. Kapittel 2 er et litteraturstudium over relevant bakgrunnsteori for oppgaven. I kapittel 3 beskrives metoden for oppretting av plan for overvannshåndtering. I kapittel 4 presenteres resultater fra analyseområdet, etterfulgt av diskusjon i kapittel 5 og konklusjon i kapittel 6.

2. Bakgrunn

2.1 Klima

Klima defineres som et typisk værmønster over et område, basert på gjennomsnittsverdier fra normalperioder med 30 års varighet (Dannevig & Harstveit 2018).

2.1.1 Klima i Norge 2100

På oppdrag fra Miljødirektoratet ble det i 2015 utgitt en rapport for å gi et oppdatert vitenskapelig grunnlag for klimatilpasning i Norge (Hanssen-Bauer et al. 2015). Rapporten viser at den gjennomsnittlige årlige nedbørsmengden i mm/år fra 1900 fram til i dag har økt med ca. 18 prosent. Den største økningen av årlig nedbør har forekommet i årene etter 1980. Rapporten utgitt av Hanssen-Bauer et al. (2015) beskriver flere mulige fremtidige klimaendringer basert på ulike utslippsscenarioer av klimagasser. Scenarioet «RCP2.6» tar utgangspunkt i drastiske utslippskutt fra og med 2020. I scenarioet «RCP4.5» antas det små utslippsendringer frem til 2050 og påfølgende utslippskutt etter dette. «RCP8.5» tar utgangspunkt i at utslippene av klimagasser fortsetter å øke helt fram til slutten av dette århundret. Samtlige av utslippsscenarioene vil føre til en høyere gjennomsnittstemperatur ifølge rapporten. Avhengig av hvilket scenario som inntreffer, påpekes det i «Klima i Norge 2100» at ved slutten av århundret kan antall dager med kraftig nedbør på ett år øke betraktelig. Det estimeres 50 prosent økning ved middels utslipp av klimagasser og 90 prosent økning ved høye utslipp av klimagasser (Hanssen-Bauer et al. 2015).

I tillegg til økte mengder overvann som følge av mer årsnedbør og kraftigere styrtregneepisoder, vil klimaendringene i tillegg kunne føre til heving av havnivåene. Norge og særdeles Oslo har tidligere vært skjermet fra dette som følge av en naturlig

landheving etter siste istid. Det er estimert at havnivået kan kunne øke med mellom 15 til 55 cm avhengig av lokalitet mot slutten av dette århundret. Uavhengig av hvilket scenario som inntreffer, vil det kunne skje et skifte fra en hovedvekt av flommer som stammer fra snøsmelting, til flommer knyttet til regn. Dette vil kunne føre med seg en tidligere vårflom, samt økt fare for flommer senere på høsten og vinteren. Tiden fremover gir særlige utfordringer for små, bratte elver og bekker i urbane strøk, som følge av flere og kraftigere regnperioder. Rapporten beskriver videre at det kan forekomme en økning i markvannsunderskudd, ved lengre perioder med lav grunnvannsstand og lav vannføring i elver (Hanssen-Bauer et al. 2015).

2.1.2 Klimafaktor

Klimafaktor er definert som forholdet mellom fremtidig intensitet og historisk intensitet, og beskriver forventet økning i fremtidig nedbørsintensitet. Norsk klimaservice-senter anbefaler en klimafaktor på 1,4, basert på beregninger av Førland et al. (2016), som et robust anslag for regnskyll med varighet mindre enn tre timer (KSS 2016). Oslo kommune benytter i dag 1,5 som klimafaktor i sine beregninger. Tabell 2.1 viser klimafaktorer for ulike utslippsscenarioer. Regnvarighetene er tre timer og ett døgn (markert i rødt) og normalperiodene som sammenlignes er 1976-2005 og 2071-2100. $q_{99.5}$ = Nedbørsmengde som overskrides i 0,5 prosent av tilfellene, M5 = 5-års gjentaksintervall og M200 = 200-års gjentaksintervall (Førland et al. 2016).

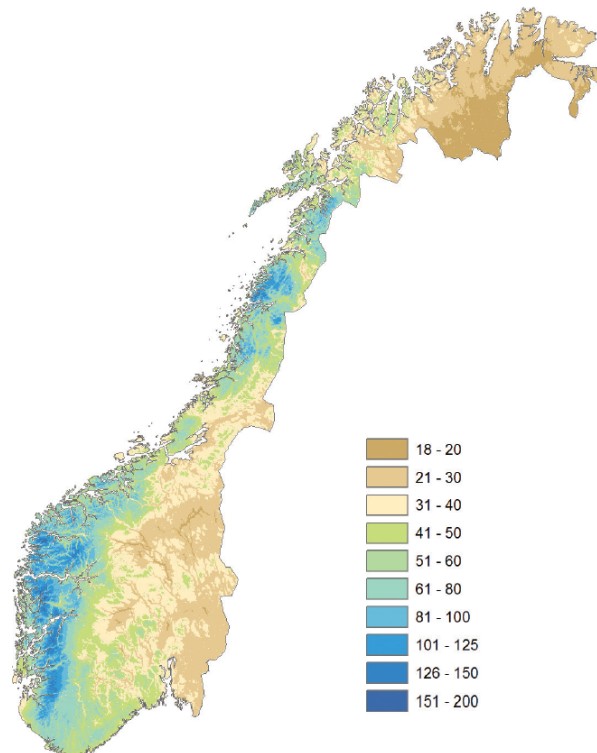
Tabell 2.1: Klimafaktorer fra utslippsscenarioene RCP4.5 og RPC8.5 over Østlandet med regnvarigheter på tre timer og ett døgn (markert i rødt). Tilpasset fra Førland et al. (2016).

Nedbørsscenarioer	Gjennomsnitt	RPC4.5				RPC8.5			
		Lavest	Høyest	Gjennomsnitt	Lavest	Høyest			
$q_{99.5}$	1.10 1.11	1.06 1.04	1.18 1.19	1.19 1.21	1.14 1.15	1.30 1.35			
M5	1.16 1.13	1.06 1.01	1.30 1.24	1.29 1.23	1.15 1.13	1.47 1.36			
M200	1.17 1.10	1.09 0.98	1.32 1.20	1.37 1.27	1.18 1.11	1.70 1.41			

2.1.3 Nedbør

Styrtregn, ekstremnedbør, regnflom, skybrudd og kraftig regn er begreper som blir benyttet for å beskrive intense nedbørsmengder. Sverige definerer minst 50 mm

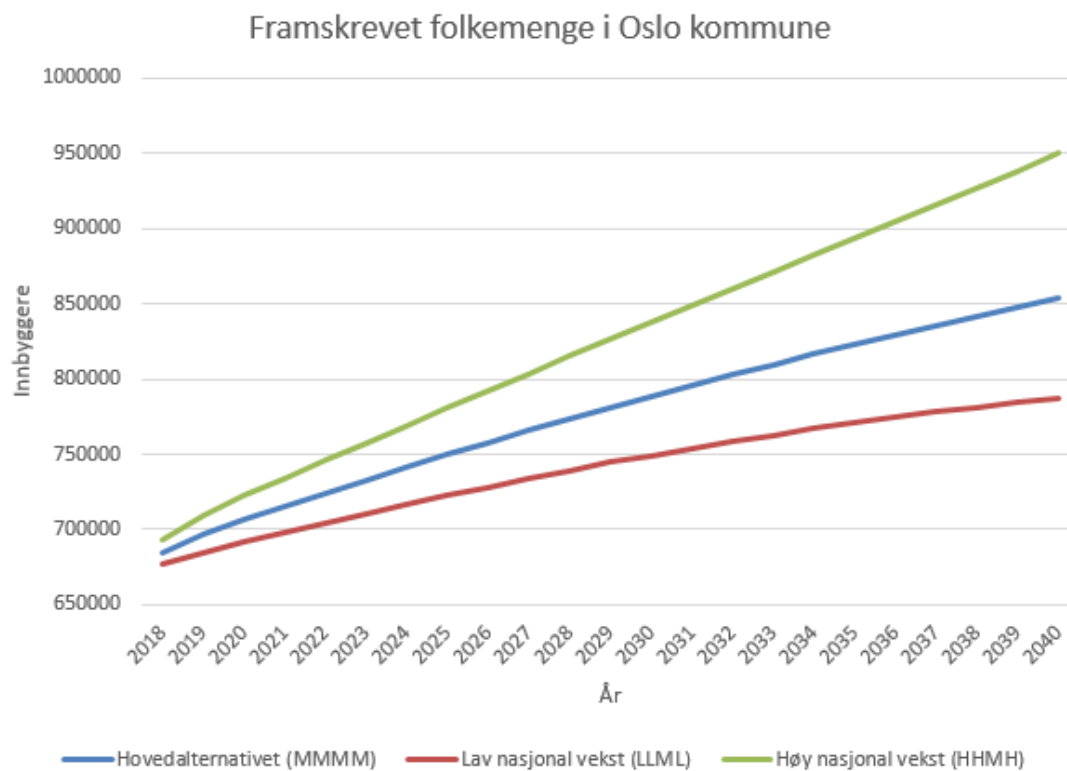
nedbør på en time eller minst 1 mm på et minutt som «Skyfall». I Danmark betegnes «Skybrudd» som nedbørsmengder større enn 15 mm nedbør på 30 minutter og beskriver kortvarig, men kraftig regnvær. I Norge varierer definisjonen på kraftig regn i forhold til beliggenheten. I NOU 2015:16 (2015) er «kraftig døgnsnedbør» beskrevet som ettdøgnsnedbør (mm/døgn) fra referanseperioden 1971-2000 som 0,5 prosent prosent av dagene som blir overskredet i gjennomsnitt en gang i løpet av en 200 års periode. Ytterpunkter som Finnmarksvidda og de mest regntunge områdene på Vestlandet viser en variasjon fra 20 mm/døgn til 150 mm/døgn ved ekstremnedbør, som vist i figur 2.1 (DSB 2016). Innenfor hver av de 13 ulike nedbørssonene i Norge er det derimot en mer stabil variasjon. På Østlandet varer de kraftigste nedbørsbygene i all hovedsak fra ett minutt til en time. Det er også disse intense nedbørene som forårsaker flest skader i tettbygde strøk (NOU 2015:16 2015).



Figur 2.1: Grenseverdier for hendelser som klassifiseres som kraftig regn (mm/døgn) (Hanssen-Bauer et al. 2015).

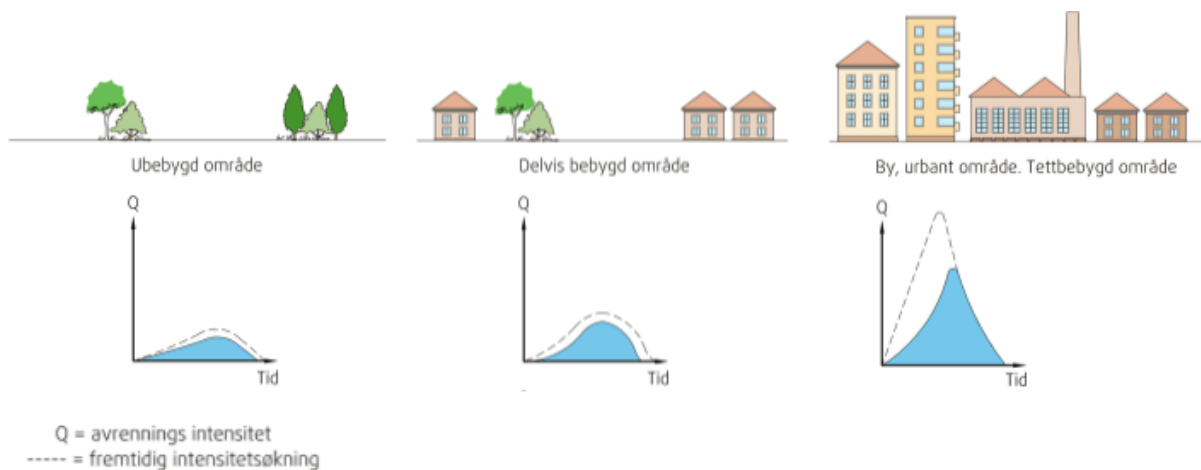
2.2 Urbanisering

Hovedalternativet for framskrevet folkemengde i Oslo, vil innebære en økning fra 685 000 innbyggere til 854 000 i 2040 (SSB 2016).



Figur 2.2: Befolningsframskrivninger i Oslo kommune frem mot 2040. Alternativene er kategorisert etter M = middels, L = lav og H = høy og kategoriene fruktbarhet, levealder, innenlandske flyttinger og innvandring (SSB 2016).

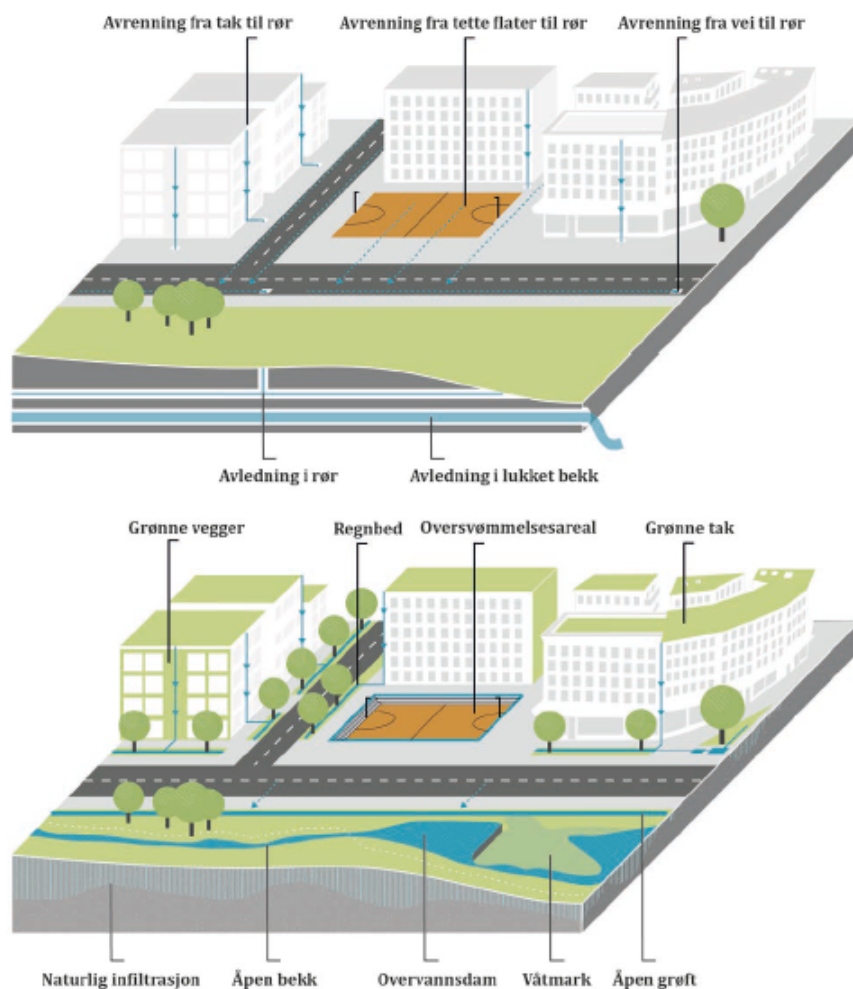
Befolningsvekst medfører gjerne opprettelse av nye bygninger og infrastruktur, som videre vil øke utfordringer knyttet til håndtering av overvann, grunnet økning av andel tette flater. Innføring av impermeable flater vil kunne føre til økning i både overflateavrenningen, som vist i figur 2.3.



Figur 2.3: Avrenningsforhold i ubebygde og bebygde områder. Tilpasset fra (SINTEF Byggforsk 2012).

I tettbebygde strøk kan kraftige nedbørshendelser skape stor skade på bebyggelse, og avløpsrenseanleggene vil motta store mengder fremmedvann som følge av nedbørshendelser. I tillegg vil økende grad av urbanisering føre til økt forurensning av overvannet, knyttet til tungmetaller og organiske miljøgifter som hovedsakelig stammer fra atmosfæriske forurensninger og slitasje- og forbrenningsstoffer med opphav fra transportmidler, overflatedekker og bygningsmasser (Åstebøl et al. 2012).

På bakgrunn av dette vil det kunne være hensiktsmessig med innføring av tiltak for håndtering av overvann, for å begrense forurensninger og skadekostnader. I en tidligere masteroppgave utgitt av Haugård (2017), konkluderes det med at innføring av åpne løsninger gir vesentlig høyere avkastning per investerte krone, sammenlignet med utvidelse av eksisterende overvannsnett.



Figur 2.4: Konvensjonell (øverst) og åpen lokal overvannsdponering (nederst). Tilpasset fra (NOU 2015:16 2015).

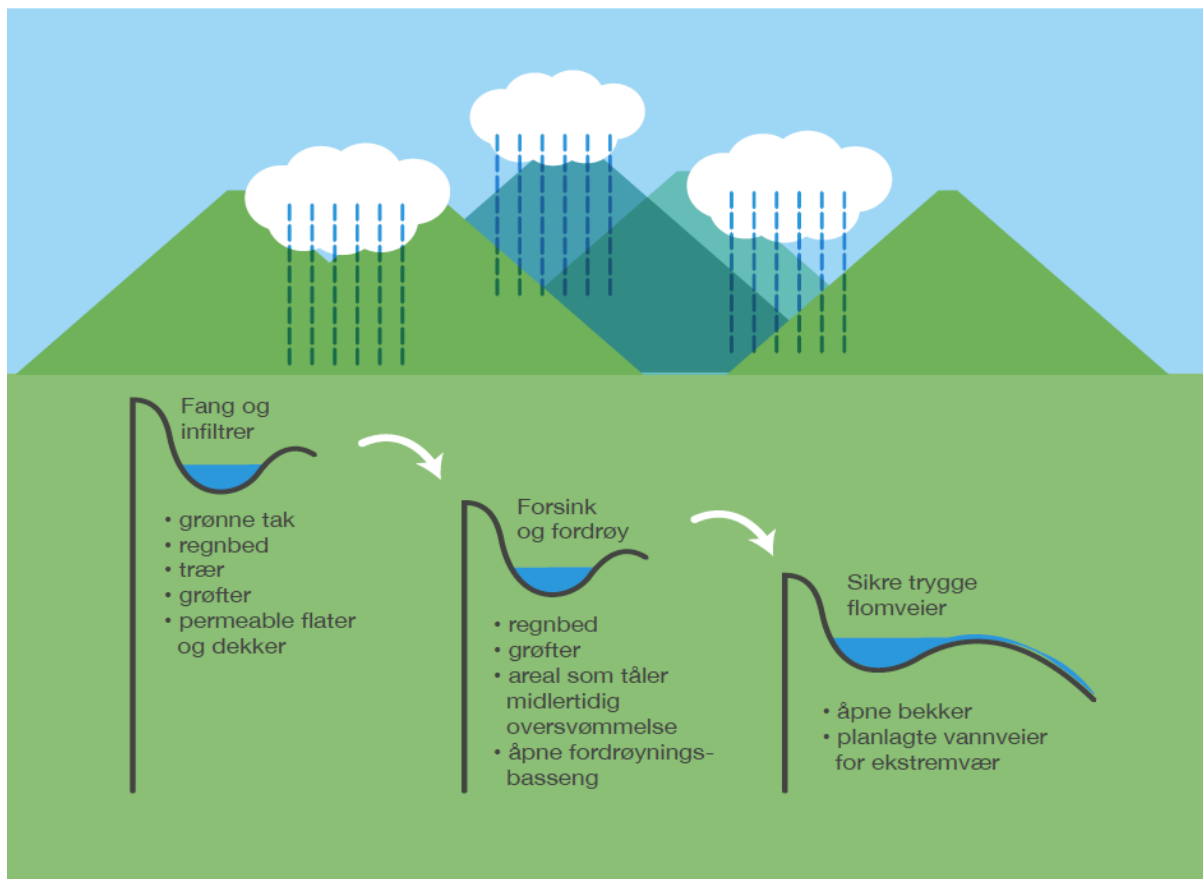
2.3 LOD og treleddsstrategien

Ifølge NOU 2015:16 (2015), defineres overvann som «overflateavrenning som følge av nedbør og smeltevann». Som beskrevet i avsnittene 2.1.1 og 2.2 vil faktorer som nedbørsmengde, tette flater og intensitet innvirke på skadene overvann kan påføre byer og tettsteder. Overvannsproblematikk og tankegangen om at håndteringen av overvann skal endres fra problem til ressurs har vært tilstede fra 2000-tallet. Denne tankegangen er blitt implementert i offisielle dokumenter som Lindholm et al. (2008) og en rekke kommuneplaner. I nettverket Fremtidens byer, ble det over en seks års periode arbeidet med overvannsstrategier og klimatilpasninger for norske byer. Dette arbeidet

ga relevante resultater, og er gjengitt i en rapport utgitt av Rambøll (2015). Følgene av dette samarbeidet var at flere kommuner i langt større grad enn tidligere inkluderte klimatilpasning i planverket sitt.

Håndtering av intense regnbyger over en kort periode i de skandinaviske landene kan ofte settes i sammenheng med de intense skybruddene som skjedde i blant annet København 2. juli 2011, Notodden 24. juli 2011, Malmö 31. august 2014 og Østlandet september 2015 (DSB 2016). Disse hendelsene har dannet opphav for begrepet «bevilgende regn», og som følge av dette ble det i 2012 implementert en skybruddsplan for håndtering av overvann i København kommune. Flere byer har i ettertid fulgt prinsippene bak skybruddsplanen både når det gjelder metodikk, omfang og fremtidsproblematikk. Det vil riktignok oppstå naturlige skiller mellom land, byer og kommuner sin fremgangsmåte ved håndtering av overvann.

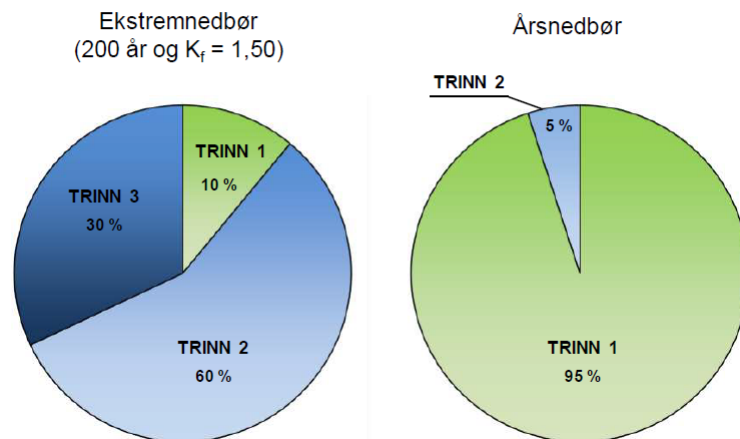
For å redusere skader relatert til overvann, overløpsutslipp fra avløpsnett og flommer i vassdragene vil det ofte være fordelaktig å håndtere overvannet lokalt. Lokal overvannsdisponering (LOD) er paraplybegrepet som omfavner tiltak for håndtering av overvann (Ødegaard 2014). I Norge er treleddsstrategien et sentralt begrep i overvannshåndteringen og strategien kategoriserer tiltak innen infiltrasjon, fordrøyning og sikre flomveier. Nedbørsvolumet innen hver kategori bør tilpasses lokalt. Som hovedregel håndterer infiltrasjonstiltak de minste nedbørsmengdene, fordrøyningstiltak håndterer de mellomste og sikre flomveier håndterer de største nedbørsmengdene (Lindholm et al. 2008). Innførte tiltak kan kategoriseres i flere av tiltaksgruppene (Miljødirektoratet 2016).



Figur 2.5: Treleddsstrategi (Oslo kommune 2016b).

Tiltak knyttet til infiltrasjon håndterer mesteparten av årsnedbøren, som vist i figur 2.6. For å kunne rettferdiggjøre innføring av overvannstiltak som står uten vann store deler av tiden, vil det være fordelaktig å gjøre tiltakene flerfunksjonelle i størst mulig grad. Anordninger som renser, reduserer fremmedvann i avløpsnett, øker det biologiske mangfoldet og er av estetisk verdi vil kunne være å foretrekke. I andre sammenhenger er det tiltakenes egenskaper for samordning med allerede etablerte trafikk-løsninger, rekreasjonsområder og grøntområder som vil vektlegges ved valg av tiltak (Rosên et al. 2017). Ulike kombinasjoner illustreres i figur 2.7. Ved ekstremnedbør er det tiltakene til høyre av treleddsstrategien som har størst effekt. Ifølge Røstum et al. (2014) kan situasjonen videre bevege seg ytterligere til høyre i treleddsstrategien dersom komponenter, herunder rister og kulverter, fra de åpne flomvegene svikter. Figur 2.6 beskriver forskjellene i håndteringen av leddene i treleddsstrategien, ved ekstremnedbør og årsnedbør (Paus 2017).

Hvor blir vannet av?



Figur 2.6: Prosentvis håndtering av leddene fra treleddsstrategien ved ekstremnedbør og årsnedbør (Paus 2017).

Et av formålene bak strategien er å avlaste avløpssystemet, samt opprettholdelse av vannbalansen i området. Dette er i samsvar med Byggeteknisk forskrift (TEK17) § 15-8 første ledd hvor det fremkommer at «Overvann og drensvann skal i størst mulig grad infiltreres eller på annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området og unngå overbelastning på avløpsanleggene».

2.3.1 Infiltrasjon

Infiltrasjonstiltak kan fange opp den første «bølgen» av regnet, fungere som flomvern, være et estetisk innslag i bybildet og rense forurenset vann (Ødegaard 2014). Høy grad av infiltrasjon i bakken vil også være fordelaktig i bymiljøer med hensyn til opprettholdelsen av grunnvannsnivået. Mange av bygårdene i Oslo er bygd på tømmerflåter som forråtnes ved kontakt med luft, som følge av senket grunnvannstand (Nikolaisen 2014). En rapport utgitt av Lindholm et al. (2008), anbefaler at håndtering av overvannet fra tette flater skjer så nær kilden som mulig. Ved å avlede overvannet til gresskledde overflater for infiltrasjon vil det redusere den samlede avrenningen over en lengre periode. Tiltak under denne kategorien er regnbed, porøse flater, steinfyllingsmagasin, vadier og grønne tak. En rekke av tiltakene fra kategorien kan innføres i forbindelse med frakobling av takrenner og nedløpsrør (Lindholm et al. 2008).

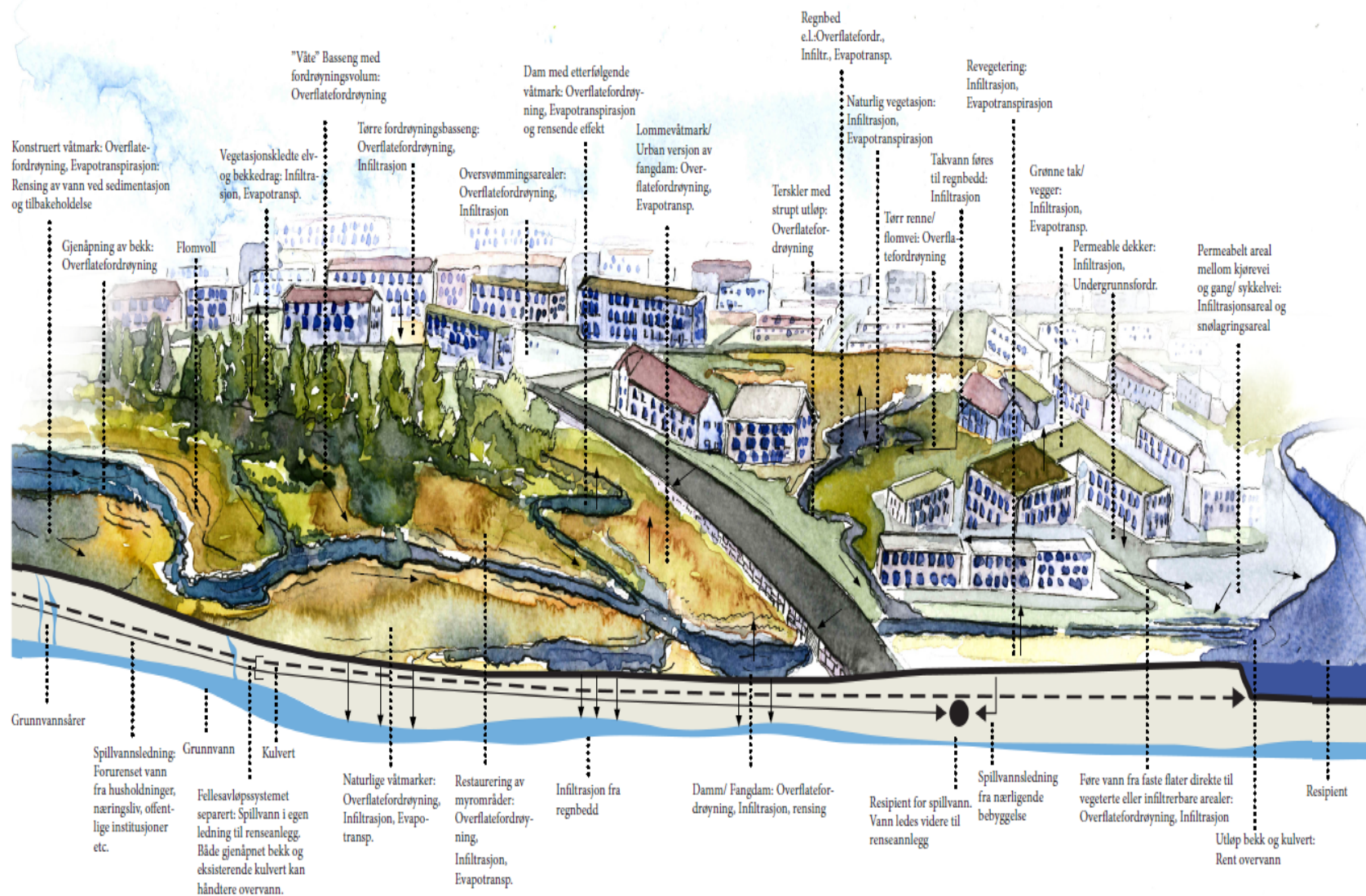
2.3.2 Fordrøyning

Fordrøyningstiltak kan defineres som midlertidig lagring av vann i et hensiktsmessig område. Eksempler på tiltak i denne kategorien kan være forsenkede grøntområder, skateparker og plastkassetter nedgravd under bakken. Fordrøyningen skal primært betraktes som en forsinkende faktor på vannets reise i nedbørsfeltet, slik at konsekvensene nedstrøms reduseres. Vannet som akkumuleres bremses under skybruddet og avledes deretter videre i landskapet og overvannsnettets. Overvannsmagasinet fylles opp under skybrudd og parameterne utløpshastighet og vannmengder bør danne grunnlaget dimensjoneringen. I samsvar med tankegangen om at overvann skal gå fra å være et problem til å bli en ressurs, foretrekkes åpne løsninger. Slike fordrøyningssmagasiner finnes både som våte dammer og tørre løsninger. Tørre forsenkninger kan være dannet av naturlige hindre som kan være vanskelige å spore i terrenget, og de kan dermed være utsatt for utilsiktet ødeleggelse. Større våte dammer kan i enkelte tilfeller være problematiske i forhold til sikkerhet med tanke på barn og smittefare. Gjenåpning av bekker og tilsluttede dammer kan derfor skape motstand i nærmiljøer. Ved å la tiltakene integreres i nærområdet og bli en sentral del av den lokale identiteten, kan motstanden forhindres. Det er nødvendig å sette av nok tid og penger for regelmessig drift, slik at lokalmiljøet ser fordelene og ønsker å være med på åpne tiltak og ta del i vedlikeholdet. Fordrøyningssanlegg i kombinasjon med sikre flomveier behøver ikke kun være en reduserende faktor for konsekvensene av nedstrøms vannmengder. Slike tiltak kan forhindre at resipienten eller andre større vannmengder ikke flommer over. Fordrøyningstiltak kan være flerfunksjonelle områder som utenom skyfall kan benyttes som friluftssarenaer, lekeplasser, skateparker og grønne forsenkninger (Lindholm et al. 2008).

2.3.3 Sikre flomveier

Dersom ledningsnettets blir overbelastet eller svikter bør det være et avrenningssystem tilgjengelig på overflaten for avledning av overvannet. Dette avrenningssystemet kan klassifiseres som lavpunkt i terrenget eller urbane områder hvor vannet kan avledes ved flom. Hovedprinsippet er at det bør være en sammenhengende trygg flomvei helt

frem til sluttresipient. Disse ligger av naturlige årsaker normalt i lavpunkter, og tiltak innen denne kategorien er vassdrag, veier, parkeringer, grøntområder, grøfter, rør, kanaler, historiske vassdrag og elveløp. Dette er områder som normalt er tørre og det er dermed viktig å sikre at området blir tilstrekkelig vedlikeholdt, slik at flomveiene opprettholder sin funksjon over tid (Røstum et al. 2014). Ved større nedbørshendelser kan det i tillegg være nødvendig å tilrettelegge parker og andre områder for oversvømmelse.



Figur 2.7: Prinsippskisse for åpen overvannshåndtering (Nygård 2018).

2.4 Vannskadestatistikk

Gjennom Vannskadestatistikken (VASK), har Finans Norge etablert en oversikt over antall forsikringsutbetalinger og forsikringssaker relatert til vanninntrengning i bygninger tilhørende medlemsmassen. Vanninntrengninger i bygninger presentert i statistikken er ikke nødvendigvis relatert til overvann og kan skyldes andre forhold. Overvannsskader kan fanges opp fra vanninntrenging gjennom deler av bygget via rørsystemet eller over bakkenivå via takrenner og taknedløp. VASK har siden 2007 vært et grunnlag for å beskrive skadeutviklingen på private boliger og næringsbygg, men beskriver ikke avbruddskostnader, skader på kjøretøy eller personlige skader. Mørketall vil forekomme siden ikke alle forsikringssaker blir innmeldt. Statistikken for innmeldte skader innen private forsikringer ligger på ca. 85 prosent, mens det for kommunale bygg ligger på ca. 50 prosent. I forbindelse med NOU 2015:16 (2015) tok Vista Analyse AS utgangspunkt i data fra VASK for utregning av skadekostnader og skadevirkninger knyttet til overvann. Gjennom oversikten differensierte Vista Analyse mellom direkte og indirekte potensielle skadevirkninger i samfunnet grunnet overvannshendelser. Med forbehold om manglende muligheter i datagrunnlaget for å kunne registrere skader knyttet spesifikt til overvann, ga rapporten en indikator på skadeomfanget av overvannsskader forårsaket i perioden 2007-2014. Det ble registrert ca. 65000 skader i løpet av perioden med et toppår for utbetalinger i 2011. Det samlede skadebeløpet endte opp på 752 millioner (Magnussen et al. 2015).

Tabell 2.2: Potensielle skadevirkninger som følge av overvann (NOU 2015:16 2015).

Skadevirkning	Kommentar
DIREKTE SKADER	
Direkte skader på bygninger	Hus og andre eiendommer kan få vannskader på selve bygningen.
Direkte skader på inventar, kjøretøy etc. i bygninger	I tillegg til selve bygningen, kan inventar, maskiner, kjøretøy etc. utsettes for vannskader.
Direkte skader på infrastruktur-anlegg som veier (inkludert gang- og sykkelveier) og jernbane; vann- og avløpssystem; strømforsyning; telefon- og datakabler o.l.	En rekke infrastruktur-anlegg kan få direkte skade som medfører kostnader, som utgifter til gjenanskaffelse, istandsetting eller økt vedlikehold.
Erosjonsskader på trafikkarealer og fritids- og rekreasjonsområder	Arealer kan få direkte skade som medfører kostnader til istandsetting, eller økt vedlikehold.
Tap av kulturskatter	Bygninger eller inventar som får vannskader.
INDIREKTE SKADER	
Tap av produksjon og omsetning i næringslivet	Næringsliv, herunder bedrifter og butikker, kan tape produksjon og miste omsetning som følge av vannskader på lokaler eller lagre.
Kostnader til trafikkomlegging og forsinkelser	Overvann kan medføre stengte veier, bane etc. og gi redusert fremkommelighet. Trafikkforstyrrelser medfører forsinkelsestid for nyttetraffic, tog, busser, privatbilister, fotgjengere og syklister.
Tap, ulemper og skader ved at strømforsyning, telefon- og datakabler ødelegges/må stenges av	Overvann kan medføre at private og næringsliv får avstengt strøm eller mister tele-/dataforbindelser i kortere eller lenger tid.
Forurensningsskader som følge av overvannshendelser	Overvann kan føre til forurensende utslipp fra avløpsanlegg som ikke virker/ikke kan håndtere store nok vannmengder, skadede kjemikalietanker og oljetanker, og avrenning fra industriområder og veier.
Tidskostnader til administrasjon og opprydding i etterkant av overvannshendelser	Overvannshendelser medfører ofte behov for opprydding og administrasjon i etterkant, både i privat og offentlig virksomhet.
Negative helseeffekter som følge av overvannshendelser	Kontakt med flomvann eller vannforsyning som infiseres med spillvann som følge av overvannshendelser kan gi sykdom, som igjen kan medføre kostnader forbundet med sykedager, medisinsk behandling og andre velferdseffekter (f.eks. redusert velbefinnende etc.). Frykt for overvannsskader kan utgjøre en psykisk belastning.

2.5 Hydraulisk modellering av overvann

Flommer kan deles inn i fluviale eller pluviale flommer. Fluviale flommer er oversvømminger knyttet til hav og vassdrag. Pluviale flommer er knyttet til flomhendelser forårsaket av nedbør i urbane områder. Ettersom bebyggelse og infrastruktur beskrives med høy detaljeringsgrad, vil simulering av pluviale flommer kreve høyere modelloppløsning sammenlignet med fluviale oversvømminger.

Ifølge Hernebring & Mårtensson (2013) finnes det hovedsakelig fire ulike metoder for simulering av pluviale flommer:

Analyse av lavpunkter i terrenget

Denne analysen gjøres i GIS-programmer basert på lavpunkter i terrenget og avrenningslinjer beregnes. Denne metoden er rask og enkel, men hydrauliske parametere i ledningsnett og overflaten blir imidlertid ikke tatt med i beregningene. ArcGIS er et program som kan benyttes til denne metoden.

Hydraulisk beregning i to dimensjoner (2D)

Denne beregningsmetoden analyserer flomveier, vanddyp og hastigheter i det respektive området. Denne analysen vil gi en oversikt over overflateavrenningen og samvirkningen mellom oppstrøms nedbør og vannmengder i lavpunktene. Modellen kobles derimot ikke til overvannsnett, men det gjøres ofte en antagelse om at en viss mengde nedbør blir fanget opp av nettet, og denne mengden trekkes fra nedbørverdiene. MIKE 21 og HEC-RAS er programmer som kan benyttes til denne metoden.

Hydraulisk beskrivelse av ledningsnett og flomveier på overflaten i en dimensjon (1D-1D)

Metoden består av en hydrologikomponent som beregner overflateavrenning. Overflateavrenningen kobles videre til ledningsnett. SWMM og MIKE URBAN er et program som kan benyttes til denne metoden.

Todimensjonal hydraulisk beregning tilkoblet ledningsnett (2D-1D)

I denne analysen kobles simuleringen av overflatestrømningen til ledningsnettets kapasitet. Vannhastighet, vannhøyder og flomveier beregnes. Denne metoden regnes for å være den mest representative metoden for beskrivelse av dynamikken i pluviale flommer, men regnes for å være en tidkrevende metode. MIKE FLOOD er et program som kan benyttes ved denne metoden.

For å oppnå en rask oversikt over oversvømmingssituasjonen i et større område, vil en ren 2D-analyse være en foretrukken metode (Hernebring & Mårtensson 2013). Denne metoden vil gi en forholdsvis representativ beskrivelse av forløpet ved store nedbørsmengder, selv uten kobling til ledningsnett, siden ledningsnettets kapasitet vil være begrenset sammenlignet med regnvolumet. Det bør likevel fratrekkes verdier fra nedbøren tilsvarende det regnvolumet overvannsnett er dimensjonert for å håndtere. Ved moderate nedbørsmengder anbefales det derimot å koble ledningsnett til modellen. En annen fordel med en ren 2D-analyse er at modellen krever mindre mengde data lagt inn i modellen, sammenlignet med en 2D-1D analyse og metoden blir dermed rimeligere (Mårtensson & Gustafsson 2014). Ved behov kan modellen bygges på etterhvert med 1D-modell, for en mer detaljert beskrivelse av området. Oppbygning av en terrengmodell til bruk i en 2D-modell krever terrengpunkt, data fra Felles Kart-database og bygningsraster (Moldekleiv & Johansen 2016).

Ved simuleringer i MIKE-programvarene, vil imidlertid beregningstider være en sentral faktor for valg av oppløsning i modellen. En romlig oppløsning på 2m x 2m regnes for å være svært detaljert og siden denne oppløsningen krever små tidssteg, fører dette til lange beregningstider. Ifølge Eidsmo (2013) vil en romlig oppløsning på 4m x 4m i mange tilfeller være å foretrekke, forutsatt at ikke for mye informasjon over området går tapt.

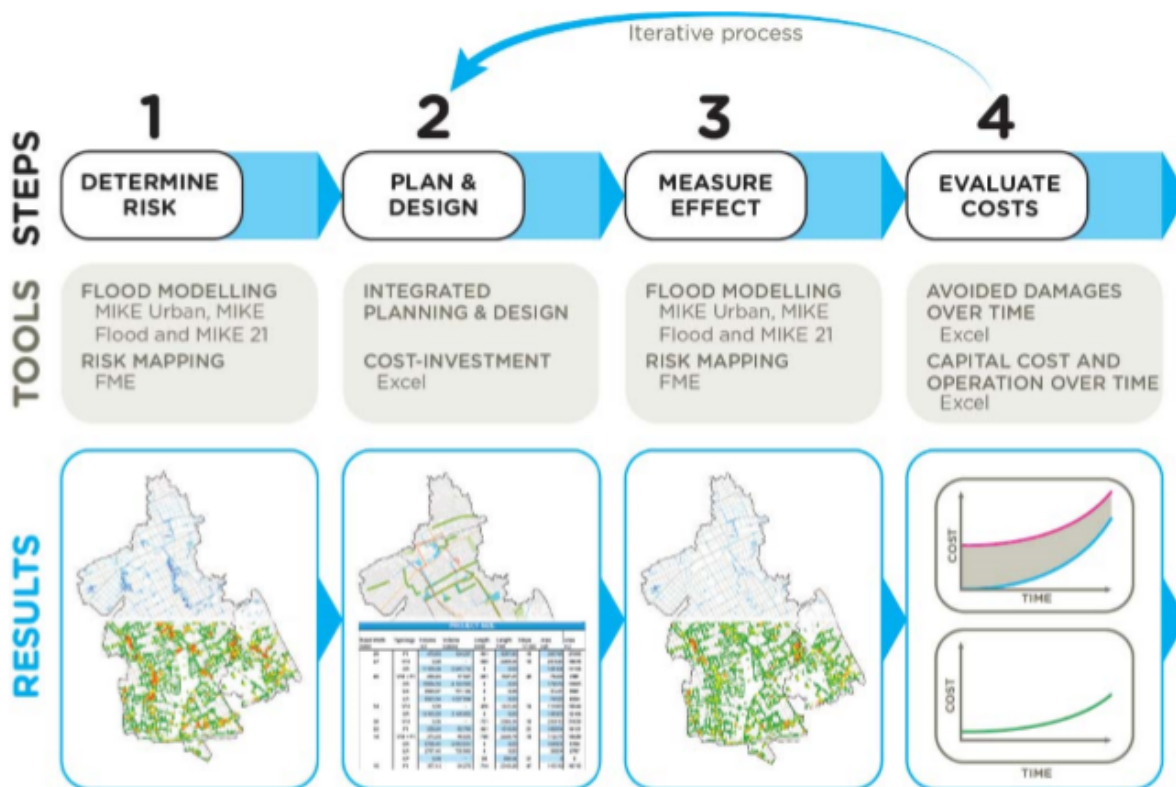
2.6 Metoder for tilnærming av overvannshåndtering

Tilnærminger fra følgende metodikker kan være til inspirasjon for fremtidig metodikkutvikling i norske kommuner. Utgangspunktet for metodikkene er strukturering av overvannsplanlegging, både i eksisterende og ny bebyggelse. New York er en etablert storby der planlegging av overvannstiltak kan innebære en høy grad av interessekonflikter. Dermed bør innføring av LOD-tiltak forsvares i større grad ved bruk av analyser, deriblant kost-nytte-analyse. Metoden benyttet i Fagerheim viser hvordan overvannsplanlegging har blitt utført i et nyetablert område i en norsk kommune. Fellesbetegnelsen for de overnevnte metodene er lav dokumentasjonsgrad av beregningene. På grunnlag av dette ble metoden utviklet av Rosên et al. (2017) benyttet som hovedutgangspunkt i denne oppgaven.

2.6.1 New York

Det danske konsulentfirmaet Rambøll har utviklet en plan for håndtering av overvann i New York som ble utført på et testområde i Southeast Queens. Planen ble basert på skybruddsplanen utviklet for København. Formålet med planen er begrensning av flommer i byen og videre imøtekomme økte nedbørsmenger ved å kombinere konvensjonell overvannshåndtering via overvannsnettet og innføring av åpne løsninger.

Analysene fra figur 2.8 er basert på tilgjengelig GIS-data. Metodikken beskriver flomsituasjonen med påfølgende risikovurdering, etterfulgt av reduksjon i vanddybder og risiko etter innføring av overvannstiltak. Det foretas også en kostnad-nytte-analyse der størrelsen på investerings- og vedlikeholdskostnadene anslås (Rambøll 2017). Det vil kunne et optimert resultat med tanke på skapte verdier og unngåtte fremtidige kostnader.



Figur 2.8: Fremgangsmåte for overvannshåndtering utviklet for New York (Rambøll 2017).

2.6.2 Fagerheim

Under utvikling av Fagerheim som et fremtidig bydelssenter i Haugesund, er det opprettet en fremgangsmåte for håndtering av overvann (Vasseljen et al. 2016):



Figur 2.9: Fremgangsmåte for overvannshåndtering i Fagerheim. Tilpasset fra (Vasseljen et al. 2016):

1. Prosjektområdet plasseres i nedbørfeltet

Sentrale parametere som kartlegges i denne fasen er helningsgrad, andelen permeable- og ikke permeable flater, terrengets form, lavtliggende områder, våtmarker, vassdrag, vegetasjon og grunnforhold.

2. Prosjektområdets egenskaper kartlegges

I dette steget kartlegges delnedbørsfelt og videre utføres analyser av blant annet flomveier, infiltrasjonsforhold og topografi.

3. Grunnelementene i framtidig blågrønn struktur legges

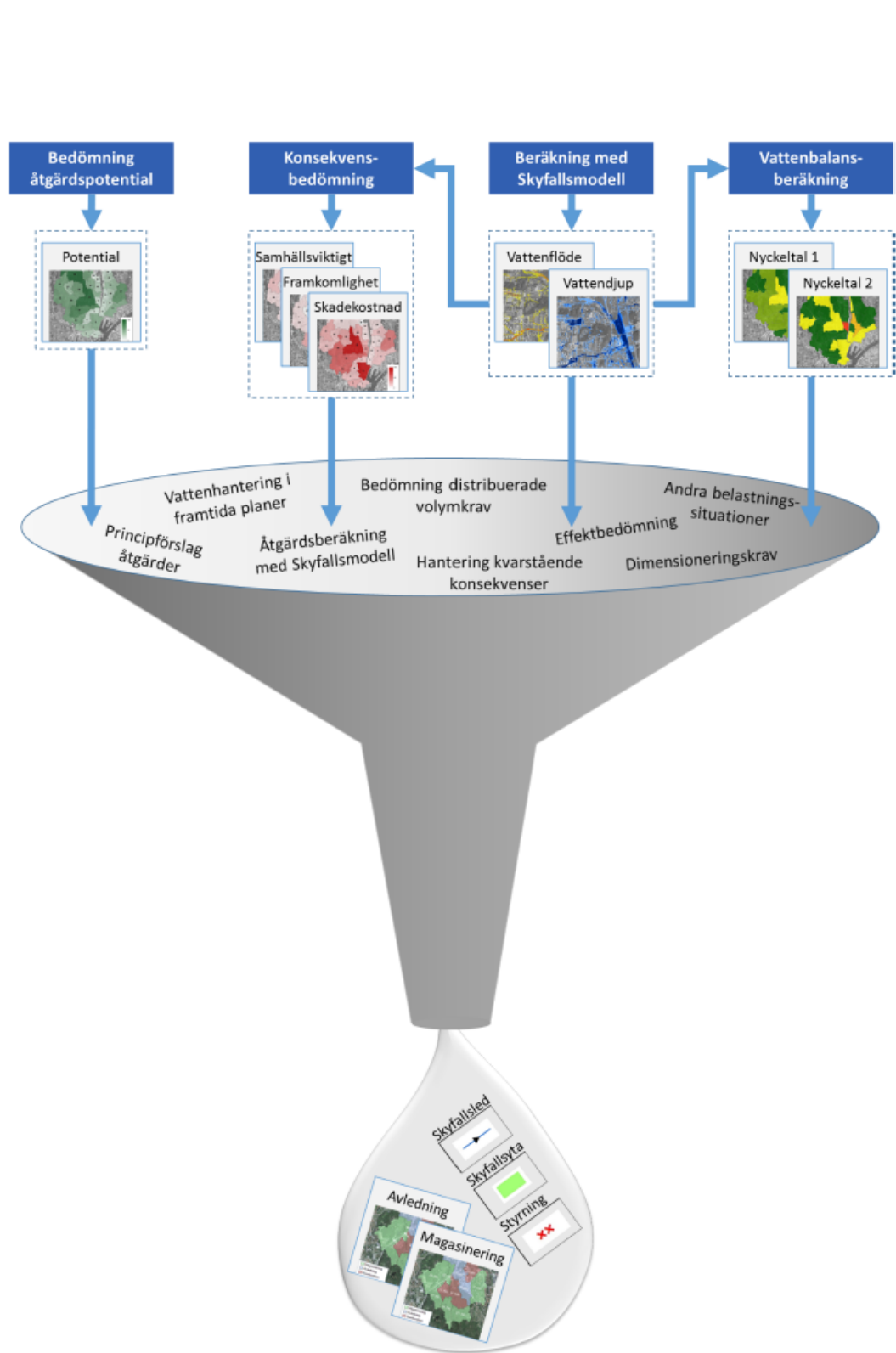
Blågrønn struktur utvelges og plasseres i feltet, ut fra målsettinger om overvannshåndtering.

4. Utbyggingsformål tilpasses framtidig blågrønn struktur

Videre utvikling av feltet tilpasses overvannstiltakene og prinsippene for overvannshåndtering implementeres i planer og reguleringer.

2.6.3 Gøteborg

I 2017 utviklet DHI og SWECO en metodikk for håndtering av overvann etter bestilling fra Stadsbyggnadskontoret Göteborg. Metoden er basert på GIS-analyser for identifisering av risikoområder og prioritering av områder hvor situasjonen bør forbedres. Videre innføres LOD-tiltak i skybruddsmodellen, og de innførte tiltakene vurderes med hensyn til reduksjon i oversvømmelser og konsekvenser (Rosên et al. 2017). Denne masteroppgaven er i stor grad basert på dette arbeidet, men visse endringer av metodikken er foretatt underveis. Denne metodikken ble valgt på grunnlag av dokumentasjons- og detaljeringsgraden. I tillegg er metodikken praktisk gjennomførbar ved bruk av etablerte programvarer og kan gjennomføres av personell hydraulisk kompetanse. Fordeler med denne metodikken er at problemer som følge av oversvømmelser knyttet til bygninger og infrastruktur kan identifiseres med stor detaljeringsgrad. Videre er metodikken tilpasningsdyktig opp mot tilgjengelig data fra kommunen, og kan benyttes på både eksisterende og ny bebyggelse, såfremt tilstrekkelig datagrunnlag foreligger. Kommunen vil i tillegg oppnå et prioriteringskart over områder hvor flomsituasjonen bør utbedres.



Figur 2.10: Beskrivelse av metodikk for overvannshåndtering utviklet for Gøteborg (Rosèn et al. 2017).

3. Metode for utarbeidelse av plan for overvannshåndtering

3.1 Analyseområde

Totalt består Akerselva nedbørsfelt av 272 km², og er fordelt på 17,22 km² i bysone med resterende områder i marka. Tette flater som bygninger, veier, parkeringsplasser o.l. utgjør 4,2 prosent (11,57 km² av hele nedbørsfeltet). Bysonen innenfor feltet utgjør en utfordring da Akerselva er den elven som er omgitt av flest fellesavløp i Oslo. Utfordringer med vann i overløp er markant ved store nedbørsmengder (Oslo kommune 2017a).

Tabell 3.1: Oversikt over ledningsnett i Akerselva nedbørsfelt (Oslo kommune 2017a).

Ledningsnett i nedbørsfeltet		
Avløp felles	187,54 km	58 %
Spillvann	60,37 km	19 %
Overvann	73,81 km	23 %
Sum	319,72 km	100 %

Det fremgår av en e-postkorrespondanse med overingeniør Bjørg Einan fra seksjon vannmiljø i VAV, at hovedfokuset for Maridalsvannet alltid vil være å ha nok vann inn til vannrenseanlegg. Dermed vil vannføringen i Akerselva tilpasses dette. Andre hensyn som rekreasjon, fiske og flomhensyn vil være underordnet drikkevannshensynet. For å forhindre de høyeste flomtoppene i Akerselva magasineres det vann i Maridalsvannet og oppstrøms. For at det skal klassifiseres som flom, må vannføringen være opp mot 40 m³/s (Einan 2018). Akerselva vil normalt gjennomgå to mindre flommer, en markert vårflom i april/mai og eventuelt en flom senere på høsten. Den gjennom-

snittlige vannføringen ligger på 3,59 m³/s (Oslo kommune 2017a).

Denne masteroppgavens analyseområde vil bli eksemplifisert ved østre del av Akerselva nedbørsfelt, som er et område på ca. 12,3 km². Området strekker seg fra Maridalsvannets utløpspunkt til Akerselva i nord i bydel Nordre Aker og til Akerselvas utløp i Oslofjorden i sør. Akerselva er et naturlig skille for vestsiden av nedbørsfeltet, mens bydelene Gamle Oslo, Bjerke og østlige deler av Grünerløkka utgjør grensene i øst. Nordøst i området finnes det større skogsområder, men nedbørsfeltet inneholder også flere større byparker. Ringvei 3 deler nedbørsfeltet på midten, mens Ringvei 1 og 2 befinner seg sammen med sentralbanestasjonen sør i feltet. Nedbørsfeltet har en naturlig helning fra Grefsenområdet i nordøst, som ligger ca. 240 moh., ned mot Akerselva i vest og sentrum nede ved Oslofjorden.

3.2 Begrensninger og antagelser

Overflateavrenningsmodellen MIKE 21 ble ikke koblet sammen med ledningsnett og vassdragene, grunnet tilgjengelig datakapasitet og for å unngå forlengede beregningstider. For å korrigere for manglende ledningsnett, ble det fratrukket verdier i regnyetogrammet tilsvarende 10-års nedbør etter anbefaling fra Lindholm et al. (2008). Vassdragsmodellen ble ikke tilkoblet til MIKE 21, ettersom det i dette tilfellet antas at forsenkninger i terrengmodellen i tilstrekkelig grad vil simulere egenskapene til Akerselva.

Hovedkategoriene i konsekvensvurderingen er hentet fra rapporten utgitt av Mårtensson et al. (2017). Utvalget og rangeringen av de ulike underkategoriene fra konsekvensvurderingen har fungert som et grunnlag for utvelgelsen i denne masteroppgaven. Enkelte underkategorier benyttet i metoden er tilpasset og slått sammen for å samsvare med tilgjengelig data fra Akerselva nedbørsfelt. Inndelingen samsvarer med direkte og indirekte skader og underkategorier slik overvannsstatistikk tidligere er blitt behandlet og organisert i enkelte norske rapporter (Magnussen et al. 2015; DSB 2016). Dette fremgår også i tabell 2.2 over potensielle skadevirkninger som følge av

overvann.

For å kunne simulere overvannsskader på bygninger er det opprettet en 5 meter buffersoner rundt byggene i ArcMap. Samtlige gjennomsnittsverdier > 0.1 m i vanddybde innenfor buffersonen har dannet utgangspunkt for konsekvenspoengutregningene (se avsnitt 3.3.3).

I en tidligere masteroppgave er det utarbeidet en metodikk for å detektere overdrivelser av oversvømmelser. Disse overdrivelsene oppstår ved store høydeforskjeller mellom nærliggende ruter i rasteret (over 2-5 m), og det kan oppstå negative verdier for vannhøydene i enkelte av rutene. I disse tilfellene tillegger programmet vannmengder slik at verdien blir 0. For å beregne overdrivelsene sammenlignes endringene mellom nedbørsvolumet og differansen mellom vannvolumet i modellen før og etter kjøring. For beregning av sistnevnte volum benyttes følgende formel (Grimnes 2018):

$$\text{Vannvolumet i modellen} = \text{Mean Value} \cdot \text{Number of Points} \cdot \text{Number of Intervals} \quad (3.1)$$

Der «Mean Value» viser gjennomsnittet av vannivået i alle rutene, «Number of Points» er antall ruter og «Number of Intervals» er arealet av hver rute. Parameterne fra likning 3.1 finnes ved bruk av verktøyet «Calculate Statistics» i MIKE 21. I denne oppgaven ble tilførsel av vannmengder beregnet til å være 6 prosent høyere enn nedbørsvolumet. Dette volumet ble trukket fra oversvømmelsesvolumet, som vist i tabell 4.2.

3.3 Del I – Innledende modellberegninger og analyser

Det aktuelle prosjektområdet må kunne sees i større sammenheng slik at de foreslåtte LOD-tiltakene vil kunne knyttes opp mot det hydrologiske kretsløpet og den overordnede målsetningen for prosjektet. En oversikt over stegene presenteres i figur 3.2. I starten av prosjektet opprettes en hydraulisk modell for overflateavrenning over hele det aktuelle nedbørsfeltet. Dette steget vil gi en helhetlig oversikt over dagens flomveier, vannmengder, risikoområder, samt overordnet behov for LOD-tiltak. Denne delen beskriver de innledende modellberegningene og analysene som ligger til grunn for Del II beskrevet under 3.4.

3.3.1 Inndeling i delnedbørsfelt

Inndeling i mindre delnedbørsfelt innenfor det respektive nedbørsfeltet, vil i stor grad forenkle analysene i området. Organiseringen av delnedbørsfeltene gjøres etter en helhetlig vurdering basert på topografi, flomveier, vannskiller, grønne områder og hovedveier. De enkelte delnedbørsfeltene bør ikke overstige 1 km². For hovednedbørsfeltet er anbefalingen fra Rosên et al. (2017) å ikke overstige 10 km², for å unngå at kompleksiteten blir for stor. Nedbørsfeltet benyttet i denne oppgaven ligger på om lag 12.3 km².

3.3.2 Analyser av vannbalanse

Beregning av vannbalansen i hvert delnedbørsfelt, vil gi en kvantitativ oversikt over hvilke nedbørsmengder som kan infiltreres, fordrøyes og ledes til sikre flomveier. Analysen utgjør dermed et grunnlag for valg av tiltak fra treleddsstrategien, og hvilket av leddene som hovedfokuset bør ligge på innen delnedbørsfeltet.

I de følgende analysene vil de enkelte parameterne i vannbalansen beregnes for hver enkelt celle og videre summeres innenfor delnedbørsfeltet. Beregningene foretas i det tidssteget hvor summen av vannhøydene fra hele nedbørsfeltet er på sitt høyeste og parameterne i likningene nedenfor beskriver dermed de akkumulerte verdiene frem til

dette tidssteget. Fremgangsmåten for å beskrive samtlige parametere i vannbalansen blir beskrevet i nærmere detalj i vedlegg A.2.

Analyse 1: Tilpasningsbehov ved oversvømmelse

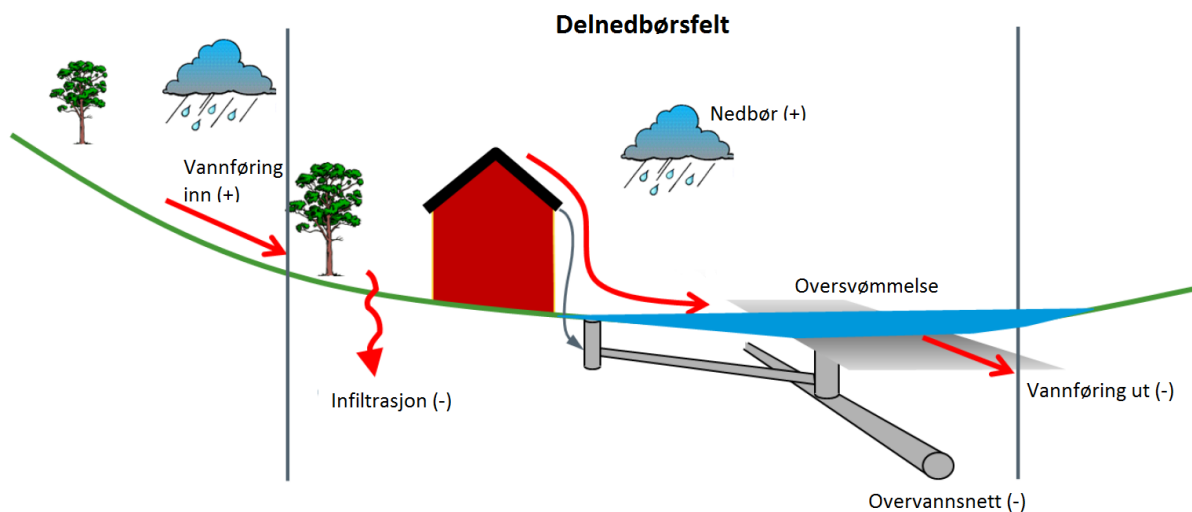
$$\text{Beregning: } \sum_{i=1}^n O_i - N_i \quad (3.2)$$

der O er oversvømmelsesvolum (m^3), N er nedbørsvolum (m^3) «n» er antall celler i modellen i et delnedbørsfelt.

Analyse 2: Netto oversvømmelse fra nærliggende områder

$$\text{Beregning: } \left(\sum_{i=1}^n \frac{V_{inn_i} - V_{ut_i}}{O_i} \right) * 100 \% \quad (3.3)$$

der V_{inn} er innkommende oversvømmelsesvolum i feltet (m^3) og V_{ut} er utgående oversvømmelsesvolum fra feltet (m^3) i perioden frem til tidssteget hvor summen av vannhøydene fra hele nedbørsfeltet er på sitt høyeste.



Figur 3.1: Oversikt over parametere i vannbalansen for et delnedbørsfelt. Tilpasset fra Rosèn et al. (2017).

3.3.3 Konsekvensvurdering

Trinn 1 - Klassifisering og vurdering

Konsekvensvurderingen vil kunne danne et grunnlag for å kunne prioritere tiltak der konsekvensene er størst, ved å kvantifisere både de direkte og indirekte skadene. Konsekvensvurderingen foretas i hvert enkelt delnedbørsfelt. Konsekvenskategoriene som har blitt analysert i denne oppgaven er samfunnsrelevante bedrifter, skadekostnad og framkommelighet. Inngående beskrivelser fremgår i tabellene nedenfor og vedlegg B. Se også tabell 2.2 for mer detaljerte beskrivelser.

Samfunnsrelevante institusjoner

For å danne prioriteringsrekkefølgen knyttet til skadepotensiale under «samfunnsrelevante institusjoner», bør poengskåren gis basert på anbefalinger fra myndighetene. I denne oppgaven har de samfunnsrelevante instanser blitt delt inn i følgende syv kategorier med tilhørende verdi:

Tabell 3.2: Kategorier innenfor samfunnsrelevante institusjoner. Tilpasset fra Rosên et al. (2017).

Kategorier	Verdi
samfunnsrelevante institusjoner som i løpet av kort tid (timer) har stor betydning for liv og helse.	128
samfunnsrelevante institusjoner som i løpet av kort tid (timer) har stor betydning for samfunnets funksjonalitet.	64
samfunnsrelevante institusjoner som på lengre sikt (dager) har stor betydning for liv og helse.	32
samfunnsrelevante institusjoner som på lengre sikt (dager) har stor betydning for samfunnets funksjonalitet.	16
samfunnsrelevante institusjoner som representerer store økonomiske verdier eller stor betydning for miljøet.	6
samfunnsrelevante institusjoner som har stor betydning for sosiale og kulturelle verdier.	2
Øvrige samfunnsrelevante institusjoner	1

Skadekostnad

Følgene av en oversvømmelse vil blant annet være direkte materielle skader på bebyggelse og infrastruktur. Renovasjons- og reparasjonskostnadene vil variere

ut ifra ulike typer av bebyggelse og infrastruktur. For prioriteringsverdiene i kategorien «skadekostnad» bør poengskåren gis ut ifra forsikringsstatistikk over tidligere skadekostnader i nedbørsfeltet. Tallene benyttet i denne oppgaven er basert på tilsvarende fordeling som ble benyttet i Gøteborg. Fordelingen er basert på forsikringsstatistikk over skadekostnader ved ulike typer bebyggelse, flater og veier (Rosên et al. 2017). Dette gir følgende fordeling:

Tabell 3.3: Kategorier innenfor skadekostnad (Rosên et al. 2017).

Kategori	Verdi
Transformatorer	158
Flerfamiliehus	79
Industri, offentlige bygninger, kontor	75
Parkering	42
Enebolig	20
Uthus/garasje	8
Jernbane, trikk og t-bane (per lengdemeter)	1
Vei (per m ²)	0,05

Framkommelighet

I tillegg til direkte relaterte kostnader knyttet til rehabilitering på vei, trikk og toglinjer, bør de indirekte kostnader som forstyrrelser og forsinkelser inkluderes i konsekvensvurderingen. I oppgaven har veiene blitt inndelt i de tre kategoriene prioriterte veier for utrykningskjøretøy, veier med kollektivtrafikk og resterende veier. Kategorien framkommelighet vil i tillegg inneholde toglinjer, trikkelinjer og t-banelinjer bli vurdert. Dette gir følgende fordeling:

Tabell 3.4: Kategorier innenfor framkommelighet (Rosên et al. 2017).

Kategori	Verdi
Jernbane	16
Prioriterte veier	8
Sporvei	4
Veier med kollektivtrafikk (Buss)	2
Øvrige veier	1

For kategorien «framkommelighet» bør poengskår gis ut ifra byens, kommunens eller fylkets eventuelle prioriteringsliste for utrykningsveier. Om denne informasjonen ikke er tilgjengelig, kan rangeringen vurderes opp imot trafikkmengde og veier benyttet til kollektivtransport.

Trinn 2 - Sammenstilling av vurdering og vannhøyde

I dette trinnet kobles cellens verdi med hensyn til konsekvensvurdering sammen med vannhøyden i tilhørende celle med følgende likning:

$$\text{Konsekvenspoeng}_{\text{celle}} = h^2 \cdot V \quad (3.4)$$

der h er maksimal vannhøyde i cellen og V er cellens vurderingstall (Rosên et al. 2017).

Ettersom vannet i modellen vil samles rundt bygningene, opprettes det derfor en buffersoner i ArcMap som ligger inntil hvert bygg. Det er kun i disse sonene hvor beregningene foretas og beregningsprosessen beskrives nærmere detalj i vedlegg A.3.

Begrunnelsen for å ta kvadratet av vannhøydene i likningen ovenfor, er fordi de potensielle skadene antas å øke eksponentielt som følge av økt dybde. I beregningene vil verdier < 0.1 m bli neglisjert, ettersom disse dybdene antas å utgjøre neglisjerbar skade.

Det antas videre i analysene at den øvre terskelverdien for vannhøyder er 1 meter for kategoriene «skadekostnad» og «samfunnsrelevante funksjoner». Samtlige vanddyp

over denne verdien antas å ha tilsvarende skadepotensial som terskelverdien. Større høyder blir altså ikke bedømt til å forverre skadene i bygningene. Denne øvre grensen blir ikke benyttet for kategorien «framkommelighet». I denne kategorien antas det at økende vannhøyder vil forsinke framkommeligheten ytterligere.

Trinn 3 - Summering av konsekvenser i de ulike delområdene

I dette trinnet må først resultatene fra hver celle innenfor delnedbørsområdene for hver av de tre konsekvenskategoriene summeres. For å ta hensyn til eventuelle forskjeller i størrelse på delnedbørsfeltene må den totale summen konsekvenspoeng i et område deles på delnedbørsfeltet sitt areal jfr. likning 3.5

$$\text{Konsekvenspoeng}_{\text{delnedbørsfelt}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Konsekvenspoeng}_{\text{celle}}}{\text{Areal}_{\text{delnedbørsfelt}}} \quad (3.5)$$

der n er antall celler med vannhøyde over 0.1 m i et delnedbørsfelt.

Beregnet vanddybde fra dimensjonerende regn vil sammen med konsekvensvurderingen av tre overliggende konsekvenskategoriene resultere i en rangering av delområdene. Delområdet som gir størst konsekvens innenfor hver og en av de tre kategoriene vil få poengsummen 100. Deretter fordeles poengene til de resterende delområdene relativt til feltet med høyest konsekvenser, ved bruk av likning 3.6 (Mårtensson et al. 2017). Se tabell 4.1 for presentasjon av denne oppgavens resultater.

$$\text{Relativ konsekvensfordeling} = \frac{\text{Konsekvenspoeng}_{\text{delnedbørsfelt } x}}{\text{Konsekvenspoeng}_{\text{delnedbørsfelt maks}}} \cdot 100 \% \quad (3.6)$$

Trinn 4 - Vekting av total konsekvens

For å vekte resultatene av konsekvenspoengene i de ulike kategoriene benyttes følgende formel:

$$\text{Total konsekvens} = \frac{P_{\text{Skade}} + P_{\text{Samfunn}} + P_{\text{framkommelighet}}}{3} \quad (3.7)$$

der P er delnedbørsfeltenes prosentvise verdi for hver enkelt kategori (Rosên et al. 2017).

3.3.4 Analyse av tiltakspotensial

Følgende analyse beskriver områder hvor LOD-tiltak kan plasseres for å begrense konsekvensene. For å beskrive tiltakspotensial rangeres delnedbørsfeltene med hensyn til mulighet for opprettelse av LOD-tiltak basert på poenggivning.

Tabell 3.5: Klassifisering av areal typer med hensyn til tiltakspotensial. Tilpasset fra Rosén et al. (2017).

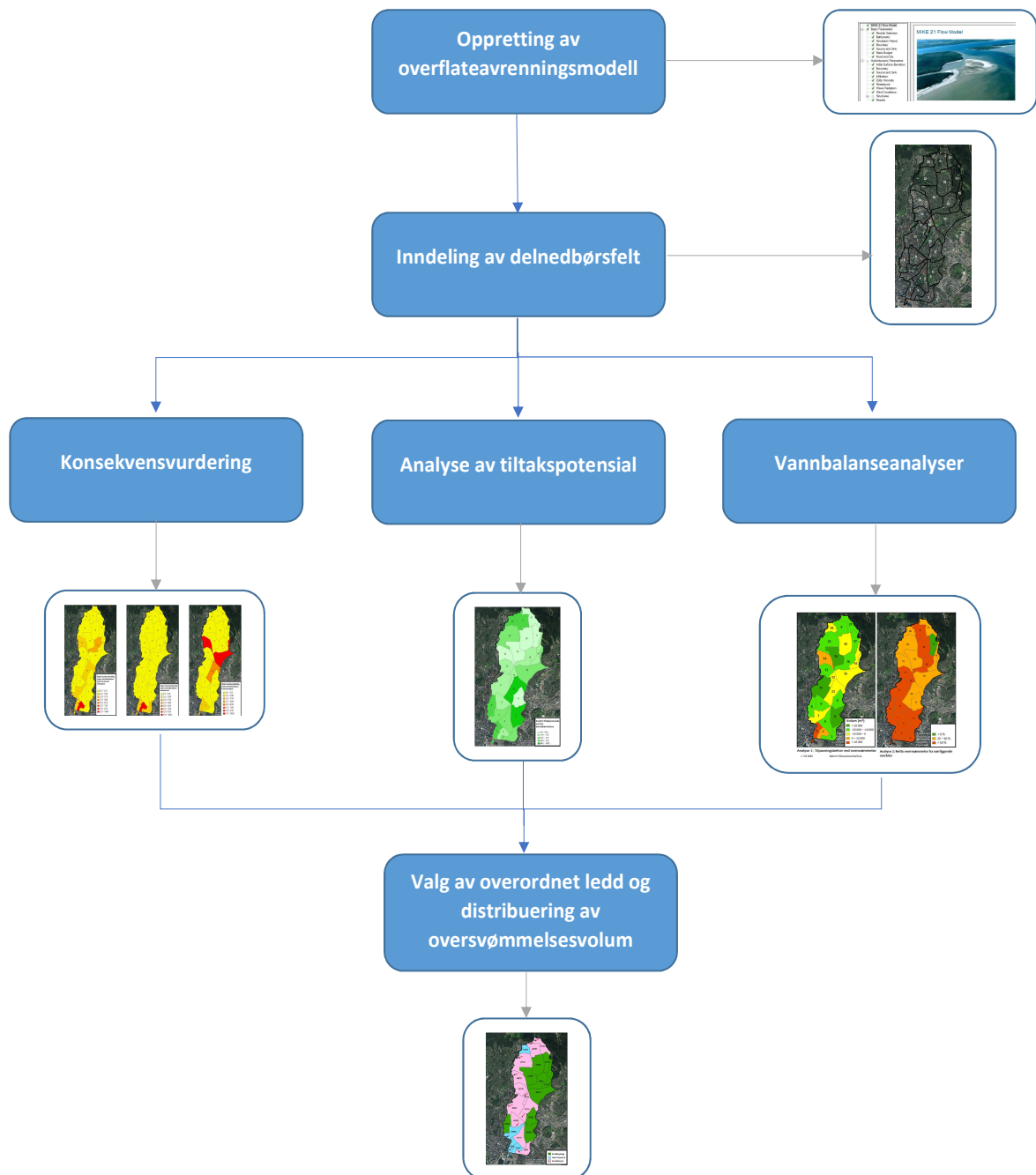
Tiltakspotensial	
Arealtype	Verdi
Eksisterende vannoverflater	10
Kommunale områder med stående vann ved nedbørshendelser	10
Kommunale områder uten stående vann ved nedbørshendelser	5
Veier med stående vann ved nedbørshendelser	5
Veier uten stående vann ved nedbørshendelser	2

For å prioritere områdene multipliseres arealet av arealtypen med verdien jfr. tabell 3.5. Deretter legges alle verdiskårene for et delnedbørsfelt sammen og divideres på totalarealet. Tilslutt rangeres områdene relativt til det delnedbørsfeltet med høyest samlet skår.

3.3.5 Valg av overordnet ledd fra treleddsstrategien og distribuering av oversvømmelsesvolum

Resultatene fra denne analysen vil gi et dimensjoneringsutgangspunkt og grunnlag for valg av LOD-tiltak, samt hvilke overordnede ledd fra treleddsstrategien som skal benyttes i hvert av delnedbørsfeltene. Dette gjøres basert på en helhetsmessig vurdering, og det vil ikke være realistisk å håndtere samtlige oversvømmelsesvolum. Resultatene benyttes ved videre utredninger i Del 3.4, og det vil naturlig oppstå avvik mellom oversvømmelsesvolumene fra dette steget og oversvømmelsesvolumene etter innføring av tiltak (se avsnitt 3.4.1), ettersom vannmengdene fra dette steget er ment som ideelle håndteringsvolum. Fremgangsmåten for å finne hvilke oversvømmelsesvolum beskrives nærmere i A.2.2.

Del I



Figur 3.2: Oversikt over stegene i Del I

3.4 Del II – Innføring av LOD-tiltak

I siste del av planleggingsfasen er formålet å bruke resultatene fra foregående faser til tiltaksforslag. En dimensjonering av innførte LOD-tiltak (fordrøyning og sikre flomveier) blir lagt inn i overvannsmodellen. Tiltakene dimensjoneres slik at bygninger og infrastruktur holder seg innenfor en akseptabel risiko for oversvømmelse. En sammenfatning over stegene i Del II presenteres i figur 3.3.

3.4.1 Tiltaksmodellering og effektvurdering

I det første steget i Del II, utvelges og plasseres LOD-tiltak for håndtering av overvann. Valg av tiltak bør i tillegg vurderes ut ifra arealbehov, praktisk gjennomførbarhet, økonomi og effekt av tiltakene. Innføring av tiltak i modellen vil ikke kunne beskrives i større detaljer enn oppløsningen av cellestørrelsene benyttet i modellen, og dermed vil det naturlig oppstå avvik mellom modellresultater og «reelle» resultater. Innføring av tiltak i modellen gjøres ved å danne forsenkinger i terrengmodellen ved bruk av verktøyene i programvaren MIKE 21. Det kan oppstå behov for flere iterasjoner før resultatet blir tilfredsstillende, så en anbefaling er å innføre en anelse overdimensjonerte løsninger i modellen. Målet med prosessen er å identifisere nødvendige dimensjoner. Videre vurderes effekten av tiltakene ved å se på endringen i vannhøyder og konsekvensvurdering ved sammenligning av modellen før og etter innføring av tiltak. Denne prosessen gjentas ved behov ved å endre kapasitet og lengde på de ulike tiltakene, helt frem til reduksjonen av konsekvensene ender på et akseptabelt nivå. Bakgrunnen for disse analysene er at innføring av LOD-tiltak i et område kan være forbundet med store utgifter, og det vil derfor kunne være av stor nytte å simulere om tiltakene har ønsket effekt, før de utføres i terrenget.

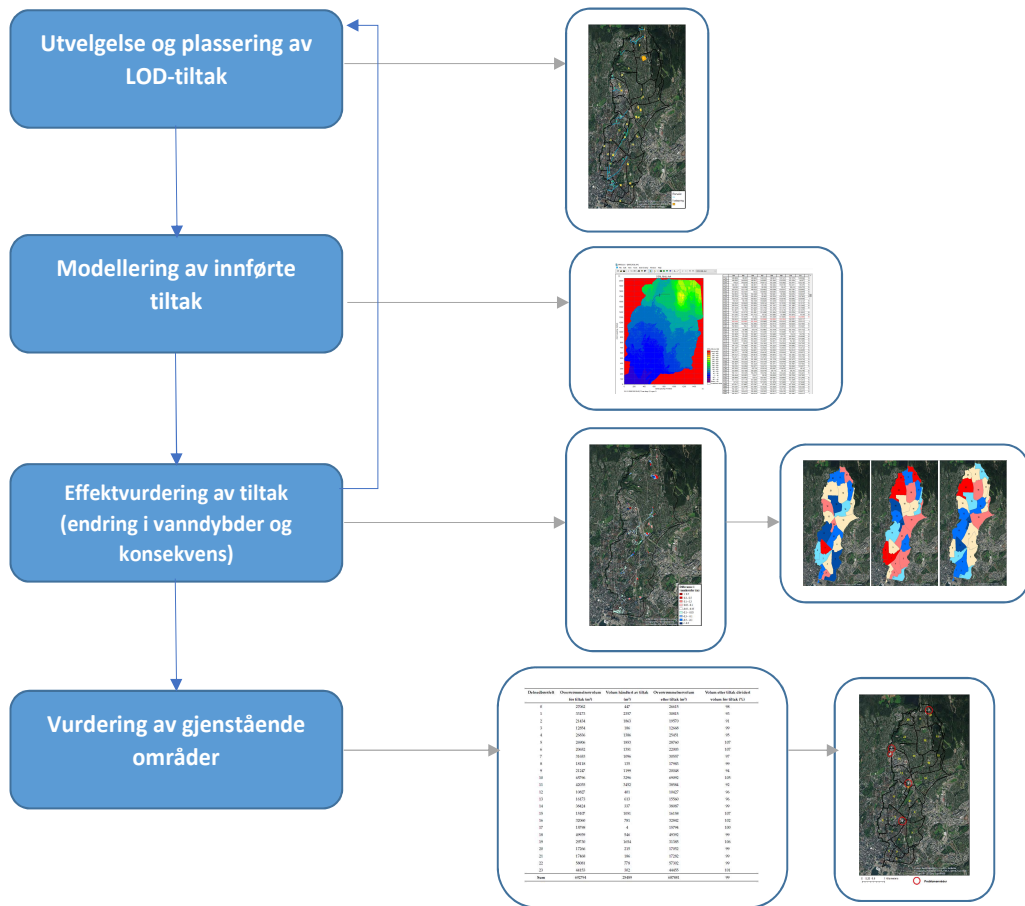
3.4.2 Håndtering av uløste områder

Etter innføring av tiltak, vil det fremdeles gjenstå oversvømmelsesvolum som kan føre til negative konsekvenser i enkelte delnedbørsfelt. Det må dermed vurderes i hvert enkelt område om konsekvensene kan aksepteres, så fremt konsekvensene er tilstrek-

kelig lave. Det vil ikke fremgå nevneverdige konsekvenser i områder uten bebyggelse, herunder parker og skogsområder, så disse områdene regnes som uproblematiske. Områder med gjenstående oversvømmelsesvolum som kan føre til konsekvenser og som ikke kan løses ved modellerte tiltak, kan skyldes at modellens oppløsning ikke beskriver tiltakene i tilstrekkelig grad. I disse tilfellene anbefales det å rekognosere det respektive området for å observere om det potensielt kan bli et problem med oversvømmelse ved gitte vanndybder.

Analysen fremgår ved å sammenligne oversvømmelsesvolumet i delnedbørsfeltene før og etter innføring av tiltak og registrere oversvømmelsesvolumene som håndteres av de innførte tiltakene. I delnedbørsfelt hvor det har blitt lagt hovedvekt på fordrøynings tiltak, vil det forekomme økning av vannmengder, mens i delnedbørsfelt med hovedvekt på sikre flomveier vil vannmengdene innen feltet reduseres. Dette vil gi et oversiktsbilde over situasjonen. Det anbefales i tillegg en visuell kontroll av de oppdaterte modellresultatene etter tiltaksinnføring for å avgjøre om flomnivået er på et akseptabelt nivå. Områdene som fremdeles gjenstår uløste med hensyn til flomnivå, bør markeres på kartet og utredes videre hver for seg. Dette er eksemplifisert i delavsnitt 4.1.8.

Del II



Figur 3.3: Oversikt over stegene i Del II

4. Resultater

4.1 Resultater fra planen for overvannshåndtering

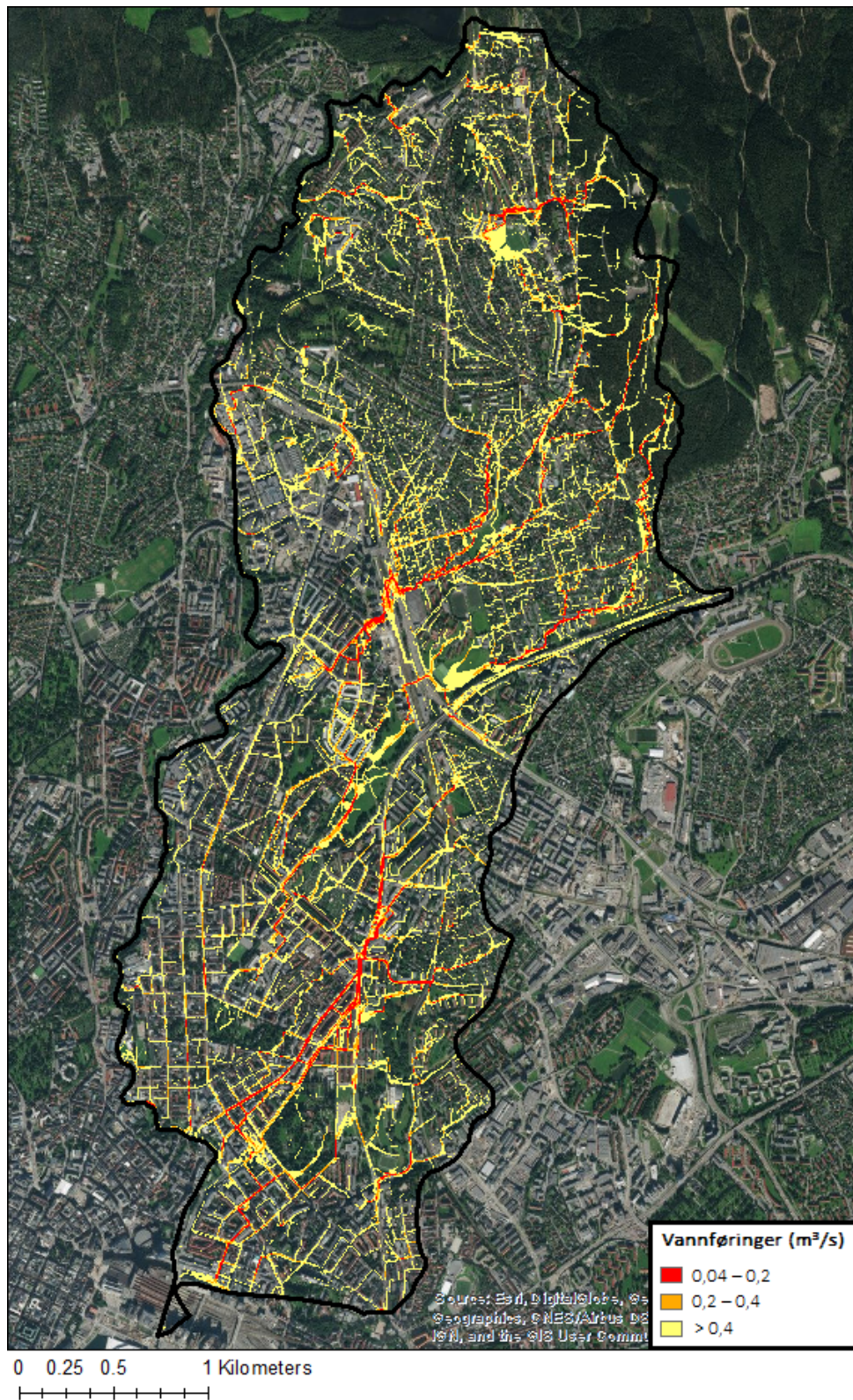
I denne oppgaven ble dataverktøyet MIKE 21 (2D) benyttet i simuleringen. Terrengmodell, regnhyetogram, infiltrasjonsfil og definering av parametere benyttet i programmet var allerede forhåndsopprettet av Oslo kommune før masterarbeidet startet. For beskrivelse av parametervalg og modelloppsett i MIKE 21 henvises det til Hardang & König (2016). Dataverktøyet ArcMap versjon 10.5.1 har blitt benyttet for presentasjon av modellresultater fra MIKE 21, samt de resterende analysene beskrevet i følgende avsnitt. Fremgangsmåten for analysene beskrives nærmere i vedlegg A.

4.1.1 Innledende modellberegninger

Den hydrauliske modellen for overflateavrenning er modellert for østre del av Akerselva nedbørsfelt. Det har blitt innlagt en klimafaktor på 1,5 i regnhyetogrammet, på bakgrunn av økte fremtidige nedbørsmengder. Modellen ble kjørt i MIKE 21, i en periode på om lag tre timer etter anbefaling fra Hardang & König (2016). Utregninger og resultater fra denne masteroppgaven har tatt utgangspunkt i et 200-års regn, da dette samsvarer med definisjonen på kraftig nedbør fra Hanssen-Bauer et al. (2015), se også kapittel 2.1.1.

Resultatene fra figurene 4.1 og 4.2 gir et overblikk over flomutsatte områder i nedbørsfeltet. Vannmengdene i figurene er tatt fra det tidssteget hvor summen av vandybdene fra hele nedbørsfeltet er på sitt høyeste og beskriver dermed de akkumulerte verdiene frem til dette tidssteget. Områder som skiller seg ut er større parker i området Grefsen og Torshov/Sinsen. Dette er områder som ligger ved en naturlig helning av landskapet. Hele nedbørsfeltet deles i to av Ring 3, og dette

fungerer som et vannskille. Områdene i den sørligste delen av feltet, samt nedre del av Torshovdalen er velkjente problemområder med hensyn til oversvømmelser. Dette tyder på at modellresultatene indikerer hvilke områder som kan forvente problemer knyttet til oversvømmelser. Vannføringene følger i stor grad veinettet, og de største verdiene forekommer hvor mindre veier kobles til en større vei. Dette er ikke tilfellet for Ring 3, som i stor grad er «skjermet» av terrenget.



Figur 4.2: Vannføringer fra tidspunktet hvor summen av vanndybde fra hele nedbørsfeltet er på sitt høyeste. Resultatene er beregnet i MIKE 21.

4.1.2 Analyser av vannbalanse

Analysene fra dette kapitlet er utført på bakgrunn av teori og formler presentert i avsnitt 3.3.2. Nummeringen av delnedbørsfeltene (med unntak av figur 4.7) viser ID-nummeret tildelt fra ArcMap.

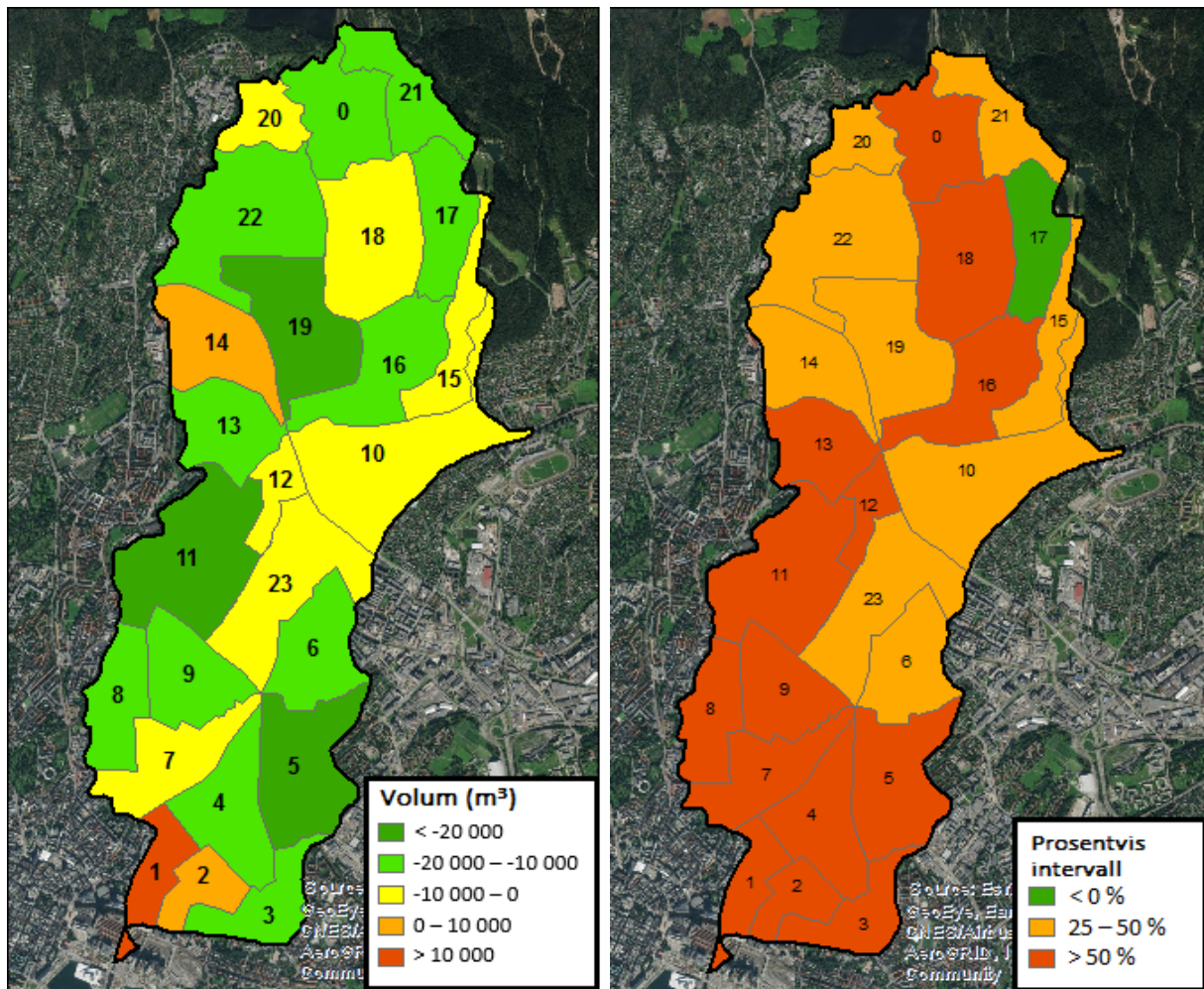
Analyse 1 - Tilpasningsbehov ved oversvømmelse

Denne analysen gir en oversikt over flomutsatte områder. En antagelse for denne analysen er at all nedbøren kan håndteres innen det respektive delnedbørsfeltet, selv om dette ikke nødvendigvis er tilfelle i praksis. Intervallene til venstre i figur 4.3 gir et mål på graden av behov for LOD-tiltak i området. Hvis verdien er negativ i området, betyr dette at vannmengdene forflyttes nedstrøms. Dette vises med fargekodene gul og grønn. I disse tilfellene vil det respektive området trolig ikke oppleve større problemer knyttet til oversvømmelser, men tiltak bør likevel prioriteres i disse områdene for å unngå forflytning av problemer nedstrøms. Feltene med oransje og rød farge indikerer overvannet akkumuleres totalt sett innenfor delnedbørsfeltet.

Det fremgår av venstre del av figur 4.3 at det vil være størst tilpasningsbehov i den sørligste delen, samt delnedbørsfelt 14 og at oppstrøms håndtering bør prioriteres for å unngå problemer i disse områdene.

Analyse 2 - Netto oversvømmelse fra nærliggende områder

Denne analysen gir et mål på hvor mye av oversvømmelsen som er forårsaket av omliggende delnedbørsfelt og om håndteringen av overvannet bør skje innen- eller oppstrøms delnedbørsfeltet. Resultatene til høyre i figur 4.3 viser at i majoriteten av delnedbørsfeltene renner det mer vann inn, enn det renner vann ut av feltet. Dermed vil det være behov for håndtering oppstrøms i omtrent samtlige av delnedbørsfeltene. Dette er tilfellet i majoriteten av delnedbørsfeltene, vist i fargekodene oransje og rød. Kun i delnedbørsfelt 17, markert i grønt, renner det mindre vann inn enn at det renner vann ut. Dette skyldes trolig helningsgraden i feltet.



Analyse 1- Tilpasningsbehov ved oversvømmelse

< -20 000	Minst tilpasningsbehov
-20 000 – -10 000	Lite tilpasningsbehov
-10 000 – 0	Moderat tilpasningsbehov
0 – 10 000	Stort tilpasningsbehov
> 10 000	Størst tilpasningsbehov

Analyse 2- Netto oversvømmelse fra nærliggende områder

< 0 %	Utelukkende håndtering innenfor delnedbørsfeltet
0 – 25 %	Håndtering innenfor delnedbørsfeltet bør prioriteres
25 – 50 %	Muligheter for håndtering oppstrøms bør utredes
> 50 %	Håndtering oppstrøms delnedbørsfeltet bør prioriteres

Figur 4.3: Vannbalanseanalyser ved 200-års regn. Resultatene er beregnet i GIS.

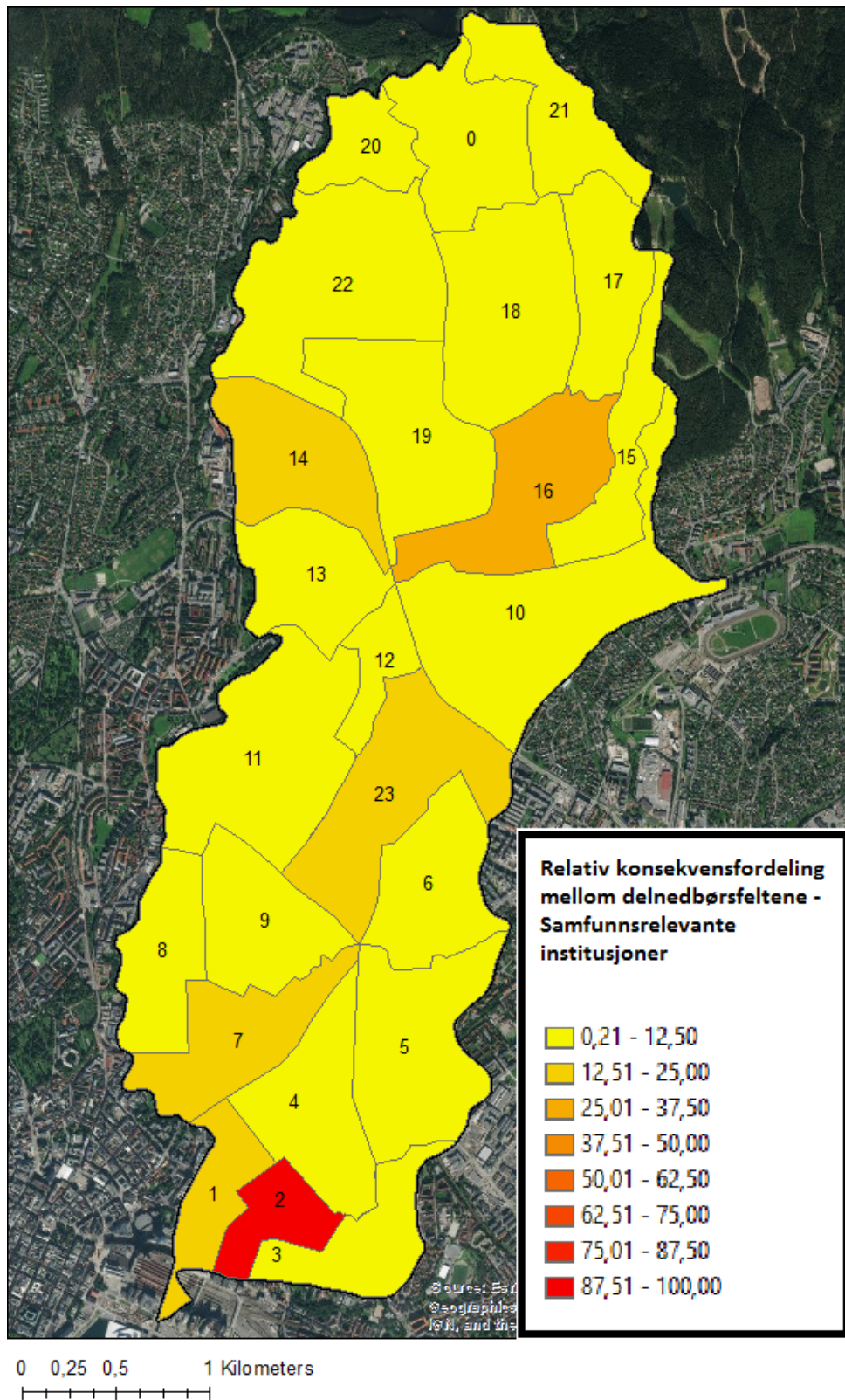
4.1.3 Konsekvensvurdering

Utregningene nedenfor er gjort med utgangspunkt i avsnitt 3.3.3, som beskriver grunnlaget for konsekvensvurderingen. Resultatene vises i prosent relativt til feltet med høyest konsekvenser. Figurene 4.4, 4.5, 4.6 og tabell 4.1 viser den relative konsekvensfordelingen mellom delnedbørsfeltene innenfor kategoriene «samfunnsrelevante institusjoner», «skadekostnad» og «framkommelighet».

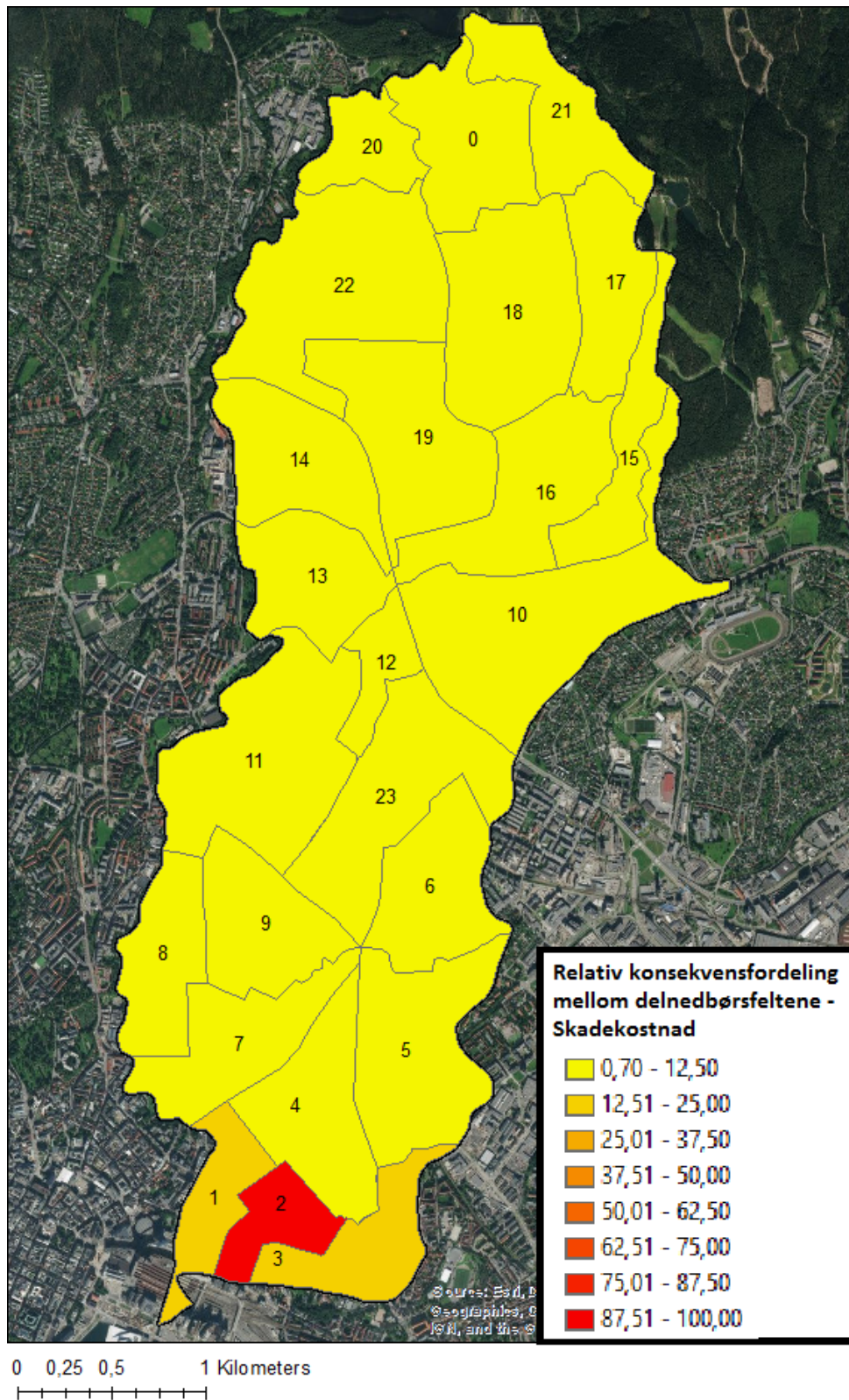
Ut ifra resultatene for «samfunnsrelevante institusjoner» fremgår det fra figur 4.4 at felt 2 er feltet med de største konsekvensene. Dette vises med fargekoden rød og får verdien 100 i tabell 4.7. Andre delnedbørsfelt i samme område med høye konsekvenspoeng er felt 1 og 7. Disse vises i oransje fargekode. Dette kan sees i sammenheng med en tettere samling samfunnsrelevante institusjoner av økonomisk karakter i de sentrumsnære områdene, slik som service og kontorbygninger. De andre delnedbørsfeltene som utpeker seg er felt 14 og 16 som ligger i nærheten av Ring 3. Her er det flere institusjoner i forbindelse med helse, i tillegg til en rekke privatboliger.

Innenfor kategorien «skadekostnad» er det også felt 2 som har størst konsekvenser etterfulgt av nærliggende sentrumsnære delnedbørsfelt. Felt 2 tildeles rød fargekode i figur 4.5 grunnet den høyeste verdien fra tabell 4.7. Grunnlaget for dette er tett bebygelse i tillegg til betydelig kollektivtransport i området.

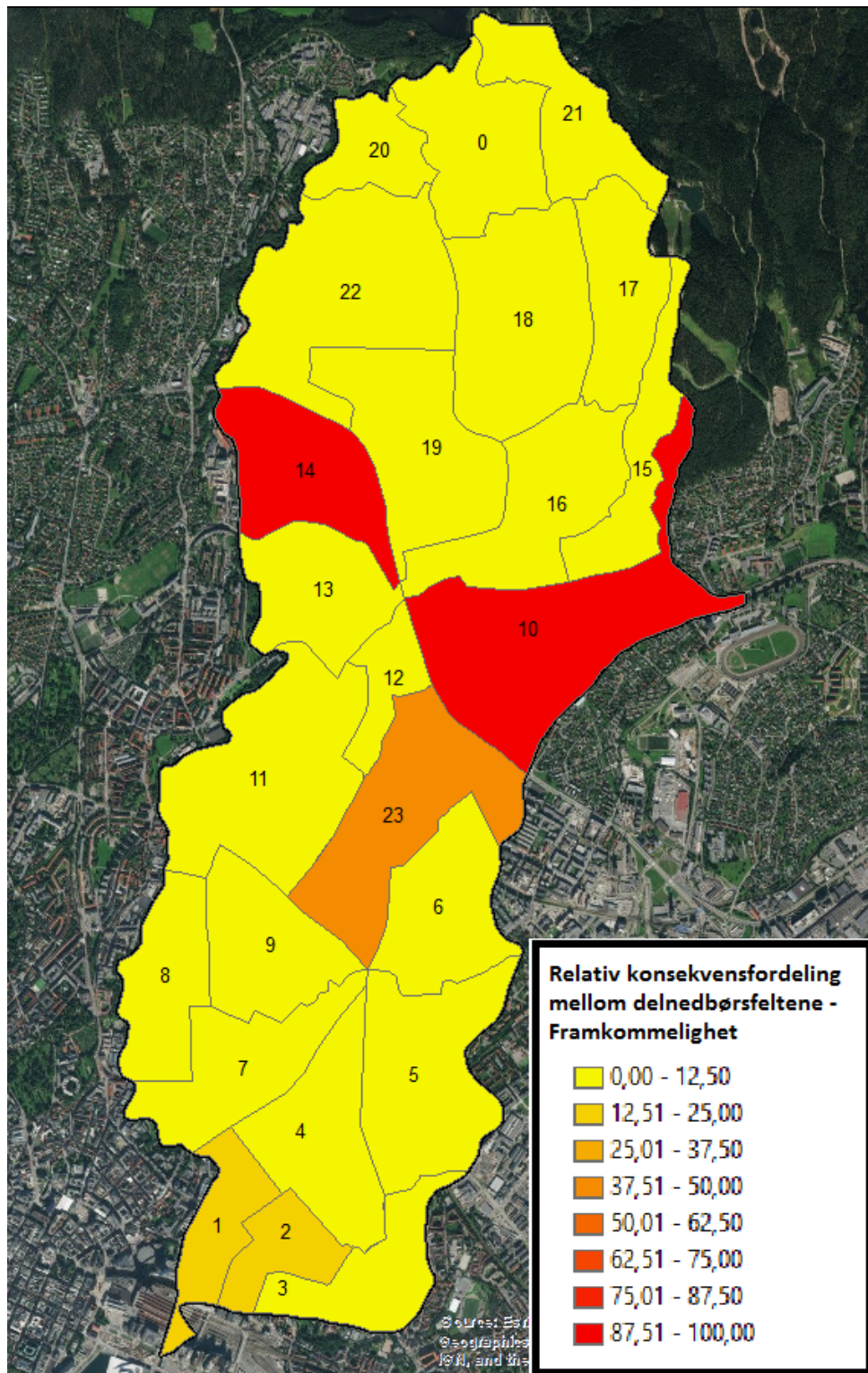
Vist i rød fargekode fra figur 4.6 er felt 14 det høyest rangerte delnedbørsfeltet for kategorien «framkommelighet». Dette på grunnlag av Ring 3 som går gjennom hele feltet. Ring 3 er en prioritert vei som benyttes for både privatbilisme, tungtransport og kollektivtrafikk. Disse kategoriene gir utslag på den samlede poengsummen, vist i tabell 4.7.



Figur 4.4: Relativ konsekvensfordeling mellom delnedbørsfeltene for kategorien «samfunnsrelevante institusjoner». Resultatene er beregnet i GIS.



Figur 4.5: Relativ konsekvensfordeling mellom delnedbørsfeltene for kategorien «skadekostnad». Resultatene er beregnet i GIS.

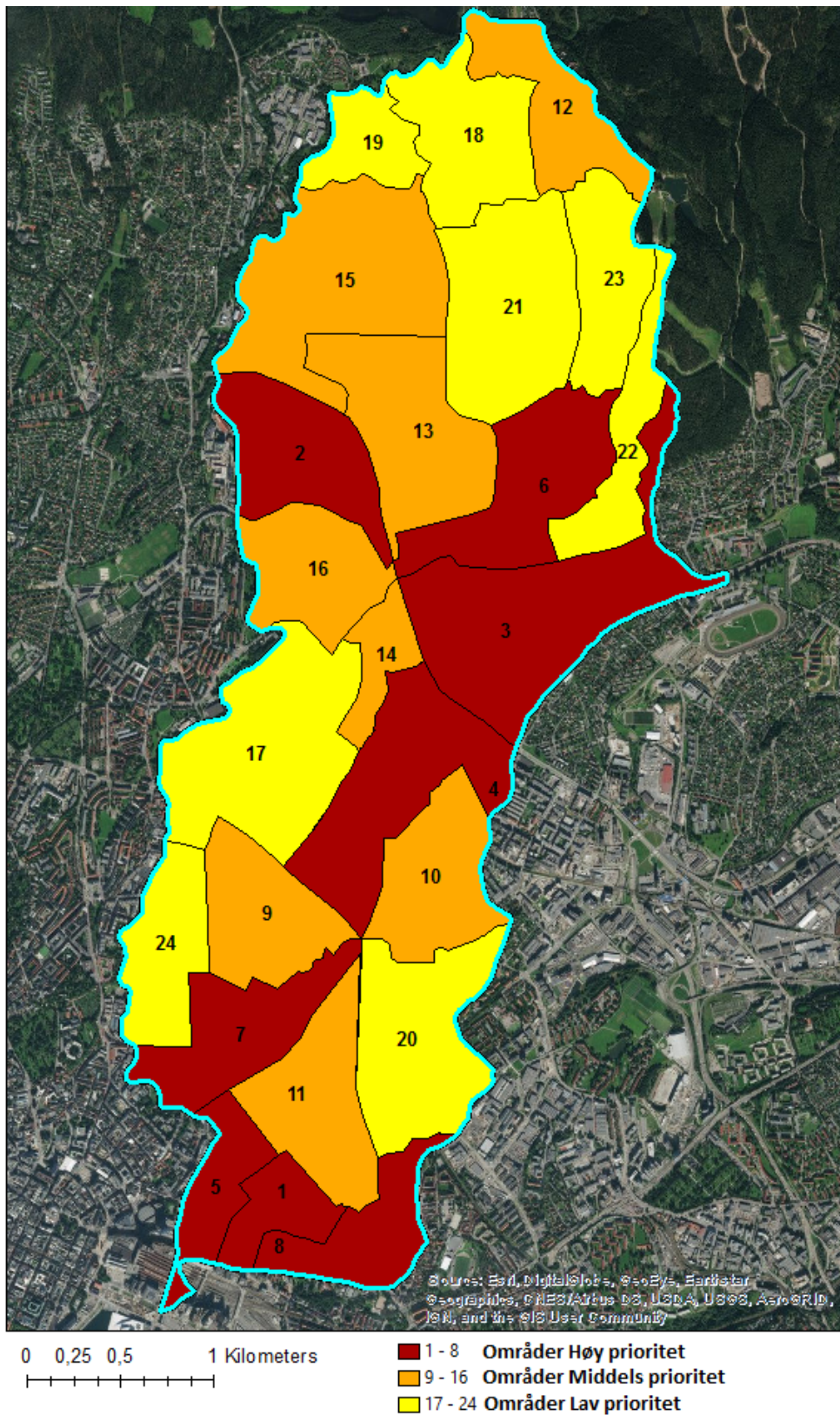


Figur 4.6: Relativ konsekvensfordeling mellom delnedbørsfeltene for kategorien «framkommelighet». Resultatene er beregnet i GIS.

Delnedbørsfelt	Samfunnsrelevante institusjoner	Skadekostnad	Framkommelighet	Sammenlagt	Rangering
0	1	2	0	1	21
1	11	19	9	13	5
2	100	100	11	70	1
3	5	15	0	7	9
4	6	11	1	6	10
5	1	3	1	1	20
6	2	5	9	5	11
7	13	10	4	9	7
8	0	1	0	0	24
9	19	10	1	10	6
10	3	5	100	36	2
11	2	3	0	2	18
12	3	2	3	3	15
13	2	1	4	2	16
14	17	6	80	34	3
15	1	2	0	1	22
16	17	6	1	8	8
17	0	1	0	0	23
18	1	3	1	2	19
19	3	4	1	3	14
20	1	4	1	2	17
21	10	3	0	5	12
22	5	5	1	3	13
23	9	5	30	15	4

Tabell 4.1: Vekting og rangering av total konsekvens for de ulike delnedbørsfeltene.

Totalt sett fremgår det at nedbørsmengder i de sørlige og midtre delnedbørsfeltene vil få de største konsekvensene, som fører til at felt 2 blir mest berørt. Felt 2 ligger helt sør i nedbørsfeltet og inneholder flere samfunnsrelevante bygninger, tog og busstasjon, samt veinett. Figur 4.7 viser den sammenlagte konsekvensvurderingen av delnedbørsfeltene fra østre del av Akerselva nedbørsfelt, basert på konsekvensvurdering av «samfunnsrelevante institusjoner», «skadekostnad» og «framkommelighet». Figuren har tatt utgangspunkt i rangeringen fra tabell 4.1, slik at nummereringen av feltene samsvarer med rangeringen med hensyn til sammenlagt konsekvensvurdering.

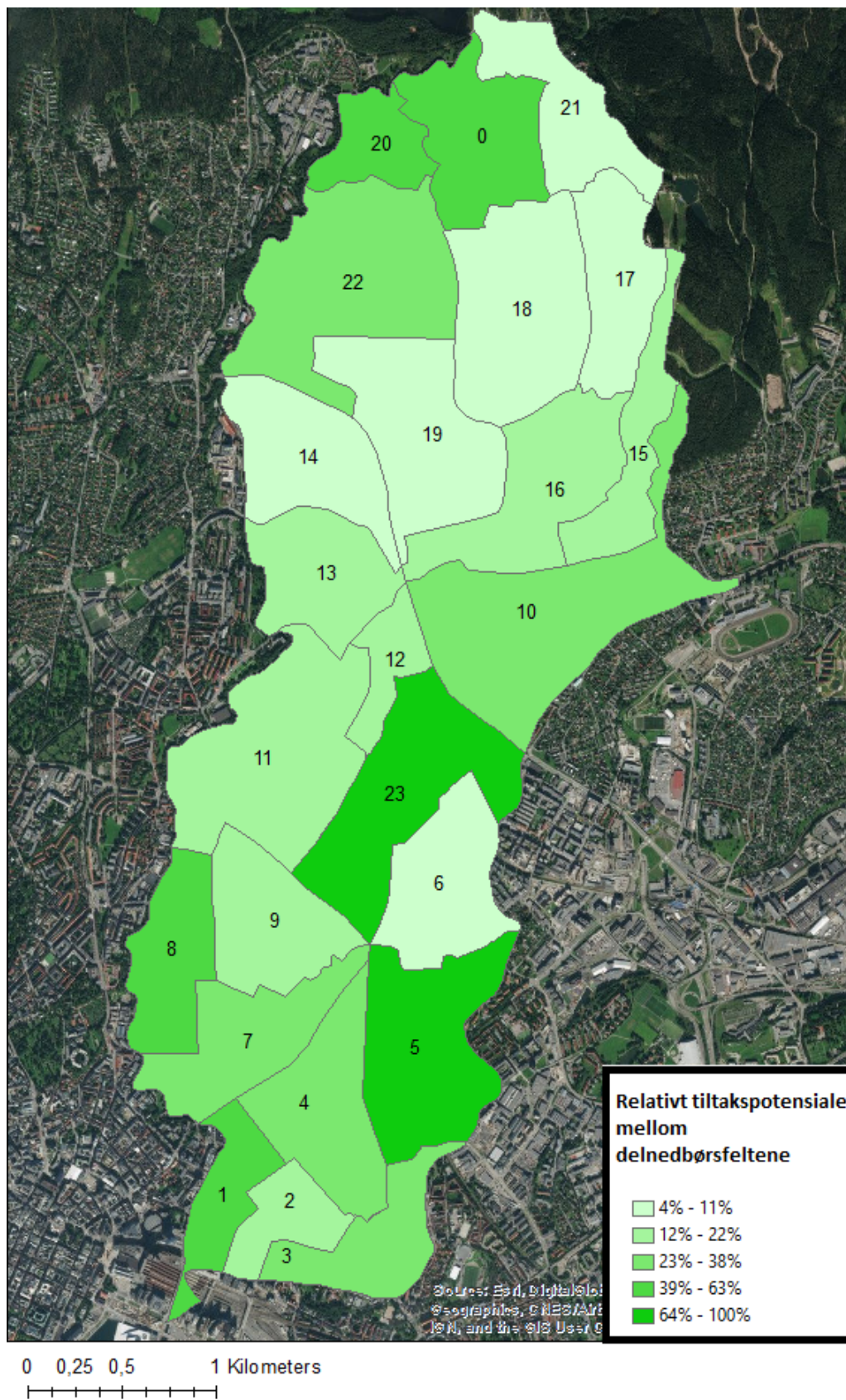


Figur 4.7: Sammenlagt relativ konsekvensvurdering av delnedbørsfeltene. Resultatene er beregnet i GIS.

4.1.4 Tiltakspotensial

Eksisterende vannoverflater, herunder dammer, innsjøer og elver, fordeles den høyeste poengskår fra tabell 3.5, ettersom vannet renner mot disse naturlig. Dermed er det hensiktsmessig å benytte disse områdene til fordrøyning ved å benytte uutnyttet kapasitet, eller å utvide ved utgravning. I tillegg vil oversvømmelse i disse områdene ofte medføre lave konsekvenser. Høy skår gis også til kommunale områder, siden det antas at det er lettest å innføre nye tiltak i disse områdene. Videre antas det at tette flater og grønne områder har tilsvarende tiltakspotensial innenfor disse områdene. Områder og veier hvor det blir stående vann ved nedbørshendelser fordeles en høyere skår, fordi disse områdene vil ha hensiktsmessige helningsforhold på omkringliggende områder. Dermed vil det være et større potensial for LOD-tiltak i slike områder.

Tiltakspotensiale i delnedbørsfeltene er regnet ut relativt i forhold til delnedbørsfeltet med høyest tiltakspotensiale (se avsnitt 3.3.4). Feltene med de mørkeste fargene har høyest potensiale for innføring av LOD-tiltak, som vist i figur 4.8. Delnedbørsfeltene 1, 5 og 23 har størst tiltakspotensiale med hensyn til håndtering av overvannet. Dette er mye grunnet andelen grønne flater og lange veistrekninger som har stående vann ved nedbørshendelser. I disse tilfellene kan vann fordrøyes eller ledes gjennom disse overvannsrammede områdene uten å forårsake større skader på nye «tørre» områder i delnedbørsfeltene.



Figur 4.8: Relativt tiltakspotensiale for delnedbørsfeltene innefor østre del av Akerselva nedbørsfelt. Resultatene er beregnet i GIS.

4.1.5 Valg av overordnet ledd fra treleddsstrategien og distribuering av oversvømmelsesvolum

Valg av overordnet ledd fra høyre del av treleddsstrategien prioriteres ut ifra en sammenfatning av resultatene fra de foregående analysene etter følgende vurderinger:

- **Analyse 1 - Tilpasningsbehov ved oversvømmelse**

I tilfeller med negativ verdi legges det mest vekt på fordrøyningsiltak, og i tilfeller med positiv verdi velges sikre flomveier i delnedbørsfeltet.

- **Analyse 2 - Netto oversvømmelse fra nærliggende områder**

I tilfeller med negativ verdi legges det mest vekt på fordrøyningsiltak, og i tilfeller med positiv verdi velges sikre flomveier i delnedbørsfeltet.

- **Sammenlagt relativ konsekvensvurdering**

I områder med lave konsekvenser legges det mest vekt på fordrøyningsiltak og sikre flomveier velges i områder med høye konsekvenser. I tillegg velges fordrøyningsiltak oppstrøms områder med høye konsekvenser.

- **Relativt tiltakspotensiale**

Overordnet ledd fra treleddsstrategien velges ut ifra utslagsgivende poengkategori fra tabell 3.5 i delnedbørsfeltet.

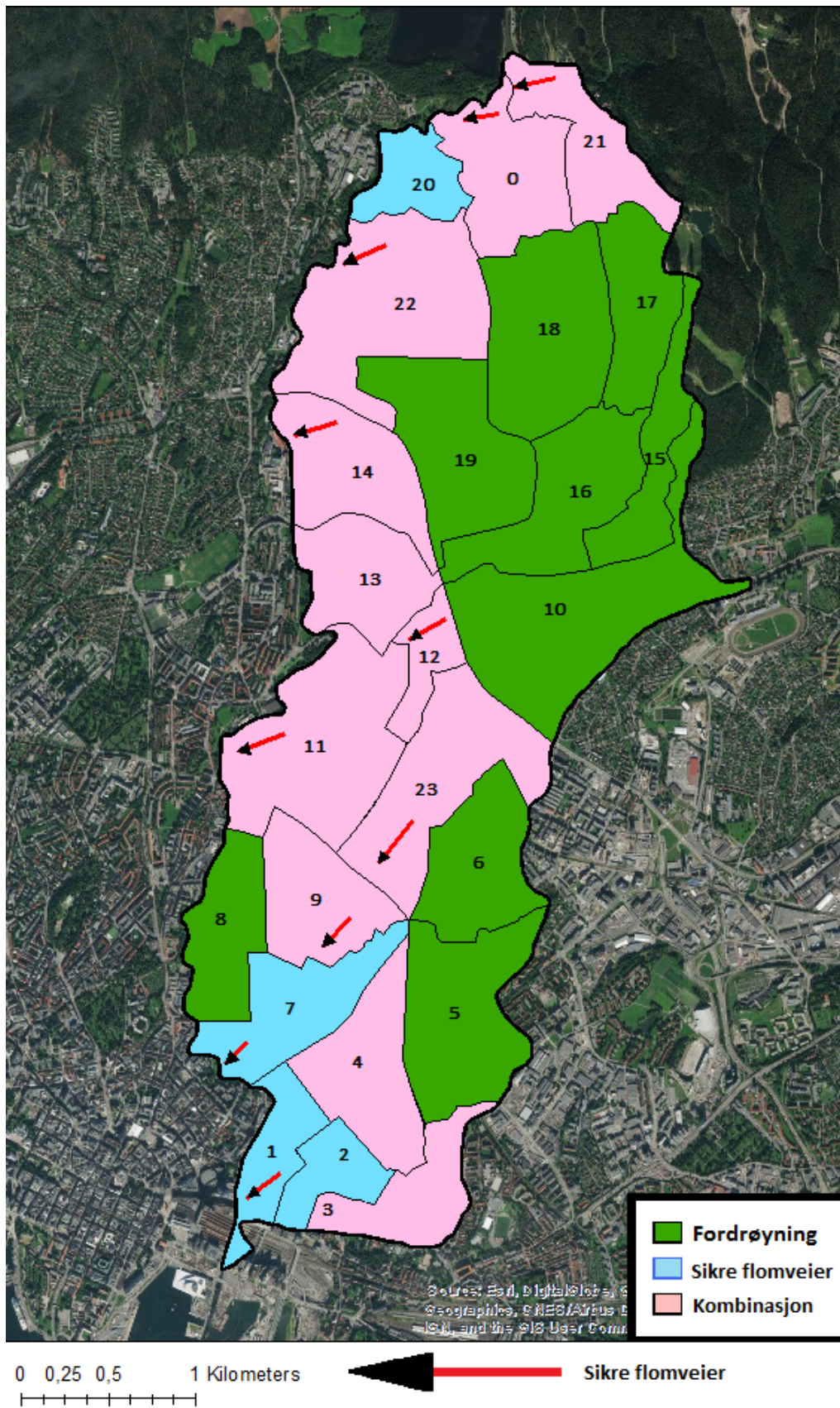
- **Tilleggsvurdering**

I områder nærme en resipient velges det sikre flomveier, og i områder høyere opp velges det fordrøyningsiltak.

I delnedbørsfelt hvor det følger av analysene at både fordrøyningsiltak og sikre flomveier bør være det overordnede leddet, velges det en kombinasjon av disse. Når det skal avgjøres hvilke oversvømmelsesvolum som skal håndteres med LOD-iltak, vil det være hensiktsmessig å starte med delnedbørsfeltene som ligger oppstrøms og deretter bevege seg nedover. Dette vil kunne redusere forflytning av problemer knyttet til oversvømmelse nedstrøms. Ved innføring av sikre flomveier i et delnedbørsfelt, må det avledede vannet inngå i beregninger i delnedbørsfelt nedstrøms, helt frem til

resipienten. Tiltakene innført i delnedbørsfeltene inkluderer fordrøyningstiltak, sikre flomveier eller en kombinasjon av disse. Det har vært prioritert å lede de sikre flomveiene til Akerselva, da vannmengdene ut av delnedbørsfeltene ikke overstiger resipientens kapasitet (se delavsnitt 3.1). I områder hvor topografien og distansen ikke tillater adgang til resipient, er de sikre flomveiene ledet til fordrøyningsmagasinene.

Oversvømmelsesvolumene fra dette steget er retningsgivende for videre dimensjonering, valg og posisjonering av LOD-tiltak (se avsnitt 4.1.6). Det er mindre sannsynlig at det er praktisk gjennomførbart å håndtere de totale oversvømmelsesvolumene fra dette steget.



Figur 4.9: Oversikt over valg av overordnet ledd fra treleddsstrategien og oversvømmelsesvolum (m^3). Resultatene er beregnet i GIS.

Tabell 4.2 gir en oversikt over oversvømmelsesvolumet regnet ut ifra vannhøyden i delnedbørsfeltene multiplisert med cellens areal. Dette volumet reduseres videre med 25 prosent på grunn av anslått effekt av innførte infiltrasjonstiltak, tilsvarende 10 %. Videre trekkes 6% av tilført vannmengde på modellen (jfr. 3.2). Tilslutt trekkes det fra 9 % vann grunnet at vannhøyden antas å ikke være tilstrekkelige nok til å utgjøre skade på områdene. Fremgangsmåten for å finne oversvømmelsesvolum beskrives nærmere i vedlegg A.2.2. I delnedbørsfelt hvor den overordnede løsningen er kombinasjon av fordrøyning og sikre flomveier, antas det i denne analysen at halve oversvømmelsesvolumet fordrøyes og det resterende volumet videreføres. I delnedbørsfelt hvor den overordnede løsningen er fordrøyning eller sikre flomveier vil enten alt vannet fordrøyes eller ledes via sikre flomveier.

Tiltakene for hvert av delnedbørsfeltene er som tidligere nevnt evaluert ut ifra en samlet vurdering av vannbalanseanalysene (se figur 4.3), konsekvensvurderingen (se figur 4.14, 4.15, 4.16 og tabell 4.2), tiltakspotensiale (se figur 4.8), urban struktur, topografi og geografi. Tiltakene i denne oppgaven er av overordnet karakter og ikke detaljplanlagt, grunnet at oppgaven omhandler planleggingen i en innledene fase av overvannsplanleggingen.

Tabell 4.2: Oversvømmelsesvolum og valg av overordnet ledd fra treleddsstrategien.

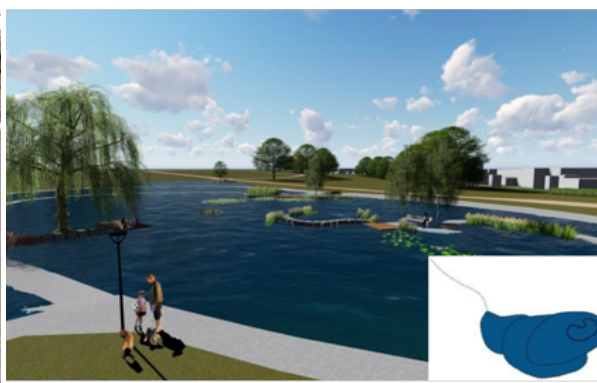
Delnedbørsfelt	Oversvømmelses volum*	Formel fordrøyning	Fordrøyning (m ³)	Formel Sikre flomveier	Sikre Flomveier (m ³)	Tiltak
0	20297	$\frac{X_0}{2}$	10148	$\frac{X_0}{2}$	10148	Kombinasjon
1	24880			X_1	24880	Sikre flomveier
2	16076			$X_2 + \frac{X_4}{4}$	21107	Sikre flomveier
3	9641	$\frac{X_3}{2}$	4820	$\frac{X_3}{2}$	4820	Kombinasjon
4	20127	$\frac{X_4}{2}$	10064	$\frac{X_4}{2}$	10064	Kombinasjon
5	20180	X_5	20180			Fordrøyning
6	15489	X_6	15489		15489	Fordrøyning
7	23740			$X_7 + \frac{X_9}{2} + \frac{X_{23}}{4}$	39986	Sikre flomveier
8	13589	X_8	13589			Fordrøyning
9	15935	$\frac{X_9}{2} + \frac{X_{23}}{2}$	24525	$\frac{X_9}{2} + \frac{X_{23}}{2}$	24525	Kombinasjon
10	49347	X_{10}	49347			Fordrøyning
11	31526	$\frac{X_{11}}{2} + \frac{X_{12}}{2}$	19823	$\frac{X_{11}}{2} + \frac{X_{12}}{2}$	19823	Kombinasjon
12	8120	$\frac{X_{12}}{2}$	4060	$\frac{X_{12}}{2}$	4060	Kombinasjon
13	12130	$\frac{X_{13}}{2}$	6065	$\frac{X_{13}}{2}$	6065	Kombinasjon
14	28818	$\frac{X_{14}}{2}$	14409	$\frac{X_{14}}{2}$	14409	Kombinasjon
15	11330	X_{15}	11330			Fordrøyning
16	24045	X_{16}	24045			Fordrøyning
17	11849	X_{17}	11849			Fordrøyning
18	37454	X_{18}	37454			Fordrøyning
19	22298	X_{19}	22298			Fordrøyning
20	12950			X_{20}	12950	Sikre flomveier
21	13101	$\frac{X_{21}}{2}$	6551	$\frac{X_{21}}{2}$	6551	Kombinasjon
22	43561	$\frac{X_{22}}{2}$	21780	$\frac{X_{22}}{2}$	21780	Kombinasjon
23	33115	$\frac{X_{23}}{2}$	16557	$\frac{X_{23}}{2}$	16557	Kombinasjon

* Oversvømmelsesvolumene fra tabellen er trukket fra anslått effekt av innførte infiltrasjonstiltak, tilsvarende 10 %. Videre trekkes 6% av tilført vannmengde på modellen (jfr. 3.2). Tilslutt trekkes det fra 9 % vann grunnet at vannhøyden antas å ikke være tilstrekkelige nok til å utgjøre skade på områdene.

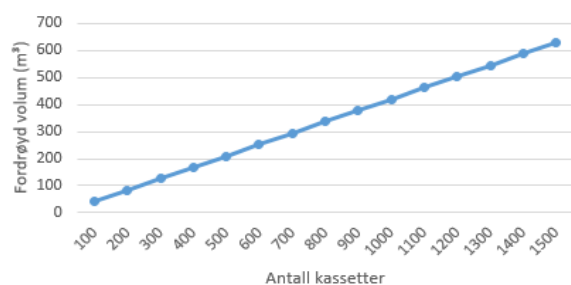
4.1.6 Innføring av LOD-tiltak

Tiltakene innføres ved senkning av terrengmodellen i MIKE 21 med verktøy fra programvaren. Et av de innførte tiltakene er delvis åpning av Torshovbekken, etter forslag fra Eriksen (2017). De resterende tiltakene som modelleres er overvannsdammer, flomsikre veier og gater og tilrettelegging av oversvømmelsesareal på idrettsanlegg. Tiltakene er valgt på grunnlag av faktaark om overvannstiltak, utgitt av Oslo kommune (VAV 2018). Dimensjoneringsvolumene i tabell 4.12 er beregnet ut ifra teoretisk kapasitet, med enkelte antagelser. Enkelte felt, slik som delnedbørsfelt 20, vil ha mulighet for innføring av tiltak, uten at det er iverksatt tiltak i denne gjennomkjøringen.

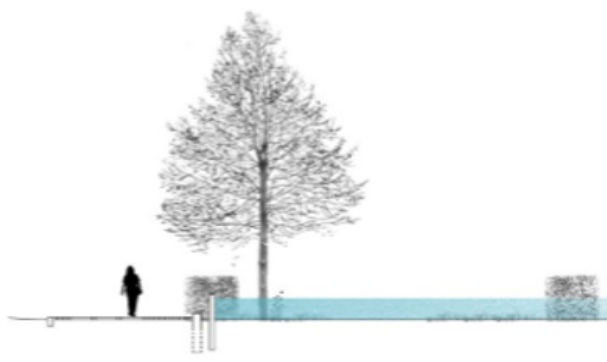
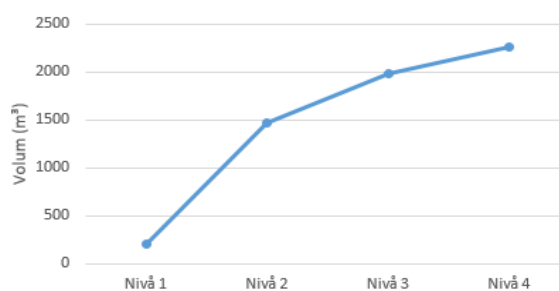
Ved innføring av LOD-tiltak i modellen benyttes de retningsangivende oversvømmelsesvolumene fra tabell 4.2 som utgangspunkt for dimensjoneringen i de respektive delnedbørsfeltene. Videre gir en kombinasjon av de utregnede volumene og vannføringene beskrevet i grafene fra figur 4.10 og 4.11 et anslag av håndtert oversvømmelsesvolum fra LOD-tiltakene og benyttes ved valg av LOD-tiltak i modellen.



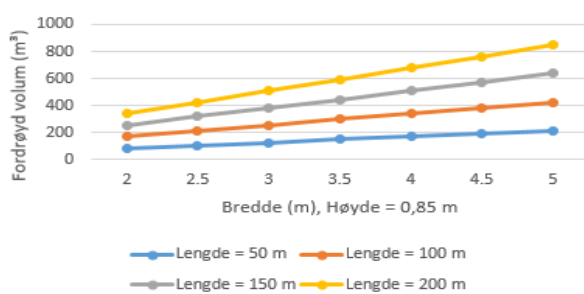
Overvannskassetter - Q-Bic plus



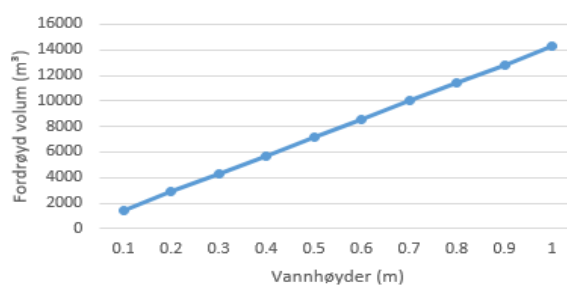
Nivådelt overvannsdam



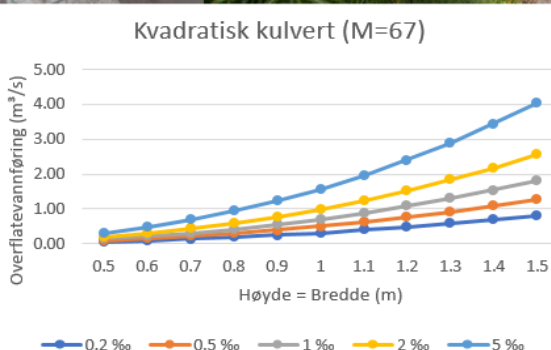
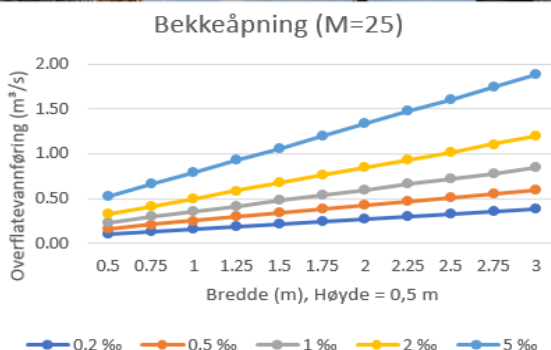
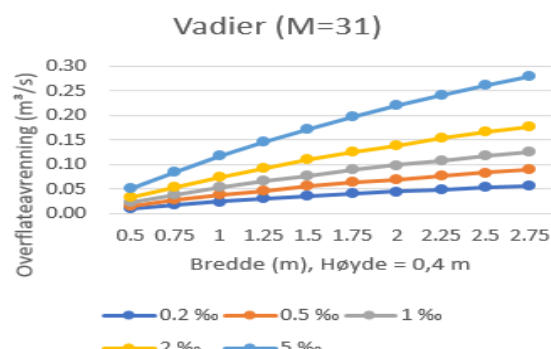
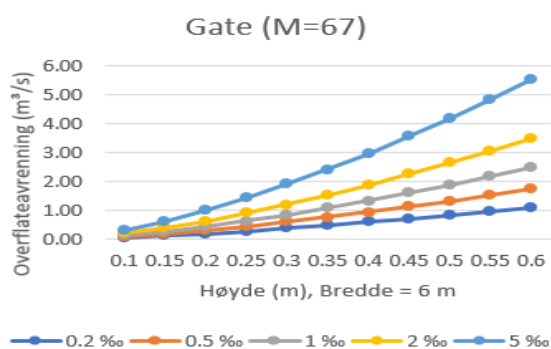
Overlømmelsesareal - Diker



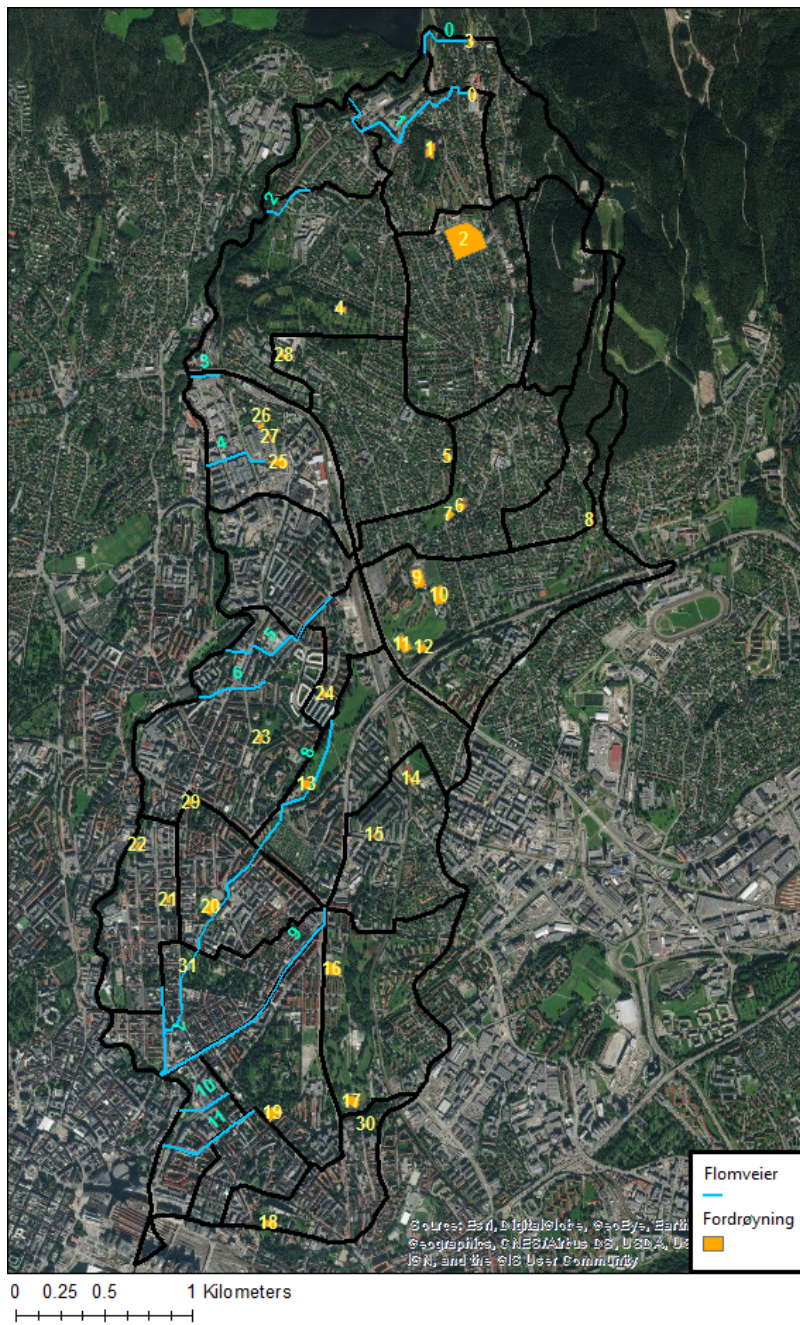
Overlømmelsesareal - Fotballbaner



Figur 4.10: Utregninger av volum for diverse fordroyningstiltak (Illustrasjoner hentet fra: Wavin 2016; Alkhayat 2016; Oslo kommune 2016a).



Figur 4.11: Utregninger av vannføringer for diverse sikre flomveier (Illustrasjoner hentet fra: Oslo kommune 2016d; Oslo kommune 2016e; Oslo kommune 2015; Oslo kommune 2017b).



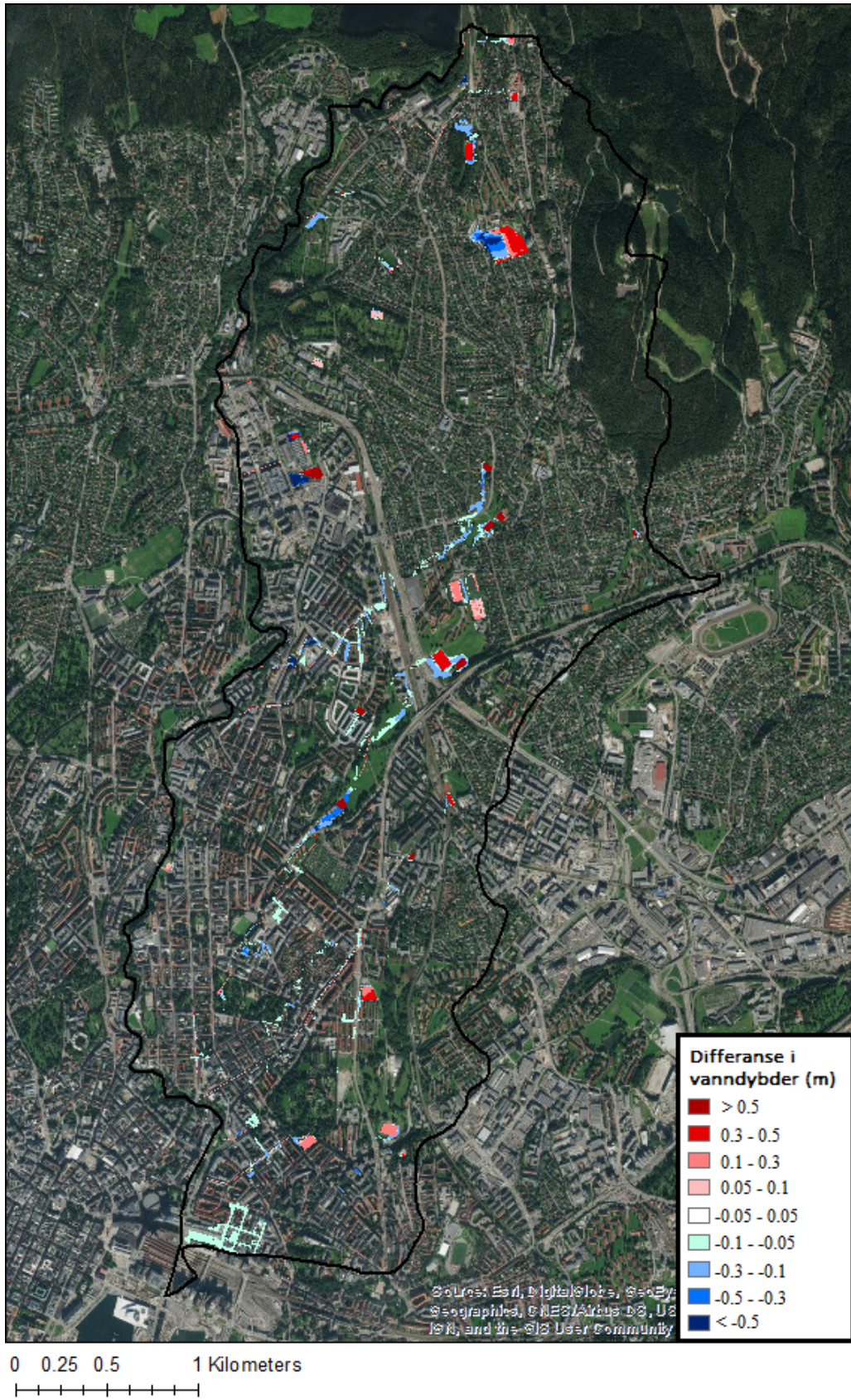
Fordrøyning	Volum (m³)
0	1184
1	4672
2	31801
3	2639
4	4721
5	3283
6	1477
7	3785
8	965
9	7126
10	6675
11	5616
12	2135
13	5143
14	1336
15	1598
16	10772
17	4849
18	5751
19	5219
20	5597
21	2560
22	1175
23	2929
24	3318
25	4825
26	1317
27	1482
28	1994
29	1937
30	788
31	2037

Sikre flomveier	Dim. vannføring (m³/s)
0	5.6
1	3.6
2	5.8
3	6.9
4	5.3
5	5.4
6	8.5
7	2.7
8	5.0
9	3.3
10	2.7
11	2.1

Figur 4.12: Innførte LOD-tiltak i terrenngmodellen, samt anslag av kapasitet hos de respektive tiltakene. Resultatene er beregnet i GIS.

4.1.7 Effektvurdering

Resultatene fra den første analysen i dette avsnittet er differansen mellom oversvømmelsesvolum før og etter innføring av LOD-tiltak. Figur 4.13 viser en økning i differansen i vannhøyden i områdene der fordrøynings tiltakene er plassert og en reduksjon der de sikre flomveiene har blitt plassert. Rød farge indikerer at vanndybden har økt etter innføring av tiltak, gjennomsiktige områder indikerer neglisjerbare endringer og blå farge indikerer at vanndybden har blitt lavere. I områdene rundt fordrøynings tiltakene vil vanndybden i de fleste tilfellene reduseres. Dette er av betydning siden enkelte av tiltakene er plassert i nærhet av bebyggelse, som igjen vil påvirke de samlede konsekvenspoengene i delnedbørsfeltene. Samtidig observeres det at tiltakene fører til en mer kontrollert samling av overvann enn tidligere. I delnedbørsfeltene som er høyest rangert innenfor den sammenlagte konsekvensprioriteringen, herunder felt 1, 2, 7, og 23 (se figur 4.7), observeres det reduserte vanndybder. Differansene i vanndybder fra figur 4.13 er resultatene etter den første iterasjonen, og det anbefales videre iterasjoner for ytterligere forbedringer.



Figur 4.13: Differanse i vandedybder før og etter tiltak. Resultatene er beregnet i GIS.

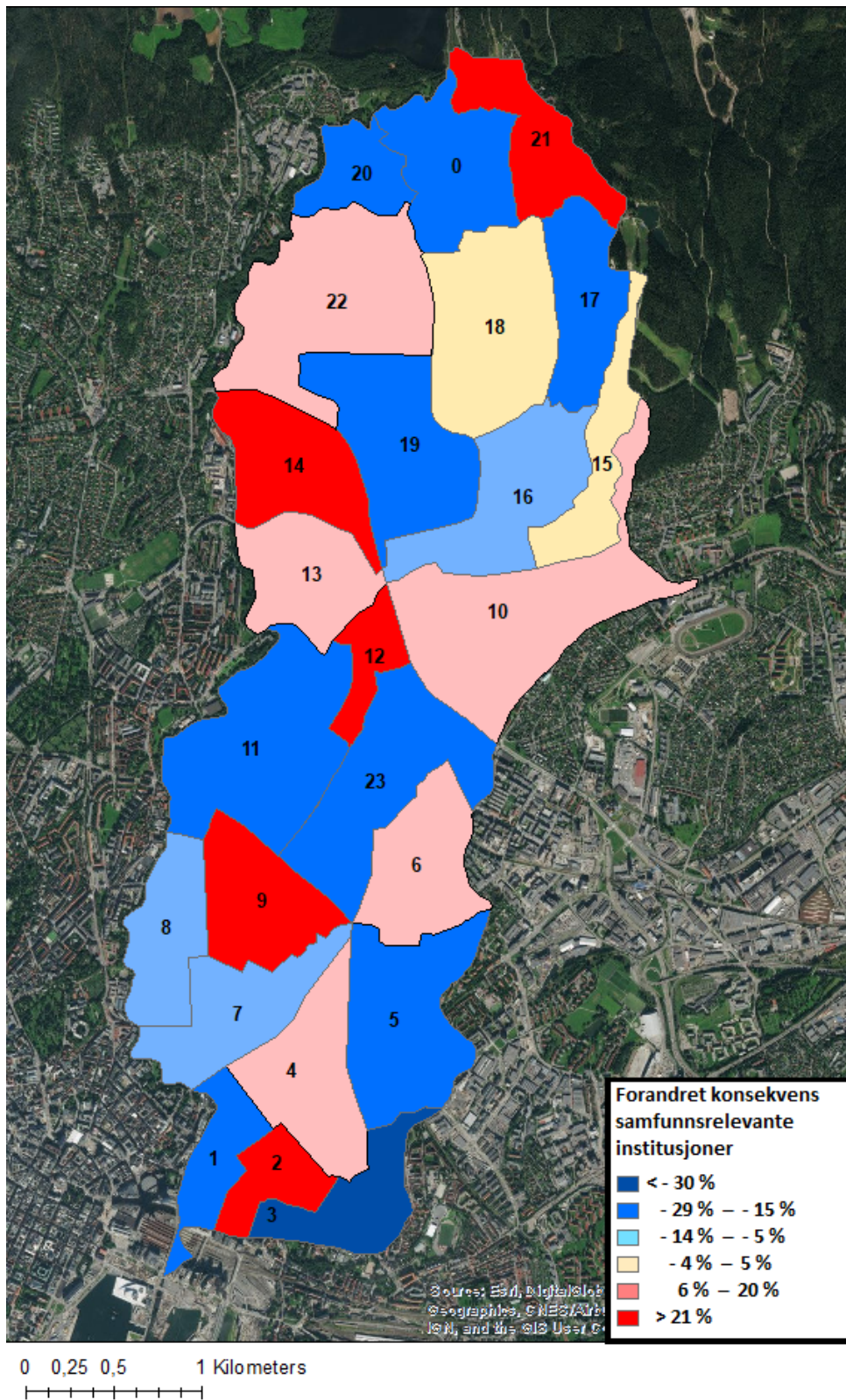
Resultatene fra figurene 4.14, 4.15 og 4.16 viser endret konsekvens for delnedbørsfeltene for hver av konsekvenskategoriene. Differansen mellom konsekvenspoengene for hver kategori danner bakgrunnen for resultatene. Rød og rosa fargekode indikerer en økning av konsekvenser, beige viser en neglisjerbar endring og blå fargekoder symboliserer en reduksjon i konsekvenser.

Resultatene tilsier at konsekvensene innenfor kategorien «samfunnsrelaterte institusjoner», se figur 4.14, har økt i flere av feltene og den største økningen i konsekvenser fremtrer i delnedbørsfelt 9.

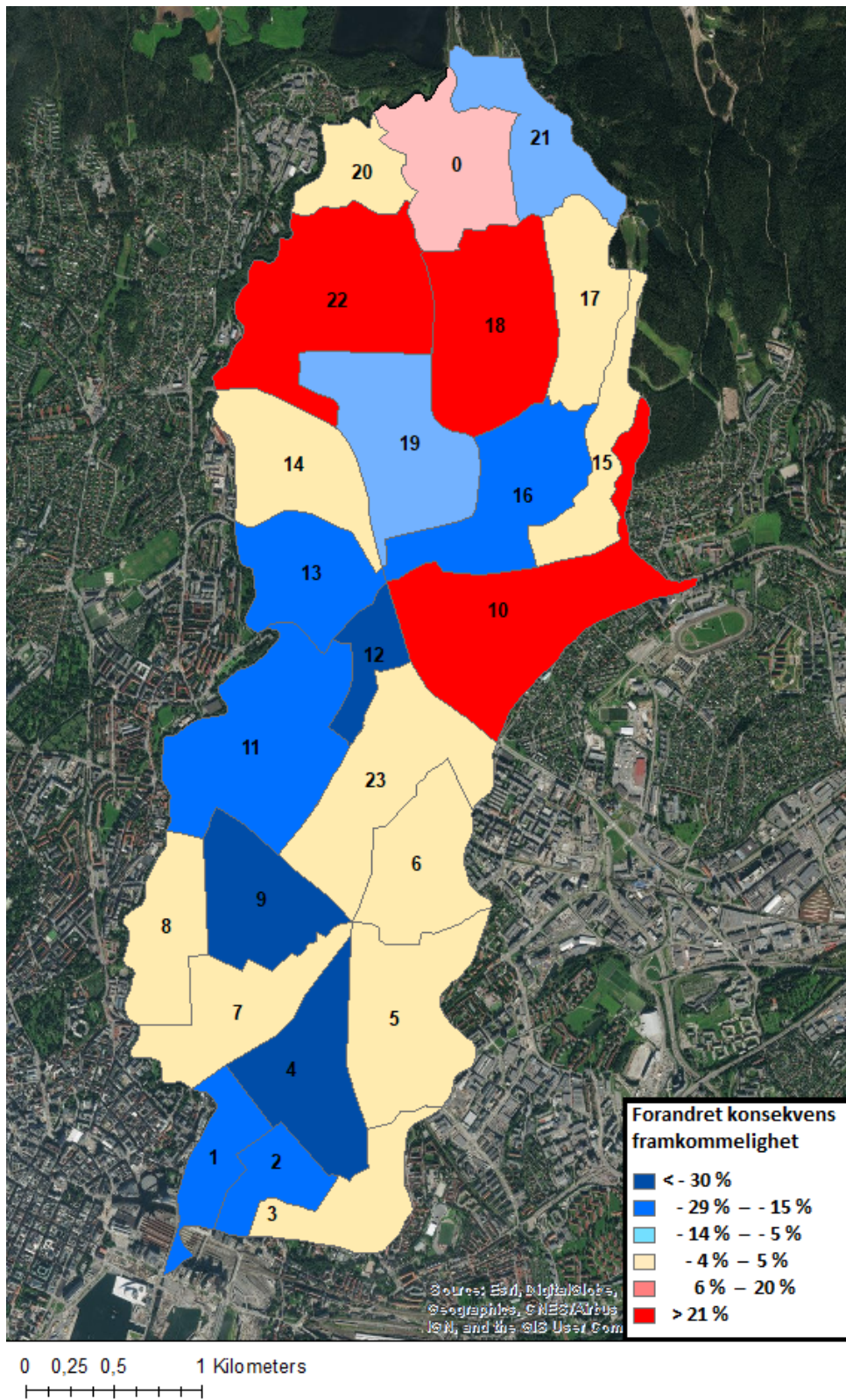
Kategorien «skadekostnad» viser reduksjon av konsekvenser i majoriteten av feltene. Delnedbørsfeltet 14 har den største reduksjonen i konsekvenspoeng, som vist i figur 4.15.

Siste kategori «framkommelighet» har økning i konsekvensene i delnedbørsfelt 10, 18 og 22 og en markant reduksjon i delnedbørsfelt 4, 9 og 12. Dette kan sees i figur 4.16.

For en mer detaljert analyse av økningen og reduksjonen av verdiene henvises det til tabell 4.3. Delavsnitt 4.17 viser videre konkrete problemområder innenfor enkelte delnedbørsfelt. Målet med innføring av tiltakene er å flytte overvann fra områder med høy konsekvens, til områder der konsekvensene for overvannskader er akseptable, slik at den forandrede konsekvensen innenfor hver kategori reduseres.



Figur 4.14: Forandret konsekvens for kategorien samfunnsrelevante institusjoner. Resultatene er beregnet i GIS.



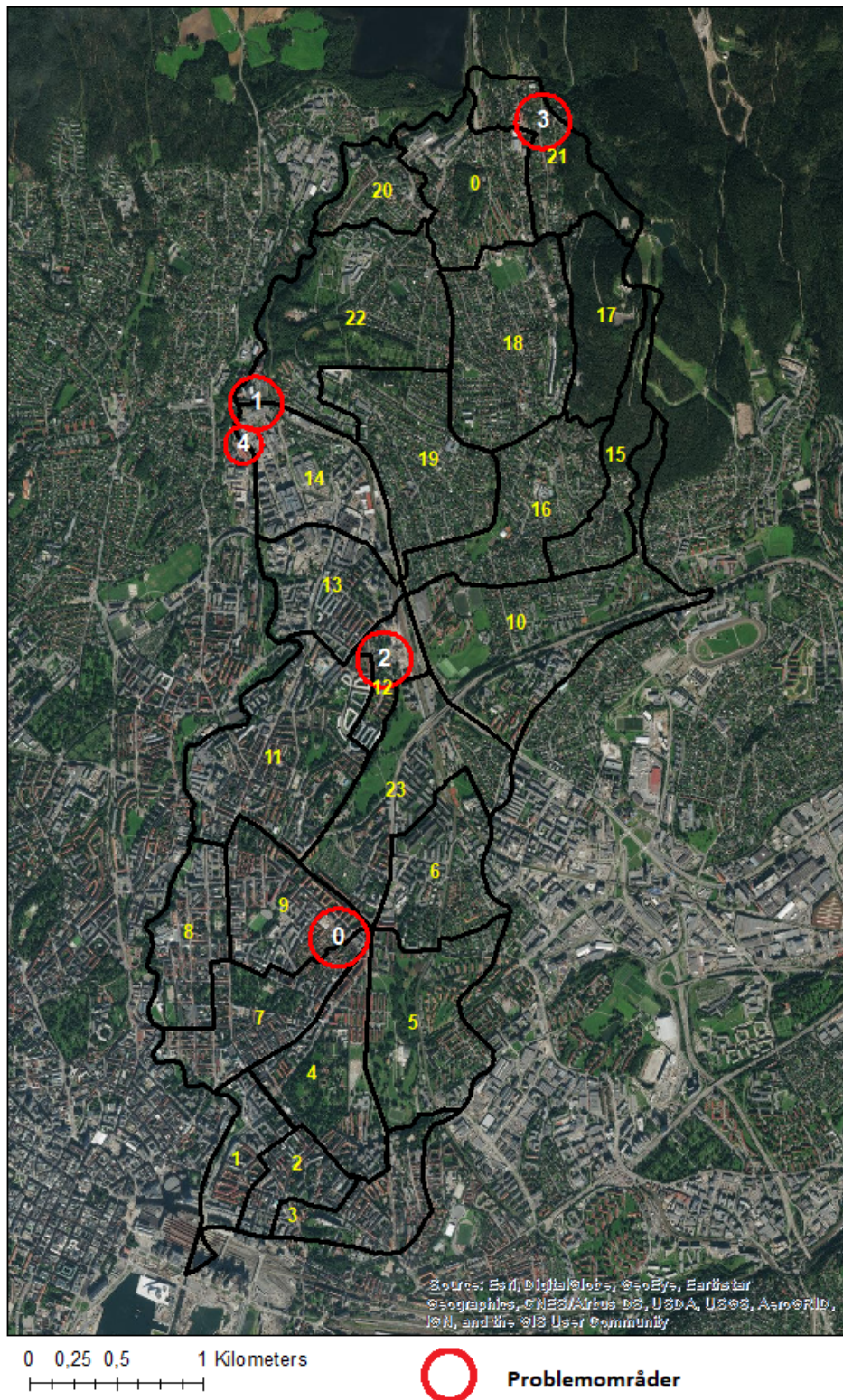
Figur 4.16: Forandret konsekvens for kategorien framkommelighet. Resultatene er beregnet i GIS.

Tabell 4.3 gir oversikt over relativ konsekvensforandring. De relative konsekvenskollonnene viser ny fordeling og endring i prosent etter innføring av tiltak. Resultatene fra endringen av konsekvens tyder på at flere iterasjoner med innføring og justering av tiltak i modellen ville vært hensiktsmessig for ytterligere reduksjon av konsekvensene. Den største økningen i konsekvens (134 %) fra kolonnen «forandret konsekvens samfunnsrelaterte funksjoner», skyldes økning i vanndybder omkring et kritisk bygg. Bortsett fra denne verdien ville de totale konsekvensprosentene vært redusert i samtlige kategorier. Se delavsnitt 4.1.8 for en mer detaljert gjennomgang av problemområdene.

Tabell 4.3: Relativ konsekvensforandring.

Delnedbørsfelt	Relativ konsekvens samfunnsrelevante funksjoner	Forandret konsekvens samfunnsrelevante funksjoner	Relativ konsekvens skadekostnad	Forandret konsekvens skadekostnad	Relativ konsekvens framkommelighet	Forandret konsekvens framkommelighet
0	1	-22 %	2	-28 %	0	10 %
1	11	-21 %	19	-10 %	9	-16 %
2	100	38 %	100	-1 %	11	-13 %
3	5	-31 %	15	-19 %	0	-3 %
4	6	14 %	11	2 %	1	-24 %
5	1	-26 %	3	4 %	1	1 %
6	2	8 %	5	-25 %	9	1 %
7	13	-7 %	10	13 %	4	-4 %
8	0	-14 %	1	20 %	0	0 %
9	19	134 %	10	-5 %	1	-34 %
10	3	12 %	5	2 %	100	37 %
11	2	-26 %	3	-19 %	0	-21 %
12	3	69 %	2	-36 %	3	-34 %
13	2	18 %	1	-29 %	4	-18 %
14	17	40 %	6	-44 %	80	-1 %
15	1	5 %	2	-23 %	0	4 %
16	17	-10 %	6	-5 %	1	-14 %
17	0	-24 %	1	-31 %	0	0 %
18	1	3 %	3	7 %	1	24 %
19	3	-27 %	4	-7 %	1	-6 %
20	1	-19 %	4	11 %	1	1 %
21	10	58 %	3	11 %	0	-6 %
22	5	20 %	5	10 %	1	91 %
23	9	-24 %	5	2 %	30	-1 %
TOTALT		167 %		-199 %		-25 %

4.1.8 Håndtering av uløste områder



Figur 4.17: Problemområder i nedbørsfeltet. De røde sirklene representerer problemområder etter innføring av tiltak. Presenterte verdier er de høyeste verdiene hentet fra tabell 4.3. Resultatene er beregnet i GIS.

Vurdering av effektene fra tiltakene er basert på en gjennomkjøring av innførte LOD-tiltak i overvannsmodellen, uten etterfølgende forbedringer. Videre forbedringer av modellen vil trolig gi ytterligere reduksjoner av konsekvensene. Samtidig har lokal kunnskap stor betydning for tolkning av resultatene. Enkelte av bygningene som har pekt seg ut i gjennomgangen kan allerede ha tilstrekkelige overvannstiltak etablert eller at infiltrasjonsfilen benyttet i modellen ikke beskriver området rundt bygningene i tilstrekkelig grad. For fordelingen av bygningstyper innenfor konsekvenskategoriene henvises det til avsnitt 3.3.3 og vedlegg B.



Figur 4.18: Problemområde 0, Hammerfestgata barnehage (Google Maps).

I problemområde 0 fra figur 4.17, forekommer det en forhøyning av vannstanden rundt et barnehagebygg. Denne forhøyningen danner grunnlag for en økning i konsekvensendring for delnedbørsfelt 9. «Barnehagebygg» ligger i kategorien med høyest konsekvenspoeng innenfor konsekvenskategorien «samfunnsrelevante funksjoner». Endringer i vannstanden rundt slike bygg vil føre til en markant konsekvensendring. I delnedbørsfeltet er det innført et fordrøyningsbasseng og en sikker flomvei, som vist i figur 4.1.6. Økningen av gjennomsnittlig vannstand ligger på ca. 30 cm, men dersom barnehagebygget hadde blitt flomsikkert og utelatt fra totalregnskapet, så ville delnedbørsfelt 9 oppnådd en sammenlagt reduksjon på ett prosentpoeng totalt.



Figur 4.19: Problemområde 1, Ring 3 (Google Maps).

I problemområde 1 er det en forhøyning av vannstanden på Ring 3 som danner grunnlag for en økning i konsekvensforandringen for delnedbørsfelt 22. Ringveien ligger i prioriteringspost 2 innenfor konsekvenskategorien framkommelighet. Det er knyttet en viss usikkerhet til om modellen fanger opp dreneringsegenskapene ved veier. Samtidig er det ut ifra lokal kunnskap kjent at støymurer ovenfor ringveien kan være med på å styre vannet langs ringveien og videre under i en forsenkning. Det kan derfor tenkes at området ikke vil få problemer

etter innføring av tiltak. Økningen av gjennomsnittlig vannstand ligger på ca. 50 cm i det respektive området.



Figur 4.20: Problemområde 2 og 3, Askeladden og Gulldalen barnehage (Google Maps).



Figur 4.21: Problemområde 4, Justis og beredskapsdepartementet (Google Maps).

Problemområde 2 i delnedbørsfelt 12 og problemområde 3 i delnedbørsfelt 21 gjennomgår samme utfordring som beskrevet ovenfor i problemområde 0. Dersom barnehagen i problemområde 2 hadde blitt flomsikret i større grad, hadde de sammenlagte konsekvenspoengene i delnedbørsfeltet blitt redusert med 66 prosent. For problemområde 3 hadde en sikret barnehage resultert i en reduksjon i konsekvenspoeng under «samfunnsrelevante funksjoner» etter tiltak med 143 prosent. Det fremgår av disse resultatene at effektiviteten av tiltakene vil være en god indikator for å utpeke spesifikke problemområder i detaljplanleggingen.

Figur 4.21 viser problemområde 4. Bygget som er markert beskrives som «Kontor- og administrativ bygning, rådhus» og det utgjør en vesentlig forskjell på de sammenlagte konsekvenspoengene. I dette tilfellet ville en utbedring av Justis- og beredskapsdepartementet resultert i at delnedbørsfeltets totale konsekvenspoeng i kategorien «samfunnsrelevante institusjoner» ville blitt redusert med 20 prosent.

Oversvømmelsesvolumene presentert i tabell 4.4 er beregnet i MIKE 21. Volumet håndtert av tiltakene innenfor et delnedbørsfelt anslås ved å beregne absoluttverdien av differansen mellom oversvømmelsesvolum før og etter innføring av tiltak og deretter adderes fordrøyningsvolumet i delnedbørsfeltet. I delnedbørsfelt 15 vil det forekomme høyere oversvømmelsesvolum etter innføring av tiltak ved denne analysen og dette feltet bør dermed undersøkes nærmere. Den totale volumreduksjonen i nedbørsfeltet er 21 prosent og dette viser at innføring av LOD-tiltak har stor effekt på reduksjonen av det totale oversvømmelsesvolumet.

Tabell 4.4: Oversvømmelsesvolum i de respektive delnedbørsfeltene før og etter tiltak, samt anslagsvis effekt av LOD-tiltak

Delnedbørsfelt	Oversvømmelsesvolum før tiltak (m ³)	Oversvømmelsesvolum etter tiltak (m ³)	Gjenstående volum dividert volum før tiltak (%)	Volum håndtert av tiltak (m ³)	Fordrøyningsvolum i delnedbørsfelt (m ³)
0	27062	26615	77	6303	5856
1	33173	30815	93	2357	0
2	21434	19570	91	1863	0
3	12854	12668	48	6715	6529
4	26836	25451	75	6605	5219
5	26906	28760	49	17474	15621
6	20652	22003	92	4285	2934
7	31653	30557	90	3133	2037
8	18118	17983	79	3870	3735
9	21247	20048	59	8733	7534
10	65796	69092	72	24848	21552
11	42035	38584	85	6381	2929
12	10827	10427	66	3719	3318
13	16173	15560	96	613	0
14	38424	38087	79	7961	7624
15	15107	16158	101	2016	965
16	32060	32842	86	6043	5262
17	15798	15794	100	4	0
18	49939	49392	35	32347	31801
19	29730	31385	88	6931	5277
20	17266	17052	99	215	0
21	17468	17282	84	2825	2639
22	58081	57302	91	5499	4721
23	44153	44455	89	5445	5143
Sum	692792	687882	79	166185	140696

5. Diskusjon

I denne masteroppgaven er det utarbeidet løsninger for håndtering av overvann for østre del av Akerselva nedbørsfelt. Metoden som er presentert i oppgaven kan fungere som et supplement til eksisterende overvannsplanlegging. Siden denne metoden fokuserer på åpne LOD-tiltak, vil den kunne bidra til mer kostnadseffektive og miljøvennlige løsninger, enn fornyelse av ledningsnett (Willems 2012; Cettner 2012).

I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i en metodikk fra Rosên et al. (2017), og det er foretatt enkelte endringer fra den opprinnelige metodikken. Vannbalanseberegning i 3.2 er justert for å kunne presentere volum, fremfor et forholdstall. Konsekvenskategorien fra tabell 3.2 er valgt på grunnlag av tilgjengelig kartdata fra Oslo kommune. Dette gjelder også for utvelgelse av underkategorier fra hovedkategoriene «samfunnsrelaterte institusjoner», «skadekostnad» og «framkommelighet», som vist i vedlegg B. Det er foretatt egne fortolkninger av analysene og utførelse av stegene. Muligheter for anvendelse og videre bearbeidelse av metodikken har blitt vurdert i oppgaven.

For å velge overordnet ledd fra treleddsstrategien og i tillegg distribuere oversvømmelsesvolum i et område utføres en rekke analyser. I Del I utføres vannbalanseanalyser basert på parameterne regnvolum, vanndybder, infiltrasjonsegenskaper og tilførsel av vannmengder til overvannsnett. Deretter foretas konsekvensvurderinger basert på parameterne knyttet til ulike samfunnsrelevante institusjoner, private bygninger og infrastruktur, som kan føre til betydelige skadekostnader ved oversvømmelse. Tilslutt utføres analyse av tiltakspotensialet hvor kommunale grønne områder, veier og eksisterende vannoverflater inngår som parametere. Poengskåren knyttet til hver enkelt parameter differensieres på grunnlag av hvorvidt området er med eller uten stående vann ved nedbørshendelser.

I analysene som presenteres gjennom oppgaven, er det muligheter for å tillegge ytterligere parametere. Eksempler på dette er kartlaget over kjelleroversvømmelser og kjente problemområder relatert til overvannshendelser som har vært inkludert. I tillegg ville et kart over potensiale av offentlige veier som sikre flomveier forenklet prosessen med valg av LOD-tiltak. Dette vil kunne føre til en større grad av differensiering av prioriteringsområder innen delnedbørsfeltene.

Metodikken kan gi et beslutningsgrunnlag for dimensjonering og utvelgelse av LOD-tiltak på overordnet nivå på grunnlag av overnevnte analyser. I Del II modifiseres og reorganiseres innførte LOD-tiltak iterativt, helt frem til verdiene fra konsekvensvurderingene blir redusert til et akseptabelt nivå. Sluttproduktet presenteres i kartformat med innførte LOD-tiltak i terrengmodellen, samt tilhørende anslag over kapasitet hos de respektive tiltakene. Etter modellering av tiltak vil konsekvensvurderingen kunne gi detaljkunnskaper om hvilke bygninger, veier og kollektivnett som kan bli utsatt for overvannsproblematikk og som bør flomsikres. Resultatene i denne oppgaven kunne vært ytterligere forbedret, dersom det hadde blitt gjennomført flere iterasjoner med modifisering og reorganisering av overvannstiltak.

For å oppnå hensiktsmessige resultater ved anvendelse av planen, er det behov for et representativt datagrunnlag over nedbørsfeltet for å kunne beskrive situasjonen. Metodikken benyttes både for eksisterende og ny bebyggelse ettersom metodikken ikke skiller mellom disse. Dersom det planlegges vesentlig endringer i terrenget som følge av inngrep, må terrengmodellen endres tilsvarende. Modellering som i størst mulig grad beskriver situasjonen i virkeligheten er også et sentralt utgangspunkt for representative resultater. Det vil være fordelaktig om etablerte LOD-tiltak hadde vært implementert i den hydrauliske modellen. Dette hadde påvirket reduksjonen av den totale konsekvensvurderingen i denne analysen. Videre er bransjeerfaring, teknisk kompetanse og lokalkunnskap om området sentrale elementer for at resultatene skal være av høyest mulig kvalitet og kunne valideres.

Modellen benyttet i denne oppgaven kunne vært tilkoblet ledningsnettet, for opp-

nåelse av mer virkelighetsnære resultater. Dette ville imidlertid krevd lengre beregningstider. For å korrigere for dette ble trukket fra et 10-års regn i regnhyetogrammet. Som følge av dette kan resultatene med hensyn til oversvømmelser fra modellen i enkelte tilfeller avvike fra forløpet under reelle nedbørshendelser. Dette kan føre til at problemområder beskrevet i modellen ikke alltid vil kunne korrelere med reelle hendelser. I dette arbeidet hadde det vært mer fordelaktig om nedbørsfeltet hadde vært oppdelt i enda flere delnedbørsfelt. Dette ville gitt et bedre grunnlag for prioriteringer, og det hadde blitt enklere å foreslå konkrete tiltak for reduksjon av spesifikke konsekvenser.

5.1 Videre arbeid

I denne oppgaven er kun fordrøyningstiltak og sikre flomveier innført i modellen. Det vil også kunne være hensiktsmessig med innføring av infiltrasjonstiltak som f.eks. grønne tak i MIKE 21, ved modellering av moderate nedbørsbyger. En mulig løsning for innlegging av flate grønne tak i MIKE 21 vil være å modellere bassenger på takene dimensjonert etter tilsvarende volum som de grønne takene forventes å håndtere. Høydeverdiene i de indre delene av takene kan dermed senkes i GIS, før terrengmodellen eksporteres videre til dfs2-format, slik at modellen kan benyttes i MIKE 21.

Poengsystemet benyttet i konsekvensvurdering og analysen av tiltakspotensial er inspirert av Rosên et al. (2017). Det kan være hensiktsmessig å justere verdiene til norske forhold for fremtidig bruk av metodikken, men dette kan imidlertid være en arbeidskrevende prosess.

I tabell 3.5 som beskriver poengskåren fra analysen om tiltakspotensial, er det mulighet for å utvide tabellen med flere kategorier. Private områder har ikke fått utdelt en verdi. Dette skyldes at kommunen per i dag ikke har mulighet til innføring av tiltak i private områder, selv om dette i mange tilfeller kunne vært kostnadsbesparende (Braskerud 2017). Veier har et potensiale til å fungere som sikre flomveier ved store nedbørshendelser, såfremt veien ikke er klassifisert som prioritert. Videre har bygning-

ger et relativt stort potensiale med tanke på muligheter for innføring av grønne tak. Utregninger viste en økning i total skår for tiltakspotensialet i delnedbørsfeltene. Dette har imidlertid ikke blitt med i vurderingene ettersom MIKE 21 ikke har muligheter for å simulere LOD-tiltak på bygninger.

Det kan videre være fordelaktig med en kost-nytte-analyse i planen for overvannshåndtering for valg og plassering av overvannstiltak, slik det er vist i figur 2.8. Dette vil kunne rettferdiggjøre investeringer knyttet til overvannstiltak, ettersom resultatene gir en oversikt over fremtidige besparelser. Innføringen av denne prosessen vil imidlertid gjøre planleggingen mer omfattende.

6. Konklusjon

I denne masteroppgaven er det testet en metodikk for utarbeidelse av en plan for håndtering av overvann. Kvaliteten på planen avhenger av faktorer som datagrunnlag hos den respektive kommunen, datatekniske ferdigheter og lokalkunnskap om nedbørsfeltet.

Ved benyttelse av denne metodikken, vil en kommune kunne oppnå et prioriteringsgrunnlag i tettbebygde strøk over hvor det bør settes i verk tiltak for reduksjon av pluviale flommer. Resultatene vil gi en indikasjon over hvilke spesifikke områder og infrastruktur som kan forvente problemer knyttet til overvann.

I oppgaven innføres LOD-tiltak i overvannsmodellen, basert på foregående analyser i planen, helt frem til reduksjonen av konsekvenser havner på et akseptabelt nivå. Denne analysen gir en indikasjon over forventet effekt ved innføring av overvanns-tiltak og kan potensielt bidra til reduksjon av kostnader. Analysene gir et grunnlag for dimensjonering og plassering av LOD-tiltak. Det vil kunne oppstå avvik mellom flomforløpet under reelle nedbørshendelser og modellresultatene, ettersom modellen bygger på en rekke antagelser.

Metoden beskrevet i denne masteroppgaven kan være et supplement til eksisterende overvannsplanlegging i norske kommuner. Prosessen vil også kunne gi et beslutnings- og styringsgrunnlag for håndtering av overvann i byer og tettsteder.

Referanser

- Alkhat, M. (2016), 'Lokal overvannsdiskonering og flomveier ved bruk av dreneringslinjer og ArcGIS'. Masteroppgave. NMBU.
- Braskerud, B. (2017), 'Oppstart av tverrfaglig studentprosjekt'. Personlig meddelelse (Møte: 04.12.17).
- Cettner, A. (2012), 'Overcoming inertia to sustainable stormwater management practice'. Luleå University of Technology: Luleå, Sweden, 2012.
- Dannevig, P. & Harstveit, K. (2018), 'Klima'. Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/PzsA82> (lest 15.03.18).
- DSB (2016), 'Risikoanalyse av regnflom i by – Krisescenarioer 2016 – analyser av alvorlige hendelser som kan ramme Norge', *DSB Rapport* .
- Eidsmo, T. (2013), *MIKE 21 - kokebok*, DHI, Trondheim. Utarbeidet på bestilling fra Oslo kommune.
- Einan, B. (2018), 'Akerselvas vannføring (e-post til Martin Andersen 06.04.18)'.
- Eriksen, A. (2017), 'Gjenåpning av Torshovbekken – Muligheter og utfordringer'. Miljøforeningen Akerselvas Venner, Oslo.
- Førland, E. J., Hanssen-Bauer, I., Haugen, J. E., Hygen, H. O., Haakenstad, H., Isaksen, K. & Dyrddal, A. V. (2016), 'Background information for "Klima i Norge 2100"', *NCCS report no. 1/2016* .
- Grimnes, E. V. (2018), 'Modellering av effekten av flomforebyggende tiltak i et urbant område'. Masteroppgave. NMBU.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J., Sandven, S., Sandø, A., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. (2015), *Klima i Norge 2100*, Miljødirektoratet, Oslo.
- Hardang, H. & König, A. (2016), 'Flommodellering Oslo', *Numerisk modellering – MIKE 21 Modelloppsett og simulering* . Utarbeidet på bestilling fra Oslo kommune.
- Haugård, P. Å. S. (2017), 'Analyse av lønnsomhet for overvannstiltak - En casestudie av avløpsnett ved Grefsen, Oslo kommune.'. Masteroppgave. NMBU.
- Hernebring, C. & Mårtensson, E. (2013), 'Pluviala översvämningar - Konsekvenser vid skyfall över tätorter: En kunskapsöversikt', *Publikationsnummer MSB567-13* .

- KSS (2016), 'Fremtidig utvikling'. Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/PQEKoE> (lest 19.03.18).
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jackobsen, G. & Aaby, L. (2008), *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*, Norsk Vann rapport 162, Hamar.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I. & Reinvang, R. (2015), *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*, COWI, Oslo.
- Miljødirektoratet (2016), 'Treleddsstrategi for overvann og grønnstruktur i arealplanlegging'. Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/gju4pn> (lest 19.03.18).
- Moldekleiv, H. J. S. & Johansen, J. A. (2016), 'Utprøving av metodikker for modellering av overvann i et urbant område ved bruk av ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD'. Masteroppgave. NMBU.
- Mårtensson, E. & Gustafsson, L.-G. (2014), 'Kartlaggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet', MSB .
- Mårtensson, E., Gustafsson, L.-G., Salomonsson, M., Karlsson, C. & Bodin-Sköld, H. (2017), *Strukturplan för hantering av översvämningssrisker - Kvillebäckens avrinningsområde*, Sweco og DHI, Malmö.
- Nikolaisen, P. I. (2014), 'Fundamentet er pill råttent. Nå må hele bygården reddes', Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/mqT1vW> (lest 15.03.18).
- NOU 2015:16 (2015), 'Overvann i byer og tettsteder – Som problem og ressurs'. Klima- og miljødepartementet. Oslo.
- Nygård, L. O. (2018), 'Åpen overvannshåndtering, illustrasjon'. Kommende masteroppgave. NMBU.
- Oslo kommune (2013), 'Strategi for overvannshåndtering i Oslo 2013-2030', Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/EK7TQD> (lest 05.04.18).
- Oslo kommune (2015), 'Prinsipper for gjenåpning av elver og bekker i Oslo'.
- Oslo kommune (2016a), 'Areal tilrettelagt for oversvømmelse'. Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/a9V1sp> (lest 14.03.18).
- Oslo kommune (2016b), *HANDLINGSPLAN FOR OVERVANNSHÅNDTERING I Oslo kommune – Kortversjon*, Oslo Kommune, Oslo.
- Oslo kommune (2016c), *Hovedrapport – Handlingsplan for overvannshåndtering i Oslo kommune. Revidert 21.11.2016*, Oslo Kommune, Oslo.
- Oslo kommune (2016d), 'Mulige overvannsløsninger etter skybruddet i København 2011'.
- Oslo kommune (2016e), 'Vadi - byens grønne vannveier'.

- Oslo kommune (2017a), 'Faktaark Oslo byvassdrag 2017', Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/aiqrjE> (lest 06.02.18).
- Oslo kommune (2017b), 'Studietur til København og Malmø - Aktuelle tiltak for håndtering av overvann i Oslo', *Rapport 1/2017*.
- Paus, K. H. (2017), 'Overvannshåndtering - som del av byplanleggingen', Brunsmøte TEKNA Overvannshåndtering og grøntstruktur, Oktober 19, Norge.
- Rambøll (2015), 'Følgeevaluering av framtidens byer sluttrapport', Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/BXYwyq> (lest 03.04.18).
- Rambøll (2017), 'Cloudburst resiliency planning study', *New York City Department of Environmental Protection*.
- Rosên, L., Mårtensson, E., Gustafsson, L.-G., Salomonsson, M., Karlsson, C. & Bodin-Sköld, H. (2017), *Strukturplan för hantering av översvåmningsrisker - Metodbeskrivning*, Sweco og DHI, Malmö.
- Røstum, J., Bruaset, S., Sekse, T., Bjørnsen, B., Uribe, C. & Markhus, E. (2014), *Åpne flomveger i bebygde områder*, Norsk Vann rapport 204, Hamar.
- SINTEF Byggforsk (2012), 'Vann i by - håndtering av overvann i bebygde områder', *Byggforskserien 311.015*.
- SSB (2016), 'Befolkningsframskrivinger'. Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/uTwLbQ> (lest 12.03.18).
- Statens vegvesen (2014), 'Veg-og gateutforming. Håndbok N100', *Vegdirektoratet Oslo*.
- Vasseljen, S., Ødegård, I. M., Haug, L., Knotte, V., Knotten, H., Zaccariotto, G., Skaug, A., Syversen, N., Aarset, I., Leinonen, E. & Rishaug, V. S. (2016), *Overvann som ressurs*, Asplan Viak, Trondheim.
- VAV (2018), 'Byggesaksveiledere, normer og skjemaer'. Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/HuDZu8> (lest 20.04.18).
- Wavin (2016), 'Wavin launches q-bic plus modular stormwater system'. Tilgjengelig fra: <https://goo.gl/5XVabJ> (lest 14.03.18).
- Willems, P. (2012), 'Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems'. IWA Publishing: London, UK, 2012; p. 226.
- Åstebøl, S. O., Kjølholt, J., Jacobsen, T. H., Berg, G. & Saunes, H. (2012), 'Beregning av forurensning fra overvann'.
- Ødegaard, H. (2014), 'Vann- og avløpsteknikk'. Hamar: Norsk Vann, s. 79 & s. 344-372.

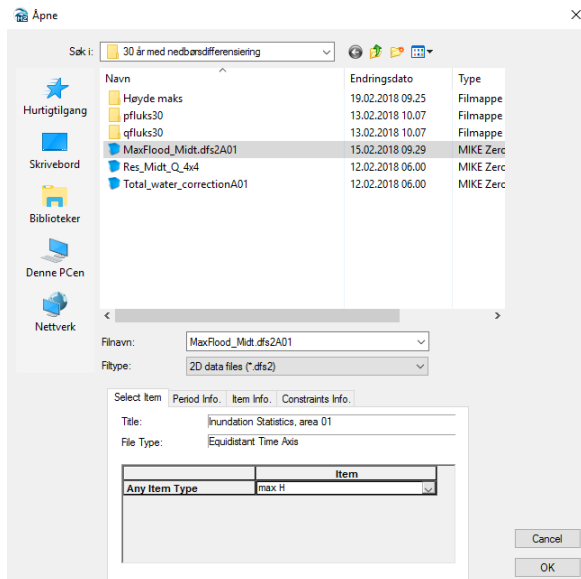
Vedlegg A: Beskrivelse av metodikk

Følgende fremgangsmåter er basert på begrensede forkunnskaper fra forfatterne i GIS. Det kan derfor tenkes at det finnes enklere metoder å utføre enkelte av analysene.

A.1 Presentasjon av maks dybde- og fluks

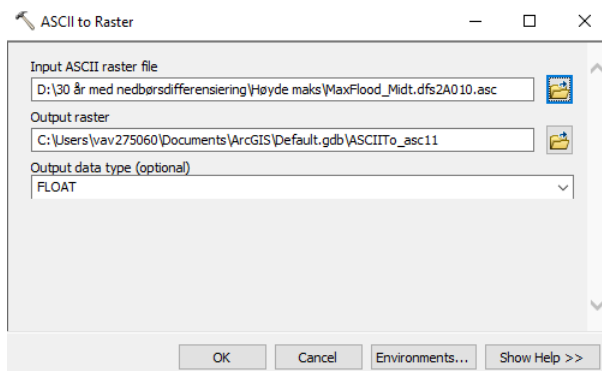
Presentasjonen av modellresultatene fra MIKE 21 gjøres i ArcMap med konvertering til rasterformat. Fremgangsmåten for dette er som følger:

1. Åpne verktøyet Mike2Grd i MIKE Zero Toolbox. Velg «max H» første runde fra nedtrekksmenyen. Dette verktøyet konverterer fra dfs2 til ASC-fil.



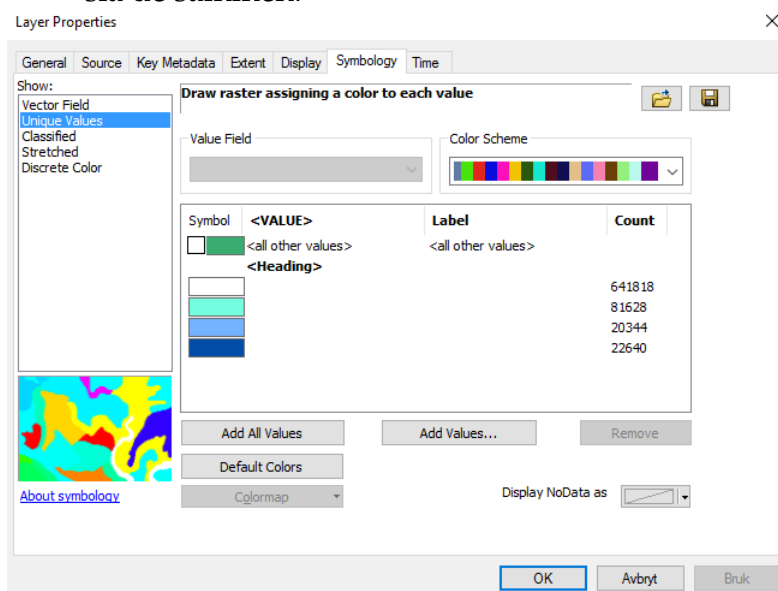
Figur A.1: Oppsetting av Mike2Grd (skjermdump).

2. Åpne verktøyet «ASCII to Raster» i ArcMap.



Figur A.2: Konvertering til raster i ArcMap (skjermdump)..

3. Tilslutt grupperes verdiene i ønskede intervall ved å merke verdier og deretter slå de sammen.



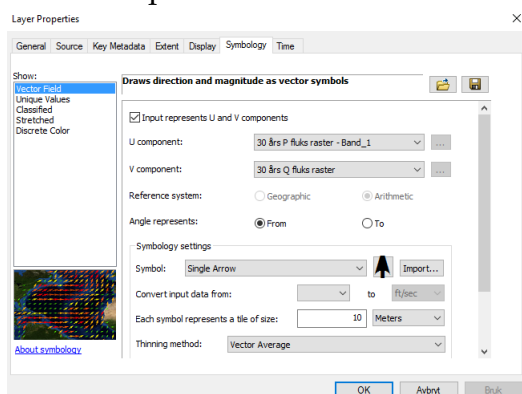
Figur A.3: Danning av intervall i ArcMap (skjermdump).

4. Tilsvarende prosess gjentas for presentasjon av maks fluks. Resultatene må imidlertid ganges med celledimensjonen i «Raster calculator», ettersom maks fluks er oppgitt i $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ og enheten bør være m^3/s .

Det vil være hensiktsmessig med retningspiler på kartet, for å kunne se hvor vannet renner i modellen. Dette kartlaget legges over kartlaget som viser maks fluks i ArcMap.

1. Lag rasterfiler for «P flux» og «Q flux» ved hjelp av fremgangsmåten beskrevet i ovenfor.

2. Trykk på «Properties» på P flux-rasteret og sett inn rasterfilene som U og V komponent.



Figur A.4: Opprettelse av retningspiler (skjermdump).

A.2 Vannbalansen

De følgende beregningene i vannbalansen skjer fra det tidssteget hvor vannhøyden er på sitt høyeste i majoriteten av nedbørsfeltet. Analysene gjøres ved bruk av verktøyet «Field calculator» i GIS, eller ved overføring av verdiene til Excel. Fordelen ved sistnevnte er å synliggjøre formlene benyttet i beregningene slik at de kan spores tilbake til utgangspunktet.

A.2.1 Akkumulert nedbør (m^3) for hvert delnedbørsfelt

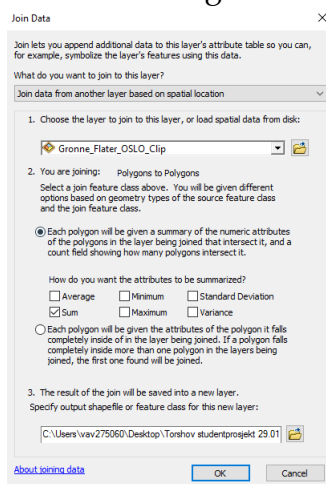
I modellen er det tatt høyde for fratrukk av 10-års regn fra dimensjonerende nedbør i områder med tette flater, ettersom overvannsnettet i teorien er dimensjonert for å håndtere dette. For å beregne nedbørsvolum separat for både tette flater og grønne områder (uten fratrukk) benyttes følgende fremgangsmåte:

1. Opprett en kolonne hvor arealet for hvert enkelt grønne område beregnes i kartlaget som viser grønne flater.

FID*	OBJECTID	Areal	Grønn	km	Areal, Grønn
1	9888	0.000501	500	770015	
2	10967	0.015226	15225	956349	
3	10225	0.000205	205	4411	
4	11246	0.001262	1261	944287	
5	11327	0.003348	3347	950838	
6	11329	0.01296	12960	130471	
7	11329	0.034636	34636	4252	
8	11332	0.001424	1423	976358	
9	11333	0.003083	3083	9852	
10	11334	0.007026	7026	3494	
11	11336	0.000423	422	68745	
12	11338	0.001522	1522	33105	
13	11341	0.004527	4527	2172	
14	11348	0.003001	3001	27525	
15	11352	0.002111	2110	881	
16	11358	0.000599	599	62035	
17	11371	0.000347	346	6562	
18	11373	0.001719	1719	45145	
19	11377	0.000078	77	486977	

Figur A.5: Beregning av areal for hver enkelt grønne flate (skjermdump).

2. Beregn hvor mye av arealet til de grønne flatene som er innenfor hvert delnedbørsfelt ved hjelp av verktøyet «Join». Dette steget vil ikke fungere hvis noen av grensene til delnedbørsfeltene krysser de grønne områdene.

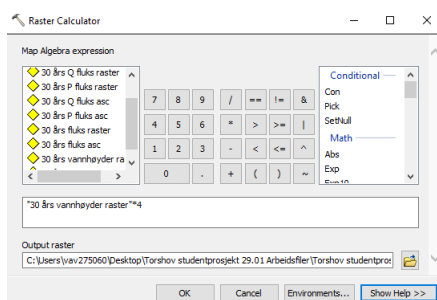


Figur A.6: Beregning av areal for hver enkelt grønne flate (skjermdump).

3. Til slutt beregnes akkumulert volum for 30, 200 og 1000-års regn ved å gange akkumulert regnvolum (m) uten fratrekk av 10-års nedbør med tette flater (m²) og akkumulert regnvolum (m) med fratrekk av 10-års nedbør med grønne flater (m³). Dette gjøres ved bruk av verktøyet «Field calculator».

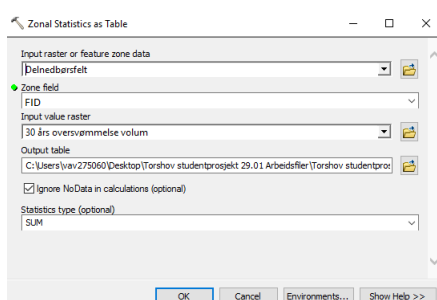
A.2.2 Oversvømmelse

1. For å beregne oversvømmelsesvolum, blir celleverdien fra rasterlaget som viser de maksimale vannhøydenes ganget med cellens areal. Dette gjøres med verktøyet «Raster calculator».



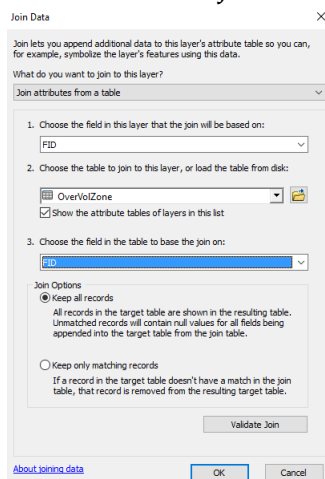
Figur A.7: Beregning av oversvømmelsesvolum (skjermdump).

2. Celleverdiene summeres deretter innenfor de respektive delnedbørsfeltene ved hjelp av verktøyet «Zonal Statistics as a Table».



Figur A.8: Opprettelse av tabell med summerte volum innenfor delnedbørsfeltene (skjermdump).

3. Til slutt kobles tabellen til shape-filen som inneholder delnedbørsfeltene ved bruk av «Join».



Figur A.9: Sammenkobling av nyopprettet tabell og delnedbørsfelt (skjermdump).

4. Steg 2 og 3 gjentas for rasterfilen som inneholder infiltrasjonsvolum. Opprettelse av rasterfil for infiltrasjon gjøres på samme måte som beskrevet i A.1.

Parametrene fra analyse 2 beregnes ved følgende formel:

$$\text{Volum}_{\text{inn}} - \text{Volum}_{\text{ut}} = \text{Oversvømmelsesvolum} - \text{Nedbørsvolum} + \text{Tilførsel til ledningsnett} + \text{Infiltrasjon} \quad (\text{A.1})$$

der samtlige parametre har enheten m³. Merk at i denne likningen er ikke evapotranspirasjon inkludert, ettersom det kun analyseres for en kortere tidsperiode og dermed er neglisjerbar.

A.3 Presentasjon av konsekvensvurdering

Det forutsettes at nedbørsfeltet er bestemt og organisert som et omriss i ArcMap. Samtidig skal data over private og offentlige bygningstyper, kollektivtransport og veinett være innhentet og være tilgjengelig som shape filer. Data over nedbørsfeltet skal fordeles i tre hovedkategorier. Kategoriene er:

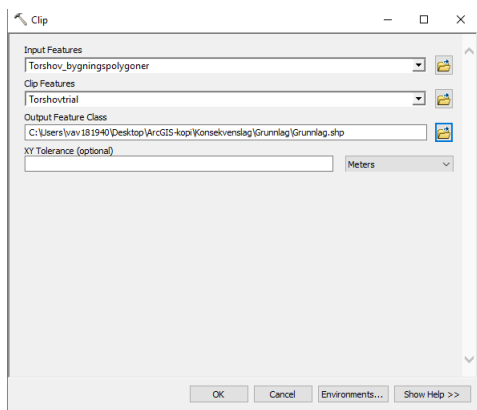
- **Samfunnsrelevante funksjoner**
- **Skadekostnad**
- **Framkommelighet**

Tabell A.1: Konsekvenslag (For detaljert oversikt over innholdet i kategoriene, se vedlegg B).

Samfunnsrelevans		Skadekostnad		Fremkommelighet	
Klasse	Verdi	Klasse	Verdi	Klasse	Verdi
1.Prioritet	128	1.Transformatorer	158	1.Jernbane	16
2.Prioritet	64	2.Flerfamiliehus	79	2.Prioriterte veier	8
3.Prioritet	32	3. Industri, offentlige bygninger og kontorer	75	3.Sporvei	4
4.Prioritet	16	4.Parkering	42	4.Veier med kollektivtrafikk	2
5.Prioritet	6	5.Enebolig	20	5. Øvrige veier	1
6.Prioritet	2	6.Utehus	8		
7.Prioritet	1	7.Jernbane, trikk og t-bane (pr. lengdemeter)	1		
		8. Vei (per m ²)	0.05		

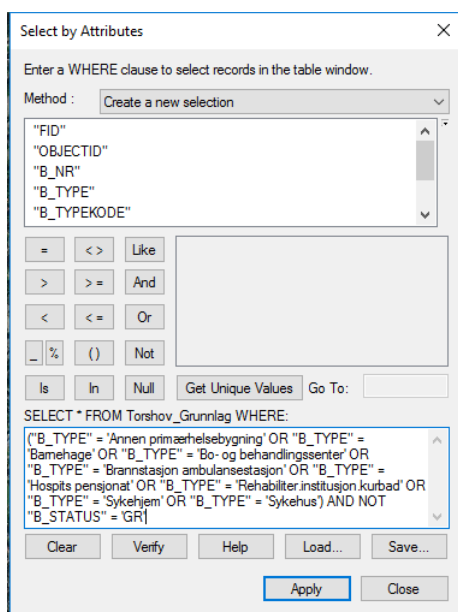
Følgende fremgangsmåte følges ved sortering av konsekvenslag basert på bygningspolygoner i ArcMap:

1. Opprett et shapegrunnlag for all tilgjengelig informasjon som begrenser seg til innenfor nedbørsfeltet. Åpne geoprosesserings verktøyet «Clip». Sett ønsket shape-fil over bygningstypene inn i input tekstboksen og begrensn de til nedbørsfeltet i «Clip Features» tekstboksen.



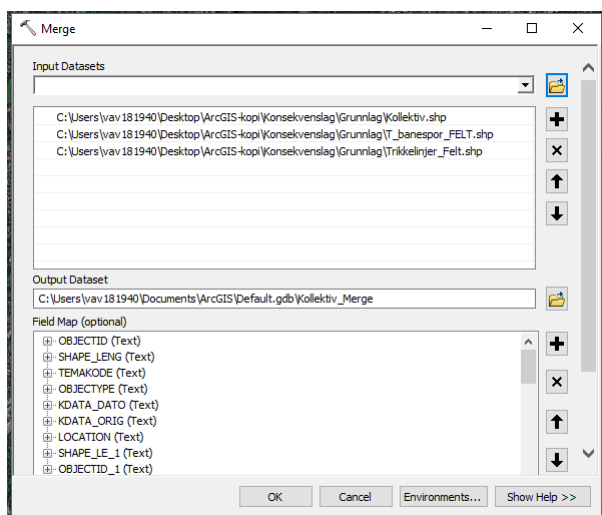
Figur A.10: Begrensning av bygningstyper innenfor nedbørsfelt (skjermdump).

2. Produser shape-lag for hver av kategoriene og klassene i ArcMap. Venstreklikk på grunnlaget og åpne opp «Attribute Table». Sorter de bygningstypene som passer inn i riktige klassene ved å trykke «Select by attributes» og velg ut ønskede data.



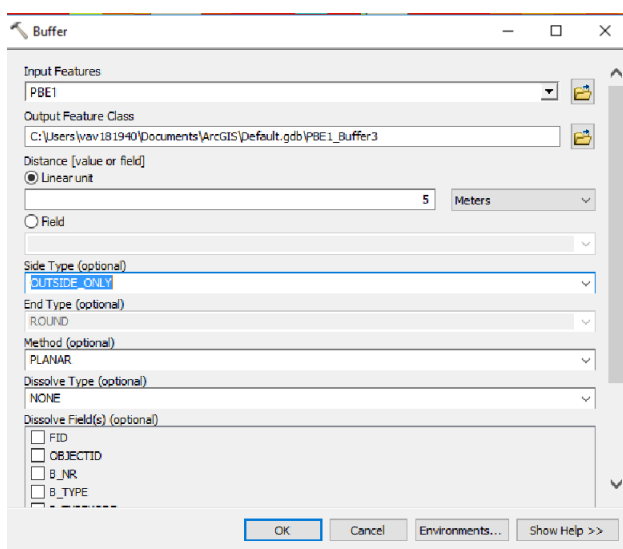
Figur A.11: Sortering av klasser (skjermdump).

3. Dersom det er flere ulike shape lag som skal legges sammen til ett. Benytt geoprosesserings verktøyet «Merge».



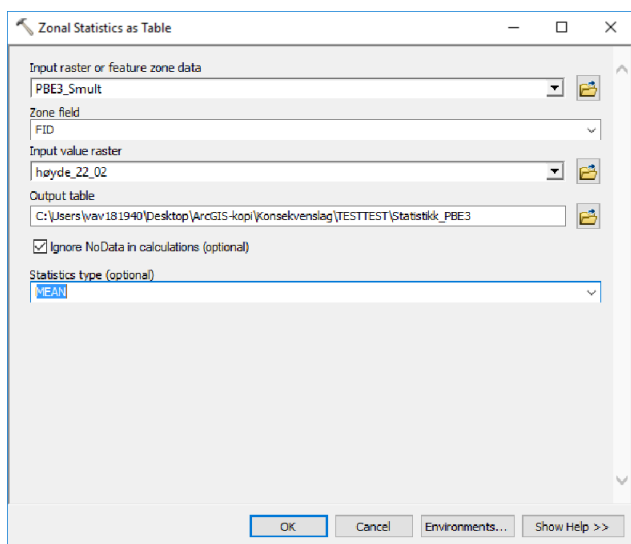
Figur A.12: Sammenslåing til klasser (skjermdump).

- For lag med bygningspolygoner må det legges til en buffer på 5 m radius rundt hver av bygningene. Geoprocessing verktøyet «Buffer» benyttes i denne sammenheng, husk å huke av på «outside only» slik at området rundt polygonene og ikke selve bygningen tas med. Slik blir det dannet en smultring rundt byggene, et bufferlag, som en bruker videre i analysen.



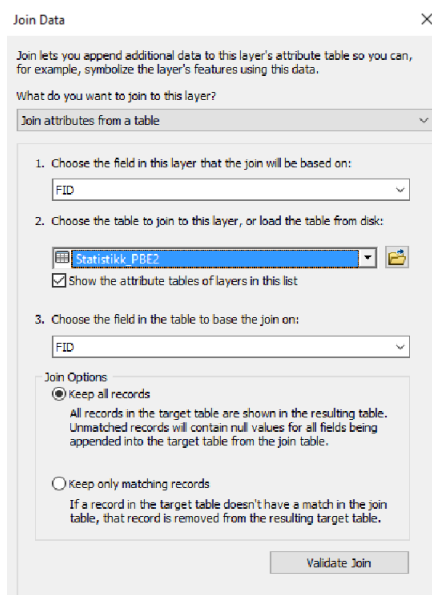
Figur A.13: Buffersone rundt bygningspolygoner (skjermdump).

- Importere rasterfiler med vanndybde og vannføringsdata over ønskede regnfrekvenser fra MikeZero. Benytt verktøyet «Zonal statistics as Table» under «Spatial Analyst Tools, Zonal» og hent ut gjennomsnittsverdiene (MEAN) i nederste nedtrekksvinduet for rasterlaget over vanndybden i buffersonen.



Figur A.14: Gjennomsnittsverier for vanndybde (skjermdump).

6. Importerer de gjennomsnittlige tabellverdiene fra rasterfilen over til det opprinnelige bufferlaget ved å åpne tabell verdiene for bufferlaget og bruke «joins and relates» verktøyet i «Table options» fra nedtrekksvinduet i tabelloversikten. Benytt kolonnen FID som grunnlaget for å sette riktige verdier til samme felt.



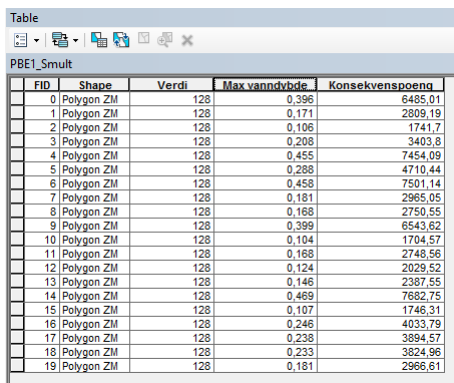
Figur A.15: Tabellsammenslåing (skjermdump).

7. Når den nye bufferlagtabellen inneholder gjennomsnittsverdier settes det begrensinger på gjennomsnittsverdier over 0,1. Disse velges ut ved å bruke «Select by attributes» og sette utvelgelsen til «Mean > = 0.1». Områder som kvalifiserer til disse verdiene brukes til å danne et nytt lag ved å bruke Geoprosesserings

verktøyet «Clip» (se punkt 1).

X

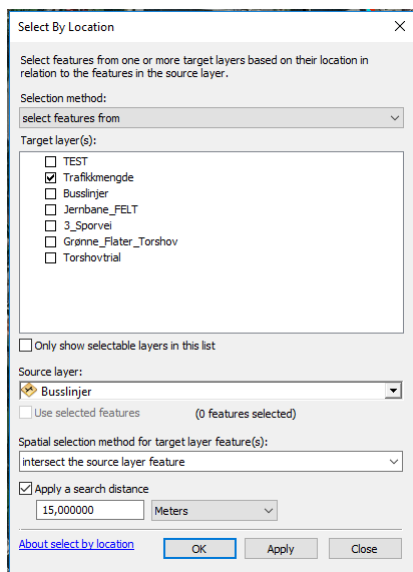
- Åpne «Attribute Table» og bruke «Add field» funksjonen i «Table options» fra tabelloversikten til å legge til flere kolonner, deriblant verdi og poeng. Verdiene er gitt av tabell A.1 og konsekvenspoengene regnes ut ved bruk av likning 3.4. Konsekvenspoengene benyttes til total summen for samfunnsrelevante funksjoner i hvert delområde. Husk at gjennomsnittsverdier på over 1.0 for vanddybder skal settes = 1 for konsekvenskategoriene skadekostnad og samfunnsrelevans i utregning av konsekvenspoeng. Dette kan gjøres manuelt ved å benytte seg av «Editor» nedtrekksvinduet i hovedmenyen. Dersom man ikke er i editormodus, vil ikke tillagte felt lagres. Dette kan være nyttig å vite dersom man ønsker å gå tilbake til utregningene ved senere anledning. Det er også mulig å kopiere hele tabellen og gjøre utregninger i Excel, noe som anbefales for å få ha en bedre referansebase.



FID	Shape	Verdi	Max vanddybde	Konsekvenspoeng
0	Polygon ZM	128	0,396	6485,01
1	Polygon ZM	128	0,171	2809,19
2	Polygon ZM	128	0,106	1741,7
3	Polygon ZM	128	0,208	3403,8
4	Polygon ZM	128	0,455	7454,09
5	Polygon ZM	128	0,288	4710,44
6	Polygon ZM	128	0,458	7501,14
7	Polygon ZM	128	0,181	2965,05
8	Polygon ZM	128	0,168	2750,55
9	Polygon ZM	128	0,399	6543,62
10	Polygon ZM	128	0,104	1704,57
11	Polygon ZM	128	0,168	2748,56
12	Polygon ZM	128	0,124	2029,52
13	Polygon ZM	128	0,146	2387,55
14	Polygon ZM	128	0,469	7682,75
15	Polygon ZM	128	0,107	1746,31
16	Polygon ZM	128	0,246	4033,79
17	Polygon ZM	128	0,238	3894,57
18	Polygon ZM	128	0,233	3824,96
19	Polygon ZM	128	0,181	2966,61

Figur A.16: Tabellverdier (skjermdump).

- Årsdøgntrafikk (ÅDT) og kollektivtrafikk har enkelte overlappende veifelt. For å skille mellom veier benyttet av kollektivtrafikk og «vanlige veier», vil det være aktuelt å trekke fra linjer med kollektivtrafikk fra ÅDT linjene. For dette benyttes «Selection» nedtrekksvinduet i hovedmenyen. Velg «Select By Location». Det kan være hensiktsmessig å ha en buffer på 10-15 meter for å velge vekk linjer som benytter samme vei. Dette kan reguleres i det nederste nedtrekksvinduet «Apply a search distance».



Figur A.17: Select By Location (skjermdump).

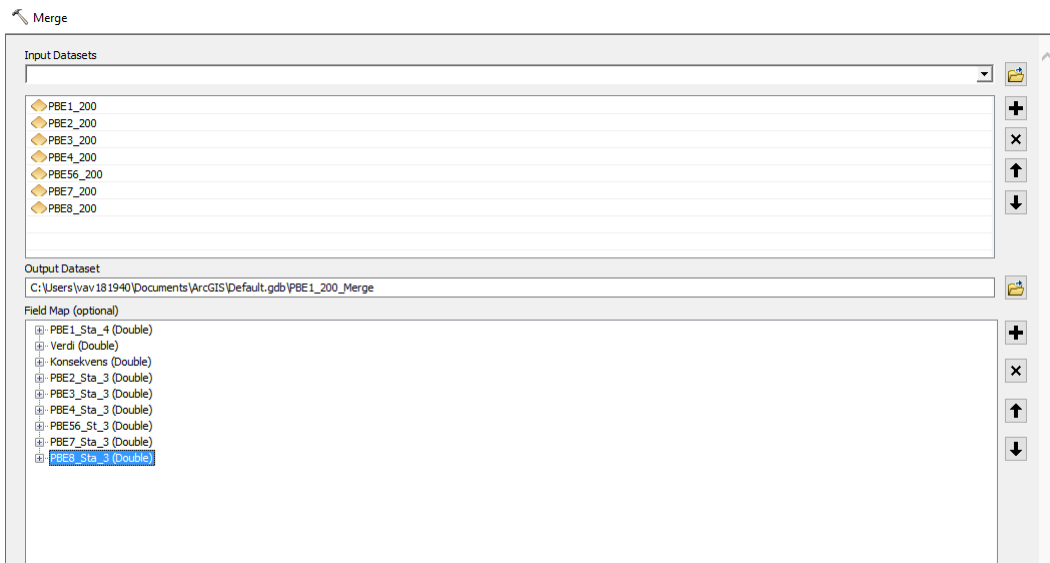
10. Åpne opp attributtavvisningen og velg «Switch Selection» og bruk «Clip» til å danne et nytt shapelag. Dette kan videre benyttes til å trekke fra annen kollektivtrafikk slik som trikkelinjer så en sitter igjen med alle gater som ikke benyttes av kollektivtrafikk.
11. I attributtavvisningen til veidataene må det legges til 4 nye felt. Det er veibredde, vei pr. m², verdi, vurderingstall, vanndybde og konsekvenspoeng. Disse kan redigeres i verktøyet «Field Calculator». Veibredden settes til 6 meter for veier med fartsgrenser under 40 km/t og 7 meter for veier over 40 km/t (Statens vegvesen 2014). Verdiene settes til 0.05 for alle felt, se A.1. Vanndybden importeres som i overstående punkt 5-7. Konsekvenspoengene benyttes til rangeringen av kategorien skadekostnader for hvert delnedbørsfelt.

A.4 Slutføring og sammenslåing av endelige resultater

Det forutsettes at fordelingen av delnedbørsfelt har blitt gjort og organisert som shape lag. Delnedbørsfeltene bør ikke overstige 1 km². For nærmere beskrivelse av denne prosessen se kapittel 3.3.1.

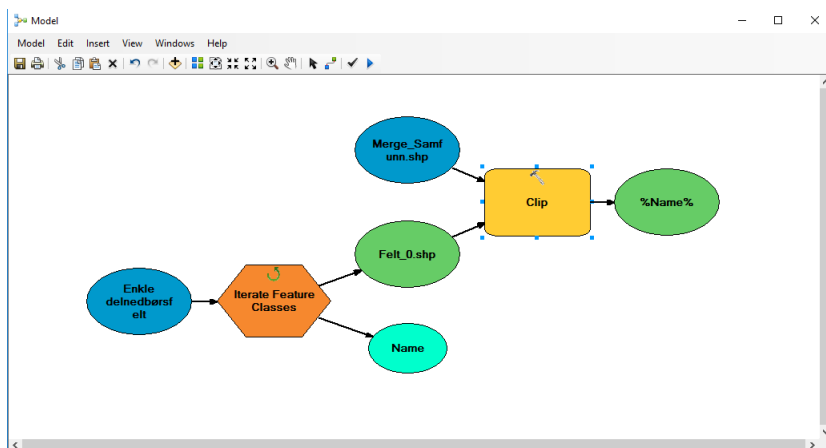
1. Legg sammen alle de rangerte konsekvenslagene i en kategori til ett ved å bruke geoprosesseringsverktøyet «Merge». Fjern uønskede kolonnedata. Da

sitter man igjen med ett lag som har alle verdiene på samtlige konsekvenspoeng og vanndybder.



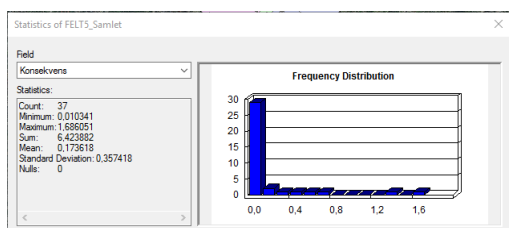
Figur A.18: Sammenslåing (skjermdump).

2. Ved å bruke verktøyet «ModelBuilder» vil man spare tid på å trekke ut konsekvenspoeng som relatert til hvert enkelt delnedbørsfelt. Etabler en tom mappestruktur for resultatene og plass til å lagre modellen. Åpne opp verktøyet fra hovedmenyen, fra nedtrekksgardinen «Insert», sett inn «iterators, feature classes» og trekk inn mappen med delnedbørsfeltene. Dobbelt trykk på «Iterate Feature classes» og velg mappen med delnedbørsfeltene som «Workspace». Sett inn funksjonen med den samlede konsekvenspoengfilen og trekk inn geoprosesseringsverktøyet «Clip». Dobbelttrykk på clip og sett den samlede konsekvensfilen inn for «Input Features» og felt 0 inn for «Clip Features». Som output velges den forhånds etablerte mappen og skriv inn prosenttegn foran og bak NAME. For iterator modellen velg mappen med ønskede felt som modellen skal kjøre igjennom. Merk at «Modelbuilderen» vil stanse iterasjonen dersom et felt mangler innhold.



Figur A.19: ModelBuilder (skjermdump).

3. Når alle konsekvenspoengene for delnedbørsfeltene er samlet, legg sammen totale konsekvenspoeng i hvert felt og bruk dette tallet til neste punkt. Ved å trykke «Statistics» i nedtrekksvinduet over konsekvenspoengene får man en samlet sum for denne kategorien.

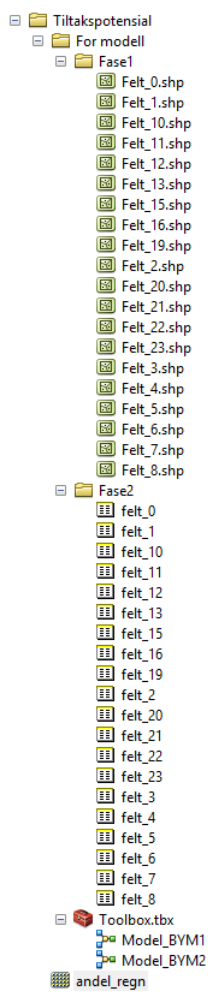


Figur A.20: Statistikk over konsekvenspoeng (skjermdump).

4. I shape filen med alle delnedbørsfeltene, sett inn 6 nye kolonner for konsekvenspoeng og poeng delt på areal for «samfunnsrelevans, skadekostnad og framkommelighet». Samlet poengsum skal deles på arealet for hvert enkelt delnedbørsfelt og rangeres i forhold til den høyeste poengsummen. Det skal også lages en felles rangering av totalsummen for alle kategoriene. Ved å kopiere tabellen kan alle utregningene også gjøres i Excel. For bakgrunn for utregninger, se kapittel 3.3.3. Resultatene presenteres best med bilder og tallverdier i forhold til rangering, se figurene ?? og 4.7.

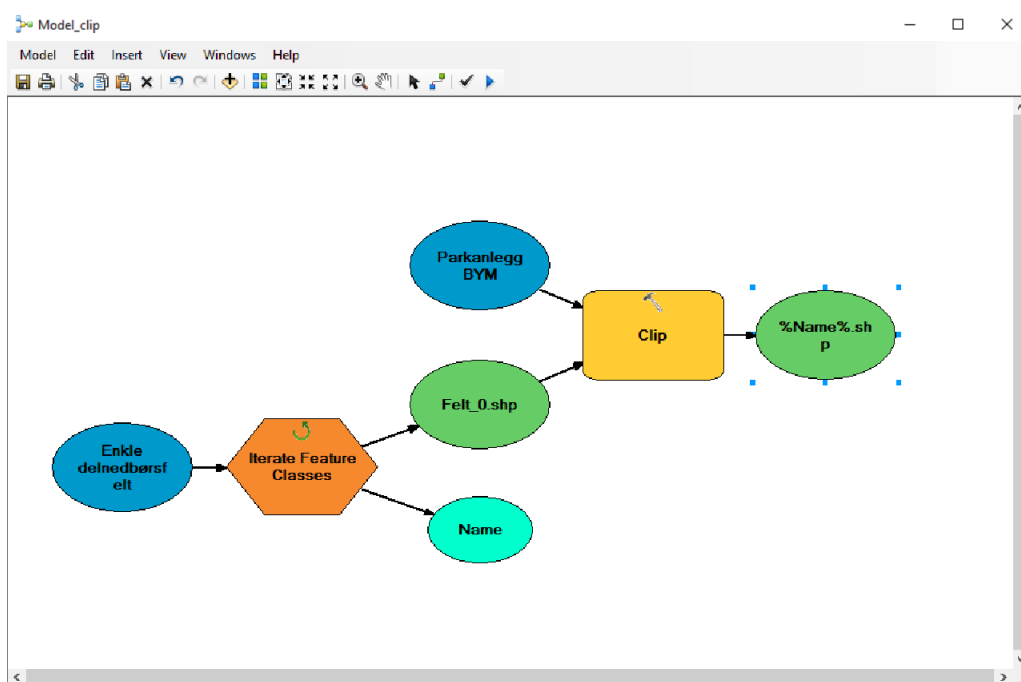
A.5 Analyse av tiltakspotensiale

1. Før en begynner er det anbefalt å ha en mappe klar som kun inneholder delnedbørsfeltene å lage to nye tomme mapper. En for fase 1, hvor de nye klippede delnedbørsfeltene for den første modellen og en for fase 2, hvor den andre for regndata kan plasseres. I tillegg kan begge modellene legges innenfor denne mappestrukturen under en egenkomponert «Toolbox». Det er viktig at disse mappene er tomme før en starter modellen.



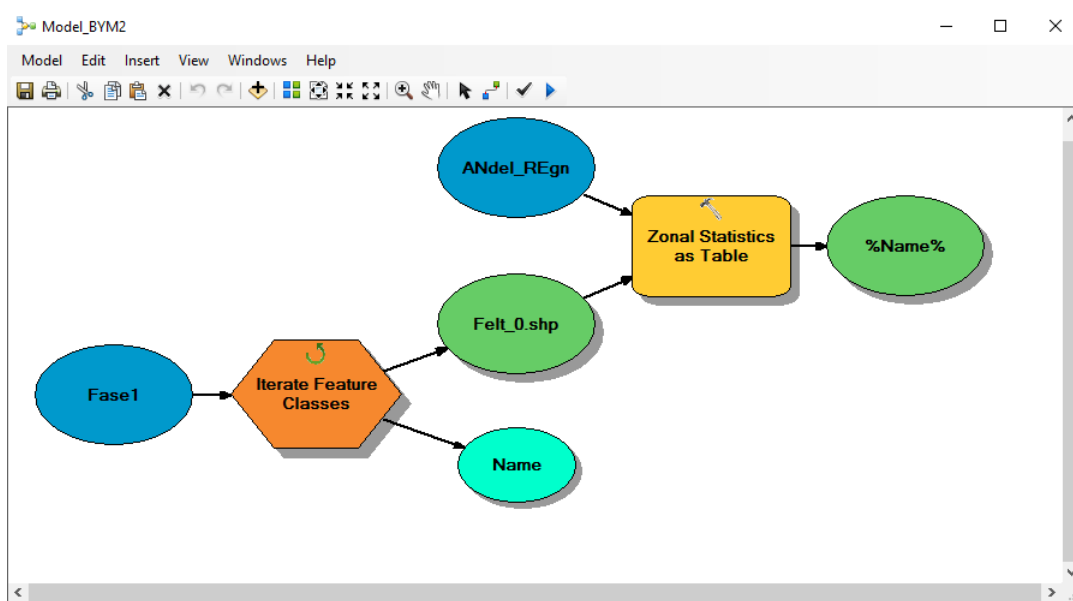
Figur A.21: Anbefalt mappestruktur (skjermdump).

2. Finn frem shapefiler som representerer ønskede verdier, i dette tilfellet kommunale parker. Siden parkene går på tvers av delnedbørsfelt grensene bør parkene klippes til. Ved å bruke «ModelBuilder» og «Iterate» funksjonen kan en forenkle arbeidet, se punkt 2.



Figur A.22: «ModelBuilder» for klipping av parkområder (skjermdump).

3. Lag en ny modell for å skille mellom områder med og uten stående vann ved nedbørshendelsene. Sett inn verktøyet «Zonal Statistics as Table», legg til rasterfilen over vannhøydene og skriv inn %Name% på output filen. «Iteratoren» består av en input del som refererer til mappen med klippede delnedbørsområder og output som fungerer som første input til «Zonal Statistics as Table». I «ModelBuilder» er dette alltid den første filen i utgangsmappen for «Iteratoren».



Figur A.23: «ModelBuilder» for «Zonal Statistics as Table» (skjermdump).

A.6 Analyse av endret konsekvens etter tiltak

1. Alle klassene innenfor kategoriene i konsekvensvurderingen har fått utdelt verdier, det forutsettes at disse verdiene er satt inn i tabellene til alle «shapelagene» som benyttes i analysen, se punkt 8. Bruk verktøyet «Modelbuilder» for å skille ut konsekvenskategoriene for hvert av delnedbørsfeltene. Se figur A.22 for oppsett.
2. Importer rasterfilen med nye resultater med vannhøyder i hovedfeltet etter tiltak.
3. Bruk verktøyet «Modelbuilder» for å finne nye vannhøyder i hvert av delnedbørsfeltene med de nye verdiene. Se figur A.23 for oppsett.
4. Legg sammen cellenes gjennomsnittlige vannhøyder i hvert av delnedbørsfeltene med «joins and relates», se punkt 6. Ved å trekke ut verdier og vannhøydene som ligger mellom 1-0.1 kan likning 3.4 benyttes. Samlet verdi for et delnedbørsfelt beregnes (se eksempel fra delnedbørsfelt 13, figur A.24). Dette gjøres videre for hvert eneste felt i hver eneste kategori.

FID 13	Poeng	MEAN	Total
180	1	0,397259	0,15781471
186	1	0,334675	0,11200736
9	6	0,200176	0,24042259
0	128	0,1926	4,74812928
34	1	0,136051	0,01850987
25	1	0,112631	0,01268574
11	6	0,109675	0,07217163
206	1	0,104283	0,01087494
166	1	0,103831	0,01078088
5	64	0,1027	0,67502656
			6,05842357

Figur A.24: Samfunnsrelevante institusjoner (skjermdump).

5. Tilslutt samles alle verdiene for hver og en av konsekvenskategoriene og settes opp imot hverandre, se trinn 2, trinn 3 og trinn 4 i kapittel 3.3.3. Eksempel på presentasjon av resultatene kan sees i figur ?? og tabell 4.3.

Vedlegg B: Bakgrunn for konsekvenslag

Kategori	Samfunnsrelevante institusjoner		Kategori	Samfunnsrelevant institusjoner	
	Bygningstype	Verdi		Bygningstype	Verdi
1	'Annen primærhelsebygning'	128	6	Annen bygn. for religiøs akt.	2
Samfunnsviktige institusjoner som i løpet av kort tid (timer) har stor betydning for liv og helse			Samfunnsviktige institusjoner som har stor betydning for sosiale og kulturelle verdier		
	Barnehage'	128		Annen idrettsbygning	2
	Bo- og behandlingssenter'	128		'Annen restauranbygning'	2
	Brannstasjon/ambulansestasjon'	128		'Annen universitet/høgskolebygn'	2
	'Hospits pensjonat'	128		Annet kulturhus'	2
	Rehabiliter.institusjon.kurbad'	128		Bedehus menighetshus'	2
	Sykehjem'	128		Gatekjøkken kioskbygning'	2
	Sykehus'	128		Helsestudio'	2
				'Idrettshall'	2
				Kino/teater/opera/konsertbygn'	2
				Lekepark'	2
2	Bensinstasjon'	64			
Samfunnsviktige institusjoner som i løpet av kort tid (timer) har stor betydning for samfunnsfunksjonalitet					
	Bo- og servicesenter'	64		'Museum kunstgalleri'	2
	Butikk/forretningsbygning'	64		Restauranbygning kafeybygning'	2
	Bygn.for vannfors.bla. pumpest'	64		Samfunnshus grendehus'	2
	Bygning for rensaanlegg'	64		'Svømmehall'	2
	Helse-/sosialsent. helsestasj.'	64		Synagoge moske'	2
	'Kjøle- og fryselager'	64		Tribune og idrettsgarderobe'	2
	Kjapesenter varehus'	64		Univ./høgskole m/auditor.leses'	2
	'Kontor- og adm.bygning rådhus'	64		Videregående skole'	2
	'Mediabygning'	64		'Zoologisk/botanisk hage (byg.)'	2
	Offentlig toalett'	64			
3	Annen museum/biblioteksbygning'	32	7	Andre småhus m/3 boliger el fl	1
Samfunnsviktige institusjoner som på lengre sikt (dager) har stor betydning for liv og helse			Øvrige samfunnsviktige institusjoner	'Annen boligbygg (sek. reindrift'	1
	Annen skolebygning'	32		Annen bygning for bofellesskap	1
	'Barneskole'	32		Annen bygning for overnatting	1
	'Hus for dyr/landbr.lager/silo'	32		Enebolig'	1
	Komb. barne- og ungdomsskole'	32		'Enebolig m/hybel/sokkelleil.'	1
	'Lekepark'	32		Fritidsbygg/hyttersonmerh. ol'	1
	'Studenthjem/studentboliger'	32		Garasjeuth.anneks til fritidb'	1
	'Ungdomsskole'	32		'Garasjeuthus anneks til bolig'	1
				Rekkehus'	1
				Store sammenb. boligbygg på 3 og 4 etg.'	1
				Store sammenb. boligbygg på 5 etg. el. mer'	1
4	Annen eksp. og terminalbygning	16			
Samfunnsviktige institusjoner som på lengre sikt (dager) har stor betydning for samfunnsfunksjonalitet					
	Annen veg- og trafikktilsynsbygning'	16		Store sammenbygde boligbygg på 2 etg	1
	Jernbane- og T-banestasjon'	16		Stort frittliggende boligbygg på 2 etg.	1
	'Kirke kapell'	16		Stort frittliggende boligbygg på 3 og 4 etg	1
				Stort frittliggende boligbygg på 5 etg. el. Mer	1
				Terrassehus'	1
				'Tomannsbolig, horisontaldelt'	1
5	Annen garasje-/hangarbygning	6			
Samfunnsviktige institusjoner som representerer store økonomiske verdier og har stor betydning for miljøet					
	Annen forretningsbygning	6		'Tomannsbolig, vertikaldelt'	1
	Annen hotellbygning	6		'Vandre-/feriehjem'	1
	Annen industribygning	6		Våningshus'	1
	Annen kontorbygning	6		'Våningshus, tomannsb./horisont.'	1
	Annen lagerbygning	6		'Våningshus, tomannsb./vertikal.'	1
	'Annen landbruksbygning'	6			
	'Boligbrakker'	6			
	Fabrikkbygning'	6			
	Hotellbygning'	6			
	'Kjede/atriumhus'	6			
	Lagerhall'	6			
	'Parkeringshus'	6			
	Veksthus'	6			
	Verkstedbygning'	6			

Figur B.1: Samfunnsrelevante institusjoner (skjermdump).

Skadekostnad		Skadekostnad	
Bygningstype	Verdi	Bygningstype	Verdi
Transformatorer	158	Parkering	42
Andre småhus m/3 boliger el fl	79	Enebolig'	20
Annen bygning for bofellesskap	79	'Enebolig m/hybel/sokkelleil.'	20
Rekkehus'	79	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol'	20
Store sammenb. boligbygg på 3 og 4 etg.'	79	Stort frittliggende boligbygg på 2 etg.	20
'Store sammenb. boligbygg på 5 etg. el. mer	79	Stort frittliggende boligbygg på 3 og 4 etg	20
Store sammenbygde boligbygg på 2 etg	79	Stort frittliggende boligbygg på 5 etg el. Mer	20
'Studenthjem/studentboliger'	79	'Tomannsbolig, horisontaldelt'	20
Terrassehus'	79	'Tomannsbolig, vertikaldelt'	20
'Vandre-/feriehjem'	79	Våningshus'	20
		'Våningshus, tomannsb./horisont.'	20
		'Våningshus, tomannsb./vertikal.'	20
'Annen boligbyg.(sek. reindrift'	75		
Annen bygn. for religiøs akt.	75		
Annen bygning for overnatting	75	Annen garasje-/hangarbygning	8
Annen eksp. og terminalbygning	75	Garasjeuth.anneks til fritidb'	8
Annen forretningsbygning	75	Veksthus'	8
Annen idrettsbygning	75		
Annen industribygning	75		
Annen kontorbygning	75	Jern og sporveier	1
Annen lagerbygning	75		
'Annen landbruksbygning'	75		
Annen museum/biblioteksbygning'	75	Vei(per m ²)	0.05
'Annen primærhelsebygning'	75		
Annen skolebygning'	75		
'Annen universitet/høgskolebygn'	75		
Annen veg-og trafikktilsynsbygning'	75		
Annet kulturhus'	75		
Barnehage'	75		
'Barneskole'	75		
Bensinstasjon'	75		
Bo- og behandlingssenter'	75		
Bo- og servicesenter'	75		
'Boligbrakker'	75		
Brannstasjon ambulansestasjon'	75		
Butikk/forretningsbygning'	75		
Fabrikkbygning'	75		
Helse-/sosialsent. helsestasj.'	75		
'Hospits pensjonat'	75		
'Hus for dyr/landbr.lager/silo'	75		
'Idrettshall'	75		
Jernbane- og T-banestasjon'	75		
Kino/teater/opera/konsertbygn'	75		
'Kirke kapell'	75		
'Kjede/atriumhus'	75		
'Kjøle- og fryselager'	75		
Kjøpesenter varehus'	75		
Komb. barne- og ungdomsskole'	75		
'Kontor- og adm.bygning rådhus'	75		
Lagerhall'	75		
Mediabygning'	75		
'Museum kunstgalleri'	75		
Rehabiliter.institusjon.kurbad'	75		
Samfunnshus grendehus'	75		
'Studenthjem/studentboliger'	75		
'Svømmehall'	75		
Sykehjem'	75		
Sykehus'	75		
Synagoge moske'	75		
'Ungdomsskole'	75		
Univ./høgskole m/auditor.leses'	75		
Verkstedbygning'	75		
Videregående skole'	75		
'Zoologisk/botanisk hage (byg.)'	75		
Bygn.for vannfors.bla. pumpest'	75		
Bygning for renseanlegg'	75		

Figur B.2: Skadekostnad (skjermdump).



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway