



Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på masterstudiet innenfor vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er skrevet ved institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT). Oppgaven er en videreføring av to masteroppgaver, den ene skrevet av Alexander Myrvoll høsten 2014 og den andre skrevet av David Murtne høsten 2015. I tillegg har det blitt gjort en oppgave innenfor det samme temaet ved Høyskolen i Østfold. Temaet til de tre oppgavene er flommodellering. Disse oppgavene har fokusert på å utarbeide aktsomhetskart som viser forsengkninger og drenslinjer ved hjelp av ArcGIS. Denne masteroppgaven vil videreføre dette ved å justere metodikken i ArcGIS, samt å utforske andre metoder knyttet til å simulere flomhendelser. Det vil bli utarbeidet tre ulike metodikker knyttet til programmene ArcGIS, MIKE21 Flow Model og MIKE FLOOD. I arbeidet vil det bli vist hvordan de ulike metodene kan utføres, hvilke resultater som blir simulert og til slutt en drøfting av styrker og svakheter til de forskjellige metodikkene.

Masteroppgaven ble skrevet fra tidlig januar til midten av mai som er en tidsperiode på litt over fire måneder. På grunn av manglende forkunnskaper har det til tider vært svært frustrerende og krevende å få til simuleringene. Det ligger dermed mye arbeid bak resultatene.

Denne masteroppgaven har blitt utarbeidet av Jarle André Johansen og Hans Jakob Saxe Moldekleiv våren 2016.

Vi vil gjerne rette en stor takk til vår hovedveileder Jon Arne Engan som har vært svært hjelpsom og delaktig i arbeidet. Takk for hjelp underveis og for kursene i ArcGIS og MIKE FLOOD du ordnet for oss.

Vi vil også gjerne takke Halvor Hardang ved DHI, Oslo, som har hjulpet oss svært mye med å forstå MIKE21 og MIKE FLOOD.

Vi vil takke Norconsult og Multiconsult for lån av datamaskiner til masterarbeidet. I tillegg vil vi takke DHI og ESRI for lån av lisenser til programvaren som ble benyttet.

Vi vil også takke Axel König, Geir Torgersen, David Murtne, Arve Heistad og Geodata.

Vi vil takke Tora Marie Hveem Kjølseth og Ingrid Vatne for konstruktive tilbakemeldinger.

Vi vil også takke Rebecca Saxe Moldekleiv og Karoline Hol for all støtte.

Sammendrag

I de siste århundrene har det blitt registrert forandringer i klimasystemet. Det er sannsynlig at dette er en konsekvens av menneskers forbruk av fossilt brennstoff. Klimaendringene vises i en høynet middeltemperatur for store deler av jordkloden. I Norge blir klimaendringene synlige i form av at det har blitt mer nedbør og at nedbørshendelsene har blitt mer intense. Denne tendensen blir av de fleste forskere framskrevet til å vedvare. Samtidig med klimautviklingen har samfunnet blitt forandret ved at urbaniseringen har økt. Det blir stadig flere mennesker som bosetter seg i byområder, noe som fører til at andelen tette flater øker. Kombinasjonen av mer intense regnhendelser og fortetting har ført til at det stadig er problemer knyttet til oversvømmelser i urbane miljøer. Årlig utbetales det millioner av kroner i forsikringspremier på grunn av vannrelaterte skader, noe som er svært kostnadskrevenne for samfunnet. Dette har ført til at problemer knyttet til overvann har fått større oppmerksomhet i de senere år. Det har blitt et større fokus på å forminske overvannsskadene ved hjelp av ulike tiltak. For å vite hvilke urbane områder som er sårbare og hvilke tiltak som er samfunnsøkonomiske må det derfor undersøkes hvor vannet vil renne og skader vil oppstå. Det blir dermed forsket på utvikling av forskjellige metoder for å simulere urbane flomveier og oversvømmelser.

I denne masteroppgaven har tre ulike modelleringsmetoder blitt tatt i bruk etter at den digitale terrengmodellen ble opprettet. Den digitale terrengmodellen ble produsert i ArcGIS ved hjelp av LiDAR- og FKB data og ble benyttet i alle de tre metodene. Det var krevende å lage en god terrengmodell ved hjelp av de geografiske dataene da små forandringer kunne gi betydelig utslag i modellen.

I den første metoden ble det en ren terrenganalyse i ArcGIS benyttet. Denne metoden var relativt enkel og ta i bruk, samt at det ikke krever altfor mye av brukeren. Analysen ga resultater i form av hvor det var forsenkninger i terrenget. Analysen viste også hvilke veier som vannet antagelig ville ta, i form av drenslinjer. Drenslinjene ble klassifisert etter hvor stort området som vannet antagelig vil drenere fra. Programmet tar kun hensyn til høydedifferanser slik at hydrauliske parametere som hastighet og trykkehøyde ikke blir tatt hensyn til.

I den andre metoden ble dataprogrammet MIKE21 tatt i bruk. Programmet benytter hydrauliske ligninger for å bestemme vannets strømming. Det kom tydelig frem at dette ga andre resultater enn ved bruk av ArcGIS.

I den tredje metoden ble det simulert oversvømmelser ved hjelp av MIKE FLOOD. Programmet kobler MIKE21 sammen med programmet MIKE Urban. MIKE Urban var da brukergrensesnittet i modelleringen. MIKE Urban er mest kjent for å beregne rørnettverk og hydraulikk knyttet til ledningsnett. Dette førte til en enda mer realistisk modell, da både strømnings på terrengoverflaten og i ledningsnettet ble simulert. På grunn av mangelfullt datagrunnlag knyttet til ledningene i Drammen var dette en svært krevende modell å bygge.

Metodikkene ble sammenlignet utfra bruksområder, tidsbruk og kompleksitet. Konklusjonen ble at de ulike programmene har forskjellige sterke og svake sider. ArcGIS er det minst tidkrevende programmet, men tar kun med høydedifferansen i beregningene. I ArcGIS kan det simuleres med svært lav oppløsning på terrengmodellen uten vanskeligheter. MIKE21 er et godt program til å beregne urbane oversvømmelser. Resultatene er antagelig mer realistiske enn ved bruk av ArcGIS. Ulempen er at simuleringene tar lang tid, spesielt hvis oppløsningen på terrengmodellen er høy. MIKE21 tar ikke direkte hensyn til ledningsnettet, men et fratrekk fra regnet kan gjøres. MIKE FLOOD er det mest spennende programmet med tanke på muligheter. Programmet kan blant annet benyttes til å se effekten av hvordan regnhendelser virker inn på utvalgte rørstrekninger og ved simulering av ledningsbrudd. Sårbare ledningsstrekking kan også identifiseres ved hjelp av programmet. Det kreves et godt datasett av ledningsnettet for at simuleringen skal fungere optimalt og være realistisk. Siden både strømnings på terrengoverflaten og i ledningsnettet blir simulert dynamisk er det svært tidkrevende å kjøre simuleringer med MIKE FLOOD.

Abstract

During the last centuries climate changes have been observed. This is most likely a result of human use of fossil fuels. The changes that have been registered are average temperatures that have increased for great parts of the earth. In Norway, the climate changes have been experienced through more rain, and the rain events have become more intense. Climate scientists and researchers predict that these changes will continue. In Norway, there will be more rain, and the rain events will become more intense. In the same period, there has been another development in the society. More and more people decide to live in urban areas, and in cities, where there is more impermeable surfaces. More impermeable surfaces combined with more intense rain events result in more problems with flooding. Every year insurance companies pay millions of NOK due to insurance payouts. This is very expensive for the society. In the last decades, these problems have gotten more attention. It has been focused on how to minimize the streams of storm water by using a range of measures. To know where to put these actions, it is wise to know where the flood events will occur. Where the flood events will occur can be discovered by simulating the storm water floods in different methods. This is why researchers focus on different ways to simulate storm flooding, which will show where the water will drain and where the water will accumulate.

In this master thesis, three methods have been tested. The three methods have all used a digital terrain model made in ArcGIS. The digital terrain model was constructed with LiDAR- and FKB-data. The first method was to use the program ArcGIS for a GIS analysis. This method gave results made by an analysis of the terrain. This method was quite simple to use, and it did not require a lot of work from the user. The most difficult thing with this method was to make a good digital terrain model with a range of geographic information. The analysis gave results in sinks, and the location of flood streams. In addition to this, the method produced draining lines, which indicated how big the area that drained to the specified line was.

The second method was by using MIKE21 Flow Model. This program took base in the digital terrain model made in ArcGIS. The program used hydraulic equations to compute where the water would go. It was clear that the results were different from ArcGIS.

The third and last method was by using MIKE FLOOD. MIKE FLOOD is a program that links MIKE21 Flow Model and MIKE Urban. MIKE Urban is a program that is used mostly for simulating links and pipe networks. MIKE FLOOD simulates both pipe network and

surface flow. This resulted in a more real simulation, by combining pipe flow and surface flow. The method was quite demanding because the information about the pipes were inadequate.

The methods were compared with focus on appliance areas, time consumption and complexity. The conclusion was that the various models had both strong and weak aspects. ArcGIS is the software that uses the smallest amount of time, but it only considers the height difference in the calculations. ArcGIS can use raster cells with a small resolution without problems. MIKE21 is a good program to use for flood simulation. The results are probably more realistic than the results from ArcGIS, but the simulations take a great amount of time, especially if the grid resolution is small. MIKE21 does not consider the effects of the drainage system directly, but this can be incorporated with a withdrawal of the drainage systems capacity from the rain incident. MIKE FLOOD is the most exciting program due to its wide range of possibilities. The program can be used to look at the effects of how rain incidents affect drainage systems, and the program can be used to simulate breaches in the piping system. However, the negative aspects is that for the simulation to give good results, it is required that the data about the drainage system is correct. MIKE FLOOD is also time consuming. This is due to the computation of both drainage systems and the overland flow.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	IV
Innholdsfortegnelse	VI
Figurliste.....	XII
Tabelliste	XVII
Formeloversikt	XIX
1 Innledning.....	1
1.1 Forutsetninger	1
1.2 Regnbyge 3-M	2
1.3 Avgrensning av analyseområdet.....	3
1.4 Problemstilling.....	5
1.5 Mål med arbeidet	5
2 Klima og overvann	7
2.1 Klima	7
2.1.1 Klimaendringer – en introduksjon.....	7
2.1.2 Klimaendringer ifølge IPCC	9
2.1.3 Special Report on Emissions Scenarios (SRES)	12
2.1.4 Klima i Norge.....	14
2.1.5 Klimaendringer i Norge – hittil.....	15
2.1.6 Klimaendringer i Norge – i framtiden.....	16
2.2 Hydrologi.....	18
2.2.1 Nedbør.....	20
2.3 Urbanhydrologi.....	20
2.4 Overvannshåndtering.....	23
2.4.1 Forurensninger i overvann	24

2.4.2	Overvannssystemer	24
2.4.3	Tradisjonell overvannshåndtering	25
2.4.4	Blågrønne løsninger for fremtiden	27
2.4.5	Åpne og lokale overvannstiltak	28
2.4.6	Treleddsstrategien	30
2.4.7	Klimaeffekter og utfordringer knyttet til overvann i urbane strøk	31
2.5	Beregning av overvann og nedbør	33
2.5.1	Den rasjonelle formel	33
2.5.2	Summasjonskurvemetoden	35
2.5.3	Regnhyetogram	35
2.6	Lover og regler	36
2.6.1	Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)	37
2.6.2	Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)	37
2.6.3	Veiledning om tekniske krav til byggverk (TEK10)	37
2.6.4	Forskrift om begrenset forurensning (forurensningsforskriften)	37
2.6.5	Forskrift om rammer for vannforvaltningen (vannforskriften)	37
2.6.6	EU sitt vanndirektiv	38
2.7	Overvannsveiledere og hovedplaner for avløp	38
2.7.1	Overvannshåndtering i Oslo kommune – en veileder for utbygger	39
2.7.2	Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune	39
2.7.3	Veileder for overvannshåndtering i Drammen	40
2.7.4	Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030 for Oslo kommune	40
3	Geografiske informasjonssystemer (GIS)	43
3.1	Koordinatsystemer	44
3.2	Jorden, geoide og ellipsoide	45
3.3	Datum	46
3.3.1	Geodetisk datum	47

3.3.2	Vertikalt datum.....	47
3.3.3	Anleggsdatum.....	47
3.4	Geografiske koordinatsystemer	48
3.5	Projiserte koordinatsystem (kartprojeksjon).....	49
3.5.1	Forskjellige projiseringsmetoder og egenskaper	49
3.6	Relevante datum og projeksjoner i Norge	51
3.6.1	Datum	51
3.6.2	Projeksjoner.....	52
3.7	Høydesystem	54
3.8	Utvekslingsformater	56
3.8.1	SOSI (samordnet opplegg for stedfestet informasjon).....	56
3.8.2	GML (Geography Markup Language)	56
3.9	Laserskanning.....	57
3.9.1	Delspesifikasjoner	58
3.10	Digitale terrengmodeller	60
3.10.1	TIN (Triangulated Irregular Network)	60
3.10.2	Rastermodell.....	60
3.11	FKB-data.....	61
3.11.1	Geovekstsamarbeidet	61
3.11.2	FKB-Datasettene	61
4	Programvare	71
4.1	Generelt om modellering	71
4.2	Oversvømmelsessimuleringer	72
4.2.1	Vurdering av de ulike metodene	73
4.3	Strømningssimulering.....	74
4.4	Aktsomhetskart for flom.....	75
4.5	ArcGIS.....	75

4.5.1	ArcCatalog	76
4.5.2	ArcMap.....	76
4.5.3	ArcToolbox	76
4.5.4	Spatial Analyst	77
4.6	MIKE	81
4.7	MIKE21 Flow Model	81
4.7.1	MIKE21 – Ulike parametere	83
4.8	MIKE FLOOD.....	91
4.8.1	MIKE Urban.....	92
4.8.2	Parametere og objekter i MIKE Urban.....	93
4.8.3	Parametere og objekter i MIKE21	93
5	Tidligere arbeid	95
5.1	Oppsummering av tidligere arbeid	95
6	Metodikk	99
6.1	PC-spesifikasjoner	99
6.2	ArcGIS-arbeid	100
6.2.1	Oppbygning av den digitale terrengmodellen (DTM).....	100
6.2.2	Produksjon av aktsomhetskart.....	104
6.3	MIKE21 arbeid.....	105
6.3.1	Module Selection.....	105
6.3.2	Bathymetry	106
6.3.3	Simulation period	109
6.3.4	Flood and Dry.....	109
6.3.5	Initial Surface Elevation.....	110
6.3.6	Source and Sink.....	110
6.3.7	Eddy Viscosity	114
6.3.8	Resistance.....	115

6.3.9	Results	116
6.3.10	Ikke relevante parametere	116
6.4	MIKE FLOOD arbeid.....	117
6.4.1	Oppbygging av overflatemodellen i MIKE Urban.....	117
6.4.2	Oppbygningen av ledningsnett i MIKE Urban.....	119
6.4.3	Kobling mellom terrengmodellen og ledningsnett	121
6.4.4	Innsetting av regn til simuleringen.....	122
6.4.5	Simulering av MIKE FLOOD	122
7	Resultater.....	127
7.1	Sammenligning av utført arbeid	129
7.1.1	Sammenligning.....	129
7.2	MIKE21 resultater	134
7.2.1	Resultater fra modellering av forsøkninger ved Marienlystområdet.....	134
7.2.2	Resultater av drenslinjer ved Marienlystområdet.....	140
7.3	ArcGIS resultater	146
7.3.1	Resultater av forsøkninger ved Marienlystområdet	146
7.3.2	Resultater av drenslinjer ved Marienlystområdet.....	148
7.4	Sammenligning av resultater fra MIKE21 og ArcGIS	150
7.4.1	Sammenligning av sinks fra ArcGIS og oversvømmelser fra MIKE21 ved Strømsområdet.	150
7.4.2	Sammenligning av drenslinjer fra ArcGIS og MIKE21 ved Strømsområdet	152
7.5	Resultater med varierende Manningstall	154
7.7	MIKE FLOOD resultater.....	158
7.7.1	Sammenligning av resultater fra MIKE FLOOD og MIKE21.....	158
7.7.2	Resultater fra simulering med ledningsnett i MIKE FLOOD	162
8	Diskusjon.....	169
8.1	Sammenligning av arbeidene i ArcGIS og hvordan forskjeller i terrengmodellen påvirker resultatet.....	169

8.1.1	Oppsummering av sammenligningen mellom de ulike ArcGIS resultatene	173
8.2	Metodikkene	174
8.2.1	ArcGIS	174
8.2.2	MIKE21 Flow Model	176
8.2.3	MIKE FLOOD	179
8.2.4	Feilkilder	181
8.2.5	Sammenligning av metodikkene	183
8.3	Veien videre.....	185
9	Konklusjon	187
10	Referanseliste	189
	Vedlegg A	i
	Vedlegg B.....	xxxii
	Vedlegg C.....	lxi

Figurliste

Figur 1-1: Forklaring av hovedmålene for regnbygge-3M (Regnbygge 3M 2015).....	3
Figur 1-2: Analyseområdet i ArcGIS (skjermdump)	4
Figur 1-3: Avgrensningsområdet i MIKE21 Flow Model og MIKE FLOOD (skjermdump) ...	5
Figur 2-1: Strålingsforhold på jorden. Innstråling fra solen, og utstråling fra jorden (Kitterød 2015).....	8
Figur 2-2: Forholdet mellom mettet vanddampstrykk og temperatur (Hendriks 2010).....	9
Figur 2-3: Temperaturforandring kombinert for land og havoverflate i perioden 1850-2012 (Stocker et al. 2014)	10
Figur 2-4: Observert endring i overflatetemperatur i tidsperioden 1901-2012 (Stocker et al. 2014).....	11
Figur 2-5: Hovedkarakteristikkene til de fire SRES scenario familiene (Nakicenovic & Swart 2000).....	12
Figur 2-6: Grafisk fremstilling av forskjellige scenarier og utslippene knyttet til de (Nakicenovic & Swart 2000).....	14
Figur 2-7: Nedbøren for Norge fra 1900-2013, nedbøren vises i prosent avvik av normalen (normalen er fra 1961-1990) (Meteorologisk institutt 2014)	15
Figur 2-8: Temperaturavvik fra normalen i Norge (normalen er 1961-1990) (Meteorologisk institutt 2014)	16
Figur 2-9: Endring i årsnedbør framstilt som prosent av normalnedbør fra 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al. 2009)	17
Figur 2-10: Vannets kretsløp (USGS 2015).....	19
Figur 2-11: Forholdet mellom avrenning og infiltrasjon ved forskjellige urbaniseringsgrader. Redigert fra:(Lindholm 2014a)	21
Figur 2-12: Økning i avrenningstopper når urbaniseringsgraden tiltar. Figuren viser også hvordan fremtidige klimaendringer kan føre til økt intensitetsøkning under avrenning (SINTEF Byggforsk 2012).....	22
Figur 2-13: Fellessystem, separatsystem og LOH (LOD) system (Fredrikstad kommune 2007)	25
Figur 2-14: Konvensjonelt system for overvannshåndtering (NOU 2015:16).....	26
Figur 2-15: Åpne og lokal håndtering av overvann som benytter flere LOD tiltak (NOU 2015:16)	28

Figur 2-16: Forsinkelse og fordrøyning av tilrenning av overvannet har en positiv effekt på ledningsnett. Kurven som går over kapasiteten er før tradisjonelle systemer, mens kurven som er under kapasiteten er ved bærekraftige ledningssystemer (Lindholm 2014a).....	30
Figur 2-17: Treleddsstrategien for håndtering av overvann (NOU 2015:16)	30
Figur 2-18: Trender for nedbørshendelser på Blindern. Figuren viser utviklingen fra 1970-2000 (Lindholm et al. 2003).....	31
Figur 2-19: IVF-kurve fra Tønsberg (Kjensli et al. 2009)	35
Figur 2-20: Eksempel på et regnhyetogram	36
Figur 2-21: De ulike klassene på den økologiske tilstanden (Riise 2015)	38
Figur 3-1: Oppbygningen til koordinatsystemer (Geodata 2016)	45
Figur 3-2: Skisse som viser forskjellene mellom jorden, geoiden og ellipsoiden (Strømsholm 2016a).....	46
Figur 3-3: Inndelingen av lengdegrader og breddegrader i det geografiske koordinatsystemet (Gol VGS 2016)	48
Figur 3-4: De tre hovedtypene av projiseringsmetoder som er sylinder-, kjegle-, og planprojeksjon (Gol VGS 2016)	50
Figur 3-5: To tangeringsmeridianer for sylinderprojeksjonen til UTM (MapRef 2011)	53
Figur 3-6: Sonebelteinndelingen til UTM koordinatsystem (venstre). Soneinndelingen av Norden (høyre) (Strande 1981)	53
Figur 3-7: NGOs koordinatsystem (Strande 1981)	54
Figur 3-8: Høydeforskjellen ved overgangen fra NN1954 og NN2000 (Statens Kartverk 2015b).....	55
Figur 3-9: Viser hvordan et fly henter inn LiDAR data ved hjelp av en optisk-mekanisk skanner (Wehr & Lohr 1999)	58
Figur 3-10: De ulike områdetypene hvor de ulike FKB-standardene gjelder (Paule 2012).....	62
Figur 3-11: De ulike objekttypene vist i tverrsnitt (Statens Kartverk 2014c)	64
Figur 3-12: De ulike objekttypene i plan (Statens Kartverk 2014c)	65
Figur 3-13: Eksempel på FKB-bane med objekttypen spormidt (Statens Kartverk 2011a)	68
Figur 3-14: FKB-dataene til Bygning fremstiller takoverlapping på denne måten (Statens Kartverk 2013b)	69
Figur 4-1: Illustrasjon av forskjellene mellom GIS og 2D-analyse. Den heltrukne linjen viser vannivået ved en GIS simuleringen, mens den stiplede linjen viser vannivået ved en 2D-simulering (Mårtensson & Gustafsson 2014).....	73

Figur 4-2: Forskjellen mellom «multiple flow» til venstres, og «single flow» til høyre (Meiforth 2013)	75
Figur 4-3: ArcMap sine hovedverktøy (Esri 2016e)	76
Figur 4-4: Utvidelsene til ArcMap (Esri 2016b)	78
Figur 4-5: Hvordan verktøyet «Fill» fungerer på en forsenkning (Esri 2016c)	78
Figur 4-6: Hvordan verktøyet «Fill» fungerer på en «peak» (Esri 2016c)	79
Figur 4-7: Hvordan flomretningsverktøyet fungerer (Esri 2016d)	79
Figur 4-8: Hvordan flow accumulation fungerer (Esri 2015b)	80
Figur 4-9: Et eksempel på resultatrasteret fra verktøyet «Basin» (skjermdump)	81
Figur 4-10: Parameterne til MIKE21 Flow Model (Skjermdump)	84
Figur 4-11: Bathymetry over området i Drammen (skjermdump)	85
Figur 4-12: Simuleringsperiode (skjermdump)	86
Figur 4-13: Net infiltration rate (DHI 2016b)	89
Figur 4-14: Infiltration and leakage (DHI 2016b)	89
Figur 4-15: Vann som blir tilført fra MIKE21 til MIKE Urban via en kum (DHI 2016d)	91
Figur 4-16: Vann som blir tilført terrengoverflaten i MIKE21 fra MIKE Urban (DHI 2016d)	92
Figur 5-1: Aktsomhetskart over Solumstrand rensedistrikt med drenslinjer og sinks (Murnes 2015)	97
Figur 6-1: Viser eksempel på hvordan elementer kunne hindret overvannstrømningen om de ikke ble fjernet	102
Figur 6-2: Et eksempel på hvordan et «terrain» kan se ut (skjermdump)	102
Figur 6-3: Når «terrain» har blitt konvertert til raster (skjermdump)	103
Figur 6-4: Terrengrasteret slått sammen med bygningsrasteret (skjermdump)	103
Figur 6-5: De ulike parameterne som kan bli benyttet i MIKE21 Flow Model (skjermdump)	105
Figur 6-6: Dialogvinduet til «Module Selection» med «Inland Flooding» huket av (skjermdump)	106
Figur 6-7: Dialog for valg av batymetri (skjermdump)	106
Figur 6-8: «Resample»-verktøyet i ArcGIS (skjermdump)	107
Figur 6-9: Batymetrien som ble brukt i masteroppgaven (skjermdump)	108
Figur 6-10: Dialogvinduet til «Simulation period» (skjermdump)	109
Figur 6-11: Dialogvinduet til «Flood and Dry» (skjermdump)	110
Figur 6-12: Dialogvinduet til «Initial Surface Elevation» (skjermdump)	110

Figur 6-13: IVF-kurve for Asker (Meteorologisk institutt 2010)	111
Figur 6-14: Symmetrisk regnhyetogram med klimafaktor. Viser forskjellen mellom 200 årsregn og 200 årsregn med fratrekk av 10 årsregn (skjermdump).....	113
Figur 6-15: Regnfilen på dfs0 format som legges inn i MIKE21 (skjermdump).....	114
Figur 6-16: Dialogvinduet til «Source and Sink» (skjermdump).....	114
Figur 6-17: Dialogvinduet til «Eddy Viscosity» (skjermdump)	115
Figur 6-18: Dialogvinduet til «Resistance» hvor det angis hva slags ruhet terrengoverflaten skal ha (skjermdump)	115
Figur 6-19: Dialogvinduet til Results (skjermdump)	116
Figur 6-20: Dialogvinduet til 2D overland flow og fanen «DEM and 2D model area» (skjermdump)	117
Figur 6-21: Dialogvinduet til «2D overland flow» og fanen «2D model settings» (skjermdump)	118
Figur 6-22: Dialogvinduet til «2D overland flow» og fanen «Initial conditions» (skjermdump)	119
Figur 6-23: Importerte ledninger, kummer og utløp med terrengmodellen (avgrensingsområdet for simuleringen) i bakgrunnen (skjermdump)	120
Figur 6-24: Dialogvinduet til «Coupling parameters» (skjermdump)	121
Figur 6-25: Koblede kummer og celler (skjermdump)	121
Figur 6-26: Dialogvinduet til 2D Boundaries (skjermdump).....	122
Figur 6-27: Dialogvinduet til «Run MOUSE» (skjermdump)	123
Figur 6-28: Dialogvinduet til Network parameters (skjermdump)	124
Figur 6-29: Dialogvinduet til «2D Overland Results» (skjermdump)	125
Figur 7-1: Fokusområdene i analyseområdet (skjermdump)	128
Figur 7-2: Analyseområdet brukt i bacheloroppgaven ved HiØ (Hellesjø et al. 2015)	129
Figur 7-3: Analyseområdet brukt i masteroppgaven til David Murtnes (Murtnes 2015)	130
Figur 7-4: Likheter og ulikheter ved de tre oppgavens drenslinjer for bydelen Strømsø.....	131
Figur 7-5: Likheter og ulikheter ved de tre oppgavens drenslinjer for bydelen Strømsgodset	132
Figur 7-6: Sinksanalyse ved 200-årsregn med 10-års fratrekk ved Strømsområdet i Drammen. Manningstall er konstant på 14	135
Figur 7-7: Sammenligning av 200-årsregn med fratrekk og 50-årsregn med fratrekk ved Strømsområdet	137

Figur 7-8: Sammenligning av 200-årsregn uten fratrekk og 200-årsregn med fratrekk av 10-årsregn ved Strømsøområdet	139
Figur 7-9: Drenslinjer ved 200-årsregn med fratrekk av 10-årsregn ved Strømsøområdet ...	141
Figur 7-10: Drenslinjer ved 50-årsregn med fratrekk av et 10-årsregn ved Strømsøområdet	143
Figur 7-11: Drenslinjer ved 200-årsregn uten fratrekk for antatt ledningskapasitet ved Strømsøområdet	145
Figur 7-12: Sinksanalyse fra ArcGIS, Marienlyst. Inndelt etter maksimal dybde vann	147
Figur 7-13: Drenslinjer fra ArcGIS ved Strømsøområdet inndelt etter hvor stort tilrenningsområde (nedbørfelt) drenslinjen har	149
Figur 7-14: Sammenligning av oversvømmelser fra MIKE21 og sinks (forsenkninger) fra ArcGIS ved Strømsøområdet	151
Figur 7-15: Sammenligning av drenslinjer fra MIKE21 og ArcGIS ved Strømsøområdet ...	153
Figur 7-16: Vannets hastighet ved Strømsø med konstant Mannings tall.....	155
Figur 7-17: Vannets hastighet ved Strømsø ved varierende Mannings tall etter type overflate	156
Figur 7-18: Sammenligning av MIKE21 med 200-årsregn fratrukket 10-årsregn og MIKE FLOOD med 200-årsregn med ledningsnett	159
Figur 7-19: Sammenligning av MIKE21 med 200-årsregn uten fratrekk og MIKE FLOOD med 200-årsregn med ledningsnett	161
Figur 7-20: Volumstrøm i ledningsnettet over tidssimuleringen. Enheten er l/s skjermdump)	162
Figur 7-21: Lengdeprofil av et tilfeldig rørstrekk fra MIKE FLOOD simuleringen (skjermdump)	163
Figur 7-22: Utnyttet ledningskapasitet i bydelen Strømsø, Drammen.....	165
Figur 7-23: Maksimale volumstrømmer i ledningsnettet i bydelen Strømsø.....	167
Figur 8-1: Forskjellen på drenslinjerresultatene fra oppgavene. Oransje er drenslinjer fra HiØ som ikke har fjernet overgangen. Grønn er drenslinjer fra Murtnes som ikke har tatt med FKB- jernbane. Rød er fra denne masteroppgaven som fjernet togovergangen. Lilla er felles drenslinjer (innbyrdes avstand maks 5 m). Veien hvor den rød og den oransje linjen renner på heter Arboalléen (skjermdump).	170

Tabelliste

Tabell 2-1: Regionale trekk i forhold til klimaendringer i Norge om femti år (Alfsen 2001) .	17
Tabell 2-2: Oversikt over ulike tekniske løsninger og kategorisering av åpne vannløsninger. Redigert fra Lindholm et al. (2008)	29
Tabell 2-3: Skadevirkninger fra overvann i indirekte og direkte form (NOU 2015:16).....	32
Tabell 2-4: Ulike avrenningskoeffisienter for ulike områder, redigert fra Bøyum et al. (1997)	34
Tabell 2-5: Dimensjonerende regnskyllhyppighet og dimensjonerende oversvømmelseshyppighet (Lindholm et al. 2008)	39
Tabell 3-1: Krav til nøyaktighet i forhold til høydegrunnlag for de ulike laserkategoriene (Urset et al. 2013).....	59
Tabell 3-2: De ulike FKB-datasettene (Paule 2012)	62
Tabell 3-3: Hvilke områder de ulike standardene gjelder i (Statens Kartverk 2014b).....	63
Tabell 3-4: De ulike nøyaktighetsklassene for de ulike standardene (Statens Kartverk 2014b)	63
Tabell 3-5: De ulike objekttypene i FKB-datasettet for Veg (Statens Kartverk 2014c)	64
Tabell 3-6: Stedfestingsnøyaktigheten til de ulike objekttypene i FKB-datasettet for veg (Statens Kartverk 2014c).....	66
Tabell 3-7: De ulike objekttypene knyttet til datasettet FKB-Vann, redigert fra Statens Kartverk (2014a)	67
Tabell 3-8: Stedfestingsnøyaktigheten til de ulike objekttypene i datasettet FKB-Vann (Statens Kartverk 2011b)	67
Tabell 3-9: FKB-bane objekttype inndeling.....	68
Tabell 3-10: De ulike objektene i datasettet FKB-Bygning (Statens Kartverk 2014a).....	69
Tabell 3-11; Stedfestingsnøyaktigheten til de ulike objekttypene i datasettet FKB-Bygning (Statens Kartverk 2013b)	70
Tabell 4-1: Oversikt over noen av verktøyene som ble benyttet i masteroppgaven, samt deres funksjon.....	77
Tabell 6-1: Verdier fra IVF-kurven. Redigert fra Meteorologisk institutt (2010)	112
Tabell 6-2: Ulike Mannings tall (M) for ulike overflater som ble benyttet	115
Tabell 8-1: Oversikt over likheter og ulikheter mellom de to oppgavene	173
Tabell 8-2: Oversikt over fordeler og ulemper ved programmet ArcGIS	176
Tabell 8-3: Fordeler og ulemper knyttet til MIKE21	179

Tabell 8-4: Fordeler og ulemper knyttet til MIKE FLOOD.....	181
Tabell 8-5: Sammenligning av de ulike programmene ut i fra ulike hensyn fra god til ikke god. God (grønt), Middels (gult), Ikke god (rødt). I tillegg ble en klassifisering kalt ikke eksisterende.	185

Formeloversikt

Formel 2-1: Vannbalansen	19
Formel 2-2: Vannbalansen omskrevet.....	19
Formel 2-3: Den rasjonelle formel	33
Formel 2-4: Den rasjonelle formelen omskrevet.....	34
Formel 4-1: Bevaring av masse.....	82
Formel 4-2: Integrering av bevegelsesmengde i x-retning.....	82
Formel 4-3: Integrering av bevegelsesmengde i y-retning.....	82
Formel 4-4: Beregning av «Couranttallet».....	86
Formel 4-5: Beregning av Eddy viskositet.....	90
Formel 4-6: Motstanden gitt ved Chezys tall	90
Formel 4-7: Omgjøring av Mannings tall til Chezys tall	90
Formel 4-8: Bevaring av masse i Saint Venants ligninger	93
Formel 4-9: Bevaring av bevegelsesmengde i Saint Venants ligninger.....	93

1 Innledning

De siste hundre årene har klimaet forandret seg. Jordkloden har blitt varmere som følge av utslipp av klimagasser. I Norge har klimaendringene ført til høyere temperatur og mer nedbør, samtidig som nedbørshendelsene som inntreffer er mer intense. Ledningsnettene som skal fange opp denne nedbøren har i mange tilfeller for små dimensjoner og begrenset kapasitet. I tillegg til at det har skjedd klimaendringer, har det også foregått en fortetting av befolkningen. Det har blitt vanligere å bo i byer, og andelen tette flater har dermed økt. Endringene i klimaet og overflatedekket har ført til at store mengder vann renner av på overflaten. Dette byr stadig på problemer i norske byer og forårsaker skader i milliardklassen hvert år (NOU 2015:16 2015). På grunn av dette har det blitt økt fokus på håndtering av overvann. For å håndtere overvann på en best mulig måte er det viktig å ha metoder for å simulere hvor overvannet vil renne og samles opp. I senere tid har det blitt utviklet flere forskjellige programmer som har til hensikt å beregne hvor overvannsstrømmene vil gå på terrengoverflaten. Det er derfor svært relevant å utvikle metoder som kan beregne hvor vannet vil gjøre skade, og dermed kan det gjøres tiltak slik at skadene kan bli redusert.

I denne oppgaven har det blitt benyttet tre dataprogrammer. Disse er ArcGIS (GIS-analyse), MIKE21 Flow Model (2D-analyse) og MIKE FLOOD (2D+1D-analyse). ArcGIS og MIKE21 har blitt benyttet for å beregne hvor vannstrømmene går på overflaten og til å finne forsenkninger/oversvømmelsesarealer. MIKE FLOOD har i tillegg integrert ledningsnettene i modellen. I denne oppgaven har det derfor blitt utviklet ulike metodikker for å kunne kartlegge noen av utfordringene knyttet til overvann i et urbant byområde forårsaket av ekstreme nedbørshendelser.

De ulike metodikkene har blitt sammenlignet opp mot hverandre for å finne styrker og svakheter med de forskjellige programmene og de prinsipielt forskjellige metodene. Det har tidligere blitt gjort to masteroppgaver med bruk av ArcGIS i det samme analyseområdet. Disse analysene har blitt sammenlignet med ArcGIS analysene som har blitt utført i denne masteroppgaven.

1.1 Forutsetninger

I dette masterarbeidet har det blitt gjort flere forenklinger. Det er blant annet gjort en antagelse om at det ikke skjer infiltrasjon. Dette er gjort fordi det ikke fantes tilgjengelig data

om infiltrasjon og om områdets grunnforhold. Dette kan stemme ved situasjoner hvor markoverflaten er frosset eller ved intense nedbørshendelser hvor infiltrasjonskapasiteten raskt blir oversteget og marken mettet.

ArcGIS benytter en D8-algoritme. Denne antar at vannet kun kan ta en vei ut fra en celle. I virkeligheten vil det være slik at vann kan strømme flere retninger.

Ved produksjon av regndata har det blitt antatt at IVF-kurven fra Asker er representativ også i Drammen da avstanden kun er omtrent 20 km. Det har blitt antatt et klimatillegg på 20 % som er lagt til regnet. Det er også gjort noen antagelser ved omgjøring av IVF-kurven til et regnhyetogram.

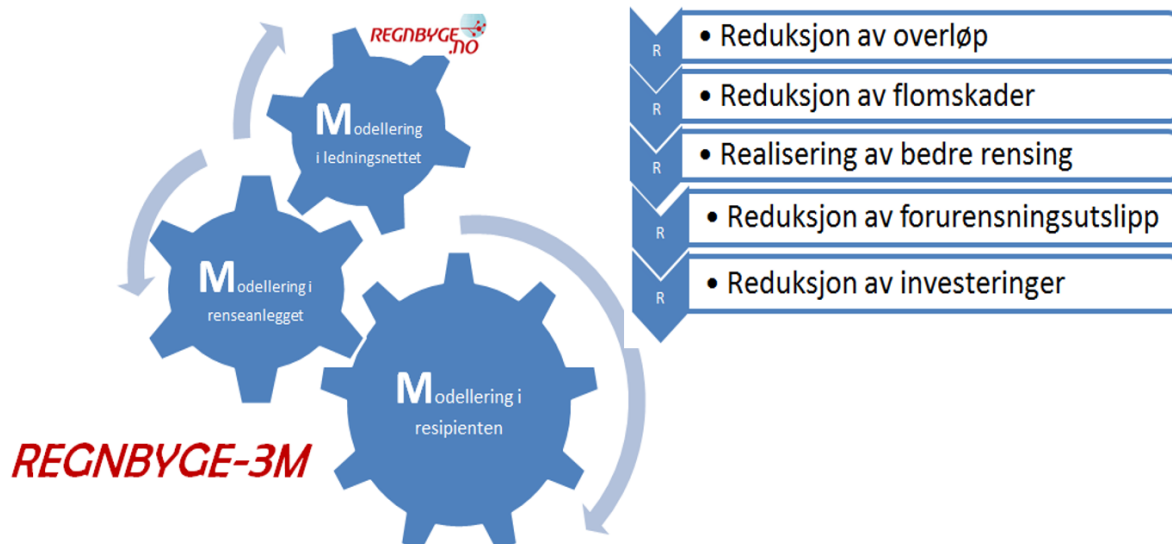
Ved simulering med MIKE21 har ledningsnettet blitt tatt hensyn til ved å gjøre et fratrekk i regndatasettet. Det ble antatt at ledningsnettet tar unna vannmengder tilsvarende et regn med returperiode på 10 år med 60 minutters varighet. Dette regnet har dermed blitt trukket fra før simuleringen.

Ved simuleringen med MIKE FLOOD har antagelsene vært at hver kum virker som et sluk. Hver kum er tilknyttet en rastercelle på 4x4 m for å få vann tilført og sluppet ut av ledningsnettet.

Ingen av programmene tar hensyn til vannivået i Drammenselva. Det antas at nivået er konstant ved nedbørshendelsene.

1.2 Regnbyge 3-M

Denne masteroppgaven er en del av et større forskningsprosjekt som heter «Regnbyge 3M». Målet for prosjektet er: «*Helhetlig optimalisering av ledningsnett og renseanlegg med overvåkning, modellering og styring for økonomiske og miljømessige besparelser*» (Regnbyge 3M 2015). Figur 1-1 viser hovedmålene til forskningsprosjektet. I denne masteroppgaven skal dataprogrammer benyttes til å modellere urbane pluviale flommer. På denne måten kan det etter hvert lages gode modeller som kan føre til reduksjon i overløp og flomskader.



Figur 1-1: Forklaring av hovedmålene for regnbygge-3M (Regnbygge 3M 2015)

Forskningsprosjektet er et samarbeid mellom mange partnere: Drammen kommune, Trondheim kommune, Oslo kommune – VAV, NMBU, HBV, HiØ, NTNU, NIVA, Meteorologisk institutt, Sintef, Rosim, DOSCON, WRC, og NIVUS.

1.3 Avgrensning av analyseområdet

Analyseområdene er i Solumstrand rensedistrikt og ligger sør for Drammenselva i Drammen kommune. Avgrensningen av området har blitt endret underveis i oppgaven på grunn av simuleringstiden til de ulike programmene. Generelt består analyseområdene av et byområde med leiligheter, boligfelt, idrettsanlegg, næringsbygg, veier, parkerings-plasser og skogsområder. Langs avgrensingsområdet i sør-vest er det en åskam med fall ned mot Drammenselva i nord.

I ArcGIS omfatter analyseområdet Gulskogen, Strømsgodset, Strømsø, Tangen, Fjell, Åskollen og Eikhaugen, og er på totalt 27 km² (vist i Figur 1-2). Dette er det største avgrensingsområdet benyttet i denne oppgaven og kunne velges fordi ArcGIS var minst datakrevende av modellene. Avgrensingsområdet ble bestemt etter å ha sett hvor vannskillene går.



Figur 1-2: Analyseområdet i ArcGIS (skjermdump)

Når programmet MIKE21 Flow Model ble benyttet var analyseområdet for stort for simuleringen. Simuleringstiden ble for lang slik at analyseområdet måtte reduseres. Det reduserte analyseområdet var da på ca. 10,8 km² og omfattet Gulskogen, Strømsgodset og Strømsø. Området ble avgrenset etter delnedbørsfeltene som ble funnet ved hjelp av verktøyet «Basin» i ArcGIS. Avgrensningen av det reduserte analyseområdet kan ses i Figur 1-3.

Ved simulering med MIKE FLOOD ble den samme avgrensningen som MIKE21 benyttet. MIKE FLOOD-modellen var svært datakrevende og benyttet lang tid når ledningsnettets ble lagt til. Dermed kunne et mindre avgrensingsområdet ha blitt vurdert.



Figur 1-3: Avgrensingsområdet i MIKE21 Flow Model og MIKE FLOOD (skjermdump)

1.4 Problemstilling

Masterarbeidet tar sikte på å teste ulike programmer for overvannsberegning.

Problemstillingen blir da:

«Hvordan kan ArcGIS, MIKE21 Flow Model og MIKE FLOOD benyttes til modellering av overvann i et urbant byområde?».

1.5 Mål med arbeidet

Ut i fra problemstillingen ble det definert ulike delmål:

- Hvilke likheter/ulikheter finnes mellom de ulike mastergradsarbeidene og bachelorarbeidet gjort med bruk av ArcGIS i Drammen?
- Hvilke fordeler og svakheter har metodikken som benytter ArcGIS for å beregne urbane pluviale oversvømmelser?
- Hvilke fordeler og svakheter har MIKE21 som metodikk for å beregne urbane pluviale oversvømmelser?

- Hvilke fordeler og svakheter har MIKE FLOOD som metodikk for å beregne urbane pluviale oversvømmelser?
- Hvilke bruksområder er metodene best egnet for?
- Hvilke muligheter finnes i metodene?

Målet med selve oppgaven er å prøve ut, samt utarbeide ulike metodikker for modellering av overvann i et urbant byområde. Dette gjøres ved hjelp av programmene ArcGIS, MIKE21 Flow Model og MIKE FLOOD. Hensikten er å finne ut hvordan disse programmene kan benyttes til modellering av pluviale flommer (det vil si flommer forårsaket av nedbør), samt hvilke av disse som er best egnet. Fremgangsmetodikken til de tre programmene skal forklares, samt styrker og svakheter vil bli belyst.

2 Klima og overvann

I denne oppgaven skal forskjellige utfordringer knyttet til urbane pluviale flommer forklares. Utfordringen er i hovedsak knyttet til klimaet som bidrar til overvannsmengdene og endringen av overflatedekke i urbane områder. Det er viktig å forstå teorien bak disse temaene for å få en forståelse for bakgrunnen til oppgavens problemstilling. I dag er de klimatiske forholdene i endring. Dette gjelder på det lokale plan i Norge og globalt i resten av verden.

Klimaendringene skal utredes nærmere i de følgende avsnittene, samt konsekvenser dette har på det urbane byområdet.

2.1 Klima

Klima defineres som «*typisk værmønster på et sted, som for eksempel middel-, maksimums- og minimumsverdier og hyppighet*» (Dannevig & Harstveit 2015). I følge FNs klimapanel sin rapport fra 2013 er klima definert som gjennomsnittsværet, eller sagt på en annen måte, en beskrivelse av været over en tidsperiode med bakgrunn i statistiske data (Stocker et al. 2014).

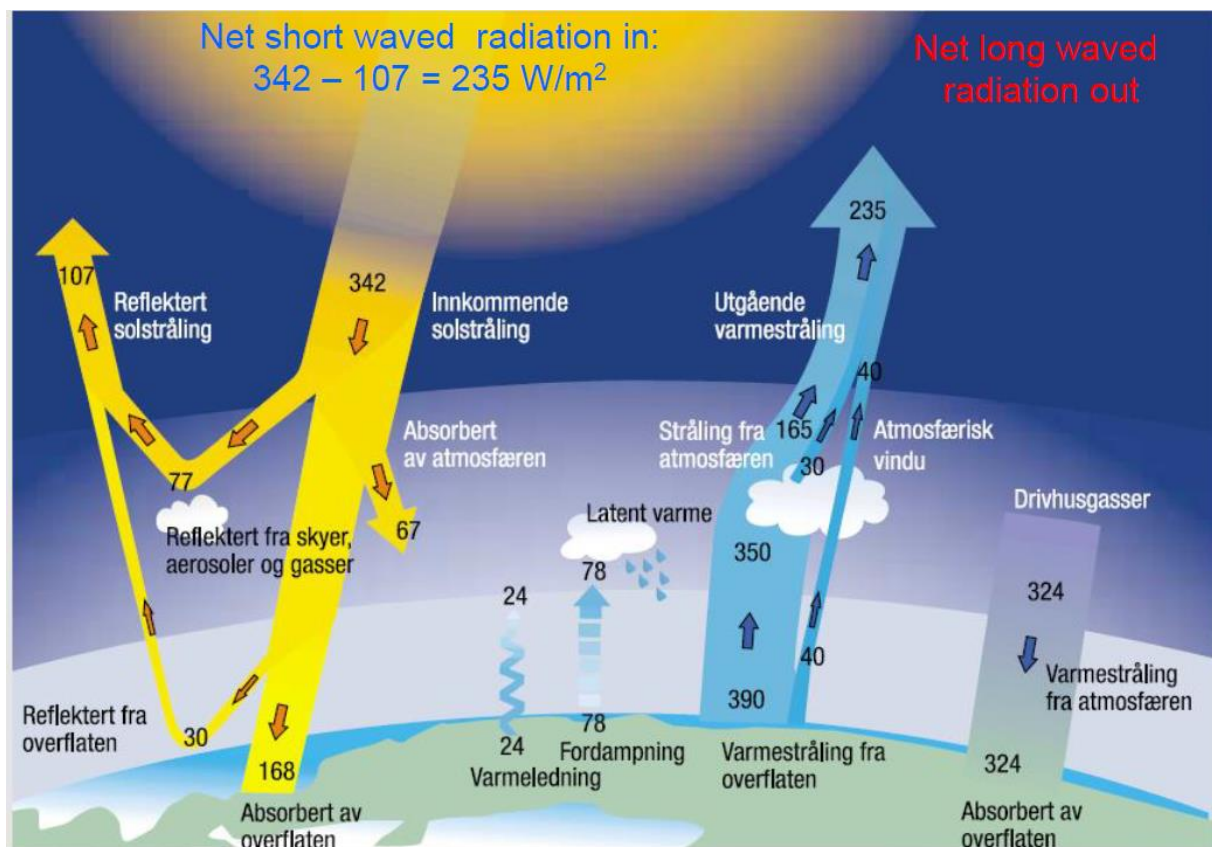
Innenfor klimatologi er det vanlig å snakke om såkalte «normalperioder». En normalperiode er en tidsperiode på 30 år. Klimaet for en normalperioden er da gjennomsnittsverdiene til ulike parametere i perioden. Disse verdiene defineres som normaler (Hanssen-Bauer et al. 2009).

2.1.1 Klimaendringer – en introduksjon

Klimasystemets drivkraft er solen fordi den tilfører jorden energi. Solen er derfor utslagsgivende for endringer som blir observert i klimaet. Solen sender kortbølget stråling inn i atmosfæren (342 W/m^2). Omtrent 31 % av dette blir reflektert tilbake til verdensrommet fra skyer, aerosoler, gasser og fra jordoverflaten (107 W/m^2). Det er dette som kalles for den «globale albedo» (RegClim 2000). Albedo er altså et generelt mål på refleksjonsgrad. De resterende 69 % av solinnstrålingen blir absorbert i atmosfæren eller på jordoverflaten (235 W/m^2). Dette vises i Figur 2-1.

Energien fra den kortbølgete strålingen fra solen blir kompensert med at jorden sender langbølget utstråling tilbake (235 W/m^2). Jordens totale energibudsjett er alltid i likevekt. Dette vil si at energien fra den langbølgete utstrålingen fra jorden er lik den den kortbølgete

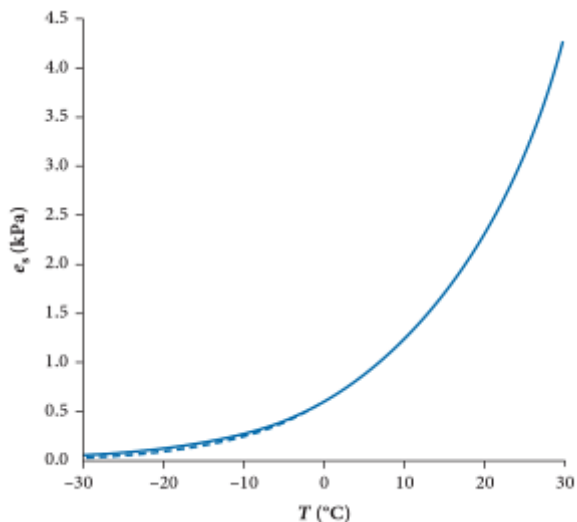
innstrålingen fra solen. Likevel vil drivhuseffekten bidra til at temperaturen på jordoverflaten og i atmosfæren er høyere enn om varmemstrålingen gikk uhindret ut i atmosfæren. Dette skyldes drivhusgassene som vanndamp (H₂O), metangass (CH₄), ozon (O₃), lystgass (N₂O) og karbondioksid (CO₂) (Stocker et al. 2014). Den naturlige drivhuseffekten fører nemlig til at atmosfæren absorberer en del av varmemstrålingen fra jordoverflaten. Dette fører til at jordoverflaten mottar en del mer energi enn klimasystemet totalt. Totalt mottar jordoverflaten 492 W/m², som er dobbelt så mye som hele klimasystemet mottar fra solen (235 W/m²) (RegClim 2000). Figur 2-1 viser innstrålingen fra solen og utstrålingen fra jorden. Som vist i Figur 2-1 blir noe av den langbølgete strålingen tilbakeført til jorden på grunn av drivhusgasser.



Figur 2-1: Strålingsforhold på jorden. Innstråling fra solen, og utstråling fra jorden (Kitterød 2015)

Helt siden den industrielle revolusjonen startet har konsentrasjonen av drivhusgasser økt i atmosfæren på grunn av den menneskeskapt drivhuseffekten. Dette skyldes at mennesker benytter store mengder fossilt brennstoff som energikilde. Disse forbrenningsprosessene fører til utslipp av drivhusgasser til atmosfæren. Det er det som kalles for antropogene klimaforandringer, som betyr menneskeskapt klimaendringer (RegClim 2000). Konsekvensen av dette er at temperaturen øker.

Hvis temperaturen øker vil dette føre til at innholdet av vanndamp i luften stiger, som vist i Figur 2-2. Dette kommer av at det mettede vanndampstrykket øker slik at luften kan holde på mer vanndamp. Som tidligere nevnt er vanndamp en klimagass. Det vil si at når temperaturen øker vil også andelen vanndamp i atmosfæren øke, som igjen øker temperaturen ytterligere.



Figur 2-2: Forholdet mellom mettet vanndampstrykk og temperatur (Hendriks 2010)

Enda et eksempel på at temperaturøkning fører til enda større økning av temperatur er områder dekket med is. Når temperaturen øker vil isdekket smelte og dermed blir det mindre arealer som er dekket av is. Dette påvirker reflekteringsgraden slik at jorden vil ta imot enda mer innstråling. Det som skjer er at albedoen minker. På en annen side finnes det effekter som tilsier at jorden kan kompensere mot høyere temperatur. Høyere temperatur på jordoverflaten fører nemlig til en større andel langbølget utstråling fra jorden unnslipper til verdensrommet (Stocker et al. 2014).

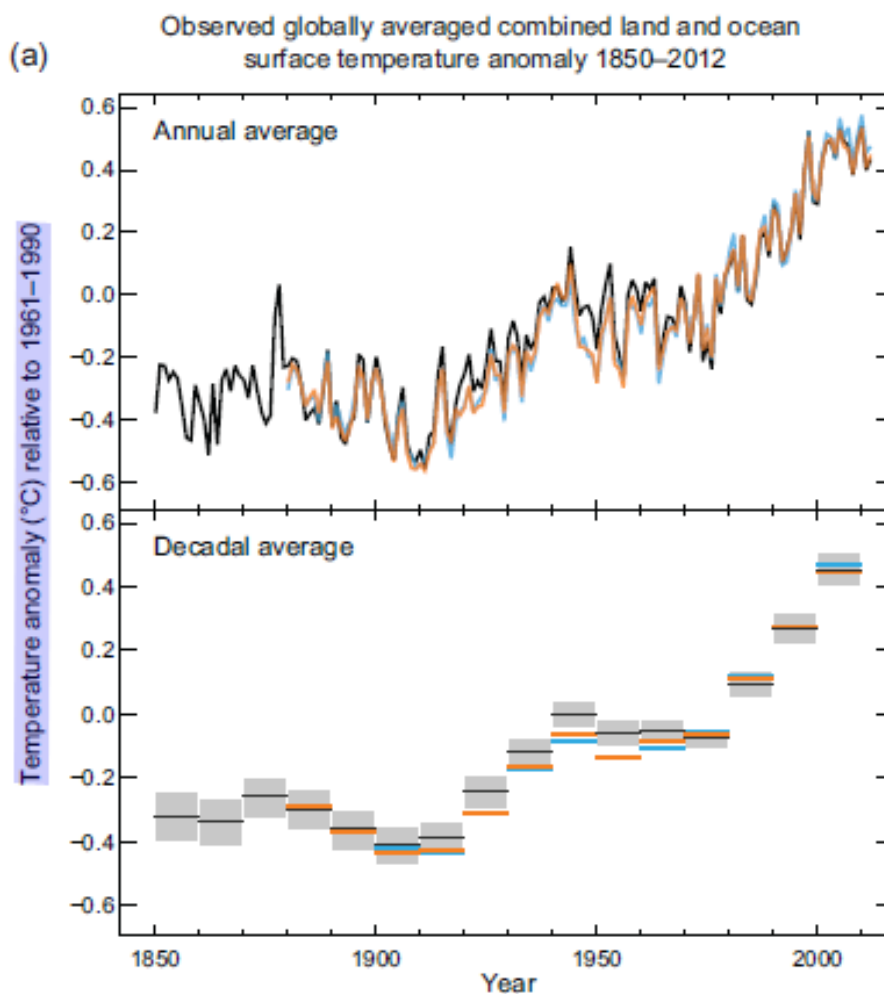
I tillegg til utslipp av klimagasser kan også endringen av arealbruken føre til oppvarming. For eksempel vil nedhogging av skogsarealer føre til konsekvenser. Mindre skogsareal vil redusere karbonlageret som er i skogen og tilføre karbondioksid til atmosfæren. Dette vil også endre overflatealbedoen, fordampningsraten og den kortbølgede utstrålingen (Stocker et al. 2014). Albedo for skog er mindre enn for dyrket mark (Hendriks 2010).

2.1.2 Klimaendringer ifølge IPCC

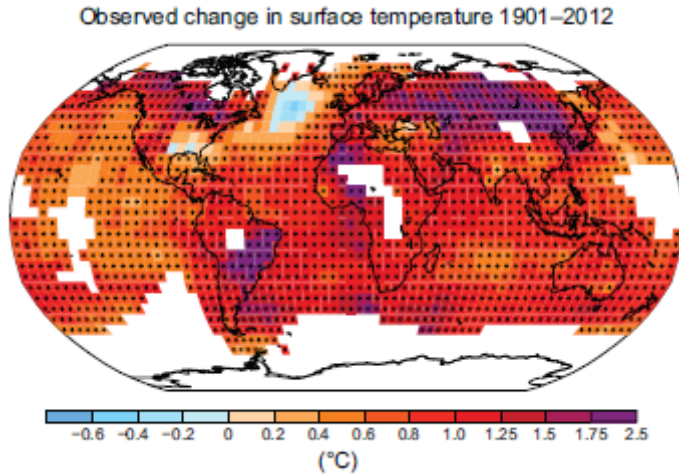
FN har et eget klimapanel som heter IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Changes) som har satt sammen fem vitenskapelige rapporter knyttet til klimaendringer (IPCC 2013;

Kirby 2009). Rapporten beskriver endringer som har skjedd, og endringer som kommer til å skje med en viss sannsynlighet.

I følge IPCC rapport nummer fem som heter «*CLIMATE CHANGE 2013 – The Physical Science Basis*» (Stocker et al. 2014) har det skjedd en oppvarming av jorden. Atmosfæren og havet har blitt varmere. Dette har resultert i at is- og snømengde har blitt mindre og at havnivået har økt. De har også bevist at konsentrasjoner av drivhusgasser har økt. En indikasjon er at de tre siste tiårene har vært de varmeste tiårene som har blitt målt siden 1850. Det vil si at de i tur og orden har overgått foregående tiår i temperatur. I tillegg er trettiårs perioden mellom 1983-2012 den varmeste perioden de siste 1400 årene (Stocker et al. 2014). Figur 2-3 viser den observerte gjennomsnittlige temperaturendringen kombinert for hav- og landoverflater. Her vises det at temperaturen har økt. I Figur 2-4 vises temperaturøkningen for store deler av landoverflatene. Her kan det observeres at temperaturen har økt på kloden, bortsett fra noen enkelte områder.



Figur 2-3: Temperaturforandring kombinert for land og havoverflate i perioden 1850-2012 (Stocker et al. 2014)



Figur 2-4: Observert endring i overflatetemperatur i tidsperioden 1901-2012 (Stocker et al. 2014)

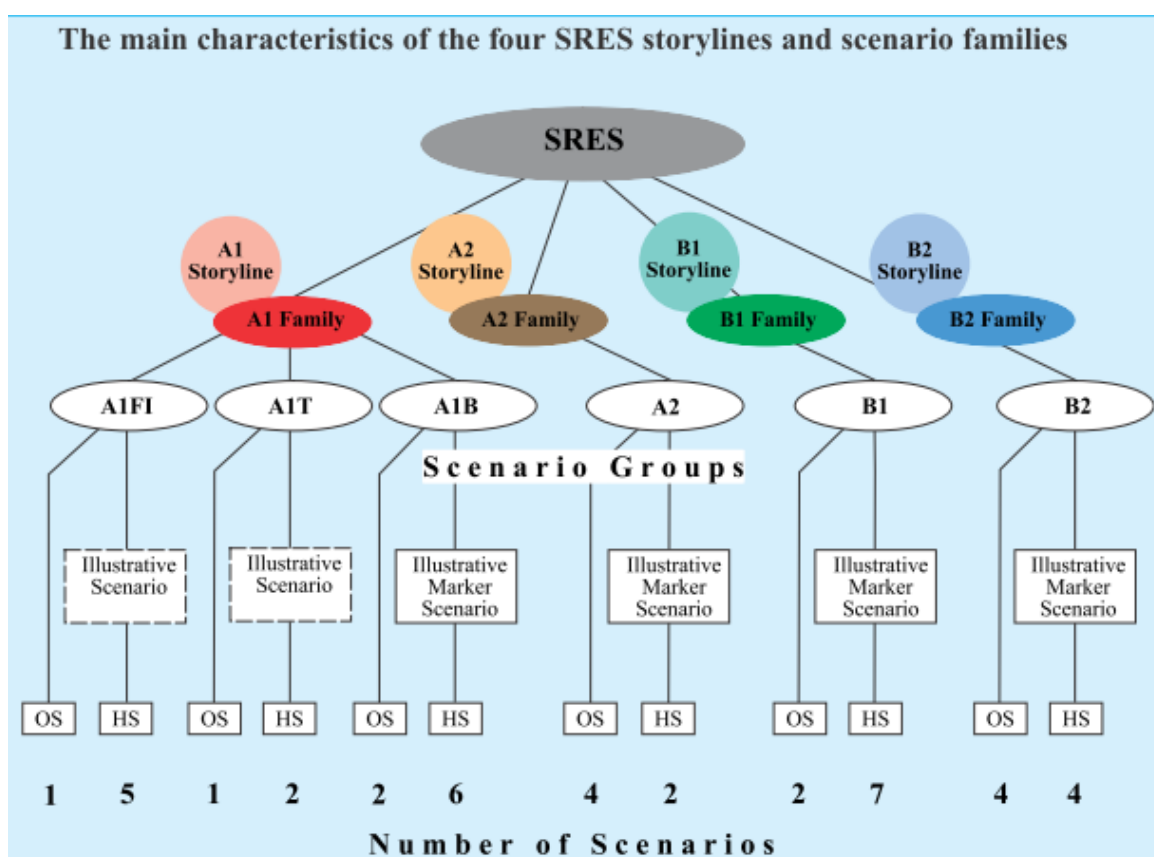
Rapporten beskriver også at det har skjedd en reduksjon av ismassene på Grønland og Antarktis. Det er også bevist at de fleste isbreer på jorden blir mindre. Når isen smelter fører dette til at det globale havnivået øker. Havnivået har økt med 0,19 meter fra 1901 til 2010. 75 % av denne økningen er på grunn av smelting av is, mens de resterende 25 % er på grunn av termisk utvidelse av vannet (Stocker et al. 2014). Den termiske utvidelsen skjer fordi vannet har høyest tetthet ved 4 °C (Kell 1975).

Det har tidligere blitt nevnt at det har blitt høyere konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren. Ifølge IPCC (Stocker et al. 2014) har det ikke vært mer karbondioksid, metan og lystgass i atmosfæren på 800 000 år. Dette har blitt funnet ved utboringer av iskjerner. Siden den industrielle revolusjonen begynte har mengden karbondioksid økt med 40 % i atmosfæren, mens metan har økt med 150 % (Stocker et al. 2014). Hvis utslippene av drivhusgasser fortsetter i samme tempo som til nå vil det resultere i ytterligere forhøyede temperaturer på jordkloden.

Klimaet endres ikke bare av mennesker. Det skjer også en endring av klima på grunn av prosesser som skjer i naturen. Det har til alle tider vært endringer i de klimatiske forholdene på jorden og istidene er et eksempel på dette. Disse klimaendringene har vært følger av at jordens posisjon i forhold til solen i sommer- og vintersesong varierer, samt at jordens bane rundt solen varierer og endringer i vinkelen mellom jordaksen og solen. Dette er det som betegnes som naturlige klimaendringer (Johannessen 2009). Naturlige klimaendringer, som varer kortere enn 100 år, har ofte regional og ikke global effekt. Eksempler på dette er varmeperiodene som var i steinalderen. Disse varmeperiodene påvirket i størst grad polområdene og mindre grad de tropiske områdene (Johannessen 2009).

2.1.3 Special Report on Emissions Scenarios (SRES)

IPCC har kommet med en rapport som heter «Special Report on Emissions Scenarios (SRES)». Dette er en måte å lage et bilde av fremtiden med flere forskjellige alternative utviklinger. Rapporten tar utgangspunkt i hvor mye utslipp det vil være i fremtiden. De ulike scenariene skilles i forhold til hvordan økonomien og teknologien går fram, samt hva som skjer med familiemønstre rundt om i verden. Utfra disse faktorene deles scenariene inn i familier og grupper som vist i Figur 2-5. De ulike scenariofamiliene er A1, A2, B1 og B2. A1-familien er i tillegg delt inn i tre grupper.



Figur 2-5: Hovedkarakteristikkene til de fire SRES scenario familiene (Nakicenovic & Swart 2000)

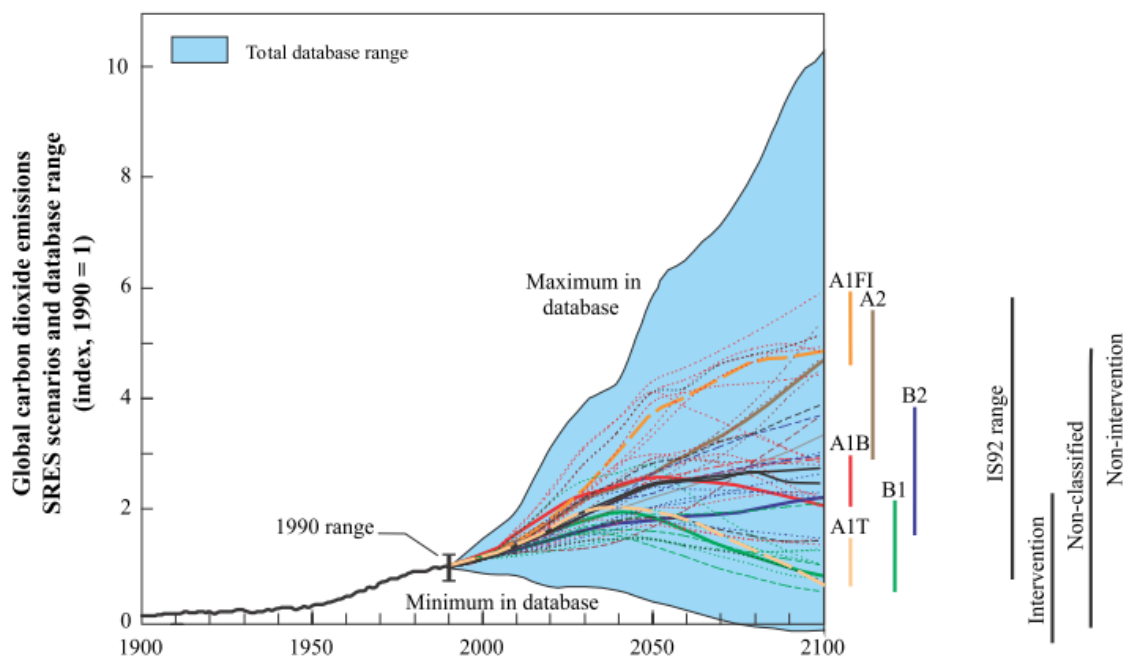
I det følgende skal de ulike scenariene beskrives kort:

- Scenariofamilie A1
 - o A1 predikerer og beskriver en framtid hvor det er rask økonomisk vekst i verden. Det tas også utgangspunkt i at verdensbefolkningen når en topp i 2050 og at mer effektive teknologier blir implementert. Det blir også mindre forskjeller i regionene i forhold til inntekt per person. A1-familien deles videre

inn i tre grupper. A1F1 er gruppen hvor det antas at fossile brennstoff er den primære energikilden. A1T bruker ikke fossilt brennstoff, men alternative energikilder. A1B har en balanse mellom fossile brennstoff og ikke-fossile brennstoff (Nakicenovic & Swart 2000)

- Scenariofamilie A2
 - A2 tar utgangspunkt i en heterogen verden. Dette kommer til uttrykk ved at fertilitetsmønsteret blir likere over jorden i et relativt sakte tempo. Dette fører til at verdensbefolkningen ikke når toppen innen 2100, men øker til stadighet. I tillegg vil det være mindre økonomisk vekst og lavere teknologiutvikling (Nakicenovic & Swart 2000)
- Scenariofamilie B1
 - B1 har et likt befolkningsutgangspunkt som A1. Her er det raske endringer i økonomiske strukturer, i tillegg blir det innført renere og mindre ressurskrevende teknologier (Nakicenovic & Swart 2000)
- Scenariofamilie B2
 - B2 har et fokus på lokale løsninger som tar utgangspunkt i bærekraft. Det skal være bærekraft i økonomi og løsninger inn mot miljøet. Verdensbefolkningen vokser hele tiden, men i et langsommere tempo enn A2 (Nakicenovic & Swart 2000)

Ved hjelp av disse familiene og gruppene er det laget 40 ulike scenarier for fremtiden. Scenariene tar utgangspunkt i forskjellige utslipp av karbondioksid. Figur 2-6 viser hva slags endringer i utslipp som kan forventes i de ulike gruppene og familiene. Ved hjelp av denne grafiske fremstillingen blir det synliggjort hva slags effekt de ulike scenariene vil gi i utslippsmengde av CO₂.



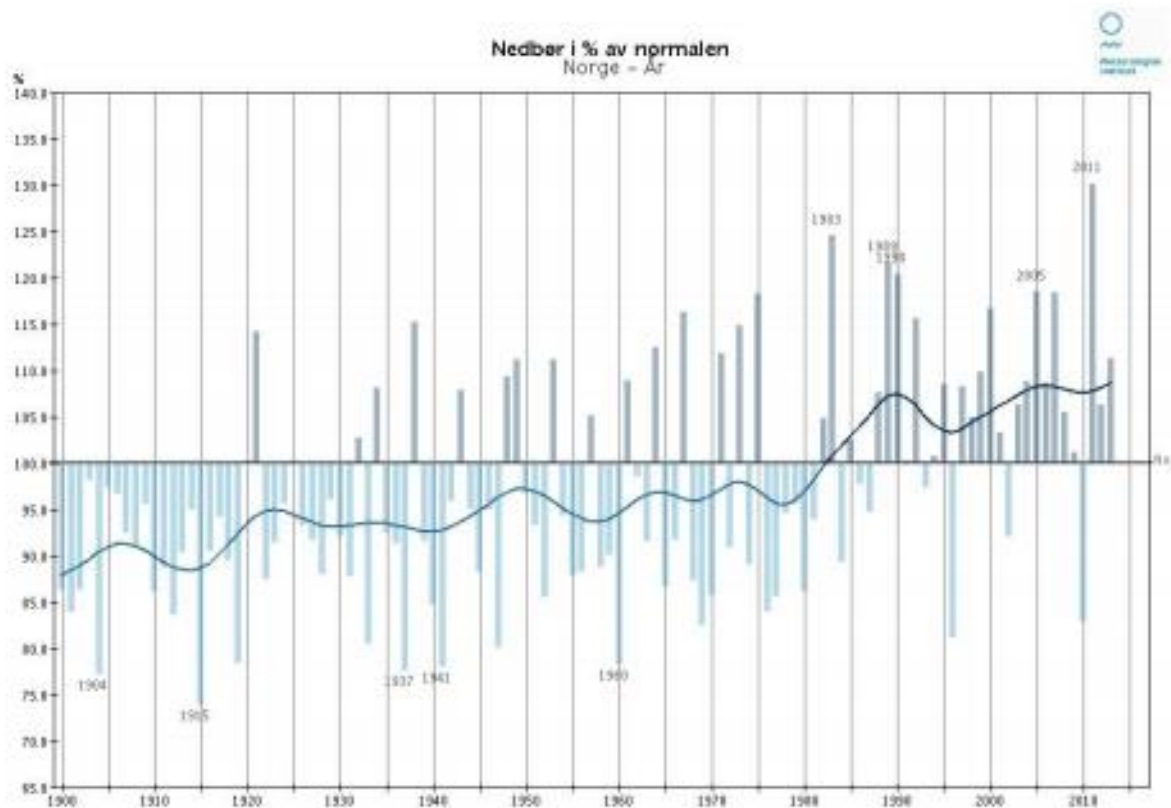
Figur 2-6: Grafisk fremstilling av forskjellige scenarier og utslippene knyttet til de (Nakicenovic & Swart 2000)

2.1.4 Klima i Norge

Norges klima er preget av Golfstrømmen. På grunn av denne havstrømmen, som transporterer varm luft fra sydligere strøk, er middeltemperaturen 5-7 °C over det som er vanlig på Norges breddegrader (Alfsen 2001). Middeltemperaturen i Norge er 1 °C, men på kysten av Vestlandet er den 6 °C og på høyfjellet er den lavere enn -4 °C (Hanssen-Bauer et al. 2009). Det vil si at klimaet er relativt variert i Norge. Norge preges av mye nedbør på grunn av at varme havstrømmer kommer inn mot kysten. Havstrømmene har med varm luft som har høyere innhold av fuktighet som tidligere beskrevet. Når denne luften blåser innover kysten blir den presset opp av fjellene på Vestlandet. Når luftmassene blir presset opp av topografien, blir luftmassen avkjølt og nedbør felles ut. Det er i disse områdene i Norge det er mest nedbør, et lite stykke inn fra kysten. Nedbør som dannes av topografien kalles for orografisk nedbør (Mamen 2008). Den gjennomsnittlige nedbøren for et år i Norge er beregnet til 1486 mm og av dette går 346 mm til fordampning, mens 1140 mm går til avrenning (Hanssen-Bauer et al. 2009). Det høyeste årsnedbøret som har vært målt i Norge er i Brekke i Sogn, på 5595,9 mm og dette ble målt i 1990 (Mamen 2008). Dette området har til vanlig en årsnormal på 3575 mm nedbør. Innlands-Norge har minst nedbør og området med minst nedbør er Skjåk i Gudbrandsdalen. Her er årsnormalen på 278 mm nedbør (Andersen & Pedersen 2013). Dette viser at det er store variasjoner, også i nedbør, i Norge.

2.1.5 Klimaendringer i Norge – hittil

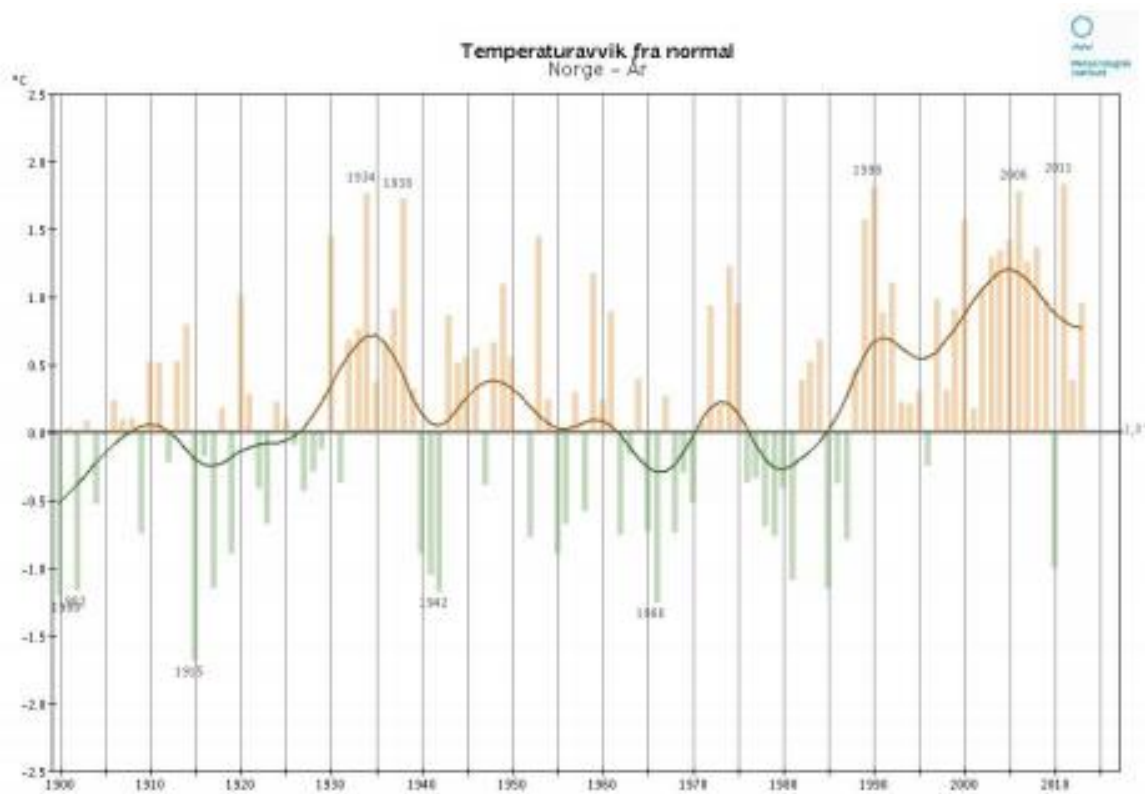
For å få et innblikk i hvordan klimaet vil endres i framtiden kan det observeres hva som har skjedd med klimaet i Norge fram til nå. Figur 2-7 viser hvordan nedbør har variert de siste 113 årene og viser at nedbøren har økt i forhold til normalen. Nedbøren er målt over et helt år, og ut i fra Figur 2-7 kan det observeres at det har blitt våtere siden omtrent 1980-tallet.



Figur 2-7: Nedbøren for Norge fra 1900-2013, nedbøren vises i prosent avvik av normalen (normalen er fra 1961-1990) (Meteorologisk institutt 2014)

Årsnedbøren har økt med nesten 20 % siden 1900. Den minste økningen er på sommeren, og den største økningen er på vinteren. Vestlandet, som allerede har mye nedbør, er det området hvor nedbøren har økt mest. Tidsperioden det snør i Norge har blitt kortere de fleste steder (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Temperaturen er også i endring i Norge. Figur 2-8 viser hvordan temperaturen har steget siden 1980-tallet. Det vises også at temperaturen var høy rundt 1935.



Figur 2-8: Temperaturavvik fra normalen i Norge (normalen er 1961-1990) (Meteorologisk institutt 2014)

Middeltemperaturen for året har økt med ca. 0,8 °C det siste århundret. I Norge har det vært tidsperioder med varierende temperatur, men siden 1965 har gjennomsnittstemperaturen per tiår økt med ca. 0,4 °C (Hanssen-Bauer et al. 2009).

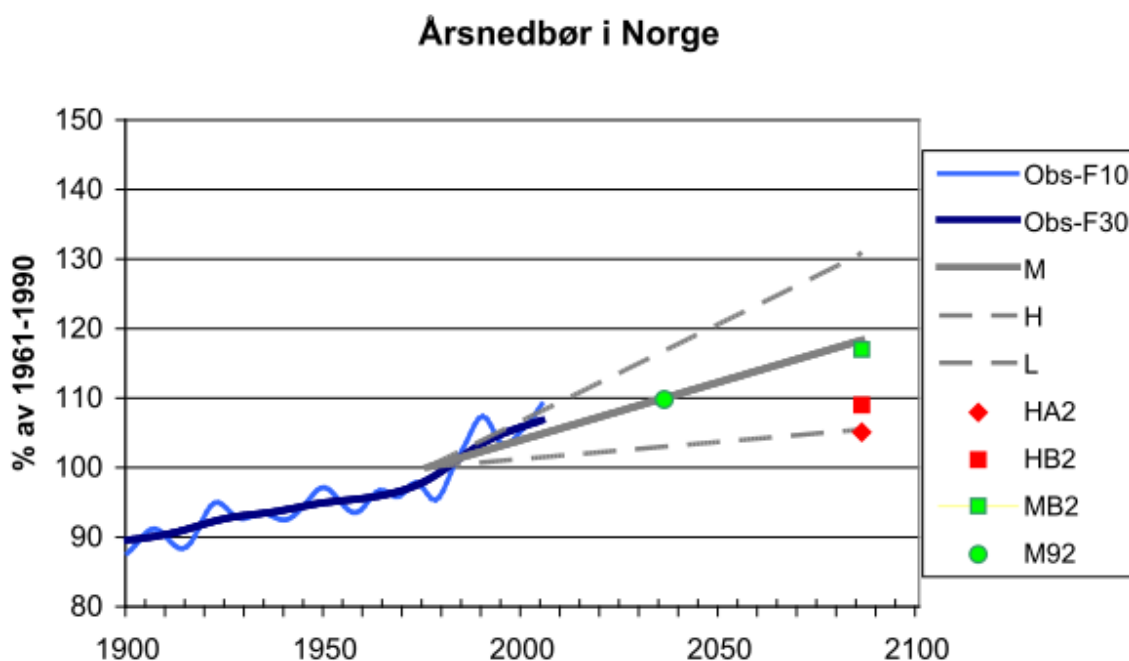
2.1.6 Klimaendringer i Norge – i framtiden

De globale klimaendringene, som har blitt gjennomgått tidligere i oppgaven, vil også påvirke Norge. Tabell 2-1 viser de forventede endringene i Norge om femti år for forskjellige regioner. Drammen, som er forsøksområdet for denne masteroppgaven, representeres i regionen Østlandet. Av prognosen kan det observeres at temperaturen øker for hele året. Nedbørsmengden vil stige for hele året bortsett fra på våren. Det er knyttet stor usikkerhet til disse framskrivningene da det har blitt gjort mange forenklinger i klimamodellen.

Tabell 2-1: Regionale trekk i forhold til klimaendringer i Norge om femti år (Alfsen 2001)

		Temperaturøkning (°C)	Nedbørsøkning (mm/døgn)	Nedbørsøkning (prosent)
Nord-Norge	hele året	1,6	0,3	7,8
	vår	1,4	0,2	5,0
	sommer	1,2	0,1	1,5
	høst	1,7	0,8	18,2
	vinter	2,0	0,2	5,2
Vestlandet	hele året	1,0	0,8	13,5
	vår	0,9	0,1	1,2
	sommer	0,7	1,0	18,2
	høst	1,1	1,5	23,5
	vinter	1,2	0,6	9,3
Østlandet	hele året	1,1	0,2	4,3
	vår	1,0	-0,1	-4,1
	sommer	0,6	0,1	1,7
	høst	1,3	0,3	6,9
	vinter	1,3	0,4	13,1

Årsmiddeltemperaturen fram mot 2100 blir anslått til å øke med 2,3 – 4,6 °C. Det blir framskrevet mer nedbør i hele landet, samt flere dager med intens nedbør ifølge prognosene. Regnflommenes størrelse vil øke fram mot 2100 (Hanssen-Bauer et al. 2009). I Figur 2-9 vises prognosen for Norges årsnedbør fram mot 2100. Det er da tatt utgangspunkt i tre forskjellige nedbørsframskrivninger, L = «lav», M = «middels» og H = «høy». Alle framskrivningene gir en viss prosentvis økning i forhold til normalen 1961-1990.



Figur 2-9: Endring i årsnedbør framstilt som prosent av normalnedbør fra 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al. 2009)

Økningen vil i størst grad skje på Vestlandet, og er størst i høstsesongen. Det forventes at det i vårsesongen vil forekomme mindre nedbør på Østlandet.

RegClim er et koordinert forskningssamarbeid hvor det blir laget ulike klimautviklingsscenarier (RegClim 2016). I følge RegClim sine resultater vil klimaet i Norge i 2100 gå mot et klima som er «*varmere, våtere – noen ganger tørrere*» og «*ikke så mye mer vind*» (RegClim 2005). Det er forskjeller innad i Norge, som tidligere beskrevet. I 2100 er prognosen at gjennomsnittstemperaturen vil øke med 2,5 °C og 3,5 °C i forhold til dagens temperatur. Områdene der temperaturøkningen vil være høyest er i innlandet og i Nord-Norge. Vinteren vil bli mildere ut i fra prognosene med en økning på 2,5 °C – 4 °C over dagens nivå for minimumsverdi. For området som skal bli undersøkt i denne masteroppgaven, Drammen (Sørøst-Norge), vil dager med temperaturer over 20 °C forekomme hyppigere. Fram mot 2100 vil nedbørsmengden øke med 5 - 20 % avhengig av hvilket område i Norge det er snakk om. Nedbøren på Østlandet kan forventes å øke med 15 - 20 % på høsten og om vinteren. I tillegg vil sommersesongen bli tørrere med 15 % mindre nedbør. På Østlandet vil det bli ca. 10 flere dager uten nedbør. I hele Norge vil det oppleves at ekstreme nedbørsmengder vil opptre med større hyppighet (RegClim 2005). Det er dette som er problematisk i forhold til dagens infrastruktur. Rørene som er designet for å ta unna overvannet må i framtiden ta mye mer på grunn av mer intense regnskyl. Ifølge en prognose estimeres regnintensitetene til å øke med 20 til 60 %, i forhold til dagens korttidsregn, i perioden 2071-2100 (Lindholm et al. 2008). En annen prognose beskriver at økningen i intense nedbørshendelser vil øke svakt for de neste 16 årene, før det vil bli en sterk økning fram mot 2050 (Førland et al. 2007)

2.2 Hydrologi

Hydrologi omhandler tilstedeværelsen, bevegelsene og de fysiske egenskapene til vann over og under jordoverflaten (Hendriks 2010). Senere i oppgaven skal urbanhydrologi gjennomgås, og derfor vil det være hensiktsmessig å gå gjennom noen prinsipper knyttet til generell hydrologi.

Innenfor hydrologi opereres det med vann i atmosfæren, overflatevann, snø, grunnvann og markvann. Hydrologi er studiet av vannets kretsløp slik som illustrert i Figur 2-10. Vann fra havet og terrenget fordampes til vann i gassform i atmosfæren og felles ut som nedbør. Nedbøren faller blant annet på landoverflaten, og renner av som avrenning, eller infiltrerer

ned i markvannet og grunnvannet. Nedbøren kan også falle som snø, og bli lagret opp i snømagasiner.

Vannbalansen er en helt sentral ligning for å studere hydrologien. Vannbalansen på sin enkleste form kan skrives slik som i Formel 2-1 (Hendriks 2010):

$$Inn = Ut + \frac{\Delta M}{\Delta t}$$

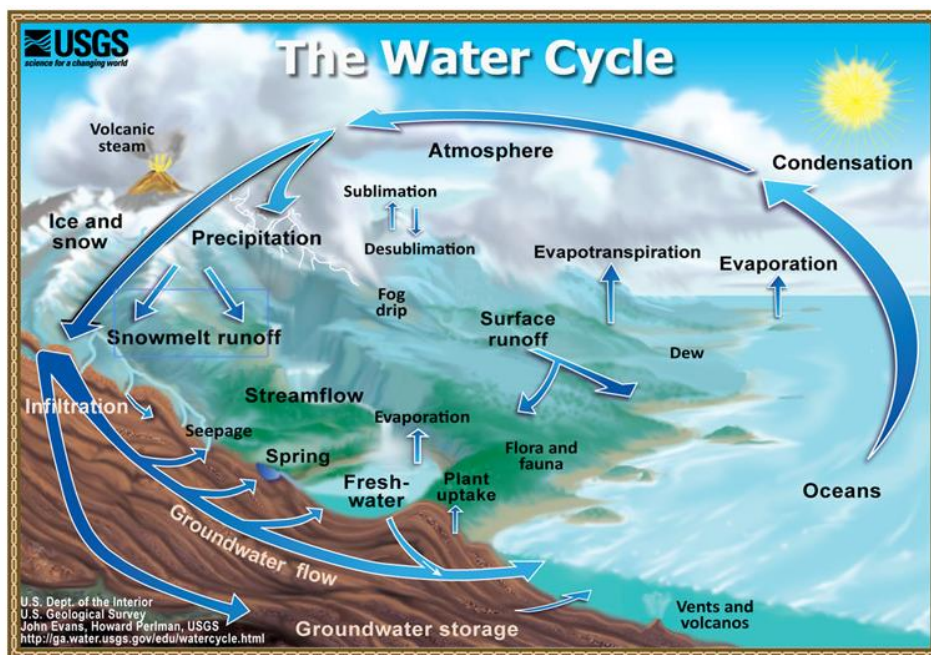
Formel 2-1: Vannbalansen

«Inn» er vannet som går inn i systemet per tidsenhet, og «Ut» er vannet som går ut av systemet per tidsenhet. Det siste leddet er endringen i lagringskapasiteten av vann per tidsenhet. Formel 2-1 kan skrives mer utfyllende ved å sette opp det som går inn og ut i systemet. Formel 2-1 kan skrives om til Formel 2-2 (Kitterød 2015) :

$$\Delta S = P - E - R + \varepsilon$$

Formel 2-2: Vannbalansen omskrevet

Hvor ΔS er endringen i magasinet (storage), P er nedbør (precipitation), E er fordampning (evapotranspiration), R er avrenning (runoff) og ε er usikkerheten knyttet til målingene.



Figur 2-10: Vannets kretsloop (USGS 2015)

2.2.1 Nedbør

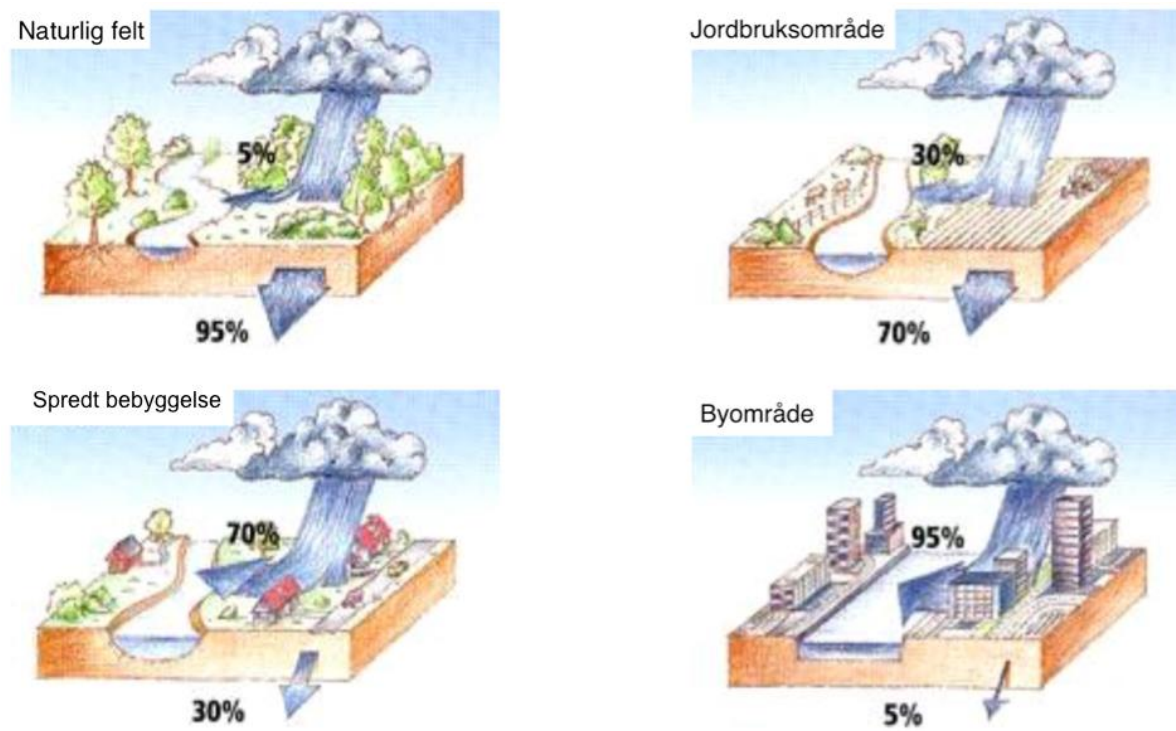
Nedbør blir dannet når vanddråper eller iskrystaller blir store nok i atmosfæren. På grunn av tyngden faller dråpene/krystallene mot bakken i form av nedbør. En viktig faktor for nedbørsdannelse er avkjøling av luft. Luften kan da holde på mindre vann, og det felles ut nedbør. Dette forholdet er vist i Figur 2-2 på side 9. I Norge er det tre typer nedbør som forekommer i størst grad. De tre typene nedbør er:

- Konvektiv nedbør
 - Konvektiv nedbør blir dannet ved at luft blir varmet opp. Varm luft har mindre tetthet enn kald luft og vil derfor stige. Når den varme luften stiger vil den bli avkjølt, og det mettede vandampstrykket vil falle. Dette fører til utfelling av nedbør. Konvektive nedbør er ofte lokale og intense (Hendriks 2010). Det er denne nedbøren som er utfordringen for dagens ledningsnett og den forekommer ofte på sommerstid
- Orografisk nedbør
 - Orografisk nedbør forekommer når luftmassene blir presset oppover. Dette kan skje når vind blåser inn mot kysten, og luftmassene blir skjøvet opp av topografien (fjellene). Luftmassene blir da avkjølt og feller ut nedbør (Hendriks 2010). Dette er grunnen til at de største nedbørsmengdene som faller i Norge skjer på Vestlandet, der det er fjell. Orografisk nedbør har ofte lang varighet og forekommer over et større areal (Lindholm 2015)
- Frontnedbør
 - Frontnedbør skjer når kalde og varme luftmasser kolliderer. Det skilles mellom kaldfront og varmfront. Ved en kaldfront kommer den kalde vinden inn og skyver den varme luften opp. Det fører til et raskt oppløft av de varme luftmassene og det blir dannet intens nedbør med kort varighet. Ved varmfront kommer varm luft inn og blir presset over den kalde luften på grunn av tetthetsforskjellene. Dette fører til et langsomt oppløft av varmluft, og nedbørshendelsen blir mindre intens med lengre varighet (Hendriks 2010)

2.3 Urbanhydrologi

Urbanhydrologi blir definert som «den delen av vannets kretsløp som er knyttet til bebygde områder» (NVE 2015). Effekten av urbanisering i byer og tettsteder er at vannets naturlige

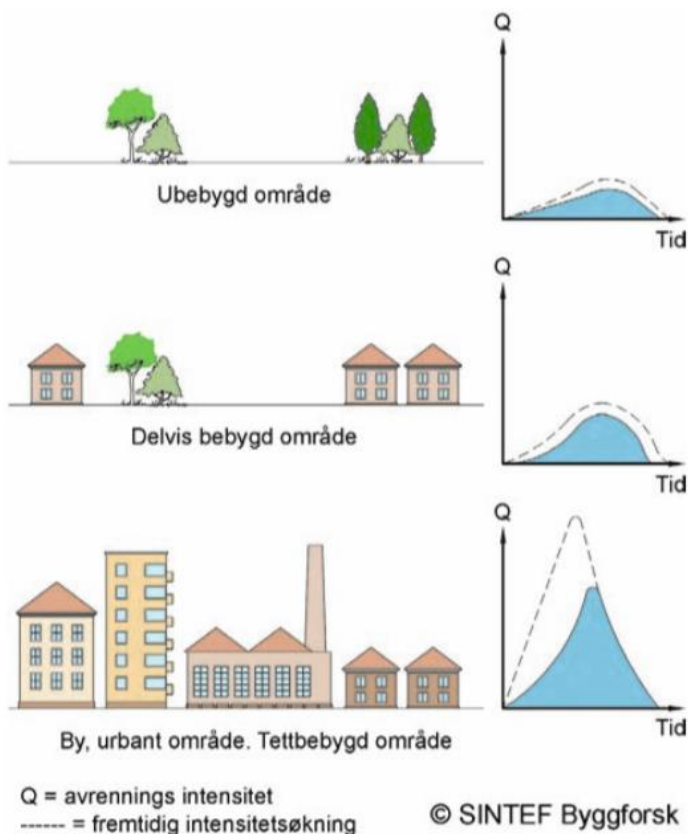
kretsløp endres på grunn av etablering av tette flater slik som bebyggelse, asfalterte arealer og andre impermeable (ikke gjennomtrengelige) flater. Byutvikling fører også til at det naturlige dreneringssystemet blir erstattet med et menneskeskapt system som består av kanaler og rørsystemer. Naturlige grøfter, myrer, bekkefar, flomveier og andre vannveier forsvinner til fordel for grå flater som bebyggelse og infrastruktur. Betydningen av dette er at nedbørsfeltets karakteristikk i det urbane området endres betydelig. Urbanisering fører til økt overflateavrenning fordi infiltrasjon, fordampning, fordrøyning og absorpsjon av regnvannet blir redusert. Det vannet som ikke infiltreres, og dermed renner av på overflaten, kalles overvann og stammer fra nedbør og snøsmelting (Ødegaard et al. 2012). Figur 2-11 viser forholdet mellom avrenning og infiltrasjon ved forskjellige urbaniseringsgrader. På grunn av det norske klimaet kan fordampningen i store deler av året neglisjeres. Figur 2-11 viser at i et naturlig felt vil omtrent 95 % av nedbøren infiltreres og 5 % renne av som avrenning. Etter hvert som fortettingen øker vil stadig mer av nedbøren renne av og mindre infiltreres. I et tett byområde kan det forventes at ned mot 5 % av nedbøren infiltreres, mens hele 95 % renner av som overvann.



Figur 2-11: Forholdet mellom avrenning og infiltrasjon ved forskjellige urbaniseringsgrader. Redigert fra: (Lindholm 2014a)

Konsekvenser av fortettingen er blant annet at en større andel overvann renner av i bybildet og via rør under bakken. Når vannet renner av i rørsystemene og på harde flater i byområder vil vannet renne raskere av enn i naturlige vegetasjonsområder. Dette innebærer økte

avrenningstopper, noe som betyr at flomtopper vil oppstå og dø ut raskere ved en nedbørshendelse (Butler & Davies 2004). Resultatet av dette er at infrastrukturens kapasitet oftere overskrides ved korte og intensive nedbørsbyger. Dette har blitt forverret i de senere år da nedbøren og temperaturen har økt. Flere dager med nedbør innebærer at markoverflaten, i vegetasjonsområder, oftere er mettet. Dette fører til at samme nedbørshendelse nå vil gi mer avrenning og større fare for urbane flommer (Lindholm et al. 2007). Figur 2-12 viser effekten av raskere og økt avrenningsvolum når urbaniseringen tiltar og effekten av fremtidig intensitetsøkning forårsaket av forandring i klimaet.



Figur 2-12: Økning i avrenningstopper når urbaniseringsgraden tiltar. Figuren viser også hvordan fremtidige klimaendringer kan føre til økt intensitetsøkning under avrenning (SINTEF Byggforsk 2012)

Konsekvensene av urbaniseringen er ifølge NVE (2015):

- Overflateavrenningen øker i både intensitet og volum
- Redusert infiltrasjon og fordampning
- Grunnvannstanden kan senkes

Ved økende grad av urbanisering vil det ifølge NVE (2015) kunne oppstå følgende konsekvenser:

- Raskere og økte avrenningstopper som gir fare for oversvømmelse av hus, veier og anlegg
- Grunnvannssenkingen kan føre til setningsskader på hus og anlegg, i tillegg til at vegetasjonsuttørking kan forekomme
- Ved økende og mer intense avrenningstopper vil påkjenningen på resipienten øke, både på grunn av mer overvann og økte forurensningsutslipp

2.4 Overvannshåndtering

På grunn av klima- og samfunnsutvikling har flere byområder opplevd hyppigere utfordringer med store overvannsmengder. Dette har ofte resultert i urbane flommer og oversvømmelser. Hvis forebyggende tiltak uteblir forventes det at skadekostnaden på infrastruktur, bebyggelse, helse og miljø vil fortsette å øke fremover (NOU 2015:16). Dette har ført til at håndtering av overvann har fått større oppmerksomhet i de senere årene. Overvannshåndtering går ut på å *«lede bort overvann og drenere grunnen for å unngå fuktskader, oversvømmelser og erosjon og bidra til innbyggernes komfort»* (Lindholm et al. 2008). Dette kan gjøres på flere måter, men det skilles vanligvis mellom tradisjonell overvannshåndtering, og en mer langsiktig og bærekraftig overvannshåndtering. Ifølge NOU 2015:16 (2015) bør en god strategi for overvannshåndtering ha som mål å *«reducere skadekostnadene for samfunnet, begrense forurensning og skape positive effekter for natur og helse»*. Dette bør helst gjøres på en slik måte at det er samfunnsøkonomisk lønnsomt.

Det er viktig med en helhetlig og gjennomtenkt strategi for overvannshåndtering. Ifølge Lindholm et al. (2008) kan hovedvisjonen med håndtering av overvann oppsummeres i følgende punkter:

- Forebygge skader:
 - o Overvannet skal håndteres slik at det ikke medfører fare for liv, helse og miljø. Skader på eiendommer og infrastruktur skal unngås og vannforurensningen skal reduseres
- Overvannet skal utnyttes som en ressurs:
 - o Overvannet bør utnyttes til et rekreasjonsformål og til et positivt element i byrommet
- Det biologiske mangfoldet i byområdet skal styrkes:

- Biologisk mangfold bør fremmes ved hjelp av elementer som åpne vannveier, dammer og ved infiltrasjon

2.4.1 Forurensninger i overvann

Overvann fra urbane områder inneholder ofte tungmetaller, organiske miljøgifter, polyaromatiske hydrokarboner (PAH) og polyklorete bifenyler (PCB). Noen av kildene til disse forurensningene er ifølge Ødegaard et al. (2012) «*atmosfærisk nedfall, avgasser fra kjøretøy og maskiner, fyring og forbrenning av organisk stoff, nedslitning og korrosjon av produkter fra kjøretøy, bygninger, vegdekker og andre konstruksjoner, samt rester fra produkter*». Som en fellesbetegnelse på disse skadelige stoffene blir ofte begrepet «miljøgifter» benyttet. Disse miljøgiftene i urbane områder vil nå frem til resipienten via overløp fra fellessystemer, utslipp fra avløpsrenseanlegget og direkte avrenning via overvannssystemene (Ødegaard et al. 2012).

Det mest forurensede overvannet er det som kommer ved første regnskyll etter en tørrværsperiode og betegnes som «first-flush». Det første regnskyillet transporterer forurensningene som har akkumulert på overflater over en tørrværsperiode (Ødegaard et al. 2012). Dette er grunnlaget for å si at utslipp av overvann rett til vassdrag og resipient ikke er problemfritt. Siden biltrafikken er en stor kilde til forurensningene er det ofte ønskelig med et enkelt rensetrinn som for eksempel en sedimenteringsdam i tilknytning til et veganlegg.

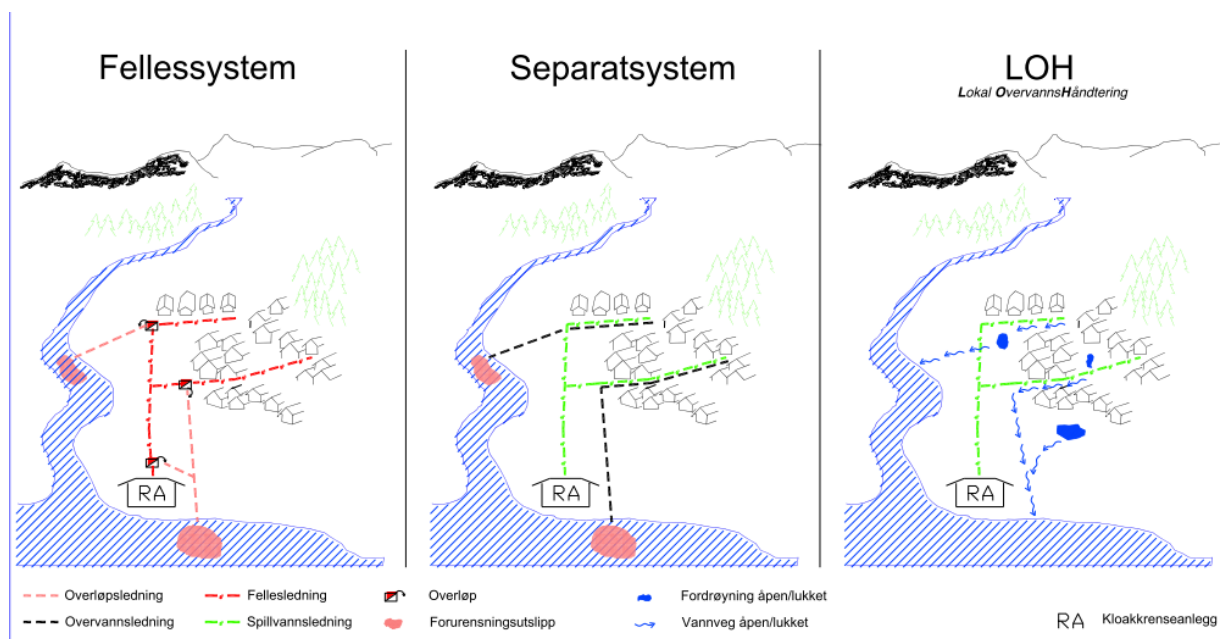
2.4.2 Overvannssystemer

Overvannssystemene kan i hovedsak deles inn i det som kalles for separatsystemer og fellessystemer. Figur 2-13 viser forskjellen på separatsystem, fellessystem og systemer med LOH (LOD) tiltak.

I et separatsystem er overvann og spillvann delt i to forskjellige ledninger. Disse ledningene blir ofte lagt ved siden av hverandre (Butler & Davies 2004). Spillvannet blir ledet til et avløpsrenseanlegg, mens overvannet blir ledet direkte til en resipient (Ødegaard et al. 2012). Fordelen med separatsystem er at mengden avløpsvann til renseanlegget blir redusert og andelen avløpsvann som går i overløp minskes. Dette vil igjen medføre besparelser i forhold til bruk av ressurser til rensing. Effekten av rensingen vil også øke når avløpsmengden er mindre.

I et fellessystem går både overvann og spillvann i samme rør. Dette fører til at store mengder overvann må transporteres til avløpsrenseanlegget. Dette bidrar til unødvendige pumpe- og transportkostnader. Diameteren på fellesledningene må også være større. Det vil da være vanskelig å få til selvrensing ved tørrvær når røret blir dimensjonert for både avløp og overvann (Ødegaard et al. 2012). Andel urensset avløpsvann som går ut til resipient via overløp vil også bli betydelig når overvannsmengdene er for store. Her vil avløpsvann være både spillvann og overvann. Det vil si at det skjer et stort forurensningstap ved intense regnskyll.

Fordelene er tilsynelatende mange for separatsystemet. Erfaringer tilsier likevel at feilkoblinger er et problem (Butler & Davies 2004). En fordel med fellessystem er at det oppnås rensing av overvannet, noe som separatsystem ikke har til hensikt å gjøre. Overvannet kan være svært forurensset, spesielt fra urbane områder og veier. Det vil derfor være lurt å veie opp fordeler og ulemper når det skal velges hva slags system som er ønskelig. I dag velges nesten alltid separatsystem på grunn av fordelene med dette systemet.

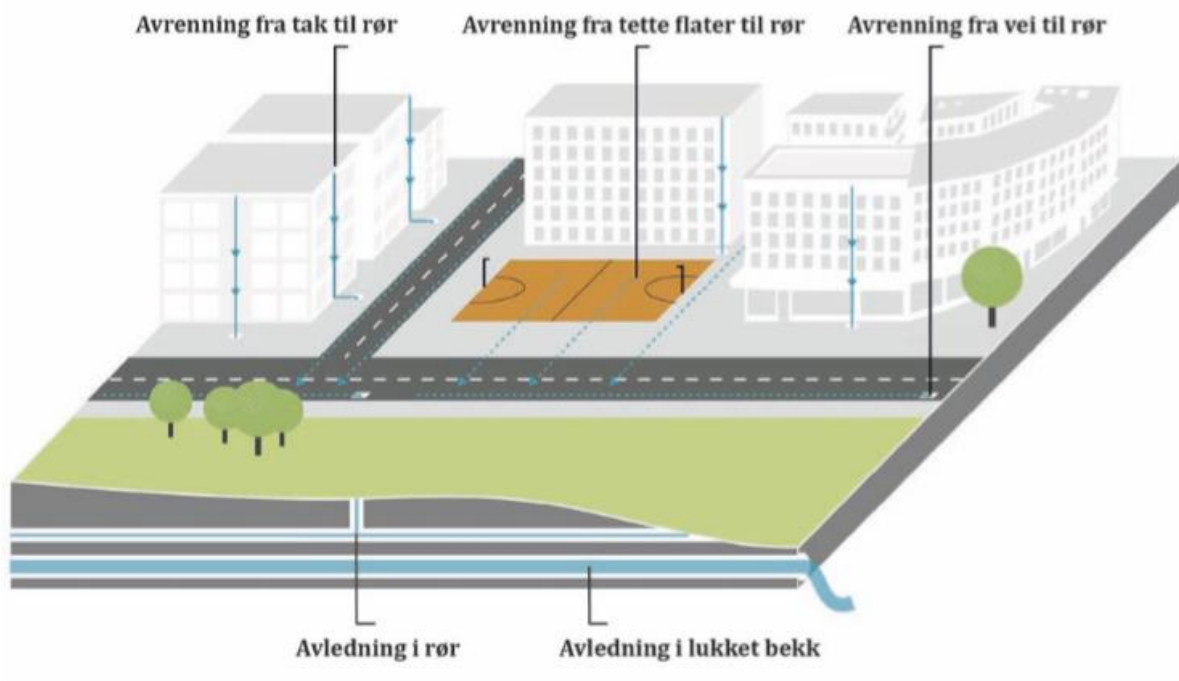


Figur 2-13: Fellessystem, separatsystem og LOH (LOD) system (Fredrikstad kommune 2007)

2.4.3 Tradisjonell overvannshåndtering

De tradisjonelle metodene for å håndtere overvann går ut på å lede overvannet raskt og effektivt bort fra byområdet i lukkede ledningssystemer til nærmeste resipient. De lukkede ledningssystemene kan være separate overvannsledninger, fellesledninger for avløp og at

bekker transporteres i rør. Figur 2-14 viser et konvensjonelt system for overvannshåndtering, hvor alt overvannet samles opp og ledes til nærmeste sluk og ledningssystem. Denne metoden for håndtering av overvann gir problemer når det kommer store overvannsmengder over kort tid, noe som kan skje ved ekstreme nedbørsituasjoner. Grunnen til dette er at rørsystemene ofte har for liten diameter, som gir begrenset kapasitet. Ved videre utbygging øker presset på ledningsnettets slik at problemene forverres. Mer nedbør vil også føre til at grunnvannsnivået vil stå høyere slik at infiltrasjonsvannmengden inn i rørene øker. Dette vil føre til ytterligere redusert kapasitet (Lindholm et al. 2008). Problemene er spesielt knyttet til områder hvor det er fellesavløpssystemer. Tilførsel av overvann til fellesavløpssystemer gir en unødvendig belastning på ledningsnettets og avløpsrensaneanlegget. Overbelastning av fellesavløpssystemene fører til at avløpsvannet må gå i overløp på ledningsnettets og ved pumpestasjonene. Konsekvensen er at urensset avløp, blandet med overvann, vil slippes ut i gater, vassdrag og resipient.



Figur 2-14: Konvensjonelt system for overvannshåndtering (NOU 2015:16)

Hensikten med tradisjonelle overvannsløsninger er å gi mer plass og gode urbane miljøer i byområdet, samt at det skal gi en sikkerhet mot oversvømmelser. Likevel fører den tradisjonelle håndteringen av overvann til (Ødegaard et al. 2012):

- Økt overvannsavrenning i mengde og intensitet slik at faren for både direkte og indirekte urbane flomskader øker

- Tette flater vil føre til økt vannhastighet og dermed økt fare for erosjon
- Forurensninger, blant annet miljøgifter og spillvann (fellessystem) vil slippes ut i vassdrag, resipient og spres i urbane områder
- Foringelse og reduksjon av det økologiske miljøet og mangfoldet

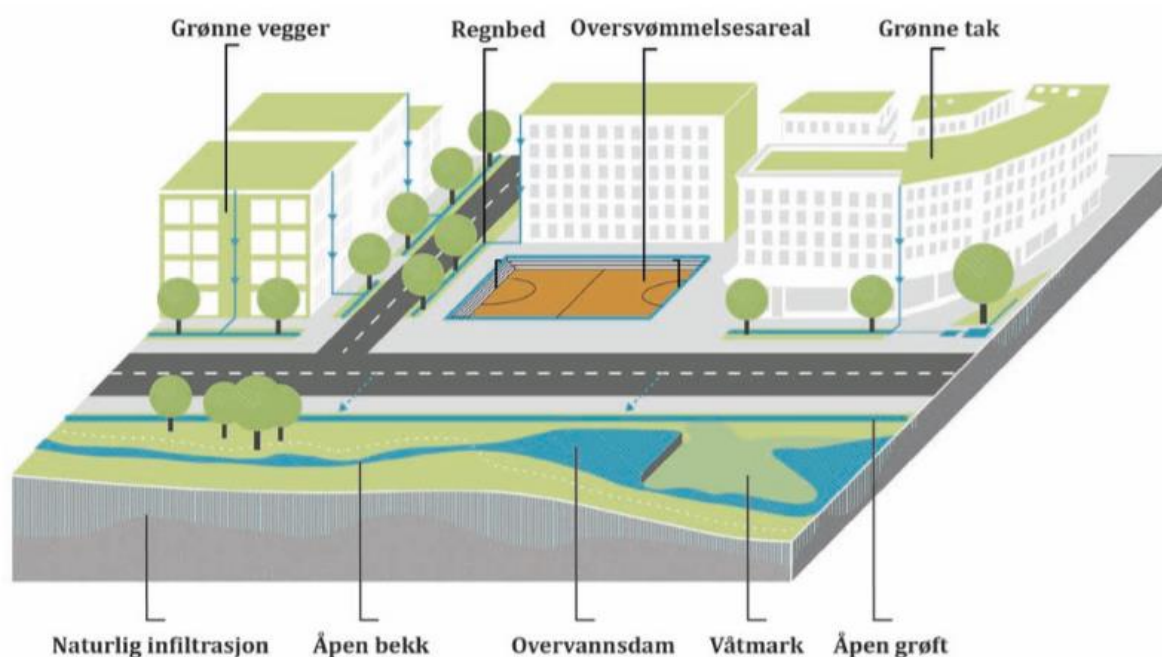
Det er ikke hensiktsmessig eller samfunnsøkonomisk forsvarlig å kun bygge ut ledningsnettets kapasitet for å håndtere overvannet på tradisjonelt vis. Dette vil ta lang tid, samtidig som at vannets naturlige kretsløp ikke blir ivaretatt. Siden det lukkede ledningssystemet har problemer med å ta unna dagens og fremtidens overvannsmengder har det blitt prinsipielt gått over til nye langsiktige og mer bærekraftige overvannsløsninger.

2.4.4 Blågrønne løsninger for fremtiden

Blågrønne løsninger er ifølge Strøm (2013) *«en betegnelse på en tverrfaglig planleggingspraksis som integrerer vannhåndtering og grønne områder i bystrukturen»*. Den blågrønne strategien er at byrommet skal utvikles med parker, grøntarealer og åpne bekker. Et slikt samspill mellom blågrønne løsninger, grå flater og infrastruktur vil ha en positiv innvirkning på byens befolkning (Strøm 2013). Dette betyr at overvannet i byområdet må behandles som en helhet på tvers av ulike fagmiljøer. En fremtidig og bærekraftig overvannsløsning går ut på at overvannet må ses på som en ressurs i bylandskapet og ikke et problem. Drammen kommune (2014) ønsker at overvannet skal kunne benyttes for opplevelse, lek, økt biologisk mangfold, forbedret trivsel og for rekreasjonsområder for innbyggerne. Vann og vegetasjonsområder er et positivt innslag i bybildet og det er ikke uten grunn at områder nær grønne og blå omgivelser er ettertraktet. Det står i oppsummeringen til «Blågrønn struktur uterom» (Møller 2013) at *«beboere og medarbeidere i bygninger med utsikt til grønne omgivelser trives bedre, blir raskere friske, er sunnere og mer effektive enn i omgivelser uten naturkontakt»*. Det blir også påpekt at blågrønne løsninger har en luftrensende effekt fordi naturlige prosesser bryter ned og omdanner forurensninger. I tillegg vil vann og vegetasjonsområder kjøle ned overopphetede byer og begrense omfanget av urbane flommer (Strøm 2013). En god åpen overvannsløsning, kombinert med grøntarealer, vil kunne være positive elementer i byrommet og er med på å fremme et godt bomiljø.

2.4.5 Åpne og lokale overvannstiltak

Det å benytte ulike tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD) er en langsiktig og bærekraftig måte å håndtere overvannet på. Lokal overvannsdiskonering innebærer at vannet blir håndtert lokalt. Vannet vil finne naturlige veier til grunnen via infiltrasjon og renne bort via åpne vannveger og dammer (Ødegaard et al. 2012). Figur 2-15 viser bruken av åpne og lokale overvannsløsninger i et urbant område. Overvannet vil avledes på markoverflaten via naturlige dreneringssystemer før resterende overvann når ledningsnett. Lokal overvannsdiskonering går ut på å beholde det naturlige systemet slik at det kan avlede vannet, eller benyttes midlertidig, slik at ledningssystemet ikke overbelastes (Lindholm et al. 2008). Ved å i størst mulig grad benytte lokale og åpne løsninger vil overvannet som tilføres ledningsnett jevnes ut slik at kapasitetsproblemer unngås. Hovedstrategien i lokal overvannsdiskonering bygger på å optimalisere bruken av lokale og åpne vannløsninger, kombinert med de tradisjonelle systemene.



Figur 2-15: Åpne og lokal håndtering av overvann som benytter flere LOD tiltak (NOU 2015:16)

Tabell 2-2 viser en oversikt over forskjellige tekniske løsninger for åpne overvannsløsninger og kategorisering av disse basert på Lindholm et al. (2008). Åpne overvannsløsninger kjennetegnes ved at vannet er synlig, i motsetning til lukkede systemer. De åpne systemene skal etterligne hvordan naturen håndterer overvannet. Dette gjøres ved hjelp av prinsipper som perkolasjon, overflateavrenning, infiltrasjon og fordrøyning i åpne systemer som

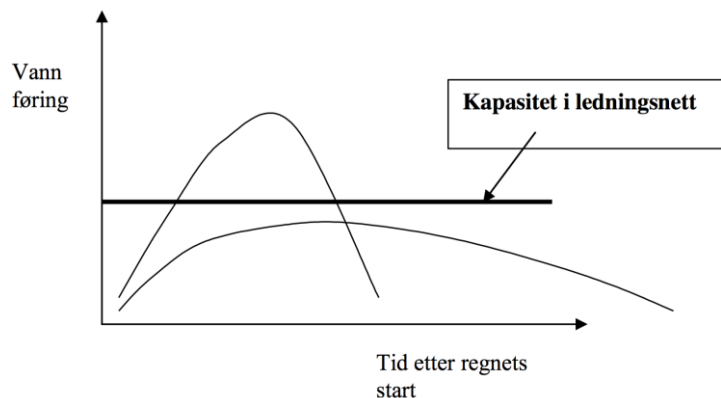
regnbed, dammer og våtmarker (Lindholm et al. 2008). Hvilke overvannstiltak som er egnet vil variere, og avhenger av forventede klimaendringer og lokale forhold.

Tabell 2-2: Oversikt over ulike tekniske løsninger og kategorisering av åpne vannløsninger. Redigert fra Lindholm et al. (2008)

Kategori	Eksempel på teknisk utforming
Infiltrasjon og fordrøyning i nærheten av kilden	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltrasjon på gresskledde flater - Porøse dekker - Infiltrasjon i steinfyllinger - Tilfeldig ansamling av overvann på spesielle overflater for oversvømmelse - Dammer - Våtmarker
Fordrøyd bortledning	<ul style="list-style-type: none"> - Forsenkninger - Kanaler - Bekker/grøfter
Samlet fordrøyning	<ul style="list-style-type: none"> - Dammer - Våtmarksområder - Tjern/Innsjøer

Lokal overvannsdiskonering er eksempler på blågrønne tiltak som benyttes for å redusere flombelastningen og forurensningstilførselen til resipienten. Gode LOD tiltak fører dermed til at det blir frigjort kapasitet i det eksisterende ledningsnett som Figur 2-16 viser. Åstebøl et al. (2013) sin veileder for lokal overvannshåndtering sier følgende om hvorfor lokal håndtering av overvann er viktig:

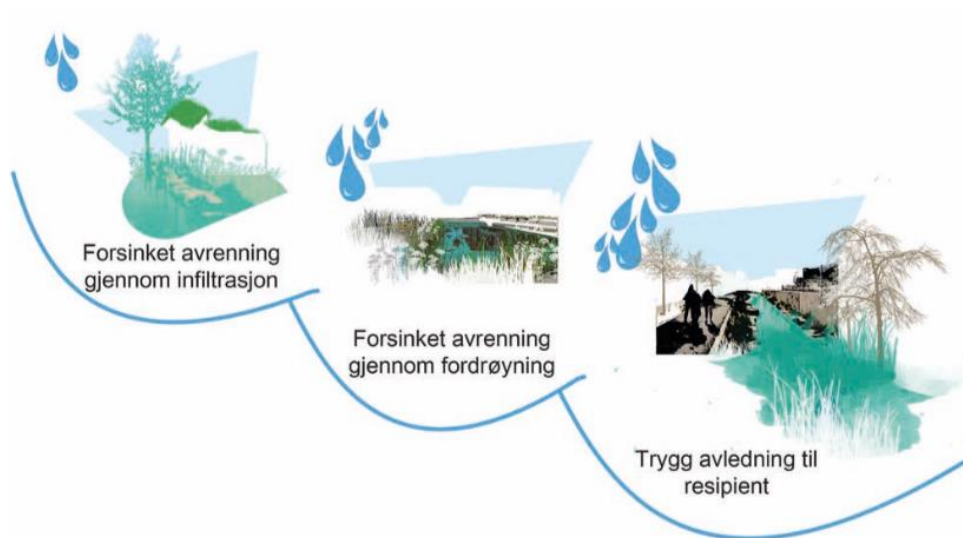
- Flombelastningen til vassdrag og resipienten blir redusert ved at det utjevner tilrenningen fra urbane områder
- Forurensningstilførselen til vassdrag og resipient blir redusert
- Ved utjevnet tilrenning vil det bli frigjort kapasitet i ledningsnettet
- Mindre belastning på renseanleggene fra områder med fellesavløpssystem



Figur 2-16: Forsinkelse og fordrøyning av tilrenning av overvannet har en positiv effekt på ledningsnett. Kurven som går over kapasiteten er for tradisjonelle systemer, mens kurven som er under kapasiteten er ved bærekraftige ledningssystemer (Lindholm 2014a)

2.4.6 Treleddsstrategien

Ved håndtering av overvann benyttes ofte treleddsstrategien. Treleddsstrategien vises i Figur 2-17 og går ut på å infiltrere, forsinke, fordrøye og sikre trygge flomveier for overvannet. Det første leddet i strategien går på å håndtere overvannet gjennom infiltrasjon slik at alt regn fra mindre nedbørsmengder holdes igjen. Ved større overvannsmengder vil noe av overvannet renne videre. Det ønskes da å forsinke denne avrenningen ved at vannet fordrøyes gjennom åpne overvannsanlegg. Hvis det oppstår ekstremnedbør vil store overvannsmengder renne gjennom byområdet. Da handler det om å sikre trygge flomveier slik at vannet trygt avledes til resipienten. Sikre flomveier bidrar til å hindre vannrelaterte skader i byområdet, samt at det er en sikkerhet for innbyggeren (Lindholm et al. 2008).

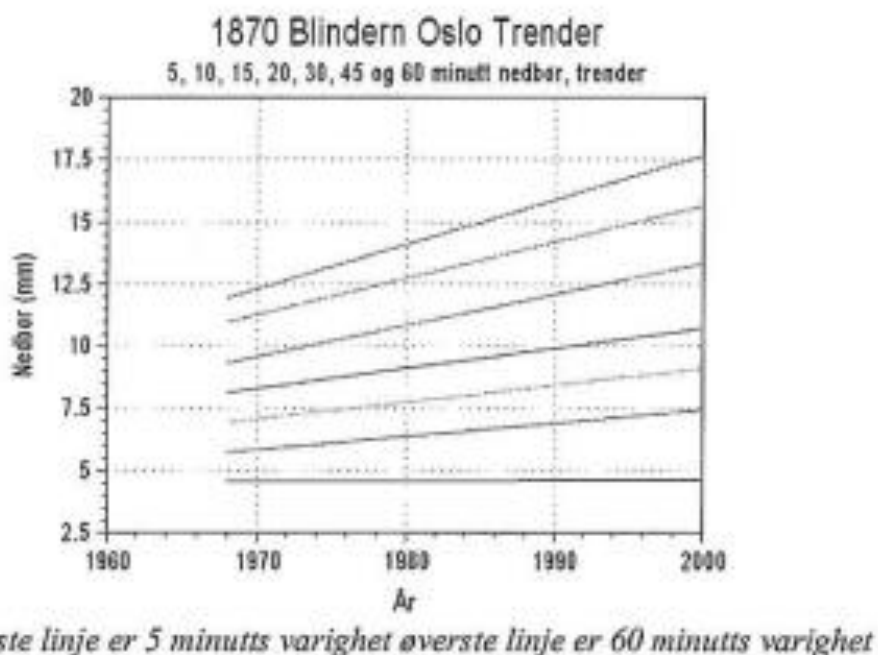


Figur 2-17: Treleddsstrategien for håndtering av overvann (NOU 2015:16)

2.4.7 Klimaeffekter og utfordringer knyttet til overvann i urbane strøk

Norges offentlige utredninger har utgitt en utredning med overvann som tema (NOU 2015:16). I denne utredningen anslås det at overvann forårsaker skader på 1,6 til 3,6 milliarder kroner årlig. Hvis det ikke utføres tiltak i forhold til disse utfordringene anslås det at skadene kan forårsake kostnader mellom 45 til 100 milliarder kroner de neste 40 årene. Overvann er altså et svært kostbart fenomen. I den samme utredningen (NOU 2015:16) oppgir 40 % av norske kommuner at problemene knyttet til overvann kan føre til en stor trussel i økonomi og velferd.

Tidligere i oppgaven har det blitt beskrevet at det er forventet flere hendelser med intens nedbør i årene fremover, noe som vil øke skadepotensialet til overvannet. Intens nedbør defineres som «mengder per døgn som i dagens klima kun overstiges en gang hvert år» (Lindholm et al. 2008). Mange områder i Norge har allerede observert effekten ved mer intens nedbør. Ved å se på utviklingen som har skjedd på en målestasjon på Blindern i Oslo, som er vist i Figur 2-18, kommer det tydelig frem at nedbørshendelser med en gitt varighet har økt i mengde nedbør mellom 1970 og 2000. Som tidligere nevnt er det ingenting som tyder på at tendensen vil avta. Dette betyr at byer og tettsteder vil stå ovenfor flere utfordringer med overvannsproblematikk. Ødegaard et al. (2012) sier at en økning på 40 % i regnintensitet kan føre til at urbane flommer vil øke med 100 % og at skadeverdiene da vil øke med hele 200 %. I Tabell 2-3 vises skadevirkningen overvannet kan ha i form av direkte og indirekte skader.



Figur 2-18: Trender for nedbørshendelser på Blindern. Figuren viser utviklingen fra 1970-2000 (Lindholm et al. 2003)

Tabell 2-3: Skadevirkninger fra overvann i indirekte og direkte form (NOU 2015:16)

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

For å kompensere mot fremtidige klimaendringer og økt skadeomfang kan flere tiltak benyttes. Noen av de tiltakene som er med på å redusere skadeomfanget av urbane flommer og forurensningsutslipp er nevnt i Ødegaard et al. (2012):

- Tilrenningen til avløpssystemene må reduseres ved at overvannet kobles fra eksisterende systemer og ikke kobles til i nye utbyggingsområder
- Dempe og forsinke flomtopper før overvannet kommer frem til avløpssystemet ved hjelp av LOD-tiltak
- Fellesavløpssystemet må separeres til en overvannsledning og en spillvannsledning
- Bygge fordrøyningsiltak på ledningsnettet som ulike løsninger av fordrøyningsbassenger, hevet overløpsterskel og løsninger som hindrer den første og mest forurensete avløpsmengden fra å gå i overløp i fellessystemer
- Bygge fordrøyningsvolumer i selve avløpsrenseanlegget slik at vannføringstoppene utjevnes og renseanlegget unngår å la urenset avløpsvann renne direkte ut

2.5 Beregning av overvann og nedbør

For å beregne overvannsmengde kan forskjellige metoder brukes. I det følgende skal noen mulige beregningsmåter gjennomgås.

2.5.1 Den rasjonelle formel

Den rasjonelle formel er en enkel beregningsmetode som ofte blir anvendt i mindre nedbørsfelt. I en overvannsveileder utarbeidet for Bergen kommune (Bergen kommune 2005) er det satt en øvre grense på 50 hektar for størrelse på nedbørsfelt hvor den rasjonelle formel kan bli benyttet. Hvis feltet er større enn dette anbefales det å bruke en elektronisk databehandlingsmodell (EDB-modell). Et eksempel på en slik modell er programmet MOUSE (inngår i dag i MIKE Urban) som er en mye benyttet avløpsmodell (Bergen kommune 2005). Den rasjonelle formel vises i Formel 2-3 (Bøyum et al. 1997).

$$q = CiF$$

Formel 2-3: Den rasjonelle formel

Hvor q er volumstrømmen ut av feltet (l/s), C er avrenningskoeffisient, i er nedbørsintensitet (l/s*ha), og F er areal (ha) til nedbørsfeltet.

Ofte er denne formelen oppgitt på formen vist i Formel 2-4 (Lindholm 2014b).

$$Q = \varphi * A * I$$

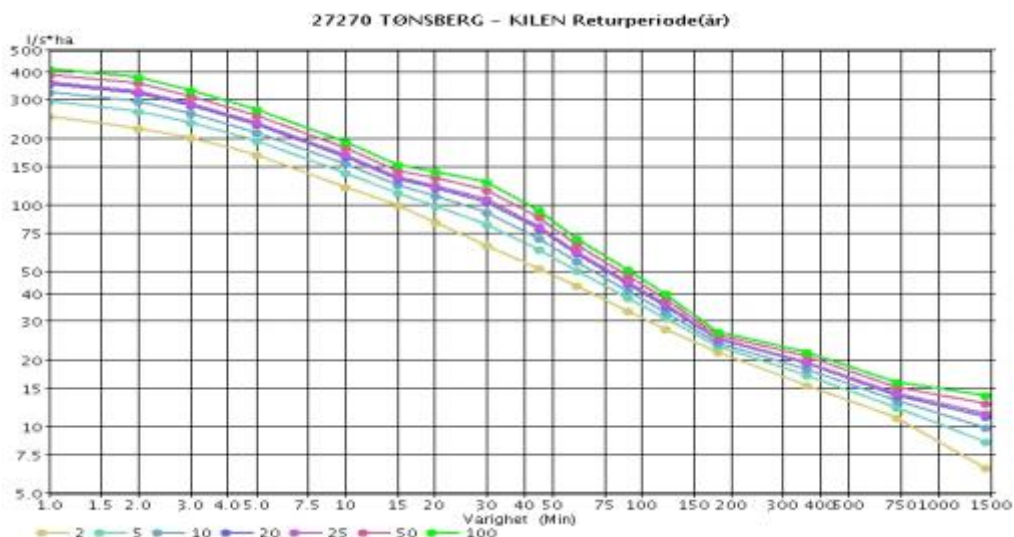
Formel 2-4: Den rasjonelle formelen omskrevet

Hvor Q er vannføringen (liter/s) i avrenningen fra området, φ er avrenningskoeffisient, det vil si andel flater som bidrar til avrenningen (faktor mellom 0 og 1), A er arealet som bidrar til avrenningen (hektar) og I som er nedbørintensiteten for det oppgitte området i l/s*ha. I Tabell 2-4 vises ulike avrenningskoeffisienter for ulike arealer. Tette flater gir større bidrag til avrenning enn felt med mindre tette flater.

Tabell 2-4: Ulike avrenningskoeffisienter for ulike områder, redigert fra Bøyum et al. (1997)

Overflate	Avrenningskoeffisient φ
Hustak og gatedekker	0.85-0.90
Bymessig, sentral bykjerne	0.70-0.85
Bymessig, tett forretningsbebyggelse	0.60-0.80
Boligstrøk i by, eneboliger	0.40-0.60
Boligstrøk, rekkehus, blokk	0.50-0.70
Boligstrøk tette kvartaler	0.60-0.80
Forstadsstrøk	0.30-0.50
Industriområder, åpent	0.50-0.70
Industriområder, tett	0.70-0.90
Parker, kirkegårder	0.10-0.30
Lekeplasser	0.20-0.40
Jernbanetomter	0.20-0.40
Dyrket mark, sandjord	0.05-0.15
Dyrket mark, leirjord/fuktig	0.15-0.25
Brakkmark	0.20-0.30

Når den rasjonelle formel benyttes er intensiteten ofte hentet fra en IVF-kurve hvor konsentrasjonstiden er kjent. IVF står for intensitet, varighet og frekvens. Imhoffs sats sier at et regnskyll med tidsvarighet lik konsentrasjonstiden, vil gi den største avrenningen (Bøyum et al. 1997). Men Imhoffs sats stemmer ikke for alle felt (Lindholm 2014b). Derfor må dette avveies når intensitet skal velges. Begrepet konsentrasjonstid brukes om tiden som vannet bruker fra det ytterste punktet i feltet til utløpet. Figur 2-19 viser et eksempel på en IVF-kurve fra Kilen i Tønsberg. På den vertikale aksene er intensiteten (l/s*ha) plottet, og på den horisontale aksene er varigheten (minutter) plottet. De ulike grafene viser ulike gjentakintervall.



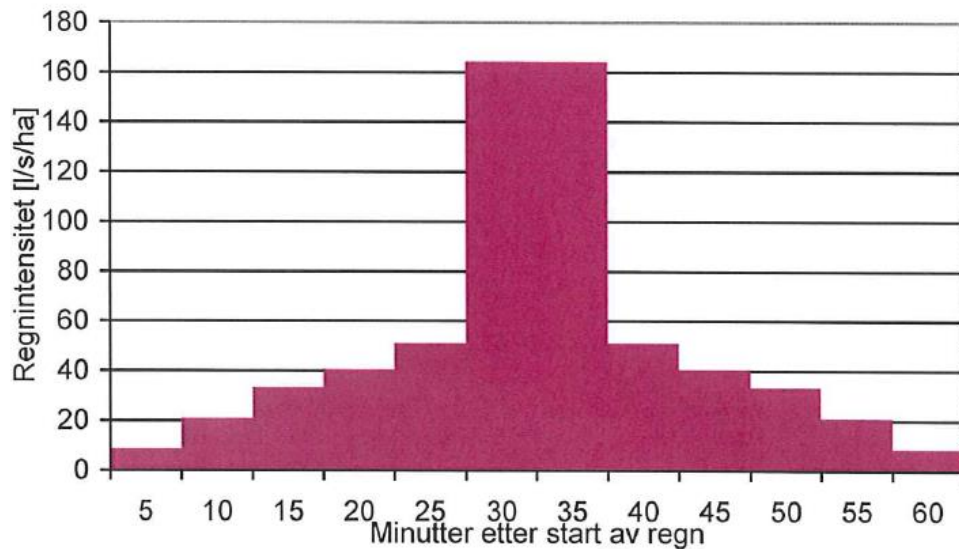
Figur 2-19: IVF-kurve fra Tønsberg (Kjensli et al. 2009)

2.5.2 Summasjonskurvemetoden

Summasjonskurvemetoden er en god framgangsmåte når det er ønskelig å få fram påvirkningen fra flere små delfelt (Ødegaard et al. 2012). Ved bruk av summasjonskurvemetoden deles feltet inn i forskjellige områder med ulike avrenningskoeffisienter. De forskjellige feltene har ulike konsentrasjonstider som vil bidra ulikt i løpet av en nedbørshendelse. Ved å grafisk framstille når delfeltet begynner å bidra i utløpet av feltet blir det mulig å lese av når det maksimale bidraget fra alle delfeltene skjer. Framstillingen vil også vise hvilket delfelt som bidrar mest. Da kan den maksimale avrenningen fra det samlede nedbørsfeltet finnes.

2.5.3 Regnhyetogram

Det finnes flere muligheter for bruk av regndata i beregninger og modellering av overvann. I denne masteroppgaven blir et symmetrisk regnhyetogram benyttet. Symmetrisk regnhyetogram kan produseres ved omdanning fra en IVF-kurve. Dimensjonerende regn har sjelden en konstant regnintensitet, men en toppintensitet etter at regnet har begynt. Det er dette et regnhyetogram prøver å få fram, som er vist i Figur 2-20.



Figur 2-20: Eksempel på et regnhyetogram

Fordelene ved å benytte et regnhyetogram er ifølge Ødegaard et al. (2012):

- Regn- og avrenningsforløpet, samt den maksimale avrenningen blir mer realistisk enn ved bruk av «kasseregner»
- I områder med like meteorologiske forhold kan det samme regnhyetogrammet benyttes til alle ledningstørrelser, uavhengig av konsentrasjonstiden
- Regnhyetogram gir dimensjonerende vannføring i alle deler av avløpsnettets i samme beregning. Det er fordi regnhyetogrammet mest intense del simulerer et kort regn med kort konsentrasjonstid, som er dimensjonerende for ledningsnettets øvre del. Hele regnhyetogrammet viser et lengre regn med lengre konsentrasjonstid som er dimensjonerende for ledningsnettets nedre del

I denne masteroppgaven vil en IVF-kurve fra Asker benyttes til å produsere 200-, 100- og 50-årsregn med et sjablongfradrag som tilsvarer et 10-årsregn. Fremgangsmåten er forklart i delkapitel 6.3.6.

2.6 Lover og regler

Det finnes flere lover og regler som gjelder ved håndtering av overvann, siden alt ikke er samlet i en lov (NOU 2015:16). I de følgende avsnittene skal det bli gjennomgått en del av lovene og forskriftene som omhandler overvann. I de tre første lovgivningene/veilederne som er nevnt er fellesnevneren at infiltrasjon av overvann skal gjøres der det er mulig. Lovverket er altså opptatt av å implementere blågrønne løsninger.

2.6.1 Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)

I loven om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven § 7) står det : *«Utbygging og annen grunnutnytting bør fortrinnsvis skje slik at nedbøren kan få avløp gjennom infiltrasjon i grunnen».*

2.6.2 Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)

I plan- og bygningsloven (Plan- og bygningsloven § 27-2) heter det at: *«Før oppføring av bygning blir satt i gang, skal avledning av grunn- og overvann være sikret».*

2.6.3 Veiledning om tekniske krav til byggverk (TEK10)

I veiledningen om tekniske krav til byggverk (TEK 10 § 15-10) står det følgende i § 15-10 (1): *«Bortledning av overvann og drensvann skal skje slik at det ikke oppstår oversvømmelse eller andre ulemper ved dimensjonerende regnintensitet».* Videre står det i (TEK 10 § 15-10) § 15-10 (2c) : *«Overvann, herunder drensvann, skal i størst mulig grad infiltreres eller på en annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området og unngå overbelastning på avløpsanleggene».*

2.6.4 Forskrift om begrenset forurensning (forurensningsforskriften)

Forskriften gir et regelverk for forurensninger. I forskriften (Forurensningsforskriften § 11-1) blir følgende sagt om forskriften sitt formål, det er *«å beskytte miljøet mot uheldige virkninger av utslipp av avløpsvann».* Senere i forskriften (Forurensningsforskriften § 11-3) blir avløpsvann definert som: *«både sanitært og industrielt avløpsvann og overvann».*

2.6.5 Forskrift om rammer for vannforvaltningen (vannforskriften)

Forskriften er hjemlet i plan- og bygningsloven, vannressursloven og forurensningsloven. Forskriften gir et rammeverk for miljømål som skal oppnås. Forskriften (Vannforskriften § 1) skal forsikre at vannressursene blir brukt på en bærekraftig måte, og for at vannressursene skal være beskyttet. Forskriften tar sikte på å sikre eller å heve tilstanden til grunnvann, ferskvann og kystnære strøk (Riise 2015).

2.6.6 EU sitt vanndirektiv

I Norge gjelder vanndirektivet som er utarbeidet av EU. Formålet med direktivet er at alle vannforekomster skal ha god økologisk kvalitet innen 2021. I Figur 2-21 vises de ulike tilstandsnivåene. I tillegg er det viktig å se alt vannet i sammenheng (Ødegaard et al. 2012). Overvann er med på å forurense når det går til resipient i separatsystem, eller forårsaker overløpsdrift i fellessystem. Overvann er altså en viktig parameter for å sikre god økologisk kvalitet på vannforekomstene.

Klasse	Kode	
Høy	Blue	} Miljømaal tilfredsstilt
God	Green	
Moderat	Yellow	} Tiltak nødvendige for å nå miljømaal
Dårlig	Pink	
Meget dårlig	Red	

Naturtilstand (arrow pointing to the top of the table)

Figur 2-21: De ulike klassene på den økologiske tilstanden (Riise 2015)

EUs vannforskrift ble gjeldende for Norge når vannforskriften tredde i kraft (Oslo kommune 2014). Forskriften (Vannforskriften § 8) sier i § 8 at innen 22. desember 2021 skal det oppnås en god kjemisk tilstand i forhold til ulike stoff i alle resipienter. De stoffene som inngår i fristen til 2021 er Antracena, Bromerte difenyletere, Fluoranten, Bly og blyforbindelser, Naftalen, Nikkel og nikkelforbindelser og Polyaromatiske hydrokarboner. I tillegg sier § 8 at innen 22. Desember 2027 skal det være god kjemisk tilstand også i forhold til de kjemiske stoffene DicofolA og Terbyten.

2.7 Overvannsveiledere og hovedplaner for avløp

En del kommuner har utarbeidet overvannsveiledere. Veilederne tar sikte på å gi god informasjon om fornuftig overvannshåndtering. Det blir også laget hovedplaner for avløp, som viser hva kommunen ønsker å satse på i en gitt tidsperiode. I det følgende skal noen momenter fra Oslo kommune, Bergen kommune og Drammen kommune sine veiledere bli gjennomgått. I tillegg blir også noen faktorer fra den nye hovedplanen for avløp og vannmiljø i Oslo kommune gjennomgått. Formålet med å ta fram veilederne og hovedplanene er å vise at det er fokus på overvannshåndtering i de største byene i Norge. Det er i tillegg blitt

undersøkt hva Drammen kommune ønsker, da den praktiske delen av denne oppgaven gjøres i et område i Drammen kommune.

2.7.1 Overvannshåndtering i Oslo kommune – en veileder for utbygger

Hovedprinsippene som defineres i veilederen er (Oslo kommune 2015):

1. Tilførselen av overvann til det offentlige avløpsnettet skal minimeres
2. Alt overvann skal fortrinnsvis tas hånd om åpent og lokalt, dvs. gjennom infiltrasjon, utslipp til resipient, eller på annen måte utnyttes som ressurs, slik at vannets naturlige kretsløp opprettholdes og naturens selvrensingsevne utnyttes

I denne veilederen fremgår det at det er viktig med tidlig planlegging for å få en best mulig håndtering av overvannet. I Tabell 2-5 vises hyppighetene som Oslo kommune bruker som dimensjonerende regnskyll- og oversvømmelseshyppighet. Tabellen er hentet fra Norsk Vann sin veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering (Lindholm et al. 2008). Tabellen tar utgangspunkt i bebyggelsen i det gjeldende området, hva slags hyppighet det er på regnskyll og oversvømmelsen som det skal dimensjoneres for.

Tabell 2-5: Dimensjonerende regnskyllhyppighet og dimensjonerende oversvømmelseshyppighet (Lindholm et al. 2008)

Dimensjonerende regnskyllhyppighet (1 i løpet av "n" år)*	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet ** (1 i løpet av "n" år)
1 i løpet av 5 år	Områder med lavt skadepotensiale (utkantområder, landbrukskommuner)	1 i løpet av 10 år
1 i løpet av 10 år	Boligområder	1 i løpet av 20 år
1 i løpet av 20 år	Bysenter /industriområder/forretningsstrøk	1 i løpet av 30 år
1 i løpet av 30 år	Uderganger/ områder med meget høyt skadepotensial	1 i løpet av 50 år

*) Ledningsnettet skal bare fylles til topp av rør ved dimensjonerende regnskyllhyppighet.

**) Oversvømmelsesnivået skal normal regne til et kjellernivå 90 cm over topp av rør i hovedledningsnettet.

2.7.2 Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune

Retningslinjene skal ivareta en helhetlig overvannshåndtering for å sikre forskjellige momenter (Bergen kommune 2005):

- Sikkerhet for innbyggerne (liv, helse, økonomi)

- Unngå flomskader og sikre at flommer ledes i flomveier utenom bebyggelse, og slik at de gjør minst mulig skade
- Se til at flomutsatte områder ikke bebygges
- Sikre en best mulig vannkvalitet for overvann (grunnvann, vassdrag, sjøer)
- Redusere overløpsdriften fra avløpssystemet
- Ivareta vegetasjonsområder innenfor urbane områder
- Sikre god bruk av vannveier ved utforming av nye urbane områder. Unngå bekkelukkinger

2.7.3 Veileder for overvannshåndtering i Drammen

Drammen kommune har utgitt en veileder for overvannshåndtering. Formålet med veilederen er å (Drammen kommune 2014):

- Vise hvordan byen kan møte et endret klima – med tanke på både begrensninger og nye muligheter
- Bidra til å minimere skader og ulemper på eiendommer og infrastruktur
- Bidra til at overvann betraktes som en ressurs i bymiljøet
- Bidra til å redusere forurensning fra avløpsanlegg

Disse formålene inngår indirekte i denne masteroppgaven da det skal gjøres rede for metoder for å beregne overvann. Veilederen fokuserer videre på aktuelle løsninger i Drammen.

2.7.4 Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030 for Oslo kommune

Oslo kommune har utgitt en hovedplan for avløp og vannmiljø for perioden 2014-2030 (Oslo kommune 2014). I denne kommer det fram hvilke målsettinger som Oslo kommune har for framtiden. Den nye hovedplanen er opptatt av å møte klimaendringene med tiltak. Det nevnes at det skal bli trygg avløpshåndtering og håndtering av mer nedbør. Håndtering av overvann skal skje åpent og lokalt, samt at utslippene fra Oslo kommunes vann og avløpsetat skal bli redusert. I hovedplanen er det gitt to alternativer. Alternativene viser to forskjellige måter Oslo kommune kan satse innenfor avløpshåndtering. Alternativ 1 er de forslagene med høyest ambisjonsnivå, men det er mer kostbart enn alternativ 2. I hovedplanen kommer det fram at i forrige planperiode vokste Oslo by med 130 000 innbyggere, samt at innbyggerne bosatte seg tettere enn før. Det som er interessant med hovedplanen er hvordan nye innovative løsninger

blir fremmet. Blant annet nevnes det at fjernkontrollsystemet for tunnelnettverket skal utbedres i forhold til kvalitetssikring og rutiner. Det nevnes i tillegg at det er ønskelig å bygge et tunnelsystem med nok kapasitet slik at vannstrømmene kan bli styrt der det er ledig volum. Dette tiltaket vil minske utslippene. Dagens tunnelsystem til VEAS (Vestfjorden avløpsselskap) har 200 000 m³ i magasinvolum. Tunnelsystemet til BRA (Bekkelaget renseanlegg) har 35 000 m³, og i tillegg har Midgardsormen bidratt med nye 75 000 m³. Dagens situasjon er at altfor mye vann går i overløp, dette kan reduseres ved et forbedret fjernovervåkningssystem. I tillegg til at avløpet overvåkes, må det også settes inn systemer som kan styre avløpsvannet. Når det gjelder overvannshåndtering er det ønskelig å sikre trygge flomveier. Oppsummert så er det tydelig at Oslo kommune satser på nye metoder for å håndtere overvannsmengdene.

3 Geografiske informasjonssystemer (GIS)

GIS er en forkortelse for Geografiske Informasjons Systemer. GIS benytter programvare og databehandling til å få ut geografisk informasjon, mens tidligere var kart den tradisjonelle presentasjonsformen. Ifølge Grindrud og Forsvarsbygg (2008) består GIS av fire hovedelementer som er:

- Menneskelig kunnskap og erfaring
- Maskinvare
- Programvare for kart
- Geografisk data

Samspillet mellom disse hovedelementene er med på å forklare GIS og kan defineres slik (Grindrud & Forsvarsbygg 2008):

«Et geografisk informasjonssystem er samlingen av kartsystemer, geografiske data, rutiner og menneskelig kunnskap og erfaring som gjør det mulig å fremstille, analysere og presentere geografien rundt oss ved hjelp av teknologi».

GIS defineres også av Chrisman (1997) som:

«A system of hardware, software, data, people, organization and institutional arrangements of collecting, storing, analyzing and disseminating information about areas of the earth».

Geografiske informasjonssystemer benytter elektronisk databehandling (EDB) til å sette sammen og håndtere geografiske data. Geografisk data er også kalt romlig- eller stedfestet data og beskriver fenomener eller objekters geografiske plassering på jorda. Et datasystem, som benytter et GIS verktøy, vil gjøre det enklere å se informasjon fra ulike geografiske datasett i sammenheng. For å kunne stole på informasjonen fra geografiske datasett er det viktig med gode data. Geografisk data er all informasjon som kan stedfestes og består av følgende elementer (Tenge 2005):

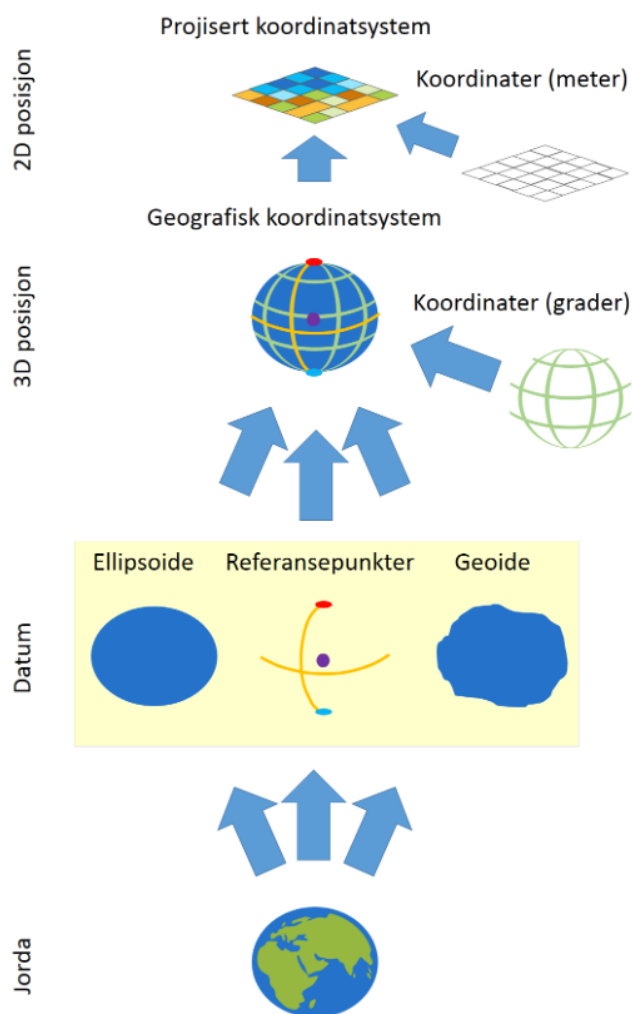
- **Hvor:** Stedfesting og geometrisk beskrivelse av fenomenet eller objektet
- **Hva:** Egenskaper til fenomener, objekter og steder
- **Når:** Tidfesting av når observasjonene ble gjort

GIS-programvare, slik som ArcGIS, er utviklet for å håndtere geografisk data. Noen av årsakene til at GIS har blitt tatt i bruk er at det gir større effektivisering, bedre kvalitet og beslutningsgrunnlag, at det er ønsket av publikum og at alle kart er digitale (Tenge 2005). På grunn av fordelene med GIS er anvendelsesområdene mange. Noen få eksempler på anvendelsesområder er blant annet innen offentlig og privat planlegging, overvåkning og forvaltning av arealer og infrastruktur, flåtestyring, landbruk, stedsbaserte tjenester og visualisering, miljøovervåkning og geografisk analyse (Rolstad et al. 2007).

3.1 Koordinatsystemer

Posisjoner på jordoverflaten kan angis ved direkte og indirekte stedfesting. Den indirekte metoden henviser til et kjent, avgrenset område slik som kommuner, stedsnavn, postadresse og liknende. Når det arbeides med geografisk data er stedfestingsnøyaktighetene for dataene viktig. Derfor må direkte stedfesting benyttes. Direkte stedfesting av grunnlagsdataene benytter derfor koordinatsystemer slik at punkter, objekter og områder kan lokaliseres entydig og absolutt på jordoverflaten (Statens Kartverk 2009).

Et kart, enten digitalt eller på papirformat, har i oppgave å gjenskape virkeligheten på en best mulig måte. For at dette skal være mulig benyttes referansesystemer, også kalt datum, til å plassere geografiske objekter i forhold til hverandre og i forhold til geografisk origo. Et datum opprettes ved hjelp av ellipsoiden, referansepunkter og geoiden. Når datumet er bestemt kan et geografisk koordinatsystem stedfestes før et projisert koordinatsystem benyttes for fremvisning i et todimensjonalt flatt plan (Geodata 2016). Figur 3-1 viser en forenklet illustrasjon av hvordan et koordinatsystem blir oppbygd. I de neste kapitlene skal stedfesting og begreper forklares nærmere.

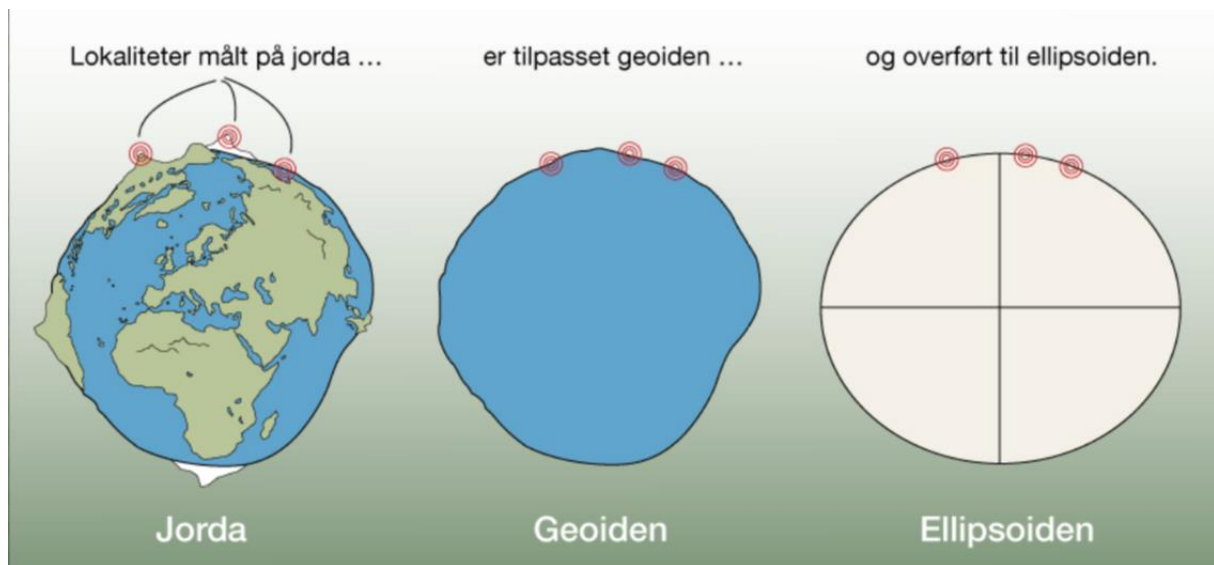


Figur 3-1: Oppbygningen til koordinatsystemer (Geodata 2016)

3.2 Jorden, geoider og ellipsoide

For å kunne beregne posisjoner, avstander og retninger på jordoverflaten er det ønskelig å benytte en matematisk modell for å representere jorden. Siden jorden ikke er helt rund, men flattrykt ved polene, vil den beste geometrien for å fremstille jordoverflaten være en ellipsoide. Ellipsoide er en modell av jordkloden som består av en jevn jordoverflate uten topografi (Grinderud & Forsvarsbygg 2008). En annen måte å fremstille jorden på er ved hjelp av en geoid. En geoid er en forenkling av virkeligheten som faller sammen med havets middelverdi når det antas at havoverflaten er fullstendig i ro. En geoid vil altså følge havets tenkte forlengelse under kontinentene. Dette er grunnen til at geoiden benyttes som referanseflate for høydeangivelse. Tyngdekraftens retning vil til enhver tid stå normalt på geoiden i et hvert punkt, samt at tyngdekraften er konstant i alle punkter (Janson et al. 1999).

Figur 3-2 viser hvordan lokaliteter som er målt på jorden kan overføres til en geoid og en ellipsoide.



Figur 3-2: Skisse som viser forskjellene mellom jorden, geoiden og ellipsoiden (Strømsholm 2016a)

Det er ellipsoiden som benyttes som den matematiske modellen, siden det er en enkel figur som samsvarer greit med geoiden. Det er beregnet flere ellipsoider for ulike områder på jorden slik at ellipsoiden på best mulig måte skal samsvare med området. De forskjellige ellipsoidene benyttes som utgangspunkt for ulike referansesystemer, også kalt datum (Grinderud & Forsvarsbygg 2008).

3.3 Datum

Et datum er det samme som et referansesystem og er grunnlaget for alle geografiske koordinater. Et datum benytter et koordinatsystem til å forklare jordoverflaten på en best mulig måte ved hjelp av en referanseellipsoide. Et datum er dermed bygd opp av en referanseellipsoide og festemerker. Festemerker benyttes til å definere posisjonen til Nordpolen, Sørpolen, ekvator og nullmeridianen. Det benyttes i dag en rekke forskjellige datum som avhenger av lokale forhold og teknologiutvikling (Geodata 2016). Det skiller i hovedsak mellom tre typer datum. Disse er geodetisk datum, vertikalt datum og anleggsdatum (Statens Kartverk 2009).

3.3.1 Geodetisk datum

Geodetisk datum benyttes for å kunne angi posisjoner på jordoverflaten ved å beskrive forbindelsen mellom jorden og et valgt koordinatsystem. Geodetisk datum består i å velge en ellipsoides form og størrelse og dens plassering og orientering i forhold til jordkloden. I et geodetisk datum blir alle høyder oppgitt i ellipsoidiske høyder som er avstanden til referanseellipsoiden (Øvstedal 2014). Geodetisk datum kan igjen deles inn i toposentrisk og geosentrisk datum (Grinderud & Forsvarsbygg 2008).

Geosentrisk datum tar utgangspunkt fra jordens massesenter, hvor origo er plassert. I tillegg har det geosentriske datumet tre akser som går igjennom referansepolen (omtrent ved den magnetiske Nordpolen), Greenwich i London og en akse som står vinkelrett på disse. Et geosentrisk datum gir en nøyaktig plassering av et punkt i tre dimensjoner. Eksempler på geosentriske datum er blant annet EUREF89 og WGS84 (Grinderud & Forsvarsbygg 2008).

Toposentrisk datum er et klassisk datum som er knyttet til et fundamentalpunkt på jordoverflaten og hvor loddavvik og geoidehøyde må angis. Toposentrisk datum krever flere kjente parametere enn et geosentrisk datum. Ved benyttelse av kartvisning må toposentrisk datum brukes siden det har origo på jordoverflaten. NGO1948 og ED50 er eksempler på slike datum (Statens Kartverk 2009).

3.3.2 Vertikalt datum

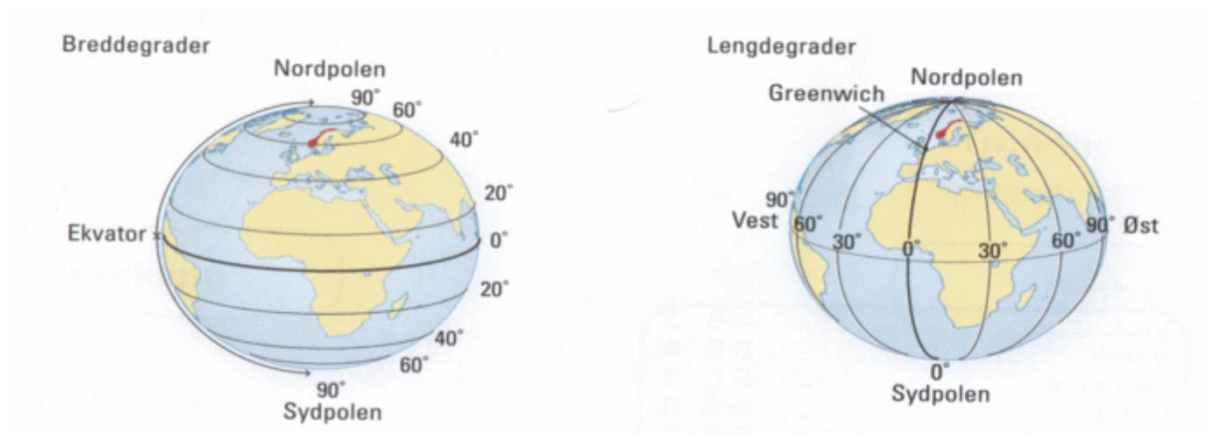
Vertikalt datum er det samme som et høydedatum og er knyttet til tyngderelaterte høyder. I et vertikalt datum er referanseflaten, som representerer nullnivået, viktig. I datumet er det geoiden som er referanseflaten for høydeangivningen og det oppgis vanligvis i «meter over havet». I Norge er det offisielle høydedatumet NN2000 som har erstattet det eldre datumet NN1954 (Statens Kartverk 2009).

3.3.3 Anleggsdatum

Anleggsdatum forklarer forbindelsen mellom et lokalt referansepunkt og et koordinatsystem. Et anleggsdatum er sterkt forenklet og gir nøyaktige posisjoner innenfor et begrenset område. Slike begrensede områder kan typisk være et anleggsområdet hvor bruken av datum er viktig, samt at forholdet til geoiden og ellipsoiden ikke trenger å være kjent (Statens Kartverk 2009).

3.4 Geografiske koordinatsystemer

For å gi posisjoner til ellipsoiden, slik at jordoverflaten kan stedfestes, trengs et koordinatsystem. Det geografiske koordinatsystemet er mye benyttet. Det bruker en tredimensjonal ellipsoidmodell for å identifisere punkter og områder på jordens overflate (Geodata 2016). For å få til dette benytter systemet meridianer (lengdegrader) og parallellsirkler (breddegrader) som enkelt kan relateres til jordoverflaten som vist i Figur 3-3. Meridianer (lengdegrader) er halvsirkler som strekkes mellom polene, mens parallellsirkler (breddegrader) er sirkler som strekkes parallelt med ekvator (Strande 1981). Breddegraden defineres som null ved ekvator og stiger til 90 grader ved polene. Lengdegraden er definert som null ved meridianen som går gjennom Greenwich i London og regnes til 360° østover eller til 180° østover og 180° vestover. For å nøyaktig kunne oppgi posisjoner i et geografisk koordinatsystem blir det operert med desimalgrader eller på formen grader, minutter og sekunder (Grinderud & Forsvarsbygg 2008).



Figur 3-3: Inndelingen av lengdegrader og breddegrader i det geografiske koordinatsystemet (Gol VGS 2016)

De komponentene som et geografisk koordinatsystem består av er ifølge Esri (2015a):

- **En vinkelmåleenhet:** Dette er enten desimalgrader eller på formen grader/minutter/sekunder
- **Meridianer:** Hvor nullmeridianen blir definert gjennom Greenwich i London
- **En referanseellipsoide:** Er en matematisk modell som estimerer jordens størrelse og form
- **Et datum:** Benytter et sett med kjente kontrollpunkter til å definere lengde- og breddegraden på referanseellipsoiden

3.5 Projiserte koordinatsystem (kartprojeksjon)

Ifølge Øvstedal (2014) handler kartprojeksjon om «*overføring av den krumme jordoverflaten eller deler av denne til en gjengivelse i planet ved et matematisk formelverk eller geometrisk projeksjon*». Projiserte koordinatsystem handler altså om å gjenspeile jordoverflatens tredimensjonale geografiske koordinatsystem på et todimensjonalt flatt kart. Kartprojeksjon er ønskelig fordi det gjør det mulig å få terrenget på bordet eller på en flat dataskjerm, samtidig som det gjør overflaten målbare i lineære enheter, slik som eksempelvis meter og kvadratmeter. Et projisert koordinatsystem består av linjer som skjærer hverandre i rette vinkler og danner et rutenett. Projeksjoner har et origo, en x- og y-akse, samt en enhet for å måle avstand (Esri 2015a).

Et projisert koordinatsystem vil bestå av følgende komponenter (Esri 2015a):

- Et geografisk koordinatsystem som er grunnlaget for å transformere koordinatene til et flatt plan
- En lineær målenhet som representerer enheter på en plan overflate, som vanligvis er i enheten meter eller fot
- En projeksjon som er en matematisk transformasjon som brukes til å konvertere fra geografiske koordinater til plankoordinater

3.5.1 Forskjellige projiseringsmetoder og egenskaper

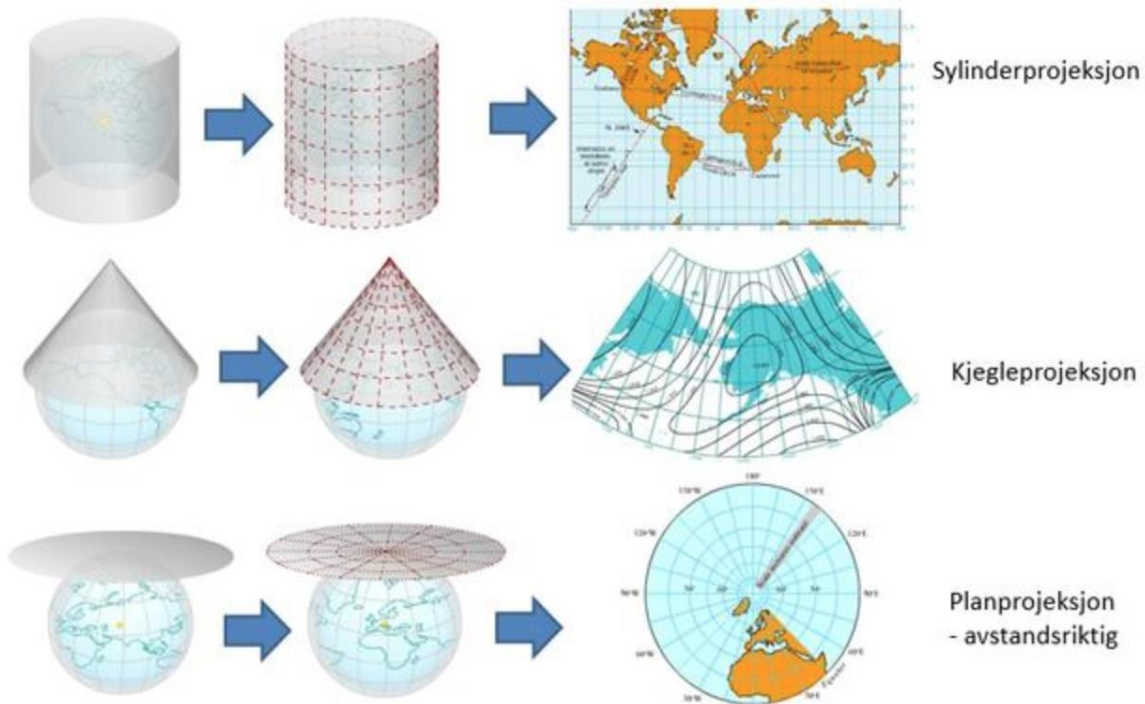
Kartprojeksjon består i å overføre gradnettet til jorden over på et plant kart. Det er umulig å gjengi forholdene til den runde jordkloden til en plan flate uten at noen egenskaper blir forandret. Det vil alltid oppstå en viss grad av forvrengninger i form av at noen områder må krympes og strekkes. Desto mindre kartets område er, desto mindre vil disse forvrengningene være. Det finnes i hovedsak fire egenskaper til et projisert kart (Geodata 2016):

- Formlikhet
- Areallikhet
- Avstandslikhet
- Retning

Det er ikke mulig å bevare alle egenskapene i et projisert kart samtidig. Dette betyr at hvis en av egenskapene vil bevares går dette utover de andre. Det finnes derfor flere

projiseringsmetoder for bevaring av de ulike egenskapene. De forskjellige projiseringsmetodene er vist i Figur 3-4 og er i hovedsak (Strande 1981):

- Sylinderprojeksjon
- Kjegleprojeksjon
- Planprojeksjon



Figur 3-4: De tre hovedtypene av prosjiseringsmetoder som er sylinder-, kjegle-, og planprojeksjon (Gol VGS 2016)

Sylinderprojeksjon

Sylinderprojeksjon fremkommer ved at det tenkes en sylinder som plasseres rundt jordkloden, som vist i Figur 3-4. Gradnettet overføres da til sylindere som tangerer jorden rundt en breddesirkel eller en meridian. Nøyaktigheten til projeksjonen er størst rundt tangeringspunktet og forvrengingen øker utover dette berøringspunktet. Ved bruk av sylinderprojeksjon vil breddesirklene og meridianene danne et sett av rektangler når kartet projiseres til en plan flate (Strande 1981). Eksempler på sylinderprojeksjoner er Mercator- og Transversal Mercator-projeksjon (Statens Kartverk 2009). De vanligste projeksjonene for geografiske data og som benyttes mest i Norge er Mercators Transversal-projeksjon, som også kalles Gauss-Krüger-projeksjon, og Universal Transversal Mercator (UTM) (Øvstedal 2014).

Kjegleprojeksjon

Kjegleprojeksjon innebærer å tenke på en kjegle som plasseres over jordkloden og tangerer jorden langs en mindre sirkel, ofte en breddesirkel. Gradnettet overføres til en kjegleflate som

da kan fremstilles på et flatt plan ved at meridianene rettes ut, som vist i Figur 3-4. Ved en kjegleprojeksjon vil den største nøyaktigheten være nær tangeringssirkelen. Når kjegleprojeksjon benyttes som fremstillingsmetode benyttes det ofte flere kjegler, slik at det blir flere berøringssirkler. Dette kalles polykonisk projeksjon (Strande 1981). Eksempler på kjegleprojeksjoner er da polykonisk- og Lamberts konforme kjegleprojeksjon (Statens Kartverk 2009).

Planprojeksjon:

Planprojeksjon fremkommer av at det tenkes et plan som tangerer jordkulen i et bestemt punkt, som vises i Figur 3-4. I et slikt tilfelle overføres gradnettet til planet etter et bestemt system. Ved en slik projeksjon er egenskapene best bevart i tangeringspunktet, som oftest er sentrum av kartet. Planprojeksjon er mest benyttet til å fremstille polområdene som ligger mellom 60° og 90° breddegrad (Strande 1981). Eksempler på planprojeksjoner er Stereografisk- og Gnomonisk projeksjon (Statens Kartverk 2009).

3.6 Relevante datum og projeksjoner i Norge

Det finnes en rekke ulike datum og projeksjoner. I de neste avsnittene blir de mest relevante datumene og projeksjonene for norske forhold belyst. Det offisielle datumet er EUREF89 med UTM koordinatsystem og benyttes i dag i alle Norges kommuner.

3.6.1 Datum

Euref89:

EUREF89, også omtalt som ETRS89, står for «European Terrestrial Reference System». I dag er EUREF89 Norges offisielle og mest benyttede datum. EUREF89 er et geosentrisk datum som er basert på presise satellittmålinger over hele Europa (Statens Kartverk 2002).

EUREF89 realiseres gjennom festemerker (stamnett og landsnett) som i praksis definerer datumet. Norge innførte EUREF89 som offisielt datum i 1997 og gikk da over fra tradisjonelle til satellittbaserte geodetiske metoder som baseres på GPS (Mæhlum 2015).

EUREF89 er et regionalt datum for Europa og var en kopi av satellittdatumet WGS84 når det ble opprettet i 1989. Kontinentalplatebevegelser har ført til at systemene i dag har en forskjell på omtrent 30 cm (Grinderud & Forsvarsbygg 2008). EUREF89 benyttes sammen med UTM projeksjonen og ble i løpet av 2009 innført som offisielt datum og projeksjon i alle landets kommuner. Innføringen av EUREF89 og kartprojeksjonen UTM har gitt «*et moderne*,

homogent og nøyaktig geodetisk grunnlag som for de fleste praktiske formål kan ansees som feilfritt» (Statens Kartverk 2016a).

WGS84:

WGS84 står for «World Geodetic System». WGS84 er også et datum som gjelder for hele verden og som benyttes for posisjonsbestemmelse med satellittsystemet Navstar GPS.

WGS84 avbildes også med kartprojeksjonen UTM (Statens Kartverk 2002).

NGO1948:

NGO1948 er ikke lenger i bruk da dette ble erstattet av EUREF89. NGO1948 var tidligere Norges offisielle datum. NGO står for «Norges geografiske oppmåling» og datumet er et lokalt toposentrisk datum som er beregnet for norske forhold. NGO1948 benytter Mercators Transversal-projeksjon, som også kalles Gauss-Krüger-projeksjon, med et norsk aksesystem. Datumet var benyttet til nesten alle tekniske kart og økonomiske kartverk hvor målestokken var større enn 1:10 000 (Grinderud & Forsvarsbygg 2008; Statens Kartverk 2015c; Øvstedal 2014).

ED50:

ED50 står for «European Datum 1950» og benytter kartprojeksjonen UTM. ED50 brukes i Nordsjøen til å angi kontinentalsokkel- og konsesjonsgrenser. ED50 er et tidligere datum som ofte benyttes i gamle turkart og oversiktskart. Forskjellen mellom ED50 og EUREF89 kan være hele 200-300 m slik at det er viktig å vite hvilken datum som benyttes (Grinderud & Forsvarsbygg 2008; Statens Kartverk 2002).

3.6.2 Projeksjoner

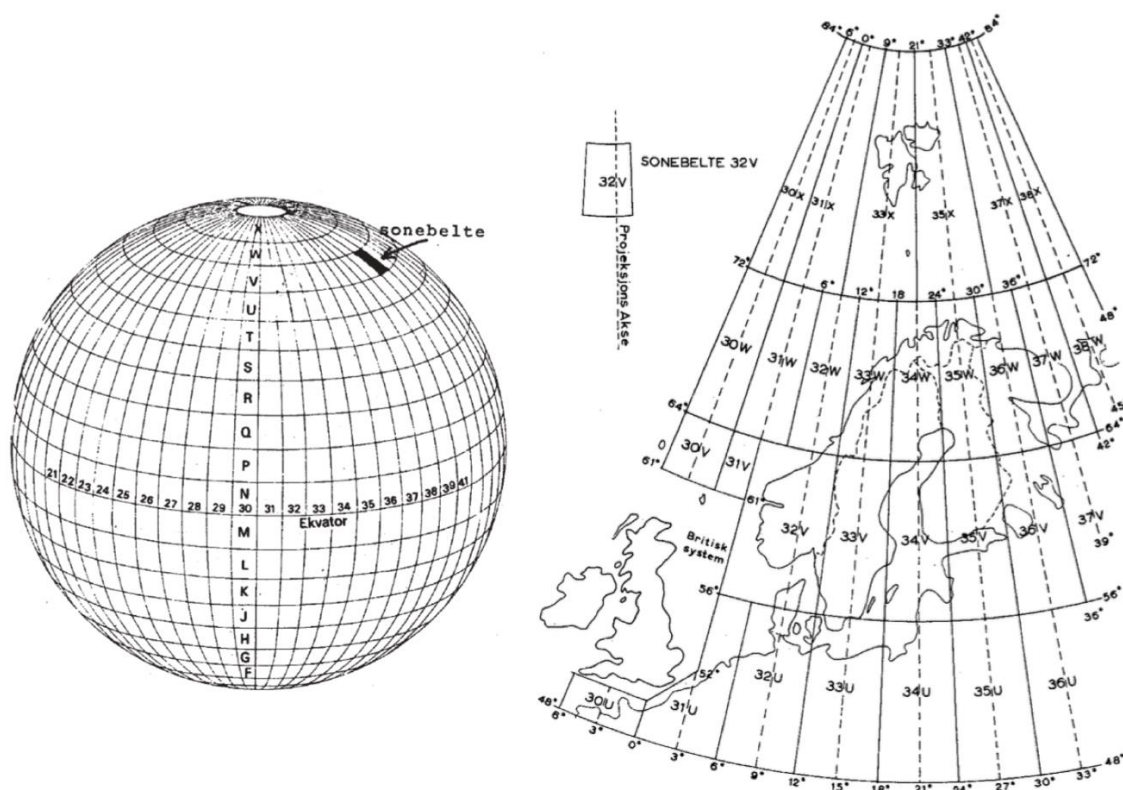
UTM (Universal Transversal Mercator):

UTM står for Universal Transversal Mercator og er et verdensomspennende koordinatsystem som benytter sylinderprojeksjon til å fremstille koordinatsystemet. I forhold til vanlig sylinderprojeksjon som tangerer ekvator, benyttes en mindre sylinder slik at det oppstår to tangeringsmeridianer som vist i Figur 3-5. Kartet vil derfor være måleriktig ved to steder parallelt med tangerinslinjer. Hensikten med dette er å fordele feilene til projeksjonene slik at forvrengingene blir mindre. Dette fører til at målestokksfaktoren er lik 0,9996 ved tangeringsmeridianen (Strande 1981).



Figur 3-5: To tangeringsmeridianer for sylinderprojeksjonen til UTM (MapRef 2011)

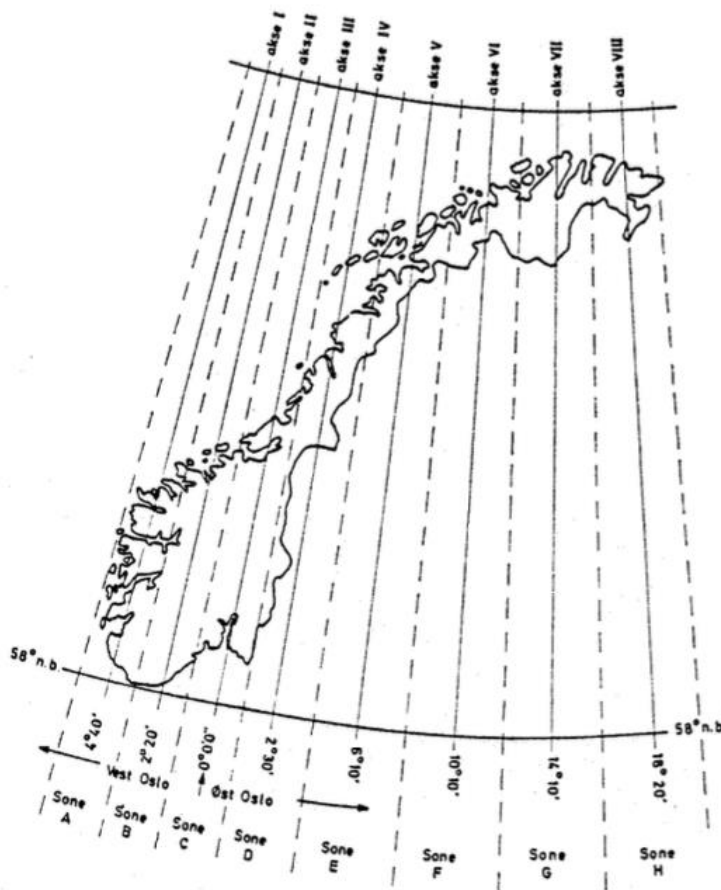
I et UTM koordinatsystem blir verden delt inn i rutenett på 60 like store soner fra 80° syd til 84° nord. Hver av sonene representerer 6 grader og nordlig referanse oppgis ofte i bokstavbenevnelser som vist i Figur 3-6. UTM koordinatsystemet oppgis med E (East) og N (North). For å unngå negative koordinater har UTM systemet en forskyvning på E = 500 000 m og N = 10 000 000 m. I Norge benyttes fem UTM soner som er 32V, 33V, 32W, 33W, 34W, 35W og 36W (Strande 1981). Ifølge Statens Kartverk (2009) benyttes det i norsk tekniske- og økonomiske kartserier «sone 32 for Syd- Norge til og med Nord- Trøndelag, sone 33 for Nordland og Troms og sone 35 for Finnmark».



Figur 3-6: Sonebelteinndelingen til UTM koordinatsystem (venstre). Soneinndelingen av Norden (høyre) (Strande 1981)

NGOs koordinatsystem (Norsk akseystem):

Datumet NGO1948 benytter et eget koordinatsystem som er beregnet for Norske forhold. Koordinatsystemet eller projeksjonen bygger på Gauss-Krüger-sylinderprojeksjon med målestokkfaktor lik 1 ved tangeringsmeridianen. Som vist i Figur 3-7 benytter systemet hele 8 tangerende sylindere (projeksjonssoner) for å dekke hele Norge (I til VIII). Koordinatene kan være både positive og negative, og har origo på 58° nord og langs akse III. Systemet oppgis med XY koordinater hvor X-aksene går nordover langs tangerinsmeridianene, mens Y-aksen står vinkelrett på denne i øst-vest retning og hvor positiv retning da er østover. Utgangspunktet for systemet er akse III som går igjennom Oslos Observatorium, hvor Y-aksen er på 0° (Eiken 2011; Strande 1981).

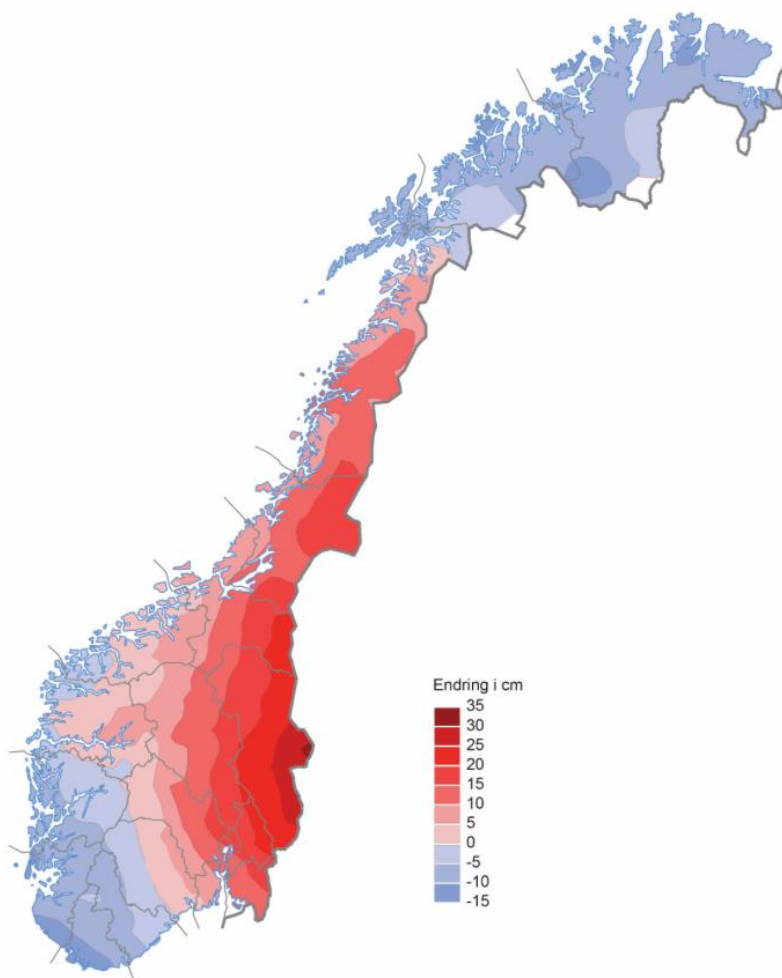


Figur 3-7: NGOs koordinatsystem (Strande 1981)

3.7 Høydesystem

Ved benyttelse av tredimensjonale data kreves det det at høydegrunlaget er godt spesifisert. I Norge er høydesystemene NN1954 og NN2000 de som blir benyttet, og hvor NN står for

«Normal Null». NN2000 er et nytt høydesystem som er i ferd med å erstatte det gamle systemet NN1954. NN1954 har ligget til grunn når antall meter over havet har blitt oppgitt. I dag er systemet over 60 år gammelt og har en rekke svakheter og mangler. Noen av svakhetene skyldes land- og havnivåstigning som systemet ikke er korrigert for. Landnivåstigningen har variert i Norge, som vist i Figur 3-8, slik at avviket kan komme opp i over 30 cm (Statens Kartverk 2015b). I forsøksområdet i Drammen kommune ble det nye høydesystemet (NN2000) innført fra 1. desember 2014. Drammen kommune har hatt en midlere landheving slik at avviket mellom høydesystemene ligger mellom 9-14 cm, noe som tilsvarer omtrent 3 mm/år (Drammen kommune 2016).



Figur 3-8: Høydeforskjellen ved overgangen fra NN1954 og NN2000 (Statens Kartverk 2015b)

Det nye systemet NN2000 er et felles vertikalt datum for de nordiske landene som representeres ved geoiden som referanseflaten. Systemet er laget slik at all landheving fremover vil bli korrigert ved hjelp av landhevingsmodeller slik at systemet skal være riktig i overskuelig fremtid (Statens Kartverk 2016b).

Innføringen av NN2000 som et landsdekkende høydesystem begynte i 2011 og skal være ferdig i 2016-2017 (Statens Kartverk 2015b). Begrunnelsen for innføringen er ifølge Statens Kartverk (2016b):

- Høydesystemet må stemme overens med fysiske forhold
- Kun et ensartet homogent høydesystem for hele landet, med kjent kvalitet. Det er en gylden anledning til å rydde opp i gamle kommunale høydenett
- Bedre kunne utnytte moderne høydeteknologi
- Nøyaktige 3D-data og data fra laserskanning stiller store krav til høydegrunnlaget
- Kan mer presist påvise middelvannets beliggenhet som er viktig ved bygg- og anleggsvirksomhet ved sjøen

3.8 Utvekslingsformater

Det er viktig med gode utvekslingsformater slik at to parter med ulik programvare eller ulik datamodell kan utveksle data. Det finnes forskjellige utvekslingsformater. I Norge brukes det som kalles SOSI, som står for samordnet opplegg for stedfestet informasjon. Internasjonalt brukes GML (Tveite 2014) som utvekslingsformat, GML står for «Geography Markup Language».

3.8.1 SOSI (samordnet opplegg for stedfestet informasjon)

SOSI er en standard som brukes i Norge innenfor geografiske data. Standarden kom i 1987 og brukes i dag til å beskrive geometri, koordinatsystem, topologi, kvaliteten på data, metadata og begrensninger for områder. SOSI blir benyttet som utvekslingsformatstandard, samt brukt som en standard for rådataformat og lagringsformatstandard. Standarden forteller hvordan objekter og egenskaper blir gitt en bestemt geografisk tilknytning med et krav til nøyaktigheten i plasseringen (Grinderud & Forsvarsbygg 2008). SOSI modellen inneholder regler for koding og definisjoner av objekttyper for egenskaper som er aktuelle (Tveite 2014).

3.8.2 GML (Geography Markup Language)

GML er standarden som brukes for å utveksle geografisk data på XML-format (Grinderud & Forsvarsbygg 2008). GML er framtidens SOSI syntaks og GML har blitt standardisert ved OGC (Open Geospatial Consortium) og ISO TC211 (Tveite 2014).

3.9 Laserskanning

Før 2006 ble høydedata i Norge innhentet ved hjelp av fotogrammetriske konstruksjoner av foto som ble tatt ovenfra med stereoinstrumenter. Etter 2006 har det vært laserskanning, ved hjelp av flyvning, som har blitt den vanlige måten å hente inn høydeinformasjon (Statens Kartverk 2015a). Vanlig punkttetthet på en slik laserskanning er på 0,5 - 5 punkter/kvadratmeter. Punkttettheten er avhengig av hva som er ønskelig, og hvor mye som er satt av til dette i budsjettet. I tillegg vil områdets egenskaper ha noe å si på hva slags punkttetthet som ønskes.

I følge Statens Kartverk (2015a) kan detaljert høydedata brukes i følgende situasjoner:

- Når kommuner og andre myndigheter skal bestemme detaljplanlegging. Hvor det skal gis ut tillatelse til å bygge nært vann. Til å kartlegge beredskapsplanlegging i forhold til klima og miljø. For å beregne støy, og det kan også brukes i risiko- og krisehåndteringssituasjoner
- Luftfartsmyndigheter kan bruke den detaljerte høydeinformasjonen til å heve flysikkerheten rundt flyplasser
- I skogbruket kan det brukes til å følge med på skogsfelt, i forhold til planlegging, drift av skogsområder, taksering, beregning av biomasse og klimaregnskap.
- Forsikringsbransjen kan utnytte høydedata til å klassifisere risiko rundt objekter som er forsikret
- Vindkraftindustrien kan benytte høydedata for å finne den mest egnede plassen å ha vindkraftverk
- Mobiltelefonoperatører kan beregne signalstyrke og dekning ut i fra detaljert høydedata. På denne måten kan mobilmaster plasseres på steder hvor det gir mest dekning

I Figur 3-9 vises en illustrasjon på hvordan LiDAR (light detection and ranging) prinsippet fungerer. En optisk-mekanisk skanner blir benyttet. Det blir sendt ut laserstråler, som blir reflektert av bakken. Tiden det tar for strålen å komme tilbake, forteller noe om avstanden fra måleinstrumentet til bakken (Wehr & Lohr 1999). Flyet beveger seg over bakken og laserstrålene sveiper over et område på tvers av flyretningen. Det er viktig at flyet flyr under skydekket, og at det ikke gjøres laserskanning ved høy luftfuktighet eller regn. Bakken burde være fri for snø, og det bør ikke være en flomhendelse (Paule 2012). LiDAR kan bli benyttet

både fra helikoptre og fly (Baltsavias 1999). Måleinstrumentet har en GPS innebygd, slik at det til enhver tid finnes en oversikt over hvilken plassering flyet eller helikoptret har. I tillegg vil det være en GPS på bakken som samler inn informasjon om plassering. De to GPS-mottakerne samler inn data som blir prosessert sammen med laserdataene (Grinderud & Forsvarsbygg 2008). Ved å samle inn mange slike punkter vil høydedataene bli svært detaljerte. Ved bruk av laserskanning kan det bli gitt høydedata med en nøyaktighet på 2-3 cm på harde, veldefinerte flater (Paule 2012). LiDAR klarer i tillegg delvis å penetrere gjennom for eksempel skog, og kan derfor også gi et bilde av hva som gjemmes under skogen (Geospatial Modeling & Visualization 2016). Laserskanning blir ofte avlevert som en LAS-fil. Fra LAS-filen kan det dannes DTM (digital terrain model) og DHM (høydemodeller/overflatemodeller) (Statens Kartverk 2015a). Det er laserdata som ligger til grunn for terrengmodellen som har blitt produsert i dette masterarbeidet.

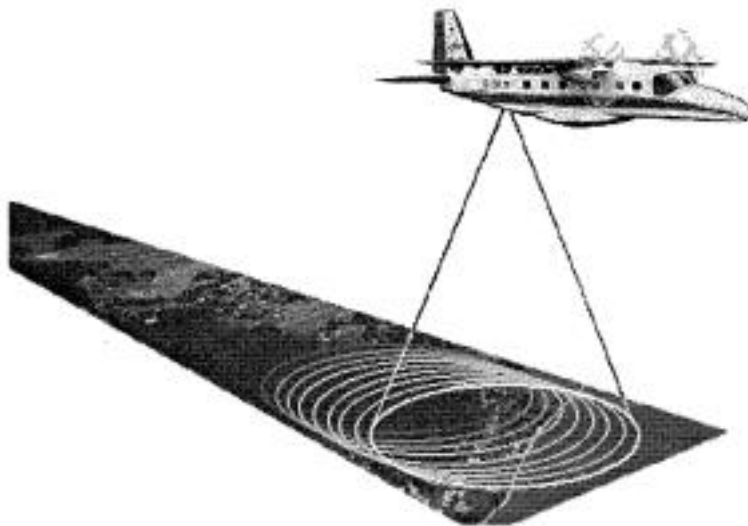


Fig. 10. Progressing Palmer scan.

Figur 3-9: Viser hvordan et fly henter inn LiDAR data ved hjelp av en optisk-mekanisk skanner (Wehr & Lohr 1999)

3.9.1 Delspesifikasjoner

Laserskanning med en høyere detaljgrad er dyrere enn ved lavere detaljgrad. Det deles derfor inn i forskjellige spesifikasjoner. FKB-Laser 10, FKB-Laser 20 og FKB-Laser 50 er de tre delspesifikasjonene. Tallet sier noe om nøyaktigheten til stedfestingen. FKB-Laser 10 har størst nøyaktighet knyttet til detaljering og stedfesting. (Urset et al. 2013).

FKB-Laser 10 skal benyttes der det er strenge krav til nøyaktigheten. Dette kan være områder som skal utbygges, skog som skal takseres ved hjelp av enkeltremetoden og analyser som skal gjøres innenfor arkeologi og geologi. Nøyaktigheten i forhold til stedfestingen skal være mindre enn 10 cm for veldefinerte terrengoverflater. Typisk punkttetthet for FKB-Laser 10 er fra 2 til 10 punkter per kvadratmeter (Urset et al. 2013).

FKB-Laser 20 skal brukes der det trengs en detaljert beskrivelse av terrenget. Det er de samme bruksområdene som for FKB-Laser 10, men i tillegg brukes FKB-Laser 20 til skogtaksering med arealmetoden. For FKB-Laser 20 vil nøyaktigheten til stedfestingen være mindre enn 20 cm for veldefinerte terrengoverflater. Ofte vil det bli brukt en punkttetthet på 0.5 til 2 punkter per kvadratmeter (Urset et al. 2013).

FKB-Laser 50 brukes i områder med skog og fjell, hvor det er ønskelig å utbedre høydedata som allerede eksisterer. Ved denne spesifikasjonen skal nøyaktigheten til stedfestingen være bedre enn 50 cm for veldefinerte flater. Punkttettheten vil ofte være et sted mellom 0.1 til 0.5 punkter per kvadratmeter (Urset et al. 2013).

I produktspesifikasjonen med tittelen «*Nasjonalt modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)*» (Urset et al. 2013) gis det krav til nøyaktighet. I Tabell 3-1 vises de ulike toleranseverdiene for de ulike laserdataene. Det vises at det er minst toleranse til feil i FKB-Laser 10, og størst toleranse til feil i FKB-Laser 50.

Tabell 3-1: Krav til nøyaktighet i forhold til høydegrunnlag for de ulike laserkategoriene (Urset et al. 2013)

Kvalitetselement	Delelement	Kvalitetsmål	Høydegrunnlag		
			FKB-Laser10 Toleranse	FKB-Laser20 Toleranse	FKB-Laser50 Toleranse
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt høydenøyaktighet	Standardavvik	0.04 m (0)	0.07 m (0)	0.17 m (0)
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt høydenøyaktighet	Systematisk avvik	0.10 m (1)	0.20 m (1)	0.50 m (1)
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt grunnrissnøyaktighet	Systematisk avvik	0.30 m (2)	0.60 m (2)	1.50 m (2)
Egenskapsnøyaktighet	Nøyaktighet til kvalitative egenskaper - feilklassifisering	Prosentandel feil klassifiserte punkt (jf. LAS-klassene)	2 % (3)	2 % (3)	2 % (3)
		Andel bakkepunkt på åpne veldefinerte flater	80 % (4)	80 % (4)	80 % (4)
Logisk konsistens	Egenskaps-konsistens	Prosentandel feil	0 % (5)	0 % (5)	0 % (5)
Logisk konsistens	Formatkonsistens	Prosentandel feil	0 %	0 %	0 %

3.10 Digitale terrengmodeller

En digital terrengmodell er en måte å visualisere markoverflaten. Når dette skal bli utført på en datamaskin blir punkter lagret med x, y og z koordinater. I tillegg lages det beregningsmetoder for å finne z-verdier der det mangler, ut i fra hvilken x og y koordinat punktet har. Dette kalles for interpoleringsmetoden. Digitale terrengmodeller er ofte modeller som skal vise høyder (Grinderud & Forsvarsbygg 2008). En DTM (digital terreng modell) gir en visualisering av terrenget i 3D og kan brukes til blant annet analyse av flomutsatte områder (Grinderud & Forsvarsbygg 2008). Kvalitetene på dataene vil avgjøre hvor god analysen blir. Terrengmodeller lages enten som en TIN (triangulated irregular network) eller som et raster.

3.10.1 TIN (Triangulated Irregular Network)

TIN er en metode for å representere overflaten. TIN er en type vektorbasert geografisk data som er oppbygd av triangulære flater som kobler tre punkter. Modellen vil da bli dekket med triangulære flater, slik at ethvert punkt i modellen kan bli knyttet til en spesifikk høyde (Chrisman 1997). En forskjell mellom TIN og raster er at TIN kan benytte linjer og flater i tillegg til punkt. Fordelen ligger i at modellen kan ha få punkter i et område, og mange punkter i et annet. En utfordring knyttet til bruken av TIN, er de forskjellige metodene som kan benyttes for å lage trekantene. Ofte brukes Delauney-trianguleringsmetoden for å definere de triangulære flatene (Grinderud & Forsvarsbygg 2008).

3.10.2 Rastermodell

I et rastersystem blir jordoverflaten delt inn i et ruter som ofte kalles for piksler. For hver av disse pikslene blir det registrert en verdi (O'Sullivan & Unwin 2014). Dette kan for eksempel være en høydeverdi hvor attributter (egenskaper) kobles til pikslene. Objektene (for eksempel bygninger og veger) har ikke slik informasjon og objektene kan ligge innenfor flere av pikslene. Fordelene med raster er at det er raskt å samle inn data til rasteret og at det enkelt å organisere. Ulempen med rastermodeller er at de ikke får frem ruheten i flaten på en like god måte som TIN-modellene, og det vil derfor være nødvendig å benytte et mindre rutenett der det er mange høydeforskjeller. En rastermodell kan benyttes til å utføre romlige analyser (Grinderud & Forsvarsbygg 2008). I dette masterarbeidet har rastermodeller blitt benyttet i den digitale terrengmodellen.

3.11 FKB-data

FKB-data står for felleskartdatabase og er et sett med detaljerte kartdata utgitt av Geovekst. Dette er en samling av data som foreligger på vektorform (Statens Kartverk 2013a). FKB er en samling av grunnleggende geografiske data som brukes innenfor for eksempel økonomiske og tekniske kartverk. Datasettene brukes til kart i målestokk 1:500, 1:1000 og 1:5000 (Grinderud & Forsvarsbygg 2008).

3.11.1 Geovekstsamarbeidet

Geovekstsamarbeidet defineres av Geovekst (Paule 2012) som «*et samarbeid om felles etablering, forvaltning, drift, vedlikehold og bruk av geografisk informasjon*». Samarbeidet startet i 1992, da det ble inngått en avtale mellom de store aktørene innenfor geografiske data. De sentrale aktørene er (Paule 2012):

- Norges energiverksforbund
- Kommunes Sentralforbund
- Landbruksdepartementet
- Statens vegvesen
- Statens kartverk
- Televerket

Aktørene ønsker gjennom Geovekstsamarbeidet å ha et felles sett med geografisk informasjon. På denne måten kan det spares penger ved at det samarbeides om å hente inn data. Alternativet ville vært at hver aktør laget egne datasett til sitt bruk. For å få til et samarbeid blir det brukt standarder, slik at alle kan få benyttet dataene på en best mulig måte. Dette samarbeidet har gitt konseptet som kalles Felles Kartdatabase (FKB) og kartdatabasen er det viktigste produktet fra Geovekstsamarbeidet (Paule 2012).

3.11.2 FKB-Datasettene

FKB-data, alene eller sammen med andre data, skal kunne brukes til (Paule 2012):

- Forvaltningsmessig saksbehandling i kommuner, Statens vegvesen og ledningsetater
- Saksbehandling knyttet til plan- og bygningsloven med forskrifter
- Prosjektering

- Analyse og presentasjon i integrerte informasjonssystemer (GIS)
- Produksjon av kart og avledede produkter med ulike krav til innhold, detaljering og stedfestingsnøyaktighet i målestokkområdet 1:500 - 1:30 000

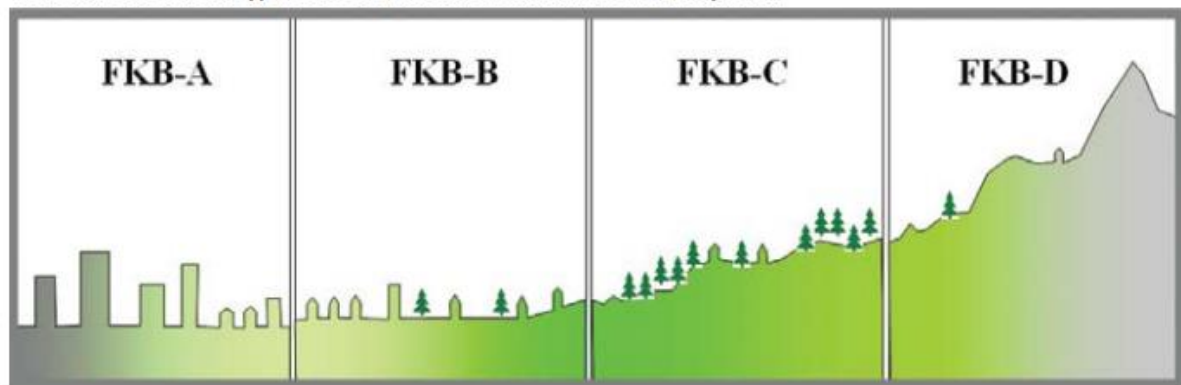
Ulike FKB-datasett er listet opp i Tabell 3-2 (Paule 2012):

Tabell 3-2: De ulike FKB-datasettene (Paule 2012)

• Terrengform	• Vann	• Eiendomskart	• Servitutt
• Markslag/AR5	• Naturinfo	• Arealbruk	• Bygning
• BygnAnlegg	• Verneområde	• Kulturminne	• Veg
• Vegnett	• Bane	• Lufthavn	• LedningVA
• LedningEITele	• Fastmerke	• Adresse	• PblTiltak

FKB-datasettene knyttet til veg, vann, bane og bygninger har blitt benyttet i denne oppgaven. FKB-datasettene er inndelt i ulike kategorier som er standardiserte. De fire kategoriene er FKB-A, FKB-B, FKB-C og FKB-D. FKB-A er den mest nøyaktige av disse, og den med størst detaljgrad. I Figur 3-10 vises de ulike områdene hvor kategoriene skal benyttes. Figuren viser at det kreves mer detaljerte data der det er tettere bebyggelse.

Oversikt over områdetypene som de ulike FKB-standardene skal benyttes i:



Figur 3-10: De ulike områdetypene hvor de ulike FKB-standardene gjelder (Paule 2012)

I Tabell 3-3 forklares det hvilke områder som skal bruke de ulike FKB-kategoriene. Tabellen samsvarer godt med Figur 3-10 som viser at der det er tettere bebygd kreves det mer detaljerte data og motsatt for lite bebygde områder.

Tabell 3-3: Hvilke områder de ulike standardene gjelder i (Statens Kartverk 2014b)

FKB-standard	Områdetype i Geodata-standarden [G]	Beskrivelse av områdetypen
FKB-A FKB-B	Områdetype 1	Byområder og tettsteder med høy utnyttingsgrad Dette vil som regel være sentrale byområder og tettsteder med høy grad av utnyttning eller svært høy grunnverdi.
FKB-B	Områdetype 2	Tettbygd/utbyggingsområder med noe mindre utnyttingsgrad Dette vil være områder som i kommuneplanen er eller forutsettes disponert til tettsteds- og utbyggingsformål og som ikke omfattes av områdetype 1.
FKB-B FKB-C	Områdetype 3	Spredtbygd/dyrket mark/skog Dette vil være områder som i kommuneplanen er eller forutsettes disponert til jordbruk eller skogbruk og spredt bebyggelse.
FKB-D	Områdetype 4	Fjell/ekstensiv arealutnyttning Dette vil være den delen av kommunen som har en ekstensiv arealutnyttning og lav grunnverdi: som regel fjellområder eller tilsvarende lite produktive arealer.

De ulike FKB-kategoriene har også forskjellige bruksområder. I Tabell 3-4 vises forskjellene i nøyaktighet.

Tabell 3-4: De ulike nøyaktighetsklassene for de ulike standardene (Statens Kartverk 2014b)

FKB-STANDARD		Nøyaktighetsklasse			
		Klasse 1 Svært veldefinerte detaljer	Klasse 2 Veldefinerte detaljer	Klasse 3 Uskarpe detaljer	Klasse 4 Diffuse naturlige detaljer
FKB-A	Grunnriss	0.15 m	0.20 m	0.35 m	0.55 m
	Høyde	0.15 m	0.20 m	0.25 m	0.35 m
FKB-B	Grunnriss	0.20 m	0.25 m	0.35 m	0.55 m
	Høyde	0.20 m	0.25 m	0.35 m	0.40 m
FKB-C (fotogrammetri)	Grunnriss	0.40 m	0.45 m	0.50 m	1.00 m
	Høyde	0.40 m	0.60 m	0.70 m	0.90 m
FKB-C (digitalisering)	Grunnriss	2 m (1)	2 m (1)	2 m (1)	2 m (1)
	Høyde	2 m (1)	2 m (1)	2 m (1)	2 m (1)
FKB-D	Grunnriss	10-50 m (2)	10-50 m (2)	10-50 m (2)	10-50 m (2)
	Høyde	10-50 m (2)	10-50 m (2)	10-50 m (2)	10-50 m (2)

FKB-data blir sett på som Norges offentlige kart på digital format (Mæhlum 2011).

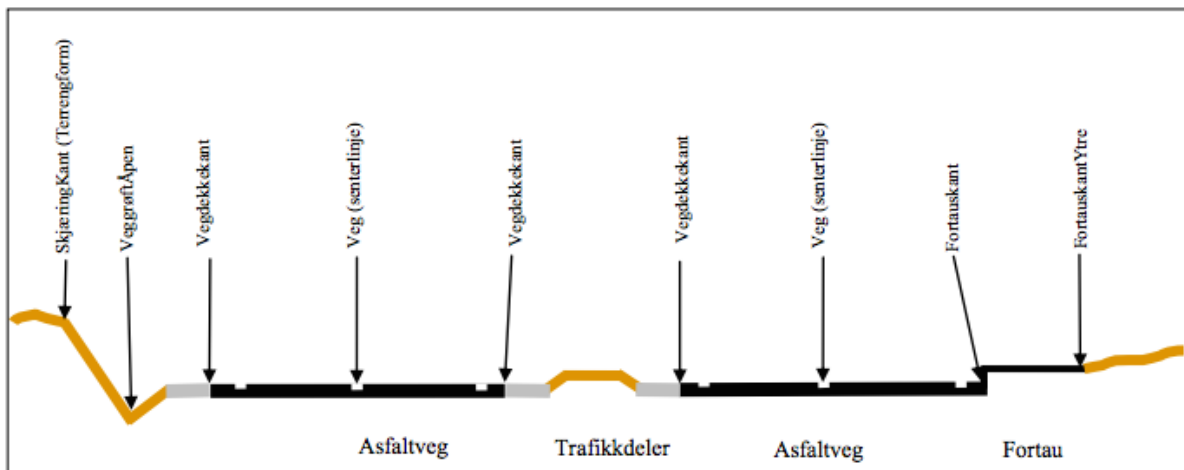
Målsettingen med FKB er at det skal være så lite overlapp som mulig slik at det unngås at like kartdata produseres to ganger (Grinderud & Forsvarsbygg 2008).

FKB-Veg

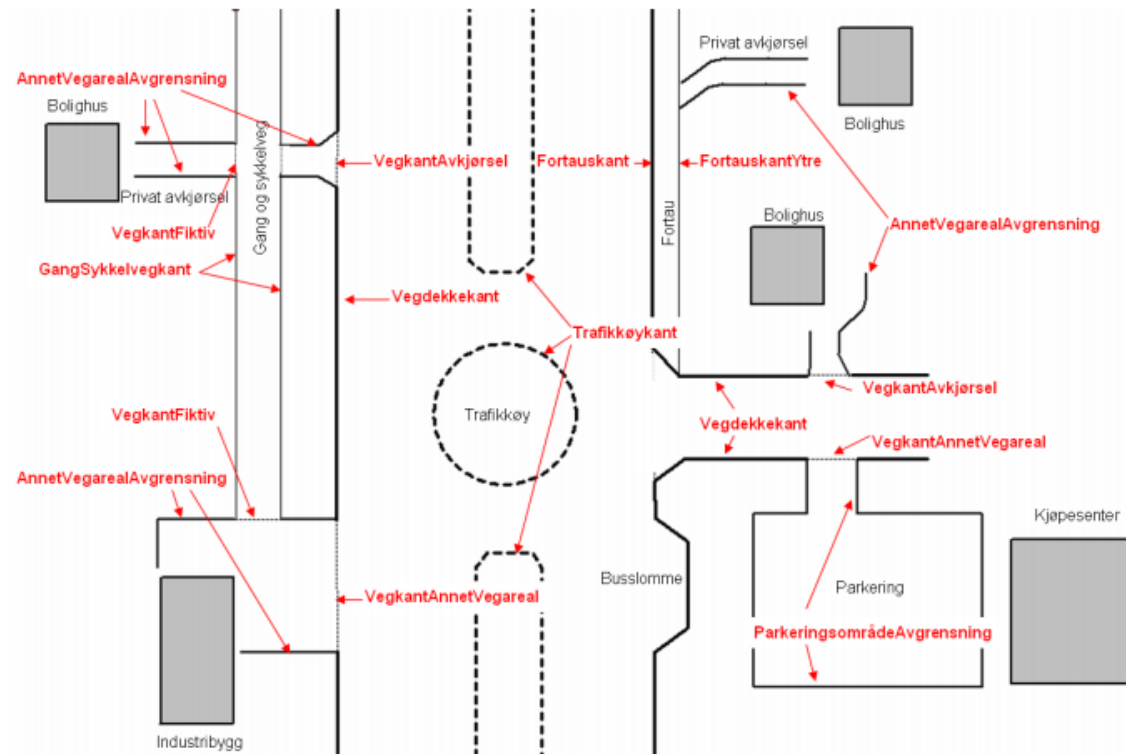
FKB-veg er FKB-datasettet for veg og er delt inn i forskjellige objekttyper. Datasettet skal sammen med andre datasett, føre til at kartbildet kan bli detaljert og godt (Statens Kartverk 2014c). De ulike objekttypene vises i Tabell 3-5 hentet fra produktspesifikasjon av FKB-data for veg. Det er delt inn i flater, flateavgrensede linjer, andre avgrensingslinjer og annet. I Figur 3-11 og Figur 3-12 vises de ulike objektene i tverrsnitt, og plan.

Tabell 3-5: De ulike objekttypene i FKB-datasettet for Veg (Statens Kartverk 2014c)

FKB-Veg Objektinndeling			
Flate	Flateavgrensende linjer	Andre avgrensningslinjer	Annet
Veg	Fortauskant	AnnetVegarealAvgrensning	Trafikksignalpunkt
Trafikkøy	Trafikkøykant	FortauskantYtre	Vegsperring
GangSykkelveg	VegkantAnnetVegareal	Kjørebane kant	Skiltportal
Traktorveg	GangSykkelvegkant	Fartsdemperavgrensning	VeggrøftÅpen
Parkeringsområde	Traktorvegkant	GangfeltAvgrensning	Vegrekkverk
	VegkantAvkjørsel	VegoppmerkingLangsgående	
	ParkeringsområdeAvgrensning	FeristAvgrensning	
	Vegdekkkant	Gangvegkant	
	VegkantFiktiv	Vegskulderkant	



Figur 3-11: De ulike objekttypene vist i tverrsnitt (Statens Kartverk 2014c)



Figur 3-12: De ulike objekttypene i plan (Statens Kartverk 2014c)

Stedfestingsnøyaktigheten til de ulike objektene i FKB-veg er gitt i Tabell 3-6.

Stedfestingsnøyaktigheten angir hvilke objekter som er prioritert i forhold til grunnriss, og i forhold til høydedata.

Tabell 3-6: Stedfestingsnøyaktigheten til de ulike objekttypene i FKB-datasettet for veg (Statens Kartverk 2014c)

Objekttype	Klasser stedfestingsnøyaktighet								Klasser fullstendighet	
	Grunnriss				Høyde				1	2
	1	2	3	4	1	2	3	4		
Vegskulderkant		X			X				X	
Vegdekkekant		X			X				X	
Kjørebane kant		X			X				X	
Sykkelfelt			X		X					X
Trafikkø									X	
Trafikkø kant		X			X				X	
Fortauskant		X			X					X
Fortauskant Ytre			X		X					X
Vegkant Avkjørsel			X		X				X	
Vegkant Annet Vegareal			X		X				X	
Annet Vegareal Avgrensning			X		X					X
Vegkant Fiktiv										X
Veg		X			X				X	
Veggrøft Åpen			X			X				X
Gang Sykkelveg			X						X	
Gang Sykkelvegkant		X			X				X	
Gangvegkant		X			X				X	
Referanse stolpe	X				X				X	
Parkeringsområde										X
Parkeringsområde Avgrensning			X		X				X	
Fartsdemper Avgrensning		X			X					X
Ferist Avgrensning		X			X					X
Trafikk signalpunkt		X				X				X
Vegoppmerking Langsgående		X			X				X	
Skiltportal		X					X		X	
Skiltpunkt		X					X		X	
Gangfelt Avgrensning			X		X					X
Vegrekkverk		X				X				X
Vegsperring		X				X				X
Traktorveg				X				X		X
Traktorvegkant				X				X		X
Sti				X				X		X
Lysløype				X				X		X

FKB-Vann

Datasettet som omhandler FKB-Vann inneholder forskjellige objekter som beskriver den geografiske plasseringen, form og forløp til bekker, kanaler, grøfter, elver, innsjøer, isbreer og topografien knyttet til kyst og sjø (Statens Kartverk 2011b). I Tabell 3-7 vises de ulike objekttypene:

Tabell 3-7: De ulike objekttypene knyttet til datasettet FKB-Vann, redigert fra Statens Kartverk (2014a)

FKB-Vann Objektinndeling		
Flate	Avgrensende linjer	Andre Objekter
ElvBekk	ElvBekkKant	Navigasjonsinstallasjon
HavFlate	ElveElvSperre	Skjær
Innsjø	ElvelinjeFiktiv	
KanalGrøft	FiktivDelelinje	
Snølsbre	FlomløpKant	
	HavElvSperre	
	InnsjøElvSperre	
	InnsjøKant	
	InnsjøKantRegulert	
	InnsjølinjeFiktiv	
	KanalGrøftKant	
	KystKontur	
	KystKonturTekniskeAnlegg	
	Snølsbrekant	

Stedfestingsnøyaktigheten til de ulike objektene knyttet til FKB-Vann er vist i Tabell 3-8. Det vises at for de ulike objektene kreves det ulike nøyaktigheter til grunnriss og høyde.

Tabell 3-8: Stedfestingsnøyaktigheten til de ulike objekttypene i datasettet FKB-Vann (Statens Kartverk 2011b)

Objekttype	Klasser stedfestingsnøyaktighet								Klasser fullstendighet	
	Grunnriss				Høyde				1	2
	1	2	3	4	1	2	3	4		
Havflate									X	
Kystkontur							X		X	
KystkonturTekniskeAnlegg		X					X		X	
HavElvSperre									X	
Dataavgrensning									X	
FiktivDelelinje									X	
Skjær				X			X		X	
Navigasjonsinstallasjon			X					X	X	
Snølsbre										X
SnølsbreKant				X				X		X
ElvBekk				X				X	X (flate)	X (midtlinje)
ElvBekkKant				X				X	X	
ElvelinjeFiktiv										X
ElveElvSperre									X	
KanalGrøft				X				X	X (flate)	X (midtlinje)
KanalGrøftKant				X				X	X	
InnsjøElvSperre									X	
FlomløpKant				X				X	X	
Innsjø									X	
Innsjøkant			X			X			X	
InnsjøkantRegulert			X			X			X	
InnsjølinjeFiktiv									X	

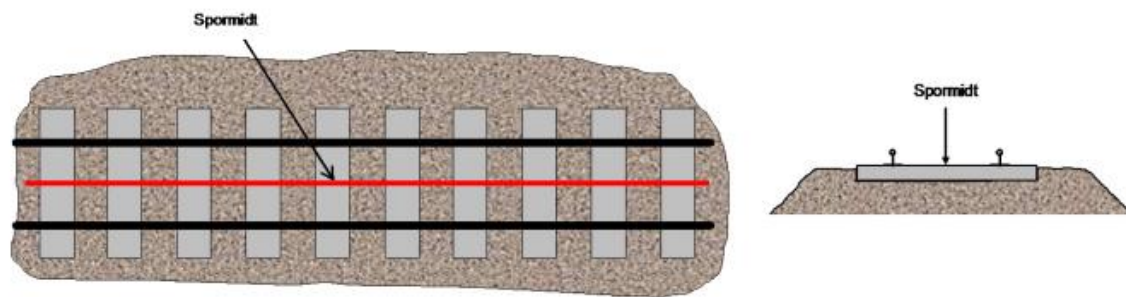
FKB-Bane

FKB-Bane inneholder geografiske data knyttet til jernbane og særlig banelegemet. Elementer som inngår i infrastrukturen til jernbanen er ikke tatt med i dette datasettet, men de er tatt med i andre datasett (Statens Kartverk 2011a). En oversikt over de ulike objekttypene er gjengitt i Tabell 3-9.

Tabell 3-9: FKB-bane objekttype inndeling

FKB-bane objekttype inndeling
Avgrensende linjer
Jernbaneplattformkant
Spormidt

I Figur 3-13 vises et eksempel på hvordan objekttypen spormidt ser ut.



Figur 3-13: Eksempel på FKB-bane med objekttypen spormidt (Statens Kartverk 2011a)

FKB-Bygning

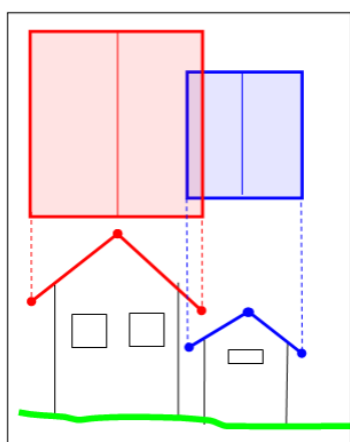
FKB-Bygning omfatter ifølge produktspesifikasjonen for FKB-Bygning (Statens Kartverk 2013b): «*beskrivelse av alle typer bygninger, takoverbygg, beskrivende bygningslinjer (for eksempel mønelinje) samt bygningsvedheng (for eksempel veranda)*».

FKB-Bygning blir på samme måte som de andre datasettene delt inn i ulike objekter. Objektene er kartelementene som finnes i datasettene, og de representerer ulike reelle gjenstander. I Tabell 3-10, vises disse ulike objektene.

Tabell 3-10: De ulike objektene i datasettet FKB-Bygning (Statens Kartverk 2014a)

FKB-Bygning Objektinndeling		
Flate	Avgrensende linjer	Andre Objekter
AnnenBygning	Arkade	Bygningsendring
Bygning	BygningBru	
Takoverbygg	Bygningsdelelinje	
	Bygningslinje	
	Fasadeliv	
	FiktivBygningsavgrensning	
	Grunnmur	
	Hjelpelinje3D	
	Låvebru	
	Mønelinje	
	Portrom	
	Takkant	
	TakoverbyggKant	
	Takplatå	
	Taksprang	
	TaksprangBunn	
	TakplatåTopp	
	TakMur	
	TrappBygg	
	Veranda	

I Figur 3-14 vises det hvordan takflatene blir tegnet inn i kartet. Det røde taket, som ligger over det blå taket, vil vises med streken liggende over det blå. Dette indikerer at det røde taket ligger øverst.



Figur 3-14: FKB-dataene til Bygning fremstiller takoverlapping på denne måten (Statens Kartverk 2013b)

I Tabell 3-11 vises de ulike stedfestingsnøyaktighetene til objektene som er i FKB-Bygning datasettet. For eksempel er det veldig viktig at nøyaktigheten til grunnmuren er svært nøyaktig. Dette fremgår av tabellen ved at objekttypens grunnmur har stedfestingsnøyaktighet for grunnriss i klasse 1.

Tabell 3-11; Stedfestingsnøyaktigheten til de ulike objekttypene i datasettet FKB-Bygning (Statens Kartverk 2013b)

Objekttype	Klasser stedfestingsnøyaktighet								Klasser fullstendighet	
	Grunnriss				Høyde				1	2
	1	2	3	4	1	2	3	4		
Bygning									X	
AnnenBygning									X	
Bygningsdelelinje			X				X			X
Takkant		X					X		X	
Fasadeliv		X						X		
Grunnmur	X					X			X	
FiktivBygningsAvgrensing									X	
Bygningslinje		X					X		X	
Hjelpelinje3D									X	
Hjelpepunkt3D		X					X		X	
Mønelinje		X					X		X	
Portrom		X					X			X
Arkade		X					X			X
Takplatå		X					X		X	
Taksprang		X					X		X	
TaksprangBunn		X					X		X	
TakplatåTopp		X					X		X	
TakMur			X				X			X
BygningBru			X				X		X	
Låvebru			X				X			X
Veranda			X				X			X
TrappBygg			X				X			X
Trappetrinn			X				X			X
Takoverbygg									X	
TakoverbyggKant			X			X			X	

4 Programvare

I masteroppgaven blir ulike programmer benyttet for å modellere overvann. Før modelleringen begynte ble ArcGIS benyttet til å opprette den digitale terrengmodellen og deretter ble det gjort analyser i ArcGIS. ArcGIS er et rent kartprogram og ble brukt til å generere drenslinjer og forsenkninger («sinks»). MIKE21 Flow Model gir en 2D-analyse ved at det kun modellerer avrenningen på overflaten. MIKE FLOOD ble brukt til å koble overflateavrenningen fra MIKE21 (2D) og simuleringen av ledningsnett i MIKE Urban (MOUSE (1D)). MIKE FLOOD gir dermed en 2D+1D analyse.

4.1 Generelt om modellering

Matematiske modeller blir brukt til å simulere forskjellige virkeligheter. En matematisk modell er en metode for å beregne de fysiske prosessene som vil skje, og er i beste fall en tilnærming til virkeligheten (Engan 2015). Det er ofte store usikkerheter knyttet til modellene. Disse usikkerhetene kan gjøres mindre ved å ha god kjennskap til de ulike fysiske prosessene. En matematisk formulering benytter parametriseringer av mange forskjellige enkelthendelser, og må i tillegg diskretiseres ved hjelp av oppløsningen i tid og rom. Dette gir opphav til usikkerheter i modellen. En modell tar også utgangspunkt i observerte data som det også vil være knyttet feil til. I tillegg til de feilkildene som er nevnt, vil også feil i den matematiske formuleringen føre til usikkerheter. For å bestemme en modell sin nøyaktighet blir det brukt tre steg (Engan 2015):

- 1) Modellverifikasjon
 - a. I dette trinnet undersøkes det om den matematiske regnekoden beregner de riktige matematiske likningene
- 2) Modellfølsomhet
 - a. Dette trinnet vil vise hvor følsom modellen er i forhold til endringer i visse inngangsparametere
- 3) Modellvalidering/etterprøving
 - a. I dette trinnet vil resultater fra modellen bli sammenlignet med observerte målinger. Dette vil gi et innblikk i hvor bra modellen fungerer

Det finnes mange ulike modeller som brukes innenfor forskjellige felt. Innenfor vann- og avløpsbransjen brukes for eksempel EPANET, MIKE Urban, VANNETT, WaterCAD og

Aquis. De ulike modellene har sine fordeler og ulemper, og har forskjellige fokusområder (Engan 2015).

4.2 Oversvømmelsessimuleringer

Simuleringsmetodikker knyttet til oversvømmelser kan deles i fluviale og pluviale flommer. Fluviale flommer er knyttet til oversvømmelser av vassdrag og hav. Det er først i senere tid at det har blitt større interesse knyttet til urbane pluviale oversvømmelser. Pluviale flommer er oversvømmelser som i hovedsak er forårsaket av nedbør i det urbane området. Det som skiller simuleringstypene er først og fremst graden av nøyaktighet. Simuleringer knyttet til pluviale oversvømmelser krever større nøyaktighet for å beskrive hvor vannet vil renne på overflaten (Hernebring & Mårtensson 2013).

Det er i tillegg flere metoder for å beregne strømning i rørsystemene ved hjelp av hydrauliske analyser i ledningsnett. Eksempler på programmer kan være SWMM (Storm Water Management Model) (United States Environmental Protection Agency 2016) og MOUSE (DHI 2016j). I de senere år har det blitt laget programmer som kobler den todimensjonale strømningen på overflaten sammen med rørstrømningen i ledningsnett. I følge Hernebring og Mårtensson (2013) sin rapport om pluviale oversvømmelser finnes det fire ulike metoder. De ulike metodene er:

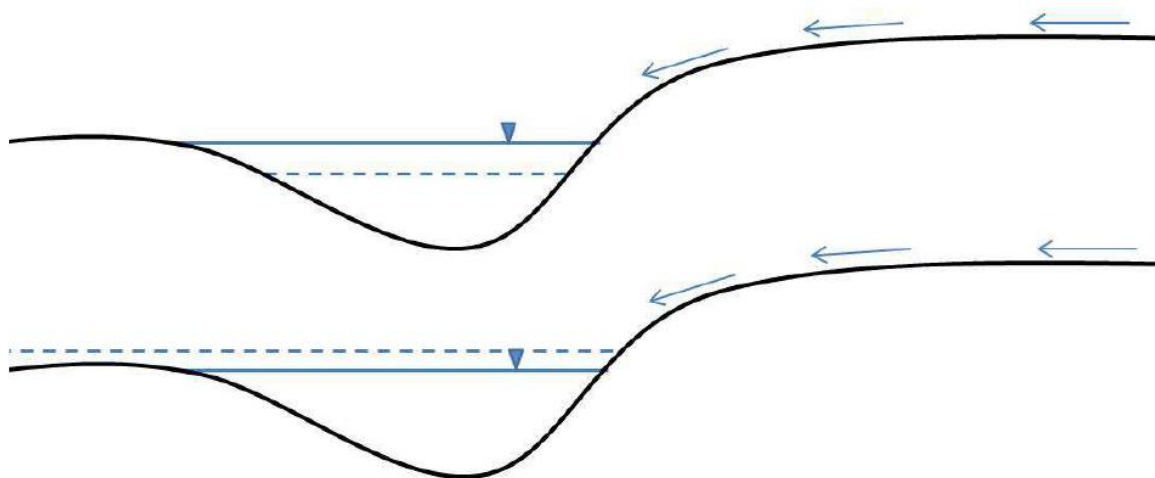
- Analyse av lavpunkter i terrenget
 - Dette er en ren GIS-analyse hvor GIS-verktøyet identifiserer lavpunkter i terrenget. Dette verktøyet tar kun hensyn til terrenget, og det skjer ingen hydrauliske beregninger i ledningsnett eller på terrenget. ArcGIS er et eksempel på et slikt program
- Hydraulisk beregning i to dimensjoner (2D)
 - Analyse av hvor vannet vil renne på overflaten og hvor vannet vil hopes opp. I en slik analyse blir ikke ledningsnett tatt hensyn til. Men ved å fjerne en del av regnet kan det simuleres som om det var et ledningsnett til stede. Et eksempel på et program som gjør 2D-analyser er MIKE21
- Endimensjonal hydraulisk beskrivelse av ledningsnett og flomveger på overflaten (1D-1D)
 - Analysen tar utgangspunkt i forhåndsdefinerte vannveger og de blir koblet til ledningsnettets kapasitet

- Todimensjonal hydrodynamisk beregning med ledningsnett (2D-1D)
 - o I denne beregningen blir overflatestrømningen koblet sammen med simuleringen av ledningsnett. MIKE FLOOD er et eksempel på et slikt program

I dette masterarbeidet har det blitt testet og utviklet metodikker for tre av de fire metodene. Den metoden som ikke ble tatt med var 1D-1D metoden. Dette er fordi den ble vurdert som en foreldet metode av Mårtensson og Gustafsson (2014), og den har blitt erstattet med 2D-1D-metoden. En av de store ulempene med 1D-1D-metoden er at det kreves svært mye informasjon knyttet til de på forhånd definerte flomvegene og magasinene.

4.2.1 Vurdering av de ulike metodene

Hvilken metode som skal velges bestemmes utfra formålet med simuleringen, og hva slags informasjon som er tilgjengelig. En ren GIS-analyse kan gi et overblikk over store områder, og hvor overvannet mest sannsynlig vil renne og samle seg. En GIS-analyse fyller forsenkningene uten å ta hensyn til regnhendelser eller hydraulikk. GIS-analysen forteller egentlig bare hvor det er lavpunkter i terrenget. Ved en 2D-simulering er det ikke sikkert at forsenkningene blir fylt, men forsenkningen kan også fylles slik at det renner over. Dette kommer an på regnhendelsen som blir benyttet. Dette blir illustrert i Figur 4-1 og figuren viser at vannivået er konstant ved GIS-analysen (den heltrukne linjen), og at vannivået varierer ved en 2D-analyse (den stiplede linjen).

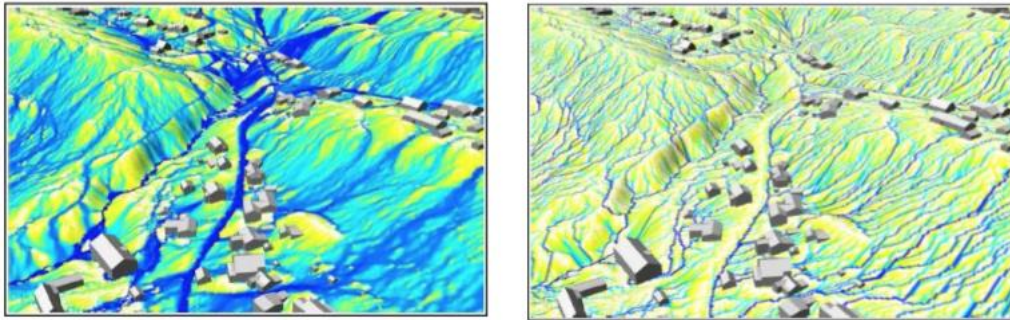


Figur 4-1: Illustrasjon av forskjellene mellom GIS og 2D-analyse. Den heltrukne linjen viser vannivået ved en GIS simuleringen, mens den stiplede linjen viser vannivået ved en 2D-simulering (Mårtensson & Gustafsson 2014)

En annen bakdel med GIS-analysen er at tidsforløpet til regnhendelsen ikke kan studeres. Dette kan gjøres i en 2D-simulering. En 2D-analyse vil også gi mer informasjon om overvannet ved at volumstrømmer og vannhastigheter er med. Ved en 2D-analyse kan dette likevel implementeres ved å trekke fra en del av regnet som det antas at ledningsnettets er dimensjonert for. Da blir det antatt at den delen av regnet som trekkes fra blir transportert av ledningsnettets (Mårtensson & Gustafsson 2014). Det kan også tenkes at ledningsnettets ikke utgjør den store forskjellen ved kraftige nedbørhendelser (Hernebring & Mårtensson 2013). Ved å benytte et regn med et lavere gjentakintervall kan det tenkes at simuleringen blir mer reel hvis ledningsnettets er inkludert. Det må også poengteres at GIS-analysen er den metoden som bruker minst tid ved simuleringen. 2D-simuleringen bruker en god del datakraft på grunn av at det gjøres hydrauliske beregninger for hver celle i rasteret. 2D-1D kombinerer ledningsnett og terrengoverflaten og dette vil kreve ytterligere beregningstid. Derfor må metode velges ut i fra hva slags data som ligger til grunn, hva slags hendelser som det skal simuleres for, hvor lang tid som er til rådighet og tilgang til datakraft. Rapporten skrevet av Mårtensson og Gustafsson (2014) konkluderer på generelt grunnlag at det er 2D-simuleringen som bør velges. Dette blir begrunnet med at metoden er rask (2-3 ganger raskere enn 2D-1D), at den krever minimalt med inndata og at metoden får fram hva som skjer ved kraftige nedbørhendelser.

4.3 Strømningssimulering

Det finnes en del forskjellige måter å simulere strømning på. I denne oppgaven er det to metoder, «single flow» og «multiple flow». ArcGIS bruker «D8-algoritmen» som vil si at drenslinjene velger drensvegen utfra hvilke rasterceller som har størst høydedifferanse. Drenslinjen kan kun velge en rastercelle ut av hver celle. Det er dette som defineres som «single flow», og er vist til høyre i Figur 4-2. I MIKE21 og MIKE FLOOD benyttes «multiple flow». Det vil si at vannet kan renne flere veier enn til bare en celle. Det gjør at vannet vil forgrene seg mer, og ikke velge kun en linje. «Multiple flow» er vist til venstre i Figur 4-2.



Figur 4-2: Forskjellen mellom «multiple flow» til venstre, og «single flow» til høyre (Meiforth 2013)

4.4 Aktsomhetskart for flom

I tidligere masteroppgaver har det blitt produsert to aktsomhetskart for flom. Et aktsomhetskart over Muusøya rensedistrikt laget av Myrvoll (2015) og et aktsomhetskart over Solumstrand rensedistrikt laget av Murtnes (2015). I denne masteroppgaven som blir skrevet våren 2016, vil det også produseres aktsomhetskart. Aktsomhetskartene som er produsert i dette masterarbeidet er lagt ved i Vedlegg C.

Et aktsomhetskart kan vise hvor overvannsstrømmene vil renne på terrengoverflaten og hvor vann vil akkumulere. I aktsomhetskartet som ble produsert i dette masterarbeidet vises drenslinjer og forsenkninger.

Et aktsomhetskart kan bli brukt til (Murtnes 2015):

- Byggesaker
- Arealplanlegging
- Reguleringsplaner/kommuneplaner
- Risiko- og Sårbarhetsanalyser (ROS-analyser)
- Prosjektering

4.5 ArcGIS

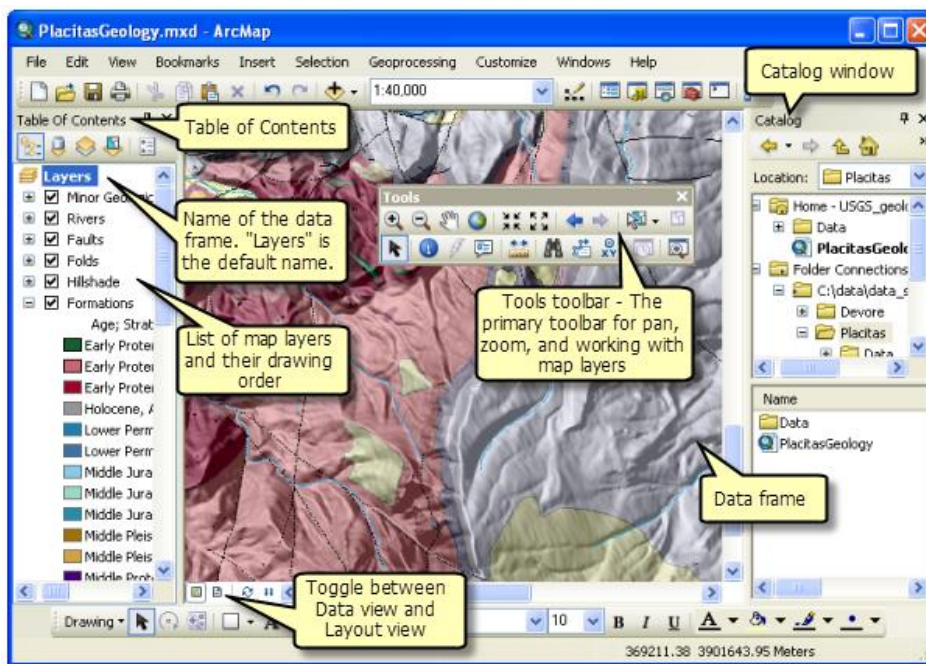
ArcGIS er en programpakke utviklet av ESRI (Environmental Systems Research Institute). Det kan benyttes til å planlegge, utføre analyser, forvalte kapital, hente inn felldata og for offentlig engasjement (Esri 2014). ArcGIS inneholder programmer som kan brukes for desktop (PC), web, server og mobile enheter (Strømsholm 2016b). I det følgende skal forskjellige applikasjoner for ArcGIS Desktop gjennomgås.

4.5.1 ArcCatalog

ArcCatalog er en applikasjon som kan brukes for geografiske data. Applikasjonen gjør det enkelt å administrere og organisere de ulike dataene. Applikasjonen kan også brukes til å vise metadataen som er knyttet til de ulike filene. Metadataene kan vise for eksempel hvem som har opphavsrett og hva slags skaleringer som er best for akkurat den datafilen (Strømsholm 2016b).

4.5.2 ArcMap

ArcMap er den sentrale applikasjonen i ArcDesktop og denne applikasjonen kan gjøre analyser av kart, modifikasjon av kartografi og redigering av kartelementer (Esri 2004). Det er denne applikasjonen som har blitt brukt i masterarbeidet. I Figur 4-3 vises ArcMap-vinduet. Til venstre vises «table of contents» som inneholder de forskjellige kartlagene som er lagt inn i kartfilen. Til høyre vises fanen «Catalog» og her organiseres all kartdata i for eksempel geodatabaser og featureklasser.



Figur 4-3: ArcMap sine hovedverktøy (Esri 2016e)

4.5.3 ArcToolbox

I «ArcToolbox» gis det tilgang til verktøy som kan benyttes i programmet. Det å benytte disse verktøyene kalles for geoprosessering og benyttes for modellering og analyser (Esri 2004).

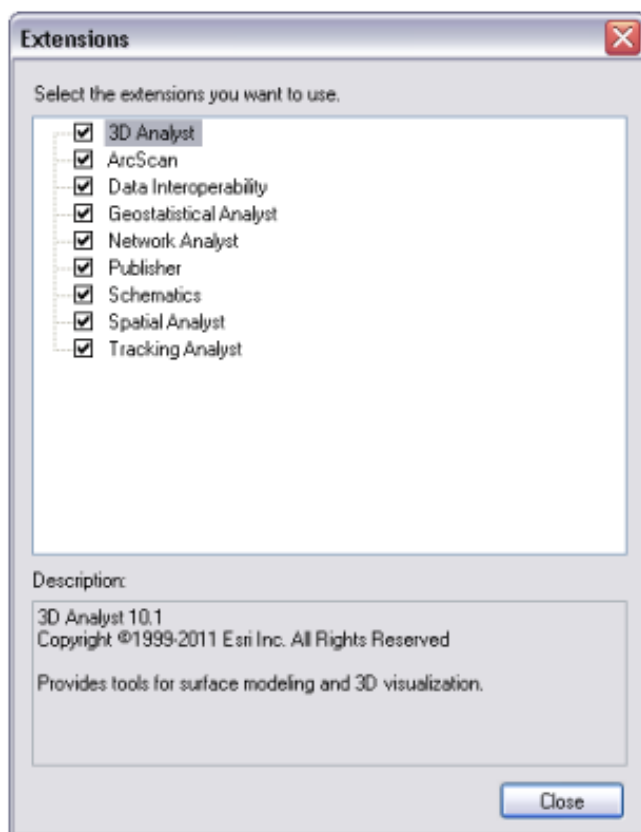
Applikasjonen «Modelbuilder» kan i tillegg benyttes slik at flere verktøy fra ArcToolbox kan kobles sammen. Dette gjør at den samme prosessen kan gjentas flere ganger på en enklere måte (Esri 2004). I denne masteroppgaven har flere verktøy blitt brukt. En tabell med noen verktøy som har blitt benyttet, og hva de har blitt brukt til, vises i Tabell 4-1.

Tabell 4-1: Oversikt over noen av verktøyene som ble benyttet i masteroppgaven, samt deres funksjon

Verktøy	Anvendelsesområde
LAS to Multipoint (3D Analyst)	Konverterer laserpunkter til lesbare multipoints i ArcGIS
Adjust 3D Z (Data management)	Denne ble brukt for å justere z-verdiene til laserdataene.
Plus (Spatial Analyst)	Legger to rasterfiler sammen, slik at resultatrasteret er en sum av de to rasterfilene som er lagt sammen.
Fill (Spatial Analyst)	Dette verktøyet ble brukt for å fylle igjen forsenkninger i modellen, slik at drenslinjene ikke stoppet opp i et område, men fortsatte å renne videre.

4.5.4 Spatial Analyst

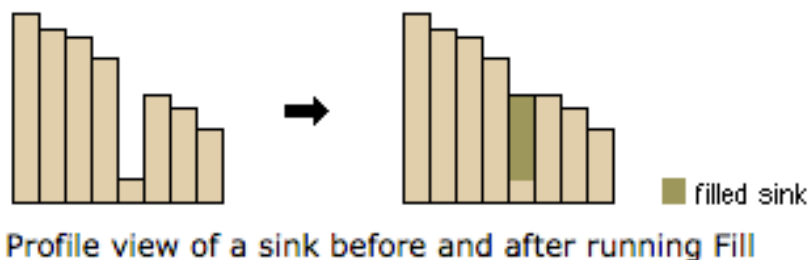
I ArcMap finnes det flere utvidelser som kan benyttes og som inneholder forskjellige verktøy. I Figur 4-2 vises de ulike utvidelsene. I denne masteroppgaven ble «3D Analyst» og «Spatial Analyst» benyttet. I det følgende skal noen verktøy fra «Spatial Analyst» gjennomgås.



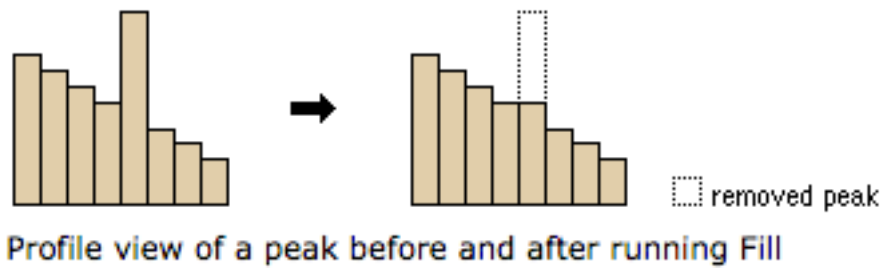
Figur 4-4: Utvidelsene til ArcMap (Esri 2016b)

Fill

«Sinks» er forsenkninger og «peaks» er toppunkter i terrenget. Forsenkninger er celler hvor alle cellene som ligger rundt har høyere verdier. «Peaks» er topper i terrenget hvor de omkringliggende cellene har lavere verdier. Forsenkninger må fylles slik at drenslinjene kan gå kontinuerlig, og ikke stoppe opp i en forsenkning. I Figur 4-5 og Figur 4-6 vises det hvordan verktøyet fungerer. Når det er en forsenkning blir den fylt igjen og når det er en topp blir den fjernet. For å sette en grense for hvor lave forsenkningene skal være kan en «z limit» benyttes. En «z-limit» er da det dypeste som verktøyet fyller (Esri 2016c).



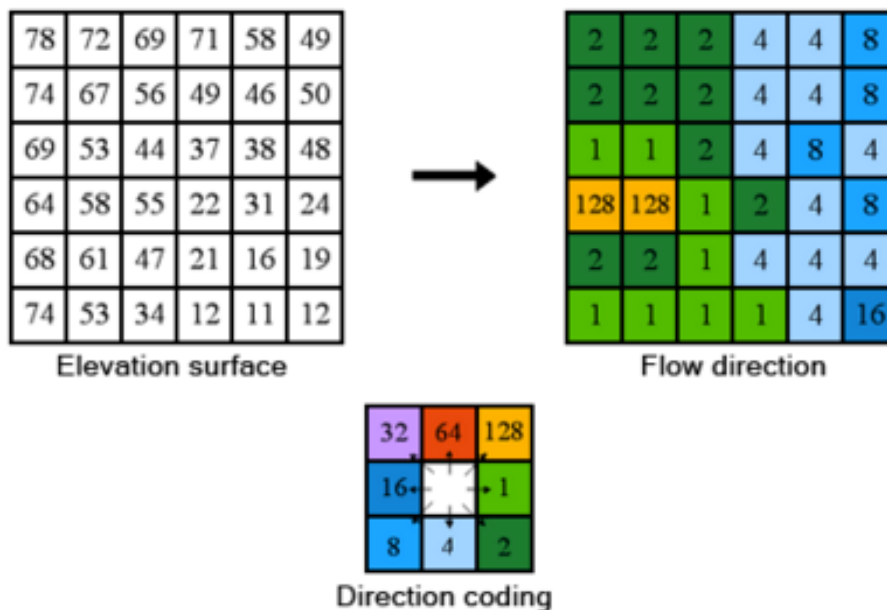
Figur 4-5: Hvordan verktøyet «Fill» fungerer på en forsenkning (Esri 2016c)



Figur 4-6: Hvordan verktøyet «Fill» fungerer på en «peak» (Esri 2016c)

Flow Direction (Strømningsretning)

Dette verktøyet tar inn alle cellene i rasterfilen og bestemmer hvilken retning vannet har ut av hver enkelt rastercelle som vist i Figur 4-7. Verktøyet regner ut hvor vannet vil strømme ved å finne hvilken celle som har størst høydedifferanse. Cellen får da en tallverdi som bestemmer hvilken vei vannet vil strømme. Det er åtte forskjellige strømningsretninger. Denne typen beregning betegnes ofte som «D8-strømningsalgoritmen» (Esri 2016d). Det vil si at cellen kun kan velge en celle som den renner til, altså «single flow».

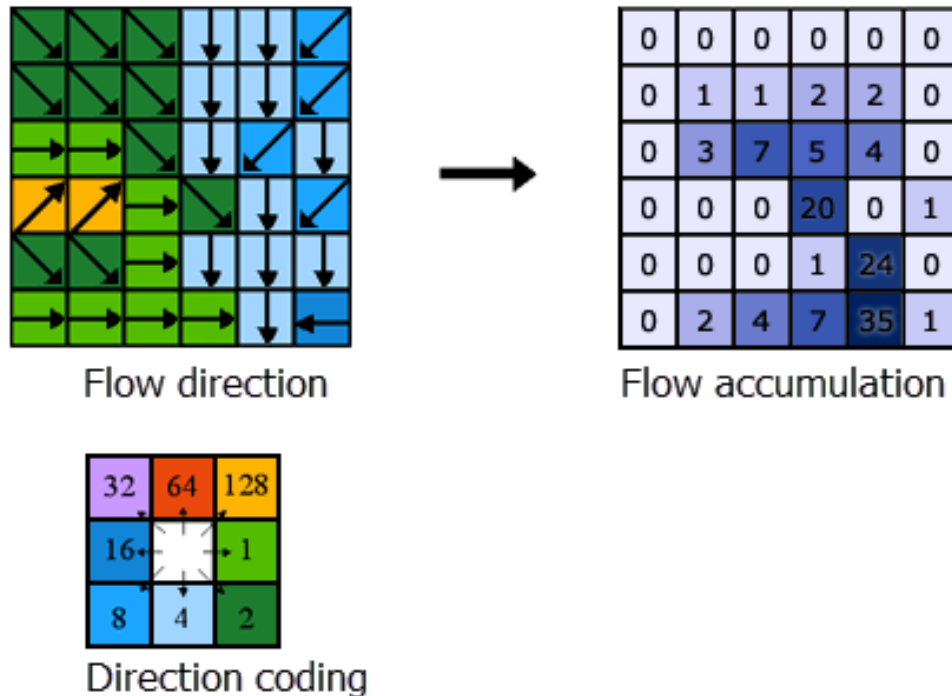


Figur 4-7: Hvordan flomretningsverktøyet fungerer (Esri 2016d)

Flow accumulation (Strømningsakkumulering)

«Flow accumulation» fungerer slik at den beregner hvor mange celler som strømmer til hver enkelt celle som illustrert i Figur 4-8. Figuren viser strømningsretninger øverst til venstre. Ut i fra retningene beregnes så rasteret øverst til høyre. Den beregner da antall celler som renner til hver enkelt celle. I dette eksempelet renner alle cellene til en celle. Det er en 6 x 6 matrise, slik at det er 36 celler og derfor blir det maksimale antallet som renner til en celle lik 35.

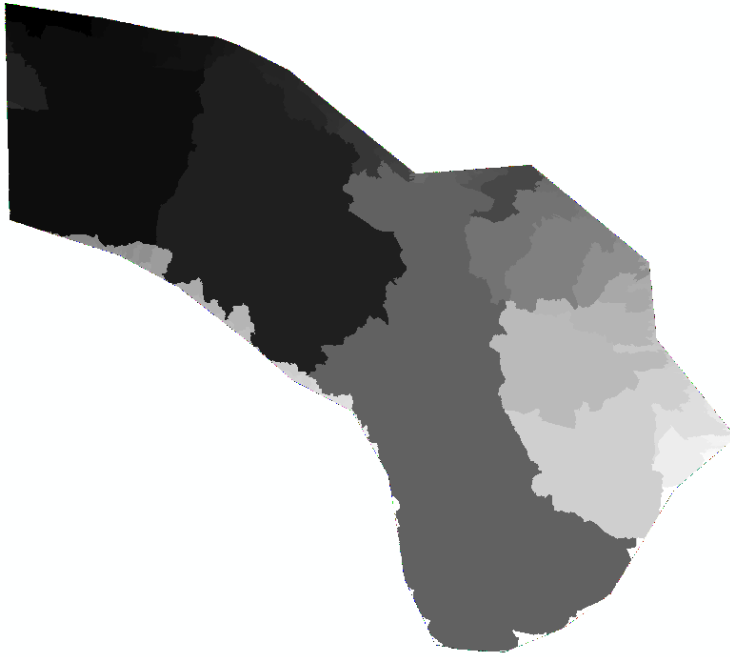
Nederst til venstre, i Figur 4-8, vises retningene som vannet tar utfra tallverdien som er angitt i cellen (Esri 2015b). Hvert tall angir en retning, tallene er vist i Figur 4-7 øverst til høyre. Der angir verdiene hvilken retning drenslinjen tar.



Figur 4-8: Hvordan flow accumulation fungerer (Esri 2015b)

Basin

«Basin» er et verktøy som konstruerer et raster som viser nedbørsarealer. Verktøyet benytter rasteret som er laget i verktøyet «Flow Direction» (Esri 2016a). «Basin» gir da en inndeling av feltet i områder som kan defineres som nedbørsfelt. Et nedbørsfelt er hele det feltet som drenerer til et punkt. I Figur 4-9 vises et eksempel på hvordan resultatet fra verktøyet «basin» kan se ut.



Figur 4-9: Et eksempel på resultatrasteret fra verktøyet «Basin» (skjermdump)

4.6 MIKE

MIKE er en dataprogrampakke utgitt av DHI og består av mange forskjellige programmer. Eksempler på slike programmer kan være MIKE Urban som er et program som kan simulere alle typer røرنettverk i en by (DHI 2016e). MIKE21 er et annet eksempel og kan simulere sjø og hav i 2D (DHI 2016i). I dette masterarbeidet har beregningsmotoren MIKE21 blitt brukt til 2D-simuleringer av overflatestrømningene av overvann. Koblingsrutinen mellom MIKE21 og MIKE Urban heter MIKE FLOOD. Det ble benyttet til en dynamisk kombinasjon av overflatestrømning og ledningsstrømning i en 2D+1D simulering.

4.7 MIKE21 Flow Model

MIKE21 Flow Model er i utgangspunktet en beregningsmotor for hav og sjø (DHI 2016i). Gjennom ulike masteroppgaver har det blitt vist at MIKE21 også er velegnet til å simulere strømningssituasjoner på overflaten (Filipova 2012; Gunnarsson 2015; Wallinder 2015). Disse masteroppgavene har vært til stor hjelp i arbeidet med MIKE21 modellen. MIKE21 er et program som gjør hydrauliske beregninger i to dimensjoner. MIKE21 Flow Model sin hydrodynamiske modul er i utgangspunktet utviklet for å modellere hydrauliske situasjoner i

bukter, elvemunninger, kystnære strøk og elver. Modulen kan benyttes der lagdeling ikke blir regnet med (DHI 2016b). MIKE21 benytter tre formler i simuleringene. Disse formlene er knyttet til bevaring av masse og bevaring av bevegelsesmengde integrert i både x- og y-retning. Formlene er vist i Formel 4-1, Formel 4-2 og Formel 4-3 (DHI 2016c).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

Formel 4-1: Bevaring av masse

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

Formel 4-2: Integrering av bevegelsesmengde i x-retning

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

Formel 4-3: Integrering av bevegelsesmengde i y-retning

Symbolene som blir brukt i Formel 4-1, Formel 4-2 og Formel 4-3 representerer følgende (DHI 2016c):

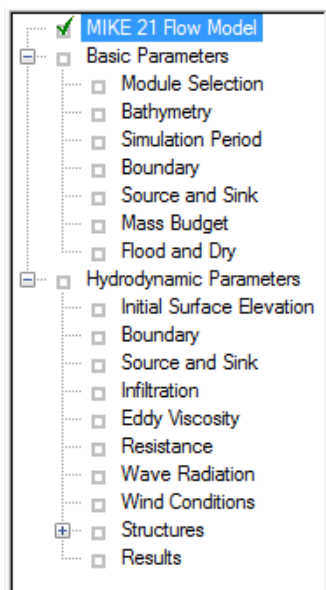
- $h(x, y, t)$ = vanndybden (m)
- $d(x, y, t)$ = tidsvarierende vanndybde (m)

- $\zeta(x, y, t)$ = overflatehøyde (m)
- $p, q(x, y, t)$ = flukstettheter i x- og y-retninger ($m^3/s/m$) = (uh,vh); (u,v) = gjennomsnittlige dybdehastigheter i x- og y-retninger
- $C(x, y)$ = Chezy motstand ($m^{1/2}/s$)
- g = akselerasjon på grunn av tyngdekraft (m/s^2)
- $f(V)$ = vindfriksjons faktor
- $V, V_x, V_y(x, y, t)$ = vindhastighet og komponenter i x- og y-retning (m/s)
- $\Omega(x, y)$ = Coriolis parameter, avhengig av breddegrad (s^{-1})
- $p_a(x, y, t)$ = atmosfærisk trykk ($kg/m/s^2$)
- ρ_w = vannets tetthet ($kg/m/s^2$)
- x, y = romlige koordinater (m)
- t = tid (s)
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = komponentene til den effektive skjærspenningen

Ved hjelp av disse ligningene blir hydraulikken beregnet. For en mer detaljert gjennomgang av det matematiske formelverket til MIKE21, samt løsningsalgoritmer, henvises det til «*MIKE21 Flow Model & MIKE21 Flood Screening Tool – Hydrodynamic Module Scientific Documentation*» (DHI 2016c).

4.7.1 MIKE21 – Ulike parametere

MIKE21 ble i utgangspunktet utviklet for å modellere marine område og dette gjenspeiles i parameterlisten som er vist i Figur 4-10. Bølgestråling og vindforhold vil påvirke lite i et urbant felt. Parameterlisten viser oppbygningen av programmet. Parameteroppsettet for denne oppgaven kommer under metodikken beskrevet i kapittel 6.3, mens her skal teorien gjennomgås.



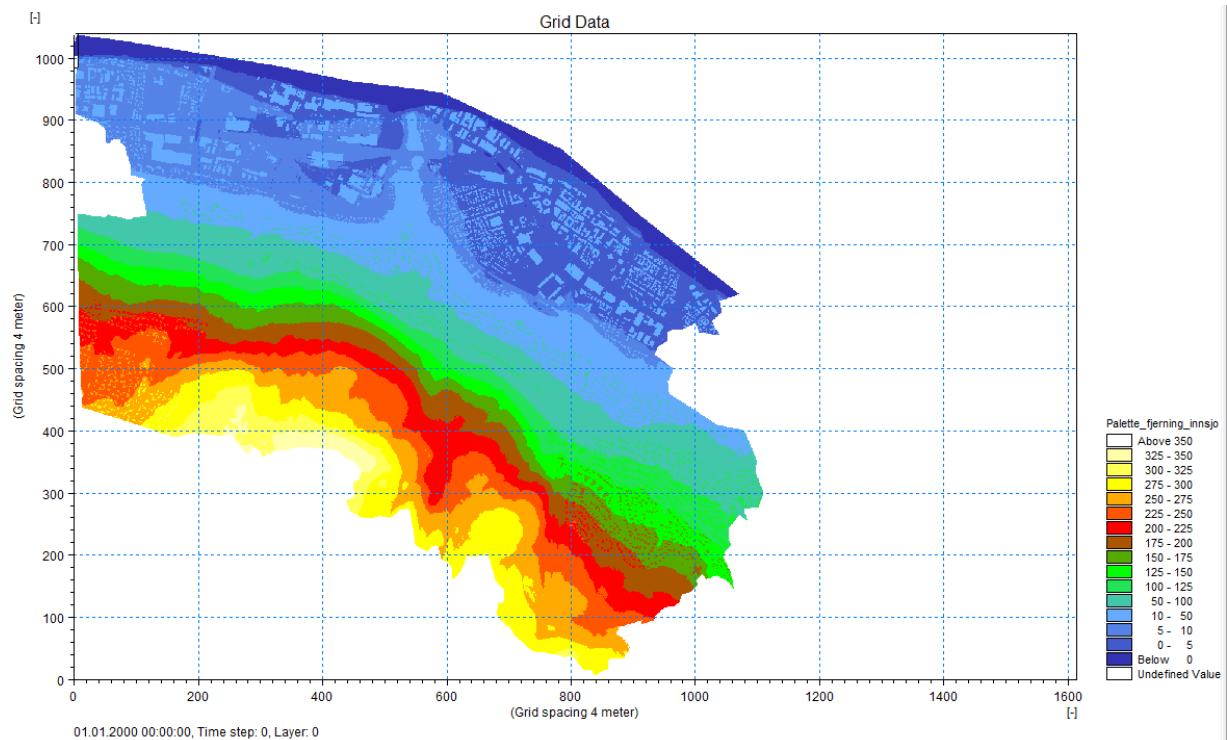
Figur 4-10: Parameterne til MIKE21 Flow Model (Skjermdump)

Module Selection (Valg av modul)

I «Module Selection» vises de ulike modulene som kan velges. «Inland flooding» velges når det ønskes å simulere overflatehendelser (på terrengoverflaten). Dette gjør at funksjoner knyttet til «wave radiation» og «wind conditions» blir slått av (DHI 2016b) da disse verdiene ikke vil ha noen innvirkning på innenlands flom (flom på terrengoverflaten). Figur 6-6 på side 106 viser dialogvinduet til «module selection».

Bathymetry (Batymetri)

Batymetri er et annet ord for dybde data. Batymetrien definerer hvordan havbunnen ser ut. I denne masteroppgaven er ikke havbunnen interessant. Derfor blir terrengrasteret, som representerer terrengoverflaten, brukt som batymetri. Batymetrien var på filformatet «dfs2», som er en rasterfil med verdier for hver celle. En slik «bathymetry» kan se ut som i Figur 4-11. Denne filen vil da gi grunnlaget for høydedataene i simuleringen.



Figur 4-11: Bathymetry over området i Drammen (skjermdump)

Batymetrien skal gi informasjon om (DHI 2016b):

- Den geografiske posisjonen hvor rutenettet befinner seg
- Hvilken orientering rutenettet har
- Projeksjonssonen, for eksempel UTM sone 32 N
- «True land value» er verdien som brukes om hva som er land. Celler som er over denne verdien tas ut av beregningen

Batymetrien lages ved hjelp av ArcGIS og MIKEZERO Toolbox.

Simulation period (Simuleringsperiode)

Simuleringsperioden bestemmes utfra regnfilen som benyttes i simuleringen. Det må være et samsvar mellom simuleringsperioden og tidsperioden for regndatasettet. «Time step interval» er tidsstegintervallet. Dette intervallet må velges lite nok slik at modellen blir stabil, men hvis intervallet blir for lite vil simulerings tidsforbruk (dataprosesseringstid) bli for lang.

Intervallet må også velges utfra hvor stor oppløsning som har blitt brukt i terrengmodellen (Gunnarsson 2015). En annen metode for å vite om tidsintervallet er stort eller lite nok er å benytte «couranttallet». «Couranttallet» kan uttrykkes som i Formel 4-4 (Engineers Australia 2012):

$$Cr = \frac{(v + \sqrt{gd}) * \Delta t}{\Delta x}$$

Formel 4-4: Beregning av «Couranttallet»

Hvor Cr er couranttallet, v er hastighet (m/s), g er tyngdeakselerasjonen (m/s²), d er dybde (m), Δt er tidssteget (s) og Δx er rutenettets størrelse (m). For at modellen skal bli stabil bør couranttallet være lik en eller mindre enn 1 (Engineers Australia 2012). Figur 4-12 viser de ulike verdiene som kan tastes inn i MIKE21. Couranttallet som er vist er for området som ble simulert og har en oppløsning på 4x4 meter.

Simulation Period			
Simulation			
Time step range:	First: 0	Last: 144000	
Time step interval:	0.1		
Simulation start date:	01.01.2016 00:00:00		
Simulation end date:	01.01.2016 04:00:00		
Warm-up Period			
Time step range:	First: 0	Last: 0	
Courant Number			
Max Courant No:	0.255256	Area:	1

Figur 4-12: Simuleringsperiode (skjermdump)

Boundary (basic parameters)

I denne dialogen kan brukeren sette inn egendefinerte grenseverdier (DHI 2016b). Disse kan benyttes til å definere for eksempel hvor utløpet for modellområdet skal være. I denne masteroppgaven ble det ikke definert noe utløp. De grenseverdiene som ble lagt inn i modellen var at et lukket rektangel ble benyttet, og at Drammenselva ble senket. Dette førte til at elven ble brukt som et oppfyllingsbasseng for avrenningen fra modellområdet.

Source and Sink (basic parameters)

Modellen skiller mellom tre ulike typer «sources»/«sinks» (DHI 2016b):

1. Isolert kilde: Dette er et punkt hvor det mates inn en mengde vann inn i modellen. Kontinuitetsligningen og bevegelsesmengdeligningen blir påvirket.
2. Isolert utløp: Dette blir et punkt hvor vannet blir matet ut av modellen. Her blir bare kontinuitetsligningen påvirket.
3. Koblede «kilde og utløp»-par: Dette er brukt for transport og resirkuleringsstudier av ulike stoffer. Vannet (eller stoffet) som forsvinner i utløpet kommer tilbake til kilden, vannet forsvinner altså ikke.

Flood and Dry

For «inland flooding» bør «flooding depth» verdien være innenfor intervallet: 0,002 – 0,05 m. «Drying depth» bør ha en verdi innenfor 0,001 – 0,02 m. For at simuleringen skal fungere må «flooding depth» være større enn «drying depth» (DHI 2016b). Når «inland flooding» blir brukt, blir «flooding» og «drying» verdiene brukt på en annerledes måte enn det som er standard. Bevegelsesmengdeligningen blir tatt med i beregningen når nivået stiger over «flooding depth». Ligningen blir koblet ut når vannivået kommer under «drying depth». Dette betyr at lavere verdier gir mer nøyaktige resultater siden større deler av området blir tatt med i beregningen. En tommelfingerregel knyttet til «drying depth» og «flooding depth» er gitt av DHI (2016a) og sier at det bør benyttes «drying depth» = 0,01 m og «flooding depth» = 0,02 m. Figur 6-11 på side 110 viser dialogvinduet til «flood and dry».

Initial Surface Elevation

I dette vinduet kan det bestemmes hvilket vannivå som simuleringen skal starte på. Det kan være enten en konstant verdi eller en romlig varierende verdi. I denne masteroppgaven har havnivået blitt senket til et nivå rundt -10 m.o.h, og «initial surface elevation» har blitt satt til den konstante verdien -5. Dette er for at de dypeste forsenkningene på land, ikke skal være fylt før simuleringen har startet. En annen mulighet er å legge inn en ny batymetri fil hvor ønsket vannivå legges inn. Da vil vann fylles der det er forskjell mellom batymetrien, og den innsatte redigerte batymetrien ved start av simuleringen.

Dialogen kan fylles ut enten med en konstant verdi eller en dfs2-datafil, som angir høyder i samme rutenett som batymetrien (DHI 2016b). Figur 6-12 på side 110 viser dialogvinduet til «initial surface elevation».

Boundary (hydrodynamic parameters)

I den hydrodynamiske modulen til MIKE21 må det enten oppgis en «initial surface elevation» eller så må fluksen (vannføringen) ved alle åpne grenser defineres. Fluksen kan bestemmes ved konstante verdier eller ved ulike tidsserier og kurver (DHI 2016b).

Source and sink (hydrodynamic parameters)

For hver «source» som har blitt definert under «basic parameters» må utløpsmengden, hastigheten og utløpsretningen defineres. For hver «sink» som defineres må inntakstørrelsen defineres (DHI 2016b).

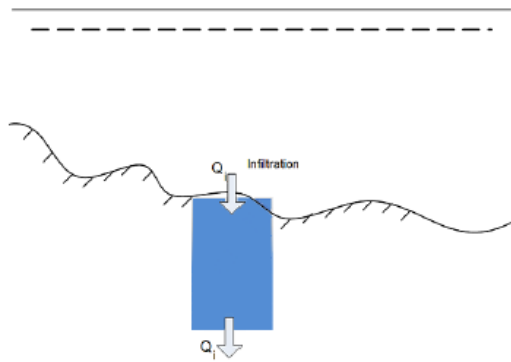
I denne dialogen kan fordampning og nedbør legges inn i «evaporation» og «precipitation». Disse verdiene kan gis som konstante tall, dfs0-filer eller dfs2-filer. Type 0 filer gir samme nedbør for hele området, mens type 2 filer gir forskjellig nedbør for hver enkelt celle.

Simuleringen beregner kun fordampning og nedbør i «våte» celler. Ved å huke av «precipitation on dry land» vil nedbør beregnes også på «tørre» celler. «Våte celler» innebærer at det er vann i cellen, og «tørre» celler er da det motsatte. Ved å huke av «included as net-precipitation» antas det at fordampningen er lagt inn i nedbørshendelsen. Programmet har som standard i simuleringen at det er 100 % avrenning. Dette vil sjelden være sant da en del av vannet vil infiltrere eller fordampe.

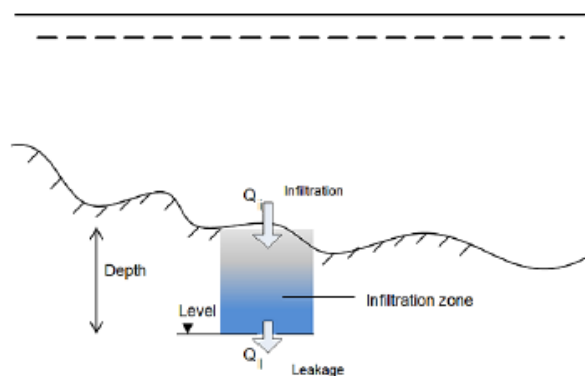
Infiltration

I dette vinduet kan det velges mellom «net infiltration» og «constant infiltration with capacity». Ved «net infiltration» kan verdiene spesifiseres enten ved en konstant verdi for hele området eller som konstant i tid, men varierende i rommet. Den kan også variere i tid og rom for hele området og hele simuleringsperioden. Figur 4-13 viser et eksempel på «net infiltration». For å bruke «constant infiltration with capacity» må det benyttes en type 2 data

fil (dfs2). Denne må ha definert størrelsen på infiltrasjonssonen gitt som meter, og vannvolumet i infiltrasjonssonen ved start. I tillegg må 5 elementer bli gitt: infiltrasjonsrate, porøsiteten til infiltrasjonssonen, dybden til infiltrasjonssonen, lekkasjeraten og vannvolumet i infiltrasjonssonen ved start. Figur 4-14 viser et eksempel på «constant infiltration with capacity» (DHI 2016b).



Figur 4-13: Net infiltration rate (DHI 2016b)



Figur 4-14: Infiltration and leakage (DHI 2016b)

Eddy Viscosity

Virvelviskositet (Eddy viskositet) kan bli spesifisert i modellen ved fire forskjellige metoder (DHI 2016b):

- Ved å ikke ta med virvelvilkår
- Ved å formulere konstante verdier for hvert område
- Ved å laste inn en type 2 datafil hvor alle celler har en egen verdi for virvelviskositet
- Ved at den blir dynamisk beregnet ved Smagorinskys formel

Ved den siste varianten må en proporsjonalitetsfaktor bli gitt (DHI 2016b). Konstanten brukt i Smagorinsky sin formel bør ikke overgå 1,0 (Syme 2008), men konstanten har ikke den

største innvirkningen. I masteroppgaven skrevet av Filipova (2012) blir verdien 0,5 brukt for urbane områder. Dette ble også benyttet i denne masteroppgaven.

Eddy viskositeten er gitt ved Formel 4-5 (Filipova 2012):

$$\tau_0 = \eta \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$$

Formel 4-5: Beregning av Eddy viskositet

Hvor τ_0 er skjærspenningen på flaten, η er virvelviskositeten, og $\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ er endringen i gjennomsnittlig horisontal hastighet langs bunnen.

Resistance

Ruheten (motstanden) kan bli definert på tre forskjellige måter. Den kan defineres ved Mannings tall (M), Chezys tall eller en bølge forårsaket overflatemotstand. I denne masteroppgaven blir ruhten definert ved Mannings tall (M). Dette kan gjøres på to forskjellige måter, enten ved å ha en konstant verdi for hele området eller ved å innsette en ny matrise hvor hver celle har forskjellige Mannings tall. For eksempel vil et grønt område og en veg naturlig ha ulike Mannings tall. Dette kan legges inn i en «dfs2» fil med ulike Manningstall for hver celle. Denne «dfs2» filen må ha samme celleinndeling som batymetrien.

Motstanden blir beregnet ved Formel 4-6 (DHI 2016b):

$$\text{Motstanden} = \frac{g * u * |u|}{C^2}$$

Formel 4-6: Motstanden gitt ved Chezys tall

Hvor g er tyngdeakselerasjonen (m/s^2), u er hastigheten (m/s) og C er Chezys tall ($m^{1/2}/s$). I Formel 4-7 vises det hvordan Mannings tall (M) blir omgjort til Chezys tall.

$$C = M * h^{\frac{1}{6}}$$

Formel 4-7: Omgjøring av Mannings tall til Chezys tall

C er Chezys tall ($m^{1/2}/s$), M er Mannings tall ($m^{1/3}/s$) og h er høyden (m).

Ved et lavere Mannings tall (M) blir motstanden større.

Results

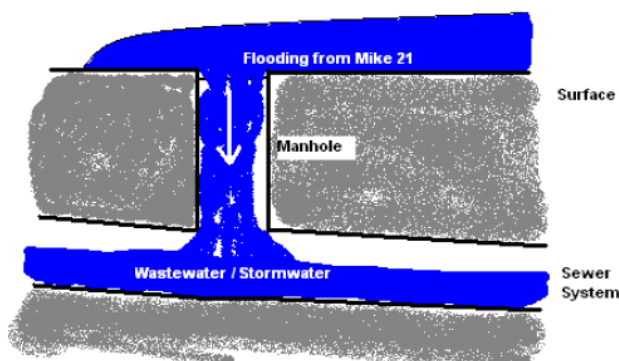
I denne dialogen kan ulike justeringer gjøres i forhold til resultatene, blant annet kan størrelsen på simuleringsfilen og simuleringssteg redigeres. Det kan også hukes av for å lage en fil som viser maksimalverdiene.

Andre parametere

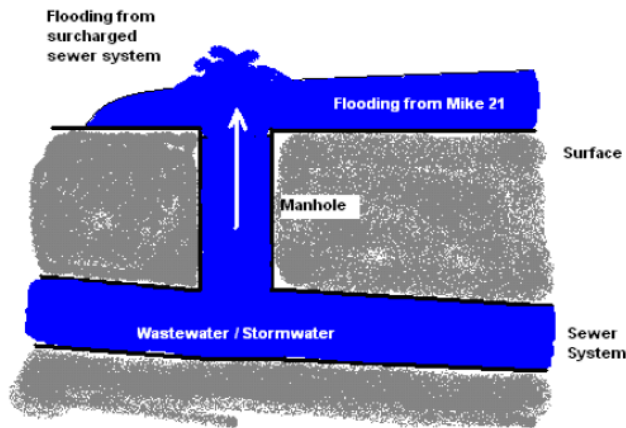
«Wave radiation» og «wind conditions» blir ikke forklart i denne masteroppgaven fordi disse beregningene blir deaktivert ved «inland flooding». I tillegg vil ikke «mass budget» og «structures» være relevant for dette masterarbeidet i MIKE21.

4.8 MIKE FLOOD

MIKE Urban er et program som brukes for å beregne overvann og avløpsstrømmer i rørledningsnettverk (DHI 2016e). Det finnes i tillegg en koblingsrutine som kalles for MIKE FLOOD. MIKE FLOOD kobler sammen MIKE Urban sin nettverkssimulering (1D) og MIKE21 sin overflatesimulering (2D). I Figur 4-15 vises det hvordan MIKE FLOOD fungerer når terrengoverflatemodellen i MIKE21 tilfører vann i MIKE Urban sitt ledningsnett når det er ledig kapasitet. I Figur 4-16 vises det et eksempel på når MIKE Urban tilfører vann til terrengoverflaten i MIKE21. Gjennom MIKE Urban sitt grafiske brukergrensesnitt gis det anledning til å kjøre en MIKE FLOOD simulering. I det følgende skal det gjennomgås hvilke parametere som er viktige for en MIKE FLOOD simulering.



Figur 4-15: Vann som blir tilført fra MIKE21 til MIKE Urban via en kum (DHI 2016d)



Figur 4-16: Vann som blir tilført terrengoverflaten i MIKE21 fra MIKE Urban (DHI 2016d)

4.8.1 MIKE Urban

MIKE Urban er et program som kan simulere alle rørledningsnett i en by (DHI 2016e). Model manager er kjernen til brukergrensesnittet. Model manager bruker ArcGIS som GIS-framvisningsmetode og inneholder mange verktøy. Model manager bruker to moduler. Modulene heter Water Distribution (WD) og Collection System (CS). I dette masterarbeidet har det ikke vært relevant å se på drikkevannsnettet (WD), derfor er det bare Collection System modulen som har blitt benyttet. Collection System modulen består av forskjellige undermoduler og disse heter Pipeflow, Control, Pollution transport, Eco Lab og Rainfall runoff (DHI 2016g). De ulike undermodulene har forskjellige egenskaper og bruksområder. I dette masterarbeidet har undermodulen Pipeflow blitt benyttet.

Collection System – Pipeflow

Ifølge brukermanualen utgitt av DHI (2016h) er modulen brukt til å beregne simuleringer av ustabile strømninger i rørledningsnett. Det blir beregnet med skiftende forhold mellom frie vannoverflater, og trykksatte rørledninger. Modulen tar utgangspunkt i Saint Venants ligninger for å beregne 1D-strømning. Det blir brukt numeriske metoder for å beregne hele ledningsnett. Saint Venants ligninger er delt i to. En ligning for bevaring av masse, Formel 4-8, og en for bevaring av bevegelsesmengde, Formel 4-9.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Formel 4-8: Bevaring av masse i Saint Venants ligninger

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAI_f = gAI_0$$

Formel 4-9: Bevaring av bevegelsesmengde i Saint Venants ligninger

Q er volumstrøm (m³/s), A er tverrsnittsarealet av rørledningen (m²), x er avstanden i strømningsretning (m), t er tid (s), α er hastighetsfordelingskoeffisient, g er tyngdeakselerasjon (m/s²), I₀ er bunnhelningen, og I_f er friksjonshelningen. Ved hjelp av disse ligningene blir strømmingen i røret beregnet i MIKE Urban. For videre lesning refereres det til brukermanualen «MOUSE Pipe Flow – Reference Manual» DHI (2016h).

4.8.2 Parametere og objekter i MIKE Urban

MIKE Urban bruker beregningsmotoren MOUSE til å gjøre hydrauliske beregninger. En nettverksmodell i MOUSE består av (DHI 2016f):

- Noder og konstruksjoner
- Rør og kanaler
- Dammer
- Dyser
- Overvannsinntak
- Pumper
- Ventiler

For alle bestanddelene i modellen kreves det inngangsdata for at simuleringen skal fungere. For eksempel er det viktig at nodene (kummene) har både høydenivå på bunn og topp. Det vil også være viktig å ha med parametere som diameter, geografisk plassering og hvilke rør som er koblet til kummene. Manualen «MIKE Urban – Collection System» (DHI 2016f) inneholder den fulle oversikten over hvilke parametere som er nødvendige for simuleringen. Når simuleringene kjøres vil det bli gitt feilmeldinger ved eventuelle mangler i modellen.

4.8.3 Parametere og objekter i MIKE21

For å kjøre den koblede simuleringen ved hjelp av MIKE FLOOD må det også gis en del parametere som er knyttet til terrengoverflaten. Parameterne er de samme som tidligere gjennomgått i delkapittel 4.7.1. Forskjellen er at verdiene ikke tastes inn i MIKE21 vinduet,

men i et eget «2D Model Settings» vindu i MIKE Urban. Det er i tillegg ikke mulig å velge Smagorinskys formel for å beregne virvelviskositeten.

5 Tidligere arbeid

Det har tidligere blitt skrevet to oppgaver hvor det har blitt generert drenslinjer og synkninger for overvann i Solumstrand rensedistrikt i Drammen ved bruk av ArcGIS, og de er en del av forskningsprosjektet «Regnbyge 3M». Den ene oppgaven er skrevet høsten 2015 ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Masteroppgaven ble skrevet av David Murtnes og tittelen på masteroppgaven er «*Urbane flomveier. Generering av drenslinjer for området Solumstrand i Drammen ved bruk av ArcGIS*» (Murtnes 2015). Den andre oppgaven ble skrevet våren 2015 og er en bacheloroppgave fra Høgskolen i Østfold (HiØ). Oppgaven ble skrevet av Jørgen Hellesjø, Henrik Myrvold, Piotr Gryga og Tor Olav Hystad. Tittelen på oppgaven er «*Analyse av overvannstrømmer og skadedata ved hjelp av ArcGIS, case Drammen*» (Hellesjø et al. 2015). Metodikken som er benyttet i disse to oppgavene har blitt utviklet av Meiforth (2013) og Myrvoll (2015).

I denne masteroppgaven blir metodikken til David Murtnes og fra oppgaven ved Høgskolen i Østfold benyttet til å produsere en terrengmodell. Terrengmodellen ble senere benyttet til modellering av urbane flommer ved hjelp av ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD. Det vil dermed være interessant å sammenligne terrengmodellene som har blitt produsert i denne oppgaven med terrengmodellen til Murtnes (2015) og til Hellesjø et al. (2015). Dette gjøres ved å sammenligne resultatene fra aktsomhetskartene for å finne ut om resultatene stemmer overens. Sammenligningen foregår under diskusjonsdelen i kapittel 8.

5.1 Oppsummering av tidligere arbeid

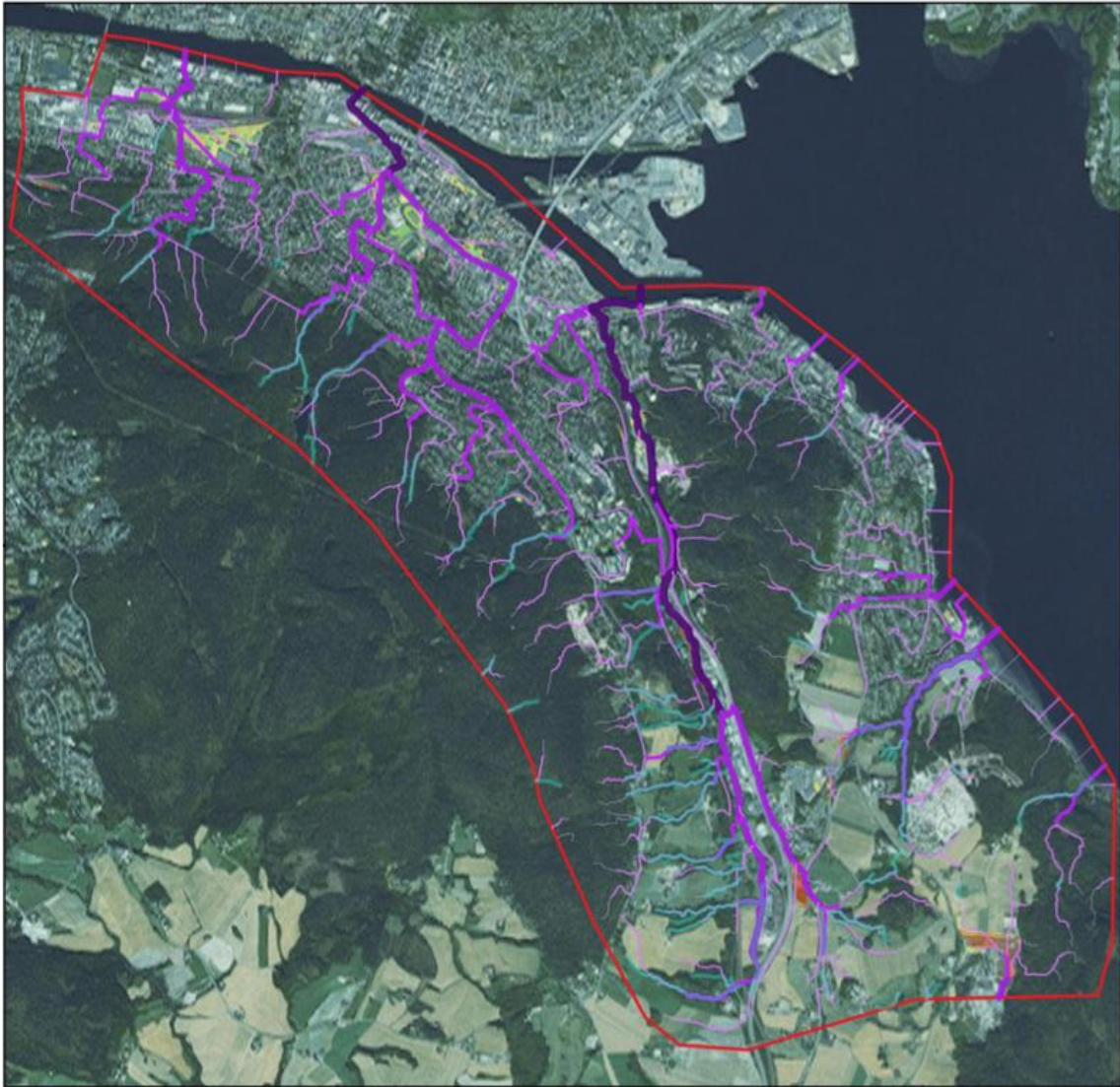
De to oppgavene (Hellesjø et al. 2015; Murtnes 2015) har benyttet ArcGIS med utvidelsene «3D Analyst» og «Spatial Analyst» til å produsere terrengmodell og derav et aktsomhetskart for Solumstrand rensedistrikt. Hensikten med aktsomhetskartet er å vise hvor overvannet vil renne på terrengoverflaten ved nedbørhendelser, og dermed områder som er skadeutsatt. Begge aktsomhetskartene viser dreneringslinjer og forsengkninger (sinks). Dreneringslinjene viser veien overvannet renner mot resipient og tykkelsene på dreneringslinjene viser størrelsen på nedbørsfeltet som bidrar til avrenningen. Sinks er synkninger eller forsengkninger i terrenget hvor det er sannsynlig at vann kan akkumulere. Ved produksjon av aktsomhetskartene har begge oppgavene tatt utgangspunkt i at all avrenning forekommer på terrengoverflaten, slik at avløpsnett og infiltrasjon er neglisjert. Dette kan forekomme ved et

«worst case scenario» hvor regn og snøsmelting forårsakes av en vinterflom på frossen mark, samtidig som at snø og is hindrer vannet fra å nå avløpsnett. Figur 5-1 viser aktsomhetskartet som er produsert av Murtnes (2015).

Murtnes (2015) har sammenlignet aktsomhetskartene med flombilder fra analyseområdet og konkludert med at de har flere likhetstrekk, slik at kartene virker hydrologisk korrekte.

Hellesjø et al. (2015) har sammenlignet aktsomhetskartene med skadedata (forårsaket av urbane flommer) som er registrert på ulike adresser i modellområdet. Sammenhengen mellom overvannets bane og skadevirkningen ble dermed kartlagt. I tillegg ble det også gjort rede for ulike tiltak som kunne være med å dempe skadevirkningene der skadeomfanget var størst, samt en grov kostnadskalkyle av tiltakene. De kom frem til at 63 % av skadene oppstod innenfor 50 meter fra drenslinjene. Konklusjonen er at det er funnet mange likheter mellom tidligere flomhendelser og resultatene, men at aktsomhetskartene ikke viser et fullstendig bilde av virkeligheten.

For nærmere detaljer se Murtnes (2015) og Hellesjø et al. (2015).



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare Solumstrand rensedistrikt, Drammen

Symbologi	
Drenslinjer	Sinks
Klassifisering	Klassifisering
— 25000m ² - 50000m ²	□ 0,25m - 0,50m
— 50000m ² - 350000m ²	□ 0,50m - 1,00m
— 350 000m ² - 1 000 000m ²	□ 1,00m - 1,50m
— 1 000 000m ² - 5 000 000m ²	□ 1,50m - 2,00m
— 5 000 000 - 14 000 000m ²	□ 2,00m - 5,00m
— FKB_Bekk	

0 125 250 500 Meters N



Figur 5-1: Aktsomhetskart over Solumstrand rensedistrikt med drenslinjer og sinks (Murtnes 2015)

6 Metodikk

I denne oppgaven ble det bygd en digital terrengmodell i ArcGIS. Den digitale terrengmodellen ble senere benyttet til overvannsanalyser i ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD for generering av aktsomhetskart. ArcGIS Desktop versjon 10.3.1 ble benyttet til formålet, med utvidelsene «3D Analyst» og «Spatial Analyst». MIKE programvarene var fra 2016. Både ArcGIS og MIKE21 ble benyttet for å simulere overvannstrømminger på terrengoverflaten. Til slutt ble MIKE FLOOD benyttet. MIKE FLOOD simulerte en kobling mellom ledningsnett og overflateavrenningen. Senere i oppgaven blir resultatene fra MIKE21, MIKE FLOOD og ArcGIS sammenlignet.

6.1 PC-spesifikasjoner

I dette masterarbeidet ble det benyttet to datamaskiner med følgende spesifikasjoner:

PC 1:

Operativsystem: Windows 7 64-bit Operating system

Prosesor: Intel® Core™ i7-4810MQ CPU @ 2,80 GHZ

Installert minne (RAM): 32,0 GB

Harddisk: 500 GB

PC 2:

Operativsystem: Windows 7 64-bit Operating System

Prosesor: Intel® Core™ i7-6820HQ CPU @ 2,70 GHZ

Installert minne (RAM): 32,0 GB

Harddisk: 1500 GB

Dette er relativt sett svært kraftige datamaskiner og disse er lånt fra Multiconsult og Norconsult. Det anbefales å ha kraftige datamaskiner for å kjøre simuleringer av den typen som har blitt gjort med denne masteroppgaven.

6.2 ArcGIS-arbeid

ArcGIS ble benyttet til å bygge en digital terrengmodell, forkortet DTM. Terrengmodellen var helt nødvendig for simuleringene i MIKE21 og MIKE FLOOD. Samtidig ble en overvannsanalyse utviklet slik at dreneringslinjer og forsenkninger ble kartlagt i ArcGIS. Overvannsanalysen ble også benyttet til sammenligning mot oppgaven fra Murtnes (2015) og Hellesjø et al. (2015) fra det samme området. Dette ble gjort for å kontrollsjekke den digitale terrengmodellen. I tillegg ble resultatene fra ArcGIS sammenlignet med resultatene fra MIKE21.

6.2.1 Oppbygning av den digitale terrengmodellen (DTM)

Fremgangsmåten for produksjon av terrengmodellen er bygget på metoden til Murtnes (2015) og Hellesjø et al. (2015). For oppbygning av den digitale terrengmodellen ble det tatt utgangspunkt i laserdata (LiDAR data) og ulike FKB data. Disse grunnlagsdataene ble mottatt fra student David Murtnes som hadde fått disse fra Drammen kommune. Grunnlagsdataene ble hentet inn i ArcGIS hvor hele modellen ble bygd opp og senere konvertert til en digital terrengmodell.

For detaljert fremgangsprosess se Vedlegg A.

Klargjøring av laserdata

Laserdata (LiDAR data) ble målt av TerraTec AS den 21.06.2010 for Solumstrand i Drammen (Terratec 2010). Laserdataene ble klargjort ved at de ble konvertert fra «.las» format til «multipoints» format. Dette ble gjort for at dataene skulle kunne bli benyttet i terrengmodellen. Laserdataene fra TerraTec var klassifisert som ikke-terrengpunkter og terrengpunkter i henholdsvis klasse 1 og klasse 2. Ikke-terrengpunkter ble fjernet siden det kun var interessant å se på terrengoverflaten ved hjelp av laserdata. «Multipoints» fra veg- og jernbanebruer ble fjernet slik at bruene ikke skulle oppfattes som terreng og dermed hindre vannstrømningen. Dataene som ble benyttet lå i koordinatsystemet EUREF89 UTM-sone 32 med høydedatum NN1954. Siden høydedatamet var på NN1954, mens FKB-dataene var på NN2000, ble laserdatahøyden justert til å samsvare med NN2000.

Klargjøring av FKB- data

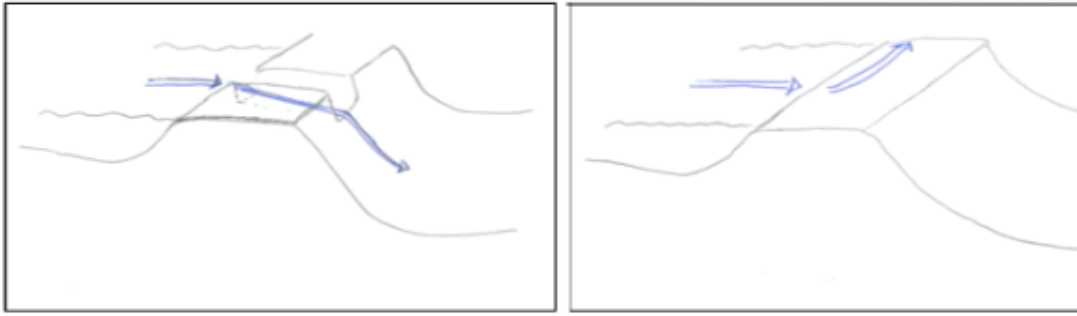
Det ble benyttet fire FKB-datasett, disse var for vei, jernbane, vann og bygning. FKB-data definerer objekter i terrenget ved hjelp av linjer og polygoner, siden dataene er på vektorformat. FKB-dataene ble benyttet for å representere egenskaper i modellen som ikke er tilstrekkelig representert ved laserdataene. FKB-dataene gir definerte elementer fra vei-, jernbane-, vann- og bygningsområder. Vektorlinjene og polygonene vil øke nøyaktigheten i modellen slik at terrengmodellen blir mer hydrologisk korrekt (Meiforth 2013). For at FKB-dataene skal kunne leses i ArcGIS var dataene konvertert fra SOSI-format til shapefiler da disse ble mottatt av David Murtnes. Alle FKB-dataene lå i koordinatsystemet EUREF89 UTM-sone 32 med høydedatum NN2000.

I FKB-veg ble veielementer som representerte bruer og overganger fjernet for å ikke skape hindringer for overvannstrømningene. Veielementer som mindre underganger og tunneller ble tatt med, mens de tre største tunellene ved E138 og E18 (to tunneler) ble fjernet. FKB-dataene var inndelt i ulike objekttyper og noen av disse ble slettet da disse ville hindre vannstrømningen. Figur 6-1 viser eksempel på fjerning av elementer som hindrer overvannstrømningen, for eksempel ble objektene «feristavgrensning» og «skiltportal» fjernet fra FKB-datasettet til veg.

I FKB-bane ble jernbanelementer som representerte bruer og overganger fjernet og alle objekttypene ble tatt med.

I FKB-vann ble vektordata som representerte hav og innsjø tatt med. Disse ble senere klassifisert som «hard replace» når terrengmodellen ble opprettet. Dette ble gjort fordi hav og innsjø har konstant høyde, og dermed kan erstatte laserdataene for de samme områdene. Det ble senere funnet at dette FKB-datasettet manglet høydeverdier. Når terrengmodellen senere ble benyttet i MIKE21 ble dette løst ved interpolering. Et utvalg av objekttyper som kan hindre vannstrømmen ble fjernet. For eksempel ble objekttypene «ElvelinjeFiktiv» og «HavElvSperre» fjernet fra datasettet.

FKB-bygninger ble også lagt inn. I disse dataene ble alle bygninger hevet 25 meter slik at overvannet ble tvunget til å renne rundt bygningene. Dette ble gjort fordi LiDAR data ikke er tilstrekkelig til å skille mellom bygninger og andre objekter. For å få til dette ble det laget en egen rasterfil av bygningene. Et utvalg av objekttyper som kan hindre vannstrømmen ble fjernet og et eksempel på dette var objekttypen «Takoverbygg».



Figur 6-1: Viser eksempel på hvordan elementer kunne hindret overvannstrømningen om de ikke ble fjernet.

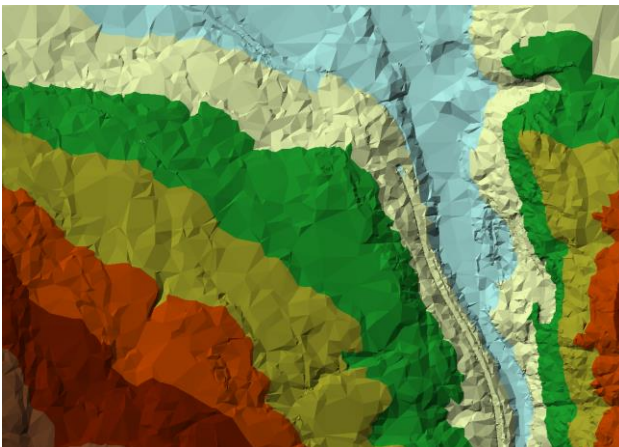
Oppretting av terrengmodellen

Når dataene hadde blitt klargjort og analyseområdet definert ble terrengmodellen opprettet. Analyseområdet ble omgjort med utgangspunkt i området til David Murtnes. Det ble benyttet en «Clip Polygon Feature» for å tegne inn området. Analyseområdet som ble brukt i denne masteroppgaven var på omtrent 27 km².

Oppretting av terrengmodellen ble i hovedsak gjort i tre steg:

1. Bygge «terrain»:

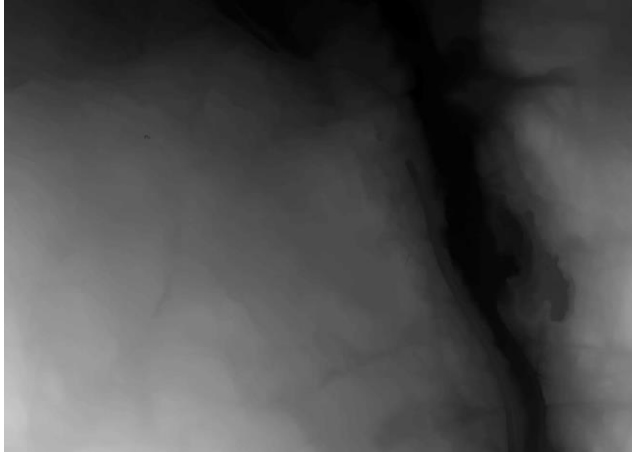
Dette skrittet tar utgangspunkt i de datasett og karakteristikker som skal med i terrengmodellen. I modellen ble følgende datasett benyttet: «Multipoints» for terrengpunkter, polygonlinjer av FKB-vann, veg og bane, polygoner for FKB-vannflater og et polygon som avgrensner området. I Figur 6-2 vises et eksempel på hvordan resultatet kan bli.



Figur 6-2: Et eksempel på hvordan et «terrain» kan se ut (skjermdump)

2. Konvertere terrain til raster:

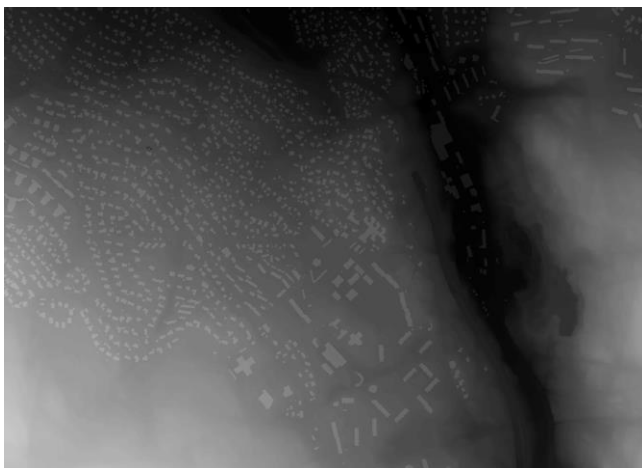
Neste steg var å konvertere fra «terrain» til «raster». Dette ble gjort for at bygningsrasteret senere skulle kunne bli lagt inn, samt at modellen skulle kunne benyttes til ulike analyser. Terrengrasteret er vist i Figur 6-3.



Figur 6-3: Når «terrain» har blitt konvertert til raster (skjermdump)

3. Legge til bygningsraster:

Det siste steget var å legge til bygningsrasteret i terrengmodellen. Dette ble gjort ved å slå sammen terrengrasteret og bygningsrasteret. Når disse var slått sammen var den digitale terrengmodellen ferdig opprettet i en ny rasterfil. Denne ble benyttet videre til å overvannsanalyser i ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD. Terrengrasteret som har blitt slått sammen med bygningsrasteret er vist i Figur 6-4.



Figur 6-4: Terrengrasteret slått sammen med bygningsrasteret (skjermdump)

6.2.2 Produksjon av aktsomhetskart

Ved hjelp av den digitale terrengmodellen ble det produsert aktsomhetskart i ArcGIS. Dette ble benyttet for å se på strømningslinjene for overvann på terrengoverflaten, samt til å sammenligne med oppgavene til Murtnes (2015) og Hellesjø et al. (2015) og resultatene fra MIKE21. Fremgangsmåten til Murtnes (2015) og Hellesjø et al. (2015) ble også benyttet til dette.

For detaljert fremgangsprosess se Vedlegg A.

Drenslinjeanalyse

Først ble forsenkninger (sinks) i den digitale terrengmodellen fylt igjen ved hjelp av verktøyet «Fill». Dette ble gjort for at vannet skulle renne videre over forsenkninger, og ikke akkumulere.

Etter at forsenkninger var fylt igjen ble verktøyet «Flow Direction» benyttet til å lage et nytt raster. Dette var for å beregne retningen som vannet strømmer fra hver enkelt rastercelle. Verktøyet gir hver rastercelle en verdi og beregningene gjøres ved hjelp av en D8-algoritme. Hver rastercelle er omgitt av 8 omkringliggende celler hvor høy verdi indikerer et toppunkt, mens lav verdi et lavpunkt. Vannet vil dermed strømme til den cellen med lavest verdi.

Når strømningsretningen i hver celle var definert ble verktøyet «Flow Accumulation» benyttet til å finne ut hvor mange celler som strømmer til hver rasterrute. Verktøyet danner et eget raster og benytter resultatet fra «flow direction» til å lage strømningslinjer. Verktøyet «Reclassify» blir til slutt benyttet for å dele strømningslinjene inn i ulike klasser ut fra størrelsen på nedbørsfeltet (antall rasterceller som drenerer til hvert punkt på den spesifikke linjen).

Sinksanalyse

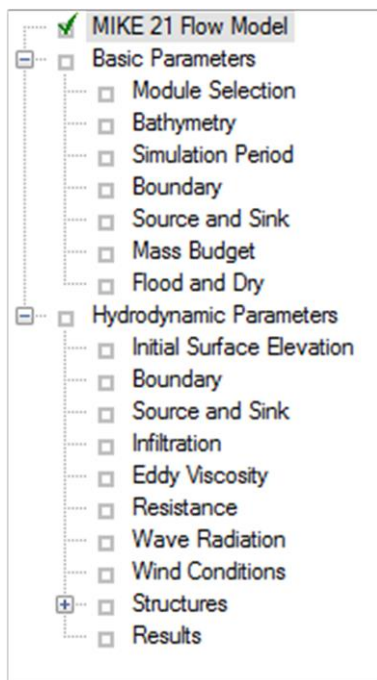
Sinksanalyse ble benyttet til å identifisere forsenkninger i terrenget hvor vann kan akkumulere. Til dette ble verktøyet «Minus» benyttet. Verktøyet trekker ut verdier når det fylte rasteret og det ikke fylte rasteret sammenlignes. Altså den digitale terrengmodellen før og etter «Fill» verktøyet er benyttet. «Reclassify» ble benyttet for ønsket fremvisning av dybdene av forsenkningene ved ulik klassifisering.

Forberedelse av overvannskart

For fremvisning av aktsomhetskartet ble rasterfilen av dreneringslinjene omdannet til polygonlinjer, mens rasterfilen av sinkanalysen omgjort til polygoner. Kartene ble med andre ord omgjort til vektorkart for bedre visualisering.

6.3 MIKE21 arbeid

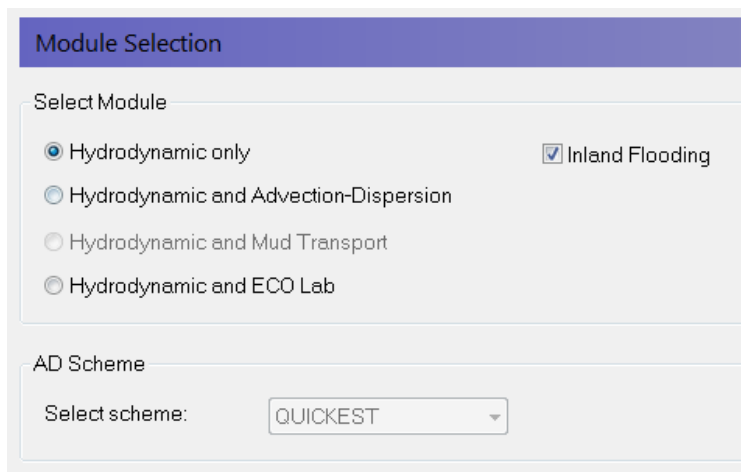
MIKE21 Flow Model ble benyttet for å beregne drenslinjer og oversvømmelser på terrengoverflaten ved hjelp av hydrauliske ligninger for todimensjonale strømminger. I det følgende skal det gis en detaljert beskrivelse av oppsettet som ble benyttet for simuleringen. Det blir tatt utgangspunkt i parametervinduet i MIKE21 vist i Figur 6-5.



Figur 6-5: De ulike parameterne som kan bli benyttet i MIKE21 Flow Model (skjermdump)

6.3.1 Module Selection

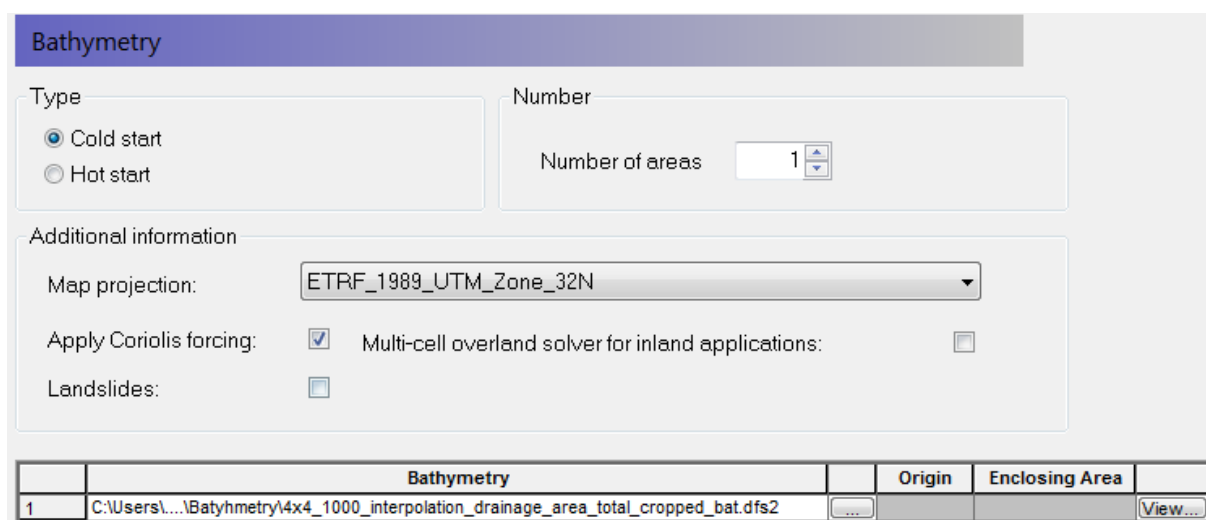
I Figur 6-6 vises valgmulighetene for hvilken moduler som kan velges for simulering. I dette arbeidet har modulen som kun inkluderer hydrodynamikk blitt valgt. Simuleringen skal i tillegg gjøres for et delvis urbant område, et stykke inn i landet, og derfor hukes «inland flooding» av.



Figur 6-6: Dialogvinduet til «Module Selection» med «Inland Flooding» huket av (skjermdump)

6.3.2 Bathymetry

I Figur 6-7 vises hvilke muligheter som finnes knyttet til valg av batymetri. Batymetrien er kanskje den mest utslagsgivende komponenten i simuleringen.

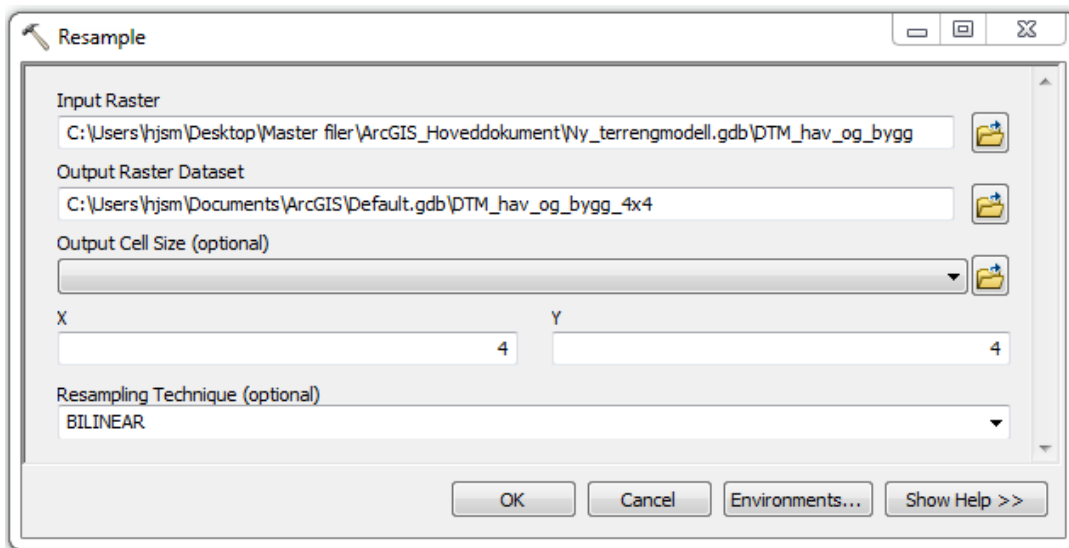


Figur 6-7: Dialog for valg av batymetri (skjermdump)

Batymetrien må være korrekt for at simuleringen skal kunne kjøres på en tilfredsstillende måte og denne kan fremstilles med forskjellige oppløsninger. Tidlig i masterarbeidet ble en celleoppløsning på 0,8x0,8 m valgt. Dette ble svært datakrevende. Ved et altfor finmasket rutenett kan simuleringen bli vanskelig å gjennomføre. Det kan blant annet føre til «blow ups». «Blow ups» er når simuleringen blir overbelastet og avsluttes brått. Dette kan blant annet forårsakes ved for stort tidssteg, eller at vannivået i modellen blir for høyt og at det er for høy oppløsning i terrengmodellen.

Rasterceller på 2x2 m, 4x4 m og 8x8 m ble benyttet i batymetrien for å simulere med. 2x2 m førte til «blow ups» (terminering av simuleringene), og når det først gikk var dette svært tidkrevende, mens 4x4 m og 8x8 m fungerte bra. Det ble derfor simulert med 4x4 m for å beholde en relativt god oppløsning i terrengmodellen.

Batymetrien ble framstilt ved hjelp av ArcGIS og MIKE ZERO Toolbox. ArcGIS verktøyet «resample» ble kjørt for å få endret rastercellene fra 0,8 x 0,8 m til ønsket cellestørrelse på 2x2 m, 4x4 m og 8x8 m. Verktøyet er vist i Figur 6-8. «Resampling technique» ble valgt til «bilinear». Videre ble verktøyet «Raster to ASCII» brukt. Det ble da produsert en «asc» fil. ASCII filen ble videre åpnet i «MIKEZERO Toolbox» sin applikasjon «Grd2MIKE». Dette verktøyet gjør at «asc» filene blir konvertert til et «dfs2» format som kan bli lest av MIKE21. For at denne filen skulle kunne bli brukt som en batymetri, måtte filen redigeres ved å åpne filen i MIKE Zero. Deretter ble «Edit» valgt. På «Edit» ble «items» valgt samtidig som «type» ble satt til «bathymetry». I tillegg ble «land value» satt til 900 (kotehøyde), slik at alle celler over den gitte høyden ikke ble tatt med i simuleringen. Dette fungerte bra da alle tomme celler som utgjorde avgrensningen av området ble satt til 1000 (kotehøyde).



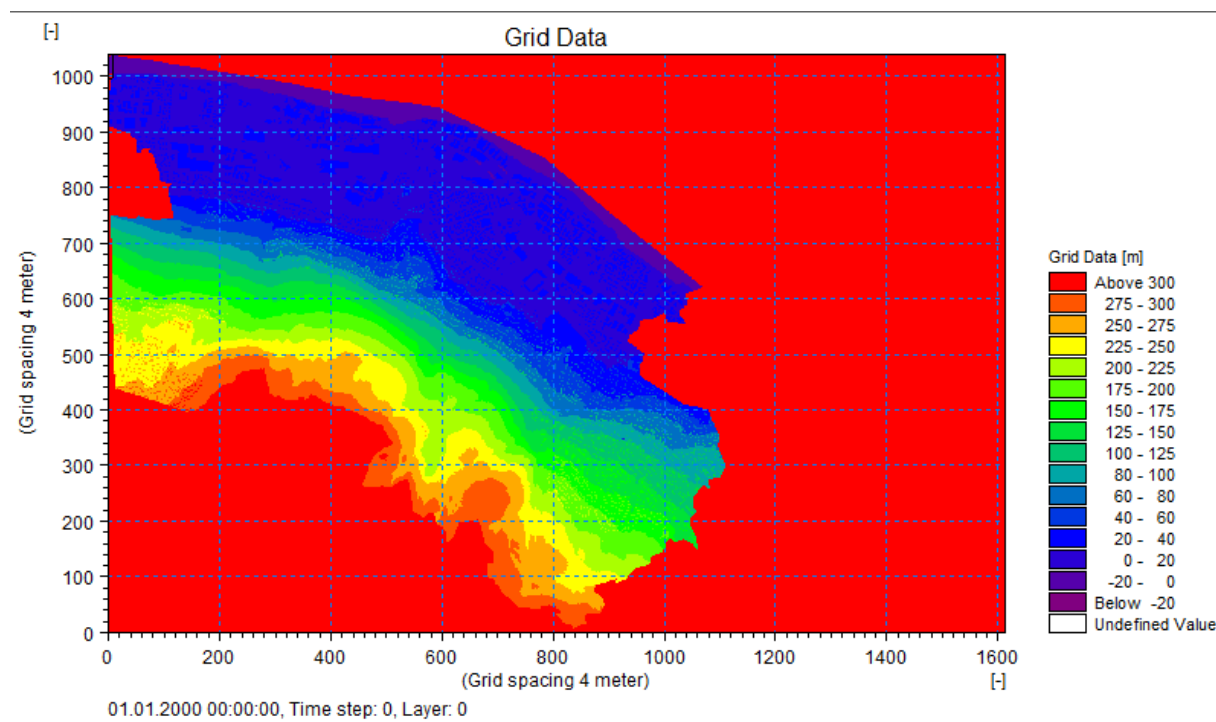
Figur 6-8: «Resample»-verktøyet i ArcGIS (skjermdump)

Videre ble batymetrien redigert ytterligere siden noen områder hadde veldig store høydeforskjeller. Områdene var knyttet til der FKB-vannflater hadde blitt brukt som «hard replace» og det ble registrert at FKB-datasettet ikke hadde høydeverdier, slik at noen få rasterceller var mye lavere enn de skulle være. Dette ble løst ved å slette de cellene dette gjaldt. Metoden for å få finne cellene var tidkrevende da dette ble gjort manuelt. Det ble brukt en fargeskala som framhevet høydeforskjellene, og kotehøydene i de cellene som hadde altfor

store avvik ble slettet, og erstattet med en ny verdi ved verktøyet «interpolation». Verktøyet interpolerer og gir verdi til tomme celler i forhold til verdiene i de celler som er i nærheten. Batymetrien som ble brukt er vist i Figur 6-9.

Det var også ønsket at havnivået skulle bli senket til -10 meter over havet. Dette ble gjort for at havet skulle fungere som et basseng som ble fylt opp av modellen. Dette ble gjort i ArcGIS ved å senke Drammenselva med 10 meter ved hjelp av «Raster calculator».

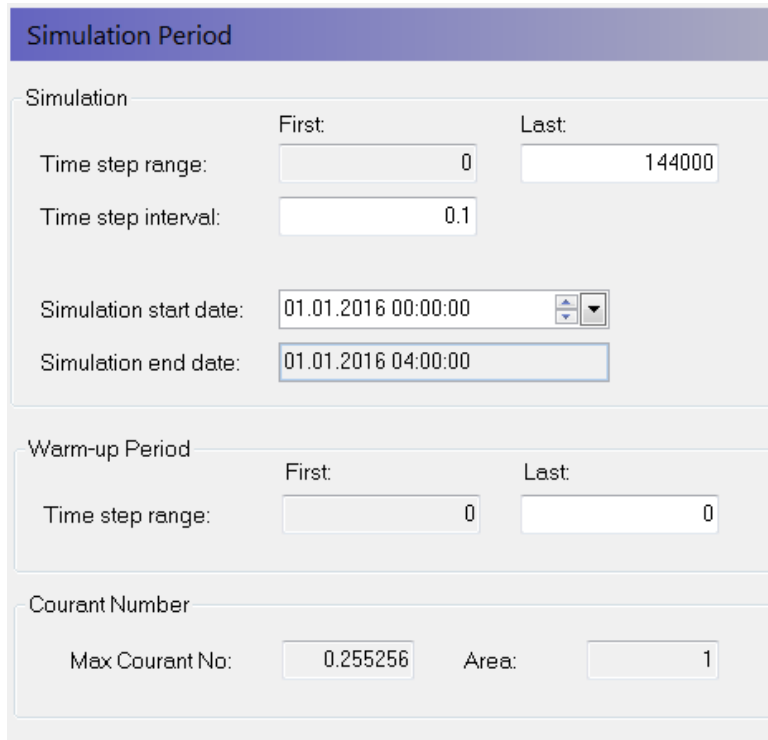
Figur 6-9 viser at terrenget er omringet av røde celler. Dette er fordi alle celler som ikke var terreng ble satt til høyde lik 1000. Dette ble gjort for at vann ikke skulle forsvinne ut av modellen. Ideen ble hentet fra fremgangsmåten i masteroppgaven til Wallinder (2015). Det ble gjort et valg av hvilket nedbørsfelt som skulle bli simulert. Området ble valgt gjennom å bruke verktøyet «basin» i ArcGIS. Da området var valgt, ble disse cellene merket ved å bruke «data overlay» slik at nedbørsfeltet var synlig. Videre ble «selection by polygon» brukt for å velge de cellene som var ønsket og batymetrien ble forminsket ved hjelp av verktøyet «crop», hvor valget «crop to view» ble benyttet. Etter at disse justeringene hadde blitt gjort var batymetrien klar til bruk.



Figur 6-9: Batymetrien som ble brukt i masteroppgaven (skjermdump)

6.3.3 Simulation period

I Figur 6-10 vises oppsettet som ble valgt for simuleringene i denne masteroppgaven. «Time step intervall» ble valgt til 0,1 etter litt utprøving med forskjellige verdier. Dette gav et couranttall på 0,255256, som var under 1, og derfor ga en stabil simulering. Ved å sette inn en 2x2 m batymetri måtte vi benytte et «time step intervall» på 0,04 for å gjennomføre en stabil simulering. Dette ga et couranttall på 0,204092. Nedbørsfilene som ble brukt var konstruerte regn med tidsforløp fra 01.01.2016 klokken 00:00:00 til 04:00:00.

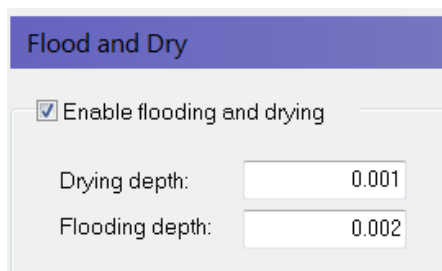


Simulation Period			
Simulation			
Time step range:	First: 0	Last: 144000	
Time step interval:	0.1		
Simulation start date:	01.01.2016 00:00:00		
Simulation end date:	01.01.2016 04:00:00		
Warm-up Period			
Time step range:	First: 0	Last: 0	
Courant Number			
Max Courant No:	0.255256	Area:	1

Figur 6-10: Dialogvinduet til «Simulation period» (skjermdump)

6.3.4 Flood and Dry

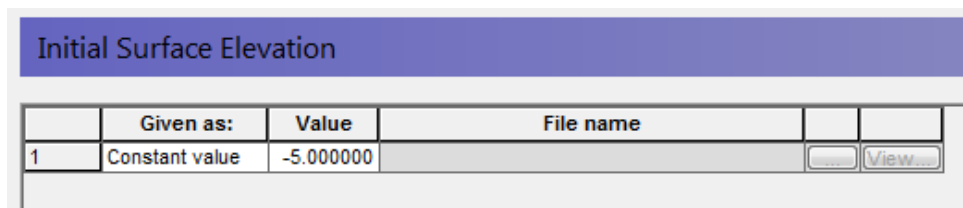
Tidlig i fasen med utprøving ble tommelfingerregelen fra DHI (2016a) brukt. Den er gjengitt på side 87 under «Flood and Dry» avsnittet. Simuleringen kjørte fint med disse verdiene men resultatene ble da for grovt beregnet. Mindre verdier ble dermed utprøvd slik at simuleringen skulle bli så korrekt som mulig. Etter en del forsøk ble det bestemt at «drying depth» ble satt til 0,001 m og «flooding depth» ble satt til 0,002 m. Dette var for å få med mest mulig av regnet i simuleringen, noe som ga tilfredsstillende resultater. Dialogvinduet er vist i Figur 6-11 med verdiene som ble brukt i simuleringene.



Figur 6-11: Dialogvinduet til «Flood and Dry» (skjermdump)

6.3.5 Initial Surface Elevation

Dialogvinduet er vist i Figur 6-12. Det som ble valgt i denne delen av simuleringen var hvilket nivå havet skulle starte på. Verdien ble satt til -5 fordi det ble identifisert forsenkninger i batymetrien som hadde en verdi på -4.7. Ved å legge «initial surface elevation» til -5, ble det unngått at disse forsenkningene startet som fylte av vann. Drammenselva ble senket med 10 meter i ArcGIS, slik at vannivået i elven var på rundt 5 meter når simuleringen startet. Dette medførte også at elven hadde et ekstravolum med høyde 5 meter som vannet kunne renne ned i. Dette var nødvendig siden modellen var lukket slik at vannet ikke forsvant ut av modellen. I stedet for å legge inn en konstant verdi for hele området, kan det legges inn en «dfs2» fil. Ved å legge inn en ny batymetri fil med «type» = «surface elevation» hvor havnivået er redigert til ønsket nivå vil MIKE21 finne forskjellene mellom batymetrien og «surface elevation» rasteret. Den vil da finne ut hvor det skal være vann fra starten av simuleringen.



Figur 6-12: Dialogvinduet til «Initial Surface Elevation» (skjermdump)

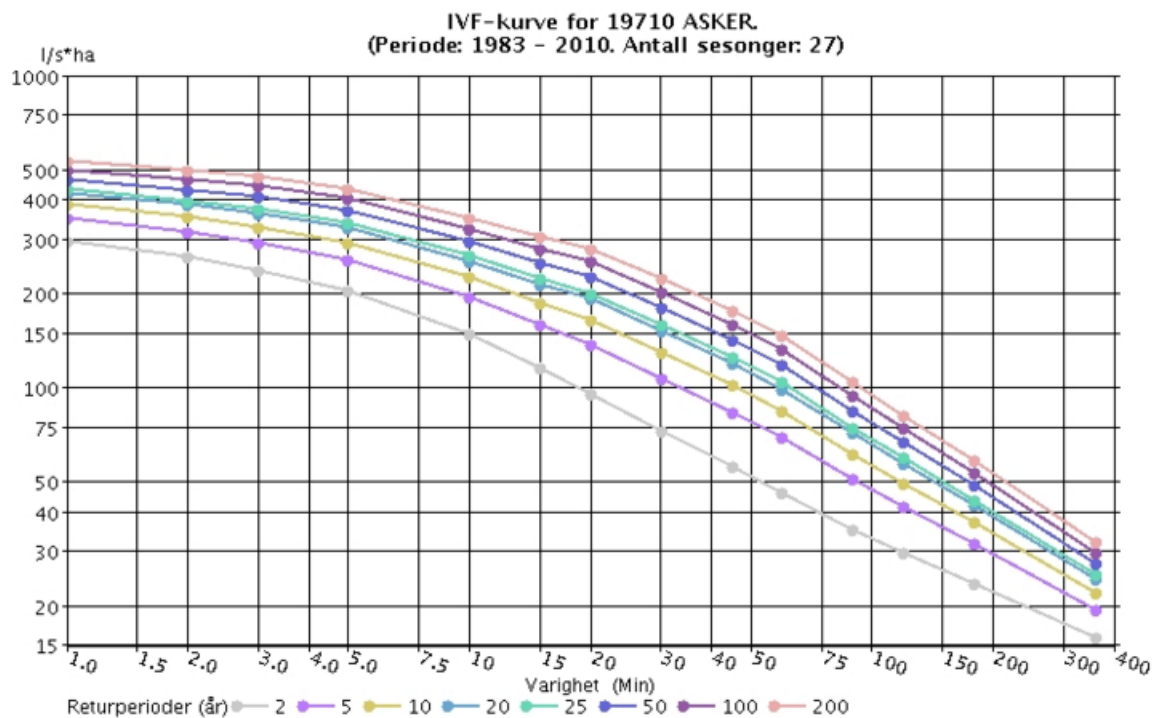
6.3.6 Source and Sink

Under menyen «Source and sink», som er vist i Figur 6-16, ble regnfilen valgt og lagt inn i simuleringen.

Før regnfilen kunne legges inn måtte filen opprettes. Regnfilen ble laget ved omdannelse av IVF-kurve til et symmetrisk regnhyetogram. Prinsippene til Ødegaard et al. (2012) ble

benyttet for konstruksjonen av nedbørshyetogrammet. I tillegg var Halvor Hardang fra DHI behjelpelig. Fremgangsmåten var som følger:

IVF-kurven fra Asker ble hentet fra eklima (Meteorologisk institutt 2010) hvor det ble opprettet en bruker for å få tilgang til regndataene som var ønskelige. IVF-kurven for Asker ble valgt fremfor Drammen på grunn av måleperioden. IVF-kurven til Drammen var ikke oppdatert siden 1995, mens for Asker var den oppdatert i 2010. Siden Asker kun ligger ca. 20 km fra Drammen, og fordi oppdateringsforskjellen var på en halv normalperiode, ble det antatt at IVF-kurven fra Asker var mer representativ for området. IVF-kurven for Asker har måleperiode 1983-2010, med nedbørintensitet angitt i liter per sekund per hektar (l/s*ha) og kan ses i Figur 6-13.



Figur 6-13: IVF-kurve for Asker (Meteorologisk institutt 2010)

IVF-kurven ble omgjort til et regnhyetogram, hvor hyetogrammet er symmetrisk om midtaksen. Ved konstruksjonen av diagrammet ble varighet mellom 5 og 60 minutter benyttet. Beregningssteget som ble brukt var på 2,5 minutt, noe som betyr at verdier for hvert femte minutt mellom 5 og 60 minutter måtte hentes ut fra tabellen til IVF-kurven. Denne er vist i Tabell 6-1. Hvis beregningssteget hadde vært lavere ville dette gitt en meget høy spissintensitet. Lineær interpolering ble benyttet for å hente ut verdier for 25, 35, 40, 50 og 55 min, siden disse ikke var med i tabellen. De interpolerte verdiene ble senere justert for å få en

finere kurve på regnhyetogrammet. Ved justeringen ble det totale nedbørsvolumet og nedbørstoppen bevart.

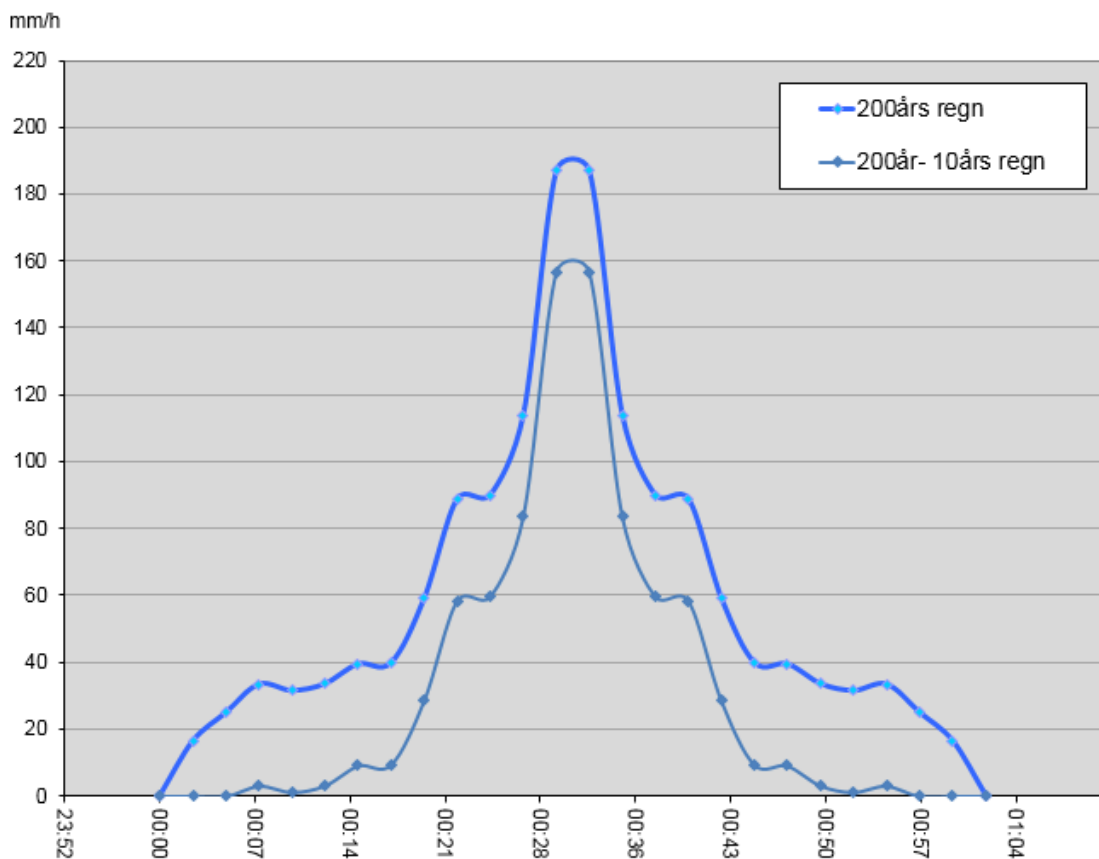
Tabell 6-1: Verdier fra IVF-kurven. Redigert fra Meteorologisk institutt (2010)

Returperioder(år); Nedbørintensitet i liter pr. sekund pr. hektar(10 000m ²) (l/s*ha)														
19710 ASKER														
Periode: 1983 - 2010														
Antall sesonger: 27														
År	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.
2	293.3	261	234.9	202.5	147.9	115.8	95.3	72.3	55.6	46.2	35.2	29.6	23.5	15.8
5	347.5	314	289.6	255.4	193.9	158.5	137.2	107	83.2	69.1	50.9	41.5	31.5	19.5
10	383.4	349	325.7	290.4	224.4	186.7	164.9	129.9	101.4	84.3	61.3	49.4	36.9	22
20	417.9	382.7	360.4	324	253.6	213.8	191.5	151.9	119	98.9	71.3	57	42	24.3
25	428.9	393.3	371.4	334.7	262.9	222.4	200	158.9	124.5	103.6	74.5	59.4	43.6	25.1
50	462.5	426.2	405.4	367.5	291.5	248.9	226	180.4	141.7	117.8	84.2	66.8	48.6	27.4
100	496	458.8	439	400.1	319.8	275.2	251.8	201.8	158.7	132	93.9	74.2	53.6	29.6
200	529.3	491.3	472.6	432.7	348.1	301.5	277.5	223.1	175.6	146.1	103.6	81.5	58.6	31.9

Når alle verdiene i beregningssteget var funnet ble verdiene omgjort fra l/s*ha til mm/h som er den foretrukne enheten ved simuleringen. Omregningsfaktoren er på 0,36.

En antatt klimafaktor på 20 % ble lagt til, selv om mange kommuner ønsker en høyere klimafaktor (Kristiansand kommune 2014). Klimafaktoren skal kompensere for fremtidens nedbørsøkning og legges til grunn for dimensjonering i kommunene.

Siden dette er en 2D-simulering der ledningsnettets ikke er koblet til overvannsmodellen ville avrenningsvolumet blitt unormalt høyt. For å ta hensyn til ledningsnettets kapasitet ble det gjort et fradrag av nedbørsmengden, for det regnet som det antas at ledningsnettets klarer å ta hånd om slik at det gjøres en reduksjon i regnhyetogrammet. I Lindholm et al. (2008) forklares det at tidligere ingeniørpraksis var å dimensjonere separatsystem og fellessystem for et gjentakintervall på 10 år innenfor sentrumsbebyggelse. I den forbindelse er det i dette masterarbeidet valgt å trekke fra et 10 årsregn, uten klimafaktor, med varighet på 60 minutter fra regnhyetogrammet. Det regnet som ble trukket fra var dermed en konstant verdi på 84,3 l/s*ha eller 30,3 mm/h. Figur 6-14 viser det symmetriske regnhyetogrammet med klimafaktor, hvor forskjellen mellom 200 årsregnet med og uten fratrukk av 10 årsregnet kommer frem.

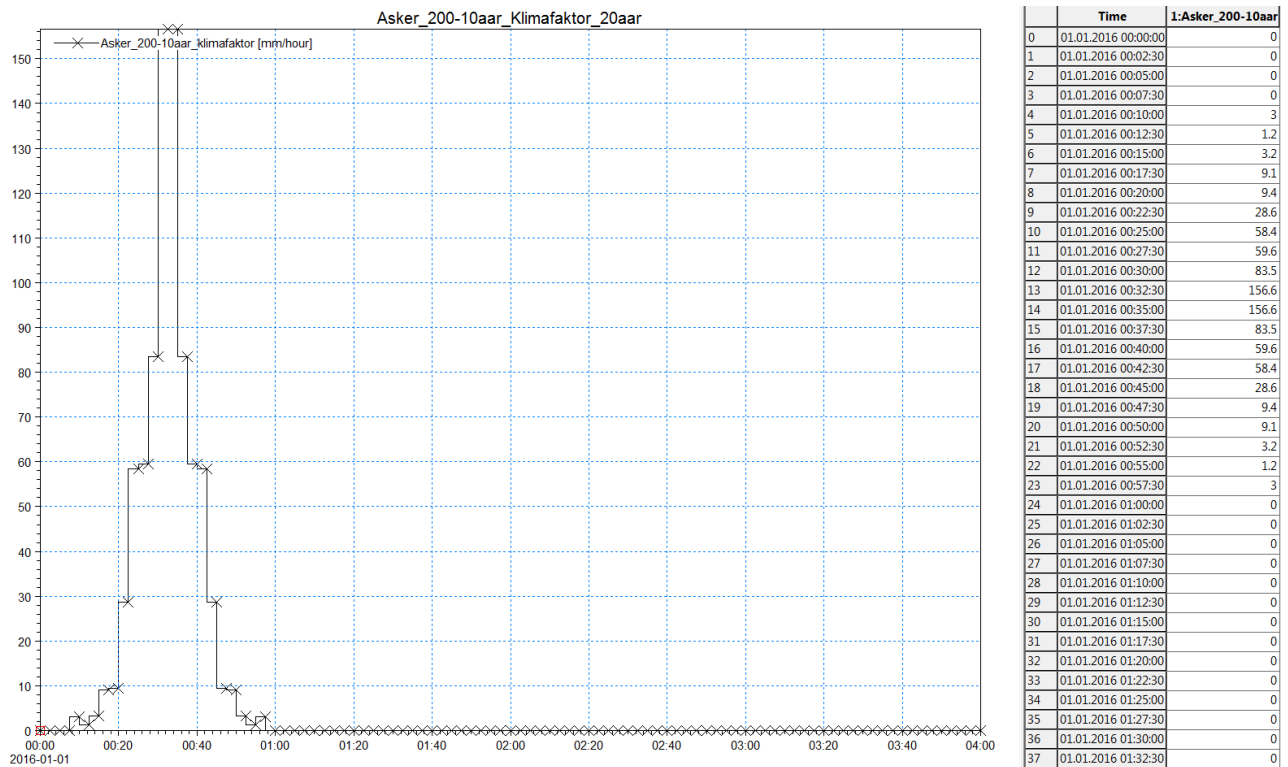


Figur 6-14: Symmetrisk regnhyetogram med klimafaktor. Viser forskjellen mellom 200 årsregn og 200 årsregn med fratrekk av 10 årsregn (skjermdump)

Nedbørshendelsen i regnhyetogrammet hadde en varighet på omtrent en time. For å få lagt inn regnet i MIKE21 måtte en fiktiv dato settes og denne datoen ble da satt til 01.01.16 mellom kl.00.00 og 04.00. Dette betyr at simuleringen ble på 4 timer, selv om regnet kun varte i en time. Dette er for å få med virkningen av avrenningen også etter at regnet har opphørt.

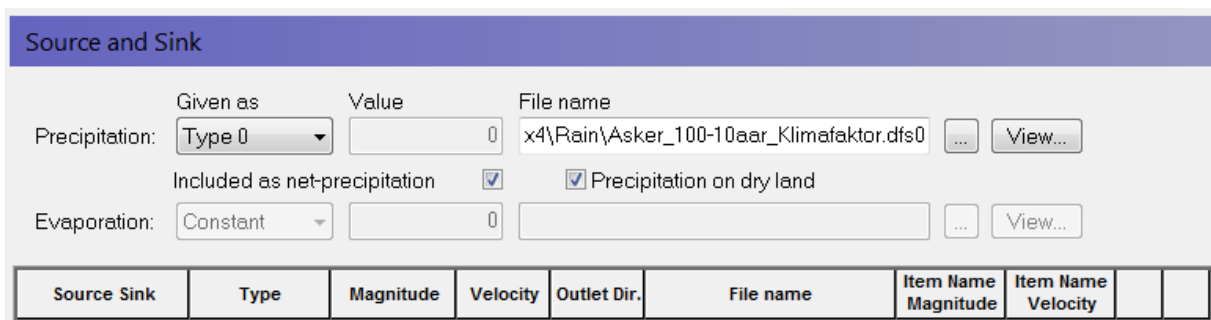
Det ble konstruert regnhyetogram for 200-årsregn, 200-årsregn med 10-års fratrekk og 50-årsregn med 10-års fratrekk. Simuleringen ble dermed kjørt i flere omganger med de forskjellige regnfilene.

For å legge inn regnfilene måtte det opprettes dfs0 filer av regnet. Dette ble gjort ved hjelp av MIKEZERO Toolbox og videre ble applikasjonen «Time Series Batch Conversion» benyttet. Figur 6-15 viser et skjermdump fra en av regnfilene på «dfs0» format som ble benyttet i simuleringen.



Figur 6-15: Regnfilen på dfs0 format som legges inn i MIKE21 (skjermdump)

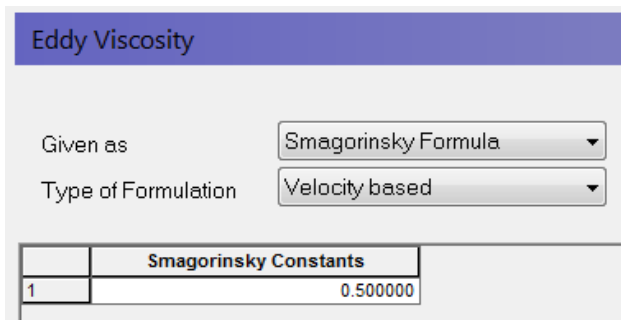
Regnfilen ble lagt inn som «Type 0» fil, som vist i Figur 6-16. «Type 0» ble valgt siden nedbøren er antatt lik over hele området og dermed ikke varierer fra celle til celle. «Included as net-precipitation» og «Precipitation on dry land» var huket av.



Figur 6-16: Dialogvinduet til «Source and Sink» (skjermdump)

6.3.7 Eddy Viscosity

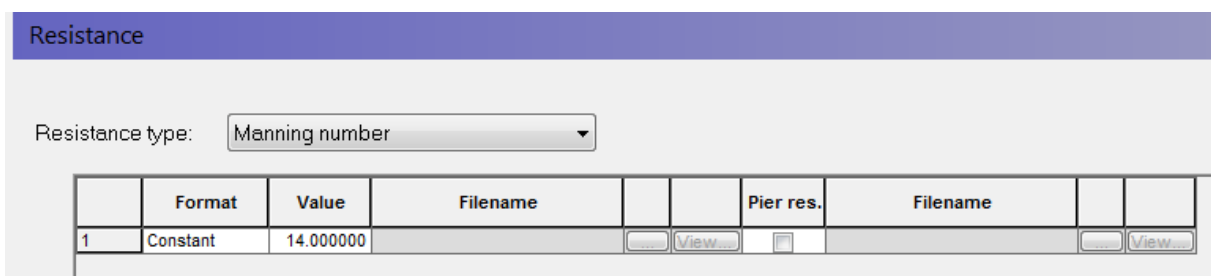
«Eddy Viscosity» ble satt til «Smagorinsky Formula» etter oppfordring fra Halvard Hardang i DHI Oslo. Smagorinsky konstanten ble satt til 0,5.



Figur 6-17: Dialogvinduet til «Eddy Viscosity» (skjermdump)

6.3.8 Resistance

Dialogvinduet til «Resistance» er vist i Figur 6-18. Ruheten til terrengoverflaten ble valgt ut ifra vurderinger og erfaringer i masteroppgaven skrevet av Filipova (2012) og Manningstall (M) ble valgt til en konstant på 14.



Figur 6-18: Dialogvinduet til «Resistance» hvor det angis hva slags ruhet terrengoverflaten skal ha (skjermdump)

En annen metode for å angi ruhet var å laste inn en dfs2 fil med ulike Manningstall (M) for ulike arealtyper. Dette ble det også gjort et forsøk på. Tabell 6-2 viser de ulike Mannings tall som ble benyttet for de ulike arealene. Lavere Mannings tall gjør at ruheten blir større. De ulike tallene ble valgt etter tips fra Halvor Hardang ved DHI og masteroppgaven til Filipova (2012).

Tabell 6-2: Ulike Mannings tall (M) for ulike overflater som ble benyttet

Arealbruk	Mannings tall (M)
Bygninger	3
Veier	71
Vannflater	76
Alt annet	10

6.3.9 Results

Figur 6-19 viser hvilke valg som finnes for resultatfilene fra simuleringene. Det kan være greit å følge med på størrelsen på filen som blir laget. Størrelsen på filen ble justert ved å editere intervallet mellom hver gang resultatene ble lagret i resultatfilen. Det var totalt 144 000 tidssteg, og et intervall på 1000 ble valgt for å få en håndterlig fil. I tillegg var det viktig å velge hele området slik at hele batymetrien ble med. Det ble huket av for «calculation of inundation statistics», slik at det ble laget en egen fil med maksverdiene. På den måten ble det mulig å visualisere maksimalverdiene til de forskjellige parameterne.

The screenshot shows the 'Results' dialog window. At the top, there are two input fields for output sizes: 'Size of total output' and 'Size of HD output', both set to 2772.58 MB. Below these is a dropdown for 'Numbers of output areas' set to 1. A table lists output items with columns: Type, Area, J, K, Time, Data File, Title, and Output Items. The first row shows 'Resultat.dfs2' as the data file. Below the table is a checkbox for 'Generate hot start'. Another table for 'Hot Start File' is empty. At the bottom, there are checkboxes for 'Calculation of inundation statistics' (checked) and 'Include duration above threshold depth item' (unchecked). Input fields for 'Max_depth.dfs2', 'Update frequency' (1 [sec]), and 'Threshold depth' (0 [m]) are also present.

Type	Area	J	K	Time	Data File	Title	Output Items
1	2	1	0-1613,1	0-1039,1	0-144000,1000	Resultat.dfs2	Output items

Hot Start File	Title
1	

Figur 6-19: Dialogvinduet til Results (skjermdump)

6.3.10 Ikke relevante parametere

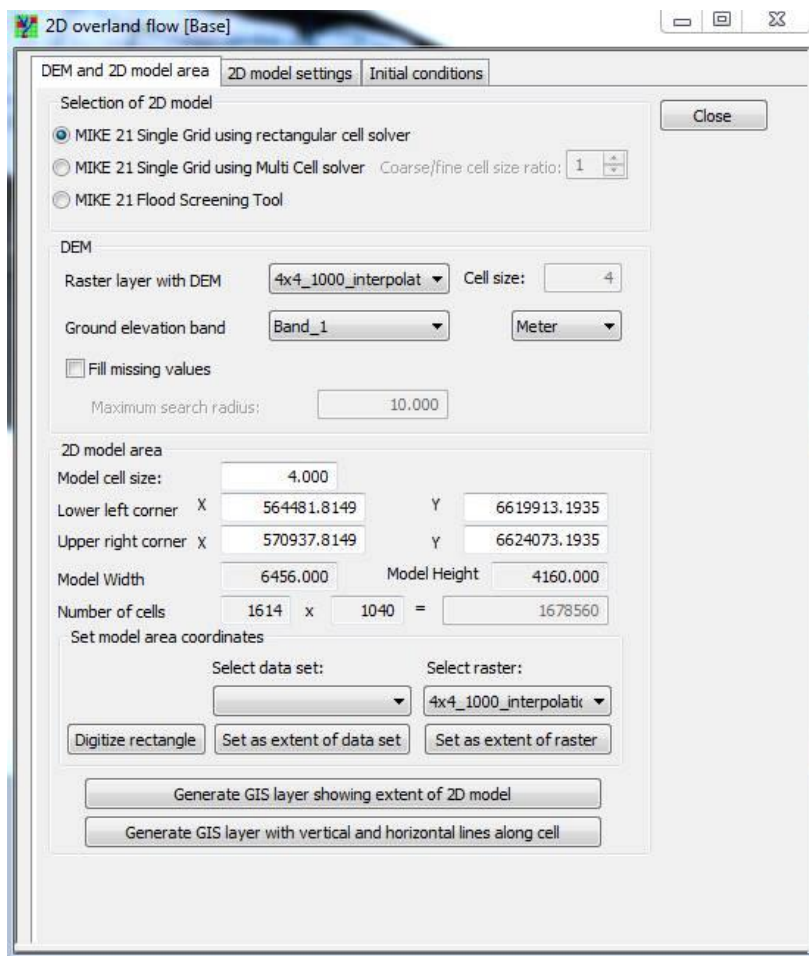
Det viste seg at flere av parameterne i MIKE21 ikke var relevante for dette masterarbeidet. Det ble dermed ikke lagt inn verdier i disse vinduene. De parameterne dette gjaldt var boundary (basic parameters), source and sink (basic parameters), mass budget, boundary (hydrodynamic parameters), infiltration, wave radiation, wind radiation og structures.

6.4 MIKE FLOOD arbeid

Koblingen MIKE FLOOD ble benyttet til å kjøre simuleringer som kombinerte ledningsnett fra MIKE Urban og terrengoverflaten fra MIKE21. I arbeidet med MIKE FLOOD blir det grafiske brukergrensesnittet til MIKE Urban benyttet. I delkapittel 6.3 gjennomgås de ulike parameterne til MIKE21. Det gis derfor ikke en begrunnelse for verdiene som er valgt i MIKE FLOOD sin «2D Model settings».

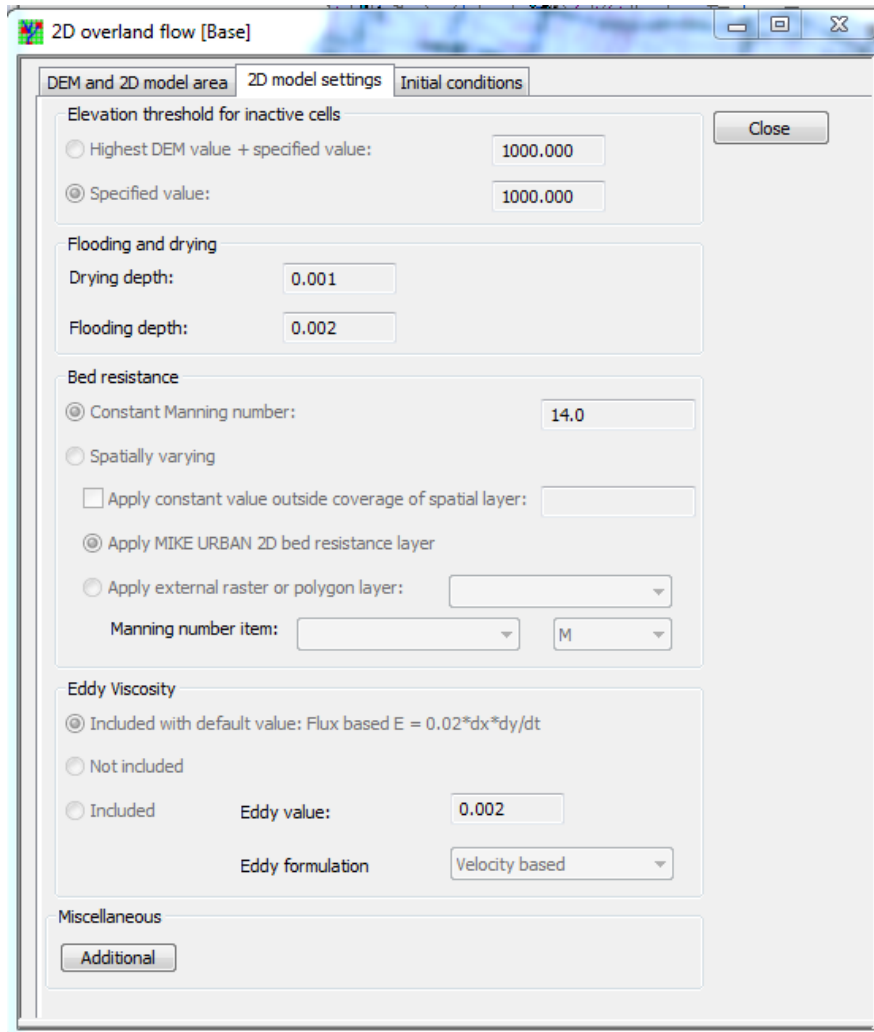
6.4.1 Oppbygging av overflatemodellen i MIKE Urban

Siden det grafiske brukergrensesnittet til MIKE Urban blir benyttet i arbeidet med MIKE FLOOD ble parameterne som skulle inn i MIKE21-modellen satt inn på en annen måte. Ved å gå inn på menyfanen under «MOUSE», «2D Overland Flow» og deretter «2D Model Settings» blir det gitt mulighet til å endre overflateverdier under fanen «DEM and 2D model area». Dette dialogvinduet vises i Figur 6-20. Her innsettes den digitale terrengmodellen, og oppløsningen blir bestemt. Filformatet «dfs2» blir benyttet, akkurat som i MIKE21.



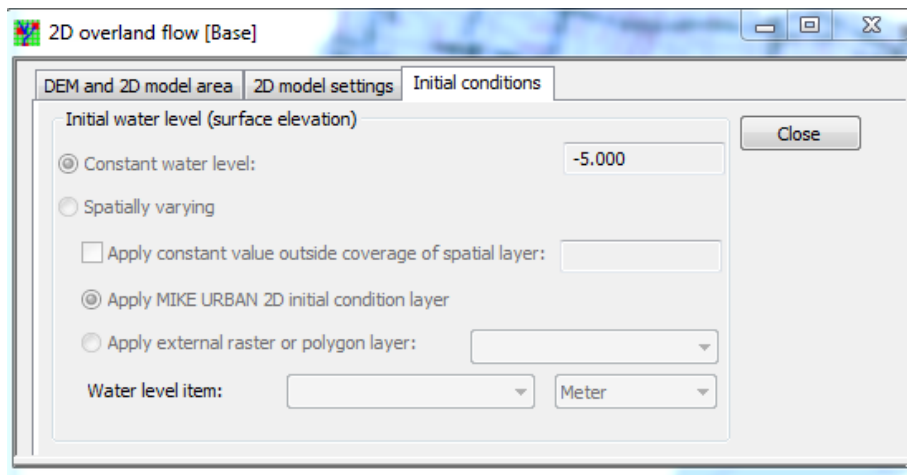
Figur 6-20: Dialogvinduet til 2D overland flow og fanen «DEM and 2D model area» (skjermdump)

I den neste fanen «2D model settings» blir det gitt mulighet til å sette inn «land value» som her blir kalt for «elevation threshold for inactive cells». Dette tallet ble satt til 1000, siden det ikke fungerte med 900. Det blir også gitt muligheten til å sette inn verdier for «drying» og «flooding» depth, samt å bestemme ruheten til feltet. Nederst i dialogvinduet kan innstillingene for virvelviskositeten bestemmes. Her gis det ikke mulighet for å velge Smagorinskys formel, dermed ble «included with default value» valgt. Dialogvinduet er vist i Figur 6-21.



Figur 6-21: Dialogvinduet til «2D overland flow» og fanen «2D model settings» (skjermdump)

I den siste fanen som heter «initial conditions» settes det inn ønskelig startnivå for vannivået. Dialogvinduet er vist i Figur 6-22. Verdien ble valgt til -5 for at det skulle være et volum som kunne fylles i elva. Havbunnen ble senket ned til -10 meter over havet. Da ville elva ha et ekstravolum på omtrent 5 meter.



Figur 6-22: Dialogvinduet til «2D overland flow» og fanen «Initial conditions» (skjermdump)

6.4.2 Oppbygningen av ledningsnett i MIKE Urban

For å kunne utføre en simulering var det viktig å ha et fungerende ledningsnett.

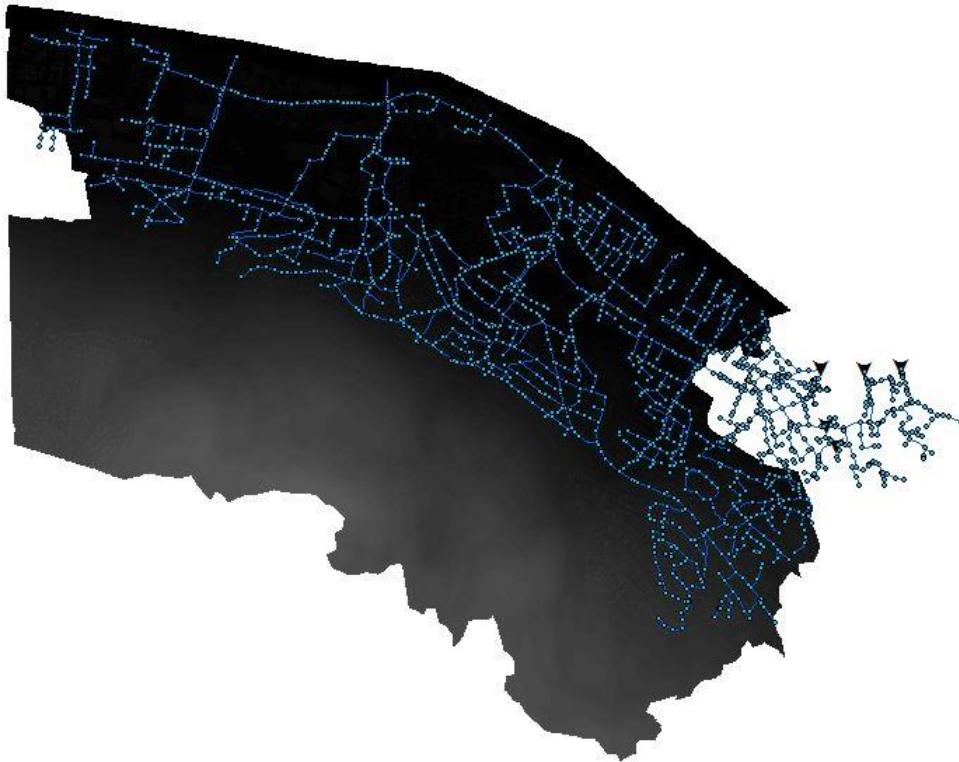
Ledningsnettets var bygd opp av ROSIM, basert på data fra Drammen kommune.

Ledningsnettets ble importert fra en geodatabase fra ArcGIS til MIKE. Dette ble gjort ved å bruke funksjonen «Import/Export» under fanen «File». Det var en svært tidkrevende prosess å importere dataene for ledningsnettets. Ledningsnettets ble redigert slik at alle ledninger som ikke var koblet til ledningsnettets innenfor analyseområdet ble fjernet. Når dette var gjort var det likevel en del rør som lå utenfor analyseområdet. Dette er vist i Figur 6-23. Disse rørene var med på å frakte vann vekk fra modellen, og i realiteten ville nok disse rørene være fylt opp av overflatevann fra sine egne felt. Siden de rørene det gjaldt ikke utgjorde en stor del av det totale nettets ble det vurdert som neglisjerbart.

Etter dette ble også alle spillvannsledninger fjernet. Ved denne prosessen er det mistanke om at ledningene kan ha vært klassifisert feil, da det senere ble observert at noen rørkoblinger mellom rørstrekk manglet, og dette er en mulig feilkilde.

Til modellen ble det importert ledninger, kummer og utløp. Det som ble importert blir vist i Figur 6-23. Nedbørsfelt (catchments) ble ikke tatt med da modellen fikk tilført vann direkte fra terrengoverflaten. Nedbørsfelt kan bli brukt i MIKE når det blir kjørt en «Runoff» eller en «Network» simulering. En nettverksimulering er kun en endimensjonal simulering hvor kun ledningsnettets blir simulert. En «Runoff» simulering er basert på en kobling mellom et nedbørsfelt og en kum, i tillegg er det lagt inn egenskaper om konsentrasjonstid og impermeabilitet. Det kan også tenkes at hvis store deler av ledningsnettets ligger utenfor

terrengmodellen kan en «Runoff» simulering kjøres først utenfor analyseområdet. Når det da senere kjøres en 2D-1D simulering kan «Runoff» simuleringen legges ved slik at nettet utenfor analyseområdet tilfører vann til ledningsnettet der det eksisterer koblinger utenfor og innenfor området.

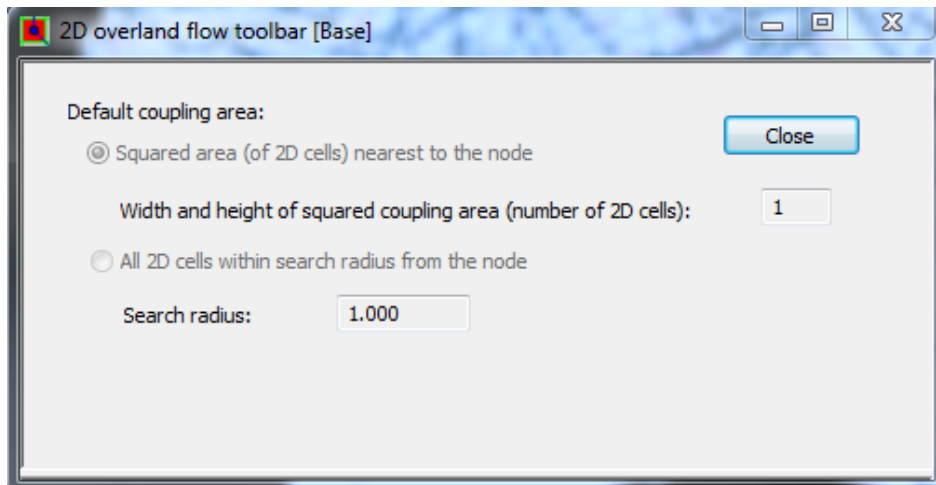


Figur 6-23: Importerte ledninger, kummer og utløp med terrengmodellen (avgrensingsområdet for simuleringen) i bakgrunnen (skjermdump)

Når alt var importert ble det kjørt flere nettverkssimuleringer til alle feilmeldinger var rettet opp og ledningsnettet fungerte. Det tok kun et par minutter å kjøre nettverksimuleringen. Nettverksimuleringen kunne kjøres under «Simulation», «Run MOUSE» og avhuking av «Network». Feilmeldingene kunne være at noen av rørene manglet diameter eller at ledninger ikke var koblet til kummene. Noen kummer manglet også grunnleggende egenskaper som måtte innsettes manuelt og dette ble gjort i attributt Tabellen til kummene. Når ledningsnettet endelig fungerte ble kummene, som var innenfor terrengmodellen, gitt kumlokkhøyder lik terrengoverflaten, fordi det ikke var ønskelig at kummene lå langt over eller under overflaten. Dette ble gjort ved å bruke verktøyet «Interpolation and assignment» under «Tools» fanen.

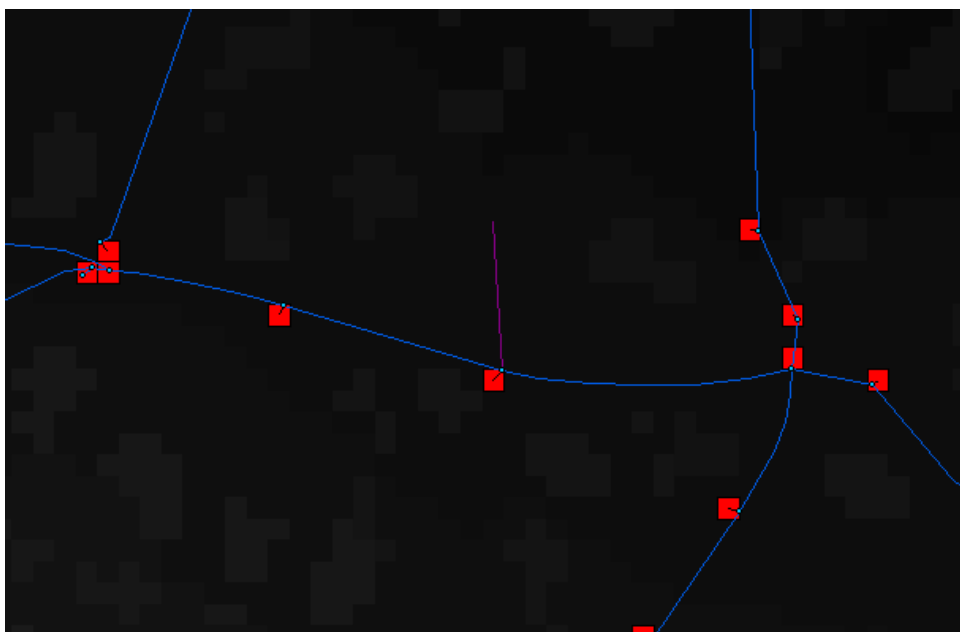
6.4.3 Kobling mellom terrenngmodellen og ledningsnett

For å koble terrenngmodellen med ledningsnett ble verktøyet «Couple nodes» brukt. Dette verktøyet ble funnet under «MOUSE» og «2D Overland Tools». Før verktøyet ble benyttet ble det tastet innstillinger inn i «Coupling parameters». Dialogvinduet for «Coupling parameters» er vist i Figur 6-24. Det ble da valgt at hver kum skulle kobles til en celle. Dette betyr at vann kan komme inn eller ut av ledningsnett fra de koblede cellene.



Figur 6-24: Dialogvinduet til «Coupling parameters» (skjermdump)

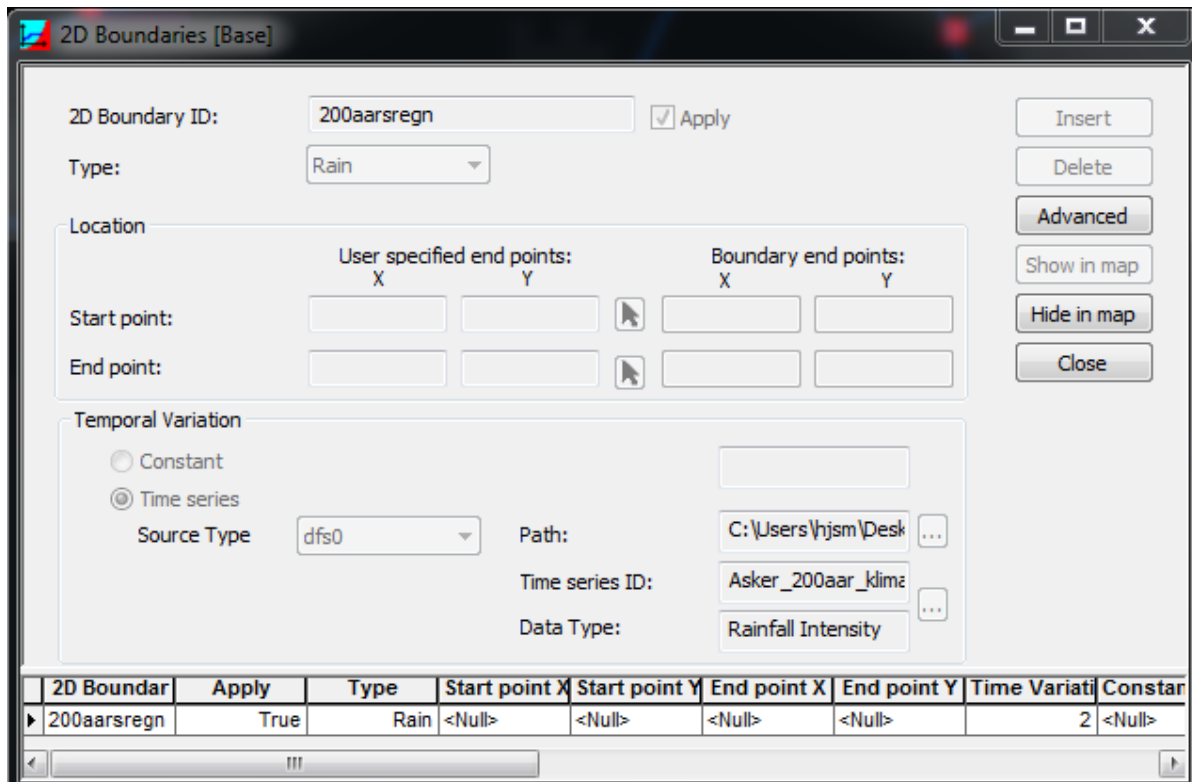
Når en celle ble koblet ble det seende ut som i Figur 6-25. De røde firkantene viser hvilken celle som ble koblet til kummen. Det ble også gjort forsøk på å koble flere celler, men dette ga relativt like resultater. Det virket dermed som om nettet fikk nok vann ved å kun koble hver kum til en celle på 4x4 meter.



Figur 6-25: Koblede kummer og celler (skjermdump)

6.4.4 Innsetting av regn til simuleringen

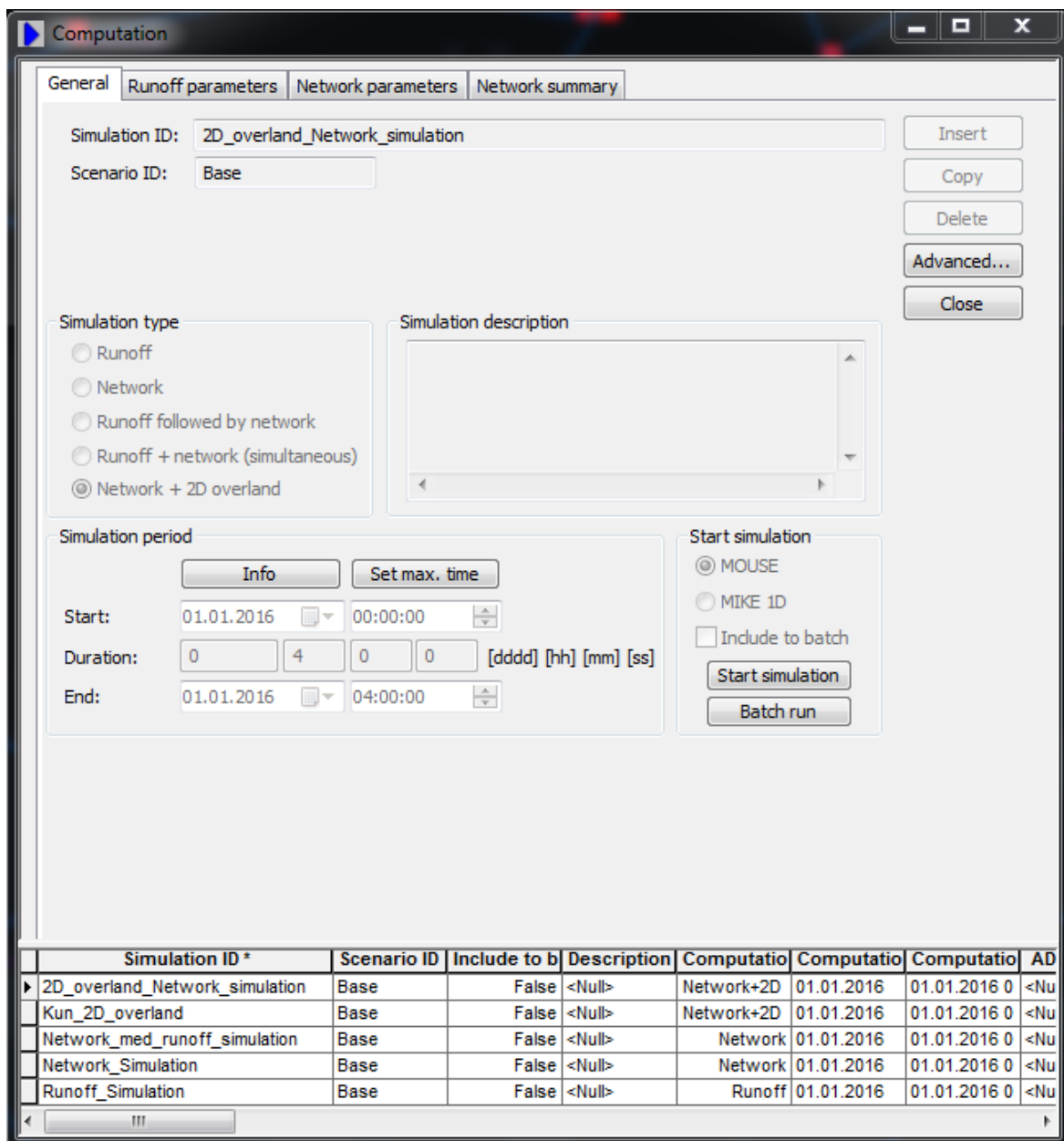
Nedbørshendelsen ble lagt inn under dialogvinduet «2D Boundaries». Dette blir funnet under «MOUSE» og «2D Overland Flow». Dialogvinduet er vist i Figur 6-26. Her bestemmes «source type» som ble til «Rain» og det ble i tillegg henviset til regnfilen som skulle benyttes. Regnfilen som ble benyttet var et 200-årsregn uten fratrekk, men med en klimafaktor på 20 %. Regnfilen uten fratrekk ble brukt siden det nå ble simulert med et ledningsnett.



Figur 6-26: Dialogvinduet til 2D Boundaries (skjermdump)

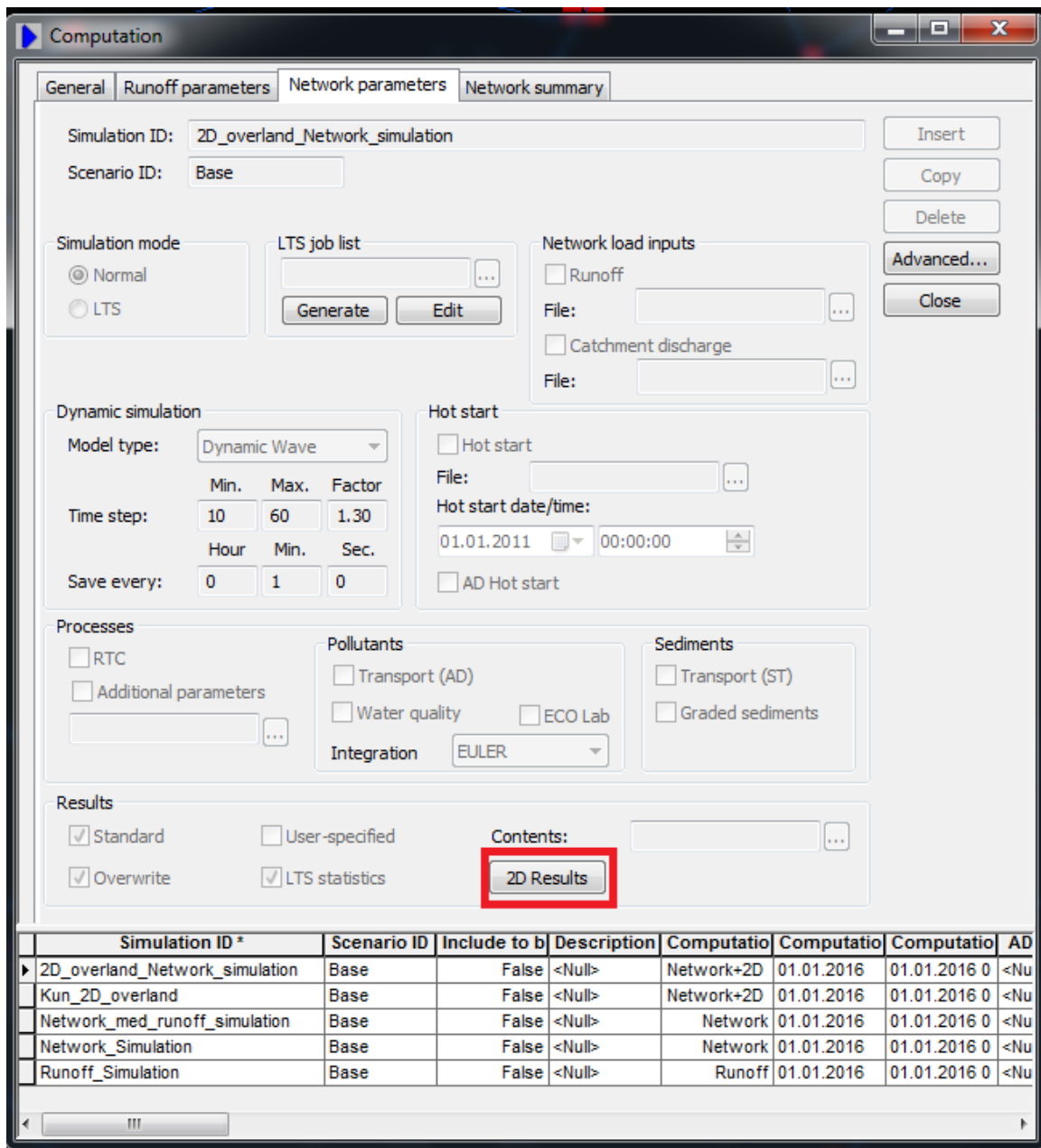
6.4.5 Simulering av MIKE FLOOD

Simuleringen kan startes ved hjelp av dialogvinduet «Computation». Dialogvinduet finnes ved å gå inn på «Simulation» og «Run MOUSE» og vises i Figur 6-27. Her velges hva slags simuleringstype som skal benyttes. I dette tilfelle ble «Network + 2D overland» brukt. Tidsinstillingene settes i tillegg slik at de passer med tiden for nedbørshendelsen. Det blir også huket av for «MOUSE» under «Start simulation».



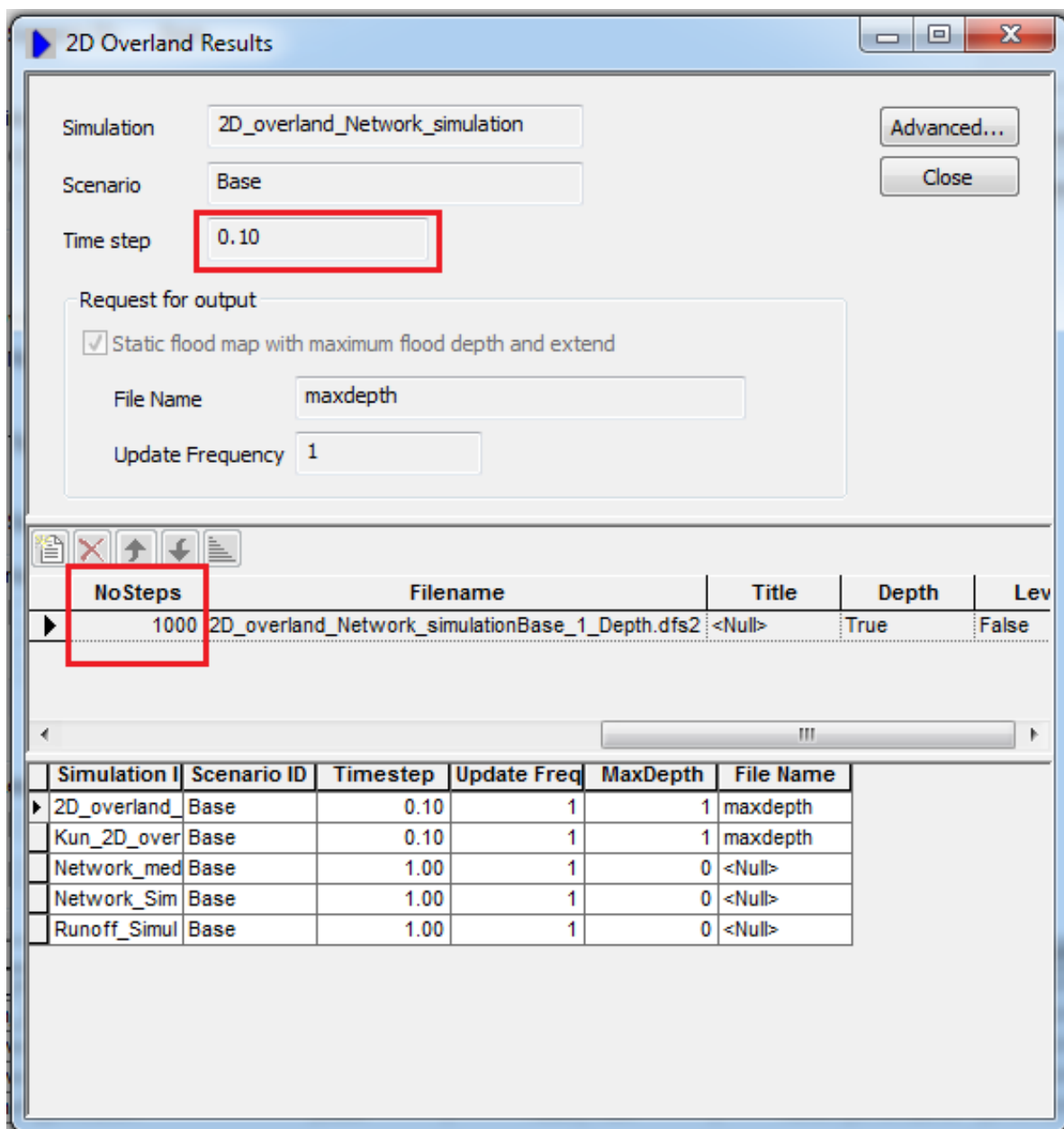
Figur 6-27: Dialogvinduet til «Run MOUSE» (skjermdump)

Før simuleringen kunne startes var det nødvendige å gå inn på innstillingene under fanen «Network parameters». Denne fanen er vist i Figur 6-28 og her ble tidsinnstillingene justert. Det gis også mulighet til å sette inn en «runoff» modell, men dette ble ikke benyttet i dette masterarbeidet.



Figur 6-28: Dialogvinduet til Network parameters (skjermdump)

I Figur 6-28 vises det også en rød firkant med «2D Results». Ved å trykke på denne kan ytterligere innstillinger knyttet til 2D-simuleringen settes. Dette dialogvinduet er vist i Figur 6-29 og her kan tidssteget settes inn. Tidsintervallet til simuleringen kan også bestemmes under «NoSteps». I denne simuleringen ble «NoSteps» satt til 1. Det kan også bestemmes om det skal lages et «Static flood map» som viser maks verdier. Det statiske flomkartet ble satt til å oppdateres hvert sekund.



Figur 6-29: Dialogvinduet til «2D Overland Results» (skjermdump)

Når parameterne hadde blitt satt ble en simulering startet. Dette ble gjort ved å gå tilbake til «General» fanen, og det ble tastet på «start simulation».

7 Resultater

Resultatene i denne masteroppgaven består i hovedsak av:

- Drenslinjer som viser hvilken vei vannet renner på overflaten
- «Sinks» som viser forsengkninger i området hvor vannet vil akkumuleres
- Oversvømmelser som viser vanndybder

Resultatene fra modelleringene i ArcGIS består av drenslinjer og forsengkninger (sinks) på vektorformat. Drenslinjenes tykkelse og farge angir nedbørsfeltets størrelse i m² for hvert punkt langs linjen. Drenslinjene er klassifisert i 5 klasser som går fra 25 000 m² til 14 000 000 m². Klassifiseringen er hentet fra Meiforth (2013). Drenslinjene med klassifisering 25 000 m² til 50 000 m² er tatt med, men blir ikke vektlagt da nedbørsfelt under 50 000 m² ifølge Meiforth (2013) ikke blir sett på som problematisk i urbane områder. Drenslinjene blir laget som «single flow». Det vil si at drenslinjen kan kun velge en celle på vei ut av en annen rastercelle. Forsenkningene i ArcGIS blir visualisert med dybdeklassifisering i forskjellige blåtoner og som går fra 0,1 m til 15 m og er inndelt i 6 klasser.

Resultatene fra modelleringene med MIKE21 består av drenslinjer og sinks på rasterformat. Drenslinjenes farge angir mengde vann i liter per sekund som renner i det aktuelle området. Drenslinjene er klassifisert i 4 klasser som går fra 50 l/s til over 500 l/s. Drenslinjene blir laget som «multiple flow» og det vil si at overvannet kan velge flere celler på vei ut av en rastercelle. Forsenkningene blir visualisert med dybdeklassifisering i forskjellige blåtoner. Denne går fra 0,1 m til 15 m og er inndelt i 6 klasser. MIKE21 viser også hvor vann vil akkumuleres uten at det er typiske forsengkninger.

Resultatene fra modelleringene med MIKE FLOOD illustreres på lik måte som resultatene fra MIKE21. I tillegg til kart som visualiserer oversvømmelser er det også lagt ved resultater spesifikt for ledningsnettet.

Resultatene fra aktsomhetskartene som ble generert i ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD er lagt ved i Vedlegg C.

Ved sammenligning av ArcGIS- og MIKE21 resultater er forsengkninger og oversvømmelsesarealer på rasterformat. Når drenslinjene blir sammenlignet er de på vektorformat fra ArcGIS, men på rasterformat fra MIKE21. Drenslinjene blir sammenlignet

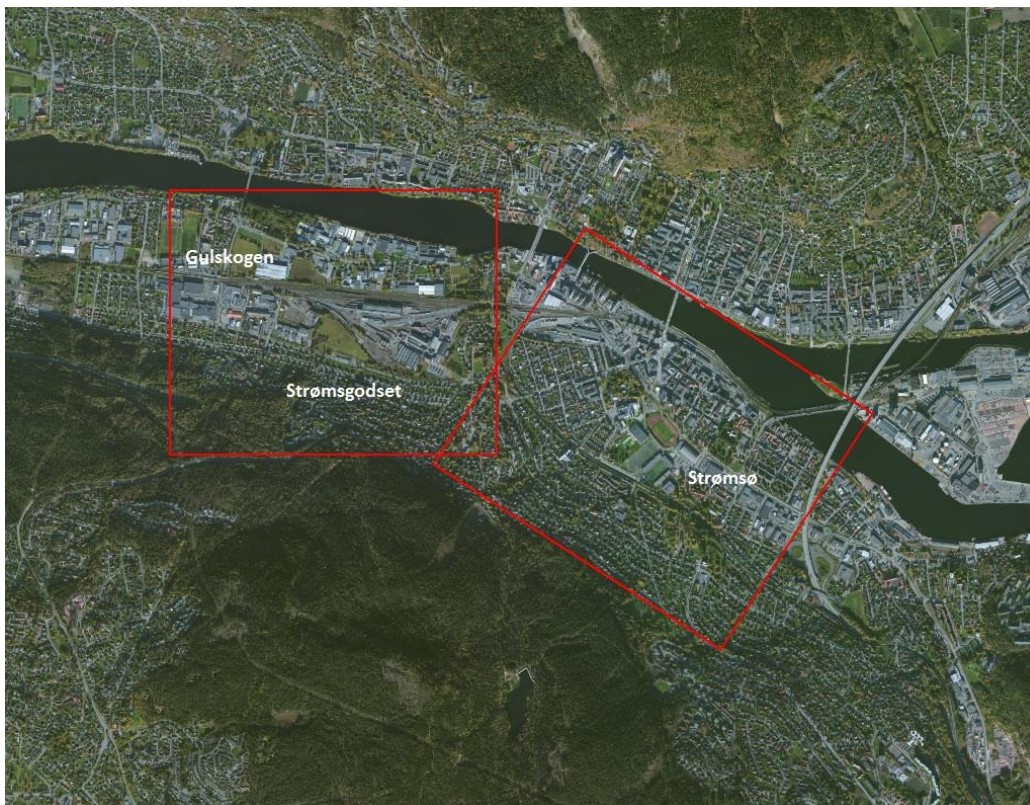
ved å legge resultatene oppå hverandre. Det at ArcGIS bruker «single flow» og MIKE21 bruker «multiple flow» fører til at resultatene har ganske ulikt utseende.

Alle resultatene, bortsett fra noen fra MIKE FLOOD, er fremstilt ved hjelp av ArcGIS, hvor flyfoto «basemap» er benyttet som bakgrunnskart. Det er også lagt inn noen utvalgte veinavn for at det skal være lettere å beskrive resultatene.

For en helhetlig og forståelig visualisering av resultatene har det blitt valgt å fokusere på to områder i analyseområdet. Disse områdene er jernbaneområdet ved bydelen Strømsgodset og området rundt Marienlyst stadion i bydelen Strømsø. Figur 7-1 viser et oversiktsbilde over områdene som blir fokusert på. Resultatene fra bydelen Strømsgodset er lagt ved i Vedlegg B.

I beskrivelsene av resultatene er det henvist til nord, øst, sør og vest i kartene. Det er da viktig å ta utgangspunkt i nordpilen for å forstå hvilket område det er snakk om.

Det er også viktig å få fram at det i presentasjonene av resultatene er maksimalverdiene som har blitt brukt i MIKE21 og MIKE FLOOD simuleringene. Simuleringene skjer over en tidsperiode, noe som er vanskelig å fremstille grafisk i et dokument. Det er derfor ikke slik at resultatene viser et øyeblikksbilde av en situasjon, men de viser ulike maksimalverdiene til rastercellene.



Figur 7-1: Fokusområdene i analyseområdet (skjermdump)

7.1 Sammenligning av utført arbeid

I det følgende avsnittet skal terrengmodellen som er produsert i dette masterarbeidet sammenlignes med masteroppgaven fra Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) skrevet av Murtnes (2015) og bacheloroppgaven fra høyskolen i Østfold (HiØ) skrevet av Hellesjø et al. (2015). Dette gjøres ved å sammenligne drenslinjer og sinks fra ArcGIS. I utgangspunktet har alle oppgavene benyttet en relativ lik metode, men med noen ulikheter.

7.1.1 Sammenligning

I dette masterarbeidet har det blitt tatt utgangspunkt i analyseområdet til Murtnes (2015) og senere har området blitt utvidet ved hjelp av verktøyet «Basin» i ArcGIS. Dette ble gjort for at alle nedbørsfeltene i området skulle bli tatt hensyn til, slik at alt vannet som faller i feltet blir tatt med i modellen. I denne masteroppgaven er analyseområdet i ArcGIS på omtrent 27 km², som ble redusert til et mindre nedbørsfelt ved simuleringer i MIKE21 og MIKE FLOOD. Murtnes (2015) sitt analyseområde er på 25 km², mens oppgaven skrevet av Hellesjø et al. (2015) tar utgangspunkt i et område på 14,5 km². Det er kun området på 27 km² som får med hele avrenningsfeltet. Dette kan føre til forskjeller i drenslinjene. Figur 1-2 på s.4, Figur 7-2 og Figur 7-3 viser de tre ulike områdene.



Figur 7-2: Analyseområdet brukt i bacheloroppgaven ved HiØ (Hellesjø et al. 2015)



Figur 7-3: Analyseområdet brukt i masteroppgaven til David Murtnes (Murtnes 2015)

I de tre oppgavene ble drenslinjer generert og disse er godt egnet for å sammenligne terrengmodellene. Figur 7-4 og Figur 7-5 viser likheter og ulikheter ved de tre oppgavens drenslinjene ved bydelen Strømsø og bydelen Strømsgodset. Hvis alle de tre drenslinjene er innenfor en radius på 5 m blir de betegnet som «felles drenslinjer», og har da fått fargen «lilla».

Ut fra Figur 7-4 og Figur 7-5 kan det ses at hovedtrekkene til drenslinjene stort sett er like, men at det likevel finnes flere vesentlige forskjeller. Forskjellene mellom de ulike drenslinjene blir drøftet i diskusjonen. Det kan observeres i Figur 7-5 at det er store forskjeller der jernbanen går.

Det ble også utført en sammenligning av forsenkninger (sinks), men siden de geografiske dataene er relativt like blir forskjellene minimale. Det ble derfor vurdert som unødvendig å sammenligne og presentere disse resultatene.



Sammenligning av drenslinjer Strømsø, Drammen



0 200 400 800 Meters

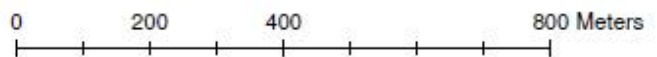
Symbologi	
	Felles drenslinjer
	Drenslinjer. David Murtnes
	Drenslinjer. Hans Jakob og Jarle
	Drenslinjer. HIØ



Figur 7-4: Likheter og ulikheter ved de tre oppgavens drenslinjer for bydelen Strømsø



Sammenligning av drenslinjer Strømsgodset, Drammen



Symbologi	
	Felles drenslinjer
	Drenslinjer. David Murtnes
	Drenslinjer. Hans Jakob og Jarle
	Drenslinjer. HIØ



Figur 7-5: Likheter og ulikheter ved de tre oppgavens drenslinjer for bydelen Strømsgodset

7.2 MIKE21 resultater

7.2.1 Resultater fra modellering av forsenkninger ved Marienlystområdet

Resultatet, som vist i Figur 7-6, viser vanndybden i terrenget etter at simuleringen er kjørt i MIKE21. Resultatene er for Strømsøområdet i Drammen med et konstant Manningstall på 14. Regnet som er benyttet tilsvarer et 200-årsregn med fratrekk av et 10-årsregn da dette skal simulere at ledningsnettets er medberegnet.

Figur 7-6 viser at lavtliggende områder vil bli oversvømt. Dette gjelder blant annet området rundt Bjørnstjerne Bjørnsons gate. I deler av dette området vil vanndybden være mellom 0,5 m – 1 m. Ved slike vanndybder vil vegen være ufremkommelig for trafikk.

Figur 7-6 viser også at Marienlyst idrettspark og kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion vil bli oversvømt, mens gresset på Marienlyst stadion ikke oversvømmes.

Idrettsparken og kunstgressbanen vil bli stående under 0,25 m – 1 m vann. Dette er for øvrig gode områder å lede vannet til da dette vil føre til minimalt med materielle skader.

Områdene rundt Drammen Museum ligger også i en forsenkning og vil dermed være utsatt for oversvømmelser oppimot 1 m, om ikke enda høyere visse steder.

Boligkvartalene rundt Stibolts gate er spesielt utsatt, da deler av dette området ligger i en forsenkning. Her varierer vanndybden fra 0,1 m – 0,5 m. Siden dette er et boligområde bør dette være ekstra bekymringsfullt da skadepotensialet er stort.



Oversvømmelsesanalyse fra MIKE21.

200-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsø, Drammen

Manningstall er konstant

Symbologi	
Oversvømmelse	
Klassifisering	
	0m - 0.1m
	0.1m - 0.25m
	0.25m - 0.5m
	0.5m - 1m
	1m - 2m
	2m - 5m
	5m - 15m

0 200 400 800 Meters



Figur 7-6: Sinksanalyse ved 200-årsregn med 10-års fratrekk ved Strømsøområdet i Drammen. Manningstall er konstant på 14

Figur 7-7 viser sammenligningen mellom et 200-årsregn med fratrekk og 50-årsregn med fratrekk ved Strømsøområdet. Fratrekket er på 10år for å simulere ledningsnettets antatte kapasitet. Ved sammenligning med forskjellige regn kommer ikke vanndybdeforskjellene frem.

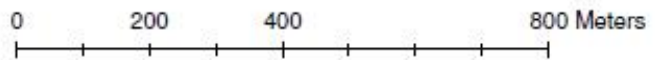
Sammenligningen viser at oversvømmelsene vil ha større utstrekning, slik at et større område vil bli oversvømt ved et 200-10-årsregn enn ved et 50-10-årsregn. Dette kommer av at vanndybden vil bli lavere. Likevel vil områdene rundt Stibolts gate, Bjørnstjerne Bjørnsons gate, Drammen museum, kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion og Marienlyst idrettspark være oversvømt.

Ved å ta en nærmere titt på Marienlyst idrettspark kan det observeres at gressbanen ikke vil oversvømmes ved et 50-10-årsregn, i motsetning til 200-10-årsregn.

Det er ingen områder som vises på kartet i Figur 7-7 som er blått. Hvis det hadde vært blå områder i kartet ville dette betydd at 50-10-årsregnet ga oversvømmelser som ikke 200-10-årsregnet gjorde. Det vil altså si at resultatet er logisk på grunn av at 200-10-årsregnet oversvømmer alle områder som 50-10-årsregnet også oversvømmer. Hvis det hadde vært slik at det fantes blå områder så ville dette antydnet at det var noe galt med modellen.



Oversvømmelsesanalyse fra MIKE21
 Sammenligning av 200-årsregn med fratrekk og
 50-årsregn med fratrekk
 Strømsø, Drammen



Manningstall er konstant

Definert oversvømmelse: > 0.1m

Symbolgi	
	Like oversvømmelser
	Oversvømmelser 50-10-årsregn
	Oversvømmelser 200-10-årsregn



Figur 7-7: Sammenligning av 200-årsregn med fratrekk og 50-årsregn med fratrekk ved Strømsøområdet

Figur 7-8 viser sammenligning av 200-årsregn uten fratrekk og 200-årsregn med fratrekk av et 10-årsregn. Hensikten med å trekke fra et 10-årsregn er å få frem effekten av hvordan de oversvømte arealene ville sett ut hvis ledningsnettets ble tatt hensyn til. I Figur 7-8 kommer ikke vanndybdeforskjellene frem i kartutsnittet.

Sammenligningen viser at ved å ikke ta hensyn til ledningsnettets ville vannet hatt større utbredelse, noe som igjen ville betydd at de oversvømte områdene ville blitt dypere.

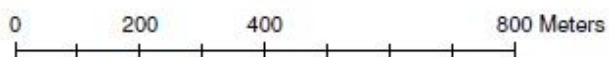
Det kommer også frem at de samme områdene rundt Stibolts gate, Bjørnstjerne Bjørnsons gate, Drammen museum, kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion og Marienlyst idrettspark vil bli oversvømt av enda mer vann ved et 200-årsregn enn ved et 200-årsregn med 10-års fratrekk.

Ved en nærmere observasjon vil blant annet gresset på Marienlyst stadion og parken ved Drammen Museum bli oversvømt ved å ikke ta hensyn til ledningsnettets.

Dette resultatet viser altså at regnet med fratrekk ikke gir oversvømmelser noe sted som ikke regnet uten fratrekk gir, noe som er logisk.



Oversvømmelsesanalyse fra MIKE21
 Sammenligning av 200-årsregn uten fratrekk og
 200-årsregn med fratrekk
 Strømsø, Drammen



Manningstall er konstant

Definert oversvømmelse: > 0.1

Symbologi	
	Like oversvømmelser
	Oversvømmelser 200-10-årsregn
	Oversvømmelser 200-årsregn



Figur 7-8: Sammenligning av 200-årsregn uten fratrekk og 200-årsregn med fratrekk av 10-årsregn ved Strømsøområdet

7.2.2 Resultater av drenslinjer ved Marienlystområdet

Figur 7-9 viser drenslinjer ved Strømsøområdet ved et 200-årsregn med 10-års fratrekk. Fratrekket skal simulere hvordan et ledningsnett med kapasitet tilsvarende et 10-årsregn virker inn på drenslinjene.

Drenslinjene fra Figur 7-9 kommer fra boligområdet sør-vest i bildet og renner ned mot byområdet og Drammenselva.

På sin vei nedover åskammen kommer det frem sør-vest i Figur 7-9 at flere av drenslinjene følger eksisterende bekkeløp. Dette kommer enda tydeligere frem ved å studere aktsomhetskartet for MIKE21 i Vedlegg C. Når bekkene tar slutt er det naturlig å anta at vannet blir ført inn i kulverter som leder vannet under byen og ut i Drammenselva. Siden det antas at ledningsnettets allerede er fullt kommer det frem at vannet renner videre gjennom bolig- og byområdene.

Midt i Figur 7-9, mellom Marienlyst Stadion og Styrmoes vei, går det en jernbanetrasé. Det kan observeres at det kun er noen få krysningspunkter for dreneringslinjene over jernbanetraséen, og at jernbanen dermed virker som en barriere for vannet.

På bildet vises en tykk drenslinje på over 500 l/s som samles før jernbanetraséen og som fordeles etter jernbanekrysningen. Den renner nedover mot Drammen Museum og kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion. Det kommer også frem at en annen drenslinje krysser jernbanen og renner ut over kunstgressbanen.

Sør-øst i Figur 7-9 kommer det flere drenslinjer som renner utover Bjørnstjerne Bjørnsons gate og arealene rundt Stibolts gate. Det er tydelig at drenslinjen helt sør-øst i bildet følger ytterkanten av avgrensingsområdet. Dette betyr at avgrensingsområdet fra ArcGIS ikke stemmer ved modellering i MIKE21. Det kan derfor antas at denne drenslinjen er større enn det den egentlig skulle ha vært.

I byområdet helt nede mot elva spres drenslinjene til vannmengder mindre enn 50 l/s, noe som er grunnen til at drenslinjene forsvinner fra kartet før de når elva.



Drenslinjer fra MIKE21

200-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsø, Drammen

Manningstall er konstant

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s
	Bekker

0 200 400 800 Meters



Figur 7-9: Drenslinjer ved 200-årsregn med fratrekk av 10-årsregn ved Strømsøområdet

Figur 7-10 viser effekten ved Strømsområdet ved et 50-årsregn med fratrek av et 10-årsregn, som skal simulere den antatte kapasiteten til ledningsnett. Drenslinjene renner fra sør-vest i bildet og ned mot Drammenselva.

Ved å sammenligne 50-10 årsregn (vist i Figur 7-10) med 200-10 årsregn (vist i Figur 7-9) kommer det frem at drenslinjene følger den samme veien ned mot elva, og at det kun er vannmengden som er mindre. Det er færre steder hvor vannmengden overskrider 500 l/s. Vannet vil fremdeles følge eksisterende bekkeløp sør-vest i Figur 7-10 før vannet renner videre gjennom bolig- og byområdene.

Dreneringslinjen som ender ved Drammen Museum og kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion vil ha lavere volumstrøm. Dette vil nok resultere i at skadepotensialet rundt Drammen Museum blir mindre.

Vannmengdene som renner utover Bjørnstjerne Bjørnsons gate og arealene rundt Stiboltsgate har lavere klassifisering. Flere av disse dreneringslinjene vil ha klassifisering under 50 l/s, noe som resulterer i at de ikke vises i Figur 7-10.

Videre mot Drammenselva, igjennom byområdet, fordeles vannet slik at ingen drenslinjer overskrider 50 l/s før de når elva.



Drenslinjer fra MIKE21

50-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsø, Drammen

Manningstall er konstant

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s
	Bekker

0 200 400 800 Meters



Figur 7-10: Drenslinjer ved 50-årsregn med fratrekk av et 10-årsregn ved Strømsøområdet

Figur 7-11 viser også drenlinjer ved Strømsøområdet. Drenslinjene representerer et 200-årsregn uten fratregg av et 10-årsregn. Denne figuren representerer derfor strømningslinjene til vannet uten at ledningsnettets blir tatt hensyn til.

Ved å se på Figur 7-11 er det flere steder hvor drenslinjene har en meget stor vannføring på over 500 l/s. Dette resulterer også i at vannmengder over 50 l/s er representert flere steder i byområdet.

Dreneringslinjene vil blant annet benytte hele kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion og deler av Marienlyst idrettspark som strømningsvei. Vannet vil også strømme forbi Drammen Museum og fortsette ned mot jernbanen før det renner ut i elva.

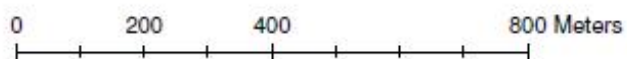
Vannmengdene som renner utover Bjørnstjerne Bjørnsons gate og arealene rundt Stiboltsgate vil bestå av høyere klassifisering og dermed få større utstrekning. Boligområdet rundt Stibolts gate vil fungere som flomvei ned mot elva, noe som kan føre til store skader. Det skal igjen påpekes at sør-øst i Figur 7-11 vil vannet følge yttergrensen av nedbørsfeltet som er funnet ved hjelp av ArcGIS. Siden det i etterkant har blitt funnet ut at nedbørsfeltene til ArcGIS og MIKE21 ikke er like ville nok flomveien sør-øst i bildet vært mindre kraftig.



Drenslinjer fra MIKE21
 200-årsregn uten fratrekk
 Solumstrand rensedistrikt, Drammen

Manningstall er konstant

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s
	Bekker



Figur 7-11: Drenslinjer ved 200-årsregn uten fratrekk for antatt ledningskapasitet ved Strømsområdet

7.3 ArcGIS resultater

7.3.1 Resultater av forsenkninger ved Marienlystområdet

Figur 7-12 viser siksanalyse fra ArcGIS ved Strømsøområdet. Siksanalysen, eller forsenkningsanalysen, viser lavtliggende områder i terrenget hvor vann vil kunne akkumuleres.

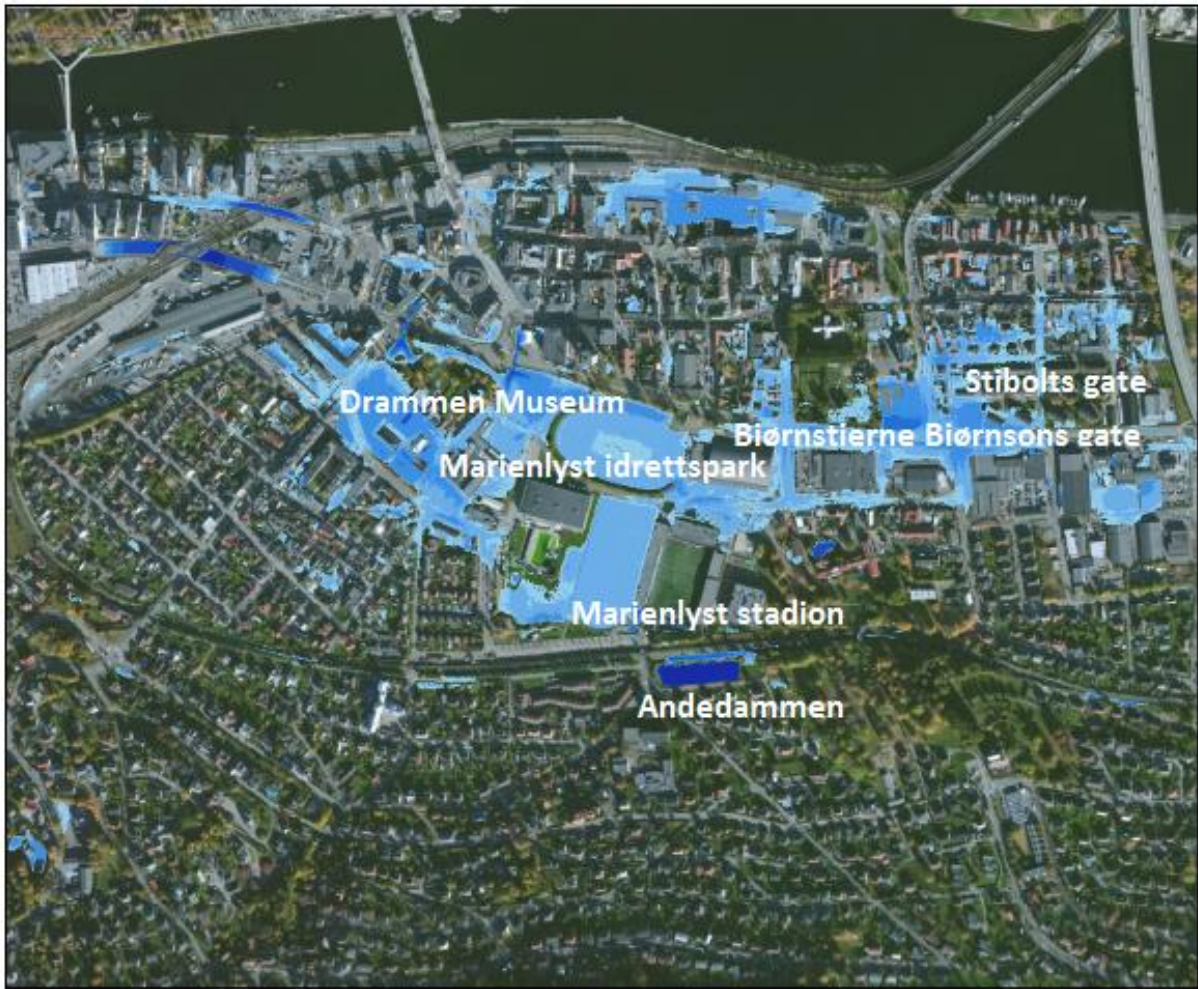
Resultatene fra Figur 7-12 viser at deler av Bjørnstjerne Bjørnsonsgate vil bli oversvømt med omtrent 0,1 m – 0,5 m vann. Oversvømmelsen vil gå innover i boligkvartalene ved Stibolts gate hvor omtrent de samme vanndybde vil være stående.

Det kommer også frem fra Figur 7-12 at Marienlyst idrettspark og kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion vil bli oversvømt. Her vil vanndybden også variere mellom 0,1 m og 0,5 m.








Områdene rundt Drammen Museum ligger også i en forsenkning og vil dermed være utsatt for oversvømmelse med opp mot 1 m vanndybde.

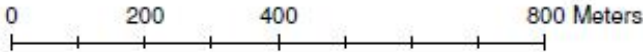
Rett under Marienlyst Stadion ligger Andedammen som er klassifisert med 5-15 meter vanndybde. Denne dybden er ikke reell da det ble funnet feil i FKB-dataene som ble benyttet. Dammen har dermed en dybde på omtrent 20 meter. Dette ble rettet opp ved simuleringer i MIKE21 og MIKE FLOOD slik at dette ikke påvirker disse resultatene. Siden ArcGIS kun fyller opp forsenkninger i terrenget påvirket ikke dette resten av resultatet.

Rett nord for Drammen Museum er det en vegundergang hvor det er enda en feil i den digitale terrengmodellen. Jernbanen over undergangen har nemlig ikke blitt fjernet da denne ikke var klassifisert som bru. Hele undergangen vil dermed fylles opp. Denne undergangen var det dypeste punktet i terrengmodellen og hadde verdier rundt -4.7 meter.



Sinksanalyse fra ArcGIS
Strømsø, Drammen

Symbologi	
Sinks	
Klassifisering	
	0m - 0.1m
	0.1m - 0.25m
	0.25m - 0.5m
	0.5m - 1m
	1m - 2m
	2m - 5m
	5m - 15m



Figur 7-12: Sinksanalyse fra ArcGIS, Marienlyst. Inndelt etter maksimal dybde vann

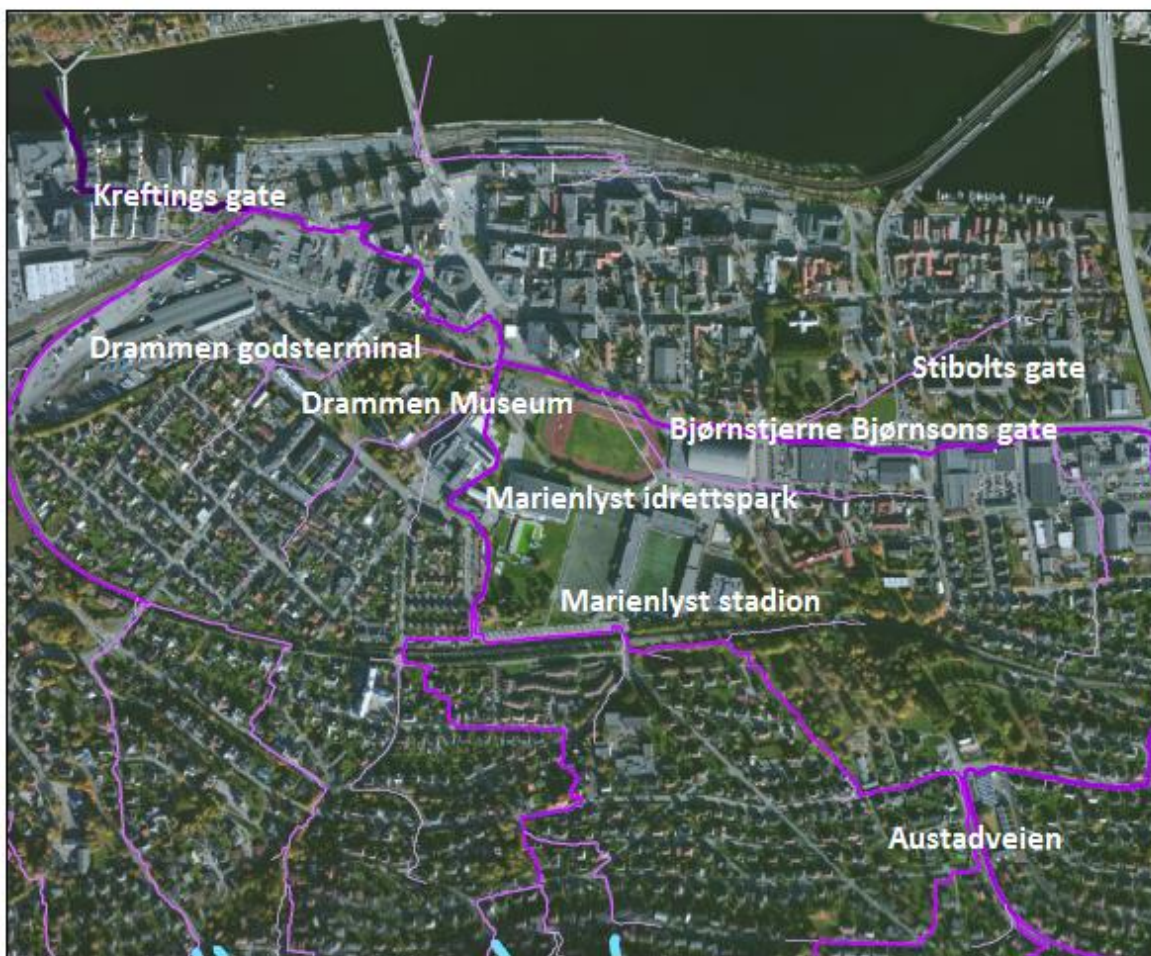
7.3.2 Resultater av drenslinjer ved Marienlystområdet

Figur 7-13 viser drenslinjer ved Strømsøområdet generert i ArcGIS. Drenslinjene viser de laveste punktene i terrenget nedover mot byområdet og Drammenselva. Det er derfor nærliggende å tro at vannet velger denne veien mot elva. Drenslinjene renner fra det høyereliggende området sør-vest i Figur 7-13, og ut i Drammenselva i nord og nord-øst.

Det kommer frem fra Figur 7-13 at en av drenslinjene renner ned Austadveien før strømningsretningen deles. Den ene renner videre nedover før den følger Bjørnstjerne Bjørnsons gate vestover. Størrelsen på denne drenslinjen tilsvarer omtrent et 1 000 000 – 5 000 000 m² oppstrøms nedbørfelt. Den andre drenslinjen, som omtrent tilsvarer et 350 000 – 1 000 000 m² oppstrøms nedbørfelt, krysser jernbanen ved Marienlyst stadion før den møter en annen dreneringslinje og dermed øker til å tilsvare et 1 000 000 – 5 000 000 m² oppstrøms nedbørfelt. De to drenslinjene møtes igjen nord for Marienlyst idrettspark.







Dreneringslinjen som kommer nedover helt vest i Figur 7-13 følger jernbanetraseen og ender opp ved Drammen godsterminal.

Ved Drammen godsterminal møtes alle dreneringslinjene som da tilsvarer et 5 000 000 – 14 000 000 m² oppstrøms nedbørfelt og følger Kreftings gate før den renner ut i Drammenselva.



Drenslinjer fra ArcGIS

Strømsø, Drammen

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	25 000m ² - 50 000m ²
	50 000m ² - 350 000m ²
	350 000m ² - 1 000 000m ²
	1 000 000m ² - 5 000 000m ²
	5 000 000m ² - 14 000 000m ²
	Bekker

0 200 400 800 Meters



Figur 7-13: Drenslinjer fra ArcGIS ved Strømsøområdet inndelt etter hvor stort tilrenningsområde (nedbørfelt) drenslinjen har

7.4 Sammenligning av resultater fra MIKE21 og ArcGIS

7.4.1 Sammenligning av sinks fra ArcGIS og oversvømmelser fra MIKE21 ved Strømsøområdet.

Figur 7-14 viser at det gir vesentlige forskjeller ved å benytte ArcGIS og MIKE21 til å analysere henholdsvis forsenkninger (sinks) og oversvømmelser. Figur 7-14 viser oversvømmelser som er dypere enn 10 cm fra MIKE21, når det er benyttet et 200-årsregn med 10-års fratrekk.

ArcGIS er et rent GIS-program hvor kun forsenkninger og lavbrekk i terrenget kommer frem. Sammenligningen viser at forsenkningene generert med ArcGIS stemmer godt overens med de områdene som blir oversvømt i MIKE21. Likheter kan blant annet ses rundt Drammen Museum, Marienlyst idrettspark, kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion og i Bjørnstjerne Bjørnsons gate.

Samtidig er et par forsenkninger som ArcGIS identifiserer som ikke blir oversvømt i MIKE21-simuleringen. Dette gjelder spesielt nede langs Drammenselva, i området rundt Drammen stasjon, og kan være områder hvor vannet ikke vil nå fram i MIKE21-simuleringen.

Siden MIKE21 simulerer med en konstruert nedbørssituasjon vil flere områder bli oversvømt på grunn av at det vil være andre områder, enn bare forsenkningene, som blir oversvømt. Blant annet vil vanddybden i bekker og flomveier komme frem. Dette kommer tydelig frem sør og sør-vest i Figur 7-14. I ArcGIS er ikke disse områdene forsenkninger og blir dermed ikke fylt.

Ved kraftige nedbørshendelser vil MIKE21 fylle opp både forsenkninger og rundtliggende områder, som ikke ArcGIS fyller opp. Dette kan observeres rundt Stiboltsgate hvor MIKE21 viser oversvømmelse, mens ArcGIS ikke gjør det.



Sammenligning av sinksanalyse fra ArcGIS og oversvømmelsesanalyse fra MIKE21

Oversvømmelsesanalysen fra MIKE21 er med 200-årsregn med 10-års fratrekke
Strømsø, Drammen



0 200 400 800 Meters

Manningstall er konstant

Definisjonen på oversvømmelse fra MIKE21: >0.1m

Symbologi

	Like sinks og oversvømmelser
	Sinks ArcGIS
	Oversvømmelser MIKE21



Figur 7-14: Sammenligning av oversvømmelser fra MIKE21 og sinks (forsenkninger) fra ArcGIS ved Strømsøområdet

7.4.2 Sammenligning av drenslinjer fra ArcGIS og MIKE21 ved Strømsområdet

Figur 7-15 viser likheter og ulikheter ved å benytte ArcGIS og MIKE21 til å generere drenslinjer i Strømsområdet. I MIKE21 har strømningslinjer ned til 10 l/s blitt tatt med, dette har blitt gjort for å enklere se drenslinjene og for sammenligning med ArcGIS.

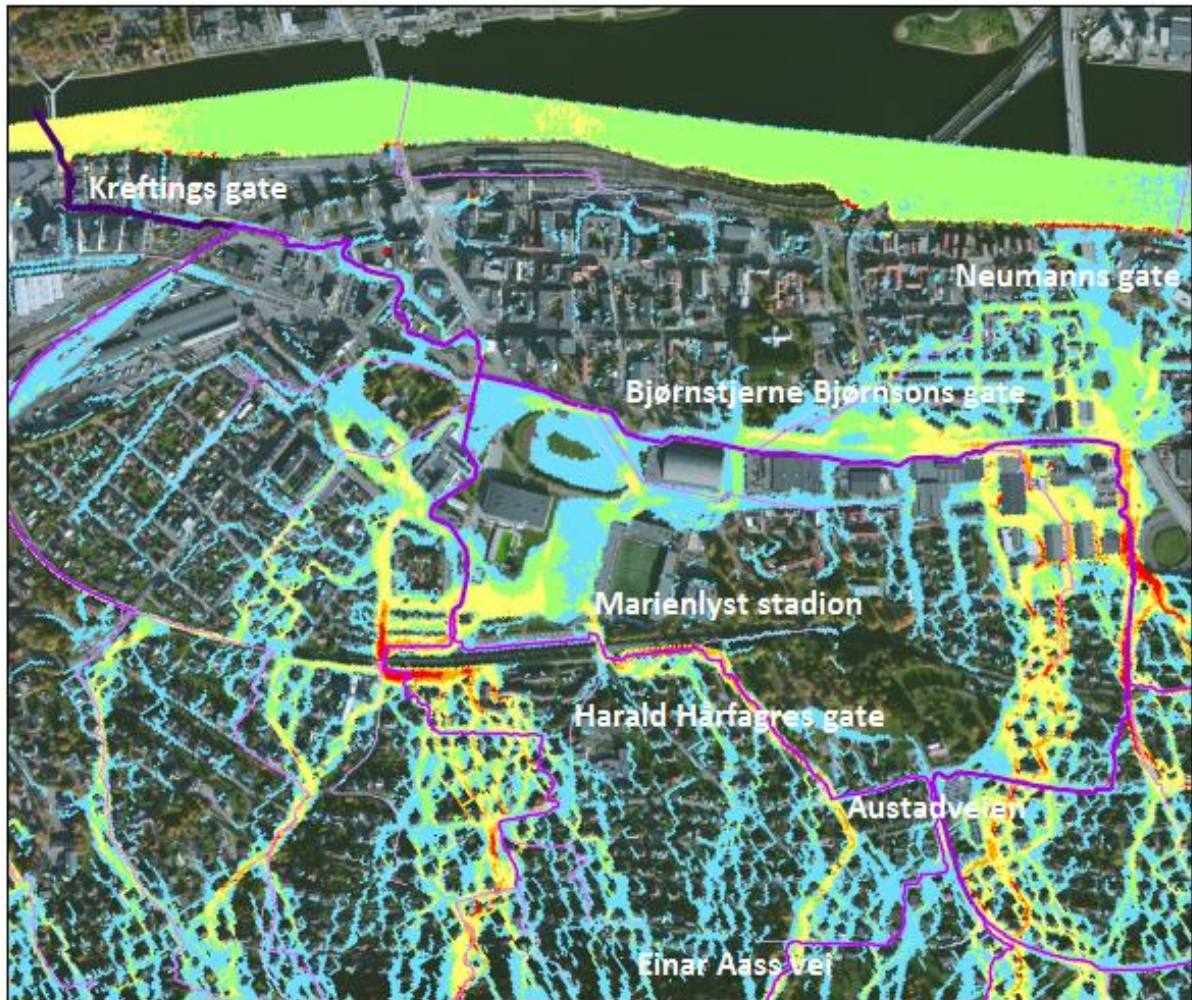
Hovedforskjellen i disse to metodikkene for produksjon av drenslinjer kommer av at MIKE21 inkluderer hastighet og dybde ved beregningene. MIKE21 simulerer også drenslinjene som «multiple flow», slik at hver enkelt rastercelle kan velge flere veger ut av cellen. Dette kan ses ved at vannet spres og dermed velger mange ulike veier ned mot Drammenselva.

ArcGIS inkluderer ikke hydraulikk i beregningene da dette er et rent GIS-program. Siden det benytter GIS-analyse av topografien til å finne de laveste punktene ned mot elva blir drenslinjene produsert som «single flow». Ved «Single flow» vil vannet kun velge en veg ut av rastercellen. Dette vises ved at drenslinjens retning og vei er tydelig definert. Ulempen med dette er at små forandringer i topografien kan gi betydelige forandringer i drenslinjene.

Sammenligningen i Figur 7-15 viser vesentlige forskjeller mellom ArcGIS og MIKE21.

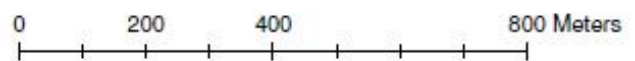
Forskjellen kommer tydelig frem ved at MIKE21 viser at vannet strømmer ned Neumanns gate og ut i elva, mens drenslinjene i ArcGIS velger å svinge nesten 90 grader for å så følge Bjørnstjerne Bjørnsons gate. En annen vesentlig ulikhet er at begge drenslinjene kommer fra bekken og krysser Einar Aass vei før drenslinjen fra ArcGIS går inn på Austadveien, mens drenslinjen fra MIKE21 går rett frem før de igjen møtes i Harald Hårfagres vei. Drenslinjen fra ArcGIS går heller ikke inn på kunstgressbanen ved siden av Marienlyst stadion, noe den gjør i MIKE21.

Likhetene mellom drenslinjene er at begge, i grove trekk, følger hovedretningene fra sør og sør-vest mot bykjernen. I tillegg har både ArcGIS og MIKE21 drenslinjer langs Bjørnstjerne Bjørnsons gate før de renner gjennom Kreftings gate og ut i Drammenselva.



Sammenligning av drenslinjer fra MIKE21 og ArcGIS

Drenslinjene fra MIKE21 er med
200-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsø, Drammen



Symbologi	
Drenslinjer MIKE21	Drenslinjer ArcGIS
Klassifisering	Klassifisering
< 10V/s	25 000m ² - 50 000m ²
10V/s - 50V/s	50 000m ² - 350 000m ²
50V/s - 100V/s	350 000m ² - 1 000 000m ²
100V/s - 300V/s	1 000 000m ² - 5 000 000m ²
300V/s - 500V/s	5 000 000m ² - 14 000 000m ²
> 500V/s	



Figur 7-15: Sammenligning av drenslinjer fra MIKE21 og ArcGIS ved Strømsøområdet

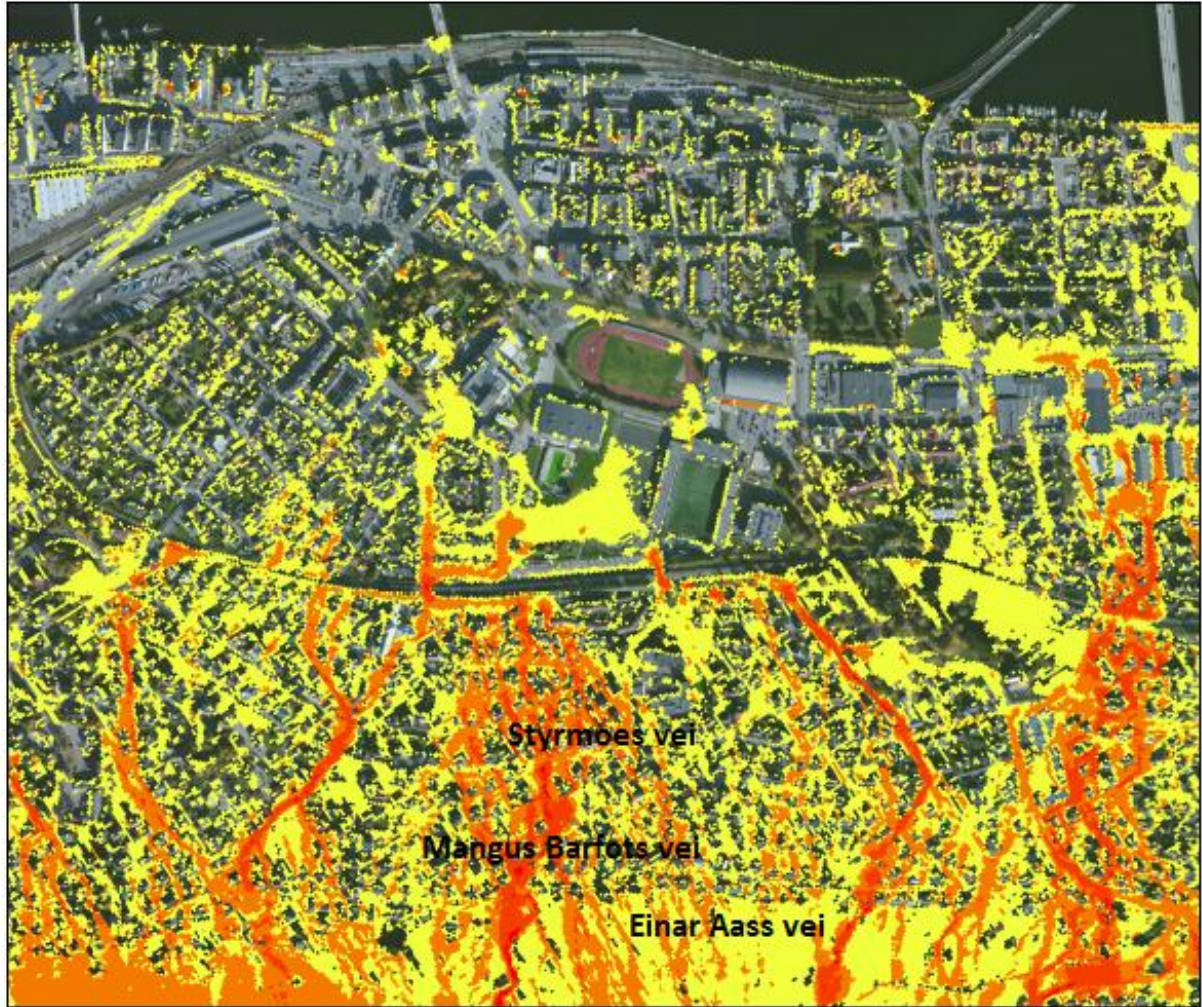
7.5 Resultater med varierende Manningstall

Det ble testet ut å legge inn varierende Manningstall (M) for veger, bygninger, havflater og annet. Dette ble gjort for å undersøke om Manningstall hadde betydning for resultatene fra simuleringen.

Forskjellen på oversvømmelsene og dreneringslinjene var relativt små. Dette var som forventet da Manningstallet ikke virker direkte inn på dette. Manningstall (M) er ruheten på overflaten og vil påvirke strømningshastigheten til overvannet, det vil da virke indirekte på drenslinjene og oversvømmelsene. Det fantes mindre forskjeller som var vanskelige å observere ved å sammenligne oversvømmelser og drenslinjer med varierende og konstant Manningstall.

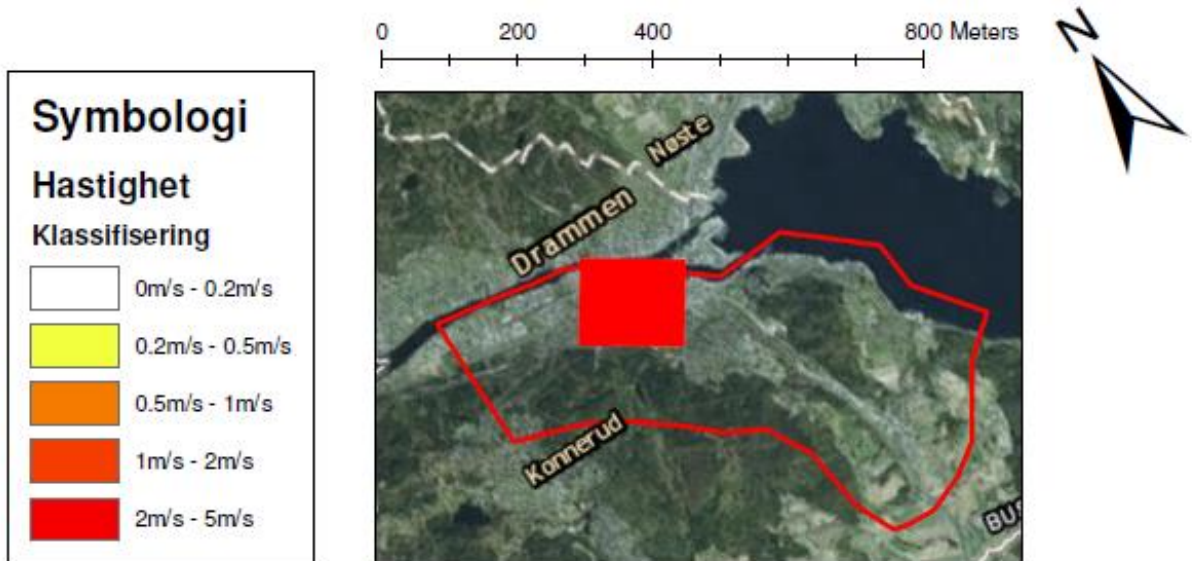
Forskjellene kom tydeligere frem når vannets hastighet ble undersøkt. Høyere Manningstall (M) gir lavere ruhet på terrengoverflaten. Ved veger ble Manningstallet satt til 71. Som forventet fulgte vannet da tydeligere vegene da ruheten var lavere og vannet da raskere renner der. Dette førte også til at mer av vannet rant langs vegene. Manningstall (M) som ble brukt er vist i Tabell 6-2 på side 115.

Forskjellene kan ses ved å sammenligne Figur 7-16 og Figur 7-17. Tendensen ved at vannet følger veiene kan ses over hele området. Det kommer spesielt tydelig frem ved Einar Aass vei, Magnus Barfots gate og Styrmoes vei.

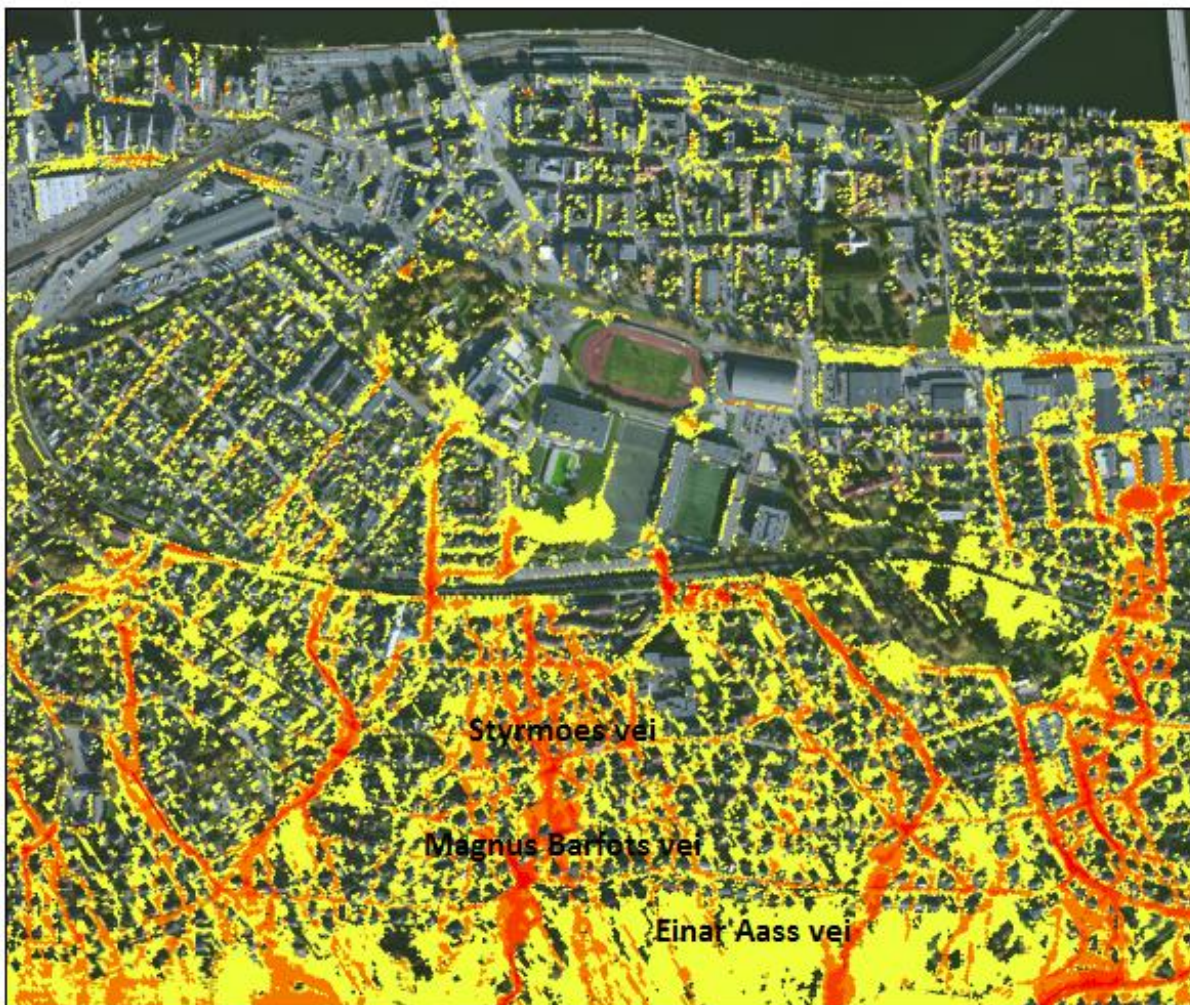


Vannets hastighet ved konstant Manningstall fra MIKE21

200-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsø, Drammen








Figur 7-16: Vannets hastighet ved Strømsø med konstant Mannings tall



Vannets hastighet ved varierende Manningstall fra MIKE21
 200-årsregn med 10-års fratrekk
 Strømsø, Drammen

0 200 400 800 Meters

Symbologi	
Hastighet	
Klassifisering	
	0m/s - 0.2m/s
	0.2m/s - 0.5m/s
	0.5m/s - 1m/s
	1m/s - 2m/s
	2m/s - 5m/s



Figur 7-17: Vannets hastighet ved Strømsø ved varierende Mannings tall etter type overflate

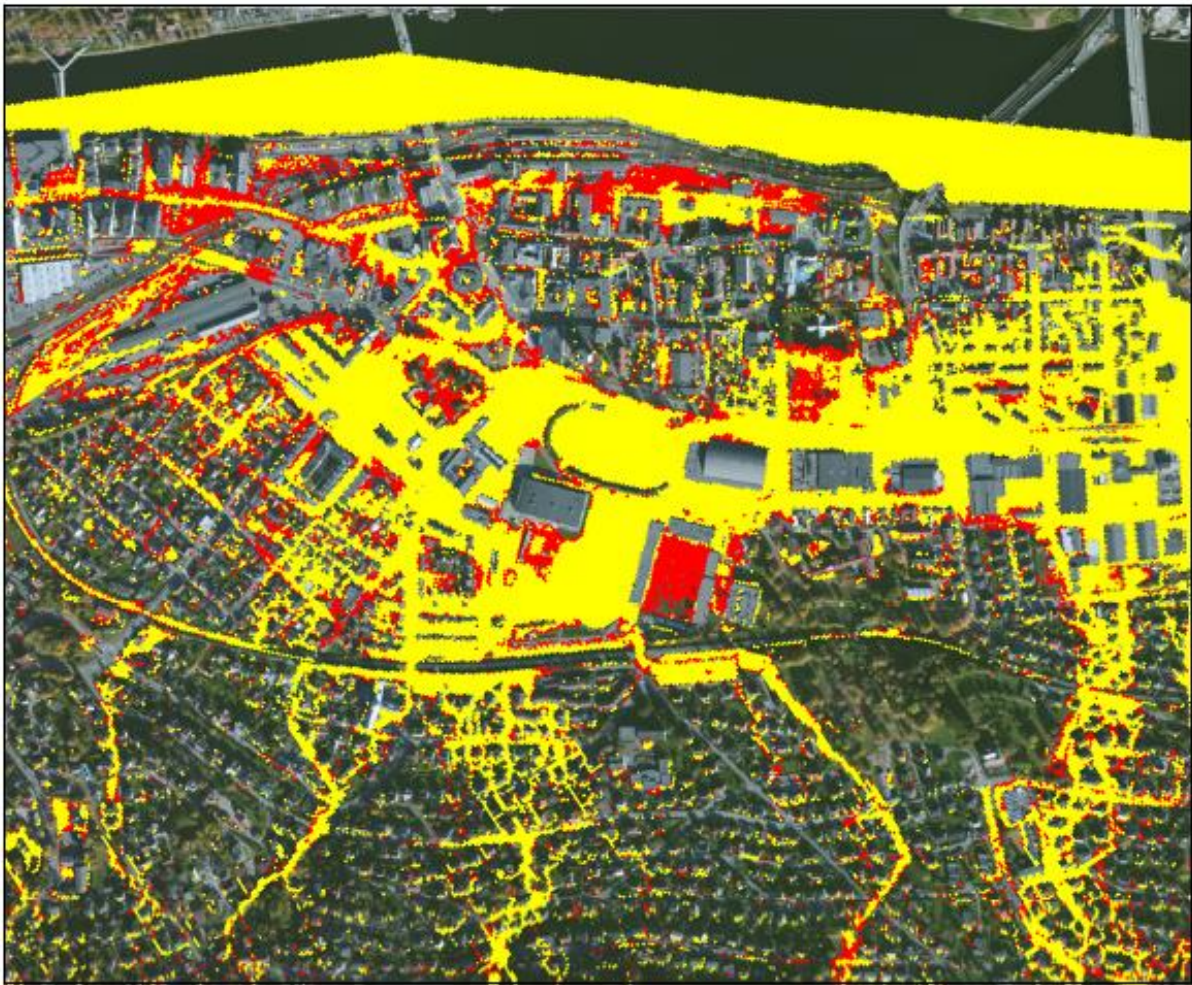
7.7 MIKE FLOOD resultater

7.7.1 Sammenligning av resultater fra MIKE FLOOD og MIKE21

I Figur 7-18 vises forskjellene mellom resultatene fra MIKE21, simulert med 200-årsregn med fratrekk for 10-årsregn, og resultatene fra MIKE FLOOD simulert med 200-årsregn uten fratrekk men ledningsnett inkludert.

Det som er gult i Figur 7-18 er områder hvor både simulering med MIKE21 og MIKE FLOOD gir oversvømmelse. Røde områder er der det kun er oversvømmelse fra simulering med MIKE FLOOD, mens blått er områder med kun oversvømmelse fra MIKE21. Det er tydelig at det er mer rødt enn blått i figuren. Dette viser at når det simuleres med fratrekk i MIKE21, ved å fjerne det som tilsvarer et 10-årsregn fra inndatafilen for nedbør blir resultatet avvikende fra resultatet hvor ledningsnett er inkludert i MIKE FLOOD. Det antas at inkludering av ledningsnett gir en større grad av realisme i simuleringene og dermed resultater som stemmer bedre med virkeligheten.

De blå områdene viser steder hvor ledningsnett har ekstra kapasitet og tar unna oversvømmelsene. Marienlyst stadion er vist midt i figuren. Der kan det observeres at stadion blir oversvømt når det simuleres med ledningsnett i MIKE FLOOD.



Sammenligning av MIKE21 og MIKE FLOOD

MIKE21: 200-årsregn med 10-års fratrekk
 MIKE FLOOD: 200-årsregn med ledningsnett
 Strømsø, Drammen



0 200 400 800 Meters

Manningstall er konstant

Definert oversvømmelse: >0.1m

Symbologi	
	Like oversvømmelser
	Oversvømmelser MIKE FLOOD
	Oversvømmelser MIKE21



Figur 7-18: Sammenligning av MIKE21 med 200-årsregn fratrukket 10-årsregn og MIKE FLOOD med 200-årsregn med ledningsnett

I Figur 7-19 vises forskjellene mellom de to simuleringene. Områdene med rød farge er områdene som blir oversvømt kun ved MIKE FLOOD simuleringen, mens områdene der det er blå farge er områdene hvor det kun blir oversvømt ved MIKE21-simuleringen. Begge simuleringene har tatt utgangspunkt i et 200-årsregn uten fratrekk. Områdene med gul farge er der begge simuleringene gir oversvømmelser.

Det er tydelig at det er mer oversvømmelse fra MIKE21 enn fra MIKE FLOOD. Dette er i overensstemmelse med at ledningsnettets bortleder betraktelige mengder overvann. Hvis det hadde vært mer rødt enn blått, ville det betyde at ledningsnettets ikke fungerte i det hele tatt.

Figuren viser ikke forskjellene i vannivåer i resultatene fra simuleringene med MIKE21 og MIKE FLOOD. Områder som er røde viser steder hvor ledningsnettets tilfører overflaten vann. Slike områder er av stor interesse for å kartlegge hvor ledningsnettets har for liten kapasitet.



Sammenligning av MIKE21 og MIKE FLOOD

MIKE21: 200-årsregn uten fratrekk

MIKE FLOOD: 200-årsregn med ledningsnett

Strømsø, Drammen



0 200 400 800 Meters

Manningstall er konstant

Definert oversvømmelse: >0.1m

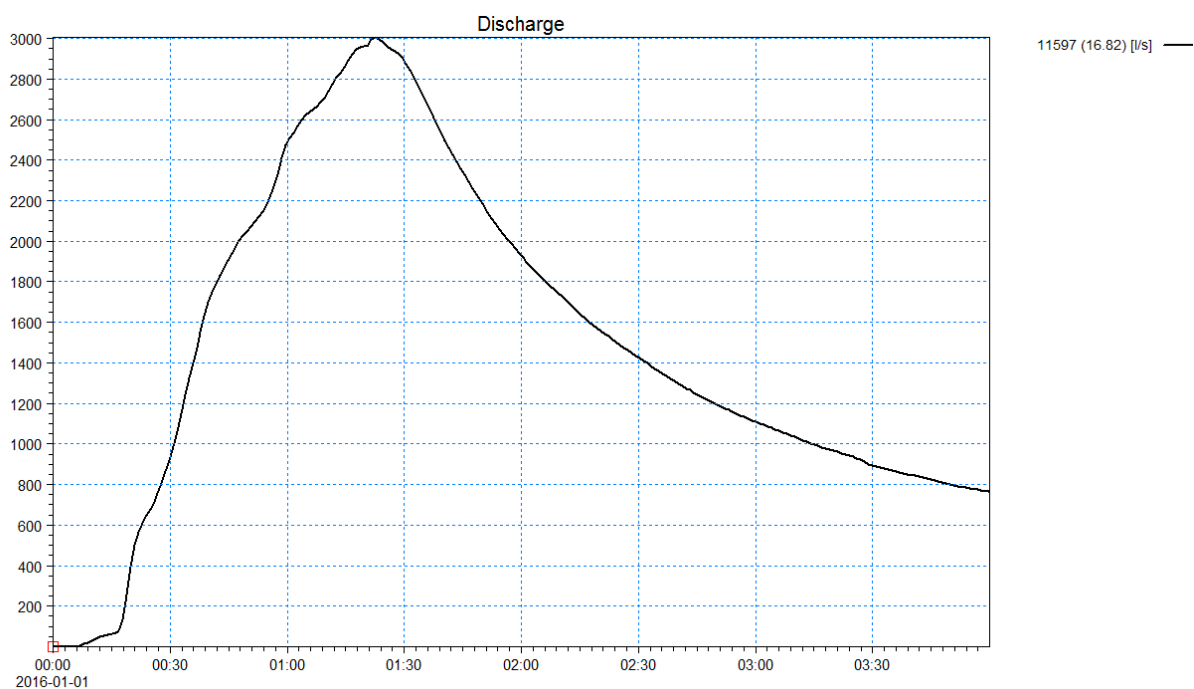
Symbologi	
	Like oversvømmelser
	Oversvømmelser MIKE FLOOD
	Oversvømmelser MIKE21



Figur 7-19: Sammenligning av MIKE21 med 200-årsregn uten fratrekk og MIKE FLOOD med 200-årsregn med ledningsnett

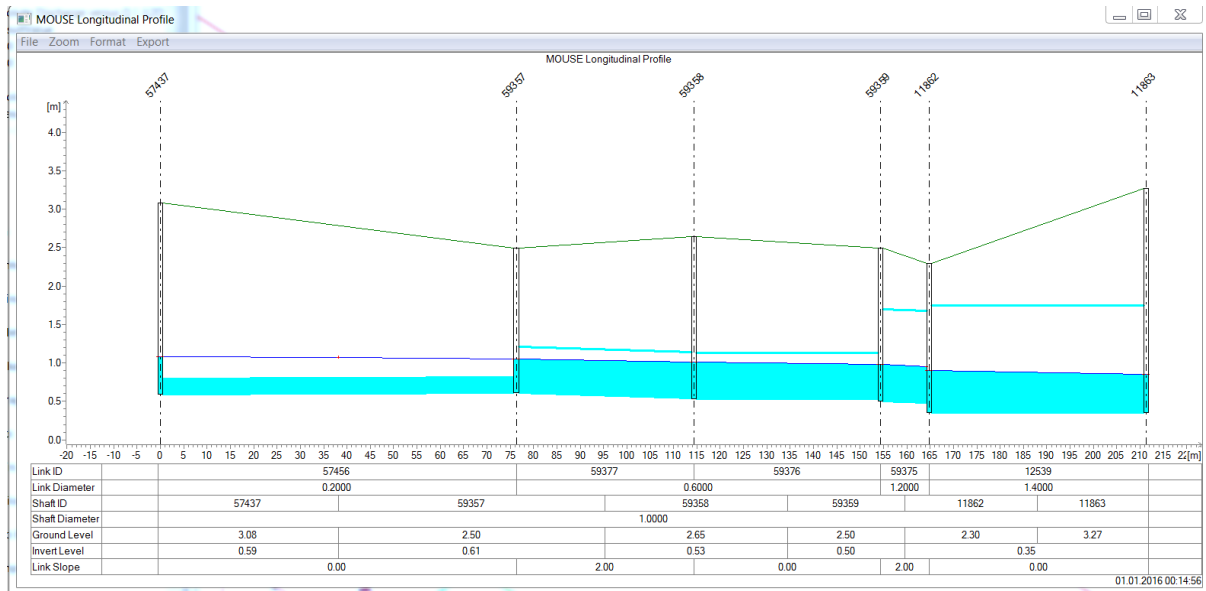
7.7.2 Resultater fra simulering med ledningsnett i MIKE FLOOD

Simuleringen som tok hensyn til både overflaten og ledningsnett ga en del interessante resultater. I Figur 7-20 vises en måling av volumstrøm i et utløp fra modellen. Resultatet viser at det går vann i røret tidlig i simuleringen og at toppen ikke nås på samme tidspunkt som nedbørshendelsen. Nedbørshendelsen (Figur 6-14 på side 113) som ble brukt er et 200-årsregn uten fratrukk for antatt kapasitet i ledningsnett. Toppintensiteten for denne nedbørshendelsen skjer etter ca. 33 minutter. Det er en treghet i systemet i og med at toppen i volumstrøm i utløpet skjer en god stund etter toppen i nedbørshendelsen. Det vises også i Figur 7-20 at volumstrømmen synker etter hvert som alt overvannet renner av.



Figur 7-20: Volumstrøm i ledningsnett over tidssimuleringen. Enheten er l/s skjermdump)

I Figur 7-21 vises det et eksempel på en type resultater fra MIKE FLOOD simuleringen i form av et lengdeprofil av en valgt rørstrekning. Profilet kan framvises gjennom hele tidsperioden og vil vise når ledningene går fulle, samt når oppstuvning forekommer. Figur 7-21 viser at den første ledningen på rørstrekket går fullt, mens nedstrøms rør har ledig kapasitet. Energilinjen vises i mørkeblått over det første rørstrekket.



Figur 7-21: Lengdeprofil av et tilfeldig rørstrek fra MIKE FLOOD simuleringen (skjermdump)

I Figur 7-22 vises ledningene med tre ulike klassifiseringer for ledningskapasiteten. Ledningskapasiteten er gitt som forholdet mellom den maksimale volumstrømmen i røret og den teoretiske beregnede kapasiteten. Det vil si at ledninger som har verdiene under 0,9 har ledig kapasitet, mens rør over 1,1 har overtrykk og vann stuves opp i tilhørende kummer.

Grønt betyr at ledningene har ledig kapasitet. Dette kan observeres for eksempel i utslippsledningene som slipper ut vannet i Drammenselva. De ulike utslippsrørene har diametere mellom 500 mm og 1200 mm, og er relativt store rør, og har dermed stor kapasitet.

Det er i tillegg slik at oppstrøms utslippsrørene så har rørene mindre diameter. Det vil si at mengden vann som renner i utløpet ikke blir bestemt av størrelsen på utslippsrøret, men på oppstrøms rør. Figur 7-22 er en god måte å visualisere hvilke rør som er utsatte, og hvor det må settes inn tiltak. Kartet viser en god del røde rør som tilsier at det er flere ledninger som går fulle, og vann vil da stuve opp i kummen, i stedet for å transportere det vekk.

For å vise resultatene i MIKE FLOOD ble det hentet et «derived results» sett som tok inn «Link's absolute Discharge versus Q Manning».



Ledningskapasitet fra MIKE FLOOD

200-årsregn med ledningsnett
Strømsø, Drammen



0 200 400 800 Meters

Ledningskapasiteten viser forholdet mellom simulert volumstrøm og teoretisk kapasitet

Symbologi

Ledningskapasitet

- > 90% fullt
- 90% til 110% fullt
- < 110% fullt



Figur 7-22: Utnyttet ledningskapasitet i bydelen Strømsø, Drammen

Figur 7-23 gir en oversikt over de maksimale volumstrømmene i ledningene. Dette vil da være en annen metode å framstille hvilke rør som er utsatte kapasitetsmessig.

Rør som transporterer mye vann trenger ikke å være utsatte rør, men kan ha en stor dimensjon slik at den kan frakte store mengder vann. Det vil derfor være nyttig å sammenholde det som vises i Figur 7-23 sammen med det som vises i Figur 7-22. Generelt vil Figur 7-22 vise hvilke ledningsstrekke som er utsatte på en mer oversiktlig måte.

For å vise resultatene i MIKE FLOOD ble det hentet et «derived results» sett som tok inn «Link's absolute Discharge».



Volumstrømmer i ledningsnett fra MIKE FLOOD

200-årsregn med ledningsnett
Strømsø, Drammen



0 200 400 800 Meters

Symbologi	
Volumstrøm	
	> 50V/s
	50V/s - 100V/s
	100V/s - 500V/s
	500V/s - 1000V/s
	1000V/s - 2000V/s
	< 2000V/s



Figur 7-23: Maksimale volumstrømmer i ledningsnett i bydelen Strømsø

8 Diskusjon

8.1 Sammenligning av arbeidene i ArcGIS og hvordan forskjeller i terrengmodellen påvirker resultatet

Det har tidligere blitt kjørt to analyser i ArcGIS for generering av drenslinjer og forsenkninger, i det samme området i Drammen. Tidligere i oppgaven har disse to arbeidene blitt sammenlignet med denne oppgaven for å vise hvordan små forandringer i terrengmodellen vil påvirke resultatene i ArcGIS. Det er sannsynlig at disse forandringene ville ha påvirket resultatene fra simuleringene i både MIKE21 og MIKE FLOOD, men til hvilken grad er det ikke mulig å si noe om. Videre vil det diskuteres hvilke ulikheter som finnes i analysene fra ArcGIS.

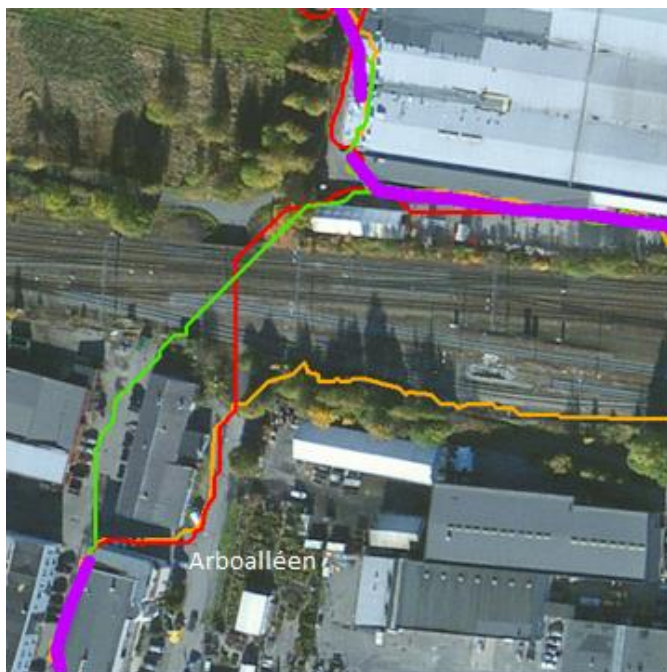
De tre oppgavene har benyttet LiDAR-data og FKB-data til å fremstille den digitale terrengmodellen. I denne masteroppgaven og oppgaven til Murtnes (2015) ble LiDAR-data fra Terratec (2010) benyttet. Ifølge oppgaveteksten benyttet bacheloroppgaven (Hellesjø et al. 2015) LiDAR-data fra både TerraTec (Terratec 2010) (målt 26.06.2010) og Blom Geomatics (målt 01.12.09). Utfra dette kan det antas at to sett med data vil gi et mer presist resultat, siden det består av flere målepunkter gitt tilsvarende kvalitet på datasettet fra Blom. Likevel er måletettheten til Terratec (Terratec 2010) ganske høy slik at forskjellen anses å ikke være betydelig. Målesettet til Terratec var også av nyere dato.

Siden begge LiDAR- datasettene og alle FKB-dataene hadde forskjellig høydedatum, henholdsvis NN1954 og NN2000, måtte dataene høydejusteres. Dette ble utført i denne og Murtnes (2015) sin oppgave. I bacheloroppgaven fra HiØ (Hellesjø et al. 2015) er ikke utfordringen med høydejustering nevnt, slik at det kan antas at dette ikke har blitt tatt hensyn til. Dette betyr i så fall at alle FKB-datasett vil ligge 0,129 m høyere enn LiDAR-dataene i modellen. Dette kan føre til at vannet vil renne andre veier enn det ellers ville ha gjort.

FKB-dataene som ble valgt for å innarbeides i terrengmodellen varierer i de forskjellige oppgavene. Alle oppgavene har med følgende FKB-data: Vannlinjer, vannflater, veglinjer og bygningsflater. I dette masterarbeidet har det i tillegg blitt tatt med FKB- jernbanelinjer. Dette har også blitt gjort i bacheloroppgaven fra HiØ (Hellesjø et al. 2015), men ikke i oppgaven til Murtnes (2015). Dette kan være en av årsakene til Murtnes sine avvik rundt jernbaneområdet som vist i Figur 8-1.

Andre ulikheter med FKB-dataene er at utvalget av «objekttyper» som ble tatt med fra hvert FKB-datasett varierer. Murtnes (2015) hadde ikke fjernet noen objekttyper, selv om dette står nevnt i oppgaven. I denne masteroppgaven og bacheloroppgaven fra HiØ (Hellesjø et al. 2015) ble det gjort et fornuftsbasert utvalg av hvilke objekttyper som skulle være med. De utvalgte objekttypene varierte fra denne masteroppgaven og bacheloroppgaven. Det er grunn til å tro at utvalget av objekttyper spiller inn på hvilken dretningsretning vannet velger og kan dermed være en forklaring på forskjellene i dretningslinjene oppgavene imellom.

Ved fjerning av bruer og overganger ble det funnet et par eksempler på feilklassifiseringer som hadde betydning for sinks og dretningslinjer. Dette var i hovedsak i forbindelse med jernbanelinjene. I dette masterarbeidet ble to overganger fjernet manuelt. Dette ble ikke gjort i bacheloroppgaven til HiØ (Hellesjø et al. 2015) som nok kan forklare noen av forskjellene. Siden Murtnes (2015) ikke hadde med FKB- jernbanelinjer ble det ikke problemer med overgangene. Sammenligningsbildet i Figur 8-1 viser tydelige forskjeller mellom resultatene fra de tre oppgavene. Figur 8-1 viser at bacheloroppgavens «oransje» dretningslinje ikke krysser jernbaneovergangen da den ikke ble fjernet. Figuren viser også Murtnes (2015) sin «grønne» linje som ikke har tatt med FKB- jernbane. «Rød» er denne masteroppgavens dretningslinje hvor jernbaneovergangen er fjernet manuelt. «Lilla» viser hvor de tre dretningslinjene sammenfaller innenfor en radius på 5 meter.



Figur 8-1: Forskjellen på dretningslinjeresultatene fra oppgavene. Oransje er dretningslinjer fra HiØ som ikke har fjernet overgangen. Grønn er dretningslinjer fra Murtnes som ikke har tatt med FKB- jernbane. Rød er fra denne masteroppgaven som fjernet togovergangen. Lilla er felles dretningslinjer (innbyrdes avstand maks 5 m). Veien hvor den rød og den oransje linjen renner på heter Arboalléen (skjermdump).

Andre forskjeller i oppgavene er at bacheloroppgaven fra HiØ (Hellesjø et al. 2015) hever bygningene til 20 meter, mens i dette masterarbeidet og Murtnes (2015) sin oppgave blir 25 meter benyttet. Dette har mest sannsynlig ingen betydning for flommodelleringen og genereringen av drenslinjer.

Når det gjelder «average point spacing», som er den gjennomsnittlige avstanden mellom LiDAR-punktene i input filen, ble det operert med 0,8 meter i masteroppgaven til Murtnes (2015) og 0,9 meter i bacheloroppgaven fra HiØ (Hellesjø et al. 2015). I dette masterarbeidet ble 0,8 valgt. Videre har denne masteroppgaven og Murtnes (2015) sin oppgave brukt 0,8 meter som «approximate point spacing», mens bacheloroppgaven (Hellesjø et al. 2015) har brukt 1 meter. Verdiene i «approximate point spacing» gir størrelsen på rastercellene. Dette betyr at rastercellestørrelsen er større i bacheloroppgaven (Hellesjø et al. 2015). Dette vil gi en mindre detaljert terrengmodell, mens genereringstiden vil være kortere. Selv om forskjellen på cellestørrelsen ikke er vesentlig stor kan det tenkes at dette er nok til å gjøre en forskjell på dreneringslinjene og «sinksene».

Den siste forskjellen går på presentasjon av dreneringslinjene. Alle de tre oppgavene benyttet Meiforth (2013) sin klassifisering av drenslinjer. Denne beskrev at kritisk nedbørsfeltareal er definert som et areal på mer enn 50 000 m², hvor dette ville føre til problemer. Det kritiske nedbørsfeltet ble funnet ved antagelser om at når det rant 100 l/s i bekkene ville det oppstå flomproblemer i urbane områder. 50 000 m² var det nedbørsarealet som krevdes for at det skulle renne så mye i bekkene. I dette masterarbeidet ble klassifiseringen dermed konvertert fra 1 m cellestørrelse, som Meiforth (2013) hadde benyttet, til 0,8 m cellestørrelse. Dette hadde ikke Murtnes (2015) gjort, noe som dermed ga flere og større dreneringslinjer. Bacheloroppgaven (Hellesjø et al. 2015) fikk ikke dette problemet da de også benyttet 1 m cellestørrelse.

Ved presentasjon av sinks ble det i dette masterarbeidet fjernet sinks som var dypere enn 15 m. Murtnes (2015) og bacheloroppgaven (Hellesjø et al. 2015) fjernet sinks dypere enn 5 m. Dette ga en minimal forskjell på resultatene. Hensikten med dette var for å kunne sammenligne «sinksene» fra ArcGIS, med resultatene fra MIKE21 og MIKE FLOOD.

Det er tydelig at små forandringer i den digitale terrengmodellen vil kunne gi betydelig utslag. I ArcGIS er en av grunnene til dette at D8-algoritmen alltid velger den cellen med lavest verdi. Forskjeller mellom terrengmodellene kan dermed føre til at drenslinjen velger en annen vei, dette kan gi et helt annet resultat ved generering av drenslinjer. Det er også naturlig å tro

at slike forandringer i terrengmodellen også vil gi utslag ved modellering i andre dataprogram slik som MIKE21 og MIKE FLOOD. Dette viser hvor følsomme dataprogrammene er for forandringer i terrengmodellen og understreker at det er meget viktig å være klar over denne potensielle feilkilden når det etableres terrengmodeller, når det gjennomføres modelleringer og når resultatene blir vurdert.

8.1.1 Oppsummering av sammenligningen mellom de ulike ArcGIS resultatene

Likhetene og ulikhetene mellom oppgavene oppsummeres i Tabell 8-1.

Tabell 8-1: Oversikt over likheter og ulikheter mellom de to oppgavene

	Dette masterarbeidet	Bacheloroppgave – HiØ	Masteroppgave – NMBU
Grunnlagsdata for digital terrengmodell	LiDAR data fra Terratec FKB- veglinjer FKB- vannlinjer FKB- vannflater FKB- bygninger FKB- banelinjer	LiDAR data fra Terratec LiDAR data fra Blom Geomatics FKB-veglinjer FKB- vannlinjer FKB- vannflater FKB-bygninger FKB- banelinjer	LiDAR-data fra Terratec FKB- veglinjer FKB-vannlinjer FKB- vannflater FKB-bygning
Programvare	ArcGIS 10.3	ArcGIS 10.3	ArcGIS 10.1
Høyde innsatt for bygninger	25 m	20 m	25 m
Average point spacing	0,8	0,9	0,8
Raster cellestørrelse	0,8	1	0,8
Areal på analyseområde	27 km ²	14,5 km ²	25 km ²
Høydejustering mellom LiDAR dataene og FKB- dataene	Ja	Nei	Ja
Kritisk nedslagsfelt areal	50 000 m ²	50 000 m ²	32 000 m ²
Dybde på «sinks» som ble fjernet	15 m	5 m	5 m
Fjernet objekttyper	Ja	Ja	Nei
Fjernet feilaktige bruer	Ja, to stykk langs jernbanetraseen	Nei	Nei

8.2 Metodikkene

I denne masteroppgaven har det blitt utprøvd tre ulike metoder for å kartlegge risikoområder for oversvømmelse i et urbant byområde. De tre ulike metodene som ble benyttet har vært knyttet til bruk av dataprogrammene ArcGIS, MIKE21 Flow Model og MIKE FLOOD.

8.2.1 ArcGIS

ArcGIS ble valgt fordi det tidligere har blitt utarbeidet metoder for å produsere aktsomhetskart for overvann. ArcGIS var i tillegg et kjent globalt GIS-program som benyttes over hele verden. Programmet har et godt utbygd hjelpesenter, slik at de fleste spørsmålene som dukket opp ble besvart ved bruk av dette. En annen grunn til at ArcGIS ble valgt var at NMBU hadde lisenser på programmet, og at det var mulig å være med på et kurs. Det var derfor uproblematisk å velge ArcGIS rent praktisk. ArcGIS var også allment utbredt og mange norske kommuner og bedrifter har tilgang til programmet.

I dette masterarbeidet var det nødvendig å produsere terrengmodeller som skulle benyttes i alle de tre programmene, og disse terrengmodellene ble bygd i ArcGIS som er godt egnet til dette. Tidligere arbeid ble benyttet som hjelp, samtidig som feil derfra ble rettet opp underveis. Dataprosesseringen for å bygge terrengmodellen tok omtrent 3-4 timer i ArcGIS. Dette fordrer noe kjennskap til ArcGIS og et analyseområde på 27 km² med en rasterstørrelse på 0,64 m², noe som tilsvarer 0,8x0,8 m rasterceller. Prosessen vil gå raskere ved et mindre analyseområdet og større rasterceller. ArcGIS ble også brukt til å vise fram resultatene fra MIKE21 og MIKE FLOOD. Brukergrensesnittet til MIKE Urban hadde også en relativ lik oppbygning som ArcGIS. Dette er noen av grunnene til at ArcGIS uansett måtte læres.

Når det gjelder resultatene fra arbeidene i ArcGIS så var dette kun geografiske analyseresultater. Disse resultatene er vist i Figur 7-12 og Figur 7-13 på side 147 og side 149. ArcGIS tok utgangspunkt i at drenslinjene valgte den veien hvor høydeforskjellen var størst. Drenslinjen valgte kun en celle, av de åtte omkringliggende celler, når den gikk et steg videre nedover i terrenget. I virkeligheten vil vannet kunne strømme i mange forskjellige retninger, spesielt når hastigheten og trykkhøyden tas med. Dette tar ikke ArcGIS hensyn til. Dette er en av de største svakhetene ved flomanalyse i ArcGIS. Det som var positivt med ArcGIS-metodikken var brukervennlighet. Det var lett å arbeide i programmet og prosessene tok minimalt med tid, men det var likevel noen prosesser som var mer tidkrevende. Beregning av «flow accumulation» rasteret tok blant annet opp mot 45 minutter når rasterstørrelsen var på

0,8x0,8 m. Dermed var ArcGIS det minst datakrevende av de benyttede programmene. Et grovt estimat på arbeidstiden for å lage et aktsomhetskart med drenslinjer og forsenkninger (sinks) blir omtrent 2 timer inkludert dataprosesseringstid. Dette forutsetter at terrengmodellen allerede er produsert.

ArcGIS kan altså gi oversiktlige data relativt raskt, selv med store analyseområder og liten cellestørrelse. De andre programmene benyttet vesentlig lengre tid, selv med et mindre område og større rasterceller. ArcGIS kan generere resultater med høyere oppløsning og for store områder på mindre tid og vil derfor være et godt verktøy for å få en rask oversikt over hvor vannet vil renne og akkumulere på overflaten. Likevel vil ikke ArcGIS gi like nøyaktige resultater som MIKE21 og MIKE FLOOD da disse tar hensyn til trykk og hastighet.

I Tabell 8-2 gis det en oversikt over fordeler og ulemper ved bruken av ArcGIS.

Tabell 8-2: Oversikt over fordeler og ulemper ved programmet ArcGIS

ArcGIS – fordeler og ulemper
Fordeler:
Den raskeste metoden i forhold til de andre programmene
Gjør analyser for et stort område med fin oppløsning på relativt kort tid
Finere celleoppløsning vil føre til at terrengmodellen vil lage en mer detaljert modell av overflaten, slik at for eksempel fortauskanter kan tas med
Godt egnet til å anskaffe oversikt over et område
Det kreves liten kjennskap til modellering for å få til metodikken i ArcGIS
Det er et svært brukervennlig program med mange hjelpefunksjoner
Det er et program som mange bedrifter og kommuner allerede har tilgang til
Resultatet viser hvor det er forsenkninger i terrenget og hvor det vil gå drenslinjer. Drenslinjene viser hvor stort område som drenslinjen mottar vann i fra
Programmet har mange muligheter knyttet til visualisering
Ulemper:
Det gjøres ingen hydrauliske beregninger
Drenslinjen kan kun velge en vei ut av hver celle. Hvis flere celler har relativt like høyder kan feilmarginen bli stor, noe som kan føre til at drenslinjen velger en helt annen vei enn hvor vannet egentlig vil renne
Valg av feil data til bygging av terrengmodellen kan føre til store konsekvenser for hvor drenslinjen går
Det kan ikke utføres en tidssimulering av en flomhendelse
Ledningsnettet blir ikke tatt hensyn til
Det er ikke mulighet for å ta hensyn til overflateruhet eller infiltrasjon
Det gjøres ingen beregninger av om forsenkninger blir fylt opp av vann eller ikke

8.2.2 MIKE21 Flow Model

Programvarene fra DHI ble valgt etter innspill fra vår veileder som hadde tilgang til låneavtaler via forskningsprosjektet «Regnbygge 3M». Ulempen med programvarene fra DHI er at lisensene er kostbare.

Egnetheten av MIKE21 til modellering av den typen som var ønsket i denne oppgaven ble avklart etter å ha sett at programmet hadde blitt benyttet i flere svenske masteroppgaver

(Filipova 2012; Gunnarsson 2015; Wallinder 2015). Det ble også referert til denne metoden i to svenske rapporter skrevet av Hernebring og Mårtensson (2013) og Mårtensson og Gustafsson (2014). MIKE21 ble også valgt fordi MIKE programvaren er på vei inn i VA-miljøet i Norge og at det er internasjonalt anerkjent. Ved å velge MIKE21 kunne samme metodikk utvides sammen med MIKE Urban i MIKE FLOOD. MIKE21 utfører en såkalt 2D-analyse av overflatestrømningene av overvann.

MIKE21 var et relativt enkelt program å benytte. Utfordringene lå i å finne ut hvordan de forskjellige parameterne skulle legges inn i programmet, og hvilke verdier som burde velges. Det var i tillegg en utfordring å få til en god terrengmodell på dfs2 format fra ArcGIS som MIKE21 kunne lese. MIKE21 var et svært brukervennlig program med en enkel rullegardinmeny hvor alle verdier kunne legges inn.

Ulempen med MIKE21 var at simuleringene tok lang tid. Dette innebar at ved uttesting av verdier tok det lang tid å finne ut om disse kunne benyttes. Det gikk mye tid til å rydde opp i såkalte «blow-ups». Dette skjedde når simuleringen ble overbelastet og terminerte slik at andre inputverdier måtte utprøves. En løsning var å endre tidssteget slik at dette ikke ble for stort. Etter mye tid med prøving og feiling fungerte simuleringene. En simulering for området på 10,8 km² kunne ta mellom 12 og 15 timer ved simulering av en fire timers nedbørshendelse med 4x4 m rasteroppløsning. Området er da nesten bare en tredjedel av området som ble brukt i ArcGIS og med grovere rasterstørrelse. Dette sier noe om hvor datakrevende MIKE21-modellen var. MIKE21 bruker lengre tid fordi den beregner hydraulikken i hver celle. Vannets bane og oversvømmelser blir da beregnet av forskjellige ligninger. Vannet kan i disse beregningene renne flere veger ut av en celle. Dette gir dermed mer realistiske og korrekte resultater enn det som er tilfelle i ArcGIS. En sammenligning av ArcGIS og MIKE21 ble gjort i Figur 7-14 på side 151 i forhold til oversvømmelser. Der kommer det tydelig frem at MIKE21 gir større områder med oversvømmelser og resultatet viser at MIKE21 også klarer å vise vanddyb når vannet renner nedover terrenget, mens ArcGIS kun viser forsenkninger (sinks) som potensielt kan fylles med vann.

Rastercellen som ble benyttet hadde en oppløsning på 4x4 m. Dette ga en mye grovere celleinndeling enn det som ble brukt i ArcGIS. Det ble også gjort forsøk med 2x2 m og 8x8 m oppløsning for å finne ut hva som var mest optimalt med hensyn på tidsbruk. Simuleringen på 8x8 m tok kun et par timer, men oppløsningen var da svært grov. Ved simulering på 2x2 m måtte tidssteget helt ned til 0,04 sekunder for å ikke få «blow up» (terminering av simuleringen). Da tok simuleringen meget lang tid, rundt 80 timer. I denne masteroppgaven

ble det derfor valgt å benytte 4x4 m størrelse på rastercellene. Det ble i alle simuleringen benyttet en firetimers nedbørshendelse. Hvis nedbørshendelsen halveres vil også simuleringstiden halveres, men effekten av etterregnet og avrenningen på terrengoverflaten etter regnhendelsen vil utebli.

I MIKE21 kunne ikke ledningsnettets tas direkte med i modellen da MIKE21 kun kjører en 2D-analyse av overflatestrømning. For å kompensere for ledningsnettets ble det gjort et fradrag i regnhendelsen. Det ble antatt at ledningsnettets i Drammen var dimensjonert for en 10-års regnhendelse med varighet på 60 minutter, siden dette var den gamle dimensjoneringsnormen (SFT TA-550 (Lindholm et al. 2003)). Det er usikkert hvor realistisk dette er da noen rørstrekk kan ta unna mer og andre mindre. Når resultatet (vist i Figur 7-18 på side 159) ble sammenlignet med resultater fra MIKE ble det synliggjort at en modellering i MIKE21 fjernet mer overvann fra terrengoverflaten enn i modelleringen med MIKE FLOOD. Grunnen til dette kan være at nettet ikke tar unna for et 10-årsregn eller så stemmer ikke simuleringen fra MIKE FLOOD.

MIKE21 kan simulere overflatestrømningen med hensyn til overflateruheten. Dette gjøres ved å bruke Mannings tall (M) for ulike områder i terrenget. Resultatene (Figur 7-16 og Figur 7-17 på henholdsvis side 155 og side 156) viste at vannet strømmet raskere der motstanden var lav, på vegene. Dette stemmer overens med hva som vil skje i virkeligheten. MIKE21 kan også simulere infiltrasjon, noe som ikke ble gjort i denne oppgaven da det ble antatt at jorden raskt blir mettet ved slike intense nedbørshendelser.

I og med at det krevdes lang tid for hver simulering ble dette en tidkrevende øvelse, men simuleringen vil ikke være vanskelig å få til ved en god terrengmodell og nedbørshendelse. I Tabell 8-3 oppsummeres det fordeler og ulemper med programmet.

Tabell 8-3: Fordeler og ulemper knyttet til MIKE21

MIKE21 – Fordeler og ulemper
Fordeler:
Det blir utført hydrauliske beregninger i hver celle, slik at vannmengder og enheter blir tatt med
Det kan bli simulert med nedbørshendelser som gjelder for hele området, eller med forskjellige nedbørsmengder for hver celle
Vannet kan velge flere veier ut av en celle. Valget tar hensyn til vannets hastighet og trykkehøyde, i tillegg til høydedifferansen mellom cellene
Programmet har en ryddig rullegardinmeny med de ulike parameterne som skal innsettes
Det finnes mange gode manualer til bruk av programmet
Det kan bli tatt hensyn til et ledningsnett ved å gjøre et fratrekk fra nedbørshendelsen
Infiltrasjon kan inkluderes
Overflateruheten kan differensieres slik at vannet renner hurtigere der det er minst motstand
Noen bedrifter og kommuner har lisenser til MIKE21
Ulemper
Lisensene er svært dyre
ArcGIS må læres for å kunne benytte MIKE21
ArcGIS må være installert for at MIKE programvaren skal fungere
Simuleringen tar lang tid slik at rastercellene må være relativt store. Programmet bruker likevel kortere tid enn MIKE FLOOD
Det kreves en del prøving og feiling for å få simuleringen til å fungere
Det er litt vanskelig å forstå hvilke parametere som skal benyttes
Ledningsnettet blir ikke tatt med i simuleringen. Dette fører til at sårbare ledningsstrekke ikke blir identifisert, samt at ledningsstrekke med god kapasitet ikke blir benyttet
Manualene fokuserer mer på teorien enn de praktiske utfordringene.

8.2.3 MIKE FLOOD

MIKE FLOOD er også en programvare fra DHI som det ble gitt tilgang til via en låneavtale. MIKE FLOOD benytter MIKE Urban som brukergrensesnitt og det var denne modellen som det i første omgang var plan om å benytte i masteroppgaven. Grunnet kompleksiteten til programmet ble dette endret til å benytte MIKE21. Men når MIKE21 resultatene var klare var

det ikke så mye som skulle til for å få MIKE FLOOD simuleringen til å fungere. Med hjelp fra DHI Oslo gikk simuleringen i orden.

MIKE FLOOD er en kobling mellom 2D-simuleringen i MIKE21 og 1D-simuleringen i MIKE Urban. Et fungerende ledningsnett måtte legges inn for å få simulering i MIKE FLOOD til å fungere. Dette var et svært krevende arbeid, spesielt siden en del av dataene for ledningsnettets var mangelfulle. Ledningsnettets ble mottatt i en Esri geodatabase. Dette måtte hentes inn i MIKE Urban manuelt, og krevde en del prøving og feiling. For å kontrollere om ledningsnettets fungerte ble nettverket kjørt alene uten terrengoverflaten. Dette var en svært rask simulering på under 10 minutter. Når terrenget ble integrert og ledningsnettets koblet til terrengmodellen, ble simuleringen en svært datakrevende prosess. For området på 10,8 km², med rasterceller på 4x4m, tok simuleringen omtrent 30-40 timer. Simuleringen tok dermed over dobbelt så lang tid som i MIKE21. Det må også tas med i betraktningen at terrengmodellen til MIKE FLOOD først må lages i ArcGIS. Arbeidet med MIKE FLOOD vil alltid være mer tidkrevende da programmet bygger på de to andre programmene.

Koblingen av ledningsnettets til terrengoverflaten var vanskelig å få til. Metoden som ble benyttet i denne oppgaven var at hver kum ble koblet til en rastercelle på terrengoverflaten. Dermed vil alt vannet som treffer rastercellen renne ned i røret, eller eventuelt opp av røret til rastercellen om røret går fullt. Det er tvilsomt om hver kum i virkeligheten kan fungere som et sluk med størrelse på 16 m². I tillegg er det usikkert om kummer burde blitt koblet til flere enn en rastercelle for å få nok vann til ledningsnettets. Ved å studere resultatene virket det alikevel som om det kom mer enn nok vann til ledningsnettets da flere rør gikk fulle.

I Figur 7-18 på side 159 vises en sammenligning av MIKE FLOOD og MIKE21. I MIKE21 er det simulert med 200-årsregn med et fratrekk av et 10-årsregn, og MIKE FLOOD er simulert med 200-årsregn. Her vises det at MIKE FLOOD gir mer oversvømmelser enn MIKE21-simuleringen. Denne forskjellen ville antagelig blitt mindre ved å simulere med et mindre kraftig regn. Samtidig viser Figur 7-19 at ledningsnettets til MIKE FLOOD virker. Dette kan sies fordi at MIKE21 uten fratrekk har større utstrekning enn MIKE FLOOD med ledningsnett. Siden disse i teorien skulle vært like må ledningsnettets ta unna en del vann.

Det som er den største fordel med MIKE FLOOD er at den tar med ledningsnettets i beregningen. Dette er viktig i forhold til at ledningsnettets har ulike karakteristikk for hvert rør. Det vil si at noen rør kan ta unna et 10-årsregn, noen mer og andre mindre. Vannet vil også komme opp på overflaten fra noen kummer, og dermed renne videre på overflaten, på

grunn av for høy tilførsel av vann lengre oppe i nettet som gir trykkforhold nedstrøms i nettet. Ved å bruke MIKE FLOOD gis det da anledning til å finne utsatte rørstrekk (som vist i Figur 7-22 på side 165), og områder hvor vann vil bli tilført fra rørsystemet. Programmet gir også muligheter til å bygge egne ledningstrekk og simulere rørbrudd for å undersøke konsekvensen av dette. I Tabell 8-4 oppsummeres fordelene og ulempene knyttet til MIKE FLOOD.

Tabell 8-4: Fordeler og ulemper knyttet til MIKE FLOOD

MIKE FLOOD – Fordeler og ulemper
Fordeler:
Det blir gjort hydrauliske beregninger på terrengoverflaten og i ledningsnettet, og disse simuleres dynamisk i modelleringen
Det kan simuleres med nedbørshendelser for hele området, eller med forskjellige nedbørsmengder i hver celle
Infiltrasjon kan tas med. Overflateruhet kan differensieres
Simuleringen vil vise hvor ledningsnettet vil tilføre overflaten vann, og hvor overflaten tømmes for vann til ledningsnettet
Det er muligheter for å redigere ledningsnettet, bygge egne rørstrekk og simulere ledningsbrudd
Resultatene kan vise hvor ledningsnettet går fullt og hvor det er ledig kapasitet
Noen bedrifter og kommuner har allerede lisenser til MIKE
Ulemper:
Lisensen er svært dyre
Det kan være krevende å legge inn data fra ESRI til ledningsnettet
ArcGIS må læres for å benytte MIKE FLOOD
Arbeidet knyttet til simuleringen bygger på ArcGIS og MIKE21
Resultatet er avhengig av hvor gode data som ligger til grunn for ledningsnettet
Meget tidkrevende simulering
Det er litt vanskelig å forstå hvilke parametere som skal benyttes, samt at noen parametere fra MIKE21 ikke stemmer overens med MIKE Urban/MIKE FLOOD

8.2.4 Feilkilder

I dette masterarbeidet finnes det mange mulige feilkilder og det er gjort et stort antall antagelser. Simuleringer er kun et forsøk på å representere virkeligheten og hva som kan skje

i naturen. Det er dessverre umulig å kunne forutse helt nøyaktig hvordan hendelsene vil fremkomme i virkeligheten og det har heller ikke vært målet, men det er ønskelig ved modellering å få resultater som er anvendelige avhengig av formålet.

I masterarbeidet har det blitt antatt null infiltrasjon. Dette betyr at alt vannet som faller på terrengmodellen renner av eller samles opp i forsenkninger. Dette kan stemme ved situasjoner hvor markoverflaten er fryst eller når tilnærmet alle flater er impermeable. Ved tilfeller hvor det forekommer intense nedbørshendelser eller langvarige regn slik at marken blir mettet kan også denne antagelsen være representativ.

Det er i tillegg umulig å lage en helt feilfri terrengmodell, noe som kan gi store utslag i resultatene. Spesielt ved generering av drenslinjer i ArcGIS ga små forandringer i terrengmodellen store utslag. Dette var fordi at hver enkelt celle kun kan renne videre til en ny celle ved drenslinjeanalysen. Forandringer i terrengmodellen vil også gi utslag ved MIKE21 og MIKE FLOOD, men forskjellen vil bli mindre siden vannet kan renne flere veier. Feil i terrengmodellen kan stamme fra at laserdataene og FKB-dataene ikke har blitt kvalitetssikret. Det ble for eksempel oppdaget at vannflatene som ble lagt inn i terrengmodellen manglet høydeverdier. I en hydraulisk simulering vil dette føre til at vannflatene ville fungert som et enormt stort basseng som nesten aldri ville bli fylt opp. Heldigvis ble dette oppdaget relativt tidlig i prosessen. Det ble også oppdaget noen andre små feil i datasettet slik som at et par bruer ikke var klassifisert riktig. Det er dermed naturlig å anta at det mest sannsynlig finnes flere mindre feil i den digitale terrengmodellen som er forårsaket av feil i grunnlagsdataene.

Andre mulige feilkilder er at regnhendelsene ikke er reelle regn. Regnhendelsen er konstruert som et regnhyetogram ved hjelp fra en IVF-kurve fra Asker. Asker ligger ca. 20 km øst for Drammen. Det ble valgt regndata fra Asker siden regndataene fra Drammen ikke hadde blitt oppdatert siden 1995. Regndataene fra Asker var oppdatert i 2010. I tillegg ble regnhyetogrammet laget med et beregningssteg på 2,5 minutt og et klimatillegg på 20 %. Dette kan føre til en ekstra høy maksimal regnintensitet, men samtidig gir dette en sikkerhet i forhold til økende nedbørintensiteter.

Flere mulige feilkilder er knyttet til ledningsnett som ble benyttet i MIKE FLOOD simuleringen. Ledningsnett hadde flere mangler, blant annet manglet det koblinger mellom noen av ledningsstrekene. Det hadde vært en svært tidkrevende prosess å sjekke om alle data knyttet til ledningsnett var korrekt. Kumhøyden ble også satt lik høydeverdien på

terrengmodellen, noe som førte til en liten justering på kummene. Ledningsnett og kummene ble importert fra en Esri geodatabase uten særlig mye forkunnskap om nettet og importering. Dette førte til at det er usikkerheter knyttet til om importeringen foregikk korrekt. Før simuleringen ble kjørt ble alle ledninger som var klassifisert som spillvannsledninger fjernet. Det kan tenkes at noen av disse ledningene var feilklassifisert.

Etter at simuleringene i MIKE21 og MIKE FLOOD var kjørt ble det funnet ut at avgrensingsområdet ikke stemte. Avgrensingsområdet var definert ved bruk av ArcGIS og det ble observert at avgrensingsområdet ikke stemte når de hydrauliske beregningene av overflatestrømmingene ble tatt med. Dette resulterte i at vannet visse steder fulgte ytterkanten av området slik at vannmengden der ble unaturlig høy. Dette kan blant annet ses i nord-øst i Figur 7-11 på side 145.

Ingen av programmene tar hensyn til vannivået i Drammenselva. Dette betyr at modellen antar at vannivået i elva er konstant. Dette kan stemme ved korte intense nedbørshendelser som forekommer lokalt. Analyseområdet er i tillegg bratt nok til at økt vannivå ville gitt begrenset betydning.

Til slutt er det viktig å poengtere at vi som utførte analysene ikke tidligere hadde benyttet de ulike programvarene. Det vil si at det manglet erfaringsgrunnlag til å si om et resultat var riktigere enn det andre, samt at det ikke ble gjennomført kalibrering eller verifisering av resultatene.

8.2.5 Sammenligning av metodikkene

I dette masterarbeidet har det vært fokus på å utvikle tre metoder for å beregne overvannsdybde og flomveier. Det er tre gode program med forskjellige styrker og svakheter. Det er derfor lurt å stille spørsmålet: «Hva skal simuleringen brukes til?», før det gjøres et valg av program og metode.

For å få en oversikt over et stort området med minst mulig tidsbruk, over forsenkninger og drenslinjer, kan ArcGIS benyttes. Metoden gir oversiktlige resultater og var den letteste og minst datakrevende metodikken. Likevel var resultatene fra ArcGIS svært forenklet ved at metodikken kun er en terrenganalyse som finner forsenkninger og dreneringslinjer i området. ArcGIS tar ikke hensyn til vannhastighet eller trykkehøyde, samtidig som dreneringslinjene ikke kan dele seg. Dreneringslinjene kan kun gå den veien med størst høydedifferanse.

MIKE21 tok hensyn til vannhastighet og trykkehøyde, og var derfor nærmere virkeligheten. Faktorer som hastighet, trykk og ruhet var bare noen av parameterne som vil påvirke vannets veg. I dette masterarbeidet har det ikke vært tid til å sjekke om MIKE21-simuleringene gir riktigere resultater enn ArcGIS resultatene. Likevel kan det antas at MIKE21 gir bedre og mer nøyaktige resultater. Denne konklusjonen kan baseres på at MIKE21 tar hensyn til flere fysiske forhold, noe som nok gir et mer korrekt resultat.

For å få en enda mere realistisk modell må ledningsnettets legges inn. Da kan MIKE FLOOD benyttes. Det kreves en god del arbeid, justeringer og mye data knyttet til ledningsnettets. Det er ikke lett å vite hvor stort område som må kobles til rastercellen for å få inn nok vann. Utfordringen med MIKE FLOOD er at programmet er svært datakrevende og simuleringen tar lang tid sammenlignet med de andre programmene.

Det enkleste programmet er ArcGIS, men spørsmålet er om det beregner flommen på en tilfredsstillende måte. Det mest avanserte programmet er MIKE FLOOD. Den tar i betraktning både overflatestrømningen (2D) og ledningsnettets (1D). Bakdelen med dette programmet er at det kreves veldig mye arbeid for å få modellen til å fungere. MIKE21 beregner overflatestrømningen (2D). MIKE21 tar ikke med ledningsnettets hydraulikk, men enkle fratrekk fra regnet kan gjøres.

Tabell 8-5 gir en oversikt over hvor godt egnet de ulike programmene er i forhold til forskjellige forhold ved modelleringen. Ut i fra klassifiseringen for de ulike programmene kommer det frem at de har ulike muligheter. ArcGIS kom veldig godt ut på tidsbruk og forkunnskaper, men resultatene viser ikke hydrauliske korrekte beregninger. MIKE21 derimot krever mer tid enn ArcGIS både i forhold til arbeid og simulering, samt at det krever mer forkunnskap. Det som trekker MIKE21 opp, i forhold til ArcGIS, er at vannstrømmene blir beregnet hydraulisk, og at vannet kan renne flere veger. Den store fordelingen med MIKE FLOOD ligger i potensialet siden ledningsnettets kan tas med. Konsekvensen er at simuleringstiden og arbeidsmengden blir større. Det er viktig å trekke fram at hvert program har sine styrker og svakheter slik at de passer til hvert sitt bruk.

Tabell 8-5: Sammenligning av de ulike programmene ut i fra ulike hensyn fra god til ikke god. God (grønt), Middels (gult), Ikke god (rødt). I tillegg ble en klassifisering kalt ikke eksisterende.

Hensyn	ArcGIS	MIKE21	MIKE FLOOD
Simuleringstid	God	Middels	Ikke god
Beregnet arbeidsmengde	God	Middels	Ikke god
Hydrauliske beregninger	Ikke eksisterende	God	God
Multiple flow (Vannet kan renne flere veier ut av cellene)	Ikke eksisterende	God	God
Simulerer over en tidsperiode	Ikke eksisterende	God	God
Oppløsningen på rastercellen til terrenget	God	Middels	Middels
Simulering av ledningsnett	Ikke eksisterende	Middels	God
Forkunnskaper	God	Middels	Ikke god
Potensial	Ikke god	Middels	God
Lisenskostnader	Middels	Ikke god	Ikke god

8.3 Veien videre

Det hadde vært ønskelig å se videre på hvor godt resultatene, spesielt fra MIKE21 og MIKE FLOOD, stemmer med virkeligheten. Dette kan gjøres ved kalibrering og verifisering. Dette kan gjøres ved å benytte en målt regnhendelse fra området, gjennomføre en modellering med disse regndataene og sammenligne disse med målinger og bilder.

MIKE FLOOD har et stort potensiale. Det kunne vært interessant å se på hvordan programmet kan benyttes til å identifisere sårbare ledningsstrek, simulere ledningsbrudd og til å se effekten av eventuelt nye rørstrek for å minimalisere skadeomfanget av overvann. Da vil vannet akkumuleres og strømme videre på overflaten ved kapasitetsproblemer, tilstoppinger eller lignende.

Styring av overvannet i rørnettet, samt å lede vannet ut og inn av kummer og videre i naturlige eller konstruerte flomveier for å redusere skadeomfanget på sårbare objekter ville vært interessant å undersøke. Det kan tenkes at MIKE FLOOD kan benyttes til slike

simuleringer slik at ledningsnett i et urbant byområde kan benyttes som fordrøying. Dette kan redusere mengden fellesavløp som går i overløp, samt redusere flomskader forårsaket av overvann. Programmet har potensiale til å bli benyttet for å se på hvilke områder i byområder som er skadeutsatt og hvor det bør settes inn tiltak og beredskap, samt smarte løsninger som kan hindre skadene i å oppstå.

Ved å analysere et byområde ved modellering kan det tenkes at kommuner og private aktører kan få en oversikt over sammenhengen mellom styring av avløpsstrømmer, sikring av sårbare objekter og tiden som er til rådighet for å iverksette tiltak ved ekstreme nedbørshendelser.

9 Konklusjon

ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD er egnet til modellering av overvann i urbane byområder. Alle programmene gir forsenkninger/oversvømmelsesarealer og drenslinjer, men med ulike antagelser av virkeligheten. MIKE FLOOD gir de mest virkelighetsnære resultatene, men er svært datakrevende. ArcGIS gir de minst korrekte resultatene, men gir en god oversikt over et stort område på kort tid. MIKE21 er et godt alternativ hvis arbeidet med å bygge hele ledningsnett vil unngås og likevel få med effekten av nettet.

- De ulike arbeidene gjort i ArcGIS i Drammen er relativt like, men ulikheter eksisterer. Dette gjelder resultatene fra Høyskolen i Østfold, oppgaven til David Murtnes og fra denne masteroppgaven. Forskjellene som finnes er forårsaket av dataene som ligger til grunn for produksjon av terrengmodellen. Resultatene viser at små forskjeller i terrengmodellen kan gi vesentlige ulikheter ved modelleringen. Dette hadde nok også vært tilfelle for MIKE21 og MIKE FLOOD om de forskjellige terrengmodellene hadde blitt simulert med disse programmene. Det er dermed viktig å være klar over den usikkerheten produksjon av digitale terrengmodeller gir modellresultatene.
- ArcGIS gir et godt og oversiktlig bilde av hvor forsenkningene i terrenget er, samt hvor dreneringsveiene går. Det er en svakhet at programmet ikke tar med hydraulikken i beregningen. Dette kommer spesielt frem ved produksjon av drenslinjer da linjene følger de laveste punktene i terrenget. Drenslinjene kan da kun velge å følge den veien med størst høydedifferanse, mens i virkeligheten vil vannet kunne gå flere veger, og små feil i terrengmodellen vil føre til at drenslinjer kan renne en helt annen vei. ArcGIS er et forholdsvis enkelt program å lære, hvor beregnet arbeidsmengde og simuleringstid er liten. En overvannsanalyse tilsvarende denne masteroppgaven, i ArcGIS, er estimert til å ta omtrent 2 timer hvis terrengmodellen allerede har blitt produsert.
- MIKE21 er et program som benytter hydrodynamiske ligninger til å beregne hvor vannet vil strømme på terrengoverflaten. MIKE21 kjører dermed 2D-analyser. Dette fører til at simuleringene er tidkrevende, men med gode inngangsdata vil det bli produsert virkelighetsnære resultater. Tidsbruken til simuleringene varierer med parametere, rastercellestørrelse og størrelse på området som skal simuleres. I dette masterarbeidet tok simuleringen omtrent 12-15 timer. I MIKE21 kan nedbørshendelser, overflateruhet og infiltrasjon inkluderes, men ledningsnett kan ikke

tas med i simuleringene. Likevel kan et fratrekk fra nedbørshendelsen få frem effekten av et ledningsnett. MIKE21 er et oversiktlig program med gode rullegardinmenyer.

- MIKE FLOOD er et program som både beregner overflateavrenningen og hydraulikken i ledningsnettet. MIKE FLOOD kjører dermed en 2D+1D analyse. Et godt ledningsnett må ligge til grunn for gode resultater. Dette kan være en svært tidkrevende prosess da ledningsnettdata ofte kan inneholde feil som må rettes opp. Ved å koble ledningsnettet til terrengmodellen i rasterceller kan effekten av vann som renner ned og opp av nettet simuleres. MIKE FLOOD er et program med stort potensiale hvor en rekke analyser kan gjøres. Ved gode inngangsparametere, bakgrunnsdata og god verifisering vil programmet gi gode og virkelighetsnære resultater. Bakdelen er at MIKE FLOOD er svært datakrevende, samt at det krever mye arbeid. Simuleringen er over dobbelt så tidkrevende som i MIKE21.
- Bruksområdene til de ulike metodikkene varierer fra program til program. ArcGIS er best egnet for områder der det kun kreves et overordnet kart for å få en oversikt over flomproblematikken. ArcGIS kan gi oversikt over et stort område med relativt lite arbeid, men programmet vil ikke produsere resultater med stor nøyaktighet. MIKE21 er bedre egnet om det er ønskelig å få med vannmengder og vannhastigheter på terrengoverflaten da hydrauliske beregninger er tatt med. Programmet krever kun en terrengmodell og et nedbørsfelt. Ved fratrekk fra regnhendelsen kan ledningsnettet også tas hensyn til. MIKE FLOOD bør benyttes ved grundige analyser da ledningsnettet kan inkluderes og hydrauliske beregninger blir tatt med.
- Mulighetene til programmene er mange. ArcGIS har muligheten for å benytte en svært fin rasterinndeling som grunnlag for analysen og er også et nyttig program for å identifisere områder hvor det er naturlige forsenkninger. MIKE21 er et godt verktøy til å finne ut hvor oversvømmelser vil inntreffe og hvor vannet vil renne. Programmet viser vanddybder og hastigheter, samt at disse kan observeres i en tidsserie. Dette vil være et godt verktøy for å identifisere hvor det skal settes inn tiltak. MIKE FLOOD er et godt verktøy for også å simulere effekten av ledningsnettet. Det kan se på hvilke ledninger som har ledig kapasitet og hvilke ledninger som er fylt. Det kan også benyttes til å undersøke effekten av planlagte rørstrekk, simulere ledningsbrudd og se på effekten av vannstyring for å øke kapasiteten.

10 Referanseliste

- Alfsen, K. H. (2001). Klimaet er i endring! *Policy note/CICERO-Senter for klimaforskning* <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-3647>.
- Andersen, A. S. & Pedersen, K. (2013). *Norges våtteste og tørreste steder*. yr.no. Tilgjengelig fra: <http://www.yr.no/artikkel/norges-vatete-og-torre-steder-1.11125446> (lest 08.01.16).
- Baltsavias, E. P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (2–3): 83-94.
- Bergen kommune. (2005). *Overvannshåndtering i Bergen kommune*. Bergen. 34 s.
- Butler, D. & Davies, J. (2004). *Urban drainage*: CRC Press.
- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O. G., Noreide, T., Semb, T., Skretteberg, R. & Markhus, E. (1997). *Anvendt urbanhydrologi*. NVE Publikasjon, 0802-2569. Oslo: Hydrologisk avdeling. 196 s.
- Chrisman, N. (1997). *Exploring geographic information systems*. New York: Wiley.
- Dannevig, P. & Harstveit, K. E. (2015). *Klima*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/klima> (lest 07.01.16).
- DHI. (2016a). MIKE21 Flow Model - Hints and recommendations in applications with significant flooding and drying.
- DHI. (2016b). MIKE21 Flow Model - Hydrodynamic Module - User Guide.
- DHI. (2016c). MIKE21 Flow Model & MIKE21 Flood Screening Tool - Hydrodynamic Module Scientific Documentation. Danmark.
- DHI. (2016d). MIKE FLOOD - 1D-2D modelling - User Manual. I: DHI (red.). *Manuals*: DHI. 150 s.
- DHI. (2016e). *MIKE Urban*. Tilgjengelig fra: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban> (lest 29.03.2016).
- DHI. (2016f). MIKE Urban - Collection System. *Manuals*: DHI.
- DHI. (2016g). *MIKE URBAN - MIKE Powered by DHI Product flyer*: DHI. Tilgjengelig fra: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban> (lest 26.04.2016).

- DHI. (2016h). *MOUSE - Pipe Flow - Reference Manual*. *MIKE Urban Reference manuals*: DHI.
- DHI. (2016i). *Software Catalogue 2016*. Tilgjengelig fra: http://www.mike-powered-by-dhi.com/?utm_source=menu2016swcat&utm_medium=website&utm_campaign=mike2016release (lest 29.03.2016).
- DHI. (2016j). *STORM WATER AND WASTEWATER*: DHI. Tilgjengelig fra: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban/collection-systems> (lest 20.04.2016).
- Drammen kommune. (2014). *Veileder for overvannshåndtering*. Drammen. 31 s.
- Drammen kommune. (2016). *NN2000 - nytt høydegrunnlag*. Drammen: Drammen kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.drammen.kommune.no/no/Tjenester/Bolig-og-eiendom/Kart-og-geodata/NN2000/> (lest 02.02.16).
- Eiken, T. (2011). *Om Kart - kartprojeksjonar og referansesystem*: Institutt for Geofag, UiO. Tilgjengelig fra: http://folk.uio.no/treiken/GEG1240/Kart_GEO1010.pdf (lest 02.02.16).
- Engan, J. A. (2015). *Modellering av vannforsyningsnett*. Ås: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (Forelesning 03.09.2015).
- Engineers Australia. (2012). *Two dimensional modelling in urban and rural floodplains. Stage 1 & 2 Report, Australian Rainfall and Runoff Revision Projects*.
- Esri. (2004). *ArcGis 9 - What is ArcGis?* United States of America: Esri. Tilgjengelig fra: http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/698What_is_ArcGIS.pdf (lest 01.02.16).
- Esri. (2014). *ArcGis 2: Essential Workflows - Student Edition*. United States of America: Esri.
- Esri. (2015a). *ArcGis 1: Introduction to GIS - Student Edition*. United States of America: Esri.
- Esri. (2015b). *How Flow Accumulation works*. Tilgjengelig fra: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm> (lest 04.02.16).
- Esri. (2016a). *Basin*: Esri (lest 31.03.2016).
- Esri. (2016b). *Enabling extensions for ArcGIS for Desktop*. Tilgjengelig fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/map/working-with-arcmap/using-arcgis-extension-products.htm> (lest 17.02.2016).

- Esri. (2016c). *How Fill works*. Tilgjengelig fra: http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp_toolref/spatial_analyst_tools/how_fill_works.htm (lest 17.02.2016).
- Esri. (2016d). *How Flow Direction works*. Tilgjengelig fra: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm> (lest 04.02.2016).
- Esri. (2016e). *A quick tour of ArcMap*. Tilgjengelig fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/map/a-quick-tour-of-arcmap.htm> (lest 17.02.2016).
- Filipova, V. (2012). Urban flooding in Gothenburg-A MIKE 21 study.
- Forurensningsforskriften. (2004). *Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) av 01.juli 2004*.
- Fredrikstad kommune. (2007). *Overvannsrammeplan*. Fredrikstad.
- Førland, E. J., Alfnes, E., Amundsen, H., Asvall, R. P., Benestad, R., Debernard, J., Engen-Skaugen, T., Hanssen-Bauer, I., Harstveit, K. & Haugen, J. E. (2007). Climate Change and Natural Disasters in Norway: An Assessment of Possible Future Changes. *Oslo, Met. no. report*, 6: 2007.
- Geodata. (2016). *Koordinatsystemer og projeksjoner*: Geodata. Tilgjengelig fra: <http://geodata.no/supportsenter/forstehjelp/how-to-guider/arcgis-desktop/koordinatsystemer-og-projeksjoner/> (lest 01.02.16).
- Geospatial Modeling & Visualization. (2016). *Airborne Laser Scanning: Geospatial Modeling & Visualization*, (lest 28.01.16).
- Gol VGS. (2016). *Oppgave 5-8*. Gol: Gol VGS. Tilgjengelig fra: <https://golvgs-geo-c.wikispaces.com/Oppgave+5+-+8> (lest 01.02.16).
- Grinderud, K. & Forsvarsbygg. (2008). *GIS : geografiens språk i vår tidsalder*. Trondheim: Tapir akademisk forl.
- Gunnarsson, K. (2015). Two-dimensional hydrodynamic modeling of overland flow and infiltration in a sustainable drainage system.
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S. & Sorteberg, A. (2009). Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing.
- Hellesjø, J., Myrvold, H., Gryga, P. & Hystad, T. O. (2015). *Analyse av overvannsstrømmer og skadedata ved hjelp av ArcGis, case Drammen*. Analysis of surface water flows and water damage data using ArcGIS, case Drammen. Fredrikstad.

- Hendriks, M. (2010). *Introduction to physical hydrology*: Oxford University Press.
- Hernebring, C. & Mårtensson, E. (2013). Pluviala översvämningar–Konsekvenser vid skyfall över tätorter: En kunskapsöversikt. *MSB publ. nr MSB567-13*.
- IPCC. (2013). *IPCC Factsheet: What is the IPCC?* Tilgjengelig fra: http://www.climatechange2013.org/images/uploads/FS_what_ipcc.pdf (lest 07.01.16).
- Janson, A., Lier & Statens kartverk, G. (1999). *Lier-rapporten: Innføring av nytt geodetisk grunnlag i kommunene*. Innføring av nytt geodetisk grunnlag i Norge : status og informasjon gjennom Lier-rapporten. Hønefoss: Statens kartverk, Geodesidivisjonen.
- Johannessen, J. (2009). *Klimaendringer i fortiden*: Bjerknessenteret. Tilgjengelig fra: <http://www2.bjerknes.uib.no/filer/1372.pdf> (lest 08.01.16).
- Kell, G. S. (1975). Density, thermal expansivity, and compressibility of liquid water from 0. deg. to 150. deg.. Correlations and tables for atmospheric pressure and saturation reviewed and expressed on 1968 temperature scale. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 20 (1): 97-105.
- Kirby, A. (2009). Klimaet i fare - En innføring i de siste rapportene fra FN's klimapanel. 59 s.
- Kitterød, N. O. (2015). *Global hydrology*: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (forelesning 03.02.2015).
- Kjensli, P.-O., Kielland, G. & Langgård, N. O. (2009). Pluviometerdata fra norske kommuner. Oslo: Norwegian Meteorological Institute. 11 s.
- Kristiansand kommune. (2014). Dimensjonering av overvannsmengder. Kristiansand: Teknisk - ingeniørvesenet.
- Lindholm, O. G., Engan, J. A., Rapp, Ø., Petersen-Øverleir, A. & Markhus, E. (2003). Revurdering av beregningskriterier for avløpssystemer, flom i kommunale avløpssystem. *NIVA rapport*. Oslo: Norsk institutt for vannforskning. 106 s.
- Lindholm, O. G., Linmei, N. & Bjerkholt, J. (2007). Klimaeffektens betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer. *IMT-Rapport*, 1503-9196. Ås: Institutt for matematiske realfag og teknologi. 79 s.
- Lindholm, O. G., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. *Norsk vann rapport*. Hamar: Norsk Vann. 79 s.
- Lindholm, O. G. (2014a). *Oversvømmelse i byer og litt generelt om VA*: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (Forelesning 09.01.2014).

- Lindholm, O. G. (2014b). *Overvann*: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (Forelesning 10.09.2014).
- Lindholm, O. G. (2015). *Videregående emner om nedbør til bruk i urbanhydrologien*: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (Forelesning 02.09.2015).
- Mamen, J. (2008). Dypdykk i klimadatabasen. *Naturen*, 132 (6): 16.
- MapRef. (2011). *UTM - Projection System*. Tilgjengelig fra: <http://mapref.org/UTM-ProjectionSystem.html> (lest 02.02.16).
- Meiforth, J. J. (2013). *Modelling flood streams for urban planning in Trondheim, Norway*. 56 s.
- Meteorologisk institutt. (2010). *IVF-kurve fra Asker*. Tilgjengelig fra: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL (lest 01.04.2016).
- Meteorologisk institutt. (2014). *Været i Norge - Klimatologisk oversikt året 2013*: Meteorologisk institutt (lest 08.01.16).
- Murtnes, D. (2015). *Urbane flomveier. Generering av drenslinjer for området Solumstrand i Drammen ved bruk av ArcGis*. Urban flooding. Generation of drainage lines for the area Solumstrand in Drammen by using ArcGis. Ås.
- Myrvoll, A. N. (2015). *Utprøving av metodikk for produksjon av aktsomhetskart for flomfare i urbane områder ; Trial of methodology for production of floodcaution-maps in urban areas*: Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Mæhlum, L. (2011). *FKB*. I: Leksikon, S. N. (red.): Store Norske Leksikon (lest 28.01.16).
- Mæhlum, L. (2015). *EUREF89*. I: Leksikon, S. N. (red.) (lest 02.02.16).
- Møller, C. F. (2013). *Blågrønn struktur uterom*. 41 s.
- Mårtensson, E. & Gustafsson, L. (2014). Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet-Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå (MSB694). *Myndigheten för samhällsskydd och beredskap*.
- Nakicenovic, N. & Swart, R. (2000). Special report on emissions scenarios. *Special Report on Emissions Scenarios, Edited by Nebojsa Nakicenovic and Robert Swart, pp. 612. ISBN 0521804930. Cambridge, UK: Cambridge University Press, July 2000*.
- NOU 2015:16. (2015). *Overvann i byer og tettsteder*. Oslo: Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon, Informasjonsforvaltning. 276 s.

- NVE. (2015). *Urbanhydrologi*: NVE. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/vannstand-og-vannfoering/urbanhydrologi/> (lest 08.01.16).
- O'Sullivan, D. & Unwin, D. (2014). *Geographic information analysis*: John Wiley & Sons.
- Oslo kommune. (2014). *Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030*. Vann- og avløpsetaten. Oslo: Oslo kommune. 32 s.
- Oslo kommune. (2015). *Overvannshåndtering - en veileder for utbygger*. Oslo: Oslo kommune. 26 s.
- Paule, T. (2012). Geovekst - et vellykket samarbeid om digital kartlegging. I: Geovekst (red.): Geovekst.
- Plan- og bygningsloven. (2008). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven) av 1.januar 2013*.
- RegClim. (2000). *Klima i Norge om 50 år*. Oslo: RegClim. Tilgjengelig fra: http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre.pdf (lest 13.01.16).
- RegClim. (2005). *Norges klima om 100 år. Usikkerheter og risiko*. Oslo: RegClim. Tilgjengelig fra: http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre2005.pdf (lest 11.01.16).
- RegClim. (2016). *RegClim Hjemmeside*. Tilgjengelig fra: <http://regclim.met.no/> (lest 27.04.2016).
- Regnbygge 3M. (2015). *Om regnbygge 3M*. Tilgjengelig fra: <http://web.rosim.no/regnbygge3m/index.php/om-regnbygge-3m/> (lest 12.01.16).
- Riise, G. (2015). *Vannforvaltning*: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (Forelesning 07.02.2015).
- Rolstad, C., Lysaker, D. I., Breili, K., Solem, T., Johansen, I. M., Tveite, H., Gjevestad, J. G. O., Sørli, K. R. & Chapuis, A. (2007). *Geofaglig verktøykasse*. Ås: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.
- SINTEF Byggeforsk. (2012). *Vann i by - håndtering av overvann i bebygde områder*.
- Statens Kartverk. (2002). *Referansesystemer*. Tilgjengelig fra: <http://geomatikk.ntnu.no/kurs/geodesi/geodesi2/lysark/oh-11-19-ref-p.pdf> (lest 02.02.16).
- Statens Kartverk. (2009). *Koordinatbaserte referansesystemer*. Hønefoss: Statens Kartverk. 48 s.

- Statens Kartverk. (2011a). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB-Bane. I: Kartverk, S. (red.). *Produktspesifikasjoner*: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2011b). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Vann. *Produktspesifikasjoner*. Hønefoss: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2013a). *FKB - Felles kartdatabase*: Statens Kartverk. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/Kart/Kartdata/Vektorkart/FKB/> (lest 28.01.16).
- Statens Kartverk. (2013b). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB-Bygning. *Produktspesifikasjoner*: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2014a). Samletabell over objekttyper og egenskaper i fotogrammetrisk FKB. *Produktspesifikasjoner*: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2014b). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon Felles Kartdatabase. *Produktspesifikasjoner*. Hønefoss: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2014c). SOSI Del 3 Produktspesifikasjoner for FKB - Veg. Hønefoss: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2015a). *Laserskanning*: Statens Kartverk. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/Kart/Laserskanning/> (lest 28.01.16).
- Statens Kartverk. (2015b). *Nytt høydesystem NN2000*: Statens Kartverk. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/nn2000> (lest 02.02.16).
- Statens Kartverk. (2015c). *Referanserammer for Norge*: Statens Kartverk. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/Kunnskap/Kart-og-kartlegging/Referanseramme/Referanserammer-for-Norge/> (lest 02.02).
- Statens Kartverk. (2016a). *EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator) sone 5 - 30*: Statens Kartverk. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/globalassets/posisjonstjenester/euref89ntmbeskrivelse.pdf> (lest 02.02.16).
- Statens Kartverk. (2016b). *Nytt høydesystem i Norge*: Statens Kartverk. Tilgjengelig fra: http://kartverket.no/globalassets/kart/faktaark_nn2000.pdf (lest 02.02.16).
- Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (2014). *Climate change 2013: The physical science basis*: Cambridge University Press Cambridge, UK, and New York.
- Strande, K. (1981). *Kart og kartbruk*. Oslo: Universitetsforlaget.

- Strøm, K. (2013). *Den blågrønne byen*: COWI. Tilgjengelig fra: <http://blogg.cowi.no/2013/06/10/den-blagrønne-byen/> (lest 13.01.16).
- Strømsholm, B. (2016a). *Ellipsoide og geoide*: Nasjonal digital læringsarena. Tilgjengelig fra: <http://ndla.no/nb/node/55934> (lest 01.02.16).
- Strømsholm, B. (2016b). *Hva er ArcGis Desktop?*: Nasjonal digital læringsarena. Tilgjengelig fra: <http://ndla.no/nb/node/61867> (lest 01.02.16).
- Syme, W. (2008). *Flooding in urban areas-2D modelling approaches for buildings and fences*. 9th National Conference on Hydraulics in Water Engineering: Hydraulics 2008: Engineers Australia. 25 s.
- TEK 10. (2013). *Veiledning om tekniske krav til byggverk av 7.september 2013*.
- Tenge, G. (2005). *Hva er GIS?* Tilgjengelig fra: http://www.tenge.no/bilder_filer/Hva%20er%20GIS.pdf (lest 01.02.16).
- Terratec. (2010). Rapport for Laserskanning - 10074 Drammen. Lysaker.
- Tveite, H. (2014). *Geografiske Informasjons Systemer (GIS) - Geografiske data, produkter, programvare og tjenester*: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (Forelesning 4.11.2014).
- United States Environmental Protection Agency. (2016). *Storm Water Management Model: EPA*. Tilgjengelig fra: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> (lest 20.04.2016).
- Urset, A., Mardal, L. & Dåsnes, H. (2013). Produktspesifikasjon Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser). I: Kartverk, S. (red.). *Produktspesifikasjoner*. Hønefoss: Statens Kartverk.
- USGS. (2015). *The water cycle*: U.S Geological Survey. Tilgjengelig fra: <http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html> (lest 08.01.16).
- Vannforskriften. (2007). Forskrift om rammer for vannforvaltningen av 1.januar 2007.
- Vannressursloven. (2000). *Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven) av 1.januar 2001*.
- Wallinder, S. (2015). Skyfall över Västerås: en konsekvensstudie.
- Wehr, A. & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (2–3): 68-82.

Ødegaard, H., Heistad, A., Mosevoll, G., Lindholm, O. G., Østerhus, S. W., Thorolfsson, S. T. & Sægrov, S. (2012). *Vann-og avløpsteknikk*: Norsk Vann.

Øvstedal, O. (2014). *Geomatikk for bygg*: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (16.09.2014).

Åstebøl, S. O., Robba, S., Stenvik, G., Kristoffersen, H. V. & Olsen, S. B. (2013). *På lag med regnet - Veileder for lokal overvannshåndtering*. 48 s.

Vedlegg A

I det følgende skal det beskrives detaljert hvordan en digital terreng modell kan bygges, og hvordan drenslinjer og forsenkninger skal fremskaffes.

A-1 Grunnleggende forutsetninger

Det er svært viktig å huke av for 3D Analyst og Spatial Analyst under «Extensions» på nedtrekksmenyen til «Customize» på hovedmenyen. Denne oppskriften er i grove trekk hentet fra David Murtne sin masteroppgave som det er referert til i masteroppgaven vår. Men det var et behov for å gjøre oppskriften mer detaljert og oversiktlig. Det vil nå være mulig med svært lite ArcGis kunnskaper og generere et eget drenslinjekart, ved å følge denne oppskriften.

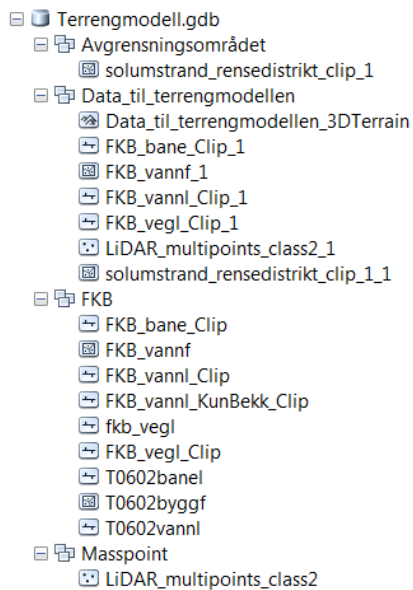
A-2 Forberedelse av grunnlagsdata

A-2.1 LiDAR data

A-2.1.1 Oppretting av geodatabase og feature class

Steg:

1. Opprett en **Geodatabase** for alt arbeidet som skal gjøres. Gjør denne geodatabasen default ved å høyreklikke på geodatabasen, og klikk på **Make Default Geodatabase**.
2. I geodatabasen kan det opprettes et nytt feature datasett som kalles **Masspoint**.
3. Lager også et nytt feature datasett som kalles **FKB, Avgrensningssomrodet og Data_til_terrengmodellen**.
4. Feature datasettene er for å organisere mappen for å ha en best mulig oversikt. Organiseringen kan ordnes slik det er ønskelig.
5. Tast inn koordinatsystem ved å søke på «**25832**». Videre blir **ETRS 1989 UTM Zone 32N** valgt.
6. Resten blir tastet inn som default → **Finish**
7. I Figur A- 1 vises en mulig organisering av datafilene.



Figur A- 1: En mulig organisering av dataene (skjermdump)

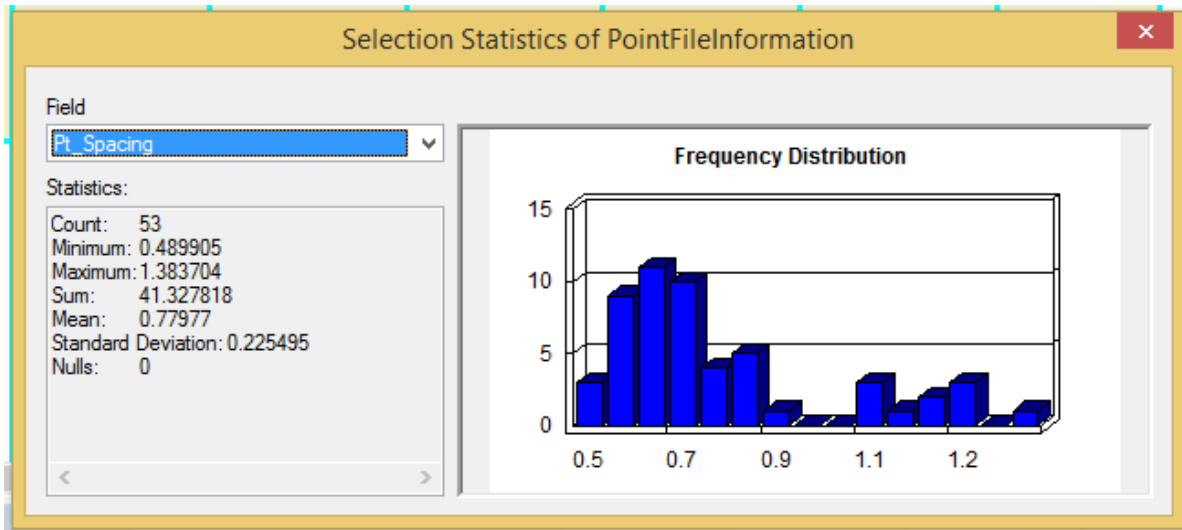
A-2.1.2 Konvertere LiDAR-data til multipointformat

Det er ønskelig at terrengpunktene skal integreres i en terrengfil, derfor må LiDAR dataene konverteres til multipoints når filene hentes inn. Verktøyet «**LAS to Multipoint (3D Analyst)**» er et verktøy som kan brukes til dette.

Steg:

1. Søk opp programmet «**LAS to Multipoint (3D Analyst)**»
2. Åpne verktøyet
3. Browse for files
4. Finn frem til de aktuelle las-filene med filendelsen «**las**». Dette var 53 filer for oss.
5. Output feature class – lagrer det på den tidligere opprettede feature classen kalt Masspoint.
6. Average Point spacing
 - a. Søk opp verktøyet «**Point File Information (3D Analyst)**»
 - b. Point data: de aktuelle las-dataene
 - c. Kryss av for **Summarize by Class Code** og trykk OK.
 - d. Når filen er tilgjengelig, gå inn på den tilhørende attributt Tabellen, velg **select by attributes**, tast inn koden «class» = 2. Så apply. Høyreklikk på «**Pt_Spacing**»-fanen → Klikk «**Statistics**». Her vises da den gjennomsnittlige punktavstanden, som er på 0.77977 punkt/m². Dette vises i Figur A- 2.

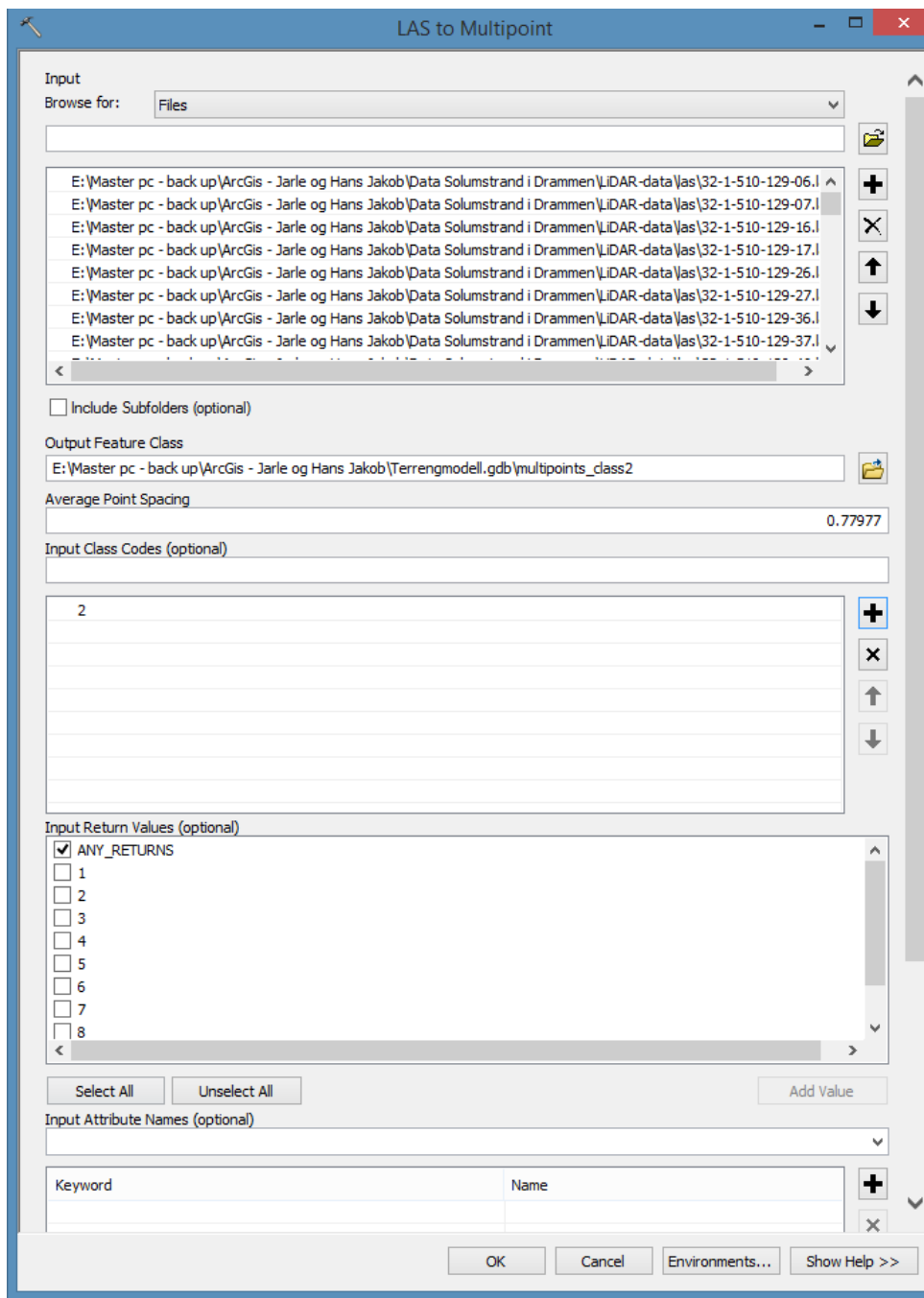
- e. Dette tastes inn som Average Point Spacing i «**Las to Multipoint (3D Analyst)**» verktøyet.



Figur A- 2: Statistikk fra punktinformasjonen (skjermdump)

7. Input class codes → tast inn 2 → tast på plusstegnet.
8. Huk av «**ANY_RETURNS**»
9. Alt annet settes default
10. Trykk Ok. Nå har det blitt laget et datasett med multipoints. Multipointsene er klasse 2, det vil si terrengpunkter.

11. Figur A- 3 viser hvordan verktøyet kan fylles ut.



Figur A- 3: LAS to multipoint verktøyet (skjermdump)

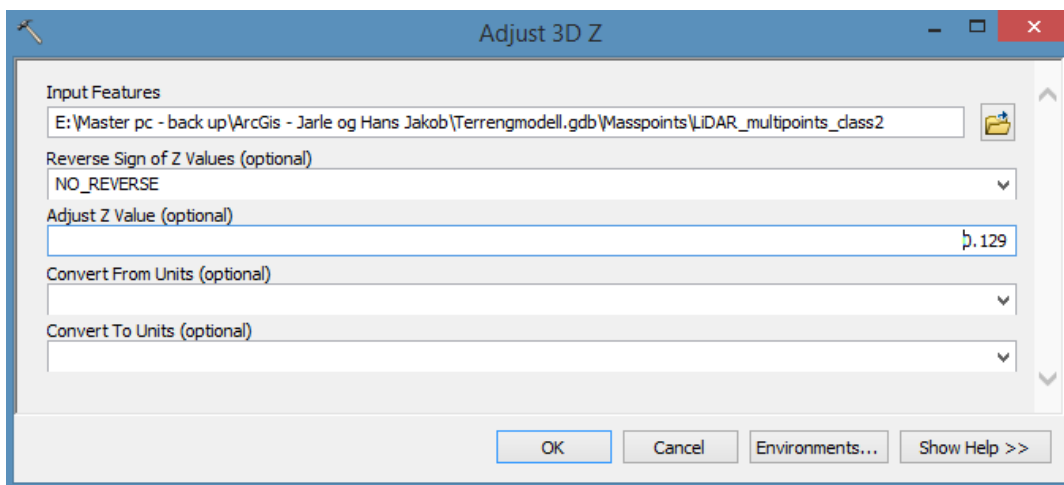
12. Kan gjøre dette også for multipoints, class 1, det vil si ikke-terrengpunkter. Men i denne oppgaven, skal ikke disse punktene brukes.

A-2.1.3 Justerer høyde til laserdata.

FKB bruker NN2000, mens LiDAR data bruker NN54 som høydereferanse. Det vil si at det er en høydedifferanse mellom de to systemene. Derfor blir laserdataene justert. Denne differansen ble funnet av David Murtnes ved hjelp av en lærer på NMBU.

Steg:

1. Søk opp verktøyet «**Adjust 3D Z (Data Management)**».
2. Åpne verktøyet.
3. Input: «Multipoints_class_2» (altså, multipoints som representerer terrengpunkter)
4. Adjust value = 0.129 (dette er justeringsverdien i meter)
5. Alt annet er default
6. Tast Ok.
7. Et eksempel på hvordan dette kan bli fylt ut er Figur A- 4.



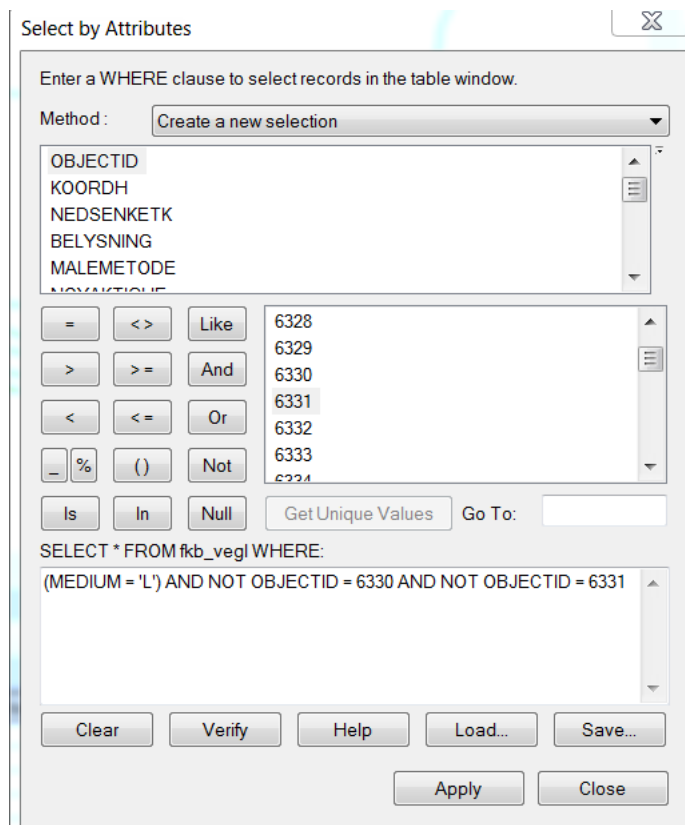
Figur A- 4: Verktøyet Adjust 3D Z (Data Management) (skjermdump)

A-2.1.4 Fjerne multipoints fra bruer

Terrengpunkter som er tatt fra bruene ønskes fjernet, slik at det ikke forstyrre vannstrømmen. For å finne ut hvor bruene er, må fkb_data tas inn for veglinjer.

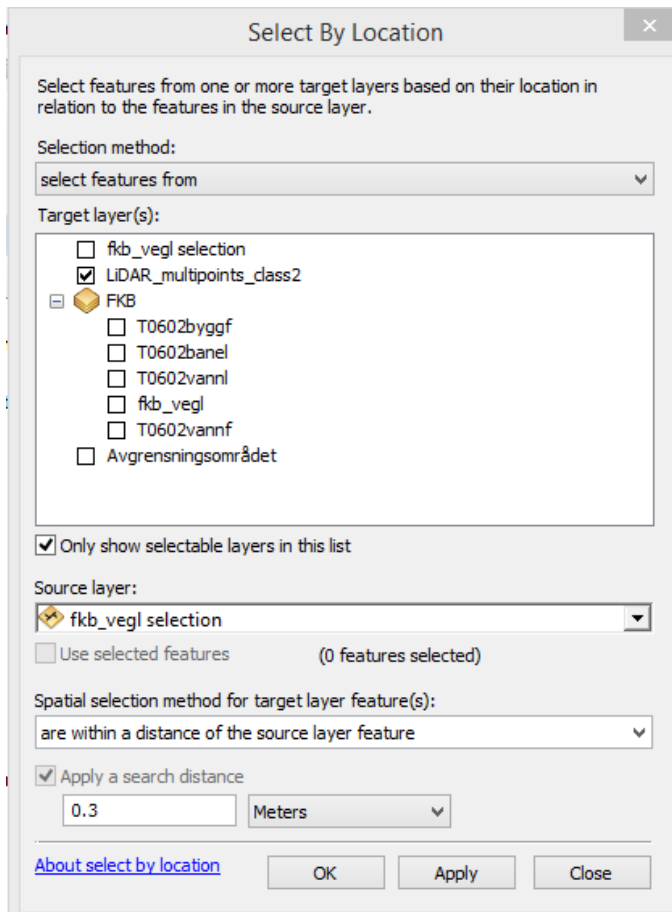
1. FKB for veglinjer legges i feature class kalt FKB.
2. Høyreklikk på feature class, import, feature class (single)
3. Ta inn FKB-datasettet med veglinjer.

- Deretter åpnes attributt Tabellen til veglinjer. **Select by attributes**. Koden «**(Medium = L) AND NOT OBJECTID = 6330 AND NOT OBJECTID = 6331**» tastes inn. Da vil alle bruer og overganger bli valgt. I tillegg ble objekt id = 6330 og 6331 ikke valgt. Dette ble gjort siden det var en feil i datasettet. Objekt ID = 6330 og 6331 er en undergang som ikke skulle vært klassifisert som bruer og overganger. Dette vises i Figur A- 5.



Figur A- 5: Valg av bruer og overganger (skjermdump)

- Høyreklikk på FKB_veglinjer i table of contents. **Selection → Create Layer from Selected Features**. Det har nå blitt laget et lag med kun bruer fra FKB-datasettet for veglinjer.
- Videre trykkes det på selection på hovedmenyen. Select by location velges.
- Target layer = Multipoints_class_2
- Source layer = FKB_veglinjer selection
- «Spatial selection method for target layer feature(s)» settes til «**are within a distance of the source layer feature**».
- Setter 0.3 meter som en avstand fra bruene til punkter som ønskes fjernet.
- Figur A- 6 viser hvordan «**select by location**» skal fylles ut.



Figur A- 6: Select by location (skjermdump)

12. Åpner attributtabelen til multipoints
13. Viser de som er utvalgt
14. Benytter verktøyet delete feasture til å slette de valgte multipointsene
15. Nå er multipoints som var i umiddelbar nærhet av bruer fjernet.
16. Nå kan veg_selection fjernes.

A-2.2 FKB-data

A-2.2.1 Konvertering fra SOSI til shape

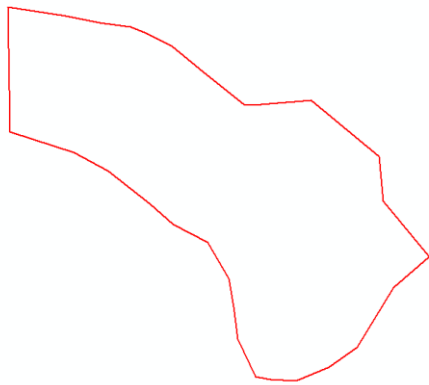
Det finnes et program som heter «Sosi <-> Shape» som kan konvertere SOSI filer til shape. I vårt tilfelle var dette allerede gjort ved en tidligere masteroppgave. Men hvis dette skulle bli gjort, så kunne man kontakte Geodata for å få hjelp til bruk av programmet.

A-2.2.2 «Clip polygon feature»

Analyseområdet måtte bli definert. For å få dette til ble en «clip polygon feature» opprettet.

Dette ble gjort på følgende måte:

1. Høyreklikk på feature datasettet kalt «**Avgrensningsområdet**» → **New** → «**Feature Class**».
2. Start Editor og velg å tegne den nyopprettede polygonfeature datafilen.
3. Tegn inn avgrensningsområdet (vårt avgrensningsområdet ble tegnet etter tidligere lagede drenslinjer slik at vi fikk med hele nedbørsfeltet). Området er vist i Figur A- 7.
4. Stopp og save editor.



Figur A- 7: Vårt forsøks avgrensningsområde, omtrent 27 kvadratkilometer (skjermdump)

A-2.2.3 Breaklines

LiDAR-data vil ikke representere egenskapene til terrenget på en god nok måte. Det er derfor behov for Felleskartdatabase-data (FKB-data), som definerer objekter i terrenget ved polylinjer og polygoner. Ved å innføre disse vektorlinjene og vektorflatene blir representasjonen av overflatene forbedret. Dette er svært viktig for overvannsstrømningen. I tillegg ble prøve og feile metoden til Meiforth (som det er referert til i vår masteroppgave) benyttet til å finne ut av hvilke objekttyper som skulle benyttes som breaklines i de forskjellige FKB dataene. Prøve og feilemetoden gikk ut på å gjøre et utvalg av hva som syntes å påvirke vannstrømmen og dermed slette de andre objekttypene.

A-2.2.4 FKB-veg

Importerte FKB-veg til feature datasettet FKB. Dette ble gjort tidligere i dette vedlegget. Hvis ikke kan steget under benyttes.

Steg.

1. Trykk på FKB-feature datasett
2. Import → feature class (single)
3. Importere veglinjer

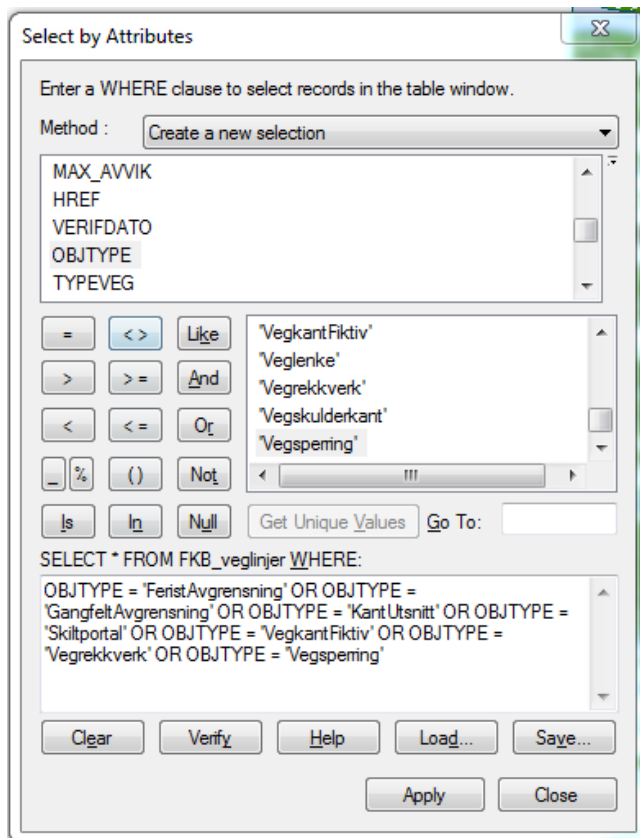
Gjennom prøve å feile-metoden, ble de ulike objekttypene sett på. Det ble diskutert om disse var relevant for drenslinjene, og om de kunne fjernes. Resultatet vises i Tabell A- 1

Tabell A- 1: Objekttyper som tas med og ikke tas med i FKB-veg (skjermdump)

Objekttyper som må være med	Objekttyper som ikke må være med
AnnetVegarealAvgrensning	Feristavgrensning
Fortauskant	Gangfeltavgrensning
FortauskantYtre	Kantutsnitt
Gangsykkelvegkant	Skiltportal
Gangvegkant	VegkantFiktiv
Kjørebane kant	Vegrekkverk
ParkeringsområdeAvgrensning	Vegsperring
Trafikkøykant	
Traktorvegkant	
Vegdekkekant	
VeggrøftÅpen	
VegkantVegareal	
VegkantAvkjørsel	
Veglenke	
Vegskulderkan	

For å slette disse elementene ble følgende gjort:

1. Åpnet attributt Tabellen for veg linjer
2. Skrev inn som vist i Figur A- 8.



Figur A- 8: Utvalg av objektyper som skulle fjernes (skjermdump)

3. Benyttet «Delete Feature» til å slette elementene. For vår del ble 4728 filer slettet.
 - Evt: Start editing → Slettet de utvalgte filene → Save edits → Stop editing.
 -

Etter dette ønsket vi å klippe vegdataene til analyseområdet, det ble gjort på følgende måte:

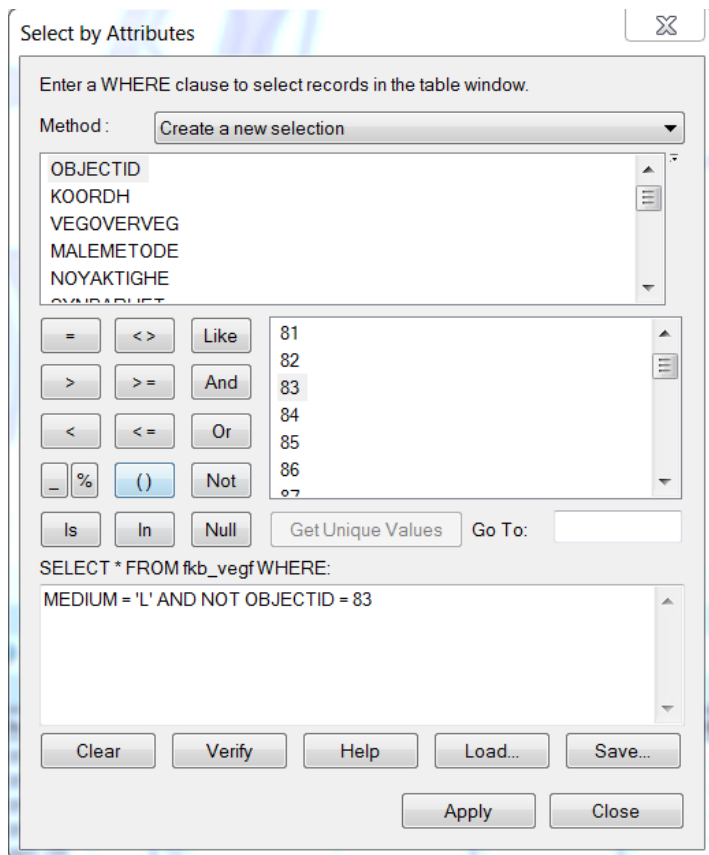
1. Søkte opp verktøyet «**Clip (Analysis)**»
2. Startet «**Clip (Analysis)**» verktøyet.
3. Input = FKB-dataene for veg
4. Clip feature = det man ønsker å klippe etter = analyseområdets avgrensning = clip polygon feature.
5. La filen et passende sted (Output Feature Class)
6. Ga utklippet et passende navn

I tillegg skulle alle bruer fjernes, slik at de ikke forstyrret vannstrømningen.

Steg:

1. Åpnet attributt Tabellen for den aktuelle filen

2. Søkete med koden «medium» = 'L', og fikk opp et utvalg av alle bruer og overganger. Utvalget er vist i Figur A- 9.
3. Vertøyet «Delete feature» ble benyttet til å slette de utvalgte objektene.



Figur A- 9: Utvalg av bruer og overganger (skjermdump)

Det var også ønskelig å fjerne en del av tunnelene. David Murtne valgte å fjerne de tre største tunnelene. Dette ble gjort ved å søke i attributt Tabellen til veglinjer_klippet, etter Medium = 'U'. Ut ifra de utvalgte objektene ble det utpekt tre større tunneler. Disse tunnelene var knyttet til Europaveg 134 og Europaveg 18. Ved å høyreklikke i «table og contents» → select → «create feature from selectet feature» er det enklere å holde oversikt ved sletting. Disse ble fjernet ved «select by line». For å slette de utvalgte tunnelene ble de slettet på følgende måte: Start editing → delete selected → save edits → stop editing.

Dermed var de tunnelene som var ønsket fjernet, borte. Og overgangene og bruene var borte.

A-2.2.5 FKB-vann

Det var også viktig å legge inn vannlinjer, og vannflater inn i terrenngmodellen.

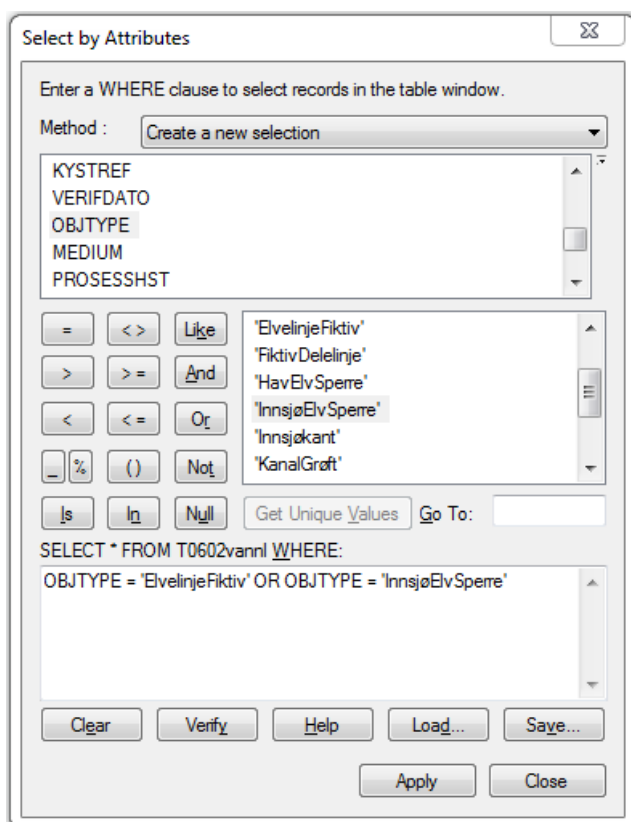
Objekttyper som ble slettet fra vannlinjer er vist i Tabell A- 2.

Tabell A- 2: Objekttyper som skulle med, og ikke med i FKB-vann (skjermdump)

Objekttyper som må med	Objekttyper som ikke skal med
ElvBekk	ElvelinjeFiktiv
ElvBekkKant	InnsjøElvSperre
Innsjøkant	FiktivDelelinje
KanalGrøft	HavElvSperre
KanalGrøftKant	
Kystkontur	
KystkonturTekniskeAnlegg	

Videre ble **Delete feature** benyttet for å slette objektene. Dette gjaldt 53 utvalgte objekter.

Objektene ble valgt som vist i Figur A- 10.



Figur A- 10: Utvalg av unødvendig FKB-data (skjermdump)

Vannlinjene ble også klippet til analyseområdet ved hjelp av «Clip (Analysis)».

Vannflatene som var ønsket var:

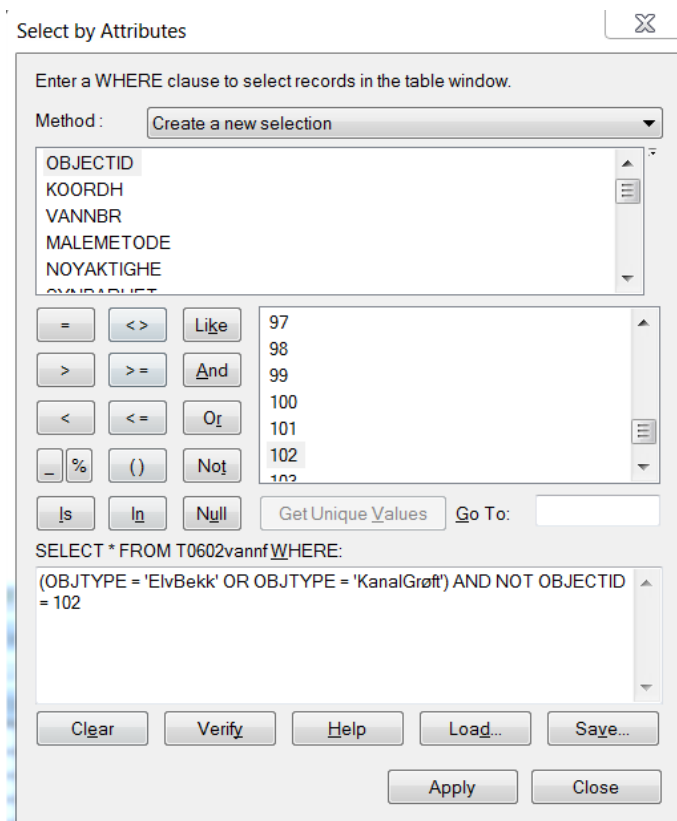
'Havflate' og 'Innsjø'

Vannflatene som var ønsket fjernet:

'ElvBekk', 'KanalGrøft'.

I tillegg ble enda en feil i FKB datasettet funnet slik at OBJECTID = 102 ikke skulle slettes siden dette var en havflate.

Utvalget vises i Figur A- 11.



Figur A- 11: Utvalg av unødvendig FKB data for FKB-vannflater (skjermdump)

Disse ble valgt ut og slettet fra datasettet. Det ble slettet 55 objekter. Grunnen til at disse ble fjernet var at FKB datasettet for vannlinjer ivaretok de vannflatene som ble fjernet.

A-2.2.6 FKB-bane

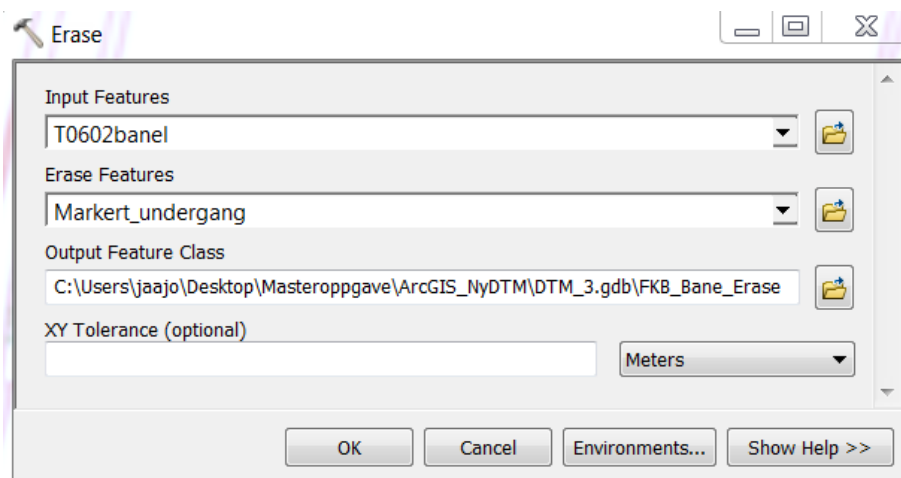
I dette datasettet ble alle objekttypene beholdt.

Det var også ønskelig for dette datasettet å fjerne multipoints i umiddelbar nærhet til bruer og overganger. Dette ble gjort som tidligere beskrevet for FKB-veg.

Bruer og overganger ble fjernet ved å bruke **Selection** → **Select by Attributes** → **Kode, Medium = 'L'** → Disse filene ble slettet med Editor.

Ved tidligere testing av oppretting av digital terreng modell ble det observert noen feil ved underganger og overganger. Dette førte til at vannstrømmen rant unaturlig. Får å løse problemet ble tre over- og underganger fjernet manuelt fra jernbanetraseen.

Dette ble gjort ved å tegne en egen «Clip polygon features» over de områdene langs jernbanetraseen som skulle slettes. Det ble da laget bokser over traseen som senere ble slettet ved bruk av verktøyet **Erase (Analysis)**. Dette gjør at i datasettet FKB banel før den digitale terrengmodellen bygges. Figur A- 12 viser hvordan Erase verktøyet kan benyttes.



Figur A- 12: Verktøyet Erase (skjermdump)

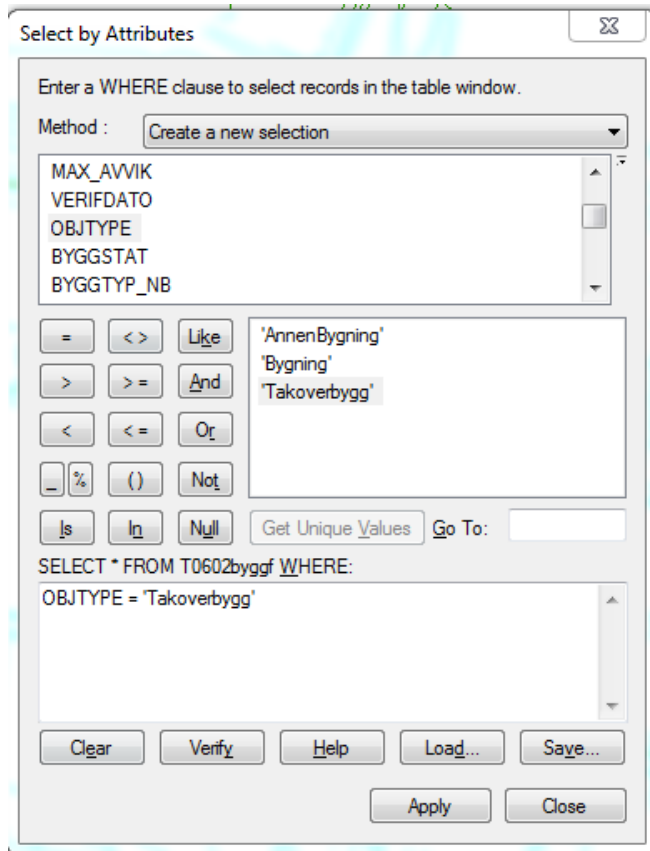
A-2.2.7 FKB-bygninger

Objektypene som var ønsket for bygg var:

'AnnenBygning', 'Bygning'.

Objekttypene: 'Takoverbygg' ble fjernet, siden det ble vurdert at disse objektene ikke ville påvirke vannstrømningen på bakken.

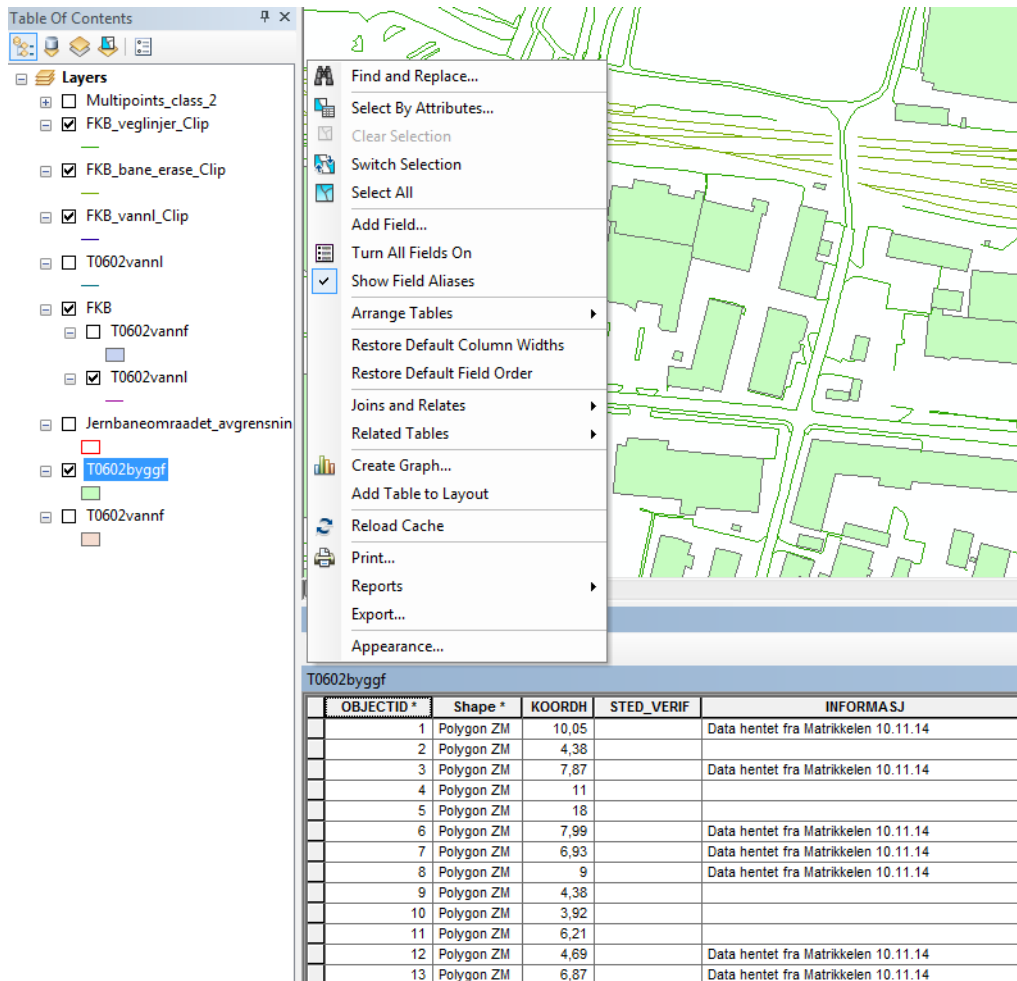
Utvalget av FKB-dataene som ble fjernet er vist i Figur A- 13.



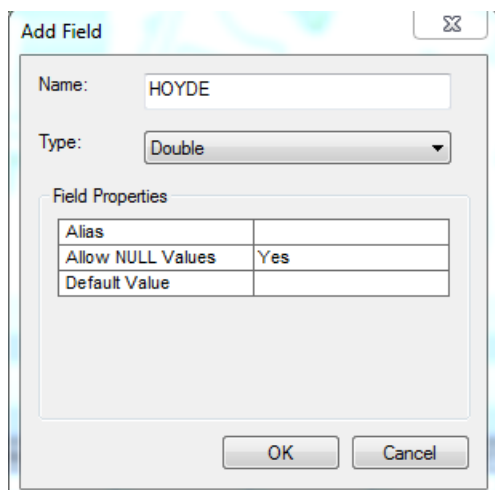
Figur A- 13: Utvalg av FKB data til bane (skjermdump)

For å tvinge vannstrømmene rundt bygningene ble bygningene hevet 25 meter over overflaten. Dette var nødvendig siden laserdatabene ikke klarte å skille mellom bygninger og andre objekter.

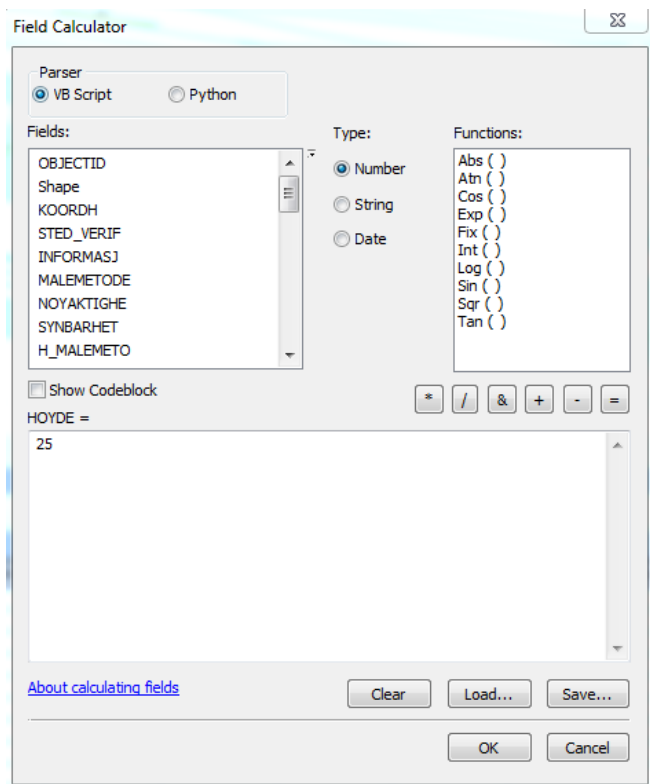
For å heve bygningene ble det laget en egen rasterfil for bygningene. Vi fikk ikke til å klippe dette til analyseområdet, men dette går fint likevel. I attributt Tabellen til det nye laget ble det opprettet en ny kolonne kalt «HOYDE» med type «Double». Dette er vist i Figur A- 14 og Figur A- 15. Verdien i denne kolonnen ble satt til 25 ved å benytte verktøyet «field calculator». Denne finner man ved å høyreklikke på øverste rad på kolonnen. Verdien ble satt til HOYDE = 25. Dette er vist i Figur A- 16.



Figur A- 14: Add field (skjermdump)

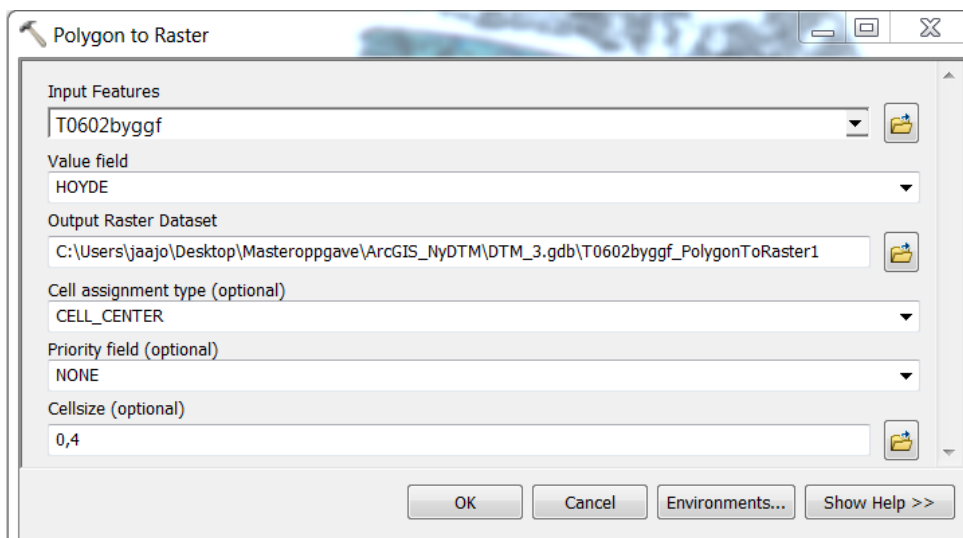


Figur A- 15: Add Field parametere (skjermdump)



Figur A- 16: Innsette 25 som verdi for tabellkolonnen «HOYDE» (skjermdump)

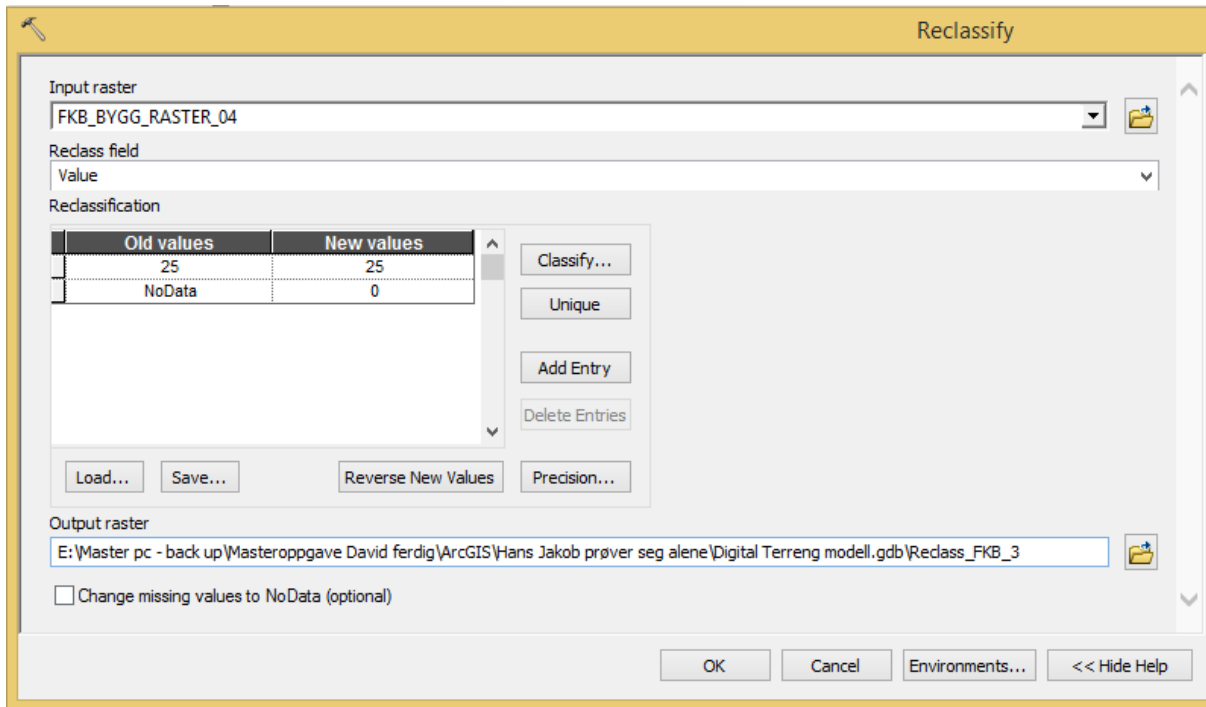
Videre ble verktøyet **Feature to raster** (eller Polygon to raster) benyttet. Dette er vist i Figur A- 17. I input features ble byggflatene valgt, og i field, ble HOYDE valgt. Output cell size ble valgt til 0.4 etter å ha sett litt på andre resultater.



Figur A- 17: Verktøyet «Polygon to raster» (skjermdump)

Denne rasterfilen skulle senere legges sammen med terrengrasteren. Derfor var det viktig at alle verdier som ikke var bygninger ble satt til 0. Slik at når det andre rasteret ble lagt til

bygningrasteret, så ville ikke NoValue ødelegge adderingen. Verktøyet «**Reclassify (3D Analyst)**» ble tatt i bruk. Dette er vist i Figur A- 18



Figur A- 18: Verktøyet «Reclassify» (skjermdump)

A-2.3 Oppretting av en digital terreng modell

A-2.3.1 Bygge terrain

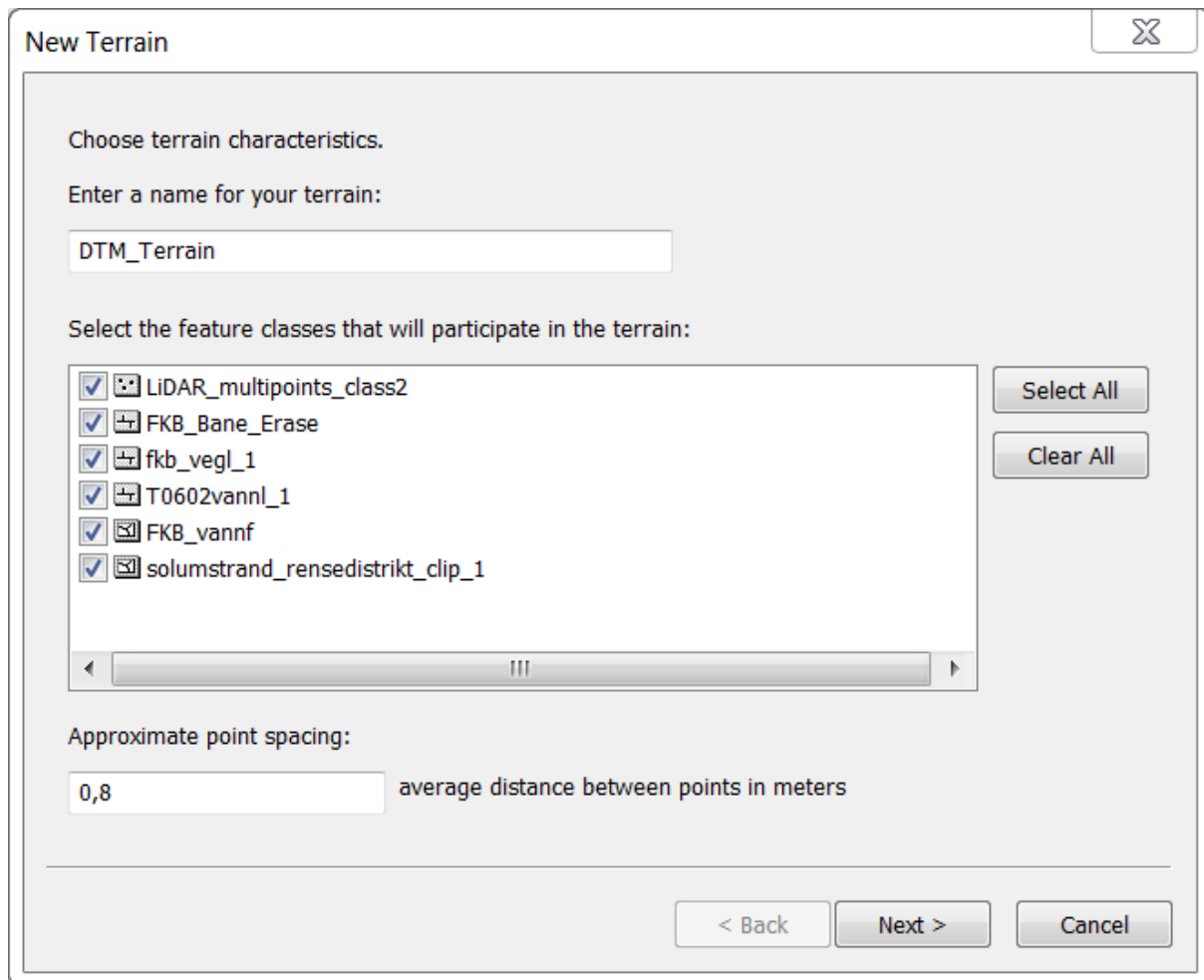
Først ble det opprettet en ny «feature dataset» i geodatabasen. Her ble følgende datasett med følgende karakteristikkk samlet:

- Multipoints (LiDAR-data) (terrengpunkter)
- Polygonlinjer av FKB-Vann for vannlinjer (hardline for vannlinjer)
- Polygonlinjer av FKB – Veg for veglinjer (hardline for veg)
- Polygon som avgrenser analyseområdet (soft clip for avgrensning)
- Polygone av FKB – Vann for vannflater (hard replace for vannflater)
- Polygonlinjer for FKB- Bane for jernbanelinjer (hardline for bane)

Terrain ble opprettet ved å høyreklikke på datasettet og navigere til New → Terrain-

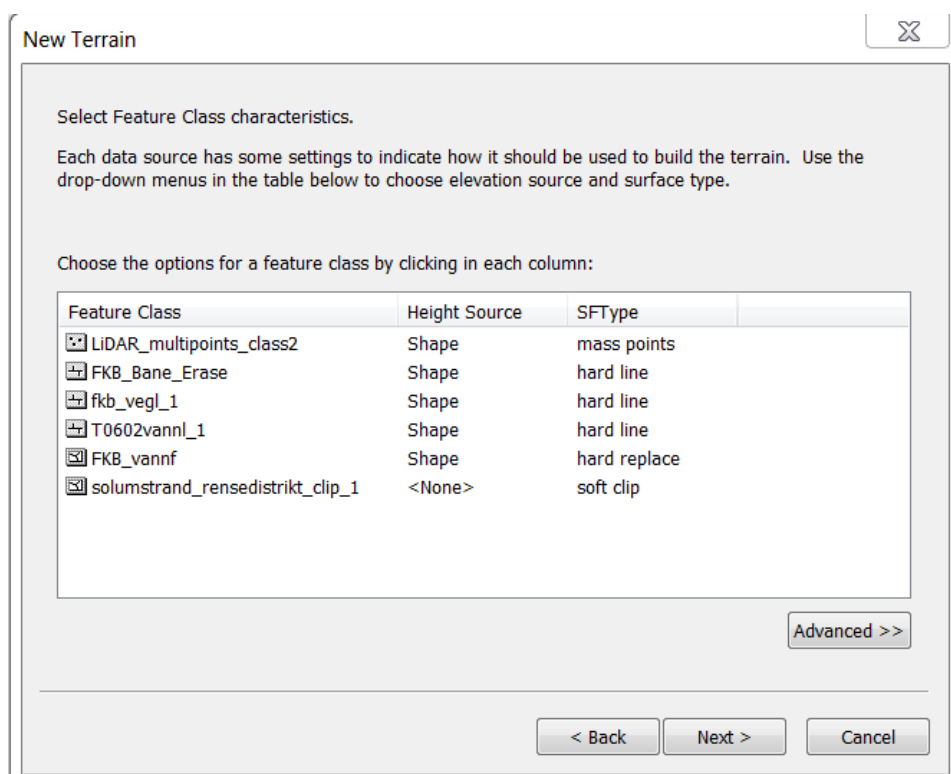
Følgende input ble valgt:

1. Select all feature classes. Dette er vist i Figur A- 19.



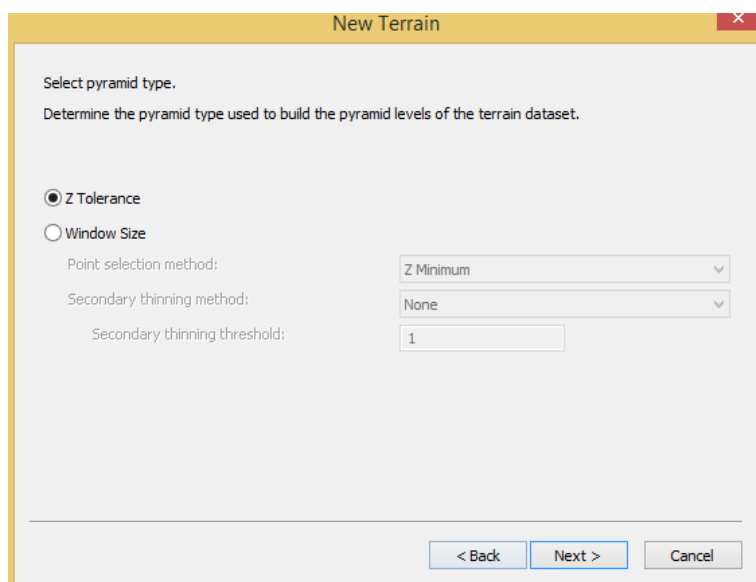
Figur A- 19: «New Terrain» (skjermdump)

2. Approximate point spacing ble satt til 0.8 m.
3. Endret vannflater til hard replace. Dette er vist i Figur A- 20



Figur A- 20: «Select Feature Class characteristics» (skjermdump)

4. Pyramide type ble satt til Z Tolerance (som er det beste alternativet når man kun bruker terrengpunkter fra LiDAR data). Dette er vist i Figur A- 21.



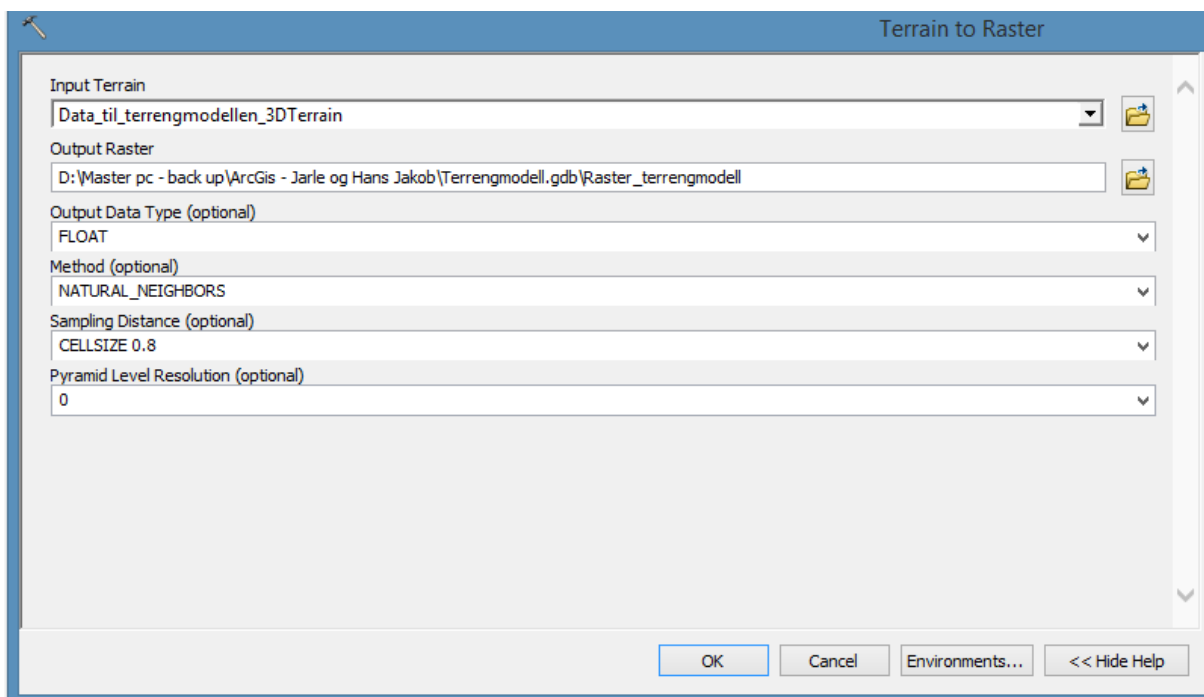
Figur A- 21: Select pyramid type (skjermdump)

5. Trykk på calculate pyramid properties
6. Og finish (NB: Denne prosessen vil kunne ta en god stund)

A-2.3.2 Konvertere terrain til raster

For å summere terrenget sammen med bygningsrasteret, så må terrenget gjøres om til et raster. Dette gjøres på denne måten:

1. Søk etter verktøyet «**Terrain to Raster (3D Analyst)**».
2. Åpne verktøyet. Verktøyet er vist i Figur A- 22.
3. Input terrain: Terrenget du nettopp har laget.
4. Output raster: Gi ønsket navn, og sett det til geodatabasen.
5. Output Data type: **Float** (dette brukes for å bevare små høydeforskjeller)
6. Method: **NATURAL_NEIGHBORS** (ble også brukt for å bevare små høydeforskjeller)
7. Cellsize: 0.8 m.
8. 0 ble valgt som **Pyramid Level Resolution** (0 vil si full oppløsning)



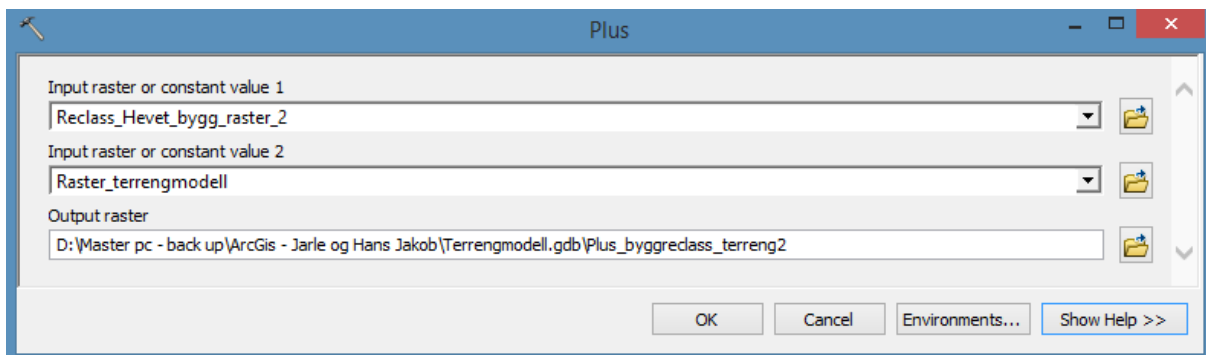
Figur A- 22: «Terrain to raster» (skjermdump)

9. Trykk OK når vinduet ditt ser ut som det ovenfor (denne prosessen tar litt tid).

A-2.3.3 Legge til bygningsraster

Nå skal bygningsrasteret legges til i terrengrasteret. Dette gjøres ved verktøyet «**Plus (Spatial Analyst)**».

1. Søk etter verktøyet «**Plus (Spatial Analyst)**».
2. Åpne verktøyet. Verktøyet er vist i Figur A- 23
3. Input raster 1: blir bygningsrasteret valgt (bygningsrasteret som har blitt reklassifisert)
4. Input raster 2: terrengraster
5. Output: Der du ønsker å plassere den summerte rasteret



Figur A- 23: Verktøyet «Plus» (skjermdump)

6. Trykk OK når ruten blir fylt ut på denne måten
7. Det har nå blitt laget en raster med både terreng og bygninger

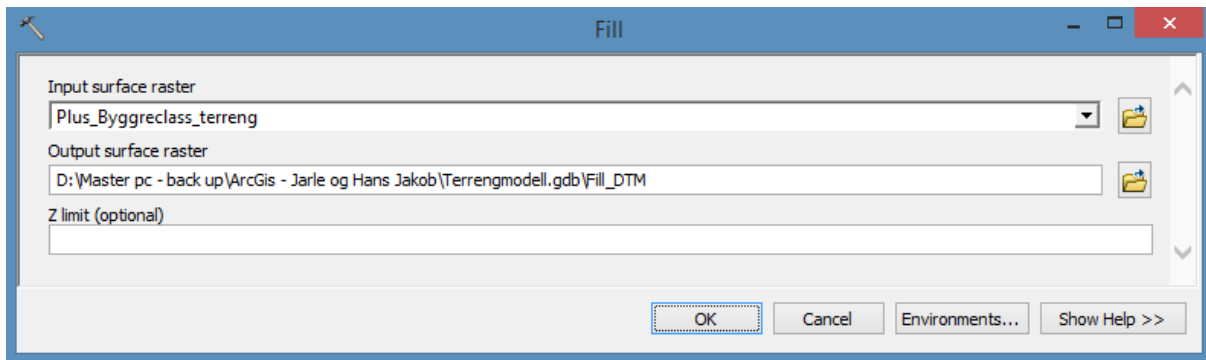
A-2.4 Definere flomstrømningslinjer

A-2.4.1 Fylle forsenkninger i DTM

Det er nå ønskelig å fylle igjen forsenkninger i den digitale terrenngmodellen. Dette gjøres slik at vannet alltid renner videre, og ikke akkumulerer.

Dette ble gjort på følgende måte:

1. Søk etter verktøyet «**Fill (Spatial Analyst)**».
2. Åpne verktøyet. Verktøyet er vist i Figur A- 24
3. Fyll inn rasteren som ønskes å fylles
4. Sett også hvor resultatet skal plasseres, og hva det skal hete



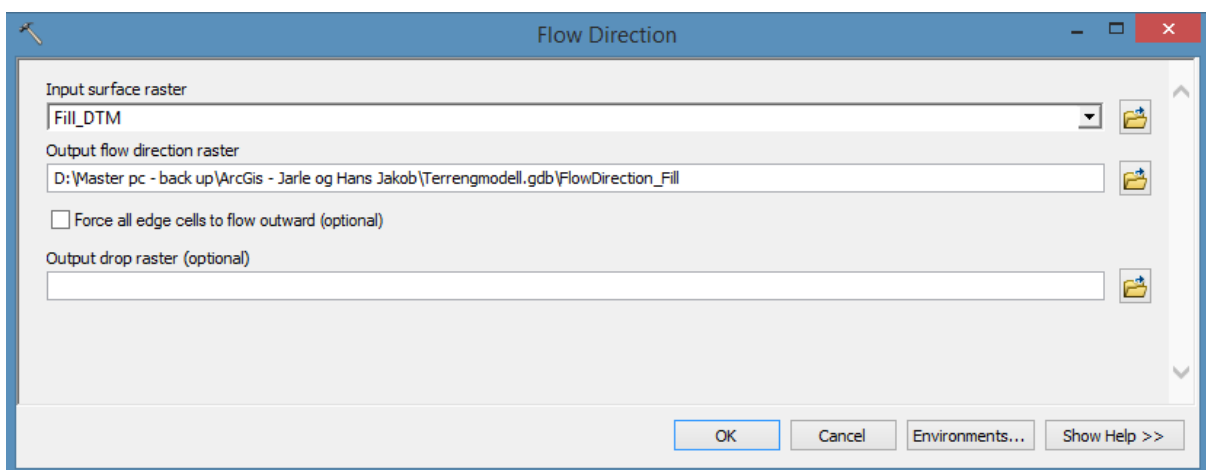
Figur A- 24: Verktøyet «Fill» (skjermdump)

5. Trykk OK, for å sette i gang verktøyet

A-2.4.2 Generere «flow direction» raster

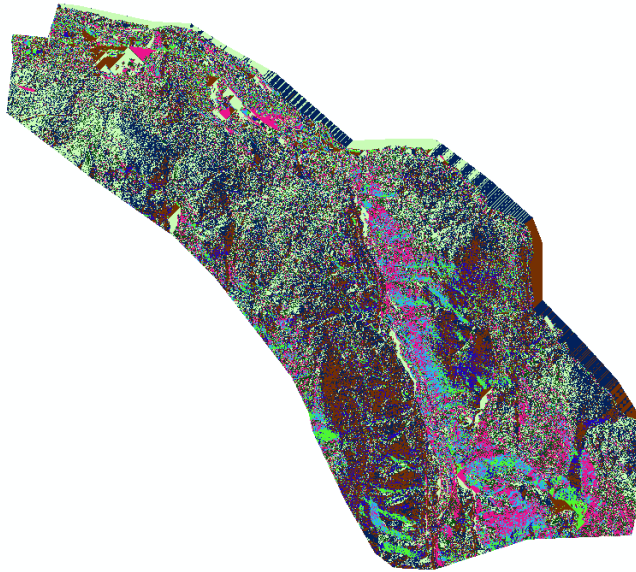
Det er nå ønskelig å finne ut hvilken retning som strømmingen i hver celle har. Dette bestemmes ut i fra høyddifferanser. Stegvis framgang:

1. Søk opp «**Flow Direction (Spatial Analyst)**». Verktøyet er vist i Figur A- 25.
2. Input: Bruk den fylte digitale terrengmodellen.
3. Output: Bestem sted og navn



Figur A- 25: Verktøyet «Flow Direction» (skjermdump)

4. Resultatet vises i Figur A- 26.

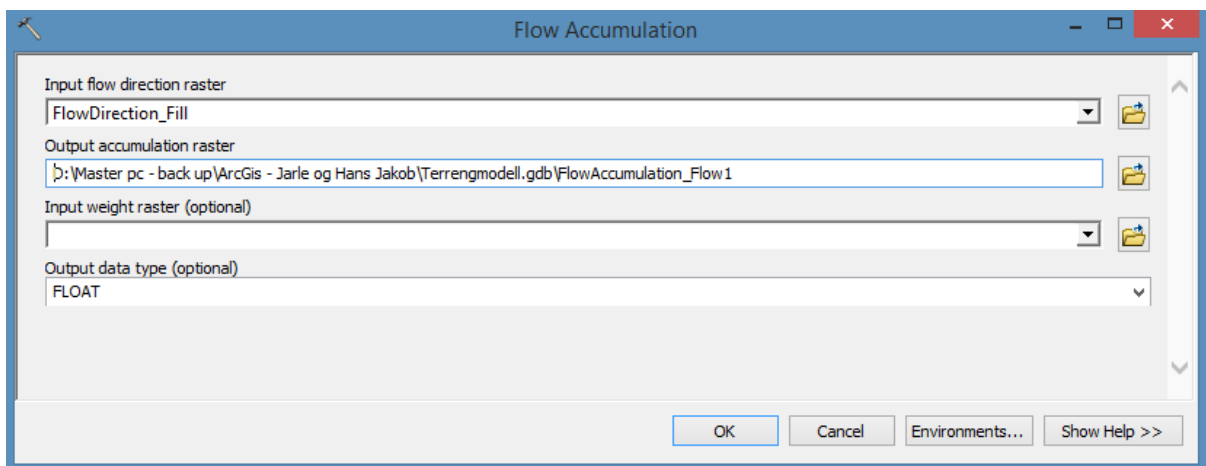


Figur A- 26: Rasteret etter at verktøyet «Flow Direction» ble brukt (skjermdump)

A-2.4.3 Generere «Flow accumulation raster»

Da er det ønskelig å finne ut hvor mange celler som strømmer til hver celle. Dette gjøres ved dette verktøyet.

1. Søk opp “**Flow accumulation (Spatial Analyst)**”
2. Åpne verktøyet. Verktøyet er vist i Figur A- 27.
3. Input: den fylte rasteret med FlowDirection.
4. Output data type: FLOAT.

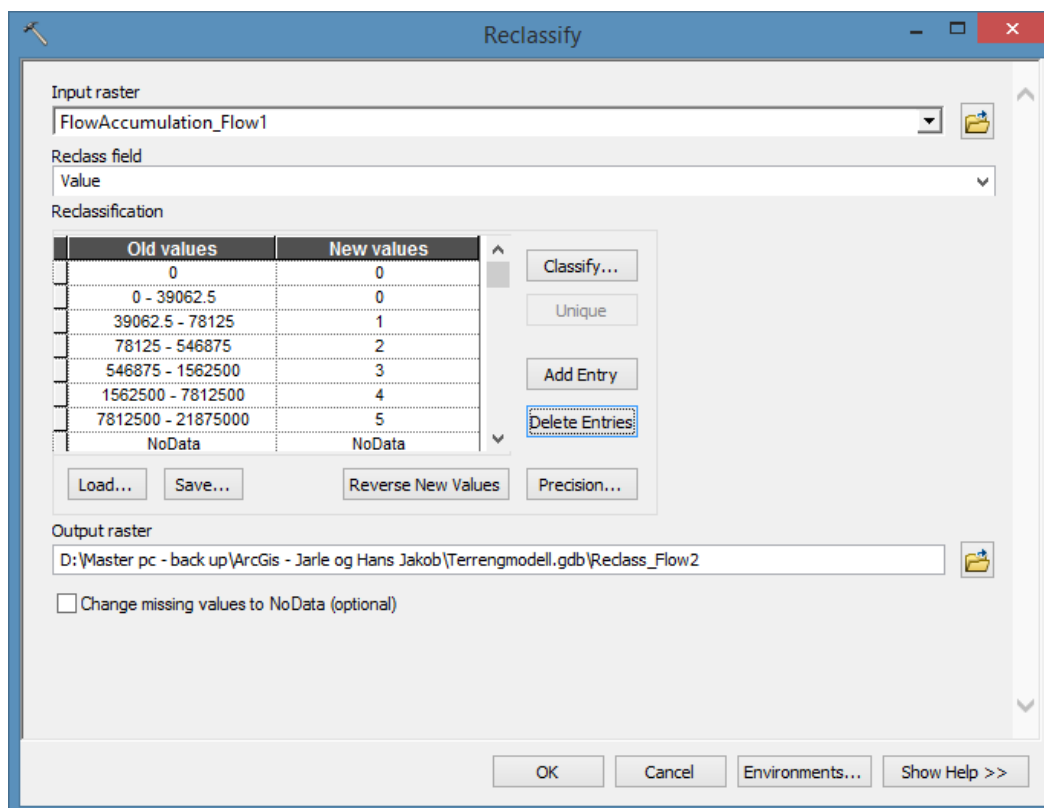


Figur A- 27: Verktøyet «Flow Accumulation» (skjermdump)

5. Dette verktøyet bruker litt tid

Rasteret som blir generert gir ikke i altfor mye mening. Derfor vil verktøyet «**Reclassify (3D Analyst)**» være det som er ønskelig å bruke.

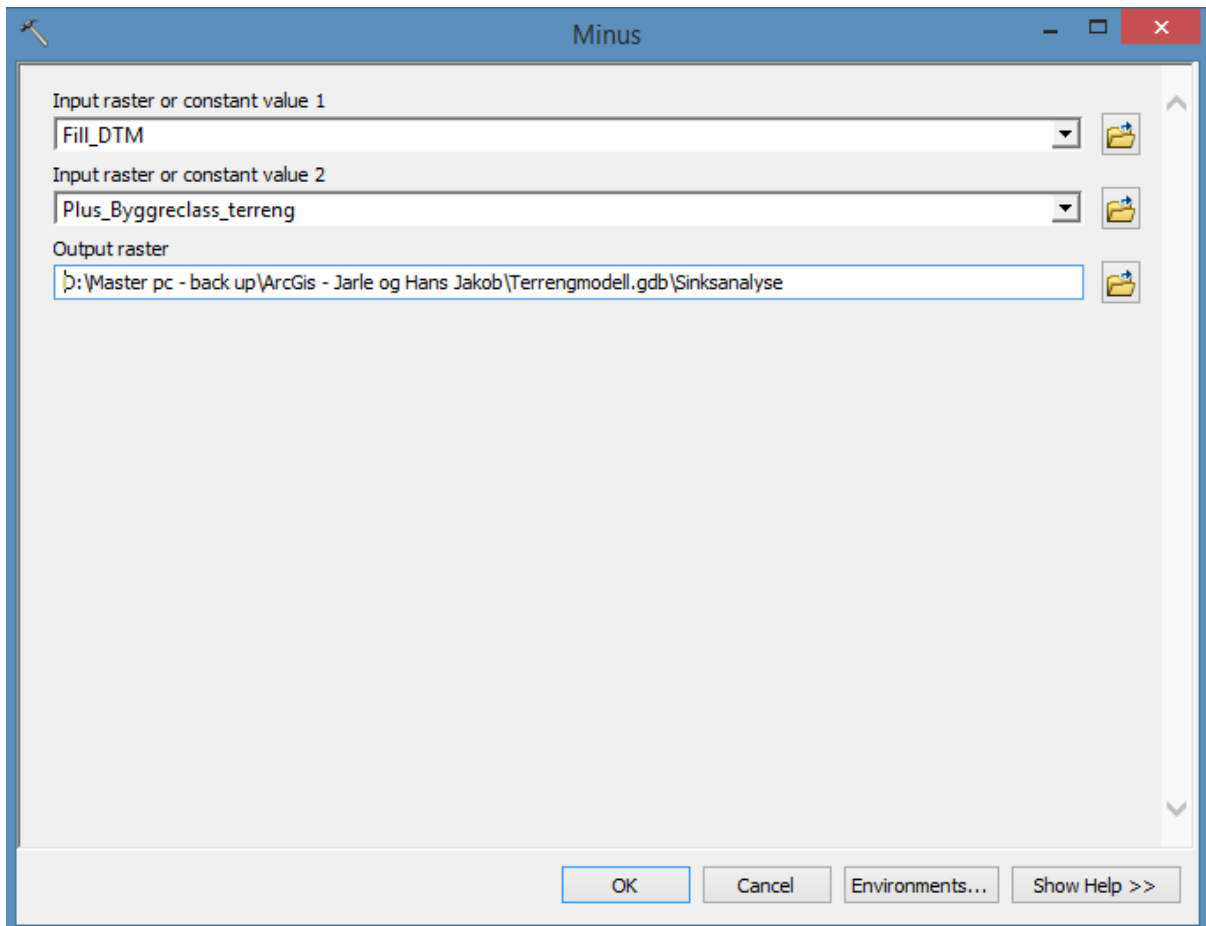
1. Søk opp «**Reclassify (3D Analyst)**».
2. Åpne verktøyet. Verktøyet er vist i Figur A- 28.
3. Input raster: Flow accumulation rasteret.
4. Reclass field: value
5. Disse tallene er annerledes i oppgaven til David Murtne. Men når cellestørrelsen er på 0.64 m². Så vil det si at 1m² = 1.5625 celle. I Figur A- 28 vises verdiene som ble omregnet.



Figur A- 28: Verktøyet «Reclassify» brukt på «Flow accumulation rasteret» (skjermdump)

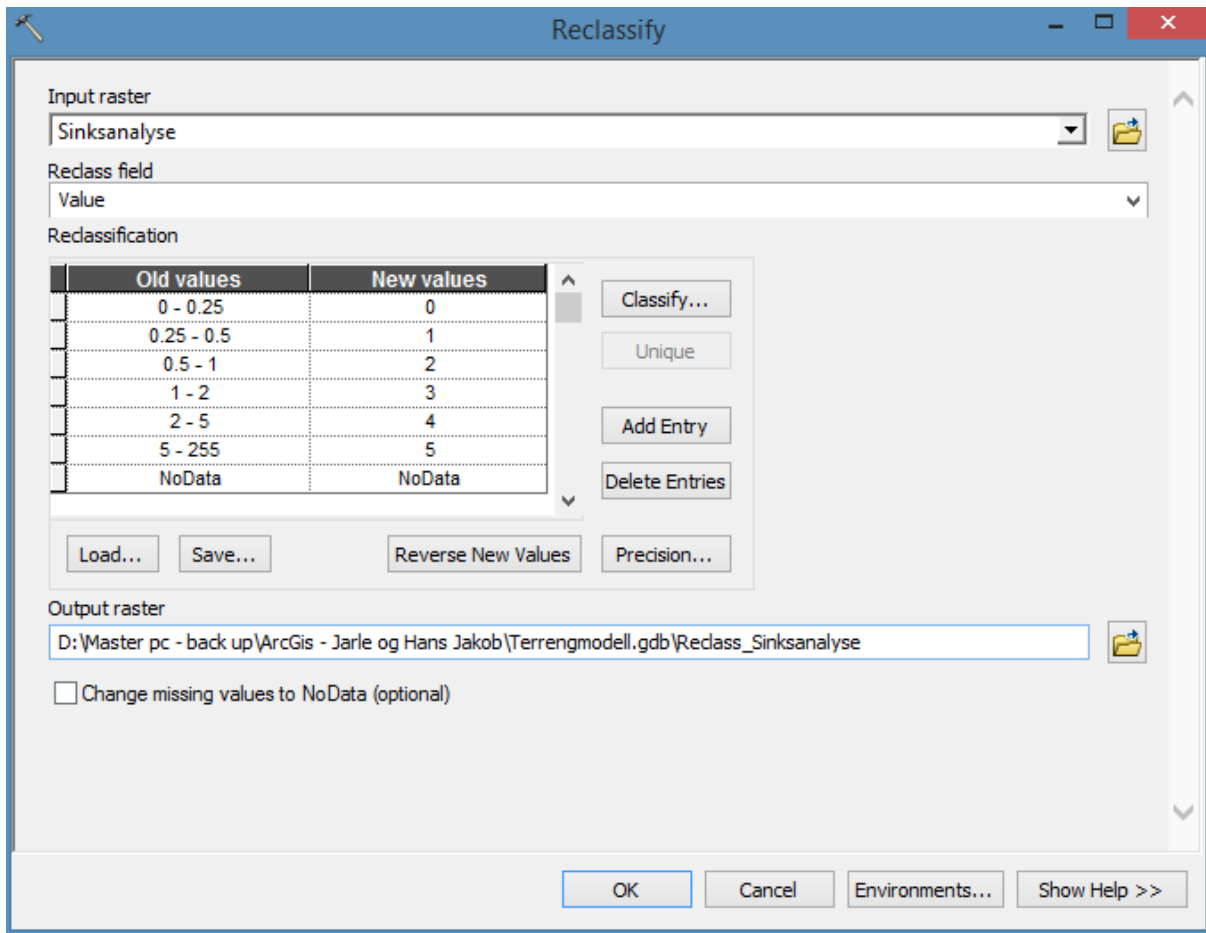
A-2.4.4 Sinksanalyse

1. Søk etter verktøyet «**Minus (Spatial Analyst)**»
2. Åpne verktøyet. Verktøyet er vist i Figur A- 29.
3. Input raster 1: Den fylte digitale terrengmodellen
4. Input raster 2: Den digitale terrengmodellen
5. Verktøyet beregner forskjellen mellom disse rasterfilene.



Figur A- 29: Verktøyet «Minus» benyttet på det fylte rasteret (skjermdump)

6. Etter at verktøyet «Minus» har blitt benyttet ble verktøyet «**Reclassify (3D Analyst)**» søkt etter.
7. Åpne verktøyet. Verktøyet er vist i Figur A- 30.
8. Her ble verdier fra David Murtnes sin oppgave brukt.
9. Disse verdiene vises i figuren som følger



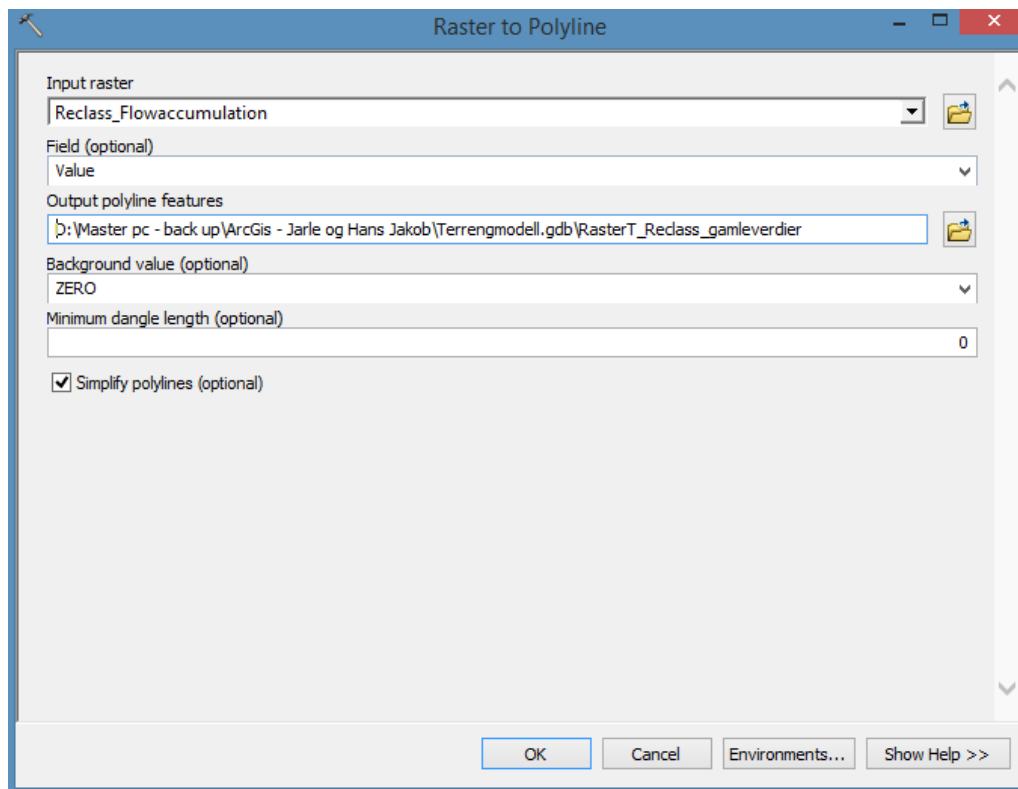
Figur A- 30: Verktøyet «Reclassify» brukt for Sinksanalysen (skjermdump)

A-2.5 Forberede presentasjon

A-2.5.1 Opprette vektor av drenslinjene

For å forbedre layouten, blir rasteret konvertt til polygonlinjer. Dette ble gjort ved å bruke verktøyet «**Raster to Polyline (Conversion)**». Verktøyet er vist i Figur A- 31.

1. Input: Flow accumulation raster som er reklassifisert
2. Field: Value
3. Resten er default
4. Huk av Simplify polylines



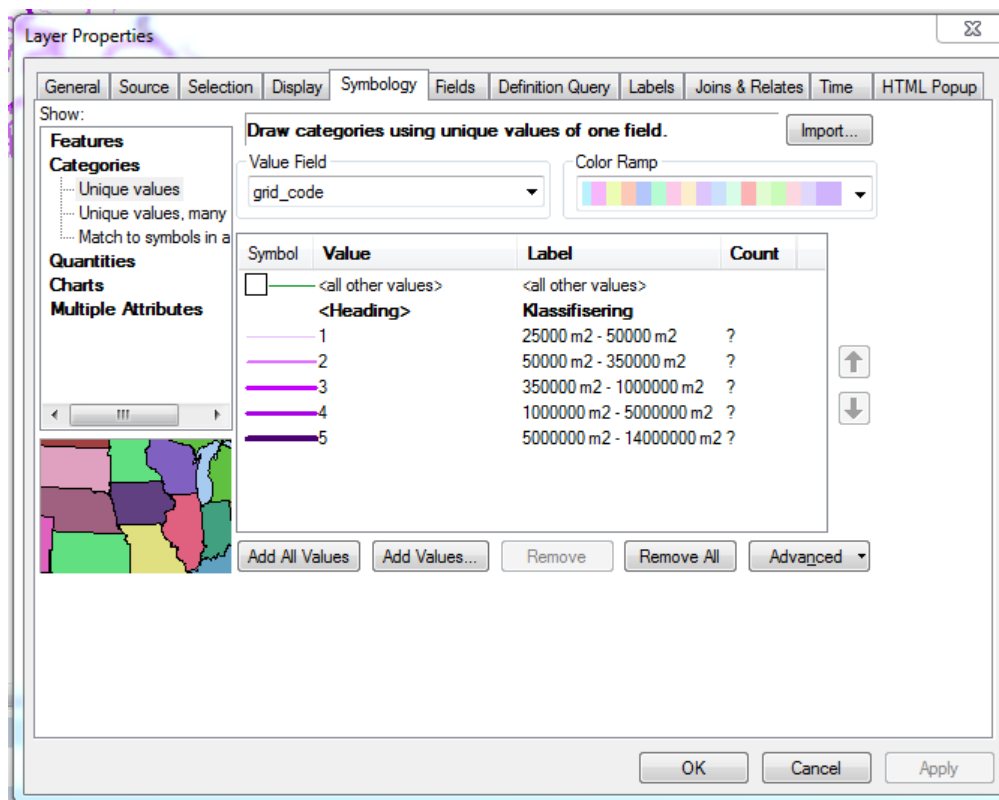
Figur A- 31: Verktøyet «Raster to Polyline» (skjermdump)

Nå er det ønskelig å endre utseendet på linjene.

Klikk på properties for de nylig dannede polylines. Høyreklikk i table of contents, på polylines. Properties → Symbology → Categories → Value field = grid_code → Add all values. Dette er vist i Figur A- 32

Fjern avhukning på <all other values>.

Dobbelklikk på hver kategori, for å endre farge eller linjetykkelse. I denne oppgaven har ulike varianter av lilla blitt brukt, jo mørkere og tykkere linjen er, jo større areal drenerer til akkurat denne drenslinjen.

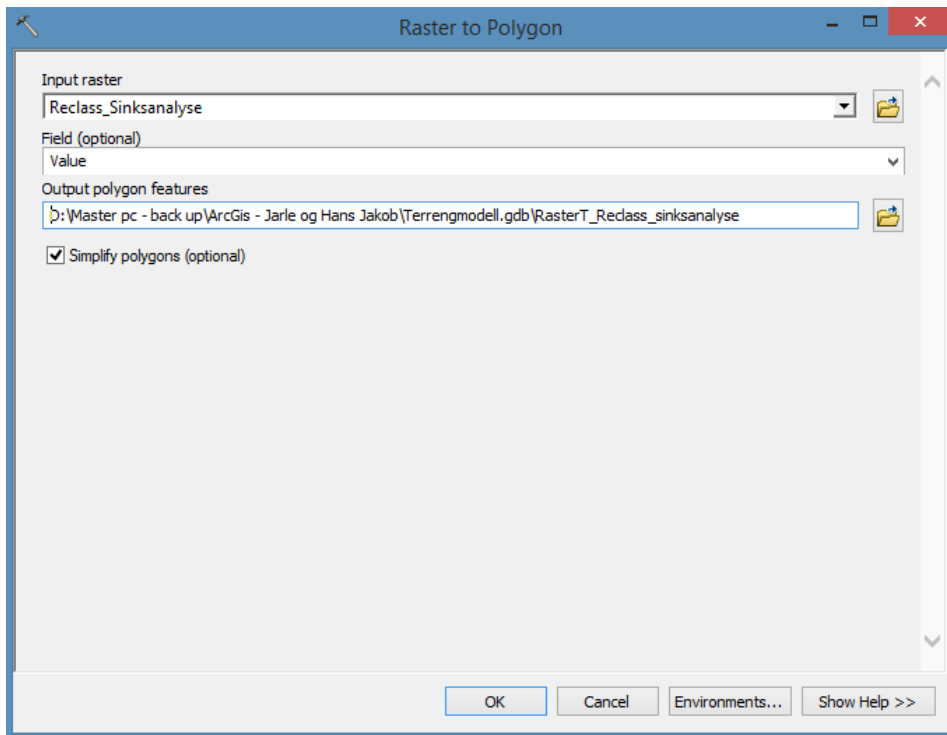


Figur A- 32: «Layer Properties» til drenslinjene (skjermdump)

A-2.5.2 Opprette vektorkart av sinks

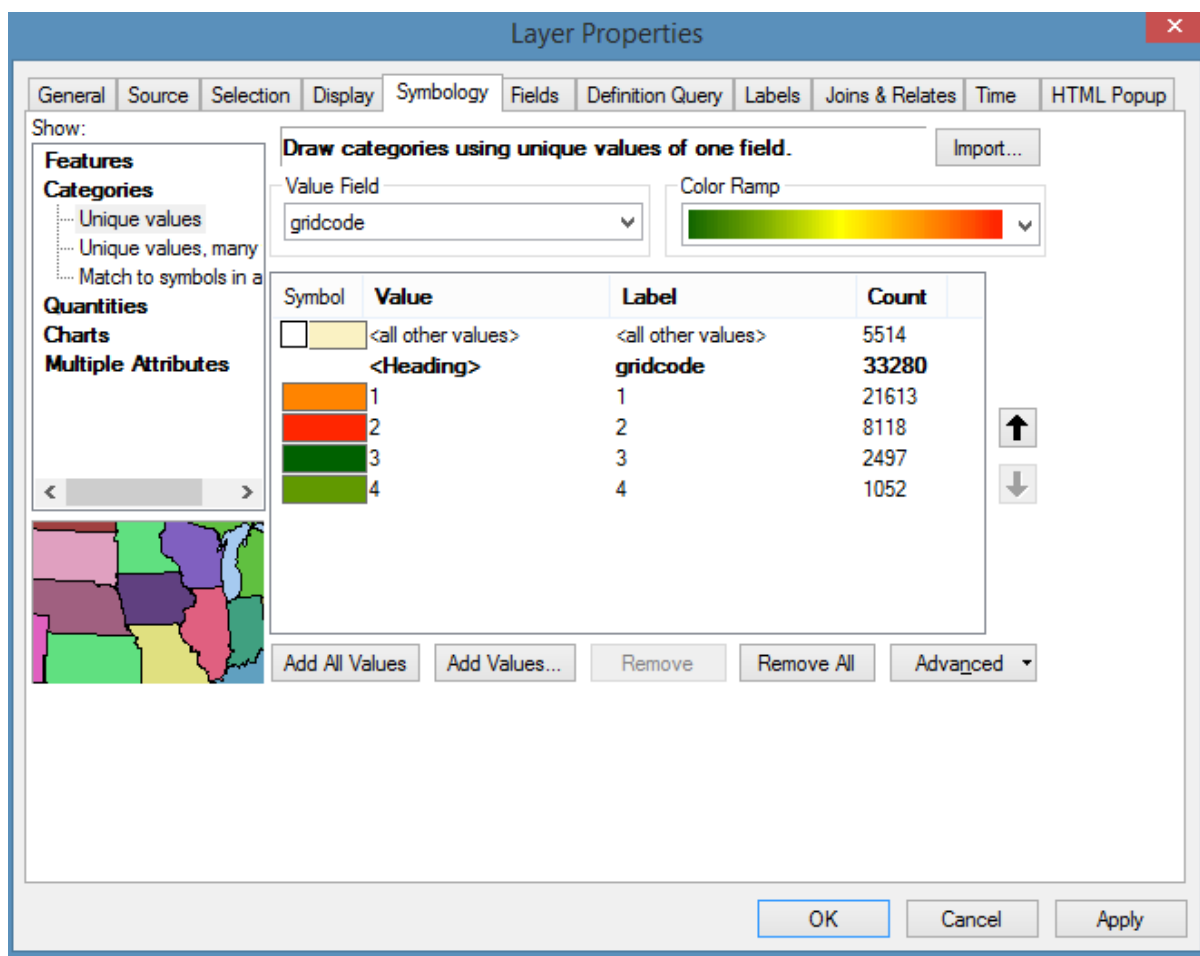
For å forbedre layout på resultatene ble rasteret gjort om til polygoner med bruk av verktøyet «**Raster to Polygon**». Verktøyet er vist i Figur A- 33.

1. Input: reklassifisert sinksanalyse
2. Resten er default.



Figur A- 33: «Raster to polygon» (skjermdump)

Det er lurt å justere fremvisningen i «properties». Fjern de lagene som ikke er ønskelig å vises. Dette er vist i Figur A- 34. «Value field» blir satt til «gridcode».

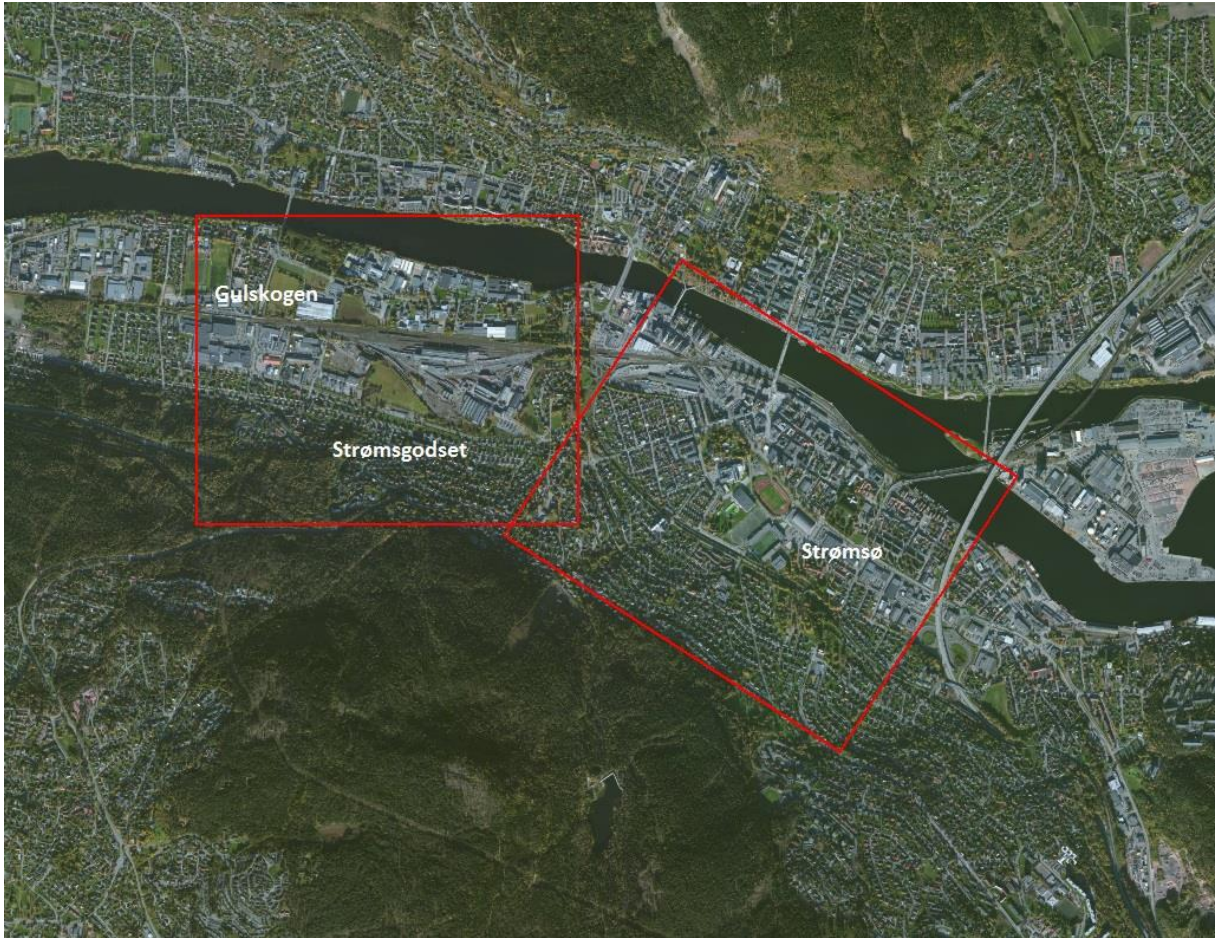


Figur A- 34: Layer properties for sinks (skjermdump)

Til slutt kan et basemap hentes inn for å vise resultatene sammen med for eksempel flyfoto. Et basemap som kan hentes inn er for eksempel «Imagery».

Vedlegg B

I dette vedlegget ligger resultater fra bydelen Strømsgodset. Området vises i Figur B- 1.



Figur B- 1: Oversikt over de områdene Strømsgodset og Strømsø

B-1 MIKE 21 Resultater

B-1.1 Resultater av forsenkninger ved bydelen Strømsgodset

Resultatet som er vist i Figur B- 2 viser forsenkningene i terrenget etter at simuleringen er kjørt i MIKE 21. Resultatet viser Strømsgodsetområdet i Drammen med et konstant Manningstall på 14. Regnet som er benyttet tilsvarer et 200-årsregn og ved fratrekk av et 10-årsregn da dette skal simulere at ledningsnettets er medberegnet.

Figur B- 2 viser at de lavereliggende områdene vil bli oversvømt. Dette gjelder spesielt områdene rundt Talentgården. I dette området vil vannstanden ligge mellom 0.25m – 1m. I dette området er det stort sett kun offentlige arealer og næringseiendommer som vil bli oversvømt. Hovedlinjen langs jernbanetraseen vil stort sett unngå oversvømmelse, selv om deler av traseen kan risikere å stå under vann med klassifisering 0.1 – 0.25m vann.

Næringsområdet vest for Talentgården, nemlig rundt Arboalléen er også ifølge Figur B- 2 utsatt for oversvømmelse. Disse skal ligge mellom 0.1 – 0.5m. Disse arealene er i dag benyttet til blant annet legesenter, skole, matbutikk og bilbutikk.

I området rundt Arboalléen krysses jernbaneovergangene to steder. Det ene er en undergang for biler, med gang- og sykkelvei. Den andre undergangen er kun for gående og syklende. Ved en 200-10-årsflom vil det, som vist i Figur B- 2 bli liggende store mengder vann i disse undergangene. Klassifiseringen tilsier at disse undergangene skal bli oversvømt med en vanddybde på 1m – 5m. Dette betyr i så fall at disse undergangene er ufremkommelige.

Figur B- 2 viser også at næringsområder sør for Nedre Eikervei, samt noen boliger sør for Professor Smiths allé vil bli oversvømt. Oversvømmelsene langs Professor Smiths allé kan komme helt opp til klassifisering 1m – 2m, noe som kan observeres rundt noen boliger.

Ved hjelp av Figur B- 2 kommer det også frem at vanddybden i bekken vises. Bekken følger vanddybden midt på kartet. Vannstanden i bekken variere mellom klassifisering 0.5m – 1m, 1m – 2m og 2m – 5m.



Oversvømmelsesanalyse fra MIKE21

200-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsgodset, Drammen

Manningstall er konstant

Symbologi	
Sinks	
Klassifisering	
	0m - 0.1m
	0.1m - 0.25m
	0.25m - 0.5m
	0.5m - 1m
	1m - 2m
	2m - 5m
	5m - 15m

0 200 400 800 Meters



Figur B- 2: Oversvømmelsesanalyse ved 200-årsregn med 10-års fratrekk ved Strømsgodset i Drammen.

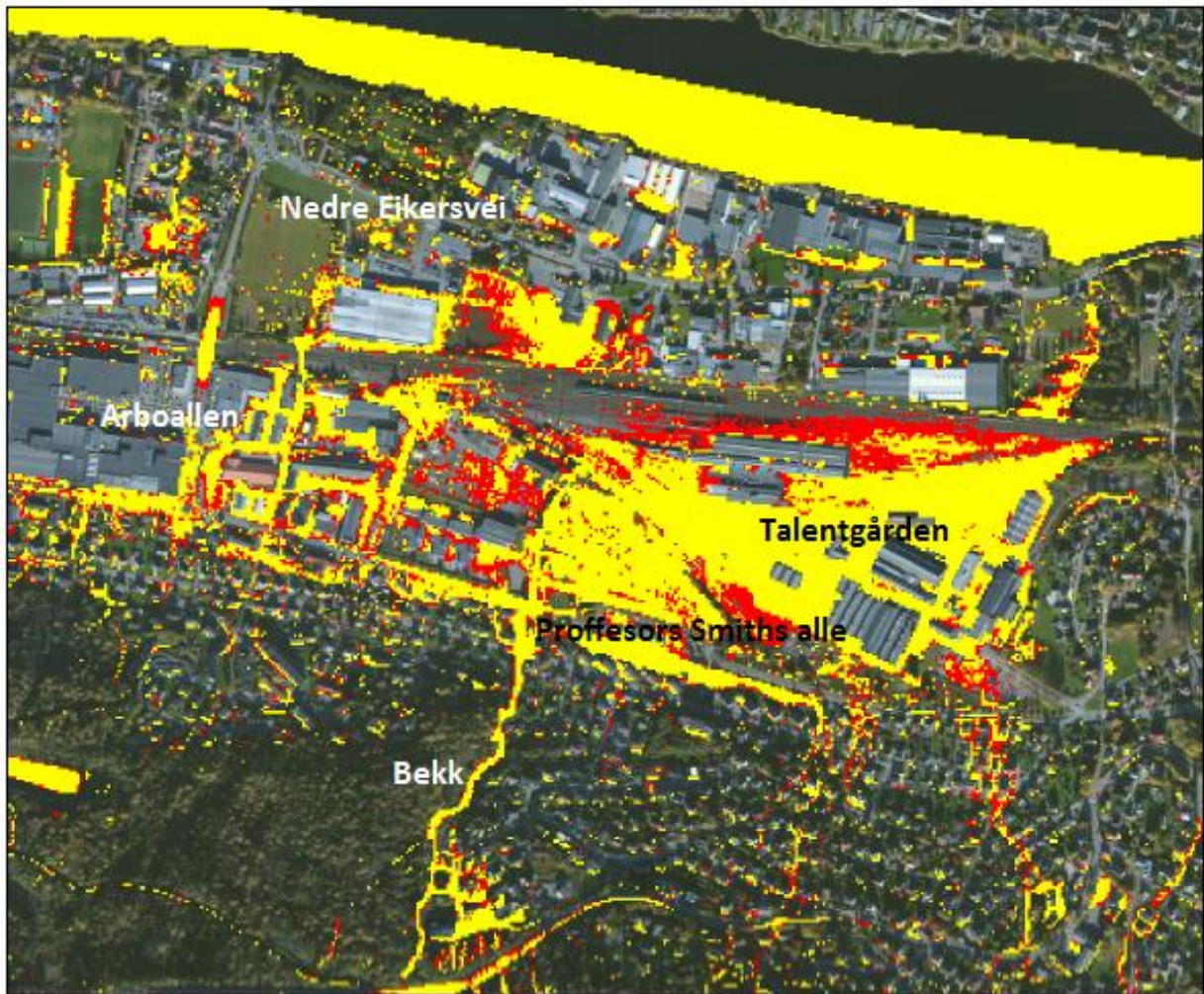
Figur B- 3 viser sammenligningen mellom et 200-årsregn med fratrekk og 50-årsregn med fratrekk. Fratrekket er på 10år for å simulere ledningsnett.

Ved Figur B- 3 kommer det tydelig frem at oversvømmelsene vil få større utstrekning, noe som igjen betyr at vannet vil bli dypere ved et 200-10årsregn enn ved et 50-10årsregn.

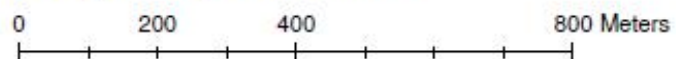
Likevel vil mange av de samme områdene bli oversvømt. Dette gjelder området rundt Talentgården, næringsbyggene ved Areboalleen, noen boliger ved Professor Smiths alle og arealene sør for Nedre Eikervei.

Vanndybden i bekken og undergangene vil fremdeles være høy, selv om dybden vil være litt mindre.

Hovedtraséen langs jernbanen vil ikke få problemer med vannstandsoversvømmelser nord for Talentgården ved et 50-10-årsregn.



Oversvømmelsesanalyse fra MIKE21
Sammenligning av 200-årsregn med fratrekk og
50-årsregn med fratrekk
Strømsgodset, Drammen



Manningstall er konstant

Definert oversvømmelse: > 0.1m

Symbologi	
	Like sinks
	Sinks 50-10årsregn
	Sinks 200-10-årsregn

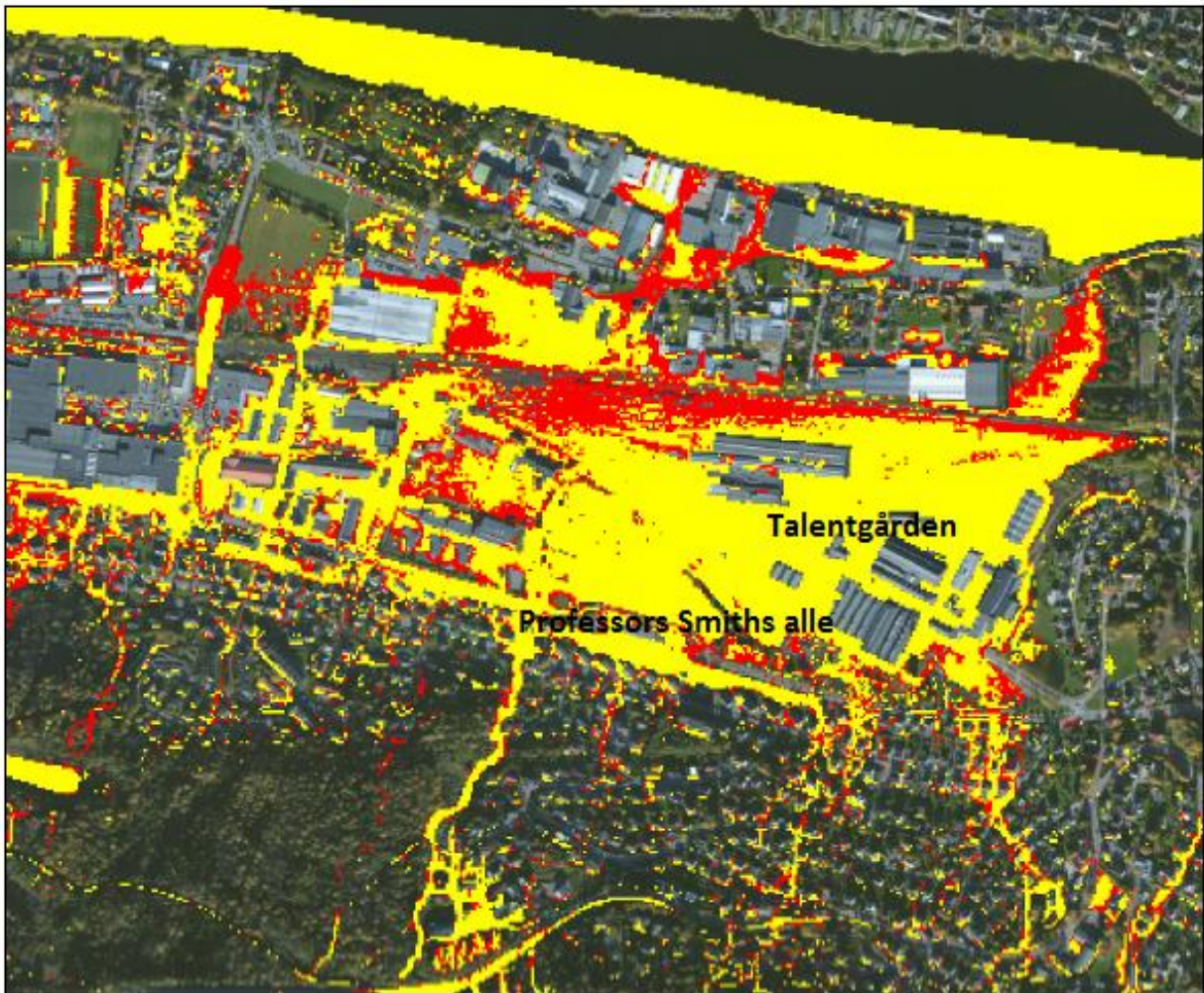


Figur B- 3: Sammenligning av 200-årsregn med fratrekk og 50-årsregn med fratrekk ved Strømsgodset

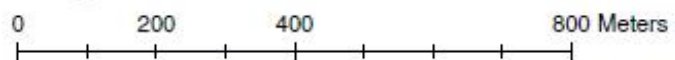
Figur B- 4 viser effekten av et 200-årsregn med og uten at ledningsnettets kapasitet på et 10-årsregn er tatt hensyn til.

Det kommer frem av Figur B- 4 at utstrekningen på de eksisterende oversvømmelsene vil ha større utstrekning ved at enda flere arealer vil bli stående under vann.

Hovedtraséen lang jernbanen, nord for Talentgården, vil nå være ufremkommelig med tog. Enda flere boliger vil stå i faren for å bli oversvømt ved Professor Smiths allé. I tillegg vil enda flere næringsområder og boligområder generelt over hele kartet stå i fare for å bli oversvømt.



Oversvømmelsesanalyse fra MIKE21
Sammenligning av 200-årsregn uten fratrekk og
200-årsregn med fratrekk
Strømsgodset, Drammen



Manningstall er konstant

Definert oversvømmelse: >0.1m

Symbologi	
	Like sinks
	Sinks 200-10-årsregn
	Sinks 200-årsregn



Figur B- 4: Sammenligning av 200-årsregn uten fratrekk og 200-årsregn med fratrekk ved Strømsgodset

B-1.2 Resultater av drenslinjer ved bydelen Strømsgodset

Ved hjelp av Figur B- 5, Figur B- 6 og Figur B- 7 viser drenslinjer fra MIKE21 i bydelen Strømsgodset. Figurene varierer med å ha 200 årsregn, 200-10 årsregn og 50-10 årsregn. Fratrukket av 10 årsregn på to av figurene er å se effekten ved å ta hensyn til ledningsnettet.

Det kommer tydelig frem på alle figurene at vannet følger det eksisterende bekkeløpet midt i kartet. I alle figurene vil vannmengden i bekkeløpet overskride 500l/s. Det antas å tro at det er en kulvert i enden av bekken ved jernbaneområdet som vil lede vannet under jernbanen og ut i Drammenelva. Men det antas at kulverten går full, ved at et 10 årsregn er tregt fra ved to av figurene. I disse situasjonene vil vannet strøomme utover arealene vest for Talentgården.

Nord-øst i kartene kommer det også en relativ stor drenslinje som renner gjennom boligområder. Denne drenslinjen kan dermed føre til store skader.

Ved Arboallen vil det også renne en drenslinje forbi næringsområdene og gjennom gang- og sykkelveien før den svinger til høyre og fortsetter mot Drammenselva.

Etter at drenslinjene har passert jernbaneområdet vil de krysse Nedre Eikersvei før de renner ut i Drammenelva. Dette kommer tydeligst frem i Figur B- 7 på grunn av at denne figuren har det største nedbøret. I Figur B- 5 og Figur B- 6 deler nemlig drenslinjene seg opp slik at vannmengden kommer under 50l/s og dermed ikke vises i kartene.

Det kommer frem av alle figurene at ved et lavere nedbør vil drenslinjene bli svakere og føre mindre vann. Siden figurene ikke viser drenslinjer under 50l/s er dette grunne til at færre drenslinjer vises ved et 200 årsregn (Figur B- 7) enn ved et 50-10 årsregn (Figur B- 6)



Drenslinjer fra MIKE21
 200-årsregn med 10-års fratrekk
 Strømsgodset, Drammen

Manningstall er konstant

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s
	Bekker

0 200 400 800 Meters



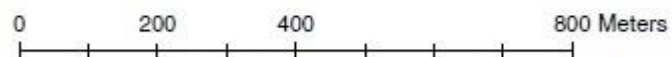
Figur B- 5: Drenslinjer ved 200-årsregn med 10-års fratrekk ved Strømsgodset



Drenslinjer fra MIKE21
 50-årsregn med 10-års fratrekk
 Strømsgodset, Drammen

Manningstall er konstant

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s
	Bekker



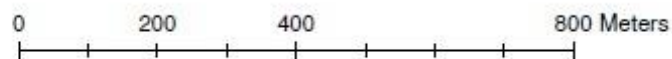
Figur B- 6: Drenslinjer ved 50-årsregn med 10-års fratrekk ved Strømsgodset



Drenslinjer fra MIKE21
 200-årsregn uten fratrett
 Strømsgodset, Drammen

Manningstall er konstant

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s
	Bekker



Figur B- 7: Drenslinjer ved 200-årsregn uten fratrett ved Strømsgodset

B-2 ArcGIS resultater

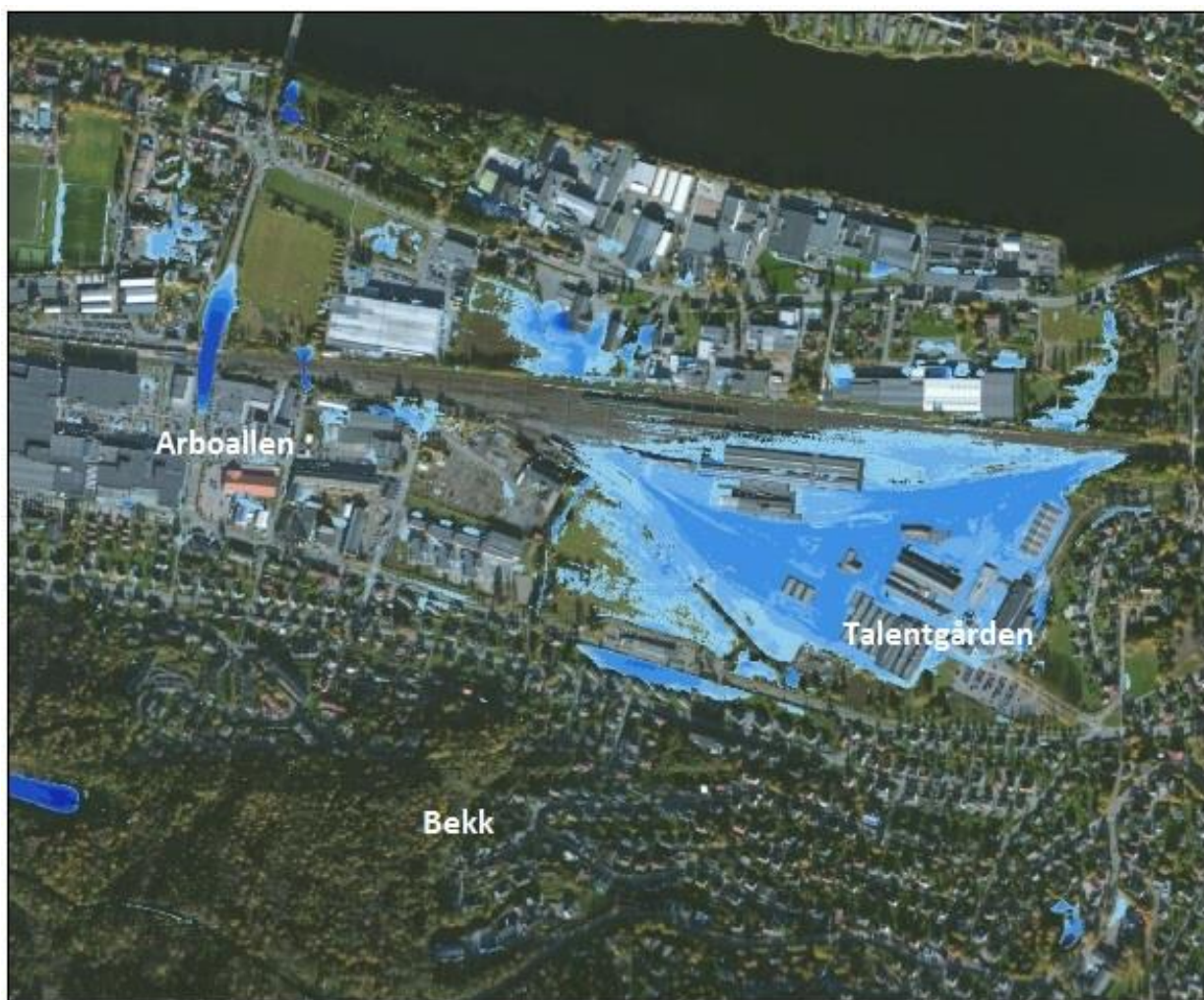
B-2.1 Resultater av forsenkninger i bydelen Strømsgodset

Figur B- 8 viser sinksanalyse ved Strømsgodsetområdet. Sinksanalysen eller forsenkningsanalysen viser lavtliggende området i terrenget hvor vann vil kunne akkumulere.

Resultatene fra Figur B- 8 at hele området ved jernbaneområdet, rundt Talentgården, vil bli oversvømt. Her vil vannstanden kunne ligge mellom 0,1 m – 1 m. Deler av jernbanesporet vil også kunne stå under vann.

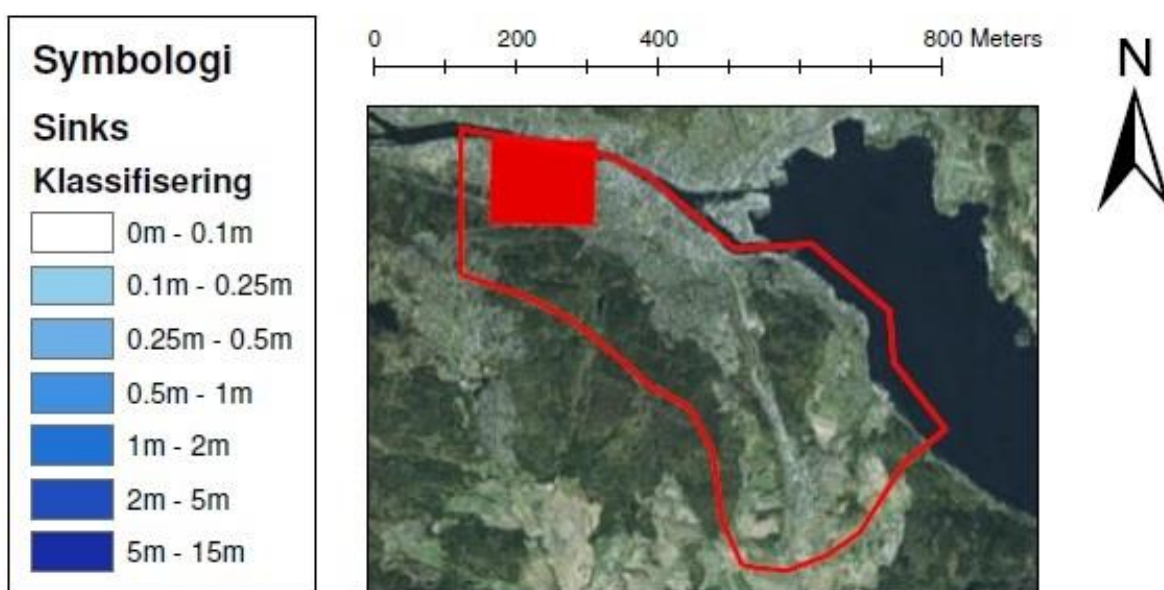
Begge undergangene ved Arbollen vil bli oversvømt slik at disse er ufrakommelige. Her vil det kunne stå hele 5 m med vann.

I motsetning til MIKE21 ArcGIS gi vanndybden i bekken da denne ikke er en forsenking.



Sinksanalyse fra ArcGIS

Strømsgodset, Drammen



Figur B- 8: Sinksanalyse fra ArcGIS, Strømsgodset

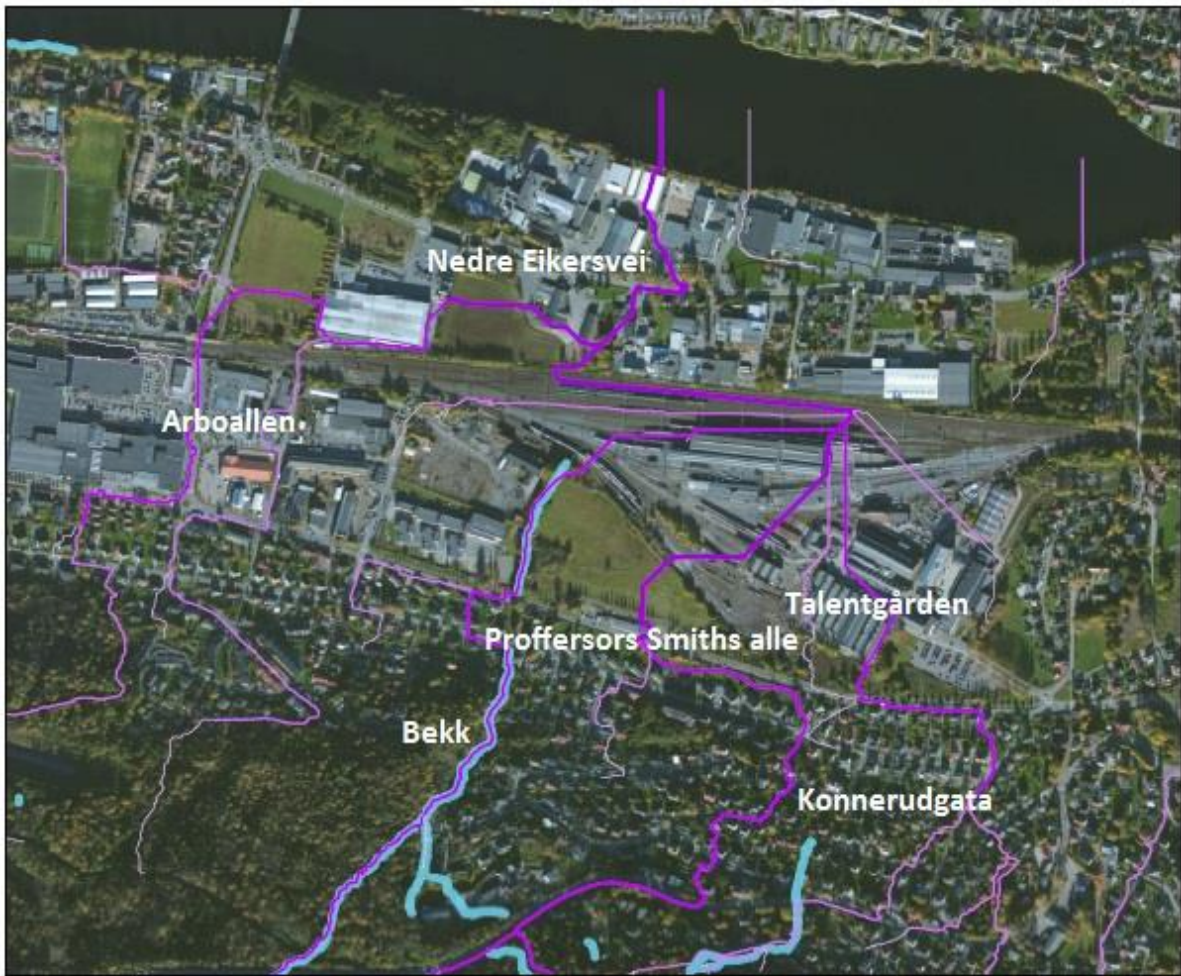
B-2.2 Resultater av drenslinjer i bydelen Strømsgodset

Figur B- 9 viser drenslinjer ved Strømsgodsetområdet som er produsert i ArcGIS. Siden drenslinjene følger det laveste punktene i terrenget er det nærliggende å tro at vannet velger denne veien ned mot Drammenselva. Drenslinjene renner fra det høyereliggende området i sør i Figur B- 9 og ut i Drammenselva i nord.

Det kommer frem at en av drenslinjene følger bekken nedover terrenget. Det er trolig to kulverter i de områdene langs bekken. Den ene er ved Professors Smihs alle og den andre under jernbaneområdet der bekken slutter. Siden ikke kulverten er ned finner drenslinjen en annen vei. Denne drenslinjen tilsvare omtrent $350\,000\text{ m}^2 - 1\,000\,000\text{ m}^2$ tilrennende celler. Det kommer også to drenslinjer som renner på hver sin side av Konnerudgata. Begge disse drenslinjene renner gjennom et boligområdet. Størrelsen på disse drenslinjene er på omtrent $350\,000\text{ m}^2 - 1\,000\,000\text{ m}^2$ og $50\,000\text{ m}^2 - 350\,000\text{ m}^2$ tilrennende celler.

Disse tre drenslinjen møtes nord for Talentgården og vokser til en drenslinje på omtrent $1\,000\,000\text{ m}^2 - 5\,000\,000\text{ m}^2$ før den krysser jernbanelinjen og renner videre ut i Drammenselva.

Det går også to drenslinjer gjennom Arboallen. Den ene på omtrent $50\,000\text{ m}^2 - 350\,000\text{ m}^2$ og den andre på omtrent $350\,000\text{ m}^2 - 1\,000\,000\text{ m}^2$ tilrennende celler. Disse linjene krysser hver sin undergang før de slår seg sammen til $1\,000\,000\text{ m}^2 - 5\,000\,000\text{ m}^2$ tilrennende celler og fortsetter mot Drammenselva. Linjen møter den andre store drenslinjen før den krysser Nedre Eikersvei og renner ut i elva.



Drenslinjer fra ArcGIS Strømsgodset, Drammen



0 200 400 800 Meters

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	25 000m ² - 50 000m ²
	50 000m ² - 350 000m ²
	350 000m ² - 1 000 000m ²
	1 000 000m ² - 5 000 000m ²
	5 000 000m ² - 14 000 000m ²
	Bekker



Figur B- 9: Drenslinjer fra ArcGIS ved Strømsgodset

B-3 Sammenligning av resultater fra MIKE 21 og ArcGIS i bydelen Strømsgodset

B-3.1 Sammenligning av forsenkningene fra ArcGIS og MIKE 21 i bydelen Strømsgodset

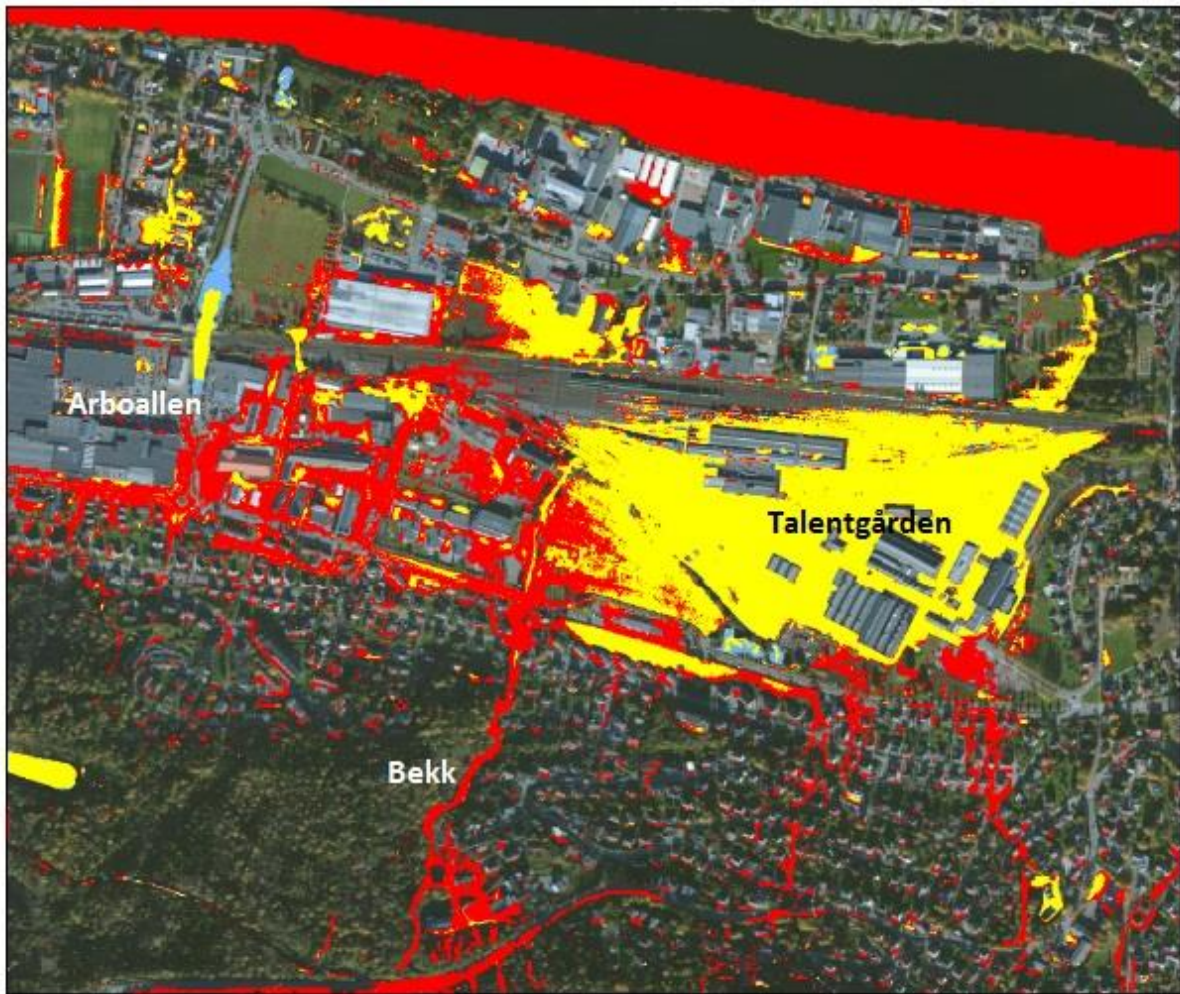
Figur B- 10 viser at det er vesentlige forskjeller mellom å benytte ArcGIS eller MIKE21 til å analysere sinks og oversvømmelser. Figuren viser oversvømmelser som er dypere enn 10cm fra MIKE21, hvor det er benyttet et 200-årsregn med 10 års fratrekk.

Siden ArcGIS er et rent kartprogram vil kun senkningene i områdene komme fram.

Sammenligningen viser at senkningene stemmer godt overens med de områdene i MIKE21 som det antas at blir oversvømt. Likheter kan blant annet ses rundt Talentgården og undergangene ved Arboallen.

MIKE21 simulerer med et fiktivt nedbør, derfor vil flere områder bli oversvømt enn med ArcGIS. Blant annet vil vanddybder i bekker og flomveier komme fram. Dette kan ses ved at bekken kommer fram fra MIKE21, men ikke fra ArcGIS. Det samme gjelder flomområdene ved Arboallen.

Ved kraftige nedbør vil MIKE21 fylle opp forsenkninger, i tillegg til rundtliggende områdene som ikke ArcGIS fyller opp. Ved bilundergangen ved Arboallen kan det ses at ArcGIS har fylt opp forsenkningen, men at regnet i MIKE21 ikke er kraftig nok til å fylle det samme området.



Sammenligning av sinksanalyse fra ArcGIS og oversvømmelsesanalyse fra MIKE21

Oversvømmelsesanalyse fra MIKE21 er med 200-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsgodset, Drammen



0 200 400 800 Meters

Manningstall er konstan

Definisjon på oversvømmelse fra MIKE21: >0.1m

Symbologi

	Like sinks og oversvømmelser
	Sinks ArcGIS
	Oversvømmelser MIKE21



Figur B- 10: Sammenligning av sinks fra Mike21 og ArcGIS ved Strømsgodset

B-3.2 Sammenligning av drenslinjer fra ArcGIS og MIKE 21 i bydelen Strømsgodset

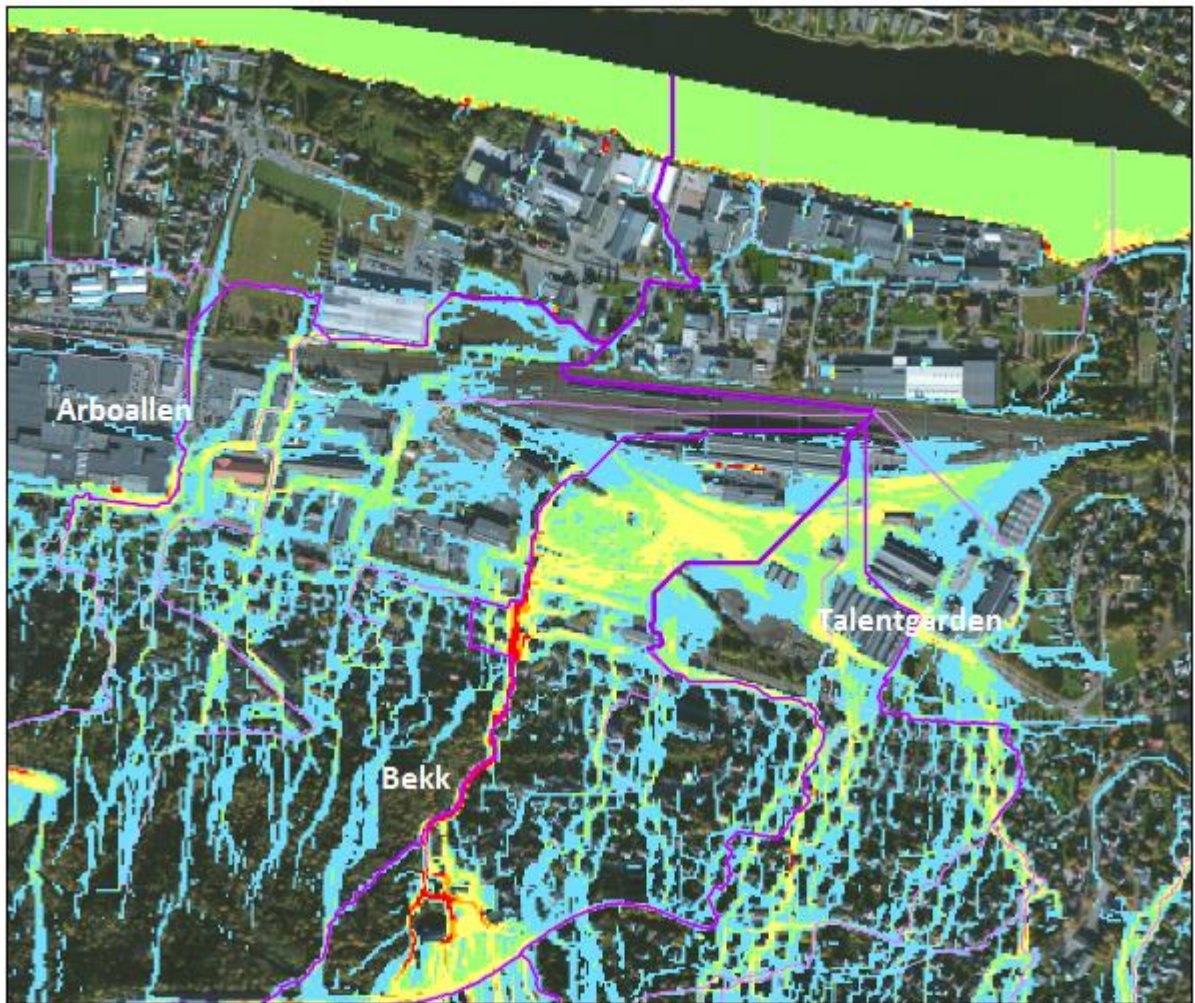
Figur B- 11 viser likheter og ulikheter ved å benytte ArcGIS og MIKE21 til å produsere drenslinjer. I Mike21 har strømningslinjene ned til 10 l/s blitt tatt med. Dette er gjort for å enklere se drenslinjene og for sammenligning med ArcGIS.

Hovedforskjellen i disse to metodikkene for produksjon av drenslinjer kommer av at MIKE21 inkluderer hydraulikk i beregningene. MIKE21 simulerer også drenslinjene som «multiple flow». Dette kan ses ved at vannet spres og dermed velger mange ulike veier ned mot Drammenselva der ikke dreneringsveiene i topografien er tydelig fastslått.

ArcGIS inkluderer ikke hydraulikken da dette er et rent kartprogram som benytter GIS analyse. ArcGIS produserer drenslinjer som «single flow». Dette kan vises ved at drenslinjens retning og vei er tydelig definert.

Sammenligning av Figur B- 11 viser vesentlige forskjeller mellom ArcGIS og MIKE21. Forskjellen kommer frem ved at der drenslinjen krysser jernbaneområdet. Drenslinjen fra ArcGIS krysser jernbaneområdet nord for Talentgården ved først å ta en 90 graderssving mot venstre, så en 90 graderssving mot høyre. Drenslinjen fra MIKE21 velger å krysse jernbanoområdet lenger vest, uten å ta 90 graderssvinger som nok er mer troverdig.

Begge drenslinjene er like ved at de følger bekken, samt at de velger å renne ut renne ut i Drammenselva på omtrent samme sted. Begge drenslinjene velger også å gå gjennom undergangene ved Arboallen.



Sammenligning av drenslinjer fra Mike21 og ArcGIS

Drenslinjene fra MIKE21 er med
200-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsgodset, Drammen



0 200 400 800 Meters

Symbologi	
Drenslinjer Mike21	Drenslinjer ArcGIS
Klassifisering	Klassifisering
< 10l/s	25 000m ² - 50 000m ²
10l/s - 50l/s	50 000m ² - 350 000m ²
50l/s - 100l/s	350 000m ² - 1 000 000m ²
100l/s - 300l/s	1 000 000m ² - 5 000 000m ²
300l/s - 500l/s	5 000 000m ² - 14 000 000m ²
> 500l/s	



Figur B- 11: Sammenligning av drenslinjer fra Mike21 og ArcGIS ved Strømsgodset

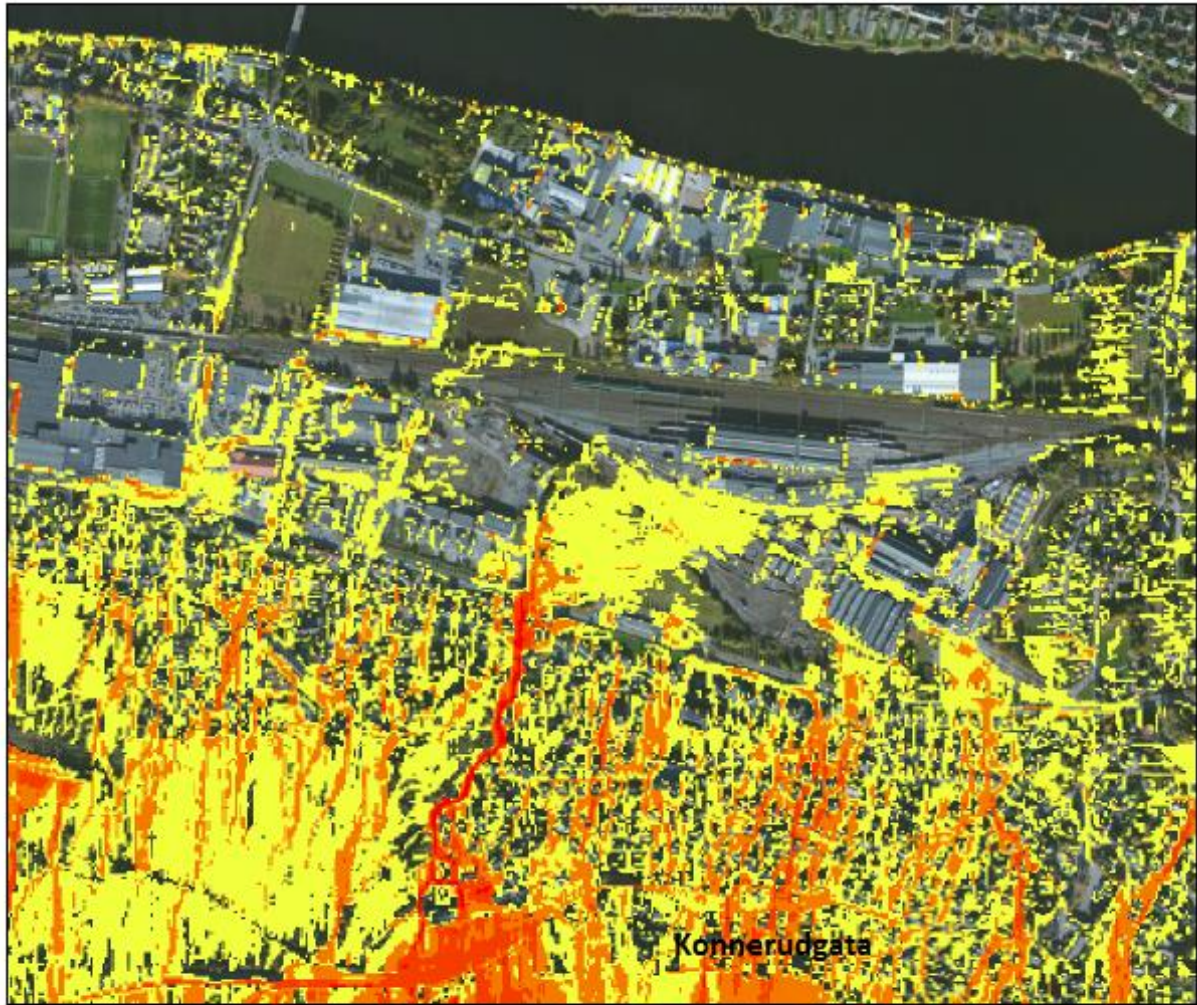
B-4 Resultater med varierende Manningstall

Det ble lagt inn varierende Manningstall for veier, bygninger og annet. Dette for å undersøke om dette hadde betydning for simuleringen.

Forskjellen på oversvømmelse og drenslinjer var relativt små. Dette var forventet Manningstall ikke virket direkte inn på dette.

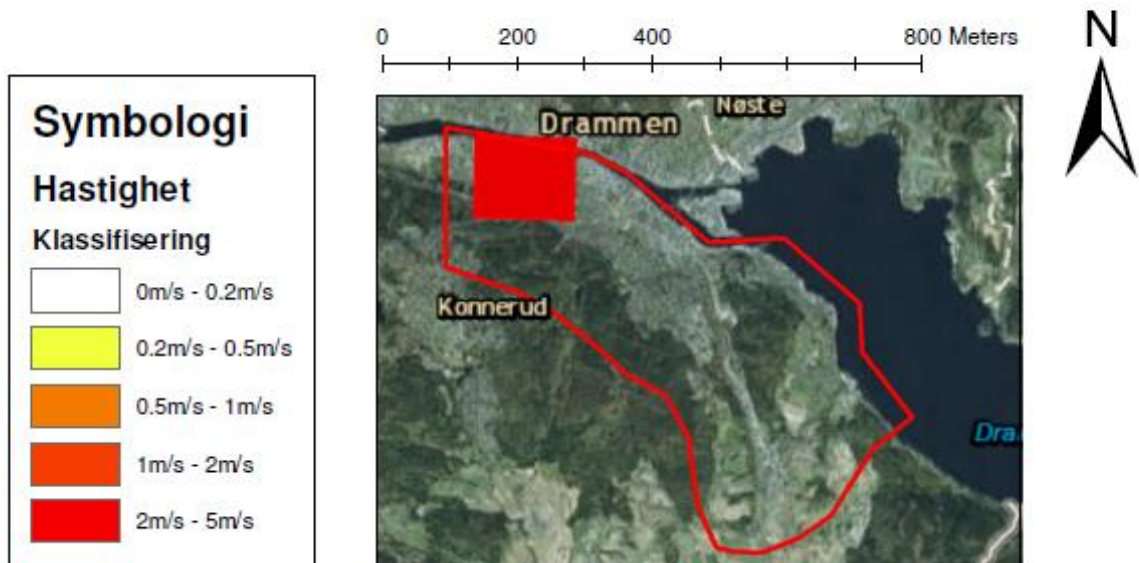
Forskjellen kommer tydeligere frem når vannets hastighet ble undersøkt. Når vannets hastighet ble undersøkt hadde Manningstall for veger blitt endret til 71. Høyere Manningstall gir lavere ruhet på terrengoverfalten. Vannet fulgte som forventet vegene tydeligere da ruheten var lavere og vannet da enklere rant der. Dette førte også til at større vannmengder valgte å renne langs vegene.

Forskjellene kan ses ved å sammenligne Figur B- 12 og Figur B- 13. Tendensen med at vannet følger veiene kommer spesielt godt frem ved å studere Konnerudgata.

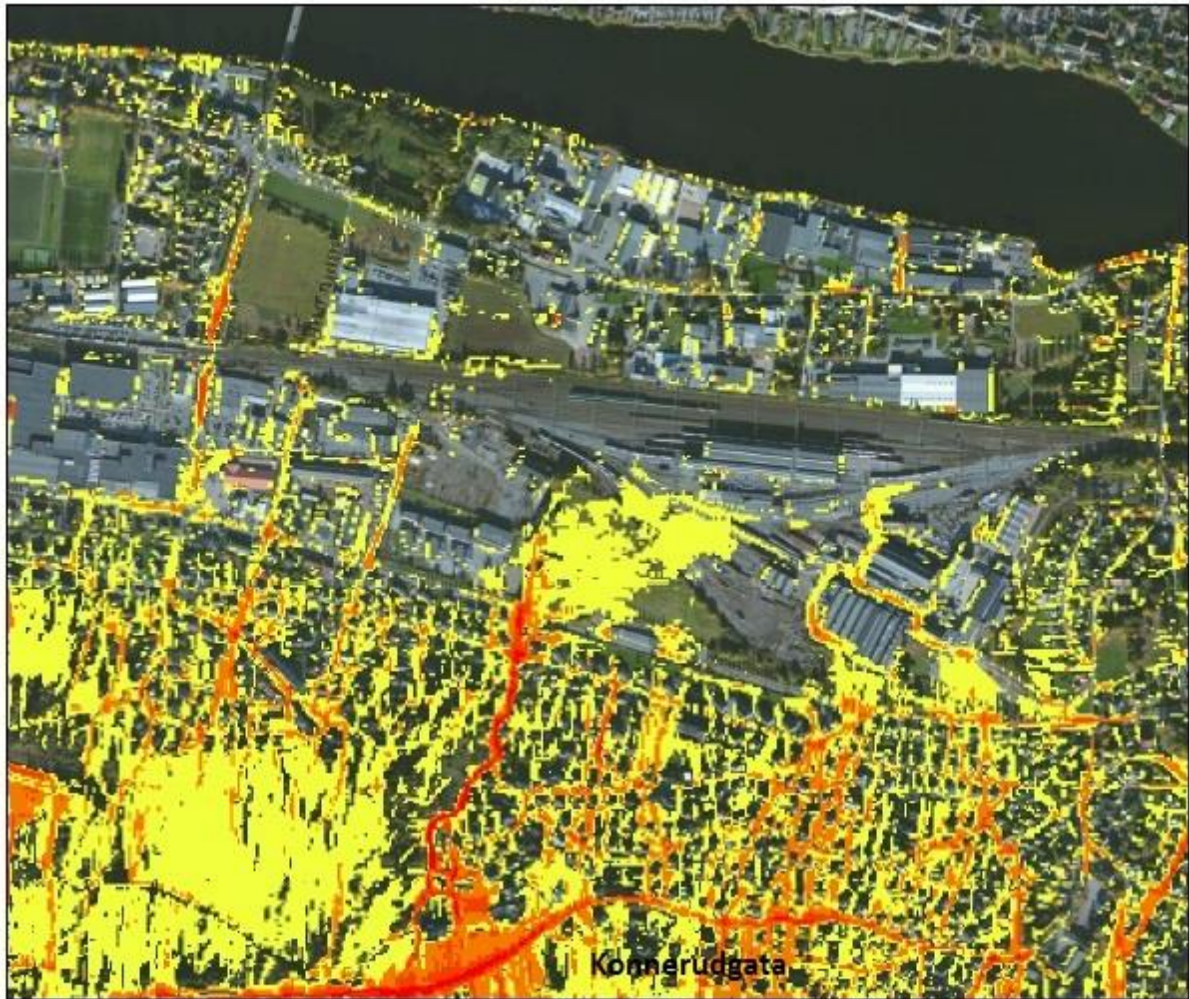


Vannets hastighet ved konstant Manningstall fra MIKE21

200-årsregn med 10-års fratrekk
Strømsgodset, Drammen

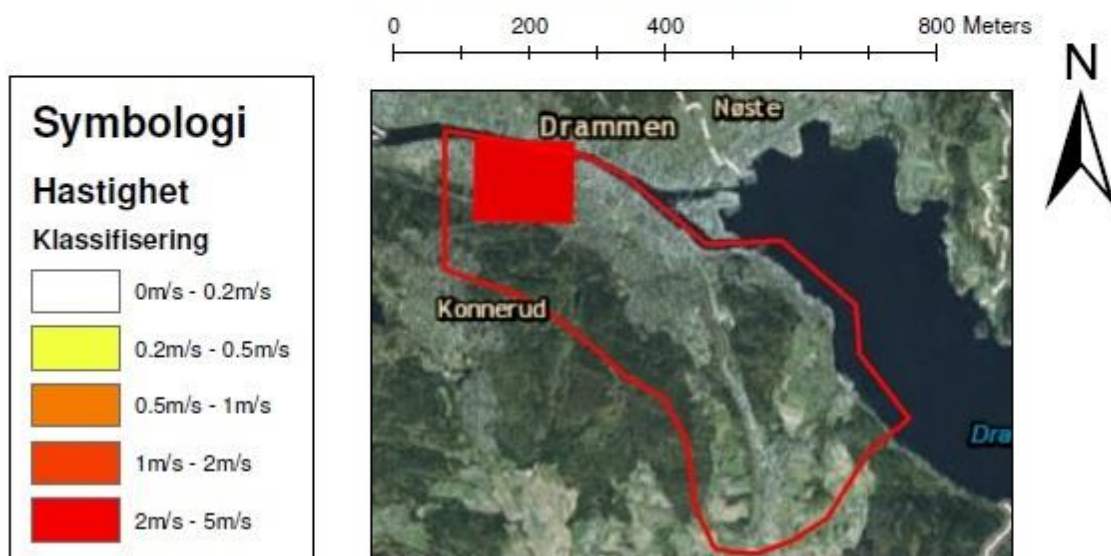


Figur B- 12: Vannets hastighet ved Strømsgodset med konstant Manningstall



Vannets hastighet ved varierende Manningstall fra MIKE21

200-årsregn med 10-års fratrek
Strømsgodset, Drammen



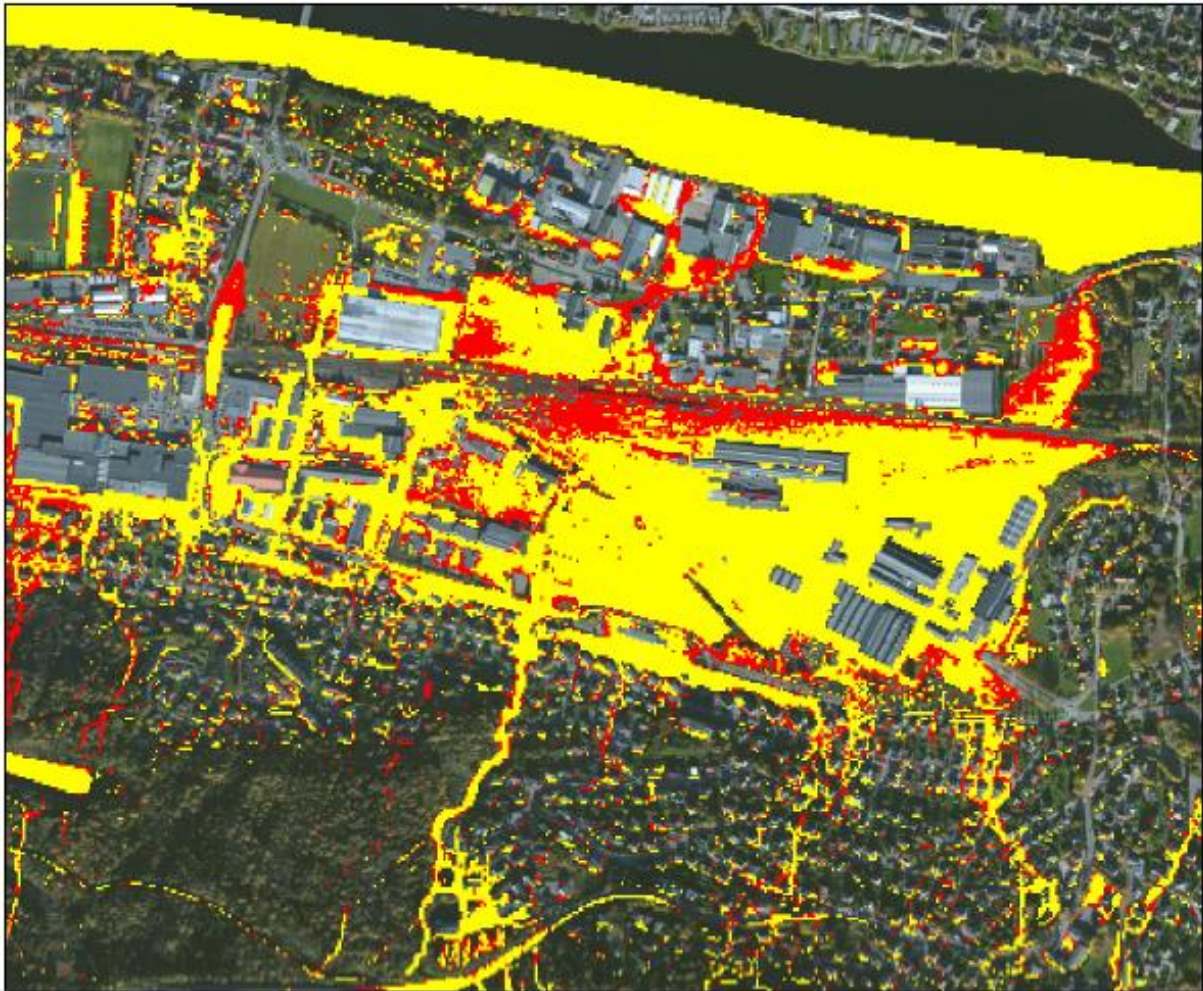
Figur B- 13: Vannets hastighet ved Strømsgodset med varierende Manningstall

B-4 MIKE FLOOD resultater

Figur B- 14 viser forskjellene mellom resultatene fra MIKE21 og MIKE FLOOD. MIKE21 er simulert med 200 årsregn med fratrekk for 10 årsregn, mens resultatene fra MIKE FLOOD er simulert med 200 årsregn uten fratrekk men ledningsnettet er inkludert. Det som er gult er områder hvor begge simuleringene har oversvømmelser. Det som er rødt er oversvømmelse fra MIKE FLOOD mens det blå er simuleringen fra MIKE21.

Figur B- 14 viser at det betydelig mer rødt enn blått på kartet. Dette viser at når det simuleres med fratrekk i MIKE21, ved å fjerne det som tilsvarer et 10 årsregn fra inndatafilen for nedbør blir resultatet avvikende fra resultatet hvor ledningsnettet er inkludert (MIKE FLOOD). Det antas at inkludering av ledningsnettet gir en større grad av realisme i simuleringene og dermed resultater som stemmer bedre med virkeligheten.

Hvis det hadde vært blå områder på kartet hadde dette vist steder hvor ledningsnettet hadde hatt ekstra kapasitet til å ta unna oversvømmelsene. Det er få, eller ingen, blå områder på kartet.



Sammenligning av MIKE21 og MIKE FLOOD

MIKE21: 200-årsregn med 10-års fratrekk
 MIKE FLOOD: 200-årsregn med ledningsnett
 Strømsgodset, Drammen



0 200 400 800 Meters

Manningstall er konstant

Definert oversvømmelse: >0.1m

Symbologi

- Like oversvømmelser
- Oversvømmelser MIKE FLOOD
- Oversvømmelser MIKE21



Figur B- 14: Sammenligning av MIKE21 med fratrekk av 10 årsregn og MIKE FLOOD med 200 årsregn med ledningsnett

I Figur 7-19 vises forskjellene mellom to simuleringer. Områdene med rød farge er områdene som blir oversvømt kun ved MIKE FLOOD simuleringen, mens områdene der det er blå farge er områdene hvor det kun blir oversvømt ved MIKE21 simuleringen. Begge simuleringene har tatt utgangspunkt i et 200 års regn uten fratrekk. Områdene med gul farge er der begge simuleringene gir oversvømmelser.

Det kommer frem at det litt mer blått enn rødt på kartet, selv om det ikke er betydelig. Dette er i overensstemmelse med at ledningsnett leder bort overvann. Hvis det hadde vært mer rødt enn blått, ville det betyde at ledningsnett ikke fungerte. Det denne figuren ikke viser er forskjellen i vannivå i resultatene fra simuleringene med MIKE21 og MIKE FLOOD som følge av kobling med ledningsnett i MIKE FLOOD. Områder som er røde viser steder hvor ledningsnett tilfører overflaten vann. Slike områder er av stor interesse for å kartlegge hvor ledningsnett har for liten kapasitet.



Sammenligning av MIKE21 og MIKE FLOOD

MIKE21: 200-årsregn uten fratrekk

MIKE FLOOD: 200-årsregn med ledningsnett

Strømsgodset, Drammen



Manningstall er konstant

Definert oversvømmelse: >0.1m

Symbologi

- Like oversvømmelser
- Oversvømmelser MIKE FLOOD
- Oversvømmelser MIKE21

0 200 400 800 Meters



Figur B- 15: Sammenligning av MIKE21 med 200 årsregn uten fratrekk og MIKE FLOOD med 200 årsregn med ledningsnett

I Figur B- 16 vises ledningene med tre ulike klassifiseringer for ledningskapasiteten.

Ledningskapasiteten er gitt som forholdet mellom den maksimale volumstrømmen i røret og den teoretiske beregnede kapasiteten. Det vil si at ledninger som har verdiene under 0,9 har ledig kapasitet, mens rør over 1,1 har overtrykk og vann stuves opp i tilhørende kummer.

Grønt betyr at ledningene har ledig kapasitet. Dette kan observeres for eksempel i utslippsledningene som slipper ut vannet i Drammenselva. Disse ledningene er relativt store og har god kapasitet.

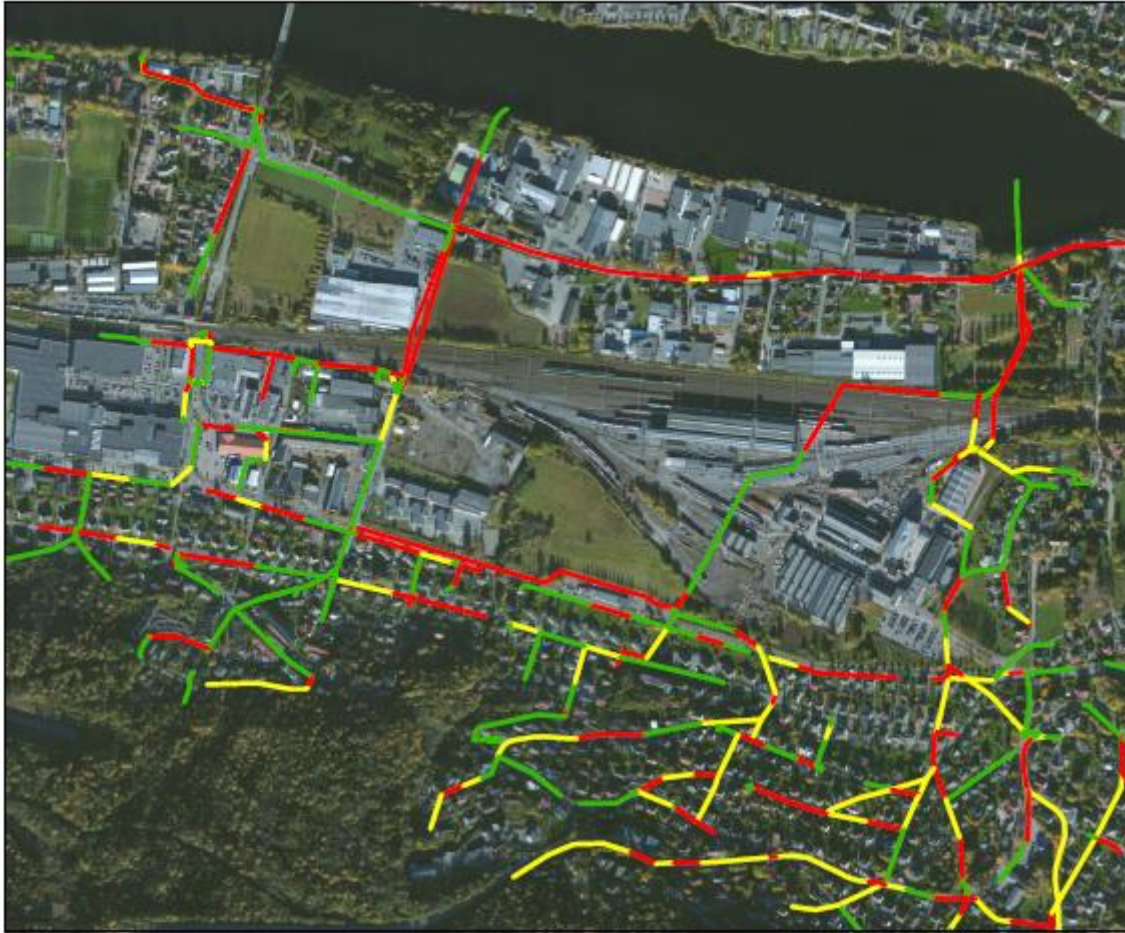
Det er i tillegg slik at oppstrøms utslippsrørene så har rørene mindre diameter. Det vil si at mengden vann som renner i utløpet ikke blir bestemt av størrelsen på utslippsrøret, men på oppstrøms rør. Figur B- 16 er en god måte å visualisere hvilke rør som er utsatte, og hvor det må settes inn tiltak. Kartet viser en god del røde rør som tilsier at det er flere ledninger som går fulle, og vann vil da stuve opp i kummen, i stedet for å transportere det vekk.

For å vise resultatene i MIKE FLOOD ble det hentet et «derived results» sett som tok inn «Link's absolute Discharge versus Q Manning».

Figur B- 17 gir en oversikt over de maksimale volumstrømmene i ledningene. Dette vil da være en annen metode å framstille hvilke rør som er utsatte kapasitetsmessig.

Rør som transporterer mye vann trenger ikke å være utsatte rør, men kan ha en stor dimensjon slik at den kan frakte store mengder vann. Det vil derfor være nyttig å sammenholde det som vises i Figur B- 17 sammen med det som vises i Figur B- 16. Generelt vil Figur B- 17 vise hvilke ledningsstrekk som er utsatte på en mer oversiktlig måte.

For å vise resultatene i MIKE FLOOD ble det hentet et «derived results» sett som tok inn «Link's absolute Discharge».



Ledningskapasitet fra MIKE FLOOD

200-årsregn med ledningsnett
Strømsgodset, Drammen



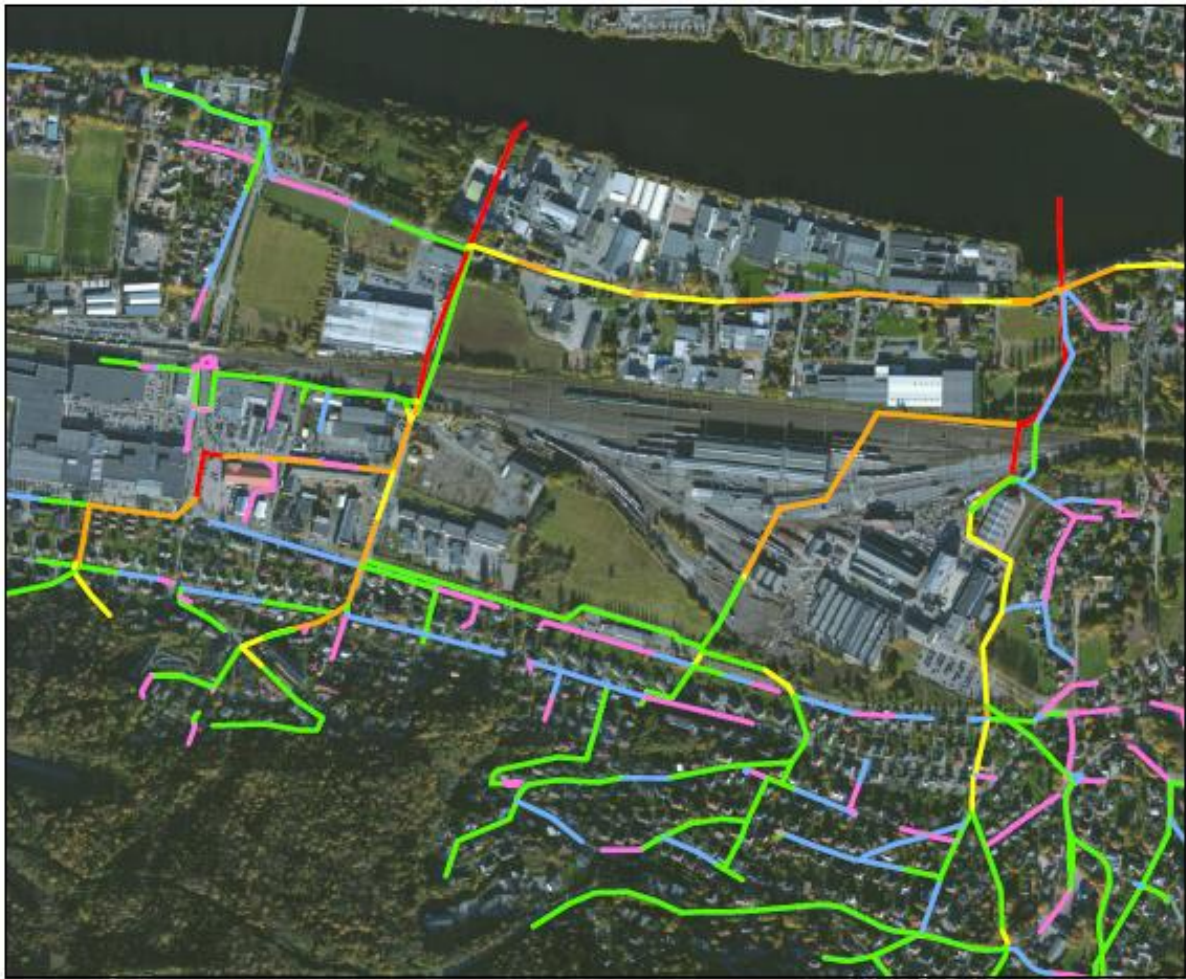
0 200 400 800 Meters

Ledningskapasiteten viser forholdet mellom simulert volumstrøm og teoretisk kapasitet

Symbologi	
Ledningskapasitet	
	> 90% fullt
	90% til 110% fullt
	< 110% fullt



Figur B- 16: Ledningskapasitet fra MIKE FLOOD









Volumstrømmer i ledningsnett fra MIKE FLOOD

200-årsregn med ledningsnett
Strømsgodset, Drammen



0 200 400 800 Meters

Symbologi	
Volumstrøm	
	> 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 500l/s
	500l/s - 1000l/s
	1000l/s - 2000l/s
	< 2000l/s

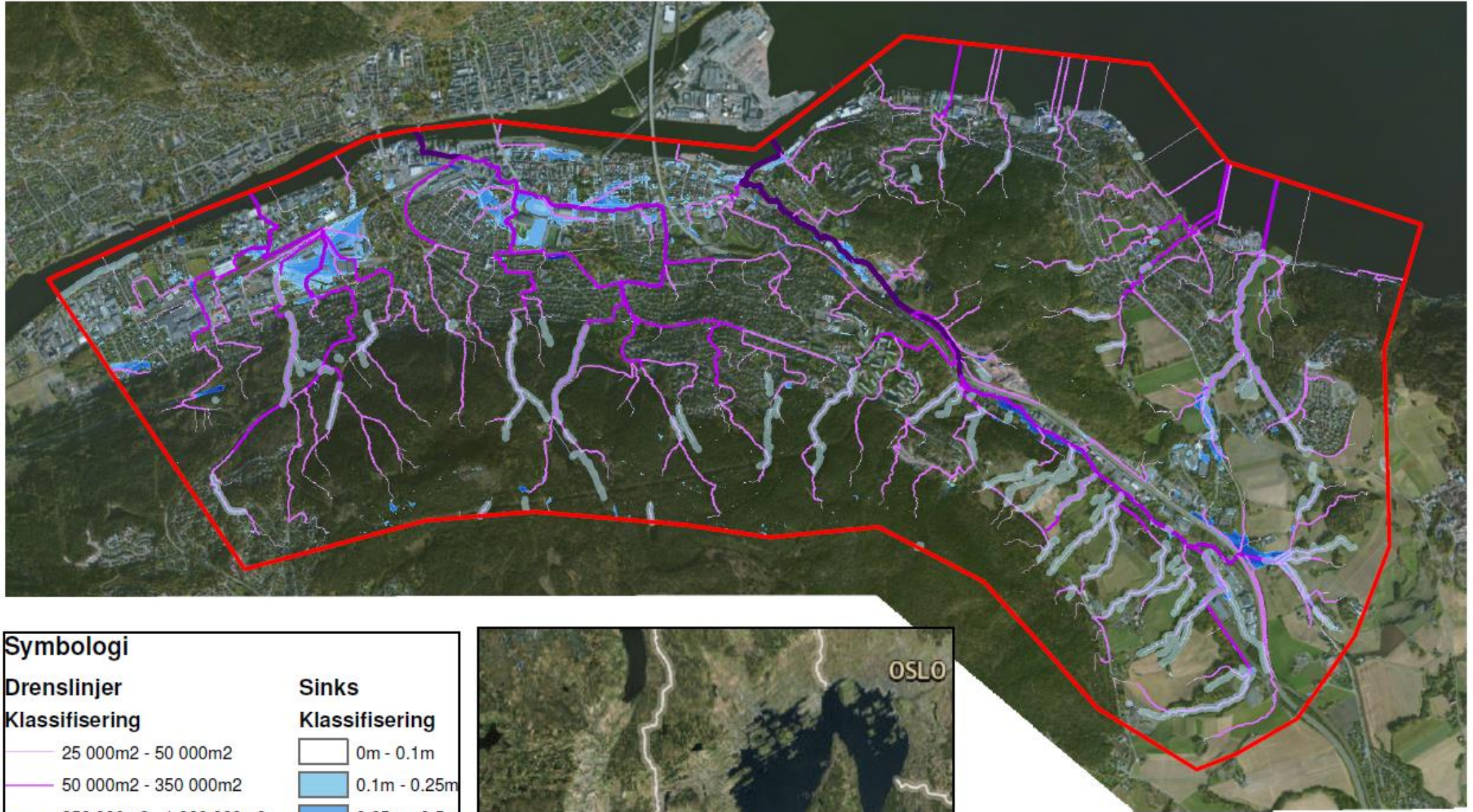


Figur B- 17: Volumstrømmer i ledningsnett fra MIKE FLOOD

Vedlegg C

- Aktsomhetskart laget med ArcGIS. (Første bilde)
- Aktsomhetskart laget med MIKE21. (Andre bilde)
- Aktsomhetskart laget med MIKE FLOOD. (Tredje bilde)

Aktsomhetskart for flomfare fra ArcGIS - Solumstrand, Drammen



Symbologi

Drenslinjer

Klassifisering

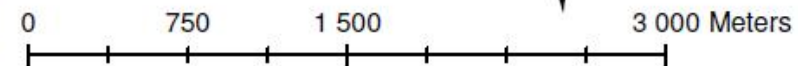
- 25 000m² - 50 000m²
- 50 000m² - 350 000m²
- 350 000m² - 1 000 000m²
- 1 000 000m² - 5 000 000m²
- 5 000 000m² - 14 000 000m²

Bekker

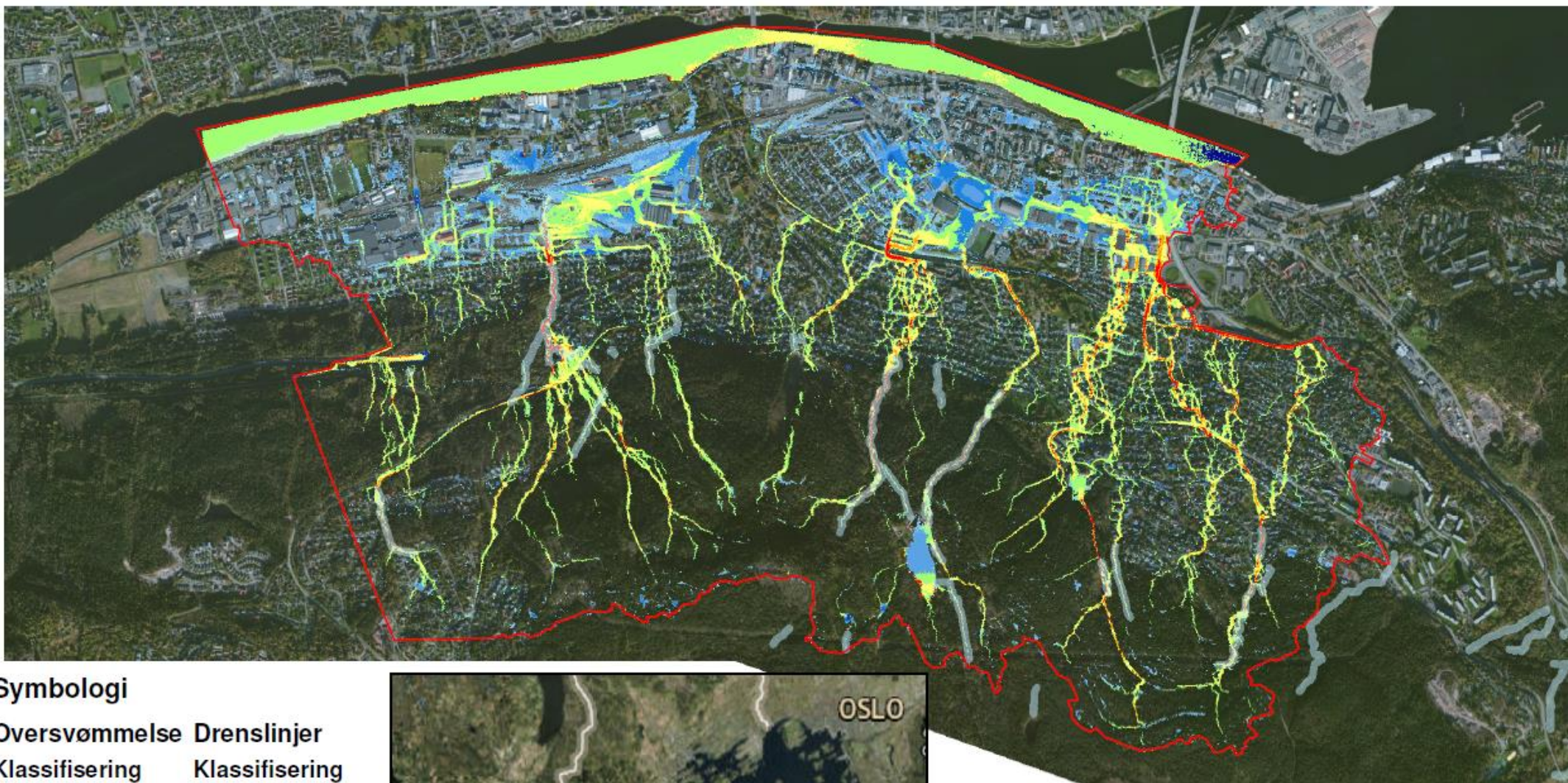
Sinks

Klassifisering

- 0m - 0.1m
- 0.1m - 0.25m
- 0.25m - 0.5m
- 0.5m - 1m
- 1m - 2m
- 2m - 5m
- 5m - 15m



Aktsomhetskart for flomfare fra MIKE21 - Solumstrand, Drammen

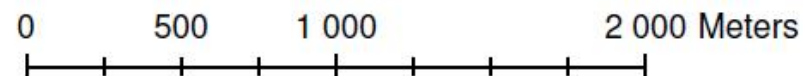


Symbologi

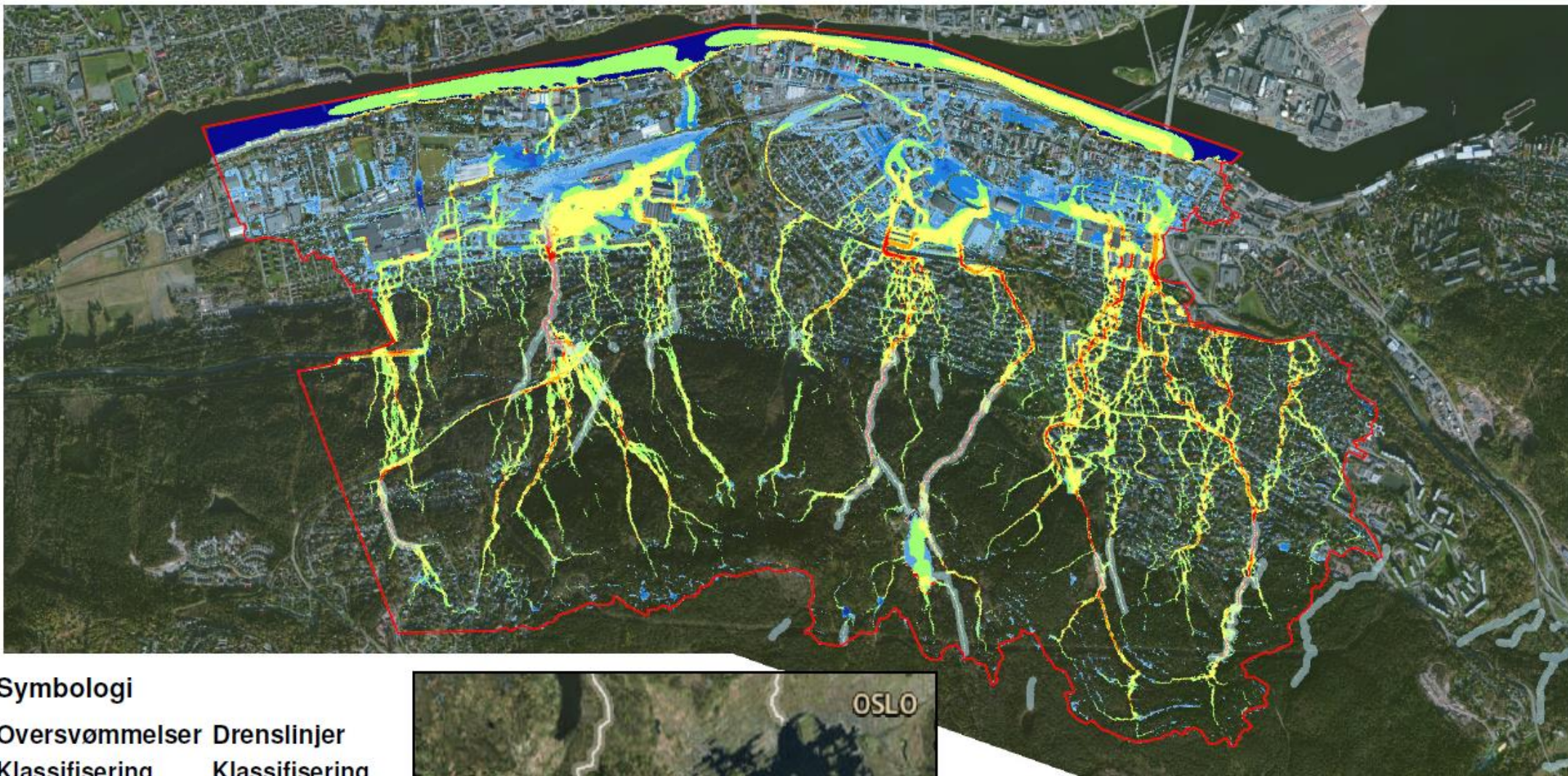
Øversvømmelse	Drenslinjer
Klassifisering	Klassifisering
0m - 0.1m	< 50l/s
0.1m - 0.25m	50l/s - 100l/s
0.25m - 0.5m	100l/s - 300l/s
0.5m - 1m	300l/s - 500l/s
1m - 2m	> 500l/s
2m - 5m	Bekker
5m - 15m	



Aktsomhetskartet består av 200-årsregn med 10-års fratrekk



Aktsomhetskart for flomfare fra MIKE FLOOD - Solumstrand, Drammen



Symbologi

Oversvømmelser

Klassifisering

	0m - 0.1m
	0.1m - 0.25m
	0.25m - 0.5m
	0.5m - 1m
	1m - 2m
	2m - 5m
	5m - 15m

Drenslinjer

Klassifisering

	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s
	Bekker



Aktsomhetskartet består av
200-årsregn uten fratrekk

0 500 1 000 2 000 Meters





Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no