



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Utvikling av GIS-verktøy for overvannsberegninger – hva kan oppnås gitt få inngangsverdier?

Development of a GIS-tool for stormwater
calculations – what can be achieved given few input
values?

Oskar Føyn Kielland
Vann- og miljøteknikk

Forord

Innleveringen av denne masteroppgaven markerer slutten på studiet vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tiden som student på Ås har vært givende og lærerik, og det er vemodig å takke farvel til denne perioden i livet mitt.

Hoveddelen av denne oppgaven har bestått av å utarbeide en modell i ArcGIS Pro til automatisering av overvannsberegninger. Prosessen med å utvikle denne modellen har til tider vært svært tøff, men den har også gitt meg mange erfaringer som jeg er glad for å kunne bringe med meg videre inn i arbeidslivet.

Først og fremst vil jeg få lov til å takke min dyktige og svært hjelpsomme veileder Kim Haukeland Paus for å ha støttet meg igjennom denne oppgaven fra start til slutt. Kim har bidratt med flere tanker og ideer, og har kommet med konstruktive tilbakemeldinger som har hjulpet meg med å gjennomføre denne oppgaven på best mulig vis. Jeg har vært heldig som har hatt ham som veileder.

Jeg vil også få rette en takk til Ingri Dymbe Birkeland, Jon Bergersen Zeigler og Inga McCarley Potter ved Asplan Viak som har latt seg intervju om oppgavens problemstilling og kommet med nyttige synspunkter som har vært gode bidrag til oppgaven. En ekstra takk til Jon Bergersen Zeigler for god hjelp med modelleringsverktøyet HEC-RAS. Jeg vil også takke Elise Gjessing og Agnes Aakre Hansen som har skrevet masteroppgave parallelt med meg og delt deres funn fra en gjennomgang av VA-normer og veiledere fra norske kommuner.

Til slutt vil jeg takke kjæresten min, familien min og venner som har støttet meg igjennom denne perioden og som har vært en stor motivasjon på veien mot fullført mastergrad ved NMBU.

Sammendrag

I flere år har overvann vært et tema som har blitt vurdert for sent i flere utbyggingsprosjekter i Norge, noe som igjen har ført til at løsningene som implementeres blir mer kostbare eller har dårligere funksjonalitet enn det som kunne ha vært oppnådd. Modelleringsverktøy kan være hjelpsomt til vurdering av overvann i tidlig fase, men av flere ulike årsaker er det ofte høy terskel for å benytte verktøyene som er tilgjengelige i dag. Hensikten med denne gradsoppgaven har vært å utvikle et brukervennlig verktøy for overvannsvurderinger som beregner flest mulig relevante resultater i tidlig fase, samtidig som det krever et minimum av input til gjennomføring av beregningene.

Verktøyet i denne gradsoppgaven er blitt utviklet i form av et modell-verktøy via GIS-verktøyet ArcGIS Pro, da ArcGIS Pro er en flerfunksjonell plattform som er tilgjengelig for de fleste private og offentlige instanser i Norge. Modellen er en sammensetning av innebygde verktøy i ArcGIS Pro utviklet av ESRI og selvlagde skript-verktøy som gjennomfører beregninger det ikke eksisterer noen innebygde verktøy til. Ved hjelp av kun tre inngangsparametere kan modellen, for et gitt planområde, beregne et bredt utvalg av feltkarakteristikker samt dimensjonerende vannføringer for ulike gjentakintervall. Metodikken i modellens beregninger er hovedsakelig basert på den rasjonale metode, og er derfor best egnet på små, urbane felt.

Igjennom gradsoppgaven er det blitt gjennomført en grundig testing av modellen på flere ulike områder med varierende størrelse, topografi og ulik grad av urbanisering. I tillegg er modellens beregninger blitt kontrollert mot resultater fra både manuell beregning via den rasjonale metode og resultater fra modelleringsverktøyet HEC-RAS. Høy korrelasjon mellom resultater fra modellen og manuelle beregninger tyder på at modellen er egnet til bruk for vurdering av overvann på de aller fleste mindre områder der manuelle metoder ellers ville ha blitt benyttet. Enkelte større avvik mellom beregningsresultater fra modellen og fra HEC-RAS indikerer imidlertid at det bør gjennomføres ytterligere testing av modellen i fremtiden slik at flere årsaker til avvik kan avdekkes, og også reduseres.

For å redusere terskelen for å benytte modelleringsverktøy i tidlig fase er verktøyets anvendelighet, og visualisering av resultatene, vel så viktig som beregningsresultatene i form av tall. Modellen er derfor programmert til å kreve minst mulig innsats fra brukeren, samtidig som den beregner alle nødvendige resultater. I tillegg presenteres og visualiseres resultatene automatisk når beregningene er ferdig. På denne måten tilfredsstiller modellen målet om et lettvinnt verktøy som kan benyttes i tidlig fase og som i tillegg krever få forkunnskaper fra brukeren.

Ut ifra den ferdig utviklede modellen, slik den er ved avslutningen på denne gradsoppgaven, kan det konkluderes med at det har lyktes i å utvikle et verktøy som kan automatisere flere av overvannsberegningene som gjennomføres i dag. Samtidig som verktøyet ikke er avhengig av store mengder inngangsdata, vil det kunne gi brukeren essensiell informasjon for vurdering av overvann i et planområde. Det kan dermed forventes at et verktøy liknende denne modellen kan redusere terskelhøyden for å benytte modelleringsverktøy i tidlig fase.

Summary

In Norway, stormwater management has for many years been considered too late in process of urban development. This has often resulted in more costly solutions, or solutions of less functionality than what could have been achieved with better planning. Modelling tools can be very useful when assessing stormwater problems in the early phase of a project. However, for several reasons, modelling tools are often refrained from being used. The intention with this master thesis has been to develop a user-friendly tool for assessment of stormwater, which calculates as many relevant results as possible, while at the same time requiring a minimum of input.

The tool has been developed in the form of a model tool using ArcGIS Pro software. ArcGIS Pro was chosen because of its multifunctionality, and because it is one of the most commonly used platforms by private companies, municipalities etc. This model tool combines the integrated geoprocessing tools developed by ESRI and self-made script tools. The tool performs calculations that cannot be done by any available geoprocessing tool. Using only three input-parameters, the model tool can, for a given area, calculate several hydrological parameters, in addition to stormwater peak flows for different recurrence intervals. The calculations are mainly based on the rational method, and the modelling tool is therefore best suited for small, urban areas.

Through this master thesis, the model tool has been thoroughly tested on several different areas of varying size, topography and level of urbanization. Additionally, the results calculated by the tool have been compared against results from manual calculation using the rational method, and results from the modelling tool HEC-RAS. High correlation between results from the model tool and the manual calculations indicates that the model tool can be used for stormwater assessments in most types of small areas, with a few limitations. However, deviations between the results from the model tool and HEC-RAS indicate that further testing of the tool should be conducted to uncover the cause of the deviations and further reduce them.

The applicability of the tool, and the visual presentation of the results, will be just as important as the results in the form of numbers in order to prevent people of refraining from using it. Hence, the tool has been programmed to demand as little effort as possible by the user, while simultaneously provide all the necessary results. In addition, the results are visualized automatically when the calculations are completed. In this way, the model tool fulfills the role of an easy to use tool in early phases which demands little prior knowledge from the user.

Based on the capabilities of today's developed model tool, it can be concluded that the development of a tool which can automatically conduct many of the stormwater calculations done manually today has been successful, using only software like ArcGIS Pro. Furthermore, the tool provides sufficient information for stormwater assessments in a given area, independent of large amounts of input data. It is therefore expected that a tool similar to this model tool is less likely to be refrained from being used compared to other available modelling tools today.

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
SUMMARY	III
FIGURER	VII
TABELLER	IX
FORKORTELSER	X
1 INTRODUKSJON	1
1.1 PROBLEMSTILLING	1
1.2 FORSKNINGSSPØRSMÅL	1
1.3 GRADSOPPGAVENS STRUKTUR	3
2 BAKGRUNN	4
2.1 UTFORDRINGENE MED OVERVANN	4
2.2 TRE-TRINNSSTRATEGIEN	6
2.2.1 <i>Trinn 0 - Planlegging</i>	7
2.3 REGULERINGSPLANER.....	9
2.4 FREMGANGSMÅTER FOR TIDLIGFASE-VURDERINGER	10
2.4.1 <i>Manuelle beregningsmetoder</i>	11
2.4.2 <i>Overflatemodeller</i>	12
2.4.3 <i>Ledningsnettmodeller og kombinerte modeller</i>	12
2.4.4 <i>Andre metoder</i>	13
2.5 ÅRSAKER TIL FORSINKET INKLUDERING AV OVERVANN I PLANFASEN	14
3 FORMLER OG PROGRAMVARE	16
3.1 FORMLER	16
3.1.1 <i>Den rasjonale formel</i>	16
3.1.2 <i>Konsentrasjonstid</i>	19
3.2 ARCGIS PRO	20
3.2.1 <i>Sammensatte verktøy</i>	21
3.2.2 <i>Programmering i ArcGIS - Python</i>	22
3.3 SCALGO LIVE	23
3.4 HEC-RAS	24
4 METODE	26
4.1 AUTOMATISERING AV FELTKARAKTERISTIKK-BEREGNINGER.....	26
4.1.1 <i>Lavpunkter - volum</i>	26
4.1.2 <i>Nedbørsfelt - areal</i>	28
4.1.3 <i>Feltlengde og feltakse</i>	28
4.1.4 <i>Høydeforskjell</i>	30
4.1.5 <i>Arealtype og avrenningskoeffisient</i>	30
4.1.6 <i>Konsentrasjonstid</i>	32
4.1.7 <i>Oppsummering</i>	33
4.2 AUTOMATISERING AV BEREGNINGER AV VANNFØRINGER	34
4.2.1 <i>Beregningsmetode</i>	34
4.2.2 <i>Forutsetninger og usikkerhet</i>	36
4.3 TESTING AV ARCGIS-MODELLEN	37

4.3.1	SCALGO Live.....	38
4.3.2	HEC-RAS.....	38
4.3.3	Manuell beregning	39
4.3.4	Utvelging av test-områder.....	40
4.4	UNDERSØKELSE AV VERKTØYETS ANVENDBARHET	41
5	RESULTATER OG DISKUSJON.....	43
5.1	ARCGIS-MODELLEN	43
5.1.1	Inngangsdata.....	43
5.1.2	Utgangsdata	45
5.1.3	Kjøretid.....	49
5.2	BEREGNINGSRISULTATER – DATA FRA TEST-OMRÅDER	51
5.2.1	Test-område 1: Asker, E18.....	53
5.2.2	Test-område 2: Asker, Vakåsveien	55
5.2.3	Test-område 3: Asker, Nye Vakås vei.....	57
5.2.4	Test-område 4: Asker, Brusefaret	59
5.2.5	Test-område 5: Asker, Holmen.....	61
5.2.6	Test-område 6: Asker, Greverudveien	63
5.2.7	Test-område 7: Asker, Langkroken	65
5.2.8	Test-område 8: Bærum, jernbanen.....	67
5.2.9	Test-område 9: Bærum, E18	69
5.2.10	Test-område 10: Oslo, Myrerskogveien.....	71
5.2.11	Test-område 11: Oslo, Gråkamveien.....	73
5.2.12	Test-område 12: Oslo, Hellerudveien.....	75
5.3	BEREGNINGSRISULTATER – OPPSUMMERING OG STATISTIKK	77
5.3.1	Vannføringer, valg av likning for konsentrasjonstid.....	78
5.3.2	Vannføringer, ArcGIS-modell mot manuelle beregninger.....	80
5.3.3	Vannføringer, ArcGIS-modell mot HEC-RAS.....	82
5.3.4	ArcGIS-modell mot SCALGO Live.....	84
5.3.5	Feltlengde mot feltakse.....	85
5.3.6	Pragmatisk konsentrasjonstid mot konsentrasjonstid for naturlige/urbane felt ..	86
5.3.7	Usikkerhet, feltakse-verktøy	88
5.4	ANVENDELIGHETEN VED ARCGIS-MODELLEN.....	88
5.4.1	Verdien av resultatene.....	88
5.4.2	Sammenlikning med SCALGO Live – Brukervennlighet og visualisering	89
5.4.3	Resultater fra brukertester	92
6	KONKLUSJONER.....	94
6.1	BESVARELSE AV FORSKNINGSSPØRSMÅL	94
6.1.1	Hvordan kan beregninger av feltkarakteristikker automatiseres?.....	94
6.1.2	Hvordan kan forenklete beregninger av vannføringer automatiseres?	94
6.1.3	I hvilken grad evner verktøyet å gjenskape resultater fra manuelle metoder samt resultater fra andre simuleringsverktøy?	94
6.1.4	Hvilke analyse-behov kan verktøyet resultater svare på, og hvordan bør resultatene fremstilles visuelt?	95
6.2	VIDERE ARBEID	96
6.2.1	Redusere usikkerhet.....	96
6.2.2	Redusere kjøretid.....	97
6.2.3	Forbedring av anvendeligheten	98
6.2.4	Ekstra funksjoner og brukerområder	98
6.2.5	Redusere avvik mellom ArcGIS-modellen og andre beregningsmetoder.....	99

REFERANSER.....	100
VEDLEGG A: SKRIPT FOR BEREGNING AV CELLE-AREAL	103
VEDLEGG B: SKRIPT FOR BEREGNING AV FELTAKSE OG MAKSHØYDE	104
VEDLEGG C: SKRIPT FOR BEREGNING AV NEDBØRINTENSITET.....	108
VEDLEGG D: SKRIPT FOR KONVERTERING AV RASTER-OPPLØSNING	110
VEDLEGG E: FLYTSKJEMA AV ARCGIS-MODELLEN.....	111

Figurer

Figur 2-1: Oversvømmelse av Sørlandet sykehus.....	5
Figur 2-2: Illustrasjon av tre-trinnsstrategien.....	7
Figur 3-1: Eksempel på IVF-kurve fra Lambertseter i Oslo.....	18
Figur 3-2: Illustrasjon av prinsippet "Eight direction flow model".....	20
Figur 3-3: Eksempel på modell fremstilt i ModelBuilder.....	21
Figur 3-4: Illustrasjon av hvordan analyser i SCALGO Live kan ta hensyn til forsenkinger i terrenget.....	23
Figur 4-1: Illustrasjon av verktøyet "Fill".....	27
Figur 4-2: Illustrasjon av forskjellen på feltlengde til venstre og feltakse til høyre.	29
Figur 4-3: Illustrasjon av prinsippet bak beregning av feltakse.....	29
Figur 4-4: Arealtype-inndeling basert på AR50-data.....	31
Figur 4-5: Oversiktsbilde av området i Asker hvor det er beregnet vannføringer via HEC-RAS.....	41
Figur 5-1: Eksempel på hvordan regndata-tabellen som brukes i ArcGIS-modellen må se ut i excel.....	44
Figur 5-2: Utsnitt av brukergrensesnittet i ArcGIS Pro.....	45
Figur 5-3: Forsenkinger i terrenget og dreneringslinjer visualisert av ArcGIS-modellen.....	46
Figur 5-4: Vannføringer og usikkerhet av feltakse-verktøy visualisert av ArcGIS-modellen.....	47
Figur 5-5: Utsnitt av brukergrensesnittet slik det kan se ut etter at resultatene er lagt inn.....	49
Figur 5-6: Plott av kjøretid mot antall celler i inngangsdata-rasteret med høydedata.....	50
Figur 5-7: Dreneringslinjer i test-område 1.....	53
Figur 5-8: Dreneringslinjer i test-område 2.....	55
Figur 5-9: Dreneringslinjer i test-område 3.....	57
Figur 5-10: Dreneringslinjer i test-område 4.....	59
Figur 5-11: Dreneringslinjer i test-område 5.....	61
Figur 5-12: Dreneringslinjer i test-område 6.....	63
Figur 5-13: Dreneringslinjer i test-område 7.....	65
Figur 5-14: Dreneringslinjer i test-område 8.....	67
Figur 5-15: Dreneringslinjer i test-område 9.....	69
Figur 5-16: Dreneringslinjer i test-område 10.....	71
Figur 5-17: Dreneringslinjer i test-område 11.....	73
Figur 5-18: Dreneringslinjer i test-område 12.....	75
Figur 5-19: Plott av vannføringer beregnet via konsentrasjonstid for naturlige felt mot vannføringer beregnet via konsentrasjonstid for urbane felt, ArcGIS-modell.....	78
Figur 5-20: Plott av vannføringer beregnet via konsentrasjonstid for naturlige felt mot vannføringer beregnet via konsentrasjonstid for urbane felt, manuell beregning.....	79
Figur 5-21: Plott av vannføringer fra ArcGIS-modell mot vannføringer fra manuell beregning, naturlig konsentrasjonstid.....	80
Figur 5-22: Plott av vannføringer fra ArcGIS-modell mot vannføringer fra manuell beregning, urban konsentrasjonstid.....	81
Figur 5-23: Plott av vannføringer via konsentrasjonstid for urbane fra ArcGIS-modell mot vannføringer fra HEC-RAS.....	83

Figur 5-24: Plott av areal på nedbørsfelt beregnet av ArcGIS Pro mot areal på nedbørsfelt beregnet av SCALGO Live	84
Figur 5-25: Plott av midlere avrenningskoeffisient beregnet av ArcGIS-modellen mot midlere avrenningskoeffisient beregnet ved hjelp av SCALGO Live,.....	85
Figur 5-26: Plott av feltlengder fra ArcGIS-modell mot feltakser fra ArcGIS-modell	86
Figur 5-27: Plott av pragmatiske konsentrasjonstider fra ArcGIS-modell mot konsentrasjonstider for urbane/naturlige felt fra ArcGIS-modell	87
Figur 5-28: Sammenlikning av visualisering av overvannsdata	91

Tabeller

Tabell 3-1: Eksempler på avrenningskoeffisienter for 2 - 10-årsregn	17
Tabell 3-2: Anbefalte klimafaktorer fra januar 2020	18
Tabell 4-1: Konvertering av AR50-data til avrenningskoeffisienter.	31
Tabell 4-2: Oppsummeringstabell av feltkarakteristikker beregnet av ArcGIS-modellen	34
Tabell 4-3: Oppsummeringstabell for beregning av parameterne i den rasjonale formel.....	36
Tabell 5-1: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 1.	53
Tabell 5-2: Beregnede vannføringer for test-område 1.....	54
Tabell 5-3: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 2.	55
Tabell 5-4: Beregnede vannføringer for test-område 2.....	56
Tabell 5-5: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 3.	57
Tabell 5-6: Beregnede vannføringer for test-område 3.....	58
Tabell 5-7: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 4.	59
Tabell 5-8: Beregnede vannføringer for test-område 4.....	60
Tabell 5-9: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 5.	61
Tabell 5-10: Beregnede vannføringer for test-område 5.....	62
Tabell 5-11: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 6.	63
Tabell 5-12: Beregnede vannføringer for test-område 6.....	64
Tabell 5-13: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 7.	65
Tabell 5-14: Beregnede vannføringer for test-område 7.....	66
Tabell 5-15: Beregninger av feltkarakteristikker fra test-område 8.....	67
Tabell 5-16: Beregninger av vannføringer for test-område 8.	68
Tabell 5-17: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 9.	69
Tabell 5-18: Beregnede vannføringer for test-område 9.....	70
Tabell 5-19: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 10.	71
Tabell 5-20: Beregnede vannføringer for test-område 10.....	72
Tabell 5-21: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 11.	73
Tabell 5-22: Beregnede vannføringer for test-område 11.....	74
Tabell 5-23: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 12.	75
Tabell 5-24: Beregnede vannføringer for test-område 12.....	76

Forkortelser

Akronym	Forklaring
GIS	Geografisk informasjonssystem
HEC	Hydrologic Engineering Center
IVF	Intensitet-Varighet-Frekvens
LOD	Lokal overvannsdiskonering
NOU	Norsk offentlig utredning
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
RAS	River Analysis System
ROS	Risiko og sårbarhet
VA	Vann og avløp

1 Introduksjon

Overvann er vann som genereres ved regnskyll og ved smelting av is og snø (Ødegaard, 2014). Når overvann akkumuleres i større mengder og renner av på overflaten kan det føre til flere ulike konsekvenser, som blant annet kjelleroversvømmelser, fuktskader og utslipp av forurensning til vassdrag. Problemene blir stadig mer aktuelle som en følge av den økte urbaniseringen, både i Norge og i utlandet. I tillegg er det forventet at klimaendringer vil forverre situasjonen i fremtiden. Det er derfor nødvendig å inkludere overvannstiltak ved planlegging av infrastruktur for å bekjempe både dagens og fremtidens overvannsrelaterte utfordringer. Tre-trinnsstrategien (Lindholm, 2008) benyttes i dag ofte som et veiledende prinsipp for dette. Oppfølging av denne strategien vil riktignok kreve at den inkluderes hele veien fra tidlig fase til slutfasen.

1.1 Problemstilling

I 2015 la et utvalg nedsatt av Norges regjering frem sin utredning *Overvann i byer og tettsteder – Som problem og ressurs*, heretter referert til som NOU 2015:16. Der fremkommer det at helhetlig vurdering av overvannshåndtering i en tidlig fase er nøkkelen for å sikre tiltak som er i tråd med nasjonale forventninger. Imidlertid erfarer bransjen i dag at overvannet vurderes på et for sent tidspunkt i flere utbyggingsprosjekter. Dette vil kunne resultere i fordyrende løsninger og/eller løsninger som ikke tilfredsstiller myndighetenes intensjoner og krav. En årsak til at overvannet ikke vurderes tidlig nok er trolig høy terskel for å benytte seg av de verktøy som er tilgjengelige for overvannsberegninger. Verktøyene krever ofte høy brukerkompetanse, mye inngangsverdier, egne lisenser og/eller gir ikke tilstrekkelig med informasjon til brukeren. Det er derfor en etterspørsel for et modelleringsverktøy som er enkelt å bruke, krever lite input og samtidig kan gi en klar visualisering av behovet for overvannshåndtering i et planområde.

1.2 Forskningsspørsmål

Ved vurdering av overvann i dag benyttes typisk GIS-verktøy for beregning av blant annet dreneringslinjer og lavpunkt. ArcGIS PRO er én av flere programvarer som benyttes til slike vurderinger. ArcGIS PRO inneholder flere innbygde funksjoner som kan beregne forskjellige parametere, og som kan automatiseres og modifiseres av brukeren ved hjelp av programmering.

Det overordnede målet med denne oppgaven er å utarbeide et verktøy som er kompatibelt med ArcGIS PRO, og som kan benyttes til å automatisere beregningene som gjøres i dag, spesielt med hensyn til de behov for vurderinger og sammenstillinger som er nødvendig i tidlig planleggingsfase ved utvikling av nye områder. I tillegg skal muligheten for å utvide verktøyet fra en ren overflatemodell til en hydrologisk modell utforskes. Formålet er et verktøy som gir god visualisering av behov for overvannshåndtering, samtidig som det krever minimalt med innsats fra brukeren. Det er også vektlagt å dokumentere de automatiseringene av beregninger som verktøyet gjennomfører.

Videre vil det gjøres en vurdering rundt fordelene og ulempene med verktøyet i forhold til andre tilgjengelige modelleringsverktøy, og om det kan gi den informasjonen som er nødvendig for brukeren i en tidligfase-vurdering. Verktøyet skal testes i bruk for å undersøke hvor anvendelig det er. Målet med dette er å kartlegge hvordan terskelhøyden for å benytte seg av et modelleringsverktøy i trinn 0 i tretrinnsstrategien kan reduseres.

For å nå de overordnede målene er det stilt fire forskningsspørsmål:

Spørsmål 1: *Hvordan kan beregninger av feltkarakteristikker automatiseres?*

Spørsmål 2: *Hvordan kan forenklete beregninger av vannføringer automatiseres?*

Spørsmål 3: *I hvilken grad evner verktøyet å gjenskape resultater fra manuelle metoder, samt resultater fra andre simuleringsverktøy?*

Spørsmål 4: *Hvilke analyse-behov kan resultatene fra verktøyet svare på, og hvordan bør resultatene fremstilles visuelt?*

1.3 Gradsoppgavens struktur

Denne gradsoppgaven er delt inn i seks hovedkapitler, hvorav det første kapitlet – *Introduksjon* – presenterer oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål, og avsluttes med dette delkapitlet.

I kapittel 2 – *Bakgrunn* – gjøres det rede for teorien bak problemstillingen ved gjennomgang av dagens situasjon knyttet opp mot overvannshåndtering i tidlig fase, og bakgrunnsliteratur. Ved slutten av kapittel 2 presenteres det resultater fra intervjuer med et utvalg av VA-ingeniører om problemstillingen. Årsaken til at resultatene fra disse intervjuene er lagt inn i kapitlet som omhandler oppgavens bakgrunn, og ikke i kapitlet om oppgavens resultater, er at disse resultatene er ment for å bygge opp om oppgavens problemstilling, og ikke for å besvare oppgavens forskningsspørsmål.

Kapittel 3 – *Formler og programvare* – omhandler teorien om likninger og programvare som er blitt benyttet i metoden for å besvare oppgavens forskningsspørsmål. Inndelingen i to separate kapitler om teori begrunnes med at det går et klart skille mellom innholdet i kapittel 2 og 3, og derfor er ikke teorien om likninger og programvare lagt til kapittel 2.

Kapittel 4 – *Metode* – gjør rede for hvordan gradsoppgavens forskningsspørsmål blir besvart. Dette består hovedsakelig av hvordan utviklingen av verktøyet i ArcGIS Pro er blitt gjennomført, i tillegg til hvordan verktøyet er blitt testet med hensyn på flere aspekter av verktøyet.

I kapittel 5 – *Resultater* – presenteres det hvordan det ferdig utviklede verktøyet kan brukes og hva det kan gjennomføre, resultater fra testing av verktøyet og drøfting av test-resultatene samt en gjennomgang av verktøyets anvendelighet.

Gradsoppgaven avsluttes med kapittel 6 – *Konklusjoner* – hvor gradsoppgavens konkludering av problemstillingen presenteres, i tillegg til drøfting av videre arbeid med verktøyet i fremtiden.

2 Bakgrunn

2.1 Utfordringene med overvann

Det er et stort mangfold av overvannsrelaterte utfordringer som rammer Norge og resten av verden i dag. De mest åpenbare er de skader på bygninger og infrastruktur som forårsakes av overvannsflommer som kan oppstå ved kraftige regnskyll. Skadeomfanget er imidlertid langt større enn dette. Overvannsflommene medfører stor massetransport av sedimenter som igjen fører til gjentetting av vannveier, samt problemer for planter og organismer i elvene (Skaaraas et al., 2015). Forurensing er også en reell konsekvens av overvannsflommer, dette gjelder spesielt for urbane områder hvor vannet som oftest renner via flere kilder til forurensing (Phillips et al., 2018; Walsh et al., 2012). I tillegg kan dårlig håndtering av overvannet ha flere estetiske konsekvenser, som for eksempel transport av søppel og vond lukt.

I de siste årene har overvannsrelaterte utfordringer fått mer oppmerksomhet, blant annet som en følge av rapporten *Klima i Norge 2100* (Hanssen-Bauer et al., 2015). Et av hovedfunnene i denne rapporten er at styrtregneepisodene i Norge, og de påfølgende regnflommene, vil forekomme oftere enn før, gitt at klimagassutslippene fortsetter å øke raskt (Hanssen-Bauer et al., 2015). Et annet funn er at årsnedbøren samlet sett vil øke, med en median på rundt 18%. Dette vil føre med seg flere og større utfordringer for fremtidens arealplanleggere, da det må tas større hensyn til både små og store regnfall. Det økte fokuset på overvannshåndtering, blant annet gjennom NOU 2015:16, er sentralt for å unngå at skadene som kan følge av fremtidens klimaendringer blir for store (Skaaraas et al., 2015).

Konsekvensene av den økte overflateavrenningen er størst i tettbygde områder. Dette skyldes ikke bare andelen tette flater, men også potensialet for flere materialskader og samfunnsmessige konsekvenser som eksemplifisert i Figur 2-1. I byer og tettsteder er skadeomfanget størst, både når det gjelder direkte skader som bygningsskader og skader på infrastruktur, og indirekte skader som forsinkelser i trafikken og forurensinger (Skaaraas et al., 2015). Overbelastninger av fellesledninger vil føre til store utslipp av forurenset vann, og i noen tilfeller vil klimaendringene kunne doble disse utslippene (Hovdenak, 2011). Oversvømmelser i sykehus, barnehager og skoler kan i verste fall føre til personskader. Den langvarige effekten som urbanisering har på nærliggende vannforekomster bør heller ikke undervurderes (Walsh et al., 2012). Selv om det er stor usikkerhet knyttet opp mot fremtidens populasjonsvekst i Norge er

det god grunn til å tro at den vil være størst i de allerede tett bebodde områdene (Skaaraas et al., 2015). De overnevnte utfordringene, i tillegg til fremtidens klimaendringer, gir gode argumenter til å prioritere smart og effektiv overvannshåndtering i tettbygde områder.



*Figur 2-1: Oversvømmelse av Sørlandet sykehus i 2014 som en følge av kraftig nedbør.
Foto: Sondre Steen Holvik*

Overvannshåndtering har tidligere vært et fenomen som ikke ble planlagt før det var helt nødvendig (Noreide, 1996), noe som i flere tilfeller har ført til kortsiktige løsninger. De tradisjonelle metodene i tettbygde områder har ofte bestått av å lede overvannet vekk i overvannsledninger eller fellesledninger sammen med avløpsvannet. Å lede overvann til fellesledninger medfører store investeringskostnader fordi avløpsnettene da må dimensjoneres for å tåle en mye høyere vannføring ved intens nedbør (Noreide, 1996). I tillegg brukes det ressurser på unødvendig rensing av overflatevannet når det sendes sammen med avløpet til rensesanlegg. Det vil også være problematisk å lede alt overflatevannet direkte til resipienten, da det er blitt påvist at økosystemet til resipienter som mottar store mengder urensset overflatevann over kort tid vil bli svekket (Walsh et al., 2012). Ettersom at det nå er forventet flere og større overvannsflommer i fremtiden vil slike løsninger være ugunstige, både med hensyn på økonomi og miljøvern.

I NOU 2015:16 konkluderte utvalget med at overvannsutfordringene må løses lokalt, og at overvannshåndteringen må inkluderes tidligere i planprosessen. Lokal overvannsdiskonering (LOD) blir ofte pekt på av utvalget som mer fremtidsrettet, og noe som bør benyttes i en fremtid

med tettere bebyggelse og mer intens nedbør. LOD-tiltak har som hensikt å håndtere overvannet så nærme kilden som mulig før vannet har tid til å renne av og samle seg til store vannføringer, og på denne måten dempe flomtoppene. Det har ved flere anledninger blitt påvist en positiv effekt på overflateavrenningen fra tiltak som regnbed, sedumtak og åpne bekker (Fred, 2017; Hammes, 2013; Kunduraci, 2016; Magnussen et al., 2015). Disse tiltakene kan samtidig benyttes som en ressurs i lokalmiljøet (Lindholm, 2008).

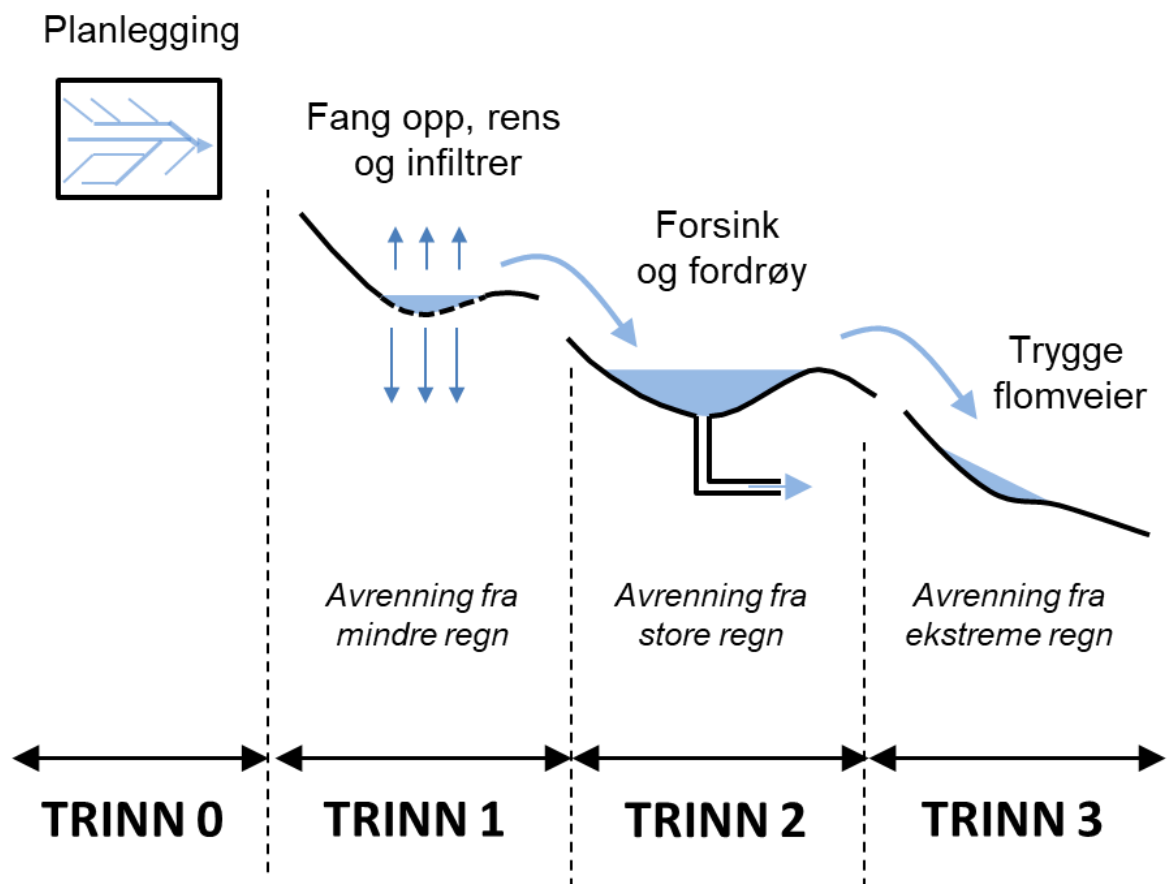
2.2 Tre-trinnsstrategien

Den mye omtalte tre-trinnsstrategien, eller treleddsstrategien, er etter hvert blitt et veiledende prinsipp for norske planleggere etter at den ble lansert av Norsk Vann i 2008 (Lindholm, 2008). Strategien går ut på å dele opp de forskjellige tiltakene for overvannshåndtering i grupper, avhengig av hvilken mengde vann de kan håndtere og i hvilken grad overvannet kan håndteres lokalt, se Figur 2-2. De tre gruppene er som følger:

- Trinn 1: Forsinket avrenning gjennom **infiltrasjon**
- Trinn 2: Forsinket avrenning gjennom **fordrøyning**
- Trinn 3: Sikre **flomveier** til resipient

Tiltak som grønne tak og andre permeable flater vil kunne fange opp og infiltrere de mindre vannmengdene. Under mindre regnfall vil trinn 1 alene kunne samle opp mesteparten av avrenningen, og dermed redusere bruken av trinn 2 og 3. Vannmengdene som ikke kan håndteres av trinn 1 sendes videre til anlegg som har som funksjon å holde tilbake og forsinke vannet lengst mulig før det sendes videre. Dette vil dempe flomtoppene ved å senke størrelsen på den maksimale vannføringen til resipienten. Trinn 2 kombineres ofte med trinn 1 i form av regnbed og infiltrasjonsbasseng hvor vannet både infiltreres og fordrøyes. Andre tiltak som bidrar til trinn 2 er fordrøyningsmagasiner, åpne dammer og kontrollerte oversvømmelsesarealer. Når regnhendelsen er av en slik karakter at trinn 1 og 2 ikke kan håndtere vannmengdene alene skal det resterende vannet ledes vekk til resipienten på en forsvarlig måte via planlagte flomveier (trinn 3). Slik blir de største flomskadene unngått. Det er viktig å ta hensyn til trinn 3 når det planlegges sidegrøfter, parkeringsområder og gågater, da slike områder vil kunne ende opp som flomveier uansett om det er blitt planlagt eller ikke (Skaaraas et al., 2015).

Den overordnede hensikten med denne strategien er å benytte vannet som en ressurs for estetikk og biologisk mangfold, samtidig som hovedmålet med å forebygge overvannrelaterte skader blir oppnådd (Lindholm, 2008). Hvilke tiltak som lønner seg kan imidlertid variere imellom forskjellige planområder, og aktuelle tiltak for overvannshåndtering bør prioriteres etter hvilke mål man har med tiltakene (Ødegaard, 2014). Noen eksempler på det som kan oppnås med LOD-tiltak er å redusere belastningen på det offentlige ledningsnett i henhold til krav fra kommunen, redusere forurensingen resipienten utsettes for eller redusere risikoen for oversvømmelse i nærområdet. Hvert planområde må altså vurderes som et unikt tilfelle, og grundig planlegging ifra tidlig fase vil være nøkkelen til å oppnå målene med overvannshåndteringen. Planleggingen av tre-trinnsstrategien kan kalles for trinn 0.



Figur 2-2: Illustrasjon av tre-trinnsstrategien (Lindholm, 2008). Trinn 0 er etter hvert blitt lagt til som en del av illustrasjonen (Paus, 2018).

2.2.1 Trinn 0 - Planlegging

Tre-trinnsstrategien er en metode som kan gi gode resultater hvis den brukes som et veiledende prinsipp hele veien fra planleggingsfasen til byggefasen (Ødegaard, 2014). Det er viktig at

strategien er et fastsatt prinsipp fra og med tidlig fase for å unngå å falle tilbake på mer lettvinne løsninger, da gjennomføring av tre-trinnsstrategien krever et godt samspill mellom alle parter som er inkludert (Braskerud & Paus, 2018). Dette gjelder spesielt i urbane områder hvor det er begrenset med tilgjengelig areal til blågrønne strukturer.

I planleggingsfasen er det som regel inkludert flere ulike aktører som alle gjør det de kan for at deres mål oppnås (Ødegaard, 2014). Hvis hver aktør gjør planleggingen internt kan det være vanskelig å få fremhevet betydningen av overvannshåndteringen for alle. Tverrfaglig samarbeid er derfor en viktig forutsetning for et bra resultat. LOD-tiltak er ofte arealkrevende (Miljødirektoratet, 2016b), og det er derfor viktig å argumentere med at slike tiltak kan oppfylle flere formål som kan tilfredsstille flere aktørers perspektiv (Braskerud & Paus, 2018; Seifert-Dähnn et al., 2018). Hvis det skal utarbeides en konseptvalgutredning for prosjektet er det viktig at overvannshåndtering inngår i denne, da konseptvalgutredning kan være en bra metode som sørger for et godt, tverrfaglig samarbeid mellom alle parter (Sleipnes & Amundsen, 2019).

Til å fremheve nødvendigheten av overvannshåndtering vil det være nyttig med en oversikt over hvilke deler av det gitte planområdet som er mest utsatt for overvannsutfordringer. Det vil si hvor eventuelle flomveier i området går, hvor det kan bli ansamlinger av overvann, hvor større vannføringer kan forekomme eller andre overvannsrelaterte scenarier. En visuell kartlegging over dette vil tydeliggjøre behovet for å inkludere overvannshåndtering i tidlig fase, og en slik kartlegging kan fremskaffes ved hjelp av diverse programvare (Nordeidet et al., 2015). Slike analyser kan imidlertid bli nedprioritert som en følge av mangel på tid, lite kompetanse eller andre årsaker, se delkapittel 2.5.

Hvis ikke god overvannshåndtering forutsettes i tidlig planleggingsfase faller valget ofte i stedet på mer kortsiktige løsninger (Braskerud & Paus, 2018). Dette er ofte tilfellet hvis det ikke stilles tydelige krav til utbygger av kommunen. For å kunne implementere LOD-tiltak og sikre forsvarlig overvannshåndtering bør dette inngå i arealplanleggingen, helst i form av at kommunene fastsetter dette i kommuneplaner, reguleringsplaner osv (Ødegaard, 2014). Det kan forhindre at effektive løsninger blir nedprioritert. Tidlig inkludering av overvannshåndtering er også en del av *Strategi for Overvannshåndtering i Oslo 2013-2020*, hvor det fastslås at overvann skal være en naturlig del av tidlig planlegging (Oslo kommune, 2013).

2.3 Reguleringsplaner

Plan- og bygningsloven er blitt beskrevet som et virkemiddel med meget godt potensiale for å sørge for prioritering av overvannshåndtering (Miljødirektoratet, 2016b; Skaaraas et al., 2015). Dette er spesielt viktig i allerede utbygde områder hvor planleggingsprosessen vil være vanskeligere (Skaaraas et al., 2015). I NOU 2015:16 skriver utvalget også at overvann først og fremst burde integreres i planleggingsfasen, og at det burde tas hensyn til overvann i arealdelen av kommuneplanen og reguleringsplaner.

I arealplanen som inngår i kommuneplanen til norske kommuner setter kommunene grenser og betingelser for hvordan tilgjengelig areal skal fordeles i ulike områder. Her har kommunene mulighet til å fastsette bestemmelser som sørger for god overvannshåndtering. Dette gjelder også i reguleringsplaner hvor arealbruken beskrives mer detaljert. En spørreundersøkelse gjennomført av utvalget i NOU 2015:16 viser at for utbyggingsområder har 49 prosent av norske kommuner prinsipper for overvannshåndtering i sine reguleringsplaner, og 33 prosent i arealdelen i kommuneplanen (Skaaraas et al., 2015). Tilsvarende tall for eksisterende bebyggelse er at 33 prosent av kommunene inkluderer det i reguleringsplaner og 24 prosent i kommuneplanens arealdel. Kravene som stilles i areal- og reguleringsplanene har ofte uklare formuleringer, noe som kan være en mulig årsak til feil og mangler på overvannstiltak da det ikke gis tydelige retningslinjer å forholde seg til (Miljødirektoratet, 2016a).

I en gjennomgang gjort av VA-normer og veiledere fra diverse kommuner i Norge (Gjessing & Hansen, 2020) har det blitt undersøkt i hvilken grad disse omfatter implementering av tretrinnsstrategien samt hvorvidt det legges opp til at tretrinnsstrategien skal være en del av reguleringsplaner. Resultatene fra denne undersøkelsen viser at flere kommuner inkluderer tretrinnsstrategien i sine veiledere, men at det i sjeldnere grad blir nevnt i forbindelse med utforming av reguleringsplaner. Det blir ofte satt diverse krav til gjennomføring av de forskjellige trinnene, men ikke nødvendigvis til at overvannshåndtering skal være inkludert i tidlig planleggingsfase. I flere tilfeller er også kravene som stilles formulert på en slik måte at de er vanskelige å følge opp for utbyggeren. Et eksempel er at det stilles et generelt krav til rensing av overvannet, men at det ikke spesifiseres hva som skal renses eller hvilken rensegrad som kreves. I tillegg formuleres i flere tilfeller kravene mer som anbefalinger og føringer enn krav, noe som fører til at de ofte blir nedprioritert fremfor krav som er bedre definert.

Gjennomgangen av VA-normer og veiledere (Gjessing & Hansen, 2020) viser også at i kommuner hvor det kun stilles generelle krav til overvannshåndtering, men ingen krav til reguleringsplaner, blir overvann svært ofte utelatt av reguleringsplaner. Dette er imidlertid også ofte tilfellet i kommuner hvor det settes tydelige krav i VA-normene, for eksempel Oslo kommune. Det har ikke blitt funnet noen tilfeller hvor det anbefales å bruke modelleringsverktøy i sammenheng med planlegging av overvannshåndtering. Det nevnes kartlegging av overvannsflokker i enkelte veiledere, men det er ikke stilt krav eller gitt anbefalinger om hvilke metoder som bør benyttes til dette.

2.4 Fremgangsmåter for tidligfase-vurderinger

I forbindelse med kommunenes utvikling av arealplaner utføres det alltid en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse) hvor det kartlegges forskjellige risikable elementer i områdene planen er gjeldende for (Miljødirektoratet, 2016b). Her blir potensialet for overvannsskader ofte tatt med, men dette er ikke et krav. Overvannsproblematikken blir i sjeldnere grad inkludert av mindre kommuner enn av større kommuner i disse analysene (Gjerde, 2018). Hvis det avdekkes en betydelig risiko for overvannsskader i et område vil det være nødvendig med en mere detaljrik analyse av området (Nordeidet et al., 2015).

Et viktig bidrag til ROS-analysen vil være en kartlegging av steder hvor det vil kunne forekomme overvannsflokker, ved hjelp av modellering eller andre metoder. På tross av at slike analyser som oftest gir tilfredsstillende resultater (Nordeidet et al., 2015) er det i dag en relativt liten andel av kommunene som benytter seg av kartlegging av flomveier i ROS-analyser, spesielt i mindre kommuner (Gjerde, 2018). Behovet for avanserte flomanalyser kan riktignok være større i mer urbaniserte kommuner, men en god visualisering av skadepotensialet vil alltid være et nyttig virkemiddel for å begrunne arealbruken til overvannshåndtering (Nordeidet et al., 2015; Skaaraas et al., 2015). En slik kartlegging kan gjennomføres via enkel programvare som krever relativt lite inngangsdata, vanligvis bare terrengdata (Bratlie, 2015; Nordeidet et al., 2015). Denne prosessen kan også automatiseres, se delkapittel 3.2. Hvis det er gjort en kartlegging av flomveier kan neste steg være beregninger av vannføringer for forskjellige gjentaksintervall hvor det brukes Intensitet-Varighet-Frekvenskurver (IVF-kurver) for det gjeldende området. Dette vil være hensiktsmessig ettersom at regnhendelser i Norge har regionale variasjoner (Førland et al., 2015). I dag eksisterer det flere

tilgjengelige beregningsmetoder som krever ulike mengder inngangsverdier og ulike grader av brukerkompetanse, som igjen gir resultater med ulike grader av kvalitet.

Kartlegging av overvannsflokker og innhenting av annen relevant overvannsdato er en viktig forutsetning for implementering av fornuftige overvannstiltak som vil fungere bra i fremtidens klima (Oslo kommune, 2013). Metodene som benyttes til dette vil variere imellom hvert enkelt tilfelle, og vil spesielt avhenge om det dreier seg om ny eller eksisterende bebyggelse (Oslo kommune, 2013; Skaaraas et al., 2015). For områder med eksisterende bebyggelse vil det i større grad være nødvendig å innhente informasjon om den eksisterende situasjonen og eventuelle problemer som overvannet forårsaker per dags dato. Dette kan blant annet bestå av å teste infiltrasjonskapasiteten til grøntarealer i området eller å finne ut hvilke mengder vann ledningsnettene kan motta hvis det er lite kapasitet til LOD-tiltak i området. I svært urbane områder kan avrenningsmønsteret være annerledes enn tidligere antatt (Usda., Scs., 1986), noe som kan kreve mer detaljert informasjon for å analysere behovet for overvannstiltak. Skaderisikoen i området vil som nevnt tidligere også avgjøre hvor avanserte beregninger som må gjennomføres.

2.4.1 Manuelle beregningsmetoder

Manuelle beregningsmetoder vil som regel gi resultater med mindre nøyaktighet enn avanserte modeller, men vil også være mindre tidkrevende og kreve mindre input (Skaaraas et al., 2015). For beregning av vanndybde er den rasjonale formel en metode som ofte anvendes på små, urbane felt (Nordeidet et al., 2015). Denne metoden er imidlertid lite egnet for større felt som en følge av alle forutsetningene som ligger til grunn for formelen. Se avsnitt 3.1.1 for flere detaljer om den rasjonale formel.

En annen manuell beregningsmetode som kan benyttes til flomberegninger i tidlig fase er likningene fra Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt, utviklet av etatsprogrammet «NATURFARE - infrastruktur, flom og skred» (NIFS). Dette formelverket inneholder likninger som kan beregne middelflommen for et område, og forholdet mellom denne middelflommen og en flom med et gitt gjentakintervall (Glad et al., 2015). Formelverket baserer seg på regresjonsanalyse av regndata fra 165 målestasjoner i Norge. Denne metoden for flomberegninger regnes for å være en av de mindre usikre manuelle beregningsmetodene (Stenius et al., 2015), men ettersom at metoden er myntet på beregninger for vassdrag, og ikke

er egnet til bruk på urbaniserte felt (Glad et al., 2015; Stenius et al., 2015) blir den sett bort ifra videre i denne oppgaven.

2.4.2 Overflatemodeller

Det finnes flere geografiske informasjonssystem (GIS-verktøy) i dag som blant annet kan gjennomføre analyser av terrengdata i et område. Slike analyser kan gi nyttig informasjon om hvordan infrastrukturen i et område bør planlegges ved å visualisere risikoen for overvannsflommer i feltet. En enkel metode er å fremskaffe dreneringslinjer – linjer som visualiserer retningen vannet vil renne basert på terrenget. I tillegg kan terrenganalyser beregne størrelsen på et områdes nedbørsfelt – området som drenerer til ett og samme utløpspunkt. Utvalget i NOU 2015:16 anbefaler at det gjennomføres analyser via enkle overflatemodeller for alle nedbørfelt i utbyggingsområder (Skaaraas et al., 2015). I dag eksisterer det flere verktøy som kan benyttes til dette, blant annet QGIS og GRASS GIS, hvorav begge er tilgjengelige som gratis nedlastbar programvare. Plattformen ArcGIS er imidlertid en av de mest brukte, da programvare-leverandøren ESRI er markedsledende både i Norge og i utlandet (Nordeidet et al., 2015). ESRI leverer både den nettbaserte programvaren ArcGIS Online, og ArcGIS Pro som denne oppgaven tar for seg.

GIS-verktøy kan brukes til flere andre ulike formål enn flomanalyser. Ved hjelp av kombinasjoner av funksjonene som er tilgjengelige i de forskjellige GIS-plattformene kan man blant annet analysere hvilke plasseringer av overvannstiltak i terrenget som gir best mulig effekt (Jato-Espino et al., 2016) og analysere nytteverdien av eksisterende overvannstiltak (Koehn et al., 2011). Det er også mulig å beregne vanndybder, og analysere effekten terrenget har av urbanisering, ved å benytte hydrologiske data som input (Maathuis et al., 1999). I tillegg kan enkelte overflatemodeller benyttes til estimering av forurenset overflatevann og kildeprosporing (Koehn et al., 2011). De ulike mulighetene innenfor GIS-plattformer generelt, og ArcGIS Pro spesielt, blir beskrevet videre i delkapittel 3.2.

2.4.3 Ledningsnettmodeller og kombinerte modeller

En av svakhetene ved overflatemodeller er at de ikke tar hensyn til ledningsnettets evne til å håndtere overvann (Nordeidet et al., 2015), noe som kan være en av de mest sentrale påvirkningene på overflateavrenningen i urbane områder. Analysene som gjennomføres av overflatemodeller vil dermed forutsette oversvømte ledningsnett og fravær av overvannstiltak.

For å analysere hvordan overflateavrenningen påvirker ledningsnettene kan diverse ledningsnettmodeller tas i bruk. Disse modellene kombinerer ledningsnettdata med blant annet regndata og terrengdata for å simulere strømming av overflatevann i ledningsnettene. Eksempler på slike modeller er SWMM, MIKE Urban og ROSIE, hvorav sistnevnte kan brukes som en utvidelse av ArcGIS.

De overnevnte modelleringsverktøyene vil imidlertid ikke kunne analysere påvirkningen ledningsnettene vil ha tilbake på overflateavrenningen. På grunn av dette må det benyttes kombinerte modeller som kan analysere overflateavrenningen i sammenheng med rørstrømmingen i ledningsnettene. MIKE Flood er et eksempel på programvare som kan brukes til dette. Kombinerte modeller er riktignok ofte svært kompliserte, og krever tilstrekkelig med brukerkompetanse for å benytte seg av (Nordeidet et al., 2015). I NOU 2015:16 anbefaler utvalget å benytte kombinerte modeller for del-nebørsfelt i høy-risiko-områder med kompliserte hydrologiske og hydrauliske forhold (Skaaraas et al., 2015).

2.4.4 Andre metoder

I tidlig fase i et utbyggingsprosjekt kan det i enkelte tilfeller være nødvendig å undersøke det gjeldende området nærmere hvis spesielle forhold gjør at manuelle beregningsmetoder eller modelleringsverktøy gir uriktige resultater. Eksempelvis kan infiltrasjonskapasiteten til grønne flater i området være en annen enn det tilgjengelig data vil tilsi. Det må da gjennomføres infiltrasjonsmålinger på området for å finne ut hvilken mengde nedbør de grønne flatene kan håndtere. Andre tilfeller kan være nylige endringer i terrenget som fører til at dreneringslinjer i området vil ta en annen vei enn det som vises av en terrenganalyse med tilgjengelig kartdata. Ved å gjøre en befaring på området kan terrenget undersøkes slik at terrengdataen i modelleringsverktøyet eventuelt kan modifiseres i henhold til det observerte. Andre forhold som kan gjøre det nødvendig med befaring er manglende data over ledningsnett, eller tilstanden på eksisterende overvannstiltak som må undersøkes.

2.5 Årsaker til forsinket inkludering av overvann i planfasen

I forbindelse med denne masteroppgaven har det blitt gjennomført samtaler med flere VA-ingeniører som har erfaringer med analyser av overvann i tidlig fase, og som har erfaring med problematikk knyttet til sen inkludering av overvann. Utvalget består av følgende personer:

- Ingri Dymbe Birkeland, Sivilingeniør hydrologi, Asplan Viak AS
- Jon Bergersen Zeigler, Sivilingeniør, Asplan Viak AS
- Inga McCarley Potter, Sivilingeniør, Asplan Viak AS

Utvalget er blitt stilt spørsmål om i hvilken grad de har erfart at overvann vurderes for sent i utbyggingsprosjekter, hva de mener er årsaken til dette og hvordan det kan løses. Årsaken til at dette gjennomgås i dette kapittelet er fordi det utgjør en vesentlig del av bakgrunnen for oppgaven og diskusjonene i kap. 5.

Hva som defineres som tidlig fase i et prosjekt er det ingen klar definisjon på ifølge utvalget, men det vil som regel dreie seg om reguleringsfasen. At VA-ingeniører som oftest her blir inkludert senere enn andre parter er utvalget enig om. I tidlig fase blir som regel planarkitektene inkludert i større grad, da deres ansvar er å utarbeide løsninger for andre forhold enn overvann som ofte regnes som mere relevante i tidlig fase. Utvalgets oppfatning her er at det kan oppleves mer naturlig både for oppdragsgiver og arkitektene at de mer grunnleggende detaljene er på plass først, og detaljene rundt overvannshåndteringen, i likhet med flere andre fag, blir dermed ofte satt på vent. Konsekvensene av dette blir ofte at løsningene som utarbeides av planarkitekten må revideres når VA-ingeniørene blir brakt inn på banen, noe som ofte ikke skjer før det skal utarbeides en rammeplan. Dette fører til løsninger av dårligere kvalitet enn det som kunne vært oppnådd ved tidligere inkludering av VA-ingeniører i prosjektet.

Ifølge utvalget skyldes det i de fleste tilfeller hvor overvann vurderes for sent i et prosjekt en kombinasjon av økonomi og bevissthet. En av utfordringene i tidlig fase er å overbevise oppdragsgiver og planarkitektene om at det vil være nødvendig med en faglig vurdering av overvannet. Ettersom overvannshåndtering er et relativt nytt tema i Norge kan det for enkelte veie tungt at det skal brukes penger og ressurser på noe det ikke har måttet blitt brukt penger på før. Utredninger av overvann kan være dyrt å gjennomføre, og ressursbruken må derfor begrunnes ved å fremheve nødvendigheten av det. Ettersom at planarkitektene ofte er den tidligste inkluderte part vil det være deres oppgave å formidle dette til oppdragsgiveren. Ifølge

utvalget er bevisstheten rundt overvann på bedringens vei, men problemstillingen forblir aktuell.

I tidlig fase i et prosjekt mener utvalget det er unødvendig med meget detaljrik informasjon om overvannet for å øke bevisstheten til de inkluderte parter. En enkel oversikt over aktsomhetsområder og mulige overvannsrelaterte utfordringer vil dermed være tilstrekkelig. I flere prosjekter vil et verktøy som automatisk kan fremlegge en slik oversikt være til stor nytte. Hovedfunksjonen til dette verktøyet vil være å overbevise planleggerne at det er nødvendig å inkludere VA-ingeniørene i tidlig fase. Ideelt sett bør et slikt verktøy være enkelt å bruke slik at det er egnet for folk med mindre kompetanse om modelleringsverktøy, og samtidig krever lite ressurser. Det er også utvalgets oppfatning at ettersom dette verktøyet ikke skal brukes av fagpersoner, så er den visuelle formidlingen av resultatene viktigere enn resultater i form av tall.

SCALGO Live blir nevnt av flere i utvalget som et verktøy som kan benyttes til denne oppgaven, men det blir også presisert at dette verktøyet har sine begrensinger. Beregningene i SCALGO Live tar foreløpig ikke hensyn til lokal regndata eller infiltrasjon, noe som reduserer nytteverdien av resultatene. Det er også viktig å huske at SCALGO Live er et verktøy som har et relativt snevert bruksområde sammenliknet med andre verktøyer i samme prisklasse, som for eksempel ArcGIS Pro. Betalingsviljen for SCALGO Live kan dermed være lav, spesielt for mindre firmaer. Det kommer riktignok stadig nye oppdateringer til dette verktøyet, og det er derfor gode grunner til å tro at funksjonaliteten til SCALGO Live vil bli større i fremtiden.

Det blir også nevnt av utvalget at NVE sin karttjeneste NEVINA kan anvendes i enkelte tilfeller, da nettsiden er tilgjengelig for alle og er relativt brukervennlig. Nettsiden kan automatisk beregne diverse feltparametere, blant annet størrelse på nedbørsfelt, maksimal høyde i felt, og arealfordeling. Problemet med NEVINA er at beregningene som gjøres er basert på grove forenklinger, og bakgrunnsdataen har lav oppløsning. I tillegg kan det kun gjøres beregninger for områder i nærheten av vassdrag, og nettsiden er derfor mindre egnet for små, urbane felt.

3 Formler og programvare

I dette kapitlet gjøres det rede for likninger som metoden baseres på, og forutsetningene som likningene bygger på, samt programvaren som benyttes til å forsøke å besvare forskningsspørsmålene.

3.1 Formler

3.1.1 Den rasjonale formel

Den rasjonale formel er en av de enklere metodene som benyttes for å beregne maksimal vannføring i urbane områder (Chin, 2013; Ødegaard, 2014; Stenius et al., 2015). Formelen har vært i bruk siden midten av 1800-tallet (Chin, 2013) og skrives som oftest på samme form som likning (1).

$$Q = \varphi * A * I \quad (1)$$

Hvor

- Q = avrent vannføring fra området [l/s]
- φ = avrenningskoeffisient, forholdet mellom avrent nedbør på overflaten og nedbørmengde [-]
- A = nedbørsfeltets areal, området innenfor vannskillene for feltet [ha]
- I = nedbørsintensitet [$\frac{l}{s*ha}$]

Beregning av maksimal avrenning fra et område via den rasjonale formel gjøres på bakgrunn av flere forutsetninger, og resultatene fra likningen er derfor betegnet som overslagsberegninger (Nordeidet et al., 2015; Ødegaard, 2014; Stenius et al., 2015). En av forutsetningene er konstant og uniform avrenningskoeffisient over hele nedbørsfeltet, under hele nedbørshendelsen (Stenius et al., 2015). Dette gjelder også nedbørintensiteten, som også forutsettes konstant og uniform (Stenius et al., 2015). I tillegg forutsettes det at den maksimale avrenningen fra området opptrer etter feltets konsentrasjonstid (Chin, 2013; Ødegaard, 2014), altså at Imhoffs sats gjelder. Dermed settes regnvarigheten (t_r) lik konsentrasjonstiden (t_k) ved beregning via den rasjonale formel. For enkelte felt med en «uvanlig» form kan forutsetningen om Imhoffs sats være en kilde til usikkerhet for metoden (Ødegaard, 2014).

Som en følge av de nevnte forutsetningene vil beregningsresultatene fra den rasjonale formel være svært usikre hvis formelen brukes på store områder. Den maksimale størrelsen på nedbørsfeltet til området det anbefales å benytte formelen på varierer mellom 0.5 km² (Lindholm, 2008) til 5 km² (Statens Vegvesen, 2014).

Parameterne som er nødvendige for å regne ut den maksimale vannføringen kan anskaffes via flere metoder. Størrelsen på nedbørsfeltet kan måles ut via kart, eller kan regnes ut automatisk via GIS-verktøy (Bratlie, 2015; Nordeidet et al., 2015). Hvor stort nedbørsfeltet er kan imidlertid avhenge av størrelsen på regnet, da enkelte ujevnheter i terrenget kun vil fylles opp ved intens nedbør og dermed påvirke vannskillene. For beregning av maksimal vannføring kan disse ujevnheterne antas å være fylt opp.

Avrenningskoeffisienten som benyttes i formelen antas å inkludere all tap av nedbør over hele området (Chin, 2013), og det kan derfor være utfordrende å estimere denne parameteren. Forholdet mellom avrenning og nedbør avhenger ikke bare av andelen permeable flater i nedbørsfeltet, men også av regnvarighet, nedbørintensitet og metningsgraden i jorda (Chin, 2013; Nilsen, 2011; Ødegaard, 2014; Stenius et al., 2015). Estimering av avrenningskoeffisient bør derfor i størst mulig grad inkludere lokale forhold (Ødegaard, 2014) for et resultat med høyest mulig presisjon. Usikkerheten knyttet til valg av avrenningskoeffisient er mindre for områder med lite permeable flater (Chin, 2013).

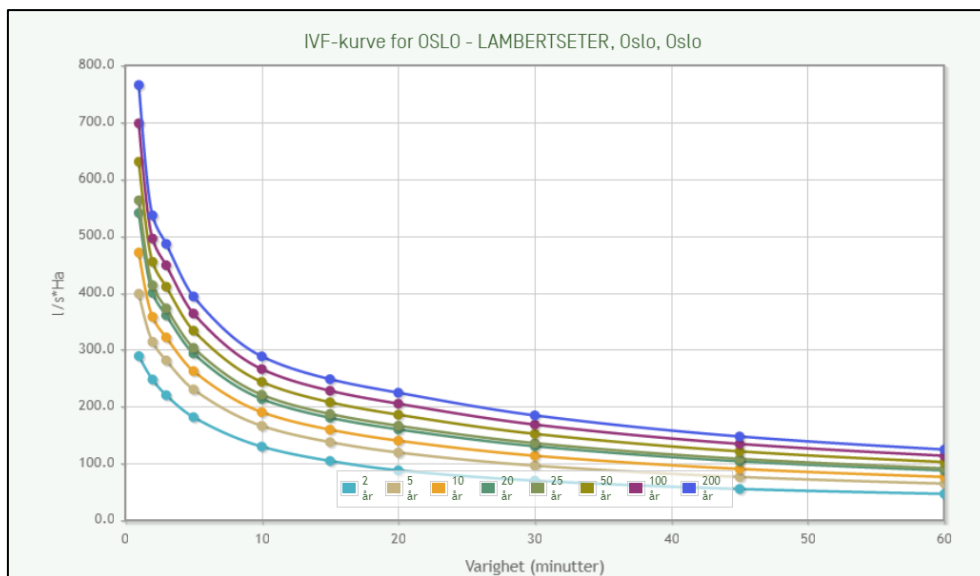
Tabell 3-1: Eksempler på avrenningskoeffisienter for 2 - 10-årsregn (Chin, 2013)

Type flater	φ
Tak	0.75 – 0.95
Asfalterte veger og gater	0.70 – 0.95
Plen, sandig grunn	0.05 – 0.10
Bysentrum	0.70 – 0.95
Parker, kirkegårder	0.10 – 0.25
Industriområder	0.50 – 0.80

Midlere avrenningskoeffisient kan beregnes for sammensatte felt via likning (2).

$$\varphi_{midlere} = \frac{\varphi_1 A_1 + \varphi_2 A_2 + \dots + \varphi_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Den maksimale avrenningen for et område vil avhenge av den lokale nedbørstatistikken, og det må derfor benyttes data som er best egnet for området. Nedbørdata i form av IVF-kurver kan benyttes til å anskaffe dimensjonerende nedbørintensitet. Dette gjøres ved å velge en regnvarighet lik konsentrasjonstiden for området, og deretter velge ut tilhørende nedbørintensitet i kurven for dimensjonerende returperiode, se Figur 3-1. Ettersom at dagens infrastruktur ofte dimensjoneres for returperioder over 10 år gjør dette estimatene for vannføringene mer usikre da svært få målestasjoner i Norge har lange nok måleserier til å kunne si noe sikkert om regn med lange returperioder (Stenius et al., 2015).



Figur 3-1: Eksempel på IVF-kurve fra Lambertseter i Oslo hentet fra Norsk Klimaservicesenter sine nettsider. IVF-data kan også lastes ned i tabell-format.

Som en følge av fremtidens forventede klimaendringer (Hanssen-Bauer et al., 2015) anbefales det å tillegge beregningene av dimensjonerende nedbørintensitet et klimapåslag som skal representere de fremtidige endringene (Norsk Klimaservicesenter, 2020). De seneste oppdaterte anbefalingene fra Norsk Klimaservicesenter per dags dato er gitt i Tabell 3-2.

Tabell 3-2: Anbefalte klimafaktorer fra januar 2020 (Norsk Klimaservicesenter, 2020)

Regnvarighet	Dimensjonerende gjentakintervall < 50 år	Dimensjonerende gjentakintervall ≥ 50 år
≤ 1 time	1,4	1,5
> 1 – 3 timer	1,4	1,4
> 3 – 24 timer	1,3	1,3

Ved dimensjonering for kortere levetid enn 20 år kan det sees bort i fra klimapåslag (Norsk Klimaservicesenter, 2020).

Klimapåslagene i Tabell 3-2 baserer seg på rapporten «Klimapåslag for korttidsnedbør» (Dyrrdal & Førland, 2019) og tar hensyn til beregninger av fremtidige endringer av både hyppighet og intensitet. Påslagene øker ved større gjentakintervall og kortere regnvarighet. På grunn av mengden usikkerhet i beregningene som ligger til grunn for klimapåslagene er verdiene ment som anbefalinger. For planlegging av fremtidig infrastruktur anbefales det å benytte datagrunnlaget som gir høyest mulig klimafaktor i de enkelte kommunene (Skaaraas et al., 2015).

3.1.2 Konsentrasjonstid

Konsentrasjonstiden til et nedbørsfelt er definert som tiden det tar for vannet å renne fra det fjerneste punktet i feltet til utløpspunktet/målepunktet. Ved beregning av maksimal vannføring via den rasjonale formel settes konsentrasjonstiden lik regnvarigheten. Konsentrasjonstid kan regnes ut via en rekke forskjellige formler, hvorav de mer beregningstunge formlene er avhengige av flere av det gjeldende områdets feltkarakteristikker (Chin, 2013). Statens vegvesen sine anbefalte formler, som opprinnelig ble publisert i en SINTEF-rapport (Berg et al., 1992) er gitt som følgende:

$$t_{cSVV} = 0.6 * \frac{L}{H^{0.5}} + 3000 * A_{se} \quad (3)$$

$$t_{cSVV} = 0.02 * \frac{L^{1.15}}{H^{0.39}} \quad (4)$$

Hvor parameterne defineres som følgende (Berg et al., 1992):

- t_{cSVV} = konsentrasjonstiden [min]
- L = lengden fra fjerneste punkt i nedbørsfeltet til utløpet [m]
- H = høydeforskjellen fra høyeste punkt i nedbørsfeltet til utløpet [m]
- A_{se} = effektivt innsjøareal i feltet, angitt i andel, $0 < A_{se} < 1$

Konsentrasjonstiden til et felt kan også beregnes via den pragmatiske metoden ifølge NVE sine retningslinjer for flomberegninger (Midttømme et al., 2011).

$$t_{cPrag} = \frac{L_F}{\frac{m}{t}} \quad (5)$$

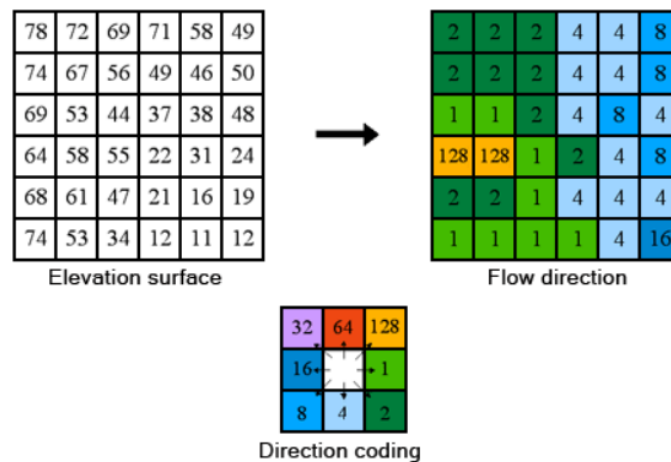
Hvor

- t_{cPrag} = konsentrasjonstiden [s]
- L_F = feltlengden [m]
- $\frac{m}{t}$ = vannhastigheten [m/s]

NVE sin veileder til flomberegninger for små felt (Stenius et al., 2015) anbefaler å bruke likning (5) på felt større enn 5 km².

3.2 ArcGIS PRO

ArcGIS Pro er et GIS-verktøy som kan brukes til å håndtere og utforske data innenfor flere ulike fagfelt, som for eksempel overvannsdata og hydrologiske data. I ArcGIS Pro er det innebygd flere ulike funksjoner som kan benyttes til diverse dataanalyser. Disse funksjonene, eller verktøyene, er gruppert inn i såkalte «toolboxes» ut ifra deres bruksområde. Eksempler på verktøysett er «Image Analysis Tools» og «Spatial Analysis Tools». I verktøysettet «Hydrology» kan flere verktøy brukes til fremstilling av blant annet lavpunkter, nedbørsfelt og dreneringslinjer (ESRI, udatert-b) med terrengdata som input. Terrengdata kan importeres gratis som raster-data fra diverse nettsider, som for eksempel hoydedata.no.



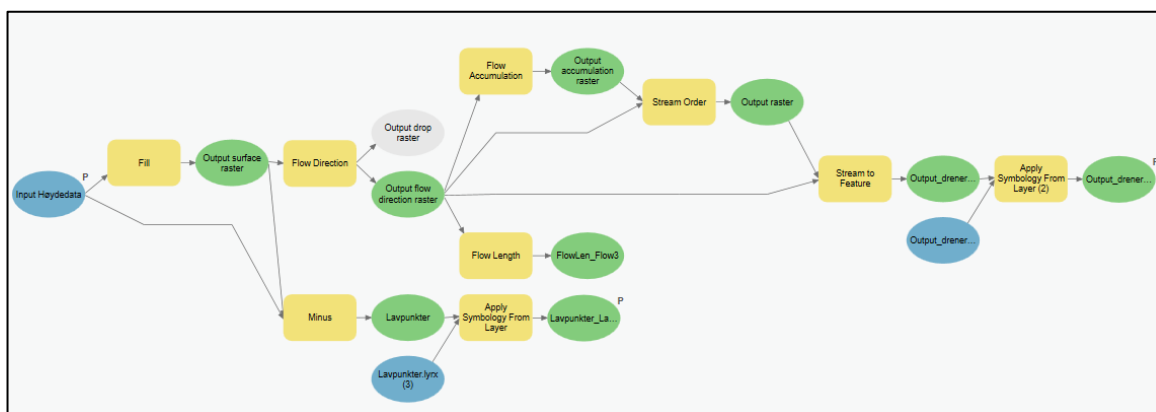
Figur 3-2: Illustrasjon av prinsippet "Eight direction flow model" (ESRI, udatert-b)

Et av prinsippene som verktøyene baserer seg på er blant annet «eight direction flow model», som for hver celle i terrengmodellen bestemmer hvilken omliggende celle vannet vil renne mot (Figur 3-2). I henhold til dette prinsippet kan vannet kun renne en av de åtte mulige retningene, og vil alltid renne mot cellen med lavest høydeverdi. Ved hjelp av dette kan man predikere hvor

vannet vil renne i terrenget ved et regnfall. Det tas imidlertid ikke hensyn til andre faktorer enn høyden på terrenget, for eksempel infiltrasjon eller ledningsnett i området. Verktøyet som gjennomfører denne prosessen i ArcGIS Pro kalles «Flow Direction».

3.2.1 Sammensatte verktøy

Flere av verktøyene i ArcGIS Pro må brukes i sammenheng med hverandre da enkelte verktøy krever resultater fra andre verktøy som må kjøres i forkant. Eksempelvis krever verktøyet «Flow Accumulation» input fra verktøyet «Flow Direction» for å kunne beregne nedbørsfelt. Enkelte beregninger kan kreve en lengre sammensetning av de forskjellige verktøyene, noe som kan føre til en tungvinn fremgangssprosess. Tjenesten «ModelBuilder» i ArcGIS PRO kan brukes til å forenkle og automatisere slike prosesser (ESRI, udatert-c) ved å koble sammen flere verktøy til et sammensatt verktøy. ModelBuilder visualiserer sammensetningen av verktøyene i et flytskjema, slik som vist i Figur 3-3, og lar den sammensatte prosessen kjøres i sin helhet.



Figur 3-3: Eksempel på modell fremstilt i ModelBuilder i ArcGIS Pro. Verktøy er symbolisert med gule firkanter, mens inngangsdata og utgangsdata er symbolisert med blå eller grønne sirkler.

Sammensatte verktøy i GIS-programvare er i flere tilfeller blitt demonstrert til å kunne gjennomføre et bredt spekter av ulike oppgaver. Et eksempel er en metode utviklet i Finland hvor ArcGIS ble benyttet til å lage en modell for å analysere effekten av permeable vegdekker på overflateavrenningen i et område (Jato-Espino et al., 2016). Denne modellen kan også brukes til å identifisere områder hvor permeable vegdekker burde prioriteres med hensyn på helning i terreng, grunnvannsspeil og nærliggende veier.

Muligheten for å benytte ArcGIS til å kartlegge forurenset avrenning i urbane områder har også blitt undersøkt. Ved å kombinere en terrengeanalyse med vannbalanselikninger ble det utviklet en modell i Arkansas i USA som både beregner mengden potensielt forurenset

overflateavrenning, og samtidig kan benyttes til å spore kilder til forurensing (Koehn et al., 2011). I tillegg kan resultatene fra modellen brukes til å evaluere effekten av overvannstiltak i områder som bidrar med mye overflateavrenning.

Et annet eksempel på bruk av sammensatte GIS-verktøy er kartlegging av hvordan urbanisering påvirker overvannet. I et studie som tok for seg et område i byen Dhaka i Bangladesh ble det utarbeidet en modell for analyser av overflateavrenningen for både daværende og fremtidig terreng (Maathuis et al., 1999). Den eksisterende terrengmodellen ble modifisert ut ifra forventet fremtidig urbanisering, og ved å se på differansen i avrent overvannsvolum ble behovet for fremtidige fordrøyingstiltak kartlagt. Artikkelen beskriver GIS-verktøy som et meget anvendbart verktøy for vurdering av overvann i tidlig fase (Maathuis et al., 1999).

3.2.2 Programmering i ArcGIS - Python

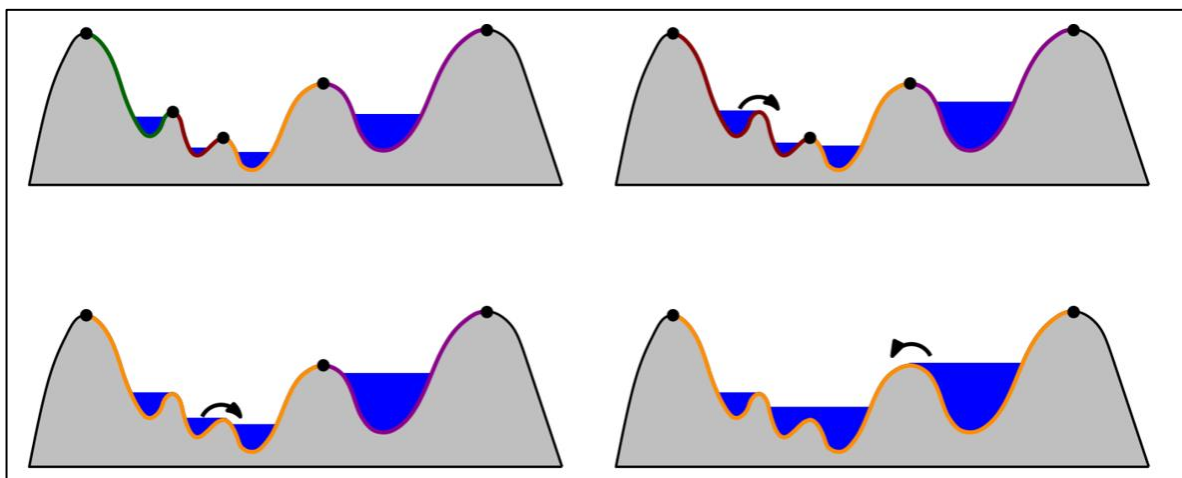
Python er et programmeringsspråk som benyttes til blant annet programvareutvikling, web-utvikling og dataanalyse. Python ble introdusert for første gang i ArcGIS når ESRI lanserte ArcGIS 9.0 i 2004, og er i dag det dominerende programmeringsspråket innenfor automatisering av prosesser i ArcGIS (ESRI, udatert-d). Ved å benytte Python-koding i ArcGIS kan prosesseringsverktøy kjøres automatisk, og i tillegg kan det automatiseres prosesser som ikke allerede er integrert i ESRI sine egne «geoprocessing tools». I ArcGIS Pro kan Python-kode benyttes ved å kjøre enkle kodelinjer i konsoll-vinduet, og ved kjøring av større «scripts». Dette kan gjøres enten internt i brukergrensesnittet eller eksternt.

Python-scripts kan importeres til ArcGIS Pro, og implementeres som et eget verktøy, som igjen kan brukes på lik linje med verktøy som allerede er integrert i ArcGIS Pro. Slike selvlagde verktøy betegnes som «Script tools». Etersom at forfatteren av et Python-script kontrollerer hele verktøyets funksjonalitet er det svært lite begrensinger for hva som kan utføres i ArcGIS Pro ved hjelp av Script tools. Python sine innebygde moduler består av en rekke ulike funksjoner som kan brukes til å behandle inngangsdataen som mottas av et Script tool. Forfatteren kan også kontrollere hva slags utgangsdata verktøyet skal produsere, for eksempel en tabell, ett nytt kartlag i ArcGIS Pro eller begge deler samtidig. Script tools kan også implementeres i ModelBuilder på samme måte som andre verktøy, og kan på den måten gjøres til en del av en sammensatt prosess.

3.3 SCALGO Live

SCALGO Live er en lisensiert karttjeneste utviklet av det danske programvareselskapet SCALGO. Verktøyet ble lansert i Norge i 2018, og er med det et av de nyeste verktøyene som benyttes til overvannsberegninger i Norge i dag. Hovedfunksjonen til SCALGO Live er å formidle overvannsdata ved hjelp av en visuell fremstilling i form av dreneringslinjer og områder hvor vannansamlinger vil forekomme. Analysene gjøres på bakgrunn av nasjonale høydemodeller som oppdateres fortløpende med ny tilgjengelig data (SCALGO, udatert-a). Høydemodellen kan også modifiseres ved hjelp av diverse verktøy, slik at terrengdataen samsvarer bedre med det virkelige terrenget. Verktøyene kan blant annet legge inn forhøyninger eller forsenkinger i terrenget, eller legge inn overvannstiltak som fordrøyingsbasseng og kulverter. På denne måten kan det gjøres analyser ut ifra fremtidige endringer i terrenget som enten planlegges eller forventes.

SCALGO Live kan fremstille overvannsdata på kartet via to forskjellige analysemetoder. Den første forutsetter at alle forsenkinger i terrenget er fylt opp med vann. Dermed vil vannet som renner via disse forsenkingene renne tvers over. Denne analysemetoden kalles for «Depression-free flow», og er best egnet til å simulere større regnhendelser hvor det kan antas at samtlige forsenkinger har gått fulle. Den andre analysemetoden, «Flash Flood Mapping», tar hensyn til det faktum at andelen forsenkinger som er fylt opp med vann avhenger av nedbørsmengden, og at dette dermed påvirker vannskillene og avrenningsmønstrene, se Figur 3-4. Nedbørsmengden som analysene gjennomføres ut ifra kan endres via en glidebryter i brukergrensesnittet.



Figur 3-4: Illustrasjon av hvordan analyser i SCALGO Live kan ta hensyn til forsenkinger i terrenget (SCALGO, udatert-b)

SCALGO Live sine funksjoner kan benyttes til å hurtig anskaffe en oversikt over risikoen for flom i et område. Analysene tar imidlertid ikke hensyn til faktorer som ledningsnett, infiltrasjon eller lokale variasjoner i regnstatistikk. Det kan heller ikke gjennomføres hydrologiske eller hydrauliske analyser i verktøyet, og det må derfor benyttes andre modelleringsverktøy til dette. Det er likevel viktig å påpeke at SCALGO Live er et relativt nytt verktøy som stadig får nye oppdateringer, og det er dermed mulig at flere av de nevnte manglene vil bli implementert i verktøyet etter hvert.

3.4 HEC-RAS

HEC-RAS er et gratis tilgjengelig modelleringsprogram utviklet av United States Army Corps of Engineers. Programmet har som hovedfunksjon å simulere kanalstrømning i elver og bekker, og å analysere oversvømmelser over elvebreddene. I tillegg kan HEC-RAS sin funksjon «RAS Mapper» brukes til flomanalyser av et terreng, og dermed gi en oversikt over aktsomhetsområder. RAS Mapper er en funksjon som fungerer som HEC-RAS' eget GIS-verktøy, og brukergrensesnittet har flere likhetstrekk med andre GIS-verktøy.

HEC-RAS kan motta flere ulike typer inngangsdata, noe som lar programmet gjennomføre en rekke ulike analyser, blant annet av vannkvalitet og transport av sedimenter. Analysene er også tidsavhengige. Det vil si at HEC-RAS simulerer hendelser for over en lengre periode, i motsetning til i ArcGIS Pro hvor det simuleres for kun ett øyeblikk.

Selv om HEC-RAS kan brukes til flere av de samme analysene som i GIS-verktøy er det fundamentale forskjeller mellom beregningsmetodene i de forskjellige verktøyene. I motsetning til GIS-verktøy beregner HEC-RAS vannets strømningsretninger ut ifra et rutenett med såkalte «breaklines». Disse linjene legges inn i rutenettet enten manuelt eller ifra en importert fil, og definerer vannets strømningsretninger i rutenettet. I HEC-RAS kan også vannet renne flere ulike retninger på samme tid fra et område, i motsetning til i ArcGIS slik som beskrevet innledningsvis i delkapittel 3.2.

Når det gjelder overvannsberegninger vil den nødvendige inngangsdataen være terrengdataen som analysene skal gjennomføres på bakgrunn av. I tillegg kan det legges inn regndata for det tidsrommet HEC-RAS gjennomfører simuleringene over. Dette er en av fordelene sammenliknet med den rasjonale metode, ettersom at det muliggjør mer realistiske

forutsetninger for analysene. Den rasjonale metode forutsetter kasseregning, altså at nedbørintensiteten er konstant over hele regnhendelsen. I HEC-RAS kan det derimot benyttes både trekantregning, symmetriske blokkhyetogram eller andre fremstillinger av regnhendelser.

Når simuleringene i HEC-RAS er gjennomført kan resultatene fremstilles i RAS Mapper. Her kan vanddybdene som vil oppstå ved regnoversvømmelser visualiseres på kartet. I tillegg kan det gjøres analyser av vannføringer ved å benytte såkalte «profile lines». En profile line tegnes manuelt av brukeren i kartet og vil definere tverrsnittet som resultatene fra de øvrige analysene skal hentes ut ifra. HEC-RAS kan da gi resultater i form av blant annet vannføringer. Resultatene presenteres som tabeller og grafer over tidsrommet simuleringen har foregått.

HEC-RAS er et verktøy som krever relativt mange forkunnskaper, både når det kommer til hydrologi og hydraulikk, og bruk av selve verktøyet. I tidlig fase kan derfor andre verktøy være mer anvendbare for å effektivt anskaffe informasjon om overvann i et område. Verktøyet kan imidlertid gjennomføre relativt avanserte analyser som kan være svært nyttige å sammenlikne resultater fra andre verktøy imot.

4 Metode

Hoveddelen av metodikken i denne oppgaven går ut på å utvikle en modell via ArcGIS Pro, heretter referert til som «ArcGIS-modellen» eller «modellen», som i størst mulig grad automatiserer beregningene som er verdt å gjennomføre i tidlig fase. ArcGIS-modellen er utviklet ut ifra av en kombinasjon av verktøy i ModelBuilder som allerede er integrert i ArcGIS Pro og Script Tools. Se delkapittel 3.2 for mer bakgrunnsinformasjon om mulighetene for modellering i ArcGIS Pro.

En stor del av utviklingen av ArcGIS-modellen har bestått av å teste resultatene fra beregningene som gjennomføres mot resultater fra andre beregningsmetoder. Testingen kartlegger også hvordan eventuelle kilder til usikkerhet i beregningene påvirker resultatene. Det er også blitt gjort en vurdering av hvordan resultatene kan fremstilles på best mulig måte for brukeren, slik at de gir en forståelse av det eventuelle behovet for overvannstiltak i området.

I dette kapittelet beskrives hovedsakelig oppbygningen av ArcGIS-modellen, og det gjøres også rede for hvordan de ulike beregningene i modellen gjennomføres. I tillegg forklares det hvordan ArcGIS-modellen er blitt testet, vurdert og sammenliknet med andre modelleringsverktøy.

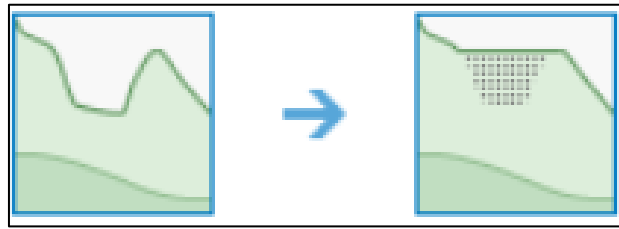
4.1 Automatisering av feltkarakteristikk-beregninger

Det som betegnes som feltkarakteristikker i denne gradsoppgaven er parametere som kan være relevante for vurderinger av områdets overvannssituasjon iht. den rasjonale formel. Dette inkluderer blant annet størrelse på nedbørsfelt, feltlengde, arealtype og konsentrasjonstid. I dette delkapittelet beskrives det hvordan parameterne beregnes ut ifra ArcGIS-modellen.

4.1.1 Lavpunkter - volum

Ved større nedbørshendelser vil det samles opp vann i grøfter og groper som vannet ikke har noen vei å renne ut av. Områder hvor slike ansamlinger vil forekomme kan kartlegges og visualiseres i ArcGIS Pro ved hjelp av verktøyet «Fill». Verktøyet behandler høydedata i form av rastere som inngangsdata, og identifiserer celler som ikke har noen naboceller med en lavere høydeverdi. Forsenkingene blir deretter «fylt opp», ved at høydeverdien på disse cellene blir satt lik den av nabocellene med lavest høydeverdi, se Figur 4-1, da vannet vil renne i denne retningen når forsenkingen er full. Lavpunkter kan deretter identifiseres ved å subtrahere det

fylte rasteret med det opprinnelige rasteret, se likning (6). I ArcGIS-modellen gjennomføres disse prosessene i sin helhet av innebygde verktøy utviklet av ESRI.



Figur 4-1: Illustrasjon av verktøyet "Fill" i ArcGIS Pro (ESRI, udatert-a)

$$Lavpunkter = \text{"Fylt raster"} - \text{"opprinnelig raster"} \quad (6)$$

Lavpunkter fremstilles som raster-data, hvor verdien i hver celle er høydedifferansen mellom det fylte rasteret, og det opprinnelige høyedata-rasteret, i meter. Disse verdiene kan deretter omregnes til volumet vann hver enkelt celle vil inneholde når forseningene er fylt med vann. Dette gjøres ved hjelp av et selvlaget Script Tool (Vedlegg A) som henter ut cellestørrelsen i kvadratmeter fra inndata-rasteret og deretter multipliserer hver celle med cellestørrelsen, se likning (7). For et inndata-raster med oppløsning på 0.25x0.25m multipliseres hver celle med 0.0625 m², for 10x10m multipliseres det med 100 m², også videre. Resultatet blir den maksimale mengden vann hver celle kan inneholde i kubikkmeter.

$$Volum_{vann}[m^3] = Lavpunkter[m] * Cellestørrelse[m^2] \quad (7)$$

En nyttig parameter kan være den totale mengden vann hver enkelt forsening kan inneholde, istedenfor hver enkelt celle. Verktøyet «Zonal Statistics» benyttes til å fremstille dette, ved å samle alle nærliggende punkter som kan inneholde vann og summere opp totalvolumet som alle disse kan inneholde til sammen. Deretter konverteres rasteret til polygoner. Resultatet blir dermed en oversikt over alle forseninger i terrenget, i form av polygoner som dekker hver forsening, og i tillegg viser hvor mye vann hver forsening kan inneholde i kubikkmeter. Ved vurdering av resultatene er det imidlertid viktig å ta i betraktning at det ikke tas hensyn til infiltrasjon i disse beregningene.

Det fylte rasteret brukes som høydedata til videre analyser i ArcGIS-modellen. Beregningene som gjøres videre forutsetter dermed at alle forseninger er fylt opp, tilsvarende de analysene

som kalles for Depression free flow i SCALGO Live, se delkapittel 3.3. Valget av denne forutsetningen kan begrunnes ut ifra antagelsen om at alle forsenkinger vil fylles opp ved dimensjonerende nedbørshendelser.

4.1.2 Nedbørsfelt - areal

I ArcGIS Pro kan arealet av et nedbørsfelt regnes ut via det innebygde verktøyet «Flow Accumulation», som beregner hvor mange celler hver enkelt celle i et raster mottar vann fra. Dette verktøyet benytter utdata fra verktøyet «Flow Direction» for informasjon om hvilke retninger vannet vil renne i hver enkelt celle. Se delkapittel 3.2 for mer informasjon om Flow Direction og prinsippene dette verktøyet bygger på.

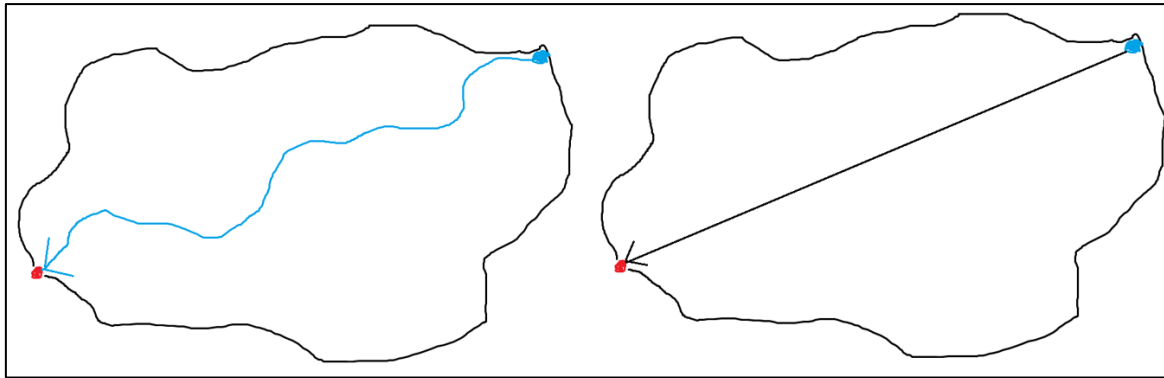
Utdata-rasteret fra Flow Accumulation gir ikke arealet på nedbørsfelt i kvadratmeter eller hektar, men i antall tilrennende celler. Eksempelvis, hvis en celle har et nedbørsfelt på 2000 kvadratmeter, og hver celle i rasteret har en oppløsning på 1x1 meter, vil resultatet fra Flow Accumulation være 2000. Hvis celle-oppløsningen derimot er på 10x10 meter vil resultatet være 20. Resultatene må derfor regnes om slik at de oppgis i kvadratmeter eller hektar og dermed kan brukes til videre beregninger.

$$Areal [m^2] = Areal_{antall\ celler}[-] * cellestørrelse[m^2] \quad (8)$$

Omregningen til kvadratmeter gjøres ved hjelp av det samme kode-verktøyet (Vedlegg A) som benyttes for å regne ut volum i lavpunkter, se avsnitt 4.1.1 Enhetene regnes om til hektar senere i ArcGIS-modellen.

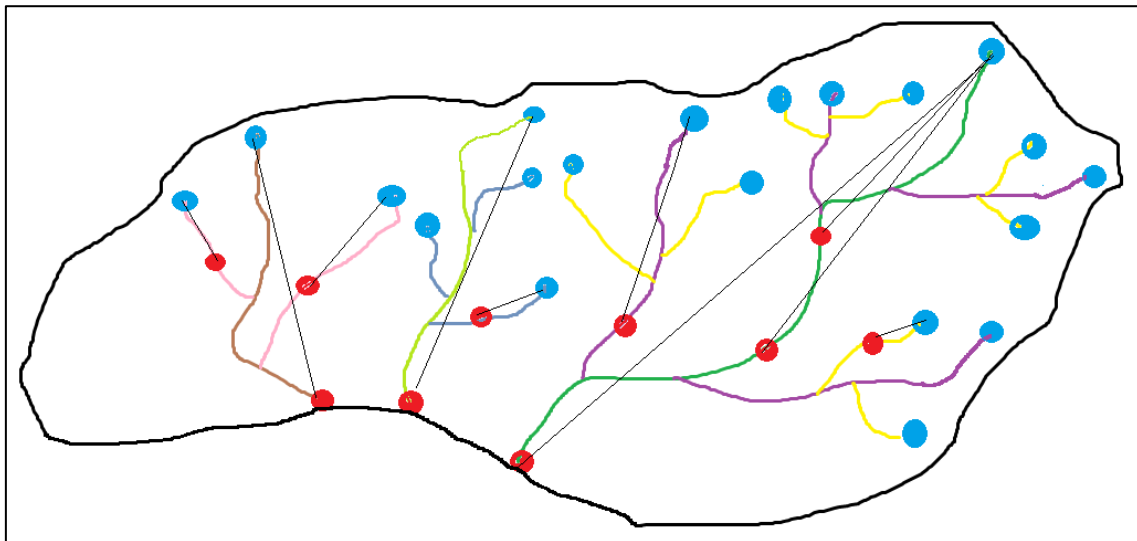
4.1.3 Feltlengde og feltakse

Ifølge NVE defineres feltlengde som en rett linje fra målepunktet til det fjerneste punktet i nedbørsfeltet til målepunktet (Stenius et al., 2015). Den faktiske veien som vannet vil renne vil imidlertid i de aller fleste tilfeller ikke være en rett linje, og den reelle feltlengden vil dermed være lengre. Derfor blir lengden på den rette linja, og den reelle feltlengden, betegnet som henholdsvis «feltakse» og «feltlengde» videre i denne oppgaven, se Figur 4-2.



Figur 4-2: Illustrasjon av forskjellen på feltlengde til venstre og feltakse til høyre.

Det innebygde verktøyet «Flow length» i ArcGIS Pro kan automatisk regne ut feltlengde ved hjelp av utdata fra verktøyet Flow Direction. Ettersom at det er feltaksen som er interessant i henhold til NVE sin definisjon av feltlengde, samt SINTEF sin definisjon i formlene for konsentrasjonstid (Berg et al., 1992) vil det være behov for å automatisere beregningen av feltakse i tillegg til feltlengde. Det eksisterer per dags dato ingen innebygde verktøy i ArcGIS Pro for beregning av feltakse i siste versjon av ArcGIS Pro (ArcGIS Pro 2.50). Det har derfor blitt benyttet python-koding til å utarbeide et kode-verktøy (Vedlegg B), som heretter refereres til som «feltakse-verktøyet», til å gjennomføre denne prosessen.



Figur 4-3: Illustrasjon av prinsippet bak beregning av feltakse. Røde punkter symboliserer målepunkter, blå punkter symboliserer fjerneste punkter i strømningsnettverk. Hver farge i strømningsnettverket representerer stier med hvert sitt felles blått punkt.

Verktøyet Flow Length kan regne ut avstanden fra et punkt til det fjerneste punktet i strømningsnettverket, både oppstrøms og nedstrøms. Ved hjelp av disse funksjonene kan det identifiseres unike «stier» i et raster, hvor hver sti leder opp til hvert sitt unike punkt. Disse unike punktene er det fjerneste punktet det skal måles avstand til, fra målepunktene,

henholdsvis blått og rødt punkt i Figur 4-2. Ved å reklassifisere de unike sti-verdiene med punkt-verdiene det skal måles avstand til kan det dermed regnes ut feltakse for hvert eneste punkt i et raster. Resultatet fra feltakse-verktøyet er dermed et raster hvor verdien i hver celle representerer punktets feltakse i meter. Se Figur 4-3 for en visuell forklaring av prinsippet.

Prosessene som feltakse-verktøyet gjennomfører er meget beregningstunge. Verktøyet behandler inngangsdata fra flere verktøy, og må prosessere store mengder data for å sørge for at resultatene blir korrekte, spesielt hvis terrengdata-rasteret som brukes har en høy oppløsning. En utfordring ved beregningene er at flere sti-verdier overlapper hverandre, noe som kan føre til at det i enkelte tilfeller blir flere aktuelle punkt-verdier. Denne usikkerheten reduseres i størst mulig grad ved hjelp av flere forutsetninger, blant annet at feltaksen som beregnes ikke kan bli lengre enn feltlengden. Usikkerheten bak beregningene blir også kartlagt av verktøyet, i form av et utdata-raster hvor den prosentvise forskjellen mellom valgte feltakse og lengste mulige feltakse blir beregnet og dermed kartlagt.

4.1.4 Høydeforskjell

Vannets bevegelser vil avhenge av hvor bratt terrenget er, og dermed vil høydeforskjellen på målepunktet og høyeste punkt i nedbørsfeltet være interessant. Denne parameteren anskaffes av ArcGIS-modellen ved hjelp av feltakse-verktøyet, se avsnitt 4.1.3 Metoden går ut på at høydeforskjellen beregnes fra målepunktet til det samme punktet som feltaksen beregnes fra. Dermed vil det for alle målepunkter regnes ut både feltakse og høydeforskjell til det fjerneste punktet i målepunktets nedbørsfelt.

Det er viktig å presisere at det fjerneste punktet i et nedbørsfelt ikke nødvendigvis er det høyeste punktet. Hvilken betydning dette vil ha for påfølgende beregninger i ArcGIS-modellen blir drøftet videre via testing av modellen.

4.1.5 Arealtype og avrenningskoeffisient

En ren terrengeanalyse tar ikke hensyn til hva slags type terreng vannet renner igjennom. Påvirkningen som infiltrasjonen har på overflateavrenningen blir dermed sett bort i fra, og analysen tar utgangspunkt i 100% tette flater. Det vil være nødvendig med data om inndelingen av et område ut ifra ulike areal typer for å kunne ta hensyn til dette. Et eksempel på data som kan benyttes til dette er arealressurskart som deler opp områder ut ifra ulike kategorier av

arealtyper. Arealressurskart er fritt tilgjengelig fra blant annet geonorge.no i form av AR50-kart. AR50 gir riktignok en relativt grov inndeling av områder. Eksempelvis blir bebygde områder markert som en ren homogen flate hvor det ikke tas hensyn til grønne flater og vegetasjon, slik som i Figur 4-4. Høyere oppløselig data, som for eksempel AR5-data, vil føre til mer nøyaktighet i de påfølgende analysene, forutsatt at dataen er tilgjengelig.



Figur 4-4: Arealtype-inndeling basert på AR50-data i Ås kommune. Inndelingen er relativt grov, spesielt i bebygde områder.

I ArcGIS-modellen kan arealtype-data i form av polygoner brukes som inngangsdata, tilsvarende datatypen til AR5 og AR50. De ulike arealtypeene i arealressurskart er merket med hvert sitt tilhørende nummer av «ARTYPE», se Tabell 4-1. Polygonene blir deretter konvertert til raster-data med celleoppløsning tilsvarende den terrengdataen som benyttes som inngangsdata i ArcGIS-modellen. De forskjellige numrene tilhørende de ulike arealtypeene blir deretter konvertert til avrenningskoeffisienter.

Tabell 4-1: Konvertering av AR50-data til avrenningskoeffisienter.

Klassenavn	«ARTYPE»	Avrenningskoeffisient (φ)
Bebygd og samferdsel	10	0,6
Jordbruksareal	20	0,3
Skog	30	0,3
Snaumark	50	0,4
Myr	60	0,3
Snø og isbre	70	0,6
Ferskvann	81	1,0
Hav	82	1,0
Ikke kartlagt	99	0,5

Verdiene for avrenningskoeffisienter er valgt basert på miljødirektoratet sin publikasjon *Gjennomgang av avrenningsfaktorer* (COWI, 2015). Kategorien «Ikke kartlagt» er foreløpig satt til å ha en gjennomsnittlig avrenningskoeffisient på 0.5.

Etter konvertering av verdier blir resultatet et raster hvor hver celle har en tilhørende avrenningskoeffisient. Det interessante for videre beregninger vil riktignok være den midlere avrenningskoeffisienten til punktets nedbørsfelt, og ikke punktet selv. ArcGIS-modellen benytter verktøyet Flow Accumulation til å beregne dette, hvor hver akkumulert celle vektet etter den tilhørende avrenningskoeffisienten. Deretter blir midlere avrenningskoeffisient beregnet ved hjelp av likning (2). Utgangsdataen blir et raster med midlere avrenningskoeffisient for nedbørsfeltet til hver celle.

4.1.6 Konsentrasjonstid

En sentral hydrologisk feltparameter er tiden vannet bruker på å renne igjennom nedbørsfeltet. Det eksisterer flere ulike likninger som kan brukes til å beregne konsentrasjonstiden for et nedbørsfelt, hvorav de nevnte likningene i avsnitt 3.1.2 er de som benyttes i ArcGIS-modellen. Valget av likninger begrunnes ved at parameterne som kreves til disse likningene kan anskaffes uten noe andre inngangsverdier enn høyde-data i feltet. Andre likninger for beregning av konsentrasjonstid kan kreve detaljert informasjon om for eksempel manningstall i nedbørsfeltet, eller andre parametere. For hver likning som benyttes i ArcGIS-modellen blir utdataen et raster med tilhørende konsentrasjonstid som verdi i hver celle.

Den enkleste metoden for å beregne konsentrasjonstid er den pragmatiske metoden via likning (5) som kun baserer seg på feltlengde og vannhastighet. Feltlengden regnes ut automatisk i ArcGIS-modellen via ESRI sitt innebygde verktøy (avsnitt 4.1.3 og vannhastigheten settes til å være lik en middelverdi på 1,5 m/s i henhold til NVE sine antagelser (Stenius et al., 2015). ArcGIS-modellen benytter feltlengde som parameter til denne beregningen istedenfor feltakse, se Figur 4-2. Dette begrunnes ved at vannets reelle vei til målepunktet vil være mer vesentlig for denne beregningen.

Likning (3) og (4) for beregning av konsentrasjonstid via den rasjonale formel tar, til forskjell fra den pragmatiske metoden, også hensyn til høydeforskjellen i terrenget som en parameter. I henhold til definisjonene av parameterne i formlene (Berg et al., 1992) blir det benyttet feltakse og høydeforskjell til å regne ut konsentrasjonstid via disse likningene i ArcGIS-modellen. Her benyttes det dermed ikke feltlengde, i motsetning til ved den pragmatiske metode. Dette begrunnes ved at likningene er utviklet og testet via NVE, og at de dermed er beregnet på NVE sin egen definisjon av feltlengde, som tilsvarer det som betegnes som feltakse i denne oppgaven.

Når det gjelder høydeforskjellen vil ArcGIS-modellen basere seg på differansen mellom høyden på målepunktet, og høyden på fjerneste punkt i feltet, slik som beskrevet i avsnitt 4.1.4 Dette bryter med SINTEF sin definisjon som fastslår at det er det høyeste punktet i feltet det skal regnes ut forskjellen til. Årsaken til dette er først og fremst at det per dags dato ikke eksisterer noen innebygde verktøy i ArcGIS Pro som kan gjennomføre denne beregningen automatisk. På grunn av tidsbegrensing for utvikling av ArcGIS-modellen i oppgaven har kodeverktøyet til feltakse derfor blitt benyttet. I tillegg vil det være naturlig å betrakte det fjerneste punktet i feltet som mest vesentlig når det skal beregnes tiden vannet bruker på å renne fra det fjerneste punktet til målepunktet. Hvor stort utslag dette parametervalget vil gi på påfølgende beregninger er blitt testet ut, se delkapittel 4.3.

Likning (3) tar også hensyn til andelen innsjø i nedbørsfeltet. På grunn av tidsbegrensing er ArcGIS-modellen foreløpig ikke programmert til å beregne denne parameteren. Test-områdene som er valgt ut til beregning av resultater i modellen inneholder derfor ikke en betydelig andel innsjø, og eventuelle mindre andeler av innsjø vil sees bort ifra i beregningene. Modellen kan imidlertid relativt enkelt programmeres til å kunne beregne andel innsjø ved å benytte tilsvarende fremgangsmåte som for beregning av midlere avrenningskoeffisient.

Valget mellom likningen for naturlige felt (3) og likningen for urbane felt (4) bør i utgangspunktet gjøres via sakkyndig personell, og ettersom bruk av denne modellen skal kreve så lite forkunnskaper som mulig brukes begge likninger for samtlige punkter i et felt. En potensiell metode for å automatisere dette er å basere valget av likning på den midlere avrenningskoeffisienten til feltet. Det vil si at for et felt med midlere avrenningskoeffisient under/over en gitt verdi vil ArcGIS-modellen benytte likningen for henholdsvis naturlige/urbane felt. Denne metoden brukes ikke av modellen, da det for det første ligger mye usikkerhet bak beregning av avrenningskoeffisienten hvis det benyttes AR50-data. For det andre kan dette føre til et stort skille mellom beregnede konsentrasjonstider i grenseområdet hvor avrenningskoeffisienten ligger over/under den gitte verdien.

4.1.7 Oppsummering

ArcGIS-modellen beregner de øvrige feltkarakteristikkene i delkapittel 4.1 automatisk i ArcGIS Pro. Tabell 4-2 summerer opp disse med hensyn på beregningstyngde og usikkerhet. Med beregningstyngde menes det her hvor mange beregningsprosesser som ligger til grunn for

fremskaffing av parameteren. Bruk av selvlagde kode-verktøy vil generelt sett øke beregningstygden. Dette gjelder spesielt for beregningene av feltakse og høydeforskjell, da kode-verktøyet som benyttes til dette behandler store mengder data og gjennomfører relativt komplekse prosesser.

Tabell 4-2: Oppsummeringstabell av feltkarakteristikker beregnet av ArcGIS-modellen

Feltkarakteristikk	Beregningstygde	Usikkerhet
Lavpunkter – volum	Middels	Lav
Nedbørsfelt - areal	Lav	Lav
Feltlengde	Lav	Lav
Feltakse	Meget høy	Middels – kartlegges i eget raster
Høydeforskjell	Meget høy	Middels
Midlere avrenningskoeffisient	Middels	Høy – avhenger av tilgjengelig data
Konsentrasjonstid – pragmatiske metode	Lav	Høy
Konsentrasjonstid – rasjonale metode	Meget høy	Høy – både fra formlene og fra parameterne som brukes

Alle feltkarakteristikkene, med unntak av midlere avrenningskoeffisient, beregnes av modellen kun ved hjelp av høydedata som input.

4.2 Automatisering av beregninger av vannføringer

Ved dimensjonering av overvannstiltak i et planområde vil det være nødvendig å beregne den maksimale mengden vann som vil forekomme via overflateavrenning i løpet av levetiden det dimensjoneres for. Dette vil ikke bare avhenge av terrenget i nedbørsfeltet, men også av lokal regndata som kan varigere kraftig imellom forskjellige deler av landet. I dette delkapittelet beskrives det hvordan ArcGIS-modellen er blitt utvidet til å kunne ta hensyn til importert nedbørsstatistikk, og til å beregne dimensjonerende vannføringer.

4.2.1 Beregningsmetode

Den rasjonale metode er en enkel metode for overslagsberegninger i tidlig fase, se 3.1.1. Metoden egner seg derfor bra til å automatiseres i en modell i ArcGIS Pro uten å være avhengig av store mengder inngangsparametere. Likning (1) benyttes av ArcGIS-modellen til å beregne maksimal vannføring i de deler av et område hvor de større avrenningslinjene krysser igjennom.

To av parameterne i likningen, henholdsvis areal på nedbørsfelt og avrenningskoeffisient, anskaffes ved hjelp av de øvrige beregningene i modellen. Fremgangsmåten beskrives i henholdsvis avsnitt 4.1.2 og avsnitt 4.1.5

Den tredje parameteren i den rasjonale formel, nedbørintensitet, beregnes av ArcGIS-modellen på bakgrunn av konsentrasjonstiden som regnes ut via de tre formlene beskrevet i avsnitt 3.1.2. Til dette benyttes det enda et selvlaget kodeverktøy (Vedlegg C). Ved å benytte en IVF-tabell med lokal regndata som input kan ArcGIS-modellen hente ut nedbørintensiteten som har en regnvarighet tilsvarende den beregnede konsentrasjonstiden, i henhold til Imhoffs sats. Det hentes ut nedbørintensiteter for flere ulike gjentakintervall, og kodeverktøyet kan også programmeres til at brukeren får velge sitt eget gjentakintervall på forhånd. ArcGIS-modellen er foreløpig programmert til å beregne vannføringer for gjentakintervall på 2, 20 og 200 år.

Ettersom at modellen kan beregne konsentrasjonstid via tre forskjellige formler vil det for hvert målepunkt beregnes vannføring via alle tre metodene. I tillegg blir det som nevnt i overliggende avsnitt valgt ut ulike nedbørintensiteter avhengig av gjentakintervall. Det blir dermed beregnet ni ulike vannføringer for hvert målepunkt, tre ulike gjentakintervall for hver likning for konsentrasjonstid. Det blir tydeliggjort i resultatene i ArcGIS Pro hvilken likning for konsentrasjonstid og hvilket gjentakintervall som er brukt til å beregne hver enkelt vannføring. Eksempelvis vil en vannføring beregnet med konsentrasjonstid via likning (3) og gjentakintervall på 20 år bli merket «Q20 naturlig».

Nedbørintensiteten velges ut ved avrunding av konsentrasjonstiden til nærmeste regnvarighet i IVF-tabellen. Eksempelvis vil en konsentrasjonstid på 52 minutter rundes ned til 45 minutter, mens det for 53 minutter rundes opp til 60 minutter, gitt at tabellen inneholder regndata for de gitte regnvarighetene. I enkelte områder hvor det beregnes konsentrasjonstider i grenseområdet mellom to regnvarigheter, for eksempel 52,5 minutter, vil den beregnede vannføringen derfor minske fra ett punkt til et annet punkt rett nedstrøms. Dette er viktig å ta i betraktning under vurdering av resultatene. Det vil være uproblematisk å programmere inn interpolering mellom to nedbørintensiteter i kodeverktøyet, men dette er ikke blitt gjort foreløpig da det anses som en mer korrekt metode å runde av til nærmeste regnvarighet, slik som kodeverktøyet gjør det.

Når nedbørintensitetene for hvert målepunkt er beregnet multipliseres de tre parameterne i den rasjonale formel sammen slik at vannføringer beregnes. Klimafaktor er implementert i ArcGIS-

modellen, og velges ut automatisk av kodeverktøyet som velger ut nedbørintensiteten. Valget gjøres i henhold til Tabell 3-2. Nedbørintensitetene for hvert målepunkt, i tillegg til de beregnede vannføringene, er dermed multiplisert med klimafaktor slik at brukeren slipper å gjøre dette.

Tabell 4-3: Oppsummeringstabell for beregning av parameterne i den rasjonale formel

Parameter	Nødvendig input	Beregningstyngde
Areal på nedbørsfelt (A)	Høydedata	Lav
Midlere avrenningskoeffisient (φ)	Høydedata og arealtype-data	Middels
Konsentrasjonstid (t_c) og nedbørintensitet (I)	Høydedata og regndata	Meget høy

Det er viktig å ta i betraktning at en stor del av beregningstyngden er som en følge av beregningene av feltkarakteristikkene som benyttes til å beregne vannføringene, se delkapittel 4.1.

4.2.2 Forutsetninger og usikkerhet

Ettersom at den rasjonale metode benyttes til å beregne vannføringer i ArcGIS-modellen vil samtlige av de forutsetningene som beskrives i avsnitt 3.1.1 ligge til grunn for resultatene. Dette medfører en del usikkerhet, og de maksimale størrelsene på nedbørsfelt som modellen kan brukes på blir dermed tilsvarende de som anbefales for den rasjonale metode. Det vil derfor være nødvendig å kontrollere resultatene fra ArcGIS-modellen mot manuell beregning via den rasjonale metode for å forsikre at modellen ikke fører til mere usikkerhet, og dermed enda større variasjon i beregningsresultatene.

En potensiell stor kilde til usikkerhet i ArcGIS-modellen er kode-verktøyet som beregner feltakse og høydeforskjell. Verktøyet kan for enkelte målepunkter gjøre gale beregninger av feltakse på grunn av beregningstyngden som ligger bak prosessen, se avsnitt 4.1.3 for mer informasjon. Ettersom at feltakse benyttes til å beregne konsentrasjonstid, som igjen benyttes til å beregne nedbørintensitet, kan dette føre til at vannføringen som beregnes ikke stemmer. Usikkerheten bak disse beregningene blir som tidligere nevnt kvantifisert ved at den prosentvise forskjellen mellom beregnede feltakse og største mulige feltakse blir beregnet for hvert målepunkt. Dette gjør det enklere å tolke resultater som fraviker sterkt ifra resultater fra andre

beregningsmetoder. Hvor ofte denne usikkerheten oppstår, og hvilken mengde usikkerhet som kan forekomme, blir gjort rede for i testingen av verktøyet i denne oppgaven.

En annen kilde til usikkerhet er metoden for beregning av parameteren høydeforskjell i likning (3) og (4). Som nevnt i avsnitt 4.1.6 strider denne beregningsmetoden mot definisjonen av parameteren ved at høydeforskjellen mellom målepunktet og fjerneste punkt i nedbørsfeltet blir beregnet, istedenfor forskjellen til høyeste punkt i feltet. Ettersom at NVE har utviklet disse formlene i sammenheng med testing av den rasjonale metode (Berg et al., 1992) vil det være hensiktsmessig å teste hvilken påvirkning dette vil ha på resultatene, og hvilken eventuell usikkerhet dette medfører.

Noe annet som er verdt å nevne er usikkerheten som kan ligge bak de automatiske beregningene som gjennomføres av innebygde verktøy i ArcGIS Pro. Dette gjelder spesielt verktøyet Flow Direction som brukes til å definere vannets strømningsretninger, se delkapittel 3.2. Selv om terrenanalyser som oftest gir resultater som samstemmer godt med reelle flomveier (Nordeidet et al., 2015) kan det likevel oppstå feil på grunn av enkelte prinsipper bak beregningene som verktøyene gjennomfører. Dette gjelder spesielt hvis terrenndataen som benyttes har lav oppløsning, eller hvis terrenget analysene gjennomføres på er svært flatt (Bratlie, 2015). Det er derfor viktig at inngangsdataen i ArcGIS-modellen har tilstrekkelig oppløsning slik at nedbørsfeltene som genereres for hvert målepunkt ikke blir ukorrekte.

4.3 Testing av ArcGIS-modellen

ArcGIS-modellen er blitt testet med hensyn på alle de nevnte kildene til usikkerhet i avsnitt 4.2.2 Det vil si at det blir undersøkt hvilken påvirkning disse faktorene eventuelt måtte ha på resultatene. Eksempelvis vil beregningsmetoden av høydeforskjell testes ved at modellen brukes på områder hvor dette kan antas å ha en effekt på resultatene. Det betyr i praksis områder hvor det er en betydelig forskjell mellom høyden på høyeste punkt og fjernest punkt i feltet.

Samtlige vannføringer som ArcGIS-modellen beregner testes mot manuell beregning via den rasjonale metode. Hensikten med dette er å forsikre at automatiseringen som modellen gjør av den rasjonale metode ikke har noen påvirkning på resultatene, og at modellen dermed kan brukes som et automatisk alternativ til den rasjonale metode. I tillegg testes resultatene fra ArcGIS-modellen, så langt det lar seg gjøre, mot beregninger fra SCALGO Live og HEC-RAS,

avhengig av hvilke resultater som lar seg sammenlikne. Se avsnitt 4.3.1 og 4.3.2 for mer informasjon.

Det er blitt valgt ut til sammen 12 test-områder, hvorav syv av områdene inneholder resultater fra HEC-RAS.

4.3.1 SCALGO Live

SCALGO Live er først og fremst et verktøy som kan benyttes til å generere dreneringslinjer og nedbørsfelt på en rask og effektiv måte, slik at aktsomhetsområder kan kartlegges. Utover det er det relativt begrenset hva slags resultater som kan beregnes ved bruk av kun verktøyets egne analyser, da disse kun baserer seg på terrengdata. Det er derfor relativt få av resultatene fra ArcGIS-modellen som kan sammenliknes med resultater fra SCALGO Live. Unntakene er størrelse på nedbørsfelt, som er en av hovedfunksjonene ved bruk av SCALGO Live. I tillegg gis det informasjon om arealbruken i nedbørsfeltet, slik at det kan beregnes midlere avrenningskoeffisient i nedbørsfeltet. Selve avrenningskoeffisienten må riktignok beregnes manuelt.

Det vil sammenliknes størrelse på nedbørsfelt generert i SCALGO Live og ArcGIS-modellen for hvert test-område i oppgaven. Nedbørsfeltets størrelse vil ha en stor påvirkning på den maksimale overflateavrenningen, og det vil derfor være interessant å teste hvorvidt denne parameteren varierer mellom forskjellige verktøy. I tillegg vil det gjøres en sammenlikning av SCALGO Live og ArcGIS-modellens anvendbarhet. Det omfatter den visuelle fremstillingen av resultatene, brukervennligheten til verktøyene, samt kjøretiden. Dette er for å vurdere i hvilken grad ArcGIS-modellen kan benyttes som et enkelt modelleringsverktøy i tidlig fase, slik som problemstillingen i denne masteroppgaven etterspør.

4.3.2 HEC-RAS

HEC-RAS er et verktøy som, til forskjell fra SCALGO Live, krever en del forkunnskaper for å benytte seg av, men som til gjengjeld kan gjennomføre mer avanserte beregninger og behandle mer detaljert regndata. Verktøyet er derfor blitt valgt ut til å kontrollere resultatene fra ArcGIS-modellen. Flere av resultatene som analysene i HEC-RAS beregner kan sammenliknes med resultater fra modellen, blant annet lavpunkter og vanndybder. De mest verdifulle resultatene

fra HEC-RAS i denne gradsoppgaven er riktignok vannføringer, ettersom at de kan benyttes til å kontrollere utvidelsen av ArcGIS-modellen til en hydrologisk modell.

Til denne oppgaven er det blitt brukt ferdig beregnede resultater fra modeller i HEC-RAS fremstilt av Asplan Viak. Årsaken til dette er til dels på grunn av tidsbesparing, men også for å få gjennomført en objektiv sammenlikning mot egne beregningsresultater fra ArcGIS-modellen. Omfanget av resultater fra HEC-RAS vil derfor defineres av disse modellene, og beregningene som er gjort via dem.

Følgende forutsetninger ligger til grunn for beregningene: Vannføringene er beregnet med gjentaksintervall på 2 og 200 år. Det er blitt benyttet et symmetrisk blokkhyetogram til å simulere en regnhendelse på 24 timer. Ettersom at analysene i HEC-RAS er tidsavhengige, i motsetning til øyeblikksanalysene i ArcGIS Pro, blir den høyeste vannføringen avmålt i tidsrommet analysen gjennomføres over, og deretter sammenliknet med resultatet fra øyeblikksanalysen i ArcGIS-modellen. Klimafaktor er ikke benyttet i HEC-RAS-beregningene. Til beregning av energitap er det blitt brukt et manningstall på 0.03 for hele området, som i praksis betyr at arealtypene til de ulike delene av et område ikke vil ha noen betydning for beregningene i HEC-RAS.

Modelleringen i HEC-RAS er gjort i et område som utgjør en større del av Asker kommune, og det vil derfor velges ut test-områder herfra for å sammenlikne beregnede vannføringer. Til forskjell fra SCALGO Live vil det ikke gjøres en sammenlikning mellom verktøyenes anvendbarhet da analyser i HEC-RAS krever relativt mye innsats fra brukeren. HEC-RAS anses derfor som et mindre egnet verktøy til problemstillingen i denne oppgaven, og brukes dermed kun til å kontrollere beregningsresultater.

4.3.3 Manuell beregning

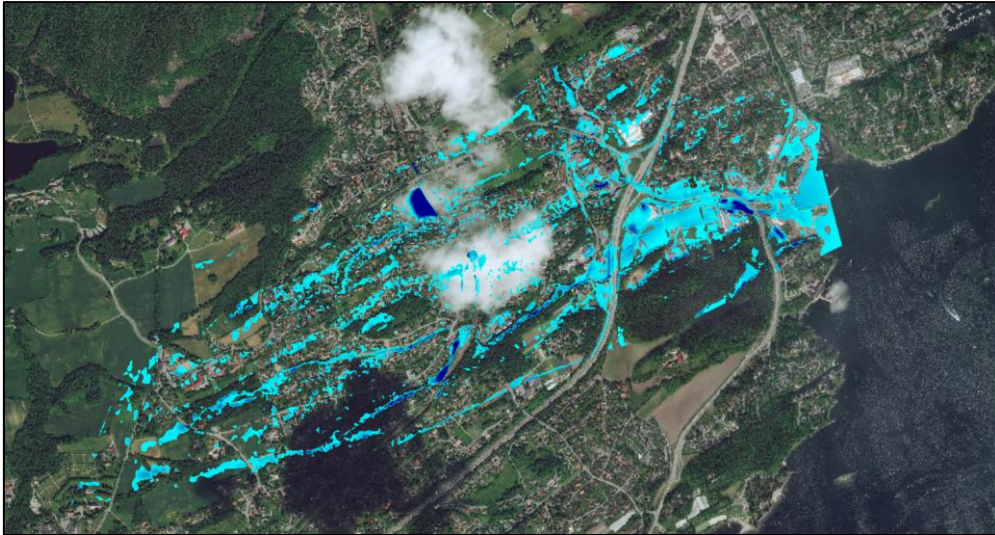
Alle vannføringene som beregnes av ArcGIS-modellen er som tidligere nevnt blitt kontrollert mot manuelle beregninger. Det vil si at det er blitt beregnet vannføring via den rasjonale metode, og at alle de øvrige parameterne i formlene er blitt anskaffet manuelt. Med «manuelt» menes det her at parameterne ikke er beregnet automatisk av ArcGIS-modellen, og at de dermed må anskaffes via andre metoder.

SCALGO Live benyttes som hjelpeverktøy til å beregne størrelse på nedbørsfelt og i tillegg anskaffe informasjon om arealbruken i nedbørsfeltet til beregning av midlere avrenningskoeffisient. Det benyttes samme avrenningskoeffisienter for de ulike arealtypene som i ArcGIS-modellen til å beregne midlere avrenningskoeffisienter manuelt. Konsentrasjonstiden til nedbørsfeltet beregnes via likning (3) og likning (4). Parameterne i likningene for konsentrasjonstid, henholdsvis feltlengde og høydeforskjell, anskaffes manuelt via kartet i SCALGO Live og beregnes etter definisjonene fra NVE (Berg et al., 1992). Nedbørintensiteten velges ut ifra tilsvarende regndata som er benyttet til beregningene i ArcGIS-modellen. Den beregnede konsentrasjonstiden rundes av til nærmeste regnvarighet i regndataen, og det brukes gjentakintervall tilsvarende det som benyttes i ArcGIS-modellen. Klimafaktor velges etter Tabell 3-2.

4.3.4 Utvelging av test-områder

Et test-område i denne oppgaven er definert som ett målepunkt med et tilhørende nedbørsfelt. Ved å beregne resultater fra analyser av flest mulig test-områder blir ArcGIS-modellen i størst mulig grad testet og kontrollert. De utvalgte områdene varierer ut ifra forskjellige grader av urbanisering, og størrelse på nedbørsfelt. På denne måten blir det kontrollert om bruksområdet til ArcGIS-modellen omfatter flere ulike typer områder. Det er også hensiktsmessig å teste om resultatene fra modellen kan gjenskapes via andre metoder i forskjellige typer områder. I tillegg er enkelte områder blitt valgt ut til å teste de potensielle kildene til usikkerhet nevnt i avsnitt 4.2.2. ArcGIS-modellen brukes ikke på test-områder med nedbørsfelt større enn 1 km² på bakgrunn av anbefalingene for maksimal grense på områder ved bruk av likning (1).

Ettersom at modellene i HEC-RAS er utviklet for beregninger i et område som utgjør en større del av Asker kommune (Figur 4-5) er det blitt valgt ut flest mulige test-områder herfra. Dette er for å kunne gjøre flest mulige sammenlikninger mellom vannføringene beregnet av ArcGIS-modellen og HEC-RAS-modellene. Et test-område velges ut ved å sette et målepunkt på et sted hvor det går en dreneringslinje med en viss størrelse, og deretter kontrollere at målepunktets nedbørsfelt befinner seg innenfor området hvor det er gjort beregninger via HEC-RAS-modellene. SCALGO Live er blitt brukt som hjelpeverktøy til å finne dreneringslinjer og nedbørsfelt. Enkelte av test-områdene vil ikke inneholde resultater fra HEC-RAS da de befinner seg utenfor område-avgrænsingen fra HEC-RAS-modellene.



Figur 4-5: Oversiktsbilde av området i Asker hvor det er beregnet vannføringer via HEC-RAS. Vanndybder ved et 200-års-regn er visualisert på kartet.

Denne oppgaven vil ikke forsøke å gjenskape reelle hendelser via analyser fra ArcGIS-modellen. Det vil derfor ikke bevisst velges ut test-områder hvor overflateavrenning har forårsaket konsekvenser i fortiden. Årsaken til dette er at det i denne oppgaven forsøkes å utvikle et alternativ til metodene som benyttes i dag, og det vil derfor være tilstrekkelig at ArcGIS-modellen kan gjenskape resultater fra disse metodene. Resultatene som det forsøkes å gjenskapes via testing av modellen er da først og fremst resultater fra andre beregningsmetoder, og ikke observerte resultater (flomnivåer etc.) fra reelle hendelser.

4.4 Undersøkelse av verktøyets anvendbarhet

Et aspekt ved modelleringsverktøy, som for overvannsberegninger i tidlig fase er svært vesentlig, er den visuelle fremstillingen av resultatene. En god visualisering kan formidle den eventuelle overvannsproblematikken i et område på en bedre måte enn tall over vannføringer og vandybder, spesielt til personer som ikke har kompetanse innenfor fagfeltet. Utvalget av VA-ingeniører som er blitt intervjuet i forbindelse med denne oppgaven stiller seg bak dette, se delkapittel 2.5.

ArcGIS-modellen er konfigurert til å gi brukeren den beste mulige intuitive fremstillingen av resultatene som lar seg gjøre i brukergrensesnittet i ArcGIS Pro. Resultatene visualiseres automatisk over basekartet etter at modellen har fullført beregningene, uten at det krever noe videre innsats fra brukeren. Kvaliteten på denne visualiseringen, samt nytteverdien av resultatene, er blitt undersøkt ved å la VA-ingeniørene fra utvalget gjøre en vurdering av

ArcGIS-modellen. Dette er blitt gjennomført ved at utvalget er blitt tilsendt beregningsresultater som er fremstilt av ArcGIS-modellen og som kan åpnes i ArcGIS Pro slik at de fremstilles på samme måte som ved bruk av modellen.

Utvalget har gjort en vurdering av i hvilken grad resultatene fremstilles intuitivt, med tanke på visualisering i brukergrensesnittet. Det er også blitt gjennomgått hvordan resultatene i form av tall over vannføringer og feltkarakteristikker fremstilles og vurdert hvilke av disse resultatene som vil være relevant for brukeren. I tillegg har utvalget sammenliknet ArcGIS-modellen med andre modelleringsverktøy, og hvilke fordeler og ulemper modellen har sammenliknet med disse. Til sist er det gjort en vurdering av hvilke personer ArcGIS-modellen er egnet for, altså om modellen har en nytteverdi for personer uten kompetanse innenfor overvannsvurderinger, eller om det er bedre egnet for VA-ingeniører til gjennomføring av mere detaljerte analyser. Resultatene fra denne undersøkelsen er presentert i avsnitt 5.4.3

5 Resultater og diskusjon

Resultater i denne oppgaven omfatter detaljene rundt bruk av den ferdig utviklede ArcGIS-modellen, resultatene som modellen beregner for de utvalgte test-områdene, sammenlikninger mellom modellen og andre modelleringsverktøy i form av beregningsresultater og anvendbarhet samt resultater fra utvalgets undersøkelse av modellens anvendbarhet. Resultatene, og diskusjonen rundt dem, er ment som svar på forskningsspørsmålene som er stilt i oppgavens introduksjon i delkapittel 1.2.

5.1 ArcGIS-modellen

Etter fullført utvikling av ArcGIS-modellen er den blitt omgjort til et såkalt «Model-tool», som betyr at modellen kan benyttes på lik linje med hvilket som helst annet innebygd verktøy i ArcGIS Pro. Modellen kan eksporteres til, og brukes av hvilke som helst andre personer med ArcGIS-lisens. Det kreves kun anskaffelse av inngangsdata for å kjøre ArcGIS-modellen, utover dette kreves det ingen videre innsats fra brukeren. Inngangsdataen som må legges inn av brukeren for å kjøre modell-verktøyet er derfor redusert til et minimum av det som kreves av beregningene i modellen.

5.1.1 Inngangsdata

Det kreves tre inngangsparametere for å kjøre modell-verktøyet: Høydedata, arealdata og regndata. Høydedataen må være i form av et raster som dekker et vilkårlig område, og kan lastes ned via nettsider som hoydedata.no. Området som dette rasteret omfatter definerer avgrensingen hvor ArcGIS-modellen gjennomfører beregninger. Brukeren må dermed selv sørge for at høyde-dataen omfatter hele nedbørsfeltet til stedet det skal gjøres overvannsberegninger for. Det er imidlertid viktig at høydedataen ikke er større enn det som er nødvendig for å få korrekte beregninger av modellen, da dette kan føre til lang kjøretid for verktøyet. Se avsnitt 5.1.3 for mer utdypning rundt dette.

I tillegg til høydedata må det anskaffes arealdata for å gi ArcGIS-modellen et grunnlag til å beregne midlere avrenningskoeffisient. Størrelsen på arealdataen vil, i motsetning til høydedataen, ikke påvirke ArcGIS-modellens kjøretid da modellen automatisk klipper ut arealdataen til å gjelde for tilsvarende område som høydedataen gjelder for. Brukeren må likevel sørge for at arealdataen som anskaffes omfatter området det skal gjennomføres beregninger for. Eksempel på arealdata er AR50-data som kan lastes ned gratis fra geonorge.no.

AR50-data har imidlertid en relativt grov oppløsning, se avsnitt 4.1.5 Det anbefales derfor å bruke mer høyoppløselig data over arealinndelingen i området, som for eksempel AR5-data, hvis brukeren har det tilgjengelig.

Den siste parameteren som må anskaffes til ArcGIS-modellen er regndata, slik at beregningene av vannføringer tar hensyn til lokal nedbørdata. Modellen er kalibrert til å ta imot regndata i form av tabeller som kan lastes ned gratis fra nettsidene til Norsk Klimaservicesenter. Brukeren må selv velge ut data fra det gjeldende områdes nærmeste målestasjon. Det er viktig at tabellen som benyttes sees igjennom på forhånd, ettersom at enkelte målestasjoner mangler nedbørintensiteter for enkelte gjentakintervall og varigheter, noe som igjen kan føre til at modellen ikke beregner vannføringer for enkelte målepunkter. I tillegg må brukeren sørge for at tabellen ikke inneholder noen unødvendige rader og kolonner, se Figur 5-1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	RETURPERIODE(Å-r)	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
2		2 254.1	224.6	202.6	173.5	132.7	109.8	92.4	71.1	54.7	44.8	33.1	27.4	20.9	12.2	8.7	5.5
3		5 312.9	278.8	255.2	225.9	172.9	140.9	122.3	100.5	80	68.1	51.9	42.3	30.7	16.3	11.1	6.8
4		10 351.7	314.7	290	260.5	199.5	161.6	142.1	119.9	96.8	83.4	64.3	52.2	37.2	19	12.7	7.6
5		20 389.1	349.2	323.4	293.7	225	181.3	161.1	138.6	112.9	98.2	76.3	61.6	43.5		14.3	8.4
6		25 400.9	360.1	334	304.3	233.1	187.6	167.2	144.5	118	102.8	80.1	64.6	45.4		14.8	8.6
7		50 437.3	393.7	366.7	336.7	258.1	207	185.7	162.8	133.7	117.2	91.7	73.9	51.5		16.3	9.4
8		100 473.5	427.1	399.1	369	282.9	226.2	204.2	180.9	149.3	131.5	103.3	83.1	57.5		17.8	10.1
9		200 509.6	460.5	431.4	401.1	307.6	245.3	222.6	199	164.8	145.8	114.9	92.2	63.6		19.3	10.9
10																	
11																	

Figur 5-1: Eksempel på hvordan regndata-tabellen som brukes i ArcGIS-modellen må se ut i excel. Første rad skal inneholde indekser for regnvarigheter, og første kolonne skal inneholde indekser for returperioder/gjentaksintervaller.

Når alle de tre overnevnte parameterne er anskaffet trenger brukeren kun å legge filene inn som inngangsdata i verktøyet slik som vist i Figur 5-2. ArcGIS-modellen startes deretter ved å klikke på «Run». Når beregningene er ferdige vil resultatene automatisk legges inn på kartet slik at brukeren får en rask oversikt over overvannsdataen i området.

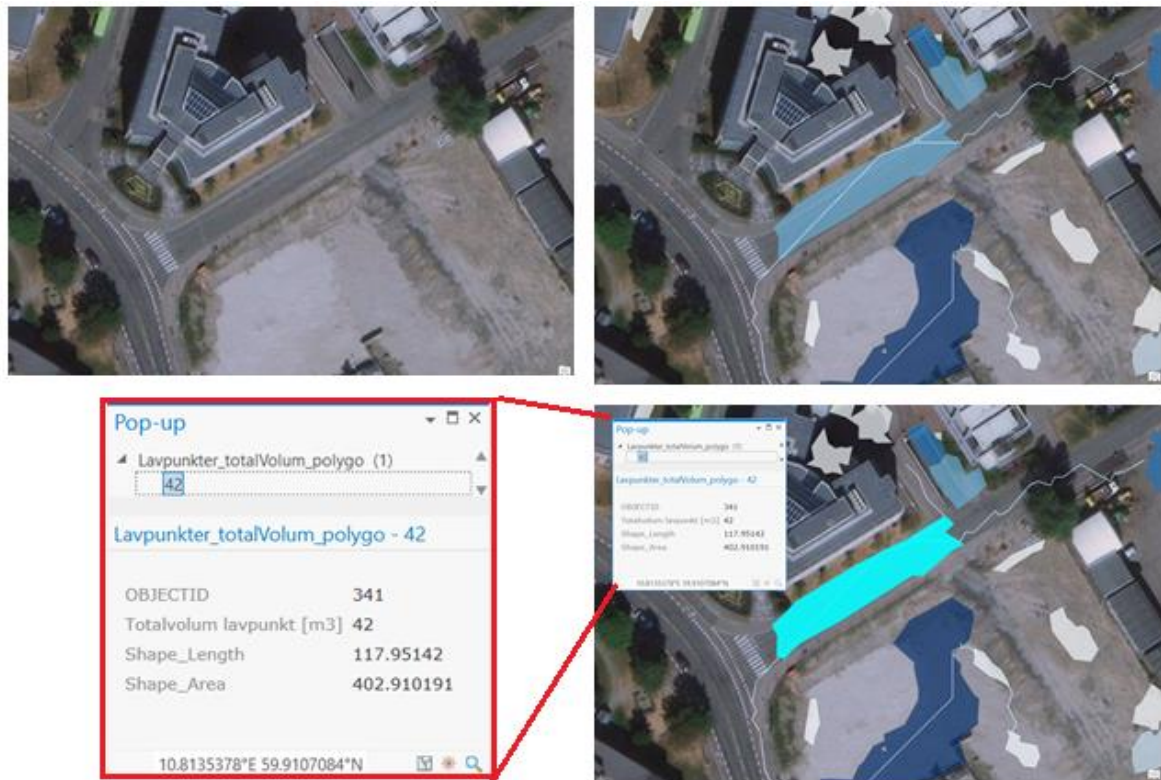


Figur 5-2: Utsnitt av brukergrensesnittet i ArcGIS Pro. ArcGIS-modellen startes ved å legge inn inngangsdata under «Parameters» til høyre, og deretter klikke "Run".

5.1.2 Utgangsdata

Utgangsdataen, eller outputen, som fremskaffes av ArcGIS-modellen blir lagt inn automatisk som kartlag over basekartet i ArcGIS Pro. Det fremstilles i alt fem kartlag som blir tildelt hver sin unike symbologi av modellen for å gi en best mulig visualisering av resultatene de representerer. Symbolenes størrelse og fargestyrke varierer innad i hvert kartlag ut ifra forhåndsdefinerte intervaller.

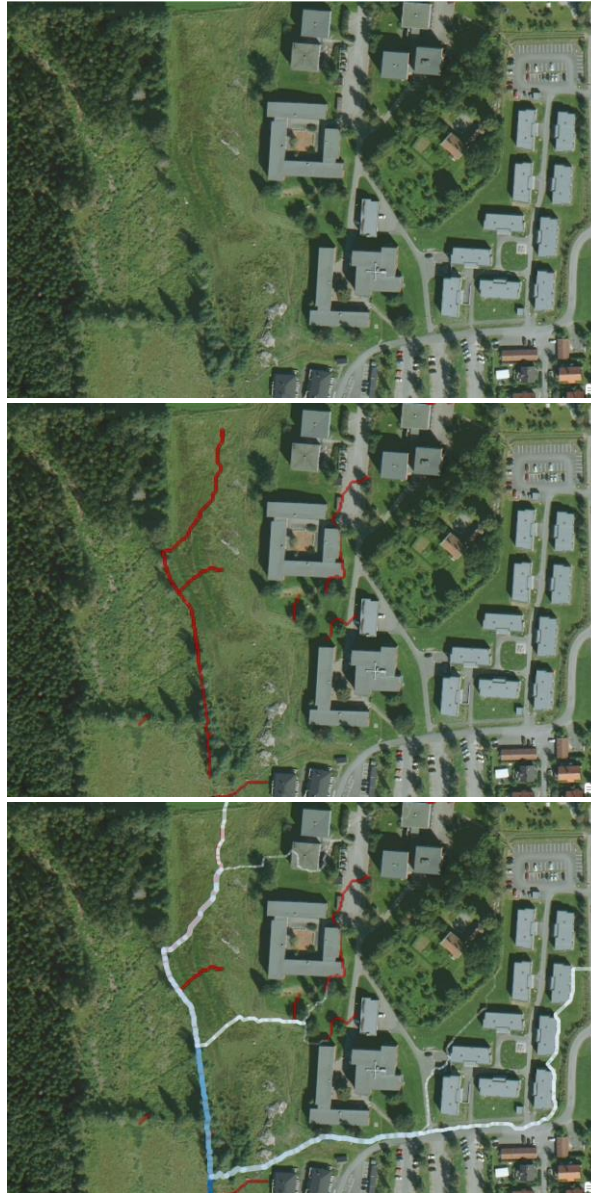
Det første som visualiseres i kartet er lavpunkter. Dette er forsenkinger, eller grøfter og groper i terrenget, hvor det vil ansamles overflatevann ved større regnfall. Lavpunktene symboliseres ved polygoner som dekker hele arealet til forsenkingen. Det blir også beregnet det maksimale vannvolumet som kan ansamles i hver forsenking. Denne informasjonen kan fremskaffes i en pop-up-tabell ved å klikke på polygonet i kartet, se Figur 5-3. Fargene på polygonene varierer fra lyseblått for små forsenkinger til mørkeblått for større forsenkinger. Lavpunkter med et vannvolum mindre enn én kubikkmeter blir ikke fremstilt. Ved vurdering av disse resultatene er det imidlertid viktig å huske at enkelte større forsenkinger kun vil fylles delvis opp, selv ved meget kraftige regnfall.



Figur 5-3: Forsenkinger i terrenget og dreneringslinjer visualisert av ArcGIS-modellen. Ved å klikke på en forsinking gir pop-up-tabellen forsinkingens totale lagringskapasitet i kubikkmeter.

Det neste kartlaget fremstiller dreneringslinjer, med den hensikt å vise avrenningsmønsteret i det gjeldende området. Linjene visualiseres ved at punkter i områder som har nedbørsfelt på 0.1 hektar eller større konverteres til enkle polylinjer. Alle linjene blir tildelt felles symbologi, med lik størrelse og farge, uavhengig av størrelsen på nedbørsfeltet som tilhører de ulike linjene.

I tillegg til dreneringslinjene blir det ved hjelp av enda et kartlag visualisert hvor det kan oppstå vannføringer ved større nedbørshendelser. Dette kartlaget fremstilles på bakgrunn av vannføringene som beregnes via den rasjonale formel slik som beskrevet i avsnitt 4.2.1 Vannføringer beregnes kun for målepunkter med nedbørsfelt på 1 hektar eller større, derfor vil kartlaget kun visualisere vannføringer ved disse punktene. Dette begrunnes med at det ved de utvalgte test-områdene i denne gradsoppgaven ikke vil forekomme større vannføringer ved målepunkter med mindre nedbørsfelt enn 1 hektar, og denne begrensingen er dermed blitt satt for tidsbesparing. Vannføringene visualiseres via transparente linjer med varierende størrelse og farge ut ifra størrelsen på vannføringen, se Figur 5-4. Ettersom at ArcGIS-modellen beregner flere vannføringer for hvert enkelt punkt, og at det vil være lite hensiktsmessig å symbolisere alle over hverandre på en gang, blir vannføringen beregnet via konsentrasjonstiden for urbane felt og gjentaksintervall på 200 år valgt ut til å definere symbolikken.



*Figur 5-4: Vannføringer og usikkerhet av feltakse-
verktøy visualisert av ArcGIS-modellen.*

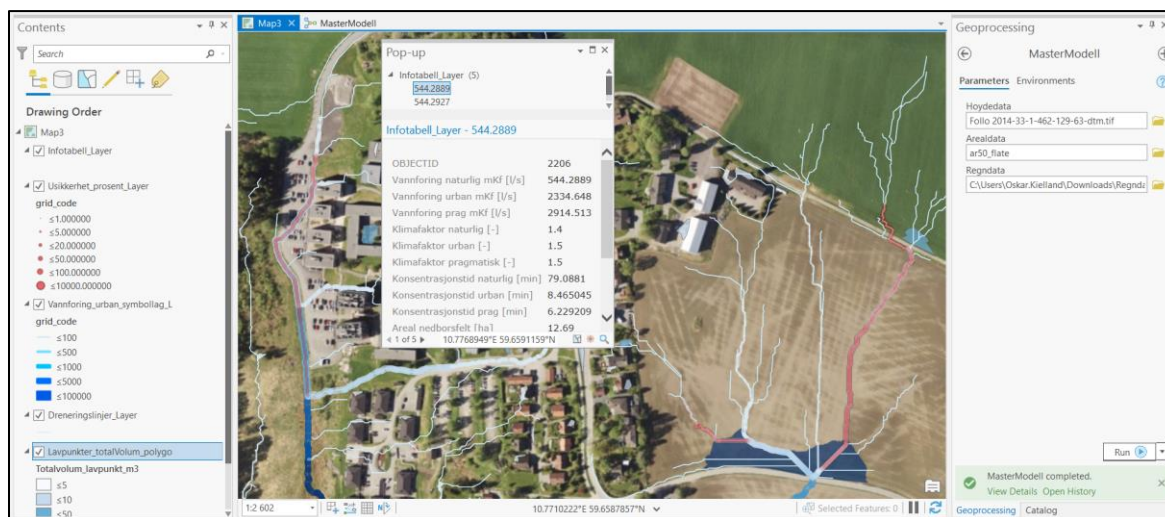
Som en følge av kode-verktøyet som beregner feltakse og høydeforskjell i ArcGIS-modellen kan det ligge ekstra usikkerhet bak beregningene av vannføringer. På grunn av dette fremstilles det også et kartlag som visualiserer usikkerheten i form av punkter som viser hvor det foreligger en usikkerhet bak beregningene (Figur 5-4). Ved vurdering av resultatene er det viktig å ta i betraktning at usikkerheten i et punkt ikke påvirker usikkerheten i noen andre nærliggende punkter, eller andre punkter på samme dreneringslinje. Usikkerheten er gitt i prosentpoeng, og visualiseres via røde, transparente punkter med varierende størrelse ut ifra mengden usikkerhet. Hensikten med dette er å gjøre brukeren oppmerksom på om det foreligger ekstra usikkerhet bak beregningene.

Det siste kartlaget som ArcGIS-modellen fremstiller inneholder tabeller med informasjon om vannføringer og feltkarakteristikker for hvert målepunkt. Disse tabellene legges inn for hvert punkt hvor modellen visualiserer vannføringer. Dette gjør at brukeren, ved å klikke på et vilkårlig punkt på kartet hvor det er fremstilt en vannføring, vil automatisk få opp en pop-up-tabell slik som i Figur 5-5 hvor det gis følgende informasjon om målepunktet:

- Vannføring via konsentrasjonstid for naturlige felt [m³]
- Vannføring via konsentrasjonstid for urbane felt [m³]
- Vannføring via pragmatisk konsentrasjonstid [m³]
- Klimafaktor benyttet til beregning av «naturlig» vannføring [-]
- Klimafaktor benyttet til beregning av «urban» vannføring [-]
- Klimafaktor benyttet til beregning av «pragmatisk» vannføring [-]
- Konsentrasjonstid via likning (3) for naturlige felt [min]
- Konsentrasjonstid via likning (4) for urbane felt [min]
- Konsentrasjonstid via likning (5) via pragmatisk metode [min]
- Areal på nedbørsfelt [ha]
- Feltlengde [meter]
- Feltakse [meter]
- Høydeforskjell i nedbørsfelt [meter]
- Usikkerhet fra beregning av feltakse [%]

Vannføringene som vises i pop-up-tabellen er beregnet med gjentaksintervall på 200 år. Dette er kun gjort midlertidig for enkelhetens skyld, og kan endres på i etterkant. Eventuelt kan ArcGIS-modellen programmeres til at brukeren får velge gjentaksintervall selv.

I ArcGIS Pro vil brukeren bare kunne fremstille informasjon om det øverste kartlaget ved å klikke på kartet. På grunn av dette legges kartlaget som inneholder disse tabellene øverst og gjøres usynlig via ArcGIS-modellen slik at brukeren kan se alle underliggende kartlag og samtidig få informasjon fra tabellene ved å klikke på kartet.



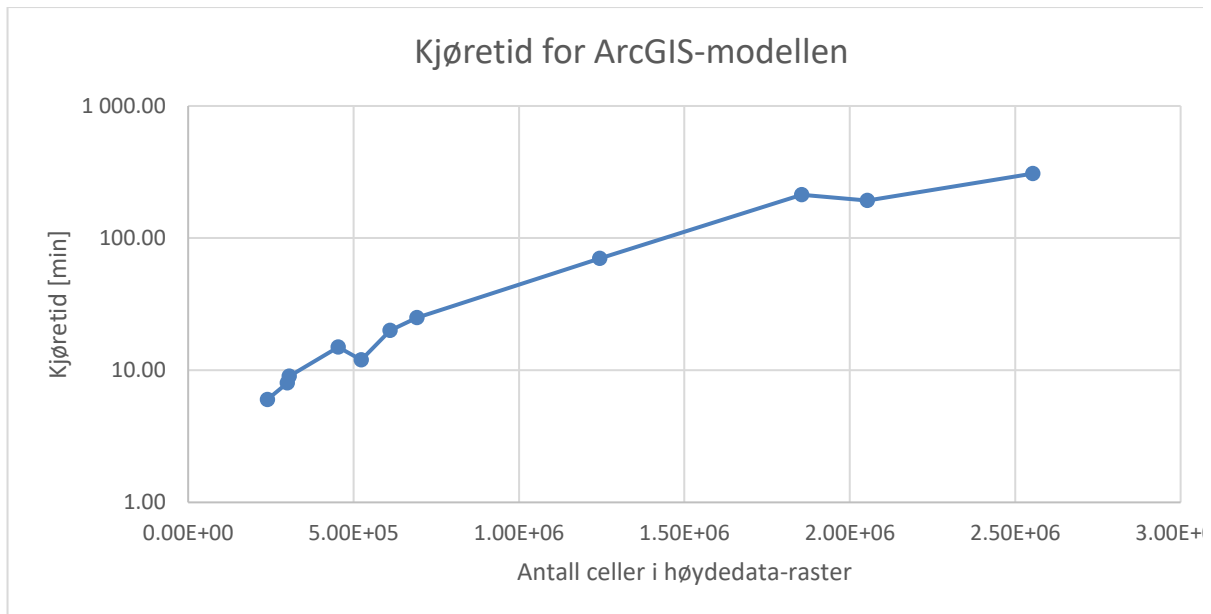
Figur 5-5: Utsnitt av brukergrensesnittet slik det kan se ut etter at resultatene er lagt inn. Pop-up-tabellen i midten oppstår ved å klikke på et punkt på kartet med vannføring.

5.1.3 Kjøretid

Majoriteten av verktøyene som benyttes i ArcGIS-modellen er innebygde verktøy laget av ESRI, som er optimalisert til å kunne håndtere store mengder data effektivt, uten at kjøretiden øker dramatisk med mengden data som skal behandles. Det er derfor viktig å påpeke at mesteparten av ArcGIS-modellen bidrar lite til den endelige kjøretiden. Det som imidlertid virkelig bidrar til kjøretiden er det selvlagde kode-verktøyet for beregning av feltakse og makshøyde. På grunn av beregningstygden til dette verktøyet, slik som beskrevet i avsnitt 4.1.3 øker modellens kjøretid eksponentielt med antall celler i høydedata-rasteret. Kjøretiden øker dermed med både størrelsen på rasteret og oppløsningen av rasteret.

Ettersom at terrengeanalyser krever grunnlagsdata med en tilstrekkelig oppløsning for å gi korrekte resultater (Nordeidet et al., 2015) er ArcGIS-modellen blitt konfigurert til å redusere kjøretiden så godt det lar seg gjøre uten at det går på bekostning av kvaliteten på resultatene. Kode-verktøyet som beregner feltakse og makshøyde er konfigurert til å kun gjøre beregninger for punkter med nedbørsfelt på 1 hektar eller større, slik at antall beregninger minimeres. Som tidligere nevnt i avsnitt 5.1.2 begrunnes dette med at de større vannføringene i de utvalgte test-områdene for denne gradsoppgaven kun oppstår ved målepunkter med nedbørsfelt av en viss størrelse. Dette kan imidlertid endres på i ettertid, slik at parameterne beregnes for flere punkter i en senere versjon av ArcGIS-modellen. I tillegg vil et selvlaget kode-verktøy (Vedlegg D) konvertere oppløsningen på høydedataen til 1x1 meter hvis oppløsningen er finere enn dette. Dermed vil oppløsningen på høydedataen som brukes, og resultatene som fremstilles, i praksis alltid være på 1x1 meter. Størrelsen på høydedata-rasterene som brukes til ArcGIS-modellen

varierer imidlertid. ArcGIS Pro måler tidsbruken ved bruk av et modell-verktøy automatisk, og tidsbruken for modellen er derfor notert ned ved alle simuleringer gjennomført til denne oppgaven.



Figur 5-6: Plott av kjøretid mot antall celler i inngangsdata-rasteret med høydedata. Loddrett akse er logaritmisk ettersom at kjøretiden ser ut til å øke eksponentielt med antall celler i høydedata-rasteret.

Testingen av ArcGIS-modellens kjøretid er blitt gjennomført på en PC med en *Intel Core i7-8850H @ 2.60GHz*-prosessor.

Som Figur 5-6 viser ser kjøretiden ut til å ha en tilnærmet eksponentiell økning med antall celler i høydedata-rasteret som brukes. Det er riktignok ikke dette som påvirker kjøretiden i realiteten, men antall celler som feltakse-verktøyet må gjøre beregninger for, altså antall celler i rasteret med nedbørsfelt over 1 hektar. Enkelte områder vil derfor kreve ekstra kjøretid fra ArcGIS-modellen, og det forekommer derfor avvik fra den eksponentielle økningen av kjøretid i fra enkelte simuleringer.

Den anbefalte maksimale grensen på størrelsen på høydedata-rasteret til inngangsdata i ArcGIS-modellen er satt til 3 000 000 m². Dette ansees som akseptabelt, med tanke på at anbefalt maksimale grense på nedbørsfelt ved bruk av den rasjonale metode som oftest settes til lavere enn dette (Lindholm, 2008). Det er likevel viktig å presisere at størrelsen på høydedata-rasteret ikke tilsvarer størrelsen på nedbørsfeltet til området det gjøres beregninger for. Ved anskaffelse av høydedata vil det være utfordrende å avgrense et raster til å bli nøyaktig likt et nedbørsfelt. Rasteret som benyttes vil dermed alltid inneholde et visst antall celler som

ikke hører til nedbørsfeltet. Brukeren bør derfor forsøke å minimere antallet unødvendige celler i rasteret for å redusere kjøretiden til ArcGIS-modellen .

Den endelige versjonen av ArcGIS-modellen som er blitt benyttet til testingen av kjøretid har fortsatt et stort forbedringspotensial. Majoriteten av dette potensialet ligger i feltakse-verktøyet, slik som det blir nevnt tidligere i dette delkapittelet. Ettersom at dette kode-verktøyet benytter seg av relativt tungvinne prosesser til å gjennomføre beregningene blir den totale kjøretiden til modellen svært lang. Kode-verktøyet må derfor optimaliseres ytterligere for å redusere kjøretiden, eller det må brukes alternative metoder for å gjennomføre beregningene. Det har i skrivende stund ennå ikke blitt utviklet noen innebygde verktøy i ArcGIS Pro som kan erstatte dette kode-verktøyet. Det er derfor blitt forsøkt å kode dette verktøyet så bra det lar seg gjøre i løpet av tidsbegrensingen til denne gradsoppgaven, både med tanke på beregningsresultater og optimalisering.

5.2 Beregningsresultater – Data fra test-områder

Dette delkapittelet tar for seg sammenlikning mellom beregningsresultater fra ArcGIS-modellen og resultater fremskaffet via andre metoder. Dette inkluderer HEC-RAS, SCALGO Live og manuell beregning via den rasjonale metode. Ved manuell beregning er SCALGO Live også blitt benyttet som hjelpeverktøy til anskaffelse av areal på nedbørsfelt og midlere avrenningskoeffisient. Resultater fra HEC-RAS foreligger kun i test-områdene i Asker på grunn av område-avgrensingen til HEC-RAS-modellene, se avsnitt 4.3.2 Ved sammenlikning med HEC-RAS-resultater er det viktig å ta i betraktning at klimafaktor ikke er inkludert i beregningene.

Avvik mellom manuelt beregnede feltkarakteristikker og feltkarakteristikker beregnet via ArcGIS-modellen er regnet ut via likning (9).

$$Avvik [\%] = \frac{Manuell\ beregning - Automatisk\ beregning}{Manuell\ beregning} * 100 \quad (9)$$

I tillegg til beregningsresultater sammenliknes også dreneringslinjene som beregnes av ArcGIS-modellen med dreneringslinjene i SCALGO Live for å vurdere hvorvidt avrenningsmønsteret blir likt. I SCALGO Live benyttes analysemetoden «Depression free flow» for å fremstille dreneringslinjene, se delkapittel 3.3 for beskrivelse av dette prinsippet.

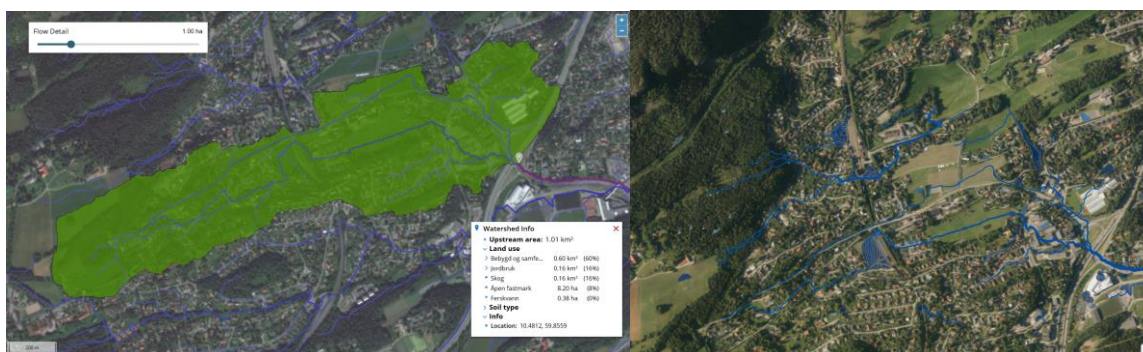
Det fremstilles kun dreneringslinjer med et tilhørende nedbørsfelt på 1 hektar eller større i både ArcGIS-modellen og SCALGO Live.

Geokoordinater for hvert målepunkt i hvert test-område er vedlagt i hvert avsnitt. Disse koordinatene kan benyttes til å lokalisere målepunktet via karttjenester som for eksempel Google Maps.

5.2.1 Test-område 1: Asker, E18

Under E18 i Asker kommune i nærheten av Skeidar Asker og Holmen fotballbane går det en dreneringslinje med et relativt stort nedbørsfelt. Dette nedbørsfeltet strekker seg vestover i Asker og består for det meste av boligområder.

Målepunkt: 59°51'21.2»N 10°28'52.3»E



Figur 5-7: Dreneringslinjer i test-område 1 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-1: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 1.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	85.5	18.13 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		101	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.54	-10.20 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.49	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	2717	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	1911	8.56 %
Feltakse, manuell beregning		2090	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	154	4.94 %
Høydeforskjell, manuell beregning		162	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	92	7.07 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		99	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	17	5.56 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		18	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	30	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0,005	-

Tabell 5-2: Beregnede vannføringer for test-område 1.

Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	1638 (1,0)	4573 (1,4)	6610 (1,4)
	Manuell beregning, naturlig	1764 (1,0)	4924 (1,4)	7117 (1,4)
	ArcGIS-modell, urban	5503 (1,0)	13680 (1,4)	20620 (1,5)
	Manuell beregning, urban	4739 (1,0)	13193 (1,4)	20416 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	3312 (1,0)	9729 (1,4)	15295 (1,5)
	HEC-RAS	3323 (u/klimafaktor)	-	11608 (u/klimafaktor)

Figur 5-7 gir uttrykk for god samstemning mellom avrenningsmønstrene. ArcGIS-modellen beregner et mindre nedbørsfelt enn SCALGO Live, utover dette samstemmer feltkarakteristikkene relativt bra. Dette, i tillegg til få ulikheter imellom avrenningsmønstrene, fører til relativt lite variasjon mellom manuelt og automatisk beregnede vannføringer. Beregningsresultatene fra HEC-RAS blir tilnærmet like vannføringene beregnet via pragmatisk konsentrasjonstid.

5.2.2 Test-område 2: Asker, Vakåsveien

I nærheten av test-område 1 går det enda en dreneringslinje via Vakåsveien med et relativt stort nedbørsfelt. Dette nedbørsfeltet strekker seg vestover langsmed nedbørsfeltet i test-område 1 og består for det meste av boligområder og grøntarealer.

Målepunkt: 59°51'07.9»N 10°28'18.8»E



Figur 5-8: Dreneringslinjer i test-område 2 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-3: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 2.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	98.6	2.38 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		101	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.51	-4.08 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.49	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	2909	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	1667	18.28 %
Feltakse, manuell beregning		2040	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	148	-0.68 %
Høydeforskjell, manuell beregning		147	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	82	18.81 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		101	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	14	22.22 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		18	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	32	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-4: Beregnede vannføringer for test-område 2.

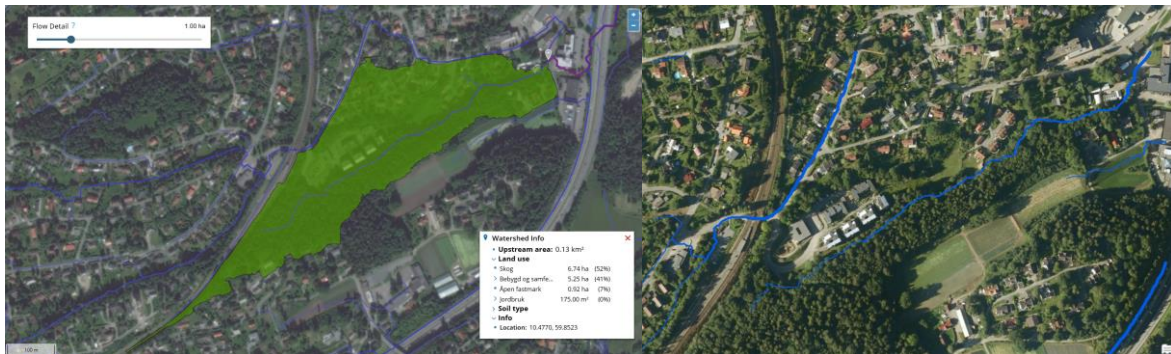
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	1807 (1,0)	5046 (1,4)	7293 (1,4)
	Manuell beregning, naturlig	1714 (1,0)	4787 (1,4)	6919 (1,4)
	ArcGIS-modell, urban	5871 (1,0)	15095 (1,4)	22753 (1,5)
	Manuell beregning, urban	4607 (1,0)	12825 (1,4)	19847 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	3654 (1,0)	10735 (1,4)	16877 (1,5)
	HEC-RAS	1176 (u/klimafaktor)	-	4098 (u/klimafaktor)

I dette test-området ser avrenningsmønstrene ut til å samstemme bra (Figur 5-8). Det blir noe avvik mellom automatisk og manuelt beregnede feltkarakteristikker for dette feltet, noe som fører til en viss forskjell på enkelte vannføringer. Resultatene fra HEC-RAS gir lave maksimale vannføringer i forhold til de andre beregningsmetodene.

5.2.3 Test-område 3: Asker, Nye Vakås vei

Like i nærheten av test-område 2 går det en dreneringslinje via Nye Vakås vei med et mindre nedbørsfelt bestående av skogområder og bebyggelse. Nedbørsfeltet strekker seg vestover rett sør for nedbørsfeltet til test-område 2.

Målepunkt: 59°51'08.3"N 10°28'37.2"E



Figur 5-9: Dreneringslinjer i test-område 3 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-5: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 3.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	13.6	-5.43 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		12.9	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.46	-6.98 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.43	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	1277	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	1100	-0.92 %
Feltakse, manuell beregning		1090	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	62	0.0 %
Høydeforskjell, manuell beregning		62	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	84	-1.2 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		83	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	13	-8.33 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		12	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	14	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-6: Beregnede vannføringer for test-område 3.

Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	226 (1,0)	630 (1,4)	912 (1,4)
	Manuell beregning, naturlig	198 (1,0)	554 (1,4)	800 (1,4)
	ArcGIS-modell, urban	734 (1,0)	1887 (1,4)	2844 (1,5)
	Manuell beregning, urban	819 (1,0)	1967 (1,4)	2893 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	734 (1,0)	1887 (1,4)	2844 (1,5)
	HEC-RAS	5384 (u/klimafaktor)	-	21435 (u/klimafaktor)

I dette testområdet viser avrenningsmønstrene fra både SCALGO Live og ArcGIS-modellen at det kun går én dreneringslinje gjennom nedbørsfeltet til målepunktet, se Figur 5-9. Feltkarakteristikker og vannføringer fra automatiske beregninger samsvarer relativt bra med manuelle beregningsresultater. Differansen mellom enkelte vannføringer kan se ut til å skyldes at konsentrasjonstidene rundes av til ulike regnvarigheter og at nedbørintensitetene dermed blir ulike.

Resultatene fra HEC-RAS viser svært høye vannføringer i forhold til de andre beregningsmetodene. En mulig årsak til dette er at en stor andel av nedbørsfeltet i test-område 2 ser ut til istedenfor å drenerer mot test-område 3 i HEC-RAS. Det er også god grunn til å anta at dette er årsaken til de forholdsvis lave vannføringene beregnet av HEC-RAS i test-område 2, se avsnitt 5.2.2

5.2.4 Test-område 4: Asker, Brusefaret

Et stykke lenger nord for de øvrige testområdene går det en dreneringslinje igjennom en liten boliggate. Nedbørsfeltet består av boligområder, skogområder og jordbruksområder. Dette feltet overlapper med deler av nedbørsfeltet i test-område 1.

Målepunkt: 59°51'20.3"N 10°27'58.1"E



Figur 5-10: Dreneringslinjer i test-område 4 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-7: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 4.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	37.9	-1.61 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		37.3	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.49	-6.52 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.46	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	1938	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	1204	8.09 %
Feltakse, manuell beregning		1310	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	128	1.54 %
Høydeforskjell, manuell beregning		130	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	64	7.25 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		69	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	11	8.33 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		12	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	22	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-8: Beregnede vannføringer for test-område 4.

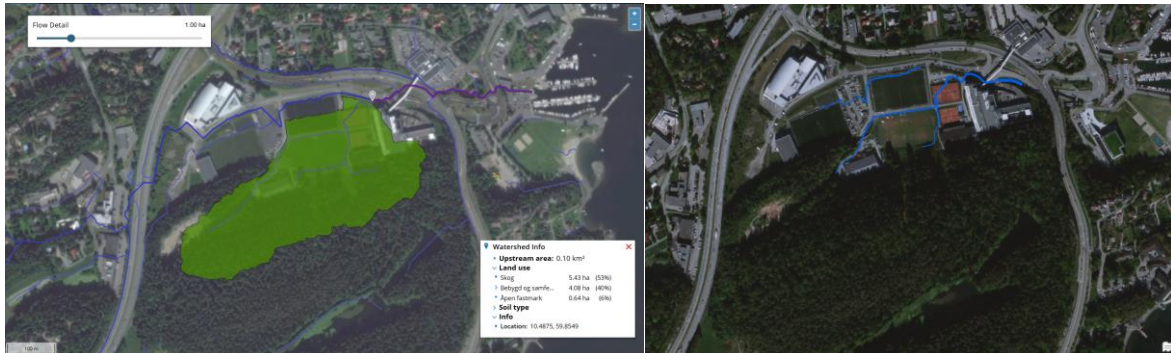
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	859 (1,0)	2570 (1,4)	4064 (1,5)
	Manuell beregning, naturlig	799 (1,0)	2389 (1,4)	3778 (1,5)
	ArcGIS-modell, urban	2745 (1,0)	6589 (1,4)	9690 (1,5)
	Manuell beregning, urban	2552 (1,0)	6125 (1,4)	9008 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	1785 (1,0)	4970 (1,4)	7692 (1,5)
	HEC-RAS	156 (u/klimafaktor)	-	518 (u/klimafaktor)

Figur 5-10 gir uttrykk for at avrenningsmønstrene samstemmer relativt bra, men med noen avvik over åkeren rett vest for målepunktet. Feltkarakteristikkene avviker i relativt liten grad fra hverandre, noe som resulterer i liten differanse mellom automatiske og manuelle beregnede vannføringer. Beregningene i HEC-RAS gir derimot mye lavere vannføringer enn de andre beregningsmetodene. En årsak til dette ser ut til å være at en del av nedbørsfeltet drenerer mot åkeren rett vest for målepunktet i HEC-RAS, og at vannføringen dermed blir lavere. Ulikhetene mellom HEC-RAS' og de andre verktøyenes metoder for å beregne nedbørsfelt kommer tydelig frem i dette test-området.

5.2.5 Test-område 5: Asker, Holmen

Via Holmen idrettsanlegg i Asker går det en dreneringslinje med et mindre nedbørsfelt. Dette feltet består for det meste av skogsområder rett sør for idrettsanlegget.

Målepunkt: 59°51'17.6"N 10°29'15.0"E



Figur 5-11: Dreneringslinjer i test-område 5 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-9: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 5.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	9.0	11.76 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		10.2	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.43	0.00 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.43	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	873	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	378	29.87 %
Feltakse, manuell beregning		539	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	57	1.72 %
Høydeforskjell, manuell beregning		58	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	30	28.57 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		42	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	4	33.33 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		6	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	10	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-10: Beregnede vannføringer for test-område 5.

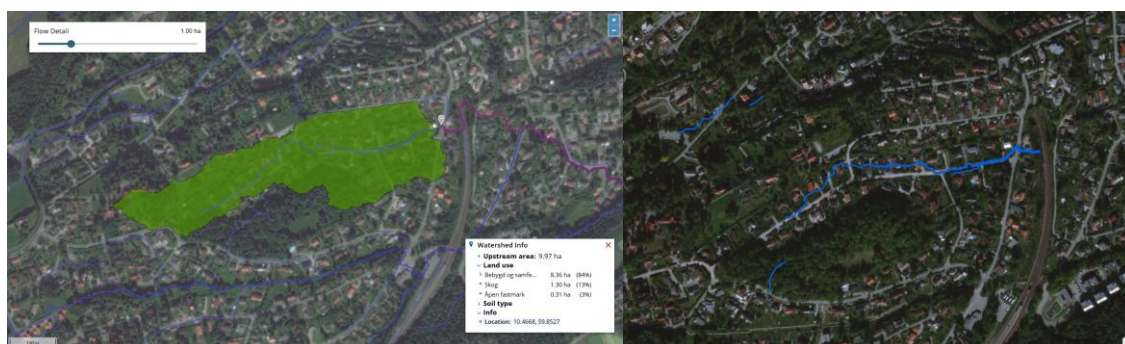
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)felt)	ArcGIS-modell, naturlig	279 (1,0)	821 (1,4)	1290 (1,5)
	Manuell beregning, naturlig	243 (1,0)	721 (1,4)	1137 (1,5)
	ArcGIS-modell, urban	906 (1,0)	1947 (1,4)	2736 (1,5)
	Manuell beregning, urban	877 (1,0)	1965 (1,4)	2812 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	571 (1,0)	1370 (1,4)	2015 (1,5)
	HEC-RAS	417 (u/klimafaktor)	-	2148 (u/klimafaktor)

Avrenningsmønstrene ser ut til å samstemme bra i nærheten av målepunktet ifølge Figur 5-11, men enkelte linjer i mønsteret fra ArcGIS-modellen forsvinner når nedre grense for størrelse på nedbørsfelt settes til 1 hektar. De automatiske og manuelt beregnede vannføringene samsvarer relativt bra for dette testområdet, til tross for noen større avvik mellom enkelte beregnede feltkarakteristikker. Vannføringene beregnet via HEC-RAS tilsvarende en middelvei mellom vannføringene beregnet via konsentrasjonstid for naturlige felt og urbane felt, men om det sees bort ifra klimafaktor blir 200-års-vannføringen beregnet i HEC-RAS tilnærmet lik 200-års-vannføringene beregnet via konsentrasjonstid for urbane felt.

5.2.6 Test-område 6: Asker, Greverudveien

Tvers over Greverudveien i Asker går det en dreneringslinje med et mindre oppstrøms nedbørsfelt. Majoriteten av feltet består av bebygde områder. Nedbørsfeltet overlapper med deler av nedbørsfeltet i test-område 2.

Målepunkt: 59°51'09.7"N 10°28'00.5"E



Figur 5-12: Dreneringslinjer i test-område 6 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-11: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 6.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	9.68	2.91 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		9.97	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.58	-5.45 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.55	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	968	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	748	0.13 %
Feltakse, manuell beregning		749	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	52	0.00 %
Høydeforskjell, manuell beregning		52	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	63	-1.61 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		62	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	9	0.0 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		9	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	11	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-12: Beregnede vannføringer for test-område 6.

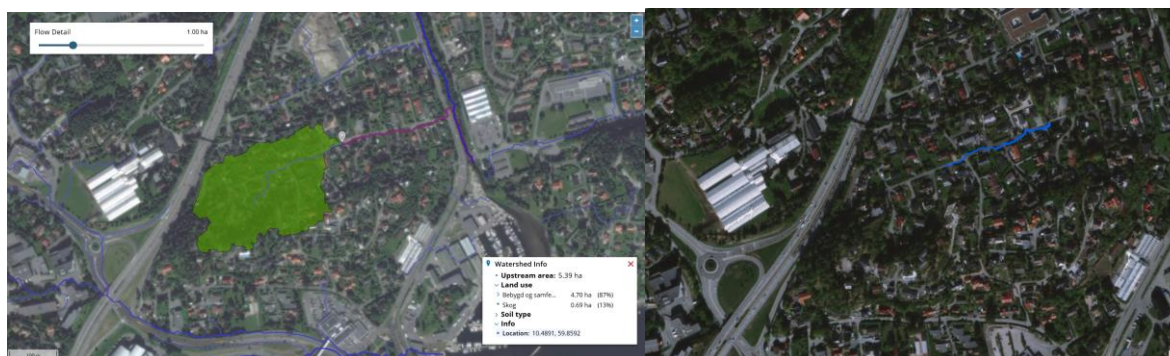
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	259 (1,0)	774 (1,4)	1224 (1,5)
	Manuell beregning, naturlig	256 (1,0)	766 (1,4)	1211 (1,5)
	ArcGIS-modell, urban	826 (1,0)	1984 (1,4)	2918 (1,5)
	Manuell beregning, urban	818 (1,0)	1963 (1,4)	2887 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	826 (1,0)	1984 (1,4)	2918 (1,5)
	HEC-RAS	711 (u/klimafaktor)	-	2501 (u/klimafaktor)

Det ser ut til å være bra samstemning mellom avrenningsmønstrene fra SCALGO Live og ArcGIS-modellen i dette test-området ifølge Figur 5-12. Automatisk og manuelt beregnede feltkarakteristikker stemmer meget godt overens for dette feltet, med unntak av litt ulike størrelser på areal på nedbørsfelt og midlere avrenningskoeffisient. Dette resulterer i liten differanse imellom beregnede vannføringer. HEC-RAS beregner vannføringer av størrelser i nærheten av vannføringene beregnet via konsentrasjonstid for urbane felt.

5.2.7 Test-område 7: Asker, Langkroken

Via Langkroken i Asker, like ved Nesbru barnehage, går det en dreneringslinje med et lite nedbørsfelt. Mesteparten av feltet består av bebygde områder, i tillegg til noen skogsområder.

Målepunkt: 59°51'33.1"N 10°29'20.8"E



Figur 5-13: Dreneringslinjer i test-område 7 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-13: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 7.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	4.68	13.17 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		5.39	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.60	-7.14 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.56	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	503	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	353	6.86 %
Feltakse, manuell beregning		379	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	34	0.00 %
Høydeforskjell, manuell beregning		34	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	36	7.69 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		39	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	4	20 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		5	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	6	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-14: Beregnede vannføringer for test-område 7.

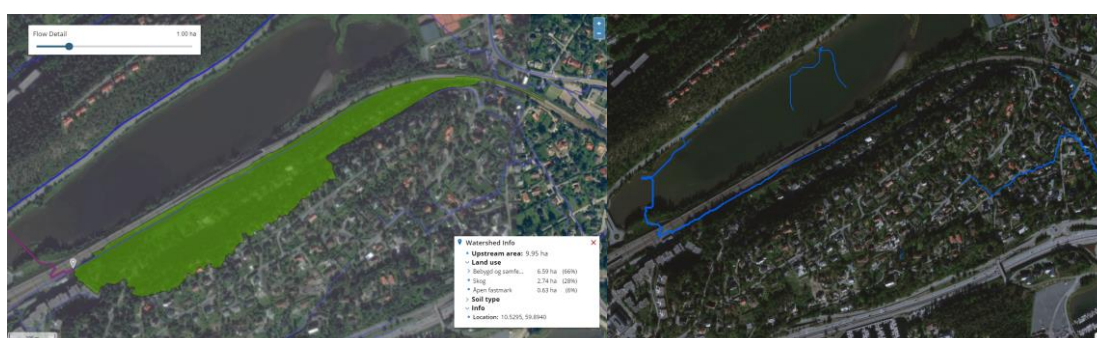
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	203 (1,0)	598 (1,4)	940 (1,5)
	Manuell beregning, naturlig	170 (1,0)	503 (1,4)	795 (1,5)
	ArcGIS-modell, urban	569 (1,0)	1275 (1,4)	1824 (1,5)
	Manuell beregning, urban	613 (1,0)	1373 (1,4)	1965 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	569 (1,0)	1275 (1,4)	1824 (1,5)
	HEC-RAS	420 (u/klimafaktor)	-	1304 (u/klimafaktor)

Som Figur 5-13 viser faller en større andel av dreneringslinjen vekk i ArcGIS enn i SCALGO Live i dette test-området ved en nedre grense på nedbørsfelt på 1 hektar. Feltkarakteristikkene stemmer greit overens med hverandre, men ettersom at konsentrasjonstidene for naturlige felt rundes av til ulike regnvarigheter blir det en viss differanse imellom de tilhørende vannføringene. HEC-RAS beregner vannføringer i nærheten av vannføringene beregnet via konsentrasjonstid for urbane felt.

5.2.8 Test-område 8: Bærum, jernbanen

Langs jernbanen ved Sandvika stasjon i retning Oslo går det en dreneringslinje med et nedbørsfelt som omfatter deler av åsen langsmed jernbanen i Sandvika. Nedbørsfeltet har en avlang form, og det ser ut til å være stor forskjell på høyden i det høyeste punktet i feltet og det fjerneste punktet i feltet. Det kan dermed forventes større avvik mellom resultatene fra de ulike beregningsmetodene i dette test-området.

Målepunkt: 59°53'38.5"N 10°31'46.2"E



Figur 5-14: Dreneringslinjer i test-område 8 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-15: Beregninger av feltkarakteristikker fra test-område 8.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	9.75	2.11 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		9.96	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.55	-10.00 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.50	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	1255	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	1107	-0.64 %
Feltakse, manuell beregning		1100	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	9	85.48 %
Høydeforskjell, manuell beregning		62	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	221	-163.1 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		84	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	27	-107.69 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		13	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	14	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-16: Beregninger av vannføringer for test-område 8.

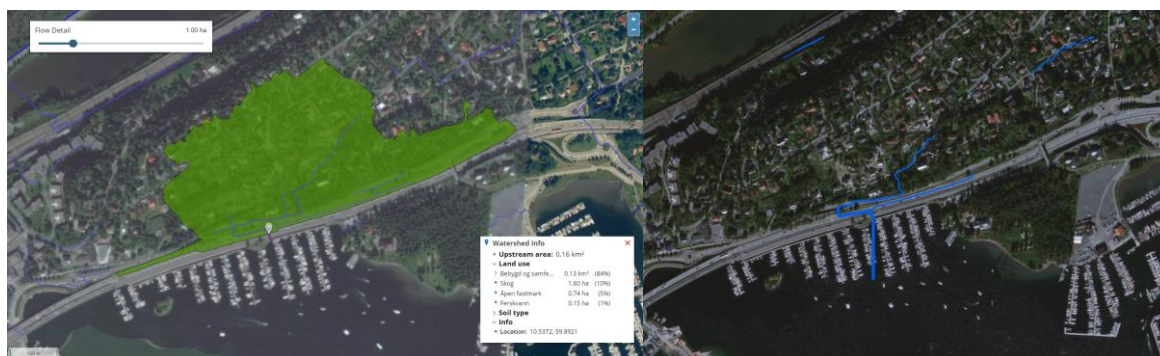
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	112 (1,0)	303 (1,3)	444 (1,3)
	Manuell beregning, naturlig	166 (1,0)	537 (1,4)	809 (1,5)
	ArcGIS-modell, urban	382 (1,0)	1042 (1,4)	1603 (1,5)
	Manuell beregning, urban	552 (1,0)	1276 (1,4)	1850 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	590 (1,0)	1363 (1,4)	1976 (1,5)
	HEC-RAS	-	-	-

En større andel av dreneringslinjen faller vekk i ArcGIS Pro enn i SCALGO Live i dette test-området som en følge av minimumsgrensen på størrelse på nedbørsfelt, slik som Figur 5-14 viser. Som forventet blir det et stort avvik mellom den automatisk beregnede høydeforskjellen og den manuelt beregnede høydeforskjellen. Dette fører til større differanser mellom beregnede konsentrasjonstider, som igjen fører til større differanser mellom de beregnede vannføringene. Dette gjelder spesielt for vannføringene beregnet med konsentrasjonstid for naturlige felt.

5.2.9 Test-område 9: Bærum, E18

Rett sør for test-område 8, på den andre siden av åsen, går det en dreneringslinje langs E18 og ut i sjøen. Nedbørsfeltet til dreneringslinjen består for det meste av boligområder og noe skog. Høydeforskjellen som beregnes av ArcGIS-modellen antas å avvike fra den manuelt beregnede høydeforskjellen for dette feltet.

Målepunkt: 59°53'31.6"N 10°32'13.9"E



Figur 5-15: Dreneringslinjer i test-område 9 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-17: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 9.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	15.4	-0.65 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		15.3	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.60	-9.09 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.55	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	912	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	327	43.13 %
Feltakse, manuell beregning		575	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	65	9.72 %
Høydeforskjell, manuell beregning		72	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	24	41.46 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		41	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	3	50 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		6	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	10	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-18: Beregnede vannføringer for test-område 9.

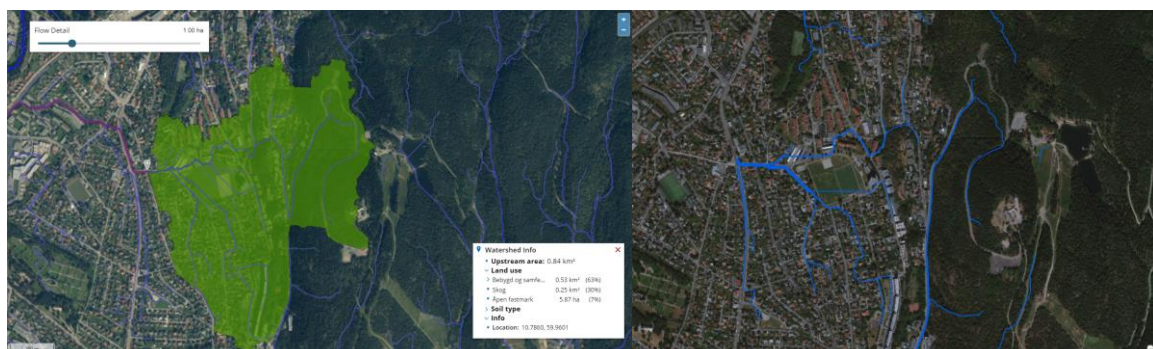
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	852 (1,0)	2081 (1,4)	3080 (1,5)
	Manuell beregning, naturlig	469 (1,0)	1356 (1,4)	2121 (1,5)
	ArcGIS-modell, urban	1869 (1,0)	4177 (1,4)	5970 (1,5)
	Manuell beregning, urban	1488 (1,0)	3526 (1,4)	5160 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	1224 (1,0)	2906 (1,4)	4257 (1,5)
	HEC-RAS	-	-	-

I dette test-området viser Figur 5-15 relativt like avrenningsmønstre, men enkelte av linjene ser ut til å falle vekk i ArcGIS Pro. Det største avviket mellom feltkarakteristikker fra dette området blir ved beregnede feltakser, istedenfor høydeforskjell som ble spådd innledningsvis i dette avsnittet. Dette kan skyldes at ArcGIS-modellen definerer et annet punkt som fjerneste punkt i feltet fordi avrenningsmønsteret ikke blir identisk med det i SCALGO Live. Dette gir utslag på konsentrasjonstidene, og dermed blir det en viss differanse imellom de beregnede vannføringene.

5.2.10 Test-område 10: Oslo, Myrerskogveien

På Kjelsås i Oslo går det en dreneringslinje langs Myrerskogveien med et relativt stort nedbørsfelt. Dette feltet har store høydevariasjoner, og består for det meste av bebygde områder og skogsområder. Dette området er valgt ut fordi det forventes et avvik imellom enkelte beregnede feltkarakteristikker fra feltet.

Målepunkt: 59°57'36.3"N 10°47'09.7"E



Figur 5-16: Dreneringslinjer i test-område 10 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-19: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 10.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	65.6	21.81 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		83.9	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.57	-14.00 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.50	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	1949	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	702	35.30 %
Feltakse, manuell beregning		1085	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	78	61.76 %
Høydeforskjell, manuell beregning		204	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	48	-4.35 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		46	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	7	12.5 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		8	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	22	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	36	-

Tabell 5-20: Beregnede vannføringer for test-område 10.

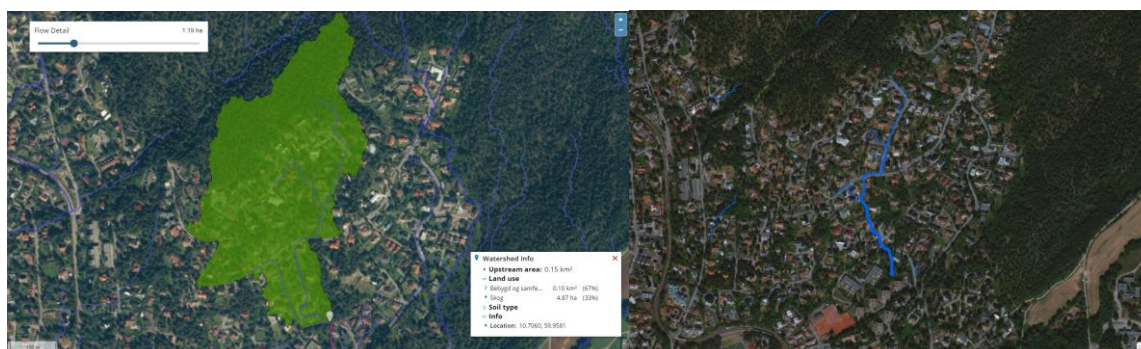
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	2470 (1,0)	5627 (1,4)	8105 (1,5)
	Manuell beregning, naturlig	2757 (1,0)	6280 (1,4)	9046 (1,5)
	ArcGIS-modell, urban	8064 (1,0)	16833 (1,4)	23342 (1,5)
	Manuell beregning, urban	6555 (1,0)	14355 (1,4)	20341 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	4217 (1,0)	9650 (1,4)	13927 (1,5)
	HEC-RAS	-	-	-

I dette området gir Figur 5-16 uttrykk for et noe annerledes avrenningsmønster i ArcGIS-modellen enn i SCALGO Live. Den østlige delen av feltet ser ut til å drenere sørover i ArcGIS istedenfor vestover mot målepunktet, slik som det gjør i SCALGO Live. Det blir en viss differanse mellom flere av de beregnede feltkarakteristikkene, noe som kan være forårsaket av de ulike avrenningsmønstrene. Til tross for større avvik mellom beregnede feltaksjer og høydeforskjeller blir det kun noen få minutters forskjell imellom beregnede konsentrasjonstider. Dette kan imidlertid skyldes tilfeldigheter. Usikkerheten fra feltakseverktøyet er på 36 prosent, som betyr at feltaksen i realiteten kan være 36 prosent høyere enn det som ArcGIS-modellen beregner. Dette samstemmer godt med den manuelt beregnede feltaksen, som er omtrent 35 prosent høyere. Vannføringene ser også ut til å samstemme relativt godt med hverandre, spesielt ved konsentrasjonstid beregnet via likningen for naturlige felt.

5.2.11 Test-område 11: Oslo, Gråkamveien

I Gråkamveien, i nærheten av Slemdal i Oslo, går det en dreneringslinje med et nedbørsfelt som stekker seg nordover og består av boligområder og skogsområder. Feltet har et terreng med mye høydevariasjon, noe som kan ha en effekt på beregningene som gjennomføres av ArcGIS-modellen.

Målepunkt: 59°57'29.1"N 10°42'21.2"E



Figur 5-17: Dreneringslinjer i test-område 11 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-21: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 11.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	14.6	2.01 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		14.9	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.52	-4.00 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.50	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	911	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	534	21.12 %
Feltakse, manuell beregning		677	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	84	2.33 %
Høydeforskjell, manuell beregning		86	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	35	20.45 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		44	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	5	16.67 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		6	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	10	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-22: Beregnede vannføringer for test-område 11.

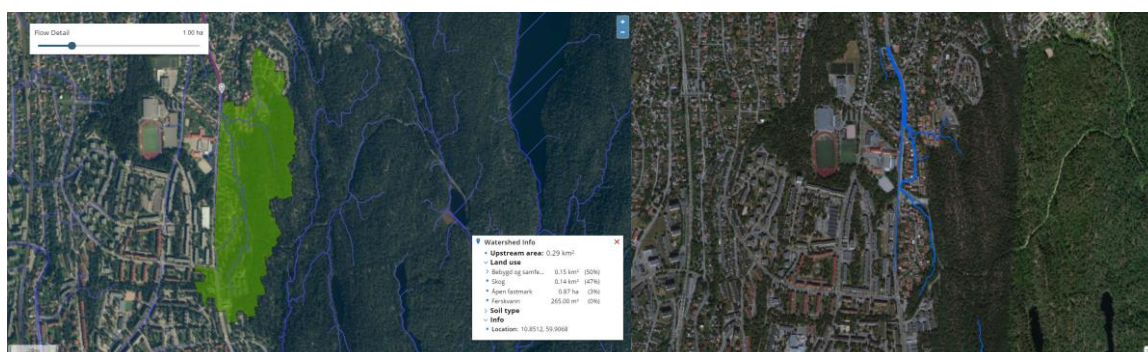
Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	634 (1,0)	1687 (1,4)	2573 (1,5)
	Manuell beregning, naturlig	485 (1,0)	1262 (1,4)	1910 (1,5)
	ArcGIS-modell, urban	1649 (1,0)	4250 (1,4)	6412 (1,5)
	Manuell beregning, urban	1621 (1,0)	4179 (1,4)	6305 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	1241 (1,0)	3198 (1,4)	4826 (1,5)
	HEC-RAS	-	-	-

Avrenningsmønstrene i Figur 5-17 ser tilsynelatende like ut, men enkelte av de mindre linjene faller vekk i ArcGIS Pro. De fleste feltkarakteristikkene, med unntak av feltakser, samstemmer relativt bra med hverandre. Konsentrasjonstidene beregnet via likningen for naturlige felt blir rundet av til ulike varigheter, noe som gir en viss differanse imellom vannføringene beregnet via disse konsentrasjonstidene. Utover dette ser de automatisk og manuelt beregnede vannføringene ut til å samstemme godt i dette området.

5.2.12 Test-område 12: Oslo, Hellerudveien

I Trasop i Oslo går det en dreneringslinje nordover langsmed Hellerudveien med et middels nedbørsfelt. Feltet består for det meste av boligområder og skogsområder. Terrengets høydevariasjon forventes å ha en effekt på beregningene i ArcGIS-modellen.

Målepunkt: 59°54'24.5"N 10°51'04.3"E



Figur 5-18: Dreneringslinjer i test-område 12 fremstilt av SCALGO Live til venstre og ArcGIS-modellen til høyre.

Tabell 5-23: Beregnede feltkarakteristikker fra test-område 12.

Feltkarakteristikk	Enhet	Beregningsresultat	Avvik
Areal på nedbørsfelt, ArcGIS-modell	[ha]	26.7	10.70 %
Areal på nedbørsfelt, SCALGO Live		29.9	
Midlere avrenningskoeffisient, ArcGIS-modell	[-]	0.44	2.22 %
Midlere avrenningskoeffisient, SCALGO Live		0.45	
Feltlengde, ArcGIS-modell	[m]	1370	-
Feltakse, ArcGIS-modell	[m]	951	4.61 %
Feltakse, manuell beregning		997	
Høydeforskjell, ArcGIS-modell	[m]	21	58.82 %
Høydeforskjell, manuell beregning		51	
Konsentrasjonstid, naturlig, ArcGIS-modell	[min]	125	-48.81 %
Konsentrasjonstid, naturlig, manuell beregning		84	
Konsentrasjonstid, urban, ArcGIS-modell	[min]	16	-33.33 %
Konsentrasjonstid, urban, manuell beregning		12	
Konsentrasjonstid, pragmatisk, ArcGIS-modell	[min]	15	-
Usikkerhet fra feltakse-verktøy	[%]	0	-

Tabell 5-24: Beregnede vannføringer for test-område 12.

Vannføringer m/klimafaktor [l/s] (Klimafaktor)		Gjentaksintervall		
		2 år	20 år	200 år
Beregningsmetode og likning for konsentrasjonstid (f.eks, «ArcGIS-modell, naturlig» betyr at vannføringen er beregnet via ArcGIS-modellen, og konsentrasjonstiden som benyttes er beregnet via likningen for naturlige felt)	ArcGIS-modell, naturlig	347 (1,0)	861 (1,4)	1195 (1,4)
	Manuell beregning, naturlig	481 (1,0)	1227 (1,4)	1722 (1,4)
	ArcGIS-modell, urban	1233 (1,0)	2990 (1,4)	4411 (1,5)
	Manuell beregning, urban	1749 (1,0)	4040 (1,4)	5851 (1,5)
	ArcGIS-modell, pragmatisk	1233 (1,0)	2990 (1,4)	4411 (1,5)
	HEC-RAS	-	-	-

Avrenningsmønstrene ser ut til å samstemme greit i Figur 5-18, men med noen ulikheter i den sørlige delen av nedbørsfeltet. Den meget store differansen i beregnede høydeforskjeller fører til at beregnede konsentrasjonstider rundes av til ulike regnvarigheter. Dette fører igjen til en viss differanse mellom de beregnede vannføringene.

5.3 Beregningsresultater – Oppsummering og statistikk

I dette delkapittelet blir beregningsresultatene fra delkapittel 5.2 oppsummert og gjengitt i ulike diagrammer for å undersøke korrelasjon mellom ulike resultater. Det er blitt benyttet punktdiagrammer, eller spredningsplott, til å visualisere sammenhengen mellom resultater fra beregningsmetode x og beregningsmetode y , hvor verdiene fra de to beregningsmetodene bestemmes av henholdsvis x -aksen og y -aksen. Hvert punkt representerer resultater fra ett felles målepunkt. Ved sammenlikning av vannføringer er klimafaktor tatt bort ifra beregningene.

Resultater fra ulike beregningsmetoder med felles gjentakintervall antas å ha lineære sammenhenger, og det har derfor blitt fremstilt lineære modeller i form av regresjonslinjer til å fremvise disse sammenhengene. Likningene som representerer regresjonslinjene er av tilsvarende form som likning (10).

$$y = a * x + b \tag{10}$$

Hvor y er resultatet fra beregningsmetode y , x er resultatet fra beregningsmetode x , a er stigningstallet til linja og b er y -verdien der linja skjærer y -aksen og $x = 0$.

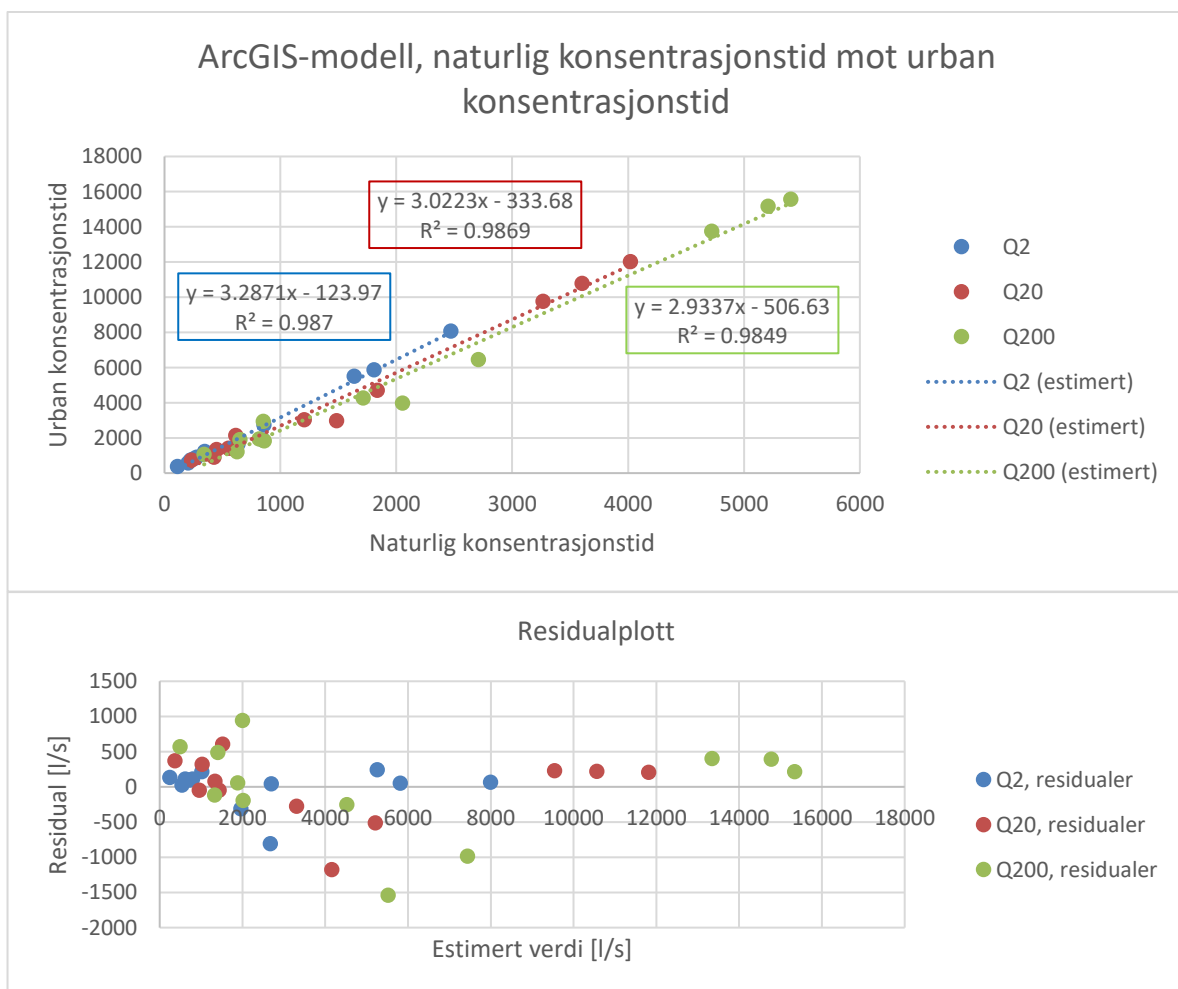
Ved høy korrelasjon kan disse sammenhengene brukes til å predikere resultater fra beregningsmetode y ved hjelp av resultater fra beregningsmetode x . Om det forekommer høy spredning mellom resultatet vil det imidlertid ligge stor usikkerhet bak disse beregningene. Korrelasjonen mellom resultatene kan kvantifiseres ved hjelp av bestemmelseskoeffisienten, R^2 . Dette tallet varierer mellom 0 og 1 og er et mål på hvor stor andel av variasjonen mellom punktene og regresjonslinja som kan forklares av den lineære regresjonsmodellen. Eksempelvis, hvis R^2 har en verdi på 0.8 kan 80% av variasjonen forklares av modellen.

Til ekstra kontroll av de lineære modellene er det vedlagt residualplott. Residualer er differansen mellom estimerte verdier av regresjonsmodellen, og faktiske verdier. Ved hjelp av residualplott kan det dermed kontrolleres hvorvidt de lineære modellene systematisk overestimerer eller underestimerer verdier. Hvis residualene danner et mønster i plottet tyder det på dette. Størrelsen på residualene forventes å øke med størrelsen på de estimerte verdiene de beregnes ut ifra, og residualene må derfor tolkes relativt til disse verdiene.

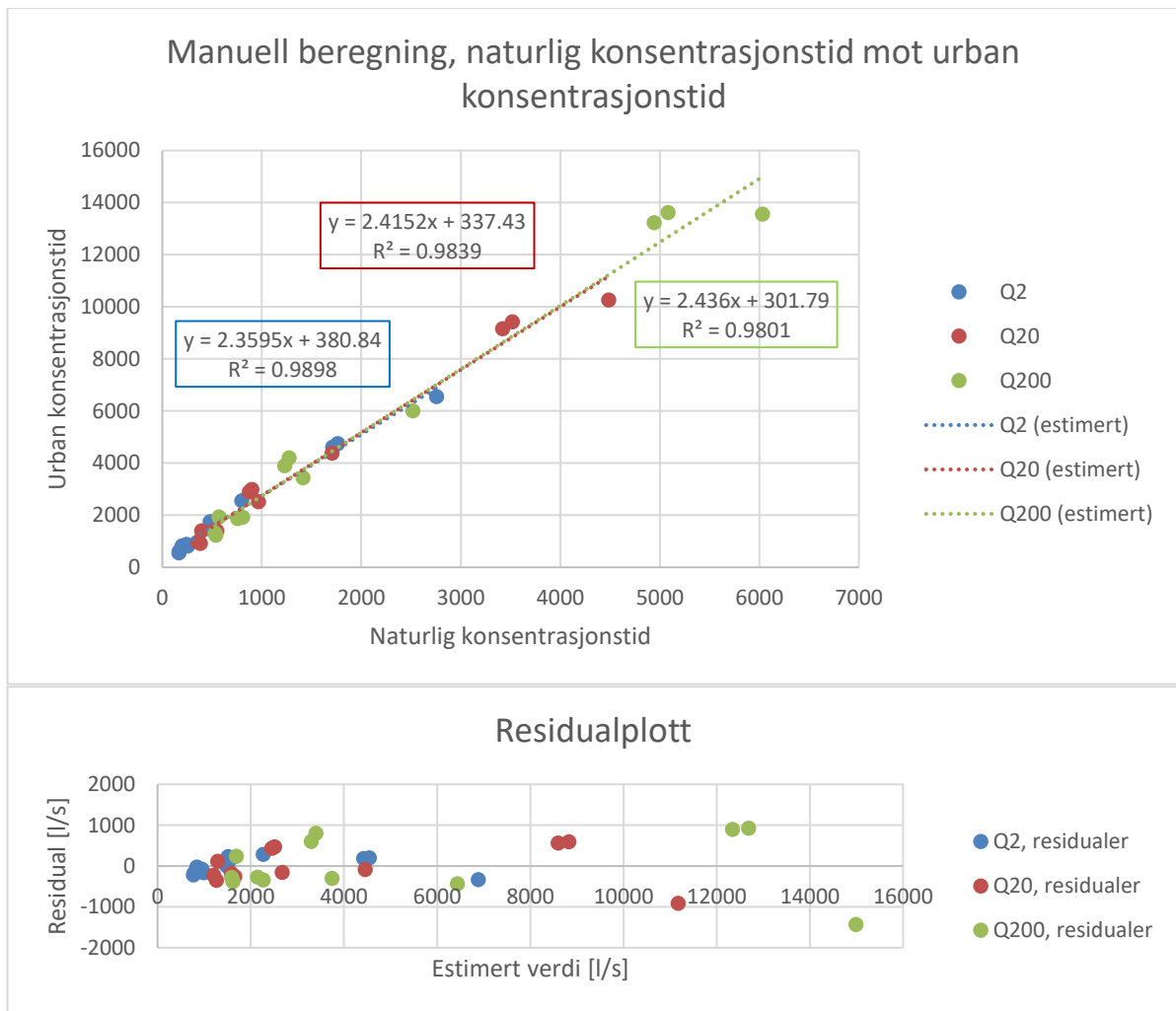
Hvis de lineære regresjonsmodellene som fremstilles er akseptable nok, i henhold til de overnevnte kriteriene, vil det være mulig å benytte dem til videre kalibrering av verktøyet. Det er imidlertid viktig å påpeke at det bør gjøres flere målinger fra enda flere test-områder før det med sikkerhet kan fastslås at regresjonsmodellene kan benyttes til dette.

5.3.1 Vannføringer, valg av likning for konsentrasjonstid

Som de fleste av beregningsresultatene i delkapittel 5.2 viser har valget av likning for beregning av konsentrasjonstid en meget stor påvirkning på den maksimale vannføringen som beregnes for et nedbørsfelt. Det er derfor blitt forsøkt å fremstille en lineær regresjonsmodell som kan gi en sammenheng mellom vannføringer beregnet via henholdsvis konsentrasjonstid for naturlige felt og for urbane felt. Det er laget separate plott for vannføringer beregnet via ArcGIS-modellen og manuelle beregninger.



Figur 5-19: Plott av vannføringer beregnet via konsentrasjonstid for naturlige felt mot vannføringer beregnet via konsentrasjonstid for urbane felt, ArcGIS-modell, og residualplott.



Figur 5-20: Plott av vannføringer beregnet via konsentrasjonstid for naturlige felt mot vannføringer beregnet via konsentrasjonstid for urbane felt, manuell beregning, og residualplott.

Både Figur 5-19 og Figur 5-20 gir uttrykk for at valg av konsentrasjonstid for urbane felt vil gi en vannføring to til tre ganger større enn ved valg av konsentrasjonstid for naturlige felt. Begge regresjonsmodellene viser høy korrelasjon mellom resultatene, i form av verdier av R^2 fra 0.98 til 0.99. Residualene danner ingen tydelige mønstre, med unntak av Q20 og Q200 i Figur 5-19 som gir uttrykk for en ikke-lineær sammenheng. Dette kan imidlertid skyldes tilfeldigheter. De fleste residualene ser ut til å være relativt små, men modellene bommer relativt mye på enkelte estimater. Dette ser ut til å først og fremst gjelde for mindre vannføringer.

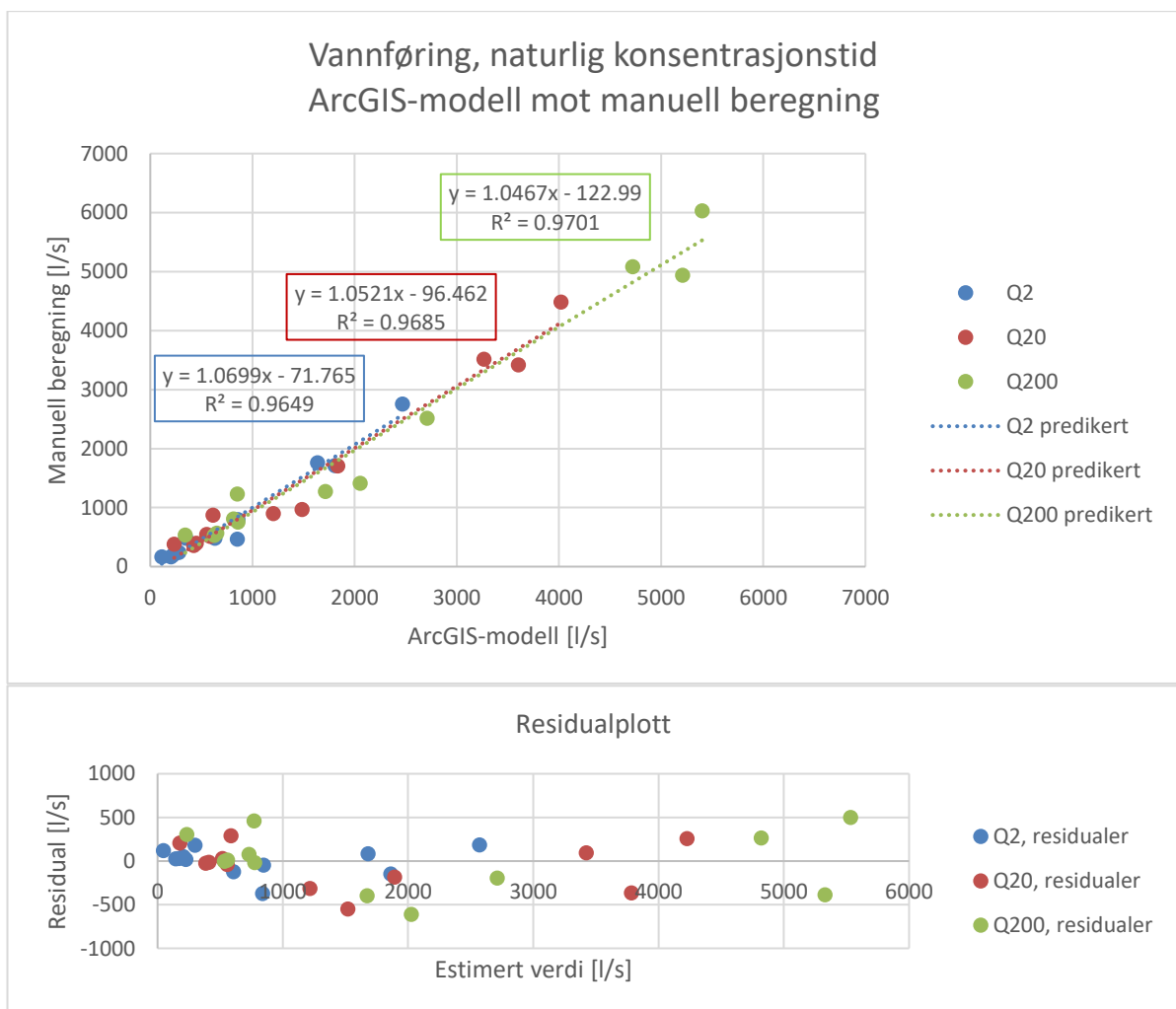
Alt i alt tyder resultatene på at valg av konsentrasjonstid vil være sentralt ved beregning av dimensjonerende vannføring. Det finnes ingen klar definisjon av områdene som de ulike formlene for konsentrasjonstid nevnt i denne oppgaven bør benyttes for, og det vil dermed være opp til brukeren å avgjøre valg av likning. Derfor konkluderes det med at det bør foreligge

vannføringer beregnet via både konsentrasjonstid for naturlige felt og via konsentrasjonstid for urbane felt i resultatene som ArcGIS-modellen fremstiller.

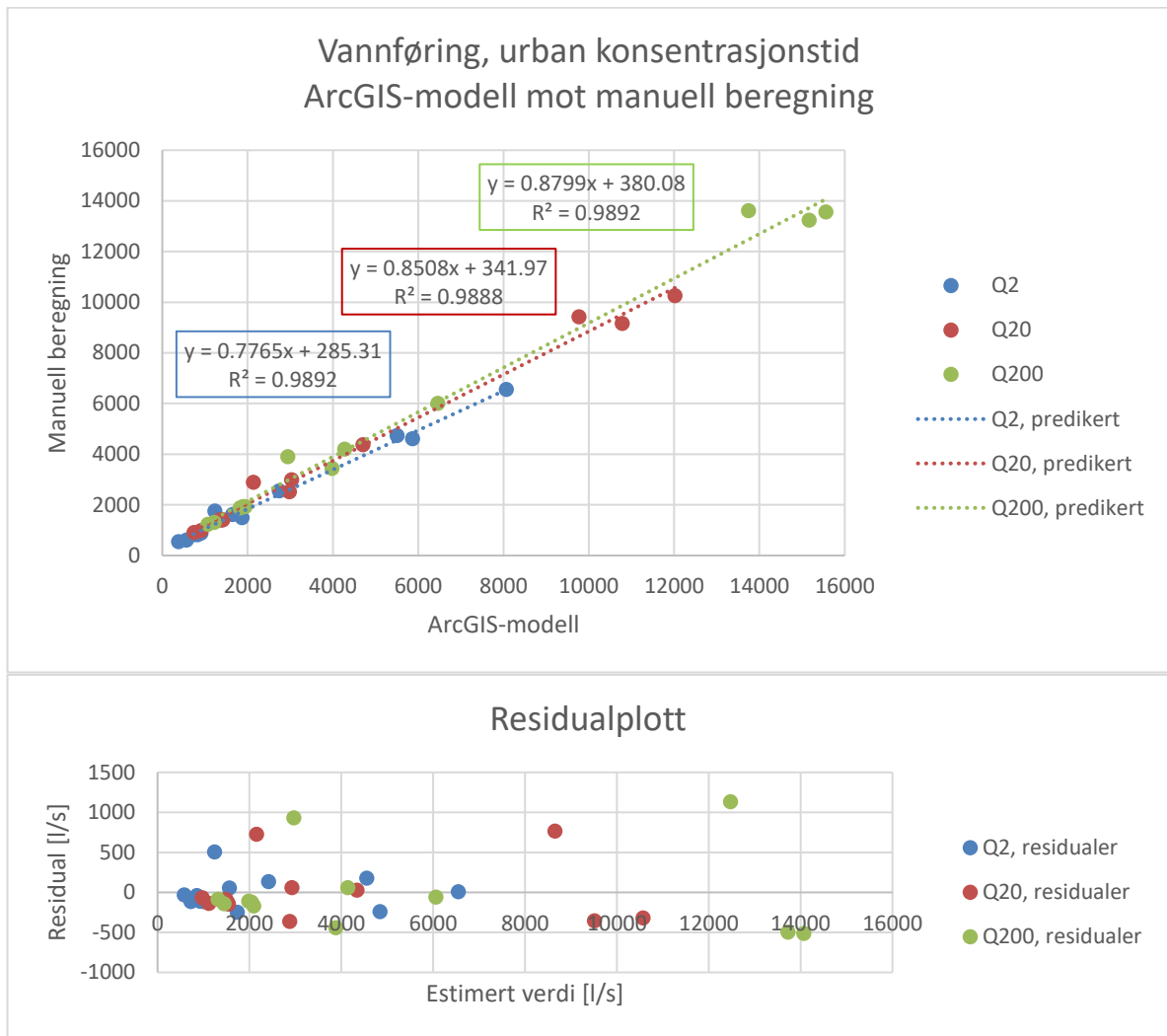
5.3.2 Vannføringer, ArcGIS-modell mot manuelle beregninger

Ettersom en av hensiktene med ArcGIS-modellen er å utvikle et fullverdig automatisk alternativ til manuelle beregninger vil det være interessant å undersøke i hvor stor grad resultatene fra modellen samstemmer med manuelle beregninger. I tillegg vil det være hensiktsmessig å vurdere hvorvidt de ulike metodene for beregning av feltkarakteristikker vil ha en stor påvirkning på resultatene.

Ettersom valg av likning for konsentrasjonstid ser ut til å ha en meget stor påvirkning på de beregnede vannføringene er det fremstilt separate plott for vannføringer beregnet via henholdsvis konsentrasjonstid for naturlige felt og konsentrasjonstid for urbane felt.



Figur 5-21: Plott av vannføringer fra ArcGIS-modell mot vannføringer fra manuell beregning, naturlig konsentrasjonstid, og residualplott.



Figur 5-22: Plott av vannføringer fra ArcGIS-modell mot vannføringer fra manuell beregning, urban konsentrasjonstid, og residualplott.

Både Figur 5-21 og Figur 5-22 gir uttrykk for høy korrelasjon imellom resultater fra begge beregningsmetoder, da verdiene av R^2 ligger mellom 96 og 99%. I tillegg viser ingen av residualplottene noen tydelige mønstre. På tross av dette er det viktig å ta i betraktning at størrelsen på enkelte residualer er relativt høye, og dette ser ut til å gjelde spesielt for lave vannføringer. Regresjonsmodellen vil derfor enten overestimere eller underestimere resultater fra manuelle beregninger for enkelte tilfeller.

De største avvikene mellom manuelt beregnede vannføringer og estimerte vannføringer fra regresjonslinja forekommer i test-områder hvor det er store avvik mellom beregnede feltkarakteristikker. Dette gjelder fortrinnsvis test-område 8 og 12, hvorav begge områdene er valgt ut på bakgrunn av at det forventes avvik mellom beregningsresultater for områder med en

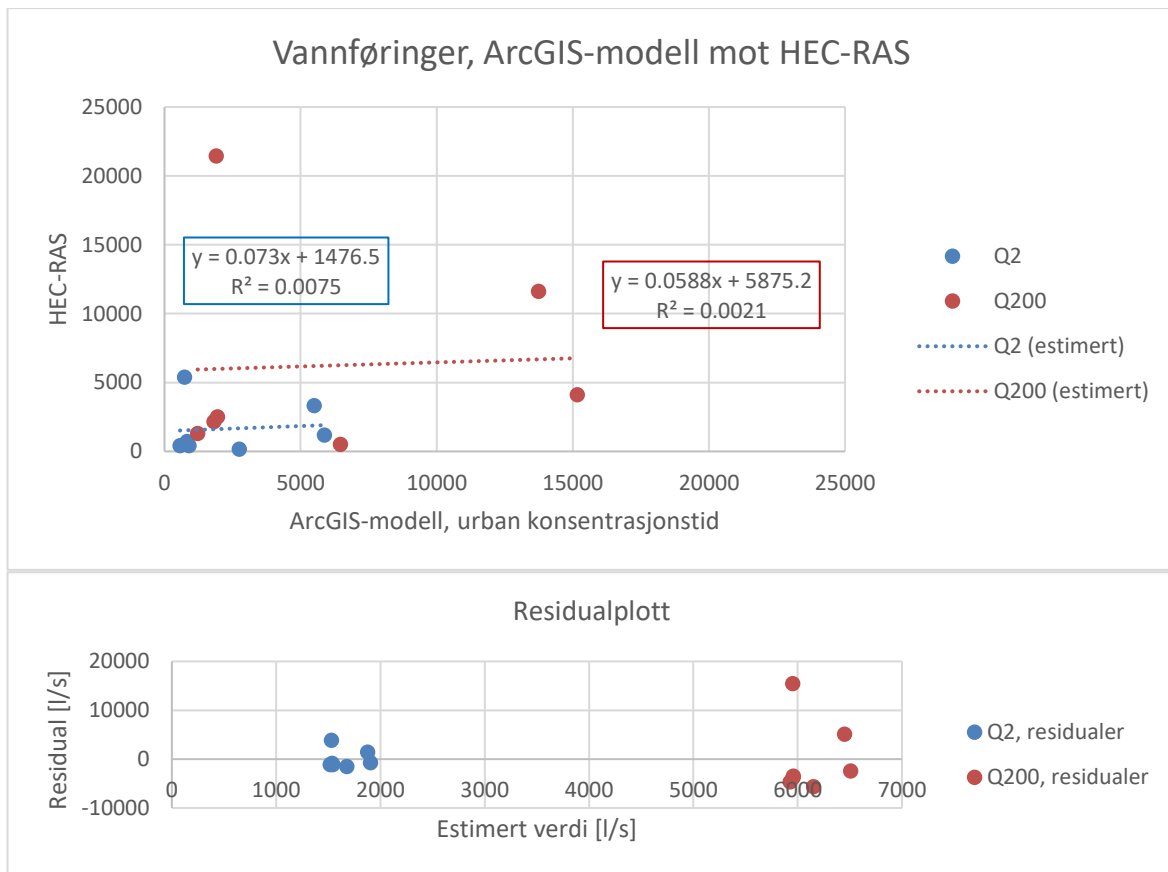
slik topografi. Dette kan indikere at ArcGIS-modellen ikke er egnet til å gjøre beregninger for slike områder, dvs. områder hvor høydeforskjellen mellom fjerneste og høyeste punkt i nedbørsfeltet er relativt stor. Det må imidlertid påpekes at slike områder ser ut til å være relativt sjeldne da det har vært en utfordring å oppdage og velge ut slike områder. I tillegg er det flere områder som er blitt valgt ut på bakgrunn av samme antagelse som for test-område 8 og 12 som ikke viser særdeles høye residualer.

Totalt sett indikerer resultatene på at vannføringene beregnet av ArcGIS-modellen i de fleste tilfeller samstemmer bra med manuelt beregnede vannføringer, men også at det for enkelte områder, som nevnt i overliggende avsnitt, kan være nødvendig å kvalitetssikre resultatet via andre beregningsmetoder. Regresjonsmodellene kan muligens benyttes til videre kalibrering av ArcGIS-modellen, men det bør fremstilles enda flere test-resultater til regresjonsanalyse før dette med sikkerhet kan fastslås.

5.3.3 Vannføringer, ArcGIS-modell mot HEC-RAS

HEC-RAS er blitt benyttet til å fremstille resultater til sammenlikning mot resultatene fra ArcGIS-modellen, og det er derfor blitt undersøkt i hvilken grad disse resultatene korrelerer. Det bør imidlertid tas i betraktning at det foreligger færre resultater bak disse regresjonsmodellene enn de øvrige modellene i dette kapittelet. Vannføringene beregnet via konsentrasjonstid for urbane felt er blitt valgt ut til sammenlikning mot beregningene fra HEC-RAS, da disse ser ut til å samstemme best.

Ettersom at ArcGIS Pro og HEC-RAS beregner dreneringsretninger via to fundamentalt ulike metoder blir det svært store differanser mellom resultatene i enkelte test-områder. Dette gjelder fortrinnsvis test-områdene 2, 3 og 4.



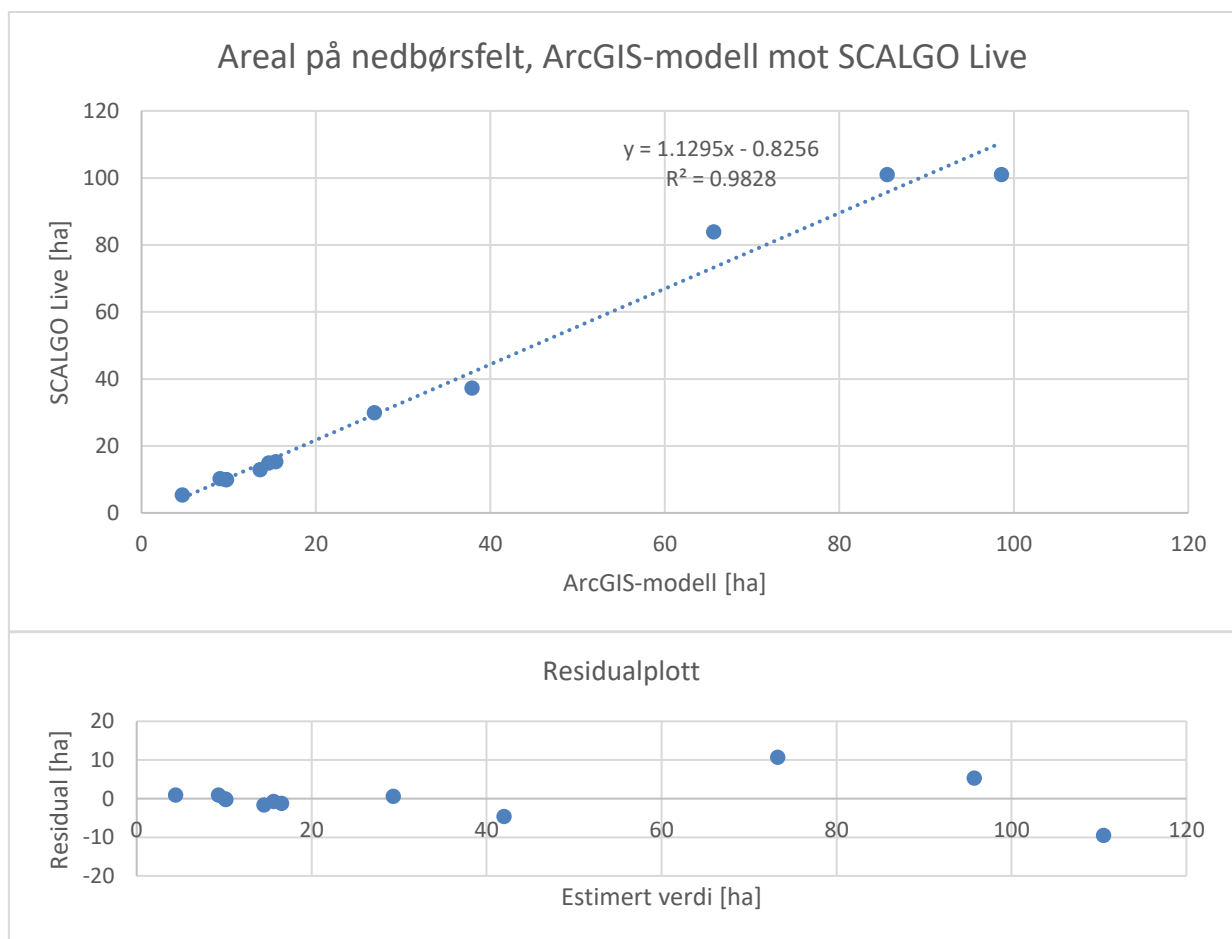
Figur 5-23: Plott av vannføringer via konsentrasjonstid for urbane fra ArcGIS-modell mot vannføringer fra HEC-RAS, med residualplott.

Som Figur 5-23 viser er det svært liten korrelasjon mellom resultatene. Om det sees bort ifra test-områdene tidligere nevnt vil det føre til en dramatisk forbedring, men å bevisst velge vekk enkelte resultater vil bli en stor kilde til usikkerhet bak regresjonsmodellen.

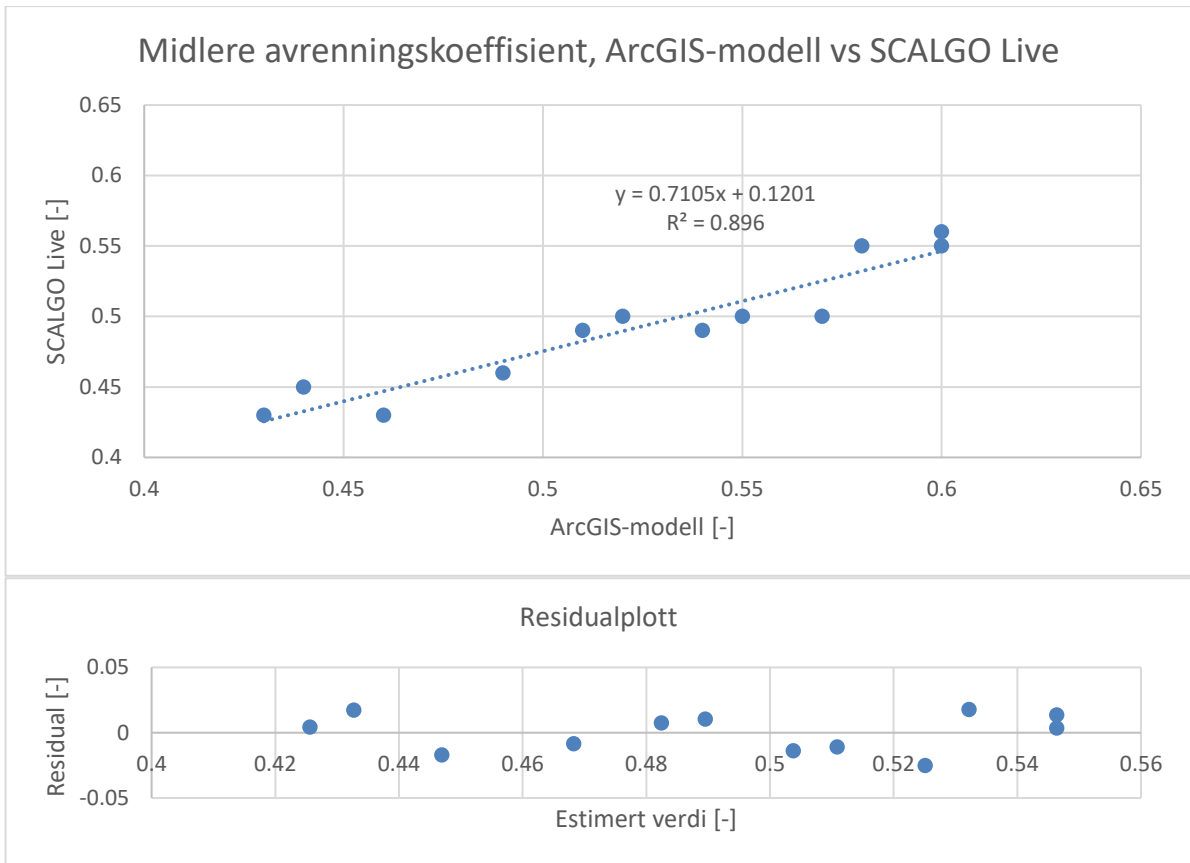
På bakgrunn av resultatene ser ArcGIS-modellen ut til å i enkelte tilfeller kunne gjenskape resultater fra HEC-RAS, men ettersom metodene som benyttes for å beregne dreneringsretninger i de forskjellige verktøyene er lite sammenliknbare kan det ikke forventes at modellen vil kunne gjøre dette for hvilke som helst områder.

5.3.4 ArcGIS-modell mot SCALGO Live

Ettersom at SCALGO Live ansees som et godt alternativ til bruk for vurdering av overvann i tidlig fase, samtidig som at SCALGO Live benyttes som hjelpeverktøy for de manuelle beregningene, bør det vurderes hvor stor differanse det kan bli mellom beregningsresultater fra HEC-RAS og ArcGIS-modellen. Parameterne som er sammenliknbare er areal på nedbørsfelt, og midlere avrenningskoeffisient. Som tidligere nevnt i avsnitt 4.3.1 beregner ikke SCALGO Live midlere avrenningskoeffisient automatisk, men gir kun en oversikt over andeler av ulike arealtyper i et nedbørsfelt.



Figur 5-24: Plott av areal på nedbørsfelt beregnet av ArcGIS Pro mot areal på nedbørsfelt beregnet av SCALGO Live, og residualplott.

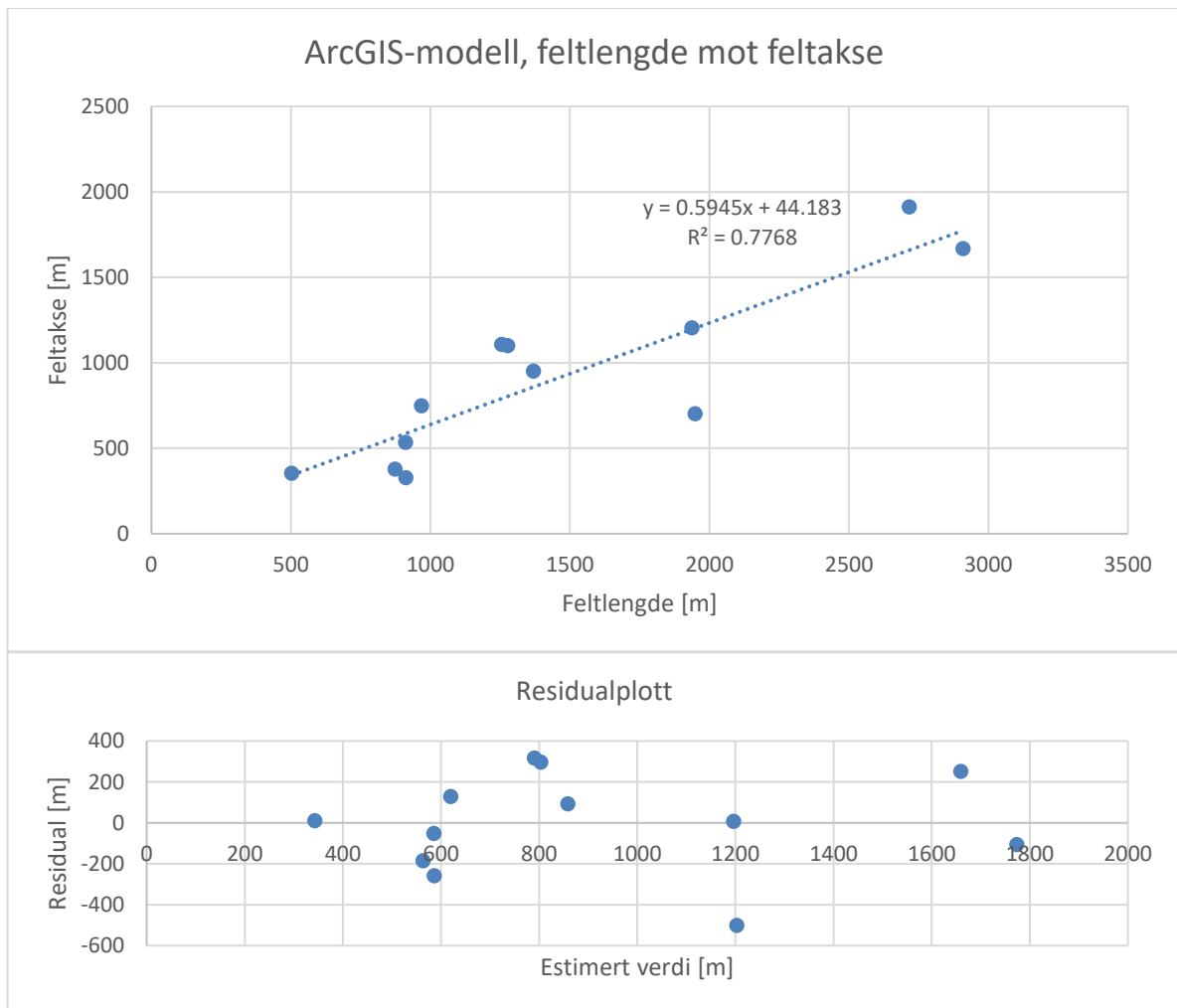


Figur 5-25: Plott av midlere avrenningskoeffisient beregnet av ArcGIS-modellen mot midlere avrenningskoeffisient beregnet ved hjelp av SCALGO Live, og residualplott.

Begge parameterne ser ut til å korrelere bra imellom de to beregningsmetodene. Residualplottet i Figur 5-24, og til en viss grad i Figur 5-25, gir imidlertid uttrykk for at det kan være en ikke-lineær sammenheng imellom areal på nedbørsfelt beregnet av henholdsvis ArcGIS-modellen og SCALGO Live. Det bør likevel gjøres flere målinger før dette kan fastslås med sikkerhet. Utover dette ser residulene ut til å variere i størrelse, dette antas å skyldes det ulike datagrunnlaget som foreligger for beregningene i de to ulike verktøyene. Midlere avrenningskoeffisient ser ut til å i de aller fleste tilfeller bli høyere ved beregning i ArcGIS-modellen.

5.3.5 Feltlengde mot feltakse

Som tidligere nevnt i avsnitt 4.1.3 krever beregning av feltlengde svært lite kjøretid av ArcGIS-modellen i forhold til beregning av feltakse, da beregningen av feltlengde gjennomføres ved hjelp av et av de innebygde verktøyene i ArcGIS Pro. Det er derfor hensiktsmessig å undersøke om det kan fremstilles en lineær regresjonsmodell som kan beregne feltaksen for et område ved hjelp av feltlengden som forklaringsvariabel.



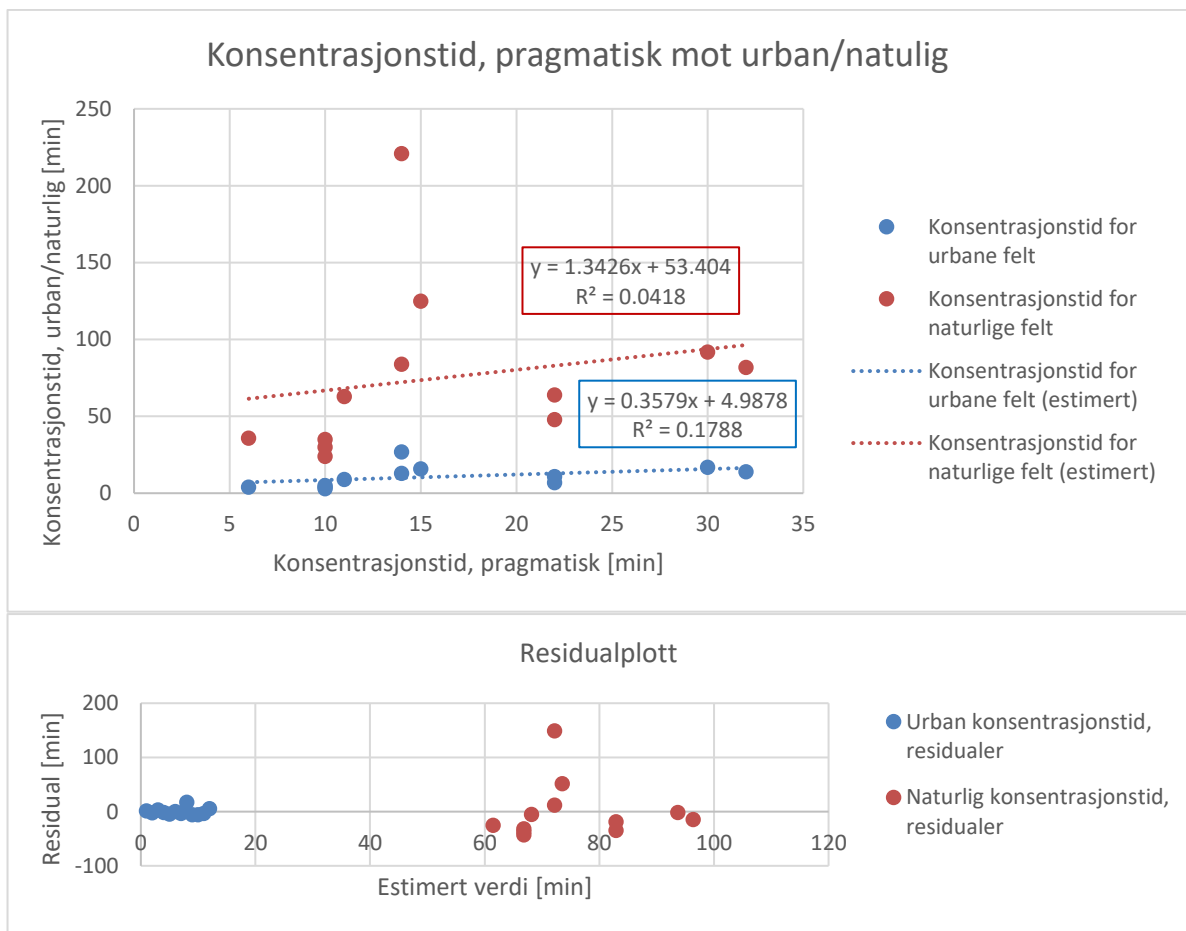
Figur 5-26: Plott av feltlengder fra ArcGIS-modell mot feltakser fra ArcGIS-modell, og residualplott.

Som Figur 5-26 viser er korrelasjonen imellom resultatene relativt høy, med en verdi av R^2 på omtrent 0.78. Dette ansees riktignok ikke som tilstrekkelig nok for å benytte denne regresjonsmodellen til å predikere verdier av feltakse. I tillegg viser residualplottet at modellen bommer på flere estimerer av feltakse med opptil 500 meter. Årsaken til dette antas å være at størrelsen på feltlengde og feltakse avhenger kraftig av feltets topografi, og at disse parameterne dermed ikke er direkte sammenhengende. Denne regresjonsmodellen kan derfor ikke benyttes til videre kalibrering av ArcGIS-modellen.

5.3.6 Pragmatisk konsentrasjonstid mot konsentrasjonstid for naturlige/urbane felt

Beregningene av feltkarakteristikkene som er nødvendige for å regne ut konsentrasjonstid via likning (3) og likning (4) er som tidligere nevnt meget tidkrevende for ArcGIS-modellen. På grunn av dette vil det være nyttig med en lineær regresjonsmodell som kan kalibrere konsentrasjonstider beregnet via likning (5) til å bli tilsvarende konsentrasjonstider for naturlige

eller urbane felt. Beregning av pragmatiske konsentrasjonstider krever svært lite kjøretid av ArcGIS-modellen, og hvis en regresjonsmodell kan estimere konsentrasjonstider beregnet via de andre likningene vil det føre til stor tidsbesparing for modellen. Ettersom at nedbørintensiteter velges ut ifra avrunding av konsentrasjonstider til nærmeste regnvarighet vil mindre forskjeller på konsentrasjonstider ikke være av betydning. Det vil derfor være tilstrekkelig med en regresjonsmodell som kan korrigere konsentrasjonstider slik at de rundes av til riktig regnvarighet.



Figur 5-27: Plott av pragmatiske konsentrasjonstider fra ArcGIS-modell mot konsentrasjonstider for urbane/naturlige felt fra ArcGIS-modell, og residualplott.

Som Figur 5-27 viser er det svært lite korrelasjon imellom konsentrasjonstidene. Residualplottet viser også at begge regresjonsmodellene i flere tilfeller vil føre til avrunding av konsentrasjonstid mot feil regnvarighet. Dette antas å skyldes i første omgang den samme årsaken til manglende korrelasjon mellom feltlengde og feltakse nevnt i avsnitt 5.3.5 i tillegg til at pragmatisk konsentrasjonstid ikke tar noen hensyn til høydeforskjellen i nedbørsfeltet. På grunn av dette kan ingen av regresjonsmodellene brukes til videre kalibrering av ArcGIS-modellen.

5.3.7 Usikkerhet, feltakse-verktøy

Den relative usikkerheten fra verktøyet beskrevet i avsnitt 4.1.3 som beregner feltakse og høydeforskjell er fraværende i de aller fleste test-områdene. Som resultatene viser blir denne usikkerheten av en betydelig størrelse kun i test-område 10. I dette området fører usikkerheten dermed til en viss differanse mellom de ulike beregnede vannføringene, se avsnitt 5.2.10

På tross av at det ikke foreligger noen usikkerhet fra feltakse-verktøyet i de fleste av de utvalgte målepunktene er det viktig å poengtere at det i 11 av 12 test-områder ble kartlagt usikkerhet i andre punkter i nedbørsfeltet. Usikkerhet i et målepunkt vil riktignok ikke påvirke beregningene i et annet målepunkt, uavhengig av hvor kort avstand det måtte være imellom de nevnte målepunktene, men det bør likevel regnes som sannsynlig at feltakse-verktøyet kan være en potensiell kilde til usikkerhet for fremtidige beregninger som gjennomføres av ArcGIS-modellen.

5.4 Anvendeligheten ved ArcGIS-modellen

Det viktigste formålet med verktøyet som er blitt utarbeidet i sammenheng med denne gradsoppgaven er å redusere terskelhøyden for bruk av modelleringsverktøy til overvannsberegninger i tidlig fase. Derfor er det blitt undersøkt i hvilken grad ArcGIS-modellen oppfyller dette formålet, ved å gjøre en vurdering av brukervennlighet, visualisering av resultater samt verdien av beregningsresultatene som brukeren får som utgangsdata. I tillegg har utvalget av VA-ingeniører intervjuet i forbindelse med denne oppgaven gjort en egen vurdering av ArcGIS-modellen i form av brukertester. I disse testene har de fått presentert hvordan modellen brukes og hva slags resultater som produseres.

5.4.1 Verdien av resultatene

Resultatene som verktøyet produserer, i form av tall på vannføringer og feltkarakteristikker, blir presentert for brukeren ved hjelp av infotabell-laget, se avsnitt 5.1.2 Flere av tallene som presenteres kan imidlertid være mindre interessant for personer med lav kompetanse innen overvannsberegninger. Vannføringer og størrelse på nedbørsfelt kan gi brukeren et inntrykk av den potensielle faren for overvannsproblematikken i området, men utover dette kan beregningsresultatene bli noe overflødige for denne brukergruppen.

Når det gjelder personer med større kompetanse innenfor overvannsberegninger kan ArcGIS-modellen derimot fungere bra som et hjelpeverktøy som automatiserer flere av beregningene som gjennomføres i tidlig fase. Denne brukergruppen kan ha større nytte av et bredere omfang av beregningsresultater, da dette vil hjelpe dem å få innsikt i beregningsprosessene i modellen. I tillegg kan enkelte av feltkarakteristikkene som verktøyet beregner også benyttes av brukeren til å gjennomføre egne korrigerende beregninger manuelt.

Uavhengig av hvilken brukergruppe som benytter seg av verktøyet er det svært viktig at resultatene tolkes riktig, slik at de ikke fører til feilaktige oppfatninger om området ArcGIS-modellen gjennomfører beregninger på. Eksempelvis kan vannføringene som beregnes feiltolkes til å tilsvare gjennomsnittet av det som forventes innenfor den gitte returperioden, istedenfor den maksimale vannføringen. På grunn av dette er det viktig at tolking av resultatene inkluderes i en oppskrift for bruk av ArcGIS-modellen slik at personer med mindre kompetanse gjengir resultatene korrekt. En slik oppskrift vil være en forutsetning for om resultatene vil ha en nytteverdi for brukeren.

5.4.2 Sammenlikning med SCALGO Live – Brukervennlighet og visualisering

Bruk av SCALGO Live vil ikke kreve store mengder forkunnskaper, men det bør likevel gis en opplæring av en eventuell bruker med liten kompetanse innenfor overvannsfaget. Den største fordelene ved SCALGO Live er hvor raskt verktøyet kan fremstille en visualisering av overvannsdata sammenliknet med andre verktøy. Brukeren trenger kun å finne frem til det gjeldende området på kartet, og deretter huke av til venstre i brukergrensesnittet for hvilken informasjon som skal visualiseres på kartet. ArcGIS-modellen vil derimot bruke noe tid på dette, da beregningene ikke er gjennomført på forhånd til forskjell fra SCALGO Live. I tillegg vil brukeren være nødt til å anskaffe inngangsdata til beregningene i modellen selv.

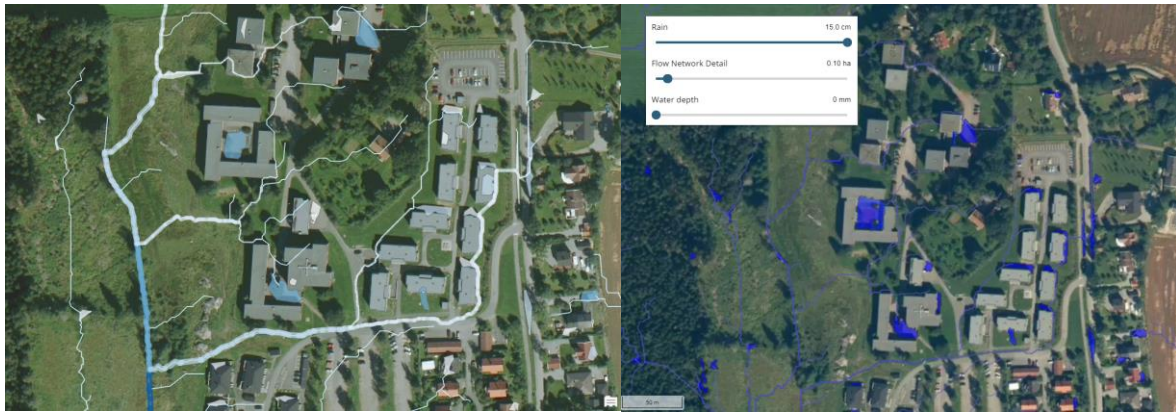
En person som har modellen inne i sitt ArcGIS Pro-program vil ikke være nødt til å yte mye innsats for å fremstille resultater. Brukeren må imidlertid sørge for å anskaffe inngangsdata av tilstrekkelig kvalitet fra det gjeldende området som ArcGIS-modellen skal gjennomføre beregninger på. Dette kan i enkelte tilfeller by på utfordringer. I første omgang må brukeren være i stand til å kunne hente inn data i ArcGIS Pro. Filer av enkelte datatyper kan kreve en annen metode for å hentes inn enn at selve filen bare hentes fra dens filplassering. Det kan være

nødvendig å opprette en såkalt «folder connection» til mappen hvor filen befinner seg. Dette kan eventuelt legges inn i en oppskrift for bruk av verktøyet.

Ved anskaffelse av høydedata må rasteret som brukes omfatte hele området det ønskes å analysere, samt hele nedbørsfeltet til området. Det kan dermed være problematisk for brukeren å gi en korrekt avgrensning for rasteret om det er uklart hvor utstrekningen av nedbørsfeltet befinner seg. I slike tilfeller kan det være nødvendig å benytte hjelpeverktøy for å finne avgrensingen. Brukeren kan eventuelt hente ut høydedata fra et større område for å forsikre at hele nedbørsfeltet omfattes. Dette vil føre til mer kjøretid for ArcGIS-modellen, men for mindre felt tilsvarende størrelsene som det anbefales å benytte modellen for vil dette sjeldent være et problem.

Arealdata til beregning av avrenningskoeffisienter vil være lettere for brukeren å anskaffe enn høydedata, da avgrensingen av data-området automatisk tilpasser seg avgrensingen for høydedataen. Dermed må brukeren kun sørge for at arealdataen som benyttes overlapper med hele høydedata-rasteret. Anskaffelse av regndataen som benyttes til beregninger av vannføringer vil heller ikke være en tungvinn prosess, men det bør likevel inngå i en oppskrift på bruk av verktøyet hvordan regndata-tabellen skal være utformet, se avsnitt 5.1.1 Den enkleste metoden for å anskaffe regndata til ArcGIS-modellen slik den er programmert ved levering av denne gradsoppgaven er å laste ned en IVF-tabell fra Norsk Klimaservicesenter sine nettsider på csv-format, og deretter manuelt slette de unødvendige radene over selve regndataen.

Utover anskaffelse av inngangsdata behøver ikke brukeren å gjøre noe annet enn å starte selve ArcGIS-modellen for at beregningene skal gjennomføres. Resultatene vil automatisk legges inn over basekartet, og vil automatisk tildeles symbolikk slik at visualiseringen blir best mulig.



Figur 5-28: Sammenlikning av visualisering av overvannsdatta i ArcGIS-modellen til venstre og SCALGO Live til høyre.

Som Figur 5-28 viser er visualiseringen av overvannet gjort av ArcGIS-modellen relativt lik visualiseringen i SCALGO Live. Lavbrekk og dreneringslinjer symboliseres med henholdsvis polygoner og linjer. Fargene på polygonene vil variere fra lyseblått til mørkeblått med hensyn på vannvolum i ArcGIS-modellen, og vanddybde i SCALGO Live. Visualiseringen som gjøres av vannføringer er unik for ArcGIS-modellen, og finnes ikke i SCALGO Live. I områder hvor modellen beregner vannføringer vil dette markeres av tykke blå linjer. Til venstre i Figur 5-28 vises det også hvordan modellen visualiserer at overvannet akkumuleres til større vannføringer i avrenningsmønsteret ved at fargen på linjene blir mørkere. Dette baseres på størrelsen på vannføringene som beregnes av ArcGIS-modellen .

Alt i alt er begge verktøyene egnet til å benyttes til overvannsberegninger i tidlig fase med tanke på brukervennlighet og visualisering. ArcGIS-modellen kan dermed fungere som et fullverdig alternativ for brukere som ikke har tilgang til SCALGO Live. Når det gjelder brukere med tilgang til SCALGO Live kan modellen også fungere som et supplement da den kan fremstille resultater som ikke kan beregnes av SCALGO Live.

5.4.3 Resultater fra brukertester

Personene som har testet ArcGIS-modellen er de samme personene fra utvalget intervjuet i delkapittel 2.5. Utvalget er blitt bedt om å vurdere modellen med hensyn på følgende spørsmål:

1. Har verktøyet en nytteverdi ved bruk i tidlig fase i byggeprosjekter?
2. Hvilke personer vil eventuelt kunne ha nytte av verktøyet (folk med lite eller mye kompetanse innenfor VA)?
3. Hvilke fordeler og/eller ulemper har verktøyet sammenliknet med andre verktøy som er aktuelle å benytte seg av i tidlig fase?
4. Hvordan kan verktøyet forbedres?

Utvalgets svar på spørsmålene og vurderinger av ArcGIS-modellen er gjengitt i de påfølgende avsnittene.

Det er av utvalgets oppfatning at ArcGIS-modellen kan ha en nytteverdi, og vil bidra til å senke terskelen til bruk av GIS-verktøy til dette formålet. Avrenningsmønstrene kommer tydelig frem av resultatene fra verktøyet. Det gjør også forsenkinger, men i enkelte tilfeller kan disse bli litt utydelige i forhold til dreneringslinjene. Utvalget mener imidlertid at det er positivt at kartlagene som produseres blir tildelt en fast symbolikk, eller layout, av ArcGIS-modellen.

Utvalget mener at VA-ingeniører er den brukergruppen som vil ha størst nytte av ArcGIS-modellen. En slik modell vil være nyttig for analyser av overvannstiltak på ulike plannivå, plassering av overvannstiltak samt dimensjonering av disse. Visualiseringen av overvannsdata som modellen gjennomfører vil også fungere bra til å skape felles forståelse mellom ulike fag av vannets vei og hvor vannet oppholder seg, noe som vil føre til bedre tverrfaglig samarbeid. Dette vil være spesielt nyttig i tidlige faser i et prosjekt. I tillegg mener utvalget at ArcGIS-modellen vil være av interesse for kommuner og andre offentlige etater som allerede benytter seg av GIS-verktøy, men som ikke nødvendigvis har mye erfaring med de hydrologiske verktøyene som er tilgjengelige.

En fordel som ArcGIS-modellen har i forhold til andre verktøy er ifølge utvalget den kontrollen brukeren har på oppløsningen av terrengdataen som benyttes til analysene som gjennomføres. Dette kan eksempelvis i SCALGO Live være vanskeligere for brukeren å få med seg, spesielt hvis brukeren ikke har satt seg ordentlig inn i programmet. I tillegg gir ArcGIS-modellen mye

relevant utgangsdata til brukeren som kan benyttes til videre analyser. Det er også positivt at visualiseringen som gjøres er basert på den lokale regndataen som legges inn i ArcGIS-modellen. At modellen er laget til bruk i ArcGIS Pro er også bra ifølge utvalget, fordi det legger opp til et tverrfaglig samarbeid ettersom det muliggjør innlasting av andre data og modeller og videre visualisering. GIS er et multifunksjonelt verktøy og egner seg dermed godt til tverrfaglig samarbeid.

Når det gjelder ulempene ved ArcGIS-modellen er utvalgets oppfatning at det vil være en noe høyere brukerterskel sammenliknet med SCALGO Live. Ettersom at SCALGO Live er et svært enkelt verktøy å benytte seg av, og i tillegg har flere brukervennlige funksjoner for modifisering av terreng og nedbørshendelser, vil det være en konkurrent til ArcGIS-modellen. I tillegg kan SCALGO Live håndtere større områder enklere enn det GIS-verktøy kan gjøre.

En idé som utvalget kommer med til forbedring av ArcGIS-modellen er blant annet at modellen kunne kommet med forslag til fordrøyingsbasseng eller andre tiltak, og deretter visualisert effekten av disse tiltakene. Dette kan baseres på både utgangsdata fra ArcGIS-modellen og noe tilleggsdata, og vil dermed eventuelt fungere som en utvidelse av modellen. Et annet forslag er at modellen kunne gitt brukeren informasjon om arealfordelingen i nedbørsfeltet, slik som det gis i SCALGO Live. Dette vil være interessant for flere brukere å få informasjon om, og kan også bidra til en bedre forståelse av hvordan midlere avrenningskoeffisient er blitt beregnet av ArcGIS-modellen.

6 Konklusjoner

6.1 Besvarelse av forskningsspørsmål

I introduksjonen av denne gradsoppgaven, i delkapittel 1.2, ble det stilt fire forskningsspørsmål som denne gradsoppgaven var ment å besvare for å drøfte oppgavens problemstilling. I dette delkapittelet vil det oppsummeres i hvilken grad disse spørsmålene er blitt besvart.

6.1.1 Hvordan kan beregninger av feltkarakteristikker automatiseres?

Gjennom arbeidet med denne oppgaven har det lyktes i å utvikle en ArcGIS-modell som automatiserer beregningene av feltkarakteristikker. Beregningene krever kun terrengdata og ArcGIS-lisens og generelt lite innsats fra brukeren. De fleste feltkarakteristikkene som beregnes ser ut til å samstemme bra med feltkarakteristikker beregnet via andre metoder. Resultatene tyder likevel på at ArcGIS-modellen behøver å kalibreres ytterligere før den blir tilgjengelig for bruk av andre personer, slik at ukorrekte resultater ikke blir en feilkilde. På tross av dette indikerer den ferdige ArcGIS-modellen at det er fullt mulig å forenkle beregningsprosessen av feltkarakteristikker ved hjelp av enkel programvare som for eksempel ArcGIS Pro.

6.1.2 Hvordan kan forenklede beregninger av vannføringer automatiseres?

De fleste av de innebygde analyseverktøyene som kan brukes til overvannsberegninger i ArcGIS Pro er rene terrenganalyser. ArcGIS-modellen er derfor blitt utviklet til å både kunne ta hensyn til både arealdata for et område og lokal regndata, slik at det kan beregnes vannføringer som tar dette i betraktning, i tillegg til størrelse på nedbørsfelt. Beregninger av vannføringer er dermed blitt en fullverdig utvidelse av modellen, og resultatene beregnes automatisk på lik linje med feltkarakteristikker. Dette viser at automatisering av beregninger av vannføringer er mulig å gjennomføre ved hjelp av modellering i GIS-verktøy og annen liknende programvare.

6.1.3 I hvilken grad evner verktøyet å gjenskape resultater fra manuelle metoder samt resultater fra andre simuleringsverktøy?

Samstemningen mellom beregningsresultatene fra henholdsvis ArcGIS-modellen og andre beregningsmetoder varierer. Når det gjelder manuell beregning ser resultatene ut til å stemme bra overens i de fleste tilfeller. Vannføringene blir ikke konsekvent høyere, eller lavere, ved

bruk av hverken ArcGIS-modellen eller manuell beregning, men modellen ser ut til å både overestimere og underestimere maksimal vannføring for enkelte områder. Oppsummert tolkes resultatene slik at modellen i stor grad gjenspeiler de resultatene som oppnås ved manuelle beregninger.

SCALGO Live er blitt brukt som hjelpeverktøy til å beregne areal på nedbørsfelt og midlere avrenningskoeffisient, og resultatene fra ArcGIS-modellen ser ut til å samstemme bra med beregningene herfra. Modellen ser ut til å estimere en høyere avrenningskoeffisient i de aller fleste tilfeller. Hovedforklaringen på dette er at modellen benytter et datagrunnlag med lavere oppløsning enn det som benyttes i SCALGO Live.

HEC-RAS er blitt brukt til å beregne vannføringer som ArcGIS-modellen er ment å forsøke å gjenskape. I enkelte tilfeller lykkes verktøyet med dette, men på grunn av at HEC-RAS' benytter en fundamentalt ulik metode for å beregne dreneringsretninger kan ikke ArcGIS-modellen forventes å kunne gjenskape resultater som samsvarer med HEC-RAS. Modellen må dermed videreutvikles for at dette skal muliggjøres. I så måte er det naturlig å også sammenlikne modellen med resultater man oppnår ved bruk av tunge hydrauliske programvarer (MIKE, SWMM etc.).

Totalt sett ser ArcGIS-modellen utviklet i forbindelse med denne gradsoppgaven ut til å gjenskape flere resultater fra andre beregningsmetoder, og har med det potensialet til å kunne bli benyttet som et verktøy til overvannsberegninger i tidlig fase. Modellen ser foreløpig ut til å kunne benyttes på de aller fleste type områder, men bør utvikles videre før den benyttes på områder med store forskjeller i høyden på henholdsvis fjerneste, og høyeste punkt i feltet.

6.1.4 Hvilke analyse-behov kan verktøyets resultater svare på, og hvordan bør resultatene fremstilles visuelt?

ArcGIS-modellen er godt egnet til bruk for både VA-ingeniører med kompetanse innenfor overvannsberegninger og for andre personer inkludert i tidlig fase i prosjekter. Resultatene fra ArcGIS-modellen vil gi størst nytte til brukergruppen med høy kompetanse, men modellen vil likevel være et godt bidrag for personer som har liten erfaring med bruk av hydrologiske verktøy i GIS. Modellens brukervennlighet vil dermed kunne senke terskelhøyden for bruk av

modelleringsverktøy i tidlig fase (trinn 0 i tre-trinnsstrategien) og bruk av GIS-verktøy i prosjekter generelt.

Det at ArcGIS-modellen automatisk tillegger resultatene en symbolikk som gir dem en god visualisering ansees som en stor fordel ved bruk av modellen. Visualiseringen av overvannsdata gir brukeren en god forståelse av de overvannsrelaterte problemene som kan oppstå i et område. Denne visualiseringen gir grunnlag for et godt tverrfaglig samarbeid, da det ikke kreves forkunnskaper fra noen brukergrupper til å forstå resultatene slik som de visualiseres. Det har dermed lyktes i å utvikle en ArcGIS-modell som gir god forståelse av overvannsdata og som samtidig er enkel å benytte seg av.

6.2 Videre arbeid

I dette delkapittelet drøftes det hvordan ArcGIS-modellen bør forbedres med hensyn på både beregninger og anvendelighet. I tillegg vurderes det hvilke ekstra funksjoner som kan tillegges verktøyet i fremtiden. Resultatene fra de øvrige delkapitlene i kapittel 5 er lagt til grunn for vurderingene.

6.2.1 Redusere usikkerhet

Ettersom det i flere tilfeller er større differanser mellom beregningsresultater fra ArcGIS-modellen og resultater fra andre beregningsmetoder vil det være hensiktsmessig å forsøke å programmere modellen til å redusere usikkerheten bak beregningene så langt det lar seg gjøre. Kalibrering mot målinger fra faktiske hendelser vil være meget nyttig, men kan være utfordrende å få gjennomført.

De største avvikene ved beregnede feltkarakteristikker ser ut til å oppstå ved beregning av feltakse og høydeforskjell. Som tidligere nevnt er disse parameterne meget krevende å beregne automatisk da det ikke eksisterer noen innebygde verktøy i ArcGIS Pro som kan brukes til dette. Metodene som blir brukt i kode-verktøyet som gjennomfører disse beregningene fører derfor i enkelte tilfeller til svært avvikende resultater. Det bør derfor prioriteres å finne en løsning på dette, enten ved å fortsette å kalibrere kode-verktøyet som er utviklet til ArcGIS-modellen mot de resultater man får fra manuelle beregninger, eller ved å finne en alternativ metode som kan gjennomføre de tilsvarende beregningene. Det sistnevnte ansees for å være det mest gunstige, da modellen ideelt sett burde være uavhengig av selvlagde kode-verktøy.

I tillegg til dette bør ArcGIS-modellen testes ytterligere, på enda flere test-områder med varierende form, topografi samt arealfordeling. Dette kan muliggjøre utvikling av fullverdige regresjonsmodeller som kan brukes til videre kalibrering av resultatene.

Det bør også nevnes at ArcGIS-modellen skal programmeres til å kunne ta hensyn til andel innsjø i et nedbørsfelt ved beregning av konsentrasjonstid via likning (3). Ettersom at data om innsjø ikke vil være relevant i alle tilfeller bør modellen behandle denne inngangsparameteren som en valgfri parameter, altså at modellen kan gjennomføre beregninger både med og uten parameteren.

6.2.2 Redusere kjøretid

Det er lagt flere begrensinger til ArcGIS-modellen for å minske kjøretiden, både på oppløsning av inngangsdata, størrelse på inngangsdata, og på antall punkter det gjennomføres beregninger for. Se avsnitt 5.1.3 for utdypning om dette. Hovedårsaken til disse begrensingene er kode-verktøyet som beregner feltakse og høydeforskjell, som fører til en eksponentiell økning av kjøretid med antall celler i inndata-rasteret. Om det sees bort i fra kjøretiden som dette kode-verktøyet bidrar med antas den maksimale kjøretiden for ArcGIS-modellen til å være på omtrent 15 minutter. Det er derfor en selvfølge at det må prioriteres å forsøke å enten forbedre, eller erstatte dette kode-verktøyet, slik som nevnt i avsnitt 6.2.1 Om dette lykkes kan det også resultere i mere presise analyser som en følge av at ArcGIS-modellen kan behandle høydedata av en finere oppløsning enn 1x1 meter.

Som tidligere nevnt i avsnitt 5.1.2 beregnes det kun vannføringer for punkter med et nedbørsfelt på minimum 1 hektar, og i tillegg blir tabellene fra infotabell-laget kun mulig å fremstille ved disse punktene. Det har ikke vært nødvendig med en lavere minimumsgrense til bruk av ArcGIS-modellen i denne gradsoppgaven, men det ansees som nødvendig at kjøretiden til verktøyet reduseres til at det blir mulig å senke minimumsgrensen til 0.1 hektar, slik at fremtidige brukere vil kunne få tilstrekkelig med informasjon om områdene modellen blir benyttet på.

6.2.3 Forbedring av anvendeligheten

Ut ifra vurderingen som er blitt gjort av ArcGIS-modellen ansees verktøyet som anvendelig for de fleste som vil benytte seg av verktøyet. Det kan riktignok være rom for forbedring med hensyn på enkelte brukergrupper. Det er sannsynlig at den største utfordringen for flere brukere av modellen vil være å anskaffe høydedata som inngangsverdi med korrekt avgrensning for området det skal gjøres beregninger på. Dette vil være problematisk om brukeren ikke har tilgang til, eller ikke har erfaring med bruk av verktøy som kan fremskaffe størrelsen på og avgrensingen av nedbørsfeltet til et område. En mulig løsning på dette kan være å utarbeide en tilleggsmodul, eller en ekstra ArcGIS-modell, som enkelt kan fremskaffe avgrensingen av nedbørsfeltet. For en slik modell kan brukeren hente ut høydedata for et større «overslagsområde» som med sikkerhet vil omfatte nedbørsfeltet, og deretter få ut høydedata med korrekt avgrensning. Ulempen med en slik fremgangsmåte vil være at brukeren selv også vil være nødt til å definere målepunktet som nedbørsfeltet skal beregnes for. Det kan imidlertid diskuteres hvorvidt dette vil være en bedre metode for brukere med lite forkunnskaper.

6.2.4 Ekstra funksjoner og brukerområder

Selv om ArcGIS-modellen fungerer bra til det formålet den er ment å oppfylle i henhold til problemstillingen til gradsoppgaven har den fortsatt et stort forbedringspotensial. Dette gjelder både med tanke på overvannsberegninger og andre bruksområder.

Vannføringene beregnet av ArcGIS-modellen baseres utelukkende på den rasjonale metode, som er en overslagsmetode som bygger på flere ulike forutsetninger, se avsnitt 3.1.1 For mer presise resultater kan det være en idé å utvikle ArcGIS-modellen til å benytte andre metoder til beregning av maksimal vannføring for et felt. Om modellen benytter altfor avanserte metoder er det imidlertid fare for at den vil kreve større innsats fra brukeren og mere inngangsdata, noe som vil føre til at verktøyet ikke kan brukes til sitt opprinnelige formål som et enkelt verktøy til bruk i tidlig fase. Det er derfor viktig at ArcGIS-modellen klarer å automatisere så mange steg i de eventuelle beregningsprosessene som mulig. Et alternativ er å utvikle flere versjoner av modellen, slik at personer med ulik fagkompetanse kan benytte den versjonen som passer best til dem.

En annen mulighet for forbedring av ArcGIS-modellen er at vannføringene tar hensyn til lavpunkter i nedbørsfeltet, og eksisterende/planlagte overvannstiltak i området. Dette vil gi mer

realistiske beregningsresultater, da dette i realiteten vil kunne ha en stor påvirkning på den maksimale vannføringen i et område. Lavpunktens effekt kan eventuelt programmeres inn i ArcGIS-modellen til å bli tilsvarende Flash Flood Mapping i SCALGO Live, se delkapittel 3.3. Når det gjelder effekten av overvannstiltak vil dette sannsynligvis være noe mer krevende å implementere i ArcGIS-modellen, da forskjellige overvannstiltak vil kunne ha ulike påvirkninger på overvannet. Fordrøyingstiltak kan eventuelt ha en effekt tilsvarende et lavpunkt, hvor tømningen av lavpunktet beregnes med for eksempel regnenvelopmetoden. Infiltrasjonstiltak kan programmeres inn til å påvirke midlere avrenningskoeffisient i området. For tiltak med både fordrøying og infiltrasjon kan det være mulig å kombinere de to overnevnte metodene.

Et eksempel på en ny funksjon som kan tillegges ArcGIS-modellen er analyser av vannkvalitet. Det vil være nyttig for brukeren å få informasjon om hvorvidt vannet som renner til målepunktet vil være forurenset, slik at det allerede i tidlig fase kan kartlegges om det vil være behov for motvirkende tiltak. En mulighet er å benytte det innebygde verktøyet «Flow accumulation» til dette, ved å vekte punktkilder til forurensning slik at det kartlegges hvilke deler av et område som vil motta vann fra forurensningskildene. Dette vil imidlertid mest sannsynlig kreve at brukeren selv legger inn eventuelle forurensningskilder som inngangsdata.

6.2.5 Redusere avvik mellom ArcGIS-modellen og andre beregningsmetoder

Det har forekommet større avvik mellom resultater fra ArcGIS-modellen og fra HEC-RAS i enkelte test-områder. Ettersom at det ikke kan fremstilles forklaringsvariabler for vannføringene i HEC-RAS som eventuelt kan brukes til å gi avdekke mulige årsak til avvik mellom resultater kan det være en ide å bruke andre modelleringsverktøy til å sammenlikne med beregningene i fremtiden. Eksempler på verktøy kan være SWMM og MIKE 21. I tillegg til å avdekke årsaker til avvik kan dette også bidra til kalibrering av beregningene i ArcGIS-modellen, ved å gjennomføre beregninger på flere ulike områder, via flere ulike modelleringsverktøy. Resultatene fra de ulike områdene kan gi bedre indikasjoner på hvilke områder det vil forekomme avvik, og modellens automatisering av beregninger kan dermed kalibreres til å ta hensyn til dette. Med dette har ArcGIS-modellen et stort potensial for videreutvikling i fremtiden.

Referanser

- Berg, A., Lunde, T., & Mosevoll, G. (1992). *Flomberegning og kulvertdimensjoner (1).pdf*.
- Braskerud, B., & Paus, K. (2018). *Blågrønn infrastruktur – mer enn håndtering av overvann? April*.
- Bratlie, R. (2015). Beregning av flomveier med eksempler på bruk i kommunal forvaltning. *KART OG PLAN*, 75, 24–34. <http://www.skylinesoft.com>
- Chin, D. A. (2013). *Water-Resources Engineering* (3. utg.). Pearson.
- COWI. (2015). *Gjennomgang av avrenningsfaktor. august 2014*. www.eKlima.no.
- Dyrrdal, A. V., & Førland, E. J. (2019). *Klimapåslag for korttidsnedbør. Anbefalte verdier for Norge. 5*. https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/_attachment/14869?_ts=16b02bdea3a
- ESRI. (udatert-a). *Fill*. Hentet 10. mars 2020, fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/fill.htm>
- ESRI. (udatert-b). *Hydrologic analysis sample applications*. Hentet 20. februar 2020, fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/hydrologic-analysis-sample-applications.htm>
- ESRI. (udatert-c). *ModelBuilder quick tour*. Hentet 2. mars 2020, fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/modelbuilder-quick-tour.htm>
- ESRI. (udatert-d). *Python in ArcGIS Pro*. Hentet 5. mars 2020, fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/arcpy/get-started/installing-python-for-arcgis-pro.htm>
- Førland, E., Mamen, J., Dyrrdal, A. V., Grinde, L., & Myrabø, S. (2015). *Dimensjonerende korttidsnedbør*.
- Fred, K. (2017). *Åpen overvannshåndtering - Etablering av åpne, lokale overvannsløsninger i Ås sentrum*.
- Gjerde, H. (2018). Juridiske utfordringer ved overvann i byer og tettsteder. I 78.
- Gjessing, E., & Hansen, A. A. (2020). *Tretrinnsstrategien: Trinn 0 - Vurdering av overvannshåndtering i tidlig fase*. (Ikke publisert.)
- Glad, P. A., Reitan, T., & Stenius, S. (2015). Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt - Revisjon av rapport 62-2014. *NVE Rapport, 13–2015*, 48.
- Hannes, K. (2013). *Effekt av lokal overvannshåndtering i Sandnes sentrum*.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A., & Ådlandsvik, B. (2015). Klima i Norge 2100. *M-406 / 2015 Klima*, 2, 204. www.miljodirektoratet.no/20804

-
- Hovdenak, O. (2011). *Sjøskogbekken: fra problem til ressurs. En oppgave om håndtering av overflatevann.*
- Jato-Espino, D., Sillanpää, N., Charlesworth, S. M., & Andrés-Doménech, I. (2016). Coupling GIS with stormwater modelling for the location prioritization and hydrological simulation of permeable pavements in urban catchments. *Water (Switzerland)*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/w8100451>
- Koehn, K., Brye, K. R., & Scarlat, C. (2011). Quantification of stormwater runoff using a combined GIS and curve number approach: A case study for an urban watershed in the Ozark Highlands, USA. *Urban Water Journal*, 8(4), 255–265. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.595802>
- Kunduraci, M. (2016). *Analyse av LOD-tiltak A study of Sustainable Urban Drainage Systems.*
- Lindholm, O. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering.* Norsk Vann.
- Maathuis, B. H. P. (Ben.), Mannaerts, I. C. M. M. (Chris.), & Khan, N. (Nasreen) I. (1999). Evaluating urban stormwater drainage using GIS and RS techniques—a case study in Dhaka, Bangladesh. *Geocarto International*, 14(4), 21–32. <https://doi.org/10.1080/10106049908542125>
- Magnussen, K., Wingstedt, A., & Rasmussen, I. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak.*
- Midttømme, G. H., Petterson, L. E., Holmqvist, E., Nøtsund, Ø., Hisdal, H., & Sivertsgård, R. (2011). Retningslinjer for flomberegninger 2011. *NVE Retningslinjer*, 4/2011, 1–66.
- Miljødirektoratet. (2016a). *Bruk av bestemmelser i arealplan og reguleringsplan.* <http://www.miljokommune.no/Temaoversikt/Vannforvaltning/Overvann/Overvann-i-planlegging/Bruk-av-bestemmelser-i-arealplan/>
- Miljødirektoratet. (2016b). *Overvann i arealplanlegging.* <http://www.miljokommune.no/Temaoversikt/Vannforvaltning/Overvann/Overvann-i-planlegging/>
- Nilsen, I. B. (2011). *Runoff coefficients during extreme rainfall : the influence of runoff coefficients on runoff in flash flood-prone catchments - a case study of the small catchment Sæternbekken in Norway.* <https://www.duo.uio.no/handle/10852/12669>
- Nordeidet, B., Schow, C., & Killerich, T. (2015). Overvannsfloam - metoder for kartlegging og analyser. *Miljødirektoratet*, 24. <https://bit.ly/2T9BcpG>
- Noreide, T. (1996). *V__INFO_PUB_Utgivelser_Projektrapport_Byggforsk_prosjektrapporter_160-236_pr208_netts_Projektrapport208.pdf.* Norsk byggforskningsinstitutt.
- Norsk Klimaservicesenter. (2020). *Oppdaterte klimapåslag for kraftige nedbør.* <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/dimen>

sjonerende-nedbor/fremtidig-
utvikling&org.apache.catalina.filters.CSRF_NONCE=D0C087043A56952ED262E7356
1068442

Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (2nd utg.). Norsk Vann.

Oslo kommune. (2013). *Oslo kommune Overvannshåndtering*.

Paus, K. H. (2018). *Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann*. 12.

Phillips, R., Jeswani, H. K., Azapagic, A., & Apul, D. (2018). Are stormwater pollution impacts significant in life cycle assessment? A new methodology for quantifying embedded urban stormwater impacts. *Science of the Total Environment*, 636(2018), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.200>

SCALGO. (udatert-a). *SCALGO - About us*. Hentet 5. mars 2020, fra <https://scalgo.com/en-US/about>

SCALGO. (udatert-b). *SCALGO Live Documentation - Flash Flood Map*. Hentet 6. mars 2020, fra <https://scalgo.com/en-US/scalgo-live-documentation/analysis/flash-flood-map>

Seifert-Dähnn, I., Fosholt Moe, T., Sjødahl, E. U., Kvitsjøen, J., & Barkved, L. (2018). Åpne Blå-Grønne Overvannsløsninger-Utfordringer Ved Planlegging Og Implementering Av Flerfunksjonelle Løsninger Sett Fra Ulike Fagperspektiv. *Kart Og Plan*, 78, 36–44. http://kartogplan.no/Artikler/KP1-2018/Aapne_blaa_groenne.pdf

Skaaraas, H., Hansen, A.-J., Riise, E., Stenersen, J., Refling, D., Johansen, R., Hjelle, H., Ebeltoft, M., Skofteland, H., & Kippeberg, G. (2015). Overvann i byer og tettsteder: som problem og ressurs. *NOU (Norges offentlige utredninger)*, 16.

Sleipnes, E. M., & Amundsen, S. (2019). *Bruk av konseptvalgutredning for helhetlig , tidligfase overvannsplanlegging i kommuner*.

Statens Vegvesen. (2014). *Vegbygging, Håndbok N200*.

Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K., & Væringstad, T. (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*.

Usda., Scs., 1986. (1986). Urban Hydrology for Small. *Soil Conservation, Technical Release 55 (TR-55)*, 164. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Urban+Hydrology+for+Small+watersheds#1>

Walsh, C. J., Fletcher, T. D., & Burns, M. J. (2012). Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem. *PLoS ONE*, 7(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045814>

Vedlegg A: Skript for beregning av celle-areal

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

import arcpy
import os

#1: Tar inn inputen i script-toolet
Input_raster = arcpy.GetParameterAsText(0)

#2: Trekker ut filplasseringen til input-rasterene og lagrer
fildestinasjonen til output-rasterene
path = os.path.dirname(Input_raster)
save_path_1 = path + "\Areal"

#3: Gjør om inputen til raster-data i arcpy
Input_raster = arcpy.Raster(Input_raster)

#4: Lagrer plasseringen av nederste-venstre punkt og celle-størrelsen til
input-rasteret
lowerLeft = arcpy.Point(Input_raster.extent.XMin, Input_raster.extent.YMin)
cellSize = Input_raster.meanCellWidth

#5: Omgjør raster-dataen til numpy-arrays
Input_raster_2d = arcpy.RasterToNumPyArray(Input_raster, nodata_to_value=0)

#6 Multipliserer input-rasteret med sin egen cellestørrelse
Areal_array = Input_raster_2d * float(cellSize)**2

#7: Gjør om output-arrays til rastere, og setter dem som output-parametere.
Areal = arcpy.NumPyArrayToRaster(Areal_array, lowerLeft, cellSize,
value_to_nodata=0)
Areal.save(save_path_1)
arcpy.SetParameter(1, Areal)
```

Vedlegg B: Skript for beregning av feltakse og makshøyde

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

import numpy as np
import arcpy
import os

#1: Tar inn inputen i script-toolet
flow_track_raster = arcpy.GetParameterAsText(0)
max_hoydepunkter_raster = arcpy.GetParameterAsText(1)
hoydedata_raster = arcpy.GetParameterAsText(2)
flow_len_raster = arcpy.GetParameterAsText(3)
nedborsfelt_raster = arcpy.GetParameterAsText(4)

#2: Trekker ut filplasseringen til input-rasterene og lagrer
fildestinasjonen til output-rasterene
path = os.path.dirname(flow_track_raster)
save_path_1 = path + "\maxhoyde"
save_path_2 = path + "\Feltakse"
save_path_3 = path + "\sikkerhet"

#3: Gjør om inputen til raster-data i arcpy
flow_track_raster = arcpy.Raster(flow_track_raster)
max_hoydepunkter_raster = arcpy.Raster(max_hoydepunkter_raster)
hoydedata_raster = arcpy.Raster(hoydedata_raster)
flow_len_raster = arcpy.Raster(flow_len_raster)
nedborsfelt_raster = arcpy.Raster(nedborsfelt_raster)

#4: Lagrer plasseringen av nederste-venstre punkt og celle-størrelsen til
input-rasteret
lowerLeft = arcpy.Point(flow_track_raster.extent.XMin,
flow_track_raster.extent.YMin)
cellSize = flow_track_raster.meanCellWidth

#5: Omgjør raster-dataen til numpy-arrays
flow_track_2d = arcpy.RasterToNumPyArray(flow_track_raster,
nodata_to_value=0)
max_hoydepunkter_2d = arcpy.RasterToNumPyArray(max_hoydepunkter_raster,
nodata_to_value=0)
hoydedata_2d = arcpy.RasterToNumPyArray(hoydedata_raster,
nodata_to_value=0)
flow_len_2d = arcpy.RasterToNumPyArray(flow_len_raster, nodata_to_value=0)
nedborsfelt_2d = arcpy.RasterToNumPyArray(nedborsfelt_raster,
nodata_to_value=0)

#6: Lager tomme rastere til output
Maxhoyder_Array = flow_track_2d * 0
Feltakse_Array = flow_track_2d * 0
Usikkerhet_Array = flow_track_2d * 0

#7: Runder av max-punkter-rasteret og hoydedata-rasteret til to desimaler
# flow_track_2d = np.around(flow_track_2d, decimals=6)
max_hoydepunkter_2d = np.around(max_hoydepunkter_2d, decimals=2)
hoydedata_2d = np.around(hoydedata_2d, decimals=2)

#8: Lager en nøstet liste med lokale topper, og deres tilhørende "Flow-
track"-verdier
focus_points = []
```

```

for row_index, row in enumerate(max_hoydepunkter_2d): #Bruke noe annet enn
en nøstet liste?
    for cell_index, value in enumerate(row):
        if value > 0:
            focus_points.append([value,
flow_track_2d[row_index][cell_index], row_index, cell_index])
focus_points.sort(key = lambda x: x[0])
res1, res2, res3, res4 = map(list, zip(*focus_points))
focus_max_hoyder = np.array(res1)
focus_flow_paths = np.array(res2)
focus_x_axis = np.array(res3)
focus_y_axis = np.array(res4)

def sort_and_slice(operator, value, array, array_1, array_2, array_3,
sort):
    if sort:
        nested_list = []
        for index, element in enumerate(array):
            nested_list.append([element, array_1[index], array_2[index],
array_3[index]])
        nested_list.sort(key=lambda x: x[0])
        res1, res2, res3, res4 = map(list, zip(*nested_list))
        array = np.array(res1)
        array_1 = np.array(res2)
        array_2 = np.array(res3)
        array_3 = np.array(res4)
    if operator == "more than":
        sliced_array = array[array >= (value)]
        sliced_array_1 = array_1[(len(array_1) - len(sliced_array)):]
        sliced_array_2 = array_2[(len(array_2) - len(sliced_array)):]
        sliced_array_3 = array_3[(len(array_3) - len(sliced_array)):]
    elif operator == "less than":
        sliced_array = array[array <= (value)]
        sliced_array_1 = array_1[0:len(sliced_array)]
        sliced_array_2 = array_2[0:len(sliced_array)]
        sliced_array_3 = array_3[0:len(sliced_array)]
    return sliced_array, sliced_array_1, sliced_array_2, sliced_array_3

```

#9: Looper igjennom flow-track-rasteret, og søker etter tilhørende toppunkter med minst mulig avrunding av desimaler.

Regner ut feltakse-verdier og usikkerhet.

```

for row_index, row in enumerate(flow_track_2d):
    for cell_index, cell in enumerate(row):
        if nedborsfelt_2d[row_index][cell_index] < 1:
            Maxhoyder_Array[row_index][cell_index] = 0
            Feltakse_Array[row_index][cell_index] = 0
            Usikkerhet_Array[row_index][cell_index] = 0
        elif max_hoydepunkter_2d[row_index][cell_index] > 1:
            Maxhoyder_Array[row_index][cell_index] = 0
            Feltakse_Array[row_index][cell_index] = 0
            Usikkerhet_Array[row_index][cell_index] = 0
        else:
            mh_6 = []
            fa_6 = []
            mh_3 = []
            fa_3 = []

```

```

mh_1 = []
fa_1 = []
mh_0 = []
fa_0 = []
round_to_3 = True
round_to_1 = True
round_to_0 = True
flow_length = flow_len_2d[row_index][cell_index]
hoyde = hoydedata_2d[row_index][cell_index]
current_max_hoyder, current_flow_paths, current_x_axis,
current_y_axis = sort_and_slice("more than", hoyde, focus_max_hoyder,
focus_flow_paths, focus_x_axis, focus_y_axis, False)
current_flow_paths, current_max_hoyder, current_x_axis,
current_y_axis = sort_and_slice("more than", cell-1,
current_flow_paths, current_max_hoyder, current_x_axis, current_y_axis, True)
current_flow_paths, current_max_hoyder, current_x_axis,
current_y_axis = sort_and_slice("less than", cell+1, current_flow_paths,
current_max_hoyder, current_x_axis, current_y_axis, False)
for index, values in enumerate(current_max_hoyder):
    flow_axis = ((row_index -
current_x_axis[index])*cellSize)**2 + ((cell_index -
current_y_axis[index])*cellSize)**2)**(0.5)
    if flow_axis <= flow_length + 1:
        if cell == current_flow_paths[index]:
            mh_6.append(values)
            fa_6.append(flow_axis)
            round_to_3 = False

3) and round_to_3:
            mh_3.append(values)
            fa_3.append(flow_axis)
            round_to_2 = False

elif round(cell, 1) == round(current_flow_paths[index],
1) and round_to_1:
            mh_1.append(values)
            fa_1.append(flow_axis)
            round_to_0 = False

elif round(cell, 0) == round(current_flow_paths[index],
0) and round_to_0:
            mh_0.append(values)
            fa_0.append(flow_axis)

if len(mh_6) > 0:
    correct_fa = min(fa_6)
    correct_mh = mh_6[fa_6.index(correct_fa)]
    Maxhoyder_Array[row_index][cell_index] = correct_mh
    Feltakse_Array[row_index][cell_index] = correct_fa
    Usikkerhet_Array[row_index][cell_index] = (max(fa_6) -
correct_fa) / correct_fa * 100

elif len(mh_3) > 0:
    correct_fa = min(fa_3)
    correct_mh = mh_3[fa_3.index(correct_fa)]
    Maxhoyder_Array[row_index][cell_index] = correct_mh
    Feltakse_Array[row_index][cell_index] = correct_fa
    Usikkerhet_Array[row_index][cell_index] = (max(fa_3) -
correct_fa) / correct_fa * 100

```

```

    elif len(mh_1) > 0:
        correct_fa = min(fa_1)
        correct_mh = mh_1[fa_1.index(correct_fa)]
        Maxhoyder_Array[row_index][cell_index] = correct_mh
        Feltakse_Array[row_index][cell_index] = correct_fa
        #Usikkerhet_Array[row_index][cell_index] = len(fa_1) - 1
        Usikkerhet_Array[row_index][cell_index] = (max(fa_1) -
correct_fa) / correct_fa * 100

    elif len(mh_0) > 0:
        correct_fa = min(fa_0)
        correct_mh = mh_0[fa_0.index(correct_fa)]
        Maxhoyder_Array[row_index][cell_index] = correct_mh
        Feltakse_Array[row_index][cell_index] = correct_fa
        Usikkerhet_Array[row_index][cell_index] = (max(fa_0) -
correct_fa) / correct_fa * 100

#10: Gjør om output-arrays til rastere, og setter dem som output-
parametere.
Maxhoyder = arcpy.NumPyArrayToRaster(Maxhoyder_Array, lowerLeft, cellSize,
value_to_nodata=0)
Maxhoyder.save(save_path_1)
Feltakse = arcpy.NumPyArrayToRaster(Feltakse_Array, lowerLeft, cellSize,
value_to_nodata=0)
Feltakse.save(save_path_2)
Usikkerhet = arcpy.NumPyArrayToRaster(Usikkerhet_Array, lowerLeft,
cellSize, value_to_nodata=0)
Usikkerhet.save(save_path_3)
arcpy.SetParameter(5, Maxhoyder)
arcpy.SetParameter(6, Feltakse)
arcpy.SetParameter(7, Usikkerhet)

```

Vedlegg C: Skript for beregning av nedbørintensitet

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

import numpy as np
import pandas as pd
import arcpy
import os
import re

#1: Tar inn inputen i script-toolet
Konsentrasjonstid = arcpy.GetParameterAsText(0)
IVF_kurve = arcpy.GetParameterAsText(1)
Gjentaksintervall = arcpy.GetParameterAsText(2)

#2: Trekker ut filplasseringen til input-rasterene og lagrer
fildestinasjonen til output-rasterene
path = os.path.dirname(Konsentrasjonstid)
name =
os.path.basename(Konsentrasjonstid).rstrip(os.path.splitext(Konsentrasjonstid)[1])
save_path_1 = path + "\Regnintensitet_" + name[18:] + "_" +
Gjentaksintervall
save_path_2 = path + "\Klimafaktor_" + name[18:] + "_" + Gjentaksintervall

#3: Gjør om inputen til raster-data i arcpy
Konsentrasjonstid = arcpy.Raster(Konsentrasjonstid)

#4: Lagrer plasseringen av nederste-venstre punkt og celle-størrelsen til
input-rasteret
lowerLeft = arcpy.Point(Konsentrasjonstid.extent.XMin,
Konsentrasjonstid.extent.YMin)
cellSize = Konsentrasjonstid.meanCellWidth

#5: Omgjør raster-dataen til numpy-arrays
Konsentrasjonstid_2d = arcpy.RasterToNumPyArray(Konsentrasjonstid,
nodata_to_value=0)
Gjentaksintervall = int(Gjentaksintervall)

#6: Lager tom array til output
Nedborsintensitet_array = Konsentrasjonstid_2d*0
Klimafaktor_array = Konsentrasjonstid_2d*0

#7: Gjør om excel-tabellen til en dictionary for IVF-data for gjeldende
gjentaksintervall
IVF_kurve = pd.read_csv(IVF_kurve, sep=";", index_col=0)
#IVF_kurve = pd.read_csv("C:\Users\Oskar.Kielland\Desktop\IVF_AAS_CSV.csv",
sep=";", header=7, index_col=0)
Varigheter = list(IVF_kurve.columns)
for index, tall in enumerate(Varigheter):
    Varigheter[index] = int(re.sub('[^0-9]', '', tall))
Intensiteter = list(IVF_kurve.loc[int(Gjentaksintervall), :])
for index, value in enumerate(Intensiteter):
    if value == " ":
        Intensiteter[index] = 0

dictionary = dict(zip(Varigheter, Intensiteter))

#8: Finner tilhørende intensiteter ved å runde av til nærmeste regnvarighet
```

```

for row_index, row in enumerate(Konsentrasjonstid_2d):
    for cell_index, cell in enumerate(row):
        if cell == 0:
            Nedborsintensitet_array[row_index][cell_index] = 0
        else:
            Naermeste_varighet = min(Varigheter, key=lambda x:abs(x-cell))
            Nedborsintensitet_array[row_index][cell_index] =
dictionary[Naermeste_varighet]
            if Gjentakintervall < 20:
                Klimafaktor_array[row_index][cell_index] = 1.0
            elif Gjentakintervall < 50:
                if Naermeste_varighet < 180:
                    Klimafaktor_array[row_index][cell_index] = 1.4
                else:
                    Klimafaktor_array[row_index][cell_index] = 1.3
            else:
                if Naermeste_varighet <= 60:
                    Klimafaktor_array[row_index][cell_index] = 1.5
                elif Naermeste_varighet < 180:
                    Klimafaktor_array[row_index][cell_index] = 1.4
                else:
                    Klimafaktor_array[row_index][cell_index] = 1.3

```

```

#9: Gjør om output-arrays til rastere, og setter dem som output-parametere.
Nedborsintensitet = arcpy.NumPyArrayToRaster(Nedborsintensitet_array,
lowerLeft, cellSize, value_to_nodata=0)
Klimafaktor = arcpy.NumPyArrayToRaster(Klimafaktor_array, lowerLeft,
cellSize, value_to_nodata=0)
Nedborsintensitet.save(save_path_1)
Klimafaktor.save(save_path_2)
arcpy.SetParameter(3, Nedborsintensitet)
arcpy.SetParameter(4, Klimafaktor)

```

Vedlegg D: Skript for konvertering av raster-oppløsning

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

import arcpy
import os
from arcpy.sa import *

#1: Tar inn inputen i script-toolet
Input_raster = arcpy.GetParameterAsText(0)
New_cellSize = arcpy.GetParameterAsText(1)

#2: Trekker ut filplasseringen til input-rasterene og lagrer
fildestinasjonen til output-rasterene
path = os.path.dirname(Input_raster)
save_path_1 = path + "\Aggregate"

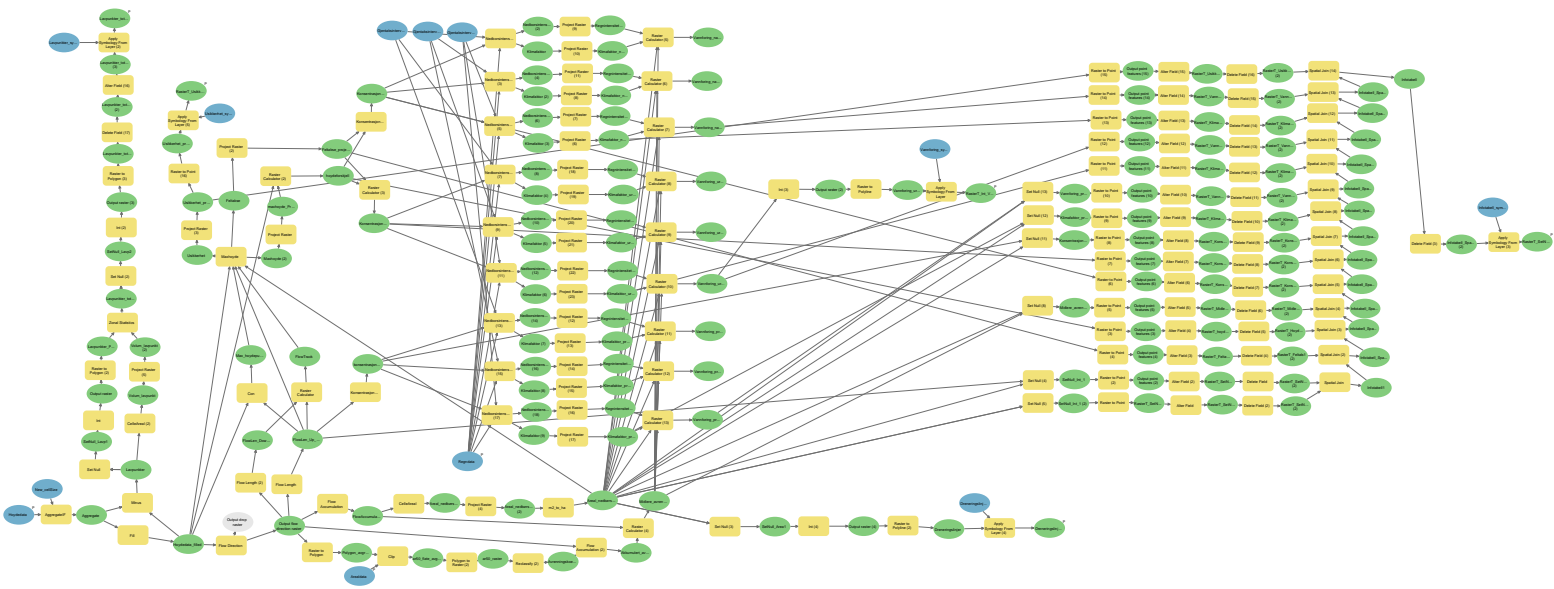
#3: Gjør om inputen til raster-data og tall i arcpy
Input_raster = arcpy.Raster(Input_raster)
New_cellSize = float(New_cellSize)

#4: Lagrer plasseringen av nederste-venstre punkt og celle-størrelsen til
input-rasteret
lowerLeft = arcpy.Point(Input_raster.extent.XMin, Input_raster.extent.YMin)
cellSize = Input_raster.meanCellWidth

#5: Lagrer et Output_raster, og kjører aggregate hvis rasteret har
cellestørrelse mindre enn ny ønsket cellestørrelse
Output_raster = Input_raster
if float(cellSize) < New_cellSize:
    cell_factor = int(New_cellSize/cellSize)
    Output_raster = Aggregate(Output_raster, cell_factor, "MEAN")

#6: Setter dem Output-raster output-parameter.
Output_raster.save(save_path_1)
arcpy.SetParameter(2, Output_raster)
```

Vedlegg E: Flytskjema av ArcGIS-modellen





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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway