



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

En sammenligning av SCALGO Live og MIKE 21 FM for modellering av overvann

A comparison of SCALGO Live and MIKE 21 FM for
stormwater modeling

Kaisa Gamman
Vann- og miljøteknikk

Katrine Urrang
Industriell økonomi

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på masterstudiet innenfor vann- og miljøteknikk og industriell økonomi med fordypning innenfor vann- og miljøteknikk. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og er skrevet ved fakultetet for realfag og teknologi.

Hensikten med denne oppgaven har vært å sammenligne to digitale overflatemodeller som kan brukes til å undersøke flomforløp og forebygge skader knyttet til overvann. Programmene som benyttes i denne masteroppgaven er SCALGO Live levert av SCALGO og MIKE 21 Flow Model Flexible Mesh levert av DHI.

Vi vil takke vår hovedveileder Vegard Nilsen og biveileder Kristin Jenssen Sola for oppfølging og konstruktive tilbakemeldinger. Videre vil vi takke Halvor Hardang fra DHI Norge for innspill og hjelp med programmet MIKE 21. Takk til Jakob Myking og Sigmund Wiig Petersen for gode råd gjennom masterarbeidet, og til Rambøll for lån av PCer og lisenser. Takk til Marius Gulbrandsen fra Asker kommune for viktig informasjon om analyseområdet og innspill til oppgaven. Til slutt vil vi takke alle som har bidratt med korrekturlesing.

Ås, 10.mai 2019

Kaisa Gamman

Katrine Urrang

Sammendrag

Det forventes at menneskeskapte klimaendringer vil føre til hyppigere og mer intense nedbørshendelser. Kartlegging og analyse av flomforløp i urbane områder spiller derfor en stadig større rolle i dagens samfunn. Hensikten med denne masteroppgaven var å sammenligne de digitale overflatemodellene SCALGO Live og MIKE 21 Flow Model FM og undersøke om de er egnede hjelpemidler for å vurdere utfordringer knyttet til overvann. SCALGO Live er et internettbasert verktøy som gjør enkle analyser basert på lavpunkter i terrenget. MIKE 21 er en todimensjonal overflatemodell som inkluderer flere hydrodynamiske parametere i beregningene. Oppgaven er basert på en regnhendelse som oppstod i Vakåsområdet i Asker kommune 6. august 2016, kategorisert som et 200-års regn. Denne regnhendelsen ble simulert i MIKE 21 og SCALGO Live for å se hvilket program som gir mest realistiske resultater. Basert på bilder og observasjoner fra regnhendelsen var det MIKE 21 som ga den beste tilnærmingen.

For å undersøke om programmene er egnede verktøy for arealplanlegging ble det testet ut tiltak i begge programmene. Utprøving av tiltak viste seg å være enklere og mindre tidkrevende i SCALGO Live. Det ble også utført en sensitivitetsanalyse i de to programmene ved å gjøre analyser med to terrengmodeller av ulik oppløsning. Terrengmodellen i SCALGO Live er på rasterformat som gjengir terrenget i firkanter av samme størrelse, mens terrengmodellen i MIKE 21 ble bygget i ustrukturerte trekantner av ulik størrelse (flexible mesh). Sensitivitetsanalysen i SCALGO Live viste at en lav oppløsning på terrengmodellen (store celler) gjør terrenget mer uniformt, og gir mindre oversvømt areal enn ved høy oppløsning på terrengmodellen. MIKE 21-modellen i denne oppgaven var mer følsom for oppløsningen på terrengmodellen med hensyn på endringer i vandedybder. Oppgaven viser at programmene vil være gode verktøy for arealplanlegging og at de kan gi en økt forståelse av årsakssammenhenger i forbindelse med urbane flommer.

Abstract

As an effect of the human induced climate changes, there is an expected increase in the intensity and frequency of precipitation. The importance of analysis of flooding in urban areas will progressively become more important in today's society. The purpose of this masters' thesis was to examine whether the digital surface models SCALGO Live and MIKE 21 Flow Model FM are suitable tools to assess challenges related to stormwater. SCALGO Live is a web-based software that runs analysis based on depressions in the terrain. MIKE 21 is a two-dimensional surface model, including several hydrodynamic parameters in its calculations. This thesis is based on a precipitation event that occurred in Vakåsområdet in the municipality of Asker August 6th 2016, amounting to a 200-year event. This precipitation event was simulated in MIKE 21 and SCALGO Live, in order to determine which software provided the most realistic results. Based on images and observations from this event, MIKE 21 provided the most accurate approach.

In order to determine if the two types of software are suitable for area planning, they were used to model the effect of flood reducing measures. This revealed to be easier and less time consuming in SCALGO Live. A sensitivity analysis was carried out by doing the same analysis with two terrain models of different resolution. The SCALGO Live terrain model is based on a raster format, which reproduces the terrain in equally sized squares, whilst the terrain model in MIKE 21 was built by unstructured triangles of varying sizes. The sensitivity analysis in SCALGO Live implied that a low terrain model resolution (large grid-cells) will result in a more uniform terrain representation, and consequently a smaller flooded area compared to a high terrain model resolution. The MIKE 21-model in this thesis revealed to be more sensitive towards the terrain model resolution with regard to water depths. The thesis implies that the two types of software are suitable for area planning, and that they can give an increased understanding regarding causation of flooding.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	IV
Figurliste	VIII
Tabelliste	X
Liste over forkortelser	XI
1 Innledning	1
1.1 Mål for oppgaven	2
1.2 Problemstilling	2
2 Bakgrunn for oppgaven	3
2.1 Urbanhydrologi	3
2.2 Overvannshåndtering i byer og tettsteder	4
2.2.1 Lover og regler for overvannshåndtering	5
2.2.2 Overvannshåndtering i arealplanleggingen	6
2.3 Hvordan beregne avrenning?	6
2.3.1 Nedbør og IVF-kurver	7
2.3.2 Returperiode for nedbør	8
2.4 Modellering av urbane pluviale flommer	8
2.4.1 Statiske og dynamiske modeller	10
2.4.2 Laserdata og viktigheten av en god terrengmodell	10
2.4.3 Høydesystem	11
2.4.4 Vektordata for fremstilling av kartinformasjon	12
2.5 SCALGO Live	13
2.5.1 Terrengmodellen i SCALGO Live	13
2.5.2 Rasterdata	14
2.5.3 Regndata og simulering	14
2.5.4 Viktige verktøy og funksjoner	15
2.5.5 «Flash Flood mapping» og «Depression-free flow»	16
2.5.6 Drenslinjer	17
2.6 MIKE 21 Flow Model Flexible Mesh	17
2.6.1 Flexible mesh	17
2.6.2 Regndata for simulering av regnhendelser	18
2.6.3 Viktige modellparametere	18
2.6.4 Infiltrasjon og ruhet	20
2.7 Modellvalidering, verifisering og sensitivitetsanalyse	21

3	Analyseområdet	22
4	Metode	26
4.1	Utarbeidelse av en 2D-modell i MIKE 21	26
4.1.1	Klargjøre laserdata	26
4.1.2	Opprette terrengmodell i MIKE Zero	27
4.1.3	Oppsett i MIKE 21	29
4.1.4	Utpøving av tiltak i MIKE 21	33
4.1.5	Kontrollregning av resultater i MIKE 21	35
4.1.6	Sammenligning av terrengmodeller i MIKE 21	36
4.2	Fremgangsmåte i SCALGO Live	37
4.2.1	Workspace og sammenligning av terrengmodeller	37
4.2.2	Regndata i SCALGO Live	38
4.2.3	Utpøving av tiltak i SCALGO Live	39
4.3	Fjerning av broer og redigering av terrengmodellen i MIKE 21 og SCALGO Live	39
4.4	Modellvalidering - innhenting av informasjon	41
4.5	Begrensninger og antakelser	41
5	Resultater og diskusjon	42
5.1	Modellvalidering og verifisering	43
5.1.1	Kontrollregning av resultater fra MIKE 21	49
5.1.2	Sammenligning med bilder fra regnhendelsen 6.august 2016	50
5.2	Sensitivitetsanalyse	53
5.2.1	Sammenligning av terrengmodeller i SCALGO Live	53
5.2.2	Sammenligning av terrengmodeller i MIKE 21	56
5.3	Utpøving av tiltak	59
5.3.1	Resultater etter utpøving av tiltak i SCALGO Live	59
5.3.2	Resultater etter utpøving av tiltak i MIKE 21	60
5.4	Tidsbruk	62
5.5	Når bør overflatemodeller brukes?	62
5.6	Oppsummering - sammenligning av programmene	64
5.7	Videre arbeid	64
6	Konklusjon	65
	Referanser	67
	Vedlegg A Opprette terrengmodell i MIKE21 FM	I
A.1	Konvertering av laz- til las-fil	I
A.2	Oppsett i FME Workbench for behandling av laserdata	II
A.3	Klippe og forenkle bygningslag i ArcMap	III
A.4	Mesh Generator	IV
A.4.1	Konvertere fra shape til xyz-fil	IV
A.4.2	Importere data til MIKE Zero Mesh Generator	IV
A.5	Opprette fil for Manningstall	V
	Vedlegg B SCALGO Live terrengmodell til punkttsky	VII

Vedlegg C Finne gjennomsnittlig vanndybde	VIII
C.1 Gjennomsnittlig vanndybde i SCALGO Live	VIII
C.2 Gjennomsnittlig vanndybde i MIKE 21	IX

Figurliste

2.1	Urbaniseringens påvirkning på avrenning	3
2.2	Treleddsstrategien for håndtering av overvann	5
2.3	IVF-kurve fra Sem nedbørstasjon	8
2.4	Forskjell på DTM1 og DTM10	11
2.5	Terrengraster	14
2.6	SCALGO Live algoritme	15
2.7	Illustrasjon av vann i forsenkninger i SCALGO Live	16
2.8	Depression-free flow i SCALGO Live	16
2.9	Terrengmodell laget som flexible mesh i MIKE 21 FM	18
2.10	Generering av bathymetri	19
3.1	Nedbørsfelt	23
3.2	Høydeforskjeller i nedbørsfeltet	23
3.3	Løsmassekart	24
3.4	Plassering av nedbørsmålere	25
4.1	Digital overflatemodell fremstilt med punktsky	26
4.2	Digital terrengmodell fremstilt med punktsky	26
4.3	Åpen grense i MIKE 21	27
4.4	Hus ekskludert fra meshet i MIKE Zero Mesh Generator	28
4.5	Terrengmodell opprettet i MIKE Zero	29
4.6	Regndata som dfs0-fil i MIKE 21	30
4.7	Tiltak i Holmen	34
4.8	Tiltakene fremstilt i ArcMap	35
4.9	“Workspace” opprettet i SCALGO Live	38
4.10	Utprøving av tiltak i SCALGO Live	39
4.11	Ufullstendig fjerning av broer	40
4.12	Fremstilling av interpolering av broer i MIKE 21	41
5.1	Området med høyest vannstand	43
5.2	Resultater fra MIKE 21	44
5.3	Resultater fra SCALGO Live	45
5.4	MIKE 21 og SCALGO Live - sammenligning av resultater	46
5.5	Avvik i SCALGO Live	47
5.6	Terrengmodellen i SCALGO ved Vakås stasjon	48
5.7	Plassering av tidsserie for kontrollregning av vannstrømningen i MIKE 21	49
5.8	Bilde fra regnhendelsen 6.august ved Skeidar i Holmen	50
5.9	Bilde fra regnhendelsen 6.august ved bro i Holmen	51
5.10	Regnhendelsen 6.august utenfor Holmensenteret	51
5.11	Bilde fra regnhendelsen 6.august utenfor bolighuset i Vakåsområdet	52
5.12	Områdene hvor det er målt gjennomsnittlig vanndybde i SCALGO Live	53

5.13 SCALGO Live - sammenligning av resultater fra sensitivitetsanalysen	55
5.14 Områdene hvor det er målt gjennomsnittlig vanndybde i MIKE 21	56
5.15 MIKE 21 - sammenligning av resultater fra sensitivitetsanalysen	58
5.16 Utprøving av tiltak i SCALGO Live ved Holmen idrettsanlegg	60
5.17 Utprøving av tiltak i MIKE 21 ved Holmen idrettsanlegg	61

Tabelliste

2.1	Avrenningskoeffisienter for Asker kommune	7
2.2	Verktøy for overvannsmodellering	10
4.1	Valg ved kjøring i MIKE 21 Flow Model FM.	32
5.1	Sammenligning av terrengmodeller i SCALGO Live - gjennomsnittlige vann- dybder	54
5.2	Sammenligning av terrengmodeller i MIKE 21 - gjennomsnittlige vanndybder .	57
5.3	Sammenligning av SCALGO Live og MIKE 21 FM	64

Liste over forkortelser

Akronym	Forklaring
1D	Endimensjonal
2D	Todimensjonal
CFL	Courant–Friedrichs–Lewy
DHM	Digital Høydemodell
DTM	Digital Terrengmodell
EUREF	European Terrestrial Reference System
FKB	Felles Kartdatabase
FM	Flexible Mesh
LIDAR	Light detection and ranging
NDH	Nasjonal detaljert høydemodell
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
NOU	Norges offentlige utredninger
PBL	Plan- og bygningsloven
TIN	Triangular Irregular Network
UTM	Universal Transverse Mercator
VA	Vann- og avløp

1. Innledning

Det er i dag en økende bevissthet om hvordan endrede klimatiske forhold skaper problemer relatert til flom og overvann i urbane områder i Norge. Fortetting av flater som en følge av urbanisering gjør at mindre regn kan infiltrere i bakken og større regnmengder blir til avrenning på overflaten. Avløpsnettene har begrenset kapasitet til å fange opp disse mengdene, og uten gode løsninger for håndtering av overvannet kan det føre til store skader på bygg og infrastruktur. I NOU 2015:16 antydes det at skadestørrelser i løpet av de neste 40 årene kan bli i størrelsesorden 45 til 100 milliarder kroner som en følge av overvann, uten forebyggende tiltak (NOU, 2015). Selv om overvann i byer er et adressert problem er det fortsatt mangel på gode planer og strategier for overvannshåndtering i norske kommuner (NOU, 2015). Bruk av digitale overflatemodeller kan bidra til å forbedre dagens situasjon. Ved å simulere flomforløpet og vise hvor vannet vil samles opp er det mulig å beregne hvor vannet vil gjøre størst skade. Dette gir et bedre grunnlag for å legge konkrete planer for overvannshåndtering.

Denne masteroppgaven skrives i samarbeid med Asker Kommune som 06. august 2016 fikk oppleve hvordan en intens nedbørshendelse kan skape store materielle skader. Et av stedene som ble hardt rammet var Vakåsområdet, som brukes som analyseområdet i denne oppgaven. To digitale overflatemodeller skal brukes til å modellere effekten av denne nedbørshendelsen og resultatene skal sammenlignes med observasjoner fra virkeligheten.

De to programmene som brukes er SCALGO Live og MIKE 21. SCALGO Live er et brukervennlig verktøy basert på terrenganalyser hvor brukeren raskt og effektivt kan identifisere problemområder og teste ut flomforebyggende tiltak i nedbørsfeltet. MIKE 21 er en dynamisk overflatemodell og et mer avansert program som kan inkludere flere faktorer, men som følgelig også krever mer tid og kompetanse. Programmet har eksistert på markedet over lengre tid (DHI, 2019). SCALGO Live ble lansert i Norge i 2018, og ideen bak programmet var i følge SCALGO å *“utvikle et innovativt digitalt verktøy hvor det kontinuerlig jobbes med å*

samle, organisere og analysere tredimensjonale kart og terrengmodeller for å kunne levere mer nøyaktige data og analyser“ (SCALGO, 2019[c]). Det anses derfor som relevant at denne oppgaven tar for seg SCALGO Live og sammenligner programmet med et allerede etablert modelleringsprogram som MIKE 21, både med tanke på resultater og brukergrensesnitt.

1.1 Mål for oppgaven

Målet med denne oppgaven er å finne ut hvordan MIKE 21 og SCALGO Live kan brukes til å modellere urbane flommer, samt styrker og svakheter med oppbygningen og fremgangsmetoden i de to programmene.

1.2 Problemstilling

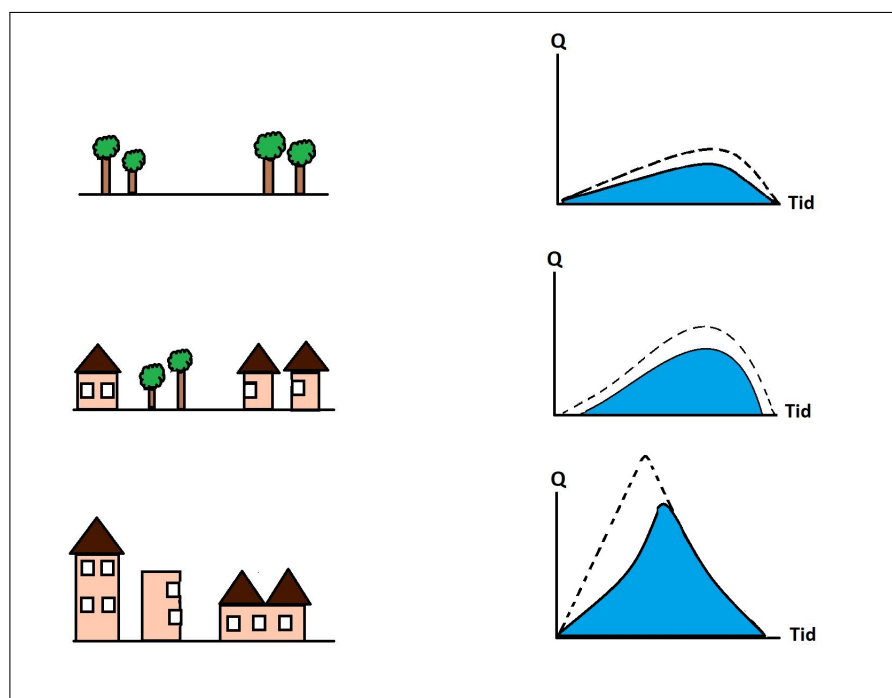
Opgaven skal se på hvor vidt programmene MIKE 21 og SCALGO Live er egnede hjelpemidler til å vurdere utfordringer knyttet til overvann i urbane områder. Til å undersøke dette skal følgende spørsmål besvares:

- Hva viser SCALGO Live for nedbørshendelsen 6. august 2016 sammenlignet med MIKE 21 og sammenlignet med observasjoner fra Vakåsområdet i Asker Kommune?
- I hvilken grad påvirkes de to programmene av oppløsningen på terrengmodellen?
- Er programmene egnet for å teste ut flomforebyggende tiltak?

2. Bakgrunn for oppgaven

2.1 Urbanhydrologi

Urbanhydrologi er den delen av vannets kretsløp som er knyttet til bebygde områder. Dette danner et viktig grunnlag for å forstå og iverksette tiltak for overvannshåndtering (NVE, 2016). Utbygging av byer og tettsteder kan gi store hydrologiske effekter i form av redusert infiltrasjon til grunn og redusert fordampning (NVE, 2016). Dette fører til økt avrenning på overflaten som igjen øker sannsynligheten for flom og oversvømmelse. Figur 2.1 viser urbaniseringens påvirkning på avrenningen fra et område, hvor fortetting av flater gir høy spissavrenning over korte tidsrom. Raskere avrenning øker sjansen for oversvømmelse og flom.



Figur 2.1: Urbaniseringens påvirkning på avrenning. Stiplet linje angir fremtidig intensitetsøkning grunnet klimaendringer. Inspirert av illustrasjon fra Byggforskserien 311.015, SINTEF Byggforsk.

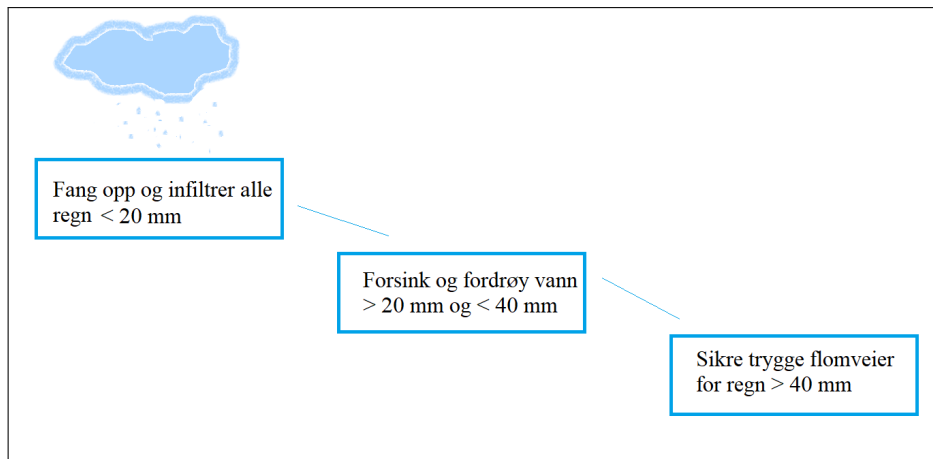
2.2 Overvannshåndtering i byer og tettsteder

Den tradisjonelle tilnærmingen til overvannshåndtering går ut på å lede avrenning raskt bort fra overflaten og ned i avløpssystemet under bakken (NOU, 2015). Nedbøren i Norge skal angivelig ha økt med 20 prosent siden 1900 og estimerer viser at den vil fortsette å øke med ytterlige 20 prosent mot slutten av dette århundret (Meteorologisk Institutt, 2017). Undersøkelser gjennomført i forbindelse med NOU 2015:16, en utredning lagt frem for Klima- og miljødepartementet, viser at nær 60 prosent av kommunene i Norge anser kapasiteten i dagens overvannssystemer til å ikke være tilstrekkelig for å kunne håndtere en økning i nedbør og nedbørsintensitet i fremtiden (NOU, 2015). Ved å innføre løsninger som behandler avrenningen på overflaten, før det når avløpssystemet, vil behovet for oppjustering av eksisterende ledningsnett reduseres. Den naturlige vannbalansen vil også bevares i større grad enn før (Ødegaard mfl., 2014).

Hvordan overvannshåndtering bør planlegges avhenger av både lokale forhold og forventede klimaendringer (NOU, 2015). Den såkalte *treleddsstrategien*, gjengitt i figur 2.2, er en strategi som legger føringer for god håndtering av overvann i dagens samfunn ved ulike hendelsesstørrelser. Her deles tiltak inn i tre hovedkategorier:

- Fang opp og infiltrer
- Forsink og fordrøy
- Avled i trygge flomveier

(Miljødirektoratet, 2016). I første ledd skal vannet holdes tilbake eller infiltrere til grunnen. Større regnmengder blir til avrenning og må forsinkes eller fordrøyes i åpne løsninger. Hvis det regner så mye at de to første leddene ikke er tilstrekkelig, må overskytende vannmengder ledes bort fra områder hvor vannet kan gjøre skade (Ødegaard mfl., 2014). Treleddsstrategien bidrar til å skape et bedre bymiljø, rense overvann som infiltrerer i bakken og avlaste ledningsnett.



Figur 2.2: Treleddsstrategien for håndtering av overvann. Tallene er veiledende.

2.2.1 Lover og regler for overvannshåndtering

Det er kommunene som sitter på hovedansvaret for å sørge for forsvarlig håndtering av overvann. Hva som er optimal løsning for overvannshåndtering vil variere fra sted til sted og det finnes derfor ingen felles lovverk for ansvarlige aktører per i dag (Miljødirektoratet, 2018). Overvann blir allikevel berørt i flere lover og forskrifter som vil være relevante:

- Forskrift 19. juni 2017 nr. 840 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift), heretter kalt TEK17, setter grensen for minimumskrav for egenskaper et byggverk må opprettholde for å kunne oppføres på lovlig vis i Norge (TEK17, 2017c). I TEK17 jf. § 15-8 andre ledd, står det at *“bortledning av overvann og drensvann skal skje slik at det ikke oppstår oversvømmelse eller andre ulemper ved dimensjonerende regnintensitet.”* (TEK17, 2017b). Videre i TEK17 jf. § 13-11 står det om overvann og flomsikring av bygg gjennom tilstrekkelig fall bort fra bygget (TEK17, 2017a).
- Lov 27. juni 2008 nr. 71 om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven), heretter kalt PBL, er et sentralt verktøy for arealforvaltning (Regjeringen, 2018). PBL ble i mars 2019 endret for å tilrettelegge for overvannshåndtering i arealplanleggingen i større grad enn før. Lovendringen vil gi kommuner i Norge bedre mulighet for å stille krav til overvannshåndtering i byggeprosjekter (Regjeringen, 2019). I PBL jf. §3-1 første ledd bokstav i, blir det nå satt krav om å *“legge til rette for vannets kretsløp, med nødvendig infrastruktur.”* (Plan- og bygningsloven, 2019).

Foruten om disse blir også overvann nevnt i blant annet forskrift 1. juni 2004 nr. 931 om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften), lov 24. november 2000 nr. 82 om vassdrag og grunnvann (vannressursloven), og forskrift 1. juni 2004 nr. 930 om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften) (Lovdata, 2019).

2.2.2 Overvannshåndtering i arealplanleggingen

I henhold til PBL jf. §11-1 skal kommuneplanen inneholde både en samfunnsdel og en arealdel (Plan- og bygningsloven, 2008). Arealdelen av kommuneplanen er ment for å angi bestemmelser for arealbruken i kommunen, og den vil være rettslig bindende (Miljødirektoratet, 2018). De fleste kommuner vil også utarbeide en reguleringsplan, som er en mer detaljert form for arealplan. En reguleringsplan kan utarbeides på to måter; som områderegulering eller som detaljregulering (Asker kommune, 2014). Områderegulering benyttes som regel ved utvikling av større områder og vil utarbeides av kommunen i henhold til krav i arealdelen av kommuneplanen (Regjeringen, 2009). I reguleringsbestemmelsene til en områderegulering kan det også stilles krav om mer detaljert overvannshåndtering i etterfølgende detaljregulering (Asker kommune, 2014). I en detaljregulering vil krav og tekniske løsninger være enda mer konkrete, og detaljregulering brukes som regel for mindre områder (NOU, 2015). Stadig flere kommuner velger også å stille krav til overvannshåndtering i en kommunal overvannsveileder for hele kommunen, eller i en overvannsplan for et bestemt utbyggingsområde (Asker kommune, 2014).

2.3 Hvordan beregne avrenning?

For å beregne avrenning i små felt brukes ofte en enkel metode kalt “den rasjonelle metode”. Den rasjonelle formel for overvannsavrenning er:

$$Q = C * A * I \quad (2.1)$$

Hvor Q er maksimal vannføring fra feltet, C er nedbørsfeltets midlere avrenningskoeffisient, A er størrelsen på feltet og I er dimensjonerende nedbørsintensitet (NVE, 2015). Sistnevnte bestemmes ut fra et gitt gjentaksintervall (se avsnitt 2.3.2) og en varighet lik konsentrasjons-

tiden ¹ til feltet (NVE, 2015). Asker kommune oppgir følgende avrenningskoeffisienter i sin VA-norm (Asker kommune, 2015):

Tabell 2.1: Avrenningskoeffisienter for Asker kommune.

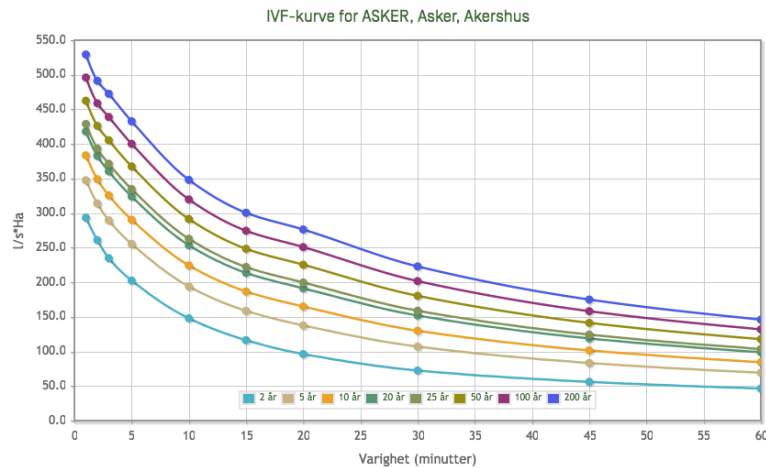
Overflate	C-verdi
Hustak, gater og tette flater	0.85-0.90
Boligstrøk, tett bebyggelse	0.60-0.80
Boligstrøk, spredt bebyggelse	0.30-0.50
Dyrket mark og eng	0.15-0.25
Skogeng, utmark	0.10-0.25

Metoden er best egnet for overslagsberegninger og kan være aktuell for å kontrollregne resultater fra digitale modeller. Statens vegvesen anbefaler at formelen ikke brukes for felt større enn 2-5 km² (Statens vegvesen, 2014).

2.3.1 Nedbør og IVF-kurver

Kjennskap til nedbør er en viktig faktor for dimensjonering og analyse av urbane hydrologiske systemer. På grunnlag av dette har det de siste årene vært en økende etterspørsel etter estimater på dimensjonerende verdier for korttidsnedbør, intensitet-varighet-frekvens-kurver, for både dagens og fremtidig klima (NVE, 2014). IVF-kurvene gjengir nedbørensintensiteten over en gitt regnvarighet (Norsk Vann, 2010). Figur 2.3 viser en IVF-kurve fra nedbørsmåleren ved Sem Gjestegård i Asker kommune (Norsk Klimaservicesenter, 2010).

¹Tiden vannet bruker fra ytterste punkt til utløpet i feltet (NVE, 2015).



Figur 2.3: IVF-kurve fra Sem nedbørstasjon i Asker Kommune. Hentet fra: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>.

2.3.2 Returperiode for nedbør

Returperioden for nedbør, også kalt gjentakintervall, er en statistisk størrelse som angir hvor ofte det kan forventes at en nedbørshendelse av en gitt størrelse oppstår. For eksempel vil en regnhendelse med 10-års gjentakintervall i snitt opptre én gang hvert tiende år (NVE, 2015). Infrastruktur som vei og jernbane bygges etter forskrifter som legger føringer for valg av returperiode (NVE, 2015). Returperioder er basert på historiske observasjoner og valg av returperiode er avhengig av konsekvensene av underdimensjonering (Asker kommune, 2014).

2.4 Modellering av urbane pluviale flommer

Flommer deles vanligvis inn i to kategorier, pluviale eller fluviale. Urbane *pluviale flommer* er flomhendelser som forårsakes av intense nedbørshendelser i urbane områder. Slike hendelser vil vanligvis oppstå lokalt som en følge av begrenset kapasitet i ledningsnett (Chen mfl., 2010). *Fluviale flommer* betegner flommer som forårsakes av oversvømmelser i vassdrag, som kan vare i flere dager (Chen mfl., 2010). I denne oppgaven undersøkes verktøy for beregning av urbane pluviale flommer som er aktuelle ved overvannsplanlegging i byer og tettsteder. Kartlegging av slike flomhendelser har som hovedmål å visualisere hvilke områder som er mest utsatt for skade. Flere kommuner i Norge bruker resultater fra slike kartleg-

ginger som et grunnlag for fremtidige planer for urban utvikling (Rambøll, 2015). Det finnes flere kompliserte matematiske modeller som kan brukes til beregning og analyse av flomforløp i urbane områder.

Geografiske informasjonssystemer (GIS) er digitale databasesystemer for behandling av kartdata og stedfestet informasjon (Gold, 2006). Her ligger det lagrede koordinater som kan settes sammen og presentere informasjon om et sted. Slike analyser kan brukes til planarbeid og prosessering av kartdata, og de fleste store GIS-plattformer har etablert egne verktøy for avrenningsanalyser (Rambøll, 2015). En GIS-avrenningsanalyse er basert på lavpunkt i terrenget, og det tas ikke hensyn til hydrauliske parametere (Hernebring og Mårtensson, 2013). For videre beregning og analyse av overvannsflom kan det brukes endimensjonale (1D) hydrauliske modeller, todimensjonale (2D) overflatemodeller eller en kombinasjon av disse.

En 1D-modell beskriver kanalisert strømning og viser kun høyden på vannet i et tverrsnitt. Slike modeller vil derfor være egnet for modellering av ledningsnett. Svakheten med modellene er at overflategeometrien og strømningsfysikken som regel blir veldig forenklet (Vojinovic og Tutulic, 2009). 1D-hydrauliske modeller for ledningsnett gir heller ingen beskrivelse av avrenningen på terrenget (Rambøll, 2015).

2D-modeller vil i tillegg til å vise høyden på vannet også vise vannføring og flomutbredelse på overflaten. I 2D-modeller for overflatestrømning påføres en nedbørshendelse med kjent gjentaksintervall og modellen beregner både vanddybder og vannføring for hendelsen (Rambøll, 2015). 2D-overflatemodeller inkluderer ikke ledningsnett men dette løses ofte ved å trekke en viss mengde nedbør fra regnhendelsen som brukes i modellen.

Utviklingen i dag heller mot koblede 1D-2D modeller hvor både overflateavrenning og ledningsnett inkluderer. Koblede modeller gir dermed et mer virkelighetsnært resultat (Van Dijk mfl., 2014). 2D-modeller og GIS-analyser, som brukes i denne oppgaven, kan allikevel gi verdifull innsikt under en beslutningsprosess. Tabell 2.2 viser eksempel på verktøy i de ulike kategoriene.

Tabell 2.2: Verktøy for overvannsmodellering.

Metode	Verktøy
GIS modellering	ArcMap, SCALGO Live
1D hydraulisk modellering	SWMM, MIKE Urban
2D overflatemodellering	MIKE 21, Telemac-2D
1D-2D koblet modellering	MIKE Flood

2.4.1 Statistiske og dynamiske modeller

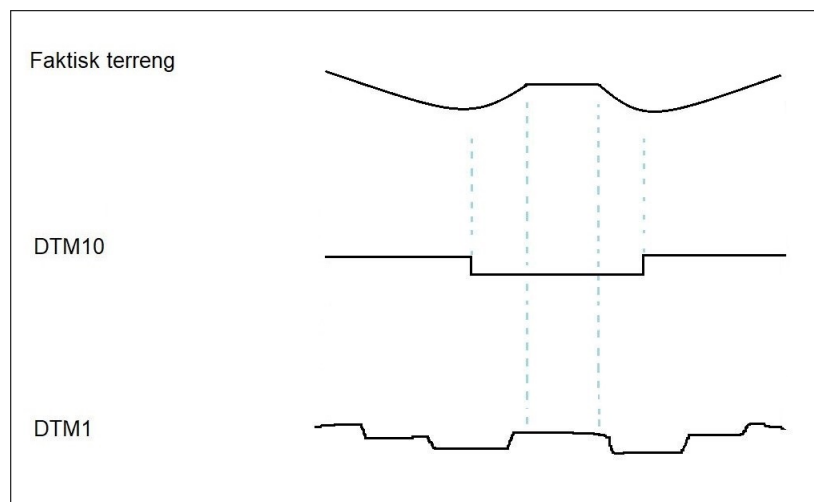
I denne oppgaven refereres det til SCALGO Live som en statisk modell og MIKE 21 som en dynamisk modell. Dette klassifiserer modellene basert på tidsfaktoren ettersom en statisk modell kun gir en øyeblikksanalyse mens en dynamisk modell viser variasjon over tid (Liang og Xie, 2001). I en masteroppgave ved NMBU fra 2016 ble et statisk flomkart fra ArcGIS sammenlignet med resultater fra MIKE 21 for en konstruert regnhendelse. Oppgaven viste at terrengeanalysen i ArcGIS gir en god oversikt over området på kort tid og muligheten til å simulere med høy oppløsning uten vanskeligheter, men at MIKE 21 antageligvis gir mer realistiske resultater (Johansen og Moldekleiv, 2016).

2.4.2 Laserdata og viktigheten av en god terrengmodell

Laserdata, også kalt LIDAR-data, er optisk fjernsensorteknikk som brukes for å produsere nøyaktige målinger av jordoverflaten. Metoden produserer punktskyer med flere millioner punkter med x-, y- og z-koordinater som kan visualiseres og analyseres (Esri, 2018). Fra en punktsky kan det genereres en digital terrengmodell (DTM) for visualisering av terrenget. I en DTM er bygninger og objekter på overflaten fjernet og en jevn overflate interpoleres over arealet hvor objektet stod. En digital overflatemodell (DOM) inkluderer disse objektene og beskriver terrenget med oppstikkende detaljer (Kartverket, 2014a).

For å ha et universelt system for å definere punkter på jordens overflate brukes som regel et todimensjonalt referansesystem. Norge har innført et regionalt referansesystem for Europa, EUREF89 UTM (Aamodt mfl., 2007). Datasettene i en digital terrengmodell oppgis med informasjon om oppløsning og hvilken UTM-sone de ligger i. For sør-Norge gjelder UTM sone

32. En digital terrengmodell med 10 meters oppløsning vil da oppgis som DTM10 UTM32 (Kartverket, 2014b). 10 meters oppløsning vil si at hver rute i terrengmodellen dekker et areal på 10x10 meter (Bratlie, 2015). Kvaliteten til en overvannsmoell vil avhenge av kvaliteten på terrengmodellen og følgelig også på nøyaktigheten i høydedata som ligger til grunn. Når en terrengmodell skal etableres bør formålet med modellen tas i betraktning. Hvis den skal legge grunnlag for detaljplanlegging og prosjektering kreves en høyere oppløsning og kvalitet enn hvis analysen gjøres for enkle landskapsmessige vurderinger (Bratlie, 2015). Høy oppløsning på terrengmodellen gir en mer nøyaktig modell og krever derfor en stor mengde data og prosessering. Lavere oppløsning bruker signifikant mindre data til å beskrive modellen, men dette vil også kunne gå ut over nøyaktigheten (Maleika, 2015). Figur 2.4 viser en enkel beskrivelse av hvordan en DTM1 og en DTM10 vil visualisere det faktiske terrenget.



Figur 2.4: Fremstilling av forskjellen mellom en DTM1 og DTM10 sett i sammenheng med det faktiske terrenget.

Hvis hver side i rutene i terrengmodellen er på 10 meter, som i DTM10, vil ikke terrengmodellen klare å fange opp mindre forhøyninger og detaljer i terrenget.

2.4.3 Høydesystem

Et høydesystem angir et referansepunkt for høyder. I 2018 ble det innført et nytt høydesystem her i Norge, NN2000, som retter opp høydefeil fra det gamle systemet (NN1954) (Vestøl, 2004). NN2000 er bedre tilpasset satellittbaserte metoder ved at landheving blir korrigert med moderne teknologi. Systemet vil derfor vare i mange år fremover (Kartverket, 2018b).

2.4.4 Vektordata for fremstilling av kartinformasjon

FKB (Felles kartdatabase) er en samling av vektordata som utgjør en viktig del av kartinformasjonen for et område. Dette inneholder blant annet plassering av bygninger, vann, veier og jernbane (GeoNorge, 2019). Kommunene sitter normalt på nødvendig datagrunnlag og kan levere filer på ulike formater. Vektordata vises som punkter, linjer og flater som benyttes for å lage nøyaktige geografiske analyser (Kartverket, 2018a).

2.5 SCALGO Live

SCALGO live er et internetbasert verktøy for forstudier og tidlig beslutningsgrunnlag i forbindelse med oversvømmelser forårsaket av havstigning eller regnhendelser. Programmet baserer seg kun på terrengeanalyser og identifiserer lavpunkter i terrenget, altså ingen hydrauliske beregninger.

2.5.1 Terrengmodellen i SCALGO Live

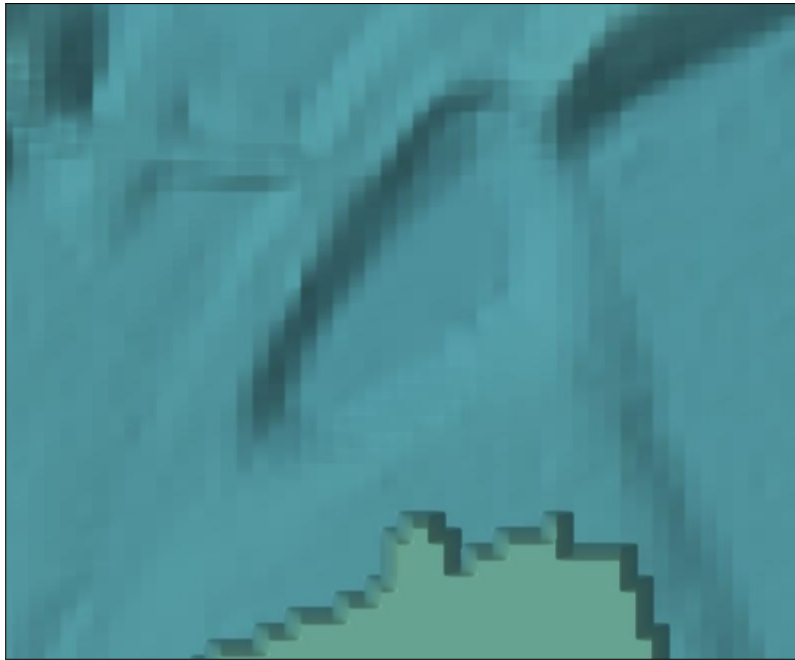
Terrengmodellen i den norske versjonen av SCALGO Live er primært basert på data fra Kartverket (Nasjonal Detaljert Høydemodell²) med en ruteoppløsning på 1 meter. Modellen dekker det meste av de tettbebygde områdene i Norge og nye data blir kontinuerlig lagt til ved at den oppdateres én til to ganger i året. Det forventes full dekning av Norge innen 2021. Områdene som enda ikke er dekket bruker kartverkets DTM10 datasett fra 2013 med en ruteoppløsning på 10 meter (SCALGO, 2019b).

I programmet kan det velges mellom to modeller for å fremstille terrenget. Enten en terrengmodell der alle objekter på overflaten er fjernet ("Norway") eller en terrengmodell/overflatemodell der bygninger er lagt inn som vektordata og hevet 10 meter over terrenget ("Norway/Buildings") (SCALGO, 2018). Sistnevnte er grunnlaget for alle hydrologiske beregninger. Oppstikkende detaljer i terrenget bør kun presenteres i tilfeller hvor de faktisk blokkerer vannet fra å renne under eller gjennom de. Bygninger blir derfor inkludert og hevet med 10 meter for å få vannet til å strømme rundt og ikke over. Elementer hvor vann kan strømme under, som for eksempel en bro, bør fjernes for å unngå at den blir oppfattet som en hindring for vannet under analysen. Store broer og underganger har generelt blitt fjernet fra høydemodellen SCALGO mottar fra Kartverket, men ytterligere hydrologiske korreksjoner kan allikevel være nødvendig for å få et mest mulig riktig bilde av strømningsveiene (SCALGO, 2018).

²Nasjonal Detaljert Høydemodell er det største landkartleggingsprosjektet i Norge (Kartverket, 2019).

2.5.2 Rasterdata

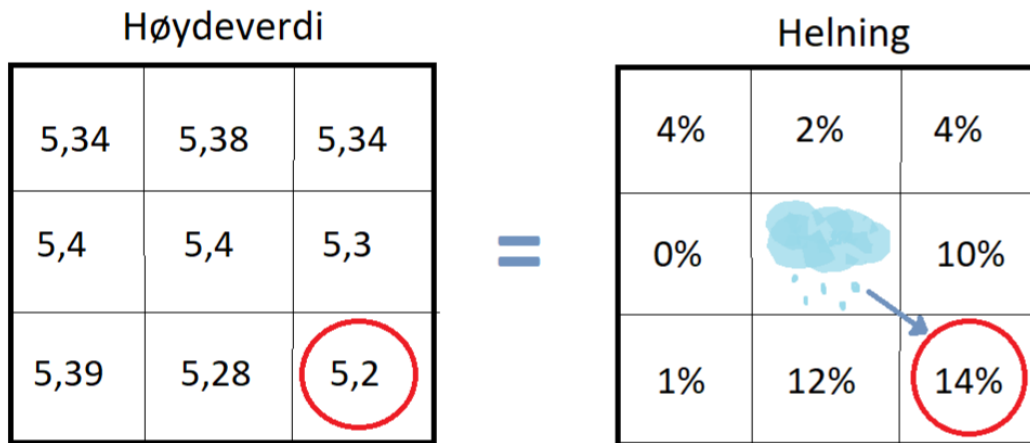
Terrengmodellen i SCALGO Live er fremstilt som et raster. En rastermodell representerer overflaten i et rutenett med firkanter av samme størrelse hvor hver rute tilegnes en registrert høydeverdi (Esri, 2019). Høydeverdien er lik over hele ruten, så rutene bør lages så små som mulig for å få en representativ modell av terrenget. Figur 2.5 viser et nærbilde fra SCALGO Live hvor det kommer tydelig frem at terrenget er gjengitt i firkanter.



Figur 2.5: Terrengmodell representert som et raster. Skjermdump fra SCALGO Live.

2.5.3 Regndata og simulering

SCALGO Live tar ikke hensyn til tidsaspektet og regnet legges inn som en høyde i stedet for en intensitet. Regnet slippes uniformt over hele modellen og legges i lavpunkter. Hver celle i høydemodellen er omringet av åtte naboceller, og vannet vil gå til den cellen som ligger lavest. I figur 2.6 vises dette systemet, hvor firkanten til venstre viser høydeverdier og firkanten til høyre viser at vannet går til den cellen som gir størst helning. Dette kalles ofte for «single flow»-simulering (Moeslund mfl., 2013).



Figur 2.6: Strømningsveier i SCALGO Live. Vannet renner til cellen som ligger lavest. Gjengitt med tillatelse fra SCALGO Live.

2.5.4 Viktige verktøy og funksjoner

“**Profile**” er et profilverktøy som kan brukes for å studere høyder over en strekning på tvers av ulike terrenglag.

“**Point query**” lar brukeren velge et vilkårlig punkt på kartet og hente informasjon fra de aktive lagene.

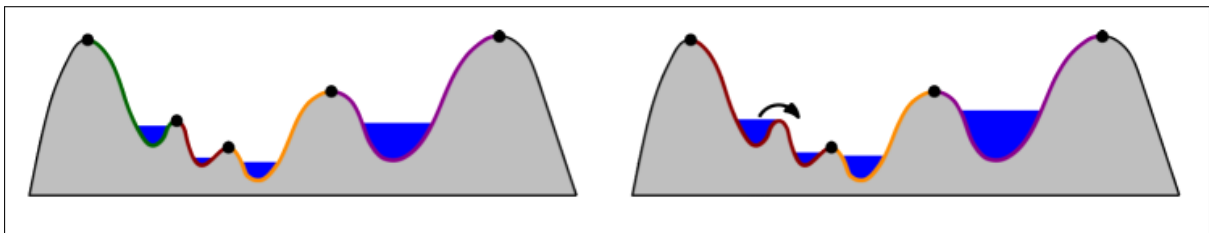
“**Watershed**” er et verktøy som brukes for å vise nedbørsfeltet til et valgt punkt og strømningsveien nedstrøms.

“**Workspace**” gjør det mulig å skape et eget scenario ved å endre terrenget og se konsekvensene dette har for overflateavrenningen. Det er i dette verktøyet tiltak kan testes ut og programmet har flere funksjoner som kan brukes til å endre terrenget.

Informasjon om de ulike verktøyene er hentet fra “SCALGO Live Quick guide” (SCALGO, 2018).

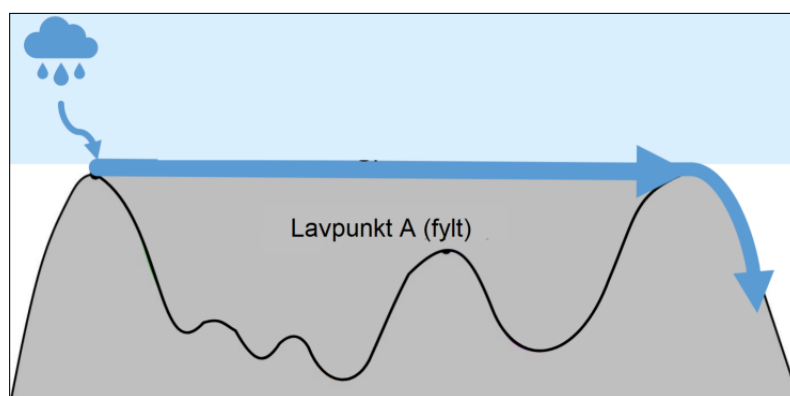
2.5.5 «Flash Flood mapping» og «Depression-free flow»

I SCALGO Live er det to ulike analyser som kan velges, «Flash Flood Mapping» og «Depression-free flow». «Flash Flood Mapping» identifiserer hvilken del av en forsenkning som er under vann ved en regnhendelse. Kartet viser når en fordypning i terrenget renner over, samt oversvømmelser, strømningsveier og nedbørsfelt ved en gitt nedbørshendelse. Figur 2.7 viser hvordan vann samler seg i forsenkninger ved en regnhendelse i et «Flash Flood Map».



Figur 2.7: Illustrasjon av hvordan vann samler seg i forsenkninger ved en regnhendelse for analysen «Flash Flood Mapping». I bildet til høyre er den grønne forsenkningen fra bildet til venstre fylt opp og vannet bidrar nå til den røde forsenkningen. Bildet lånt av SCALGO Live med tillatelse.

«Depression-free flow» viser strømningsakkumulering hvis alle fordypninger i terrenget allerede er fylt med vann, altså en lavpunktstri strømningsvei. Dette gjør det mulig og se hvordan vannet strømmer hele veien ned mot sjøen eller utløpet på nedbørsfeltet. Funksjonen er velegnet for å finne de største flomveiene i et område (SCALGO, 2018). «Depression-free flow» illustreres i figur 2.8.



Figur 2.8: Illustrasjon av funksjonen «Depression-free flow» i SCALGO Live. Gjengitt med tillatelse.

2.5.6 Drenslinjer

“Flow Accumulation“ er en måte å beregne drenslinjer på, og illustrerer hvor vannet vil gå ved en gitt regnmengde. Drenslinjene er kun basert på terrengeanalyse. Detaljeringsgraden på linjene indikerer hvor stort området oppstrøms må være for at drenslinjen skal vises. Dette gjenspeiles i tykkelsen på linjene (SCALGO, 2018).

2.6 MIKE 21 Flow Model Flexible Mesh

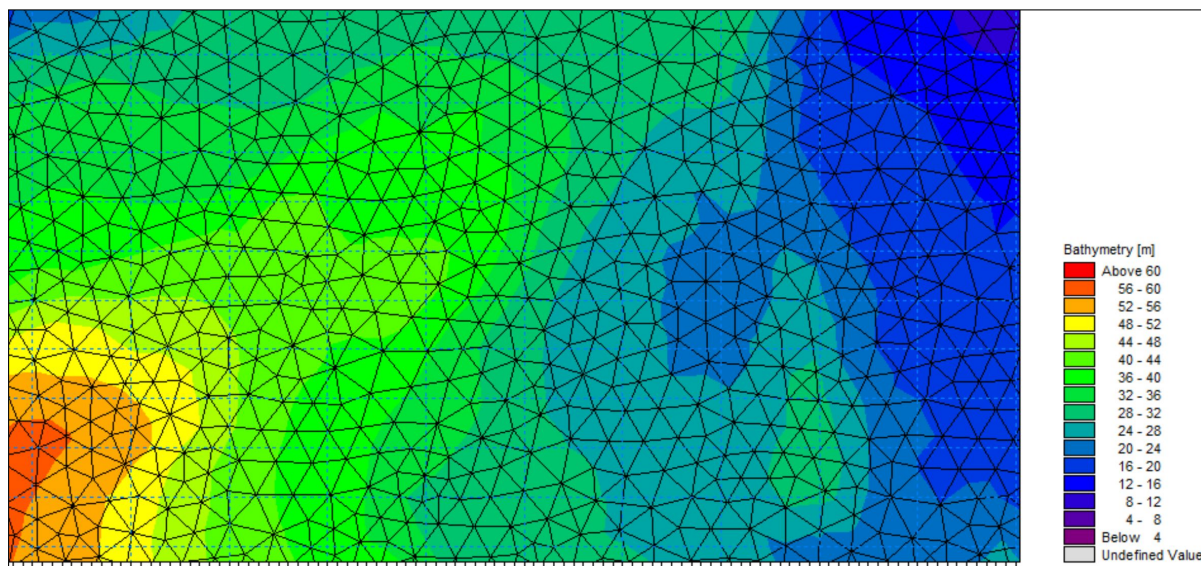
MIKE 21 Flow Model Flexible Mesh (heretter MIKE 21) er en dynamisk overflatemodell som modellerer systemer for todimensjonal overflatestrømning. Modellen er aktuell for simulering av hydrauliske- og miljøfenomener i innsjø, vassdrag, kystområder og hav, men programmet er også egnet for modellering av regnhendelser i urbane områder (DHI, 2017b).

2.6.1 Flexible mesh

For 2D-modellering i MIKE 21 er det to måter for å fremstille terrengmodellen; raster og flexible mesh. I denne oppgaven brukes sistnevnte for å korte ned simuleringstiden. Flexible mesh (FM) er en nyere metode hvor terrenget fremstilles av både trekanter og firkanter. Triangulering av terrengmodellen er basert på TIN-teknologi (triangular irregular network), hvor punkter er fordelt på overflaten med forskjellig avstand for å representere terrenget på best mulig måte (Van Kreveld, 1996). Punktene er knyttet sammen gjennom triangulære flater av ulik størrelse. Hjørnepunktene på trekantene, kalt noder, inneholder geografisk posisjon og høydeverdier for terrenget (DHI, 2012). Siden nodene i en FM-modell kan plasseres med ulik avstand på overflaten kan modellen lages mer detaljert i interesseområder hvor det er viktig med høy oppløsning (Esri, 2019). For å korte ned simuleringstiden kan det være hensiktsmessig med en lavere oppløsning i områder som er mindre varierende. Dette gjør at det er mulig å oppnå betydelig høyere simuleringshastighet med en FM-modell (DHI, 2017c). Figur 2.9 viser eksempel på en slik terrengmodell.

FM-modulen er basert på numerisk løsning av 2D-ligninger for bevaring av masse og bevegelsesmengde integrert over vanddybden, de såkalte gruntvannsligningene. Matematiske

ligninger med forklaringer gjengis på side 12 i “MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic and transport module, Scientific documentation“ (DHI, 2017d). Programmet bruker de hydrodynamiske ligningene til å beregne hvor vannet vil strømme videre.



Figur 2.9: Terrengmodell laget som flexible mesh i MIKE 21 FM.

2.6.2 Regndata for simulering av regnhendelser

I MIKE 21 kan nedbørintensiteten enten legges inn som varierende i tid og i et todimensjonalt rom (.dfs2) eller kun i tid (.dfs0). En dfs2-fil kan for eksempel brukes til nedbørshendelser der det skilles mellom områder med avløpssystemer og områder som ikke har det. Ved bruk av en dfs0-fil blir samme regnhendelse lagt inn for hele området (DHI, 2018). I FM-simuleringer blir bygninger som regel ekskludert fra meshet for å sørge for at vannet strømmer rundt bygningen i stedet for over. Dette gjør at det ikke vil havne regn på bygningsflater i modellen. For å ta hensyn til dette kan regndata oppjusteres før simuleringen (DHI, 2018).

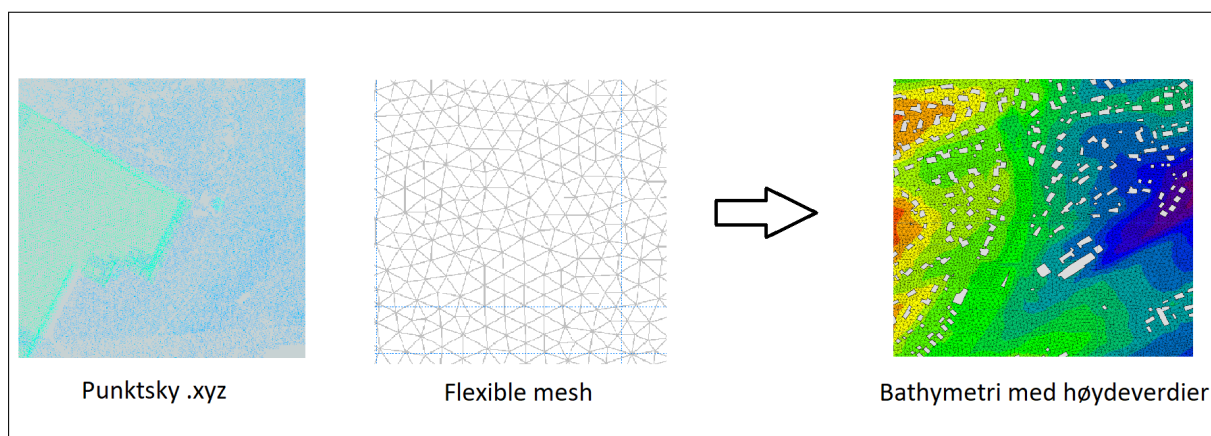
2.6.3 Viktige modellparametere

Valg av modul - «Module Selection»

I “Module Selection“ er det flere moduler som kan velges. “Inland flooding“ brukes for nedbørhendelser i urbane områder. Denne modulen ser bort fra funksjonaliteter som er viktig for hav- og kystområder (DHI, 2017b).

Batymetri - «Bathymetry»

Den viktigste inngangsparameteren i en MIKE 21-modell er batymetrien. Batymetri er egentlig et topografisk kart som brukes til å fremstille formen på havbunnen (NGU, 2015). Ved “inland flooding” brukes batymetribegrepet om terrengmodellen for overflaten. Terrengmodellen opprettes i MIKE Zero³ ved å interpolere terrengpunkter med et mesh slik at hver node tilegnes en høydeverdi. Figur 2.10 viser hvordan en punktsky med høydeverdier interpoleres med meshet for å danne terrengmodellen.



Figur 2.10: Generering av bathymetri.

Simuleringsperiode - «Simulation period»

I denne dialogen må informasjon om simuleringsperioden defineres. “Time step range” defineres som antall steg som skal inkluderes i simuleringen og “Time step intervall” sier noe om hvor mye tiden øker mellom hvert tidssteg (DHI, 2017b). Ut fra disse parametrene vil systemet beregne det såkalte “Courant-Friedrichs-Lewy-tallet” (CFL) i modellen. Standardverdi for CFL er på 0.8 og tallet må ligge mellom 0 og 1 for at modellen skal være stabil (DHI, 2017a). En høy oppløsning på de topografiske dataene kan gjøre at simuleringstiden blir en stor flaskehals. Det er derfor viktig å finne et kompromiss mellom akseptabel oppløsning og simuleringstid (Rambøll, 2018).

³Startplattform for alle DHIs modelleringsystemer.

Grensebetingelser - “Boundary Condition“

Denne parameteren brukes for å sette egendefinerte grensebetingelser og bestemme hvor utløpet for modellområdet skal være. For den hydrodynamiske modulen er det flere måter å definere grensebetingelser. Denne masteroppgaven vurderer kun grensebetingelsen “Land (zero normal velocity)“ som definerer en lukket grense for nedbørsfeltet og “specified level“ som kan brukes for å sette en åpen grense med konstant havnivå i utløpet.

Startbetingelser - “Initial condition“

Under “initial condition“ settes det inn en verdi for “initial surface elevation“, som angir vannnivået inne i modellen ved starten på simuleringen. Det vil legges vann i alle celler som er lavere enn denne verdien (DHI, 2018).

Flom og tørke - “Flood and Dry“

Her angis verdier for “wetting depth“ (H_{wet}), “drying depth“ (H_{dry}) og “flooding depth“ (H_{flood}). Hvis vanddybden i et element er mindre enn H_{dry} vil elementet fjernes fra de matematiske ligningene. Hvis elementet er delvis tørt, altså større enn H_{dry} men mindre enn H_{wet} , vil de matematiske ligningene reformuleres slik at bevegelsesmengden settes til null. Hvis verdien er større enn H_{wet} blir både bevegelsesmengden og bevaring av masse beregnet. Et element er oversvømt når vanddybden på en side av elementet er mindre enn H_{dry} og på andre siden større enn H_{flood} (DHI, 2017d). For å unngå feil i modellen anbefaler DHI å bruke så lave verdier som mulig (DHI, 2016).

$$H_{dry} < H_{flood} < H_{wet}$$

2.6.4 Infiltrasjon og ruhet

I denne masteroppgaven blir ruheten definert gjennom Manningstallet for ruhet (M), som oppgis med enhet $\frac{m^{1/3}}{s}$. Manningstallet kan i MIKE 21 legges inn som en konstant eller med varierende verdi i de ulike cellene. Høyt Manningstall representerer lav overflateruhet og rask vannstrømning (Kalyanapu mfl., 2010). Et studie gjennomført av DHI Kina viser at valg av verdier for ruhet vil påvirke avrenningstoppen, og til en viss grad strømningsveien, men

ruheten har begrenset innvirkning på utbredelsen og dybden på oversvømmelser i området (Wang og Hartnack, 2016).

Infiltrasjon kan i MIKE 21 modelleres som ingen infiltrasjon, netto infiltrasjon eller som infiltrasjon med kapasitet (DHI, 2018). Ved netto infiltrasjon er det ingen kapasitetsbegrensning på hvor mye vann som kan infiltrere. For infiltrasjon med kapasitet er infiltrasjonskapasiteten definert, og hvis denne kapasiteten overskrides vil infiltrasjonsraten reduseres. (DHI, 2017a).

2.7 Modellvalidering, verifisering og sensitivitetsanalyse

Modellvalidering

En overflatemodell vil alltid være en forenkling av virkeligheten, i større eller mindre grad. Modellvalidering handler om å bekrefte om en modell er tilstrekkelig for det tenkte formålet (Robinson, 1997). I denne masteroppgaven vil modellene valideres ved å se om resultatene samsvarer med observasjoner og målinger fra en ekte nedbørshendelse.

Modellverifisering

Modellverifisering handler om å bekrefte at en modell er bygget riktig (Robinson, 1997). I denne oppgaven vil dette gjøres ved å kontrollregne resultater med den rasjonelle formel. Dette gjøres kun i MIKE 21 ettersom SCALGO Live ikke viser vannføring.

Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalyse i denne sammenhengen er en analyse av hvordan usikkerhet i modellresultatene kan kobles til ulike usikkerhetskilder rundt inngangsparametrene i modellen. Altså er det en måte å kontrollere betydningen av hver enkelt inngangsparameter (Saltelli, 2002). Dette kan utføres ved å gjøre endring i én eller flere inngangsparametere samtidig som alt annet holdes konstant, og observere eventuelle endringer i resultatet. I denne oppgaven gjøres det ved å endre oppløsningen på terrengmodellen.

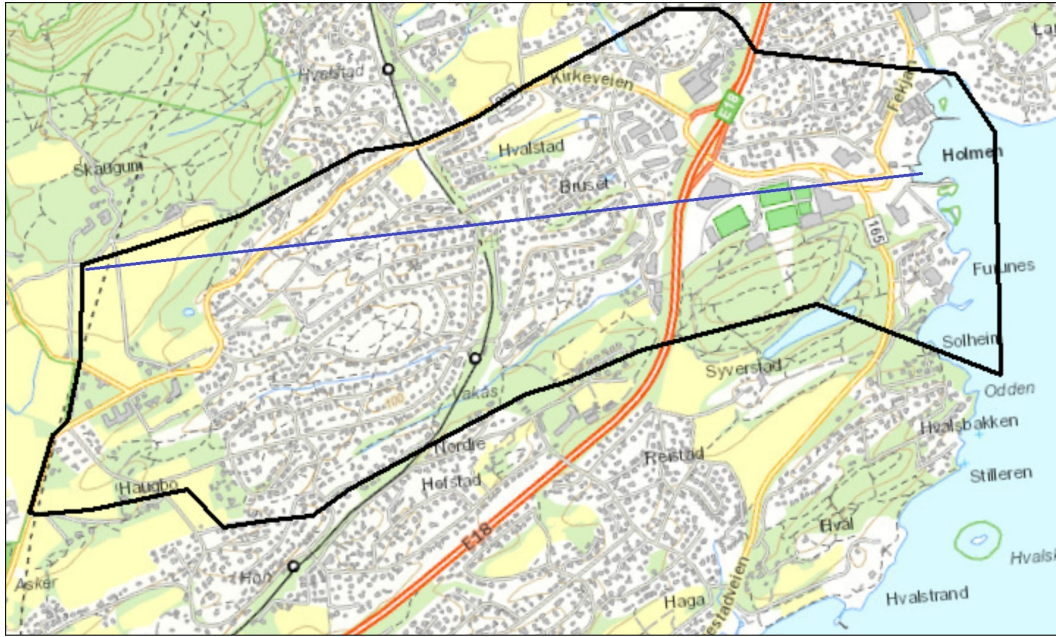
3. Analyseområdet

Nedbørsfeltet

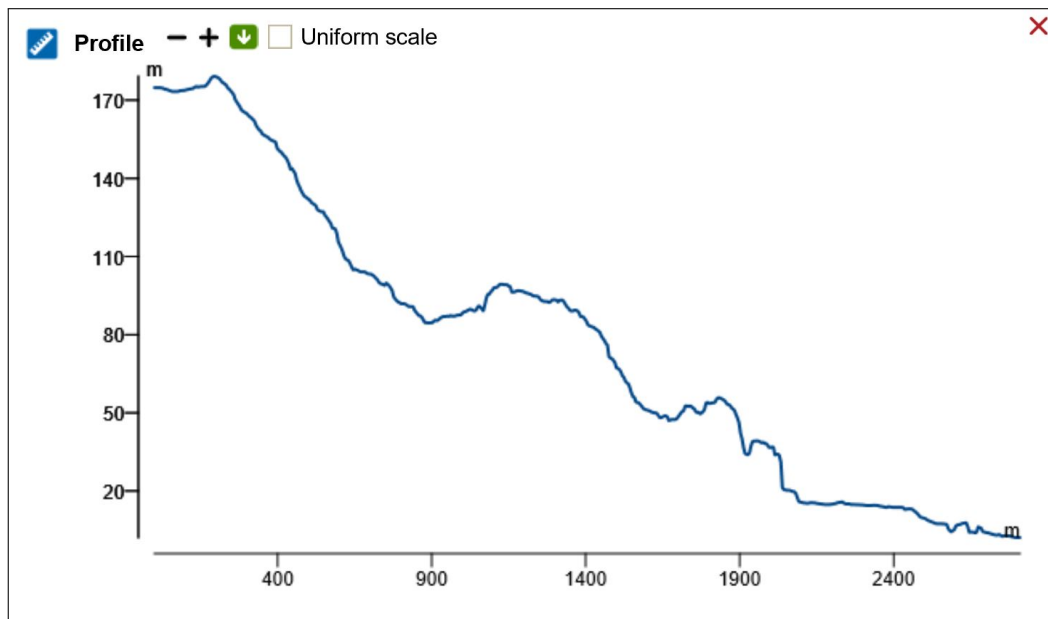
6.august 2016 opplevde Asker kommune en kraftig nedbørshendelse som i senere tid er blitt kategorisert som et 200-årsregn. Regnet startet rundt kl. 04.00 om morgenen og i løpet av seks timer var det registrert en regnmengde tilsvarende et 200-årsregn på fire målestasjoner rundt i Asker kommune (Asplan Viak, 2017). I følge Finans Norge ble det rapportert om skader for rundt 200 millioner kroner for både Asker og Bærum (Asplan Viak, 2017). Et av områdene som ble hardt rammet er Vakåsområdet og i samtale med Asker Kommune ble det bestemt at dette skulle være analyseområdet for denne oppgaven. Vakåsområdet er analysert i en tidligere masteroppgave ved NMBU fra 2017. Oppgaven analyserte Vakåsområdet og avløpssonen dette tilhører ved hjelp av MIKE Urban, og konkluderte med at det sannsynligvis var mangel på sikre flomveier og åpne overvannsløsninger som førte til mange skadehendelser 6.august 2016 (Andersen, 2017).

Vakåsområdet ligger nord-øst for Asker sentrum og har en bratt helning ned mot Holmen, hvor feltet munner ut i Oslofjorden. Størrelsen på nedbørsfeltet er på 3.4 km^2 . Avgrensning for nedbørsfeltet er funnet av Sweco Norge i en tidligere utredning gjennom analyse av ledningsnett og avrenningslinjer levert av Asker kommune (Sweco, 2017). På grunn av store høydeforskjeller i feltet er Vakåsområdet særlig utsatt for flom, og dette er derfor et område hvor Asker kommune er interessert i å teste ut tiltak.

Figur 3.1 viser nedbørsfeltet som analyseres i oppgaven. Høydeprofilen i figur 3.2 viser høydeforskjeller langs en linje som går tvers gjennom feltet, fra Skaugumstunellen i vest og ut til Holmen i øst. Høydekurven er generert i programmet SCALGO Live og viser en maksimal høydeforskjell på om lag 170 m.

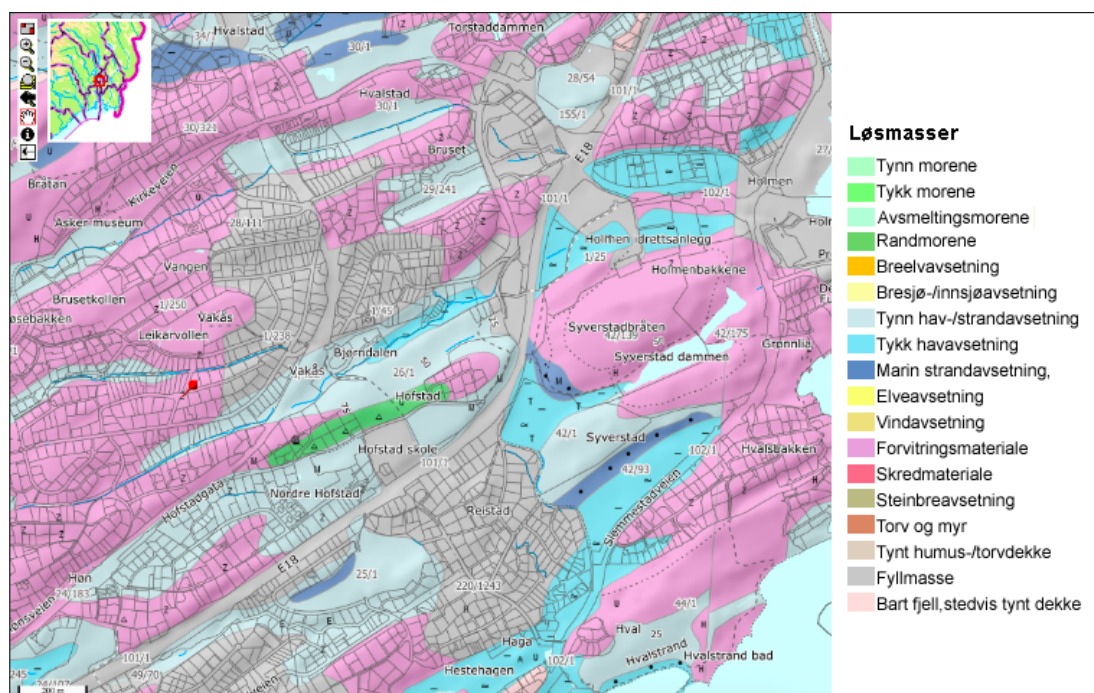


Figur 3.1: Nedbørsfeltet som analyseres i oppgaven. Den blå linjen viser hvilken strekning som er brukt for å hente ut høydekurven i figur 3.2. Polygonet er laget av Sweco.



Figur 3.2: Største høydeforskjell i nedbørsfeltet hentet med profilverktøyet i SCALGO Live. Skjermdump fra SCALGO Live

Figur 3.3 viser en oversikt over løsmassene som finnes i analyseområdet.



Figur 3.3: Løsmassekart over Vakåsområdet. Skjermdump fra NGU Løsmassekart.

I henhold til fargekodene i figur 3.3 viser kartet innslag av randmorene, forvittringsmateriale, havavsetning og fyllmasse. Forvittringsmateriale og fyllmasse er dominerende. Slike masser kan i utgangspunktet være egnet for infiltrasjon, men på grunn av områdets bratte helning er det mulighet for at vannets hastighet blir såpass stor at vannet i liten grad vil infiltrere til grunnen ved et 200-årsregn.

Nedbørsmålere

Asker kommune har fem nedbørsmålere plassert rundt i kommunen, som vist i figur 3.4. Ingen av disse ligger innenfor analyseområdet. Nedbørsdata fra de ulike målerene kan hentes fra portalen regnbyge.no som er driftet og utviklet av ROSIM AS. Data kan hentes ut med tidssteg fra ett minutt til et døgn. I masteroppgaven til Christian Andersen fra 2017 konkluderes det med at det er nokså entydige resultater fra de fem nedbørsmålerne for hendelsen 06.august 2016. Alle datasettene viser at regnintensiteten kom i pulser og at regntoppene beveget seg noe frem og tilbake mellom målerene i forskjellige tidsrom (Andersen, 2017). På bakgrunn av Andersens konklusjon og manglende mulighet for å kombinere flere målestasjoner ble det i denne oppgaven brukt data fra kun én målestasjonen; Mellom-Nes målestasjon.

sjon. Denne målestasjonen hadde de høyeste verdiene for regnhendelsen 6.august.



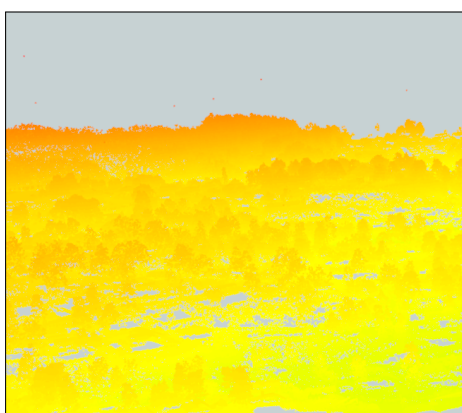
Figur 3.4: Bildet viser omtrentlig plassering av nedbørsmålere i Asker Kommune. Analyseområdet vises som en sort heltrukket linje.

4. Metode

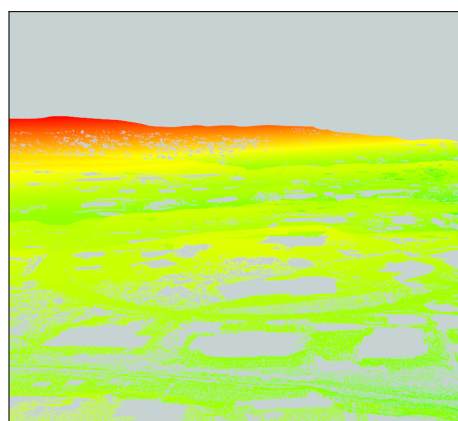
4.1 Utarbeidelse av en 2D-modell i MIKE 21

4.1.1 Klargjøre laserdata

Det ble lastet ned laserdata fra hoydedata.no, målt av Terratec AS i 2017, med en punktetthet på 10 punkt per m^2 . All data ligger i koordinatsystemet EUREF89 Sone 32 og høydesystem NN2000 (Rambøll, 2017). Punktene ble importert som las-filer til programmet *FME*, som er en plattform for å transformere data mellom ulike systemer. FME ble brukt til å hente ut terrengpunkter, som er klassifisert som laserpunkter av klasse 2. Disse punktene beskriver terrengoverflaten. Punkter som beskriver andre objekter enn terrengoverflaten vil da fjernes og skape hull i terrengmodellen som senere må interpoleres for å danne en glatt overflate. Terrengpunktene ble klippet til området som skulle modelleres og konvertert til griddet tekstformat, en såkalt xyz-fil. Gjennomsnittlig oppløsning på punktskyen etter at terrengpunktene ble valgt ut var på 5.43 punkt per m^2 . Punktskyen ble redigert ytterligere for å fjerne broer og åpne underganger, se forklaring i kapittel 4.3, som resulterte i en endelig punktetthet på 4 punkt per m^2 . Figur 4.1 og 4.2 viser forskjellen på punktskyen før og etter at terrengpunktene ble valgt ut.



Figur 4.1: Punktsky av overflaten med oppstikkende detaljer (DOM).

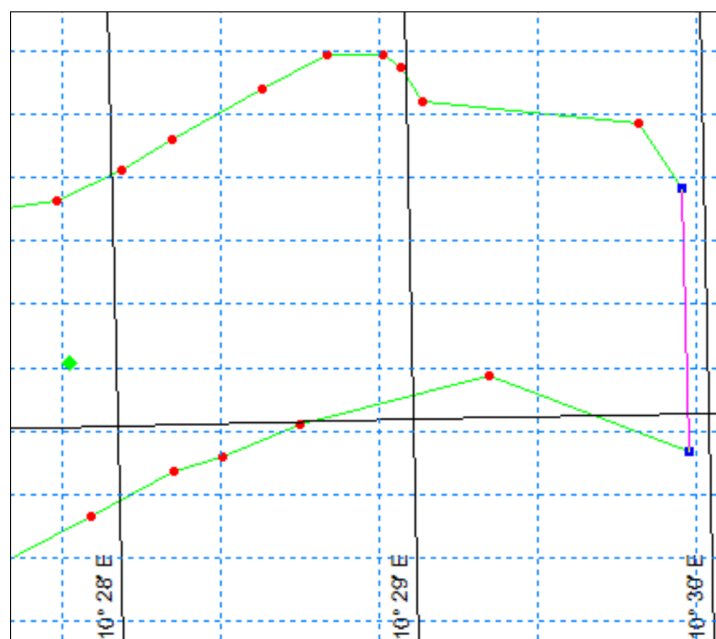


Figur 4.2: Punktsky av kun terrengoverflaten (DTM).

4.1.2 Opprette terrengmodell i MIKE Zero

Oppbygging av terrengmodellen ble gjort i MIKE Zero *Mesh Generator*. Første steg var å laste opp et polygon som angir grensen for området som skulle modelleres. FKB-data for bygningsflater ble levert av Asker kommune som en shape-fil. DHI anbefaler å gjøre en forenkling av bygningslaget for å unngå utfordringer ved generering av meshet i senere steg (DHI, 2018). Den første forenklingen som ble gjort var å fjerne bygningsflater som lå på grensen til modellområdet. For å forenkle bygningsflater ytterligere ble det brukt et ferdig oppsett i FME Workbench, som er utarbeidet av Rambøll. I dette verktøyet ble det satt en forutsetning om å fjerne bygninger mindre enn 20 m² og om å slå sammen alle bygninger som ligger mindre enn 2 meter fra hverandre. Etter at bygningsfilen var klartgjort ble den lastet opp i MIKE Zero *Mesh Generator* sammen med områdelinjen.

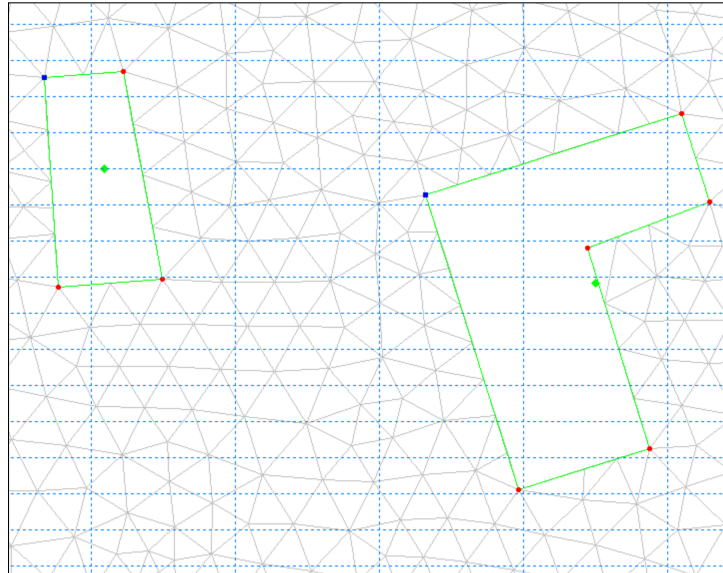
Grensen for nedbørsfeltet ble satt et stykke ut i Oslofjorden og havbunnen ble senket til kote -2 meter. Utløpet ble satt som en åpen grense hvor vann fra feltet kan strømme fritt ut. Plassering av grensen vises i figur 4.3.



Figur 4.3: Områdelinjen i MIKE 21 med åpen grense i Oslofjorden markert med rosa farge (skjermdump).

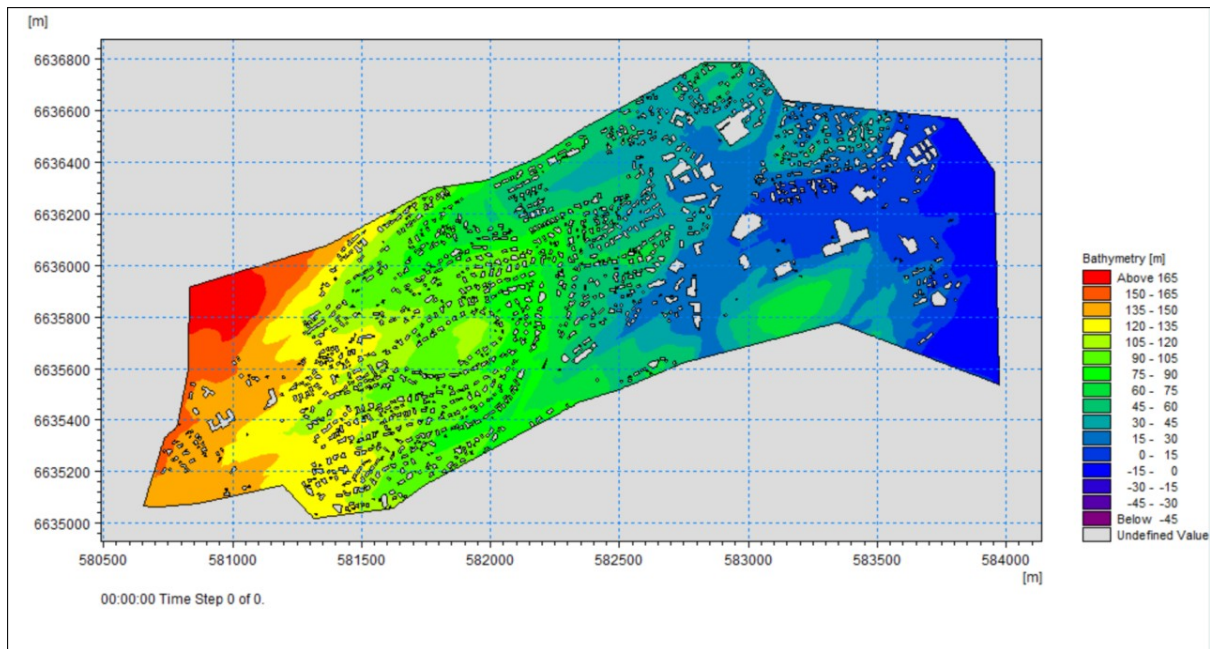
Ved generering av meshet er det mest ideelle for simuleringen at trekantene er så likesidede som mulig. For å oppnå dette ble grensen for minste tillatte vinkel i meshet satt til 26 grader.

Det ble også satt en grense for maksimalt elementareal på trianglene til 30 m^2 . Verdien ble satt ut fra størrelsen på området og et ønske om en håndterbar simuleringstid. Det ble forsøkt å redusere elementarealet ytterligere men dette førte til at modellen krasjet, en såkalt “blow-up”. Størrelsen på trianglene vil variere i modellområdet, som vist i figur 4.4. Figuren viser også hvordan meshet lages rundt polygonene som representerer hus i området.



Figur 4.4: Hus som er ekskludert fra meshet i MIKE Zero Mesh Generator (skjermdump).

Meshet ble videre behandlet med programmets analysefunksjon hvor elementer som kan skape problemer i simuleringen identifiseres. Etter at meshet var klargjort ble punktskyen fra kapittel 4.1.1 lagt inn og interpolert med meshet slik at hver node tilegnes en høydeverdi. Interpoleringen ble utført med metoden “Natural neighbour”. Denne metoden tilegner et element en verdi ut fra avstanden mellom terrengpunktene og lokasjonen til elementet. Det betyr at desto lengre avstand det er mellom et terrengpunkt og elementet, desto mindre påvirkning vil punktet ha på den tilegnede verdien (Childs, 2004). Den ferdige terrengmodellen vises i figur 4.5.

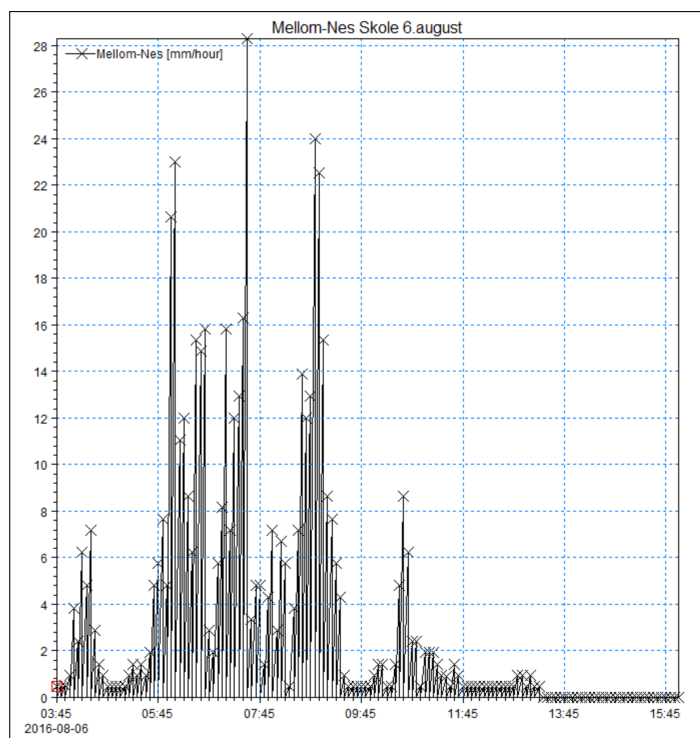


Figur 4.5: Terrengmodell opprettet i MIKE Zero (skjermdump).

4.1.3 Oppsett i MIKE 21

Regndata

MIKE 21 ble brukt til å simulere regnhendelsen 6.august, som tilsvarte et 200-årsregn. Regndata ble hentet ut fra regnbygge.no på SWMM-format som oppgir regnintensiteten i mm/time. Det ble valgt å modellere hele regnhendelsen fra kl. 03.45 til 13.15. Videre ble det lagt til en hale av nuller frem til kl. 16.00 for å simulere avrenningen etter at regnet hadde stoppet, ettersom simuleringstiden er bestemt av lengden på regnfilen. Regnfilen ble opprettet i MIKE 21 som en dfs0-fil som kun varierer i tid. For å ta hensyn til ledningsnettets ble det trukket fra regn tilsvarende et 10-årsregn. Ut fra IVF-kurven for Asker fra klimaservicesenter.no utgjør et 10-årsregn med 9 timers varighet omlag 64% av et 200-årsregn (Norsk Klimaservicesenter, 2010). Regnhendelsen ble derfor multiplisert med en faktor på 0.36 for å ta høyde for dette. Siden bygninger ekskluderes fra meshet i simuleringen måtte det også tas i betraktning at det ikke faller regn på bygningsflatene. Det ble regnet ut at bygningsflater utgjør omtrent 10% av modellområdet, som betyr at regnmengden i modellen vil reduseres tilsvarende. Regnet ble derfor justert med en faktor $\frac{100\%}{90\%} = 1.11$.



Figur 4.6: Regndata som dfs0-fil i MIKE 21 (skjermdump).

Infiltrasjon

Det ble valgt å se bort fra infiltrasjon for å gjøre modellen mer sammenlignbar med SCALGO Live.

Ruhet

Ruhet ble lagt inn som Manningstall under "Bed resistance". Sweco Norge har gjort en utredning for Vakåsområdet der veier ble tilegnet Manningstall 50 og resterende flater fikk Manningstall 5 (Sweco, 2017). Med utgangspunkt i en rapport utgitt av Norges vassdrags- og energidirektorat ble det konkludert med at $5 \frac{m^{1/3}}{s}$ for resterende flater, som for det meste består av grønne flater, er et lavt estimat (NVE, 2016). I denne oppgaven ble derfor Manningstall for resterende flater satt til 15 og Manningstall for veier til 50. Siden bygninger ekskluderes fra meshet ble det ikke lagt til Manningstall for bygninger.

Eddy Viskositet

Eddy-viskositeten ble satt til standardverdi 0.28 (DHI, 2018).

Simuleringstid

Tidsstegintervallet i modellen ble satt til 0.1 sekund, som viste seg å være det høyeste intervallet som var mulig å få til uten å skape problemer med stabiliteten i modellen. Kritisk CFL-verdi ble satt til 0.8 og denne ble opprettholdt gjennom hele simuleringen.

Startbetingelser

Vannivået i modellen ble satt til 0 ved start. Siden havbunnen var senket til kote -2 meter ble havet fylt med 2 meter vann.

Grensebetingelser

Under "Boundary Conditions" ble "Specified level" satt til 0 slik at havnivået ble holdt på et konstant nivå og for at vann fra feltet skulle kunne strømme fritt ut fra den åpne grensen i Oslofjorden. Resten av grensen rundt nedbørsfeltet ble satt til "Land (zero normal velocity)". Endelig valg for alle parameterene i MIKE 21 vises i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Valg ved kjøring i MIKE 21 Flow Model FM.

Parameter	Value
Simulation Period	2016-08-06 03.45 - 2016-08-06 16.00
Time step interval	Minimum time step: 0.01 Maximum time step: 0.1 Critical CFL number: 0.8
No. of time steps	441000
Solution Technique	High Order
Advanced Flood and Dry (floodplain)	Drying depth: 0.002 m Flooding depth: 0.003 m Wetting depth: 0.01 m
Initial surface elevation	0 m
Boundary conditions	Land boundary: Land (zero normal velocity) Open boundary: Specified level=0
Eddy Viscosity	Constant Smagorinsky formulation: 0.28
Outputs	Output 1: 2D (horizontal)-Area series Frequency: 1000 Items: Total water depth, Surface elevation, Q flux Output 2: Inundation Items: Maximum water depth, Maximum Current Speed

4.1.4 Utprøving av tiltak i MIKE 21

Det ble gjennomført utprøving av tiltak i området rundt Holmen Idrettsanlegg hvor det var store problemer med vannansamlinger under nedbørshendelsen 6. august. Vann fra områder lenger oppe i nedbørsfeltet går i en gangkølvert under E18 og følger så terrenget frem til gangveien langs FV165. Ved kraftige nedbørshendelser har det vist seg at vann samles opp ved varemottaket på sørsiden av Skeidar, markert som "problemområde" i figur 4.7. Det var derfor ønskelig at denne masteroppgaven tok for seg en vurdering av effekten av åpne løsninger i området.

Åpne løsninger ble testet ut i form av en fordrøyningsdam og en flomvei. Fordrøyningsløsningen ble valgt til å være en utvidelse av en eksisterende fordrøyningsdam uten utløp i Holmen med areal på omlag 77 m². Det er tilstrekkelig med ledig areal rundt fordrøyningsdammen til å kunne utvide kapasiteten. For flomveien var tanken å legge traseen slik at mindre vann skulle følge naturlige vannveier ned til varemottaket foran Skeidar. Det ble gjort analyse av terrenget for å finne den optimale strekningen for flomveien. Ut fra drenslinjene var dette en strekning langs E18. Det ble derfor laget en flomvei som starter ved gangkølverten under E18 i sør og går frem til krysset mellom E18 og FV165. En liten forhøyning måtte plasseres på høyre side av flomveien ved problemområdet for å hindre vann i å renne ned mot Skeidar. Flomveien og fordrøyningsdammen er markert i figur 4.7.



Figur 4.7: Rød linje viser trasé for ny flomvei og rød sirkel viser fordrøyningsdammen som skal utvides. Problemmrådet foran Skeidar er markert med pil. FV165 og Voellund er markert.

For å legge inn flomveien ble det tegnet koordinatbestemte polygoner med en bredde på 2 meter i ArcMap¹. Hvert polygon ble tilegnet en høydeverdi slik at flomveien fikk en jevn helning fra høyeste punkt i sørlig ende av traseen til laveste punkt i nordlig ende. Fordrøyningsdammen ble tegnet som et polygon med overflateareal på 316 m². Polygonet ble tilegnet en høydeverdi som ga dammen en dybde på 2 meter. Figur 4.8 fremstiller tiltakene som ble tegnet inn i ArcMap. Tiltakene ble konvertert til hver sin punktsky. Det ble laget en ny terrengmodell i MIKE 21 hvor det ble satt krav om høyere oppløsning i området rundt tiltakene. Her ble maksimalt elementareal satt til 10 m² rundt tiltakene, mens resten av området hadde maksimalt elementareal på 30 m². Før interpolering av terrengpunktene ble "Prioritize Scatterdata" brukt til å prioritere punktskyene med tiltak i stedet for punktskyen for terrenget. Det ble så gjennomført en ny kjøring i MIKE 21 med samme oppsett som i tabell 4.1.

¹En del av ESRI GIS-plattform.



Figur 4.8: Tiltakene tegnet som polygoner i i ArcMap.

4.1.5 Kontrollregning av resultater i MIKE 21

I MIKE 21 kan resultater for vannføring (Q) hentes ut og vil være definert som vannføring (m^3/s) per meter bredde, altså spesifikk vannføring (q). For å verifisere resultatene fra MIKE 21 ble den rasjonelle formel brukt til å kontrollregne vannføringen gjennom et valgt tverrsnitt.

- Arealet som drenerer til det valgte tverrsnittet ble beregnet i SCALGO Live til å være 1.19 km^2 .
- Regnintensiteten ble satt til gjennomsnittlig intensitet for den mest intensive timen under regnhendelsen: 11.18 mm/t som tilsvarer $3.1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.
- Avrenningskoeffisienten for feltet ble satt til 0.5 for boligstrøk med spredt bebyggelse, i henhold til Asker kommunes VA-norm (Asker kommune, 2014).

Resultatet fra den rasjonelle formel ble regnet ut med formel 2.1:

$$Q = C * A * I$$
$$Q = (0.5) * (1.19 * 10^6 \text{ m}^2) * (3.1 * 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}}) = 1.84 \text{ m}^3/\text{s}$$

For å finne vannføringen i MIKE 21 ble spesifikk vannføring hentet ut fra resultatfilen og multiplisert med bredden på tverrsnittet.

$$Q = q * b \quad (4.1)$$

4.1.6 Sammenligning av terrengmodeller i MIKE 21

I en FM-modell kan oppløsningen på terrengmodellen endres på to måter:

- ved å endre punktettheten i punktskyen som legges inn
- ved å endre grensen for maksimalt elementareal på trianglene i meshet

I denne oppgaven ble følsomheten testet ved å endre størrelsen på trianglene. En ny terrengmodell ble laget etter fremgangsmåten i avsnitt 4.1.2, men maksimal størrelse på trianglene ble satt til 40 m² i stedet for 30 m². Årsaken til dette er at det var ønskelig å undersøke hvordan resultatene påvirkes av oppløsningen på terrengmodellen. For å sammenligne resultatene ble det målt gjennomsnittlig vanndybde i ti ulike vannansamlinger. Verdiene ble sammenlignet for å finne ut hvor mye gjennomsnittlig vanndybde med terrengmodellen med høyest oppløsning (terrengmodell 2 - maksimalt elementareal 30 m²) avviker fra gjennomsnittlig vanndybde med terrengmodellen med lavest oppløsning (terrengmodell 1 - maksimalt elementareal 40 m²). Gjennomsnittlig vanndybde ble funnet med metoden i vedlegg C.2. Avviket ble regnet ut som:

$$Avvik = \frac{Y1 - Y2}{Y1}$$

Hvor Y1 er gjennomsnittlig vanndybde målt med terrengmodell 1 og Y2 er gjennomsnittlig vanndybde med terrengmodell 2. I tillegg ble arealet av alle oversvømmelsene summert

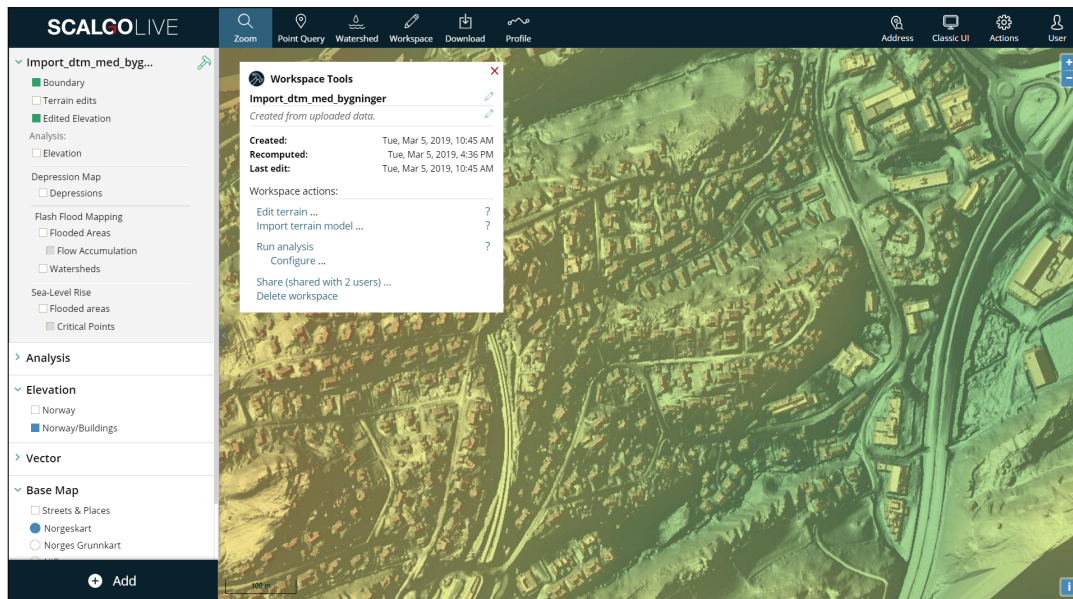
i ArcMap for å sammenligne totalt oversvømt areal i de to terrengmodellene. Dette ble gjort for å se hvilken terrengmodell som ga størst oversvømmelsesutbredelse.

4.2 Fremgangsmåte i SCALGO Live

4.2.1 Workspace og sammenligning av terrengmodeller

I likhet med i MIKE 21 ble det i SCALGO Live sammenlignet resultater med to ulike terrengmodeller, den originale terrengmodellen i SCALGO Live med oppløsning på 1x1 meter og en importert terrengmodell av høyere oppløsning. Etersom terrengmodellene som brukes for avrenningsanalyser i SCALGO Live inkluderer bygninger kan de også kalles for overflatemodeller.

Terrengdata ble klargjort for å importere til SCALGO Live ved å ta utgangspunkt i laserdataene som ble lastet ned fra hoydedata.no med punktetthet 10 punkt per m². Terrengpunkter og punkter for bygninger ble valgt. Det ble lagt til 10 meter på z-verdiene til punktene som representerer bygninger for å få vannet til å strømme rundt, og ikke over. For å importere egne data til SCALGO Live må det først opprettes et "workspace". Figur 4.9 viser en skjermdump fra SCALGO Live etter at egne data er lastet inn. Terrengpunktene som ble importert hadde en oppløsning på 4 punkt/m². SCALGO regner et punkt per rute i terrengmodellen og oppløsning på den nye terrengmodellen i SCALGO Live ble da 0.5x0.5 meter. Dette ble bekreftet ved å kontakte support-avdelingen til SCALGO Live.



Figur 4.9: “Workspace“ opprettet i SCALGO Live med en importert terrengmodell. Skjermdump fra SCALGO Live.

For å sammenligne resultatene med de to terrengmodellene ble det tatt utgangspunkt i gjennomsnittlig vanndybde. Gjennomsnittlig vanndybde ble funnet med metoden i vedlegg C.1. Dette ble gjort for ti ulike vannansamlinger. Avviket ble regnet ut som:

$$Avvik = \frac{Y1 - Y2}{Y1}$$

Hvor Y1 er gjennomsnittlig vanndybde målt med terrengmodell 1 (oppløsning 1x1 m) og Y2 er gjennomsnittlig vanndybde målt med terrengmodell 2 (oppløsning 0.5x0.5 m). I tillegg ble arealet av alle oversvømmelsene summert i ArcMap for å sammenligne totalt oversvømt areal i de to terrengmodellene.

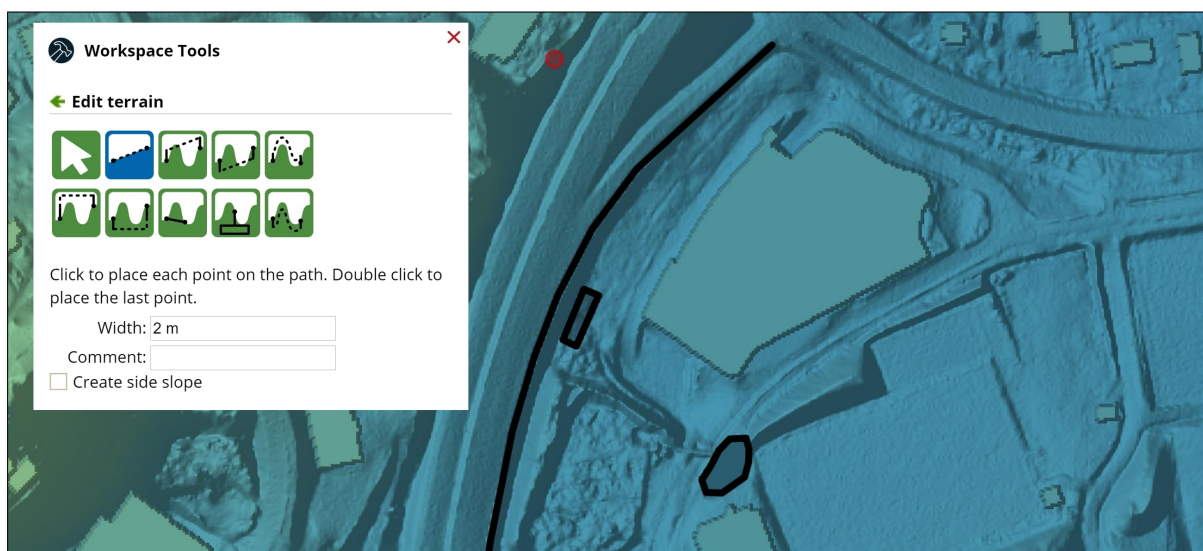
4.2.2 Regndata i SCALGO Live

Regndata i SCALGO Live må legges inn som antall millimeter regn. Dette gjorde det vanskelig å velge hvor mye regn som skulle legges inn når programmet skulle brukes til å simulere en ekte regnhendelse. Konsentrasjonstiden varierer i feltet og valg av riktig regnvarighet vil derfor også variere. Etter å ha vært i kontakt med SCALGO Live ble det konkludert med at det mest representative var å summere opp hele regnhendelsen, som tilsvarer 112 mm. Videre ble regnmengden multiplisert med en faktor 0.36 (se forklaring i kapittel 4.1.3) for

å ta hensyn til ledningsnett. Regnmengden som ble lagt inn i SCALGO Live var derfor på 40.32 mm.

4.2.3 Utprøving av tiltak i SCALGO Live

Utprøving av tiltak i SCALGO Live ble gjort med samme løsninger som i MIKE 21. Tiltak ble testet med den originale terrenngmodellen i SCALGO Live (oppløsning 1x1 meter) og regnhendelsen 6.august. Terrenget ble modifisert i "Workspace - Edit terrain". For å utvide fordrøyningsløsningen ble verktøyet "Lower path and flatten" brukt til å senke et areal på 316 m² med 2 meter. Flomveien ble laget med verktøyet "Interpolate path". Verktøyet interpolerer en jevn helning med 2 meter bredde fra undergangskulverten i sør til krysset mellom E18 og FV165 i nord. Figur 4.10 viser hvordan terregnet ble endret i SCALGO Live.

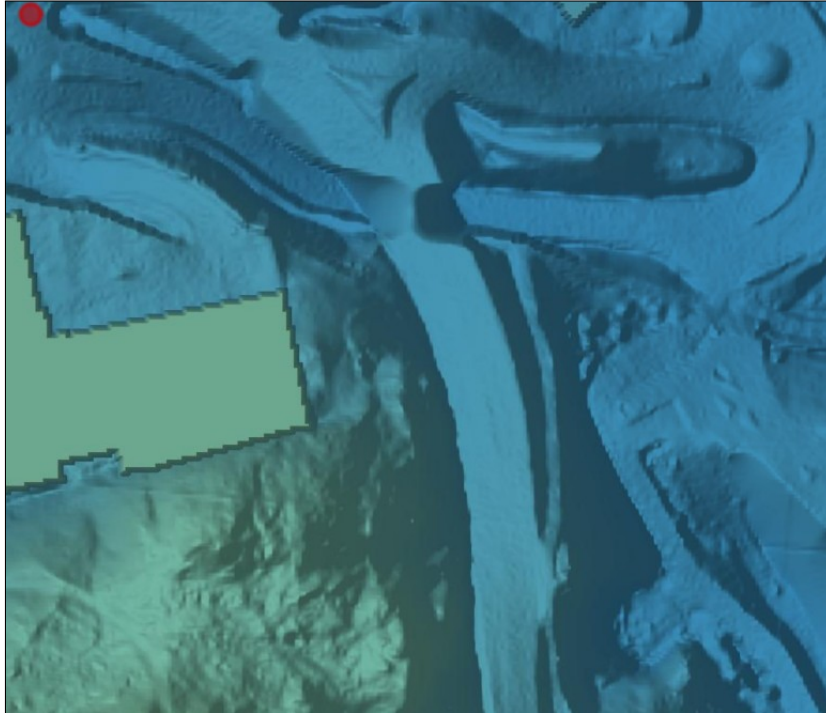


Figur 4.10: Utprøving av tiltak i SCALGO Live. Skjermdump fra SCALGO Live.

4.3 Fjerning av broer og redigering av terrenngmodellen i MIKE 21 og SCALGO Live

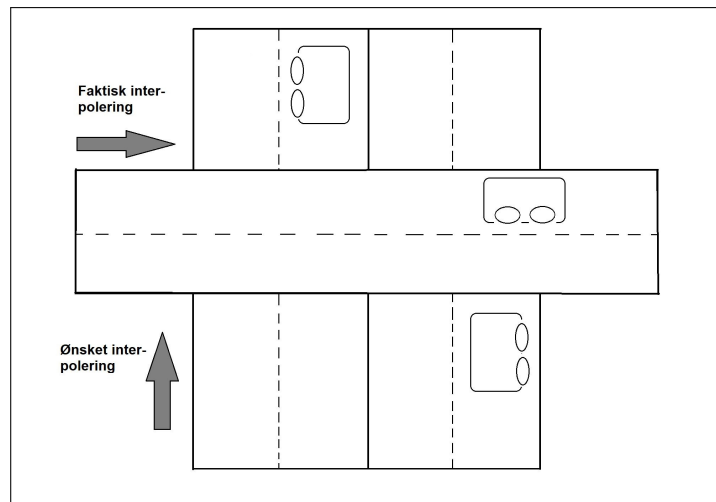
Broer og andre større hindringer skal generelt være fjernet fra den digitale terrenngmodellen SCALGO Live mottar fra Kartverket. Erfaringer fra arbeidet med denne oppgaven viste at fjerningen ofte er mangelfull og at noen broer bare er delvis fjernet, som illustrert i figur 4.11. Fordelen med SCALGO Live er at programmet gir en god oversikt over terrenget slik at

broer kan fjernes manuelt ved å interpolere terrenget under broen. Slik kan også kulverter og underganger åpnes. I denne masteroppgaven måtte dette gjøres for én større bro under FV165 og for tre gangkulverter rundt Holmen Idrettsanlegg, som viste seg å være avgjørende for avrenningen i området.



Figur 4.11: Eksempel på ufullstendig fjerning av bro i SCALGO Live. Skjemdump fra SCALGO Live.

Broer har en annen klassifisering enn terrengpunkter, og laserpunkter for broer ble dermed fjernet under oppbygningen av terrengmodellen i MIKE 21. Dette blir da til hull i terrengmodellen som må interpoleres for å få en jevn flate. Problemet i MIKE 21 var at under interpoleringen ble det for enkelte broer hentet punkter fra veien som går i samme høyde som broen i stedet for punkter fra terrenget under broen. Dette er fremstilt i figur 4.12. Interpoleringen gjorde at broen ble fremstilt som en vegg som hindret vannet i å strømme videre. Løsningen ble derfor å laste opp terrengpunktene i SCALGO Live og gjøre nødvendige terrengendringer, for så å laste ned den redigerte terrengmodellen. Terrengmodellen ble gjort om til en punktsky igjen gjennom verktøyet “Raster to point” i ArcMap, for å kunne bruke den i MIKE 21. Denne prosessen ga en reduksjon i punktetthet fra 5.43 til 4 punkt per m^2 . I etterkant av modelleringen ble det erfart at det er mulig å heve/senke terrenget direkte i meshet, men effekten av dette er ikke testet ut i denne oppgaven.



Figur 4.12: Fremstilling av interpolering av broer i MIKE 21.

4.4 Modellvalidering - innhenting av informasjon

I denne oppgaven ble resultater fra MIKE 21 og SCALGO Live sammenlignet med observasjoner fra Vakåsområdet under nedbørshendelsen 6.august. I forbindelse med dette arbeidet hadde Asker kommune relevante bilder fra regnhendelsen som hovedsakelig er tatt av ansatte fra kommunen eller Budstikka, lokalavisen i Asker og Bærum. I tillegg ble det utført målinger under en befaring i området for å sjekke hvor høyt vannet stod ut fra det som vises på bildene.

4.5 Begrensninger og antakelser

Oppgaven tar for seg en sammenligning av en statisk og en dynamisk overflatemodell og det er derfor gjort enkelte forenklinger/antakelser:

- Det er gjort en forenkling ved at infiltrasjon neglisjeres.
- Det er gjort en antakelse om at regndata fra målestasjonen på Mellom-Nes er representativ for regnhendelsen i Vakåsområdet.
- Det er gjort en forenkling/antakelse om at ledningsnettets kapasitet tilsvarer et 10-årsregn.

5. Resultater og diskusjon

Resultatene som fremstilles i denne masteroppgaven inkluderer:

- Resultater fra simulering av regnhendelsen 6.august i SCALGO Live og MIKE 21, og en sammenligning med observasjoner fra Vakåsområdet.
- Sammenligning av resultater fra simulering med terrengmodeller av ulik oppløsning.
- Resultater etter utprøving av tiltak i SCALGO Live og MIKE 21.

Resultatfilene som lastes ned eller hentes ut fra de respektive programvarene er analysert i ArcMap. Resultatene fra SCALGO Live ble hentet ut som drenslinjer i vektorformat («Flow accumulation») og vanndybder i rasterformat («Flash Flood Mapping - Flooded Areas»). Resultatene fra simuleringen i MIKE 21 for maksimal vannstand ble hentet ut på rasterformat som viser maksimalverdi for hver rastercelle, uavhengig av hvilket tidspunkt i simuleringen maksimalverdien oppstod. Det ble også hentet ut resultater for hvordan vanndybden varierer over tid i MIKE 21. For å sammenligne overlappende oversvømmelser fra de to programmene ble resultatene på rasterformat gjort om til vektorformat, som kun viser utbredelsen på oversvømmelsene.

Alle simuleringer ble gjort med regnhendelsen 6.august 2016. Ved presentasjon av maksimal vanndybde over terreng er minimum vanndybde satt til 5 cm. Dette gjør at alle vanndybder lavere enn 5 cm fjernes for å gi en bedre fremstilling av resultatet. Siden havbunnen er senket til kote -2 meter vises en vannstand på 2 meter i Oslofjorden i resultatene fra MIKE 21. SCALGO Live viser ikke vannstand utenfor terrenget.

5.1 Modellvalidering og verifisering

Det ble gjennomført en modellvalidering for å kontrollere kvaliteten på resultatene og for å se om modellene gir en realistisk fremstilling av regnhendelsen. I første omgang sammenlignes vanndybder fra MIKE 21 med vanndybder fra SCALGO Live. Resultatene valideres mot bilder fra regnhendelsen 06.august. Terrengmodellen med høyest oppløsning, terrengmodell 2, ble brukt i begge programmene.

Største vanndybde over terreng viste seg å være på samme sted i programmene, på et åpent jorde mellom Kirkeveien og Brusetteveien. Plassering vises i figur 5.1.



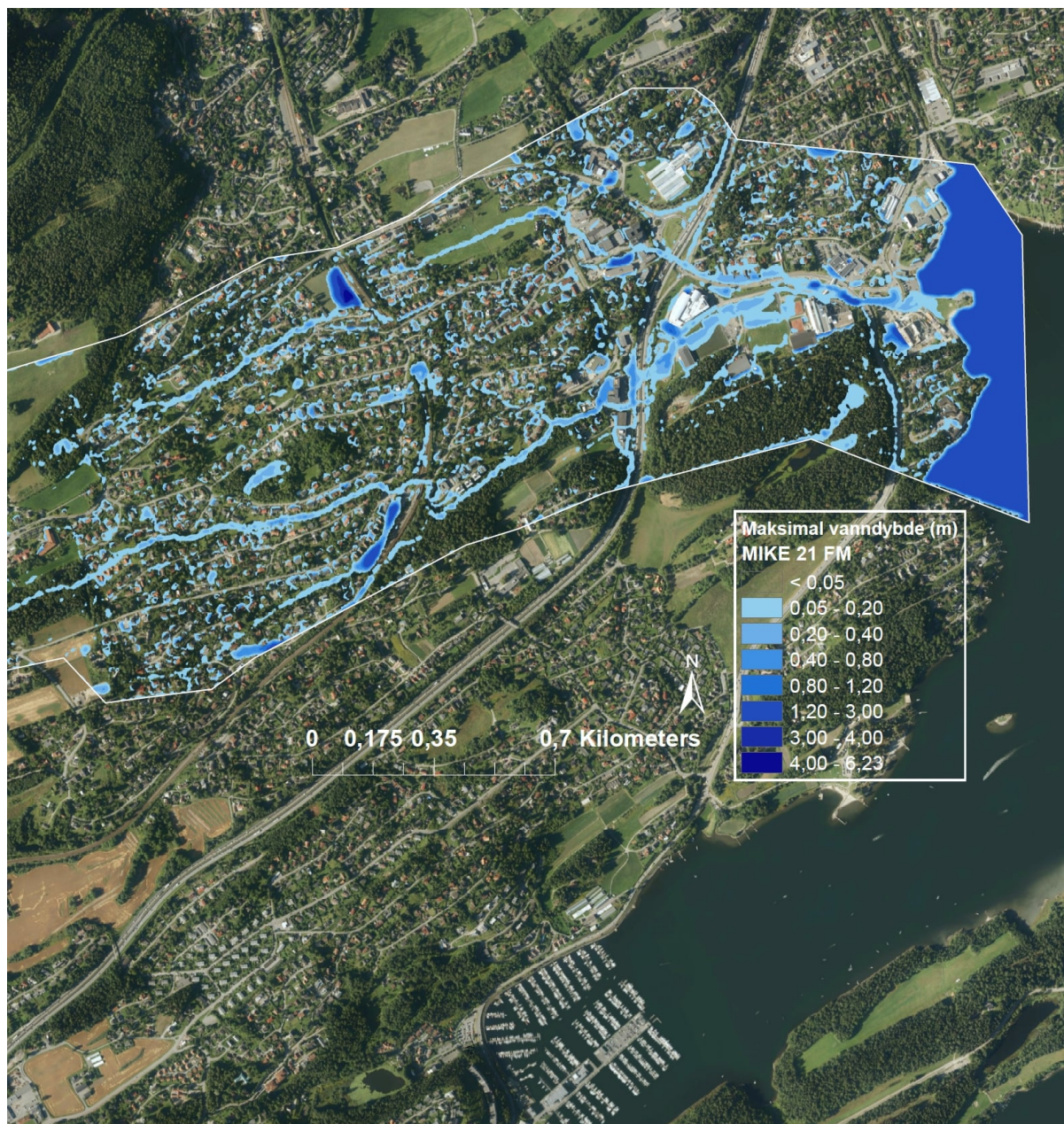
Figur 5.1: Området hvor det ble registrert høyest vannstand både i SCALGO Live og MIKE 21. Skjermdump fra SCALGO Live.

Modellene viste følgende verdier for største vanndybde i nedbørsfeltet:

- SCALGO Live: 6.43 meter
- MIKE 21: 6.23 meter

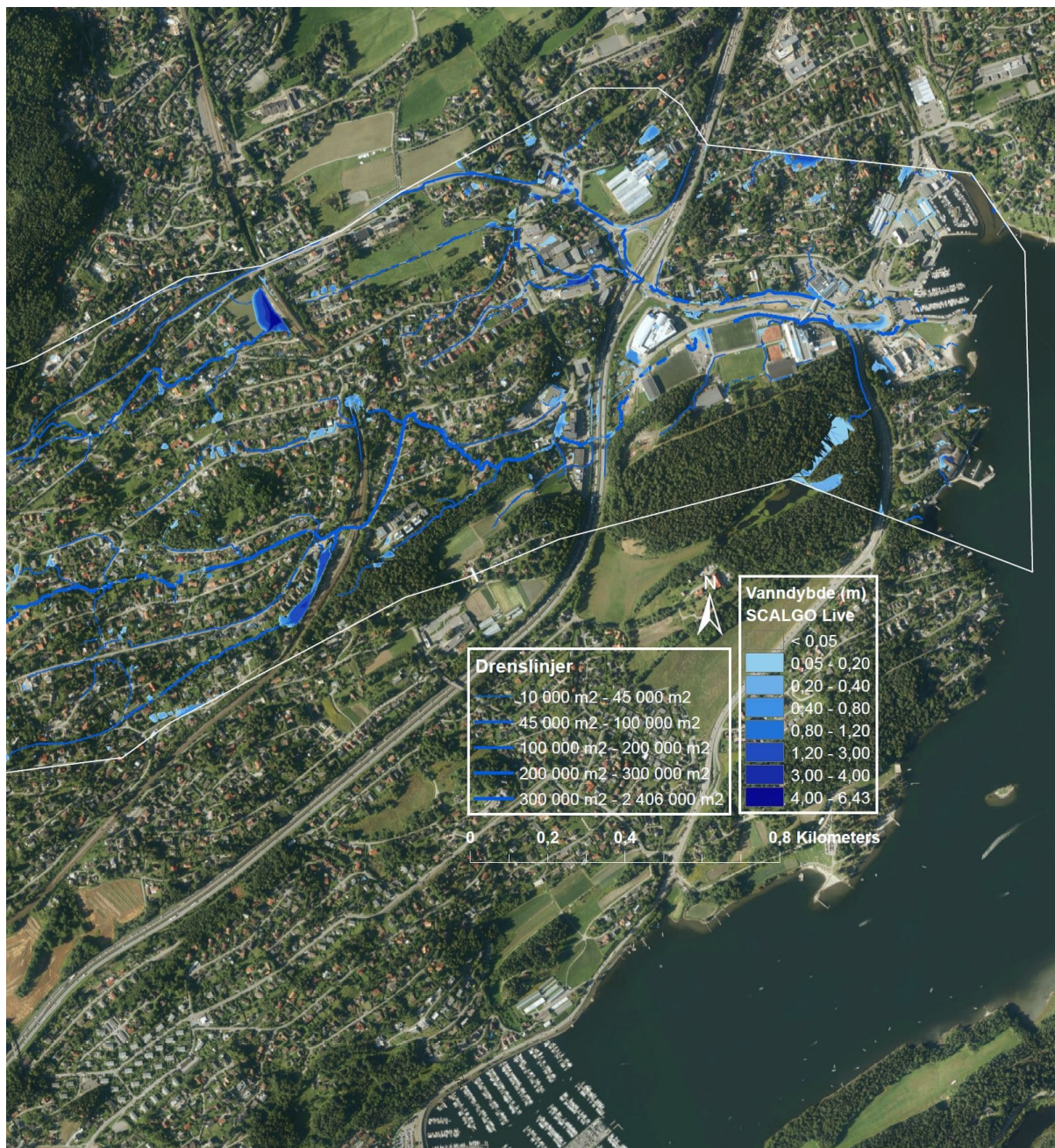
Dette virker som en usannsynlig høy vannstand. I det sør-østlige hjørnet av jordet går det en kulvert under jernbanen, og ved store regnhendelser viser resultatene at vannet vil samles opp foran bekkeinntaket. Kulverten er ikke representert i modellen og vannet vil derfor ikke kunne strømme videre. I tillegg er infiltrasjon neglisjert så oversvømmelsen er høyst sannsynlig overestimert.

I det følgende presenteres resultater fra MIKE 21 og SCALGO Live, og en sammenligning av overlappende oversvømmelser.



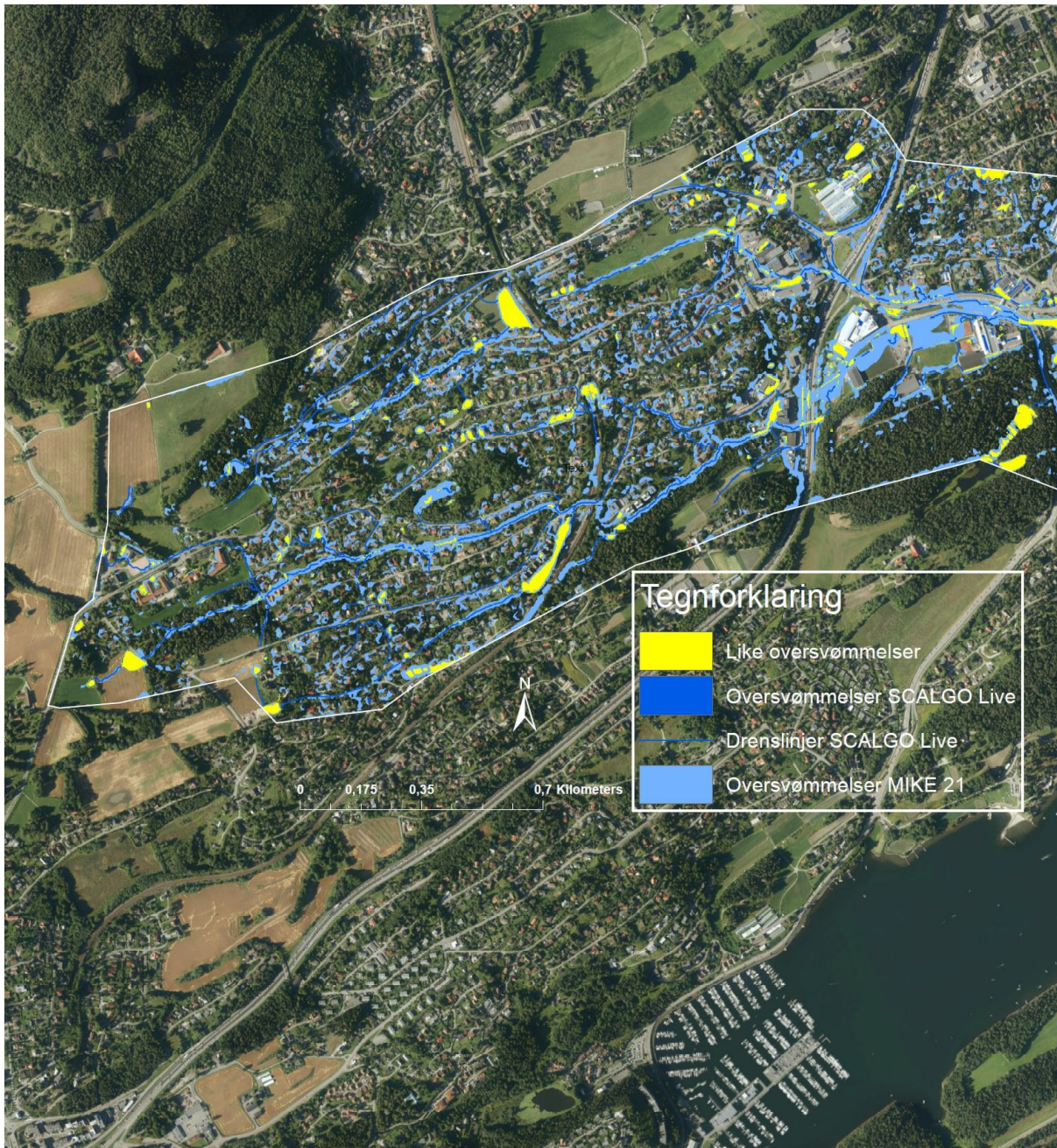
Figur 5.2: Maksimal vanndybde i MIKE 21 for hele simuleringsperioden. Minimum vannstand: 5 cm.

Resultatene fra MIKE 21 viser at lavtliggende områder rundt Holmen idrettsanlegg er svært utsatt ved at store deler av området er oversvømt. Der Vogellund går under FV165 vises vanndybder mellom 0.8 og 1.2 meter, som gjør det vanskelig for biler og andre kjøretøy å ta seg frem. Figur 5.3 viser tilsvarende oversvømmelsesanalyse fra SCALGO Live. Drenslinjer er lagt til for å få en bedre tilnærming til resultatet i MIKE 21, og for å vise hvor SCALGO Live beregner at vannet vil gå mellom lavpunktene.



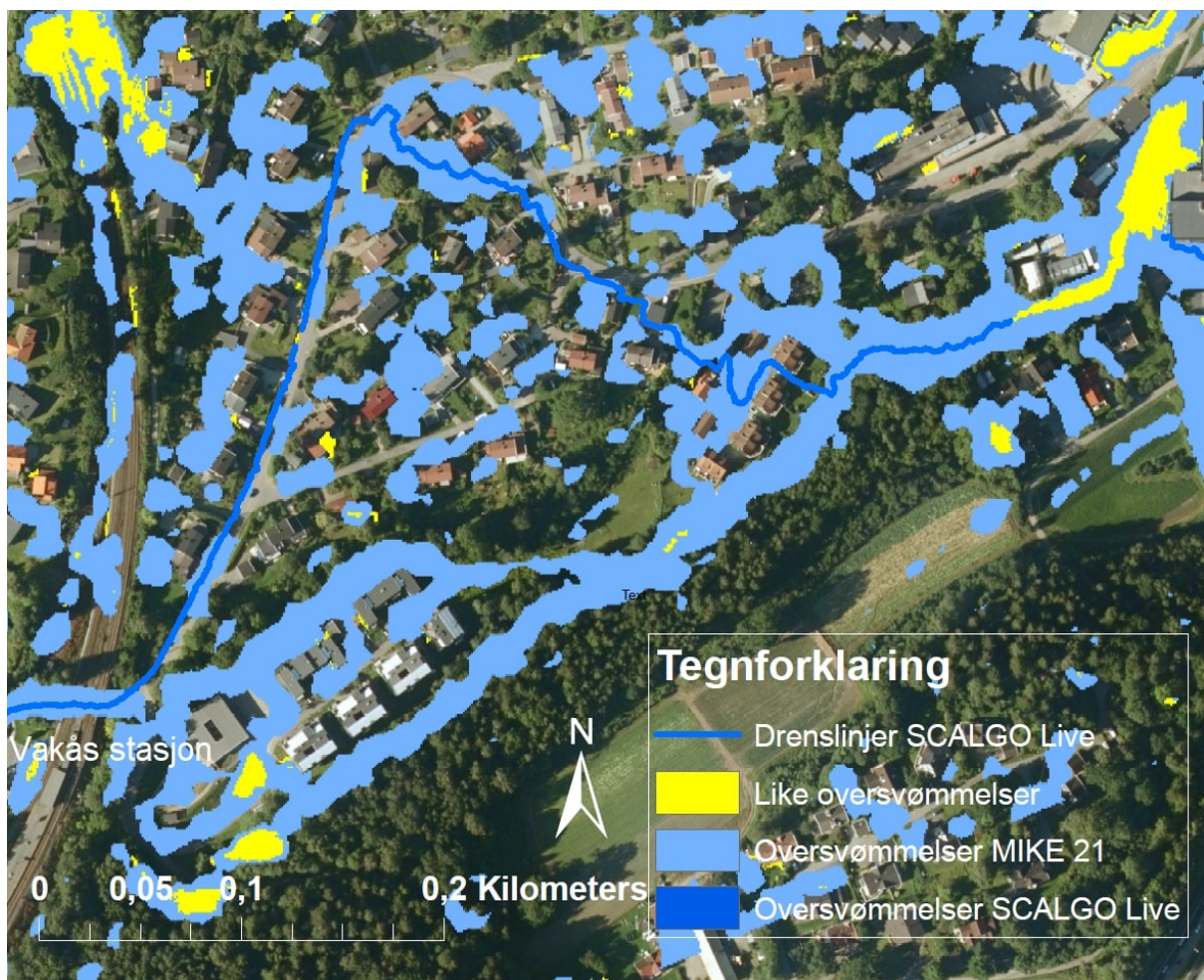
Figur 5.3: Resultater fra SCALGO Live. Minimum vannstand: 5 cm.

SCALGO Live viser en forenklet oversvømmelsesanalyse med vannansamlinger i lavpunktene, samt drenslinjer. Omfanget av oversvømmelsen rundt Holmen idrettsanlegg kommer ikke frem på samme måte som i MIKE 21. Figur 5.4 viser overlappende oversvømmelser fra MIKE 21 og SCALGO Live i gult. Ved en så kraftig nedbørshendelse som oppstod 6.august viser MIKE 21 ikke bare vannansamlinger i lavpunkter, men også hvordan vannet strømmer gjennom gatene i området. Dette kommer ikke frem i SCALGO Live, som er en statisk modell.



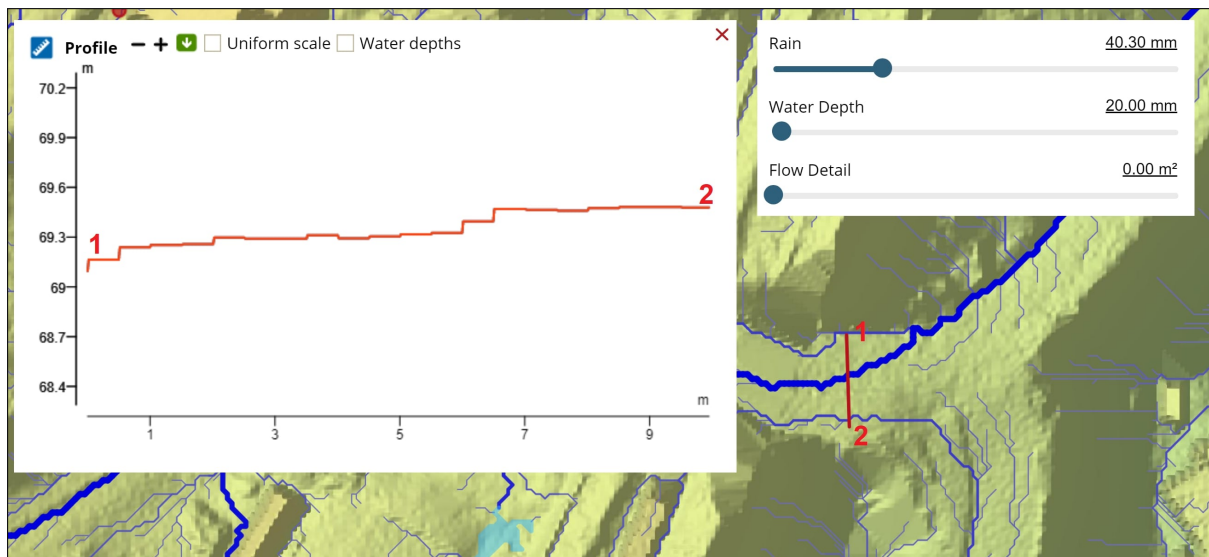
Figur 5.4: Sammenligning av resultater fra SCALGO Live og MIKE21. Minimum vannstand: 5 cm.

Resultatene viser at de fleste oversvømmelsene fra SCALGO Live overlapper med oversvømmelser fra MIKE 21. I sammenligningen i figur 5.4 er det et område etter Vakås stasjon hvor SCALGO Live og MIKE 21 beregner ulike vannveier. Figur 5.5 viser at drenslinjen generert i SCALGO Live går langs Vakåsveien opp mot venstre etter jernbanebroen ved Vakås stasjon. Resultatene fra MIKE 21 viser vannansamlinger flere steder i området, men det meste av vannet går østover langs Bjørndalsveien. Det vil si at overvannsplanlegging basert på de to modellene ville gitt ulike utgangspunkt. Ifølge Marius Gulbrandsen (samtale 15.mars 2019), ansatt i Asker kommune, rant store mengder vann langs Bjørndalsveien slik det viser i resultatene fra MIKE 21. Asker kommune ønsket i utgangspunktet å teste ut tiltak i området etter jernbanebroen, men dette ville gitt svært liten effekt i SCALGO Live ettersom det meste av vannet går en annen vei. Tiltak ble derfor testet i et annet område.



Figur 5.5: Avvik mellom drenslinjen fra SCALGO Live og resultatet fra MIKE21. Minimum vannstand: 5 cm.

I forsøk på å finne en forklaring på hvorfor programmene beregner ulike vannveier ble terrengmodellene undersøkt. Terrengmodellen i SCALGO Live, gjengitt i figur 5.6, viser at veien har en helning som kan gjøre at drenslinjen tar mot venstre etter Vakås stasjon. Punkt 1 ligger rundt 50 cm lavere enn punkt 2 i terrenget. Da Kartverket fjernet jernbanebroen fra terrengmodellen ble terrenget under jernbanebroen antageligvis fremstilt ved interpolering. Dette kan bety at terrenget under broen i terrengmodellen er annerledes enn i virkeligheten.



Figur 5.6: Helning på veien etter Vakås stasjon, i følge terrengmodellen i SCALGO Live. Punkt 1 og 2 i høydeprofilen er markert i terrengmodellen. Skjermdump fra SCALGO Live.

Siden drenslinjene i SCALGO Live er basert på terrenganalyser er det naturlig at drenslinjen går i samme retning som helningen på terrenget. I MIKE 21 tar mesteparten av vannet en annen retning. En forklaring på dette kan være at trianglene i terrengmodellen i MIKE 21 ligger slik at terrenget blir fremstilt annerledes her enn i SCALGO Live. Det kan også være mulig at vannets hastighet spiller en større rolle og avgjør hvor vannet vil strømme. Dette er et godt eksempel på at det i enkelte tilfeller ikke vil være tilstrekkelig å basere avgjørelser kun på terrenganalyser, og eksempelet understreker viktigheten av å være forsiktig med å konkludere før det er foretatt en nøye vurdering av vannveiene.

5.1.1 Kontrollregning av resultater fra MIKE 21

For å bekrefte om modellen er bygget riktig ble det utført en form for modellverifisering. Dette ble gjort ved å kontrollregne resultatene fra MIKE 21 med den rasjonelle formel og fremgangsmåten i kapittel 4.1.5. Det ble hentet ut en tidsserie for et valgt tverrsnitt, som vist i figur 5.7. Kontrollregningen viste at resultatene fra MIKE 21 er i samme størrelsesorden som utregningen med den rasjonelle formel. Dette gir en god indikasjon på at resultatene ikke er tilfeldige.

Kontrollregning av resultater med terrengmodell 1 (maksimalt elementareal 40 m²)

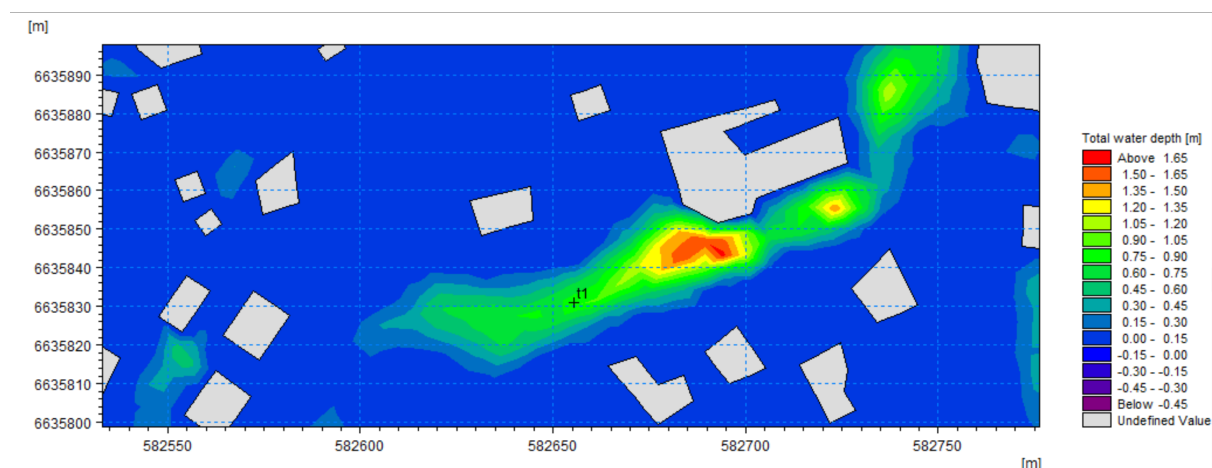
Bredde på vannstrømningen ved tidspunktet for maksimal vannføring: 16 meter

- Vannføring i MIKE 21: $Q = q \cdot b = 0.15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \cdot 16 \text{ m} = \underline{2.40 \text{ m}^3/\text{s}}$
- Vannføring beregnet med den rasjonelle formel: $Q = \underline{1.84 \text{ m}^3/\text{s}}$

Kontrollregning av resultater med terrengmodell 2 (maksimalt elementareal 30 m²)

Bredde på vannstrømningen ved tidspunktet for maksimal vannføring: 16 meter

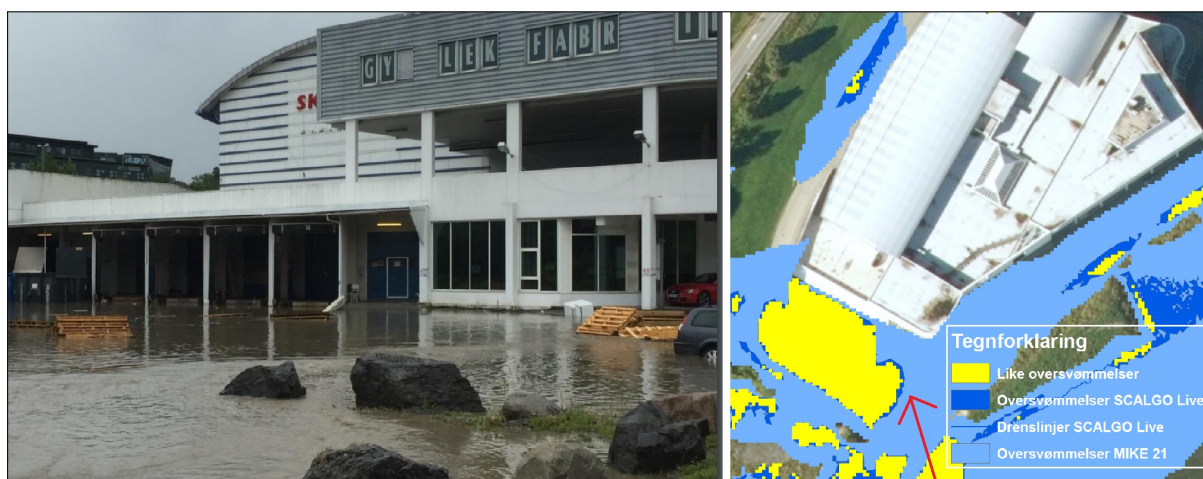
- Vannføring i MIKE 21: $Q = q \cdot b = 0.14 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \cdot 16 \text{ m} = \underline{2.24 \text{ m}^3/\text{s}}$
- Vannføring beregnet med den rasjonelle formel: $Q = \underline{1.84 \text{ m}^3/\text{s}}$



Figur 5.7: Plassering av tidsserie for kontrollregning av vannstrømningen i MIKE 21.

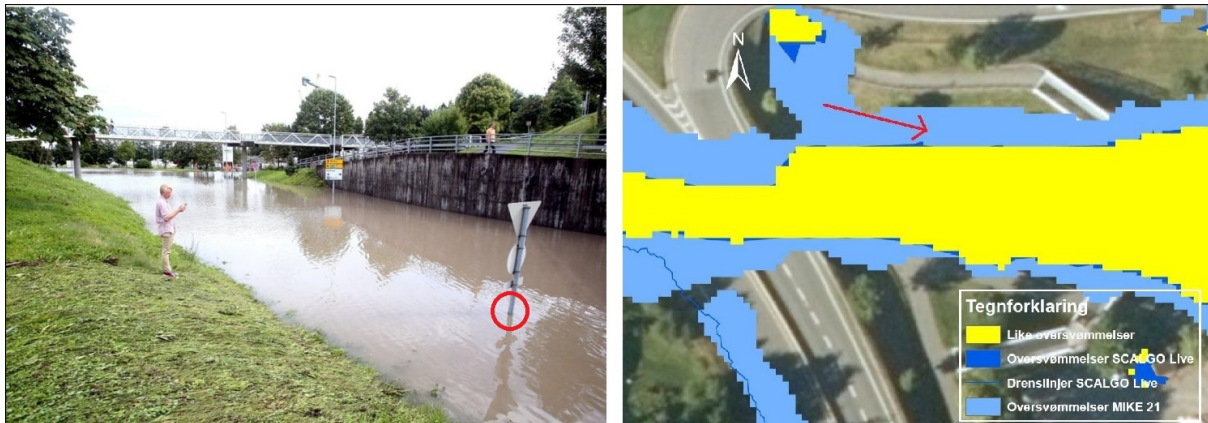
5.1.2 Sammenligning med bilder fra regnhendelsen 6.august 2016

Figur 5.8 viser oversvømmelsen utenfor Skeidar i Holmen kl.13.12 med modellresultater. For å estimere vanddybden ble det tatt utgangspunkt i bilen som står parkert til høyre i bildet. Med en antatt diameter på bildekket på 60 cm ble vanddybden ved høyre bakhjul anslått til å være 35 cm. Analysen i SCALGO Live viser ingen vannstand ved punktet hvor det estimeres at bakhjulet stod plassert. Programmet klarer altså ikke å vise omfanget av regnhendelsen i dette området. MIKE 21 viser en vannstand på 17 cm kl 13.12, og en maksimal vannstand på 34 cm kl. 09.15. Maksimal vannstand stemmer altså bedre med det som er observert enn vannstanden ved tidspunktet bildet ble tatt. Målestasjonen på Mellom-Nes ligger et stykke utenfor analyseområdet og regntoppen kan derfor være forskjøvet.



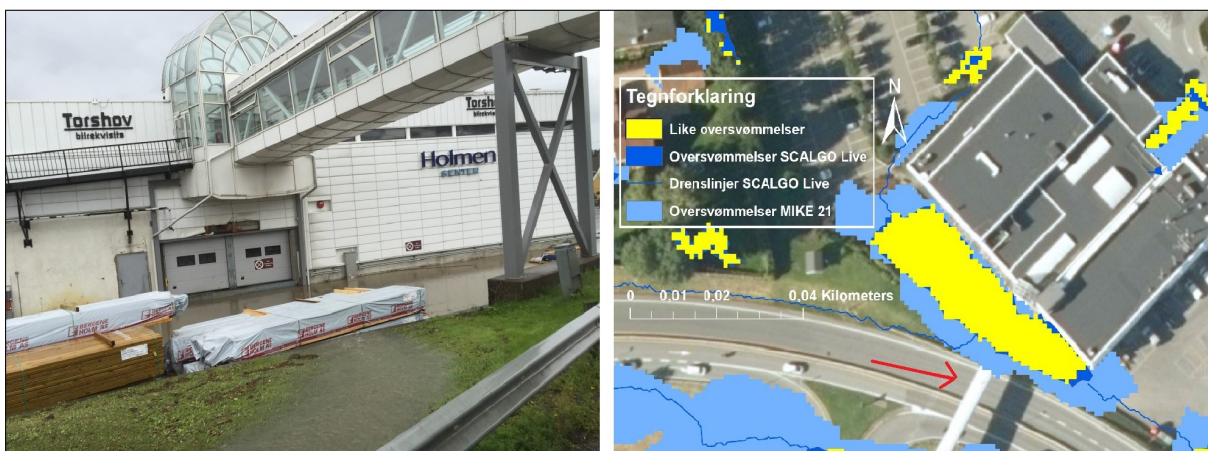
Figur 5.8: Bilde fra regnhendelsen 6.august ved Skeidar i Holmen med modelleringsresultater til høyre. Rød pil markerer vinkelen bildet er tatt fra. FOTO: ASKER KOMMUNE.

Bildet i figur 5.9 er tatt ved en bro under FV165 i Holmen kl. 13.29. På en befaring i området ble vannhøyden ved skiltet for vikeplikt målt til å være rundt 75 cm. SCALGO Live viser at vanddybden ved skiltet er på 78 cm. MIKE 21 viser en vanddybde på 41 cm kl. 13.29 og en maksimal vanddybde på 75 cm kl. 09.15. Dette støtter opp under antakelsen om at regntoppen er forskjøvet. Begge modellene gir altså gode estimater på vanddybden i dette punktet. Modellresultatene til høyre i figur 5.9 viser en større maksimal utbredelse på oversvømmelsen i MIKE 21 enn i SCALGO Live. Utbredelsen i SCALGO Live ser mer riktig ut.



Figur 5.9: Bilde fra regnhendelsen 6.august ved bro i Holmen med modellresultater til høyre. FOTO: KARL BRAANAAS/BUDSTIKKA.

Figur 5.10 viser en vannansamling utenfor Holmensenteret med modelleringsresultatene til høyre. Resultatene viser at drenslinjen i SCALGO Live går langs FV165 før den skjærer inn mot Holmensenteret rett før broen i bildet. Dette stemmer godt med det som vises i bildet fra regnhendelsen. I resultatet fra MIKE 21 er det vanskelig å se hvor vannet kommer fra, og utbredelsen på oversvømmelsen ser ut til å være overestimert i og med at den når helt opp til veien. SCALGO Live gir derfor den beste tilnærmingen i dette lavpunktet.



Figur 5.10: Bilde fra regnhendelsen 6.august utenfor Holmensenteret med modelleringsresultater til høyre. Rød pil markerer vinkelen bildet er tatt fra. FOTO: ASKER KOMMUNE.

Den siste observasjonen som brukes i denne oppgaven er fra et bolighus i Vakåsområdet, vist i figur 5.11. Tidspunktet for bildet er ikke kjent. Huset ligger i et bratt område og vannet gikk derfor gjennom tomten med stor hastighet. Analyse av vanddybder i SCALGO Live viser ingen resultater i dette området, men drenslinjen viser at det går en potensiell strømningsvei gjennom tomten på sørsiden av garasjen. Ut fra bildet i figur 5.11 ser det

ut som at mesteparten av vannet går på nordsiden av garasjen og ut i veien foran tomten. MIKE 21 viser vanndybder på over 5 cm både foran og bak garasjen, som stemmer godt med observasjoner fra hendelsen.



Figur 5.11: Bilde fra regnhendelsen 6.august utenfor bolighuset i Vakåsområdet. FOTO: RICHARD SVEAAS DALE/BUDSTIKKA.

5.2 Sensitivitetsanalyse

En sensitivitetsanalyse ble utført ved å endre oppløsningen på terrengmodellen og se hvordan dette påvirket resultatet, både i SCALGO Live og i MIKE 21.

5.2.1 Sammenligning av terrengmodeller i SCALGO Live

I SCALGO Live ble resultater fra analysen med terrengmodell 1 (oppløsning 1x1 meter) sammenlignet med resultater fra analysen med terrengmodell 2 (oppløsning 0.5x0.5 meter). Gjennomsnittlig vanndybde ble målt i ti områder, markert i figur 5.12.



Figur 5.12: Områdene hvor gjennomsnittlig vanndybde er målt for sensitivitetsanalysen i SCALGO Live.

Tabell 5.1 viser resultatene med absolutt avvik. Tallene viser et avvik på 1.35 prosent mellom vanndybden i analysen med terrengmodell 2 og vanndybden i analysen med terrengmodell 1. Vanndybden var størst med terrengmodell 2 i syv av ti tilfeller.

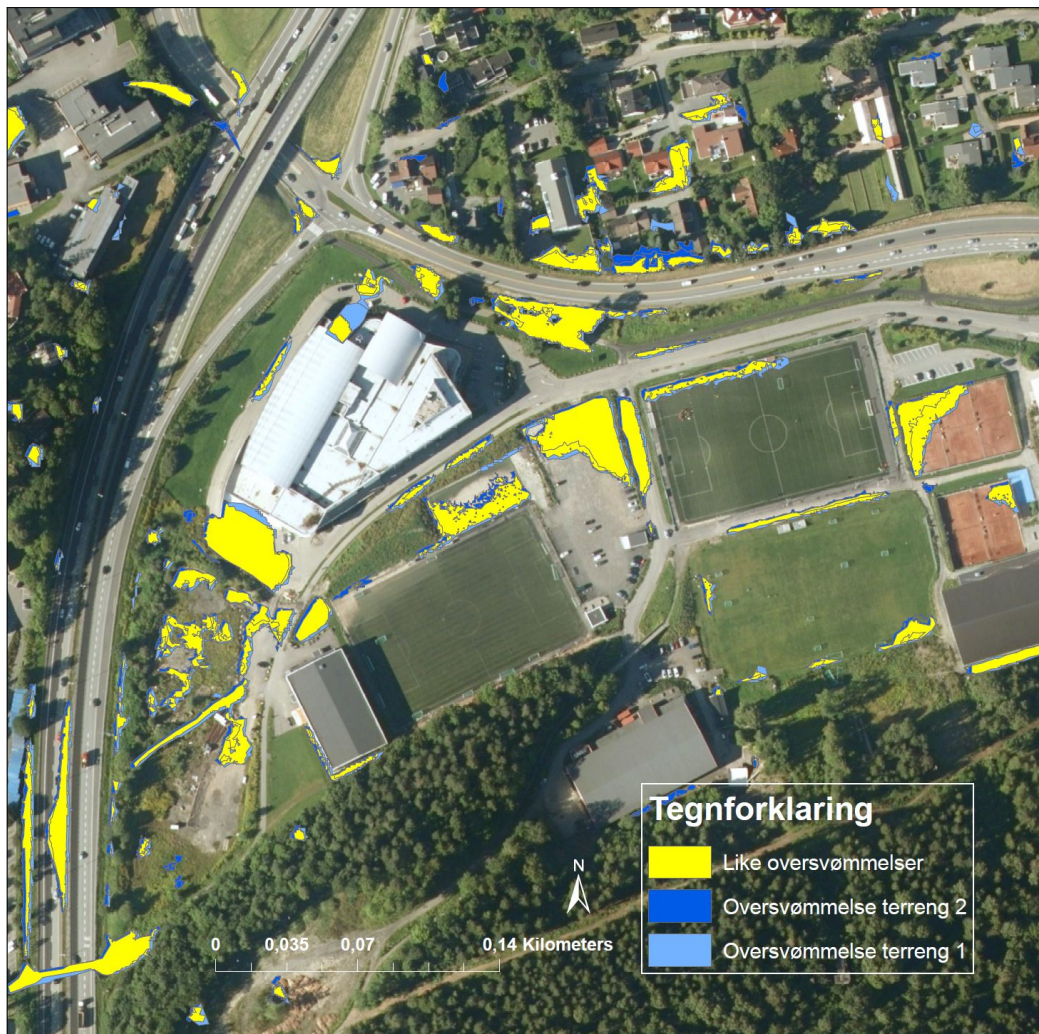
Tabell 5.1: Sammenligning av terrengmodeller i SCALGO Live - gjennomsnittlige vanndybder.

Område	Gjennomsnittlig vanndybde (m)		Avvik
	Terrengmodell 1	Terrengmodell 2	
1	0.382	0.399	4.48%
2	0.218	0.220	0.67%
3	0.762	0.764	0.30%
4	0.179	0.173	3.46%
5	0.362	0.360	0.54%
6	1.416	1.417	0.03%
7	0.469	0.472	0.70%
8	0.169	0.173	2.45%
9	2.364	2.358	0.24%
10	1.650	1.660	0.63%

Et studie gjennomført ved North Dakota State University i USA i 2016 så på hvordan små objekter i terrenget påvirkes av ulik oppløsning på terrengmodellen (Habtezion mfl., 2016). Undersøkelsene ble gjort i modelleringssystemet P2P som simulerer strømming på overflaten. I artikkelen sammenlignes simulering med flere ulike overflatemodeller med ruteoppløsning på mellom 2 og 80 cm. Artikkelen viser at en reduksjon i oppløsning på terrengmodellen vil resultere i både en reduksjon i vanndybden på oversvømmelsene og en reduksjon i utbredelsen på oversvømmelsene, målt som maksimalt overflateareal (Habtezion mfl., 2016). Sensitivitetsanalysen som ble gjennomført i SCALGO Live viser samme tendenser. Summen av arealet på alle oversvømmelsene med vanndybde over 5 cm utgjorde følgende:

- med terrengmodell 1: 97 617 m²
- med terrengmodell 2: 107 875 m²

Utbredelsen av oversvømmelsene er altså mindre i analysen med terrengmodell 1, som har lavest oppløsning. Dette kan relateres til det faktum at en lavere oppløsning på terrengmodellen gjør terrenget mer uniformt, som igjen gjør at de minste forsenkningene i terrenget forsvinner i modellen. Figur 5.13 viser en sammenligning av oversvømmelser med terrengmodell 1 og med terrengmodell 2.



Figur 5.13: Forskjeller i oversvømmelser fra analyser i SCALGO Live med to ulike terrengmodeller. Minimum vandedybde: 5 cm.

5.2.2 Sammenligning av terrengmodeller i MIKE 21

I MIKE 21 ble det utført en sensitivitetsanalyse med terrengmodell 1 (maksimalt elementareal på 40 m²) og terrengmodell 2 (maksimalt elementareal på 30 m²). Gjennomsnittlig vanndybde ble målt i ti ulike områder som fremstilles i figur 5.14.



Figur 5.14: Områdene hvor gjennomsnittlig vanndybde er målt for sensitivitetsanalysen i MIKE 21.

Tabell 5.2 gjengir en sammenligning av gjennomsnittlige vanndybder med absolutt avvik. Tallene viser et avvik på 3.45 prosent mellom vanndybden med terrengmodell 2 og vanndybden med terrengmodell 1. Vanndybden var størst med terrengmodell 2 i ni av ti tilfeller. Endringen i oppløsning var mindre i MIKE 21 enn i SCALGO Live. I SCALGO Live gjør en endring i oppløsning fra 0.5x0.5 meter til 1x1 meter at antall celler i rasteret blir redusert med 75 prosent. I MIKE 21-modellen i denne oppgaven gjorde endringen på maksimalt elementareal fra 30 m² til 40 m² at antallet triangler i meshet ble redusert fra 150 739 til 113 743, som tilsvarer en reduksjon på 25 prosent. MIKE 21 viser altså et større avvik enn SCALGO Live selv om endringen i oppløsningen var mindre. Dette ble kun testet for ti utvalgte oversvømmelser og resultatet kunne blitt annerledes dersom andre områder ble testet.

Tabell 5.2: Sammenligning av terrengmodeller i MIKE 21 - gjennomsnittlige vanndybder.

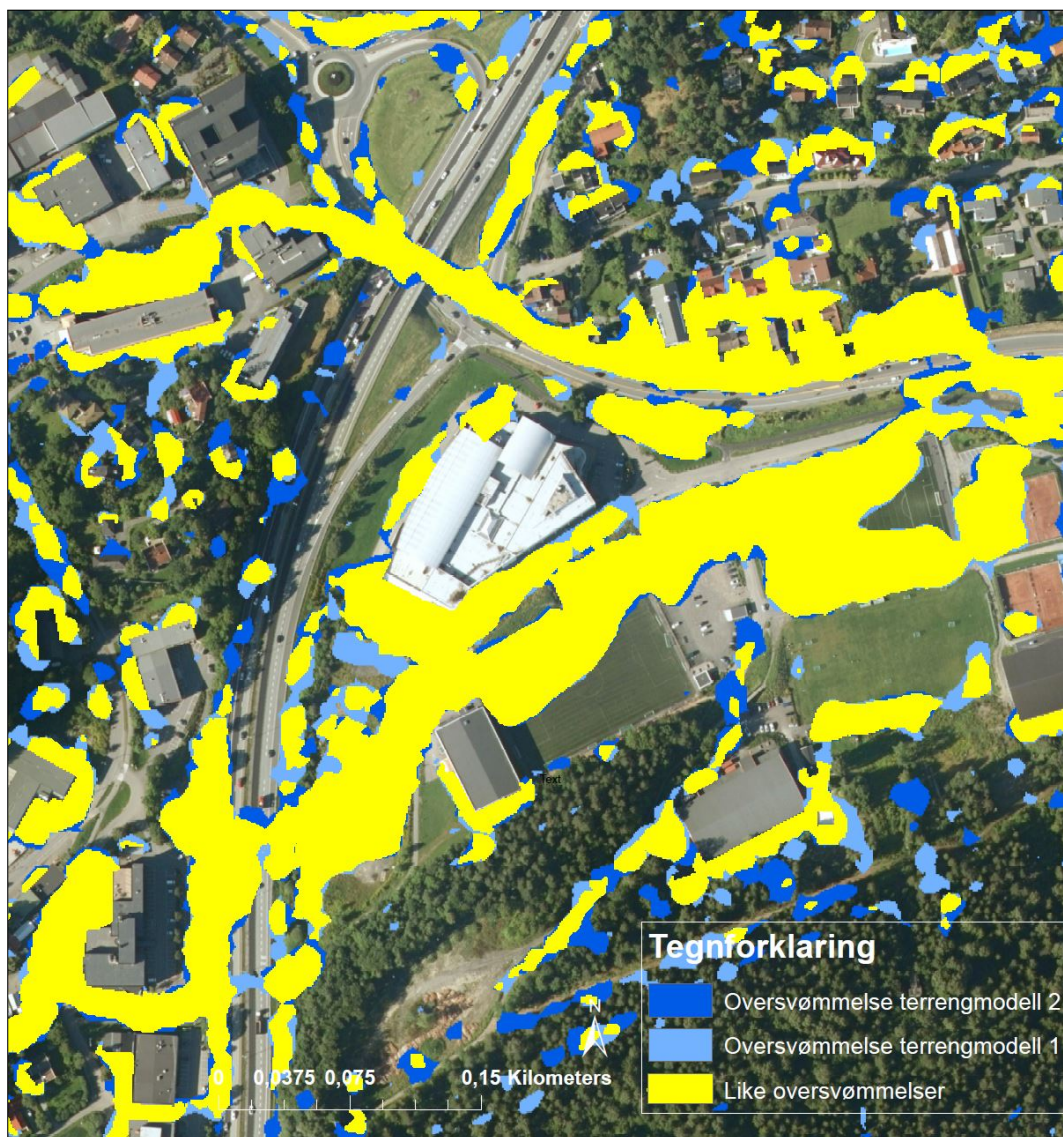
Område	Gjennomsnittlig vanndybde (m)		Avvik
	Terrengmodell 1	Terrengmodell 2	
1	0.823	0.831	0.95%
2	1.199	1.257	4.84%
3	2.179	2.278	4.58%
4	1.321	1.350	2.20%
5	1.149	1.197	4.18%
6	0.822	0.806	1.90%
7	0.769	0.778	1.20%
8	1.072	1.093	1.95%
9	0.443	0.472	6.65%
10	0.976	1.036	6.10%

For å sammenligne utbredelsen på oversvømmelsene ble summen av arealet på alle oversvømmelser med vanndybde over 5 cm sammenlignet for de to terrengmodellene. Følgende areal ble funnet:

- med terrengmodell 1: 572 659 m²
- med terrengmodell 2: 529 366 m²

Tallene viser at utbredelsen av oversvømmelser i MIKE 21 er større ved lav oppløsning enn ved høy oppløsning, som er det motsatte av det som ble observert i SCALGO Live. Forskjellen i utbredelse med terrengmodell 1 og terrengmodell 2 er allikevel svært liten i forhold til størrelsen på utbredelsen, og det er vanskelig å si om dette gjelder for større endringer av oppløsningen.

Figur 5.15 viser sammenligning av oversvømmelser fra simulering med de ulike terrengmodellene i MIKE 21. Figuren viser en større visuell forskjell enn sensitivitetsanalysen i SCALGO live i figur 5.13.



Figur 5.15: Sammenligning av resultater fra simulering med terrengmodell 1 og terrengmodell 2 i MIKE 21. Minimum vanddybde: 5 cm.

Overgangen mellom lav og høy oppløsning i SCALGO Live vil være lik over hele området ved at rutene går fra en størrelse til en annen. I MIKE 21 vil endringen være forskjellig for hver trekant, og nodene plasseres slik at de representerer terrenget på best mulig måte. Endringen er altså mer varierende enn ved endring av oppløsningen på et raster.

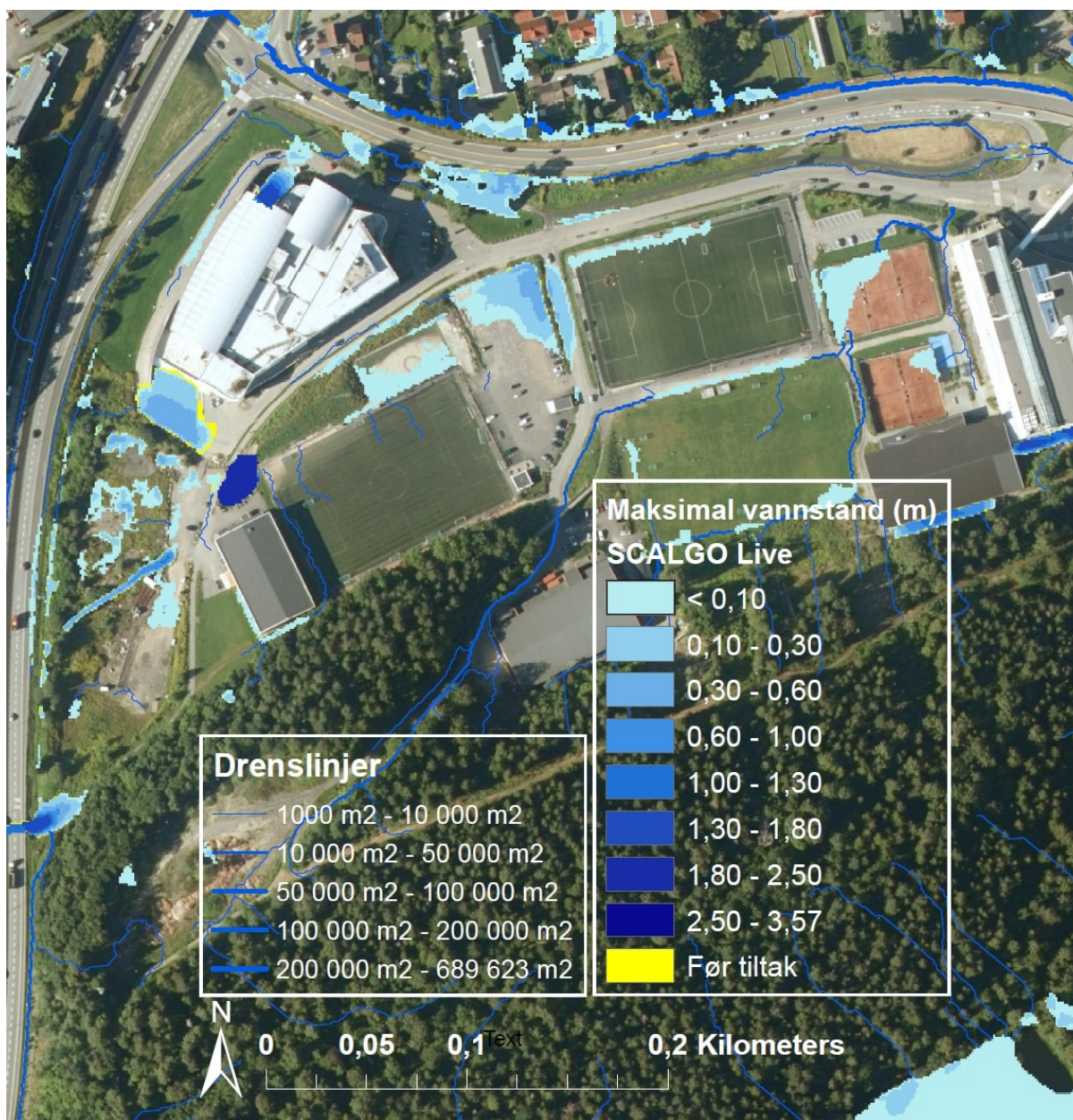
5.3 Utprøving av tiltak

For å undersøke om programmene er egnet til å teste ut tiltak ble samme tiltak testet ut i SCALGO Live og MIKE 21. Plassering og beskrivelse av tiltakene gjengis i kapittel 4.2.3. Effekten av fordrøyningsdammen og flomveien sees i sammenheng da de skal redusere overvannsmengder for samme område.

5.3.1 Resultater etter utprøving av tiltak i SCALGO Live

Figur 5.16 viser vanndybder rundt Holmen Idrettsanlegg etter utprøving av tiltak. Fordrøyningsdammen tok opp et vannvolum på 379 m^3 med en vanndybde på 1.2 meter på det dypeste. Analysen i SCALGO Live viser at oversvømmelsen foran varemottaket til Skeidar ble redusert fra 413 m^3 til 230 m^3 , som betyr at vannansamlingen nesten halveres som en følge av tiltakene. Den gjennomsnittlige vanndybden ble redusert fra 38 til 27 cm.

I figur 5.16 er den konstruerte flomveien plassert langs E18 helt frem til krysset mellom E18 og FV165. Ut fra drenslinjene i SCALGO Live kommer det frem at vannet vil gå videre mellom FV165 og Vogellund ned mot utløpet. I enden av flomveien er det mulighet for å videreføre flomveien nedover mot utløpet i Holmen, eller legge inn andre tiltak. Videre arbeid med dette ble ikke gått nærmere inn på da hensikten var å utprøve metoden for testing av tiltak.

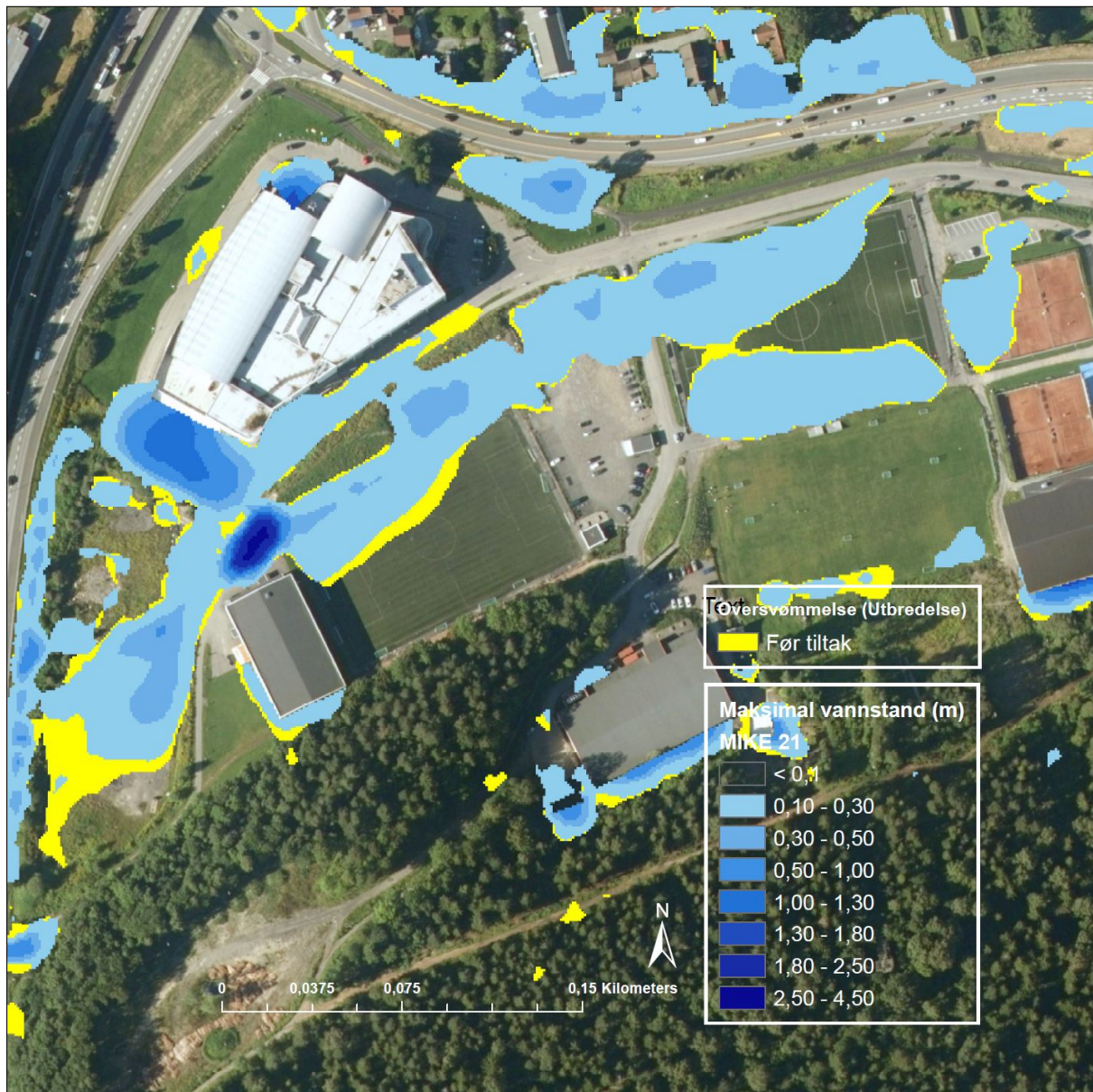


Figur 5.16: Nye vanndybder ved Holmen idrettsanlegg etter utprøving av tiltak i SCALGO Live

5.3.2 Resultater etter utprøving av tiltak i MIKE 21

Figur 5.17 viser resultater etter utprøving av tiltak i MIKE 21. Gjennomsnittlig vanndybde i fordrøyningsdammen er på 1.56 meter og maksimal vanndybde er på 2.64 meter. Dammen ble i utgangspunktet modellert med en dybde på 2 meter, så en maksimal vanndybde på 2.64 meter tyder på at fordrøyningsdammen går over sine bredder. MIKE 21 viser at arealet av oversvømmelsen i og rundt fordrøyningsdammen er på 512 m², som ved å multiplisere med

gjennomsnittlig vanndybde gir et volum på 799 m³. Dette er mer enn dobbelt så mye vann som det som ble observert i SCALGO Live. Ellers viser resultatet i figur 5.17 en reduksjon i vannmengder generelt rundt Holmen idrettsanlegg.



Figur 5.17: Nye vanndybder rundt Holmen idrettsanlegg etter utprøving av tiltak i MIKE 21.

Resultatene viser også at tiltakene hadde liten effekt på oversvømmelsen ved Skeidar (problemområdet). Gjennomsnittlig vanndybde er tilnærmet lik som før tiltakene ble satt inn. Ut fra figur 5.17 ser det ut som flomveien ikke har fungert som ønsket og at dybden og/eller helningen ikke var tilstrekkelig til å fungere som flomvei ved et 200-årsregn. I SCALGO Live ble tiltak lagt direkte inn i terrengmodellen, mens i MIKE 21 ble endringene

gjort i punktskyen som skulle interpoleres med meshet. Dette gjorde det vanskelig å kontrollere effekten tiltakene ville ha på den endelige terrengmodellen. Resultatene viser at MIKE 21 krever større endringer i punktskyen enn det som er nødvendig hvis tiltak legges direkte inn i terrengmodellen. I etterkant av modelleringen ble det klart at det er mulig å heve eller senke terrenget direkte i terrengmodellen ved å endre høydeverdien i nodene. Dette kan være et nyttig hjelpemiddel for å lage forhøyninger/forsenkninger i terrenget, men det kan være vanskelig å få til en jevn helning på en eventuell flomvei. Det er behov for en bedre metode for tiltakstesting i MIKE 21 enn det som brukes i denne oppgaven, for eksempel ved bruk av CAD-verktøy.

5.4 Tidsbruk

Å kjøre en analyse i SCALGO Live etter å ha utført endringer i terrenget tok rundt 30 sekunder med “workspacen“ som ble brukt i denne oppgaven. Det ble brukt litt tid på å klargjøre terrengmodellen som skulle importeres, men dette er ikke nødvendig dersom det er tilstrekkelig for det tenkte formålet å bruke den inkluderte terrengmodellen med oppløsning 1x1 meter.

For å kjøre en simulering for analyseområdet i MIKE 21 gikk det med en total prosesserings-tid på 11 timer. Store deler av februar og mars ble brukt til å klargjøre terrengmodellen og få til en stabil simulering. Forfatterne av denne oppgaven hadde ingen erfaringer med modellering fra før.

5.5 Når bør overflatemodeller brukes?

En overflatemodell kan ha flere bruksområder. Den kan være et godt verktøy for arealplanlegging og gi en økt forståelse av årsaksammenhenger under ekstreme nedbørshendelser. Overflatemodeller vil allikevel alltid være en forenkling av virkeligheten og dette må tas hensyn til. Denne masteroppgaven har vurdert bruksområder for programmene SCALGO Live og MIKE 21. SCALGO Live har et enkelt brukergrensesnitt og analyser kan gjøres i løpet av kort tid. Programmet er derfor egnet til å bruke i tidlig beslutningsfase for å lage en oversikt

over flomutsatte områder som bør undersøkes nærmere. Oppgaven viser at SCALGO Live gjør en forenklet avrenningsanalyse og bør derfor brukes med skjønn. MIKE 21 kan gi en kompleks modell som tar hydrodynamikken i betraktning. Programmet gjør det mulig å inkludere viktige faktorer for avrenning, som ruhet, infiltrasjon og viskositet. Nøyaktigheten til en MIKE 21-modell er allikevel svært avhengig av nøyaktigheten på inngangsparametrene, og usikkerhet rundt inngangsparametrene vil tilføre usikkerhet til modellen.

Under arbeid med kommuneplanen er fordelen med SCALGO Live at analyser og undersøkelser kan gjøres i løpet av kort tid. Dette er også aktuelt for avklaring av arealbruken i en områderegulering eller detaljregulering. Hvis kommunen har tilgang til en MIKE 21-modell vil den være aktuell for samme faser og oppgaver som SCALGO Live. Valg av modell bør da baseres på formålet med analysen og økonomiske betraktninger. For områder med høyt skadepotensiale vil det være hensiktsmessig å vurdere for eksempel koblede modeller.

I NOU 2015:16 *“Overvann i byer og tettsteder”* fra 2015 står det at det er en kombinasjon av mangel på kompetanse og økonomisk handlingsrom som medfører manglende strategier for overvannshåndtering i norske kommuner (NOU, 2015). Kostnader i forbindelse med en overvannsanalyse vil avhenge av flere faktorer, blant annet størrelsen på prosjektet og analyseområdet. Basert på tidsbruk og kompetansebehov vil SCALGO Live være det rimeligste alternativet for en kommune. Analyser kan gjøres i løpet av få sekunder og programmet kan brukes av ansatte i kommunen, selv med lite erfaring innenfor overvannsmodellering. Modellering i MIKE 21 krever en inngående kunnskap og erfaring i bruk av selve programvaren, og denne arbeidsoppgaven vil i de fleste kommuner bli satt til en ekstern konsulent. Mangel på økonomisk handlingsrom i kommunen kan derfor argumentere for økt bruk av SCALGO Live for overordnet planlegging.

5.6 Oppsummering - sammenligning av programmene

Tabell 5.3: Sammenligning av SCALGO Live og MIKE 21 FM.

	SCALGO Live	MIKE 21
Programvare	Web-basert	Krever installasjon
System	Statisk	Dynamisk
Vannføring	Ikke tilgjengelig	Kan hentes ut direkte
Ledningsnett	Ikke inkludert	Ikke inkludert
Terrengmodell	Inkludert	Må opprettes/importeres
Brukervennlighet	Høy brukervennlighet	Krever mye forkunnskap
Lisenskostnader	Middels og konstant	Høy og varierende
Tidsbruk	Kort tid	Lang tid
Infiltrasjon og ruhet	Ikke inkludert	Inkludert
Bygninger	Inkludert	Må legges til
Terrengendringer	Gode muligheter	Tungvindt
Oversvømmelsesvolum	Tilgjengelig	Må regnes ut

5.7 Videre arbeid

- I SCALGO Live Danmark er det nå mulig å velge en vannføring i l/s/m² for vann som strømmer i elver, bekker og grøfter, og se utbredelsen av vannet som strømmer. SCALGO jobber med å lansere samme utgivelse i Norge (SCALGO, 2019a). Når denne funksjonen blir tilgjengelig i Norge kunne det vært interessant å se nærmere på denne funksjonen.
- I denne oppgaven er det kun sett på hvordan endret oppløsning av terrengmodellen påvirker resultatene i form av endring i gjennomsnittlig vanndybde og utbredelsen på oversvømmelsene. Det kunne vært interessant å gå mer i dybden på dette, spesielt i MIKE 21, ved å for eksempel se på endring i avrenning og flomtopper.

6. Konklusjon

I denne masteroppgaven er det gjort en sammenligning av MIKE 21 og SCALGO Live, og en vurdering av hvor vidt programmene er egnede hjelpemidler til å vurdere utfordringer knyttet til overvann i urbane områder. For å kontrollere nøyaktigheten til modellene ble det gjort en analyse av et nedbørsfelt i Asker kommune og en regnhendelse som oppstod 6. august 2016. MIKE 21-modellen ga generelt en bedre tilnærming til regnhendelsen enn modellen i SCALGO Live, basert på bilder og observasjoner fra regnhendelsen. Oppgaven viser at SCALGO Live gir gode estimater på oversvømmelser i lavpunkter, men at modellen vil være mangelfull i områder der hydrodynamiske egenskaper har stor betydning for avrenningen. Erfaringer fra oppgaven viser også at selv om MIKE 21 gir mulighet til å inkludere faktorer som infiltrasjon og ruhet, kan det være vanskelig å anslå nøyaktige verdier. Usikkerhet rundt inngangsparametrene vil tilføre usikkerhet til modellresultatet.

Oppgaven belyser viktigheten av en nøyaktig terrengmodell. Sensitivitetsanalysen i SCALGO Live viste at en lav oppløsning på terrengmodellen (store celler) gjør terrenget mer uniformt, og gir et mindre oversvømt areal enn ved høy oppløsning på terrengmodellen. MIKE 21 viste det motsatte, altså at lav oppløsning på terrengmodellen gir et større oversvømt areal. Forskjellen i oversvømt areal i MIKE 21 var liten i forhold til størrelsen på det oversvømte arealet, og det er vanskelig å si om dette gjelder for større endringer av oppløsningen. Med hensyn på vanddybder viste MIKE 21 større følsomhet for endret oppløsning på terrengmodellen enn SCALGO Live. Utprøving av tiltak viste at SCALGO Live er et mer oversiktlig og brukervennlig program for å gjøre endringer i terrenget, og at det er behov for en bedre metode for å teste ut tiltak i MIKE 21.

Både SCALGO Live og MIKE 21 vil kunne brukes til å kartlegge årsaksammenhenger i forbindelse med urbane flommer. Valg av modell bør baseres på formålet med analysen og økonomiske betraktninger. Økt bruk av overflatemodeller i tidlig fase kan bidra til å legge

bedre strategier og planer for overvannshåndtering i kommuner. Dette gjør oss bedre rustet til å imøtekomme fremtidens klimaendringer, og dermed redusere forventede kostnader knyttet til overvann.

Referanser

- Andersen, C. (2017). *Ekstremnedbør i Asker Kommune 6.august 2016. Analyse av hendelse og analyse av hendelsens påvirkning på avløpsnett*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. URL: <https://bit.ly/2WeDLJ2>.
- Asker kommune (2014). *Veileder for lokal overvannshåndtering i Asker kommune*. Veileder. URL: <https://bit.ly/2sGHv8t>.
- Asker kommune (2015). *Valg av returperiode/gjentaksintervall*. Vedlegg til VA-norm. URL: <https://bit.ly/2V35ZJN>.
- Asplan Viak (2017). *Evaluering av nedbørhendelse 6.august 2016 Asker kommune*. Tekn. rapp. 4.
- Bratlie, R. (2015). Beregning av flomveier med eksempler på bruk i kommunal forvaltning. *Kart og Plan* 75 (1): 24–34.
- Chen, A. S. mfl. (2010). An analysis of the combined consequences of pluvial and fluvial flooding. *Water Science and Technology* 62 (7): 1491–1498.
- Childs, C. (2004). Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser, July-September* 3235: 569.
- DHI (2012). *MIKE ZERO Mesh Generator Step-by-step training guide*. URL: <https://bit.ly/2W6OcxH> (sjekket 22.03.2019).
- DHI (2016). *MIKE 21 Flow Model Hints and Recommendations in applications with significant flooding and drying*. URL: <https://bit.ly/2CJa1uQ> (sjekket 22.03.2019).
- DHI (2017a). *MIKE 21 Flow Model FM- Hydrodynamic Module User Guide*. URL: <https://bit.ly/2ShQNpQ> (sjekket 24.01.2019).
- DHI (2017b). *MIKE 21 Flow Model - Hydrodynamic Module User Guide*. URL: <https://bit.ly/2sJeUiZ> (sjekket 24.01.2019).
- DHI (2017c). *MIKE 21 Flow Model & MIKE 21 Flood Screening Tool - Hydrodynamic Module*. URL: <https://bit.ly/2WjTGFO> (sjekket 24.01.2019).
- DHI (2017d). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic and Transport module - Scientific documentation*. URL: <https://bit.ly/2DNo8Bj> (sjekket 31.01.2019).
- DHI (2018). *MIKE 21 FM Kokebok*. Brukermanual mottatt fra DHI.
- DHI (2019). *MIKE 21 - 2D Modelling of coast and sea*. URL: <https://bit.ly/2V2ZuWo> (sjekket 01.04.2019).
- Esri (2018). *What is lidar data?* URL: <https://bit.ly/2J78PGq> (sjekket 11.03.2019).
- Esri (2019). *Fundamentals of Surfaces*. URL: <https://bit.ly/2b8B0EN> (sjekket 26.04.2019).
- Ødegaard, H. mfl. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2.utgave. Norsk Vann.
- Aamodt, M. mfl. (2007). Innføring av UTMEUREF89: konsekvenser for bygg-og anleggsbransjen. Bacheloroppgave. Høgskolen i Gjøvik. URL: <https://bit.ly/2RWHxHP>.
- GeoNorge (2019). *Felles KartdataBase (FKB)*. URL: <https://bit.ly/2Gaadqe> (sjekket 31.01.2019).
- Gold, C. M. (2006). What is GIS and What is Not? *Transactions in GIS* 10 (4): 505–519.

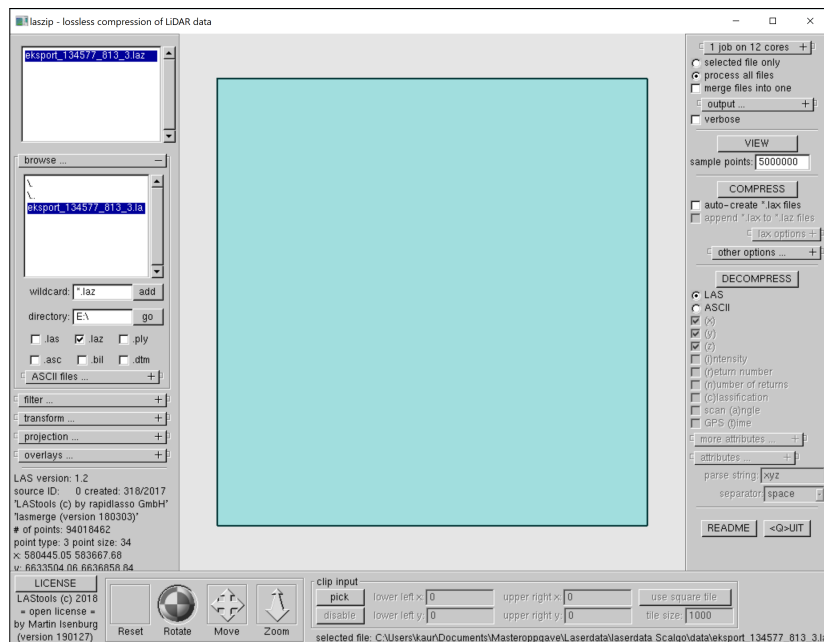
- Habtezion, N. mfl. (2016). How does DEM resolution affect microtopographic characteristics, hydrologic connectivity, and modelling of hydrologic processes? *Hydrological processes* 30 (25): 4870–4892.
- Hernebring, C. og Mårtensson, E. (2013). Pluviala översvämningar–Konsekvenser vid skyfall över tätorter: En kunskapsöversikt. *MSB. Göteborg and Lund, Sweden*.
- Johansen, J. A. og 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. URL: <https://bit.ly/2GKEpHg> (sjekket 01.05.2019).
- Kalyanapu, A. J. mfl. (2010). Effect of land use-based surface roughness on hydrologic model output. *Journal of Spatial Hydrology* 9 (2).
- Kartverket (2014a). *Forprosjekt "Nasjonal, detaljert høydemodell"*. Sluttrapport. URL: <https://bit.ly/2OsExOX>.
- Kartverket (2014b). Produktspesifikasjon for ortofoto i Norge. URL: <https://bit.ly/2DGBuhU>.
- Kartverket (2018a). *Brukerveiledning om formater og programvare for kartdata*. URL: <https://bit.ly/2lRmAtJ> (sjekket 03.02.2019).
- Kartverket (2018b). *Høydesystemet NN2000*. URL: <https://bit.ly/2DKQhs1> (sjekket 15.01.2019).
- Kartverket (2019). *Om nasjonal detaljert høydemodell (NDH)*. URL: <https://bit.ly/2VjTypa> (sjekket 05.04.2019).
- Liang, X. og Xie, Z. (2001). A new surface runoff parameterization with subgrid-scale soil heterogeneity for land surface models. *Advances in Water Resources* 24 (9-10): 1173–1193.
- Lovdata (2019). *Søkeresultater for overvann*. URL: <https://bit.ly/2Gtv9XT> (sjekket 23.04.2019).
- Maleika, W. (2015). The influence of the grid resolution on the accuracy of the digital terrain model used in seabed modeling. *Marine Geophysical Research* 36 (1): 35–44. DOI: 10.1007/s11001-014-9236-6.
- Meteorologisk Institutt (2017). *Det blir våtere*. URL: <https://bit.ly/2W0mWkp> (sjekket 23.04.2019).
- Miljødirektoratet (2016). *Overvannshåndtering*. URL: <https://bit.ly/2VZDU2h> (sjekket 23.04.2019).
- Miljødirektoratet (2018). *Styrket overvannshåndtering i plan- og bygningsloven*. Tekn. rapp. Kommunal- og moderniseringsdepartementet. URL: <https://bit.ly/2L0nS7B>.
- Moeslund, J. E. mfl. (2013). Topographically controlled soil moisture is the primary driver of local vegetation patterns across a lowland region. *Ecosphere* 4 (7): 1–26.
- NGU (2015). *Bathymetri*. (Sjekket 05.05.2019).
- Norsk Klimaservicesenter (2010). *Nedbørsintensitet*. URL: <https://bit.ly/2YuyjD8> (sjekket 20.02.2019).
- Norsk Vann (2010). Intensitets-, varighets- og frekvenskurver. *Norsk Vann 2-2010* (2): 36–38. URL: <https://bit.ly/2J5CK1S> (sjekket 20.02.2019).
- NOU (2015). *Overvann i byer og tettsteder - Som problem og ressurs*. Utredning. Oslo: Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon. URL: <https://bit.ly/2TOHCdt>.
- NVE (2014). *Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet*. Tekn. rapp. 3-2014. Norges vassdrags- og energidirektorat. URL: <https://bit.ly/2VKOJIP>.
- NVE (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*. Tekn. rapp. 7-2015. URL: <https://bit.ly/2YtlelY>.
- NVE (2016). *Drenering for veg og jernbane*. Tekn. rapp. 28-2016. Norges vassdrags- og energidirektorat. URL: <https://bit.ly/2FJ1LxP>.

- Plan- og bygningsloven (2008). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven) av 01.01.2013, § 11-1 Kommuneplan*. URL: <https://bit.ly/2L0vbMx> (sjekket 26.04.2019).
- Plan- og bygningsloven (2019). *Lov om endringer i plan- og bygningsloven m.m. (håndtering av overvann i arealplanleggingen mv.) av 08.03.2019*. URL: <https://bit.ly/2Vlc2IV> (sjekket 26.04.2019).
- Rambøll (2015). *Overvannsflom - metoder for kartlegging og analyser*. Utredning. Miljødirektoratet. URL: <https://bit.ly/2T9BcpG>.
- Rambøll (2017). *Rapport for Laserskanning - Asker 2017*. Tekn. rapp.
- Rambøll (2018). *Bydel Åssiden i Drammen, Terrengmodell overvann*. Tekn. rapp. Drammen.
- Regjeringen (2009). *§ 12-2. Områderegulering*. URL: <https://bit.ly/2HoVd8F> (sjekket 11.03.2019).
- Regjeringen (2018). *Bygningsloven (plan- og bygningsloven)*. URL: <https://bit.ly/2GDEIEW> (sjekket 24.04.2019).
- Regjeringen (2019). *Endringer i plan- og bygningsloven om håndtering av overvann i arealplanleggingen*. URL: <https://bit.ly/2KZwtr8> (sjekket 24.04.2019).
- Robinson, S. (1997). *Simulation model verification and validation: increasing the users' confidence*. Tekn. rapp. URL: <https://bit.ly/2FRqT44>.
- Saltelli, A. (2002). Sensitivity analysis for importance assessment. *Risk Analysis* 22 (3): 579–590. DOI: 10.1111/0272-4332.00040.
- SCALGO (2018). *Quick guide SCALGO Live*. Brukermanual. (Sjekket 11.01.2019).
- SCALGO (2019a). *Flood risk screening of streams and flow paths in SCALGO Live*. URL: <https://bit.ly/2GT9JDD> (sjekket 29.03.2019).
- SCALGO (2019b). *SCALGO Live documentation*. URL: <https://bit.ly/2GKE6fr> (sjekket 29.04.2019).
- SCALGO (2019[c]). *About us*. URL: <https://bit.ly/2YsbVKk> (sjekket 26.03.2019).
- Statens vegvesen (2014). *N200 Vegbygging*. Tekn. rapp.: 528. URL: <https://bit.ly/2vc9gl5>.
- Sweco (2017). *Oversvømmingsutredning - Detaljert studie av Vakås*. Tekn. rapp.
- TEK17 (2017a). *Byggteknisk forskrift (TEK17) av 01.07.2017, § 13-11. Overvann*. URL: <https://bit.ly/2Wdq2BX> (sjekket 27.03.2019).
- TEK17 (2017b). *Byggteknisk forskrift (TEK17) av 01.07.2017, § 15-8. Utvendig avløpsanlegg med ledningsnett. Overvann og drenevann*. URL: <https://bit.ly/2USg47x> (sjekket 27.03.2019).
- TEK17 (2017c). *Byggteknisk forskrift (TEK17) av 01.07.2017. Veiledning om tekniske krav til byggverk*. URL: <https://bit.ly/2oXlZsX> (sjekket 27.03.2019).
- Van Dijk, E. mfl. (2014). Comparing modelling techniques for analysing urban pluvial flooding. *Water science and technology* 69 (2): 305–311.
- Van Kreveld, M. (1996). Digital elevation models and TIN algorithms. I: *Advanced School on the Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems*. Springer: 37–78.
- Vestøl, O. (2004). Innføring av nytt høydesystem i Norge. *Kart og Plan* 64 (2): 91–96.
- Vojinovic, Z. og Tutulic, D. (2009). On the use of 1D and coupled 1D-2D modelling approaches for assessment of flood damage in urban areas. *Urban water journal* 6 (3): 183–199.
- Wang, F og Hartnack, J. N. (2016). *Simulation of Flood Inundation in Jilin City, Songhua River Project*. Tekn. rapp. Shanghai: DHI.

Vedlegg A. Opprette terrengmodell i MIKE21 FM

A.1 Konvertering av laz- til las-fil

Laserdata fra Asker kommune ble lastet ned fra Høydedata.no på laz-format. For at disse dataene skal kunne brukes videre må de konverteres til en las-fil. Dette gjøres i programmet laszip.exe, som kan lastes ned gratis på internett.



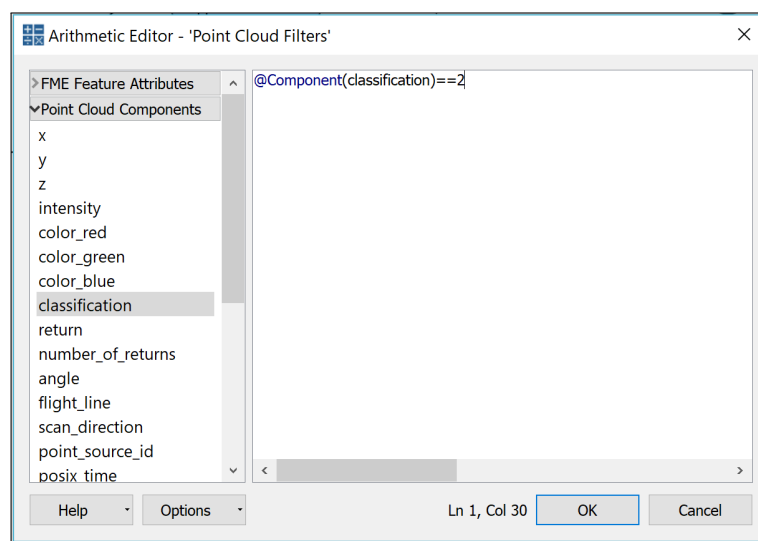
Figur A.1: Konvertering av laz-filer i laszip.exe (skjermdump).

1. Last ned laszip.exe og legg filen i samme mappe som las-filene.
2. Velg browse og bla frem til riktig fil. Dobbeltklikk på filen som skal konverteres slik at den havner i ruten øverst til venstre.
3. Sørg for at kun ".laz" er huket av i menyen til venstre og "LAS" i menyen til høyre.
4. Velg "DECOMPRESS". Den nye las-filen vil havne i samme mappe som inngangsfilen.

A.2 Oppsett i FME Workbench for behandling av laserdata

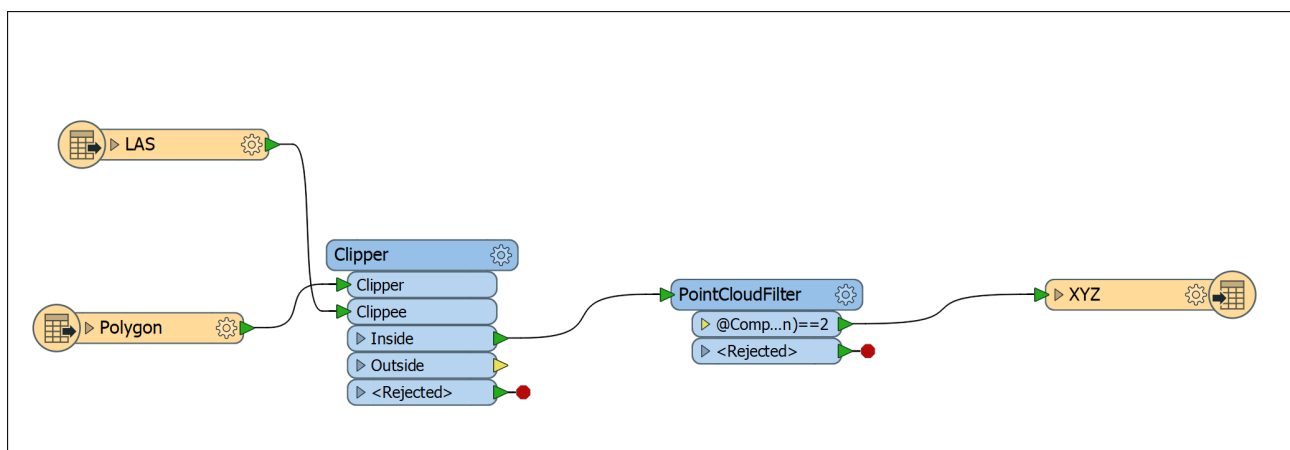
For å klargjøre laserdata og konvertere til tekstformat brukes FME Workbench. Laserdata klippes til modelleringsområdet med funksjonen “clipper” som velger ut all data innenfor et gitt polygon. Her settes LAS-filen som “clippee” og områdepolygonet som “clipper”. Videre anvendes funksjonen “PointCloudFilter” for å skille ut terrengpunktene blant laserdataen. Terrengpunkter klassifiseres som klasse 2 og disse velges ut ved å legge inn følgende kode:

@Component(classification)==2



Figur A.2: Filtrering av data. Skjermdump fra FMEWorkbench.

Figur A.2 viser oppsett for “PointCloudFilter”. Til slutt konverteres filen til griddet tekstformat i form av en xyz-fil. Figur A.3 viser endelig oppsett i FME Workbench. Når filer på .xyz-format skal åpnes i MIKE Zero må de først åpnes i TextEdit hvor man fjerner den øverste tekstlinjen hvor det står “x y z”.



Figur A.3: Oppsett for terrengmodell. Skjermdump fra FMEWorkbench.

A.3 Klippe og forenkle bygningslag i ArcMap

FKB-dataene til bygningsoverflater må klippes til området som skal modelleres. Dette kan gjøres ved bruk av “Clip Analysis“-funksjonen i ArcMap etter fremgangsmåten som er beskrevet under:

- Søk opp funksjonen “Clip“ i søkemotoren til høyre i ArcMap.
- Legg inn bygningsoverflater på shape-format som “Input features“ og polygonet for områdeavgrensning som “Clip features“

Etter at bygningsoverflatene er klippet til området som ønskes kan bygninger som ligger på grensen til områdepolygonet fjernes i ArcMap. Polygonet til områdeavgrensningen må være lagt til i ArcMap for at forenklingen skal være mulig. Metoden er beskrevet under:

- Høyreklikk på bygningsoverlaget og velg Edit Features → Start Editing
- Høyreklikk på bygningsoverlaget i Table of Contents og velg Selection → “*Make This the Only Selectable Layer*“
- Velg Selection øverst i verktøylinjen → Select By Location
- Sett “Target Layer“ til bygningsoverlaget og “Source Layer“ til polygonet for områdeavgrensningen og velg: “*Share a line segment with the source layer feature*“
- Apply

Etter at dette er valgt vil alle bygninger som ligger på grensen være markert og kan følgelig slettes fra bygningslaget.

A.4 Mesh Generator

A.4.1 Konvertere fra shape til xyz-fil

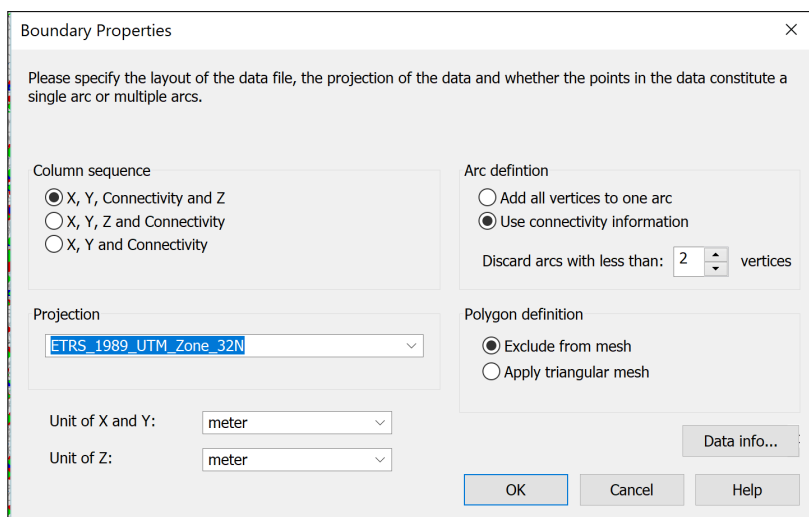
For å importere polygonet for områdeavgrensning må shape-filen først gjøres om til en xyz-fil.

Dette gjøres gjennom verktøyet Shp2Xyz i MIKE Zero på følgende måte:

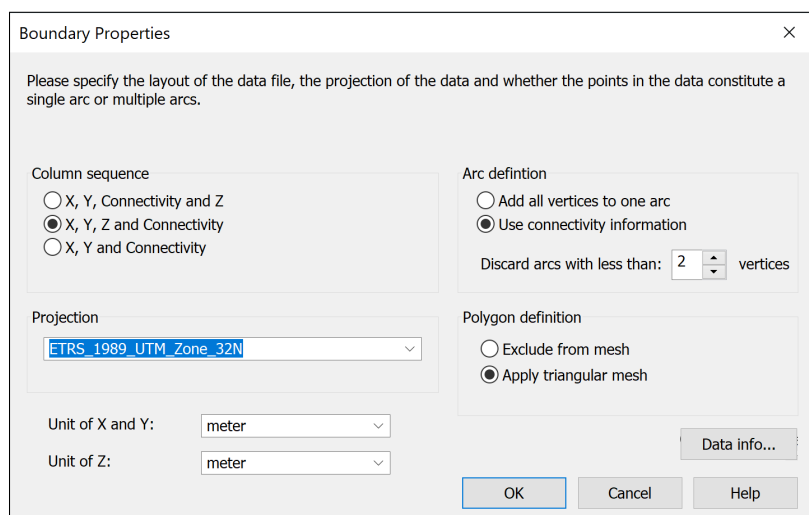
- File -> New file
- Velg MIKE Zero Toolbox
- Under GIS-verktøy ligger verktøyet Shp2Xyz
- Finn frem ønsket shapefil
- Velg "polygon" som type shape-fil
- Trykk "Execute"

A.4.2 Importere data til MIKE Zero Mesh Generator

Importer av data for områdeavgrensning og bygningspolygon gjøres i MIKE Zero *Mesh Generator*. Velg "Data" og deretter "import boundary" i hovedmenyen. Figur A.4 og figur A.5 viser valg ved import for henholdsvis bygningspolygoner og områdeavgrensning. For bygninger velges "Exclude from mesh".



Figur A.4: Valg ved import av bygningspolygoner i MIKE Zero

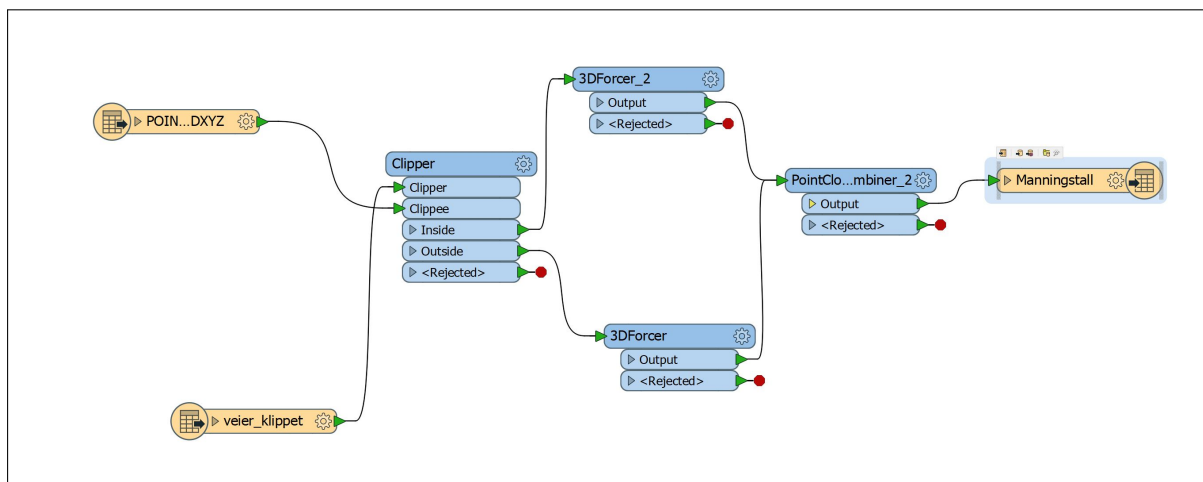


Figur A.5: Valg ved import av polygon for områdeavgrensning i MIKE Zero

A.5 Opprette fil for Manningstall

For å opprette en dfs2-fil for Manningstall ble det tatt utgangspunkt i FKB-data for veier og den opprinnelige punktskyen som beskriver høyder i nedbørsfeltet. Først ble punkter for veier adskilt fra resten av punktskyen ved å klippe ut all data innenfor shape-filen som angir veier i området. Videre ble funksjonen “3D forcer” i FME brukt til å endre z-verdien til punktene slik at de representerte Manningstall for veier (50) i stedet for høydeverdien i punktet. Det samme ble gjort for punktene utenfor utklippet, men her ble Manningstallet satt til 15 for resterende flater. Dette ble utført i FME Workbench med oppsettet som er

gjengitt i figur A.6. Videre ble punktskyen satt sammen og eksportert som en xyz-fil. Denne filen ble interpolert med meshet som var opprettet i MIKE Zero *Mesh Generator* og resultatet ble lagret som en dfsu-fil. Denne kan brukes direkte som inngangsparameter i MIKE 21, men en dfsu-fil må endres hver gang det gjøres endringer i meshet. Ved å gjøre om til rasterformat (dfs2-fil) trenger ikke filen modifieres for hver gang meshet genereres på ny.



Figur A.6: Oppsett i FME Workbench for å lage en punktsky med Manningstall for veier og resterende flater.

Vedlegg B. SCALGO Live terrengmodell til punktsky

I denne delen gjennomgås fremgangsmåte for å gjøre om terrengmodellen i SCALGO Live til en punktsky (xyz-format) som kan brukes i MIKE 21.

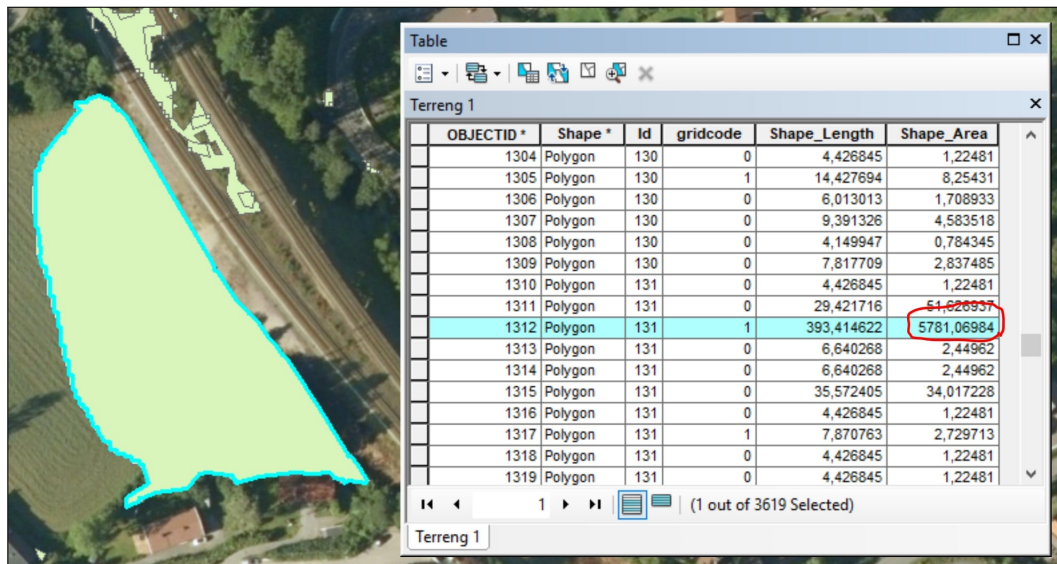
- Last ned terrengdata for ønsket område i SCALGO Live som en GeoTIFF
- Konverter rasterdata til en punktsky på shape-format gjennom verktøyet “Raster to Point” i ArcMap. ArcMap danner et punkt per rute i rasteret.
- Åpne attributt Tabellen og noter kolonnenavnet til z-verdiene, som i dette tilfellet var “grid_code“
- Gå inn i MIKE Zero og velg verktøyet Shp2Xyz under GIS-verktøy
- Angi riktig navn på kolonnen for z-verdiene.
- Punktskyen som opprettes har endelse .xyz og kan brukes videre som terrengdata i MIKE Zero “Mesh Generator“.

Vedlegg C. Finne gjennomsnittlig vanndybde

C.1 Gjennomsnittlig vanndybde i SCALGO Live

- Finn volumet av en vannansamling med verktøyet “Point Query“ i SCALGO Live og bruk analysen “Flash Flood map“.
- Last ned “Flash Flood map“-analysen som et raster og åpne det i ArcMap.
- Gjør raster om til shape gjennom “Raster to polygon“.
- Velg en vannansamling (“Select Feature“) og noter arealet som står i attributtabelen. Gjør dette for samme vannansamlinger som ble målt med “Point Query“ i første punkt.
- Gjennomsnittlig vanndybde = $\frac{Volum}{Areal}$.

Figur C.1 viser hvordan arealet av oversvømmelsen ble funnet i Arcmap. Arealet er markert med rød ring i attributtabelen.

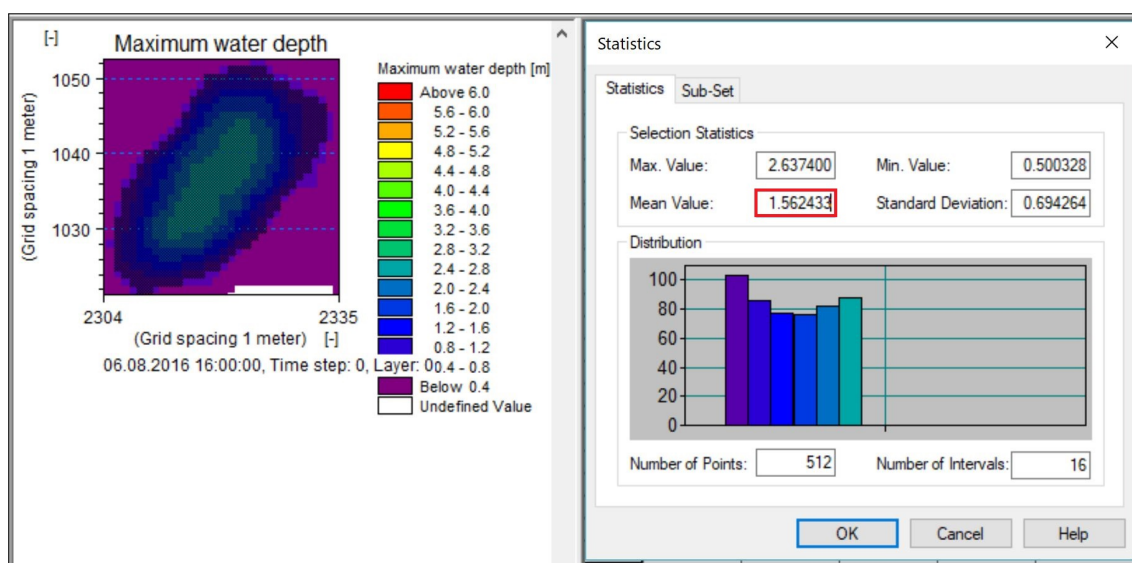


Figur C.1: Finne areal av en oversvømmelse i Arcmap

C.2 Gjennomsnittlig vanndybde i MIKE 21

- Bruk resultatfilen fra en kjøring som viser maksimal vanndybde og gjør om fra dfsu-til dfs2-fil (rasterformat).
- Zoom inn på oversvømmelsen som det er ønskelig å finne gjennomsnittlig vanndybde til. Her er det viktig at kun området som skal sjekkes ut viser, hvis ikke kan andre punkter tas med og påvirke utregningen av vanndybden.
- Velg “Select View“
- Bruk “Select values“ til å velge ut rutene som dekker oversvømmelsen.
- Velg “Tools“, og deretter “Calculate statistics“ for å regne ut vanndybden.

Figur C.2 viser den valgte oversvømmelsen og tilhørende kalkulererte verdier.



Figur C.2: Oversvømmelsen vises til venstre i figuren. Til høyre i figuren er gjennomsnittlig vanndybde markert med rød firkant.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway