



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**  
Fakultet for realfag og teknologi

# **Modellering av urbane pluviale flommer med MIKE 21: Metodeutvikling**

Urban pluvial flood modeling with MIKE 21:  
Method development

**Siri Gamst Bøysen**  
Vann- og miljøteknikk



## FORORD

Denne oppgaven representerer mitt avsluttende arbeid på sivilingeniørgraden Vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Oppgavens omfang er på 30 studiepoeng og arbeidet har pågått våren 2018.

Formålet med oppgaven er tredelt. Det skal etableres en terrengmodell til anvendelse i GIS-analyser og analyser i en todimensjonal hydraulisk avrenningsmodell. Analysene går ut på å undersøke hvor følsom modellen er for ulike parameterendringer. I tillegg skal det utarbeides en metodikk for å modellere områder med høyere oppløsning i et raster uten å komprimere analyseområdet eller øke simuleringstiden. Programvarene benyttet er ArcGIS Desktop levert av NMBU og MIKE 21 Flow Model levert av DHI.

Jeg ønsker å rette en stor takk til min veileder Jon Arne Engan for et godt samarbeid og konstruktive tilbakemeldinger underveis i prosessen;

Takk for kurs i ArcGIS Pro og hjelp til lån av PC ved NMBU.

Jeg vil også takke DHI for lån av lisens og Halvor Hardang ved DHI Oslo for god samarbeidsvilje i forbindelse med arbeidet med MIKE 21 Flow Model.

Ås, 12. juni 2018

---

Siri Gamst Bøysen



*Selv en dråpe  
gjør havet større.*

*Russisk ordtak*



## SAMMENDRAG

Ekstreme nedbørhendelser kombinert med fortetting av byer øker sannsynligheten for urbane flommer av pluvial karakter. Slike flommer kan forårsake store skader på infrastruktur og annen bebyggelse og påfører med dette samfunnet betydelige kostnader. Det er nødvendig med gode redskaper for å kartlegge potensielle problemområder. Et viktig verktøy i denne sammenheng er overvannsmodellering, som kan gjennomføres ved bruk av enkle GIS-analyser eller todimensjonale hydrauliske modeller. En GIS-analyse tar kun hensyn til topografi og siden ingen hydrauliske beregninger utføres vil dette verktøyet hovedsakelig gi en grov oversikt av potensielle risikoområder og strømningsveier. Et dataprogram som *kan* utføre todimensjonale hydrauliske overvannsberegninger er MIKE 21 Flow Model. I denne oppgaven ble ArcGIS benyttet for å etablere en terrengmodell til anvendelse i GIS-analyser og modellering i MIKE 21.

MIKE 21 representerer topografien ved firkanter strukturert i et rutenett (raster) eller ustrukturerte trekanten og firkanter (flexible mesh). Raster er enklere og dermed mindre tidkrevende å etablere enn flexible mesh, men har ikke samme mulighet til å benytte inngangsdata med ulik romlig oppløsning. Utfordringen ved bruk av raster er å danne en modell med høy nok oppløsning til å få med elementer som kan påvirke avrenning uten å måtte komprimere analyseområdet eller øke simuleringstiden. Oppgavens primære målsetting har vært å finne en metodikk for å løse dette. Det ble tatt utgangspunkt i et 100-årsregn over et område på 27km<sup>2</sup> i Drammen kommune. 100-årsregnet ble gitt et fratrekk tilsvarende et 10-årsregn som var antatt kapasitet for ledningsnett. Det er ikke tatt hensyn til infiltrasjon.

Forsøkene for utprøving av metodikk kan deles i to ulike grupper i henhold til framgangsmåte. Noen forsøk baserte seg på å benytte resultater fra hele nedbørfeltet som inngangsdata til en mindre modell som kun omfattet interesseområdet. Andre forsøk gikk ut på å benytte flere terrengmodeller av ulik oppløsning samtidig i ett simuleringsoppsett. Etter flere mislykkede forsøk ble DHI Danmark kontaktet, og det fremkom at MIKE 21 basert på raster ikke er tilrettelagt for å øke oppløsningen av et område ved modellering av urbane pluviale flommer.

Grunnet resultatet ble det lagt til en ekstra målsetting som tok sikte på å analysere hvordan MIKE 21-modeller reagerer på endringer i inngangsdata. Samme analyseområde og generelle oppsett ble benyttet. Etersom tiden var en begrensende faktor ble det kun utført én analyse av

vannbalansen i henhold til endret parameter, og ingen videre kalibrering ble utført. Formålet var å avdekke hvor sårbar modellen er for endringer og undersøke hvilke bakenforliggende årsaker som kan gi ustabilitet i balansen. Forskjeller mellom en utløpsmodell og en lukket modell ble undersøkt, samt hvordan en modell reagerer på ulik høyde på bygningene i benyttet terrengmodell. Bygningene ble gitt en høyde på 2 meter eller 25 meter. Det ble også sett på hvordan modellen påvirkes av å plassere utløp som simulerer sluk i nedbørfeltet og hvorvidt dette er en god metode å benytte framfor en redusert nedbør for å modellere ledningsnettets kapasitet.

Endringer i inngangsparametere ga merkbare utslag på resultatene og der var uoverensstemmelser mellom magasinert vannvolum i og vannvolum inn og ut av modellen for alle simuleringene. Utløpsmodellen og den lukkede modellen ga svært like resultater. Forskjellen mellom modellene lå hovedsakelig i opprettelse av batymetri og oppsett, samt etterbehandling av resultater hvor utløpsmodellen var noe mer tidkrevende. Ved ulik høyde på bygningene tilførte programmet mer «korreksjonsvann» til modellen med bygninger på 2 meter. Korreksjonsvann er vann MIKE 21 tilfører modellen hvis programmet detekterer negative vanndybder, noe som indikerer et ustabil område. Resultatene viste også større oversvømmelser for modellen med de laveste bygningene.

Slukenes innvirkning på resultatene var sterkt avhengig av plassering. I et modelloppsett ble det plassert 30 sluk spredt over hele nedbørfeltet, mens det i et annet ble plassert 30 sluk utelukkende i området rundt Marienlyst stadion. Området rundt stadion viste store oversvømmelser både ved GIS-analyse og simulering med MIKE 21. Slukene ble gitt en konstant kapasitet tilsvarende et 10-årsregn. Ved plassering av sluk i hele nedbørfeltet var det ingen merkbar effekt på oversvømmelsesresultatene. Plassering av sluk i området rundt Marienlyst stadion hadde imidlertid merkbar effekt.

Oversvømmelsesresultatene for den reduserte nedbøren var kraftig redusert sammenlignet med oppsettene med sluk. Etersom modelleringene med sluk befattet seg med store ustabiliteter kan imidlertid ingen slutning dras om hvorvidt metoden kan erstatte redusert nedbør for å modellere ledningsnettets kapasitet.



## **ABSTRACT**

Extreme rainfall events combined with the densification of urban areas increase the probability of urban pluvial flooding. These floods may cause substantial damage to infrastructure and inhabited areas which are costly to society. It is necessary to map potential problem areas. An important tool in this process is storm water modeling which can be carried out using GIS-analysis or two-dimensional hydraulic models. A GIS-analysis considers topography only and since no hydraulic calculations are made, this tool mainly provides a rough estimate of potential risk areas and flow paths. A program that can perform two-dimensional hydraulic surface flow calculations is MIKE 21 Flow Model. To execute these analyses a digital terrain model was established using ArcGIS.

In MIKE 21 the topography can be represented by squares structured in a grid (raster) or unstructured triangles and squares (flexible mesh). Models based on the former are less challenging to establish. However, the flexible mesh allows the user to vary the resolution across the site. This is a huge advantage since special attention and computer power can be directed at areas essential to the surface flow, while less important areas can be given a coarser representation. The main objective of this thesis is to find a method to increase the resolution of a raster without reducing the area of analysis nor increase the simulation period. The study was conducted based on a 100-year flood in an area of 27km<sup>2</sup> located south of the Drammen river in the municipality of Drammen. The capacity of the drainage system was estimated to equal a 10-year flood; Thus the 100-year flood was reduced accordingly. Infiltration was not considered.

The investigated methods can be divided into two groups according to procedure. The first attempts used results from the entire catchment area as input for models that only covered the area of interest. Other attempts were based on a single setup where terrains of different resolutions were used simultaneously. DHI Denmark was contacted after several attempts without satisfying results. It appeared that raster models are not suitable for modelling urban pluvial floods with the given prerequisites.

Due to these results an additional objective was added, which aim was to analyze how MIKE-21 models react to changes in input data. The same area of analysis and general setup was used. As time was a limiting factor, only a water balance analysis was performed according to the

modified parameter without calibrating the results any further. The purpose was to uncover the model's reactions to change and investigate which underlying reasons could cause instability in the water balance. The differences between a model with an outlet and a closed model were investigated, as well as how a model responds to a change in the height of buildings in the digital terrain model. The heights investigated were 2 meters and 25 meters. Furthermore, it was considered how the model was affected by placing sinks to simulate drains in the catchment area and whether it would be a preferred method to using a reduced 100-year flood to represent the drainage system.

The results showed an instability in the water balance for all setups. The model with an outlet and the closed model gave very similar results, with the main difference being that the model with an outlet was a bit more time consuming to create.

When the terrain using buildings of 2 meters were used MIKE 21 added more "correction water" than for the terrain with buildings of 25 meters. Correction water is added if the program detects negative water depths, which indicates an unstable area in the model. The flooding was also more severe when the buildings were given a height of 2 meters.

The sinks impact on the results were highly dependent on their location. In one setup 30 sinks were spread throughout the catchment area, while in another the same amount were placed exclusively in the area around Marienlyst stadium. The area around the stadium have showed excessive flooding in previous GIS-analyses and MIKE 21 simulations. The sinks were given a constant capacity equivalent to a 10-year flood. There was no noticeable effect on the flooding results when spreading the sinks in the catchment area. In contrast the setup containing sinks around Marienlyst stadium had visible effect on flooding in that area.

In comparison, the reduced 100-year flood had a *huge* impact on the flooding results in the entire catchment area. However, the results from the setups with sinks contained such large instabilities that no conclusion could be drawn as to whether the method should substitute the reduced 100-year flood in representing the drainage system.

# INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG .....	I
ABSTRACT .....	III
FIGURLISTE.....	VIII
TABELLISTE.....	IX
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 MÅLSETTINGER .....	2
1.2 FRAMGANGSMÅTE OG STRUKTUR.....	3
<b>2 BAKGRUNN</b> .....	<b>4</b>
2.1 KLIMA I ENDRING .....	4
2.1.1 Klima generelt.....	4
2.1.2 Klima i Norge .....	4
2.1.3 Klimaendringer generelt .....	6
2.1.4 Klimaendringer i Norge.....	8
2.2 FLOM .....	10
2.3 URBANISERING .....	11
2.4 OVERVANNSDISPONERING.....	13
2.4.1 Konvensjonell overvannsdiskonering .....	13
2.4.2 Lokal overvannsdiskonering.....	14
2.5 NEDBØR .....	16
2.5.1 Nedbørtyper .....	16
2.5.2 Konstruert nedbør .....	18
2.6 OVERVANNSMODELLERING .....	19
2.6.1 Manuelle metoder .....	19
2.6.2 Numeriske metoder .....	20
2.7 MIKE 21 FLOW MODEL .....	21
2.7.1 Modellparametere .....	23
2.7.2 Utgangsdata .....	26
2.8 ARCGIS DESKTOP.....	26
2.9 TIDLIGERE ARBEID .....	28
<b>3 METODE</b> .....	<b>30</b>
3.1 MODELLERING MED ARCGIS .....	30
3.1.1 Etablering av digital terrengmodell.....	30
3.1.2 GIS-analyse .....	33
3.2 MODELLERING MED MIKE 21.....	34
3.2.1 Vannbalansen.....	35

3.2.2 Etablering og redigering av batymetrier.....	36
3.2.3 Modelloppsett for simulering: Del 1 og del 2.....	37
3.2.4 Variasjoner i modelloppsett, del 1 .....	40
3.2.5 Utprøving av metoder for å øke oppløsning av et raster .....	44
3.3 PC-SPEKIFIKASJONER.....	52
<b>4 RESULTATER .....</b>	<b>53</b>
4.1 ARCGIS .....	53
4.1.1 GIS-analyse .....	53
4.1.2 Sammenligning .....	55
4.2 MIKE 21.....	57
4.2.1 Del 1.1: Forskjell på lukket modell og modell med utløp.....	57
4.2.2 Del 1.2: Signifikans av høyde på bygninger.....	60
4.2.3 Del 1.3: Signifikans av å legge inn utløp for å simulere sluk.....	62
4.2.4 Del 2: Utprøving av metoder for å øke oppløsning av et raster.....	67
<b>5 DISKUSJON .....</b>	<b>68</b>
5.1 GIS-ANALYSE.....	68
5.2 MODELLFØLSOMHET TIL EN MIKE 21-MODELL.....	70
5.2.1 Del 1.1: Forskjell på lukket modell og modell med utløp.....	71
5.2.2 Del 1.2: Signifikans av høyde på bygninger.....	72
5.2.3 Del 1.3: Signifikans av å legge inn utløp for å simulere sluk.....	72
5.2.4 Oppsummering og anbefalinger for videre modellering .....	74
5.3 UTARBEIDING AV NY METODIKK.....	75
5.4 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID .....	76
<b>6 KONKLUSJON .....</b>	<b>77</b>
<b>7 REFERANSER .....</b>	<b>79</b>
VEDLEGG A: Etablering av digital terrengmodell .....	i
VEDLEGG B: GIS-analyse .....	xxv
VEDLEGG C: Redigering av batymetri og etablering av kart i ArcGIS fra MIKE 21-fil .....	xxxiii
VEDLEGG D: Volumberegninger .....	xxxvi
VEDLEGG E: MIKE 21 Toolbox.....	xxxviii
VEDLEGG F: Oversvømmelsesfigurer fra hele nedbørfeltet.....	xl
VEDLEGG G: Aktsomhetskart for Strømsø .....	xliv
VEDLEGG H: Erfaringer fra MIKE 21 (for nybegynnere) .....	xlvi



## FIGURLISTE

- Figur 2-1:** Temperaturavvik fra middeltemperatur i verden i sommer- og vintermåned.
- Figur 2-2:** Geografisk fordeling av nedbør i Norge.
- Figur 2-3:** Endringer i midlere overflatetemperatur i verden.
- Figur 2-4:** Endringer i midlere årsnedbør i verden.
- Figur 2-5:** Gjennomsnittlig avvik fra normalen for ekstremnedbør i Norge.
- Figur 2-6:** Vannbalansen ved forskjellige overflatedekker.
- Figur 2-7:** Effekten av urbanisering på avrenning.
- Figur 2-8:** Konvensjonell overvannsdiskonering.
- Figur 2-9:** Lokal overvannsdiskonering.
- Figur 2-10:** Treleddsstrategi for håndtering av nedbør.
- Figur 2-11:** Kald- og varmfront.
- Figur 2-12:** Orografisk- og konvektivt nedbør.
- Figur 2-13:** Potensielle strømningsretninger i 2D-avrenningsmodell.
- Figur 2-14:** Batymetri med flere modelleringsområder i en MIKE 21-modell.
- Figur 2-15:** ArcGIS-verktøyet Fill.
- Figur 2-16:** ArcGIS-verktøyet Raster to Polyline og Raster to Polygon.
- 
- Figur 3-1:** Analyseområdet i Drammen kommune.
- Figur 3-2:** Illustrasjon av dannet terreng i ArcGIS.
- Figur 3-3:** Terrengmodell med bygninger på rasterformat.
- Figur 3-4:** Endringer i innstillingsscriptet til MIKE 21.
- Figur 3-5:** Parameteroppsett for MIKE 21.
- Figur 3-6:** Dialogboksen for utgangsdata til valgt område under Results.
- Figur 3-7:** Dialogbokser til parameteren Boundary.
- Figur 3-8:** Plassering av sluk rundt Marienlyst stadion.
- Figur 3-9:** Dialogbokser til parameteren Source and Sink.
- Figur 3-10:** Plassering av sluk i nedbørfeltet.
- Figur 3-11:** Verktøyboksen til Transfer Boundary fra MIKE 21 Toolbox.
- Figur 3-12:** Illustrasjon av hvordan ulike objekter defineres i verktøyet Transfer Boundary.
- Figur 3-13:** Batymetri av nedbørfeltet med oppløsning 4x4 meter, samt forstørret område av Strømsø.
- Figur 3-14:** Batymetri med tilhørende resultatfil ved bruk av vannføringsgrenser.
- Figur 3-15:** Batymetri av nedbørfeltet med oppløsning 9x9 meter, samt forstørret område i Strømsø.
- Figur 3-16:** Sammenligning av batymetri som har oppløsning 9x9 meter med 1x1 meter.
- Figur 3-17:** Verktøyboksen til parameteren Bathymetry ved bruk av flere batymetrier.
- Figur 3-18:** Verktøyboksen til parameteren Bathymetry ved bruk av multi-cell overland solver for inland applications.

- Figur 4-1:** Drenslinjer fra GIS-analyse av nedbørfeltet.
- Figur 4-2:** Forsenkninger fra GIS-analyse av nedbørfeltet.
- Figur 4-3:** Forstørret bilde av Strømsø med drenslinjer og forsenkninger.
- Figur 4-4:** Drenslinjer av forfatter og drenslinjer av Johansen & Moldekleiv (2016).
- Figur 4-5:** Forsenkninger produsert av Johansen & Moldekleiv (2016).
- Figur 4-6:** Forsenkninger produsert av forfatter.
- Figur 4-7:** Graf av vannvolum for lukket modell og modell med utløp.
- Figur 4-8:** Maksimal oversvømmelse i lukket modell.
- Figur 4-9:** Maksimal oversvømmelse i modell med utløp.
- Figur 4-10:** Graf av vannvolum for modell med 25 meter og 2 meter høye bygninger.
- Figur 4-11:** Maksimal oversvømmelse i modell med 25 meter høye bygninger.
- Figur 4-12:** Maksimal oversvømmelse i modell med 2 meter høye bygninger.
- Figur 4-13:** Graf av vannvolum for modeller med sluk og ulike nedbørmengder.
- Figur 4-14:** Utsnitt av figur 4-13 for å fremheve forskjeller i grafene.
- Figur 4-15:** Maksimal oversvømmelse i modell med 100-årsregn.
- Figur 4-16:** Maksimal oversvømmelse i modell med 100-årsregn med fratrekk.
- Figur 4-17:** Maksimal oversvømmelse i modell med 100-årsregn og sluk.
- Figur 4-18:** Maksimal oversvømmelse i modell med 100-årsregn og sluk rundt Marienlyst stadion.
- Figur 4-19:** Graf av vannkorreksjon vises som prosentandel av tilført nedbør for de ulike modellene.
- 
- Figur 5-1:** Marienlyst stadion med drenslinjer av Johansen & Moldekleiv (2016) og forfatter.
- Figur 5-2:** Marienlyst stadion med forsenkninger av Johansen & Moldekleiv (2016) og forfatter.

## TABELLISTE

- Tabell 4-1:** Resultater for lukket modell.
- Tabell 4-2:** Resultater for modell med utløp.
- Tabell 4-3:** Resultater for 25 meter høye bygg.
- Tabell 4-4:** Resultater for 2 meter høye bygg.
- Tabell 4-5:** Resultater for modell med 100-årsregn.
- Tabell 4-6:** Resultater for modell med 100-årsregn med fratrekk.
- Tabell 4-7:** Resultater for modell med 100-årsregn og sluk.
- Tabell 4-8:** Resultater for modell med 100-årsregn og sluk rundt Marienlyst stadion.





## 1 INNLEDNING

Endrede klimatiske forhold og økt urbanisering medfører flere oversvømmelser i tettbebygde områder. I Norge har vi opplevd hyppigere og mer intens nedbør, noe som ifølge klimaframskrivingene vil fortsette. Nedbørepisodene – særlig ved korte, intense regn, genererer svært mye overvann som må håndteres lokalt eller fraktes bort på en trygg måte. Avløpsnettene ble dimensjonert og bygget for mange år siden hvor man ikke forutså framtidens økte andel av tette flater eller den økte nedbørintensiteten. Følgelig har avløpsnettene til tider utilstrekkelig kapasitet til å håndtere den økte belastningen som finner sted ved kraftige regnskyll. Dette fører til at overskuddsvann flommer ut, noe som kan ha store konsekvenser både for innbyggere, kommuner, forsikringsselskaper, og eiere av veier og annen infrastruktur. Å øke kapasiteten til det eksisterende avløpssystemet er kostbart og søkes unngått ved å benytte lokale overvannsløsninger i form av infiltrasjon, fordrøyning og forsinking. Ved ekstreme nedbørsituasjoner er det i tillegg nødvendig med trygg avledning av vannet via flomveier.

For å predikere flomstørrelse og omfang benyttes databaserte modelleringsverktøy som er utviklet for å simulere overvannets bevegelser. Modellene gir en indikasjon på problemområder gjennom simulering av vannets strømningsretning og akkumulering. Modellering av pluviale flommer (overvannsflommer) gir innsikt i hvordan overvanns- og avløpssystemer fungerer og man bedrer grunnlaget for å planlegge effektive og samfunnsøkonomiske løsninger for overvannshåndtering. Modellene er i beste fall en tilnærming av virkeligheten og for å øke kvaliteten på resultatene må usikkerhetene reduseres. Kilder til usikkerhet kan blant annet stamme fra valg av inngangsdata og grensebetingelser, noe som blir sett nærmere på i denne masteroppgaven.

Denne oppgaven er en videreføring av forskningsprosjektet «Regnbygge 3M» og baserer seg på tidligere oppgaver i forbindelse med prosjektet. Utgangspunktet er et urbant område i Drammen kommune og modelleringen baseres på en terrengmodell som etableres i programmet ArcGIS. Overvannsanalyse skal utføres i samme program til sammenligning med tidligere og eventuelle fremtidige resultater. Modelleringsprogrammet MIKE 21 Flow Model benyttes til å simulere avrenningen til en nedbør med gjentakintervall på 100 år. Det tas utgangspunkt i vannbalanseligningen når det undersøkes hvordan modellen påvirkes av ulike endringer, både av terrengmodell og andre parametere.

Terrengmodellen som etableres i ArcGIS kan i MIKE 21 representeres av kvadrater strukturert i et rutenett (raster). Utfordringen ved bruk av et raster er å få en velfungerende modell som både dekker et stort areal og har høy oppløsning i en kombinasjon som gjør at simuleringstiden blir akseptabel. Oppløsningen må være god nok til at elementer som kan påvirke avrenning inkluderes, for eksempel fortauskanter og fartsdumper. Siste del av oppgaven handler om å utarbeide en metodikk for å løse dette problemet.

## 1.1 MÅLSETTINGER

Formålet med oppgaven er tredelt:

1. Det skal utarbeides ny terrengmodell i ArcGIS som skal benyttes til overvannsanalyse i ArcGIS og som inngangsdata i MIKE 21-modeller.
2. Det tas utgangspunkt i vannbalansen når modellfølsomheten til MIKE 21 skal undersøkes. Undersøkelsene går ut på å:
  - a. Sammenligne lukket modell med modell med utløp.
  - b. Sammenligne ulik høyde på bygninger.
  - c. Se hvordan en modell påvirkes ved å legge inn utløp for å simulere sluk.
3. Det skal utarbeides en metodikk for å øke oppløsningen av et raster i MIKE 21 uten å komprimere modelleringsområdet eller øke simuleringstiden i stor grad.

Utfra målsettingene er det utledet fire spørsmål:

I ArcGIS:

- Vil nye LiDAR- og FKB-data føre til endringer fra tidligere benyttet terrengmodell?

I MIKE 21:

- Er vannbalanseligningen stabil for de ulike modelloppsettene som sammenlignes?
- Vil de ulike modelloppsettene som sammenlignes gi ulike oversvømmelsesresultater?
- Vil det være fordelaktig å benytte utløp som simulerer sluk framfor en redusert nedbør for å modellere ledningsnettets kapasitet?
- Er det mulig å øke oppløsningen av et område i et raster uten å komprimere modelleringsområdet eller øke simuleringstiden i stor grad?

## 1.2 FRAMGANGSMÅTE OG STRUKTUR

Oppgaven består av syv hovedkapitler. Kapittel 2 består av en litteraturstudie av relevant teori for oppgaven, samt kort gjennomgang av benyttede dataprogram. I kapittel 3 gjennomgås metodikken for overvannsanalyse i ArcGIS og metodikken for sammenligning av modeller i MIKE 21. I tillegg fremlegges ulike metoder for å nå målsettingen om finere oppløsningen av et raster i MIKE 21. Kapitlet dekker også oppbygning, oppsett ved simulering, forutsetninger og antagelser lagt til grunn for å oppnå resultatene som presenteres i kapittel 4. Understreker med dette at for målsettingen som befatter seg med å finne en metodikk for finere oppløsning av et raster vil *metoden* være resultatet. Kapittel 5 diskuterer oppnådde resultater, metodikk og usikkerheter. Det gis også forslag om videre arbeid før kapittel 6 konkluderer oppgaven på bakgrunn av målsettinger og resultater.

## 2 BAKGRUNN

### 2.1 KLIMA I ENDRING

#### 2.1.1 KLIMA GENERELT

*Været* beskriver en øyeblikkstilstand i den lavere atmosfære. Begreper forbundet med vær er eksempelvis temperatur, nedbør, luftfuktighet og vind. *Klimaet* betegner hvor ofte typiske værmønstre for et område forekommer og er basert på statistiske data.

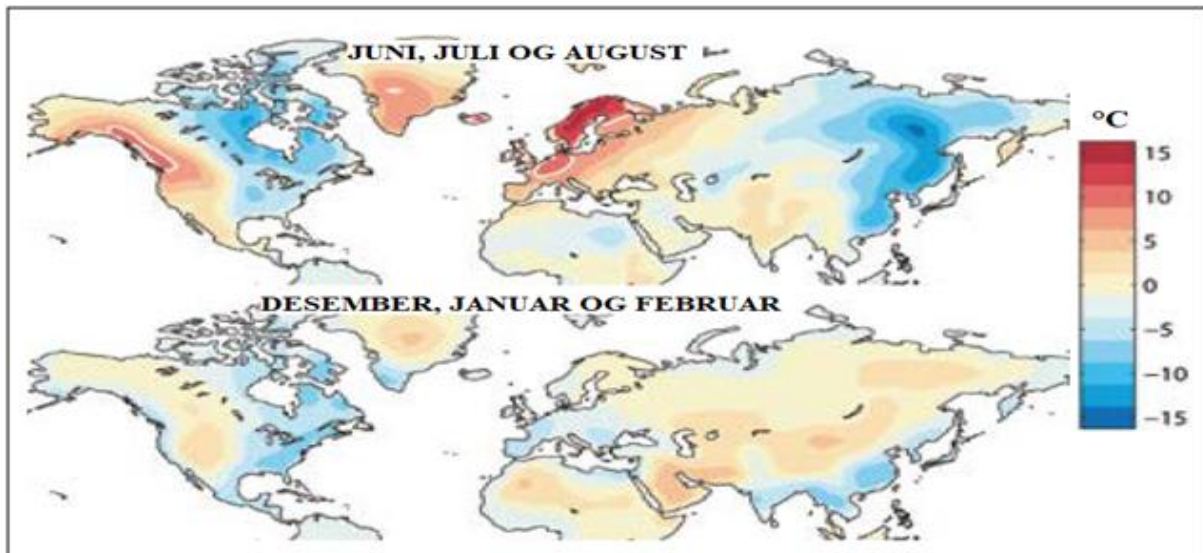
Ordet klima stammer fra gresk og kan oversettes med det norske ordet helning (Dannevig & Harstveit, 2017). Det er solen som setter i gang de ulike atmosfæriske prosessene på jorden, og her vil jordaksens *helning* i forhold til solstrålene være avgjørende for hvilke prosesser som dominerer. I henhold til breddegrad deles jorda inn i tre typer klimasoner; tropisk, temperert og polar. Variasjoner i geografi og oseanografi vil igjen påvirke klimaet i de forskjellige sonene. Eksempelvis er klimaet i Norge mildere enn breddegraden skulle tilsi.

For å sammenligne observerte værmønstre benyttes klimanormaler. Dette er fastsatte referanseperioder med tidsspenn på 30 år som skal måles i alle land (Norsk klimaservicesenter). Rådende normalperiode er 1961-1990. Grunnet flere markante endringer i klimaet de senere år er det ikke unormalt å benytte seg av yngre 30-års perioder. Blant annet bruker Miljødirektoratet 1971-2000 som referanseperiode i sin rapport «Klima i Norge 2100» fra 2015, mens FNs klimapanel benyttet referanseperioden 1986-2005 i deres klimarapport fra 2014.

#### 2.1.2 KLIMA I NORGE

Det norske klimaet er mangfoldig og man kan oppleve store forskjeller mellom og innen regioner. Mange av disse forskjellen skyldes geografien i landet, men klimaet varierer også mye med årstid. Fastlands-Norge befinner seg mellom de nordlige breddegradene 57° og 71°. Tross beliggenheten er klimaet relativt mildt, spesielt på vinteren. Som man ser av figur 2-1 er Norge del av det området i verden som har størst temperaturavvik fra middelverdien i henhold til breddegrad om vinteren. Om sommeren er det jevnere temperaturer over breddegradene.

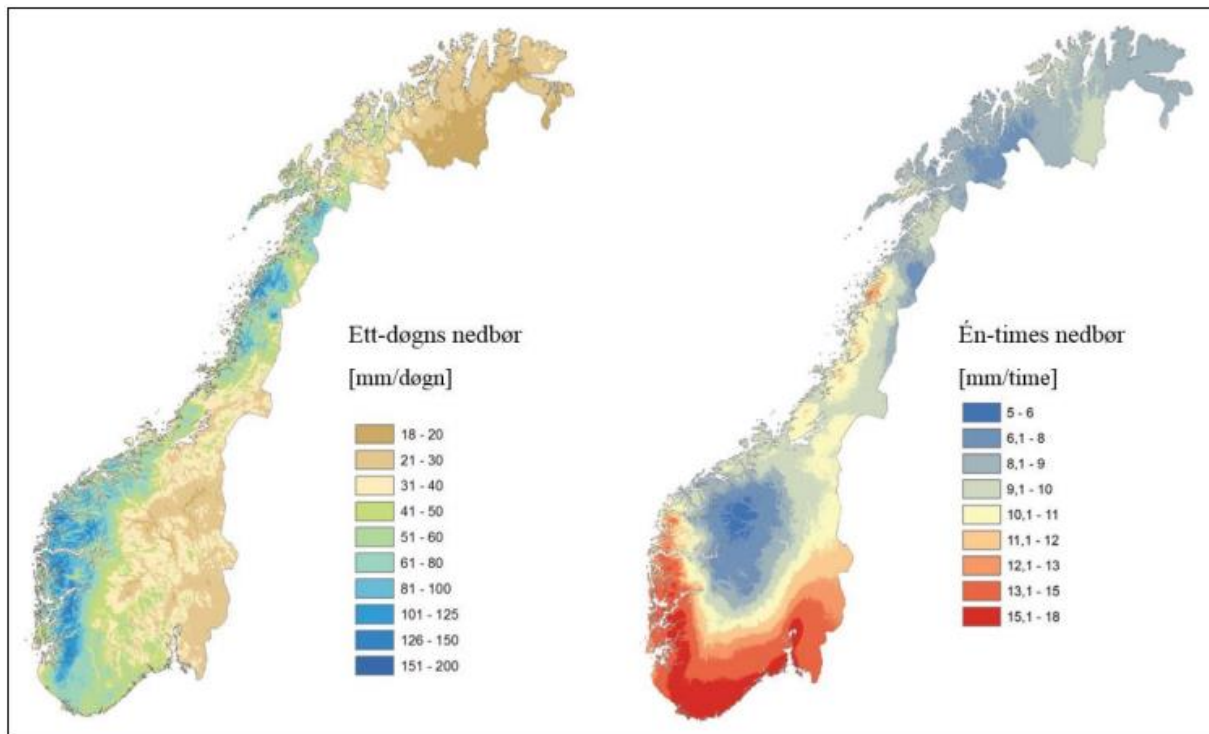
Temperaturavviket skyldes i hovedsak to forhold; Lavtrykk og havstrømmer fra sørvest. Lavtrykkene som kommer over Atlanterhavet transporterer varm og fuktig luft inn mot Norge og den nordatlantiske havstrømmen (en gren av Golfstrømsystemet) bringer temperert vann nordover (Hanssen-Bauer et al., 2015). Norge er et langt og smalt land, og med den nest lengste kysten i verden får havstrømmene varmet opp store deler av landet.



Figur 2-1: Temperaturavvik fra middeltemperatur i henhold til breddegrad når effekten av topografi er trukket fra. Breddegradsmiddel er beregnet over land i perioden 1971-2000. Tilpasset fra Miljødirektoratets rapport *Klima i Norge 2100* (2015).

En variert geografi skaper også store forskjeller i klimaet innad i landet. Dette ser man spesielt i sør, hvor høye fjellkjeder skaper et værsille mellom øst og vest. Vestlandet preges av mye nedbør. Dette kommer av den fuktige og tempererte luften fra Atlanterhavet som blir presset opp og avkjølt i møte med fjellene. I tillegg til å skape nedbør på Vestlandet forsterker fjellene det kontinentale klimaet på Østlandet (Dannevig & Harstveit, 2013). De nordligste fylkene kjennetegnes av fuktig klima langs kysten, mens det på Finnmarksvidda er typisk innlandsklima med høye temperaturer på sommeren og lave temperaturer på vinteren (Norsk klimaservice-senter, 2017abc).

Sammen med geografisk plassering og topografi er vindforhold avgjørende for nedbørfordelingen i Norge. Eksempelvis vil Østlandet preges av lite nedbør ved sørvestlig vind, mens midtre del av Vestlandet og Nordland preges av hyppige nedbørhendelser og store nedbørmengder ved samme vindforhold. Sørøstlig vind gir derimot mest nedbør på Sør- og Østlandet og lite nedbør på Vestlandet (Hanssen-Bauer et al., 2015). I hovedtrekk har Vestlandet de største nedbørverdiene når varigheten overstiger 12 timer, mens områdene rundt Oslofjorden dominerer når varigheten er mellom ett minutt og én time. Figur 2-2 illustrerer denne forskjellen. Små endringer i vindforhold kan føre til betydelige forskjeller i både fordeling av nedbør og intensitet (Hanssen-Bauer et al., 2015). Nedbørutviklingen i Norge er følgelig svært sårbar for endringer i lavtrykksbaner og atmosfæresirkulasjon.



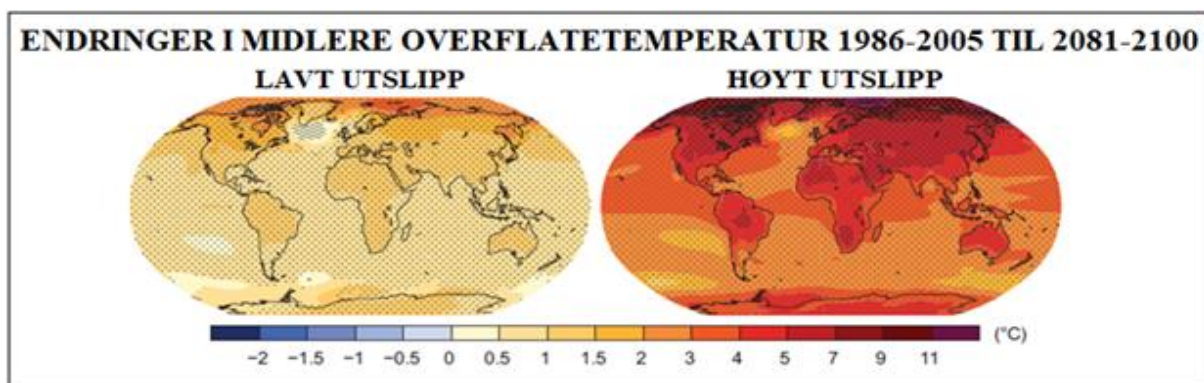
Figur 2-2: Geografisk fordeling av nedbør i Norge. Til venstre illustreres nedbør over ett døgn, mens illustrasjonen til høyre viser nedbør i løpet av én time. Hentet fra Grimnes (2017).

### 2.1.3 KLIMAENDRINGER GENERELT

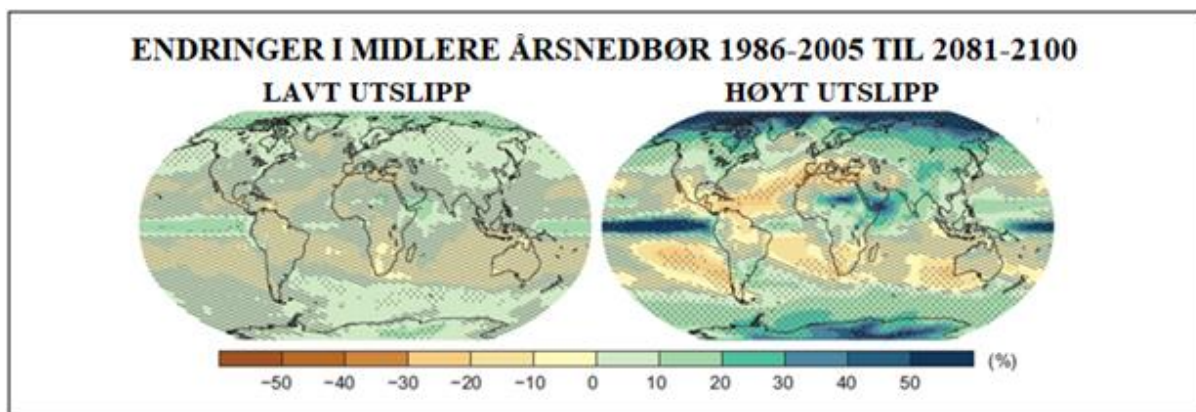
Klimaendringer er en beskrivelse av hvordan typiske værmønstre for et område forandrer seg. Klimaet har alltid vært i endring, men avhengig av hvilke perioder og tidsskalaer man ser på vil de dominerende årsakene variere (Hanssen-Bauer et al., 2015). Man skiller gjerne mellom menneskeskapte og naturlige klimaendringer. De naturlige endringene skjer uavhengig av menneskets påvirkning og stammer hovedsakelig fra variasjoner i strålingsbalansen. Strålingsbalansen omhandler energibalansen mellom jordoverflaten, atmosfæren og verdensrommet. Det er et samspill mellom kortbølgestråling inn fra solen, langbølgestråling ut fra jorden og atmosfærens og jordoverflatens refleksjons- og absorpsjonsevne (Fuglestad et al., 2017). Strålingsbalansen kan påvirkes av endringer i strålingsaktivitet fra solen, endringer i jordbanens eksentrisitet og jordaksens helning og presesjon (Bryhni, 2017). Mengde og sammensetning av drivhusgasser i atmosfæren er også viktige faktorer som påvirker balansen. En naturlig klimaendring som ikke er direkte forbundet med strålingsbalansen er bevegelser i kontinentalplatene. Med andre ord kan flere årsaker spille inn samtidig og de kan både forsterke og svekke hverandre (Fuglestad et al., 2017).

Sett i et tusenårsperspektiv har klimaendringene de siste hundre årene vært særdeles kraftige og raske (Alfsen, 2001). Dette ses ofte i sammenheng med den industrielle revolusjonen hvor menneskeskapt utslipp av drivhusgasser økte betraktelig. Drivhusgassene karbondioksid, metan og lystgass har siden førindustriell tid økt med henholdsvis 40%, 150% og 15%. Det er også tilført nye gasser som ikke finnes naturlig i atmosfæren, deriblant HKF-, KFK- og PFK-gasser (Bryhni & Olerud, 2014; Miljødirektoratet, 2013a), i tillegg til økning av mengde aerosoler (Hanssen-Bauer et al., 2015). Økningen og tilføringen av disse gassene har medført en forsterket drivhuseffekt, og ifølge FNs klimapanel er menneskelige aktiviteter hovedårsaken til den observerte globale oppvarmingen fra 1951 og fram til i dag (IPPC, 2013). Konsekvensene temperaturøkningen medfører er blant annet smelting av isfjell og isbreer, oppvarming av havet, økning av havnivå, større kontraster i nedbørsmønster og mer ekstremvær.

Avhengig av størrelsen på klimagassutslippene har FNs klimapanel dannet fire utviklingsbaner for å beskrive hvilke klimaendringer det er sannsynlig å forvente. De ser på scenarier for høy- middels- og lavutslipp. Figur 2-3 og 2-4 viser en sammenligning av endringer i midlere temperaturøkning og midlere årsnedbør for lavt og høyt utslipp. Av figur 2-3 ser man at det også ved et lavutslippsscenario vil være en økning i den midlere globale gjennomsnittstemperaturen.



Figur 2-3: Jordklodene viser forskjeller i midlere temperaturøkning for to ulike scenarier; lavt utslipp av klimagasser til venstre og høyt utslipp til høyre. Tilpasset fra IPCC (2013).



**Figur 2-4:** Jordklodene viser forskjeller i midlere årsnedbør for to ulike scenarier; lavt utslipp av klimagasser til venstre og høyt utslipp til høyre. Tilpasset fra IPCC (2013).

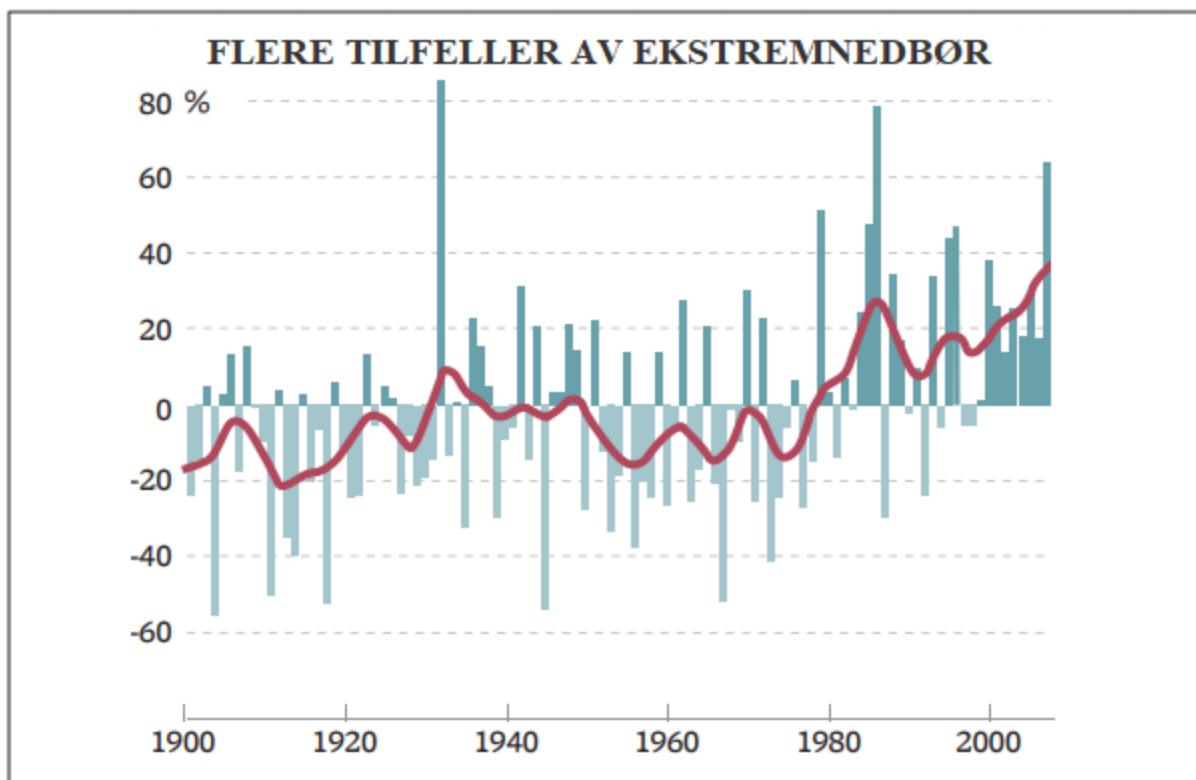
På grunn av klimasystemets ikke-lineære og kaotisk natur er det flere usikkerhetsmomenter ved beregning av fremtidsklimaet. Man kan dele usikkerhetene inn i tre hovedkategorier; Usikkerhet knyttet til framtidige menneskeskapte utslipp, usikkerhet knyttet til naturlige variasjoner og usikkerhet i klimamodellene (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Det er viktig å merke seg at resultatene fra de globale klimamodellene ofte handler om gjennomsnittsverdier og at det flere steder i verden vil bli kraftigere temperaturøkning, nedbør og havnivåstigning enn middelverdien tilsier. Det er blant annet predikert at så fremt klimagassutslippene fortsetter å øke vil temperaturen øke jo lengre nord man kommer. I tillegg vil mange tørre områder få mindre nedbør, samtidig som områder med mye nedbør får mer. Det er også ventet mer nedbør i de polare områdene, samt mer ekstremnedbør i store deler av Nord-Europa (Miljødirektoratet, 2013a).

#### 2.1.4 KLIMAENDRINGER I NORGE

Fra slutten av 1800-tallet til i dag har temperaturen over fastlands-Norge økt med rundt 1°C. På lik linje med den globale temperaturøkningen er det størst oppvarming i de nordligste områdene. I samme periode har midlere årsnedbør økt med ca. 19% som et resultat av flere dager med nedbør, større nedbørsmengder og flere tilfeller av ekstremnedbør (Sorteberg, 2012). Ekstremnedbør kan defineres som antall dager med nedbør som overstiger 0.5% av dagene med mest nedbør, sammenlignet med rådende normalperiode. Basert på målinger fra 72 nedbørstasjoner med så å si daglige målinger siden år 1900 har antallet ekstreme nedbørhendelser økt gjennomsnittlig med 41% i perioden 1900 – 2011, med særlig mange tilfeller de siste 30 årene. Figur 2-5 viser gjennomsnittlig avvik fra nåværende normalperiode, 1961-1990.





Figur 2-5: Gjennomsnittlig avvik fra normalen for norske stasjoner som har observasjoner fra 1900. Tilpasset fra Sorteberg (2012).

Basert på de ulike utviklingsbanene dannet av FNs klimapanel forventes det at Norge generelt kommer til å få et varmere og våtere klima med flere ekstreme nedbørhendelser. Dette er i tråd med observasjonene så langt. Det ventes også kortere snøsesong, minkende isbreer, stigende havnivå og forsuring av havet (Miljødirektoratet, 2013c).

Som følge av snøsmelting og økt nedbør vil Norge oppleve et endret flommønster i framtiden. Snøsmelteflommene er ventet å komme tidligere på våren, men vil reduseres og avta mot slutten av århundret. Samtidig vil regnflommene bli større og komme oftere (Hanssen-Bauer et al., 2015). Ifølge leder for Norsk klimaservicesenter, Inger Hanssen-Bauer, er det spesielt overvanns- og flomproblemer forårsaket av nedbørsendringer, samt stigende havnivå som vil skape de største utfordringene for samfunnet (Miljødirektoratet, 2015).

## 2.2 FLOM

Flom kan beskrives som en midlertidig oversvømmelse av et område som vanligvis er tørt (Waagø, 2012:8). Ulike flomtyper som gir oversvømmelser i Norge er elveflom (fluvial flom), styrtflom, overvannsflom (pluvial flom) og stormflo. Flom er imidlertid ikke synonymt med oversvømmelse og det er mange flommer som ikke fører til skader (Nilsen, 2017a).

I Norge er vi mest vant med elveflom som forekommer når vassdrag går over sine bredder (Norges Geotekniske Institutt). De største elveflommene er forårsaket av regn kombinert med snøsmelting. Andre ugunstige forhold som bidrar til økt mengde og/eller intensitet på flom er mettet mark grunnet tidligere nedbør eller frossen mark.

Styrtflom får man i små, ofte bratte nedbørfelt med liten fordrøyningskapasitet, mens stormflo er ekstra høy vannstand forårsaket av lavtrykk og pålandsvind kombinert med springflo (Norges Geotekniske Institutt; Waagø, 2012:8). Den forventede havnivåstigningen vil sammen med stormflo kunne skape store problemer for kystmiljøer.

Overvann er en samlebetegnelse på nedbør, smeltevann og stormflo som renner av på tette flater. Overvannsflom, såkalt pluvial flom, oppstår når overvannsmengdene overskrider kapasiteten i ledningsnett. Når dette forekommer i tettbebygde områder får man urbane, pluviale flommer. Klimaendringer og økt urbanisering har bidratt til økende flomproblematikk de seneste årene, hvor pluviale flommer forårsaker flest skader i tettbebygde strøk (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 54).

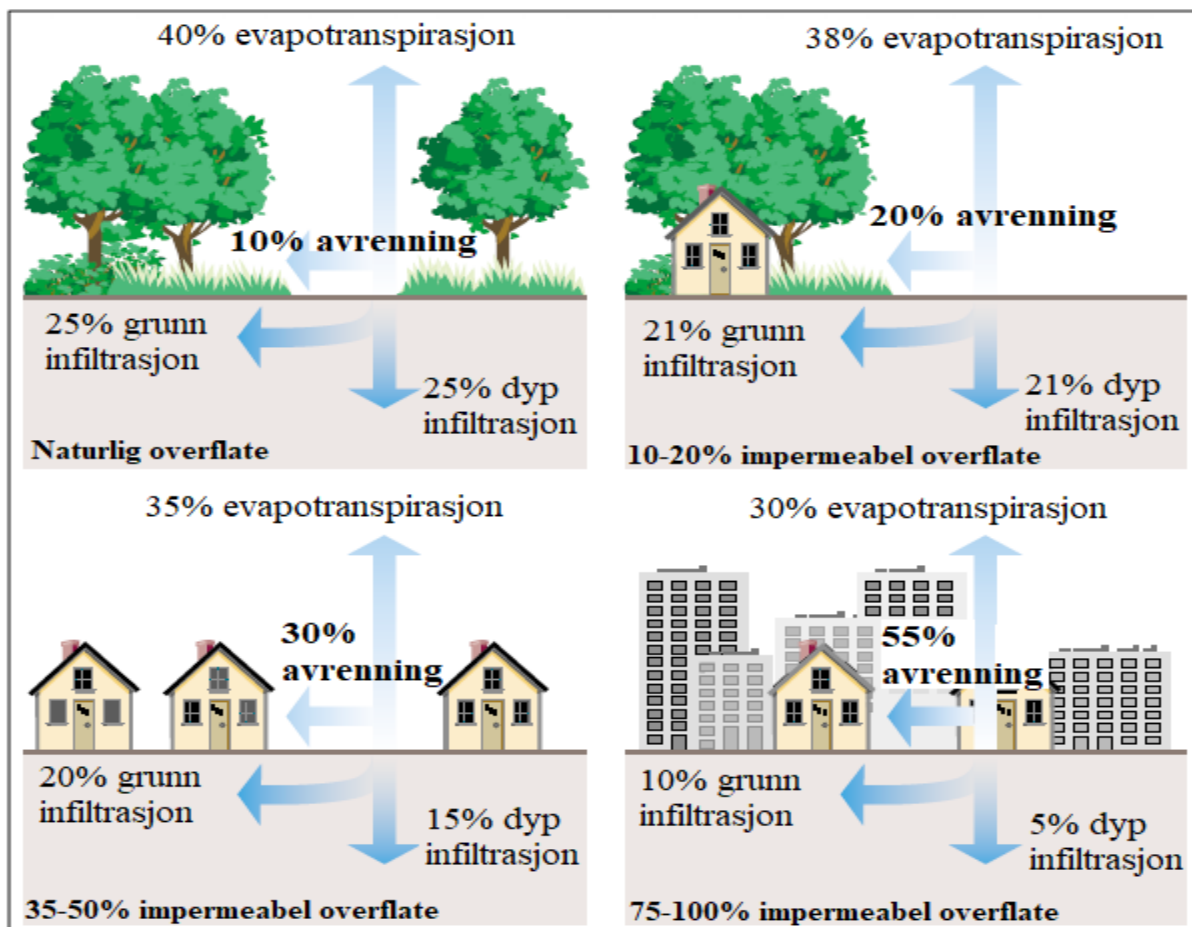
## 2.3 URBANISERING

Urbanhydrologi tar for seg det hydrologiske kretsløpet i bebygde områder. Kretsløpet kan beskrives av vannbalanseligningen som gir et bilde av hvor stor andel av nedbøren som bidrar til prosessene avrenning, transpirasjon, evaporasjon og endring i magasinert vannmengde i en gitt tidsperiode (Nilsen, 2017b). Ligningen er gitt som

$$P = Q + E + \Delta M \quad (1)$$

hvor  $P$  representerer nedbør,  $Q$  er avrenning både på overflaten og i grunnen,  $E$  er evapotranspirasjon (samlebetegnelse for transpirasjon og evaporasjon), mens  $\Delta M$  er endring i magasinert mengde over en tidsperiode (dette inkluderer innsjøer, elver, groper, på vegetasjon osv.).

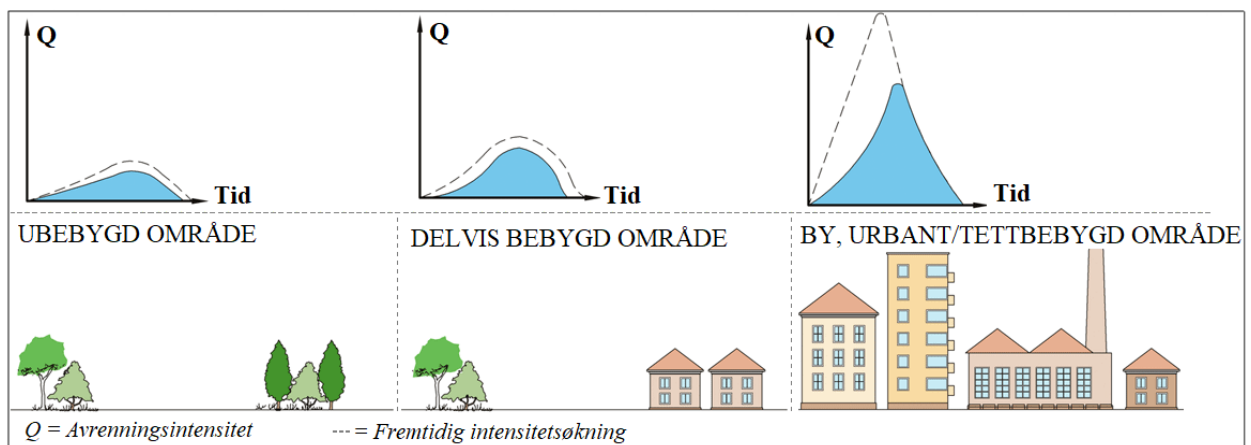
Urbanisering har stor innvirkning på forholdet mellom de ulike prosessene og sammen med klimaendringer og aldring i infrastruktur gir dette avrenningsproblemer og hydrologiske utfordringer i tettbebygde strøk (Norsk Hydrologiråd, 2011).



Figur 2-6: Forholdet mellom de ulike prosessene avrenning, evapotranspirasjon og infiltrasjon

og hvordan disse påvirkes av økt bebyggelse. Tallene er kun for å indikere forholdene og vil variere fra område til område. Tilpasset fra United States Department of Agriculture (2001).

Figur 2-6 illustrerer hvordan økt bebyggelse påvirker vannbalansen. Mesteparten av nedbøren som faller på det uberørte området infiltreres i bakken eller returneres til atmosfæren gjennom evaporasjon og transpirasjon – kun en liten andel bidrar til avrenning. Urbaniseringen fører til at de naturlige, gjennomtrengelige flatene byttes ut med tette flater, som asfalt, betong og hustak, mens trær og annen vegetasjon fjernes. Konsekvensene er redusert infiltrasjon, redusert evapotranspirasjon og økt overflateavrenning, både i intensitet og volum (Norsk Hydrologiråd, 2011). Et resultat av redusert infiltrasjon og økt overflateavrenning er at konsentrasjonstiden avtar. Konsentrasjonstiden kan defineres som den tiden det tar for nedbøren å bevege seg fra det ytterste punktet i nedbørfeltet til utløpet, med andre ord hvor lang tid det tar før hele feltet bidrar til avrenning. Avrenningstoppen vil også komme tidligere, da overflatevannet renner betydelig raskere på tette flater enn naturlige flater. Figur 2-7 illustrerer hvordan økende urbanisering påvirker avrenningsmengden og spissbelastningen ved en nedbørhendelse.



**Figur 2-7:** Urbaniseringens påvirkning på avrenningsmengde og intensitet. Tilpasset fra SINTEF Byggforsk (2012).

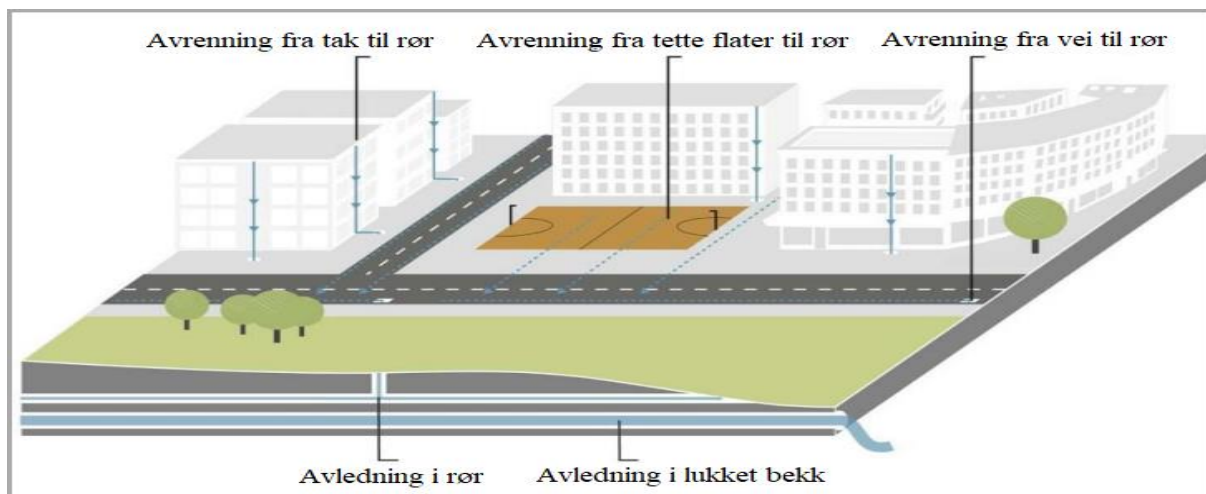
En annen utfordring ved urbanisering er økt forurensning av resipienter. Dette er en følge av at miljøgifter som akkumuleres i tørrværsperioder vaskes ut med overvannet under nedbørhendelser. Den økte avrenningen og de tette flatene fører både til spredning av større mengder miljøgifter og spredning over større områder (Moe, 2015, s. 24). Redusert infiltrasjon som fører til senkning av grunnvannstanden kan også gi store konsekvenser, da i form av setningsskader på hus og anlegg (Grunnvann i Norge, 2016).

Urbaniseringen er økende og i dag bor over 50% av verdens innbyggere i byer. Det er beregnet at allerede i 2050 vil 67% av verdens innbyggere være bosatt i urbane områder (Norad, 2013). Til sammenligning bodde 81% av Norges befolkning i byer i 2016 (Statistisk sentralbyrå, 2016a). Enhver befolkningsframskriving innehar store usikkerheter, endog er både nasjonale og internasjonale predikeringer at sentraliseringen – og med dette at urbaniseringen – vil fortsette. Eksempelvis viser statistisk sentralbyrås befolkningsframskriving som baserer seg på middels utvikling i fruktbarhet, levealder, innenlandske flyttinger og innvandring, at folketallet i Norge vil passere 6 millioner like etter 2030. Denne veksten er antatt og komme hovedsakelig i sentrale strøk og spesielt i de største byene (Statistisk sentralbyrå, 2016b). Dette vil trolig føre til flere utfordringer forbundet med overflateavrenning, og god overvannsdiskonering vil være avgjørende for å lykkes med å ivareta sikkerhet mot skade på helse, miljø og infrastruktur.

## 2.4 OVERVANNSDISPONERING

### 2.4.1 KONVENSJONELL OVERVANNSDISPONERING

Tradisjonell overvannsdiskonering i urbane strøk har basert seg på å lede bort overvannet raskest mulig i lukkede ledningssystemer under bakken (Ødegaard et al., 2014, s. 344). Figur 2-8 illustrerer konseptet.



Figur 2-8: Konvensjonell overvannsdiskonering. Illustrasjon av Hanna Haukøya Storemyr, tilpasset fra NOU (2015:16).

Overvannet transporteres i egne rør eller sammen med spillvann i felles ledningssystemer. Fellessystemer er mindre kostbare enn separatsystemer, men kan imidlertid gi stor belastning på ledningsnett og rensanlegg. Ved store nedbørhendelser vil avrenningen overskride

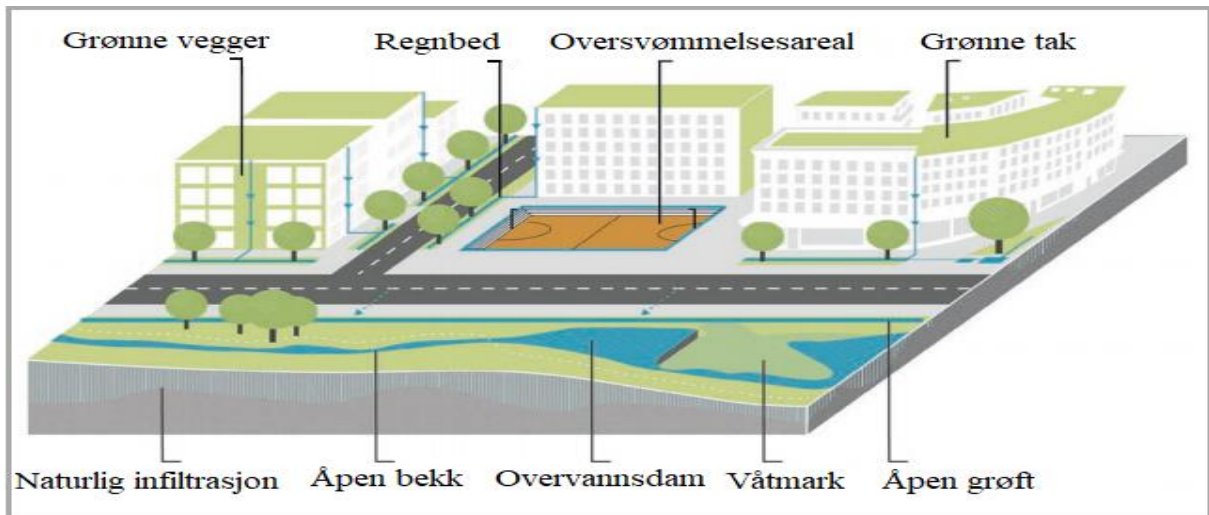
kapasiteten i ledningsnett, noe som fører til overtrykk i avløpsledninger. Dette kan resultere i tilbakeslag, ledningsbrudd og overløp. Tilbakeslag fører avløpsvann baklengs inn i avløpsnett og ut i kjellere og sluk, mens overløp fører til at urensset avløpsvann ledes direkte ut i naturen (DSB, 2016, s. 32). Tidligere var fellessystemet mest anvendt, men etter at kravene til rensing av avløpsvann ble strengere har det vært ønskelig å gå over til separatsystem (Vråle, 2009). I et separatsystem får man mindre fremmedvann til avløpsrenseanleggene, færre kjelleroversvømmelser, i tillegg vil vannet som føres tilbake til naturen være mindre forurenset (Lindholm, 2017a).

Både felles- og separatsystemer har begrenset kapasitet og overskuddsvannet vil flomme ut og kan gi store skader. Uavhengig av type avløpssystem vil derfor konvensjonell overvannsdisponering sammen med urbanisering og klimaendringer gi økt overflateavrenning. Dette fører til flere tilfeller av oversvømmelser, økt forurensning, setningsskader, vegetasjonsuttørking og mer kostnadskrevende anlegg (Ødegaard et al., 2014, s. 344). Kapasitetsøkning i eksisterende avløpssystemer er svært kostbart og ikke spesielt bærekraftig (VA/Miljøblad nr. 93., 2016). Andre metoder er nødvendige for å imøtekomme nåværende og fremtidige utfordringer knyttet til overvann. For å oppnå en framtidsrettet og bærekraftig overvannsdisponering har det vært økt fokus på å tilnærme seg den naturlige vannbalansen i området. Konseptet er kjent som lokal overvannsdisponering.

#### 2.4.2 LOKAL OVERVANNSDISPONERING

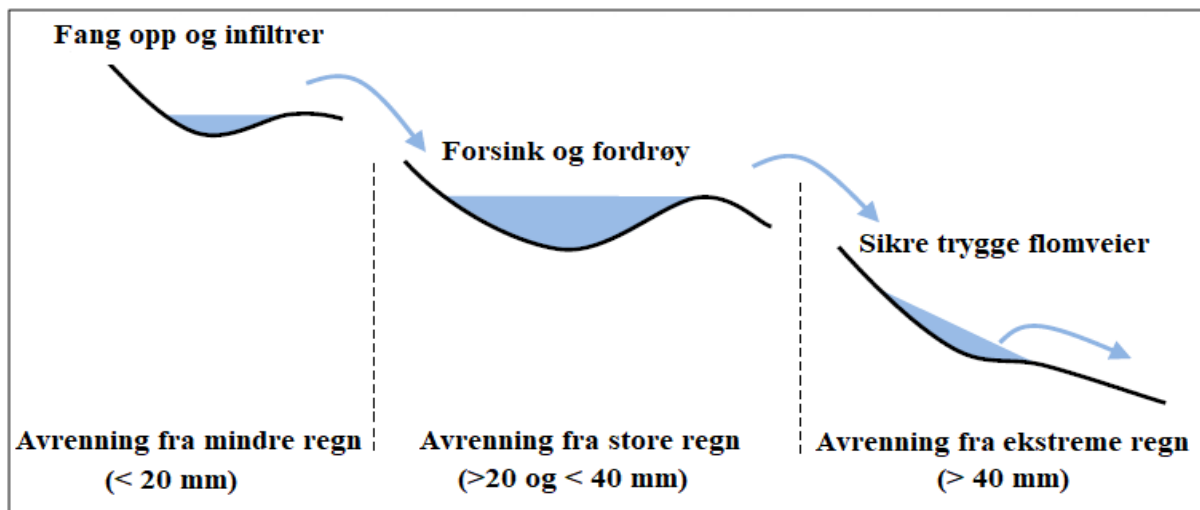
Lokal overvannsdisponering (LOD), illustrert i figur 2-9, er løsninger som håndterer overvann lokalt i form av fordrøyning- og forsinkelseelementer, infiltrasjon eller en kombinasjon av disse. Tiltaket infiltrasjon er avhengig av god gjennomtrengelighet i markoverflaten og vil føre til redusert overflateavrenning dersom den er god. Ved fordrøynings- og forsinkingstiltak holdes overvannet midlertidig tilbake og avløpsnett avlastes. Avrenningstoppen vil med dette reduseres og forsinkes. Løsningene kan benyttes alene eller som et supplement til konvensjonell overvannsdisponering.

LOD-tiltak må fungere godt både ved vanlig nedbør, ved flom og i tørrvær (Lindholm et al., 2008:162, s. 18). Tiltakene skal ta hensyn til sikkerhet, miljø og estetikk og tilpasses lokale forhold og behov. Eksempelvis vil det være hensiktsmessig å fokusere på overflatebaserte løsninger i Drammen siden grunnen hovedsakelig består av leire, og infiltrasjonskapasiteten følgelig vil være lav (Dahl, 2013).



Figur 2-9: Lokal overvannsdiskonering. Illustrasjon av Hanna Haukøya Storemyr, tilpasset fra NOU (2015:16).

Avhengig av omfanget på nedbøren deles tiltakene for lokal overvannsdiskonering ofte i tre deler; nevnte infiltrasjon og fordrøyning/forsinkning sammen med trygg avledning av overvannet. Inndelingen er kjent som *treleddsstrategien* og er et grunnleggende prinsipp for overvannsdiskonering (Kunduraci, 2016). Konseptet illustreres i figur 2-10.



Figur 2-10: Illustrasjon av treleddsstrategi for lokal overvannsdiskonering. Tallene er kun veiledende og vil variere fra område til område. Tilpasset fra Paus (2017).

I det første leddet skal nedbøren fanges opp og infiltreres. Dette kan gjennomføres av grønne tak, regnbed, porøse veidekker, infiltrasjon på gressplen eller øvrige lokale tiltak. Overvannet som ikke holdes tilbake i det første leddet renner videre til andre ledd, hvor avrenningen forsinkes ved hjelp av åpne fordrøyningsanlegg eller lukkede magasiner under bakken.

Eksempler på åpne fordrøyningsanlegg er våtmark, grønne vegger og swales (brede, grunne gresskledde grøfter) (Miljøkommune.no, 2016; VA/Miljøblad nr. 93. 2016).

Ved svært kraftige regnskyll hvor nedbøren ikke kan håndteres av de to første leddene, trenger man trygg og kontrollert avledning via flomveier. En flomvei kan eksempelvis være en ubebygd trasé i terrenget, en veigrøft eller en lavtrafikkert gate. For å klargjøre en gate til å lede vannet i ekstreme situasjoner kan man blant annet heve kantstein, senke gatelegemet (på korte strekninger) og sette inn tilbakeslagsventiler til utvalgte bygg. Siden overvann ofte er forurenset bør flomveiene frakte vannet via egnet behandlingsanlegg før det slippes ut til resipient. Dette gjelder spesielt overvann fra trafikkarealer (VA/Miljøblad nr. 92., 2009).

God overvannsdisponering utnytter overvannet som en ressurs og benytter det i størst mulig grad på overflaten som en synlig del av bybildet (Lindholm et al., 2008:162, s. 18). Positive effekter av en god helhetlig overvannsdisponering kan være redusert forurensing og opprettholdelse av grunnvannsnivå grunnet økt infiltrasjon, oppbinding av svevestøv og CO<sub>2</sub> grunnet mer vegetasjon, støyreduksjon, biologisk mangfold og økt trivsel grunnet blågrønne områder (NOU, 2015:16, s. 60; VA/Miljøblad nr. 93., 2016).

## **2.5 NEDBØR**

Nedbør er en meteorologisk betegnelse på vann som faller til jordoverflaten. Vannet kan være i flytende eller fast form og følgelig omfatter betegnelsen både snø, regn, hagl, sludd, yr og graupel (Dannevig, 2018). Nedbør dannes ved at varm luft (vanndamp) presses opp i høyden og blir avkjølt. Vanndampen kondenserer så på kondensasjonskjerner og danner bittesmå dråper eller iskrystaller. Dråpene/iskrystallene kolliderer med hverandre og danner større molekyler til de blir store nok til å falle (Nilsen, 2017b). Avhengig av årsaken til at vanndampen stiger deler man inn i fire hovedtyper nedbør: konvergensnedbør, frontnedbør, orografisk nedbør og konvektiv nedbør.

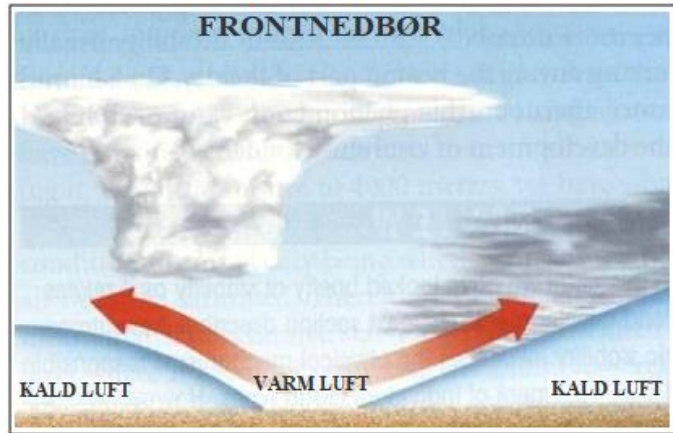
### **2.5.1 NEDBØRTYPER**

*Konvergensnedbør* dannes når varme luftstrømmer sør og nord for ekvator møtes og presser hverandre opp (Grodsky & Carton, 2002). Denne type nedbør finner man rundt den intertropiske konvergenssonen (ITCZ) og det er derfor vanlig å kun se på de tre resterende nedbørtypene i Norge.



*Frontnedbør*, også kalt stratiform- eller storskala nedbør, dannes når luftmasser med forskjellige fysiske egenskaper møtes, deriblant temperatur. Man skiller mellom kaldfronter, varmfronter og okkluderte fronter (Front: meteorologi, 2009).

I en varmfront glir den varme, lettere luften over den kalde og avkjøles. En varmfront har stor horisontal utstrekning og liten helning. Dette fører til at nedbøren sjelden blir voldsom og man får et jevnt vedvarende regn over et stort areal. I en kaldfront presser den kalde luften seg under den varme. Helningen på kaldfronten er bratt og har en mindre horisontal utstrekning enn en varmfront. Dette fører til at den



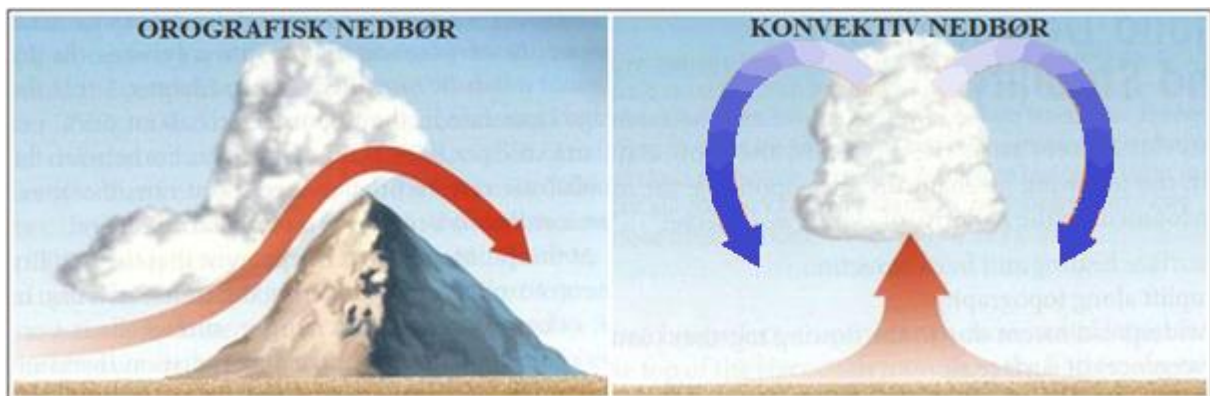
Figur 2-11: Illustrasjon av kaldfront til venstre og varmfront til høyre. Tilpasset fra Sorteberg.

varme luften blir presset raskt oppover, noe som gir høye og tykke skyformasjoner. Dette gir en intens og kortvarig nedbør over et mindre område enn ved varmfronter (Roholt). Figur 2-11 illustrerer forskjellen på frontene. Okklusjon kan ligne en varm- eller kaldfront. Vi får en okkludert front når en kaldfront innhenter en varmfront eller en stasjonær front. Et typisk nedbørbilde i en okkludert front er først preget av lagskyer og jevn nedbør, umiddelbart etterfulgt av bygevær (Okklusjon: meteorologi, 2018).

*Orografisk nedbør* dannes når fuktig luft blir presset opp i det den passerer en hindring, som illustrert i figur 2-12. Denne type nedbør er blant annet vanlig på Vestlandet der fuktig luft fra havet presses opp i møte med fjell. Orografisk nedbør kjennetegnes ved lang varighet og lav intensitet over et stort areal (Nilsen, 2017b).

*Konvektiv nedbør*, også kalt bygenedbør, dannes når man får kraftig oppvarming av jordoverflaten. Som vi ser av figur 2-12 stiger varm, fuktig luft samtidig som kaldere luft synker til omgivelsene. Den varme luften vil omsider avkjøles i høyden og kondensere. Denne nedbørtypen er dominerende i tropene, men kan også oppleves i Norge på sommeren. Nedbørtypen kjennetegnes ved kortvarig og kraftige regnskyll over et lite areal. Siden de fleste flomskader i bebygde strøk skyldes intense nedbør med varighet fra 10 minutter til noen få

timer er konvektiv nedbør ofte dimensjonerende for urbane systemer (DSB, 2016; Nilsen, 2017b).



Figur 2-12: Orografisk nedbør til venstre og konvektiv nedbør til høyre. Tilpasset fra Sorteberg.

### 2.5.2 KONSTRUERT NEDBØR

Konstruert nedbør, også kalt typeregner, lages for å etterligne reelle nedbørhendelser og benyttes som inngangsdata i avrenningsberegninger og –modeller. Ved konstruksjon tas det ofte utgangspunkt i grafer som viser sammenheng mellom intensitet, varighet og frekvens (IVF-kurve). Intensiteten er et mål på hvor mye nedbør det faller per tidsenhet, mens varigheten forteller hvor lenge nedbøren med gitt intensitet varer. Frekvens, også kjent som gjentakintervall eller returperiode, forteller hvor mange år det statistisk sett går mellom hver gang det inntreffer nedbør av en viss intensitet og varighet (VA/Miljøblad nr. 85., 2008). En nedbørhendelse med en returperiode på 100 år forventes altså å forekomme én gang i løpet av 100 år. Man benytter seg av IVF-kurver fra nærmeste målestasjon eller IVF-kurver for et område med likt nedbørsmønster dersom de lokale variasjonene er store. Vanligvis blir IVF-verdier kun beregnet for målestasjoner som har minst 10 år med kvalitetskontrollerte data (Norsk Klimaservicesenter).

Nedbørintensitet som funksjon av tid kalles for hyetogram. Det finnes mange valg av form på hyetogrammet; Kasseregn, trekantregn, symmetrisk blokkhyetogram, asymmetrisk blokkhyetogram, Chicago-metoden med flere (Nilsen, 2017b). Konstruksjonsmessig er kasseregn det enkleste, hvor man benytter en konstant intensitet for hele hendelsen. Det er imidlertid sjelden at dimensjonerende nedbør har konstant intensitet, og oftest har slike nedbørhendelser en toppintensitet noe tid etter at nedbøren startet. Følgelig er det ofte fordelaktig å benytte seg av symmetriske blokkhyetogrammer (Ødegaard et al., 2014, s. 349).

Et symmetrisk blokkhyetogram er symmetrisk om midtaksen og nedbørvolumet i de x mest intensive minuttene tilsvarer et kasseregner fra IVF-kurven med varighet x minutter. Fordelen med denne metoden er at avrenningsforløpet og maksimal avrenning blir mer realistisk enn ved et kasseregner og man får dimensjonerende intensiteter for mange varigheter samtidig (Nilsen, 2017b).

## 2.6 OVERVANNSMODELLERING

Modellering er et forsøk på å beskrive virkeligheten ved bruk av matematiske formler. Noen fenomener er enklere å modellere enn andre, og man kan i slike tilfeller benytte seg av manuelle metoder for å oppnå resultater. Mer avanserte modeller har ofte så lange og omfattende algoritmer at kun datamaskiner benyttes. Ved modellering av avrenning får man innsikt i hvordan overvanns- og avløpssystemer fungerer og man bedrer grunnlaget for å planlegge og velge riktige løsninger for overvannsdistribusjon.

### 2.6.1 MANUELLE METODER

Nedbør-avløpsmodeller er metoder som bruker et sett med hydrologiske parametere for å karakterisere et avløp og beregne tilsvarende avrenning. Den mest anvendte manuelle metoden er den rasjonale metode:

$$Q = \Phi IA \quad (2)$$

der  $Q$  representerer avrent vannføring i liter per sekund,  $I$  er nedbørintensiteten målt i liter per sekund per hektar,  $A$  er nedbørfeltets areal målt i hektar og  $\Phi$  er feltets avrenningskoeffisient som representerer forholdet mellom avrent nedbør på overflaten og nedbørmengde.

Metoden benyttes i små urbane nedbørfelt og er anbefalt av Statens Vegvesen for nedbørfelt mindre enn 2-5km<sup>2</sup>, NVEs retningslinjer anbefaler derimot at den kun benyttes for nedbørfelt mindre enn 0.5km<sup>2</sup> (VA/Miljøblad nr. 93, 2016). Det er store usikkerheter knyttet til metoden, da beregnet vannføring er følsom for beregnet konsentrasjonstid i feltet og valgt avrenningskoeffisient. Usikkerheten øker med størrelsen på nedbørfeltet.

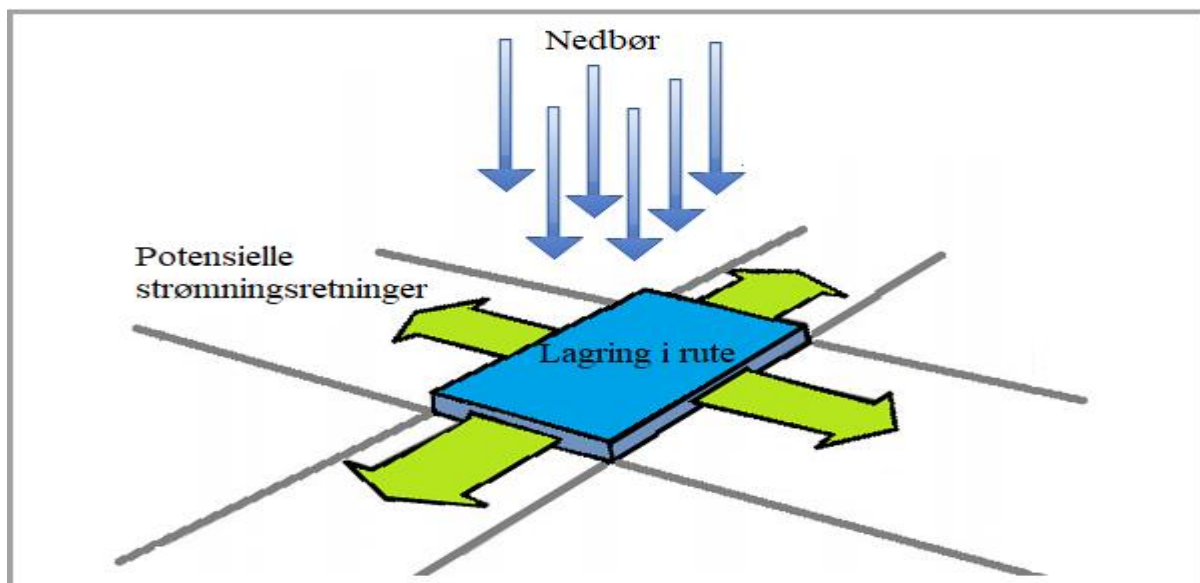
Dersom man ønsker å få fram betydningen av hvordan de ulike avrenningsbidragene fra delfeltene påvirker avrenningen i utslippspunktet kan man anvende summasjonskurvemetoden. Med utgangspunkt i feltets felles utløpspunkt vil metoden vise når delfelt begynner å bidra til

avrenning, når bidraget er fullt utviklet, når reduksjon i bidraget starter og når bidrag fra et delfelt er avsluttet (Lindholm, 2017b). Dette er også en manuell metode som kan gi gode overslagsverdier.

## 2.6.2 NUMERISKE METODER

Når det gjelder større og mer komplekse områder og/eller ved behov for mer nøyaktighet benyttes databaserte modeller som beregner, analyserer og predikerer hendelsesforløp langt raskere enn manuelle metoder. Slike modeller innehar usikkerheter som forsøkes redusert ved verifisering, kalibrering og validering. Kilder til usikkerheter kan være feil i inngangsdata, feil i selve modellen eller manglende forståelse hos bruker. Ved modellverifikasjon sjekker man at modellen løser de matematiske ligningene riktig. Kalibrering er en følsomhetsanalyse hvor man sjekker hvor sensitiv modellen er for endringer i inngangsdata og justerer parametere for å få overensstemmelse mellom målte og modellerte resultater. Modellen valideres ved å etterprøve oppnådde resultater med andre observasjoner og/eller målinger (Engan, 2015).

Overvannsmodellering kan gjennomføres ved bruk av enkle GIS-analyser eller todimensjonale hydrauliske modeller. GIS-analyser identifiserer forsenkninger i terrenget og ved hjelp av verktøy for strømningsretning og akkumulert strømming kan man definere drenslinjer. Strømningsretningen bestemmes av en D8-algoritme, hvor man tenker seg at nedbøren som faller i en rute vil strømme til den av de åtte omliggende rutene med lavest verdi. Det utføres imidlertid ingen hydrauliske beregninger og bruker får dermed ingen informasjon om hvilke vannmengder det er snakk om. Hydrauliske 2D-modeller kan i motsetning til GIS-analyser simulere tidsforløp, vannfordeling, vanndybde, hastighet og vannføring (Salmonsson, 2015). Der GIS-analyser kun lar vannet strømme i én retning har 2D-modeller fire potensielle strømningsretninger, noe som gir et langt mer korrekt bilde av overflatestrømmingen. Figur 2-13 illustrerer prinsippet.



Figur 2-13: Potensielle strømningsretninger i en todimensjonal hydraulisk avrenningsmodell. Laget av forfatter, inspirert av Engineers Australia (2012).

Det er også mulig å modellere hydraulikken langs forhåndsdefinerte drenslinjer med endimensjonale modeller, men dette er en tungvint prosess som stiller store krav til inngangsdata. Det er dessuten nært umulig å beskrive alle drenslinjene i en 1D-modell, og metoden ses på som utdatert (Salmonsson, 2015). Det finnes imidlertid endimensjonale hydrauliske modeller som beregner vannets oppstuvning i ledningsnett. Disse er av interesse, da de kan kombineres med 2D-avrenningsmodeller og resultere i en mer helhetlig modell som beskriver dynamikken mellom avløpssystemet og overflateavrenningen ved en nedbørhendelse (Engineers Australia, 2012).

## 2.7 MIKE 21 FLOW MODEL

MIKE 21 Flow Model er et hydraulisk modelleringssystem utviklet av DHI for simulering av todimensjonal strømning med fritt vannspeil. Dataprogrammet er utviklet for avanserte applikasjoner innen hav- og kystområder, men kan også benyttes til modellering av innsjøer, reservoarer og urbane flommer så fremt lagdeling neglisjeres (DHI, s. 1; DHI, 2017a, s. 13).

Det er to moduler innen MIKE 21 som representerer topografien på ulike måter; flexible mesh og raster. Terrenget i et flexible mesh representeres av uregelmessige firkanter og triangler i ulike størrelser. I dette formatet kan inngangsdata med ulik romlig oppløsning benyttes

sammen. Denne muligheten innehar ikke et raster da terrenget representeres av firkanter av samme størrelse strukturert i et rutenett. Videre beskrivelse omhandler raster.

Modelleringsystemet baserer seg på numerisk løsning av Navier-Stokes-ligningene som beskriver hvordan hastighet, trykk, temperatur og densitet til et bevegelig fluid er relatert. Ligningene uttrykkes ved bevaring av masse og bevegelsesmengde og vil ved integrasjon over vanndybden beskrive variasjoner i vannføring og vannivå. Integrasjonen baseres på forutsetningen om at den horisontale lengden er betydelig større enn den vertikale. Dette fører til at vertikale hastigheter blir ubetydelige og kan neglisjeres, vertikale trykkgradienter ses på som hydrostatiske og horisontale trykkgradienter vil skyldes forflytning langs overflaten (Toombes & Chanson, 2011, s. 5). Ligningen for bevaring av masse integrert over vanndybden er gitt ved

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (3)$$

der  $\zeta$  representerer terreng høyde,  $p$  og  $q$  gir flukstetthet i henholdsvis  $x$ - og  $y$ -retning,  $d$  representerer tidsvarierende vanndybde og  $t$  er tid (DHI 2017a).

Bevegelsesmengde integrert over vanndybden i  $x$ - og  $y$ -retning er gitt i henholdsvis ligning 4 og 5

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \\ \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] + \\ \Omega q - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

der  $\zeta$ ,  $p$  og  $q$  er som tidligere definert,  $h$  er vanndybde,  $g$  er tyngdeakselerasjon,  $C$  er Chezys ruheffisient,  $\rho_w$  er vannets tetthet,  $\tau_{xx}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yy}$  er komponenter for effektiv skjær-spenning,  $\Omega$  er Coriolisparameter,  $f$  er faktor for vindfriksjon,  $V$  er vindhastighets-komponenter i  $x$ - og  $y$ -retning og  $p_a$  er atmosfærisk trykk (DHI 2017a).

Modellen løser den romlige diskretiseringen av ligning (4) og (5) ved å anvende en cellediscretisert endelig volummetode. Den eksplisitte differensialmetoden «upwind» benyttes til tidsintegrasjonen og begrenser tidssteget i simuleringene ved å tilfredsstille Courant-Friedrich-Lewy-tilstanden. Tilstanden representeres av et spesifikt tall, Courant-tallet, som bør være mindre enn en gitt verdi for å unngå ustabile resultater. I denne oppgaven ønskes Courant-tallet mindre enn 1. Dette skal føre til at informasjonen får nok tid til å forplante seg gjennom romdiskretiseringen. Courant-tallet for raster er gitt ved

$$C_R = \sqrt{gh} \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (6)$$

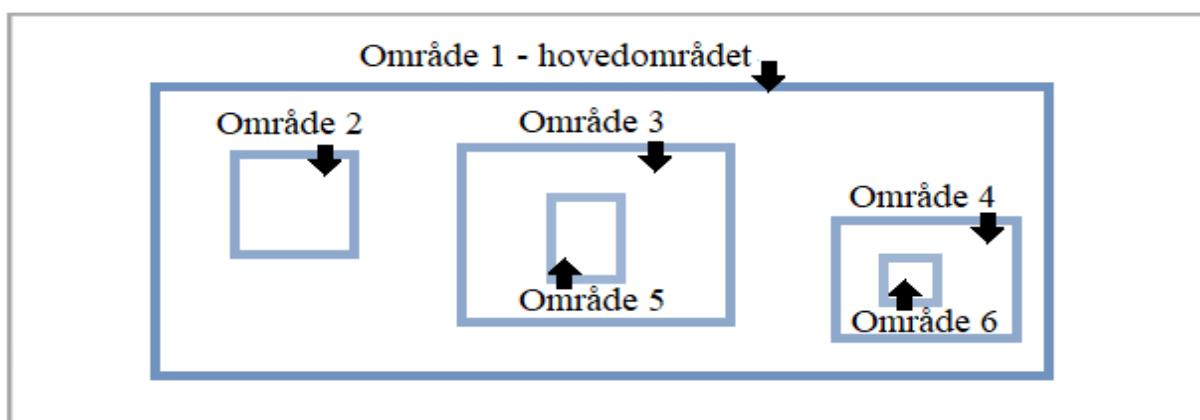
der  $g$  og  $h$  er som tidligere definert,  $\Delta t$  er tidssteg og  $\Delta x$  er bredden til en rute i rasteret.

### 2.7.1 MODELLPARAMETERE

En MIKE 21-modell består av et parameteroppsett og koblinger mot andre datafiler som legges til og endres i programmets brukergrensesnitt, MIKE Zero. Formålet med analysen bestemmer hvilke parametere som inngår i modellen og hvilke som kan neglisjeres. En kortfattet beskrivelse av relevante parametere for simulering av overflateavrenning presenteres i det følgende.

#### Terrengmodell – Bathymetry

Terrengmodellen beskriver modelleringsområdets topografi og er en av de viktigste inngangsparametere i avrenningsmodellen. Den topografiske informasjonen er lagret som høydeverdier i firkanter av samme størrelse strukturert i et rutenett. I MIKE 21 kan man ha opptil ni modelleringsområder med ulik oppløsning. Prinsippet illustreres i figur 2-14.



**Figur 2-14:** Illustrasjon av hvordan bathymetrien til en avrenningsmodell med flere modelleringsområder kan se ut. Laget av forfatter, inspirert av DHI (2017a).

Dersom det benyttes flere terrengmodeller i samme avrenningsmodell må man forholde seg til flere spesifikke regler. Deriblant er det et krav om at forholdet mellom den horisontale romlige oppløsningen fra en modell til neste er lik 3. Det vil si

$$\Delta x_{\text{grov oppløsning}} = 3\Delta x_{\text{fin oppløsning}} \quad (7)$$

Faktoren på 3 har blitt funnet passende for et bredt utvalg applikasjoner (DHI, 2017a, s. 121).

### Grensebetingelser – Boundary

Når terrengmodellen etableres under «Bathymetry» vil programmet søke etter alle åpne grenser. I grunnparameteren «Boundary» etableres grensebetingelsene som programmet fant når defaultsettingen *Program detected* er markert. Det er også mulig for bruker å definere utløp, da velges *User specified*. Ifølge den hydrodynamiske manualen til MIKE 21 er det tillatt med åtte utløp som spesifiseres med start- og sluttkoordinater. Forfatter har registrert at det tillates å legge til hele 14 grenser, men har ikke forsøkt å kjøre en modell med det antallet. Under de hydrodynamiske parameterne avgjøres det om grensebetingelsene tar utgangspunkt i vannivå eller -fluks. Både vannivå- og fluks kan defineres fra ulike inngangsfiler eller som en konstant verdi.

### Kilde og utløp – Source and Sink

I modellen kan Source and Sink defineres som en isolert kilde, et isolert utløp eller et sammensatt kilde-utløp-par. En isolert kilde etableres som en celle i modellen hvor mengde vann og hastighet på vannet inn i modellen defineres. En kilde påvirker både kontinuitets- og bevegelsesmengdeligningen. Et isolert utløp etableres som en celle i modellen hvor vannføring ut av modellen defineres. Utløpet vil kun påvirke kontinuitetsligningen. I et kilde-utløp-par vil mengden vann som fjernes i utløpet komme inn i modellen igjen fra kilden med en definert hastighet.

### Flom og tork – Flood and Dry

Parameteren «Flood» representerer minimumsverdien for det vannivå som må oppnås i en celle for at cellen skal bli tatt med i beregningene. Hvis en våt celled vannivå faller under verdien satt for parameteren «Dry» vil cellen bli tatt ut av beregningene igjen. Programmet inkluderer med andre ord bevegelsesmengdeligningen i beregningen når vannivået overstiger verdien satt for «Flood», og kobles ut når vannivået er lavere enn verdien satt for «Dry».



Ved simulering i urbane områder (når *inland flooding* er markert) er anbefalte verdier for tørket dybde i området 0.001 – 0.02 m og flomdybde i området 0.002 – 0.05 m, med forutsetningen at flomdybden er større enn tørket dybde (DHI, 2017a, s. 100).

Dersom tørk og flom oppstår raskt etter hverandre vil det føre til ustabile beregninger. For å unngå dette vil en i utgangspunktet tørr celle bli satt til våt dersom cellene direkte over, under, til høyre og venstre er våte. Ett unntak er hvis den tørre cellens vannivå er tilnærmet null – den vil i så tilfelle forbli tørr.

### Nedbør – Source and Sink

Under Source and Sink defineres nedbøren og evapotranspirasjonen som skal benyttes i beregningene. Sammen med terrengmodellen er nedbør den viktigste inngangsdataen i avrenningsmodellen. Både nedbøren og evapotranspirasjonen kan defineres som en konstant verdi i alle rutene, varierende i tid eller varierende i tid og rom. Ved korte hendelser sees det bort fra evapotranspirasjon (Nilsen, 2017c). Ofte benyttes konstruerte nedbørhendelser som er varierende i tid, eksempelvis et symmetrisk regnhyetogram.

### Infiltrasjon – Infiltration

Infiltrasjon har betydelig innvirkning på avrenningen (Abry, 2016). Forhold som påvirker infiltrasjonsevnen er jordas fysiske egenskaper som kornstørrelse, porøsitet og metningsgrad, samt vegetasjon og terrengets helning. Infiltrasjonskapasiteten, jordens evne til å oppta vann, avhenger av jorddybde, lagdeling og grunnvannsstand. Ved nedbørshendelser vil infiltrasjonen avta med tiden ettersom bakken stadig blir fuktigere og mer mettet med vann. Effekten av infiltrasjon kan inkluderes i modellen som netto infiltrasjon eller konstant infiltrasjon med kapasitet. Det er også mulig å ikke ta hensyn til infiltrasjon.

### Eddyviskositet – Eddy Viscosity

Skjærspenningen fra bevegelsesmengdeligningene (4) og (5) inkluderes i modellen ved bruk av eddyviskositet. I modellen kan eddyviskositeten inkluderes på én av tre måter; som en konstant verdi for hele området, med forhåndsdefinerte (konstante) verdier for hver celle eller med dynamisk beregning ved Smagorinskys formel. Det er også mulig å utelate parameteren fra modellen (DHI, 2017a, s. 60 og 97). Ved bruk av Smagorinskys formel må en Smagorinsky koeffisient velges mellom 0.25 og 1.0.

### Overflateruhet – Resistance

Overflateruhet påvirker hvor raskt vannet beveger seg på overflaten. Ifølge Abry (2016) har ruhet en begrenset effekt på utbredelse av oversvømmelser i en MIKE-modell, men innvirkning på drenslinjer og vannhastigheter. Det ses på som en nødvendig parameter for å øke påliteligheten til modellen. Glatte og harde underlag kjennetegnes ved høye ruhetstall, og høye ruhetstall fører til høy hastighet. Følgelig påvirker ruheten friksjonen. I modellen kan ruhet defineres som et Chezy-tall, en bølge forårsaket av overflatemotstand eller et Manningstall. Man kan finne Manningstallet blant annet av Mannings formel for friksjonstap

$$v = MR^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

*der  $v$  er gjennomsnittlig vannhastighet i et tverrsnitt,  $M$  er Mannings ruhetstall,  $R$  er hydraulisk radius og  $I$  er helningen. Den hydrauliske radiusen representerer forholdet mellom strømningsarealet og våt perimeter.*

Hydraulisk radius kan settes lik vanndybden når bredden i vannstrømmen er mye større enn dybden. Denne forenklingen benyttes i modellen.

### 2.7.2 UTGANGSDATA

MIKE 21 kan danne tre ulike filformater. De ulike formatene beskriver variasjon i tid, variasjon i tid langs en linje eller variasjon i tid i et todimensjonalt rom (x- og y-koordinater), henholdsvis dfs0-format, dsf1-format og dsf2-format. Nedbørfiler er eksempelvis på dsf0-format, mens selve resultatfilen er på dsf2-format. Det kan simuleres resultater for vannivå, fluks, hastighet, skjærspenning med mer. Bruker velger ønskelige resultater før simuleringen startes. Resultatfiler består av rutenett av samme dimensjon som benyttet batymetri.

## 2.8 ARCGIS DESKTOP

ArcGIS Desktop er et geografisk informasjonssystem (GIS) utviklet av Environmental Systems Research Institute (ESRI). Programmet inkluderer en rekke integrerte applikasjoner for oppretting, analyse, administrasjon, redigering og visualisering av geografiske data, deriblant ArcMap, ArcCatalog og ArcToolbox.

Den viktigste modulen i ArcGIS Desktop er ArcMap (Oterholm, 2008, s. 1). Applikasjonen benyttes til alle kartbaserte oppgaver, som kartografi, kartanalyse og redigering. ArcMap har ulike layouts for å vise et karts geografiske data og kan utføre et bredt spekter av avanserte GIS-

oppgaver. Modulen ArcCatalog benyttes til å organisere, finne og bruke GIS-data, samt definere og bygge geodatabaser. ArcToolbox gir tilgang til en rekke ulike verktøy for analyse, redigering og modellering (ESRI Developer Network).

Avhengig av formålet med modelleringen kan man benytte seg av utvidelser for å få tilgang til flere verktøy. En kortfattet beskrivelse av relevante parametere innen utvidelsene «3D Analyst» og «Spatial Analyst», samt et par konverteringsverktøy presenteres i det følgende.

#### Point File Information (3D Analyst)

Verktøyet genererer statistisk informasjon om en eller flere punktfiler i en polygon eller tredimensjonal geometri.

#### LAS to Multipoint (3D Analyst)

Verktøyet konverterer laserpunkter til lesbare multipoints fra en eller flere lidarfiler.

#### Reclassify (3D Analyst)

Verktøyet erstatter (reklassifiserer) verdiene i et raster med nye verdier.

#### Terrain to Raster (3D Analyst)

Verktøyet konverterer terrengdatasett til raster ved interpolering.

#### Plus (Spatial Analyst)

Verktøyet danner ett raster ved summasjon av verdiene til to raster.

#### Fill (Spatial Analyst)

Verktøyet fyller forsenkninger og topper i modellen. Verktøyet illustreres i figur 2-15.



Figur 2-15: Illustrasjon av verktøyet Fill.

#### Flow Direction (Spatial Analyst)

Verktøyet regner ut hvilken retning vannet vil ta fra hver celle basert på en D8-logartime.

### Flow Accumulation (Spatial Analyst)

Verktøyet beregner hvor mange celler som strømmer til hver enkelt celle.

### Minus (Spatial Analyst)

Verktøyet subtraherer et raster fra et annet, og danner ett raster.

### Raster to Polyline (Conversion)

Verktøyet konverterer filer fra rasterformat til vektorlinjer. Endringene illustreres i figur 2-16.

Verktøyet benyttes for å bedre visualisere resultater.

### Raster to Polygon (Conversion)

Verktøyet konverterer fra rasterformat til polygoner bestående av vektorer. Endringene illustreres i figur 2-16. Verktøyet benyttes for å bedre visualisere resultater.



Figur 2-16: Illustrasjon av hvordan polygoner og linjer dannes fra rasterfiler.

## **2.9 TIDLIGERE ARBEID**

Denne oppgaven baserer seg på tidligere masteroppgaver som også inngår i forskningsprosjektet «Regnbygge 3M», med særlig vekt på oppgaven av Grimnes høsten 2017 og Johansen og Moldekleivs oppgave våren 2016.

Grimnes oppgave gikk ut på å modellere effekten av flomforebyggende tiltak i et urbant område. Hun kom fram til at de største feilkildene i modellen mest sannsynlig var forbundet med for lav oppløsning av terrengmodellen, at det ikke var tatt hensyn til infiltrasjon og korreksjon på grunn av unaturlige høydeforskjeller. Ulike deler av målsettingene i denne oppgaven ser nærmere på disse antatte feilkildene.

Johansen og Moldekleiv sammenlignet avrenning i ArcGIS med avrenning fra MIKE 21 og MIKE Flood. Nedbørfilene og avgrensningsområdet etablert av Johansen og Moldekleiv er

benyttet i denne oppgaven, i tillegg til framgangsmåte for dannelse av terrengmodell og aktsomhetskart.

Andre oppgaver publisert av Norges miljø- og biovitenskapelige universitet i regi av 3M Regnbygge er

- Kjøølseth og Vatnes (2017) oppgave om hvordan værradardata kan benyttes som nedbørdata i en MIKE21-modell,
- Abrys (2016) oppgave som vurderte effekten av infiltrasjon og ruhet i en MIKE21-modell og
- Myrvoll (2015) og Murtnes (2015) oppgaver som tok for seg metodikk for produksjon av aktsomhetskart i ArcGIS.

Fra andre instanser kan bacheloroppgaven utgitt ved Høyskolen i Østfold av Gryga, Hellesjø, Hystad og Myrvold (2015) nevnes, hvor det blant annet ble forslått fordrøyningstiltak basert på drenglinjer generert i ArcGIS.

## 3 METODE

### 3.1 MODELLERING MED ARCGIS

Det ble etablert en digital terrengmodell ved bruk av ArcGIS. Formålet var å danne en oppdatert terrengmodell med det nyeste av LiDAR- og FKB-data til anvendelse ved videre forskning.

I denne oppgaven skal den digitale terrengmodellen benyttes til å utføre overvannsanalyse i ArcGIS (GIS-analyse) og som inngangsdata i MIKE 21-modeller.

#### 3.1.1 ETABLERING AV DIGITAL TERRENGMODELL

Etableringen av den digitale terrengmodellen er basert på Johansen & Moldekleivs (2016) metode. Oppbygningen tar utgangspunkt i utvalgte LiDAR- og FKB-data. Henviser til vedlegg A for detaljert beskrivelse.

#### Analyseområdet

For å legge til rette for best mulig sammenligning mellom tidligere og eventuelle framtidige oppgaver ble analyseområdet etablert av Johansen & Moldekleiv (2016) benyttet. Området, illustrert i figur 3-1, er et nedbørfelt på 27m<sup>2</sup> som befinner seg på sørsiden av Drammenselven. Det består av bydelsområdene Gulskogen, Strømsgodset, Strømsø, Tangen, Fjell, Åskollen og Eikhaugen.



Figur 3-1: Analyseområdet. Hentet fra Johansen & Moldekleiv (2016).

Topografien for nedbørfeltet varierer fra flate, urbane områder nært Drammenselven til brattere terreng og skogsområder lengre sør. Dette i kombinasjon med leireholdig grunn gjør området nærmest elven svært utsatt for flom.

#### LiDAR-data: Datainnsamling med flybåren laserskanner

Terrengmodellen baserer seg på laserskanninger utført av Blom Geomatics AS, tilgjengelig fra nettsiden hoydedata.no. Fra laserskanning oppnås tredimensjonal oppmåling av overflaten ved å sammenligne tidsforsinkelser og frekvensforskyvning i utsendt og reflektert lys (Holtet, 2018). Nyeste data for Drammensområdet per februar 2018 er målt i tidsrommet 8. mai - 7. juli 2015. 99.2% av de oppmålte rutene har høyere tetthet enn 5 punkter per kvadratmeter. Laserdataene har koordinatsystem ETRS 1989 UTM Zone 32N med orometriske høyder i NN2000. Se vedlegg A for informasjon om hvordan man laster ned dataene.

For å kunne benytte dataene i terrengmodellen ble de konvertert fra las- til multipointformat. Av multipunktene ble det gjennomført en utvelgelse der kun terrengpunkter ble valgt. Videre behandling gikk ut på å fjerne punkter på og opptil 30 centimeter fra bruer og overganger for å unngå at disse ble oppfattet som terreng og med dette hindret vannstrømningen.

#### FKB-data

Felles kartdatabase (FKB) består av forskjellige datasett som sammen danner det offentlige kartverket i Norge på digital form. Datasettene kan blant annet inneha informasjon om toglinjer (bane), innsjøer, adresser, flyplasser, vei og eiendom.

I denne oppgaven er det benyttet datasett for vei, bane, vann og bygninger. FKB-dataene er utsendt av Drammen kommune og har alle koordinatsystem ETRS 1989 UTM Zone 32N med orometriske høyder i NN2000. Dataene består av informasjon i form av polygoner, linjer og punkter og valgt filformat på tilsendingen er shape. Det henvises til vedlegg A ved tabell A – 1, A – 2, A – 3 og A – 4 for oversikt av innhold i mottatt datasett, samt oversikt av hvilke objekter som ble lastet inn.

Behandling av FKB-dataene gikk ut på å fjerne vei- og banelementer som kunne hindre vannstrømning. Dette gjaldt i hovedsak bruer og overganger, men for veielementene ble også de største tunellene langs E138 og E18 fjernet. Data som representerer bygninger ble hevet for å sørge for vannstrømning *rundt* bygningene. Objektene som representerer Drammenselven ble

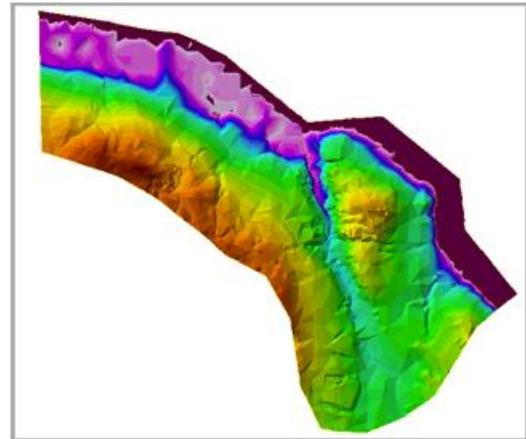
senket slik at alt vannet, foruten det som blir liggende igjen i forsenkninger, renner ut i elven. Siden FKB-data for innsjøer og objektene som representerer Drammenselven har konstant høyde kan disse erstatte laserdata for samme områder. Dette ble utnyttet ved etablering av terrengmodellen.

### Digital terrengmodell

Terrengmodellen ble dannet av de behandlede laserpunktene, behandlet FKB-data for vann, bane og vei og filen av analyseområdet.

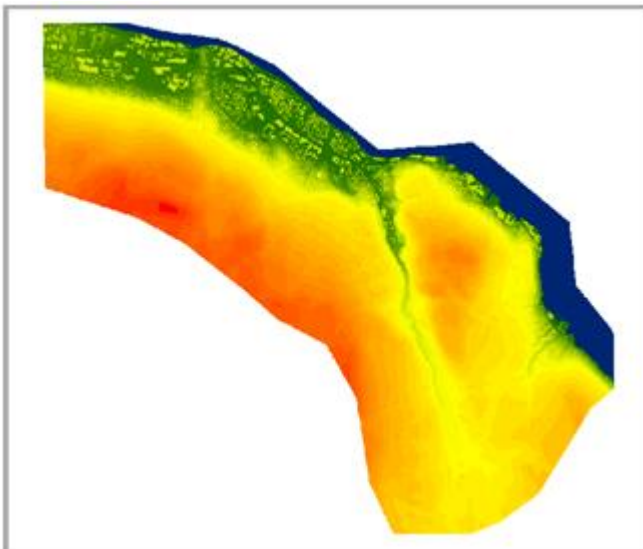
Figur 3-2 illustrerer resultatet.

Modellen inneholder ikke bygningene, så disse må legges til slik at ønskede analyser kan utføres. Både terrengmodellen og bygningene konverteres til rasterformat slik at disse kan slås sammen til én komplett modell. Oppløsningen på rutene ble valgt til 0.8x0.8 meter.



Figur 3-2: Illustrasjon av etablert terreng i ArcGIS.

Fullstendig terrengmodell i rasterformat illustreres i figur 3-3. Denne ble benyttet videre til overvannsanalyser i ArcGIS og MIKE 21.



Figur 3-3: Etablert terrengmodell inkludert bygninger på rasterformat med oppløsning 0.8x0.8 meter.



### 3.1.2 GIS-ANALYSE

GIS-analyse ble utført og aktsomhetskart ble produsert for sammenligning med aktsomhetskart dannet av Johansen & Moldekleiv (2016). Det henvises til vedlegg B for detaljert beskrivelse av framgangsmåte.

#### Definere drenslinjer

Det er ønskelig at modellen kontinuerlig drenerer vannet videre til neste rute. For å sikre kontinuerlig vannstrømning uten akkumulering i lavbrekk ble verktøyet «Fill» benyttet til å fylle forsenkningene i terrengmodellen. Videre ble strømningsretning definert med verktøyet «Flow Direction». Strømningsretningen bestemmes av en D8-algoritme, hvor nedbøren som faller i en rute vil strømme til den av de åtte omliggende rutene med lavest verdi. Basert på det dannede rasteret for strømningsretning kan akkumulert strømning inn i hver rute beregnes ved bruk av verktøyet «Flow Accumulation». Resultatet fra «Flow Accumulation»-verktøyet er et raster med strømningslinjer. Med verktøyet «Reclassify» ble strømningslinjene delt i ulike klasser ut ifra størrelsen på arealet som drenerer til den enkelte linje. Klassifiseringen av drenslinjene er basert på fremgangsmåten av Meiforth (2013), hvor terskelverdier ble definert fra tidligere målinger av vannmengder under flomhendelser i Trondheim. Målingene viste at flommer blir problematiske når strømningslinjene overskrider  $2000\text{L/s}\cdot\text{km}^2$  og at store flomhendelser oppstår når vannføringen i mindre elver overskrider  $100\text{L/s}$ . Verdiene gjelder urbane områder. Hvor stort arealet som drenerer til elvene må være for å oppnå denne vannføringen ble beregnet ved å sette opp følgende ligning:

$$\frac{2000\text{L}}{\text{s}\cdot\text{km}^2} = \frac{100\text{L}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{A} \quad \rightarrow \quad A = \frac{100\frac{\text{L}}{\text{s}}}{\frac{2000\text{L}}{\text{s}\cdot\text{km}^2}} = 0.05\text{km}^2 = 50,000\text{m}^2$$

Basert på feltundersøkelser ble terskelverdien for tilsvarende areal i ikke-urbane områder satt lik  $25,000\text{m}^2$  (Murtnes, 2015). Ettersom Meiforths verdier er gitt i henhold til et raster på  $1\times 1$  meter, ble verdiene tilpasset rasteret i denne oppgaven.

#### Definere forsengkninger

For å identifisere forsengkninger i modellen hvor vann kan akkumuleres ble verktøyet «Minus» benyttet til å subtrahere modellen med forsengkninger fra den fylte modellen. Verdiene man står igjen med etter subtraksjonen representerer forsengkningene. Erfaringer fra Meiforth (2013)

tilsier at denne framgangsmåten er å foretrekke framfor ArcGIS-verktøyet «Sink (Spatial Analysis)» som skal beregne dette direkte. Klassifiseringsverktøyet «Reclassify» ble igjen benyttet til for å klassifisere forsenkningene ut ifra dybde.

### Aktsomhetskart

For å bedre visualisere forsenkningene og drenslinjene ble rasterfilene konvertert til henholdsvis polygoner og polylinjer ved bruk av konverteringsverktøyene «Raster to Polygon» og «Raster to polyline». Verktøyene omgjør rasterene til vektorer. Figur 2-16 illustrerer overgangen fra raster til vektor, og hvordan dette kan forbedre fremstillingen av linjer og polygoner.

## **3.2 MODELLERING MED MIKE 21**

Modelleringen i MIKE 21 er todelt;

- Del 1 tar utgangspunkt i vannbalanseligningen når det undersøkes hvordan ulike endringer i inngangsdata påvirker resultatene i en MIKE 21-modell.
- Del 2 er en utarbeidelse av metodikk for å danne et raster med høy oppløsning uten å komprimere nedbørfeltet eller øke simuleringstiden.

Endringene som undersøkes i del 1 er:

1. Forskjell på lukket modell og modell med utløp.

Tidligere oppgaver (Grimnes, 2017; Johansen & Moldekleiv, 2016) er basert på et avgrenset modelleringsområde uten utløp. Modell med utløp sammenlignes med en lukket modell for å se om og eventuelt hvordan resultatene påvirkes.

2. Signifikans av høyde på bygninger.

Ifølge Grimnes (2017) kan vannivået i enkelte celler få negative verdier ved for store høydedifferanser mellom naboceller. MIKE 21 forsøker å kompensere for dette ved å tilføre modellen ekstra vann slik at resultatet blir null. Forskjellen mellom 25 meter høye bygninger som har blitt benyttet i tidligere oppgaver (Grimnes, 2017; Johansen & Moldekleiv, 2016) og 2 meter høye bygninger sammenlignes.

3. Signifikans av å legge inn utløp for å simulere sluk.

Tidligere oppgaver (Johansen & Moldekleiv, 2016; Abry, 2016) har benyttet regnhyetogram

som trekker fra et 10-årsregn, da det antas at ledningsnettets skal ta unna vannmengdene av slikt omfang. Det skal undersøkes hvordan resultatene påvirkes av å benytte utløp som simulerer sluk med kapasitet tilsvarende et 10-årsregn, i stedet for regnhyetogram med fratrekk. Det skal utføres tre simuleringer; én kun basert på et 100-årsregn, én basert på et 100-årsregn med fratrekk, og én basert på et 100-årsregn hvor utløp plasseres i nedbørfeltet for å simulere sluk.

Før simuleringene ble utført ble det gjort endringer i innstillingsscriptet til MIKE 21 basert på Grimnes (2017) erfaringer og anbefalinger. Oppsettfilene («Setup.m21») ble åpnet i NotePad hvor det ble skrevet inn to linjer under *Hydrodynamic Module*. Endringene, som vises i figur 3-4, ber programmet om å generere en dsf2-fil som viser total vannkorreksjon i hver celle. Tilførsel av korreksjonsvann tyder på en ustabil modell.

```
[HYDRODYNAMIC_MODULE]
[OPTION_PARAMETERS]
    Generate_watercorr_file = true
    Watercorr_freq = 1
EndSect // OPTION_PARAMETERS
```

Figur 3-4: Endringene i innstillingsscriptet til MIKE 21 markert i rødt.

### 3.2.1 VANNBALANSEN

Formel 1 varierer gjennom de ulike oppsettene i del 1. Da det ikke tas hensyn til infiltrasjon eller evapotranspirasjon blir vannbalanseligningen på følgende form for de lukkede modellene:

$$P + C = \Delta M \quad (1a)$$

hvor  $C$  representerer vannkorreksjonsmengden MIKE tilfører modellen.  $P$  og  $\Delta M$  er som tidligere definert.

Ligningen får tilført ett ekstra ledd for modellene med utløp:

$$P + C = \Delta M + Q \quad (1b)$$

hvor  $Q$  representerer vannmengden som går ut av modellen over grensen.

Vannbalansen for modellen med utløp over grense og utløp i form av sluk er gitt ved:

$$P + C = \Delta M + Q + q \quad (1c)$$

hvor  $q$  representerer vannmengden som går ut av modellen fra slukene.

Volumberegninger gjennomgås i vedlegg D.

### 3.2.2 ETABLERING OG REDIGERING AV BATYMETRIER

Under etableringen av terrengmodellen i ArcGIS ble oppløsningen satt til 0.8x0.8 meter. Johansen & Moldekleivs (2016) erfaringer var at denne oppløsning ble svært tidkrevende for simuleringer i MIKE 21, men at oppløsning på 4x4 og 8x8 meter fungerte bra. Ved bruk av verktøyet «Resample» i ArcGIS ble oppløsningen endret fra 0.8x0.8 til 4x4 meter. *Resampling technique (optional)* definertes som BILINEAR. Det viste seg imidlertid at simuleringer for terrengmodell med oppløsning på 4x4 meter tok nær 5 døgn. Oppløsningen ble senere endret til 8x8 meter.

Da rasteret hadde ønsket oppløsning ble filen konvertert til en txt-fil ved bruk av verktøyet «Raster to ASCII». Txt-filen ble videre åpnet i NotePad hvor alle komma ble erstattet med punktum, ettersom ArcGIS og MIKE 21 anvender ulike desimaltegn. I MIKE Zero Toolbox ble verktøyet Grd2Mike åpnet fra nedtrekkmenyen GIS. Verktøyet konverterte txt-filen til dsf2-format.

Den nyopprettede dsf2-filen ble åpnet i MIKE Zero. *Items* ble valgt fra nedtrekkmenyen «Edit», og i dialogboksen ble filen definert som Bathymetry. I samme dialogboks ble *Land Value* satt til 400, slik at celler med verdier over angitt høyde ikke inkluderes i simuleringen. Dette påvirket ikke selve terrengmodellen da maksimal høyde var cirka 350 meter, men ble utnyttet til å avgrense filen. Alle ruter som ikke var del av nedbørfeltet ble satt til 500. Det ble også ilagt verdier på 500 som en ramme rundt hele rasteret for den lukkede modellen. Modellen med utløp ble også redigert med ramme rundt rasteret, foruten området der elven renner ut i Drammensfjorden (til høyre i rasteret). Framgangsmåte for redigering av batymetri står beskrevet i vedlegg C.

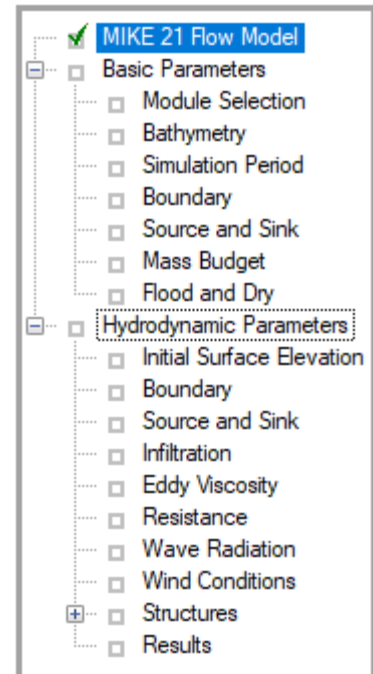
### 3.2.3 MODELLOPPSETT FOR SIMULERING: DEL 1 OG DEL 2

I det følgende beskrives parametere som er definert likt i del 1 og del 2. Figur 3-5 illustrerer hvordan parameterne fremgår i MIKE 21 Flow Model.

Under «Module Selection» ble *Hydrodynamics only* og *Inland Flooding* valgt. Inland Flooding markeres for at programmet skal ta hensyn til små vanddybder og er med andre ord en viktig konfigurasjon ved modellering av urbane flommer. Selv om terrengmodellene varierer avhengig av simulering, skal alle ha samme koordinatsystem. ETRF 1989 UTM Zone 32N ble registrert under «Bathymetry», hvor det i tillegg ble huket av for *Cold start*.

Nedbørfiler etablert av Johansen & Moldekleiv (2016) er benyttet. Filene tar utgangspunkt i et konstruert symmetrisk regnhyetogram tilsvarende et 100-årsregn representativt for området. Hyetogrammet baserer seg på IVF-kurver for Asker som ligger cirka 20 km unna Drammen, da det ikke fantes IVF-kurver for Drammen av nyere dato. Det ble vurdert at å anvende IVF-kurvene for Asker utgjør lavere usikkerhet enn å bruke eldre nedbørdata. Varighet på benyttet nedbør er 60 minutter med beregningssteg 2.5 minutter. Ved konstruksjon av hyetogrammet ble ikke oppgitte verdier funnet ved interpolering. For å ta hensyn til klimaendringer er det antatt en økning av nedbør på 20%. Klimafaktor er med andre ord lik 1.2. I oppsettet legges filen til som en type 0 fil under Source and Sink og det hukes av for «Included as net-precipitation» og «Precipitation on dry land».

Det er antatt at ledningsnettets tar unna vannmengder tilsvarende et regn med returperiode på 10 år. Den mest anvendte nedbørfilen består derfor av et hyetogram basert på et 100-årsregn med klimafaktor hvor et 10-årsregn *uten* klimafaktor er trukket fra. Johansen og Moldekleiv baserte dette valget på tidligere ingeniørpraksis hvor separat- og fellessystem ble dimensjonert for et gjentakintervall på 10 år innenfor sentrumsbebyggelse (Lindholm et al., 2008:162, s. 38).



Figur 3-5: De ulike parameterne som kan bli benyttet i MIKE 21.

I kapittel 3.2.4 spesifiseres hvilken nedbørfil som anvendes i de ulike simuleringene. Det henvises til Johansen & Moldekleiv (2016) for detaljert beskrivelse av konstruksjon av de symmetriske regnhyetogrammene og etablering av nedbørfiler.

Simuleringstiden ble satt til 4 timer slik at man får resultater av hvordan flommen utvikler seg etter nedbørhendelsen. Tidssteget på 0.1 ble valgt basert på tidligere oppgaver (Grimnes, 2017; Johansen & Moldekleiv, 2016; Abry, 2016), men etter flere tidkrevende simuleringer ble tidssteget doblet slik at simuleringstiden ble halvert. Courant-tallet var lavere enn 1 for begge tidssteg, som tilsier stabile og nøyaktige simuleringer. Med tidssteg 0.2 og simuleringstid på 4 timer vil resultatfilen inneholde 72, 000 rutenett av samme dimensjon som batymetrien. Siden det tar svært lang tid å produsere en så stor fil, settes tidsintervallet til 1000. Da produseres 72 rutenett som hver representerer 3.33 minutter. Intervallet defineres under «Results».

Parameterne «Flood» og «Dry» ble satt til henholdsvis 0.02 og 0.01 basert på anbefalinger fra DHI. Lavere verdier vil øke nøyaktigheten av resultatene da større deler av området blir tatt med i beregning. Denne oppgaven beskjefter seg imidlertid med å sammenligne modeller hvor kun én parameter endres. Så fremt verdiene er like for modellene som sammenlignes anses det som viktigere å redusere simuleringstiden noe enn å dekke et litt større område.

For målsettingene som omhandler modellfølsomhet kunne det ha vært interessant å se på hvordan modellen reagerer på endringer i både overflateruhet og infiltrasjon, men dette ble undersøkt av Abry i 2016. Oppgaven konkluderte med at infiltrasjon hadde mye å si for dybden på oversvømmelsene. Ruheten hadde innvirkning på vannets hastighet og vannføring, og kan med dette påvirke vannets strømningsretning, men hadde ingen direkte virkning på utbredelse av oversvømmelser. Grunnet nevnte studie er det valgt å fokusere på andre parametere i denne oppgaven og infiltrasjon blir derfor ikke tatt hensyn til i simuleringene. I virkeligheten burde ikke infiltrasjon neglisjeres da dette vil gi et uriktig bilde av faktiske tilstander. Ettersom store deler av analyseområdet består av leire, vil imidlertid infiltrasjonen være lav i disse områdene. I så henseende vil det være fornuftig å benytte lav infiltrasjonskapasitet i simuleringene og neglisjeringen kan i større grad forsvares.

Overflateruheten angis som konstant over hele feltet med manningstall lik 14. Eddyviskositeten er gitt ved Smagorinskys formel og koeffisienten er satt lik  $0.5\text{m}^2/\text{s}$  for hele feltet. Verdiene for

Mannings tall og Smagorinskys koeffisient ble valgt da de er benyttet i tidligere oppgaver (Grimnes, 2017; Johansen & Moldekleiv, 2016).

Det er antatt at Drammenselvans vannivå holder seg konstant gjennom simuleringene. Dette spesifiseres for modellene med utløp. Ved bruk av grenser er FAB-type satt til 12 basert på anbefalinger fra DHI.

Under Results ble antall områder som det ønskes utgangsdata for valgt. Antall områder settes lik 1 for alle simuleringer foruten modellen med flere batymetrier innen hovedbatymetrien. Figur 3-6 viser dialogboksen for valgt område. Hele analyseområdet velges når verdiene tilsvarer verdiene under *Range*. Som nevnt økes intervallet til 1000 for å redusere filstørrelsen. Videre hukes det av for *Calculation of inundation statistics* for å danne en fil som viser et stillbilde av maksimal vanndybde i hver celle.

	First Point:	Last Point:	Interval:	Range:
J direction:	0	969	1	0 - 969
K direction:	0	865	1	0 - 865
Time:	0	72000	1000	0 - 72000

Figur 3-6: Dialogboksen for utgangsdata til valgt område.

Parameterne «Mass Budget», «Wave Radiation», «Wind Conditions» og «Structures» anvendes ikke i noen av simuleringene.

*For nybegynnere kan vedlegg H være av interesse, hvor det gjennomgås noen erfaringer fra modelleringen i MIKE 21.*

### 3.2.4 VARIASJONER I MODELLOPPSETT, DEL 1

Alle simuleringer baserer seg på 2 meter høye bygninger, foruten én av simuleringene i del 1.2 hvor høyden på bygningene er det som sammenlignes.

#### DEL 1.1: Lukket modell og modell med utløp

Kapittel 3.1.2 beskriver kort forskjellene mellom etablering av batymetri for en lukket modell og en modell med utløp. Den praktiske betydningen for modelleringen går ut på at modellen med utløp ble etablert med en grense, som vil si at denne må defineres. Den lukkede modellen har ingen grenser, og dermed kan modelloppsettet beskrevet i kapittel 3.1.3 anvendes med kun ett unntak. Parameteren «Initial Surface Elevation» bestemmer hvilket vannivå modellen har ved simuleringsstart. Vannivået ble satt til -4.5, som vil si at elven starter med et vannivå på 0.5 meter. Grunnet det lave vannivået vil elven fungere som et kar som fylles opp med vann. Forsenkninger på land vil ikke påvirkes av gitt vannivå da laveste punkt ligger rundt -4.2 meter.

Initial Surface Elevation ble også satt til -4.5 for utløpsmodellen, slik at eneste endring mellom modellene er grensebetingelsen. Det er to parameteroppsett som heter «Boundary» i MIKE 21, hvor én ligger under grunnparameterne og én ligger under de hydrodynamiske parameterne (jf. figur 3-5). Figur 3-7 illustreres dialogboksene.

Boundary (Basic Parameters)		Boundary (Hydrodynamic Parameters)	
Location	Number	Boundary 1 : (0,0) - (0,0)	
<input checked="" type="radio"/> User specified	Number of boundaries: 1	Formulation:	Level
<input type="radio"/> Program detected		Constant:	0.0000000
		FAB type:	12
		No tilting	0
		No user defined flow direction	

**Figur 3-7:** Grensebetingelser under grunnparameterne til venstre og under de hydrodynamiske parameterne til høyre.

I Boundary under grunnparameterne kan antall grenser bestemmes og plasseringen defineres. *Program Detected* forteller hvilke åpne grenser modellen registrerer basert på utformingen av batymetrien. Disse bør kontrolleres før simulering startes. Beliggenheten til grensene defineres i x- og y-koordinater. Under de hydrodynamiske parameterne defineres det blant annet om grensen tar utgangspunkt i vannivå eller vannføringsfluks. Modellen med utløp defineres med et konstant vannivå lik -4.5 over grensen, det samme vannivået modellen har ved simulerings-



start. Tanken bak er at vannet skal begynne å strømme ut av modellen med én gang elven mottar vann, slik at vannivået i elven forblir -4.5.

Nedbørfilen for både lukket modell og modell med utløp består av et konstruert regnhyetogram basert på et 100-årsregn med fratrekk. Modelloppsettet beskrevet i kapittel 3.1.3 anvendes for resterende innstillinger.

#### DEL 1.2: Ulik høyde på bygninger

Det ble utført to simuleringer hvor eneste endring i modelloppsettet var batymetriefilene. Modelloppsett for lukket modell ble benyttet, med vannivå satt til -5. Det vil si at elven (og modellen) ikke inneholder vann ved simuleringsstart. Se vedlegg A for beskrivelse av endring av høyde på bygninger.

#### DEL 1.3: Utløp for å simulere sluk

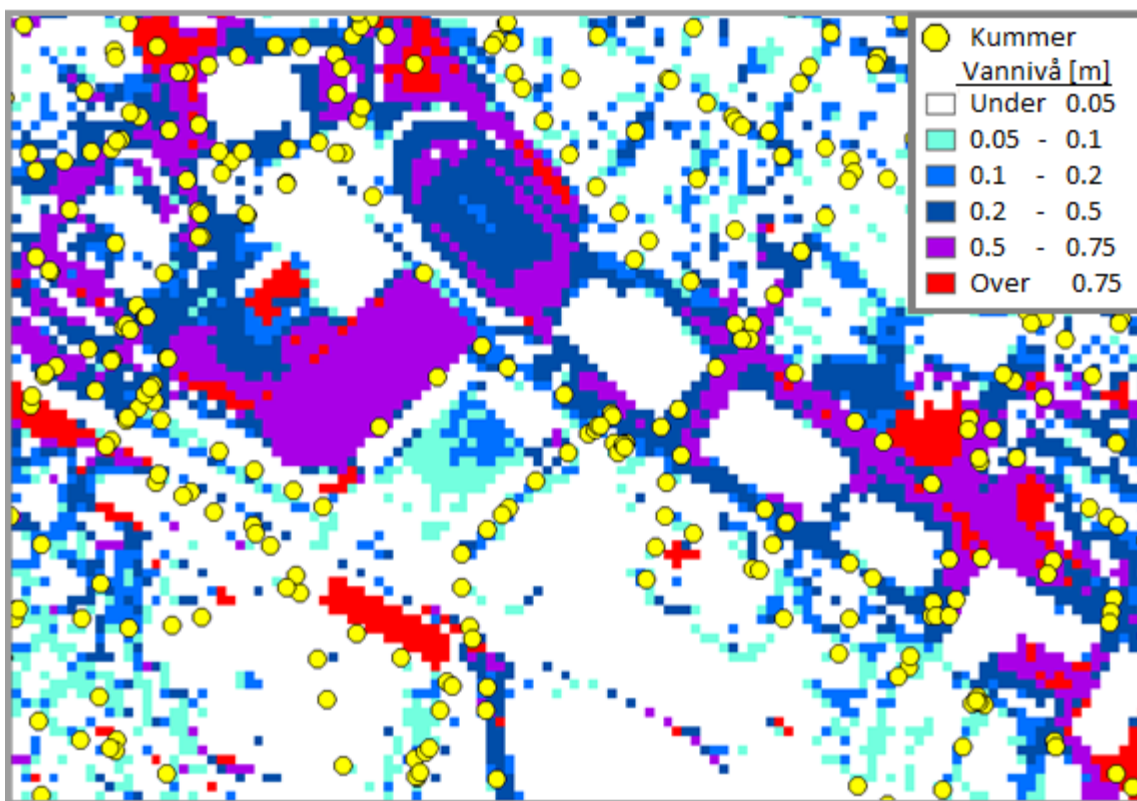
Det ble utført tre simuleringer hvor batymetriene ble definert som utløpsmodeller. Vannivå i modell og utløp til Drammensfjorden ble satt til 0 ved simuleringsstart. Dette ble gjort for å unngå problematikk med ekstra tilførsel av vann grunnet høydeforskjell mellom land og elv. Dette førte imidlertid også til at forsenkningene i terrenget var fylt med vann ved simuleringsstart.

Den første simuleringen baserte seg på en nedbør tilsvarende et 100-årsregn med klimafaktor 1.2. Den andre simuleringen baserte seg på en redusert nedbør, da ledningsnettets representert av et 10-årsregn, var trukket fra. Siste simulering hadde samme modelloppsett som den første, men med én ekstra parameter lagt til; «Source and Sink». Parameteren benyttes for å legge inntak og/eller utløp i modellen.

Modelleringsresultatene av 100-årsregnet viste store oversvømmelser i området rundt Marienlyst stadion. Området har også vært i fokus i tidligere oppgaver (Grimnes, 2017; Johansen & Moldekleiv, 2016; Abry, 2016) og fremheves når det tas hensyn til skadeomfang (Hellesjø & Torgersen, 2016). Med utgangspunkt i resultatene, samt data som viser hvor kummene er plassert i Drammen ble det ilagt utløp for å simulere sluk i det utsatte området.

Det ble forsøkt å etablere en fil for å eksakt lokalisere hvilke celler i rasteret kummene tilhørte. Dette ble gjennomført ved å laste inn resultatfilen fra den første MIKE 21-simuleringen i ArcGIS og laste inn en shapefil bestående av punkter som representerer kummene i Drammen.

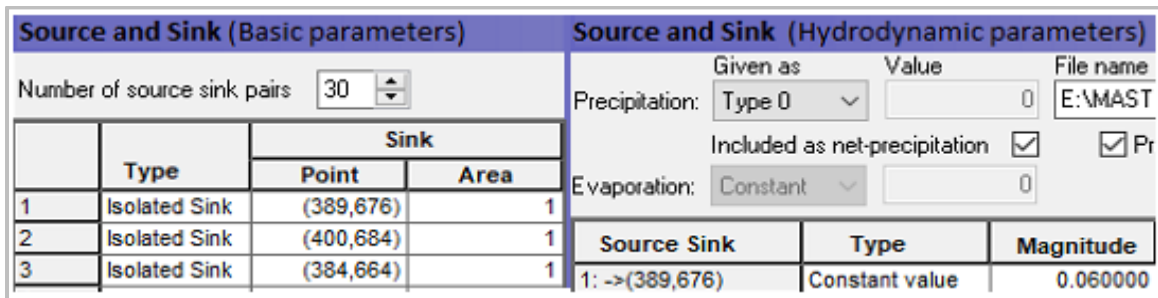
Videre ble det etablert en ny terrengmodell som inkluderte kummene hvor disse ble tilegnet verdi -1000 meter. Forhåpningen var at ved en så markant høyde ville cellene som inneholdt kummer lett lokaliseres i en batymetri. Informasjonen om cellenes x- og y-koordinater skulle så benyttes for å plassere utløpene i den opprinnelige modellen. Gjennom å endre punktene til rasterformat, endre oppløsning på terrengmodellen med kummer og til slutt konvertere modellen til dsf2-format, mistet kummene såpass mye høyde at de fleste ikke lot seg lokalisere. Dermed ble plasseringen av utløp i stedet for basert på oversiktskart av oversvømte områder og faktiske kumplassering. Kartet vises i figur 3-8. For etablering av kartet henvises det til vedlegg C.



**Figur 3-8:** Maksimalt vannivå per celle for området rundt Marienlyst stadion. De gule punktene representerer kummer (disse er ikke tatt hensyn til i simuleringen). Dette utsnittet ble lagt til grunn for plasseringen av utløpene i det ene modelloppsettet.

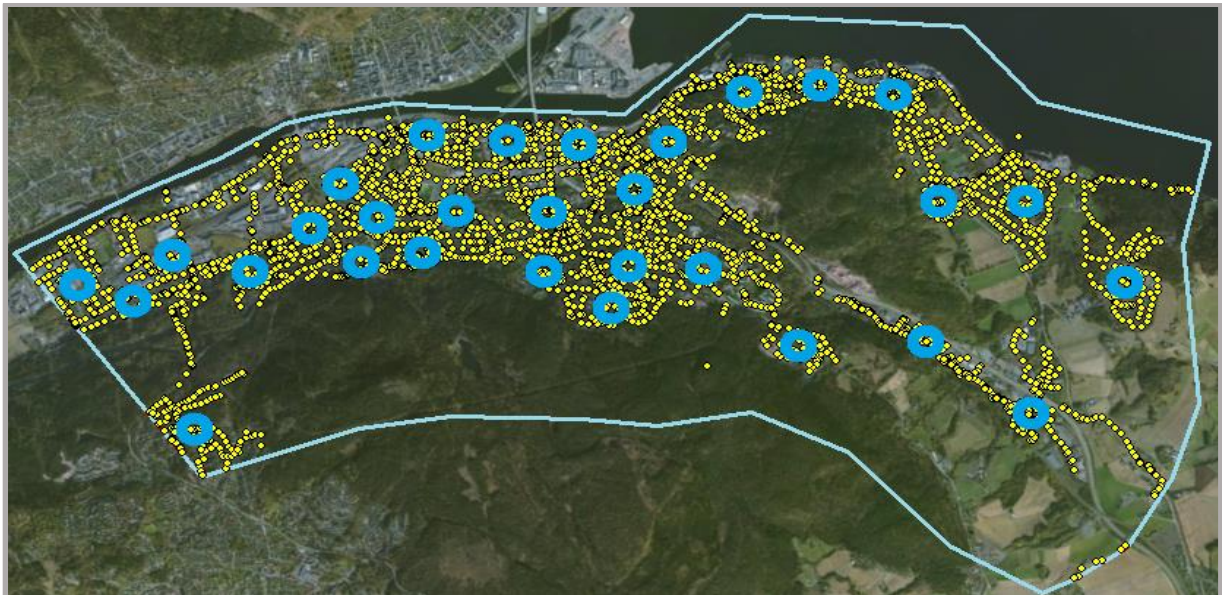
Vannføringen produsert av et 60 minutters 10-årsregn i analyseområdet ble beregnet til 6, 240L/s. Det er antatt at hver kum har kapasitet på 20L/s, og det er dermed nødvendig med 312 utløp for å ta unna tilsvarende vannmengde. Ved bruk av selekteringsverktøy i ArcGIS ble 311 kummer registrert i analyseområdet. Basert på kartet i figur 3-8 ble det forsøkt å modellere utløpene så nær kummenes plassering som mulig. Dette var tidkrevende, særlig når det ble lagt

inn ett utløp for én kum. Kummene ble derfor slått sammen til ett felles utløp dersom de lå svært nære hverandre. Med relativt nøyaktig plassering ble 30 utløp som representerer 126 kummer lagt inn i modellen. Videre ble kapasiteten til utløpene økt slik at summen utgjorde kapasiteten til 312 kummer. Figur 3-9 illustrerer dialogboksene for «Source and Sink og de første registrerte utløpene. Vannføringen til utløpene er gitt i kubikkmeter per sekund.



Figur 3-9: Utløpene defineres under grunnparameterne til venstre og de hydrodynamiske egenskapene defineres under parameterne til høyre.

Det ble kjørt en ekstra simulering hvor 30 utløp ble spredt over hele nedbørfeltet. Utløpene er grovt plassert i henhold til faktiske kumplassering i Drammen. Figur 3-10 illustrer omtrentlig plassering av utløpene. Hvert utløp ble gitt en kapasitet på 7,037L/s slik at summen av de 30 utløpene tilsvarer et 10-årsregn for hele nedbørfeltet.



Figur 3-10: Nedbørfeltet innrisset i lyseblått med kumplassering gitt som gule prikker. Omtrentlig plassering av utløpene representeres av de blå sirklene.

### 3.2.5 UTPRØVING AV METODER FOR Å ØKE OPPLØSNING AV ET RASTER

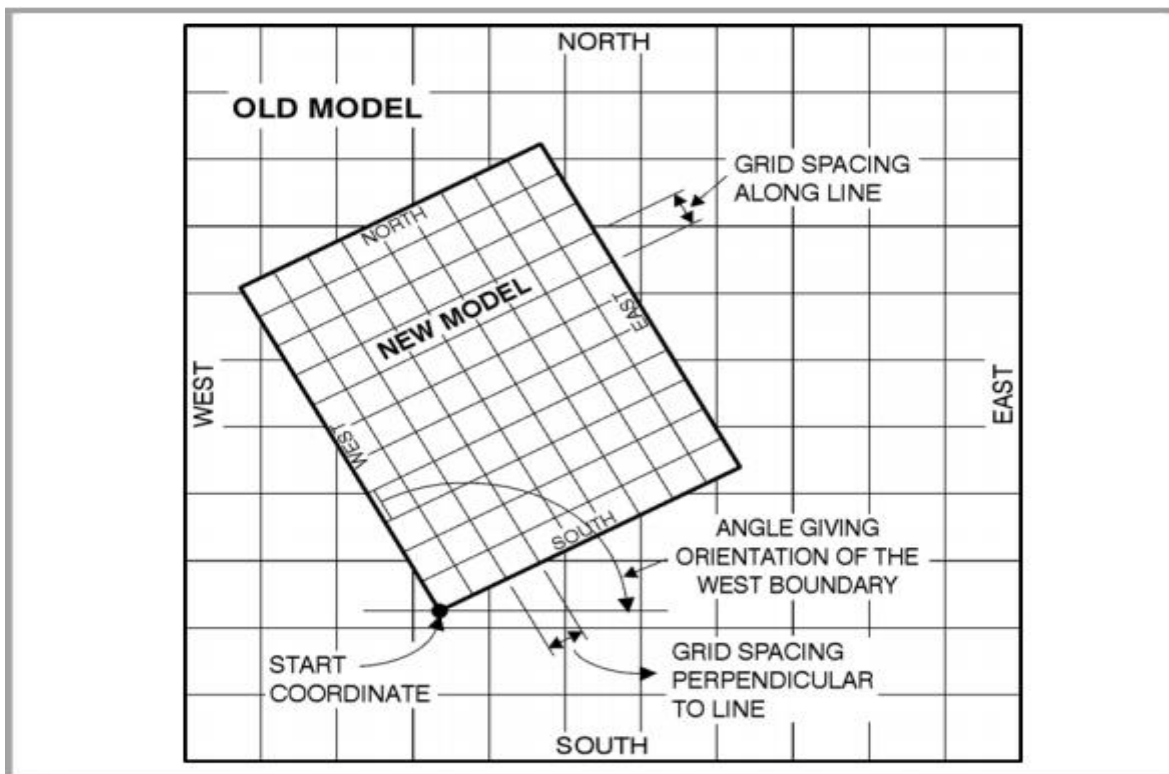
Benyttede verktøy befinner seg i MIKE 21 Toolbox under nedtrekkmenyen Hydrodynamics om ikke annet spesifiseres. Det henvises til vedlegg E for utfyllende informasjon om disse verktøyene.

#### Konvertering og flytting av grenser

Første forsøk på å danne et område med finere oppløsning uten å komprimere nedbørfeltet baserte seg på verktøyet *Transfer Boundary*. Verktøyet benytter resultatfil fra simulering av hele nedbørarealet til å kalkulere grenser innen modellen. Grensene kan roteres og gis ny oppløsning. Resultatfilen må inneholde informasjon om vanddybde og vannføringsflukser i både x- og y-retning (henholdsvis Q flux og P flux). Utgangsdata består av en fil varierende i tid langs definert grense. Figur 3-11 viser verktøyboksen som benyttes for å definere grensene.

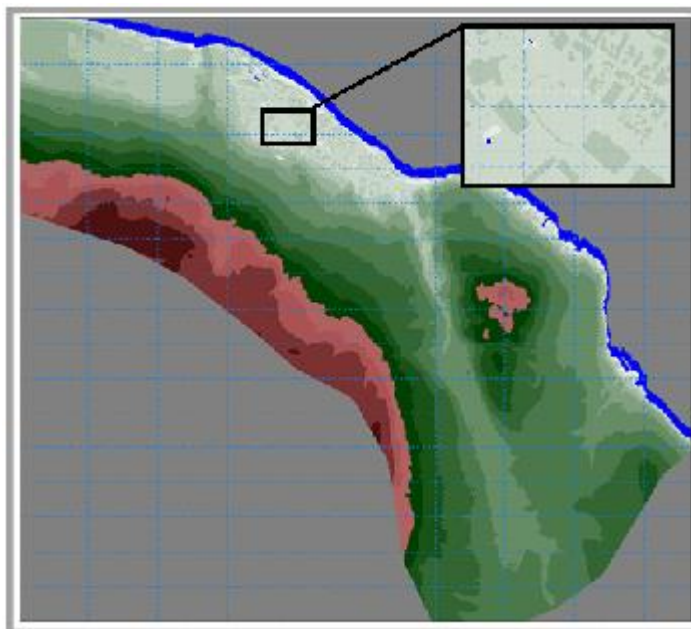
Grensen spesifiseres som nordlig, sørlig, vestlig eller østlig og posisjonen oppgis i x- og y-koordinater. Videre spesifiseres ønsket vinkel på grensen og ny avstand på linjene som danner rutenettet. Alle verdier som anvendes skal defineres i henhold til den benyttede resultatfilen. Se figur 3-12 for illustrasjon av hvordan de ulike parameterne defineres for en vestlig grense.

Figur 3-11: Verktøyboksen til Transfer Boundary hvor parameterne til den nye grensen spesifiseres.



Figur 3-12: Illustrasjon av hvordan de ulike objektene defineres i verktøyet Transfer Boundary, her ved en vestlig grense. Hentet fra DHI (2017b).

Det ble dannet grenser for nord, sør, vest og øst med vinkel  $0^{\circ}$  og ny avstand på rutenett lik  $2 \times 2$  meter fra en resultatfil med rutenett på  $4 \times 4$  meter. Linjeavstanden på hver grense ble funnet manuelt ved å forstørre området i Strømsø som illustreres i figur 3-13. I batymetri-filen kan man klippe til ønsket område ved å benytte verktøyet *Crop* som er lokalisert under nedtrekkmenyen *Tools*. Man kan velge å klippe til bestemte koordinater eller til utsnittet som vises på skjermen. Ved klipping etableres en ny batymetrifil.



Figur 3-13: Illustrasjon av full batymetri med oppløsning  $4 \times 4$  meter og forstørret område i Strømsø.

### Modelloppsett for simulering ved bruk av verktøyet Transfer Boundary

Den avgrensede terrengmodellen ble lagt inn under «Bathymetry». Under grunnparameteren «Boundary» ble de fire grensene lagt til. Dette skjer automatisk ved valg av *Program detected* siden alle sidene i terrengmodellen er registrert som åpne grenser. Under de hydrodynamiske parameterne ble det spesifisert at grensebetingelsene tar utgangspunkt i vannivå. Transfer Boundary-filene ble lagt til sine respektive grenser. Det ble forsøkt å endre filtype til «Type 1 Data file» og «Transfer Data file», men forfatter fikk problemer med å legge til filene da det blant annet viste seg at de produserte Transfer Boundary-filene manglet ett tidssteg. Dette førte til at filen kun «varte» i 3 timer, 58 minutter og 20 sekunder sammenlignet med simuleringstiden på eksakt 4 timer. MIKE 21 krever at filene som legges til har samme varighet som simuleringen. Hvorfor filen ble produsert med ett mindre tidssteg vites ikke. Simuleringstiden ble endret for og tilpasses de nye filene, men det oppsto nye feilmeldinger. Problematikken ble sett kort på ved DHI Oslo uten at årsaken ble funnet.

### Vannføring gjennom tverrsnitt

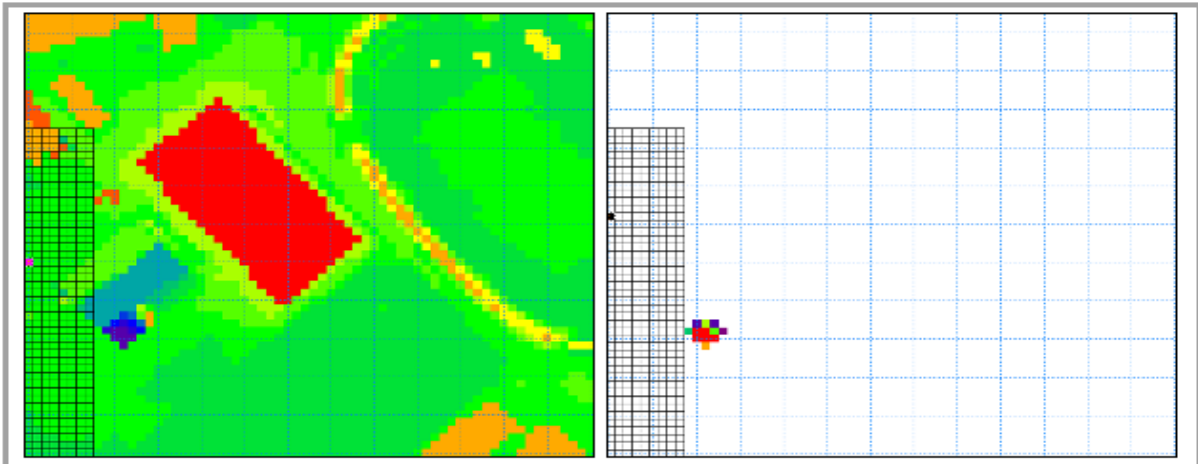
Det ble videre forsøkt å finne en metodikk ved hjelp av verktøyet *Discharge Calculation*. Verktøyet beregner vannføring og akkumulert vannføring gjennom et tverrsnitt. Også her anvendes en resultatfil fra simulering av hele nedbørarealet som inngangsdata, og filen må inneholde informasjon om vanndybde og vannføringsflukser. Tverrsnittet spesifiseres i x- og y-koordinater og utgangsdata er en tidsseriefil. Koordinatene velges på samme måte som for Transfer Boundary.

### Modelloppsett for simulering ved bruk av verktøyet Discharge Calculation

Samme modelloppsettet som for Transfer Boundary kan anvendes, hvor endringene kun gjelder den hydrodynamiske parameteren «Boundary». Her erstattes Transfer Boundary-filene med Discharge Calculation-filene og filtypen settes til «Type 0 data file», som vil si en tidsseriefil. Det ble spesifisert at grensebetingelsene tar utgangspunkt i vannføringsfluks.

Tanken bak denne metoden var at vannføringsgrensene ville gi et korrekt bilde av hvordan vannet fra hele nedbørfeltet bevegde seg inn og ut i det avgrensede området. Ettersom grensene får sine vannføringsverdier basert på nedbøren for hele nedbørfeltet, ble nedbøren for simuleringen over det avgrensede området satt konstant lik null. Oppsettet var vellykket, men resultatet var ikke som ønsket. Vannivået og vannføringen varierte ikke med tiden, men ga et konstant vannivå i en forsenkning i modellen. Figur 3-14 viser avgrenset batymetri til venstre

og resultatet til høyre. Det blå feltet i batymetrien har høyde mellom -0.04 og -1.3 meter. Av resultatfilen kommer det frem at forsenkningen fylles opp, da verdiene for vannivået er mellom 0.04 og 1.3 meter. Hvorfor det ikke forekom variasjoner over tid da tidsseriefilen varierte, vites ikke. Problematikken ble sett kort på ved DHI Oslo uten at årsaken ble funnet.



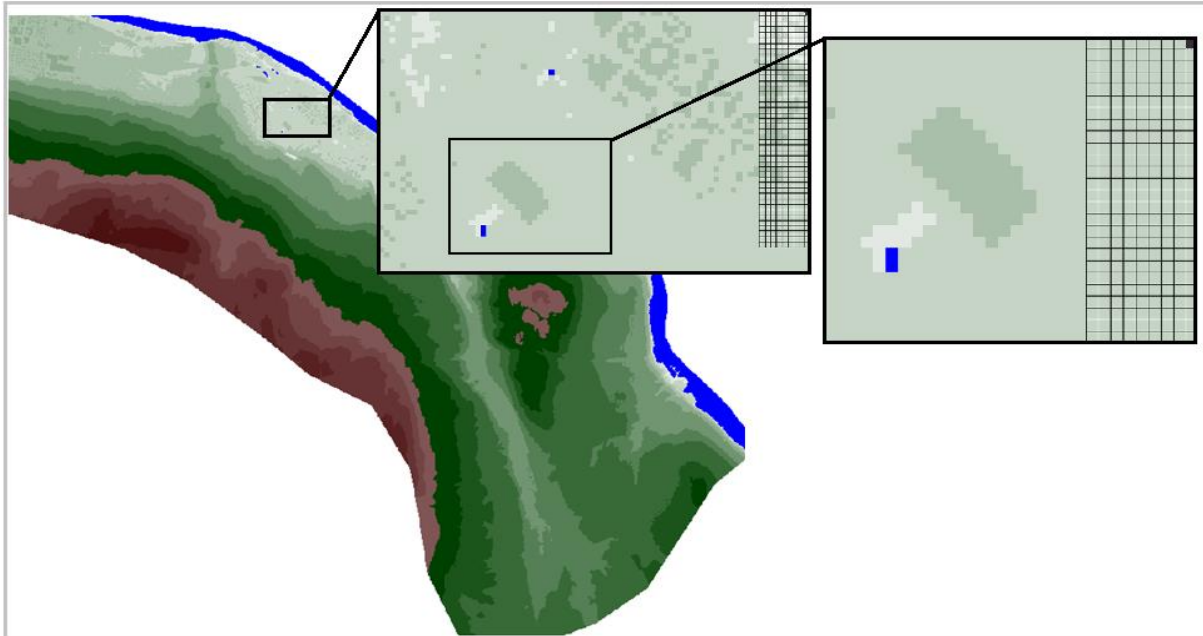
Figur 3-14: Batymetri med tilhørende resultatfil ved bruk av vannføringsgrenser.

#### Batymetri med finere oppløsning innen hovedbatymetri

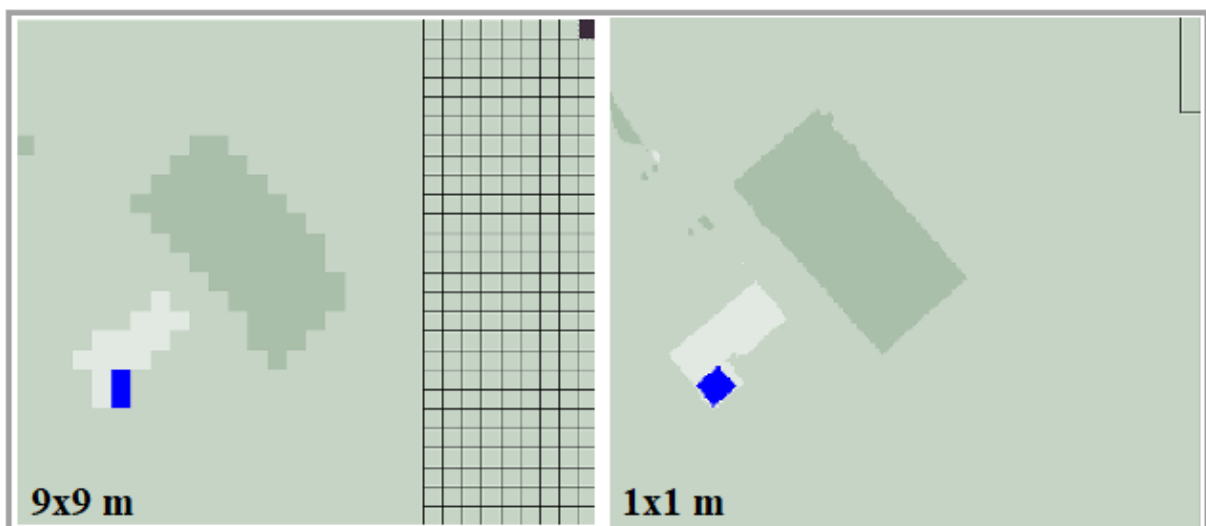
Bruken av Transfer Boundary og Discharge Calculation har basert seg på å kjøre en simulering over hele nedbørfeltet for å benytte resultatfilen som inngangsdata ved de åpne grensene i et avgrenset fokusområde. Videre utprøving gikk ut på å benytte flere batymetrier som inngangsdata i samme simulering. I den hydrodynamiske manualen er dette referert til som «Nested bathymetries». Henviser til figur 2-14 for illustrasjon av hvordan nested bathymetries kan utformes. Ifølge manualen tar en simulering cirka 10% lengre tid enn modeller som kun inneholder én batymetrifil. Økningen i simuleringstid ble akseptert.

Batymetrien med lavest oppløsning (hovedfeltet) består av hele nedbørarealet. På samme måte som tidligere ble det etablert nye, mindre batymetrier ved bruk av Crop-verktøyet under Tools i batymetrifilen. Det er krav om at forholdet mellom den horisontale romlige oppløsningen fra én modell til neste er lik 3 (jf. formel 7). Det ble derfor dannet raster med oppløsning på 9x9, 3x3 og 1x1 meter i ArcGIS. Det ble også dannet raster med laveste oppløsning lik 6x6 meter og 4x4 meter med to arealer i hver, men disse ble ikke benyttet.

Figur 3-15 illustrerer hovedfeltet med to mindre arealer i, alle med oppløsning 9x9 meter. Figur 3-16 viser forskjellen på det minste området når oppløsning på 9x9 meter sammenlignes med oppløsning på 1x1 meter.



Figur 3-15: Hovedfeltet på 9x9 meter, med forstørret areal i et fokusområde i Strømsø.



Figur 3-16: Det minste området med oppløsning på 9x9 meter til venstre og 1x1 meter til høyre.

### Grensejustering

Verktøyet *Border Adjustment* ble anvendt til å tilpasse grensene mellom batymetrier av ulik oppløsning. Inngangsdata er én batymetri med lav oppløsning, eksempelvis hovedfeltet, og én batymetri med høyere oppløsning som skal ligge innen førstnevnte fil. Plasseringen til den



mindre batymetriens spesifiseres i x- og y-koordinatene til den større batymetriens. Resultatet er to nye batymetrier for hver oppløsning med tilpassede grenser. Det ble forsøkt å benytte batymetrier uten å justere grensene, men dette førte til feilmelding og terminering av simuleringen.

### Modelloppsett for simulering ved bruk av nested bathymetries

Modelloppsettet er likt modelloppsettet for simulering av modell med utløp med noen unntak. Under Bathymetry velges antall batymetrier. Det ble først forsøkt med tre batymetrier av ulik oppløsning; 1x1 meter innen 3x3 meter innen hovedfeltet på 9x9 meter, men etter feilmeldinger ble det kun forsøkt med batymetri med oppløsning 3x3 meter innen hovedfeltet på 9x9 meter. Verktøyboksen illustreres i figur 3-17. Hovedfeltet lastes inn på lik linje som batymetrier for andre oppsett, og det utføres ingen ekstra arbeidsoperasjoner (foruten grensejusteringen av batymetriene i forkant). Dersom det legges til flere batymetrier må plasseringen spesifiseres i hovedfeltets x- og y-koordinater. Det omsluttende området defineres under *Enclosing Area*. Ved bruk av kun to filer vil det omsluttende området automatisk bli satt til hovedfeltet, men ved bruk av flere filer må dette spesifiseres.

	Bathymetry	Origin	Enclosing Area	
1	...			View...
2	...	(3,3)	1	View...
3	...	(3,3)	2	View...

Figur 3-17: Verktøyboksen til parameteren «Bathymetry» ved bruk av flere batymetrier.

Ved bruk av Smagorinskys formel for eddyviskositet må koeffisienten defineres for hvert område. Det er også mulig å ha forskjellig ruhet på de ulike områdene. Flom- og tørk-parametrene må være like for alle områder, mens startnivå for vannet kan variere. Områdene har samme simuleringstid, men det må utføres beregninger av Courant-tallet (formel 6) for å sjekke at alle områder oppfyller anbefalingen om Courant-tall lavere enn 1. Det er tillatt med

åpne grenser kun i hovedfeltet. Parameterne ble gitt samme verdier som for modell med utløp, og varierte ikke fra område til område.

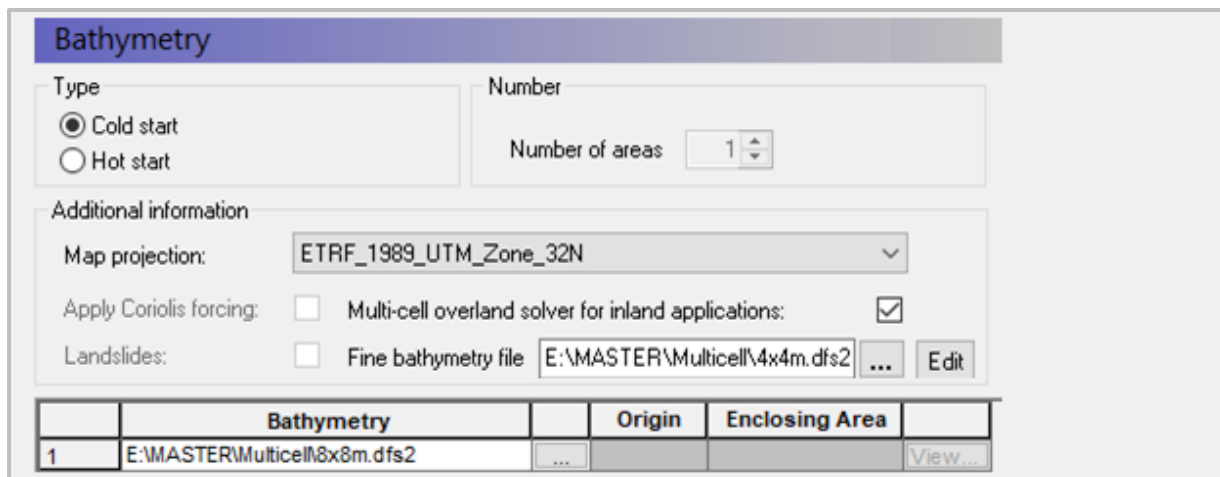
MIKE 21 validerte modellen, men ved kjøring kom feilkoden *Illegal Storage Access*. En slik feilkode kan oppstå dersom en fil er låst av et annet program, men dette var ikke tilfelle. For å verifisere at det ikke var noe galt med bathymetriene ble det forsøkt å kjøre de hver for seg. Det ble utført to vellykkede simuleringer. Dette tydet på at problemet hadde noe med nested bathymetries å gjøre. Etter kontakt med DHI Oslo, ble det sendt inn support-case til DHI Danmark. Det kom frem at feilkoden skyldtes en bug i programmet ved kalkulering av Inland Flooding.

Ved å fjerne avhukingen for Inland Flooding kjørte modellen. Det ble først forsøkt å kjøre modellen med tidssteg 0.2, men ettersom dette førte til blow-ups ble tidssteget halvert. Blow-ups er stabilitetsproblemer som fører til at MIKE 21 terminerer simuleringen. Programmet terminerte også simuleringen for tidssteg lik 0.1. DHI Oslo forsøkte å simulere ved tidssteg 0.2 og 0.1, men også de fikk blow-ups, noe som igjen tyder på at feilen ligger i oppsettet.

Etter dager med feilsøking ble kjernen til problemet funnet. Ved bruk av nested bathymetries kan ikke flom og tørk skje i felles celler langs de justerte grensene. DHI Danmark bekreftet dette og kommenterte at det grunnet disse restriksjonene ikke er vanlig å anvende flere bathymetrier i samme modell når Inland Flooding benyttes.

#### Batymetri med fin oppløsning sammen med batymetri med grov oppløsning

Siste forsøk gikk ut på å legge en batymetri av finere oppløsning sammen med en batymetri av grovere oppløsning. Dette kan utføres ved å huke av for *Multi-cell overland solver for inland applications* under oppsettet for batymetrien. Se figur 3-18 for illustrasjon av parameteroppsettet. Verktøyet løser ligningene i det grove rutenettet, men når det gjelder vannfordelingen i en enkelt celle vil dette spres over det finere rutenettet. En simulering med kun den høyoppløselige batymetrien vil være mer nøyaktig, men dersom man bare er interessert i hvilke celler som er oversvømt eller ikke vil imidlertid nevnte metode gi tilstrekkelig presisjon (epost-korrespondanse, DHI Danmark, 2018).



Figur 3-18: Verktøyboksen til parameteren Bathymetry ved bruk av multi-cell overland solver for inland applications.

Rutenettene må være av eksakt samme størrelse. Dermed måtte noen rader og kolonner fjernes i de ulike batymetriene med finere oppløsning, slik at de passet inn i den grove batymetrien. For de stedene det ble fjernet en rad eller kolonne måtte grensene etableres på nytt.

Det ble utført to vellykkede simuleringer på overraskende kort tid med 4x4 i 8x8 meter og 2x2 i 8x8 meter. Videre ble det forsøkt med 1x1 i 8x8 meter, men for dette oppsettet økte simuleringstiden betydelig. Det ble også forsøkt med 1x1 og 2x2 i 4x4 meter, alle med (for) høy simuleringstid.

Da det ble forsøkt å reprodusere oppnådde resultater i etterkant (for 2x2 og 4x4 i 8x8 meter) hadde imidlertid simuleringstiden økt kraftig også for disse oppsettene. De første to simuleringene tok cirka 5-6 timer, hvorimot alle andre forsøk hadde et tidsestimat på 50 – 400 timer, avhengig av oppløsningen til batymetriene. Det er uvisst hvorfor resultatene ikke lot seg reprodusere, men antakelig skyldes det brukerfeil i form av at en variabel var annerledes i det første oppsettet eller en programfeil under simuleringene. En programfeil er ikke usannsynlig siden simuleringstiden med finere oppløsning innen 8x8 meter var over tre ganger så rask som for 8x8 meter alene.

### 3.3 PC-SPEKIFIKASJONER

Modelleringsarbeidet ble utført på PC utlånt av NMBU med følgende spesifikasjoner:

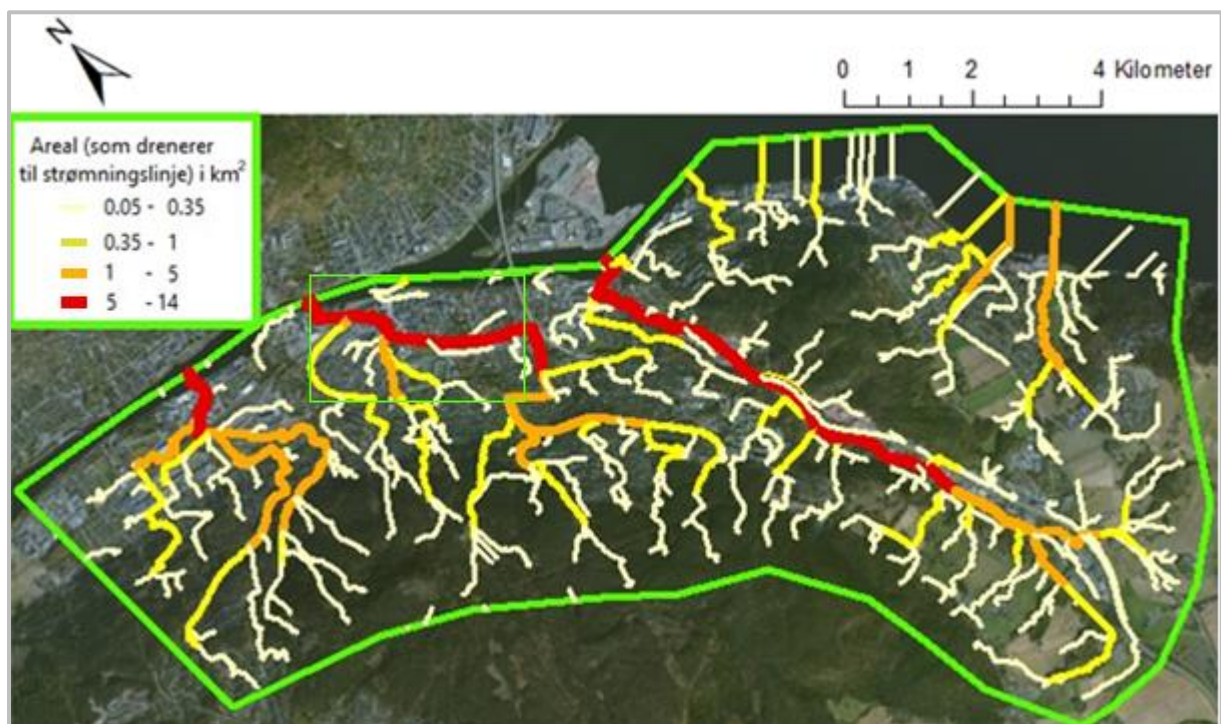
Operativsystem:	Windows 7 64-bit Operating System
Prosesor:	Intel® Core™ i7-3520M CPU @ 2.90GHz
Installert minne:	8.00 GB
Harddisk:	1TB
GPU:	Intel® HD Graphics 4000

## 4 RESULTATER

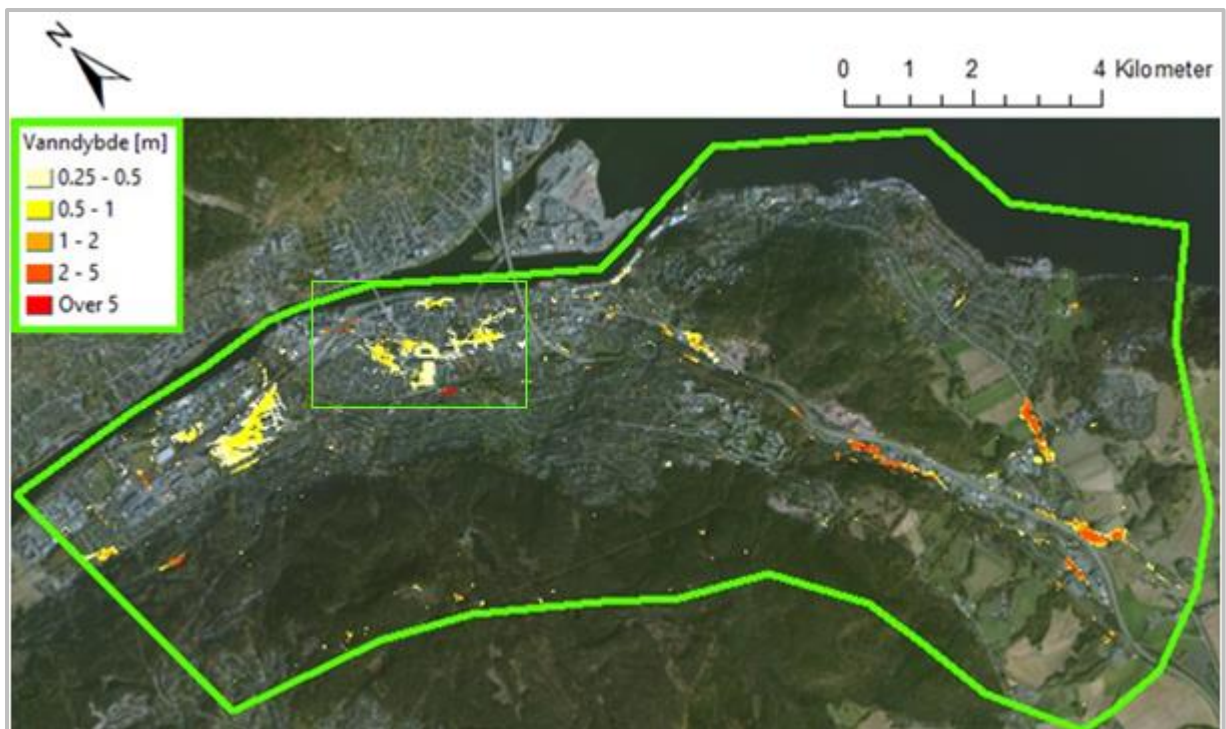
### 4.1 ARCGIS

#### 4.1.1 GIS-ANALYSE

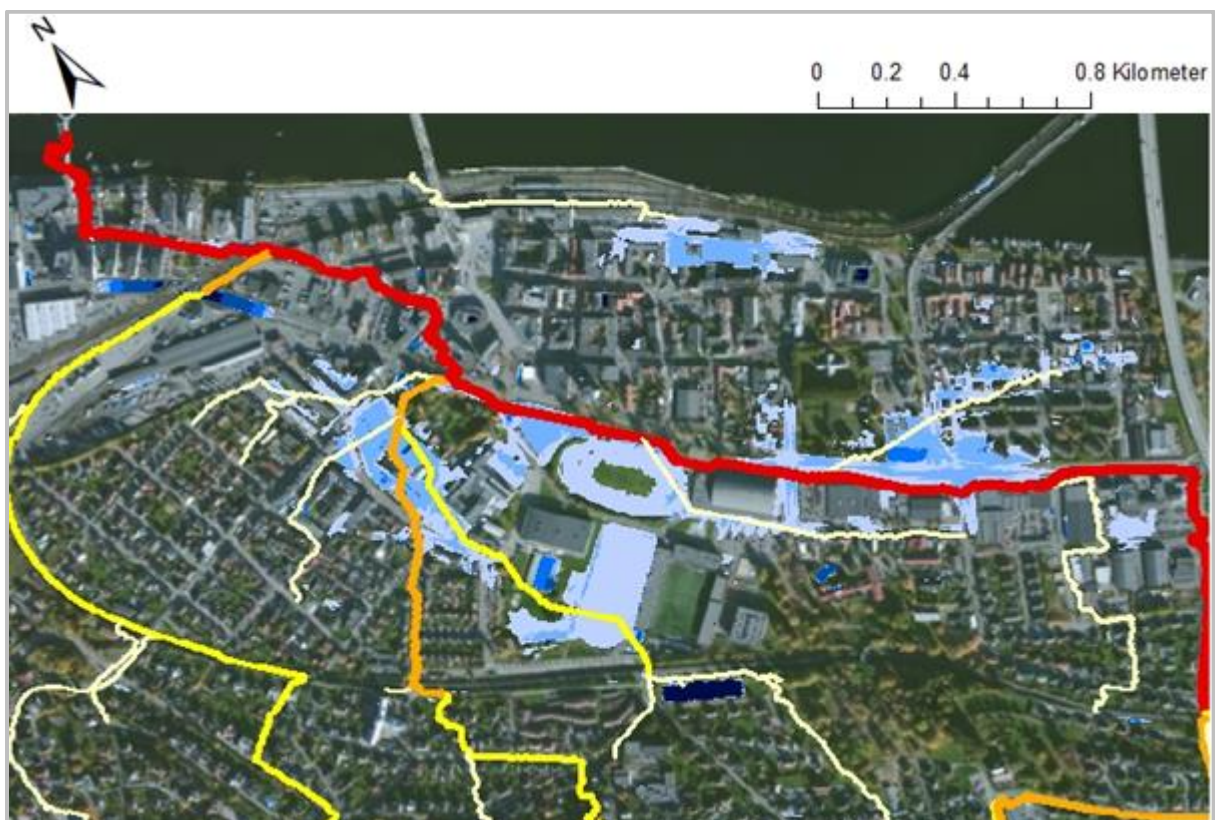
Resultatene fra modelleringen i ArcGIS består av drenslinjer som viser hvilken retning vannet velger å strømme og forsenkninger som illustrerer lavbrekk i terrenget hvor vann vil akkumulere. Drenslinjens tykkelse og farge angir hvor stort areal som drenerer til linjen. Drenslinjene presenteres i figur 4-1 og forsenkningene presenteres i figur 4-2 i farger varierende fra rød til lysegul, der rød representerer de dypeste forsenkningene og lysegult de grunneste. Begge figurene har markert bydelen Strømsø da området er spesielt flomutsatt. Figur 4-3 viser forstørret versjon av dette området med både drenslinjer og forsenkninger.



Figur 4-1: Drenslinjer fra GIS-analyse av nedbørfeltet. Rektangelet markerer Strømsø, som er et svært flomutsatt område.



Figur 4-2: Forsenkninger fra GIS-analyse av nedbørfeltet. Rektangelet markerer Strømsø, som er et svært flomutsatt område.



Figur 4-3: Forstørret bilde av Strømsø (markert i figur 4-1 og 4-2) med drenslinjer og forsenkninger. Klassifiseringen er lik som i figur 4-1 og 4-2, men for forsenkningene er fargene

byttet ut med ulike nyanser av blå for å lettere se forskjell. Jo mørkere blå, dess dypere forsenkning.

#### 4.1.2 SAMMENLIGNING

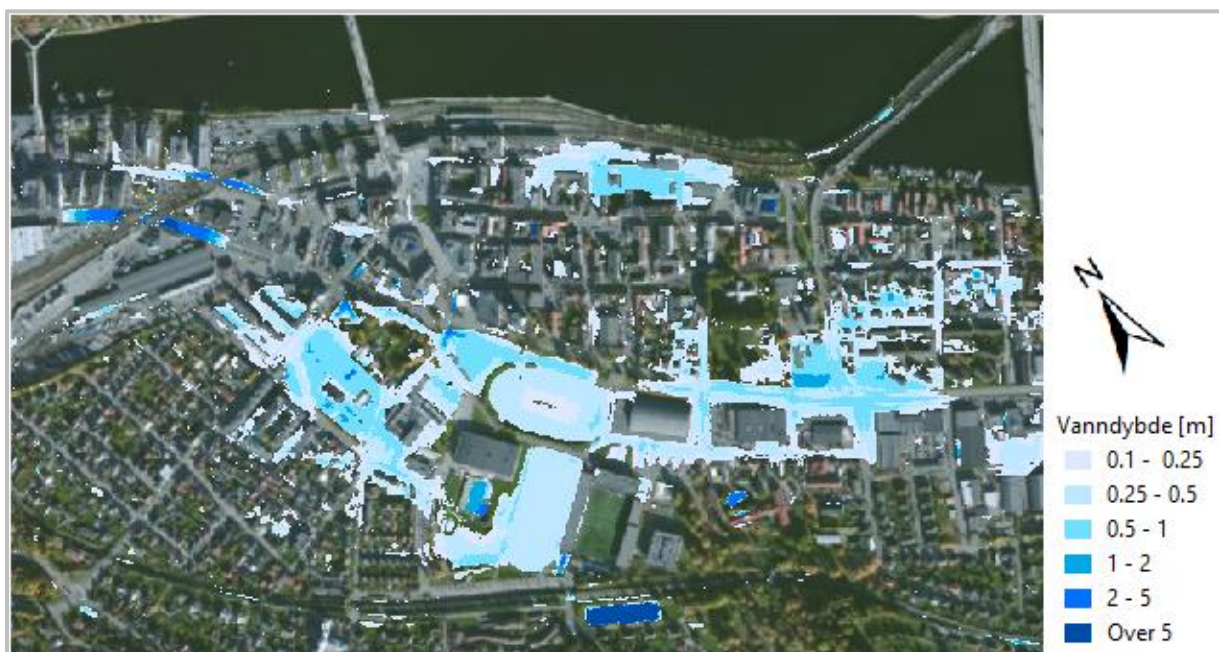
Figur 4-4 viser drenslinjene dannet i denne oppgaven sammen med drenslinjene dannet av Johansen & Moldekleiv (2016). Fargekodingen for denne oppgaven er lik som i figur 4-1, mens Johansen og Moldekleiv benytter ulike nyanser av lilla.



Figur 4-4: Drenslinjen produsert i denne oppgaven sammen med drenslinjer produsert av Johansen & Moldekleiv (2016).



Figur 4-5: Forsenkninger produsert av Johansen & Moldekleiv (2016).



Figur 4-6: Forsenkninger produsert av forfatter.

Det henvises til vedlegg G for produserte aktsomhetskart.



## 4.2 MIKE 21

Resultatene for de ulike scenarioene i del 1 presenteres i form av tabeller som oppsummerer bidragene til vannbalanseligningen, en graf som viser hvordan vannvolumet utvikler seg i modellen gjennom alle tidsstegene og figurer av området rundt Marienlyst ved maksimal oversvømmelse. Det henvises til vedlegg F for figurer som viser oversvømmelser av hele nedbørfeltet. Da metoden for del 2 er selve resultatet vil det kun gis en kort oppsummering av utførte arbeidsoperasjoner.

### 4.2.1 DEL 1.1: FORSKJELL PÅ LUKKET MODELL OG MODELL MED UTLØP

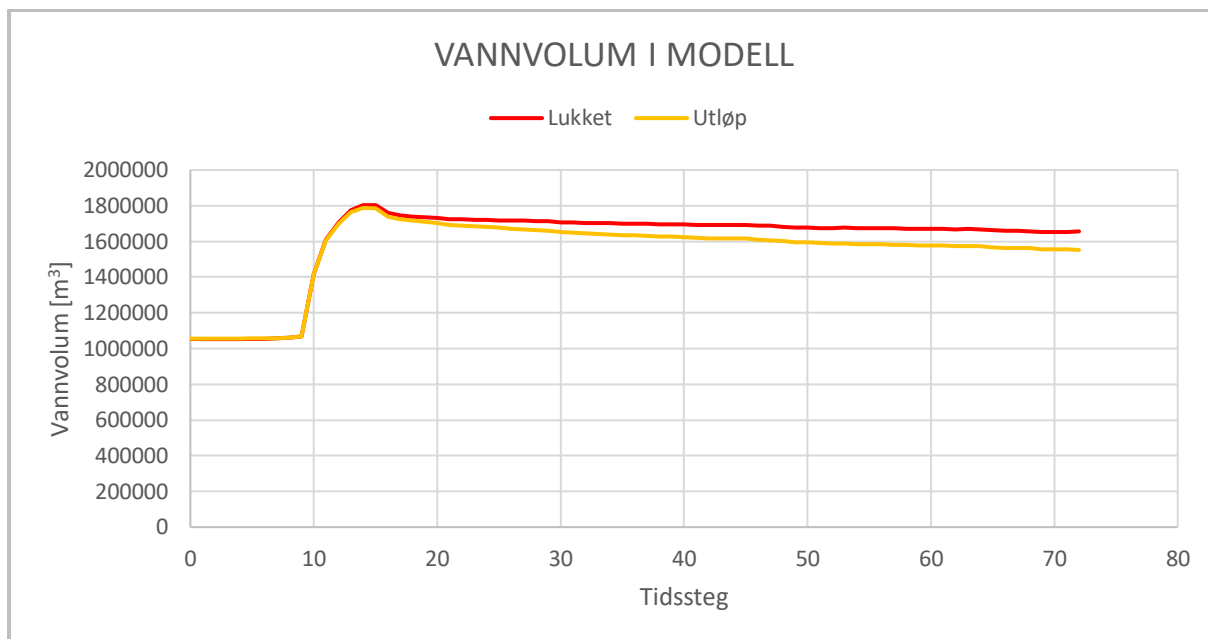
Et interessant funn viste seg når vannivået i modellen og ved utløpet ble satt lik dybden på elven. Det viste seg at vannet ikke strømmte over grensen med disse betingelsene. Dermed ble vannivået økt med 0.5 meter, slik at elven startet med en halvmeter vann i seg. Da formålet med denne deloppgaven var å se på ulikheter mellom en lukket modell og en utløpsmodell, ble det ikke undersøkt hvorvidt det var det satte vannivået for utløpet, det satte startnivået i modellen eller begge parameterne som forårsaket hendelsen. Videre resultater baseres på simuleringer hvor startnivået til vannet i modellen og vannivå ved utløpet er satt til -4.5.

Tabell 4-1: Resultater for lukket modell.

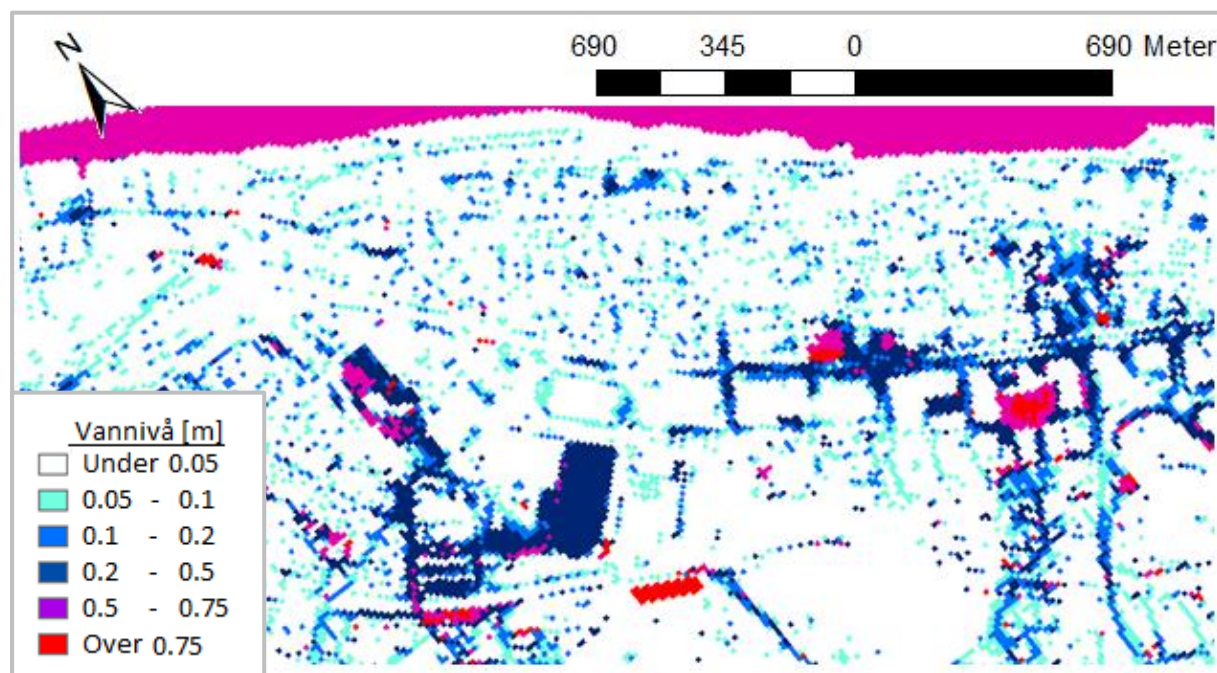
<b>RESULTATER FOR LUKKET MODELL</b>		
Nedbør (P)	<b>774, 148</b>	m <sup>3</sup>
Korreksjon (C)	<b>18.4</b>	m <sup>3</sup>
Magasinert vannmengde ( $\Delta M$ )	<b>601, 873</b>	m <sup>3</sup>
Vann som forsvinner	<b>172, 294</b>	m <sup>3</sup>
Avvik (beregnet av total vannmengde inn i modellen)	<b>22.3</b>	%

Tabell 4-2: Resultater for modell med utløp.

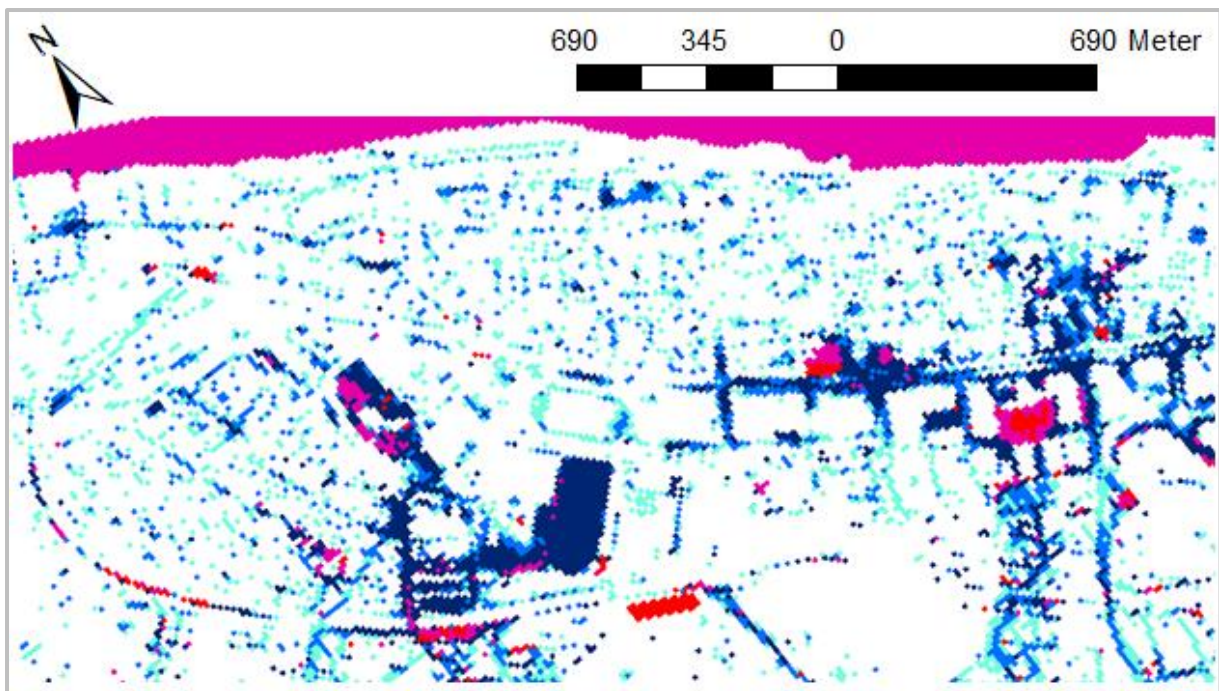
<b>RESULTATER FOR MODELL MED UTLØP</b>		
Nedbør (P)	<b>774, 148</b>	m <sup>3</sup>
Korreksjon (C)	<b>16.8</b>	m <sup>3</sup>
Vann over grense (Q)	<b>100, 862</b>	m <sup>3</sup>
Magasinert vannmengde ( $\Delta M$ )	<b>497, 145</b>	m <sup>3</sup>
Vann som forsvinner	<b>176, 158</b>	m <sup>3</sup>
Avvik (beregnet av total vannmengde inn i modellen)	<b>22.8</b>	%



Figur 4-7: Grafen viser hvordan vannvolumet i modellen utvikler seg gjennom simuleringsperioden på 4 timer for lukket modell og modell med utløp.



Figur 4-8: Maksimal oversvømmelse i lukket modell. Klassifiseringen gjelder for alle figurer av oversvømmelser i kapittel 4.



Figur 4-9: Maksimal oversvømmelse i modell med utløp.

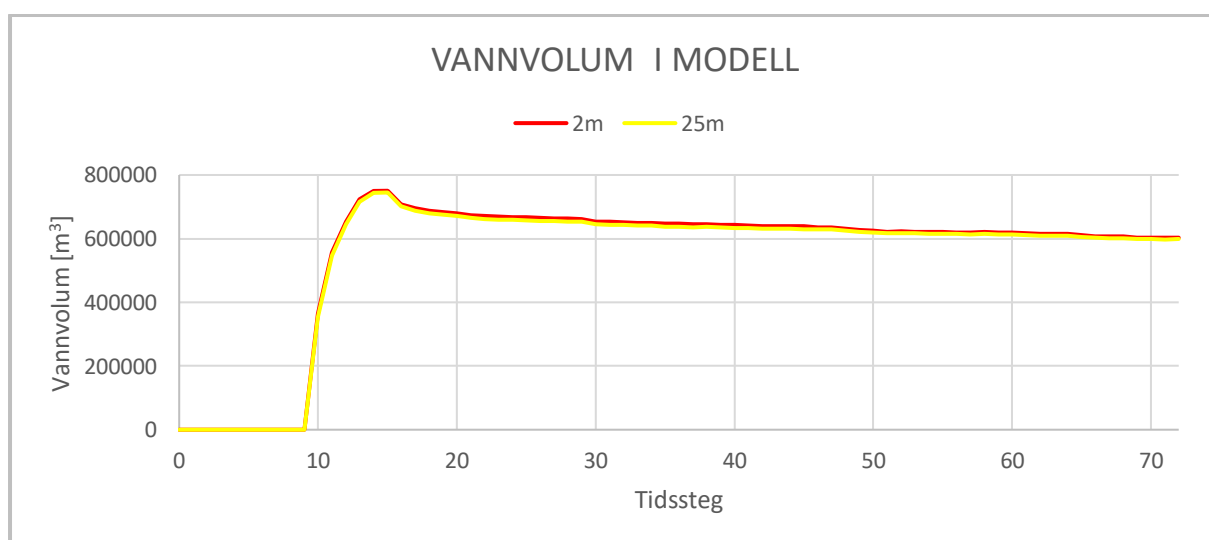
#### 4.2.2 DEL 1.2: SIGNIFIKANS AV HØYDE PÅ BYGNINGER

Tabell 4-3: Resultater for lukket modell med 25 meter høye bygninger.

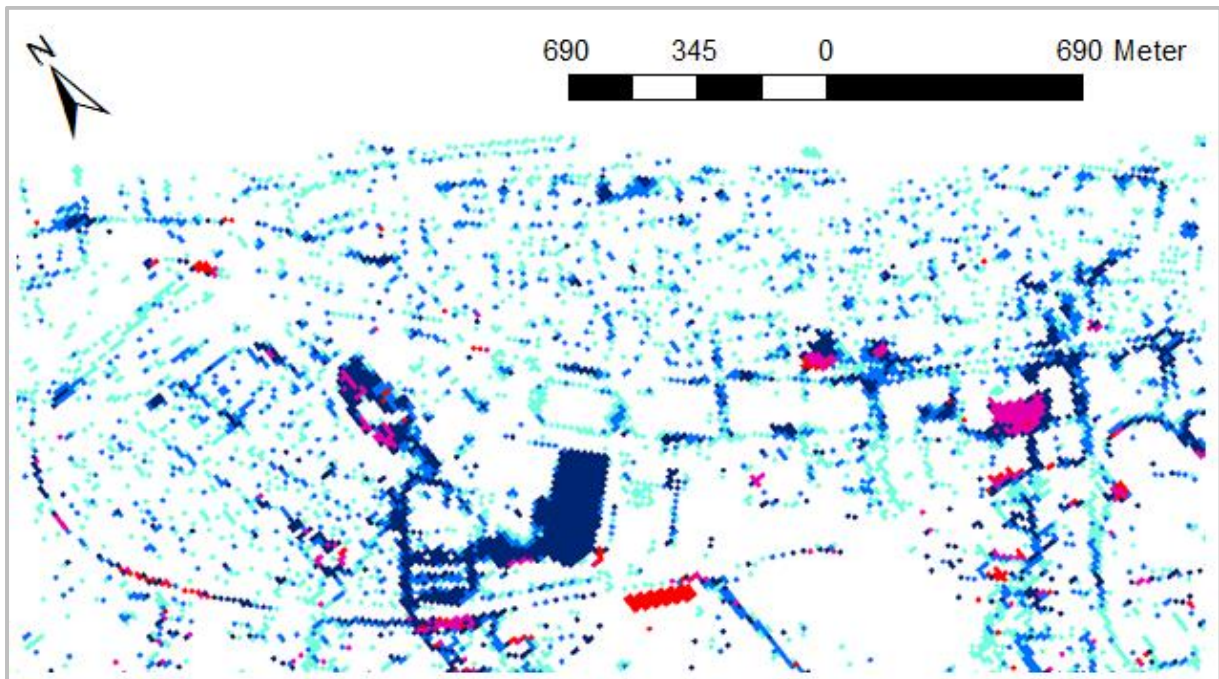
RESULTATER FOR 25 METER HØYE BYGNINGER		
Nedbør (P)	<b>774, 148</b>	m <sup>3</sup>
Korreksjon (C)	<b>382</b>	m <sup>3</sup>
Magasinert vannmengde ( $\Delta M$ )	<b>598, 893</b>	m <sup>3</sup>
Vann som forsvinner	<b>175, 636</b>	m <sup>3</sup>
Avvik (beregnet av total vannmengde inn i modellen)	<b>22.7</b>	%

Tabell 4-4: Resultater for lukket modell med 2 meter høye bygninger.

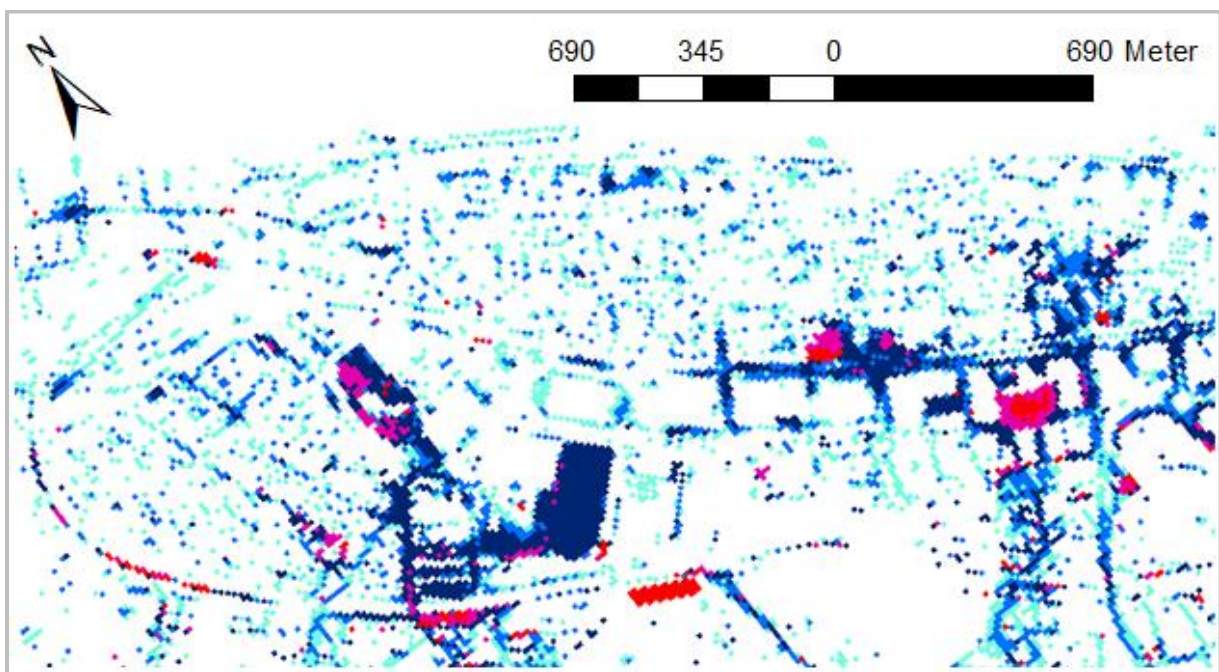
RESULTATER FOR 2 METER HØYE BYGNINGER		
Nedbør (P)	<b>774, 148</b>	m <sup>3</sup>
Korreksjon (C)	<b>796</b>	m <sup>3</sup>
Magasinert vannmengde ( $\Delta M$ )	<b>603, 002</b>	m <sup>3</sup>
Vann som forsvinner	<b>171, 942</b>	m <sup>3</sup>
Avvik (beregnet av total vannmengde inn i modellen)	<b>22.2</b>	%



Figur 4-10: Grafen viser hvordan vannvolumet i modellen utvikler seg gjennom simuleringsperioden på 4 timer for modellene med bygninger på 2 og 25 meter.



Figur 4-11: Maksimal oversvømmelse i modell med 25 meter høye bygninger.



Figur 4-12: Maksimal oversvømmelse i modell med 2 meter høye bygninger.

#### 4.2.3 DEL 1.3: SIGNIFIKANS AV Å LEGGE INN UTLØP FOR Å SIMULERE SLUK

Tabell 4-5: Resultater for modell med 100-årsregn.

<b>RESULTATER FOR MODELL MED 100-ÅRSREGN</b>		
Nedbør (P)	<b>1, 534, 171</b>	m <sup>3</sup>
Korreksjon (C)	<b>3, 384</b>	m <sup>3</sup>
Vann over grense (Q)	<b>410, 044</b>	m <sup>3</sup>
Magasinert vannmengde ( $\Delta M$ )	<b>935, 360</b>	m <sup>3</sup>
Vann som forsvinner/mangler	<b>192, 152</b>	m <sup>3</sup>
Avvik (beregnet av total vannmengde inn i modellen)	<b>12.5</b>	%

Tabell 4-6: Resultater for modell med 100-årsregn med fratrekk.

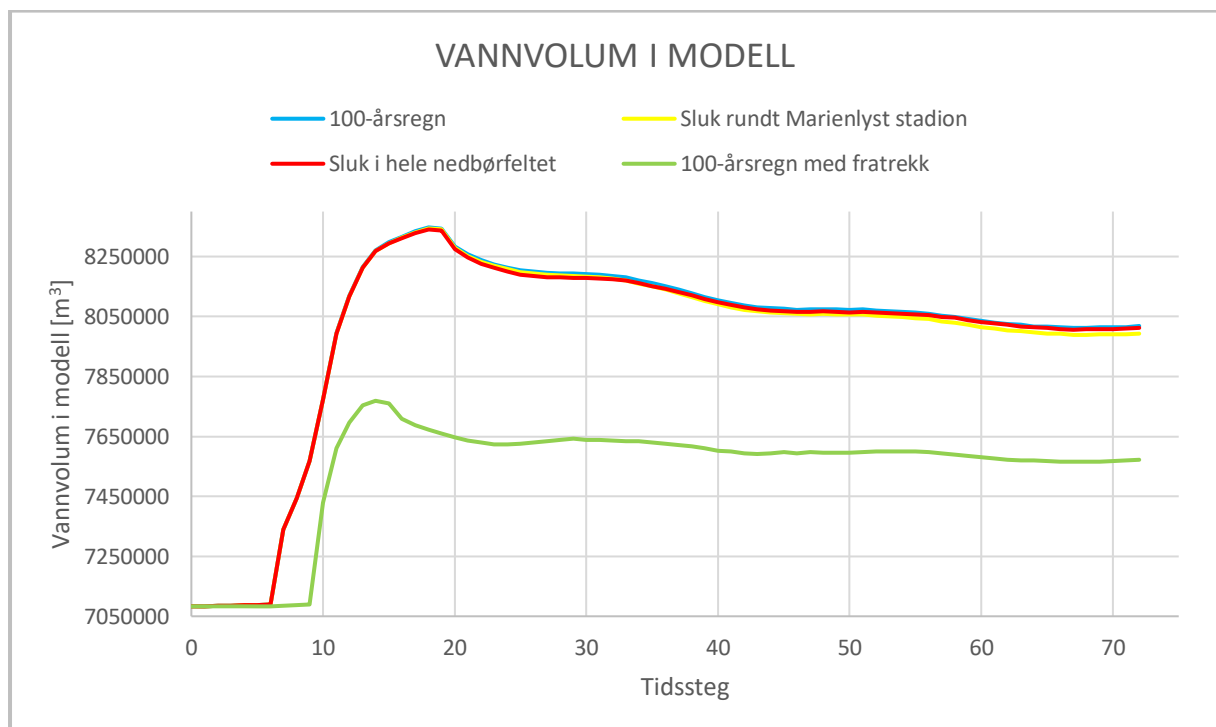
<b>RESULTATER FOR MODELL MED 100-ÅRSREGN MED FRATREKK</b>		
Nedbør (P)	<b>774, 148</b>	m <sup>3</sup>
Korreksjon (C)	<b>841</b>	m <sup>3</sup>
Vann over grense (Q)	<b>100, 622</b>	m <sup>3</sup>
Magasinert vannmengde ( $\Delta M$ )	<b>489, 614</b>	m <sup>3</sup>
Vann som forsvinner	<b>184, 753</b>	m <sup>3</sup>
Avvik (beregnet av total vannmengde inn i modellen)	<b>23.8</b>	%

Tabell 4-7: Resultater for modell med 100-årsregn og ilagte sluk i hele nedbørfeltet.

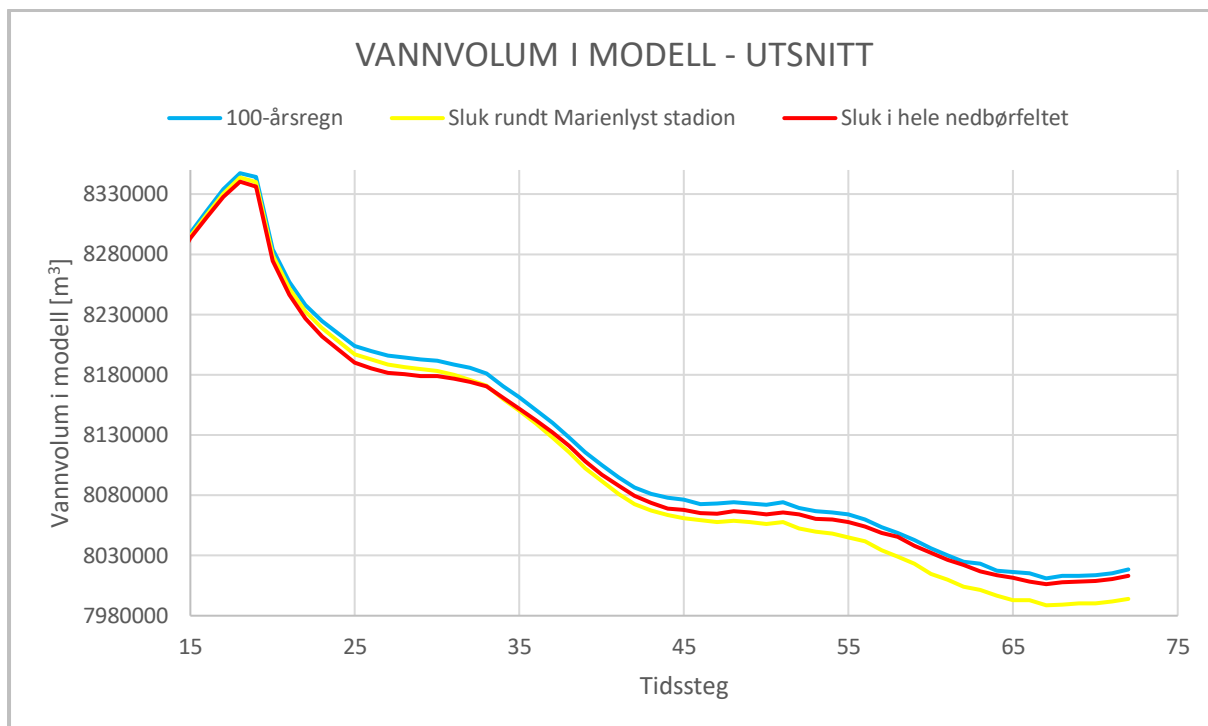
<b>RESULTATER FOR MODELL MED 100-ÅRSREGN OG ILAGTE SLUK</b>		
Nedbør (P)	<b>1, 534, 171</b>	m <sup>3</sup>
Korreksjon (C)	<b>4, 083, 749</b>	m <sup>3</sup>
Vann over grense (Q)	<b>395, 886</b>	m <sup>3</sup>
Vann i sluk (q)	<b>3, 039, 984</b>	m <sup>3</sup>
Magasinert vannmengde ( $\Delta M$ )	<b>929, 832</b>	m <sup>3</sup>
Vann som forsvinner	<b>1, 252, 218</b>	m <sup>3</sup>
Avvik (beregnet av total vannmengde inn i modellen)	<b>22.3</b>	%

Tabell 4-8: Resultater for modell med 100-årsregn og ilagte sluk rundt Marienlyst stadion.

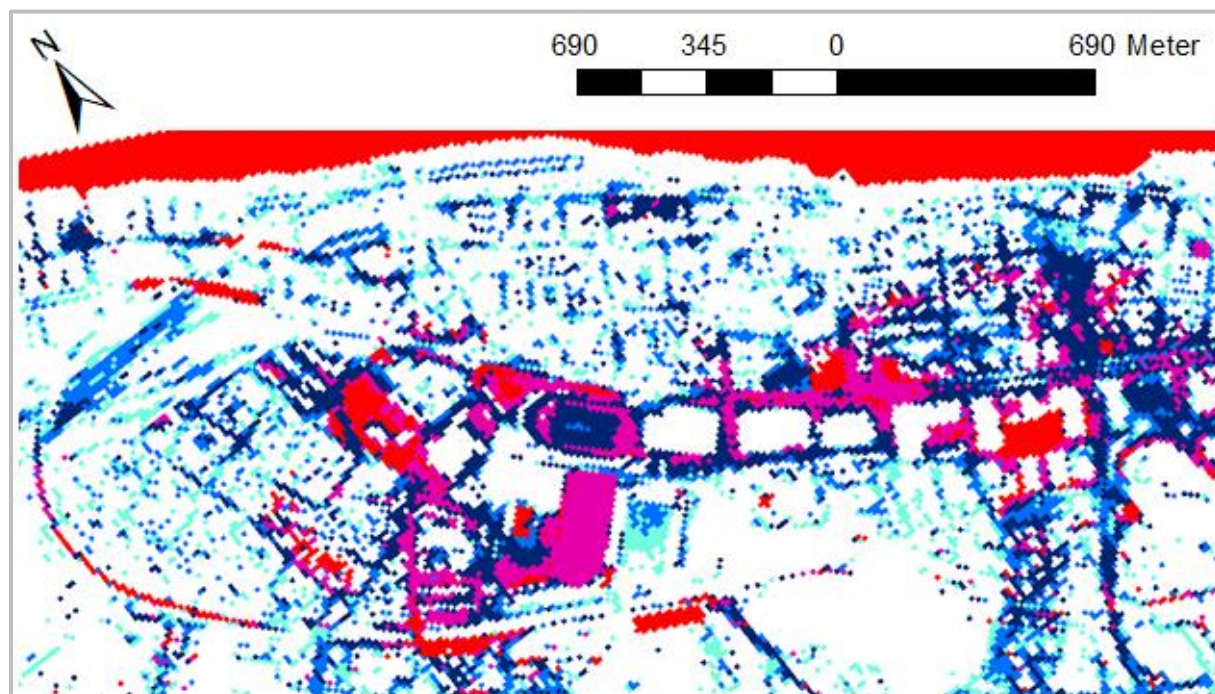
RESULTATER FOR MODELL MED 100-ÅRSREGN OG ILAGTE SLUK RUNDT MARIENLYST STADION		
Nedbør (P)	1, 534, 171	m <sup>3</sup>
Korreksjon (C)	73, 717	m <sup>3</sup>
Vann over grense (Q)	410, 222	m <sup>3</sup>
Vann i sluk (q)	22, 464	m <sup>3</sup>
Magasinert vannmengde ( $\Delta M$ )	910, 440	m <sup>3</sup>
Vann som forsvinner	264, 762	m <sup>3</sup>
Avvik (beregnet av total vannmengde inn i modellen)	16.5	%



Figur 4-13: Grafen viser hvordan vannvolumet i modellen utvikler seg gjennom simuleringsperioden på 4 timer for de ulike modellene.

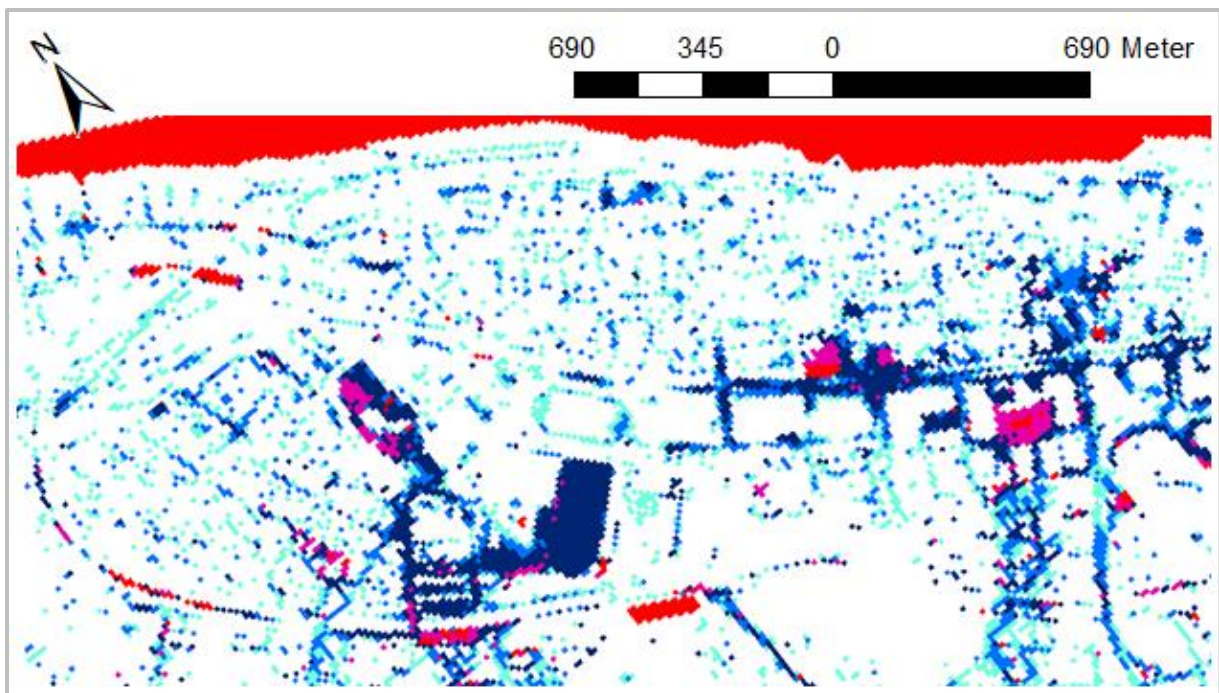


Figur 4-14: Grafen viser et forstørret utsnitt fra figur 4-13 slik at forskjellene mellom de tre grafene «100-årsregn», «Sluk rundt Marienlyst stadion» og «Sluk i hele nedbørfeltet» kommer bedre fram.

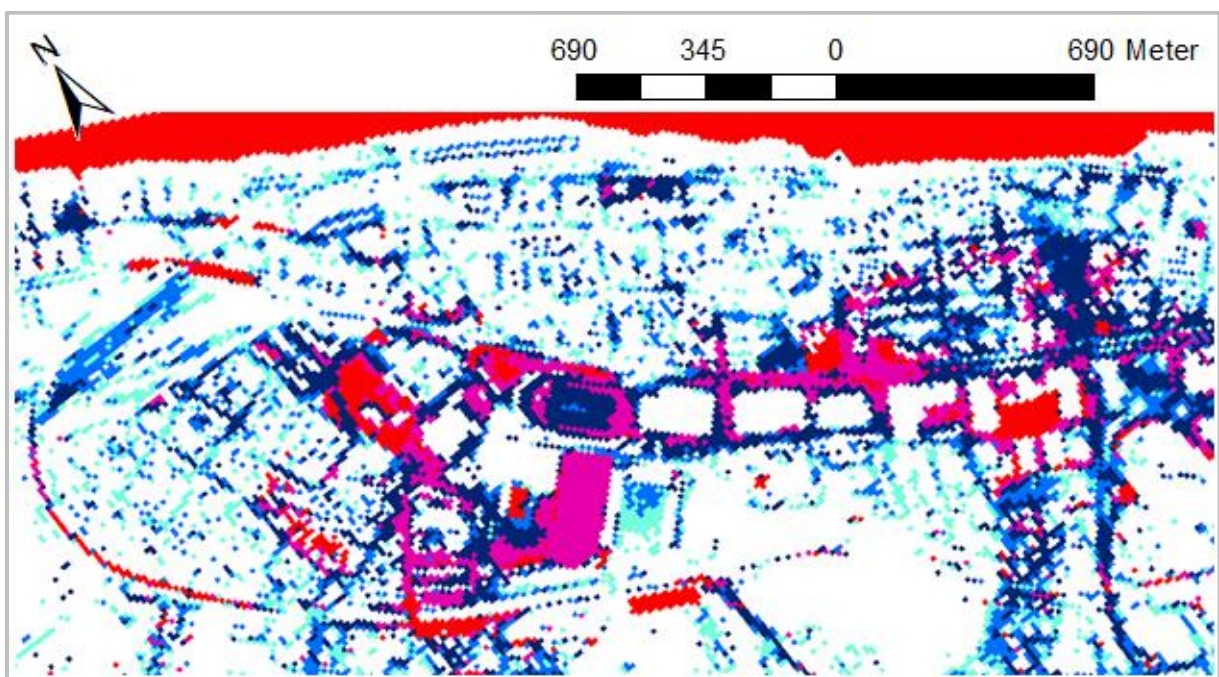


Figur 4-15: Maksimal oversvømmelse i modell med 100-årsregn.

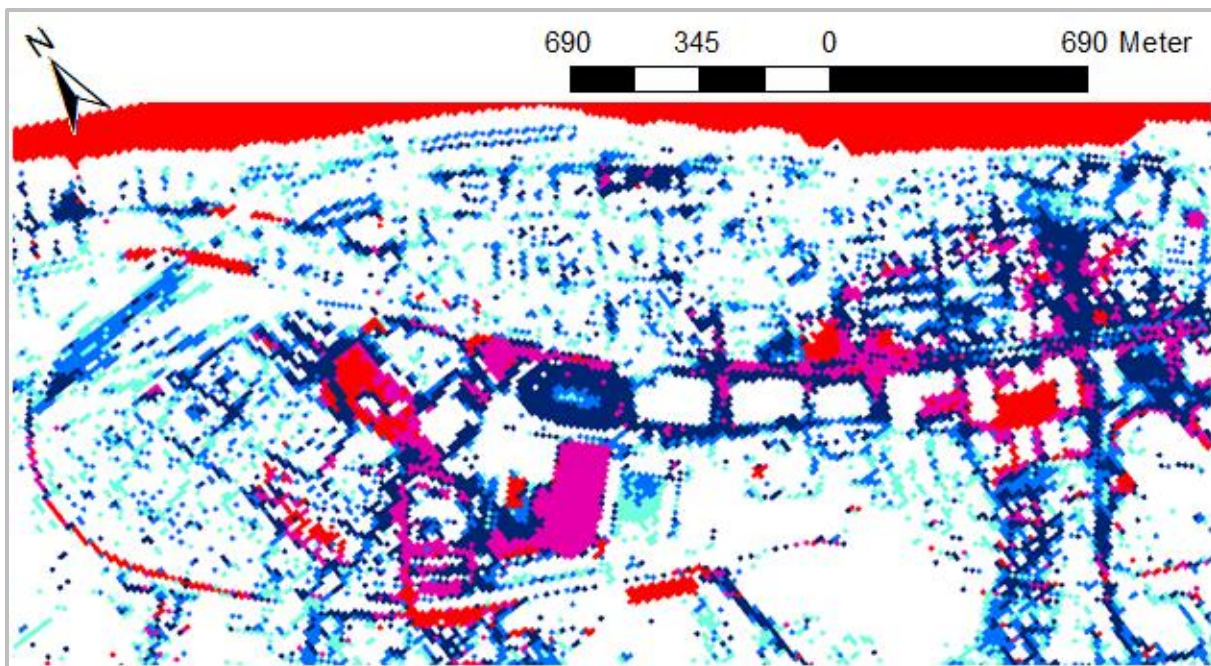




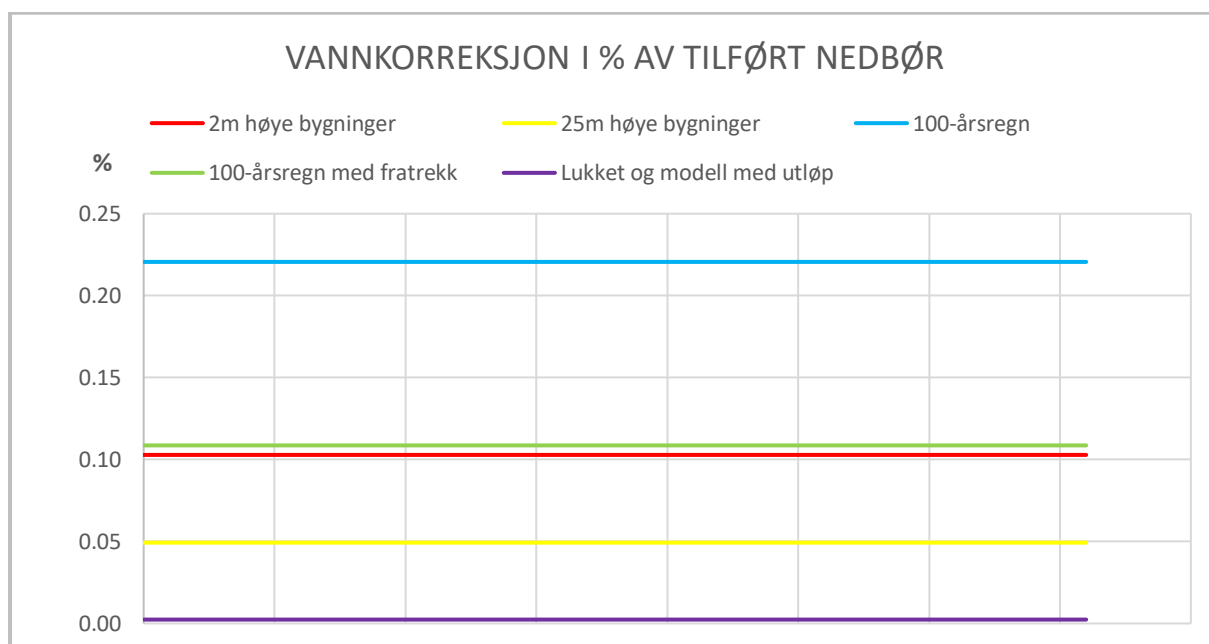
Figur 4-16: Maksimal oversvømmelse i modell med 100-årsregn med fratrekk.



Figur 4-17: Maksimal oversvømmelse i modell med 100-årsregn og sluk.



Figur 4-18: Maksimal oversvømmelse i modell med 100-årsregn og sluk rundt Marienlyst stadion.



Figur 4-19: Vannkorreksjon vises som prosentandel av tilført nedbør for de ulike modellene. Modellene med utløp for å simulere sluk skilte seg ut med høye prosentandeler og kommer derfor ikke fram i figuren. Ved sluk rundt Marienlyst ligger andelen på 4.8%, mens med sluk i hele nedbørfeltet er andelen 266%.

#### 4.2.4 DEL 2: UTPRØVING AV METODER FOR Å ØKE OPPLØSNING AV ET RASTER

Ulike verktøy ble utprøvd for å oppnå målsettingen om å øke oppløsning på en modell med rasterformat. De fleste forsøkene benyttet verktøy fra MIKE 21 Toolbox. Ved bruk av verktøyene Transfer Boundary og Discharge Calculation var metoden å uthente informasjon fra resultatene som oppnås ved simulering av hele nedbørfeltet. Denne informasjonen skal videre benyttes som grensebetingelser for en ny og mindre modell med høyere oppløsning. Metoden som benyttet Transfer Boundary ble forkastet grunnet feilmeldinger. Metoden som benyttet Discharge Calculation ga ikke tilfredsstillende resultater, ettersom vannivå og -fluks ikke varierte i tid. Begge metodene ble sett kort på ved DHI Oslo uten å finne årsak til feilmeldinger eller utilfredsstillende resultat.

Det er mulig å benytte flere batymetrier av ulik oppløsning i ett og samme modelloppsett, så fremt batymetriene behandles ved bruk av verktøyet Border Adjustment. Et vellykket modelloppsett ble etablert, men simuleringene terminerte. Bakgrunnen for dette er mest sannsynlig at flom og tørk oppstår i samme celler langs de justerte cellene, noe som ikke er tillatt. Ifølge DHI Danmark er det ikke vanlig å anvende flere batymetrier i samme modell når Inland Flooding benyttes. Med andre ord er ikke denne metodikken anvendelig ved overvannsmodellering av urbane områder.

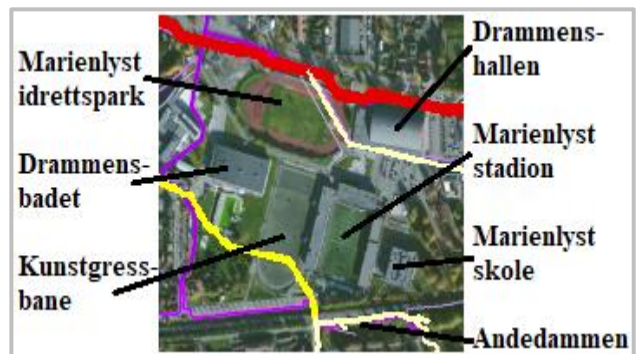
Ved bruk av multi-cell overland solver for inland applications ble to formlike batymetrier av ulik oppløsning benyttet i oppsettet. Denne metoden virket lovende da simuleringstiden ble redusert betraktelig. Dette har sammenheng med at verktøyet løser ligningene i det grove rutenettet, men viser vannfordelingen i cellene til det finere rutenettet. Det er viktig å være klar over at dette verktøyet ikke gir eksakt samme resultater som for den finere batymetrien alene. Dog vil metoden fra et oversvømmelsesperspektiv kunne gi tilstrekkelig nøyaktighet (epost-korrespondanse, DHI Danmark, 2018). Forfatter klarte imidlertid ikke å reprodusere de vellykkede resultatene og grunnet økningen av simuleringstid oppfylte heller ikke denne metoden målsettingen.

## 5 DISKUSJON

### 5.1 GIS-ANALYSE

Av resultatene som viser drenslinjene og forsenkningene kommer det tydelig fram at Strømsø og Strømsgodset er flomutsatte områder. I tillegg til flere forsenkninger går de største drenslinjene gjennom disse bydelene. Strømsø har vært preget av mye skader og har grunnet dette vært fokusområde i flere tidligere oppgaver. Johansen & Moldkleiv (2016) sammenlignet blant annet GIS-analyser for området fra tre ulike oppgaver. Ettersom etableringen av terrengmodellen i denne oppgaven har basert seg på deres framgangsmåte har drenslinjene og forsenkningene blitt sammenlignet med resultatene de oppnådde for å se i hvor stor grad disse sammenfaller.

Generelt er det få forskjeller mellom drenslinjene og forsenkningene i oppgavene. Figur 5-1 viser Marienlyst stadion og drenslinjene til Johansen og Molekleiv i lilla, sammen med drenslinjene fra denne oppgaven i rød, gul og lysegul.



Figur 5-1: Marienlyst stadion med drenslinjer av Johansen & Moldekleiv og forfatter.

Over og til venstre for Andedammen ser man at linjene går i ulike retninger. Antakelig skyldes dette at bassenget utenfor Drammensbadet ble definert som en forsenkning i denne oppgaven, men ikke i oppgaven til Johansen og Moldekleiv. Dette kommer fram av figur 5-2 som sammenligner forsenkningene, hvor bassenget utenfor Drammensbadet er markert med en gul sirkel. Hadde forfatter observert dette tidligere ville tiltak blitt utført for å fylle bassenget slik at man fikk en mer virkelighetsnær modell. Det registreres også forskjeller mellom Marienlyst stadion og Drammenshallen, markert med oransje sirkel i figur 5-2, hvor



Figur 5-2: Forsenkninger dannet av Johansen & Moldekleiv til venstre og av forfatter til høyre.

Johansen og Moldekleiv har registrert flere forsøkninger enn denne oppgaven. Dette har derimot ikke påvirket drenslinjene i samme område.

Illustrasjonene viser hvordan små detaljer kan endre strømningsbildet. Det er viktig å være klar over beregningene som ligger bak analysen og se på resultatene med et kritisk blikk. En forsøknings i ArcGIS er nettopp kun dette – et område som i terrenngmodellen ligger lavere enn andre områder, og derfor er antatt å fylles med vann under en nedbørhendelse. Samtidig er strømningsretningene basert på en D8-algoritme, slik at kun høyde avgjør hvilken *ene* retning vannet tar ut av en celle. Dette gir opphav til usikkerheter da vannet i virkeligheten kan strømme i flere retninger samtidig, og anses som en av de største svakhetene med flomanalyse i ArcGIS. Det er også viktig å være kritisk ved utvelgelse av inngangsdata til den digitale terrenngmodellen, da valgene kan være utslagsgivende for hvilken vei drenslinjene tar.

Variasjonene som registreres mellom oppgavene vil hovedsakelig skyldes den oppdaterte informasjonen av LiDAR-data, ettersom terrenngmodellene er etablert på samme måte. Attributttabellene tilhørende de ulike shapefilene med FKB-data viser at det kun unntaksvis finnes små områder hvor data er samlet inn senere enn 2014, og det er med dette antatt at FKB-data er tilnærmet lik for oppgavene. Laserskanningene er derimot av nyere dato, hvor de i denne oppgaven ble målt i 2015 sammenlignet med 2010 for Johansen og Moldekleiv. Dermed vil nyoppførte bygninger og andre endringer i terrenget ha blitt inkludert i denne modellen. Generering av drenslinjer er med andre ord en kontinuerlig prosess ettersom det urbane landskapet er i kontinuerlig endring og små detaljer kan endre strømningsbildet. Det er også muligheter for at det oppstår små forskjeller ved konvertering av data. Feilprosenten vil avhenge av kvaliteten på konverteringsverktøyet som benyttes. Johansen og Moldekleiv var avhengig av å konvertere FKB-data, samt endre høydedatum for laserskanninger fra NN1954 til NN2000. Forskjeller som kan ha oppstått grunnet konvertering er antatt som så små at de kan neglisjeres.

Generelt er GIS-analyser godt egnet til å skaffe oversikt over et område og kan analysere større områder med høy oppløsning i løpet av relativ kort tid. Svakhetene ligger som skrevet i hvordan strømningsretning defineres og det faktum at ingen hydrauliske beregninger utføres. Målsettingen om å danne en oppdatert terrenngmodell anses som innfridd. For anvendelse i videre forskning kan modellen forbedres ved nøyere gjennomgåelse slik at små avvik, som eksempelvis bassenget, registres og justeres.

## 5.2 MODELLFØLSOMHET TIL EN MIKE 21-MODELL

Gjennomgående for resultatene som tar sikte på å undersøke modellfølsomhet er at vannbalansen er ustabil. Dette kommer tydelig fram av grafene (figur 4-7, 4-10 og 4-13) som viser vannvolum i modell. Store uoverensstemmelser mellom vannvolum inn og vannvolum ut av modellen er ofte forbundet med numeriske ustabiliteter som forekommer i modellen. En allerede nevnt faktor til ustabiliteter er store høydeforskjeller mellom cellene. Hvis MIKE 21 detekterer negative vanndybder vil programmet automatisk tilbake stille vanndybden til et lite positivt tall (DHI, 2016). Når programmet gjør disse endringene skapes et vannvolum som ikke eksisterte i utgangspunktet. Det viser seg at ved å benytte svært lave verdier for flom og tørk vil det minske sannsynligheten for at programmet utfører endringene. Dette var ikke forfatter klar over da simuleringene ble utført. Ved betydelig flom og tørk kan det også oppstå ustabiliteter dersom Smagorinskys formel benyttes. For å unngå potensielle problemer er det anbefalt å benytte en konstant eddyviskositet som baserer seg på fluks framfor hastighet (DHI, 2016). Det er uvisst i hvor stor grad ustabilitetene reduseres av denne endringen.

Ved simuleringsslutt er det mye vann som mangler for at vannbalansen skal være i likevekt. Avviket representerer vannet som enten burde ha gått ut av modellen i løpet av simuleringen eller som burde vært lagret i modellen ved simuleringsslutt. Noe av dette avviket kan forklares med konseptet bak flom og tørk. Avhengig av satt verdi vil det kunne skjule seg vann i de tørre cellene (DHI, 2016). Resultatfilene ble gjennomgått og vanndybder lavere enn tørkparameteren ble detektert, med laveste verdi over 0.004m. Etersom verdiene i resultatfilen er inkludert ved beregning av vannvolumet, må de skjulte vanndybdenes befinne seg under *Undefined Value*.

Endringer i inngangsparametere har gitt merkbare utslag på resultatene. Dette viser viktigheten av å kalibrere modeller. Kalibrering er vanligvis en iterativ prosess, og i den sammenheng burde det utføres flere simuleringer for å stadfeste årsaken til uoverensstemmelsene i vannbalansen. Simuleringene har imidlertid vært så tidkrevende at dette har vært umulig å få til innen tidsrammene. Funnene bør ses på som et grovt overblikk av ustabiliteter som kan oppstå ved ulike endringer. Disse kan utforskes i større grad ved videre forskning eller forsøkes unngått basert på resultatene oppnådd i denne oppgaven.

### 5.2.1 DEL 1.1: FORSKJELL PÅ LUKKET MODELL OG MODELL MED UTLØP

Grafene i figur 4-7 viser at vannvolumet i modellene utvikler seg tilnærmet likt fram til tidssteg 11. Etter dette begynner vannvolumet i begge modellene å minke. Dette kan forklares for utløpsmodellen siden denne skal slippe vann ut over grensen. Den lukkede modellen må derimot lagre alt vannet i modellen og reduseringen i vannvolum er vanskelig å forklare. Det registreres også at den lukkede modellen ble tilført mer korreksjonsvann enn modellen med utløp, noe som kan tilsi en mer ustabil modell. Når alle bidrag til vannbalansen tas hensyn til er derimot avviket i utløpsmodellen 0.5% mindre for den lukkede modellen. For begge modellene kan ustabilitetene reduseres ved å analysere punktene som tilføres vann og gjøre justeringer i batymetrien. Fordelen med å benytte utløpsmodell er at man kan unngå store høydeforskjeller ved kysten da vannivået kan settes tilnærmet lik null. Ettersom den lukkede modellen må samle opp vannet et sted, er det nødvendig med større dybder slik at elven kan fungere som et kar. Høydeforskjellene i den lukkede modellen kan imidlertid løses ved å interpolere verdiene i elven slik at den gradvis bli dypere. På denne måten vil man unngå ustabiliteter grunnet store høydeforskjeller i disse områdene. Det registreres ingen synlige forskjeller mellom figurene (4-10 og 4-11) som viser oversvømmelser i Strømsø.

Hvilken type modell som er å foretrekke vil avhenge av formålet med simuleringen. For analyser som beskjeftiger seg med hvor og i hvilket omfang oversvømmelser vil forekomme er det stor grad av resultatlikhet mellom modellene. Tidsforbruket er dog litt høyere for en utløpsmodell grunnet noe mer omfattende arbeid med opprettelse av batymetri og oppsett, samt etterbehandling av resultater dersom vannbalansen skal tas hensyn til. Basert på denne undersøkelsen heller det mot at en lukket modell er å foretrekke.

Et uventet funn kom fram av resultatene til utløpsmodellen. Det ble registrert at vannet ikke strømmte over grensen når vannivået i modellen og ved utløpet ble satt lik terrengbunnen til elven. Dette førte til at oppsettene måtte gis nye vannivåverdier for å oppnå vannføring over grensen. Funnet er vanskelig å forklare med forfatters begrensede kunnskaper i programmet, men det har blitt registrert at vannivået ved utløpet varierer *rundt* satt verdi. Variasjonene som observeres er på millimeternivå eller lavere. Manglende utslippsresultater tyder på at programmet er avhengig av litt margin over og under satt verdi, noe en verdi lik høyden på terrenget ikke kan tillate.

### 5.2.2 DEL 1.2: SIGNIFIKANS AV HØYDE PÅ BYGNINGER

Figur 4-10, som viser hvordan vannvolumet i modellene varierer over de ulike tidsstegene viser små forskjeller mellom de ulike modellene. Ettersom begge modellene var lukkede reageres det på formen til grafene, som også her indikerer at modellen «lekker vann» etter endt nedbør.

Et interessant funn i dette oppsettet er at MIKE 21 genererer 414, 000 liter korreksjonsvann *mer* for bygningene på 2 meter. Dette er stikk i strid med hva som var forventet. Flere analyser med ulike høyder på bygningene må til for å dra slutning av hvordan dette påvirker vannkorreksjonen og balansen i modellen. Det registreres også at modellen med 25 meter høye bygninger «mangler» mer vann ved simuleringsslutt. Avviket skyldes hovedsakelig forskjellen i magasinert vannmengde, der modellen med 2 meter høye bygninger står igjen med 4, 109, 000 liter mer vann ved endt simulering. Dette stemmer overens med figur 4-11 og 4-12 som viser oversvømmelser i Strømsø. Modellen med 2 meter høye bygninger viser blant annet større vanddybder ved kunstgressbanen og utenfor Drammensbadet ved utebassenget.

Basert på disse resultatene er det ingen av modellene som skiller seg ut til å være et foretrukket oppsett. Bakgrunnen for at bygningene ble hevet 25 meter var at vannet skulle strømme rundt bygningene. Ettersom denne metoden viser ustabilitet, både ved 25 og 2 meter, bør det med fordel undersøkes om det finnes andre metoder for å få til dette.

Ettersom alle andre simuleringsoppsett har basert seg på terreng med 2 meter høye bygninger er det nærliggende å anta at deler av avvikene som registreres kan tilskrives valg av terrengmodell.

### 5.2.3 DEL 1.3: SIGNIFIKANS AV Å LEGGE INN UTLØP FOR Å SIMULERE SLUK

Et av de mest interessante resultatene viste seg når ulike nedbør ble benyttet. For modellene som benytter redusert nedbør er 22-24% av tilført vannmengde ikke gjort rede for ved simuleringsslutt. Dette avviket ble redusert med rundt 10 prosentpoeng når nedbørfilen *uten* fratrukk ble benyttet. Det er vanskelig å si for sikkert hva dette skyldes, men det kan ligge noe i allerede nevnte flom- og tørkparametere. Ettersom det kommer mer vann inn i modellen med nedbøren uten fratrukk er det nærliggende å anta at flere celler defineres som våte. Dette vil redusere feilkilden som kan ligge i at celler som defineres som tørre faktisk inneholder noe vann. Det observeres også at MIKE 21 kompenserer med 0.22% (av nedbøren) for modellen med mest nedbør sammenlignet med 0.11% for modellen med redusert nedbør. Dette kan tyde på at modellen med minst nedbør er en mer stabil modell.



Figur 4-14 viser hvordan vannvolumet i modellen utvikler seg for modellen uten sluk, med sluk rundt Marienlyst stadion og sluk i hele nedbørfeltet. Som forventet vil vannvolumet for modellen uten sluk være størst gjennom tidsstegene. Det er interessant å se hvordan modellen som kun har sluk rundt Marienlyst stadion ender opp med minst vannvolum av alle. Dette skyldes nok den strategiske plasseringen av slukene i et område hvor mye vann akkumuleres, som vil si at slukene kontinuerlig kan trekke ut vann fra cellene.

Ettersom modellen med sluk i hele nedbørfeltet også har sluk plassert i områder som ikke er flomutsatte vil cellene omsider bli tørre, og slukene får ikke trukket ut noe vann.

Figur 4-15 og 4-17 viser oversvømmelser skapt av et 100-årsregn i en modell uten sluk og en modell med sluk spredt over nedbørfeltet. Det er ikke registrert variasjoner mellom disse. Figur 4-18 viser oversvømmelser skapt av et 100-årsregn hvor det kun er ilagt sluk i området rundt Marienlyst stadion. Sammenlignet med figur 4-15 og 4-18 er det tydelige forskjeller. Dette indikerer at utløp som simulerer sluk bør plasseres i lavbrekk hvor mye vann akkumuleres gjennom hele simuleringstiden. Oversvømmelsesresultatene for modellen med redusert nedbør (figur 4-16) skiller seg kraftig ut, med vanndybder som er mye lavere enn for de andre oppsettene.

Modellene som benytter utløp for å simulere sluk viste store ustabiliteter. Dette kommer fram av vannkorreksjonsfilen, som viser at programmet tilfører enorme mengder vann i cellene som slukene befant seg i. Verdier opptil 3014 meter er registrert i celler for modellen med sluk over hele nedbørfeltet. Dette gjør naturlig store utslag på vannbalansen og for nevnte oppsett kompenserte MIKE 21 med 266% av tilført nedbør. Det kan tenkes at dette skyldes at slukene ble gitt en konstant vannføring, mens nedbørfilen er varierende i tid. Dette kan føre til at allerede før det begynner å regne på nedbørfeltet vil slukene begynne å trekke ut vann. Etter 60 minutter nedbør gjenstår det fortsatt 3 timer hvor slukene tar unna gitt vannføring, og kanskje vil det i disse tilfellene genereres svært lave vanndybder. Denne forklaringen støttes av at det ble kompensert med 4.8% vann der slukene ble plassert i et område hvor det akkumuleres store mengder vann – sammenlignet med 266% når slukene i tillegg blir plassert i områder der vannet ikke akkumulerer. Utløp som simulerer sluk skal imidlertid ikke trekke ut mer vann enn hva som er tilgjengelig i cellen (DHI, 2016). Ettersom vannkorreksjonsfilen kun viser total vannkorreksjon for hver celle, kan det ikke blas gjennom tidssteg for å undersøke når kompenseringen finner sted. Med dette mister man et godt hjelpemiddel til å analysere avvikene. For å undersøke innvirkningskraften den konstante vannføringen har på

vannkorreksjonen kan det forsøkes å legge inn tidsseriefiler for slukene i stedet for en konstant kapasitet. Ustabilitetene kan også søkes redusert ved å redusere tidssteget i simuleringen.

Denne oppgavens metode for å legge inn utløp for simulering av sluk er ikke anbefalt siden dette gir svært ustabile modeller. Å benytte seg av en nedbør som trekker fra et 10-årsregn for ledningsnett bør også revurderes. Johansen & Moldekleiv (2016) fikk resultater som synliggjorde at en modellering i MIKE 21 fjernet mer overvann fra terrengoverflaten enn modelleringen med MIKE FLOOD. Med forbehold om at det ikke er feil i simuleringene kan dette tyde på at ledningsnett ikke tar unna for et 10-årsregn som først antatt. Grimnes (2017) benyttet seg ikke av fratrekk basert på erfaringer fra Hellesjø og Lauvås i Drammen kommune som tydet på at ledningsnett i Drammen har noe lavere kapasitet enn 10-årsregn, samtidig som det ble tatt høyde for at ledningsnett kan gå tett. Antagelsen om at ledningsnett har kapasitet tilsvarende et 10-årsregn gir sannsynligvis et urealistisk bilde, og kapasiteten er trolig lavere.

#### 5.2.4 OPPSUMMERING OG ANBEFALNINGER FOR VIDERE MODELLERING

Utførte simuleringer er en form for førsteutkast ettersom videre kalibrering ikke ble utført. Først og fremst anbefales det å utføre endringer i innstillingsscriptet til MIKE 21 for alle oppsettfiler før simuleringer utføres slik at man har kontroll på ekstra tilført vann. Andre justeringer innebærer blant annet lavere verdier for flom- og tørkparameterne. Dette vil redusere feilkilden som kan ligge i at tørre celler inneholder noe vann, samtidig vil sannsynligheten for at MIKE 21 kompensere med ekstra vann reduseres. Batymetrier bør også gjennomgås og endringer utføres der det er store høydeforskjeller for å redusere ekstra tilført vann. Store høyder kan spores opp i resultatfilen som viser maksimal oversvømmelse gjennom hele simuleringsperioden. Koordinater som mottar korreksjonsvann bør også undersøkes i batymetrien. Videre anbefales det ikke å benytte en nedbør med fratrekk tilsvarende et 10-årsregn, da tidligere studier tyder på at kapasiteten er lavere. Ustabiliteter kan også forsøkes redusert ved å benytte en konstant eddyviskositet som baserer seg på fluks framfor hastighet. Avslutningsvis bør det benyttes en PC med raskere prosessor enn i denne oppgaven, ettersom dette har *stor* innvirkningskraft på simuleringstiden.

### 5.3 UTARBEIDING AV NY METODIKK

Å utarbeide en metodikk for analyse i et fremmed dataprogram har vært utfordrende. Etter mange mislykkede forsøk har det vist seg at raster ikke kan imøtekomme målsettingen om høy oppløsning i flomutsatte områder når forutsetningene har vært å ikke komprimere nedbørfeltet eller øke simuleringstiden i stor grad.

Forsøkene som benyttet resultater fra hele nedbørfeltet som inngangsdata i en ny modell ga ikke vellykkede resultater. Forsøkene som gikk ut på å benytte flere terrengmodeller av ulik oppløsning samtidig i ett simuleringsoppsett kan anses som de mest vellykkede, dog ble parameteren «Inland Flooding» ikke benyttet.

Etter samtaler med DHI Danmark kom det fram at MIKE 21 Flow Model basert på raster ikke er tilrettelagt for å øke oppløsningen av et område ved modellering av urbane pluviale flommer. Oppsettet som i størst grad kan imøtekomme målsettingen er multi-cell overland solver for inland applications, men også her blir simuleringstiden for lang. Resultatene blir heller ikke like detaljerte som for en batymetri med høyere oppløsning alene, men skal kunne gi tilstrekkelig nøyaktighet dersom man kun er interessert i hvilke celler som oversvømmes.

Dersom hele nedbørfeltet skal tas hensyn til må man trolig benytte flexible mesh for å oppnå en høy nok oppløsning i interesseområder. Salmonsson (2015) sammenlignet derimot raster mot flexible mesh ved modellering av urbane pluviale flommer og resultatene viste ikke signifikante forskjeller på hvor vannet valgte å strømme eller akkumuleres. Dog var det noe mer oversvømmelser i risikoområder ved bruk av raster, noe som fra et føre-var perspektiv anses som positivt. Ettersom etableringen av flexible mesh er langt mer krevende enn etableringen av raster konkluderte Salmonsson med at det ikke fantes noen fornuftig grunn til å bytte fra raster til flexible mesh. I oppsettet til Salmonsson var oppløsningen på rasterene 4x4 meter, mens det ble tatt utgangspunkt i 1x1 meter for oppbyggingen av flexible mesh. Resultatene vil muligens være annerledes dersom høyere oppløsning benyttes.

Ettersom høyere oppløsning ikke lar seg utføre med rasterformat uten å minke analyseområde eller måtte belage seg på lang simuleringstid konkluderes det med at flexible mesh må benyttes for å imøtekomme satt målsetting.

## 5.4 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Undersøkelsene av følsomheten til MIKE 21-modellene er kun et første steg i kalibreringen og det bør gjennomføres grundigere analyser gjennom flere simuleringer. I denne sammenheng ville det vært av interesse å sammenligne terrengmodellen benyttet i tidligere oppgaver med denne for samme simuleringsoppsett, for å utelukke at feilkilden stammer fra den nyopprettede digitale terrengmodellen.

Videre kan det utføres flere simuleringer med ulik høyde på bygningene for å se hvordan vannkorreksjonen og vannbalansen påvirkes. I samme oppgave kan andre metoder for å legge inn bygninger undersøkes.

Sluk bør også undersøkes grundigere da simuleringene viste enorme ustabiliteter. Dersom man klarer å oppnå en stabil modell med sluk ville det vært interessant og sammenlignet dette med en hydraulisk ledningsnettmodell, for eksempel MIKE FLOOD.

Nye undersøkelser kan gå ut på å undersøke parameteren for eddyviskositet. Johansen & Moldekleiv (2016) fikk anbefalt en konstant Smagorinsky koeffisient på 0.5 av DHI, og senere oppgaver har basert seg på dette. Dokumentet “MIKE 21 Flow Model: Hints and recommendations in applications with significant flooding and drying” anbefaler derimot å benytte en konstant eddyviskositet som baserer seg på fluks framfor hastighet for å redusere potensielle ustabilitetsproblemer.

## 6 KONKLUSJON

En ny terrengmodell ble etablert i ArcGIS. Denne ble benyttet til overvannsanalyse i ArcGIS og som inngangsdata i MIKE 21-modeller. GIS-analysen viste noen endringer fra tidligere terrengmodell både for drenslinjer og forsenkninger. Det er antatt at endringene hovedsakelig skyldes oppdaterte LiDAR-data. GIS-analyser *kan* gi god oversikt over risikoområder, men ettersom ingen hydrauliske beregninger utføres befatter metoden seg med store usikkerheter. De største usikkerhetene stammer fra valg og behandling av inngangsdata, samt verktøyet som definerer akkumulert strømming.

Det ble tatt utgangspunkt i vannbalansen når følsomheten til MIKE 21-modeller ble undersøkt. Alle simuleringene viste store uoverensstemmelser mellom magasinert vannvolum i og vannvolum inn og ut av modellen. Dette er ofte forbundet med numeriske ustabiliteter som forekommer i modellen, noe som kan skyldes store høydeforskjeller mellom naboceller og valg av parametere, spesielt flom og tørk. Å redusere verdiene for flom og tørk vil trolig redusere feilkilden der tørre celler inneholder noe vann som ikke blir tatt hensyn til, samtidig som sannsynligheten for at MIKE 21 kompensere med ekstra vann grunnet store høydeforskjeller reduseres.

Lukket modell sammenlignet med utløpsmodell ga svært like resultater, både hva angår oversvømmelse og stabilitet. Forskjellen ligger hovedsakelig i tidsforbruk, hvor det er noe mer arbeid for utløpsmodellen grunnet opprettelse av batymetri og oppsett, samt etterbehandling av resultater dersom vannbalansen skal tas hensyn til. Basert på dette heller det mot at en lukket modell er å foretrekke.

Simuleringene som sammenlignet ulike høyder viste merkbare forskjeller i oversvømmelser, hvor modellen med 2 meter høye bygninger hadde større vanndybder enn modellen med 25 meter høye bygninger. Det ble også tilført mer korreksjonsvann til modellen med de lave bygningene, noe som tyder på en mer ustabil modell. Ettersom resultatene ikke gir et godt nok bilde på hvordan høyden på bygningene påvirker en MIKE 21-modell, anbefales det å utføre flere simuleringer med ulike høyder for å se hvordan vannkorreksjon og vannbalanse påvirkes. Andre metoder for å legge inn bygninger i rasteret kan med fordel undersøkes. Foruten modellen med 25 meter høye bygninger, baserte alle simuleringsoppsett seg på

terreng med 2 meter høye bygninger. Det er nærliggende å anta at deler av avvikene som registreres i andre simuleringer skyldes dette valget.

Modelleringsresultatene som ble benyttet til å vurdere signifikansen av å plassere utløp for å simulere sluk var sprikende. Når det ble plassert sluk i hele nedbørfeltet var det ingen merkbare forskjeller i oversvømmelser sammenlignet med modellen uten sluk. Modellen med sluk kun plassert i området rundt Marienlyst stadion viste derimot merkbar forskjell sammenlignet med de nevnte oppsettene. Dette tyder på at utløp som simulerer sluk bør plasseres i lavbrekk hvor mye vann akkumuleres gjennom hele simuleringsperioden for å ha en effekt på oversvømmelsesbildet. Modellene med sluk bør imidlertid undersøkes videre ettersom simuleringene viste *enorme* ustabiliteter. Grunnet dette kan det ikke konkluderes hvorvidt det er fordelaktig å benytte utløp som simulerer sluk framfor en redusert nedbør for å representere ledningsnett. Kapasiteten til ledningsnett i Drammen er ifølge tidligere studier trolig lavere enn antagelsen om kapasitet til et 10-årsregn. For å redusere usikkerheter i framtidig overvannsmodellering bør derfor de reduserte nedbørmengdene økes.

MIKE 21 Flow Model basert på raster er ikke tilrettelagt for å øke oppløsningen av et område ved modellering av urbane pluviale flommer, når forutsetningene er å ikke minke analyseområdet eller øke simuleringstiden. Dermed konkluderes det med at flexible mesh må benyttes for å imøtekomme satt målsetting.

## 7 REFERANSER

- Abry, K. (2016). *Modellering av overvann i et urbant område ved bruk av ArcGIS og MIKE 21 med fokus på overflateruhet og infiltrasjon* [Masteroppgave]. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Alfsen, K. H. (2001). *Klimaet er i endring*. CICERO Policy note, 2001:02. Oslo: Center for International Climate and Environmental Research (CICERO).
- Bryhni, I. (2017). *Milanković-sykler*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Milankovi%C4%87-sykler> [lest 18. mars 2018].
- Bryhni, I. & Olerud, K. (2014). *Klimagasser*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no.klimagasser> [lest 20. mars 2018].
- Dahl, M. (2013). *Overvannsstrategi for Drammen*. [Artikkel]. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/overvannsstrategi-for-drammen/> [Lest 22. april 2018].
- Dannevig, P. & Harstveit, K. (2013). *Klima i Norge*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/klima\\_i\\_norge](https://snl.no/klima_i_norge) [lest 2. mars 2018].
- Dannevig, P. & Harstveit, K. (2017). *Klima*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/klima> [lest 11. februar 2018].
- Dannevig, P. (2018). *Nedbør*. Stor Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/nedb%C3%B8r> [lest 1. april 2018].
- DHI. (2016). *MIKE 21 Flow Model: Hints and recommendations in applications with significant flooding and drying*. DHI Software Archive. Tilgjengelig fra: <https://www.dhigroup.com/upload/dhisoftwarearchive/papersanddocs/hydrodynamics/MIKE21SignificantFlodryGuidelines.pdf>

- DHI. *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM: Hydrodynamic Model: Short Description*. Hørsholm, Denmark.
- DHI. (2017a). *MIKE 21 Flow Model: Hydrodynamic Model: User Guide*. Hørsholm, Denmark.
- DHI. (2017b). *MIKE 21 Toolbox: User Guide*. Hørsholm, Denmark.
- DSB. (2016). *Risikoanalyse av regnflom i by: Krisescenarioer 2016 - analyser av alvorlige hendelser som kan ramme Norge*. Skien: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB).
- Engan, J. A. (2015). *Modellering av vannforsyningsnett* [Forelesning]. 03.09.15.  
Emne: THT300 – Vassdragsplanlegging og VA-systemer. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Engineers Australia. (2012). *Australian Rainfall and Runoff: Revision Project 15: Two dimensional modelling in urban and rural floodplains* [Rapport].  
Rapportnummer: P15/S1/009
- ESRI Developer Network. *What is ArcGIS Desktop?* [Internett]. Tilgjengelig fra:  
[http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/cpp\\_vb6\\_vba\\_vc++\\_doc/shared/desktop/get\\_started/what\\_is\\_dtop.htm](http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/cpp_vb6_vba_vc++_doc/shared/desktop/get_started/what_is_dtop.htm) [lest 10. mai 2018].
- Front: meteorologi. (2009), i: *Store Norske Leksikon* [Internett].  
Tilgjengelig fra: [https://snl.no/front\\_-\\_meteorologi](https://snl.no/front_-_meteorologi) [lest 6. april 2018]
- Fuglestad, J.S., Benestad, R., Harstveit, K. & Mamen, J. (2017). *Klimaendringer*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/klimaendringer> [lest 18. mars 2018].
- Grimnes, E. V. (2017). *Modellering av effekten av flomforebyggende tiltak i et urbant område* [Masteroppgave]. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.



- Grodsky S. A. & Carton J. A. (2002). *The Intertropical Convergence Zone in the South Atlantic and the Equatorial Cold Tongue*. Department of Meteorology, University of Maryland at College Park.
- Grunnvann i Norge. (2016). *Geoteknikk og grunnvann* [Internett]. Tilgjengelig fra: [http://www.grunnvanninorge.no/geoteknikk\\_setningsskader.php](http://www.grunnvanninorge.no/geoteknikk_setningsskader.php) [lest 15. april 2018].
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A., et al. (2015). *Klima i Norge 2100- Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015*. NCCS report, 2015:2. 204 s.
- Hellesjø & Torgersen. (2016). *Analyse av overvannsstrømmer og skadedata i Drammen kommune* [Innlegg]. Nasjonal beredskapskonferanse; GeoKlar.
- Holtet, J. A. (2018). *Lidar*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/lidar> [lest 11. februar 2018].
- IPPC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change-Summary for policymakers*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press. 32 s
- Johansen, J. A. & Moldekleiv, H. J. S. (2016). *Utprøving av metodikker for modellering av overvann i et urbant område ved bruk av ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD* [Masteroppgave]. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Kunduraci, M. (2016). *Analyse av LOD-tiltak* [Masteroppgave]. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Lindholm, O. (2017a). *Avløpssystem* [Forelesning]. Emne: THT261 - Vannforsyning og avløpssystemer. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Lindholm, O. (2017b). *Summasjonskurvemetoden for beregning av overvann* [Forelesning].

Emne: THT261 - Vannforsyning og avløpssystemer. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

- Lindholm, O., Aaby, L., Endresen, S., Jakobsen, G., Sægvog, S. & Thorolfsson, S. (2008:162). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Hamar: Norsk Vann.
- Meiforth, J. J. (2013). *Modelling flood streams for urban planning in Trondheim, Norway*. Salzburg, Tyskland: Paris-Lodron-Universität Salzburg.
- Miljødirektoratet. (2013a). *FNs klimapanelers femte hovedrapport: Klima i endring – Store utfordringer, et mangfold av løsninger*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2013/Desember-2013/Klima-i-endring/> [lest 26. februar 2018].
- Miljødirektoratet. (2013b). *Hvilken fremtid vil vi velge?* [Faktaark]. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2013/Oktober-2013/Hvilken-framtid-skal-vi-velge/> 4 s.
- Miljødirektoratet. (2013c). *Klimaendringer i Norge frem til i dag* [Faktaark]. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2013/September-2013/Klimaendringer-i-Norge-frem-til-idag/> 4 s.
- Miljødirektoratet. (2015). *Klimaendringene er alvorlige også for Norge*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2015/September-2015/Klimaendringene-er-alvorlige-ogsa-for-Norge/>
- Miljøkommune.no. (2016). *Treleddsstrategi for overvann og grønnstruktur i arealplanlegging*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljokommune.no/Temaoversikt/Vannforvaltning/Overvann/Overvann-i-planlegging/Treleddsstrategi-for-overvann-og-gronnstruktur-i-arealplanlegging/> [lest 20. april 2018].
- Moe, I., M., D. (2015). *Kartlegging av forurensning i urbane løsmasser* [Masteroppgave]. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Murtne, D. (2015). *Urbane flomveier. Generering av drenslinjer for området Solumstrand i*

- Drammen ved bruk av ArcGiS* [Masteroppgave]. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Nilsen, V. (2017a). *Flomberegninger og frekvensanalyse I* [Forelesning]. 11.10.2017.  
Emne: THT300 - Vassdragsplanlegging og VA-systemer. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Nilsen, V. (2017b). *Nedbør: IVF-kurver og modellregn* [Forelesning]. 19.10.2017.  
Emne: THT300 - Vassdragsplanlegging og VA-systemer. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Nilsen, V. (2017c). *Nedbørtap II: Infiltrasjon I* [Forelesning]. 25.10.2017.  
Emne: THT300 - Vassdragsplanlegging og VA-systemer. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Norad. (2013). *Befolkningen øker i utviklingsland og i byer* [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.norad.no/om-bistand/tallenes-tale/befolkningen-oket-i-utviklingsland-og-i-byer/> [lest 22. april 2018].
- Norges Geotekniske Institutt. *Aktuelt fra NGI - Urban flom – et stigende problem* [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.ngi.no/Nyheter/Aktuelt-fra-NGI/Urban-flom-et-stigende-problem> [Lest 25. april 2018].
- Norsk Hydrologiråd. (2011). *Urbanhydrologi - Grunnlag for moderne og bærekraftig urban overvannshåndtering* [Fagseminar]. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Norsk klimaservicesenter. *Klimanormaler*. Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/Klimanormaler> [lest 26. februar 2018].
- Norsk klimaservicesenter. (2017a). *Klimaprofil Finnmark - Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning*.

- Norsk klimaservicesenter. (2017b). *Klimaprofil Nordland - Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning*.
- Norsk klimaservicesenter. (2017c). *Klimaprofil Troms - Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning*.
- NOU. (2015: 16). *Overvann i byer og tettsteder: Som problem og ressurs*. Oslo: Klima- og miljødepartementet. 276 s
- Økklusjon: meteorologi (2018), i: *Store Norske Leksikon* [Internett].  
Tilgjengelig fra: [https://snl.no/okklusjon\\_-\\_meteorologi](https://snl.no/okklusjon_-_meteorologi) [lest 1. april 2018].
- Oterholm, A. I. (2008). *Bruk av ArcGIS*. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/16810715/arcgis-innforing-2.pdf> [lest 10. mai 2018].
- Paus, K. H. (2017). *Overvannshåndtering - som del av byplanleggingen*. [Presentasjon].  
Tilgjengelig fra: <https://bygg.tekna.no/wp-content/uploads/2017/10/Presentasjon-2017-10-19-TEKNA-Overvannsh%C3%A5ndtering-som-del-av-byplanleggingen.pdf> [lest 20. april 2018]
- Roholt, N. *Nedbørstyper*. Tilgjengelig fra: [subsites.egaa-gym.dknr/geografi/roholt/Klimatologi/vejrleksikon/nedb%F8rstyper.html](https://subsites.egaa-gym.dknr/geografi/roholt/Klimatologi/vejrleksikon/nedb%F8rstyper.html) [lest 1. mars 2018].
- Salmonsson, A. (2015). *MIKE 21 FM in Urban Flood Risk Analysis - A comparative study relating to the MIKE 21 Classic model* [Masteroppgave]. Stockholm: Royal Institute of Technology (KTH).
- SINTEF Byggeforsk. (2012). *Vann i by - Håndtering av overvann i bebygde områder*. Byggeforskserien 311.015.
- Sorteberg, A. (2012). *Observed precipitation Changes in Norway - 1900-2011*. Bergen: Universitetet i Bergen.

Sorteberg, A. *Kapittel 5: Skydannelse og Nedbør* [Forelesningsnotat]. Bergen: Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen. Tilgjengelig fra: [folk.uib.no/ngfhd/GEOF100/NOTATER-METEOROLOGI/GEOF100\\_Kap05.pdf](http://folk.uib.no/ngfhd/GEOF100/NOTATER-METEOROLOGI/GEOF100_Kap05.pdf) [lest 9. april 2018].

Statistisk sentralbyrå (2016a). *Befolkning og areal i tettsteder, 1. januar 2016*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/befsett/aar/2016-12-06> [lest 15. april 2018].

Statistisk sentralbyrå (2016b). *Befolkningsframskrivinger, 2016-2100*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkfram/aar/2016-06-21> [lest 15. april 2018].

Toombes, L. & Chanson, H. (2011). *Numerical Limitations of Hydraulic Models*. Brisbane: The University of Queensland.

United States Department of Agriculture (2001) *Stream Corridor Restoration - Principles, processes, and Practices*. USDA - Natural Resources Conservation Service.

VA/Miljøblad nr. 85. (2008). *Overvann. Valg av dimensjonerende gjentakintervall*.

VA/Miljøblad nr. 92. (2009). *Overflateinfiltrasjon*.

VA/Miljøblad nr. 93. (2016). *Åpne flomveier*.

Vråle, L. (2009). *Kloakkanlegg*. Store Norske Leksikon.

Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kloakkanlegg> [lest 17. april 2018].

Waagø, O., S. (2012:8). *Flomrisikoplan for Gaula ved Melhus - Et eksempel på en flomrisikoplan etter EUs flomdirektiv* [Rapport]. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Ødegaard, H., Heistad, A., Lindholm, O., Mosevoll, G., Sægrov, S., Thorolfsson S. T. & Østerhus S. W. (2014, 2. utgave). *Vann- og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk Vann.



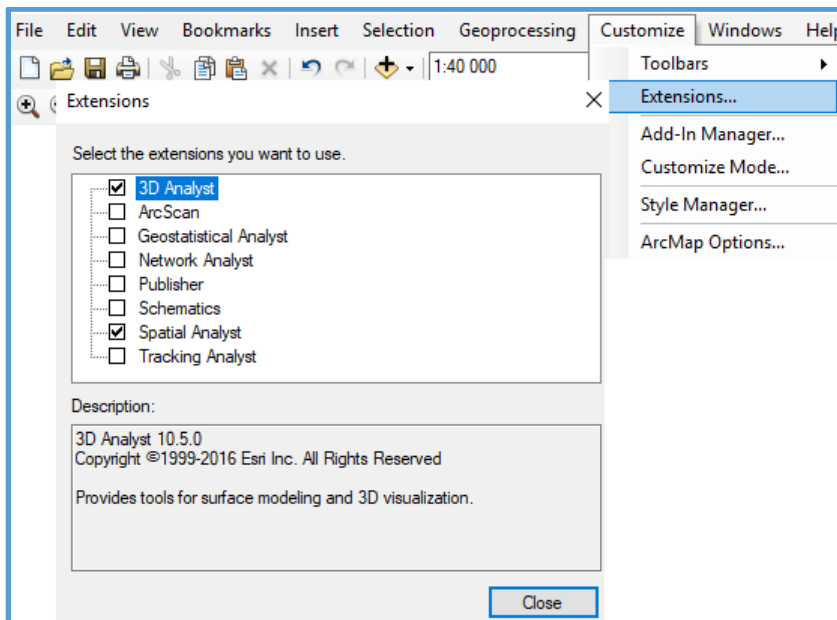
## VEDLEGG A: Etablering av digital terrengmodell

Den digitale terrengmodellen er etablert basert på Johansen & Moldekleivs (2016) framgangsmåte. Viser til vedlegg A i deres masteroppgave for utfyllende informasjon.

### A – 1 FORBEREDE GRUNNLAGSDATA

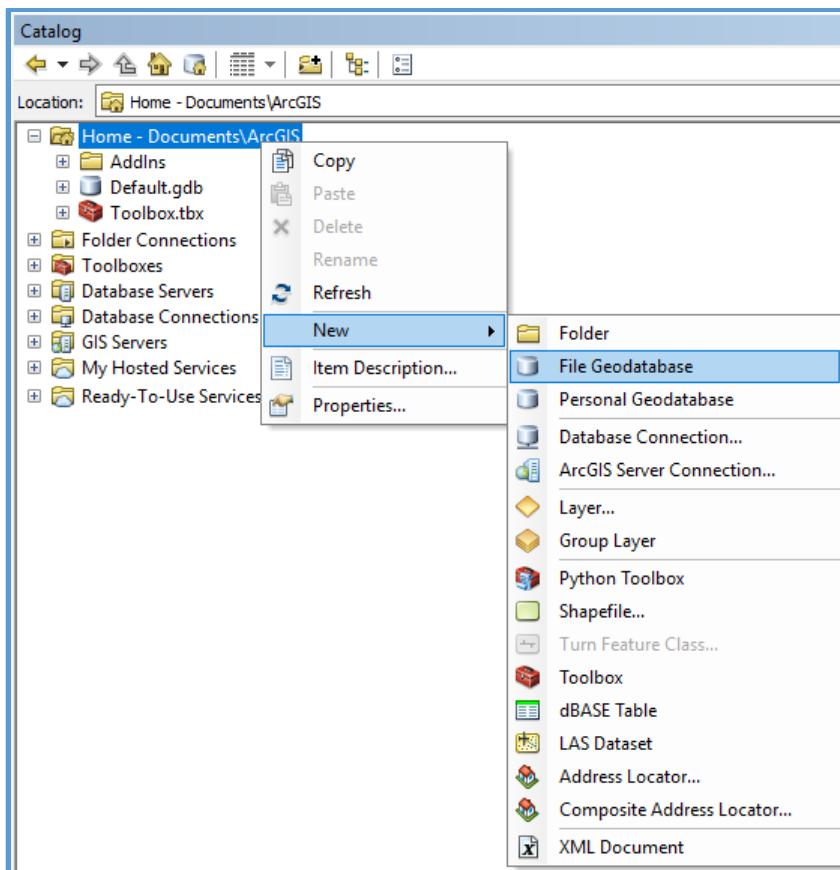
#### A – 1.1 OPPRETTE GEODATABASE OG FEATURE DATASET

Innledningsvis ble det huket av for *3D Analyst* og *Spatial Analyst* under «Extensions». «Extensions» ligger under nedtrekkmenyen til «Customize» som er lokalisert i hovedmenyen. Stien illustreres i figur A – 1.



Figur A – 1: Demonstrasjon av stien til *3D Analyst* og *Spatial Analyst*.

Det ble opprettet en geodatabase for prosjektet. Ved å sette geodatabasen som default blir alle videre operasjoner i prosjektet lagres på riktig sted. Dette utføres ved å høyreklikke på den nyopprettede geodatabasen og klikke på *Make Default Geodatabase*. Se figur A – 2 for illustrasjon av opprettelse av geodatabase.



Figur A – 2: Demonstrasjon av stien for å opprette ny geodatabase.

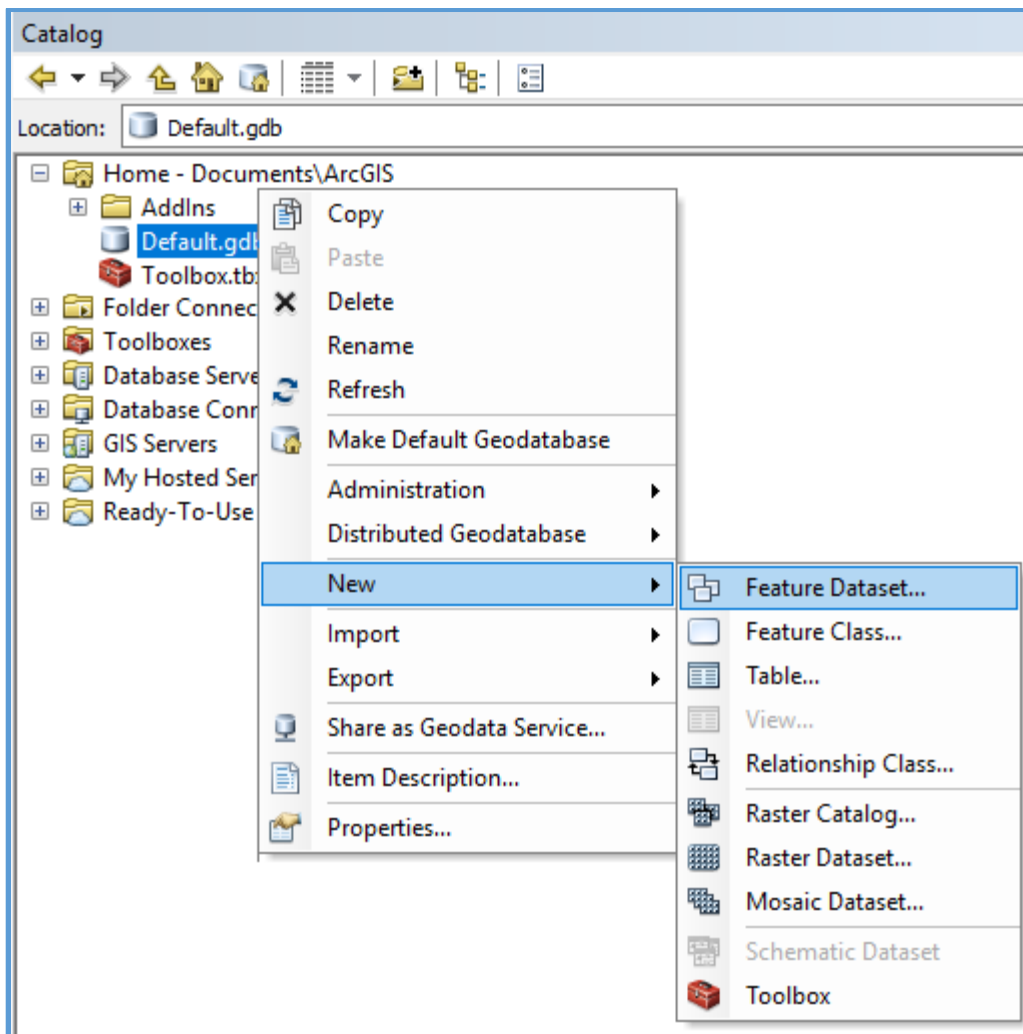
Som figur A – 2 viser tar arbeidsoperasjonene sted i *Catalog*. Dersom *Catalog* ikke vises automatisk når ArcMap åpnes finner man *Catalog* i hovedmenyen under fanen «Windows» (det samme gjelder *Table Of Contents*).

I geodatabasen opprettes *Feature Dataset* ved å høyreklikke på geodatabasen, trykke «New» og velge *Feature Dataset*, se figur A – 3 for illustrasjon.

Datasettene opprettes for å lage oversikt i prosjektet. Forfatter fulgte mappestrukturen til Johansen & Moldekleiv (2016) med datasettene «Masspoint», «Avgrensingsområdet» og «Data\_til\_terrengmodellen», men der de kun hadde ett «FKB»-datasett, ble det i denne oppgaven opprettet et datasett for hvert karttema; «FKB-Vann», «FKB-Vei», «FKB-Bane» og «FKB-Bygning». Bakgrunnen for dette står utdypet under kapittel A – 1.3.

Når datasettet har blitt navngitt velges koordinatsystemet ETRS 1989 UTM Zone 32N. Det ligger under nedtrekkmenyen «Projected Coordinate Systems» → UTM → Europe. Det er også mulig å anvende koden 25832 for å søke koordinatsystemet direkte opp. Defaultverdiene benyttes for resten av konfigureringen, som avsluttes med *Finish*.





Figur A – 3: Demonstrasjon av stien for å opprette feature dataset.

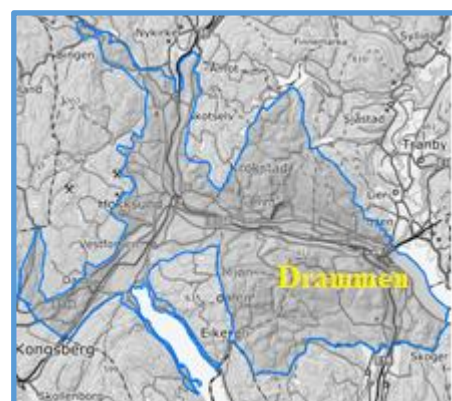
## A – 1.2 ANSKAFFELSE OG IMPORTERING AV LIDAR-DATA

LiDAR-data hentes fra hoydedata.no.

Følgende operasjoner ble utført på nettsiden:

1. Det ble zoomet inn til ønsket kartutsnitt (prosjekter dukker opp ved målestokk > 1:150000).
2. Ønsket måleserie velges fra venstre uttrekksfane kalt «Info» (hele måleserien må bestilles selv om man kun trenger en liten del).
3. I høyre uttrekksfane, «Nedlasting», klargjøres bestillingen.

Figur A – 4 viser området dataene i denne oppgaven er hentet fra.

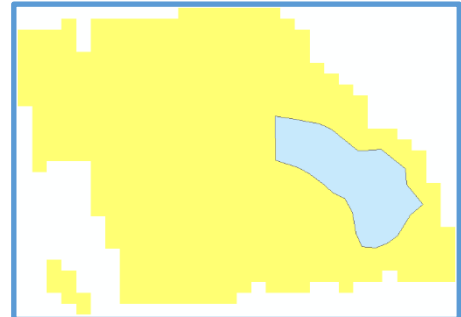


Figur A – 4: Den blå linjen risser om området Drammen og Eiker som er prosjektet LiDAR-dataene i denne oppgaven er hentet fra.

Nedlastningen fra hoydedata.no består av to mapper; én med alle punktfilene på zlas-format (dersom dette formatet ble valgt i bestillingen) og én med metadata. I metadatamappen er det en shapefil som kalles Tileinndeling. Denne ble lastet inn i ArcMap. Dette kan gjøres svært enkelt ved å dra filen inn i det blanke kartområdet i midten.

Det kan anbefales å danne koblinger mot mapper det ønskes lett tilgang til. Dette utføres i *Catalog* ved å høyreklikke på «Folder Connections» og trykke på *Connect To Folder*.

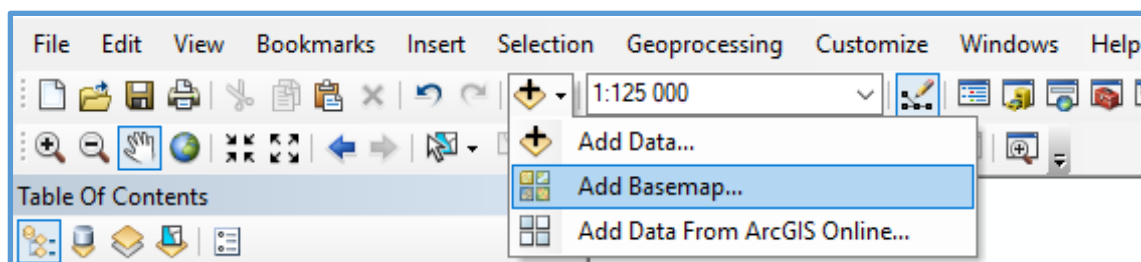
Det avgrensede området dannet av Johansen og Moldekleiv ble benyttet i denne oppgaven. Området er 27m<sup>2</sup> og består av områdene Gulskogen, Strømsgodset, Strømsø, Tangen, Fjell, Åskollen og Eikhaugen (Johansen & Moldekleiv, 2016).



Figur A – 5: Det gule området representerer området laserdataene er fra, mens det lyseblå er det avgrensede området hentet fra Johansen og Moldekleivs masteroppgave.

Etter å ha lagt inn Tileinndelingsfilen ble filen for det avgrensede området (hentet fra deres mastermappe) også dratt inn i det blanke kartet. Som man ser av figur A – 5 har man laserdata for et mye større område enn nødvendig.

Derom det er ønskelig å se hvor LiDAR-dataene og avgrensingsområdet befinner seg i verden kan man legge inn et bakgrunnskart. Bakgrunnskart legges til ved å gå inn på «File»-fanen i hovedmenyen, åpne «Add Data» og velge *Add Basemap*. Det kan også velges ved å trykke på ikonet for «Add Data» slik som demonstrert i figur A – 6.



Figur A – 6: Snarvei for å legge inn bakgrunnskart.

### A – 1.3 ANSKAFFELSE OG IMPORTERING AV FKB-DATA

FKB-data ble mottatt fra Drammen Kommune ved Knut Presberg. Som skrevet ble det opprettet fire Feature Dataset for FKB-dataene i stedet for ett datasett som i Johansen & Moldekleiv (2016) oppgave. Dette har med formatet filene ble mottatt på. I denne oppgaven ble filene mottatt med mapper for hvert karttema («Vei», «Vann», «Bane», «Bygg»). Mappene inneholdt shapefiler for ulike objekter innen temaet; som fortauskant, trafikkøy, vegkant og traktorveg i temaet vei. Johansen og Moldekleiv mottok én shapefil for karttemaet vei, hvor objektene sto spesifisert i den tilhørende attributt Tabellen. Siden arbeidsoperasjoner må utføres for hver shapefil er den praktiske hovedforskjellen at det blir mer (repeterende) arbeid i denne oppgaven.

De mottatte filene ble importert ved å

1. Høyreklikke på ønsket Feature Dataset
2. Trykke «Import»
3. Velge *Feature Class (multiple)*

(Johansen og Moldekleiv valgte her *Feature Class (single)*).

Operasjonen utføres for alle FKB-datasett.

Tabell A – 1, A – 2, A – 3 og A – 4 gir oversikt av hvilke objekter som ble lastet inn fra de ulike datasettene, henholdsvis FKB-Vei, FKB-Vann, FKB-Bane og FKB-Bygg. Utvelgingen av objektene er basert på Johansen & Moldekleiv (2016).

Shapefilen FKB-Vei som Johansen og Moldekleiv mottok inneholdt kun veglinjer. Shapefiler med punkt eller polygoner lastes derfor ikke inn. Utvelging av veglinjer er vist i tabell A – 1.

Tabell A – 1: Mottatt FKB-data for vei fra Drammen kommune. Av disse var det visse shapefiler som ikke ble importert, oversikt av dette vises i kolonne 3. Kolonne 4 gir en oversikt av Johansen & Moldekleivs (2016) utvelging av objekter fra sin shapefil.

MOTTATT (FKB)-VEIDATA	TYPE	IMPORTERT VEIDATA	UTVELGING VEIOBJEKTER JOHANSEN & MOLDEKLEIV	AV
AnnetVegarealAvgrensning	Linje	✓	✓	
FartsdemperAvgrensning	Linje	X	<i>Ikke nevnt</i>	
FeristAvgrensning	Linje	X	X	
Fortauskant	Linje	✓	✓	
FortauskantYtre	Linje	✓	✓	
GangfeltAvgrensning	Linje	X	X	
GangSykkelveg	Polygon	X	X	
GangSykkelvegkant	Linje	✓	✓	
Gangvegkant	Linje	✓	✓	
Kjørebane kant	Linje	✓	✓	
Parkeringsområde	Polygon	X	X	
ParkeringsområdeAvgrensning	Linje	✓	✓	
Skiltportal	Linje	X	X	
Trafikksignalpunkt	Punkt	X	X	
Trafikkøy	Polygon	X	X	
Trafikkøykant	Linje	✓	✓	
Traktorveg	Polygon	X	X	
Traktorvegkant	Linje	✓	✓	
Veg	Polygon	X	X	
Vegbom	Linje	X	<i>Kalt vegsperring</i> X	
Vegdekke kant	Linje	✓	✓	
VeggrøftÅpen	Linje	✓	✓	
VegkantAnnetVegareal	Linje	✓	✓	<i>VegkantVegareal</i>
VegkantAvkjørsel	Linje	✓	✓	
VegkantFiktiv	Linje	X	X	
Vegrekkverk	Linje	X	X	
Vegskulderkant	Linje	✓	✓	
		<i>Ingen fil</i>	✓	<i>Veglenke</i>

Johansen & Moldekleiv mottok én shapefil for vannlinjer og én shapefil for vannflater. Shapefiler med punkt lastes ikke inn. Utvelging av vannlinjer og -flater vises i tabell A – 2.

Tabell A – 2: Mottatt FKB-data for vann fra Drammen kommune. Av disse var det visse shapefiler som ikke ble importert, oversikt av dette vises i kolonne 3. Kolonne 4 gir en oversikt av Johansen & Moldekleivs (2016) utvelgning av objekter fra sin shapefil.

MOTTATT (FKB)-VANNDATA	TYPE	IMPORTERT VANNDATA	UTVELGING AV VANNOBJEKTER JOHANSEN & MOLDEKLEIV
ElvBekk	Linje	✓	✓
ElvBekk	Polygon	✓	X
ElvBekkKant	Linje	✓	✓
ElveElvSperre	Linje	X	<i>Ikke nevnt</i>
ElvelinjeFiktiv	Linje	X	X
FiktivDelelinje	Linje	X	X
HavElvSperre	Linje	X	X
Havflate	Polygon	✓	✓
Innsjø	Polygon	✓	✓
InnsjøElvSperre	Linje	X	X
Innsjøkant	Linje	✓	✓
InnsjølinjeFiktiv	Linje	X	<i>Ikke nevnt</i>
KanalGrøft	Linje	✓	✓
KanalGrøft	Polygon	X	X
KanalGrøftKant	Linje	✓	✓
Kystkontur	Linje	✓	✓
KystkonturTekniskeAnlegg	Linje	✓	✓
Navigasjonsinstallasjon	Punkt	X	X

I datasettet for bane inneholdt Johansen & Moldekleivs (2016) shapefil kun to objekter. Dette stemte overens med mottatt data fra Drammen som besto av to shapefiler under karttemaet Bane. Begge filene ble importert.

Tabell A – 3: Mottatt FKB-data for bane fra Drammen kommune.

MOTTATT (FKB)-BANEDATA	TYPE	IMPORTERT BANEDATA	UTVELGING AV BANE OBJEKTER JOHANSEN & MOLDEKLEIV
Jernbanepattformkant	Linje	✓	✓
Spormid	Linje	✓	✓

I shapefilen Johansen & Moldekleiv mottok for bygg var det kun polygoner. Shapefiler med punkt og linjer lastes derfor ikke inn. De vurderte også at objektet «Takoverbygg» ikke ville påvirke vannstrømningen langs bakken og slettet dette objektet. Shapefilen «Takoverbygg» blir derfor ikke lastet inn. Se full oversikt i tabell A – 4.

Tabell A – 4: Mottatt FKB-data for bygg fra Drammen kommune. Kun to filer ble importert.

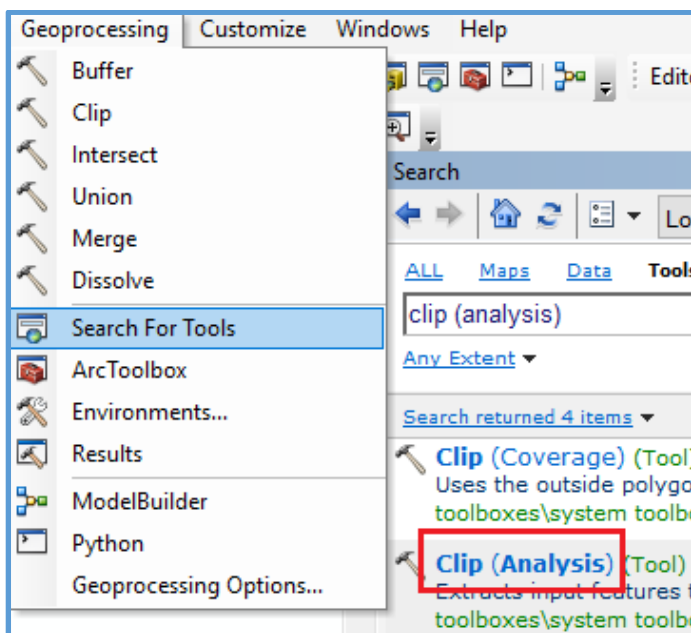
MOTTATT (FKB)-BYGGDATA	TYPE	IMPORTERT BYGGDATA	UTVELGING AV BYGGOBJEKTER JOHANSEN & MOLDEKLEIV
AnnenBygning	Polygon	✓	✓
Bygning	Punkt	X	X
Bygning	Polygon	✓	✓
BygningBru	Linje	X	X
Bygningsdelelinje	Linje	X	X
Bygningslinje	Linje	X	X
Fasadeliv	Linje	X	X
FiktivBygningsavgrensning	Linje	X	X
Grunnmur	Linje	X	X
Hjelpelinje3D	Linje	X	X
Låvebru	Linje	X	X
Mønelinje	Linje	X	X
Takkant	Linje	X	X
Takoverbygg	Polygon	X	X
TakoverbyggKant	Linje	X	X
Takplata	Linje	X	X
Taksprang	Linje	X	X
TaksprangBunn	Linje	X	X
TrappBygg	Linje	X	X
Veranda	Linje	X	X

## A – 1.4 AVGRENSE DATA TIL ANALYSEOMRÅDET

Som figur A – 5 viser, dekker Tileinndelingsfilen et mye større område enn nødvendig. For å unngå å måtte jobbe med unødige mange laserdata ønsker man å fjerne de punktene som havner utenfor avgrensingsområdet.

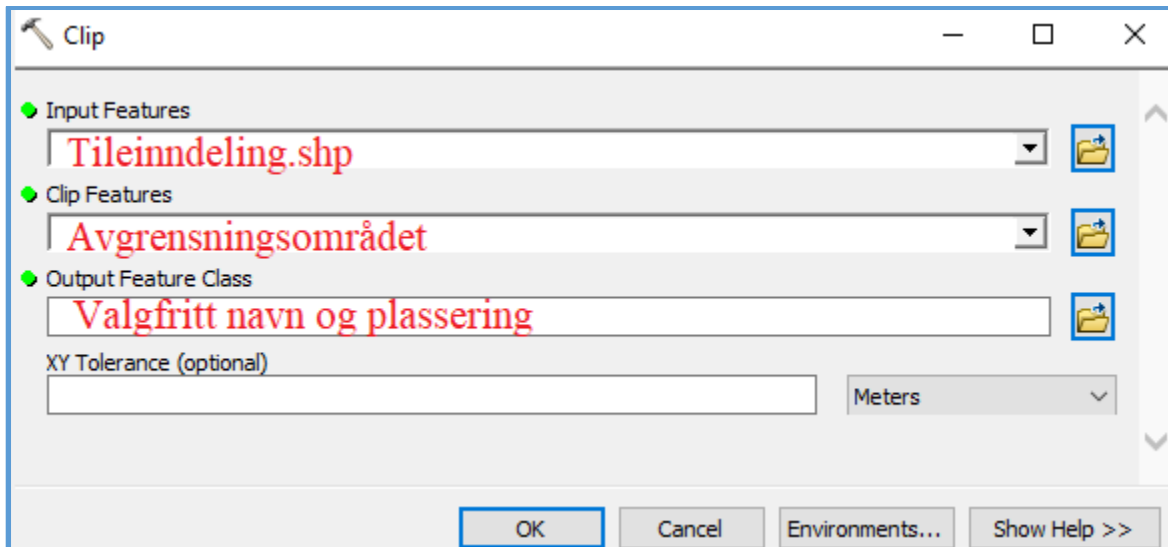
For å få til dette kan geoprosesseringsverktøyet *Clip (Analysis)* benyttes. Klippeverktøyet ligger under geoprosesseringsfanen i hovedmenyen, se figur A – 7. Dersom et verktøy ikke ligger direkte tilgjengelig må det søkes opp:

1. Velg *Search For Tools* og skriv «Clip» i søkefeltet.
2. Velg *Clip (Analysis)*.



Figur A – 7: Demonstrasjon av sti til *Search For Tools* og illustrasjon av søkefeltet. Her ser man at det også finnes en snarvei til *Clip*, da det ligger plassert som nummer 2 i nedtrekkmenyen.

I klippeverktøyet er *Input Feature* det man ønsker å klippe til, altså tileinndelingsfilen. *Clip Features* representerer området det skal klippes rundt – her er det snakk om avgrensingsområdet. Under *Output Feature Class* velges ønsket plassering av filen, samt hva den skal hete. Hvis geodatabasen opprettet i A – 1.1 ble satt til default skal filen automatisk bli plassert i denne. Se figur A – 8 for illustrasjon.



Figur A – 8: Illustrasjon av hvordan klippeverktøyet kan fylles ut.

Forfatter fikk filen opp under *Table Of Contents* som et layer. Dersom det ikke skjer automatisk kan filen (som skal ligge der du plasserte den i *Output Feature Class*) dras inn i kartområdet.

All relevant FKB-data ble også klippet etter avgrensingsområdet.

#### A – 1.5 KONVERTERE LIDAR-DATA TIL MULTIPOINTFORMAT

Når den tilpassede filen med tiles er plassert under *Table Of Contents* åpnes attributt Tabellen ved å høyreklikke på layeret (og trykke *Open Attribute Table*). Attributt Tabellen inneholdt i denne oppgaven 82 filer (av i utgangspunktet 581).

I attributt Tabellen representerer «KARTID» navn på zlas-filene. Filene fra attributt Tabellen ble funnet i mappen med zlasfiler, og det ble dannet en egen mappe med de 82 filene.

FID*	Shape *	SOSI ID	OBJTYPE	KARTID	KARTSERIE	Shape Leng	Shape Length	Shape Area
80	Polygon	101532	Kartblad	32-1-511-128-27	1000	2799,999939	1712,579906	124710,537318
81	Polygon	101535	Kartblad	32-1-511-129-20	1000	2799,999939	2084,497611	238174,454625
82	Polygon	101538	Kartblad	32-1-511-129-21	1000	2799,999939	602,437904	15332,842321

Figur A – 9: Et lite utsnitt av attributt Tabellen til det avgrensede tileområdet.

Når de relevante filene er flyttet til en egen mappe er det ønskelig å finne gjennomsnittlig avstand mellom målingene. Denne avstanden skal brukes som inngangsdata i selve konverteringen.

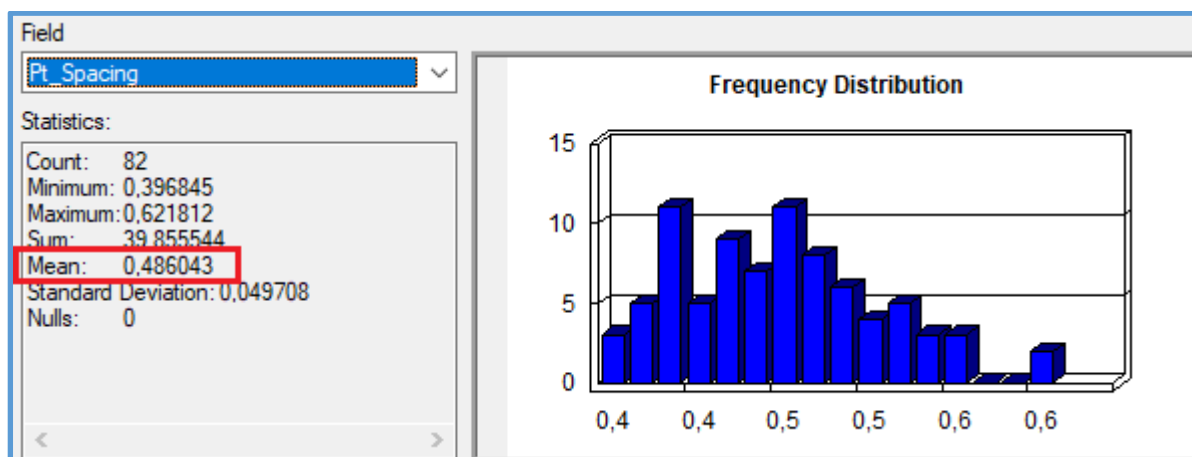
1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Point File Information (3D Analyst)*.



2. Under «Point data» legges zlas-filene for det avgrensede området (alle kan velges samtidig).
3. Huk av *Summarize by Class Code*
4. Trykk *OK*.

Når filen er tilgjengelig åpnes attributt Tabellen og det trykkes på den nedtrekkmenyen lengst til venstre for å finne *Select By Attributes*. I *Select By Attributes* skrives koden «Class = 2». Koden skrives manuelt eller ved å benytte ikonene. Trykk *Apply*.

Nå er alle terrengpunktene (klasse 2) markert. Høyreklikk på fanen «Pt\_Spacing» og velg *Statistics*. Da skal det åpnes et vindu som illustrert i figur A – 10. Det er den gjennomsnittlige avstanden mellom terrengpunktene som er interessant (markert i rødt). Den gjennomsnittlige avstanden er altså 0.486043 punkt/m<sup>2</sup>.



Figur A – 10: Statistikkvinduet for fanen Pt\_Spacing fra punktinformasjonsfilen.

Med nødvendig inngangsdata er det klart for å konvertere filene fra LAS- til multipointformat.

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *LAS to Multipoint (3D Analyst)*.
2. Som *Input* velges zlas-filene fra det avgrensede området (alle kan velges samtidig).
3. For *Output Feature Class* velges Masspoint (som ble opprettet i A – 1.1).
4. *Average Point Spacing* settes lik 0.486043.
5. *Input Class Codes*: Skriv inn tallet 2 og trykk på plussikonet.
6. Huk av for ANY\_RETURNS
7. Trykk *OK*.

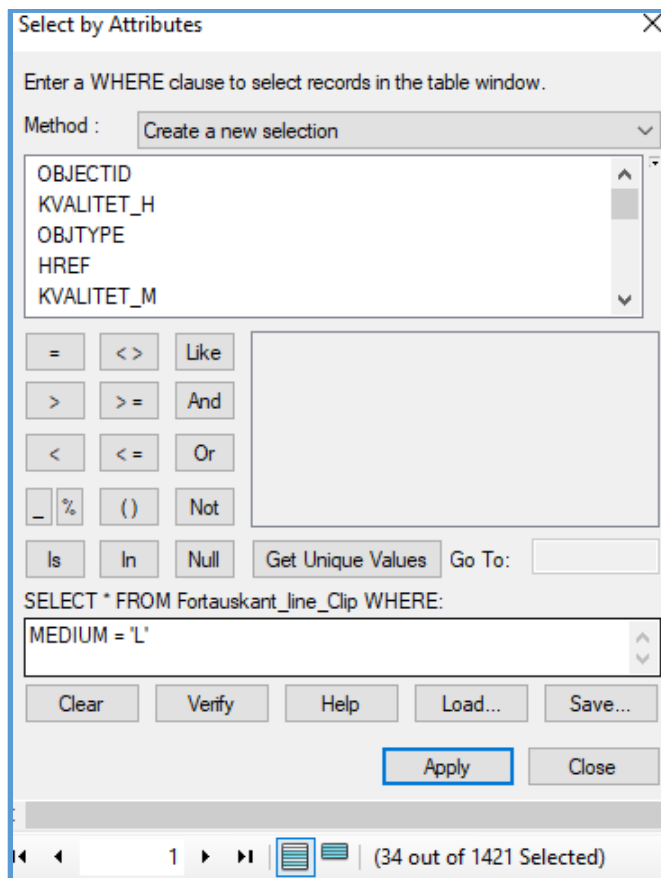
Det er nå dannet et datasett med multipoints klasse 2, altså terrengpunkter.

## A – 1.6 FJERNE MULTIPOINTS FRA BRUER OG OVERGANGER

All FKB-data skal være lastet inn og klippet til avgrensingsområdet. Se punkt A–1.3 og A–1.4. Alle veifilene lastes inn i kartet slik at attributttabellene blir tilgjengelige. Man begynner med én av filene og gjør følgende steg:

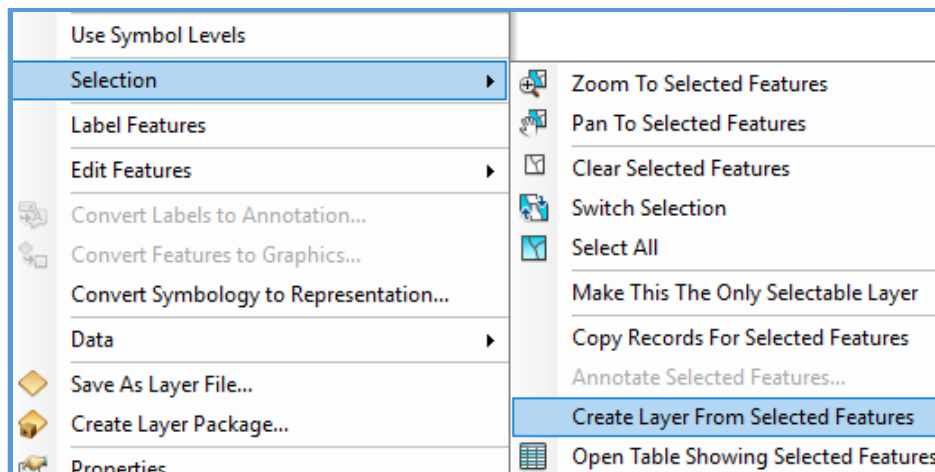
1. Åpne attributttabellen til utvalgt veifil.
2. I *Select By Attributes* plottes koden MEDIUM = L  
(Da velges alle bruer og overganger. Antallet vises nederst på siden).

Se figur A – 11 for illustrasjon.



Figur A – 11: Valg av bruer og overganger i *Select by Attributes*. Nederst vises utvalget.

3. Gå ut av attributttabellen og høyreklikk på valgt veifil. Fra «Selection» velges *Create Layer From Selected Features*, se figure A – 12.



Figur A – 12: Demonstrasjon av sti til funksjonen *Create Layer From Selected Features* som lager et nytt lag av utvalgte data.

4. Fra hovedmenyen åpnes fanen «Selection» og funksjonen *Select By Location* velges.
  - *Target Layer*: Den avgrensede multipointfilen.
  - *Source Layer*: Det nye laget som nettopp ble dannet fra bru- og overgangsdata i valgt veifil.
  - *Spatial selection method for target layer feature(s)*: “are within a distance of the source layer feature”.
  - *Search distance*: 0.3 meters.

Nå velges multipoints som er innenfor en avstand på 0.3 meter fra bru- og overgangsdata i den valgte veifilen.

5. Åpne attributt Tabellen til den avgrensede multipointfilen og sjekk at det foreligger et utvalg av filer. Dersom slettefunksjonen ikke er aktivert som illustrert i figur A – 13, aktiveres denne ved å trykke på *Start Editing* under «Editor»-fanen. Dersom «Editor» ikke er festet til menylinjen automatisk finnes den under «Toolbars» som ligger i nedtrekkmenyen «Customize» (i hovedmenyen).  
Slett filene.

	OID *	Shape *	PointCount
▶	16069	Multipoint Z	3500
	16077	Multipoint Z	3500
	16196	Multipoint Z	3500
	16198	Multipoint Z	3500
	19438	Multipoint Z	3500
	19439	Multipoint Z	3500
	23690	Multipoint Z	3429

Figur A – 13: Illustrasjon av utvalgte filer i attributtabelen til multipointlaget, samt slettefunksjonen markert i rødt.

6. Når multipointene er fjernet kan det nye «selection»-laget slettes fra *Table Of Contents*.

Steg 1-6 må gjennomføres for alle vegfiler.

#### A – 1.7 FJERNE BRUER, OVERGANGER OG TUNNELER

Når alle multipoints er fjernet innenfor avstanden 0.3 meter av bruene og overgangene skal bruene og overgangene slettes (altså vegfilene med kode MEDIUM = L).

1. I *Select By Attributes* skrives koden MEDIUM = L (jf. figur A – 11).
2. Deretter anvendes «Editor» og *Start Editing* (dersom denne ikke er aktivert allerede) for å få slettet de utvalgte objektene (jf. figur A – 13).

Dette må gjennomføres for alle vegfiler.

Johansen og Moldekleiv fjernet også de tre lengste tunnelene. For å finne disse ble det dannet nye lag som inneholdt koden «MEDIUM = U» fra hver veifil. Så ble de gjennomgått en etter en til de riktige tunnelene ble funnet (knyttet til Europavei 134 og Europavei 18). Av innlastede filer var det kun «Vegdekkekant» som inneholdt disse.



Figur A – 14: De tre største tunellene markert i gult.

Ved å skru av og på forskjellige veilag ser man hvilke lag som inneholder de lengste bruene. For å finne ut eksakt hvilke filer som inneholdt de riktige tunellsegmentene ble det dannet nye lag med enda færre filer (Select By Attributes → Create Layer From Selected Features). Dette utføres om og om igjen til man er sikker på at man har de riktige filene.

#### A – 1.8 HEVING AV BYGNINGER OG KONVERTERING TIL RASTERFORMAT

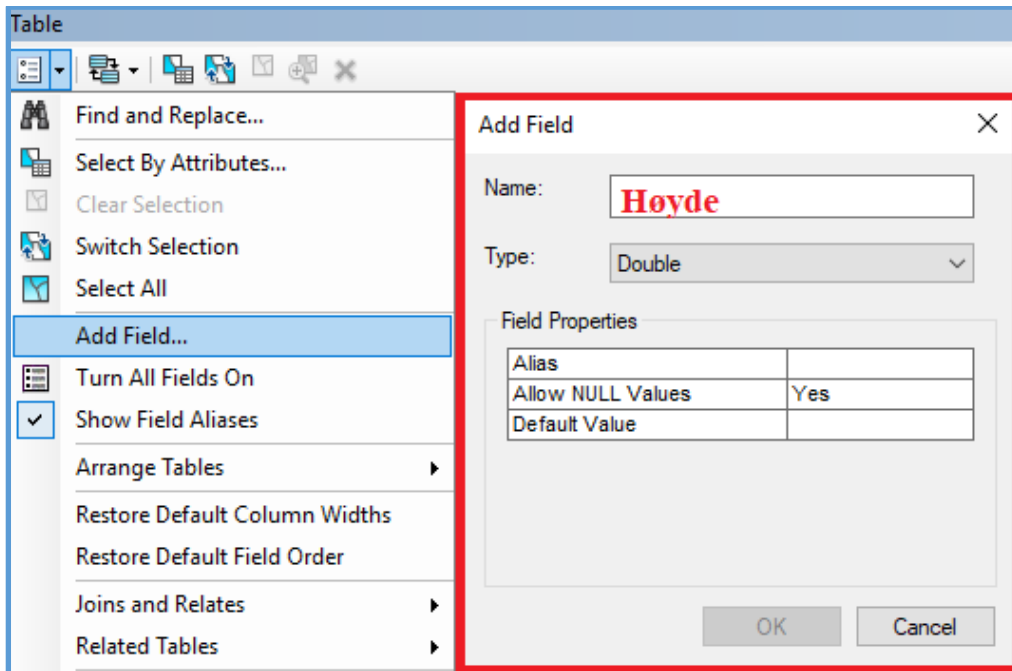
For å forsikre at vannet strømmet *rundt* bygningene hevet Johansen og Moldekleiv de 25 meter fra overflaten. Et av delmålene med denne oppgaven er å undersøke hvordan tilført vann i MIKE21-modellen endres ved å senke byggene til 2 meter.

For å heve bygningene utføres følgende steg:

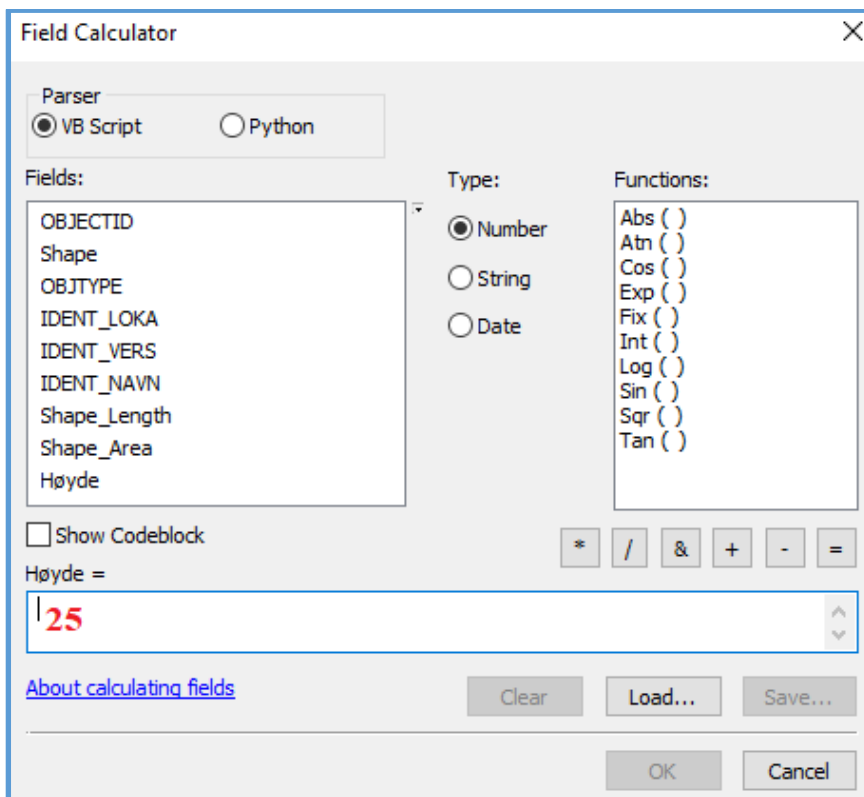
1. Start med én av de to bygningsfilene og åpne attributt Tabellen.
2. Åpne menyen øverst til venstre og velg *Add Field* (valget er ikke tilgjengelig dersom *Editor* er aktiv). Da vil en dialogboks dukke opp (se figur A – 15). Kall det nye feltet Høyde, HOYDE eller lignende, og velg *Double* under «Type».

Det er nå opprettet en ny kolonne i attributt Tabellen.

3. Høyreklikk på den nyopprettede kolonnen og velg *Field Calculator*. Sett denne lik 25 (se figur A – 16).



Figur A – 15: Demonstrasjon av sti til *Add Field* og illustrasjon av utfylt dialogboks.



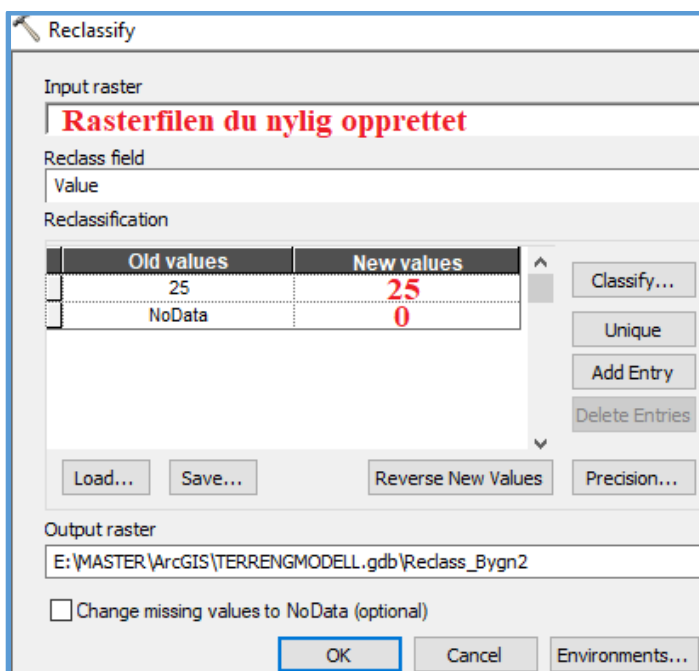
Figur A – 16: Illustrasjon av dialogboksen til *Field Calculator* og utfylling av denne.

4. For å danne rasterfil benyttes geoprosesseringsverktøyet *Polygon To Raster*. Verktøyet fylles ut på følgende måte:

- *Input Features*: Shapefilen det velges å starte med (e.g. «Bygning»).
- *Value Field*: Det nye feltet man dannet i attributtabelen (e.g. «Høyde»).
- *Output Raster Dataset*: Valgfritt navn (e.g. «RasterBygning»).
- *Cell assignment type (optional)*: CELL\_CENTER
- *Priority field (optional)*: NONE
- *Cellsize (optional)*: 0.4

Det nyopprettede bygningsrasteret skal senere bli benyttet sammen med terrengrasteret. Basert på dette er det ønskelig at kun bygningene har høyde, så alle andre objekter settes derfor lik 0.

5. Denne operasjonen utføres med verktøyet *Reclassify (3D Analyst)*. Figur A – 17 viser hvordan dialogboksen fylles ut.



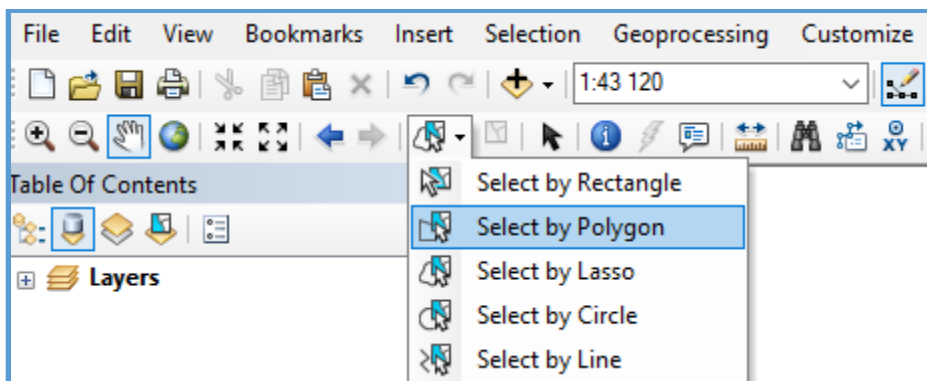
Figur A – 17: Illustrasjon av hvordan verktøyet *Reclassify* fylles ut.

Punkt 1-5 utføres for begge bygningsfiler.

## A – 1.9 SAMMENSLÅING AV POLYGONER OG SENKING AV ELVEN

Elvbekkpolygonen består ikke kun av hovedløpet til Drammenselven, men også småelver og tilsigsbekker innen avgrensingsområdet. Det dannes derfor en ny polygon bestående av havflatepolygongen og elvbekkpolygonen, hvor alle småelvene rundt fjernes slik at disse ikke blir senket når hovedløpet senkes. Småelvene fjernes ved bruk av «Editor». Her kan de mindre elvene markeres eksempelvis ved *Select by Polygon*, se figur A – 18.

1. Slett småelvene (sletting står beskrevet kapittel A – 1.6).
2. Trykk *Save edits*.



Figur A – 18: Demonstrasjon av hvor man finner selekteringsverktøyet.

Det er ikke nødvendig å slå sammen polygonene, men kan enkelt gjøres ved å benytte *Union*-funksjonen til «Editor».

1. Havflatepolygongen og elvbekkpolygonen markeres.
2. Benytt *Union* under «Editor»-fanen.
3. Trykk *OK*.

**Merk** at polygonen som står som template-fil når det trykkes *OK* blir erstattet av den nye sammensatte polygonen.

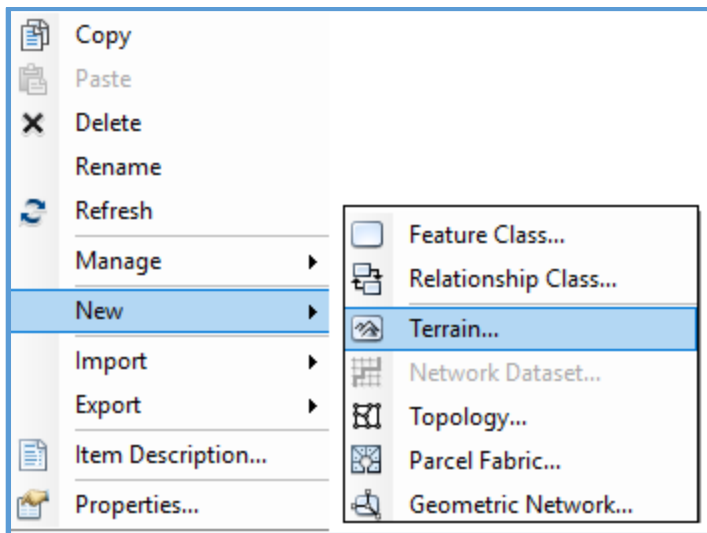
Polygonene havflate og elvbekk har ikke høydefelt i attributtabellene. Dette etableres på samme måte som for bygninger (se kapittel A – 1.8). I denne oppgaven ble de senket 5 meter, altså verdi lik -5. Dersom polygonene ble slått sammen trenger dette kun utføres én gang (på den nye, sammenslåtte polygonen).



## A – 2 OPPRETNING AV DIGITAL TERRENGMODELL

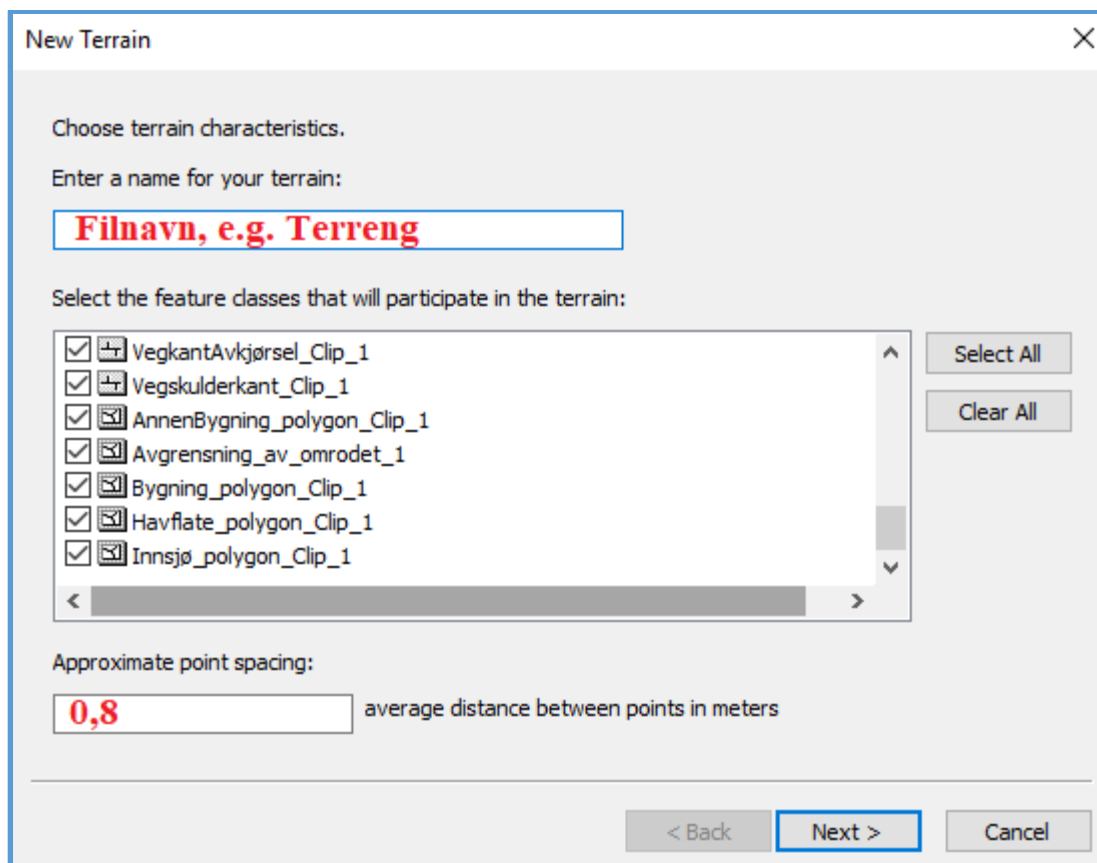
### A – 2.1 BYGGE TERRENG

1. I feature datasettet kalt «Data\_til\_terrengmodellen» ble følgende (avgrensede) filer importert:
  - Multipoints fra LiDAR-data
  - Polygonlinjer fra FKB-Vann, FKB-Vei og FKB-Bane
  - Polygon fra FKB-Vann
  - Polygon av avgrensingsområdet
2. Det høyreklikkes på datasettet og fra menyen velges «New» og videre verktøyet *Terrain*, se figur A – 19 for illustrasjon.



Figur A – 19: Demonstrasjon av sti til terrengverktøyet.

3. I terrengverktøyet velges *Select All*, og *Approximate point spacing* settes lik 0.8. Figur A – 20 viser utfylling av første side. Trykk *Next*.



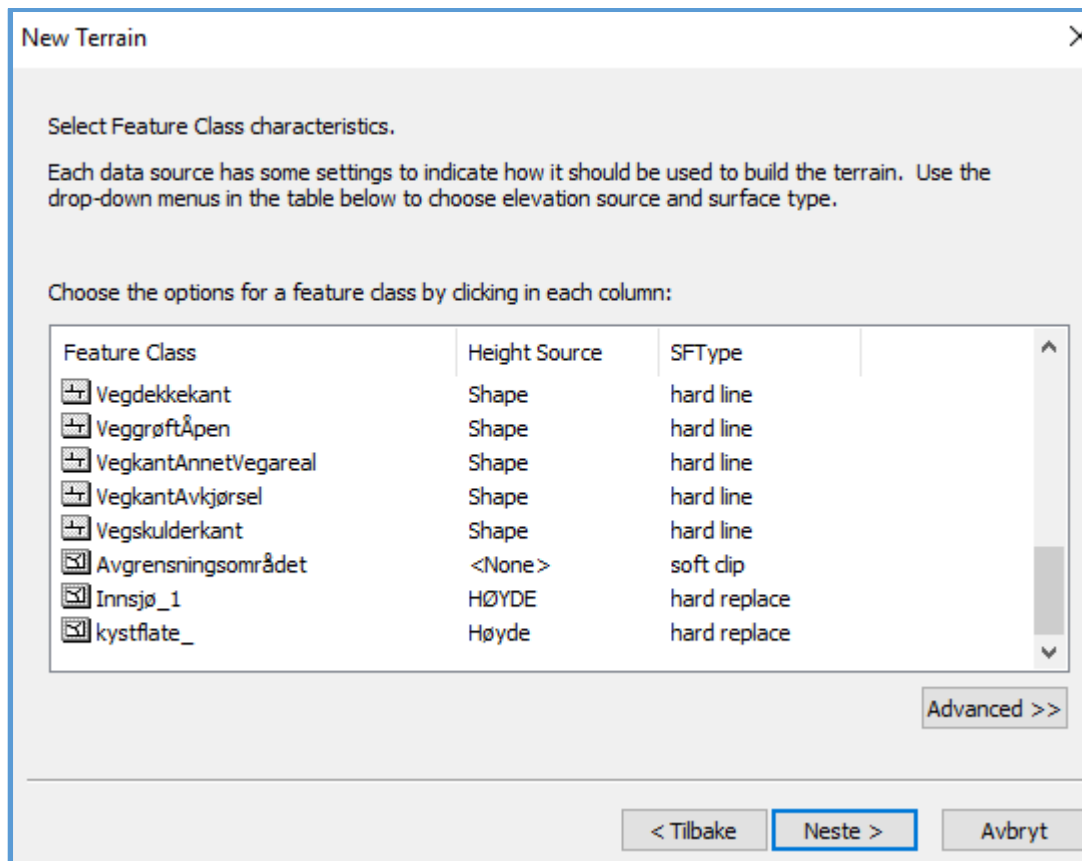
Figur A – 20: Illustrasjon av første side til terrengverktøyet og utfylling av denne.

På side 2 til terrengverktøyet ser man at defaultverdi under «Height Source» er *Shape* for alle objekter foruten Avgrensingsområdet, og polygonene for Innsjø, Havflate og Elvbekk (dersom de to sistnevnte ble slått sammen gjelder det den sammenslåtte polygonen). Defaultverdi under «SFTtype» er *hard line* for alle objektene foruten LiDAR-multipoints, Avgrensingsområdet, Innsjø, Elvbekk og Havflate.

#### 4. Rediger:

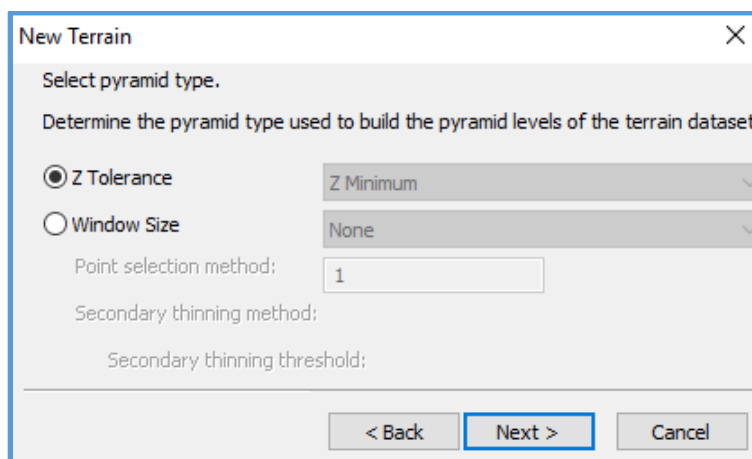
- «Height Source» for Innsjø, Havflate og Elvbekk til *Høyde*
- «SFTtype» for Innsjø, Havflate og Elvbekk til *hard replace*.
- Trykk *Next*.

Figur A – 21 viser hvordan verktøyet er utfyllt.



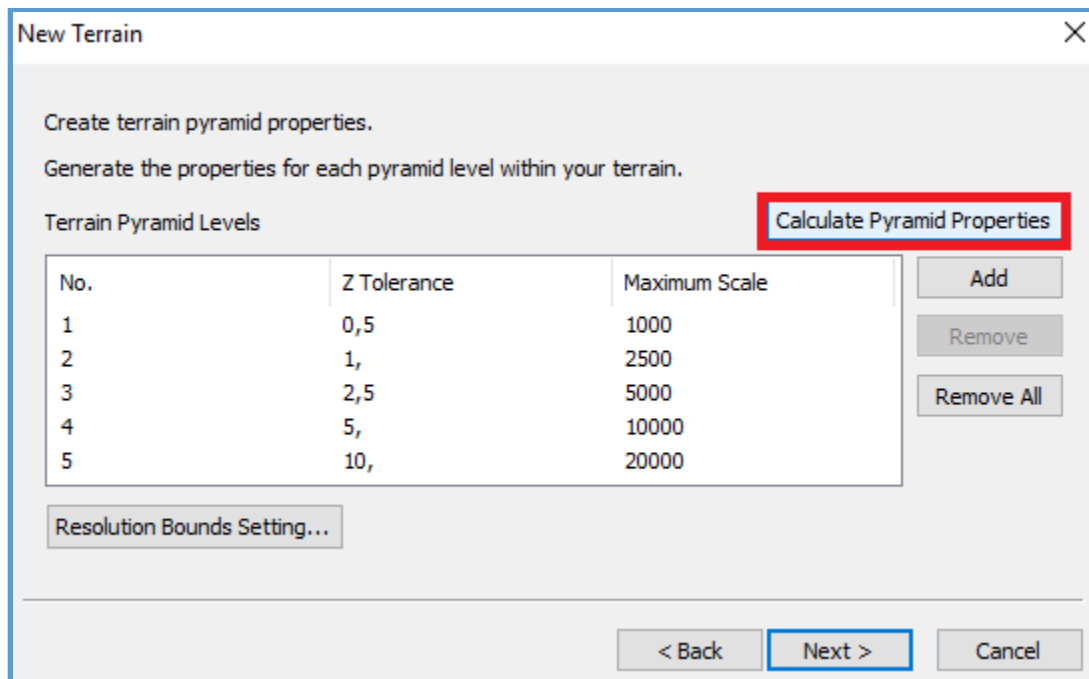
Figur A – 21: Illustrasjon av andre side til terrengverktøyet og utfylling av denne. Her er Elvbekkpolygonen og Havflatepolygonen slått sammen til kystflate\_.

5. På tredje side hukes det av for *Z Tolerance* (figur A – 22). Trykk *Next*.



Figur A – 22: Illustrasjon av tredje side til terrengverktøyet.

6. Trykk på *Calculate Pyramid Properties* (figur A – 23). Trykk *Next*.



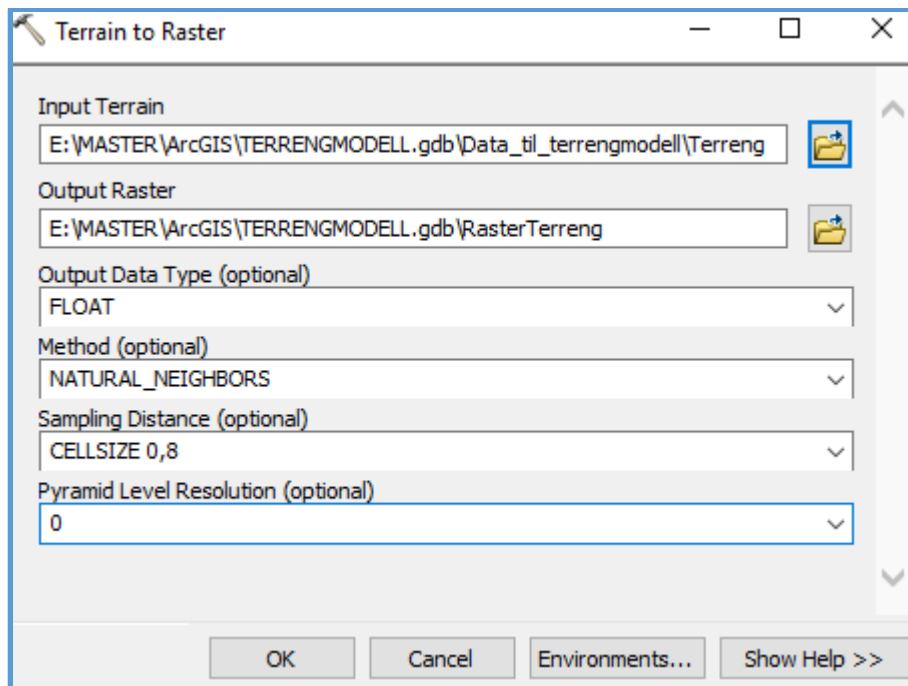
Figur A – 23: Illustrasjon av fjerde side til terrengverktøyet.

7. Trykk *Finish* på femte og siste side. Denne prosessen er tidkrevende.

## A – 2.2 KONVERTERE TERRENG TIL RASTERFORMAT

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Terrain to Raster (3D Analyst)*.
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input Terrain*: Terrenget bygd i A – 2.1.
  - *Output Raster*: Valgfritt navn (e.g. RasterTerreng).
  - *Output Data Type (optional)*: FLOAT
  - *Method (optional)*: NATURAL\_NEIGHBORS
  - *Sampling Distance (optional)*: CELLSIZE 0,8
  - *Pyramid Level Resolution (optional)*: 0
3. Trykk *OK* når alle stegene i punkt 2 er gjennomført. Denne prosessen er også tidkrevende.

Se figur A – 24 for illustrasjon av utfyllingen.



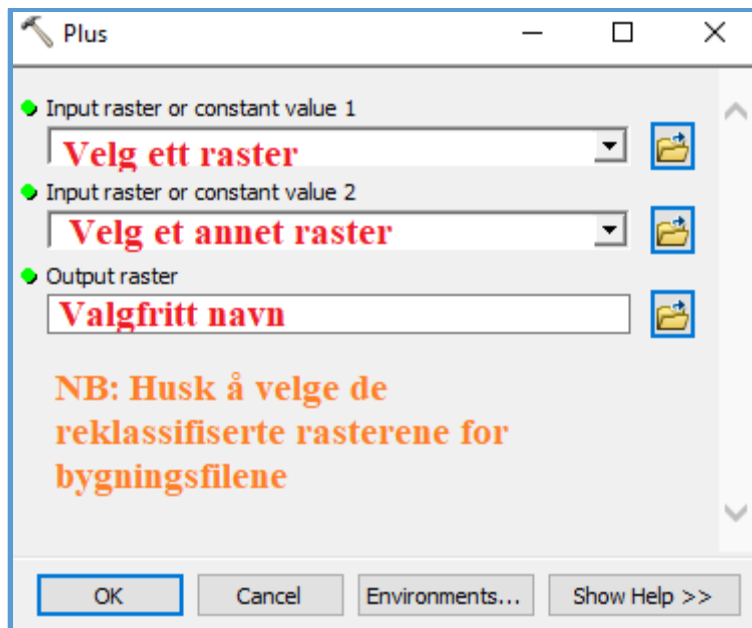
Figur A – 24: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Terrain to Raster* kan fylles ut.

### A – 2.3 LEGGE TIL BYGNINGSRASTERET

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Plus (Spatial Analyst)*.
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input raster or constant value 1*: Ett av de to reklassifiserte bygningsrastrene.
  - *Input raster or constant value 2*: Terreng rasteret.
  - *Output raster*: Valgfritt navn.
3. Trykk *OK*.

I punkt 2 er det tre raster som skal settes sammen, så dette må gjøres i to omganger. Sett sammen to raster (*må* ikke være slik som foreslått over), og sett så det siste rasteret sammen med det nyopprettede rasteret.

Figur A – 25 viser verktøyet.



Figur A – 25: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Plus* (*Spatial Analyst*) kan fylles ut.

## VEDLEGG B: GIS-analyse

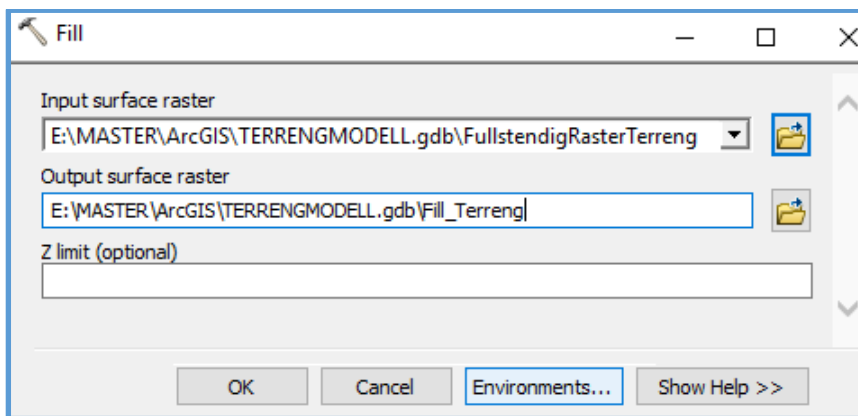
### B – 1 DEFINERE DRENSLINJER

#### B – 1.1 FYLLE FORSENKNINGER I TERRENGMODELLEN

Det er ønskelig at modellen kontinuerlig drenerer vannet videre til neste rastercelle. For å sikre at vannet alltid renner videre og ikke akkumuleres benytter man seg av verktøy for å fylle forsenkningene i terrengmodellen.

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Fill (Spatial Analyst)*.
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input surface raster*: Rasteret som ble dannet i A – 2.3.
  - *Output surface raster*: Valgfritt navn (e.g. «Fill\_Terreng»).
  - *Z limit (optional)*: (Blank)
3. Trykk *OK*.

Se figur B – 1 for illustrasjon av utfyllingen.



Figur B – 1: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Fill (Spatial Analyst)* kan fylles ut.

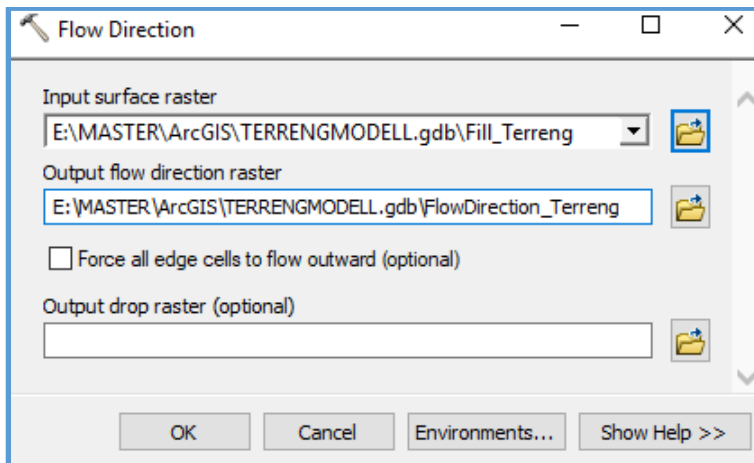
#### B – 1.2 FINNE STRØMNINGSRETNING I CELLER

Basert på høydedifferansen mellom cellene kan man danne et raster over strømningsretningen til vannet i hver celle.

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Flow Direction (Spatial Analyst)*.
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input surface raster*: Filen dannet i B – 1.1 (e.g. «Fill\_Terreng»)

- *Output flow direction raster*: Valgfritt navn (e.g. «FlowDirection\_Terreng»).
  - *Output drop raster*: (optional): (Blank)
3. Trykk *OK*.

Se figur B – 2 for illustrasjon av utfyllingen.



Figur B – 2: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Flow Direction (Spatial Analyst)* kan fylles ut.

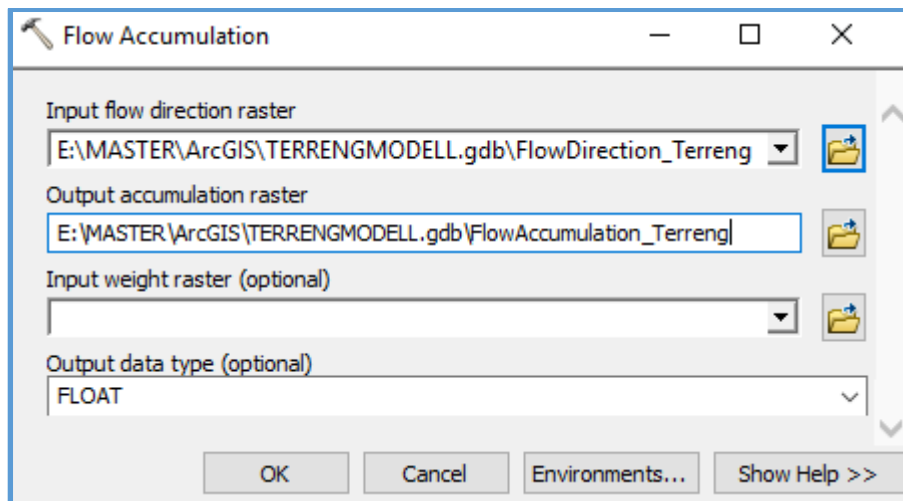
### B – 1.3 FINNE AKKUMULERT STRØMNING I CELLER

Basert på strømningsretningsrasteret kan man danne et nytt raster som beregner akkumulert strømming inn i hver celle.

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Flow Accumulation (Spatial Analyst)*.
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input flow direction raster*: Filen dannet i B – 1.2 (e.g. «FlowDirection\_Terreng»).
  - *Output accumulation raster*: Valgfritt navn (e.g. «FlowAccumulation\_Terreng»).
  - *Input weight raster*: (optional): (Blank).
  - *Output data type*: FLOAT.
3. Trykk *OK*. Denne prosessen er noe tidkrevende.

Se figur B – 3 for illustrasjon av utfyllingen.





Figur B – 3: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Flow Accumulation (Spatial Analyst)* kan fylles ut.

For å kunne sammenligne med tidligere oppgaver ønskes det lik klassifisering.

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Reclassify (3D Analyst)*.
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input raster:* Filen dannet over (e.g. «FlowAccumulation\_Terreng»)
  - *Reclass field:* Value
  - *Output raster:* Valgfritt navn (e.g. «ReclassFlow»)
  - Antall klasser og ønskelige terskelverdier legges inn;

Klassene med tilhørende verdier baseres på de av Johansen & Moldekleiv (2016):

Klasse 0: 0

Klasse 1: 0 - 39,062.5

Klasse 2: 39,062.5 - 78,125

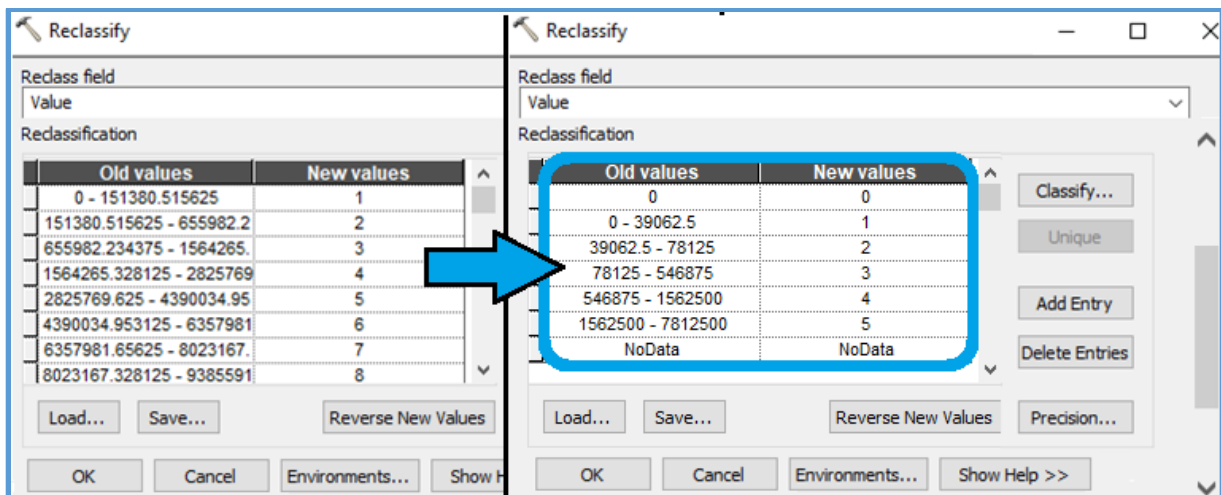
Klasse 3: 78,125 - 546,875

Klasse 4: 546,875 - 1,562,500

Klasse 5: 1,562,500 - 7,812,500

Klasse 6: 7,812,500 - 2,187,500

Figur B – 4 viser utfylt dialogboks.



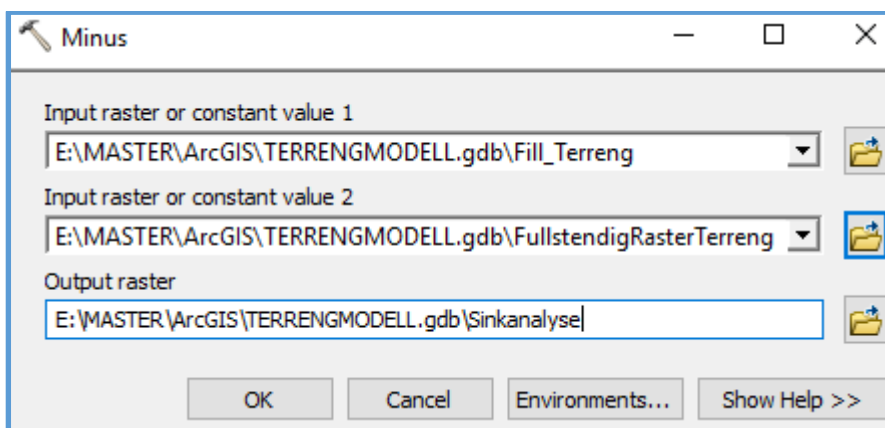
Figur B – 4: Illustrasjon av hvordan dialogboksen til geoprosesseringsverktøyet *Reclassify* (3D Analyst) kan fylles ut. Til høyre ses verdiene slik de foreligger før redigering.

## B – 2 DEFINERE FORSENKNINGER

Det er ønskelig å finne forsenkningene som ble fylt i B – 1.1. Ved å fjerne modellen som ikke er fylt fra den fylte modellen vil man stå igjen med disse områdene.

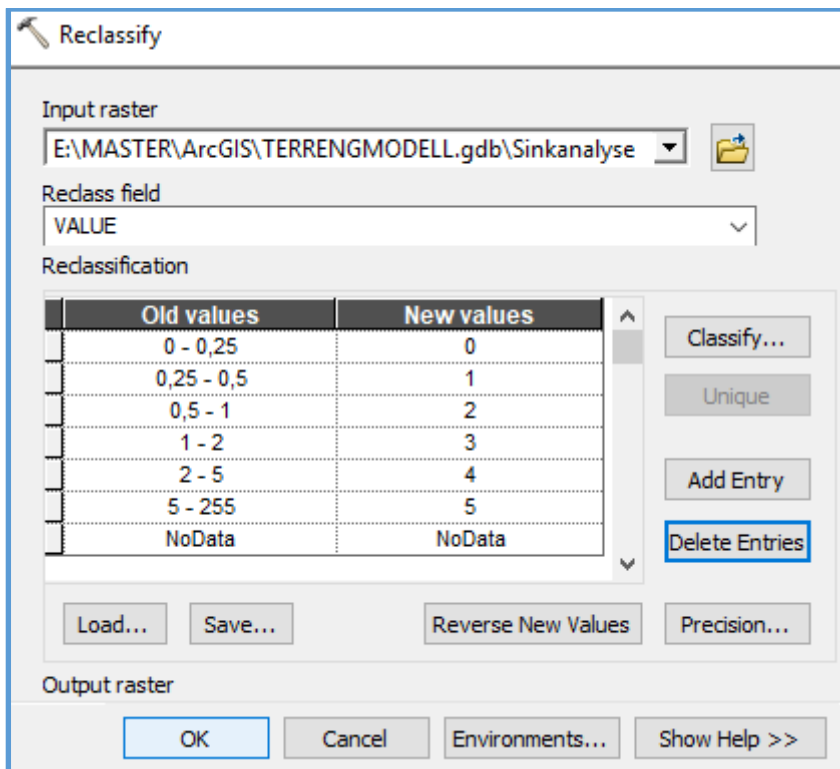
1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Minus* (*Spatial Analyst*).
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input raster or constant value 1*: Filen dannet i B – 1.1 (e.g. «Fill\_Terreng»)
  - *Input raster or constant value 2*: Filen dannet i A – 2.3 (e.g. «FullstendigRasterTerreng»)
  - *Output raster*: Valgfritt navn (e.g. «Sinkanalyse»)
3. Trykk *OK*

Se figur B – 5 for illustrasjon av utfyllingen.



Figur B – 5: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Minus* (*Spatial Analyst*) kan fylles ut.

Forsenkningene klassifiseres i henhold til tidligere oppgaver. Verdiene benyttet vises i figur B – 6.



Figur B – 6: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Reclassify* (*3D Analyst*) kan fylles ut. Verdiene er hentet fra Murtnes (2015) og Johansen & Moldekleivs (2016) oppgave.

## B – 3 DANNE AKTSOMHETSKART

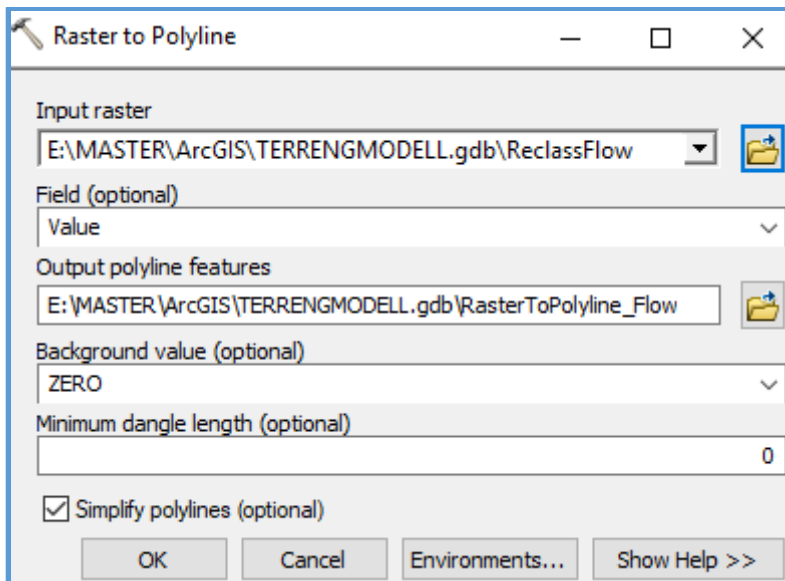
### B – 3.1 OPPRETTE VEKTORKART AV DRENSLINJER

For å bedre visualiseringen av drenslinjene konverteres det reklassifiserte rasteret for akkumulert strømming til polygonlinjer.

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Raster to Polyline (Conversion)*.
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input raster*: Reklassifisert raster for akkumulert strømming (e.g. «ReclassFlow»)
  - *Field (optional)*: Value
  - *Output polyline features*: Valgfritt navn (e.g. «RasterToPolyline\_Flow»)
  - *Background value (optional)*: ZERO
  - *Minimum dangle length (optional)*: (Blank)
  - *Simplify polylines (optional)* skal hukes av

### 3. Trykk *OK*

Se figur B – 7 for illustrasjon av utfyllingen.

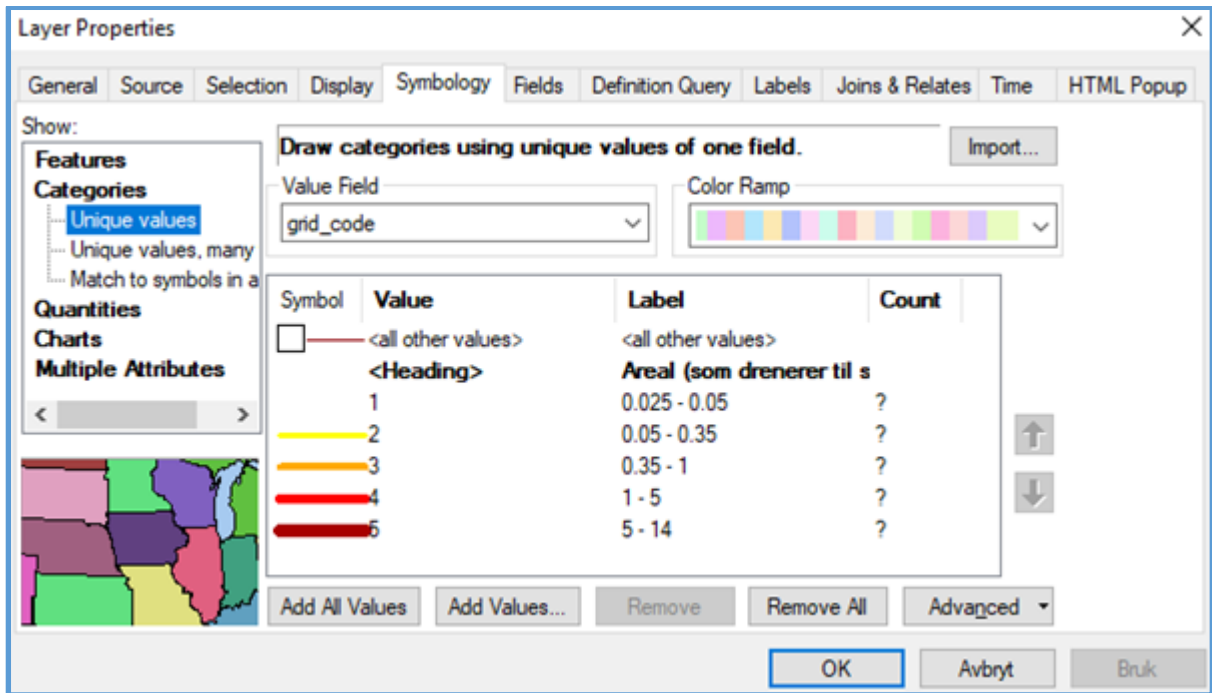


Figur B – 7: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Raster to Polyline (Conversion)* kan fylles ut.

For å endre farge og tykkelse på drenslinjene utføres følgende steg:

1. Høyreklikker på den nyopprettede filen i *Table Of Contents* (e.g. «RasterToPolyline\_Flow») og trykker på *Properties*.
2. Under *Symbology*-fanen settes «Value Field» til *grid\_code* og man velger *Add All Values*.
3. Avhukingen for *all other values* fjernes.

Ved å dobbeltklikke på linjene under <Heading> kan man endre tykkelse og farge på linjene. Under <gridcode> (kalt «Areal (som drenerer til strømningslinje) i km<sup>2</sup>» i figur B – 8) kan man om ønskelig legge inn terskelverdier. I denne oppgaven går fargekoden fra rød til gul. Jo tykkere linjen er, dess større areal drenerer til linjen. Se figur B – 8 for illustrasjon av utfylling.



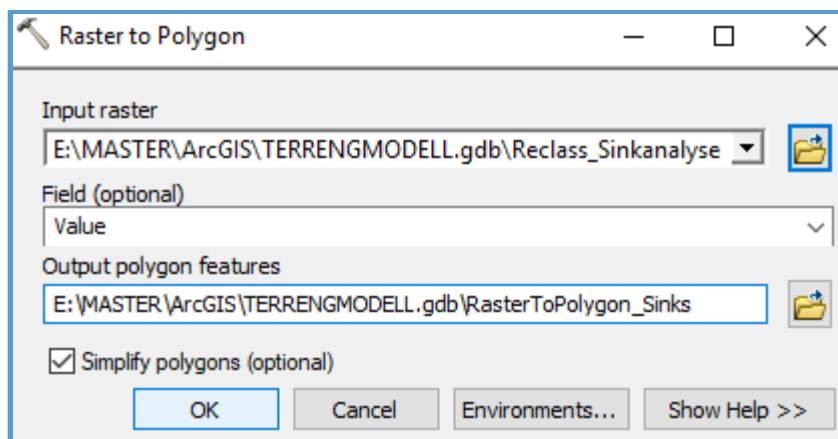
Figur B – 8: Illustrasjon av hvordan man kan fylle ut *Symbology* til drenslinjene.

### B – 3.2 OPPRETTE VEKTORKART AV FORSENKNINGER

For å bedre visualiseringen av forsenkningene konverteres det reklassifiserte rasteret for forsenkninger til polygoner.

1. Søk opp og åpne geoprosesseringsverktøyet *Raster to Polygon (Conversion)*.
2. I dialogboksen til verktøyet fylles følgende ut:
  - *Input raster*: Reklassifisert raster for forsenkninger (e.g. «Reclass\_Sinkanalyse»)
  - *Field (optional)*: Value
  - *Output polygon features*: Valgfritt navn (e.g. «RasterToPolygon\_Sinks»)
  - *Simplify polygons (optional)* skal hukes av
3. Trykk *OK*

Se figur B – 9 for illustrasjon av utfyllingen.

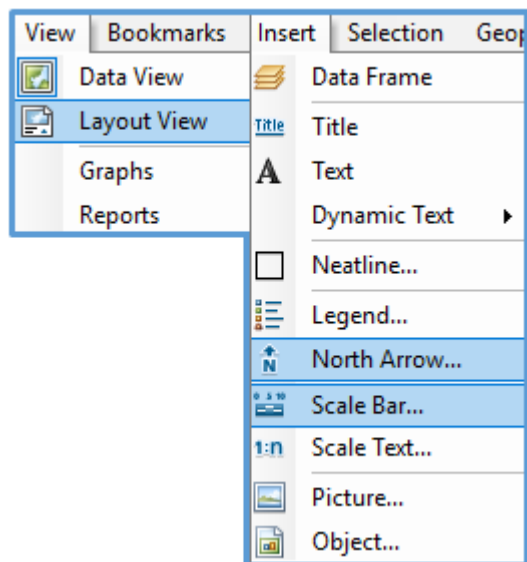


Figur B – 9: Illustrasjon av hvordan geoprosesseringsverktøyet *Raster to Polygon (Conversion)* kan fylles ut.

Om ønskelig kan man endre utseende til polygonene på samme måte som for drenslinjene. Eksempelvis kan det lønne seg å fjerne forsenkninger som er lavere enn 0.25m. Dersom man ikke gjør dette vil det meste av området preges av fargen som er valgt for klassen med terskelverdier som er lavere.

### B – 3.3 PRESENTASJON AV KARTENE

Det er mange ulike måter å presentere kartinformasjon på. Aktsomhetskartene i denne oppgaven ble utformet med kompassnål og skaleringsbar. For å danne kartet åpnes *Layout View* fra nedtrekkmenyen «View». Under «Insert» finnes kompassnål som viser nord under *North Arrow* og ulike skaleringsbarer under *Scale Bar*. Figur B – 10 viser stien til objektene.



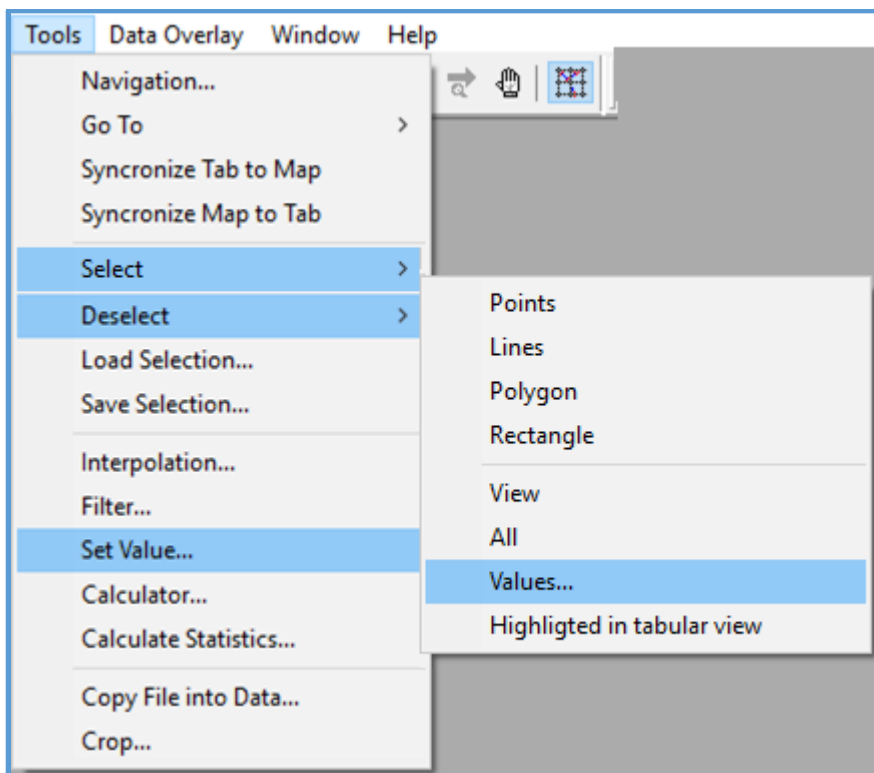
Figur B – 10: Illustrasjon av sti til *Layout View* og til objekter som fremhever ulike aspekter ved kartet.

Dersom det er ønskelig å rotere på kartet kan verktøyene *Data Frame Tools* legges til fra «Toolbars»-menyen. «Toolbars» ligger under nedtrekkmenyen «Customize».

## VEDLEGG C: Redigering av batymetri og etablering av kart i ArcGIS fra MIKE 21-fil

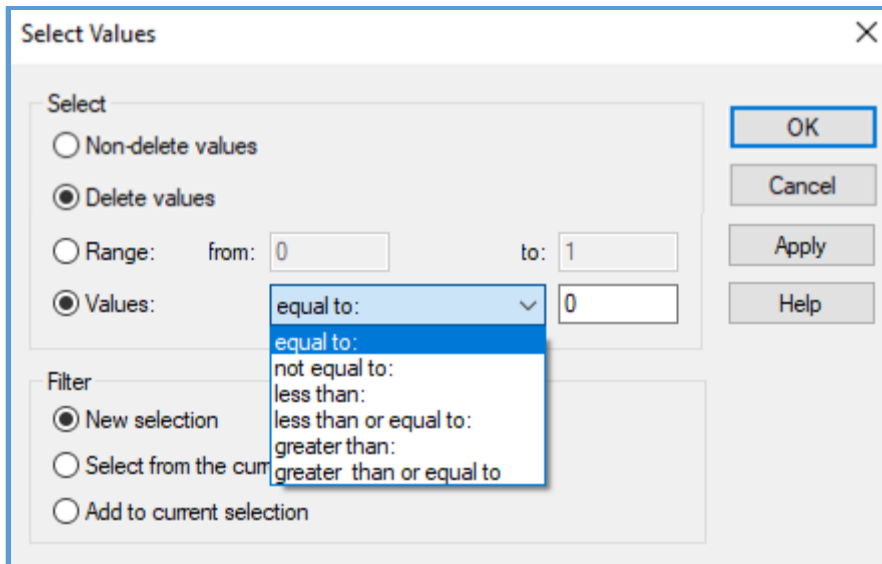
### C – 1 REDIGERING AV BATYMETRI

Ved redigering av batymetri er det tre verktøy som anvendes hyppig; *Select (Values)*, *Deselect (Values)* og *Set Values*. Alle tre verktøyene ligger under nedtrekkmenyen «Tools». Figur C – 1 viser alle verktøyene markert i tillegg til nedtrekkmenyen for *Select* og *Deselect* (den er identisk).



Figur C – 1: Illustrasjon av sti til verktøyene *Select (Values)*, *Deselect (Values)* og *Set Values*.

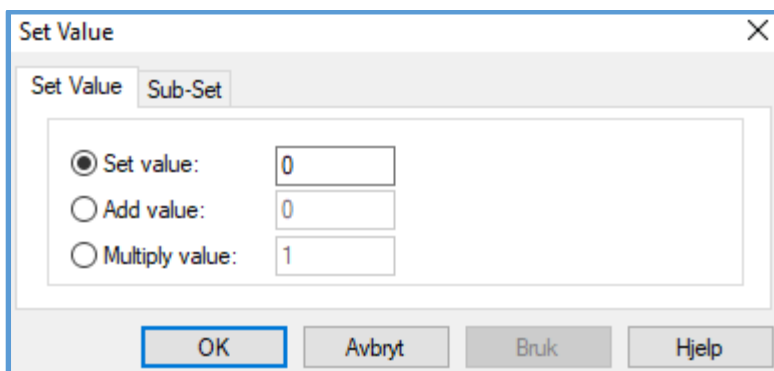
Det er videre antatt at filen er definert som Bathymetry og at *Land Value* er satt til 400. Områdene uten verdier, som i ArcGIS er kjent som NoData, kjennetegnes i MIKE 21 som *Delete Values*. Som figur C – 2 viser kan områdene uten verdier velges under *Select Values*. Der finnes også muligheten å finne eksakte verdier eller verdier som er mindre eller større enn et gitt tall. *Deselect All* ble ofte brukt for å nullstille etter å ha valgt spesifikke verdier eller områder.



Figur C – 2: Verktøyet *Select Values*.

Etablering av en lukket modell skjer i fire enkle steg:

1. Velg *Delete Values* med verktøyet *Select Values*. Legg merke til at de valgte områdene skraveres i den grafiske framstillingen av modellen.
2. Med verktøyet *Set Value* (figur C – 3) settes verdien høyere enn 400. 500 ble benyttet i denne oppgaven.
3. Videre markeres sidekantene. Det vil si at den øverste og nederste raden, og den første og siste kolonnen får verdier høyere enn 400 slik at de ikke blir tatt med i simuleringen. Dette kan eksempelvis utføres ved å markere de og deretter benytte *Select (Highlighted in tabular view)*.
4. *Set Value* gir de markerte områdene gitt verdi.



Figur C – 3: Verktøyet *Set Value*.



Forskjellen fra lukket til åpen modell er at området der elven renner «ut» av modellen til høyre ikke gis nye verdier. Det anbefales å kontrollere området hvor elven renner ut og sjekke at det ikke ligger landverdier langs den siste kolonnen. Dette vil kunne gi unøyaktige resultater.

## **C – 2 ETABLERE KART I ARCGIS FRA MIKE-FIL**

I MIKE Zero Toolbox åpnes verktøyet Mike2Shp fra nedtrekkmenyen GIS. Resultatfilen som inneholder maksimal oversvømmelse i hvert punkt i analyseområdet fra hele simuleringsperioden benyttes. Etter filen er konvertert til asc-format åpnes den i NotePad hvor desimaltegnet skiftes fra punktum til komma. I ArcGIS benyttes geoprosesseringsverktøyet «ASCII to Raster».

En shapefil bestående av punkter som representerer kummene i Drammen kommune ble lastet inn i ArcGIS. Punktene ble klippet til avgrensingsområdet og lagt som et layer over filen fra MIKE 21.

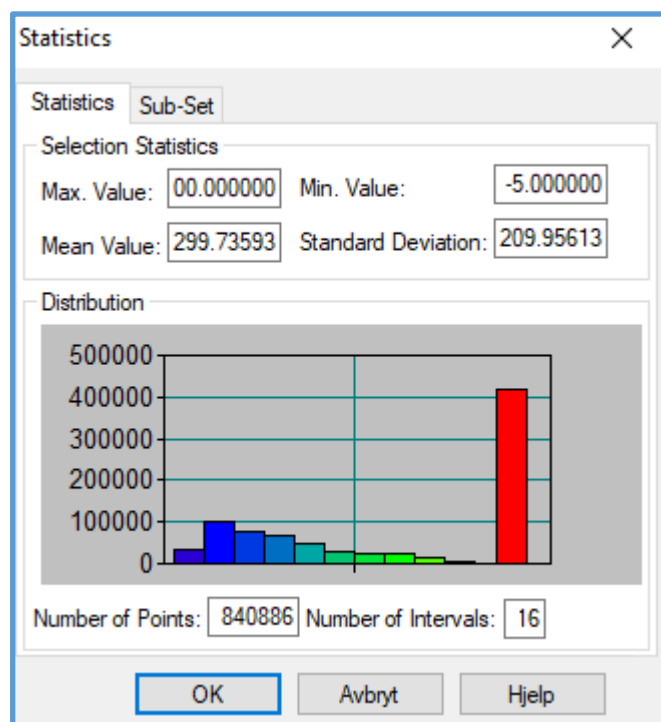
## VEDLEGG D: Volumberegninger

### D – 1 BEREGNE VANNVOLUM FRA NEDBØRSFILER

Nedbørfilene åpnes i MIKE 21 og verdiene over 0 hentes ut. MIKE er kompatibel med Excel og man kan enkelt kopiere og lime inn utvalgte verdier. Ved å beregne arealet av hver stolpe i hyetogrammet og addere resultatene får man antall millimeter nedbør i løpet av en time. Etersom stolpene er symmetrisk om midten kan det tas hensyn til kun én side så lenge beregningssteget dobles. Vandybden som beregnes multipliseres med nedbørarealet for å finne vannvolumet. Arealet beregnes ved å finne antall ruter i terrengmodellen og multiplisere disse med arealet av en rute, altså  $64\text{m}^2$ . Man finner antall ruter i nedbørarealet gjennom å

1. Åpne batymetrifilen
2. Velg *Select Values less than 390*
3. Åpne *Calculate Statistics* fra «Tools»-menyen

Figur D – 1 illustrerer hvordan dialogboksen til *Calculate Statistics* kan se ut. Nederst til venstre står *Number of Points*, som er antall markerte ruter/celler.



Figur D – 1: Dialogboksen til Calculate Statistics.

$$\text{Vannvolum}_{\text{Nedbør}} = \text{Vannivå fra nedbørfil} \cdot \text{Number of Points} \cdot \text{Areal av en rute}$$

Beregning for nedbørfil uten fratregk:

$$\text{Vannvolum}_{100} = 57.025\text{mm} \cdot 420,367\text{ruter} \cdot 64 \frac{\text{m}^2}{\text{rute}} = 1,534,171.4\text{m}^3$$

## **D – 2 BEREGNE VANNVOLUM FRA EN RESULTATFIL**

Når vannbalanseligningen skal undersøkes er det nødvendig å vite magasinert vannmengde. Denne beregnes ved å trekke fra vannvolum i modellen ved første tidssteg fra siste tidssteg. Fra resultatfilen velges *Select All* og verktøyet *Calculate Statistics* åpnes.

Vannvolum i modell ved valgt tidssteg er gitt ved:

$$\text{Vannvolum}_{\text{Tidssteg } n} = \text{Mean Value} \cdot \text{Number of Points} \cdot \text{Areal av en rute}$$

Med andre ord multipliseres gjennomsnittsverdien av vannivået i rutene som er aktive med antall ruter som er aktive. Til slutt multipliseres arealet av hver rute, også her lik 64m<sup>2</sup>. At en rute er aktiv vil si at vannivået er høyere enn verdien gitt for parameteren «Flood».

## **D – 3 BEREGNE VANNVOLUM FRA VANNKORREKSJONSFIL**

Vannkorreksjonsfilen gir verdier for total korreksjon gjennom hele simuleringen, ikke for hvert tidssteg. Ettersom ruter som ikke korrigeres får verdien 0 benyttes verktøyet *Select Values greater than 0*. Basert på verdiene *Calculate Statistics*-verktøyet gir med denne selekteringen beregnes volumet på samme måte som i D – 2.

## **D – 4 BEREGNE VANNVOLUM FRA UTLØP**

Vannvolum over grensebetingelse beregnes med verktøyet *Discharge Calculation*, gjennomgått i kapittel 3.1.5 og vedlegg E. Verktøyet generer en fil som blant annet viser akkumulert vannføring over grensen.

Vannvolum i utløp som simulerer sluk bestemmes av forfatter.

## VEDLEGG E: MIKE 21 Toolbox

De benyttede verktøyene befinner seg i MIKE 21 Toolbox under Hydrodynamics og illustreres i figur E – 1. Verktøyene er lett anvendelige og det gis derfor kun en kort beskrivelse av de ulike dialogboksene som må fylles ut. For å komme fram til verktøyboksen åpnes en ny fil i MIKE Zero. MIKE 21 velges og under «Documents» til høyre åpnes MIKE 21 Toolbox.

### E – 1 VERKTØY: TRANSFER BOUNDARY

Setup Name: Her navngis oppsettet som dannes (ved å fylle ut de neste dialogboksene).

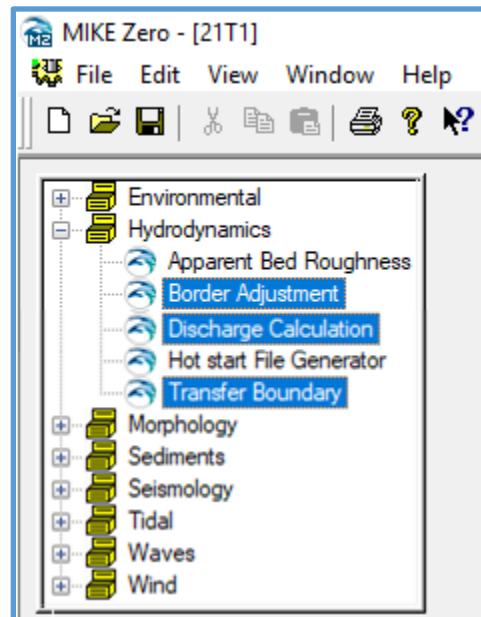
MIKE 21 Hydrodynamic Result File: Inngangsdata består av en resultatfil på dsf2-format som inneholder vannivå og vannføringsflukser.

Boundary Position and Length: Her defineres de nye grensene i henhold til koordinatene til filen benyttet som inngangsdata. Dialogboksen illustreres i figur 3-11.

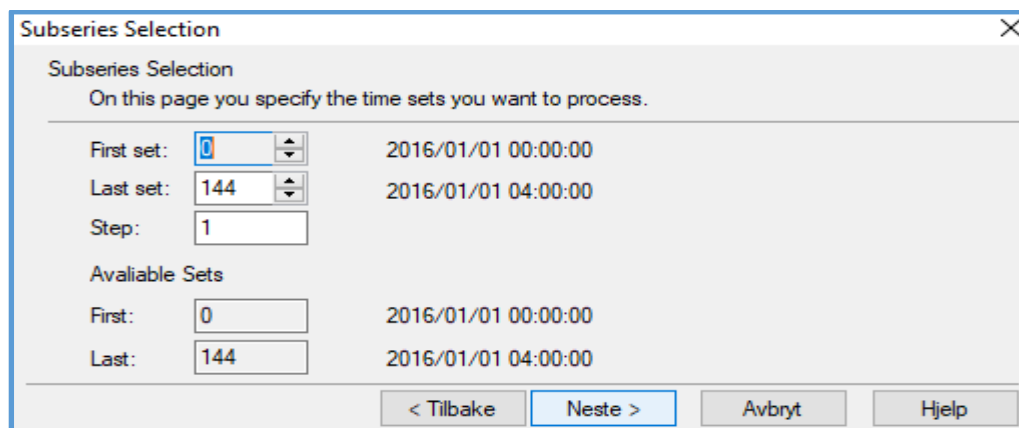
Subseries Selection: Her defineres hvilke tidssteg som skal inkluderes. Dialogboksen vises i figur E – 2.

Output Specification: Her gis filen navn, og plasseringen bestemmes.

Status: Her utføres arbeidsoperasjonen. Trykk *Execute* og vent til en dialogboks sier «Status OK». Avslutt med *Fullfør*.



Figur E – 1: Verktøyene som ble benyttet fra MIKE 21 Toolbox: Hydrodynamics.



Figur E – 2: Dialogboksen «Subseries Selection» fra Transfer Boundary og Discharge Calculations.

## E – 2 VERKTØY: DISCHARGE CALCULATION

Setup Name: Se E – 1

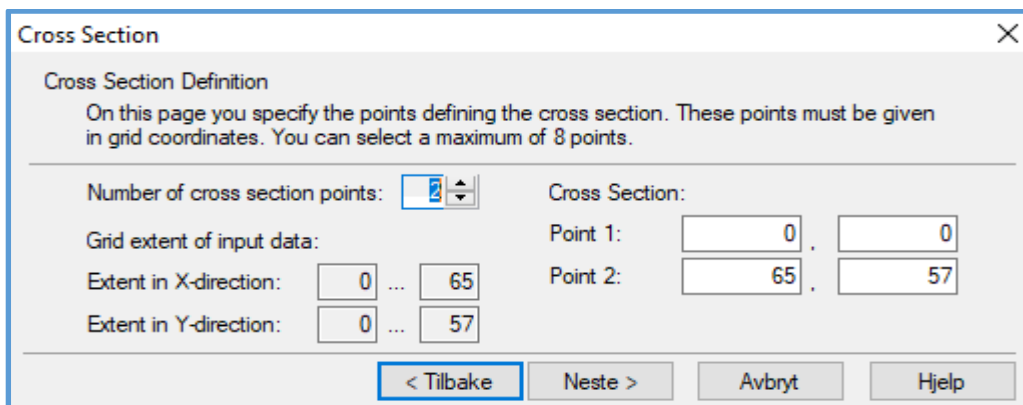
Select Input File: Se E – 1 under «MIKE 21 Hydrodynamic Result File».

Cross Section: Her spesifiseres plasseringen til tverrsnittet man ønsker å se på (i x- og y-koordinater).

Subseries Selection: Se E – 1 og figur E – 2.

Output Specification: Se E – 1

Status: Se E – 1



Figur E – 3: Dialogboksen «Cross Section» fra Discharge Calculations.

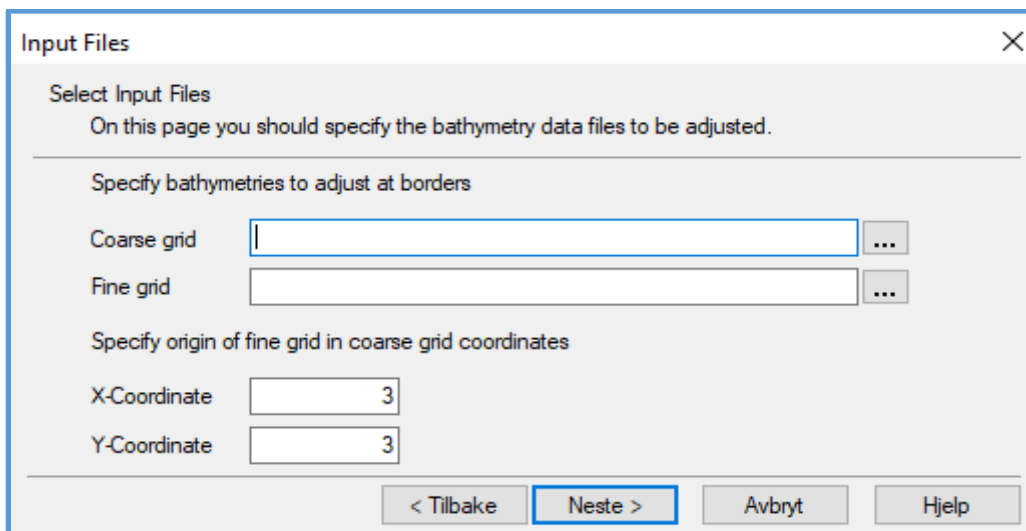
## E – 3 VERKTØY: BORDER ADJUSTMENT

Setup Name: Se E – 1

Input Files: Her lastes de to batymetriene som skal justeres inn. Batymetrien av finere oppløsning spesifiseres i koordinatene til den groveste batymetrien. Se figur E – 4.

Select Output Files: Her gis filene navn, og plasseringen bestemmes.

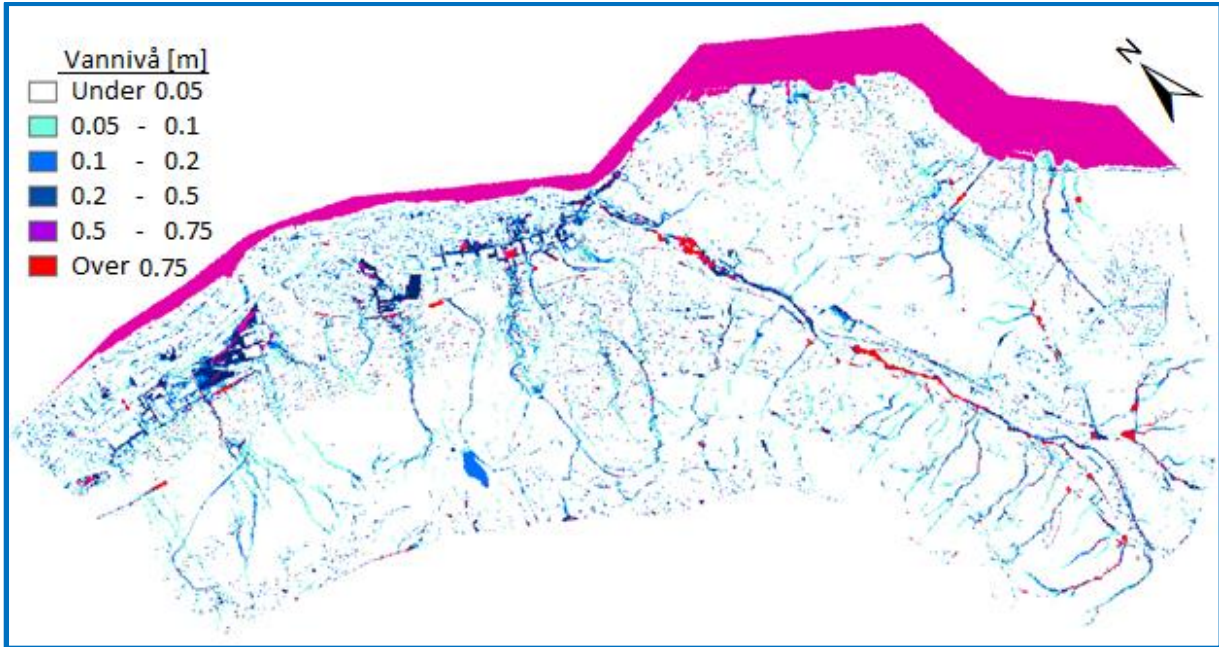
Status: Se E – 1.



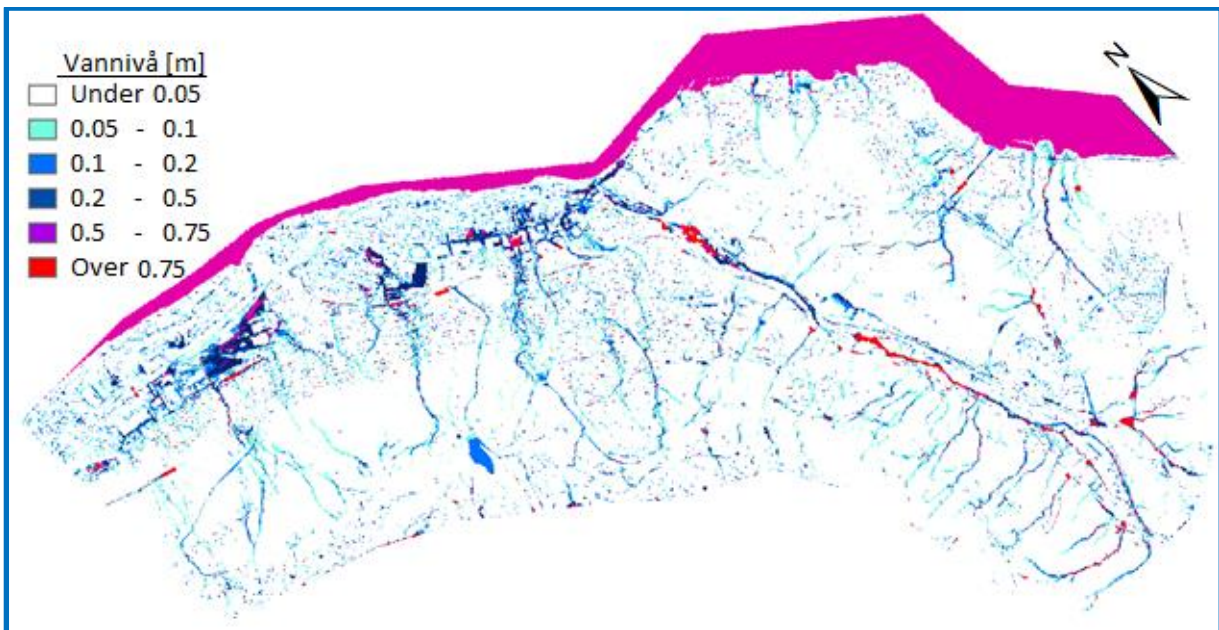
Figur E – 4: Dialogboksen «Input Files» fra Border Adjustment.

## VEDLEGG F: Oversvømmelsesfigurer fra hele nedbørfeltet

### F – 1 DEL 1.1: LUKKET MODELL OG MODELL MED UTLØP

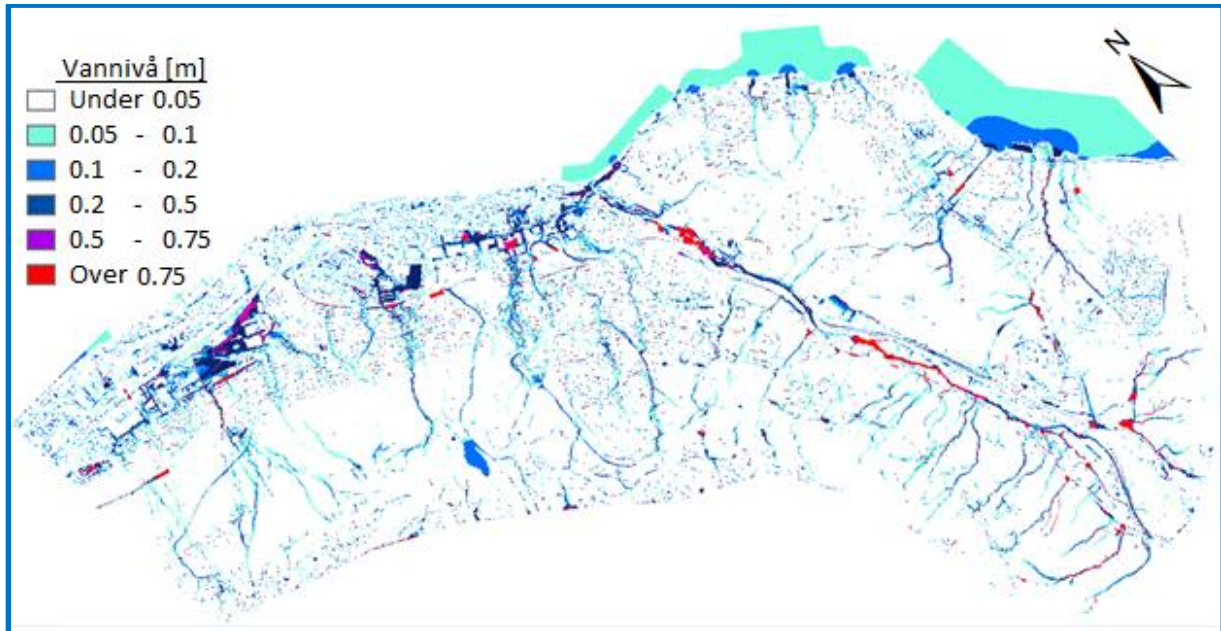


Figur F – 1: Oversvømmelser av nedbørarealet for lukket modell.

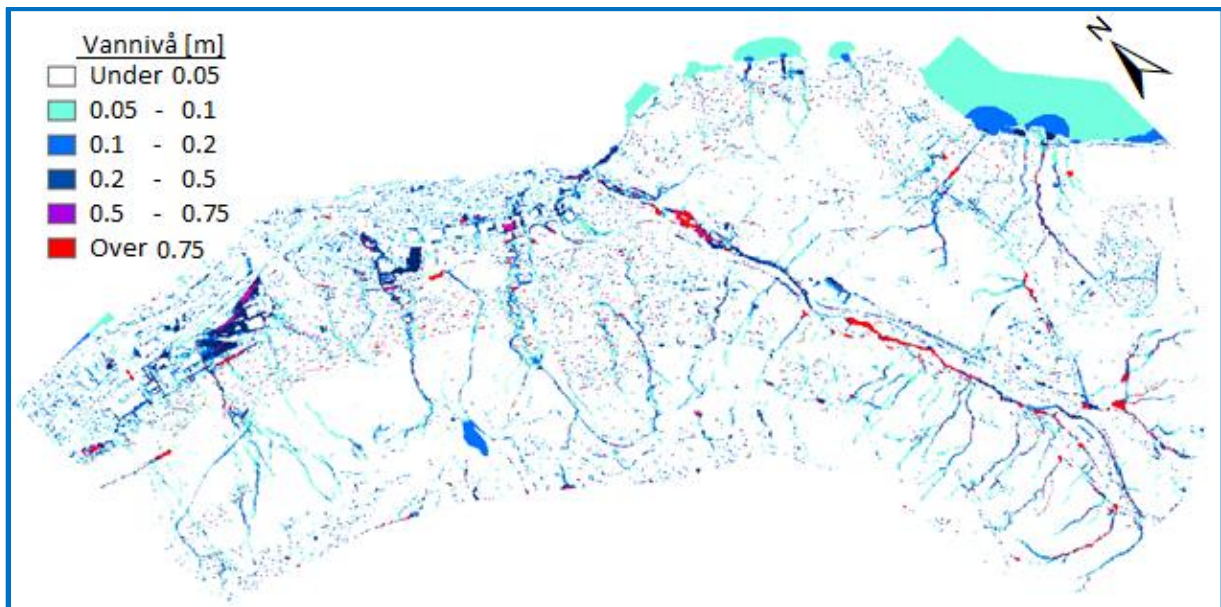


Figur F – 2: Oversvømmelser av nedbørarealet for modell med utløp. Utløpet kan registreres øverst helt til høyre som en mørkeblå linje langs det rosa feltet.

## F – 2 DEL 1.2: ULIK HØYDE PÅ BYGNINGER

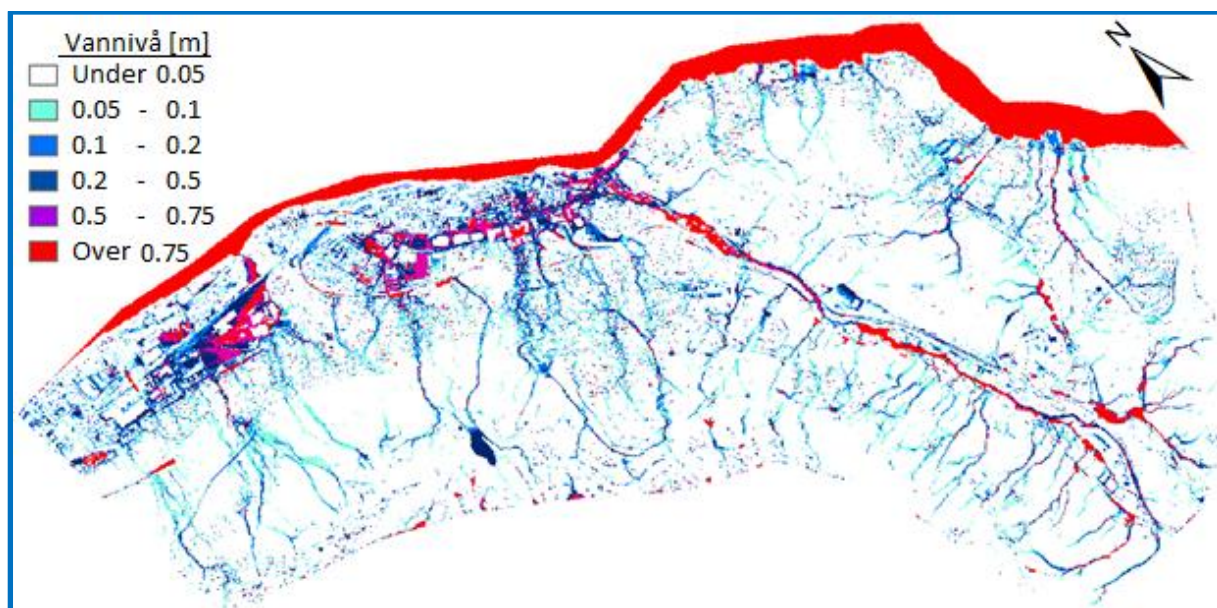


Figur F – 3: Oversvømmelser av nedbørarealet for lukket modell med 2m høye bygg.

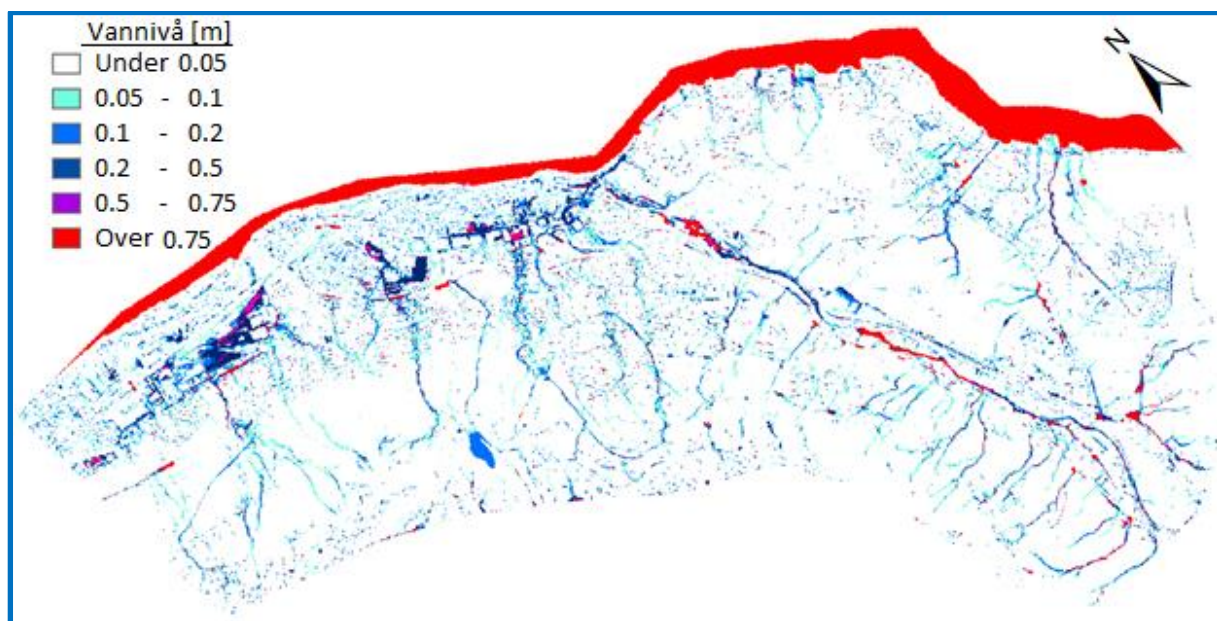


Figur F – 4: Oversvømmelser av nedbørarealet for lukket modell med 25m høye bygg.

F – 2 DEL 1.3: SIGNIFIKANS AV Å LEGGE INN UTLØP SOM SIMULERERER SLUK

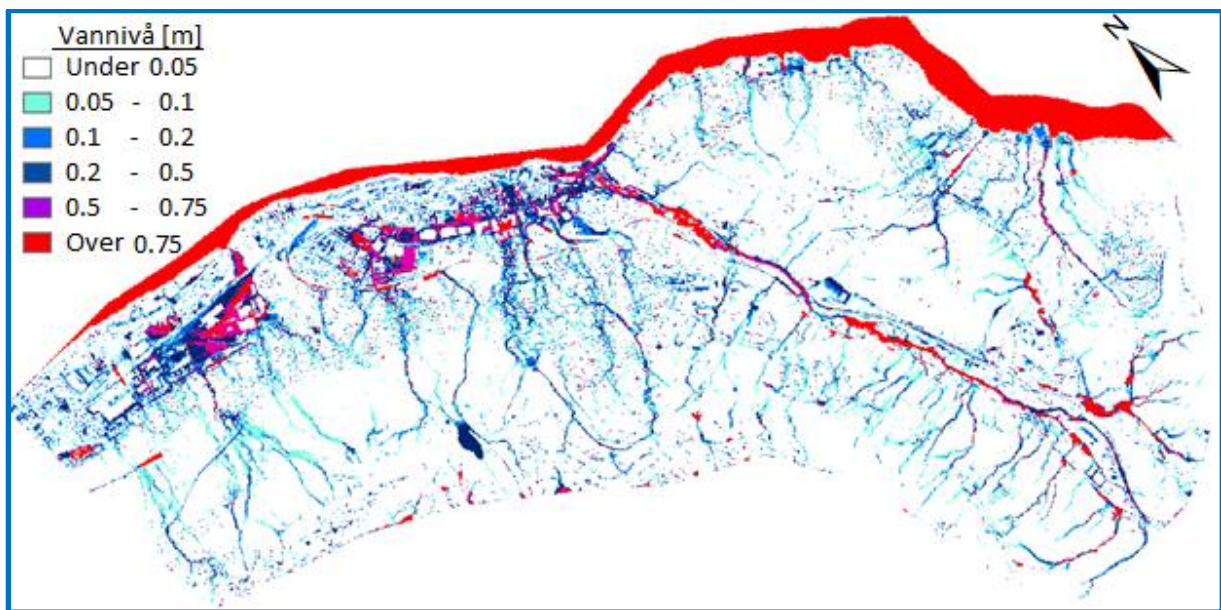


Figur F – 5: Oversvømmelser av nedbørarealet for utløpsmodell med nedbør tilsvarende et 100-årsregn med klimafaktor 1.2.

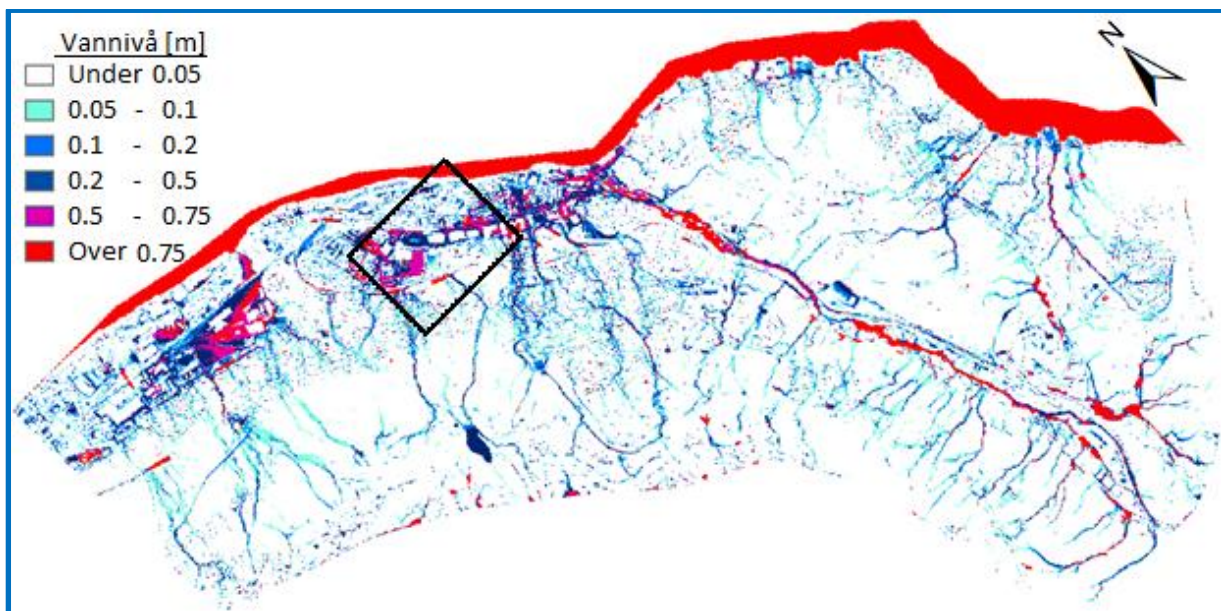


Figur F – 6: Oversvømmelser av nedbørarealet for utløpsmodell med nedbør tilsvarende et 100-årsregn med klimafaktor 1.2 minus en nedbør med returperiode 10 år.





Figur F–7: Oversvømmelser av nedbørarealet for utløpsmodell med nedbør tilsvarende et 100-årsregn med klimafaktor 1.2 hvor utløp med total kapasitet tilsvarende et 10-årsregn er lagt inn (spredt) i nedbørfeltet.



Figur F–8: Oversvømmelser av nedbørarealet for utløpsmodell med nedbør tilsvarende et 100-årsregn med klimafaktor 1.2 hvor utløp er lagt inn i området rundt Marienlyst stadion (markert i figur). Utløpenes kapasitet tilsvarer et 10-årsregn for markert areal.

## VEDLEGG G: Aktsomhetskart for Strømsø



# FORSENKNINGER I STRØMSØ

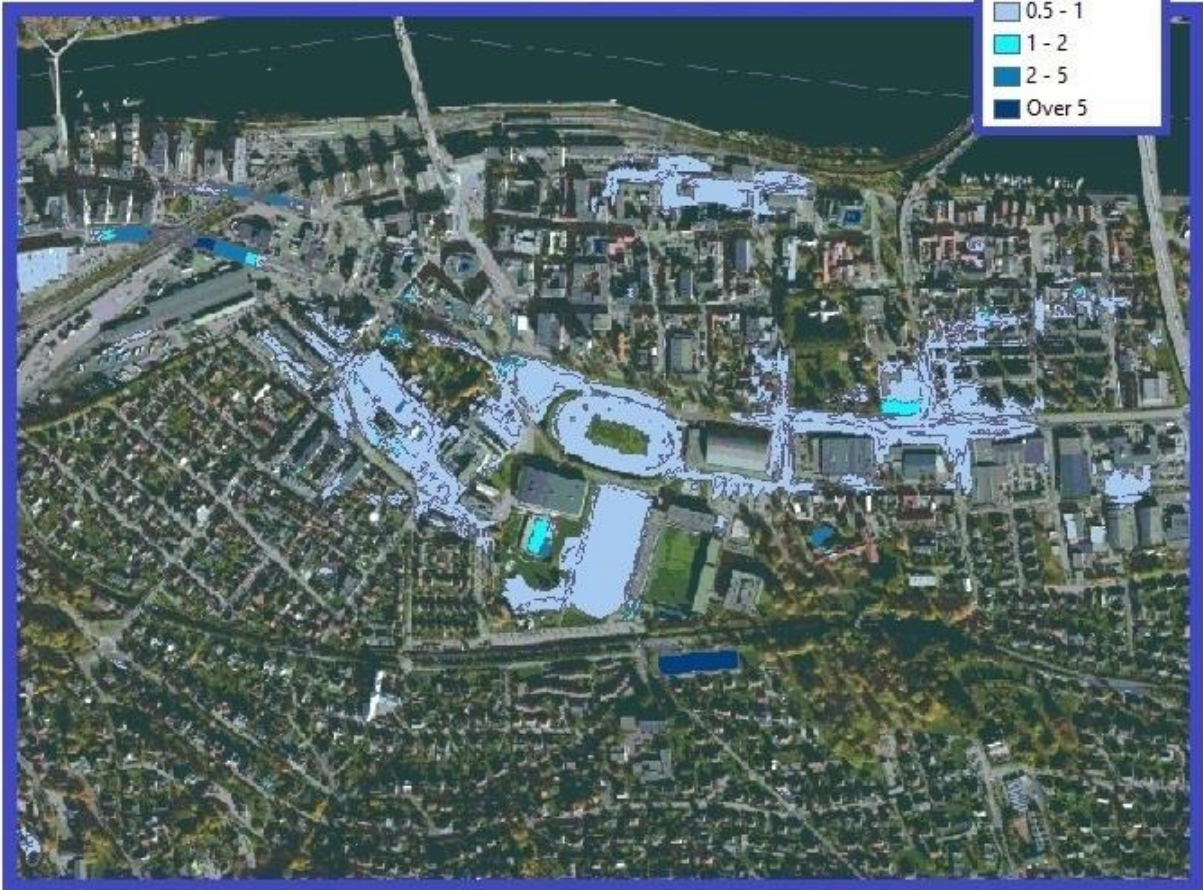
## FRA GIS-ANALYSE



0 0.2 0.4 0.8 Kilometer

Vanndybde [m]

- 0.25 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 5
- Over 5



## VEDLEGG H: Erfaringer fra MIKE 21 (for nybegynnere)

Forhåpentligvis kan noen av disse tipsene spare bruker for unødvendig tidsbruk.

- Setup-fil

Dersom det skal benyttes en tidligere setup-fil bør den gjennomgås nøye, spesielt resultatdelen. Husk å velge hele analyseområdet i *din* batymetri. Det anbefales å opprette setupfiler selv da det gir god læring og er en relativ enkel prosess.

- Simuleringstid

Med PC-spesifikasjonene i denne oppgaven tok en fil på litt under 700MB i underkant av 20 timer å produsere. Årsaker til lang simuleringstid kan ligge i

- Treg PC (treg prosessor)
- Lave verdier for flom og tørk
- For kort tidssteg
- For fin oppløsning
- Ev. store områder med vann ved simuleringstart. I simuleringene med utløp kunne elven med fordel reduseres uten at det påvirker resultatene.

- Paletter

Det er veldig greit å etablere og lagre paletter som benyttes ofte. Eksempelvis ble det i denne oppgaven dannet ferdig palett for topografi og flomdybde (etter inspirasjon fra DHI Oslo). Et fint verktøy som er greit å bli kjent med raskt.

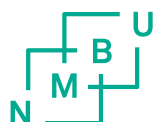
- Resultatfil

Ha en strukturert mappe og skift navn på resultatfilen hver gang det kjøres en simulering. Dersom resultatfil av samme navn er adressert til samme mappe vil det ikke komme feilmeldinger eller varsler hvis simulering startes, og filen av samme navn overskrives automatisk. Selvforklarende, men lett å brenne seg på.

- Annet

Noen ganger får man ikke opp ønsket verktøy, for eksempel selekteringsverktøy. Dersom man trykker i feltet som grafisk fremstiller batymetri/resultater skal dette fungere.





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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway