



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp.
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Modellering av overvann i et urbant område ved bruk av ArcGIS og MIKE 21 med fokus på overflateruhet og infiltrasjon

Stormwater Modelling in an Urban Area with ArcGIS and MIKE 21 with Focus on Surface Roughness and Infiltration

Kristin Abry
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på mitt studium i Vann- og miljøteknikk ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng, og er skrevet ved Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT).

Temaet i denne masteroppgaven er modellering av overvann i Drammen, med fokus på betydningen av å inkludere overflateruhet og infiltrasjon i simuleringene. Masteroppgaven er en videreføring av en tidligere masteroppgave ved NMBU, skrevet av Jarle André Johansen og Hans Jakob Moldekleiv våren 2016.

Jeg vil takke min veileder, Jon Arne Engan, for gode råd, tilbakemeldinger og hyggelige samtaler i høst. Takk for all hjelp, og for at du ordnet med både kurs og lisenser jeg trengte i arbeidet med oppgaven.

En takk rettes til Jarle André Johansen og Hans Jakob Moldekleiv som har bidratt med tips og triks i forbindelse med programvarene benyttet i oppgaven.

Tusen takk til Petter Askim for all støtte dette semesteret.

Oslo, 12. desember 2016

Kristin Abry

Sammendrag

Et klima i endring med økt total nedbør og flere intense nedbørshendelser fører til at utfordringene ved håndtering av overvann øker. Tette overflater gir høy overflateavrenning, og store mengder overvann finner veien til ledningsnett. Ledningsnett er ikke dimensjonert for vannmengder av denne størrelsen, og blir derfor overbelastet. Dette kan resultere i tilbakeslag, oversvømmelser og kostbare skader på infrastruktur.

For å forhindre og redusere omfanget av oversvømmelser er det behov for tiltak for lokal overvannshåndtering. De nye strategiene går ut på å forebygge skader, samt utnytte overvann som en ressurs. Det er ønskelig å fordrøye og forsinke overvannet, og deretter lede vannet til en egnet resipient. For å kunne plassere slike tiltak på en strategisk måte er det hensiktsmessig å undersøke hvilke områder som er mest utsatt for oversvømmelser, samt mengden vann som kan forventes.

I denne masteroppgaven ble dataprogrammene ArcGIS og MIKE 21 benyttet til modellering av oversvømmelser i Strømsø bydel i Drammen. Bydelen ligger i et lavtliggende område ved Drammenselva, og består av næringsbygg, butikker og industri, samt leiligheter og eneboliger. Området er jevnlig utsatt for oversvømmelser.

Hvordan vann drenerer på overflaten avhenger i stor grad av helninger, forsenkninger og barrierer i terrenget. For å inkludere disse komponentene i simuleringene ble det benyttet en terrengmodell. Denne modellen består av områdets høydedata fra flybåren laserskanning, samt elementer fra FKB-data som veg, jernbane, bygg og vannflater.

I denne masteroppgaven er overflateruhet og infiltrasjon inkludert i simuleringene. Det var ønskelig å undersøke om disse parameterne har en innvirkning på oversvømmelser, drenslinjer og vannhastigheter. Parameterne ble inkludert i simuleringene som to separate modeller. Modellene er produsert i ArcGIS, og er bygget opp av FKB-data. Den ene modellen inneholdt verdier som representerer overflatens ruhet, som påvirker hvor raskt vannet renner på ulike typer overflater. Den andre modellen representerer infiltrasjon, som bestemmer hvor raskt vannet trenger ned i jorda. Modellene er fremstilt som rutenett, nærmere bestemt et «raster», der parameterverdiene varierer fra rute til rute, men er konstante gjennom tid.

For å vurdere parameterfølsomheten ble resultatene sammenliknet med simuleringer som ikke inkluderte romlig variasjon av overflateruhet og infiltrasjon. Overflateruhet viste seg å ha en begrenset innvirkning på utbredelse av oversvømmelser. Denne parameteren har større innvirkning på drenslinjer og vannhastigheter. Dette kan påvirke hvilke veier vannet tar i dreneringen, men er ingen avgjørende faktor. Å inkludere infiltrasjon hadde betydelig innvirkning på resultatene, og forårsaket kraftig reduksjon av oversvømmelser.

Modellene for overflateruhet og infiltrasjon ble ansett som formålstjenlige, ved at de gir et synlig utslag på resultatene i den retningen som var forventet. Det ble avdekket flere usikkerheter forbundet med parameterne, samt muligheter for å øke deres pålitelighet.

Abstract

Climate change leads to an increase in intensity and number of heavy precipitation events. These heavy precipitation events increase the severity of the challenges connected to stormwater management in urban areas. Impervious surfaces prevent stormwater from infiltrating through the soil to the ground water, and a large amount of stormwater enters the sewer system. This causes overloading, urban flooding and costly damages to infrastructure.

Sustainable urban drainage systems (SUDS) are measures used to prevent urban flooding. New strategies include preclusion of damages and utilization of surface water. These strategies often include retention systems used to prevent or delay the discharge of surface water. To decide the preferable location of such measures, it is essential to know where stormwater will drain and accumulate on the surface. Simulation software is used for mapping of urban flooding. These simulations provide information on what areas are most susceptible to flooding.

In this master thesis, ArcGIS and MIKE 21 were used for stormwater modelling in Strømsø, Drammen. This district is located by Drammenselva, and is dominated by businesses, industries, stores and residential buildings. The area is often subject to flooding.

How surface water drains and accumulates largely depends on slopes, inclination, sinks and barriers in the surrounding terrain. These components are included in a digital terrain model. This model consists of altitudes and components originating from LiDAR- and FKB-data.

Parameters such as surface roughness and infiltration are included in the simulations of surface water. The motive of this master thesis was to examine the effect of including these parameters in the simulations. Two separate models were constructed to represent values for surface roughness and infiltration. Both models were built using ArcGIS, consisting of FKB-data such as roads, buildings, lakes, rivers and soil types. The model representing surface roughness consists of values for Mannings number, which affects surface water velocity. The model representing infiltration provides infiltration rates in different soil types. Both models contain varying values in space that are constant over time.

To evaluate the sensitivity of the parameters, results of the surface water mapping were compared with results that did not include spatially varying values for surface roughness and infiltration. The results revealed that surface roughness has a limited impact on flooding in Strømsø. This parameter has a larger effect on flow direction and velocity, which can influence where stormwater drains on the surface. Including maximum values of infiltration made a large impact on the results, and caused a major decrease of flooding in the area.

The models for surface roughness and infiltration were considered serviceable, as they both provide a noticeable effect on the results in the direction that was expected. Several uncertainties connected to the parameters were discovered, along with options for strengthening their credibility.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag.....	III
Abstract.....	V
Innholdsfortegnelse.....	VII
Figurliste.....	X
Tabelliste.....	XII
Formelliste.....	XII
1 Innledning.....	1
1.1 Målsetninger.....	1
1.2 Tidligere arbeid.....	2
1.3 Analyseområde.....	2
1.4 Forutsetninger.....	2
1.5 Oppgavens oppbygning.....	3
2 Klima.....	4
2.1 Klimaendringer.....	4
2.2 Historikk.....	4
2.3 Fremtiden.....	7
2.4 Innvirkning på urbane områder.....	8
3 Overvann.....	9
3.1 Lokal overvannsdisponering.....	9
3.1.1 Tiltak.....	9
3.1.2 Forurensning.....	11
4 Hydrologi.....	12
4.1 Hydrologiske prosesser.....	12
4.2 Nedbørstyper.....	12
4.3 Typeregner.....	13
4.4 Avrenning.....	14
4.4.1 Den rasjonelle formel.....	14
4.4.2 Ruhet.....	15
4.4.3 Infiltrasjon.....	16
4.4.4 Løsmassetyper.....	18
5 Programvare.....	19
5.1 ArcGIS Desktop.....	19
5.1.1 Geografiske Informasjonssystemer.....	19
5.1.2 ArcMap.....	19
5.1.3 ArcCatalog.....	20

5.1.4	ArcToolbox	21
5.2	Koordinatsystemer.....	21
5.2.1	Geografiske koordinatsystemer	22
5.2.2	Projiserte koordinatsystemer	23
5.2.3	Relevante datum og projeksjoner	24
5.3	FLS – Flybåren Laserskanning (LiDAR).....	24
5.4	FKB - felles kartdatabase	24
5.5	Aktsomhetskart for flom.....	25
5.6	MIKE 21.....	25
5.6.1	MIKE 21 Flow Model	25
5.6.2	Parametere i MIKE 21.....	25
5.6.3	MIKE Zero Toolbox.....	30
6	Metodikk	31
6.1	Om datamaskinen	31
6.2	Analyseområde.....	31
6.3	Forutsetninger.....	33
6.4	Grunnlagsdata.....	33
6.4.1	Terrengmodell	33
6.4.2	FKB-data	35
6.5	ArcGIS - Oppbygning av modeller for ruhet og infiltrasjon.....	37
6.5.1	Valg av verdier for ruhet	37
6.5.2	Valg av infiltrasjonsrater	38
6.5.3	Fremgangsmåte i ArcMap	38
6.6	MIKE 21 - Modeller av drenslinjer og oversvømmelser.....	46
6.6.1	Forberedelse av modeller for ruhet og infiltrasjon	46
6.6.2	Oppsett i MIKE 21 Flow Model.....	49
6.6.3	Referansescenario.....	55
7	Resultater.....	56
7.1	Oversvømmelsesanalyser	57
7.1.1	Sammenlikninger.....	62
7.2	Drenslinjeanalyser	66
7.2.1	Sammenlikninger.....	71
7.3	Hastighetsanalyser.....	75
7.3.1	Sammenlikninger.....	80
8	Diskusjon.....	84
8.1	Grunnlagsdata.....	84
8.2	Valg av parameterverdier	85
8.3	Programvare	86

8.3.1	ArcGIS.....	86
8.3.2	MIKE 21.....	86
8.4	Scenarioer.....	87
8.5	Parameterfølsomhet.....	88
8.5.1	Ruhet.....	88
8.5.2	Infiltrasjon.....	89
8.6	Videre arbeid.....	89
9	Konklusjon.....	91
10	Referanser.....	92
	Vedlegg.....	i

Figurliste

Figur 2-1 Energiutveksling mellom jorda og verdensrommet.....	4
Figur 2-2 Avvik fra normalen i global overflatetemperatur.....	5
Figur 2-3 Temperaturavvik fra normalen i Norge i de siste 100 år.....	6
Figur 2-4 Nedbør i % av normalen i Norge i de siste 100 år.....	6
Figur 2-5 Forventet gjennomsnittlig økning i nedbør i Norge innen 2050 i prosent.....	7
Figur 2-6 Forventet gjennomsnittlig økning i nedbør i Norge innen 2100 i prosent.....	8
Figur 3-1 Treleddsstrategi for håndtering av nedbør.....	10
Figur 3-2 Tiltak for lokal overvannshåndtering.....	10
Figur 4-1 De tre hovedtypene med nedbør.....	13
Figur 4-2 Konstruksjon av kasseregn fra IVF-kurve.....	13
Figur 4-3 Et regnhyetogram for 10-årsfrekvensen for Blindern i Oslo.....	14
Figur 4-4 Infiltrasjonsevne i jorda under konstant nedbørintensitet.....	16
Figur 4-5 Grafisk fremstilling av Hortons likning.....	17
Figur 5-1 Rasterdata fremstiller overflaten som et forenklet rutenett.....	20
Figur 5-2 ArcCatalog åpnet som eget vindu fra startmenyen.....	20
Figur 5-3 Oppbygning av et koordinatsystem.....	22
Figur 5-4 Illustrasjon over lengdegrader.....	23
Figur 5-5 Projiserte koordinatsystemer.....	23
Figur 5-6 Topografi over et område i Drammen fremstilt i et batymetri.....	26
Figur 5-7 Med «Net infiltration» kan infiltrasjonsraten variere både i tid og rom.....	28
Figur 5-8 Infiltrasjon med «Constant infiltration with capacity».....	29
Figur 5-9 Menyene i MIKE Zero Toolbox.....	30
Figur 6-1 Oversiktskart over Drammen.....	32
Figur 6-2 Oversiktskart over Strømsø bydel i Drammen.....	32
Figur 6-3 Laserdata fremstilt som et «Terrain».....	34
Figur 6-4 «Terrain» lagt sammen med FKB-data for veg, jernbane og bygg.....	34
Figur 6-5 «Terrain» konverteres til raster med verktøyet «Terrain to raster».....	35
Figur 6-6 Attributtavell i ArcMap.....	36
Figur 6-7 Kodeforklaring i arealressursdatasettet.....	36
Figur 6-8 Verktøyet «Clip» ble brukt til å klippe arealressursdatasettet.....	39
Figur 6-9 Relevante FKB-data.....	39
Figur 6-10 Det ble laget et nytt felt for Mannings tall i attributtavellen.....	40
Figur 6-11 Benytter «Select by Attributes» for å markere arealer med skog.....	41
Figur 6-12 Legger inn verdi for Mannings tall med «Field Calculator».....	41
Figur 6-13 Konvertering med verktøyet «Polygon to Raster».....	42
Figur 6-14 Alle arealtypene med ulike Mannings tall.....	42
Figur 6-15 Verktøyet «Reclassify» ble brukt til å gi bakgrunnen en verdi.....	43
Figur 6-16 Rasterne for veg og vann ble lagt sammen med verktøyet «Plus».....	43
Figur 6-17 Rasterens verdier er blitt summert.....	44
Figur 6-18 Kartraster for overflateruhet.....	44
Figur 6-19 Kartraster for infiltrasjon.....	45

Figur 6-20 Det ferdige rasteret ble konvertert til ASCII-format	45
Figur 6-21 Filen ble konvertert med verktøyet Grd2Mike	46
Figur 6-22 Ruhetsmodellen med minimumsverdier for Mannings tall.	47
Figur 6-23 Antall celler i X- og Y-retning må «matche»	47
Figur 6-24 Modellen ble «klippet» til riktig antall celler:	48
Figur 6-25 Den aktuelle variabelen med enhet måtte velges under «Items» (ruhet).....	48
Figur 6-26 Den aktuelle variabelen med enhet måtte velges under «Items» (infiltrasjon).....	49
Figur 6-27 Meny over parametere i MIKE 21 Flow Model	49
Figur 6-28 Valg av «Hydrodynamic Module»	50
Figur 6-29 Valg av «Bathymetry».....	50
Figur 6-30 Valg av «Simulation Period».....	51
Figur 6-31 Verdier lagt inn i «Flood and Dry»	51
Figur 6-32 Valg av «Initial Surface Elevation»	52
Figur 6-33 IVF-kurve for Asker i perioden 1983-2010.....	52
Figur 6-34 IVF-kurvens verdier.	53
Figur 6-35 Symmetrisk regnhyetogram.....	53
Figur 6-36 Regnfilen benyttet i simuleringene.....	53
Figur 6-37 Innstilling av infiltrasjonsvariabelen	54
Figur 6-38 Valg av «Eddy Viscosity»	54
Figur 6-39 Valg av «Resistance»	55
Figur 6-40 Justering av simuleringens resultatfiler.	55
Figur 7-1 Oversvømmelsesanalyse med minimal ruhet og ingen infiltrasjon.....	57
Figur 7-2 Oversvømmelsesanalyse med maksimal ruhet og ingen infiltrasjon.....	58
Figur 7-3 Oversvømmelsesanalyse med konstant ruhet og maksimal infiltrasjon.....	59
Figur 7-4 Oversvømmelsesanalyse med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon	60
Figur 7-5 Sammenlikning av oversvømmelser: minimal ruhet kontra maksimal ruhet	62
Figur 7-6 Sammenlikning av oversvømmelser: ingen infiltrasjon kontra maksimal infiltrasjon.....	63
Figur 7-7 Sammenlikning av oversvømmelser: konstant ruhet og ingen infiltrasjon kontra maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon.....	64
Figur 7-8 Drenslinjeanalyse med minimal ruhet og ingen infiltrasjon.....	66
Figur 7-9 Drenslinjeanalyse med maksimal ruhet og ingen infiltrasjon.....	67
Figur 7-10 Drenslinjeanalyse med konstant ruhet og maksimal infiltrasjon.....	68
Figur 7-11 Drenslinjeanalyse med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon.....	69
Figur 7-12 Sammenlikning av drenslinjer: minimal ruhet kontra maksimal ruhet	71
Figur 7-13 Sammenlikning av drenslinjer: ingen infiltrasjon kontra maksimal infiltrasjon	72
Figur 7-14 Sammenlikning av drenslinjer: konstant ruhet og ingen infiltrasjon kontra maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon.....	73
Figur 7-15 Hastighetsanalyse med minimal ruhet og ingen infiltrasjon	75
Figur 7-16 Hastighetsanalyse med maksimal ruhet og ingen infiltrasjon.	76
Figur 7-17 Hastighetsanalyse med konstant ruhet og maksimal infiltrasjon.....	77
Figur 7-18 Hastighetsanalyse med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon.....	78
Figur 7-19 Sammenlikning av vannhastighet: minimal ruhet kontra maksimal ruhet	80
Figur 7-20 Sammenlikning av vannhastighet:ingen infiltrasjon kontra maksimal infiltrasjon	81
Figur 7-21 Sammenlikning av vannhastighet: konstant ruhet og ingen infiltrasjon kontra maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon.....	82

Tabelliste

Tabell 4-1 Mannings tall for ulike overflater	16
Tabell 4-2 Maksimale infiltrasjonsrater i jordteksturer	17
Tabell 4-3 Minimale infiltrasjonsrater i jordteksturer	18
Tabell 5-1 ArcGIS-verktøy benyttet i denne masteroppgaven	21
Tabell 6-1 Minimal ruhet med høyest mulige Mannings tall	37
Tabell 6-2 Maksimal ruhet med lavest mulige Mannings tall	37
Tabell 6-3 Oversikt over jordarter med klassifisering for infiltrasjonsevne.....	38
Tabell 8-1 Oppsummering av parameterenes innvirkning	88

Formelliste

Formel 4-1 Vannbalansen	12
Formel 4-2 Vannbalansen med hensyn til endring i lagring	12
Formel 4-3 Den rasjonelle formel	14
Formel 4-4 Mannings formel	15
Formel 4-5 Hortons likning.....	17

1 Innledning

Det endrede klimaet fører til kraftigere og hyppigere nedbørshendelser. Mot slutten av dette århundret kan det forventes opp mot 4,5°C økning av årstemperatur, og cirka 18 % økning i årsnedbør. Flommer vil øke både i antall og omfang (Hanssen-Bauer, et al., 2015).

Urbanisering bidrar til økt fortetting i byer og tettsteder. Andelen av befolkningen i Norge som bor i urbane strøk har økt fra 35 % i 1930 til 80 % i 2015 (Folkehelseinstituttet, 2015). Tett bebyggelse dekket i økende grad av ikke-permeable overflater som asfalt og betong. Når det regner forhindrer disse tette overflatene at vannet trenger ned i bakken. Vannet renner i stedet på overflaten, og kan forårsake oversvømmelser.

Stor overflateavrenning i kombinasjon med et åpent fellesavløpssystem byr på problemer. Betydelige mengder overvann overstiger kapasiteten avløpsnettene var dimensjonert for. Resultatet blir ødeleggelser og skader til milliarder av kroner hvert år.

For å utvikle gode løsninger for håndtering av overvann er det hensiktsmessig å kartlegge hvor dette overvannet vil renne og samles opp. På denne måten vet man hvor tiltakene burde plasseres, og man kan forhindre uønskede oversvømmelser.

Det finnes flere dataprogrammer med hensikt å simulere overvannets bevegelser. I denne masteroppgaven er ArcGIS og MIKE 21 benyttet til slike simuleringer. I simuleringene er det inkludert verdier som representerer overflateruhet og infiltrasjon. Disse verdiene varierer ettersom hvor i området vannet renner, og avhenger av faktorer som vegetasjon, bebyggelse og grunnforhold. Det er i denne masteroppgaven blitt undersøkt om disse parameterne har en innvirkning på omfang av oversvømmelser i Strømsø bydel i Drammen.

1.1 Målsetninger

Formålet med dette masterarbeidet var å undersøke om overflateruhet og infiltrasjon påvirker omfang av oversvømmelser i Strømsø bydel i Drammen, under et 200-årsregn med et 10-års fratrekk.

Målsetningene med masteroppgaven var å undersøke innvirkningen på oversvømmelser i Strømsø bydel av å inkludere følgende parametere:

- Overflateruhet som varierende Mannings tall
- Infiltrasjon som varierende infiltrasjonsrater

1.2 Tidligere arbeid

Det har blitt skrevet tre masteroppgaver ved Norges- Miljø og Biovitenskapelige Universitet (NMBU) med overvannsmodellering i Drammen kommune som tema. Disse oppgavene er som følger:

- Utprøving av metodikk for produksjon av aktsomhetskart for flomfare i urbane områder (Myrvoll, 2015)
- Urbane flomveier. Generering av drenslinjer for området Solumstrand i Drammen ved bruk av ArcGIS (Murtnes, 2015)
- Utprøving av metodikker for modellering av overvann i et urbant område ved bruk av ArcGIS, MIKE 21 og MIKE FLOOD (Johansen & Moldekleiv, 2016)

Masteroppgaven til Myrvoll (2015) gikk ut på utprøving av metodikk for produksjon av aktsomhetskart. Denne metodikken ble videreført i masteroppgaven til Murtnes (2015). Det har også blitt skrevet en bacheloroppgave ved Høgskolen i Østfold (HiØ) med tittelen «Analyse av overvannsstrømmer og skadedata ved hjelp av ArcGIS» (Hellesjø, et al., 2015).

Masteroppgaven til Johansen og Moldekleiv (2016) produserte en terrengmodell som bygget på metodikkene til Murtnes (2015) og Hellesjø, Myrvold, Gryga & Hystad (2015). Denne terrengmodellen ble benyttet til modellering av overvann ved bruk av ArcGIS, MIKE 21 og MIKE FLOOD. Oppgaven sammenliknet og drøftet de ulike programvarenes egnethet til modellering av overvann i et urbant område.

I denne masteroppgaven blir terrengmodellen utarbeidet av Johansen og Moldekleiv (2016) benyttet i simuleringer av oversvømmelser, drenslinjer og vannhastigheter. Denne oppgaven benytter også oppsettet i MIKE 21, med tilhørende regndata, som utgangspunkt for eget oppsett.

1.3 Analyseområde

For å utnytte de tidligere arbeidene på best mulig måte ble analyseområdet valgt innen Drammen kommune.

I denne masteroppgaven ble det lagt fokus på Strømsø bydel, som er en bydel beliggende i det lavtliggende området syd for Drammenselva. Området er av urban karakter, med bymessig bebyggelse og stor andel tette overflater. Strømsø er utpekt av Drammen kommune som særlig utsatt for oversvømmelser ved ekstremnedbør. En grunn til dette er at store mengder vann fra åsen i syd drenerer ned i dette området. Medvirkende årsaker er jernbanelinjen og E134, som fungerer som barrierer for flomvannet (Jernbaneverket, 2016).

1.4 Forutsetninger

I dette masterarbeidet har det blitt gjort visse forenklinger av virkeligheten. I forbindelse med infiltrasjon er det blitt antatt at denne er konstant, og at bakken ikke blir mettet med vann. Det blir ikke tatt høyde for løsmassenes lagtykkelse. Disse antagelsene ble tatt da det ikke ble funnet tilstrekkelig informasjon på dette området.

Regndataene fra Drammen kommune var relativt utdaterte, og det ble derfor benyttet regndata fra Asker kommune i metodikken. Disse regndataene antas å være representative for det aktuelle området. Regndataene skal representere et 200-årsregn med et fratrekk på et 10-årsregn. Det forutsettes at dette fratrekket tilsvarer vannmengden avløpsnettet i Drammen kommune er blitt dimensjonert for, og har kapasitet til.

Vannivået i Drammenselva er antatt å være konstant. Det er ikke tatt hensyn til fordampning fra overflaten.

1.5 Oppgavens oppbygning

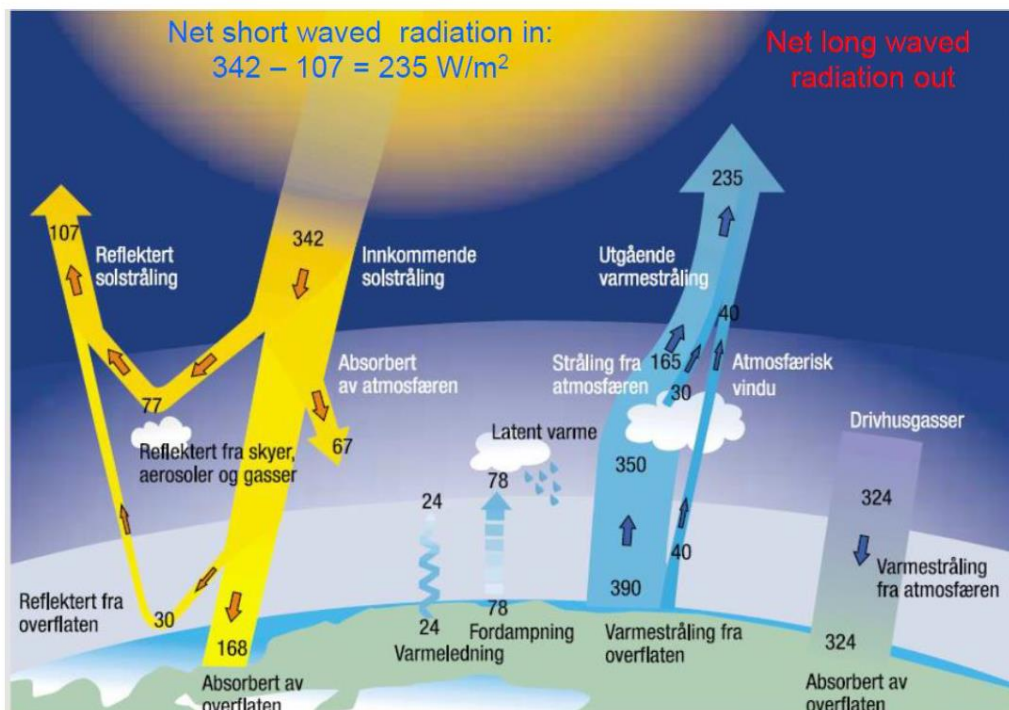
Oppgaven åpnes med en innledning som gjør rede for oppgavens problemstilling, målsetninger, forutsetninger og bakgrunn. Deretter følger en teoridel som består av bakgrunnsinformasjon for klima, overvann, hydrologi og avrenning. Den andre teoridelen beskriver programvarene som er blitt benyttet i masterarbeidet. Metodikken forklarer stegvis hvordan de to programvarene er blitt brukt i arbeidet, til den detalj at fremgangsmåten skal kunne utføres uten ytterligere opplæring. I neste del av oppgaven presenteres resultatene: analyser av oversvømmelser, drenslinjer og vannhastigheter i Strømsø bydel i Drammen. I diskusjonen drøftes resultatene, sammen med usikkerheter, forutsetninger og tanker om videre arbeid. I oppgavens konklusjon blir de viktigste funnene trukket frem og belyst. Oppgaven avsluttes med referanseliste og vedlegg.

2 Klima

Klima er et begrep som Meteorologisk Institutt definerer som «en beskrivelse av gjennomsnittsværet på ett sted eller område, slik det framkommer når enkeltobservasjoner bearbeides statistisk etter internasjonale retningslinjer» (Meteorologisk Institutt).

2.1 Klimaendringer

Naturlige klimaendringer har forekommet siden jorda ble dannet. Disse klimaendringene skyldes en ubalanse i energiutveksling mellom jorda og verdensrommet. Dette er en naturlig prosess, men etter at industrialiseringen av vårt samfunn startet for omtrent 200 år siden har menneskelig virksomhet påvirket denne energiutvekslingen i stadig økende grad (Hanssen-Bauer, et al., 2015).



Figur 2-1 Energiutveksling mellom jorda og verdensrommet. Økt utslipp av drivhusgasser gjør at mer stråling blir absorbert i atmosfæren, som bidrar til økt global oppvarming. Noen av de viktigste drivhusgassene er vandamp (H_2O), karbondioksid (CO_2) og metan (CH_4). (Kitterød, 2016)

2.2 Historikk

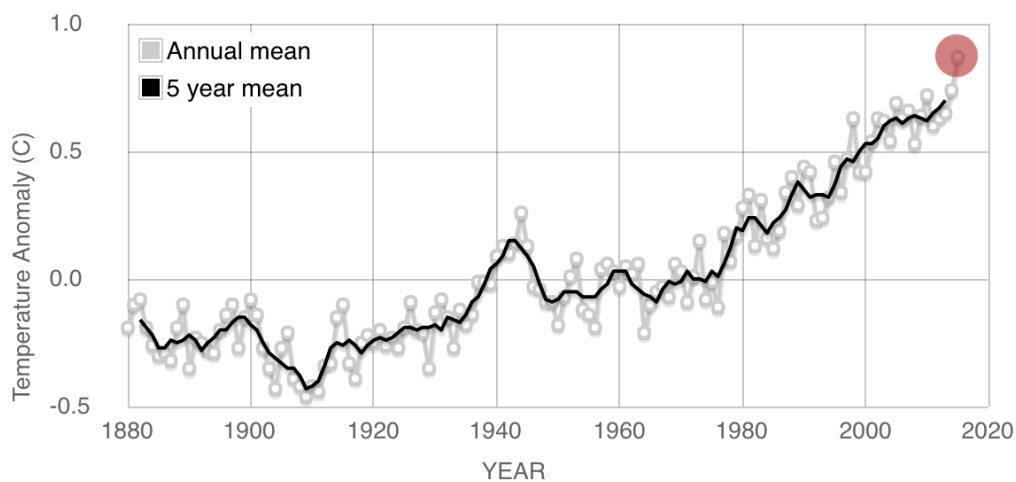
De siste 150 årene har vært preget av tegn på at jordas klima er i endring. I løpet av denne tidsperioden har den globale hav- og overflatetemperaturen steget, nedbørmengden har økt og mengde snø og is har blitt kraftig redusert. Det forekommer mer ekstremvær og det observeres økt styrke i naturlige svingninger (for eksempel El Niño). Dette er bare et utvalg av det som er blitt observert (Alfsen, 2001).

For å kunne vurdere hvilke hendelser som kan betegnes som ekstreme vil det være hensiktsmessig å vite hva som er normalt vær. Verdens Meteorologiorganisasjon (VMO) vedtok i 1936 at normalverdier

skulle beregnes for spesielle 30-årsperioder (Meteorologisk Institutt). Disse periodene er 1901-1930, 1931-1960 og 1961-1990. Neste normalperiode vil være 1991-2020. For disse periodene blir det blant annet beregnet gjennomsnittlig temperatur og nedbør.

Ved å bruke internasjonale normalperioder blir informasjon og statistikk om klima satt i system, og sammenlikninger mellom ulike normalperioder gjør endringene i klimaet lett synlige.

Siden industrialiseringen startet på 1850-tallet har den årlige gjennomsnittlige globale overflatetemperaturen steget med cirka 0,8°C (Stordahl, 2010). Dette vises i Figur 2-2. Som følge av dette har mengde is og snø på jorda blitt redusert, og havnivået har steget.

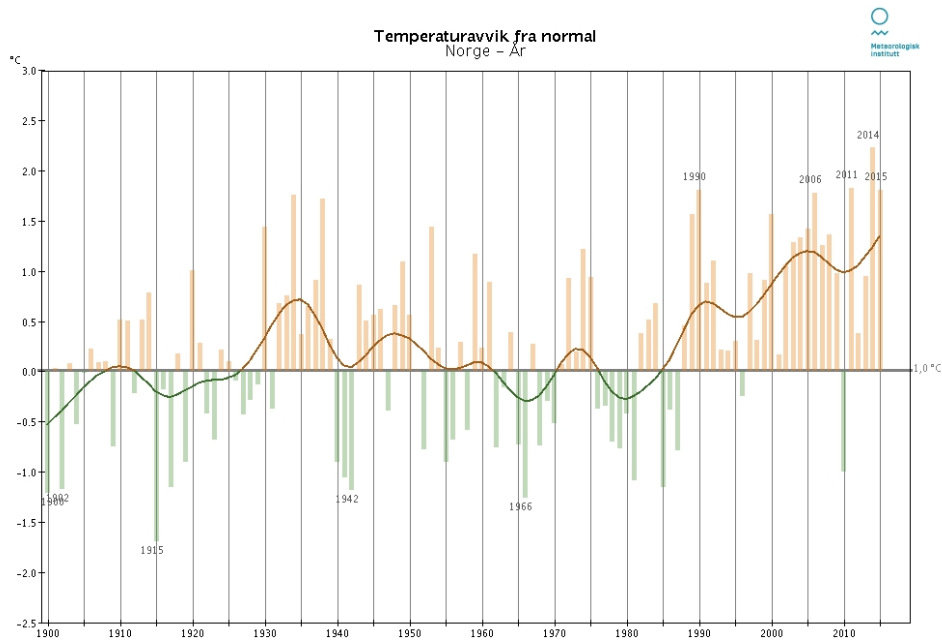


Figur 2-2 Avvik fra normalen i global overflatetemperatur i forhold til gjennomsnitt 1951-1980. Grafen viser variasjoner i endring fra år til år, men med en synlig økende trend (NASA, 2015).

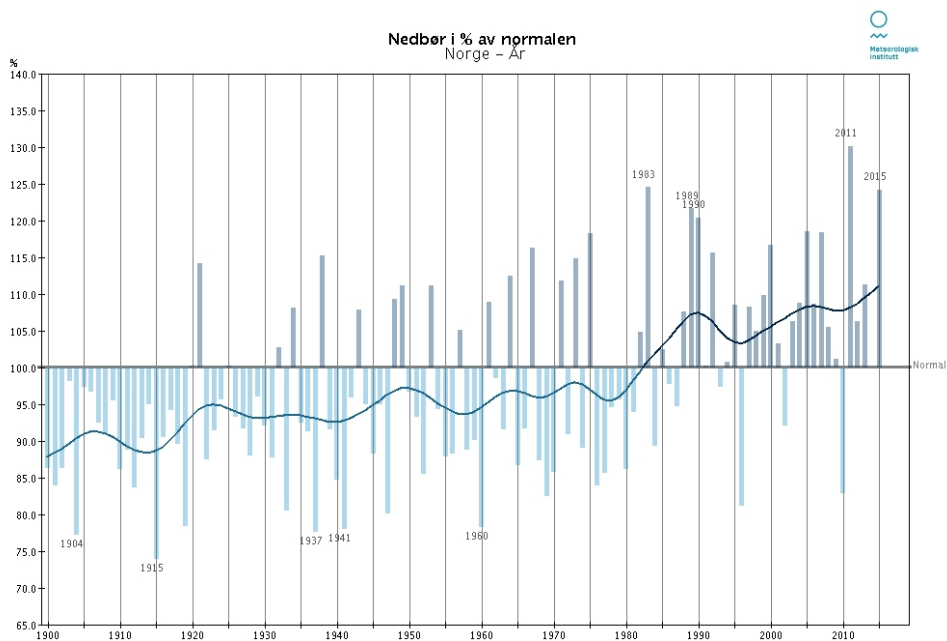
Norges plassering på den nordlige halvkule resulterer i et netto strålingstap til verdensrommet. Landet får tilført energi gjennom hav- og luftstrømmer, og variasjoner i disse strømmingene forårsaker variasjon i lokalt vær og klima. Endringer i disse strømmingene kan lede til endret form, intensitet og bane for vandrede lavtrykk, samt endringer i volum og varme i den norske Atlanterhavstrømmen (Hanssen-Bauer, et al., 2015).

Gode målinger gjør at Norges klimaendringer er blitt nøye dokumentert siden starten av 1900-tallet. Målingene viser en trend til at det blir varmere og våtere, dette er spesielt tydelig de siste 20-30 årene, som vist i Figur 2-3 og Figur 2-4.

Siden 1900 har årsnedbøren i Norge økt med cirka 18 %. Kraftig nedbør forekommer oftere, og med økt intensitet. Den økte overflatetemperaturen har ført til tidligere vårflo, og det er registrert et større antall regnflommer de siste tiårene. Høyere lufttemperatur gir utslag på permafrost, snø, isbreer og sjøis.



Figur 2-3 Temperaturavvik fra normalen i Norge i de siste 100 år. Siden 1988 har det utelukkende vært høyere temperaturer enn normalen, men unntak av årene 1996 og 2010 (Meteorologisk Institutt).



Figur 2-4 Nedbør i % av normalen i Norge i de siste 100 år. Det har siden 1980 vært betraktelig mer nedbør enn normalen (Meteorologisk Institutt).

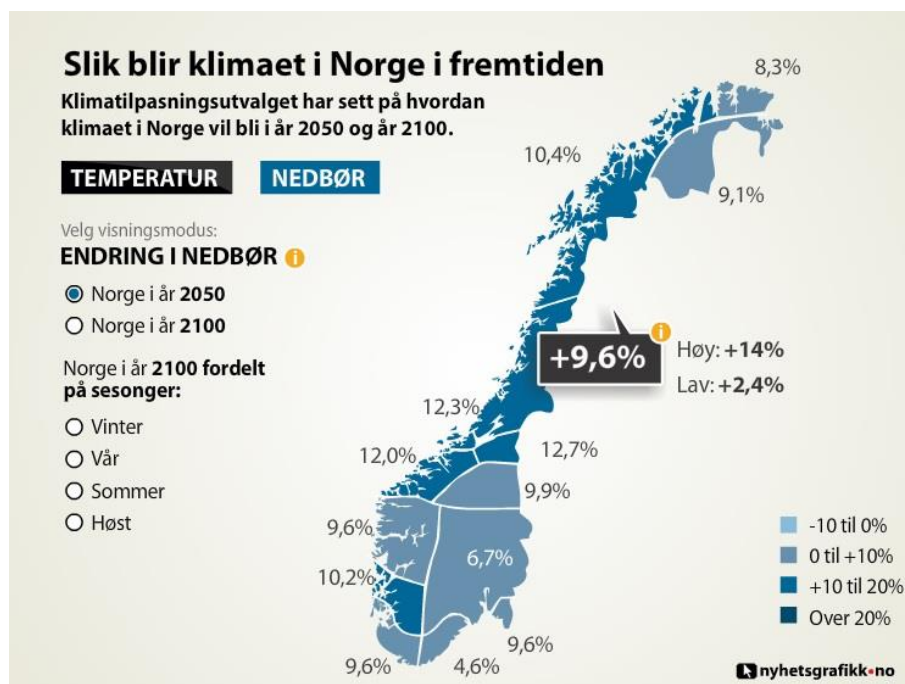
2.3 Fremtiden

Ifølge FNs klimapanel (IPCC) må den globale temperaturøkningen holdes under 2°C for å unngå farlige klimaendringer. Prognoser i klimautviklingen avhenger av hvilke antagelser som blir gjort om fremtidige klimagassutslipp. I en rapport fremlagt av IPCC blir det beskrevet fire ulike utslippsscenarioer, med anslått temperaturendring (FN-sambandet, 2016):

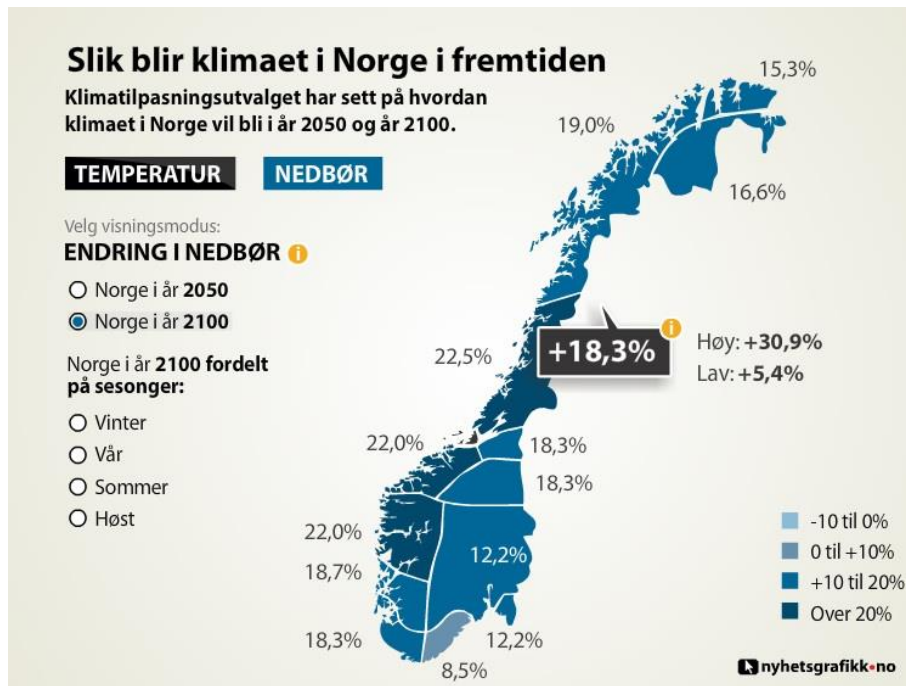
- Fortsett som før (+ 4,3°C)
- Kutt litt (+ 2,8°C)
- Kutt mye (+ 2,4°C)
- Slipp ut lite (+ 1,6°C)

Dette gir klare indikasjoner om at temperaturøkningen vil fortsette, og de tilhørende konsekvensene vil forsterkes, dersom det ikke blir gjort store tiltak for å bremse denne utviklingen.

Klimatilpasningsutvalget, opprettet av Regjeringen i 2008, har kommet frem til liknende prognoser, som vist på Figur 2-5 og Figur 2-6. Figurene viser endring i gjennomsnittlig nedbør i Norge innen 2050 og 2100. Disse prognosene avhenger av fremtidig klimagassutslipp, i tillegg til en rekke usikkerheter. Man kan likevel si med sikkerhet at Norge vil gå gjennom betydelige endringer i miljø og klima i løpet av de neste 100 år.



Figur 2-5 Forventet gjennomsnittlig økning i nedbør i Norge innen 2050 i prosent. Forventet økning er mellom 4 og 13 %, avhengig av landsdel. Størst økning er forventet på Vestlandet og Midt-Norge (Norsk Digital Læringsarena, 2011).



Figur 2-6 Forventet gjennomsnittlig økning i nedbør i Norge innen 2100 i prosent. Forventet økning er mellom 8 og 23 %, avhengig av landsdel. Størst økning er forventet på Vestlandet og Midt Norge (Norsk Digital Læringsarena, 2011).

2.4 Innvirkning på urbane områder

Et klima med økt nedbørsmengde og hyppigere episoder med ekstremvær vil øke utfordringene med overvannshåndtering (Klima- og miljødepartementet, 2015). De største utfordringene ligger i tilfeller med intens nedbør i løpet av kort tid i urbane områder. Gitt et høyt utslippsscenario antyder klimaprognoene at 3-timersnedbør med 5 års gjentakintervall vil øke med cirka 30 % i gjennomsnitt innen 2100 (Klima- og miljødepartementet, 2015). Det er ekstremværhendelser som dette som setter ledningsnett og tettbygde strøk på prøve. Ved flomsituasjoner får man blant annet store skader på veg, vann- og avløpssystem, strømmnett og kjellere, og kan også skape problemer med trafikk, næringsliv og forurensning.

3 Overvann

Norsk Vann definerer overvann som «vann som renner av på overflaten fra tak, vegger og andre tette overflater» (Norsk Vann, 2008). Mengden overvann avhenger av faktorer som nedbørsmengde, regnintensitet, topografi, infiltrasjon og ledningsnett.

Urbane og tettbeboede områder har høy forekomst av ikke-permeable overflater (eksempelvis asfalt og betong), som øker avrenningen på overflaten. Dette gjør at mesteparten av overvannet renner ned på ledningsnettet, som sjelden er dimensjonert for så store vannmengder.

Tradisjonell overvannshåndtering i tettbebygde strøk har tidligere bestått av å lede vannet ned i lukkede avløpssystem for å sikre mot oversvømmelser og vannskader. Dette har ført til økt avrenning og vannhastighet, senkning av grunnvannstand, utslipp av forurenset overvann og reduksjon av biologisk mangfold (Ødegaard, 2012).

I Norge er de fleste avløpsnett oppbygd etter «fellessystemet», der spillvann og overvann ledes til resipient/reuseanlegg i samme ledning (Ødegaard, 2012). Under tørreperioder vil alt avløpsvann ledes til reuseanlegg, men under perioder med mye avrenning fra overflaten vil fellessystemet bli overbelastet. Da avlastes deler av avløpsvannet til nærmeste vassdrag, uten rensing. Dette fører til at resipienten blir utsatt for forurensning, både fra spillvann og overflaten.

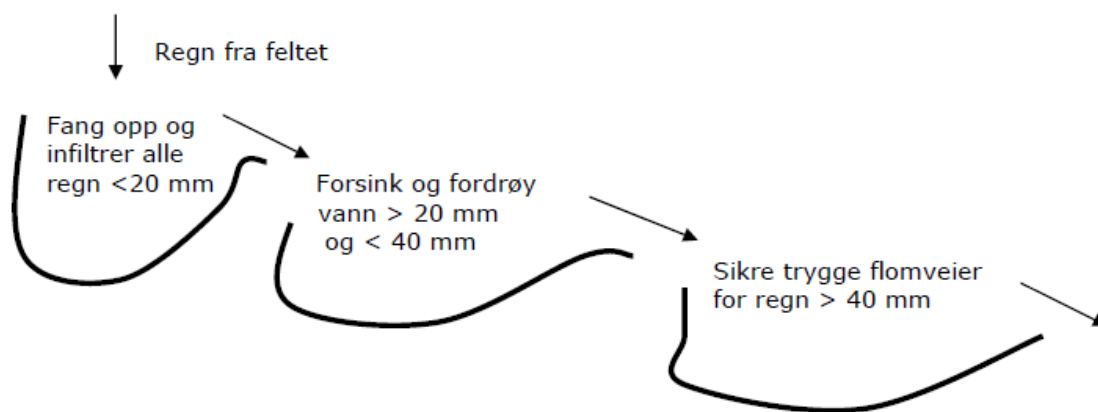
Dette er en av grunnene til å legge om avløpsnett til separatsystem, der spillvann og overvann går i separate ledninger, og risikoen for å slippe ut urensset spillvann uteblir. En aktuell løsning for å redusere overbelastning på fellessystem er lokal overvannshåndtering, der overvannet fordrøyes og forsinkes lokalt, slik at det ikke belaster ledningsnettet.

3.1 Lokal overvannsdisponering

Lokal overvannshåndtering, også kalt overvannsdisponering (LOD), innebærer å fordrøye og forsinke overvann via infiltrasjon til grunnvannet eller lede vannet til dammer og åpne vannveier (Ødegaard, 2012). Hensikten med lokal overvannshåndtering er å forhindre alvorlige skader, øke sikkerheten, redusere vannforurensning, utnytte vannet som ressurs samt styrke det biologiske mangfoldet i bymiljøet gjennom grønne tiltak (Ødegaard, 2012).

3.1.1 Tiltak

Å lede overvann til avløpet er den konvensjonelle måten å håndtere overvann på. Nyere tenkning setter fokus på at overvann ikke kun skal betraktes som et problem, men som en ressurs. Åpne, blågrønne løsninger for overvannshåndtering kan styrke naturmiljø og biologisk mangfold samtidig som det gir økt trivsel i nærmiljøet (Klima- og miljødepartementet, 2015).



Figur 3-1 Treleddsstrategi for håndtering av nedbør går ut på å redusere og forsinke avrenning ved å infiltrere mindre regn, fordrøye større regn og lede de største nedbørmengdene til trygge flomveier (Lindholm, et al., 2008).

Første ledd ved håndtering av nedbør er å fange opp og infiltrere nedbør mindre enn 20 mm via private lokale tiltak (Lindholm, 2014). Eksempler på dette er vegetasjon, grønne tak, regnbed og grøfter, samt permeable flater og dekker.



Figur 3-2 Eksempler på tiltak for lokal overvannshåndtering med hensikt å infiltrere, forsinke og fordrøye regnvannet kan være vegetasjon, grønne tak, regnbed og permeable flater (Braskerud, 2015).

Andre ledd i treleddsstrategien har som hensikt å fordrøye og forsinke nedbørmengder mellom 20 og 40 mm. Dette er større flerbruksanlegg som demper flomtoper. Andre potensielle funksjoner ved slike anlegg er rensing av overvann (for eksempel fra veg), og at de er miljøfremmende og trivselsskapende. Slike tiltak kan være åpning av bekker, fordrøyningsbassenger (eller magasiner) og grønne tak.

Ved nedbørmengder utover 40 mm skal vannet som ikke er blitt forsinket eller infiltrert ledes til sikre flomveier. I byer kan det være hensiktsmessig å senke gatenivå på enkelte strekninger og sette opp kantstein for å lede vannet i riktig retning. Flomveier bør ha kapasitet tilsvarende en 100-årsflom (Lindholm, 2014).

3.1.2 Forurensning

Overvann fra veg og andre tette urbane arealer kan inneholde tungmetaller og organiske miljøgifter. Forurensningene kommer fra kilder som atmosfærisk nedfall, avgasser og produkter fra kjøretøy og fyring. Miljøgiftene akkumuleres under tørrværsperioder. Ved nedbørshendelser skylles det av overflatene og renner ned til ledningsnett. Det første og mest forurensette overvannet ved en slik hendelse kalles «first flush», og er det vannet som fokuseres mest på i håndtering av forurenset overvann.

Det mest brukte tiltaket for begrensnig av forurensning i overvann er rensedammer, som har som hensikt å både rense og fordrøye overvann. Andre tiltak er gresskleddede forsenkninger (swales), grønne tak og regnbed (Ødegaard, 2012).

4 Hydrologi

Hydrologi er læren om vannet og omhandler nedbør, fordampning, avrenning og grunnvann (Tollan, 2009). Om hydrologiske prosesser i tettbebygde områder benyttes begrepet «urban hydrologi». Her blir vannets kretsløp preget av mangel på naturlig drenering, ikke-permeable overflater, mindre vegetasjon samt tett bebyggelse (NVE, 2015). Dette forstyrrer kretsløpets naturlige treghet, og vannbalansen blir påvirket. De hydrologiske effektene av dette er økt avrenning fra overflaten, redusert infiltrasjon til grunnen, redusert evapotranspirasjon og senket grunnvannsnivå (Bøyum, et al., 1997).

4.1 Hydrologiske prosesser

Vannbalansen regnes som differansen mellom tilført og tapt vann i vannets kretsløp. Over et langt perspektiv uttrykker vannbalansen at nedbøren (P) er lik evapotranspirasjonen (E). Ved kortere tidsløp må det tas høyde for avrenning (R). Usikkerhet (Σ) skal inkluderes (Kitterød, 2016).

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

Formel 4-1 Vannbalansen (Kitterød, 2016).

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

Formel 4-2 Vannbalansen med hensyn til endring i lagring (ΔS) (Kitterød, 2016).

4.2 Nedbørstyper

I Norge faller det i gjennomsnitt 1450 mm nedbør per år. Nedbørsmengdene er betydelig større på kysten enn i innlandet, og varierer ut fra årstid og lokasjon. Etersom mesteparten av overflateavrenning har opphav i nedbør er karakterisering av nedbørstyper viktig. Ulike nedbørstyper varierer i intensitet, varighet og bevegelse (Ødegaard, 2012).

Konvektiv nedbør

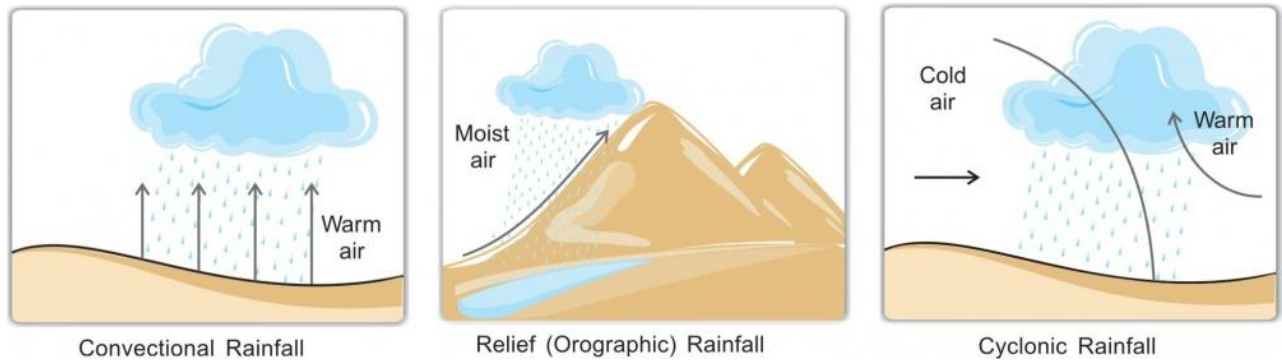
Konvektiv nedbør oppstår om sommeren når bakken varmes opp av sola. Luften nærmest bakken blir oppvarmet og stiger oppover til den avkjøles så mye at fuktigheten slippes ut som nedbør. Dette gir korte, intense nedbørshendelser som ofte forekommer på ettermiddagstid om sommeren (Ødegaard, 2012).

Orografisk nedbør

Når fuktige luftmasser tvinges opp av fjell eller andre hindringer oppstår orografisk nedbør. Denne nedbørstypen er typisk for Vestlandskysten, og kan ved større nedbørsmengder forekomme i kombinasjon med frontnedbør (Ødegaard, 2012).

Frontnedbør

Frontnedbør oppstår når varm og kald luft kolliderer, og inndeles i varm- og kaldfronter. Ved varmfronter blir varm luft presset opp over kaldere luft med høyere tetthet. Når luften avkjøles faller den ned som snø eller regn. Typisk for varmfrontnedbør er lang varighet og lav intensitet. Kaldfronter presser kald vind under varm luft. Dette gir en rask stigning av varme luftmasser, og fører til korte og intense nedbørshendelser over et mindre område. Denne nedbørstypen kan bli forsterket av konveksjon eller orografiske effekter (for eksempel fjell) (Hendriks, 2010).



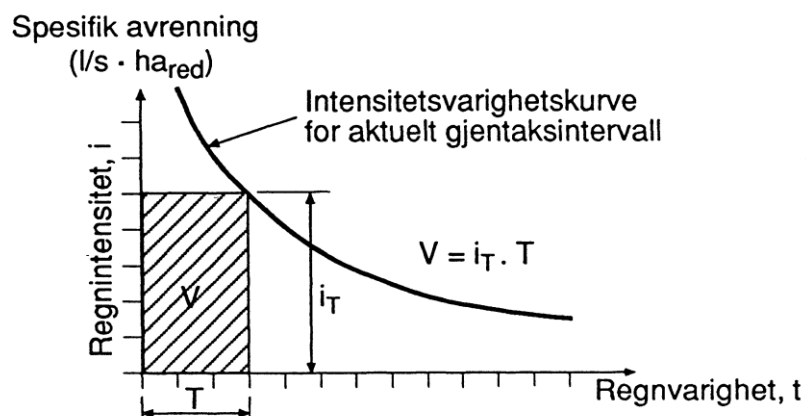
Figur 4-1 De tre hovedtypene med nedbør er konvektiv nedbør, orografisk nedbør og frontnedbør (Nirman, 2014).

4.3 Typeregner

Et typeregner er et konstruert regn som benyttes for å etterlikne en reell nedbørshendelse. Ved konstruksjon av slike regner tas det ofte utgangspunkt i (nedbør)intensitet-varighet-frekvens-kurver (IVF-kurver) (Nielsen, 2013).

Blokk-/kasseregner

Kasseregner er et enkelt typeregner med konstant nedbør over en bestemt tidsperiode. Kasseregner konstrueres ved å tegne et rektangel under IVF-kurven, som gjør at nedbørintensiteten bestemmes ut fra regnets varighet (Nielsen, 2013).

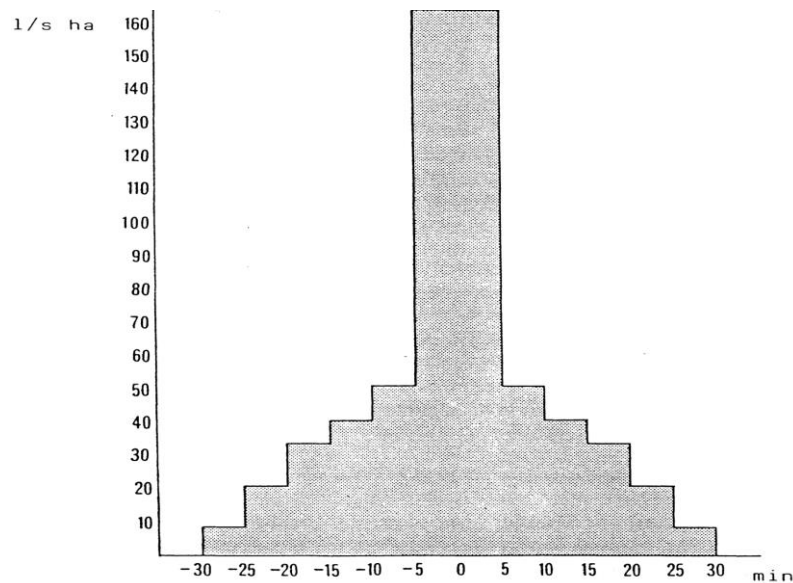


Figur 4-2 Konstruksjon av kasseregner fra IVF-kurve, der det skraverte rektangelet representerer kasseregnet (Bøyum, et al., 1997).

Regnhyetogram

Et regnhyetogram er en grafisk fremstilling av et regnforløp, med tid i minutter og regnintensitet i mm/time som X- og Y-akse. Diagrammet fremstilles fra en IVF-kurve, og er ofte symmetrisk om midtaksen (Bøyum, et al., 1997).

Denne metoden gir dimensjonerende vannføring i alle punktene på ledningsnettets i én enkelt analyse. Dette gir maksimal vannføring og et mer realistisk avrenningsforløp enn «kasseregner», som kun kan gi dimensjonerende vannføring i et enkelt punkt (Bøyum, et al., 1997).



Figur 4-3 Et regnhyetogram for 10-årsfrekvensen for Blindern i Oslo som er symmetrisk om midtaksen (Bøyum, et al., 1997).

4.4 Avrenning

4.4.1 Den rasjonelle formel

Ved utregning av avrenningen Q på felt mindre enn 2-5 km² kan den rasjonelle formel benyttes. Dersom nedbørsfeltet overstiger denne størrelsen blir usikkerheten for stor, og det burde benyttes en elektronisk databehandlingsmodell (EDB), som for eksempel MOUSE (Bøyum, et al., 1997).

$$Q = C \cdot i \cdot A \cdot K_f$$

Formel 4-3 Den rasjonelle formel (Statens Vegvesen, 2014).

C = avrenningsfaktor (dimensjonsløs)

i = dimensjonerende nedbørintensitet (l/(s·km²))

A = feltareal (km²)

K_f = klimafaktor (%)

Avrenningsfaktoren C beskriver hvor mye nedbør som dreneres gjennom området, og varierer ut fra blant annet vegetasjon, terrengtype og helning. Flate og permeable overflater med stor avstand til grunnvannsnivået har lav avrenningsfaktor. Den laveste avrenningsfaktoren finner vi hos dyrket mark, med faktor på 0,05-0,25. Hustak og gatedekke har avrenningsfaktor på 0,85-0,90 (Sæterbø, et al., 1997).

Nedbørintensiteten multiplisert med klimafaktoren K_f gir et mål på forventet nedbør i fremtiden. Klimafaktoren er oppgitt som prosentfaktor, og er avhengig av blant annet nedbørens gjentakintervall, varighet, lokasjon, referanseperiode, scenarioperiode og klimamodell (Hanssen-Bauer, et al., 2015).

Nedbørintensiteten for nedbørfeltet hentes fra lokale IVF-kurver.

4.4.2 Ruhet

Overflatens ruhet påvirker hvor raskt vannet beveger seg på overflaten. Overflateruhet blir også omtalt som overflatens motstand. Ruhet kan blant annet uttrykkes ved Mannings tall M , som er metoden benyttet i denne oppgaven (Sæterbø, et al., 1998). Mannings tall M beregnes ved Mannings formel:

$$Q = AMR^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Formel 4-4 Mannings formel (Sæterbø, et al., 1997).

$Q =$ vannføring (m^3/s)

$A =$ vått tverrsnitt (m^2)

$M =$ Mannings tall (dimensjonsløs)

$R =$ hydraulisk radius (m)

$I =$ fall (h_f/L)

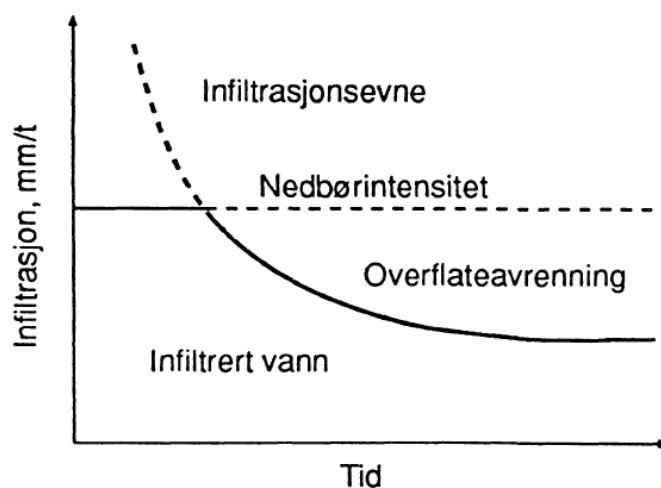
Jo høyere Mannings tall, dess lavere ruhet. Lav ruhet tilsier at vannet vil bevege seg raskere på overflaten. For eksempel vil vann strømme raskere over glatt betong enn gjennom gress.

Tabell 4-1 Estimerte Mannings tall for ulike overflater. Et høyt Mannings tall M uttrykker lav overflateruhet, som gjør at vannet strømmer raskere. Et lavt Mannings tall M uttrykker høy overflateruhet, som bremser vannhastigheten.

Arealbruk	Arealforklaring	Mannings koeffisient n	Mannings tall M (n^{-1})	Kilde
Bygninger	Eneboliger, blokker, industri, kontor e.l.	0,33	3	(Filipova, 2012)
Vannflater	Hav, innsjøer, elver, dammer e.l.	0,0133	75	(Filipova, 2012)
Veger	Areal benyttet til veger	0,014	71	(Filipova, 2012)
Skog	Areal med minst 6 trær per dekar med minimumshøyde 5 m	0,03-0,2	5-33	(Sæterbø, et al., 1998)
Fulldyrket jord	Jordbruksareal	0,02-0,05	20-50	(Sæterbø, et al., 1998)
Annet	Øvrig areal	0,1	10	(Johansen & Moldekleiv, 2016)

4.4.3 Infiltrasjon

Infiltrasjon er en viktig hydrologisk prosess med betydelig innvirkning på overflateavrenning. Ettersom bakken blir stadig fuktigere og mer mettet med vann under en nedbørshendelse vil infiltrasjon til grunnen minke med tiden (Bøyum, et al., 1997).



Figur 4-4 Infiltrasjonsevne i jorda under konstant nedbørintensitet. Bakken blir gradvis mettet med vann som fører til at infiltrasjonsevnen minker (Bøyum, et al., 1997).

Ifølge NVEs publikasjon om urbanhydrologi (1997) avhenger bakkens evne til infiltrere vann av:

- Jordart og lagdeling
- Vegetasjon og terrengutforming
- Struktur og sammenpakning
- Markfuktighet
- Årstid

Infiltrasjonsraten beskriver hvor raskt vannet trenger ned i jorda og beregnes med Hortons likning:

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

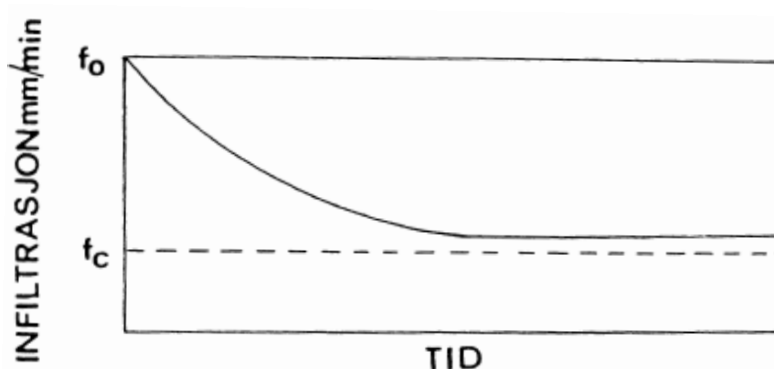
Formel 4-5 Hortons likning

f = infiltrasjonshastigheten (mm/min)

f_0 = initialinfiltrasjonen (mm/min)

f_c = avsluttende infiltrasjon (mm/min)

k = reduksjonskomponent (min)



Figur 4-5 Grafisk fremstilling av Hortons likning viser at infiltrasjonsevnen under en nedbørshendelse minker eksponensielt til den oppnår avsluttende infiltrasjon (likevekt) (Bøyum, et al., 1997).

Stor kornstørrelse kombinert med løs sammenpakning av godt sortert grus og sand er forhold velegnet for infiltrasjon. Jevnstore hulrom mellom kornene gir høy permeabilitet og vannet får god mulighet for gjennomstrømming (Prestvik & Trømborg, 1999).

Tabell 4-2 Maksimale infiltrasjonsrater i ulike jordteksturer i mm/time. Tabellen viser at jordarter med små og tettpakkede partikler som for eksempel leire har lave infiltrasjonsrater. Jordarter med velsortert sand og grus har høye infiltrasjonsrater (Brennhovd, 2014).

Jordtekstur	Maksimal infiltrasjonsrate (mm/t)		
	Sandjord	Mellomleire	Leire
Tørr jord	127	76,2	25,4
Tørr jord med tett vegetasjon	254	152,4	50,8
Fuktig jord der jorda har drenert	Tørr jord/3	Tørr jord/3	Tørr jord/3
Fuktig jord opp mot metning	Min. infiltrasjon	Min. infiltrasjon	Min. infiltrasjon
Fuktig jord som nesten er tørket ut	Tørr jord / 1,5-2,5	Tørr jord / 1,5-2,5	Tørr jord / 1,5-2,5

Tabell 4-3 Minimale infiltrasjonsrater for ulike jordteksturer i mm/time. Under forhold med is og frossen bakke vil infiltrasjonsratene for samtlige jordarter være lik 0, og overvann vil renne på overflaten (Brennhovd, 2014).

Jordtekstur	Minimal infiltrasjonsrate (mm/t)
Sand	120,4
Siltig sand	30,0
Sandig leire	10,9
Lett leire	3,3
Sandig mellomleire	6,6
Mellomleire	1,5

4.4.4 Løsmassetyper

Løsmasser blir gjerne inndelt etter hvordan de ble dannet. Avsetninger med likt opphav innehar ofte de samme egenskapene innen struktur og sammenpakning, og har dermed relativt lik permeabilitet og infiltrasjonsevne (Prestvik & Trømborg, 1999).

Havavsetninger

Havavsetninger er materiale avsatt på havbunnen, og stammer ofte fra elver. Der elven munner ut i havet skjer det en sortering (Prestvik & Trømborg, 1999). Havavsetninger kan bestå av materiale fra land (grus, sand og leire), samt biologisk materiale fra dyr og planter. De finere delene av materialet vaskes ut på dypere vann, som gjør at grus og sand dominerer i strandsonen. De finkornede avsetningene på dypt vann er leire og silt, som er hovedkomponentene i havavsetninger (Jørgensen, et al., 2013). Hvor man finner havavsetninger avhenger i stor grad av hvor den marine grensen går. Marin grense representerer det høyeste nivået havet oppnådde ved siste istid, og er dermed det høyeste nivået for løsmasser fra fjord- og havavsetninger (Geonorge, 2016a). Leire og silt har liten kornstørrelse og er ofte tett sammenpakket. Dette fører til dårlig permeabilitet. Ettersom infiltrasjon er avhengig av permeable løsmasser er leire et dårlig infiltrasjonsmedium.

Elveavsetninger

Elver og bekker frakter med seg store mengder stein, grus og sand både i vannmassene (suspensjonstransport) og langs bunnen (bunntransport). Der elvens strømhastighet reduseres, for eksempel i flatere områder, mister elven grep om steinmaterialet, og det blir lagt igjen som elveavsetninger. Steinmateriale med lik tetthet og størrelse blir avsatt på bunnen sammen, som gjør elveavsetninger velsorterte (Jørgensen, et al., 2013). Jo finere materiale, dess lenger vil det fraktes med vannmassene. Elveavsetninger består typisk av finkornet sand, og kan inneholde lag av leire og organisk materiale. Infiltrasjonsevnen til elveavsetninger avhenger av forholdet mellom sand og leire, men er generelt karakterisert som god.

Strandavsetninger

Strandavsetninger dannes av bølger og strøm i strandsonen. Bølgene slår inn på steinmaterialet, vasker ut finmaterialet og sliper steinene runde. Avsetningene består av rundvasket grus og sand, som ofte ligger over et leirelag (Prestvik & Trømborg, 1999). Grunnet dette laget med leire har strandavsetninger relativt lav infiltrasjonsevne.

5 Programvare

I denne masteroppgaven blir programvarene ArcGIS og MIKE 21 benyttet for å modellere overvann. ArcGIS er et kartprogram, som ble benyttet til oppbygging av modeller som skulle benyttes til simulering i MIKE 21. I dette kapittelet blir de forskjellige programvarenes hensikt, prinsipper og funksjoner gjennomgått i korte trekk.

5.1 ArcGIS Desktop

5.1.1 Geografiske Informasjonssystemer

Et geografisk informasjonssystem (GIS) benytter programvare for å samle inn, organisere, analysere og presentere informasjon. Geografisk data er informasjon som kan stedsfestes, tidsfestes og som inneholder egenskaper til objekter (Tenge, 2005). Dette gjelder i mange tilfeller geografisk romlig eller stedfestet data i forbindelse med arealplanlegging og forvaltning. GIS kan også benyttes på ikke-geografisk informasjon som for eksempel menneskekroppen, DNA og astronomi (Ørstavik, 2015).

ArcGIS er en GIS-programvare fra det amerikanske teknologiselskapet Esri. Programvaren er tilgjengelig på PC (ArcGIS Desktop), web (ArcGIS Online), mobiltelefon (ArcGIS for Mobile) og server (ArcGIS for server) (Esri, 2016a).

5.1.2 ArcMap

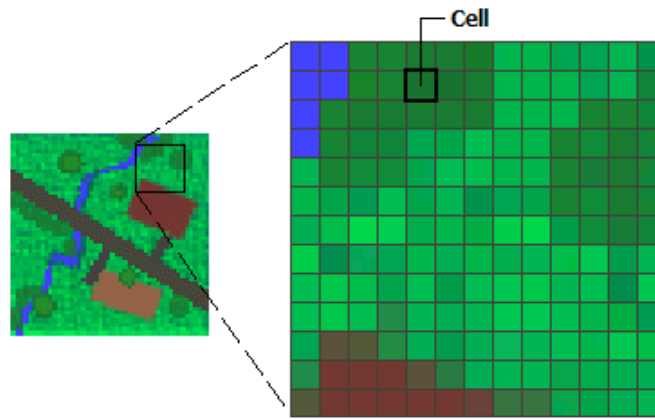
ArcMap er hovedapplikasjonen i ArcGIS for Desktop, og det er den delen av programvaren som er blitt benyttet i masterarbeidet. ArcMap benyttes til kartbehandling av geografiske data. Applikasjonen er kompatibel med en rekke ulike formater, og det kan legges til data fra geodatabaser, shapefiler og temalag (Esri, 2016d).

Vektordata

Vektordata består av objekter som fremstilles med punkter, linjer og polygoner, og plasseres på jordoverflaten gjennom X- og Y-koordinater (Esri, 2016a).

Rasterdata

Rasterdata representerer en forenkling av jordoverflaten som et rutenett av kvadratiske celler med lik størrelse. Hver celle representerer informasjon i form av en verdi, for eksempel temperatur eller høyde (Esri, 2016b).



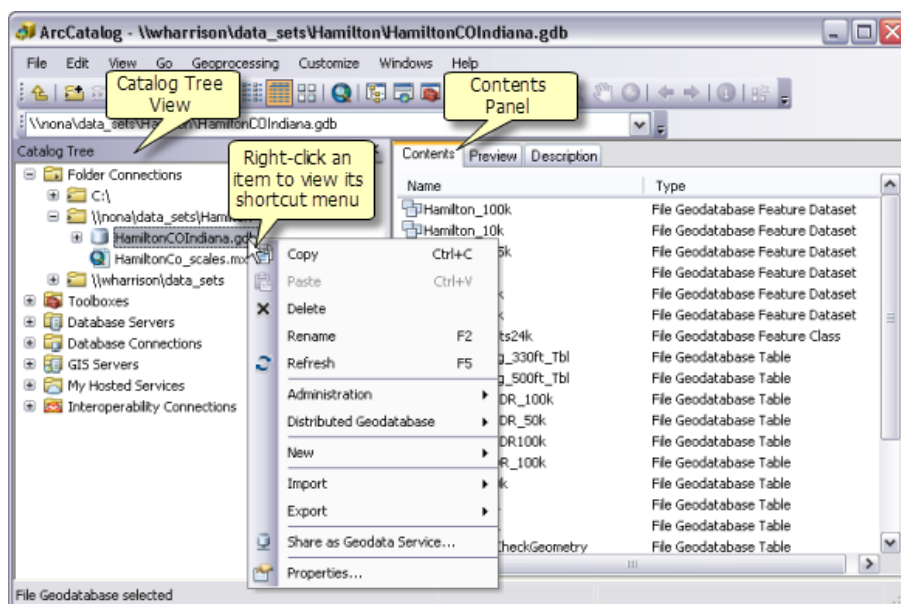
Figur 5-1 I rasterdata fremstilles overflaten som et forenklet rutenett der hver celle representerer informasjon i form av en verdi (Esri, 2016b).

5.1.3 ArcCatalog

ArcCatalog er et organiseringsverktøy som benyttes for å organisere og administrere ulike typer geografiske data ved bruk av ArcGIS for Desktop. Verktøyet kan brukes direkte i ArcMap, eller åpnes i et separat vindu fra datamaskinens startmeny.

Katalogen inneholder geografiske data i form av (Esri, 2016c):

- Geodatabaser
- Rasterfiler
- Kart
- Geoprosesserende verktøykasser (geoprocessing toolboxes), modeller og Python-skript
- GIS-tjenester benyttet i ArcGIS for Server
- Metadata



Figur 5-2 ArcCatalog åpnet som eget vindu fra startmenyen (Esri, 2016c).

5.1.4 ArcToolbox

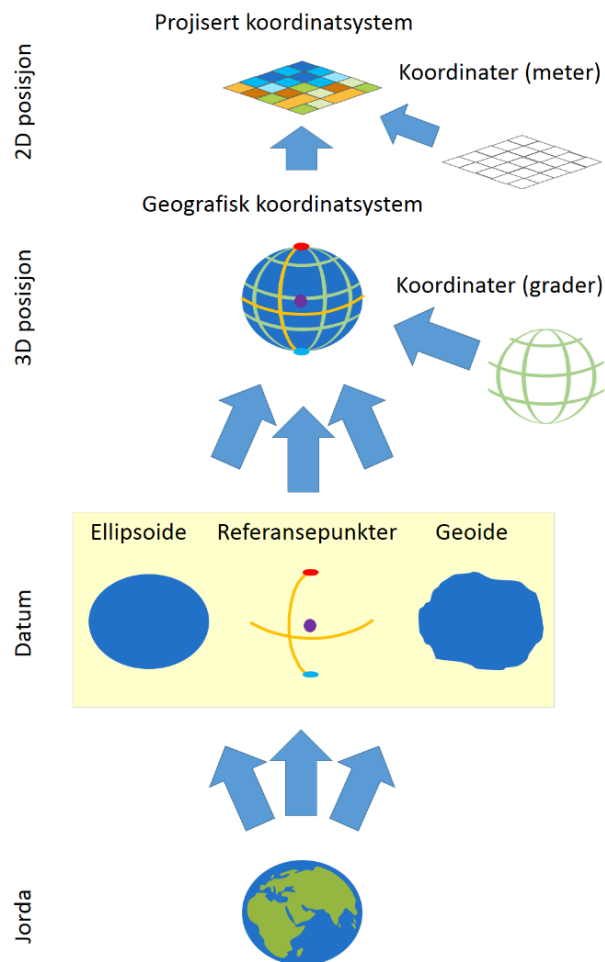
ArcToolbox gir brukeren tilgang på en rekke ulike verktøykasser knyttet til analyse og modellering. I denne masteroppgaven ble ArcMap benyttet til oppretting av modeller for ruhet og infiltrasjon. Verktøyene benyttet i oppgaven er beskrevet i Tabell 5-1.

Tabell 5-1 ArcGIS-verktøy benyttet i denne masteroppgaven med tilhørende funksjoner (Esri, 2016d).

Verktøy	Funksjon
Polygon to Raster	Konverterer et valgt polygon til et raster-datasett
Reclassify (3D Analyst)	Erstatter (reklassifiserer) verdiene i et raster med nye verdier
Plus (Spatial Analyst)	Summerer verdiene til to raster-datasett
Raster to ASCII	Konverterer et raster-datasett til en ASCII-tekstfil som representerer rasterdataen
Clip	Klipper ut et utsnitt av et lag/feature med et annet lag/feature som referanse

5.2 Koordinatsystemer

Koordinatsystemer benyttes til å angi nøyaktige posisjoner på jordas overflate. Grunnlaget for et koordinatsystem kalles datum, og består av referanseellipsoide og fastmerker. En referanseellipsoide er en matematisk modell over jordas overflate. Fastmerkene plasserer punkter som Nordpolen, Sydpolen, ekvator og nullmeridianen på denne modellen. Enkelte koordinatsystemer inneholder også en geoide, som forestiller overflaten til jordas gravitasjonsfelt (Geodata, 2016a).



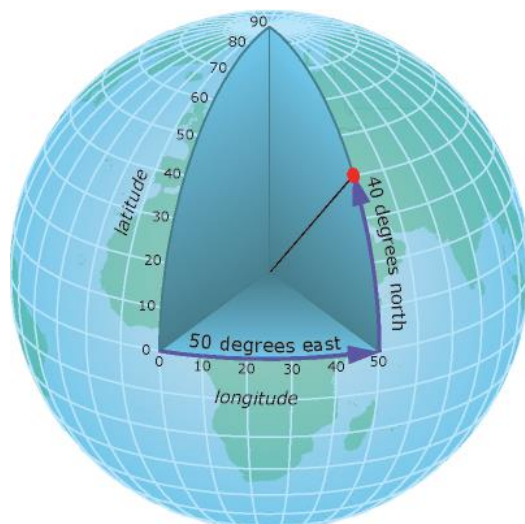
Figur 5-3 Oppbygning av et koordinatsystem. For å angi nøyaktige posisjoner på jorda benyttes datum til å bygge opp koordinatsystem i to og tre dimensjoner (Geodata, 2016a).

5.2.1 Geografiske koordinatsystemer

Et geografisk koordinatsystem (GCS) beskriver en tredimensjonal geografisk plassering på jordas overflate ved hjelp av skjæringspunktet gjennom en linje bestemt ut fra breddegrad, lengdegrad og ellipsoide (Geodata, 2016b).

Enheter brukt for å uttrykke bredde- og lengdegrader er desimalgrader eller grader, minutter og sekunder. Nullmeridianen for lengdegraden går gjennom Greenwich i London og regnes som 360 grader østover. Breddegraden regnes som null ved ekvator, og går fra 0 grader ved ekvatorlinjen og til 90 grader ved Nord- eller Sydpolen.

Geografiske koordinatsystemer er ofte navngitt etter hvilket datum de er basert på (Esri, 2016e).



Figur 5-4 Illustrasjon over lengdegrader (fra vest til øst) og breddegrader (fra nord til syd) (Esri, 2016f).

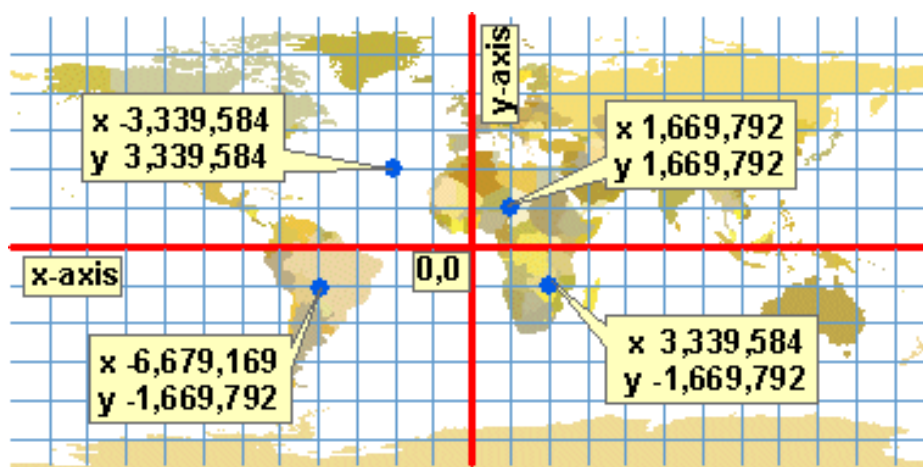
5.2.2 Projiserte koordinatsystemer

Et projisert koordinatsystem er definert på en flat, todimensjonal overflate, og har konstante målbare lengder, vinkler og arealer. Projiserte koordinatsystemer er basert på geografiske koordinatsystemer, men med hensikt å bruke systemet til å angi avstand og areal direkte. Et projisert koordinatsystem er et todimensjonalt kart angitt med en lineær enhet som for eksempel meter.

Et projisert kart innehar ifølge Geodata (2016b) fire egenskaper:

- Formlikhet
- Areallikhet
- Avstandslikhet
- Retning

Plasseringer på et slikt kart bestemmes ut fra X- og Y-koordinater på et rutenett, med origo (0,0) plassert midt i kartet.



Figur 5-5 Projiserte koordinatsystemer er basert på kartesiske koordinater der origo er plassert midt i verdenskartet (Albrecht, 2005).

5.2.3 Relevante datum og projeksjoner

EUREF89

EUREF89, eller ETRS89, står for «European Terrestrial Reference System» er et geodetisk datum. Datomet tar utgangspunkt i moderne og nøyaktige satellittmålinger over Europa. EUREF89, sammen med projeksjon UTM, ble i 1993 innført som Norges offisielle koordinatsystem (Mæhlum, 2015).

WGS84

WGS84 er forkortet fra “World Geodetic System”. Datomet er et globalt koordinatsystem utviklet av det amerikanske forsvarsdepartementet, som benyttes sammen med kartprojeksjonen UTM. WGS84 ble først utgitt i 1984, og en revidert utgave kom i 2004 (National Geospatial Intelligence Agency, 2016).

UTM

Kartprojeksjonen UTM er forkortet fra «Universal Transversal Mercator». Systemet deler jordoverflaten opp i 60 soner med 3 graders mellomrom. Alle sonene har hvert sitt koordinatsystem hvor ekvator defineres som origo. Norge dekkes av sone 32 til 36 (Strømsholm, 2010).

5.3 FLS – Flybåren Laserskanning (LiDAR)

Flybåren laserskanning benytter infrarødt laserlys til oppmålinger av terreng. Laseren (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) sender ut flere hundre tusen laserpulser hver sekund, og gir en tredimensjonal oppmåling av overflaten. Flybåren laserskanning blir også omtalt som LiDAR, som er en sammensetning av ordene «Light» og «Radar» (Terratec, 2016).

Den digitale terrengmodellen benyttet i denne oppgaven er basert på LiDAR-oppmålinger utført av Terratec AS.

5.4 FKB - felles kartdatabase

Felles kartdatabase er Norges offentlige kartverk i digital form. Datasettene kan inneholde karttemaer som høyde, innsjøer og vassdrag, bygg og anlegg, arealbruk og samferdsel (Geonorge, 2016b). Datasett er markert med FKB-standarden, som bestemmer hvor høy stedfestingsnøyaktigheten er på de ulike karttemaene.

Terrengmodellen benyttet i denne masteroppgaven ble bygget opp av laserdata, og er supplert med fire ulike FKB-datasett for veg, jernbane, bygg og vannflater. All FKB-data foreligger i koordinatsystemet EUREF89 UTM, sone 32 med høydedatum NN2000 (Johansen & Moldekleiv, 2016). Modellene for overflateruhet og infiltrasjon ble bygget opp av samme FKB-data benyttet i terrengmodellen, og ble i tillegg supplert med FKB-data med arealressurser og løsmasser.

5.5 Aktsomhetskart for flom

Et aktsomhetskart inneholder informasjon om området som er relevant for flomfare. Nedbørsfelt forteller om størrelsen på avrenningen i det aktuelle området. Drenslinjer markeres for å vise vannets naturlige vei på terrengoverflaten, mens forsenkninger viser hvor det kan forekomme vanndammer.

Aktsomhetskart benyttes i forbindelse med kommune- og reguleringsplaner, by- og arealplanlegging, konsekvensutredning, risiko- og sårbarhetsanalyser og prosjektering (Pedersen, 2016).

Aktsomhetskart tar utgangspunkt i en digital terrengmodell (DTM) som sammen med enkelte programvarer vil kunne analysere terrenget og andre faktorer og gi informasjon om vannets mengde, dybde og hastighet på overflaten. Hvilke faktorer som blir lagt til grunn for analysen avhenger av hvilken programvare som blir benyttet.

Programvaren ArcGIS er ofte brukt til dette formålet, og krever ikke høy ekspertise eller omfattende opplæring.

5.6 MIKE 21

MIKE Powered by DHI er en gruppe modelleringsprogramvarer utviklet av DHI. Programvarene er knyttet til hydrauliske beregninger i to og tre dimensjoner, og brukes til flere vannrelaterte formål som blant annet overvannshåndtering, grunnvann og transport av drikke- og avløpsvann. MIKE kan også benyttes til simulering av fysiske, kjemiske og biologiske prosesser, for eksempel ved optimalisering av renseprosesser (DHI, 2016a).

I denne masteroppgaven ble beregningsmotoren MIKE 21 Flow Model benyttet til simulering av vannivå og overvannsstrømninger ved nedbørshendelser.

5.6.1 MIKE 21 Flow Model

MIKE 21 Flow Model er et modelleringsmotor for todimensjonale strømninger. Programmet består av en hydrodynamisk modul som simulerer variasjoner i vannivå og vannstrømninger, og er utviklet med hensikt å simulere hydrauliske scenarioer i innsjøer, hav og kystområder. MIKE 21 har i tidligere masteroppgaver blitt benyttet til simulering av overvannsstrømninger, der dette har vært ansett som vellykket (Filipova, 2012; Gunnarsson, 2015; Johansen & Moldekleiv, 2016).

5.6.2 Parametere i MIKE 21

En rekke av parameterne i MIKE 21 Flow Model bærer preg av at programmet er ment for å bli benyttet til simuleringer i marine områder. Det er derfor flere parametere som ikke blir benyttet i simuleringene knyttet til denne masteroppgaven. Nærmere beskrivelser av tilpasning av parameterne tilknyttet denne masteroppgaven er å finne i metodikken i kapittel 6.

Basic Parameters

Module Selection

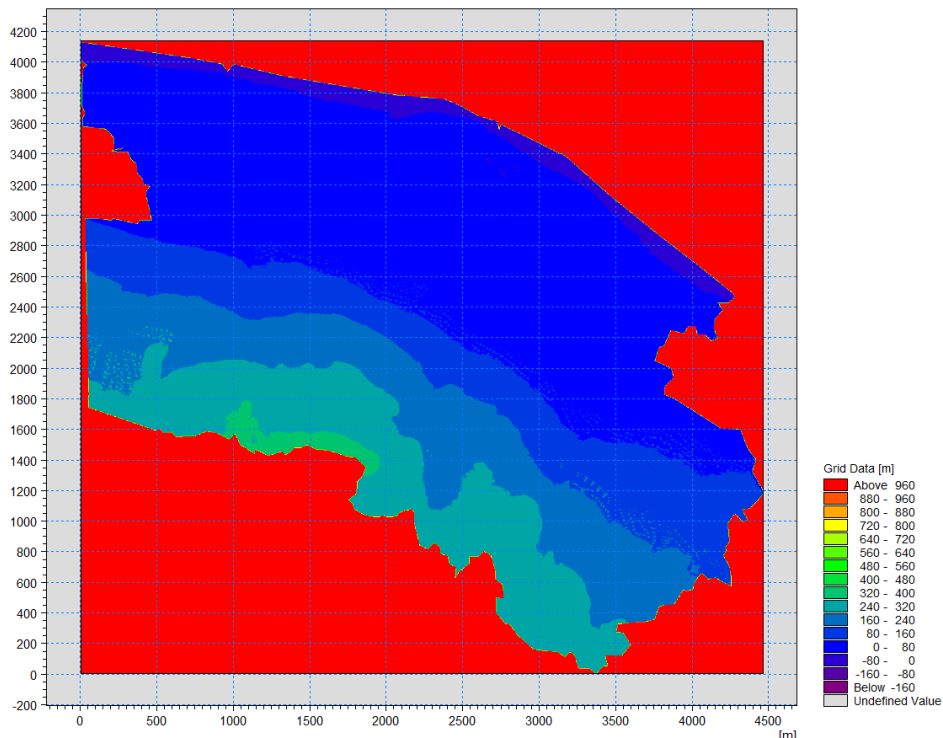
Her velger man hvilken hydrodynamisk modul man ønsker å benytte i simuleringen. Ved simulering av overflatestrømninger hukes det av på «Inland Flooding», som fører til at funksjoner knyttet til bølger og vind blir deaktivert (DHI, 2016b).

Bathymetry

Batymetri betyr dybde data, og beskriver utformingen av havbunnen. I simuleringer av overflatestrømninger vil dette tilsvare terrengets topografi, og derfor legges det i slike tilfeller inn et terrengraster laget i ArcMap og MIKE Zero Toolbox.

Batymetrien inneholder informasjon om (DHI, 2016b):

- Geografisk posisjon
- Orientering av rutenett
- Prosjeksjonssonen
- «True land value», som representerer minimumsverdien spesifisert for landnivå



Figur 5-6 Topografi over et område i Drammen fremstilt i et batymetri med høydedata vist i forskjellige farger (Skjermdump).

Simulation Period

Under denne fanen blir følgende informasjon spesifisert (DHI, 2016b):

- Start, slutt og intervall på simuleringens tidssteg
- Simuleringens start- og sluttdato
- Antall tidssteg på oppvarmingsfase hvor funksjoner og verdier gradvis økes fra 0 til 100 %
- Courants tall

I tilfeller der det benyttes en regnfil til simuleringer må simuleringsperioden tilsvare varigheten for regnfilen.

Boundary

For å kunne kjøre en simulering krever programmet at det spesifiseres om simuleringen har naturlige grenser gjennom høydeforskjeller eller om det skal være «fri flyt» gjennom hele området. Programmet kan enten finne slike høydeforskjeller automatisk («Program Detected»), eller brukeren kan sette inn egne grenseverdier («User Specified») (DHI, 2016b).

Source and Sink

MIKE 21 Flow Model skiller mellom tre ulike typer kilder og forsengkninger/utløp (DHI, 2016b):

- Isolert kilde: et punkt hvor det tilføres en bestemt mengde vann inn til modellen, med en bestemt hastighet.
- Isolert forsenkning/utløp: et punkt hvor vann forsvinner ut av modellen.
- Sammenkobling av kilde og forsenkning/utløp: vann som forsvinner ut av modellen gjennom et utløp blir ført tilbake til kilden.

Flood and Dry

Denne funksjonen er vanligvis aktuell for simuleringer gjort i områder med for eksempel tidevann. «Flooding Depth» og «Drying Depth» bestemmer når bevegelsesmengdelikningen skal tas med i simuleringsberegningene. Når «Inland Flooding» er valgt får «Flood and Dry» en annen funksjon, da er anbefalte verdier for «Flooding Depth» og «Drying Depth» lavere enn ved kystsimuleringer. Dette er for å gi mer nøyaktige resultater. Anbefalte verdier for «Drying Depth» er 0,001-0,02 m og 0,002-0,05 m for «Flooding Depth» (DHI, 2016b).

Hydrodynamic Parameters

Initial Surface Elevation

I denne fanen velger brukeren hvilket vannivå simuleringen skal starte på. Vannivå kan legges inn på to ulike måter: konstant verdi eller med varierende verdier i området. Dersom det skal benyttes varierende verdier for å fremstille vannivået kan dette legges inn med en type2-datafil (dfs2) der hver celle har en egen verdi (DHI, 2016b).

Boundary

Den hydrodynamiske modellen i MIKE 21 krever at brukeren enten legger inn landnivå eller spesifiserer at det ønskes åpen strømming ved grensene. Ved åpne grenser må vannføringen defineres (DHI, 2016b).

Source and Sink

I denne fanen må det gjøres rede for kildens vannføring, hastighet og strømretning. For et utløp behøves det kun informasjon om utløpets kapasitet (DHI, 2016b).

Brukeren kan legge inn informasjon om fordampning og nedbør med konstante verdier, type2-datafil (dfs2) eller type0-datafil (dfs0). Med standardinnstilling blir nedbør kun beregnet i modellens «våte» celler. For å inkludere «tørre» celler må brukeren aktivere funksjonen «Precipitation on Dry Land» (DHI, 2016b).

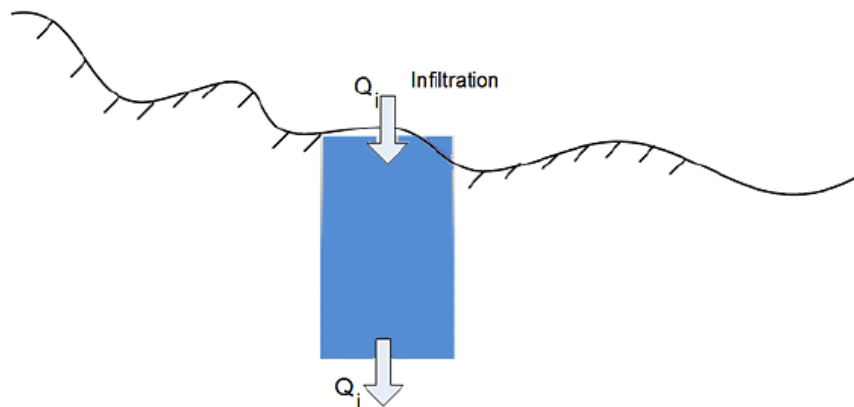
Infiltration

Med standard oppsett vil MIKE 21 Flow Model anta 100 % avrenning på overflaten. Dette vil tilnærmet aldri være tilfelle da det alltid forekommer en viss fordampning til atmosfæren og infiltrasjon til grunnen. Ved modellering av flomscenarier vil det derfor være hensiktsmessig å inkludere infiltrasjon i beregningene (DHI, 2016b).

Infiltrasjon kan inkluderes i modellen på følgende måter (DHI, 2016b):

- «Net Infiltration»
- «Constant Infiltration with Capacity»

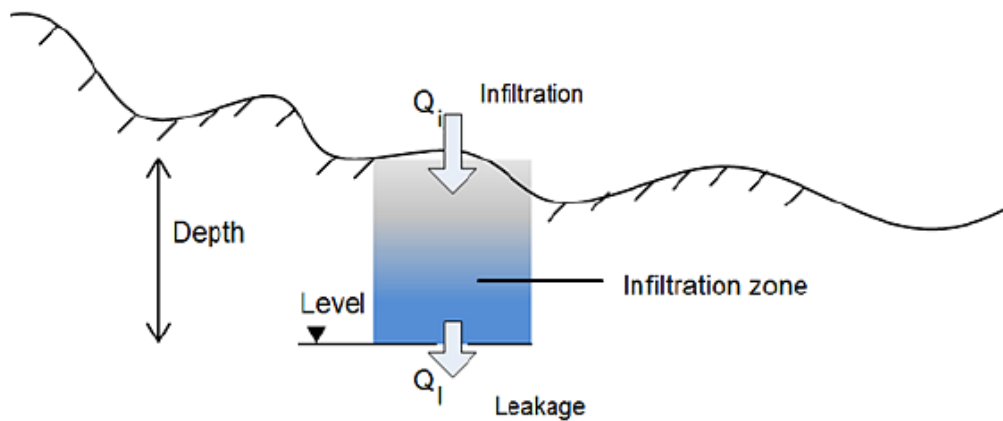
Ved bruk av «Net Infiltration» kan netto infiltrasjonsrate oppgis som en konstant verdi i mm/time over hele analyseområdet, som ikke endres over tid. Det er også mulig å variere infiltrasjonen per celle i analyseområdet, ved å laste inn en type2-datafil (dfs2). Ved bruk av dfs2-filer kan infiltrasjonen variere både over tid og per celle (DHI, 2016b).



Figur 5-7 Med «Net Infiltration» kan infiltrasjonsraten variere både i tid og rom. (DHI, 2016b)

«Constant Infiltration with Capacity» er en mer komplisert beregningsmetode, og krever derfor informasjon om flere parametere. I tillegg til å benytte en type2-datafil (dfs2) der infiltrasjonen varierer i hver celle må brukeren også ha informasjon om følgende faktorer (DHI, 2016b):

- Infiltrasjonsrate i mm/time
- Porøsitet i infiltrasjonssonen
- Infiltrasjonssonens dybde
- Utlekkingsrate i mm/time
- Vanninnhold ved start, som prosent eller volum



Figur 5-8 Infiltrasjon med «Constant Infiltration with Capacity». Infiltrasjonsrate, dybde, infiltrasjonssone og utlekkingsrate må inkluderes i beregningene (DHI, 2016b).

Eddy Viscosity

“Eddy Viscosity” kan spesifiseres ut fra følgende måter (DHI, 2016b):

- En konstant verdi bestemt for hvert område
- Lest fra en type2-datafil (dfs2) hvor hver celle har en unik Eddy viskositetsverdi
- Dynamisk beregnet ut fra Smagorinskys formel

I simuleringer utført i dette masterarbeidet er Smagorinskys konstant satt til 0,5. Verdien er blitt bestemt ut fra masteroppgaven til Johansen og Moldekleiv (2016), som fikk den anbefalt av DHI Oslo.

Resistance

I denne fanen kan brukeren definere overflatens motstand («Resistance»), også kalt overflateruhet. Overflateruheten kan defineres ut fra tre ulike måter (DHI, 2016b):

- Mannings tall
- Chezys tall
- «Wave Induced Bed Resistance»

Mannings eller Chezys tall kan enten defineres med en konstant verdi for hele området, eller med en type2-datafil der ruheten er konstant i tid, men varierer fra celle til celle.

Results

Denne fanen gir brukeren muligheten til å bestemme størrelsen på resultatfilen ved å justere antall tidssteg og lengde på intervallene. Dersom man ønsker en egen fil med simuleringens maksimumsverdier kan dette velges her.

Ikke relevante funksjoner

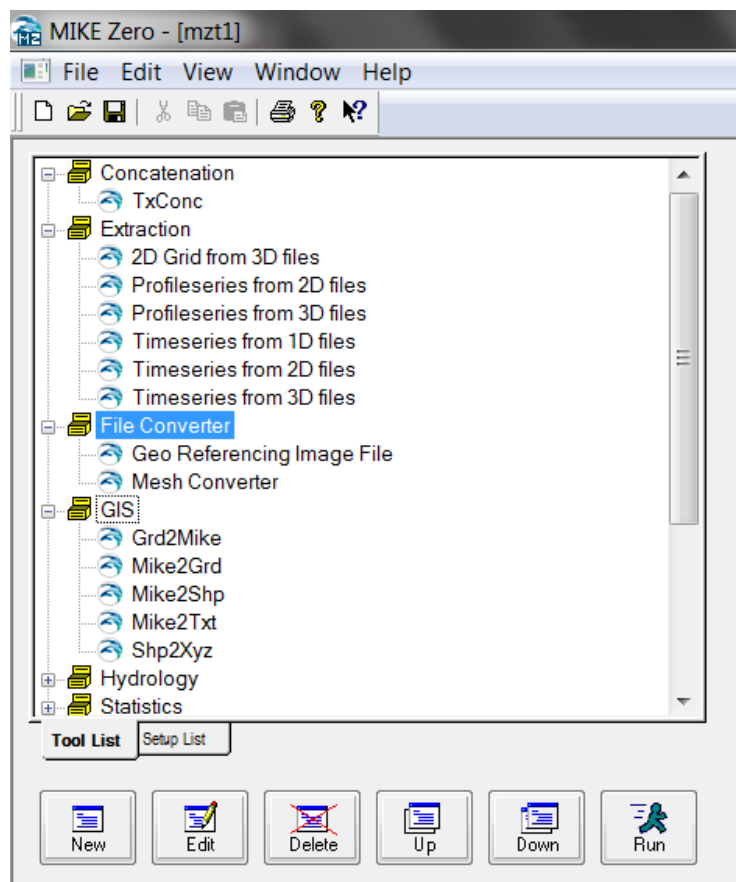
En rekke av parameterene innlagt i MIKE 21 Flow Model var ikke relevante i simuleringene utført i dette masterarbeidet. Flere av disse var knyttet til modellering ved kysten og andre marine områder. Følgende parametere var ikke relevante: Boundary (Basic Parameters), Source and Sink (Basic Parameters), Mass Budget, Boundary (Hydrodynamic Parameters), Wave Radiation, Wind Radiation og Structures.

5.6.3 MIKE Zero Toolbox

MIKE Zero Toolbox består av en rekke filbeholdende verktøy. Verktøyene kan blant annet benyttes til (DHI, 2016c):

- Uthenting av data fra 2D- og 3D-filer
- Konvertering av filtyper
- Interpolering
- Sortering av data

Det viktigste verktøyet fra MIKE Zero Toolbox benyttet i denne masteroppgaven er GRD2Mike. Det er et konverteringsverktøy som ble benyttet til å konvertere ASCII-filer opprettet i ArcGIS til type2-datafiler (dfs2) som kan åpnes i MIKE Zero.



Figur 5-9 Menyen i MIKE Zero Toolbox kommer frem når man starter et nytt prosjekt i MIKE Zero og velger «Toolbox» (Skjermdump).

6 Metodikk

I dette masterarbeidet ble programvaren ArcGIS Desktop 10.3.1 med utvidelsene «Spatial Analyst» og «3D Analyst» benyttet til å bygge modeller for overflateruhet og infiltrasjon. MIKE Zero 2016 og MIKE 21 Flow Model ble benyttet til å beregne drenslinjer og oversvømmelser ved å simulere nedbørshendelser.

I dette kapitlet er oppgavens analyseområde, forutsetninger og fremgangsmåter presentert. Fremgangsmåtene i ArcGIS og MIKE 21 er beskrevet i den grad at det skal være mulig å gjennomføre liknende prosedyrer uten videre opplæring.

6.1 Om datamaskinen

Alt arbeid i forbindelse med masteroppgaven ble utført på en PC med følgende spesifikasjoner:

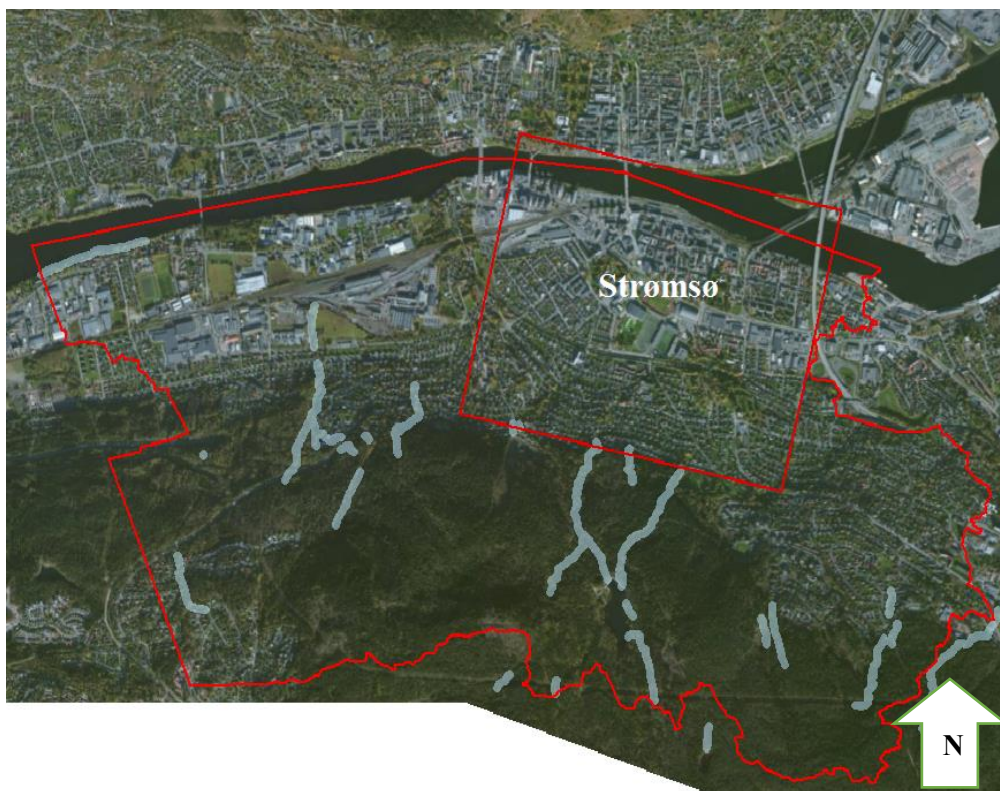
Operativsystem: Windows 7 Enterprise 64-bit
Prossessor: Intel® Core™ i7-6820HQ CPU @ 2,70 GHZ
Installert minne (RAM): 32 GB
Harddisk: 1500 GB

Datamaskinen tilhører Norconsult AS.

6.2 Analyseområde

Området som ble analysert i dette masterarbeidet befinner seg syd for Drammenselva i Drammen kommune. Områdets areal er i underkant av 3 km².

Den nordlige delen av analyseområdet består av byområde med næringsbygg, skoler, butikker, leiligheter. Syd for byområdet blir terrenget brattere, med leiligheter og eneboliger i tettbebyggelse. Området som grenser mot syd i analyseområdet består av skog og grønne områder.



Figur 6-1 Oversiktskart over Drammen. Overvannsmølleringene i denne masteroppgaven er utført i bydelen Strømsø i Drammen (Skjermdump).



Figur 6-2 Oversiktskart over Strømsø bydel i Drammen. Bydelen inneholder blant annet Marienlyst stadion og idrettspark, Drammen Museum og Drammen videregående skole. Jernbanelinjen krysser bydelen (Skjermdump).

6.3 Forutsetninger

I flere masteroppgaver med fokus på overvannsmodellering i Drammen har det blitt valgt å se på «worst case» -scenarier med vinterflom. I disse scenarioene er det blitt antatt at det blant annet ikke skjer infiltrasjon. Dette kan skje når bakken er frosset eller mettet med vann, og all nedbør som faller vil renne på overflaten, men i de fleste tilfeller vil bakken ha en viss infiltrasjonsevne.

Realistiske verdier på bakkens infiltrasjonsevne er vanskelig å beregne, spesielt i urbane områder der grunnen er dominert av ukjente fyllmasser, og NGUs løsmassekart er mangelfulle.

I denne oppgaven er rasterkart for overflateruhet og infiltrasjon inkludert i simuleringene. Dette er gjort for å undersøke effekten av å variere disse variablene. Det er blitt benyttet maksimum- og minimumsverdier på overflateruhet (Mannings tall M) og infiltrasjon (infiltrasjonsrate i mm/t).

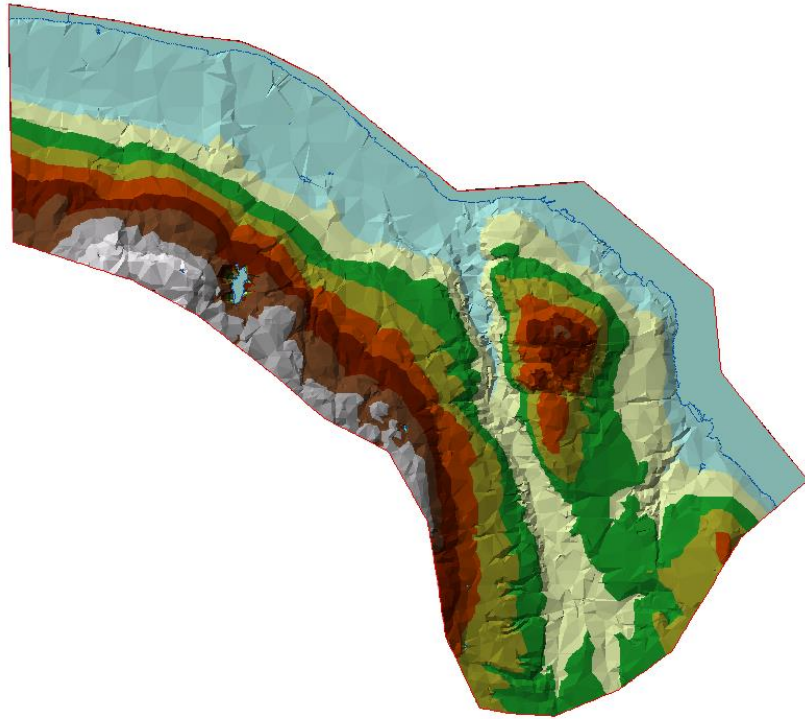
Grunnet overnevnte utfordringer i forbindelse med løsmassekart er det stor usikkerhet rundt disse verdiene, og det har blitt gjort flere antagelser og forenklinger. Formålet med denne oppgaven er å undersøke hvorvidt varierende infiltrasjon og ruhet *har* en effekt, og i hvilken grad, på overvannstrømninger. At de benyttede verdiene er fullstendig realistiske er dermed ikke sett på som en nødvendighet for å nå oppgavens målsetninger.

6.4 Grunnlagsdata

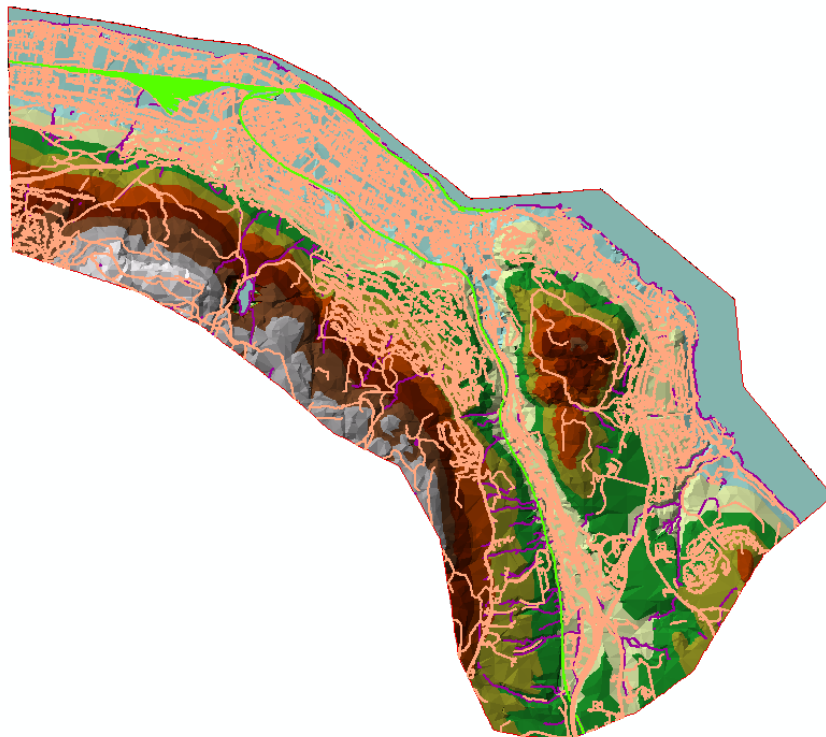
6.4.1 Terrengmodell

Terrengmodellen benyttet i denne oppgaven ble laget av Johansen og Moldekleiv (2016) i forbindelse med deres masteroppgave. I dette delkapitlet blir deres fremgangsmåte for oppbygging av den digitale terrengmodellen forklart i korte trekk. For mer informasjon henvises det til deres masteroppgave der fremgangsmetoden er nøye beskrevet (Johansen & Moldekleiv, 2016).

Johansen og Moldekleiv benyttet ArcGIS til å bygge en digital terrengmodell (DTM) for deres arbeid med overvannssimuleringer i Drammen kommune. Det ble tatt utgangspunkt i laserdata (LiDAR-data) målt av TerraTec i 2010, som ble konvertert fra «.las» -format til «Multipoints» -format. På den måten kunne dataene bli lagt inn i ArcGIS, og et såkalt «Terrain» kunne opprettes. Deretter ble verktøyet «Terrain to Raster» benyttet, og en digital terrengmodell på rasterformat var opprettet. Denne modellen skulle deretter slås sammen med bygningsrasteret.

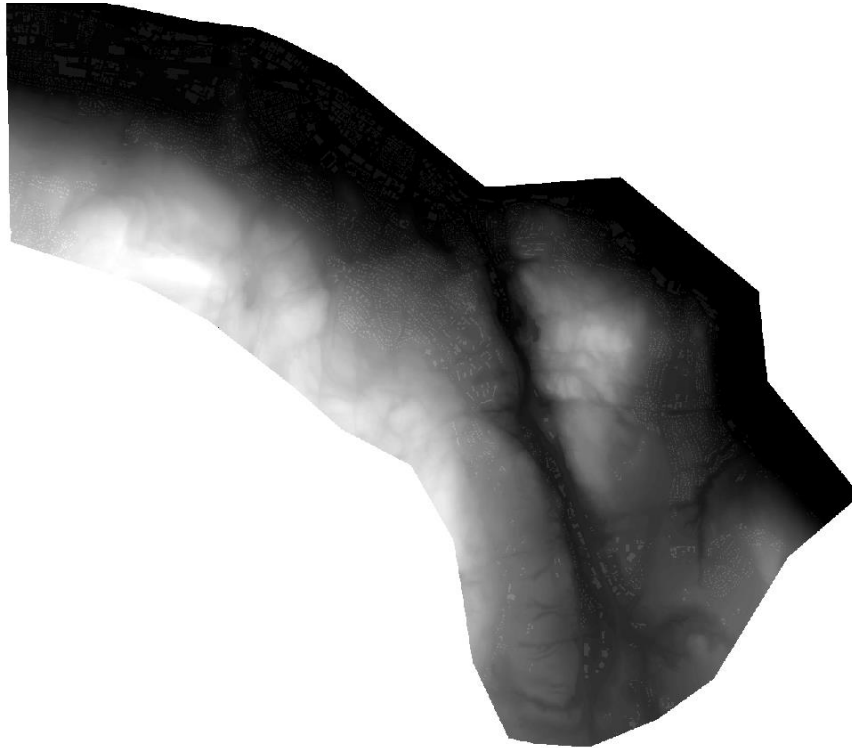


Figur 6-3 Laserdata er blitt konvertert til Multipoints i ArcGIS, og er her fremstilt som et «Terrain» (Skjermdump).



Figur 6-4 «Terrain» lagt sammen med FKB-data for veg, jernbane og bygg (Skjermdump).

Ved oppretting av bygningsrasteret ble det benyttet fire FKB-datasett: veg, jernbane, bygg og vannflater. Dette er data på vektorformat, som representerer objekter i terrenget i form av linjer og polygoner. FKB-data inneholder store mengder informasjon, og irrelevante elementer ble sortert ut for å forenkle modellen. Flere objekttyper ble slettet da de forhindret vannstrømningen. Den ferdige bygningsmodellen ble konvertert til et raster, og var dermed klar for å bli slått sammen med terrengrasteret (Johansen & Moldekleiv, 2016).



Figur 6-5 «Terrain» konverteres til raster med verktøyet «Terrain to Raster» og en digital terrengmodell er opprettet (Skjermdump).

6.4.2 FKB-data

For å opprette modeller for overflateruhet og infiltrasjon i ArcGIS var det nødvendig med tilgang til ytterligere FKB-data. For å bestemme verdier for overflateruhet og infiltrasjon var det behov for informasjon om områdets overflater. Det var interessant å vite hva som var urbant område med stor andel ugjennomtrengelige overflater, og hva som var skog eller grøntarealer. FKB-datasett for arealressurser ble mottatt fra Drammen kommune, og datasett for løsmasser ble lastet ned fra Geonorges nettsider. Alle filene var i «Shape» -format og kunne åpnes i ArcMap.

Arealressursflate_polygon											
FID	Shape *	ARGRUNNF	ARKARTSTD	ARSKOGBON	ARTRESLAG	ARTYPE	DATAFANGST	KVALITET M	OBJTYPE	OPPDATERIN	OPPHAV
0	Polygon ZM	44	AR5	14	31	30	19930708	55	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
1	Polygon ZM	44	AR5	11	39	50	18000101	55	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
2	Polygon ZM	98	AR5	98	98	82	20080607	82	ArealressursFlate	201509091848	FKB-Vann
3	Polygon ZM	98	AR5	98	98	12	20080507	82	ArealressursFlate	201509091848	FKB-Veg
4	Polygon ZM	98	AR5	98	98	12	20030507	82	ArealressursFlate	201509091848	FKB-Veg
5	Polygon ZM	43	AR5	11	31	30	19951218	32	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
6	Polygon ZM	98	AR5	98	98	11	19951218	82	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
7	Polygon ZM	43	AR5	11	31	30	19970108	32	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
8	Polygon ZM	44	AR5	11	39	50	19951218	82	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
9	Polygon ZM	98	AR5	98	98	12	20030507	82	ArealressursFlate	201509091848	FKB-Veg
10	Polygon ZM	45	AR5	11	39	60	19930708	55	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
11	Polygon ZM	42	AR5	11	39	50	19930527	55	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
12	Polygon ZM	45	AR5	11	39	60	19930527	55	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap
13	Polygon ZM	44	AR5	98	98	21	19951218	82	ArealressursFlate	201509091848	Skogoglandskap

Figur 6-6 Da arealressursdatasettet var lagt inn i ArcMap ble attributt Tabellen åpnet. Den viser hvilke attributter og egenskaper som finnes i datasettet, og gjør det mulig å sortere og filtrere ut unødvendig informasjon fra kartet. For oppbygging av ruhetsmodell ble attributten «Arealtyper» (ARTYPE i figuren) benyttet (Skjermdump).

Arealressursdatasettet FKB-AR5 inneholdt data om arealressursflater og arealressursgrenser. Løsmassedatasettet inneholdt informasjon om grunnforholdene i området. Datasettene ble åpnet direkte i ArcGIS, uten konvertering.

Datasettet for arealressurser inneholdt følgende attributter: grunnforhold, skogbonitet, treslag og arealtype. Datasettet for løsmasser hadde følgende attributter: grunnvannspotensiale, infiltrasjonsevne og løsmassetype/jordart. Hver av attributtene hadde en rekke nummererte egenskaper som vist i Figur 6-7, og måtte tydes ved hjelp av det tilhørende dokumentet med FKB-produktspesifikasjoner.

«codeList» ArealressursArealtype	
+	Bebygd = 11
+	Ferskvann = 81
+	Fulldyrka jord = 21
+	Hav = 82
+	Ikke kartlagt = 99
+	Innmarksbeite = 23
+	Myr = 60
+	Overflatedyrka jord = 22
+	Samferdsel = 12
+	Skog = 30
+	Snøisbre = 70
+	Åpen fastmark = 50

Figur 6-7 Kodeforklaring i arealressursdatasettet (Geonorge, 2016c).

6.5 ArcGIS - Oppbygning av modeller for ruhet og infiltrasjon

Med terrengmodell og nødvendig FKB-data i orden var alt klart til oppbygging av modeller for overflateruhet og infiltrasjon i ArcGIS.

6.5.1 Valg av verdier for ruhet

I denne modellen skulle analyseområdet inndeles i ulike areal typer. Hver areal type skulle deretter tildeles en verdi på overflateruhet i form av Mannings tall. Jo høyere Mannings tall, dess lavere ruhet. Lav ruhet tilsier at vannet vil bevege seg raskere på overflaten.

En av hensiktene med denne masteroppgaven var å undersøke hvorvidt overflatens ruhet påvirker hvordan overvannet beveger seg. Det har derfor blitt benyttet maksimums- og minimumsverdier på Mannings tall. Dette ville gjøre det enklere å se om overflateruheten påvirket dannelsen av oversvømmelser og drenslinjer i analyseområdet.

Tabell 6-1 Minimal ruhet med høyest mulige Mannings tall benyttet i denne masteroppgaven. Verdiene er valgt med utgangspunkt i masteroppgaven til Brennhovd (2014).

Arealbruk	Mannings tall M (n⁻¹)
Bygninger	15
Veg	85
Vann	80
Skog	33
Fulldyrket jord	50
Annet	10

Tabell 6-2 Maksimal ruhet med lavest mulige Mannings tall benyttet i denne masteroppgaven. Verdiene er valgt med utgangspunkt i masteroppgaven til Brennhovd (2014).

Arealbruk	Mannings tall M (n⁻¹)
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

6.5.2 Valg av infiltrasjonsrater

De lavtliggende områdene rundt Drammenselva befinner seg under marin grense og består i hovedsak av marin leire overdekket av sand- og grusavsetninger (Sandersen, 2007). Selv om de underliggende løsmassene er ugjennomtrengelig leire vil et overdekke av permeable løsmasser som sand og grus gi en indikasjon på at en viss infiltrasjon er mulig.

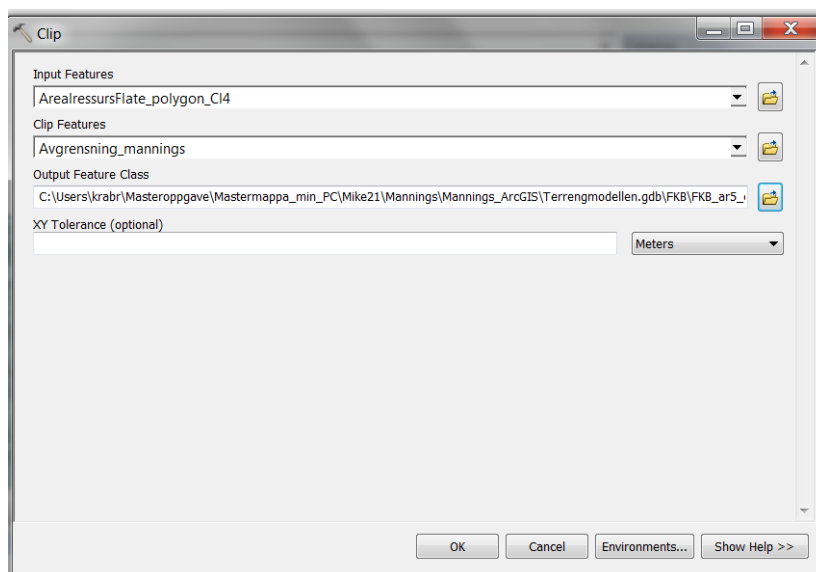
Tabell 6-3 Oversikt over ulike jordarter med klassifisering for infiltrasjonsevne, samt maksimum- og minimumsverdier for infiltrasjonsrater benyttet i dette masterarbeidet.

Jordart (NGU, 2015)	Infiltrasjons- evne (NGU, 2015)	Jord- Egenskaper (Prestvik & Trømborg, 1999)	Minimal infiltrasjonsrate (mm/t) (Brennhovd, 2014)	Maksimal infiltrasjonsrate (mm/t) (Brennhovd, 2014)
Bart fjell, tett leire, tynne avsetninger	Uegnet	Tett leire, fjell, tynne avsetninger	1,5	50
Havavsetning (Usammenhengende, tynt dekke)	Lite egnet	Leirjord	1,5	50
Strandavsetning (sammenhengende dekke)	Middels egnet	Grus og sand over leire	11	152
Elveavsetning	Godt egnet	Velsortert sand og grus	120	250
Fyllmasser	Ikke klassifisert	Ukjent	1,5	50

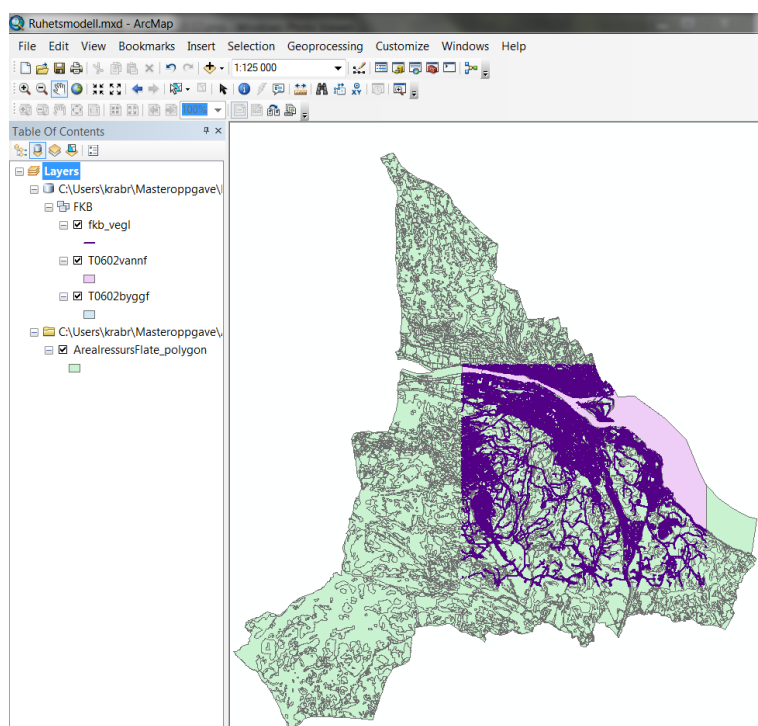
6.5.3 Fremgangsmåte i ArcMap

I denne fremgangsmåten er det modell for overflateruhet som blir opprettet, og alle skjermdumper og eksempler er dermed tatt i forbindelse med dette. Samme fremgangsmåte ble benyttet for oppbygging av modell for infiltrasjon.

Et blankt kart ble åpnet i ArcMap, og det aktuelle FKB-datasettet med arealressurser ble hentet inn. FKB-data for bygninger, veg og vann ble hentet inn da disse også er relevante for overflateruhet. Disse dataene var blitt behandlet av Johansen og Moldekleiv, og var allerede «klippet» slik at de passet inn i analyseområdet. Det nye FKB-datasettet med arealressurser dekket hele Drammen kommune, og måtte «klippes» til riktig størrelse.



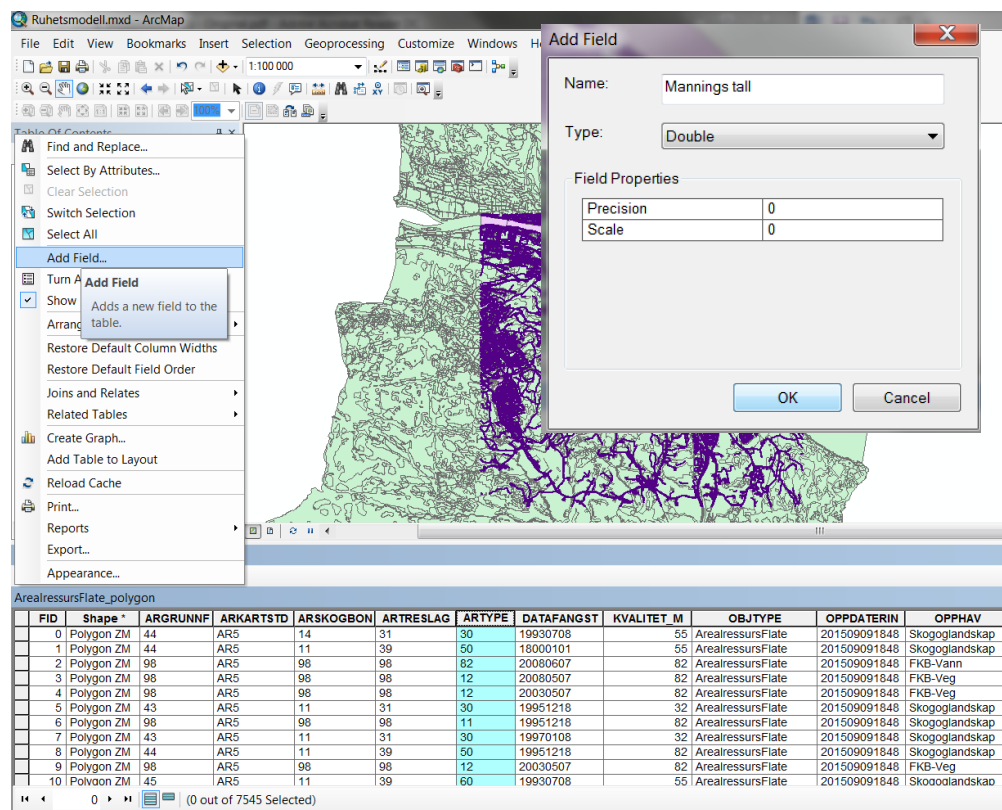
Figur 6-8 Verktøyet «Clip» ble brukt til å klippe arealressursdatasettet til riktig størrelse (Skjermdump).



Figur 6-9 Relevante FKB-data er blitt hentet inn i ArcMap. Det lille feltet representerer utklippet som skal benyttes (Skjermdump).

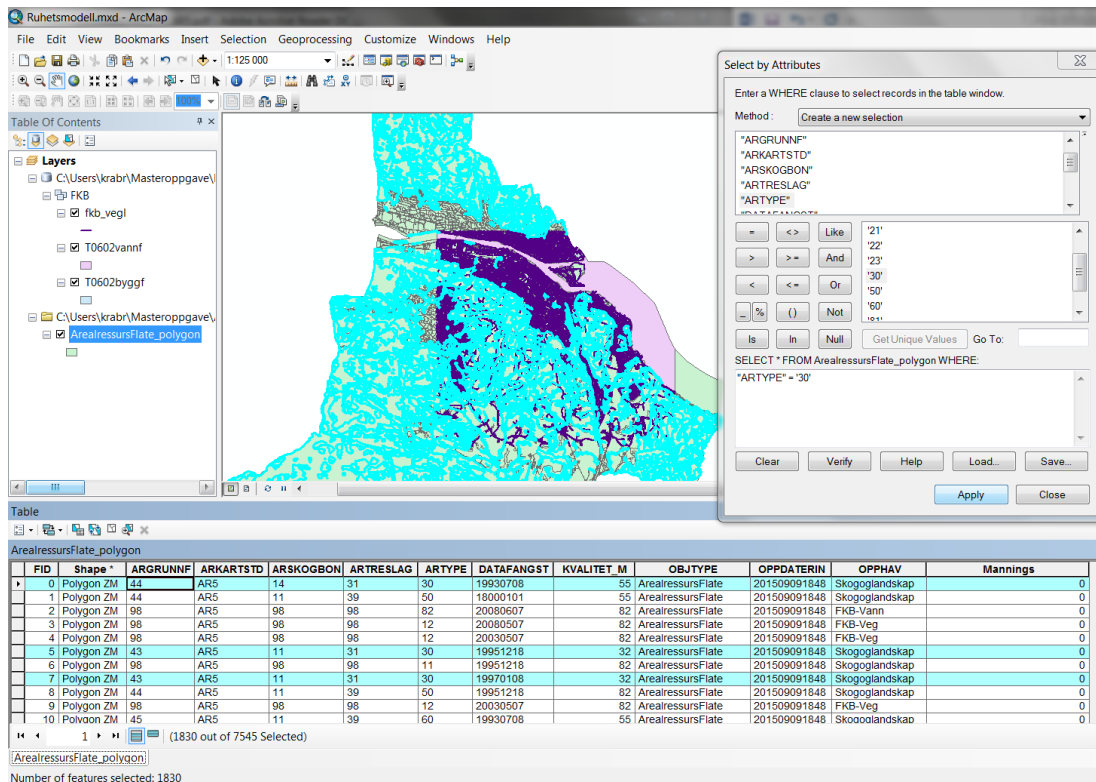
Det ble vurdert hvilke attributter i FKB-datasettet med arealressurser som var relevante for overflateruhet. Arealtypene «skog» og «fulldyrket jord» har en åpenbar «ru» overflate, og var godt representert i analyseområdet. Veger og vann er relativt «glatte» overflater, og har lav ruhet med tilsvarende høyt Mannings tall. En betydelig del av analyseområdet er urbant strøk, og det var derfor nødvendig å inkludere bygninger, som har høy ruhet med lavt Mannings tall. Områdene som falt utenom disse arealtypene ble gitt arealtypen «annet».

Det første steget var å legge til et eget felt for Mannings tall i arealressursdatasettets attributtetabell. Dette ble gjort ved hjelp av funksjonen «Add Field» i datasettets attributtetabell.

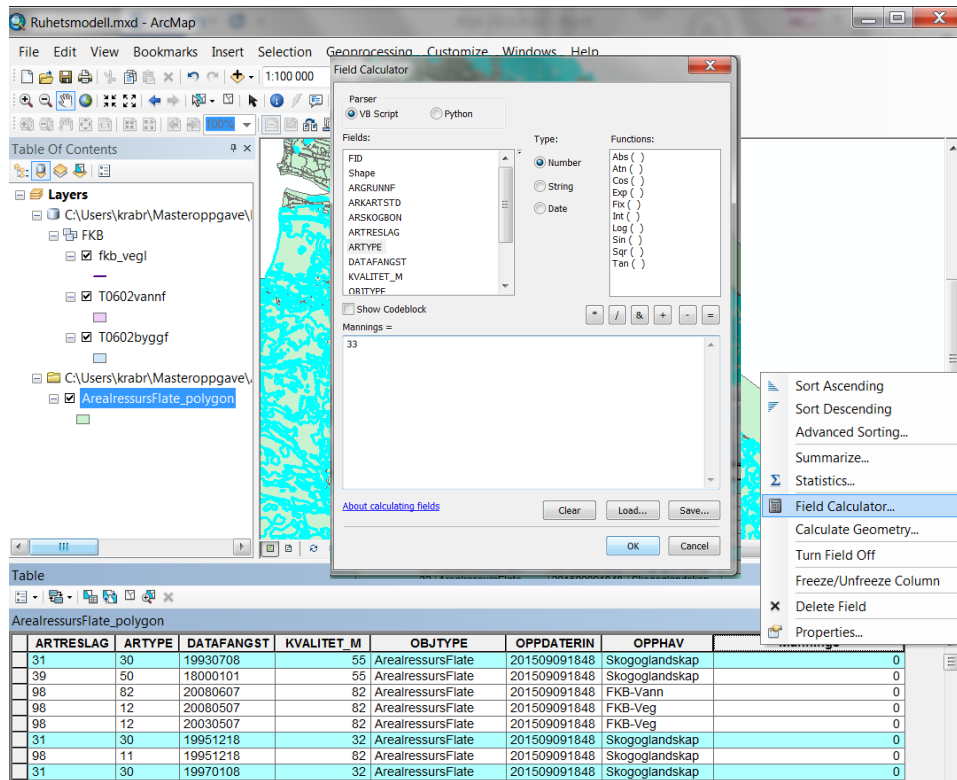


Figur 6-10 For å kunne legge inn verdier for Mannings tall ble det laget et nytt felt for Mannings tall i attributtetabellen (Skjermdump).

Hver av de relevante arealtypene ble tildelt en verdi for Mannings tall i det nylagde feltet i attributtetabellen. Som vist i Figur 6-7 er koden for skog 30. «Select by Attributes» ble brukt for å markere alt areal med kode 30, som var skog. Deretter ble Mannings tall for arealtypen skog satt inn med funksjonen «Field Calculator».

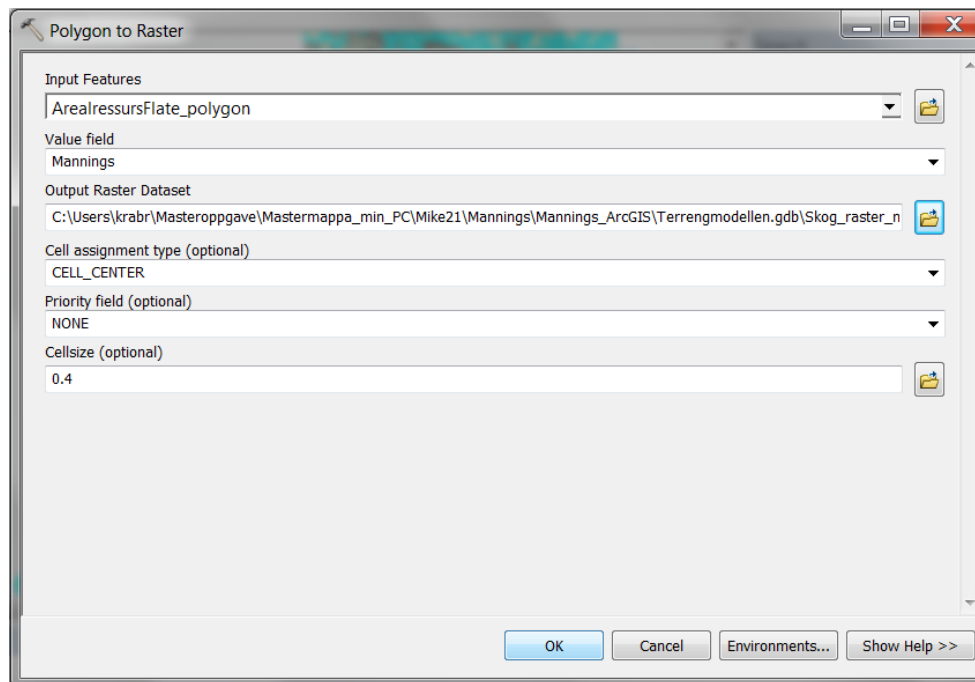


Figur 6-11 Benytter «Select by Attributes» for å markere arealer med skog (Skjermdump).

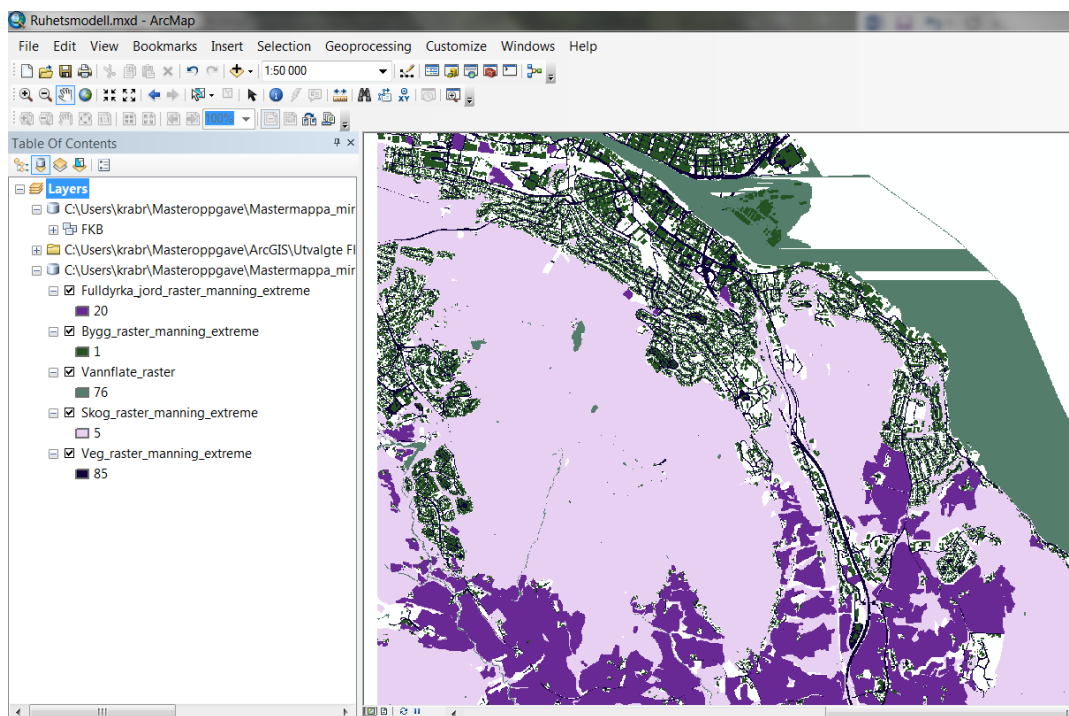


Figur 6-12 Legger inn verdi for Mannings tall med «Field Calculator» (Skjermdump).

Denne fremgangsmåten med innlegging av Mannings tall ble utført for samtlige arealtyper. De ble deretter konvertert til raster med verktøyet «Polygon to Raster».

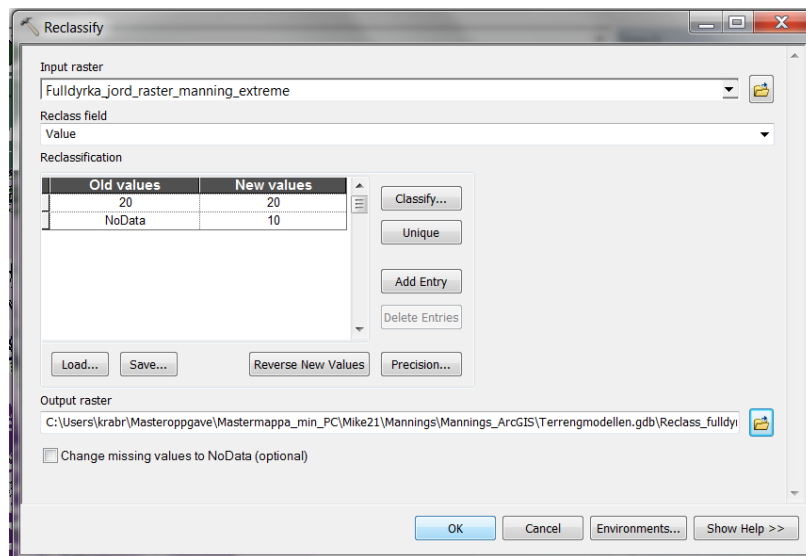


Figur 6-13 I dette vinduet ble skog-polygonet konvertert til et raster med verktøyet «Polygon to Raster». Presiserte cellestørrelse i «Cellsize = 0.4» (Skjermdump).



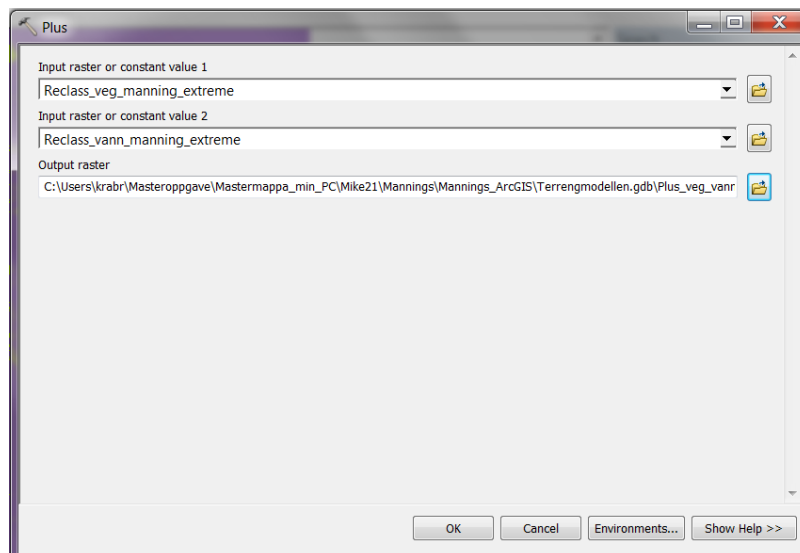
Figur 6-14 Alle arealtyperne med tilhørende Mannings tall var nå lagt inn som hvert sitt raster (Skjermdump).

Før rasterne kunne legges sammen måtte bakgrunnen i hvert raster bli gitt en verdi på Mannings tall, dvs. alle arealer som ikke var bygninger, veg, vann, skog eller fulldyrket jord. Verktøyet «Reclassify» ble benyttet til å gi de ulike lagene en bakgrunnsverdi lik 10.

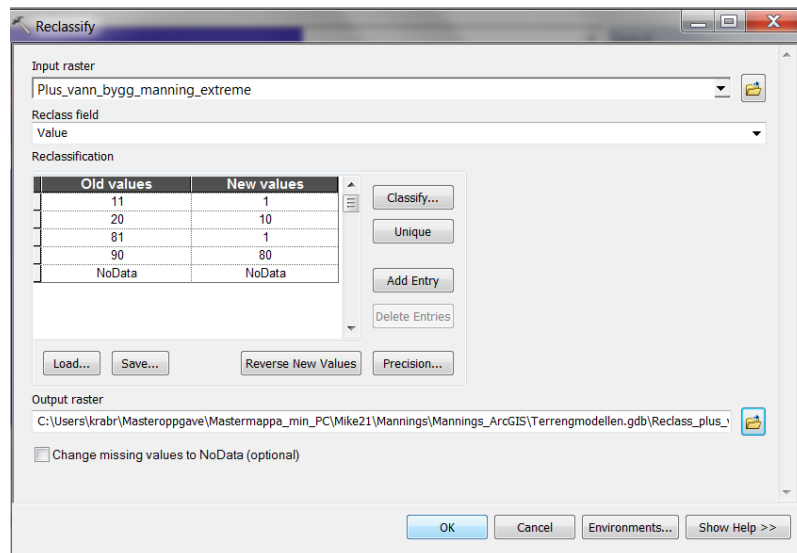


Figur 6-15 Verktøyet «Reclassify» ble brukt til å gi bakgrunnen i hvert raster en Mannings verdi lik 10 (Skjermdump).

For å legge alle rasterne sammen til ett enkelt raster ble verktøyet «Plus» benyttet. Verktøyet summerer to ulike raster til ett resultatraster, og summerer samtidig verdiene i rasterne. At verktøyet summerer verdiene i rasterne betydde i dette tilfellet at verdiene for Mannings tall ble feilaktige. Dette ble rettet opp i ved å benytte verktøyet «Reclassify» til å gi arealtypene de korrekte verdiene for Mannings tall. Dette måtte gjøres for hver gang et raster ble lagt til.

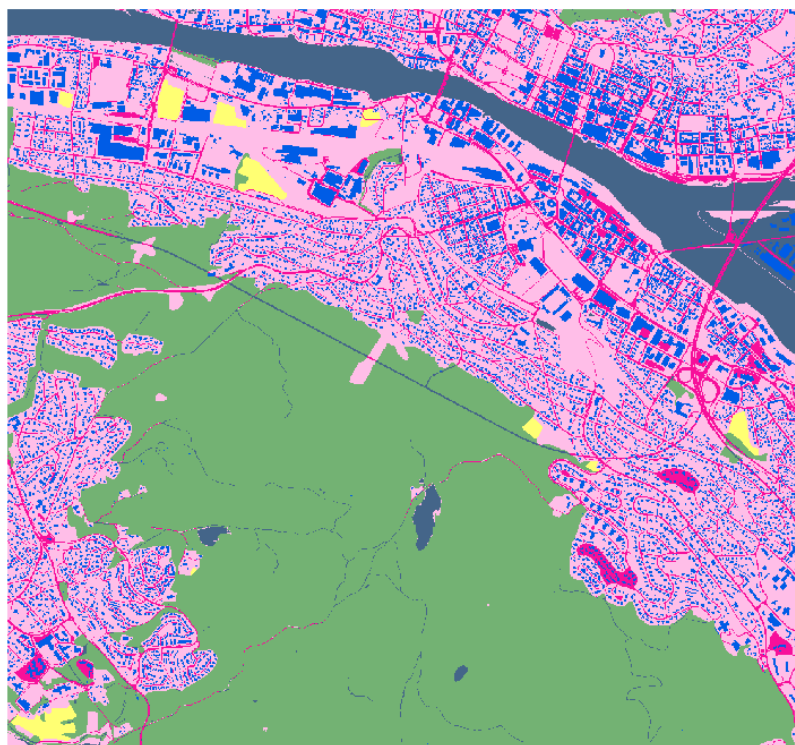


Figur 6-16 Rasterne for veg og vann ble lagt sammen med verktøyet «Plus» (Skjermdump).



Figur 6-17 Rasternes verdier er blitt summert, og de riktige verdiene for Mannings tall ble lagt inn i «New values» (Skjermdump).

Det ferdige rasteret for overflateruhet i Figur 6-18. Her ser man tydelig hvor i området det er urban bebyggelse med bygninger markert i blått og veger markert i mørkerosa. Det tettbebygde strøket i Strømsø er markert i lyserosa med en egen verdi for ruhet. Det antas å være stor andel asfalterte overflater i dette området, som gir lav ruhet. Det grønne området er dominert av skog og dyrkede områder, som har egne verdier for ruhet.



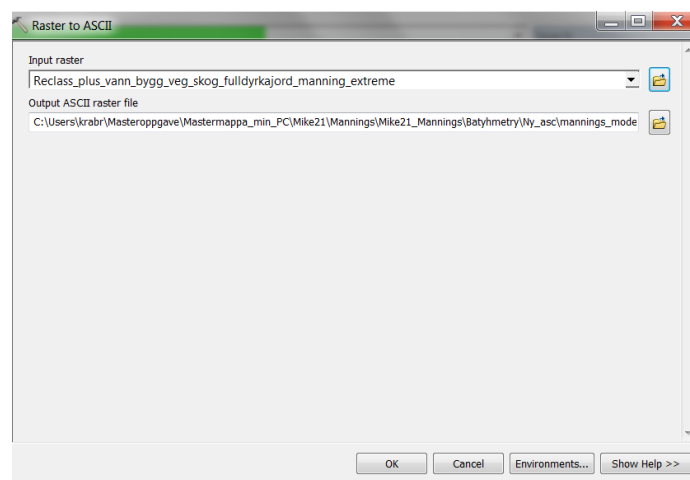
Figur 6-18 Kartraster for overflateruhet der hver farge har eget Mannings tall. De grønne områdene er skog med høy ruhet. Bygninger og veger har lav ruhet, og er markert i blått og mørkerosa. Fulldyrket jord har middels høy ruhet og vises i gult. De øvrige områdene er markert som lyserosa (Skjermdump).

Det ferdige rasteret for infiltrasjon, vist i Figur 6-19, var i utgangspunktet mer «fargerikt» enn sluttresultatet. Grunnen til dette er at det ble gjort enkelte antakelser om at infiltrasjonen i en viss type område var tilnærmet lik infiltrasjonsevnen i en annen type område. Så til tross for at områdene hadde ulike grunnforhold ble det vurdert til samme infiltrasjonsevne. Dette er forklart nærmere i diskusjonen.



Figur 6-19 Kartraster for infiltrasjon der hver farge har egen infiltrasjonsrate. Det mørkerosa området markerer infiltrasjonsevnen i fyllmasser, bart fjell og havavsetninger. Det gule området markerer veger og bygninger. De mindre områdene i grått og lysegult markerer strandavsetninger og elveavsetninger (Skjermdump).

Verktøyet «Raster to ASCII» ble benyttet til å konvertere rasteret til «.asc-fil», og modellen var nå ferdig behandlet i ArcGIS.



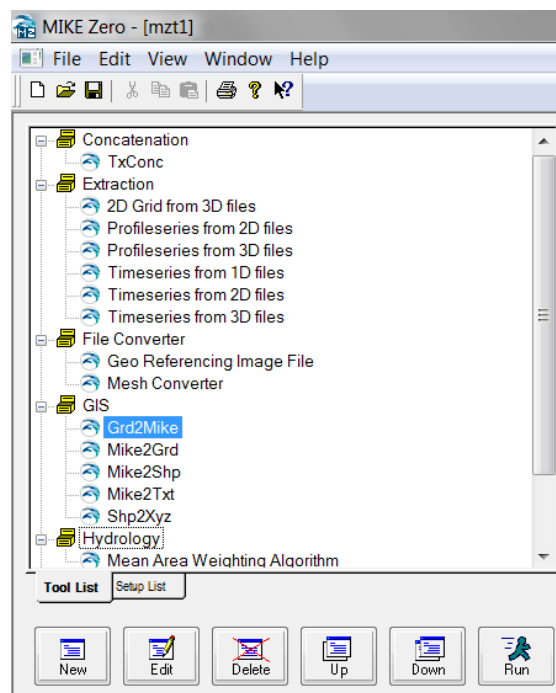
Figur 6-20 Det ferdige rasteret ble konvertert til ASCII-format med verktøyet «Raster to ASCII» (Skjermdump).

6.6 MIKE 21 - Modelling av drenslinjer og oversvømmelser

I dette masterarbeidet ble MIKE 21 Flow Model benyttet til å beregne oversvømmelser, drenslinjer og vannhastigheter i analyseområdet. I dette kapitlet er forberedelser til simuleringene og oppsettet som ble benyttet beskrevet.

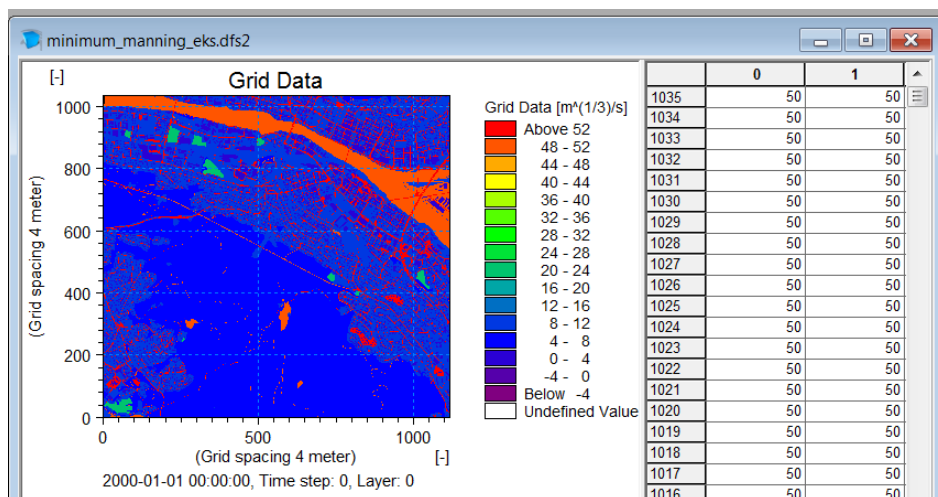
6.6.1 Forberedelse av modeller for ruhet og infiltrasjon

Før modellene for ruhet og infiltrasjon kunne legges inn i oppsettet i MIKE 21 Flow Model måtte filene konverteres til riktig format. Verktøyet Grd2Mike befinner seg i MIKE Zero Toolbox, og det var dette verktøyet som ble benyttet til å konvertere filen fra ASCII-format til type2-filformat (dfs2). Det er dette formatet MIKE benytter til flere parametere, som for eksempel «Bathymetry» (terrengets topografi), «Resistance» (overflateruhet) og «Infiltration» (infiltrasjon). En type2-fil består av celler der hver celle har en unik verdi. Celleverdiene kan også variere over tid.



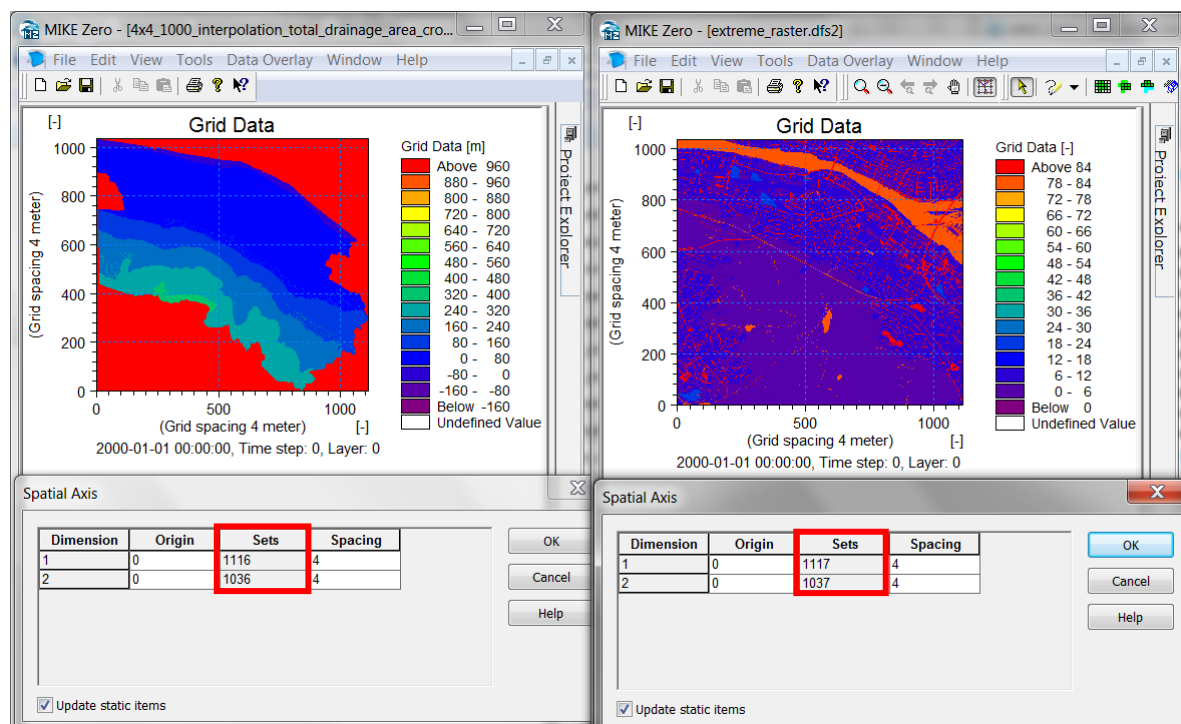
Figur 6-21 Filen ble konvertert med verktøyet Grd2Mike i MIKE Zero Toolbox (Skjermdump).

Etter at filene med modellene for overflateruhet og infiltrasjon var blitt konvertert til riktig format kunne de åpnes i MIKE Zero.



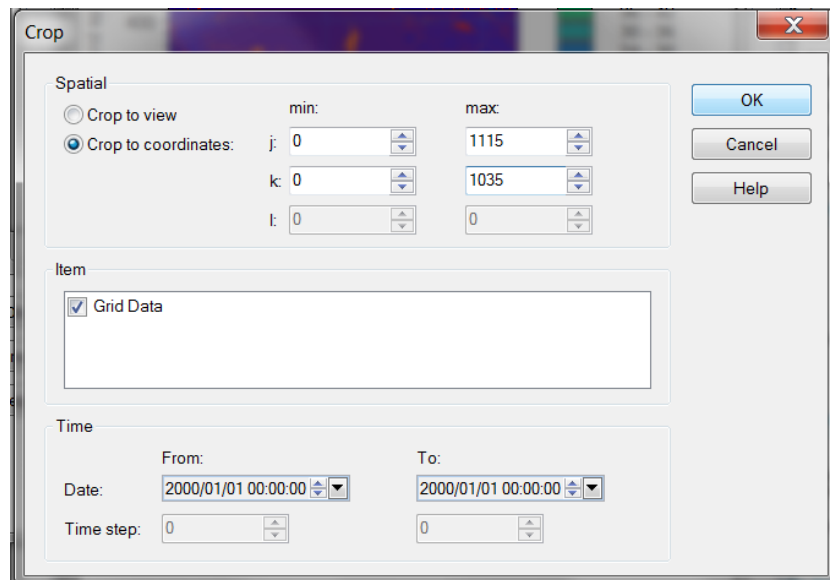
Figur 6-22 Ruhetsmodellen med minimumsverdier for Mannings tall åpnet i MIKE Zero. Til høyre vises de verdien i hver enkelt celle, og til venstre er en visuell fremstilling av modellen (Skjermdump).

Filene behøvde en siste finpuss før de kunne legges inn i simuleringsoppsettet. Antall celler i modellen måtte «matche» nøyaktig med terrenget. Ved å åpne terrenget i MIKE Zero kunne man se at antall celler i X- og Y-retninger ikke stemte overens. Dette gjorde at oppsettet i MIKE Zero ikke godtok ruhetsmodellene og infiltrasjonsmodellene.



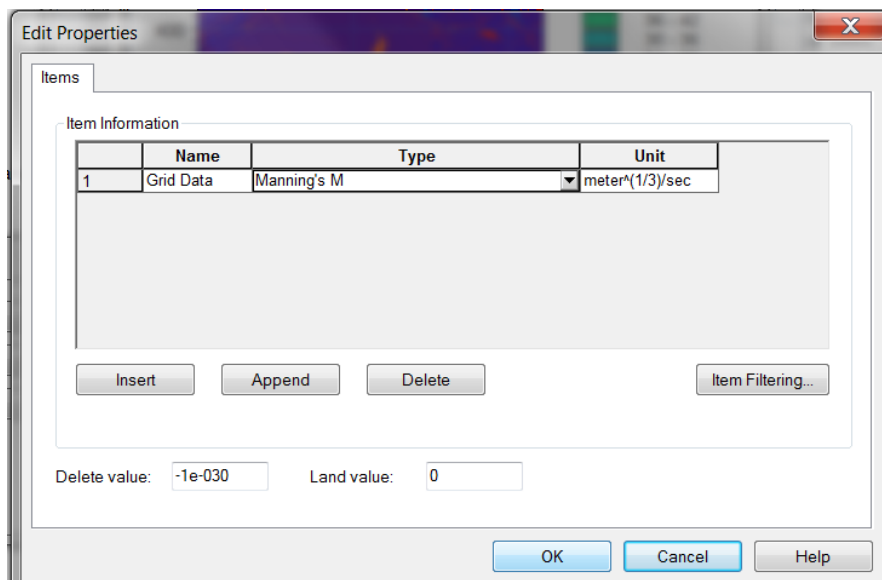
Figur 6-23 Antall celler i X- og Y-retning må «matche». Her ser vi det er 1116x1036 i terrenget mot 1117x1037 i ruhetsmodellen (Skjermdump).

For å få lagt inn ruhetsmodellen i oppsettet måtte modellen klippes til så den matchet antall celler i terrenngmodellen. Dette ble gjort med verktøyet «Crop», som befinner seg under «Tools» i MIKE Zero-vinduet. For at modellen skulle måle 1116x1036-celler ble modellen klippet ved cellene 1115 og 1035.

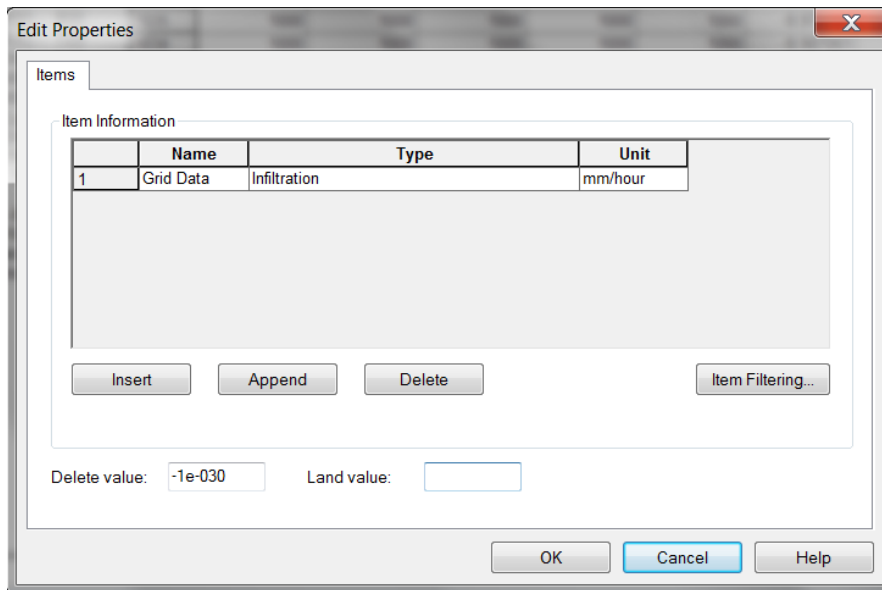


Figur 6-24 Modellen ble «klippet» til riktig antall celler: 1115 x1035 (Skjermdump).

For at modellene skulle bli gjenkjent som modeller for overflateruhet og infiltrasjon i MIKE Zero måtte filenes egenskaper endres. Dette ble gjort under «Items» i «Edit» -menyen i MIKE Zero. Under «Type» kunne man velge «Manning's M» eller «Infiltration», og enheten ble automatisk fylt inn. For at endringene som ble gjort skulle tre i kraft måtte filene lagres som nye filer.



Figur 6-25 Den aktuelle variabelen med enhet måtte velges under «Items». I modellen for overflateruhet ble «Manning's M» valgt. Enheten ble fylt ut automatisk (Skjermdump).

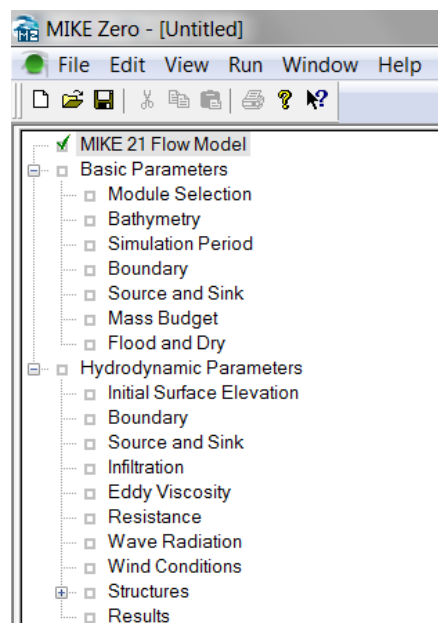


Figur 6-26 Den aktuelle variabelen med enhet måtte velges under «Items». I modellen for infiltrasjon ble «Infiltration» valgt. Enheten ble fylt ut automatisk (Skjermdump).

6.6.2 Oppsett i MIKE 21 Flow Model

I det følgende er oppsettet som ble benyttet i simuleringene beskrevet. Parameterne som ikke var relevante for dette masterarbeidet er blitt utelatt. Deler av dette oppsettet er hentet fra masteroppgaven til Johansen og Moldekleiv, og det henvises til å lese deres oppgave for ytterligere detaljer om utprøvingene rundt dette oppsettet (Johansen & Moldekleiv, 2016).

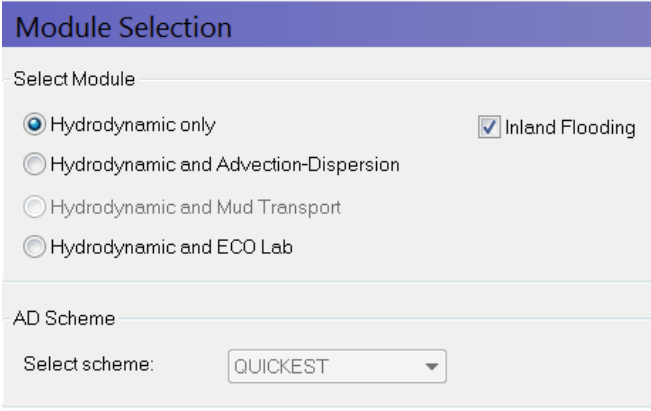
Ved oppstart av nytt prosjekt i MIKE Zero vises en meny over de ulike parameterne vist i Figur 6-27.



Figur 6-27 Meny over parametere i MIKE 21 Flow Model (Skjermdump).

Module Selection

Her ble det valgt ønsket hydrodynamisk modul. Ettersom simuleringene i dette masterarbeidet var av overflatestrømninger i urbant området ble det huket av på «Inland Flooding».



Module Selection

Select Module

Hydrodynamic only Inland Flooding

Hydrodynamic and Advection-Dispersion

Hydrodynamic and Mud Transport

Hydrodynamic and ECO Lab

AD Scheme

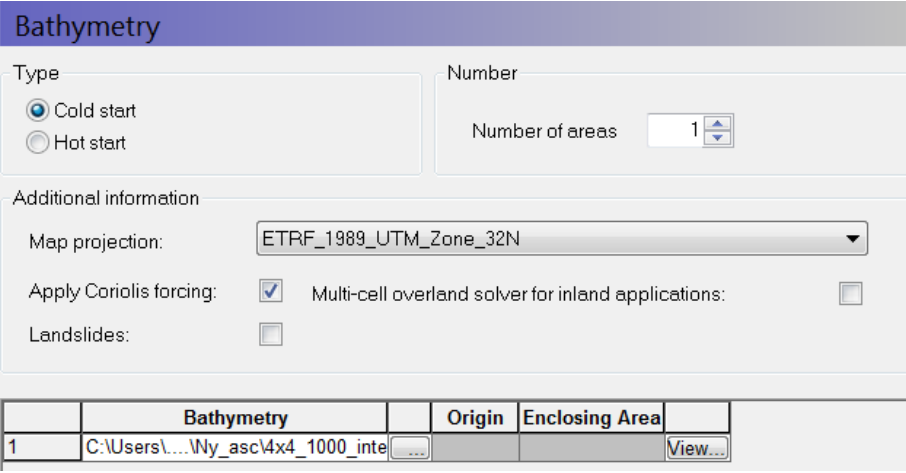
Select scheme:

Figur 6-28 Valg av hydrodynamisk modul under «Module Selection». Siden simuleringene var av overvann ble det huket av på «Inland Flooding» (Skjermdump).

Bathymetry

Disse simuleringene ble gjort på overflaten, og ikke på havbunnen. Dette gjorde at terrenngmodellen fungerte som batymetri (dybde data), og ble derfor lagt inn her som type2-datafil (dfs2). Terrenngmodellens koordinatsystem ble lagt til under «Map Projection», og det ble huket av på valget om å inkludere jordklodens rotasjon i beregningene (Corioliseffekten).

Terrenngmodellen har svært stor innvirkning på simuleringens resultater, og må derfor være korrekt. Oppløsningen er valgt til 4x4 meter. Johansen og Moldekleiv gjorde mange forsøk for å undersøke hvilken oppløsning som ga godt resultat, men som ikke var for datakrevende. Ved for høy oppløsning kunne simuleringen overbelastes og programmet avsluttet brått («Blow up»).



Bathymetry

Type

Cold start Hot start

Number

Number of areas:

Additional information

Map projection:

Apply Coriolis forcing: Multi-cell overland solver for inland applications:

Landslides:

	Bathymetry	Origin	Enclosing Area	
1	C:\Users\...\Ny_asc4x4_1000_inte...			<input type="button" value="View..."/>

Figur 6-29 Valg av batymetri. Terrenngmodellens koordinatsystem ble valgt under «Map Projection», og terrenngmodellen ble lagt inn i «Bathymetry» som type2-datafil (Skjermdump).

Simulation Period

I denne fanen ble det lagt inn ønsket lengde og antall tidssteg i simuleringen. Basert på oppsettet til Johansen og Moldekleiv (2016), ble «Time Step Intervall» satt til 0,1. Vinduet kalkulerte da ut et Courantall på 0,255256. At Courants tall er under 1 indikerer en stabil simulering. Simuleringens start- og sluttidspunkt ble bestemt etter hva tidsforløpet til nedbørsfilen som ble benyttet var. (Johansen & Moldekleiv, 2016)

Simulation	
Time step range:	First: 0 Last: 144000
Time step interval:	0.1
Simulation start date:	2016-01-01 00:00:00
Simulation end date:	2016-01-01 04:00:00
Warm-up Period	
Time step range:	First: 0 Last: 0
Courant Number	
Max Courant No.:	0.255256
Area:	1

Figur 6-30 I «Simulation Period» ble det fylt inn antall og lengde på tidssteg, samt tidspunkter for start og slutt (Skjermdump).

Flood and Dry

«Flooding Depth» og «Drying Depth» ville bestemme når bevegelsesmengde ble inkludert i beregningene i simuleringen. Etter flere forsøk utført i masterarbeidet til Moldekleiv og Johansen, ble det bestemt at verdiene vist i Figur 6-31 ga tilfredsstillende resultater.

Flood and Dry	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable flooding and drying	
Drying depth:	0.001
Flooding depth:	0.002

Figur 6-31 Verdier lagt inn i «Flood and Dry» (Skjermdump).

Initial Surface Elevation

«Initial Surface Elevation» ble lagt inn som en konstant verdi på -5 m. Oppsummert fra oppgaven til Johansen og Moldekleiv er denne verdien valgt på grunnlag av at det ble funnet forsenkninger i terrenget helt ned i -4,7 m. Ved å sette «Initial Surface Elevation» til -5 m ble det unngått at disse forsenkningene var fylt med vann ved simuleringens start.

Initial Surface Elevation				
	Given as:	Value	File name	
1	Constant value	-5.00000		<input type="button" value="View..."/>

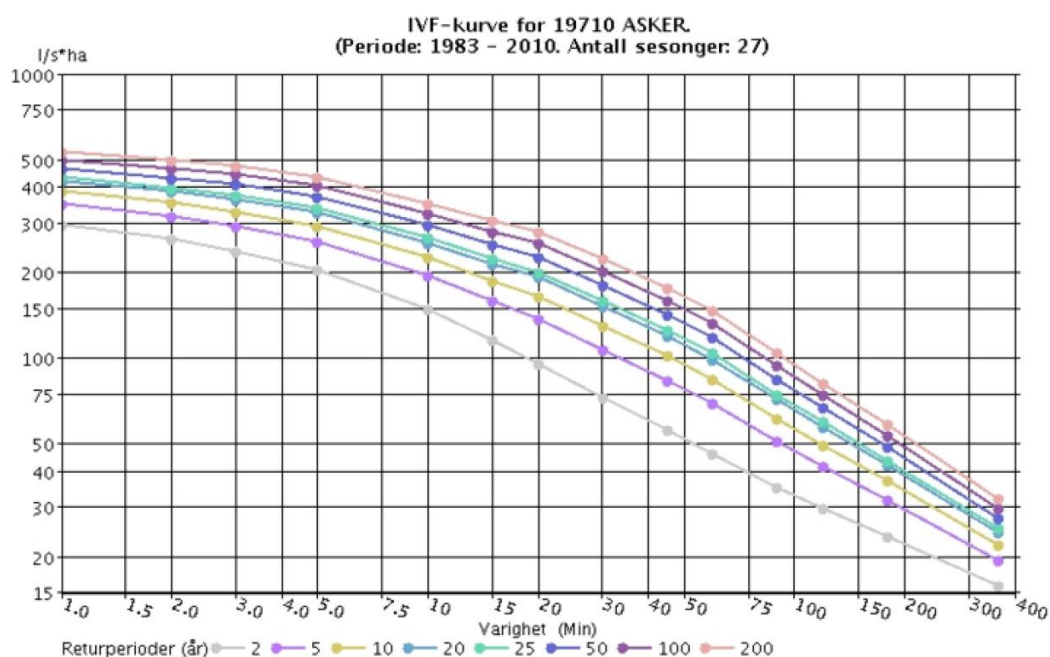
Figur 6-32 Det ble satt inn en konstant verdi lik -5m som «Initial Surface Elevation» (Skjermdump).

Source and Sink

For å inkludere nedbør i simuleringen ble det her lagt inn en regnfil. Regnfilen er basert på en IVF-kurve som er blitt omdannet til et symmetrisk regnhyetogram. Ettersom det ikke finnes en IVF-kurve for Drammen av nyere dato ble IVF-kurven for Asker benyttet. Asker ligger omtrent 20 km fra Drammen, og antas som tilstrekkelig representativ for området. (Johansen & Moldekleiv, 2016)

Det konstruerte regnhyetogrammet benyttet i denne masteroppgaven ble opprettet i masterarbeidet til Johansen og Moldekleiv, og deres beregninger ble gjort i henhold til prinsippene til Ødegaard et al. (Ødegaard, 2012)

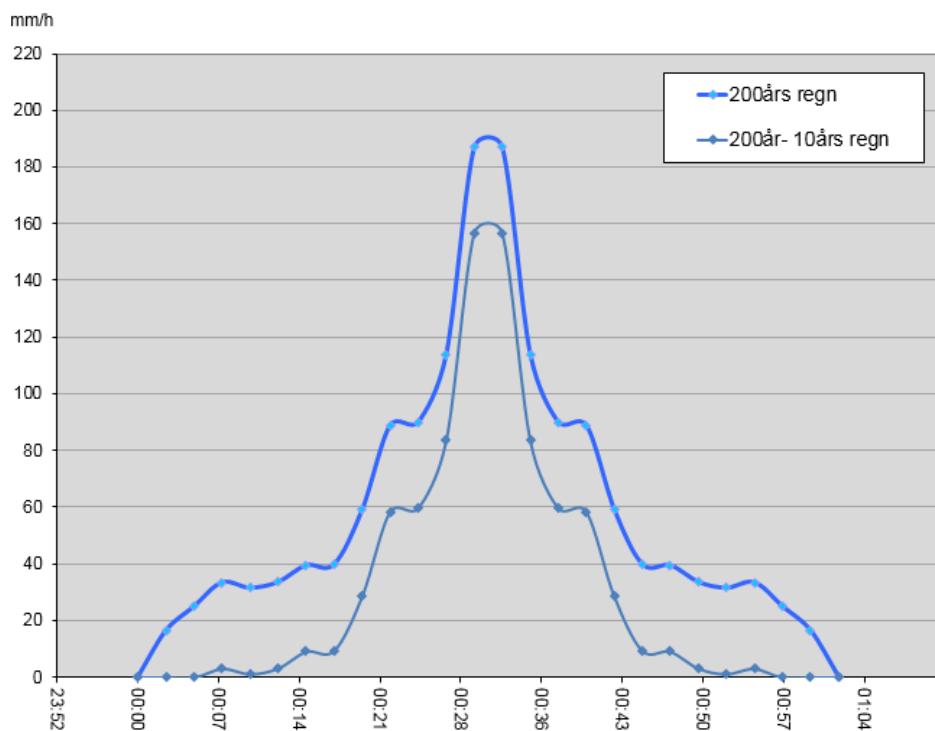
Regnfilen tilsvarte 200-årsregn med 10-års fratrekk. Dette fratrekket på 10 år hadde som hensikt å tilsvare dimensjoneringen av ledningsnettet i Drammen.



Figur 6-33 IVF-kurve for Asker i perioden 1983-2010, med regnets varighet i minutter på X-aksen og regnintensitet i liter per sekund per hektar på Y-aksen (Meteorologisk institutt, 2010).

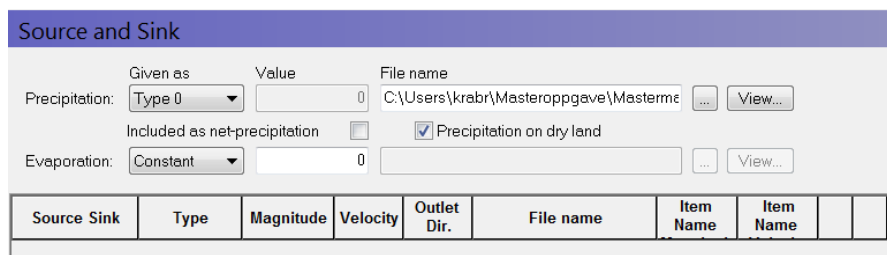
Returperioder(år): Nedbørintensitet i liter pr. sekund pr. hektar(10 000m ²) (l/s*ha)														
19710 ASKER														
Periode: 1983 - 2010														
Antall sesonger: 27														
År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 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

Figur 6-34 IVF-kurvens nedbørintensiteter i liter per sekund per hektar vist i tabell (Meteorologisk institutt, 2010).



Figur 6-35 Symmetrisk regnhyetogram for 200-årsregn og 200-årsregn med 10-års fratrek, medberegnet en klimafaktor på 20 %. X- og Y-aksene viser tid og nedbørmengde i millimeter per time (Johansen & Moldekleiv, 2016).

Regnfilen hadde blitt konvertert ved hjelp av MIKE Zero Toolbox, til type0-datafil (dfs0), som var formatet filen måtte ha for å kunne bli lagt inn i «Source and Sink». Nedbøren ble antatt lik over hele området, og hadde ikke unik verdi i hver celle. (Johansen & Moldekleiv, 2016)



Figur 6-36 Regnfilen ble lagt inn som dfs0-datafil (Skjermdump).

Infiltration

«Infiltration type» ble satt til «Net Infiltration Rate» med formatet «Constant in Time, Varying in Space» da verdiene i infiltrasjonsmodellen er konstante, og ikke varierer over tid. Infiltrasjonsmodellen ble lagt inn som type2-datafil (dfs2).

Infiltration

Infiltration

Infiltration type: Net Infiltration Rate

Infiltration format: Constant in Time, Varying in Space

Infiltration zone extent given as: Depth Level

Initial water volume in infiltration zone given as: Percentage of the Capacity Water Content

Data file: fannings\Batyhmetry\Ny_asc\Infiltrasjon\infiltrasjon_max_crop.dfs2

View...

Figur 6-37 «Net Infiltration Rate» ble valgt som infiltrasjonstype, og «Constant in Time, Varying in Space» ble valgt som format. Infiltrasjonsmodellen opprettet i ArcMap ble lagt inn som type2-datafil (Skjermdump).

Eddy Viscosity

Smagorinskys konstant var satt til 0,5 ettersom det var disse innstillingene som var blitt benyttet i masterarbeidet til Johansen og Moldekleiv (2016). Denne verdien ble valgt etter oppfordring fra DHI Oslo.

Eddy Viscosity

Given as: Smagorinsky Formula

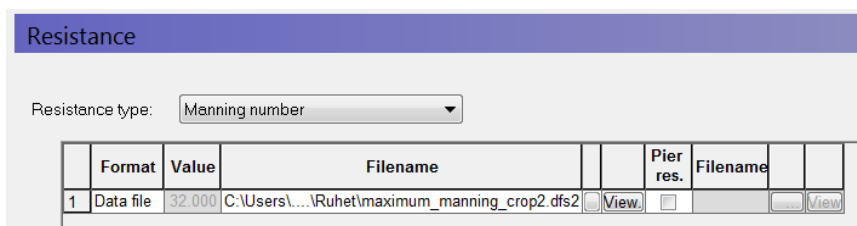
Type of Formulation: Velocity based

Smagorinsky Constants	
1	0.500000

Figur 6-38 Under Eddy Viscosity ble Smagorinskys konstant satt lik 0,5 (Skjermdump).

Resistance

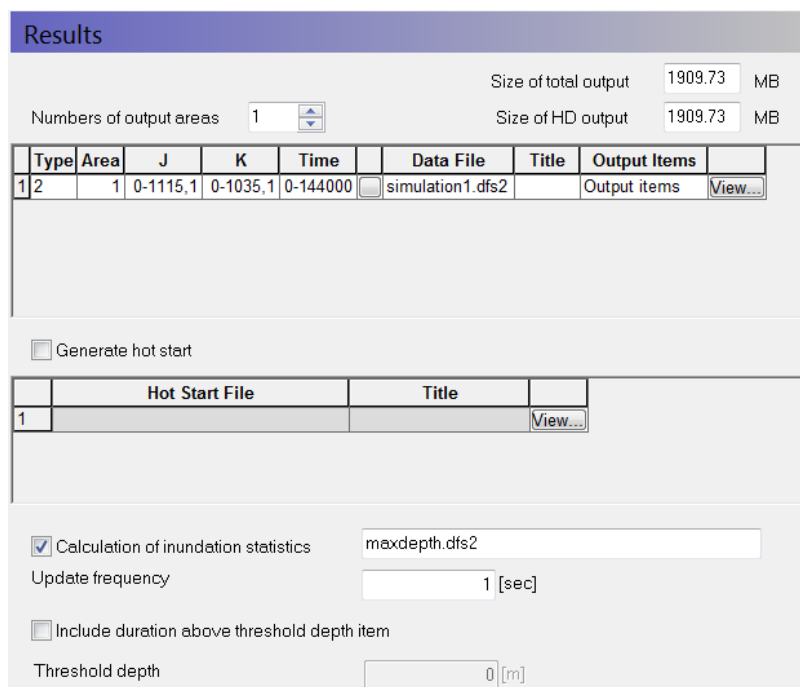
«Resistance» (overflateruhet) ble inkludert i simuleringen som Mannings tall, og «Mannings number» ble derfor valgt fra rullgardinmenyen. For å kunne legge inn en type2- datafil (dfs2) med verdier for overflateruhet måtte man velge «Data file» som format. Ruhetsmodellen opprettet i ArcMap kunne dermed legges til.



Figur 6-39 «Mannings number» ble valgt i rullgardinmenyen. Ruhetsmodellen opprettet i ArcMap ble lagt inn som type2-datafil (Skjermdump).

Results

Resultatvinduet viste størrelsen på filen som skulle lages. Denne størrelsen kunne justeres ved å endre lengde og antall på intervallene. I dette tilfellet var det 144000 tidssteg i simuleringen, med et intervall på 1000. Dette ga filen en håndterlig størrelse. For at en egen fil med simuleringens maksverdier skulle bli laget ble det huket av på «Calculation of inundation statistics» (Johansen & Moldekleiv, 2016).



Figur 6-40 Justering av simuleringens resultatfiler (Skjermdump).

6.6.3 Referansescenario

For å vurdere om ruhet og infiltrasjon har en innvirkning på oversvømmelser var det hensiktsmessig å sammenlikne oppgavens resultater med resultater fra et scenario med konstant ruhet og ikke inkludert infiltrasjon. Disse resultatene ble produsert ved å kjøre simuleringer med oppsettet fra masteroppgaven til Johansen og Moldekleiv (2016). I dette scenarioet er overflateruheten satt som konstant med Mannings tall lik 14. Det er ikke inkludert infiltrasjon, og det tas utgangspunkt i at all nedbør renner på overflaten. Oppsettet benytter samme terrengmodell, med tilsvarende oppløsning og antall celler. Nedbørshendelsen tilsvarer et 200-årsregn med 10-års fratrekk. Dette scenarioet blir heretter omtalt som referansescenarioet.

7 Resultater

I dette kapitlet presenteres resultater fra simulering i MIKE 21 i kart laget i ArcMap. Alle resultatene er presentert med ortofoto av Strømsø bydel i bakgrunnen.

Disse resultatene består av:

- Oversvømmelser vist som vanndybder i meter (m).
- Drenslinjer vist som vannføring i liter per sekund (l/s). Dette viser hvor de største vannmengdene renner på overflaten.
- Vannets hastighet i meter per sekund (m/s).

Resultatene er presentert i fire ulike scenarier:

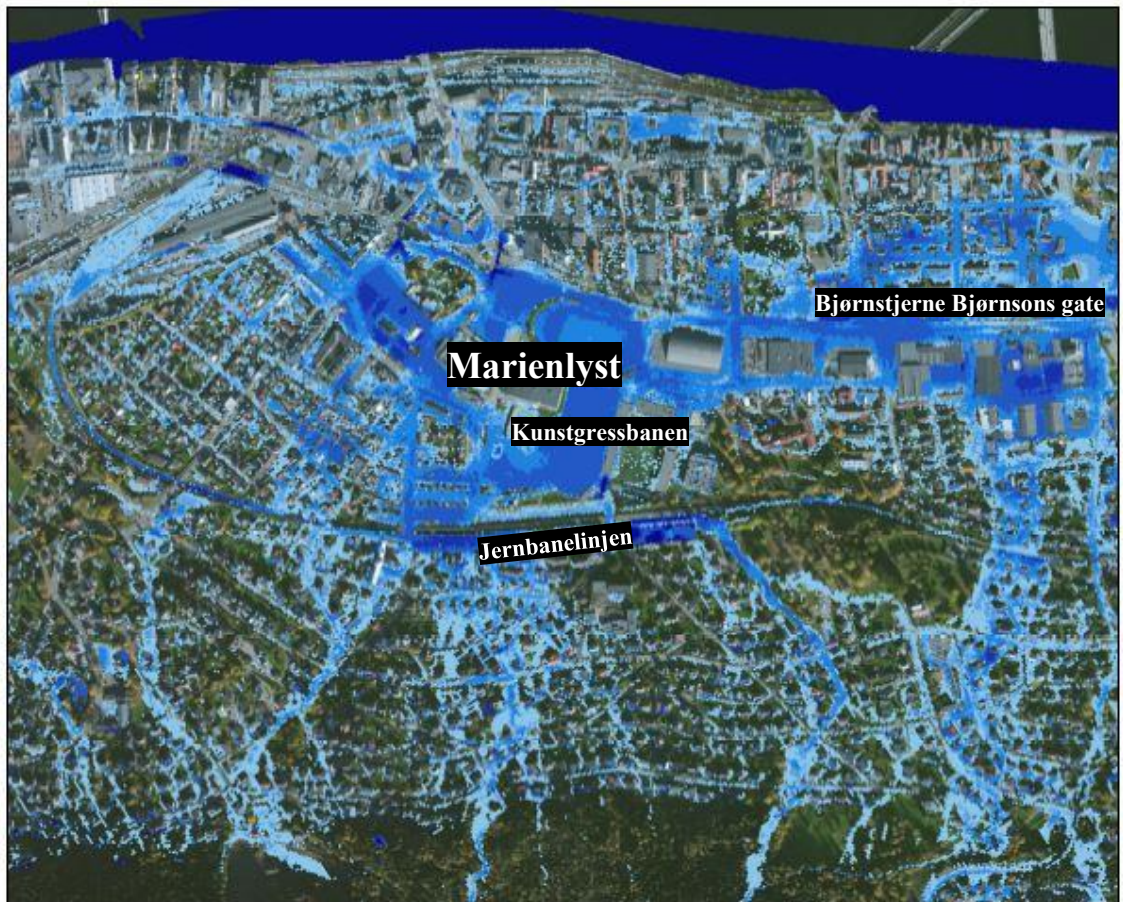
- Minimal ruhet og ingen infiltrasjon
- Maksimal ruhet og ingen infiltrasjon
- Konstant ruhet (M=14) og maksimal infiltrasjon
- Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon

Resultatene fra dette masterarbeidet blir først presentert hver for seg, inndelt i analyser for oversvømmelser, drenslinjer og vannhastighet. Deretter blir enkelte av resultatene sammenliknet med resultater fra referansescenariet. I dette scenariet er det benyttet en konstant ruhet med Mannings tall lik 14, samt en antagelse om at det ikke skjer infiltrasjon. Resultatene fra referansescenariet kan ses separat i vedlegget.

For å vurdere hvordan ruhet og infiltrasjon påvirker oversvømmelser, drenslinjer og vannhastighet er det hensiktsmessig å sammenlikne disse resultatene med hverandre og med resultater som ikke inkluderer eller varierer disse variablene. Følgende sammenlikninger ble utført:

- Minimal ruhet kontra maksimal ruhet (ingen infiltrasjon)
- Konstant ruhet og ingen infiltrasjon kontra konstant ruhet og maksimal infiltrasjon
- Konstant ruhet og ingen infiltrasjon kontra maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon

7.1 Oversvømmelsesanalyser



Oversvømmelser:
Minimal ruhet og ingen infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Meter
 0 50 100 200



Symbologi

Oversvømmelser

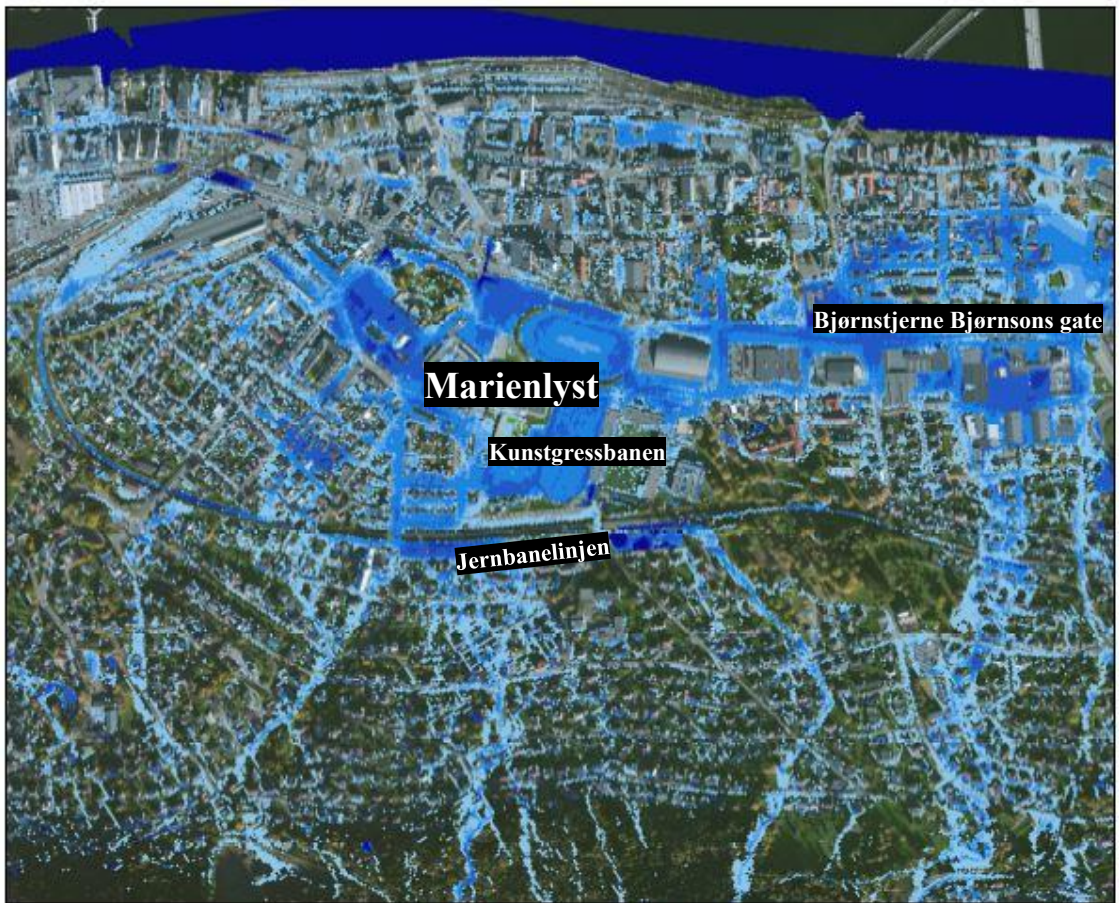
Klassifisering

	0m - 0.05m
	0.05m - 0.15m
	0.15m - 0.25m
	0.25m - 0.5m
	0.5m - 1m
	1m - 2m
	2m - 10m

Verdier for minimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M (m ⁻¹)
Bygninger	15
Veg	85
Vann	80
Skog	33
Fulldyrket jord	50
Annet	10



Figur 7-1 Oversvømmelsesanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: minimal ruhet og ingen infiltrasjon. Resultatene viser omfattende oversvømmelser med vanddybder inntil 1 m. Områdene rundt Marienlyst og Bjørnstjerne Bjørnsons gate er hardest rammet. Kunstgressbanen på Marienlyst er oversvømt med vanddybde mellom 0,25 og 0,5 m.



Oversvømmelser:
Maksimal ruhet og ingen infiltrasjon

200-årsregn med 10 års fratrekk

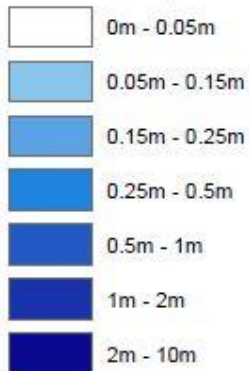
0 50 100 200 Meter



Symbologi

Oversvømmelse

Klassifisering



Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M (n ⁻¹)
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annnet	10



Figur 7-2 Oversvømmelsesanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: maksimal ruhet og ingen infiltrasjon. Resultatene viser omfattende oversvømmelser med vanddybder inntil 1 m. Områdene rundt Marienlyst og Bjørnstjerne Bjørnsons gate er hardest rammet. Kunstgressbanen på Marienlyst er oversvømt med vanddybde cirka 0,25 m.



Oversvømmelser:
Konstant ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Symbologi

Oversvømmelser

Klassifisering

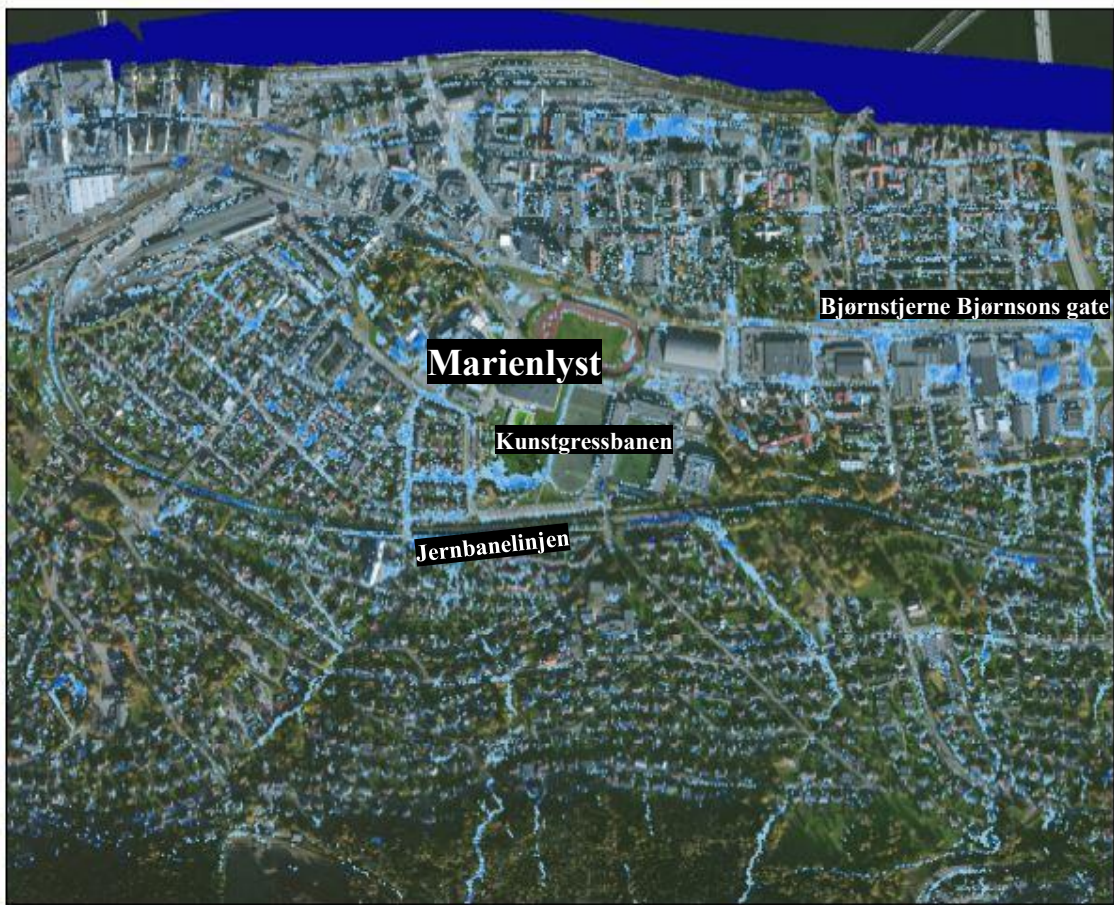
	0m - 0.05m
	0.05m - 0.15m
	0.15m - 0.25m
	0.25m - 0.5m
	0.5m - 1m
	1m - 2m
	2m - 10m

Konstant verdi for overflateruhet:
 Mannings tall $M = 14$

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmasstype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50



Figur 7-3 Oversvømmelsesanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: konstant ruhet ($M=14$) og maksimal infiltrasjon. Spredte oversvømmelser med liten vannddybde. Kunstgressbanen er oversvømt med vannddybde 0,05-0,15 m.



Oversvømmelser:
Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Symbologi

Oversvømmelse

Klassifisering

	0m - 0.05m
	0.05m - 0.15m
	0.15m - 0.25m
	0.25m - 0.5m
	0.5m - 1m
	1m - 2m
	2m - 10m

Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmassestype	Infiltrasjonrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50



Figur 7-4 Oversvømmelsesanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon. Svært lite oversvømmelser. Et mindre område ved Bjørnstjerne Bjørnsons gate er oversvømt med vanddybder inntil 0,25 m. Kunstgressbanen på Marienlyst er ikke oversvømt

Oversvømmelsesanalysene viser oversvømmelsenes plassering og dybde. Analysene inkluderer alle vanndybder på overflaten som overstiger 0,05 m. Vanndybder som overstiger 0,05 m er klassifisert i seks kategorier med dybder fra 0,05 m til 10 m. Kategoriene er visualisert med ulike blåtoner. Jo mørkere blåfarge, dess større vanndybde har oversvømmelsene på overflaten. Dette gjør det enkelt å se hvor de største oversvømmelsene finner sted.

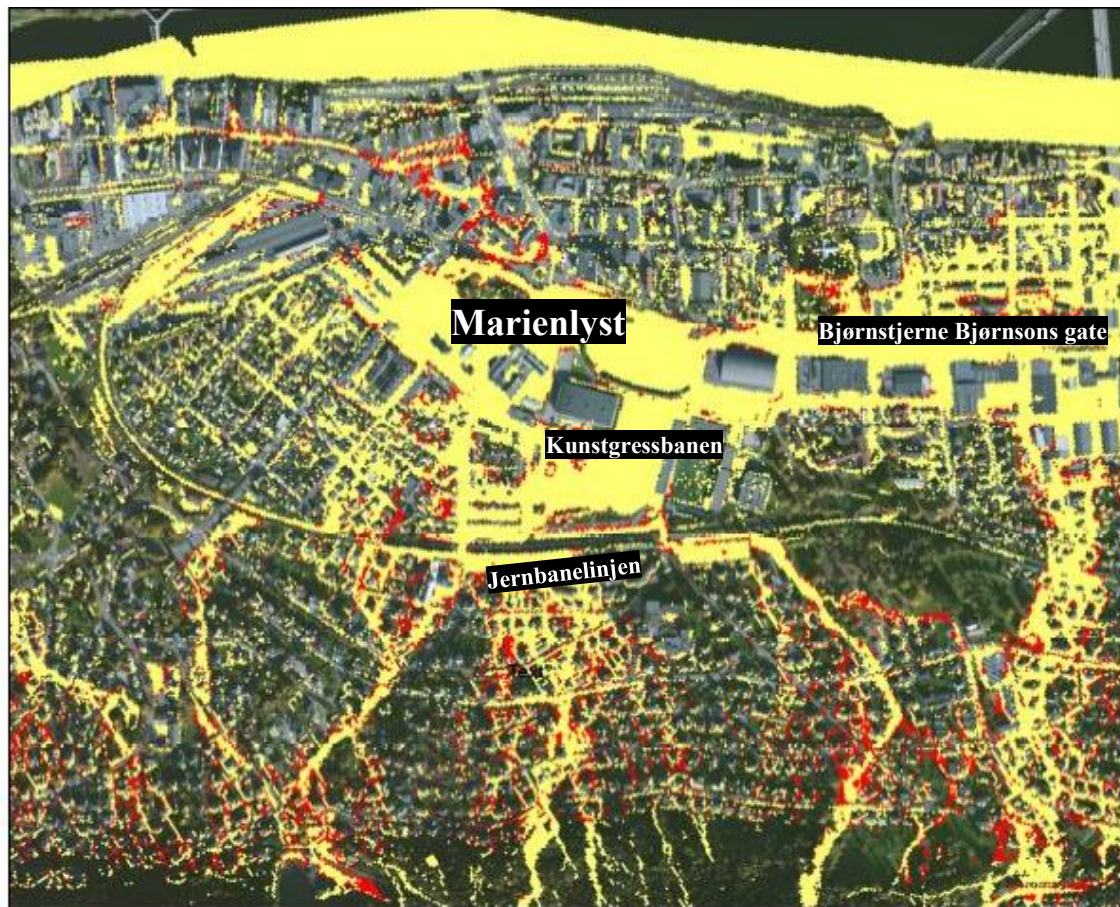
Figur 7-1 og Figur 7-2 viser scenarioene med minimal og maksimal ruhet og ingen infiltrasjon. Scenarioene er relativt like, med noe større oversvømmelser i scenarioet med minimal ruhet. I begge scenarioene er det omfattende oversvømmelser. Områdene rundt Marienlyst og østre del av Bjørnstjerne Bjørnsons gate er tilnærmet fullstendig oversvømt. Deler av området har vanndybder opp i 1 m. Så kraftige oversvømmelser gjør fremkommelighet umulig og påfører store skader på infrastruktur.

I scenarioet med konstant ruhet ($M=14$) og maksimal infiltrasjon vist i Figur 7-3 er det synlig mindre oversvømmelser. Oversvømmelsene på Marienlyst er begrenset til gressbanen nordvest for stadion, der vanndybden er stort sett mindre enn 0,15 m. Boligområdet nordvest for parkanlegget er hardere rammet, med vanndybder opp i 0,25 m.

Figur 7-4 viser scenarioet med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon. Her ser man at det er de lavtliggende områdene samt enkelte vegger som blir oversvømt først. Vanndybden er relativt små, og oversvømmelsene forekommer spredt rundt på lave områder i bydelen.

I samtlige av scenarioene samler vannet seg i «årer» nedover bakkene mot Strømsø. Flere av disse forgreiner seg kraftig i tilfeller med omfattende oversvømmelser.

7.1.1 Sammenlikninger



**Sammenlikning av oversvømmelser:
Minimal ruhet og ingen infiltrasjon
kontra
Maksimal ruhet og ingen infiltrasjon**

200-årsregn med 10 års fratrek

Symbologi

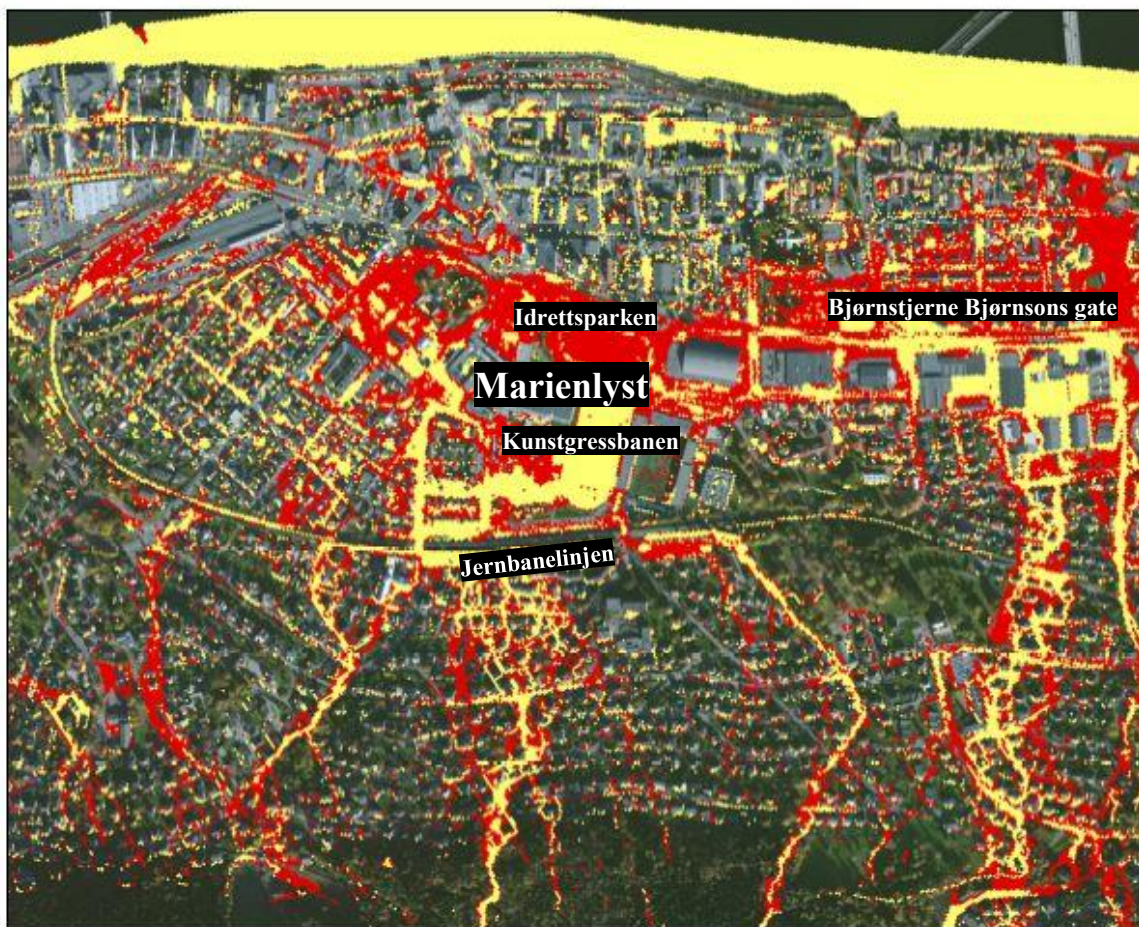
Definert oversvømmelse: > 0.05m

- Overlappende oversvømmelser
- Maksimal ruhet
- Minimal ruhet

Verdier for minimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	14
Veg	85
Vann	80
Skog	33
Fulldyrket jord	50
Annet	10

Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

Figur 7-5 Sammenlikning av oversvømmelser i Strømsø, Drammen: minimal ruhet kontra maksimal ruhet (ingen infiltrasjon). Det er liten forskjell mellom minimal og maksimal ruhet, dog litt mer oversvømmelse i scenarioet med minimal ruhet. Det er ingen synlige grønne felter da scenarioene med maksimal ruhet aldri strekker seg utover oversvømmelsene til scenarioet med minimal ruhet.



Sammenlikning av oversvømmelser:
Konstant ruhet og ingen infiltrasjon
kontra
Konstant ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Definert oversvømmelse: >0.05m

Symbologi

- Overlappende oversvømmelser
- Konstant ruhet M=14 og maksimal infiltrasjon
- Konstant ruhet M=14 og ingen infiltrasjon

Konstant verdi for overflateruhet:
 Mannings tall M = 14

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmassetype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50

Figur 7-6 Sammenlikning av oversvømmelser i Strømsø, Drammen: konstant ruhet (M=14) og ingen infiltrasjon kontra konstant ruhet og maksimal infiltrasjon. Det er tydelig mindre oversvømmelser i scenarioet som inkluderer maksimal infiltrasjon. Forskjellene er spesielt synlige ved Bjørnstjerne Bjørnsons gate og ved idrettsparken på Marienlyst. Det er ingen synlige grønne felter da scenarioet med maksimal infiltrasjon aldri strekker seg utover oversvømmelsene til scenarioet uten infiltrasjon.



**Sammenlikning av oversvømmelser:
Konstant ruhet og ingen infiltrasjon
kontra
Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon**

200-årsregn med 10 års fratrekk

Meter
0 50 100 200



Symbologi

Definert oversvømmelse: > 0.05m

- Overlappende oversvømmelser
- Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon
- Konstant ruhet M=14 og ingen infiltrasjon

Konstant verdi for overflateruhet:
Mannings tall M = 14

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmassetype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50

Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

Figur 7-7 Sammenlikning av oversvømmelser i Strømsø, Drammen: konstant ruhet (M=14) og ingen infiltrasjon kontra maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon. Det er svært store forskjeller mellom scenarioene. Oversvømmelsene i scenarioet med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon er svært små og spredte i forhold til referansescenariet. Det er ingen synlige grønne felter da scenarioet med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon aldri strekker seg utover oversvømmelsene til scenarioet med konstant ruhet og ingen infiltrasjon.

I sammenlikningene er oversvømmelsene vist i én helhetlig farge og inkluderer alle vanddybder over 0,05 m. Referansescenarioet er markert med rødt. De tre scenarioene med ruhet og infiltrasjon er markert i grønt. Felt hvor oversvømmelsene overlapper er vist i lysegult.

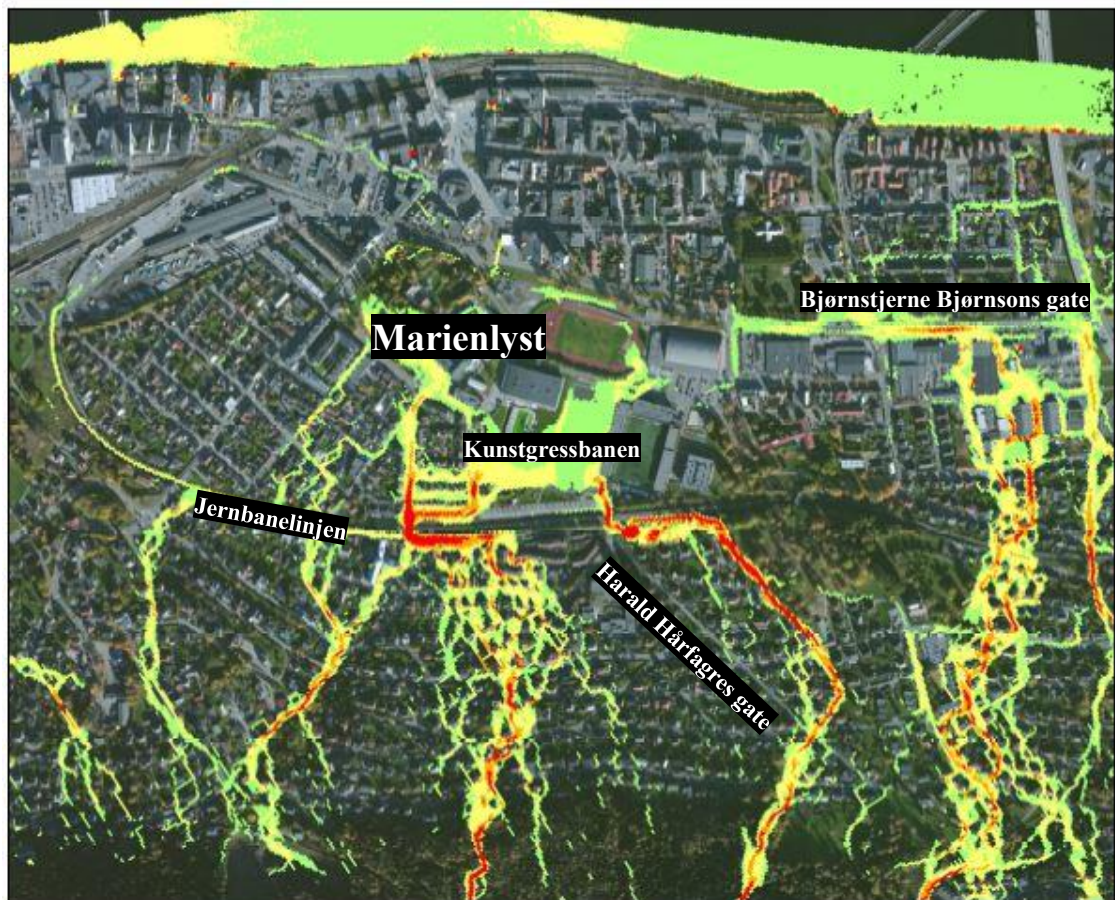
Det er ingen synlige grønne felt i noen av sammenlikningene. Dette tilsier at oversvømmelsene i scenarioene med varierende ruhet og infiltrasjon aldri strekker seg utover oversvømmelsene til referansescenarioet. Dette er logisk da oversvømmelsene i referansescenarioet alltid vil dekke de samme områdene som scenarioene som inkluderer ruhet og infiltrasjon, samt områder utover dette.

Forskjellen på oversvømmelser i scenarioene med minimal og maksimal ruhet er vist i Figur 7-5. Sammenlikningen viser at det er noe mer oversvømmelser i scenarioet med minimal ruhet, men denne forskjellen er liten og medfører ingen betydelig forskjell.

I Figur 7-6 og Figur 7-7 sammenliknes referansescenarioet, som antar ingen infiltrasjon, med de to scenarioene som inkluderer infiltrasjon. Her er forskjellen på oversvømmelsene svært tydelige. I Figur 7-6 ser man at scenarioet med konstant ruhet ($M=14$) og maksimal infiltrasjon har svært lite oversvømmelser sammenliknet med referansescenarioet. Dette er godt synlig i området rundt idrettsparken og Drammen videregående skole, samt området nordøst for Bjørnstjerne Bjørnsons gate. Disse områdene er kun oversvømt i scenarioet som antar at det ikke skjer infiltrasjon.

Når maksimal ruhet kombineres med maksimal infiltrasjon blir oversvømmelsene redusert ytterligere. Dette ser man tydelig i Figur 7-7. Her forekommer oversvømmelser svært spredt, utenom enkelte veger og områder rundt Marienlyst og Bjørnstjerne Bjørnsons gate. Disse områdene utpeker seg som spesielt utsatte i samtlige av scenarioene.

7.2 Drenslinjeanalyser



Drenslinjer:
Minimal ruhet og ingen infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Symbologi

Mengde

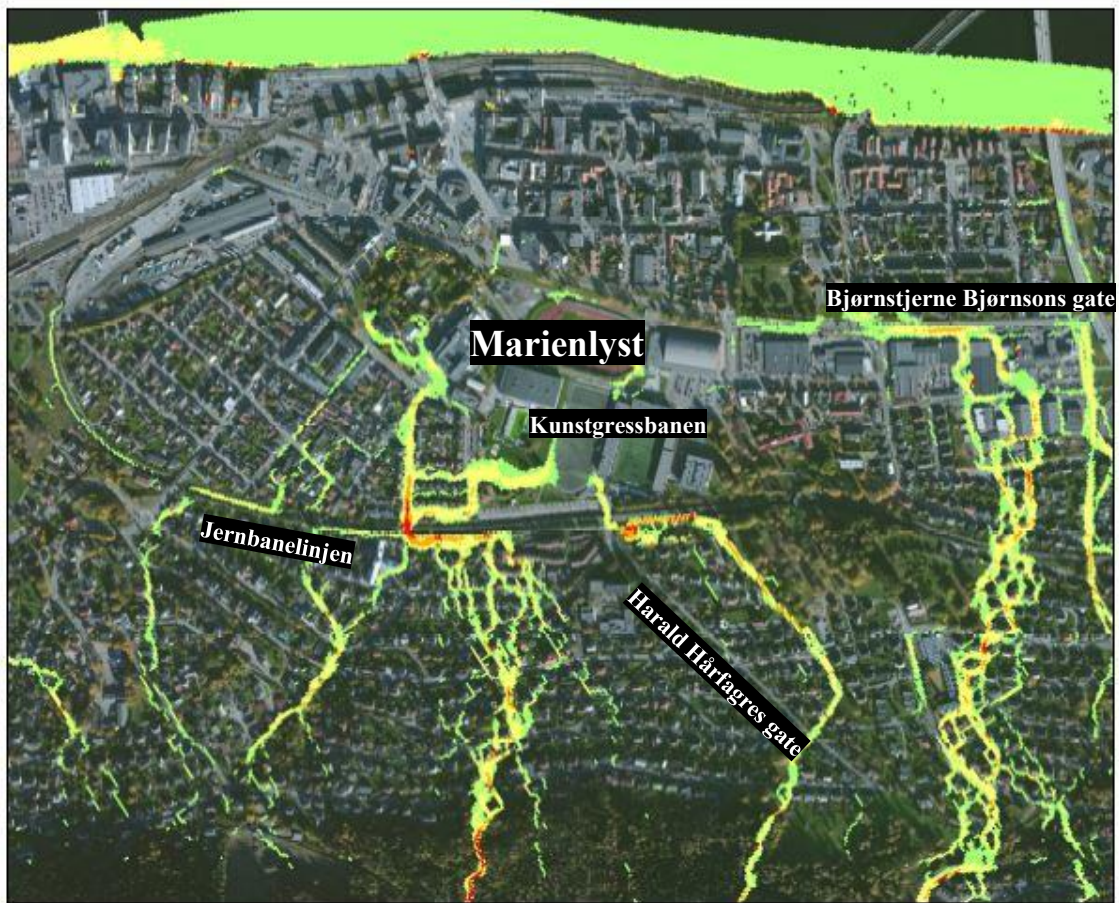
Klassifisering

	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s

Verdier for minimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M (n ⁻¹)
Bygninger	15
Veg	85
Vann	80
Skog	33
Fulldyrket jord	50
Annet	10



Figur 7-8 Drenslinjeanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: minimal ruhet og ingen infiltrasjon. Det er flere store drenslinjer. Drenslinjen som går parallelt med Harald Hårfagres gate har spesielt høy vannføring med vannføring over 500 l/s. Man kan også se høye vannføringer der vannet møter jernbanelinjen.

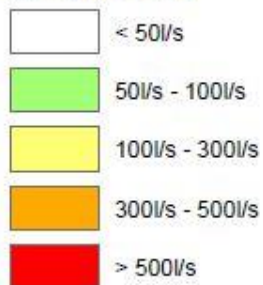


Drenslinjer:
Maksimal ruhet og ingen infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Symbologi

Drenslinjer

Klassifisering



Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M (n ¹)
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10



Figur 7-9 Drenslinjeanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: maksimal ruhet og ingen infiltrasjon. Det er synlig mindre drenslinjer. Det er kun vannføring over 500 l/s ved krysningene av jernbanelinjen, og i åsen i sydvest.

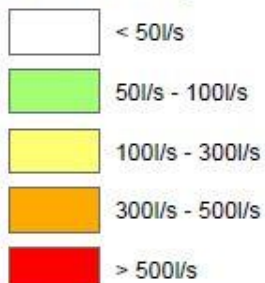


Drenslinjer:
Konstant ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Symbologi

Mengde

Klassifisering



Konstant verdi for overflateruhet:
 Mannings tall M = 14

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmasstype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50



Figur 7-10 Drenslinjeanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: konstant ruhet (M=14) og maksimal infiltrasjon. Drenslinjene er sterkt reduserte, men fortsatt tydelige. Ingen vannføringer overstiger 300 l/s.



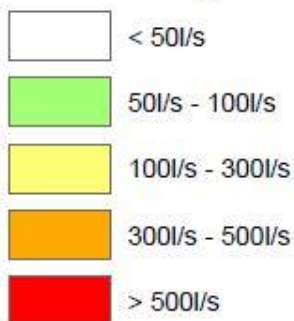
Drenslinjer:
Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon

200-årsregn med 10 års fratrekk

Symbologi

Mengde

Klassifisering



Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmassetype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50



Figur 7-11 Drenslinjeanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon. Drenslinjene er i dette scenarioet redusert til at de nesten ikke er synlige. Vannføringen er stort sett under 100 l/s.

Drenslinjer er der de største vannmengdene samler seg på terrengoverflaten og drenerer mot en resipient. Vannmengdene er angitt i liter per sekund, og er inndelt i fire kategorier med verdier fra 50 l/s til 400 l/s. Vannmengder under 50 l/s er ikke inkludert i kartene. Drenslinjene er gitt graderte farger fra grønt til rødt ettersom hvor høy vannføringen er.

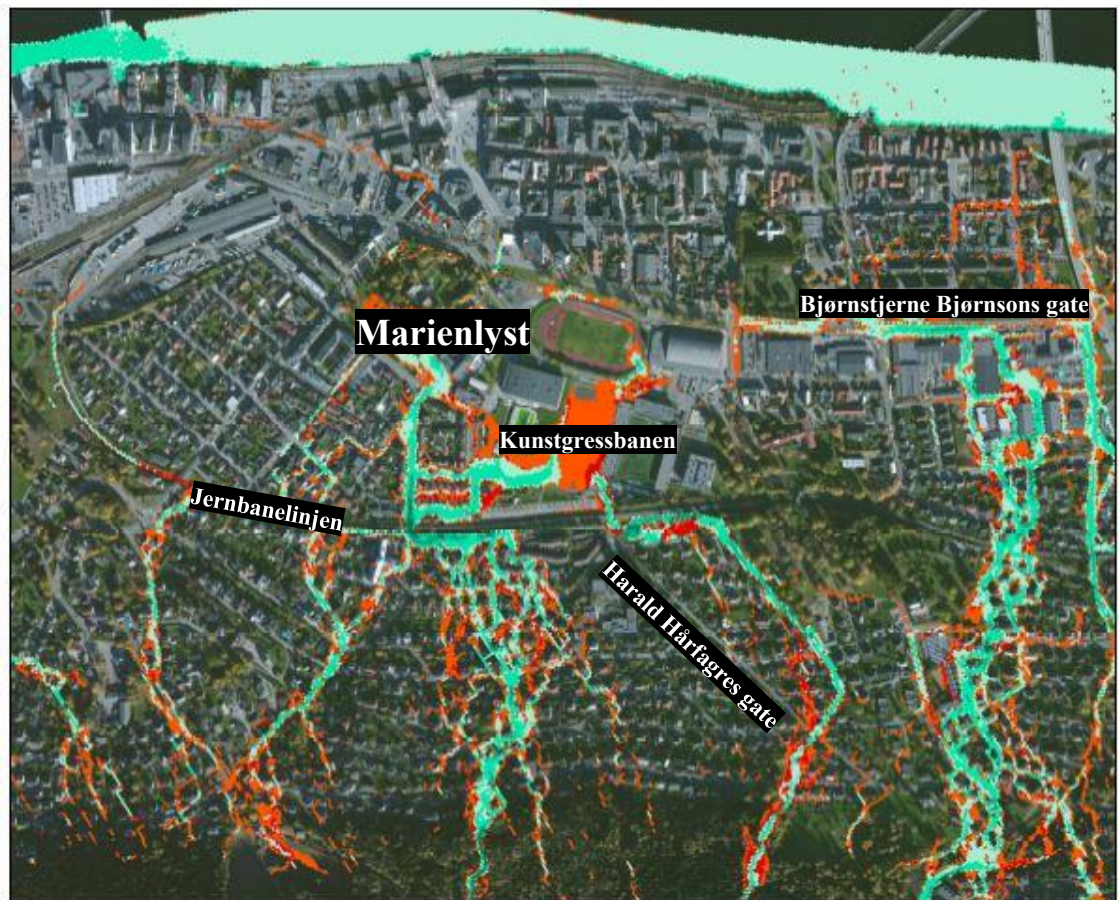
I Figur 7-8 vises drenslinjene som dannes i scenarioet med minimal ruhet og ingen infiltrasjon. Det er flere store drenslinjer som leder vannet ned mot Strømsø, som ved enkelte strekninger har vannføring over 300 l/s. På avstand kan det se ut som drenslinjene følger vegene nedover bakkene. Ved å se nærmere på drenslinjene ser man at dette ikke nødvendigvis stemmer. Flere av drenslinjene følger forsengkninger i terrenget, og lager egne «elver» gjennom boligområdene. Et eksempel på dette er den godt markerte drenslinjen som går parallelt med Harald Hårfagres gate). Drenslinjene i scenarioet med maksimal ruhet i Figur 7-9 er betraktelig mindre forgreinet og har lavere vannføring.

I samtlige av resultatene er det en synlig drenslinje langs Møllebekkveien (endrer navn til Colletts gate ved jernbanelinjen). Denne drenslinjen «forsyner» området rundt Bjørnstjerne Bjørnsons gate med store mengder vann. Flere drenslinjer følger også terrenget like nordvest for Møllebekkveien/Colletts gate.

Drenslinjene i scenarioet som inkluderer maksimal infiltrasjon er vist i Figur 7-10. Her er utbredelsen av drenslinjer synlig redusert, og de er blitt betraktelig mindre forgreinet. Drenslinjene har hovedsakelig vannføring mellom 50 og 100 l/s, og mellom 100 og 300 l/s på enkelte korte strekninger.

I scenarioet med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon, som vist i Figur 7-11, er drenslinjene ytterligere redusert. Drenslinjene følger kun kortere strekninger, med vannføring under 100 l/s.

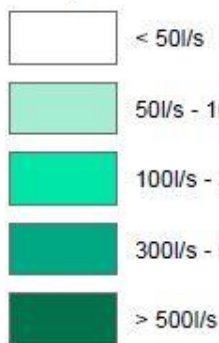
7.2.1 Sammenlikninger



Sammenlikning av drenslinjer:
Minimal ruhet og ingen infiltrasjon
kontra
Maksimal ruhet og ingen infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

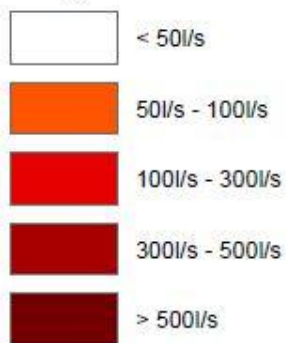
Maksimal ruhet

Mengde



Minimal ruhet

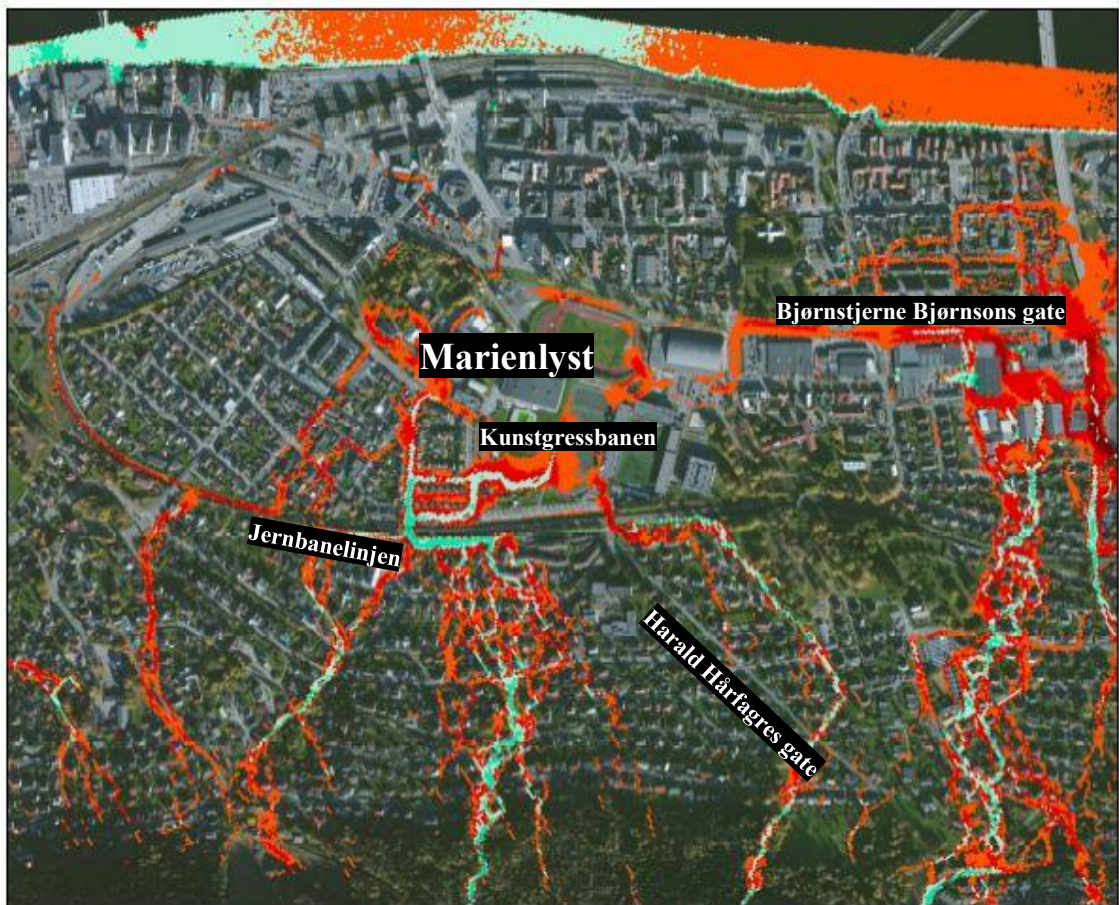
Mengde



Verdier for minimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	14
Veg	85
Vann	80
Skog	33
Fulldyrket jord	50
Annet	10

Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

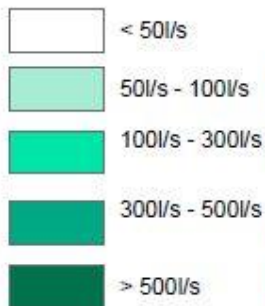
Figur 7-12 Sammenlikning av drenslinjer: minimal ruhet kontra maksimal ruhet (ingen infiltrasjon). Det er betydelig større og flere drenslinjer i scenarioet med minimal ruhet.



Sammenlikning av drenslinjer:
Konstant ruhet og ingen infiltrasjon
 kontra
Konstant ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Konstant ruhet og maksimal infiltrasjon

Mengde



Konstant ruhet og ingen infiltrasjon

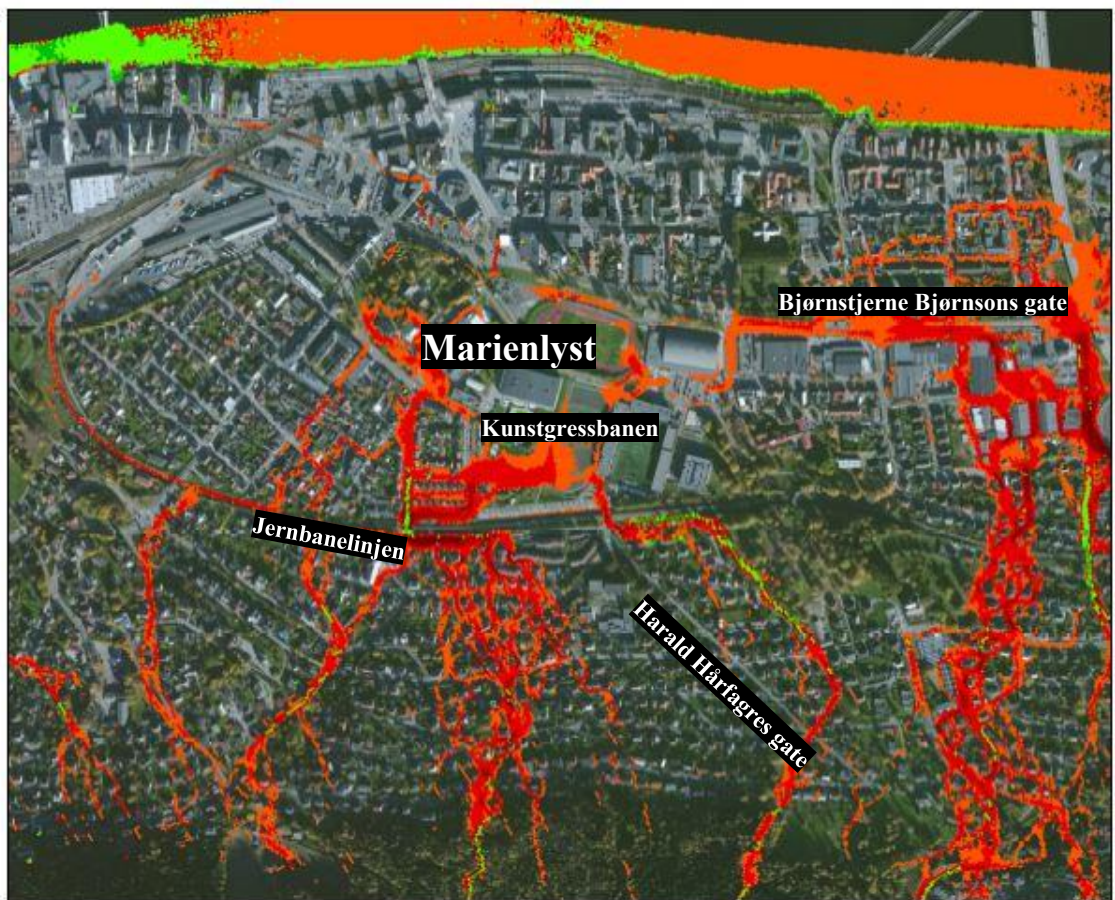
Mengde



Konstant verdi for overflateruhet:
 Mannings tall M = 14

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmasstype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50

Figur 7-13 Sammenlikning av drenslinjer: ingen infiltrasjon kontra maksimal infiltrasjon (konstant ruhet M=14). Drenslinejene i scenarioet med maksimal infiltrasjon som er markert med grønt er nesten ikke synlige blant drenslinejene i scenarioet uten infiltrasjon.



Sammenlikning av drenslinjer:
Konstant ruhet og ingen infiltrasjon
 kontra
Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk



Konstant verdi for overflateruhet:	
Mannings tall M = 14	

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmasstype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50

Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

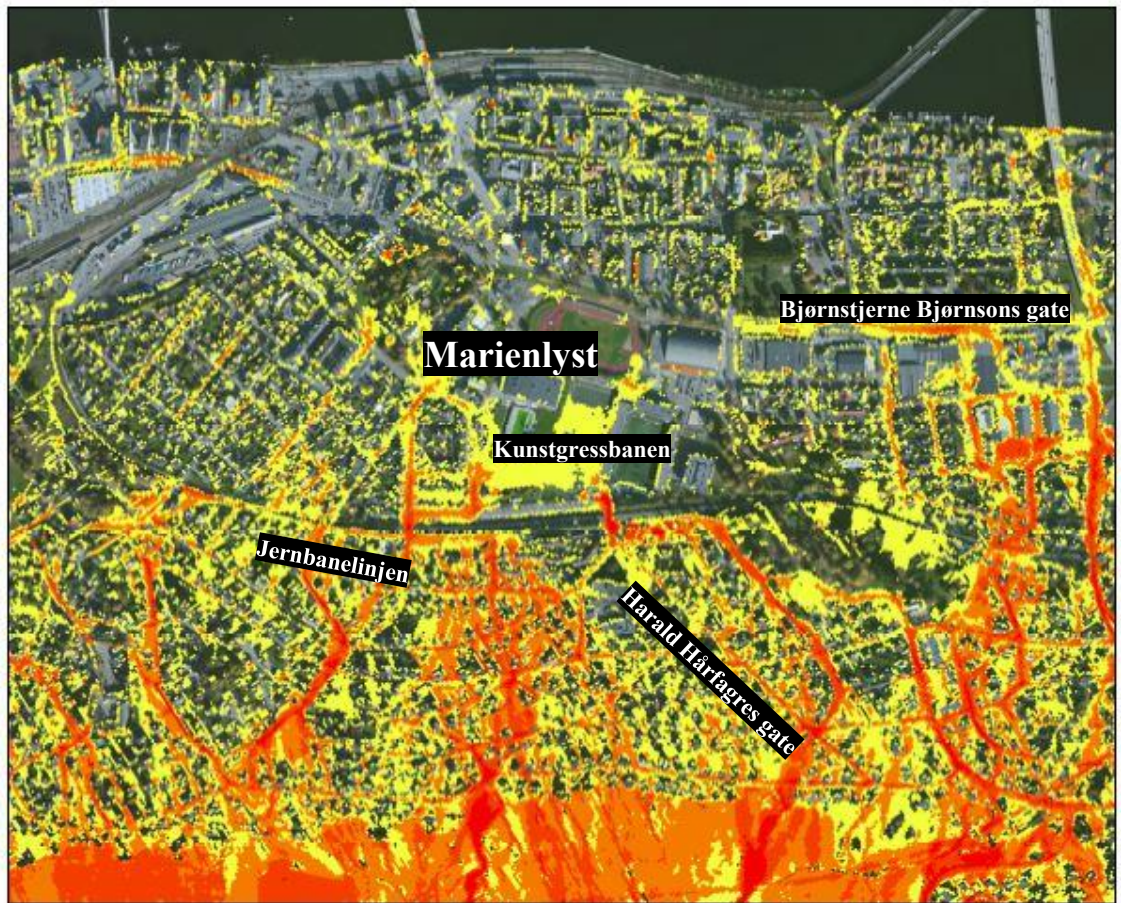
Figur 7-14 Sammenlikning av drenslinjer: konstant ruhet (M=14) og ingen infiltrasjon kontra maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon. Her var forskjellene så store at en mer synlig grønnfarge måtte benyttes for å vise frem drenslinjene i scenarioriet med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon.

I sammenlikningene av drenslinjene er referansescenarioet vist i graderte rødtoner. Drenslinjer i scenarioene med varierende ruhet og infiltrasjon er vist i gradert grøntoner, og er lagt over drenslinjene i referansescenarioet. Alle drenslinjer som forekommer i scenarioene med varierende ruhet og infiltrasjon er dekket av drenslinjene til referansescenarioet.

I Figur 7-12 sammenliknes drenslinjene fra scenarioet med minimal ruhet og ingen infiltrasjon med scenarioet med maksimal ruhet og ingen infiltrasjon. Sammenlikningen viser mer utbredelse av drenslinjer i scenarioet med minimal ruhet. Dette er spesielt synlig på kunstgressbanen på Marienlyst, som kun har vannføring høyere enn 50 l/s i scenarioet med minimal ruhet.

Der referansescenarioet sammenliknes med scenarioet med konstant ruhet og maksimal infiltrasjon, er forskjellen svært synlig. Drenslinjer i scenarioet med konstant ruhet og maksimal infiltrasjon er atskillig mindre utbredt. Dette kan ses i Figur 7-13. Sammenlikningen der scenarioet med konstant ruhet og ingen infiltrasjon er vist sammen med scenarioet med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon er vist i Figur 7-14. Her er drenslinjene ytterligere redusert, og er nesten ikke synlige.

7.3 Hastighetsanalyser



Vannhastighet:
Minimal ruhet og ingen infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

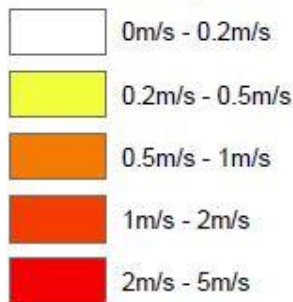
Meter
 0 50 100 200



Symbologi

Hastighet

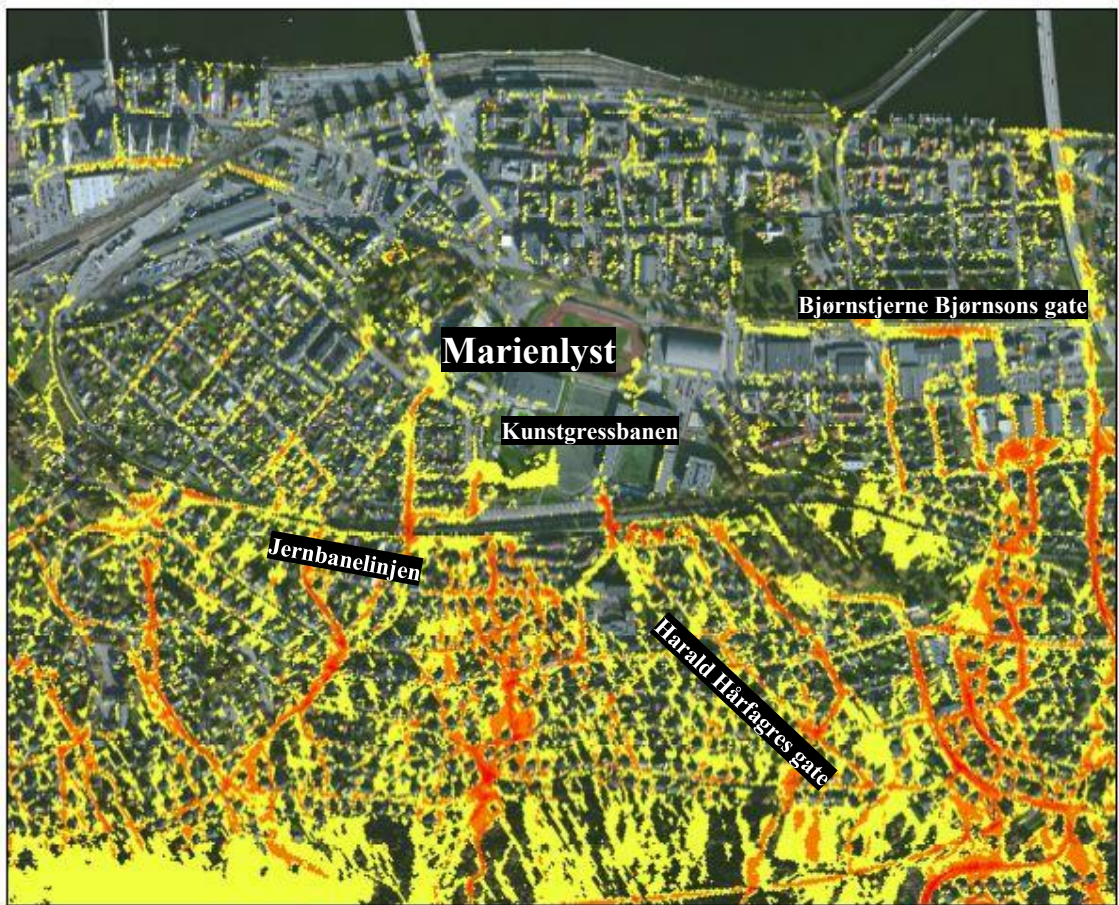
Klassifisering



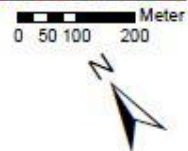
Verdier for minimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M (n ⁻¹)
Bygninger	15
Veg	85
Vann	80
Skog	33
Fulldyrket jord	50
Annet	10



Figur 7-15 Hastighetsanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: minimal ruhet og ingen infiltrasjon. Det er vannhastigheter 2 til 5 m/s langs flere strekninger. De høyeste vannhastighetene befinner seg der de største drenslinjene går. Det er spesielt høye hastigheter i øverst i åsen i sydvest.



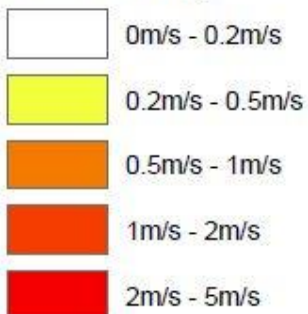
Vannhastighet:
Maksimal ruhet og ingen infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk



Symbologi

Hastighet

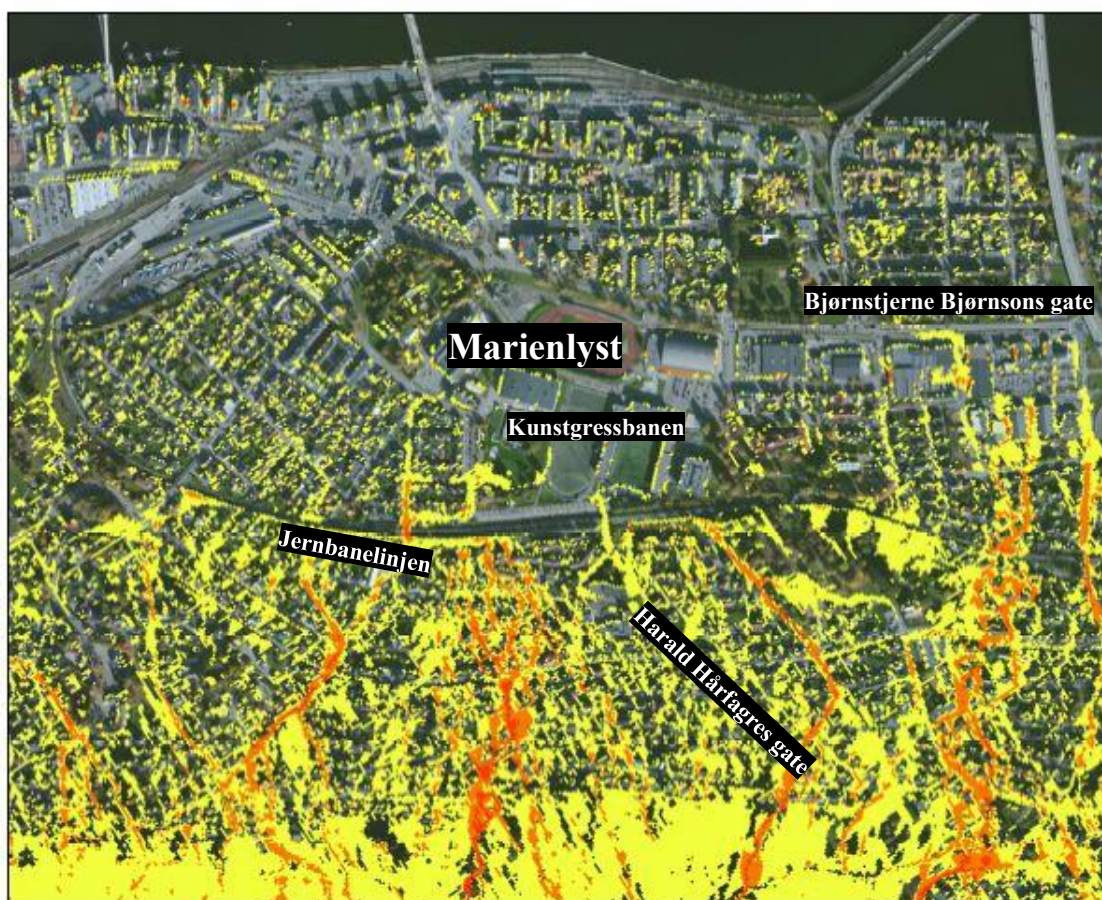
Klassifisering



Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M (n ⁻¹)
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10



Figur 7-16 Hastighetsanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: maksimal ruhet og ingen infiltrasjon. Vannhastighetene er tydelig reduserte, spesielt øverst i åsen i sydvest. Det er fortsatt høye vannhastigheter langs drenslinjene ned til Strømsø.

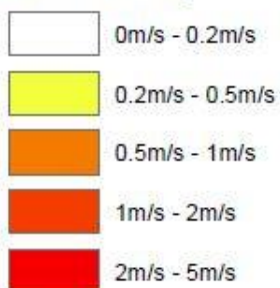


Vannhastighet:
Konstant ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Symbologi

Hastighet

Klassifisering

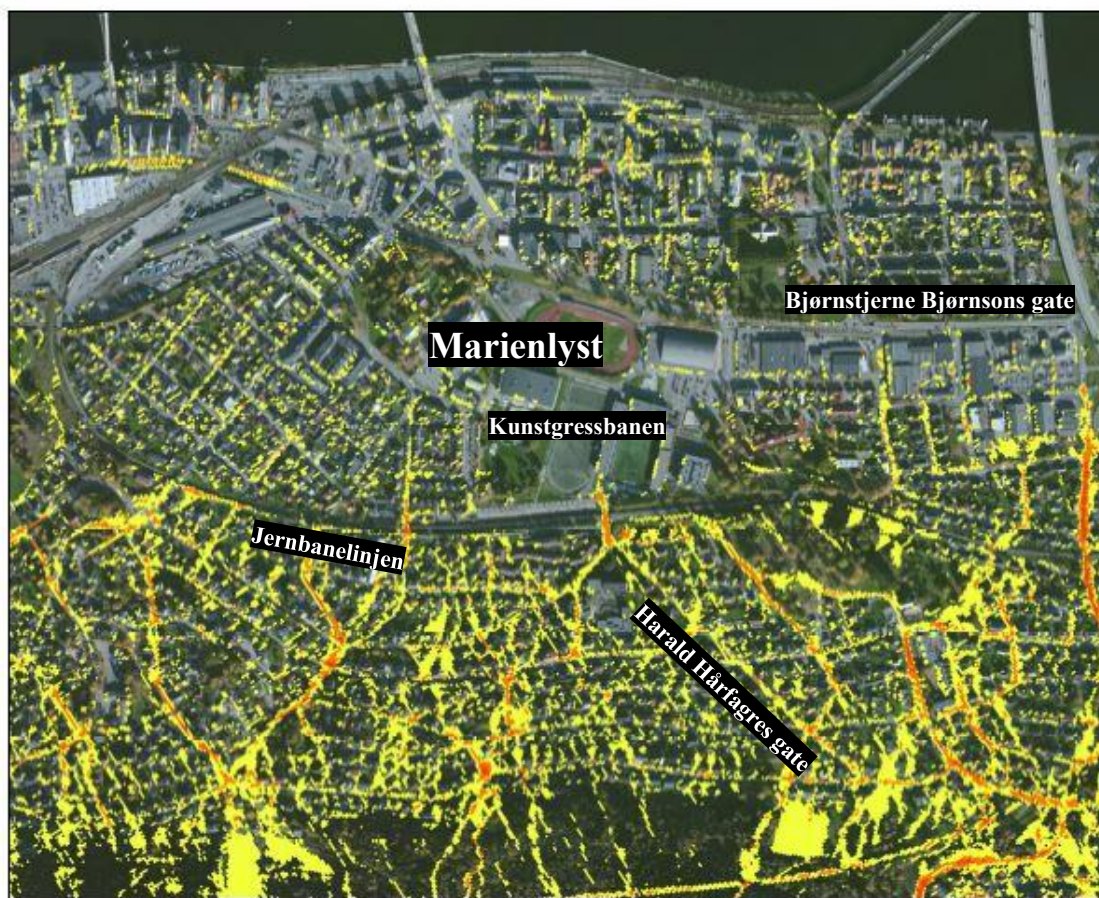


Konstant verdi for overflateruhet:
 Mannings tall $M = 14$

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmasstype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50



Figur 7-17 Hastighetsanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: konstant ruhet ($M=14$) og maksimal infiltrasjon. Vannhastigheter over 0,5 m/s er begrenset til drenslinjene.



Vannhastighet:
Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

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

Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmassestype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50



Figur 7-18 Hastighetsanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon. I dette scenarioet er det vanskelig å få øye på drenslinjene. Vannhastigheter som overstiger 0,5 m/s er kun ved korte strekninger. Drenslinjen i øst er fortsatt godt synlig, med vannhastigheter opp mot 2 m/s.

Hastighetsanalysene viser hvor raskt vannet beveger seg i terrenget. Vannets hastighet på overflaten er angitt i meter per sekund. Hastigheter over 0,2 m/s er vist i fire kategorier, fra 0,2 til 5 m/s.

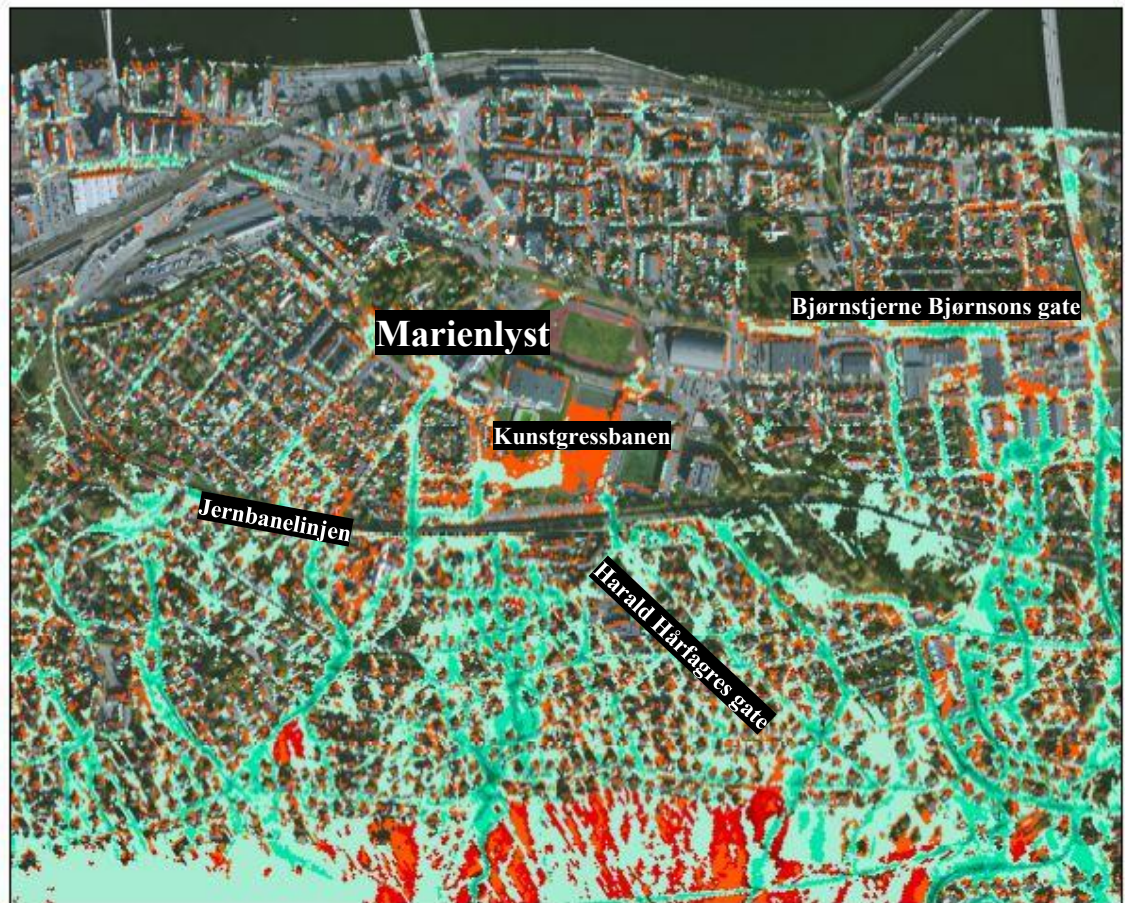
Informasjon om vannets hastighet på overflaten er interessant fordi denne hastigheten kan påvirke hvilke veier vannet velger å ta når det renner nedover åsen. Mindre vannmengder med lav hastighet har lettere for å endre retning, samt at det kan følge forsenkninger i terrenget. Jo høyere hastighet vannet har, dess vanskeligere er det å endre retning. Dette kan føre til at vannet tar veier man ikke alltid har forutsett.

Figur 7-15 viser vannets hastighet i scenarioet med minimal ruhet og ingen infiltrasjon. Resultatet viser særlig høye vannhastigheter i det bratte terrenget nedover mot Strømsø, i den sydvestlige delen av analyseområdet. De høyeste hastighetene forekommer der man kan se i Figur 7-9, Figur 7-10 og Figur 7-11 at det går drenslinjer. Her er vannhastighetene mellom 0,5 og 5 m/s. Scenarioet med maksimal ruhet i Figur 7-16 viser også høye vannhastigheter langs drenslinjene, men med betraktelig lavere hastigheter i den sydvestlige delen av området.

Scenarioet med konstant ruhet og maksimal infiltrasjon er vist i Figur 7-17. Her er det høye vannhastigheter i det bratte terrenget i sydvest. Drenslinjene er synlige med vannhastigheter mellom 0,5 og 2 m/s.

Figur 7-18 viser scenarioet med maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon. Her er vannhastighetene synlig lavere, spesielt i området i sydvest. Drenslinjene er betraktelig mindre markert, og det er kun noen få strekninger av drenslinjene som har vannhastighet over 5 m/s.

7.3.1 Sammenlikninger




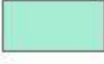



**Sammenlikning av vannhastighet:
Minimal ruhet og ingen infiltrasjon
kontra
Maksimal ruhet og ingen infiltrasjon**
200-årsregn med 10 års fratrekk

Meter
0 50 100 200







Maksimal ruhet

Hastighet

	0m/s - 0.2m/s
	0.2m/s - 0.5m/s
	0.5m/s - 1m/s
	1m/s - 2m/s
	2m/s - 5m/s

Minimal ruhet

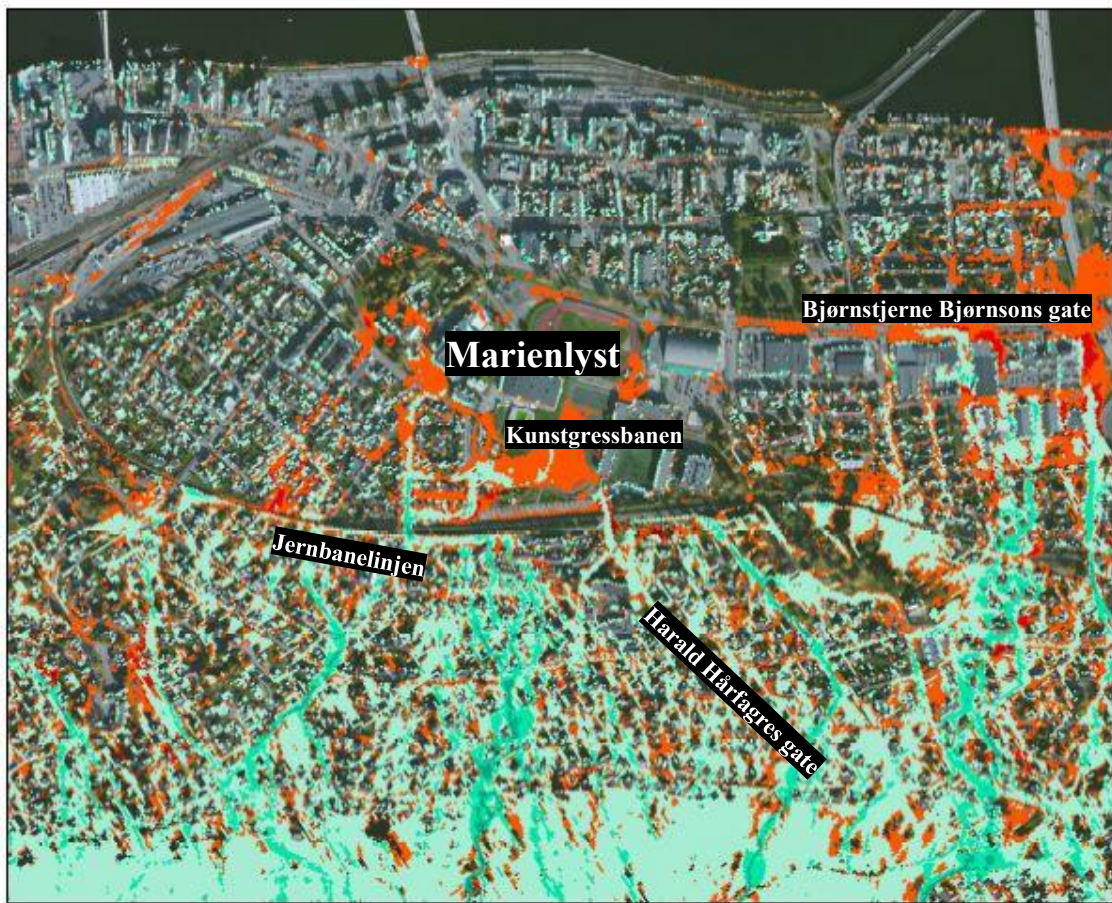
Hastighet

	0m/s - 0.2m/s
	0.2m/s - 0.5m/s
	0.5m/s - 1m/s
	1m/s - 2m/s
	2m/s - 5m/s

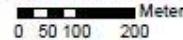
Verdier for minimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	14
Veg	85
Vann	80
Skog	33
Fulldyrket jord	50
Annet	10

Verdier for maksimal overflateruhet	
Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

Figur 7-19 Sammenlikning av vannhastighet: minimal ruhet kontra maksimal ruhet (ingen infiltrasjon). Man kan se betydelige forskjeller på dreneringene i de to scenarier. I scenarier med maksimal ruhet er det betraktelig lavere vannhastigheter i det bratte terrenget i sydvest, og lavere hastigheter i området nærmest elven.



Sammenlikning av vannhastighet:
Konstant ruhet og ingen infiltrasjon
 kontra
Konstant ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk



Konstant ruhet og maksimal infiltrasjon

Hastighet



Konstant ruhet og ingen infiltrasjon

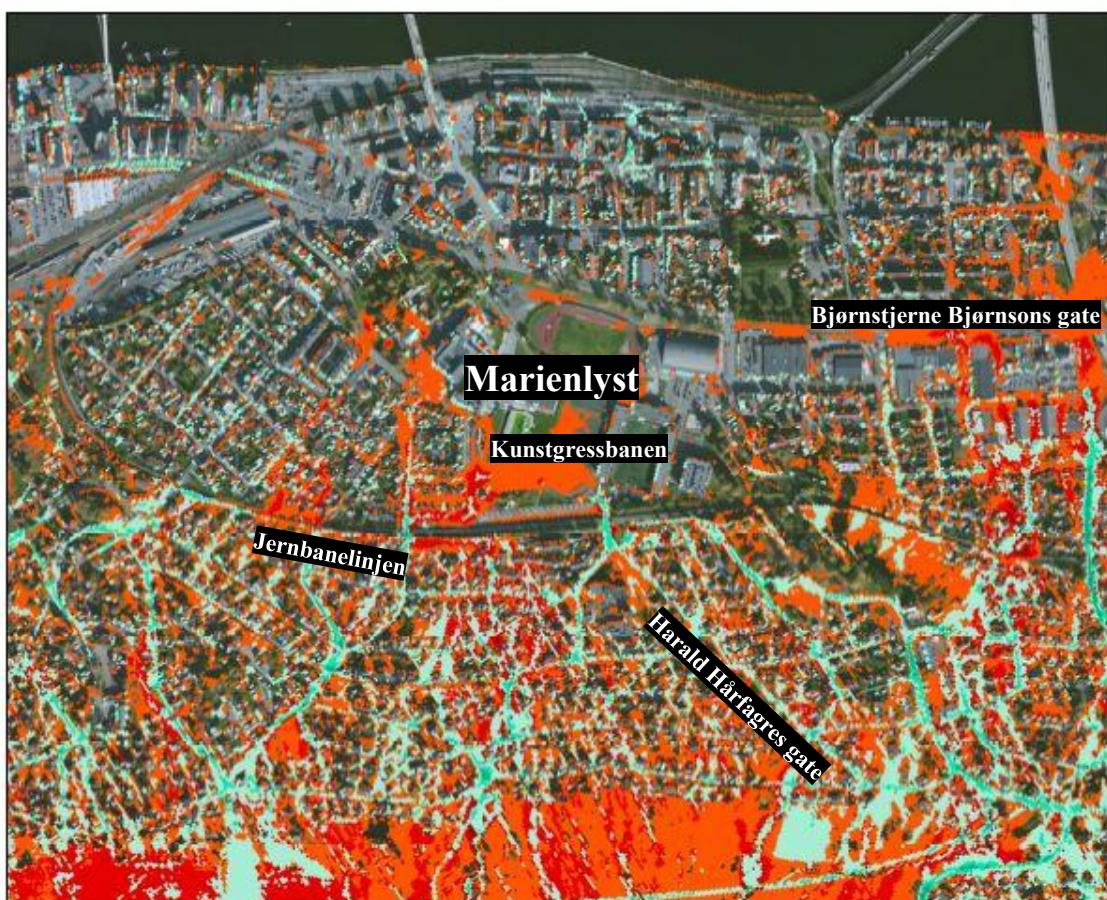
Hastighet



Konstant verdi for overflateruhet:
 Mannings tall $M = 14$

Verdier for maksimal infiltrasjon	
Løsmassetype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50

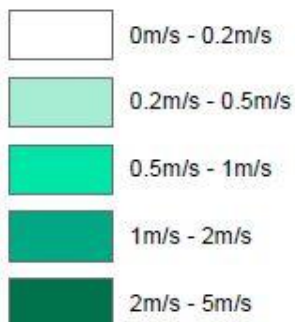
Figur 7-20 Sammenlikning av vannhastighet: ingen infiltrasjon kontra maksimal infiltrasjon (konstant ruhet $M=14$). Scenarioene har store, synlige forskjeller i vannhastighet. Det er kun scenarioet med konstant ruhet og ingen infiltrasjon som har vannhastigheter over 0,2 m/s i områdene rundt Marienlyst og Bjørnstjerne Bjørnsons gate.



Sammenlikning av vannhastighet:
Konstant ruhet og ingen infiltrasjon
 kontra
Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon
 200-årsregn med 10 års fratrekk

Maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon

Hastighet



Konstant ruhet M=14 og ingen infiltrasjon

Hastighet



Konstant verdi for overflateruhet:
 Mannings tall M = 14

Verdier for maksimal infiltrasjon

Løsmassetype	Infiltrasjonsrate (mm/t)
Bart fjell	50
Havavsetning	50
Strandavsetning	152
Elveavsetning	250
Fyllmasser	50

Verdier for maksimal overflateruhet

Arealbruk	Mannings tall M
Bygninger	1
Veg	55
Vann	50
Skog	5
Fulldyrket jord	20
Annet	10

Figur 7-21 Sammenlikning av vannhastighet: konstant ruhet (M=14) og ingen infiltrasjon kontra maksimal ruhet og maksimal infiltrasjon. I scenarioet med konstant ruhet og ingen infiltrasjon er det vannhastigheter høyere enn 0,2 m/s spredt rundt i tilnærmet hele området. I scenarioet med konstant ruhet og maksimal infiltrasjon er de høye vannhastighetene begrenset til drenslinjene

I sammenlikningene er vannhastighetene i referansescenarioet vist i graderte rødtoner. Vannhastighetene i scenarioene med varierende ruhet og infiltrasjon er vist i graderte grøntoner, og er lagt over vannhastighetene til referansescenarioet.

I Figur 7-19 er scenarioene med minimal ruhet sammenliknet med scenarioet med maksimal ruhet. Sammenlikningen viser høyere vannhastigheter spredt i området i scenarioet med minimal ruhet. De mest synlige forskjellene utpeker seg i området rundt Marienlyst stadion og i det bratte området i sydvest. Scenarioet med minimal ruhet har også høyere vannhastigheter i området nærmest Drammenselva.

Sammenlikningen mellom referansescenarioet og scenarioet med konstant ruhet og maksimal infiltrasjon er vist i Figur 7-20. Her er vannhastighetene sydøst i analyseområdet relativt like. De mest markante forskjellene er synlige på Marienlyst og området nordøst for Bjørnstjerne Bjørnsons gate. I disse områdene er det kun vannhastigheter av betydning i referansescenarioet. Disse forskjellene blir enda sterkere når maksimal ruhet legges til i scenarioet i Figur 7-21. I dette scenarioet er det svært lave vannhastigheter. De fleste vannhastighetene er mellom 0 og 0,2 m/s. Det er kun langs drenslinjene at vannhastigheten overstiger 0,5 m/s.

8 Diskusjon

Modellering av overvann i Drammen kommune har vært benyttet som tema i flere masteroppgaver ved Institutt for Matematiske Real FAG og Teknologi ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). Det var i forbindelse med disse oppgavene at det var ønskelig med videreføring av overvannsmodellering i samme område. I denne sammenheng ble det utprøvd flere metodikker for modellering av overvann. Det var på grunnlag av disse utprøvingene at det ble valgt å benytte programvarene ArcGIS og MIKE 21 i denne masteroppgaven.

Lisens på ArcGIS var tilgjengelig gjennom NMBU, og lisens på MIKE 21 ble lånt av DHI Oslo. Jeg fikk også mulighet til å delta på kurs i ArcGIS hos Geodata i Oslo.

8.1 Grunnlagsdata

De to modellene som representerer overflateruhet og infiltrasjon ble bygget opp av elementer fra FKB-datasett. For å dele opp området etter varierende overflate og grunnforhold ble datasett med ulike egenskaper hentet inn. I forbindelse med valg av FKB-data og parameterverdier ble det gjort flere antakelser, som skal begrunnes i dette kapitlet.

For å bestemme verdier for ruhet var det nødvendig å vite hvordan overflatene i området så ut. Til dette formålet ble FKB-datasett for arealressurser hentet inn. Datasettet inneholdt attributter som arealtype, skogbonitet, treslag, grunnforhold og avgrensinger. Arealtyper hadde hovedinndeling etter kriterier for vegetasjon, naturlig drenering og kulturpåvirkning (Geonorge, 2016c). Attributten var delt inn i følgende kategorier:

- Bebyggd
- Ferskvann
- Fulldyrket jord
- Hav
- Ikke kartlagt
- Innmarksbeite
- Myr
- Overflatedyrket jord
- Samferdsel
- Skog
- Snøisbre
- Åpen fastmark

Ferskvann, hav, bebyggd og samferdsel ble luket ut da disse kategoriene ble antatt dekket av de allerede anskaffede FKB-datasettene for veger, bygg og vannflater. Områder med overflatedyrket jord, innmarksbeite, myr og åpen fastmark var så lite utbredt at disse ble antatt å ikke ha en merkbar effekt på ruhetsmodellen. Fulldyrket jord og skog var de eneste av de resterende kategoriene som var betydelig representert i analyseområdet, og ble derfor inkludert i ruhetsmodellen.

For å få en så nøyaktig ruhetsmodell som mulig måtte alle de overnevnte kategoriene ha blitt inkludert, og gitt en realistisk verdi for overflateruhet. Dette ville vært svært tidkrevende. Ettersom analyseområdet

inneholdt begrensede områder med disse arealtypene ble den forenklede modellen antatt som tilfredsstillende.

For oppbygging av infiltrasjonsmodell var det hensiktsmessig å studere analyseområdet grunnforhold og løsmasser. FKB-datasett for løsmasser ble hentet inn. Dette datasettet inneholdt blant annet attributt på løsmasstyper med tilhørende infiltrasjonsevner. De forskjellige løsmasstypene var gitt infiltrasjonsevne på en skala fra 1 (godt egnet) til 4 (uegnet).

FKB-datasettet som ble benyttet ga kun klassifisering på infiltrasjonsevne ut fra løsmasstype. Det ble ikke tatt høyde for at vegetasjon som gress, trær og busker kunne ha innvirkning på infiltrasjon og forsinkelse av vannet. Det ble ikke tatt høyde for løsmassenes vanninnhold, som bestemmer hvor mett bakken er. Dette påvirker jordas kapasitet til å motta og infiltrere vann. Det ble heller ikke tatt høyde for løsmasselagenes tykkelse. Disse forholdene medfører usikkerheter ved valg av infiltrasjonsrater.

8.2 Valg av parameterverdier

Minimum- og maksimumsverdier for overflateruhet ble valgt med utgangspunkt i tabeller fra Vassdragshåndboka og masteroppgaven til Filipova (2012). De største utfordringene lå i valg av overflateruheter for arealtypene skog og fulldyrket jord. Det er ikke blitt tatt høyde for treslag og skogtetthet, som kan påvirke overflateruheten. Fulldyrket jord er ikke blitt inndelt etter hva som dyrkes, men er blitt gitt én enkelt verdi. Kategorien «annet» ble benyttet for areal som faller utenom de øvrige kategoriene. Denne kategorien ble gitt en lav overflateruhet, da det er antatt at disse arealene befinner seg i urban bebyggelse, med stor andel glatte overflater.

For å bestemme minimum- og maksimumsverdier for infiltrasjonsrater ble det tatt utgangspunkt i verdier fra masteroppgaven til Brennhovd. Oppgaven ble skrevet ved NMBU våren 2014 og omhandler måling og modellering av avrenning på Vestli i Oslo (Brennhovd, 2014).

En betydelig del av analyseområdet består av løsmasser som ifølge NGU (2015) er uegnet til infiltrasjon. Ifølge FKB-data består dette uegnede området av «bart fjell». For å undersøke hva som klassifiseres som «bart fjell» ble infiltrasjonskartet i ArcMap sammenliknet med flyfoto fra Google Maps. Det er på flyfoto ingen synlige områder med «bart fjell». Det er et synlig dekke med grønn vegetasjon, og det antas å være et underliggende tynt lag med løsmasser. Det ble antatt at dekket med vegetasjon og løsmasser er rundt 10 cm tykt, og at det har en viss infiltrasjonsevne.

I produktspesifikasjonene for løsmassekart (NGU, 2015) blir havavsetninger beskrevet som usammenhengende, tynne dekker. Denne beskrivelsen passer forholdene i tilfellet med tynt dekke av vegetasjon og løsmasser over bart fjell. Infiltrasjonsraten til områder klassifisert som «uegnet» ble derfor satt til verdier tilsvarende infiltrasjon i havavsetninger.

Strømsø bydel er preget av urban bebyggelse, og grunnen består i stor grad av menneskelagte fyllmasser. Disse fyllmassene er av ukjent sammensetning og opphav, men består typisk av en sammensetning sand, grus og silt. Det ble antatt at fyllmassene har en viss infiltrasjonsevne, og verdiene ble satt tilsvarende infiltrasjon i havavsetning.

8.3 Programvare

8.3.1 ArcGIS

Det ble valgt å benytte ArcGIS i dette masterarbeidet. Dette ble valgt på grunnlag av at det tidligere var blitt skrevet flere masteroppgaver om overvannsmodellering med ArcGIS som programvare. Det var blitt lagt ned store mengder tid til utarbeiding av metode og terrengmodell, og det var derfor ønskelig å legge dette til grunn for en videreføring av arbeidet.

ArcGIS er en omfattende programvare med mange muligheter og funksjoner. Programmet er benyttet av kommuner og bedrifter, og har et stort bruksområde. Funksjonene og verktøyene benyttet i dette masterarbeidet er kun en liten del av programvaren.

ArcGIS er blitt benyttet i flere tidligere masteroppgaver skrevet ved NMBU. Disse masteroppgavene var til hjelp ved utarbeiding av metodikken i ArcGIS. Oppbygging av modeller for ulike parametere i tilsvarende grad var ikke blitt utført tidligere, så dette var til tider utfordrende arbeid. Det er et stort pluss at programvaren er godt brukt over hele verden. Dette gjør at det finnes mange hjelpsomme diskusjonstråder og filmer på internett, og det var forholdsvis enkelt å søke opp løsninger på problemer som oppstod underveis.

Terrengmodellen benyttet i dette masterarbeidet var et produkt av en tidligere masteroppgave ved NMBU (Johansen & Moldekleiv, 2016). Ettersom denne modellen ikke er blitt opprettet under dette masterarbeidet er det utfordrende å diskutere usikkerhetsmomenter ved bruk av denne modellen. Modellen antas å være virkelighetsnær, og å gi en god oversikt over områdets topografi. Den er basert på de nyeste laser- og FKB-dataene som var å oppdrive på tidspunktet den ble laget (våren 2015). Modellen antas å være godt egnet til overvannssimuleringer i MIKE 21.

8.3.2 MIKE 21

MIKE 21 Flow Model har et godt brukergrensesnitt, som gjør det intuitivt å bruke. En utfordring med MIKE 21 var å få programmet til å godkjenne modellene for overflateruhet og infiltrasjon i fanene «Resistance» og «Infiltration». Modellene ble lagt inn som type2-datafiler. Filene måtte bestå av nøyaktig like mange celler som den innlagte terrengmodellen, og inneha de riktige egenskapene. Dette var ikke like intuitivt, og det var frustrerende å ikke forstå hvorfor programmet ikke godtok enkelte filer.

Det anbefales å delta på kurs i MIKE 21 før man benytter programmet til simuleringer. DHIs gode nettsider i kombinasjon med fremgangsmåten utarbeidet av Johansen og Moldekleiv gjorde det likevel mulig å benytte programmet uten opplæring.

Prosesseringstiden til MIKE 21 Flow Model var ved de enkleste simuleringene minst 12 timer lang. Da simuleringene inkluderte varierende verdier på overflateruhet og infiltrasjon ble denne tiden tilnærmet fordoblet. Dette gjorde simuleringene til en tidkrevende prosess.

Nedbørshendelsen benyttet i simuleringene var et 200-årsregn med et fratrekk på et 10-årsregn, som var antatt å tilsvare kapasiteten til ledningsnett. Denne nedbørshendelsen var hentet fra IVF-kurve for Asker. Tilsvarende informasjon for Drammen var utdatert, og det ble antatt at nyere verdier for Asker

ville være representativt for området. Det var medregnet et klimatillegg på 20 %. Dette kan gi høy nedbørintensitet, men vil også ta høyde for fremtidig økning.

I MIKE 21 Flow Model ble infiltrasjon inkludert som «Net Infiltration». Dette er en forenklet metode å inkludere infiltrasjon på, som gjør flere antagelser. En av disse antagelsene er at infiltrasjonsraten til grunnen er konstant, og ikke endres over tid. Dette forutsetter at jorda ikke blir mettet med vann, og at jordas kapasitet til å motta vann er «uendelig». Under en reell nedbørshendelse vil bakken bli mettet relativt raskt, avhengig av forhold som løsmassetype, lagtykkelse, vanninnhold og temperatur. Dette medfører usikkerheter i simuleringene. Detaljert informasjon om områdets lagtykkelser, metthet og jordegenskaper er per dags dato ikke tilgjengelig, og er årsaken til at den forenklete metoden ble valgt.

Formålet med dette masterarbeidet er ikke å vurdere hvor stor infiltrasjonen i Strømsø bydel er, men om infiltrasjon kan ha en innvirkning på oversvømmelser i området. Derfor ble den forenklete infiltrasjonsmetoden ansett som tilstrekkelig.

I simuleringene ble det ikke tatt høyde for at vannivået i Drammenselva kan variere. Det ble antatt et konstant vannivå. Dette kan være tilfelle ved kortere nedbørshendelser, men er en usikkerhet ved modelleringen.

Jeg som utførte disse simuleringene hadde ingen tidligere erfaring med verken MIKE 21 eller ArcGIS. Det var utfordrende å forstå hvilke resultater som var virkelighetsnære. Dette var spesielt vanskelig ettersom ingen av resultatene er verifisert eller kalibrert. Disse simuleringene er kun et forsøk på å etterlikne nedbørsforløp, og er ikke sammenliknet med virkelige hendelser.

8.4 Scenarier

De ulike scenarioene benyttet i simuleringene ble valgt med hensikt å fremheve parameterens innvirkning på resultatene. Parameterne ble først studert hver for seg, og deretter satt sammen i kombinasjoner for å vise den samlede effekten.

Grunnen til at det ikke ble benyttet et scenario som ekskluderte overflateruheten fullstendig var at MIKE 21 Flow Model ikke godkjente en slik terrengmodell. Det ble i stedet benyttet en konstant overflateruhet med Mannings tall lik 14, som brukt i referansescenariot. Mannings tall lik 14 er en relativt høy overflateruhet.

8.5 Parameterfølsomhet

Tabell 8-1 Tabellen viser en oppsummering av hvor stor innvirkning parameterne hadde på oversvømmelser, drenslinjer og vannhastighet. Terrengoverflatens ruhet har liten effekt på områdets oversvømmelser, men har større innvirkning på drenslinjer og hastighet. Infiltrasjon har størst innvirkning på oversvømmelser, og betydelig innvirkning på drenslinjer og vannhastighet.

	Sammenlikninger		
	Maks. ruhet kontra min. ruhet (ingen infiltrasjon)	Ingen infiltrasjon kontra maks. infiltrasjon (konstant ruhet)	Konstant ruhet og ingen infiltrasjon kontra maks. ruhet og maks. infiltrasjon
Innvirkning på oversvømmelse	Svak reduksjon av oversvømmelser i scenarioet med maks. ruhet	Kraftig reduksjon av oversvømmelser i scenarioet med maks. infiltrasjon	Ytterligere kraftig reduksjon av oversvømmelser i scenarioet med maks. ruhet og maks. infiltrasjon
Innvirkning på drenslinjer	Synlig mindre drenslinjer i scenarioet med maks. ruhet	Betraktelig mindre og færre drenslinjer i scenarioet med maks. infiltrasjon	Drenslinjene i scenarioet med maks. ruhet og maks. infiltrasjon er nesten ikke synlige.
Innvirkning på vannhastighet	Synlig lavere vannhastigheter i scenarioet med maks. ruhet	Betraktelig lavere vannhastigheter i scenarioet med maks. infiltrasjon	Kraftig reduserte vannhastigheter i scenarioet med maks. ruhet og maks. infiltrasjon

8.5.1 Ruhet

Resultatene viser at overflateruheten har relativt liten innvirkning på utbredelse og dybde på oversvømmelser i området. En høy ruhet reduserer oversvømmelsene, men i liten grad. Dette var ikke uventet da overflateruhet ikke gir vannet nok motstand til å bremse oversvømmelsene i den grad at det har en merkbar effekt.

Overflateruhetens effekt på overvannet kommer tydeligere frem på analysene for drenslinjer og vannhastighet. En høy ruhet bremser vannets hastighet på overflaten. Hvor raskt vannet renner på overflaten kan ha en effekt på hvilke veier vannet tar i dreneringen.

Krysset mellom Bjørnstjerne Bjørnsons gate og Colletts gate er et eksempel på hvor vannets hastighet og drenslinjer spiller inn. I scenarioet med maksimal ruhet drenerer vannet nedover Colletts gate, før det treffer Bjørnstjerne Bjørnsons gate. I dette krysset, beliggende under E18-broen, befinner det seg et flatt, asfaltert område som brukes som skatepark. Det kan se ut som mesteparten av vannet fra Colletts gate bremses opp her, mens noe av vannet tar en «sving», og følger Bjørnstjerne Bjørnsons gate vestover. I scenarioet med minimal ruhet er denne oppbremsingen betraktelig redusert. Vannet drenerer rett frem gjennom skateparken i høyere hastighet og med større vannføring, til området nedenfor.

Når store mengder vann drenerer med høy hastighet har det lettere for å fortsette i samme retning. Dette skyldes vannets bevegelsesmengde, som gjør at det kreves store krefter for å endre vannets retning.

Enkelte steder i resultatene drenerer vannet i så rette strekninger at det ser ut som det følger veger nedover bakkene mot Strømsø. Den rette drenslinjen øst for Harald Hårfagres gate er et eksempel på dette. Vannet drenerer med høy vannføring i en rett linje, som kan misforstås for å være en veg. Ved å undersøke nærmere i Google Maps ser man at vannet følger en bratt sti gjennom boligområdet. Når stien treffer en kryssende veg fortsetter drenslinjen rett frem, gjennom terrenget.

Dette forløper seg i flere av drenslinjene i området. Det kan se ut som at vannet tar disse vegene utelukkende på grunn av fallet. At drenslinjene følger vegene i så liten grad virker urimelig. En årsak til at dette skjer kan være mangel på strukturer som kantstein og fortauskanter i terrengmodellen. I oversvømmelser mindre enn 0,2 m vil vannet i stor grad følge disse barrierene i vegen. Bepplantning som hekker og trær langs vegen er heller ikke inkludert i verken terreng- eller ruhetsmodellen. Dette kunne antakeligvis ha bidratt til at vannet drenerte langs vegene i større grad. En tydeligere avgrensning av hager og andre grøntområder med høy overflateruhet kunne også bidratt til at vannet ikke drenerte gjennom dem.

8.5.2 Infiltrasjon

Samtlige av resultatene som inkluderer infiltrasjon peker mot at denne parameteren har en stor innvirkning på både dybde og omfang på oversvømmelser i Strømsø bydel. I scenarioet der maksimal ruhet kombineres med maksimal infiltrasjon er oversvømmelsene tilnærmet uanselige.

Med de forutsetninger satt i simuleringene har infiltrasjon stor betydning for oversvømmelser i analyseområdet. Det påpekes at under en reell nedbørshendelse vil bakken i det utsatte området infiltrere regnvann frem til bakken er mettet, deretter vil vannet renne av overflaten. I et vinterklima med snø, is og frost, som er tilfellet i Drammen, blir infiltrasjonen ytterligere begrenset (Colleuille, et al., 2001). I snøsmeltingen om våren er bakken særlig mettet, og har svært liten infiltrasjonskapasitet.

Det understrekes at det er flere usikkerheter knyttet til denne parameteren:

- Det antas konstant infiltrasjon til grunnen (bakken blir aldri mettet)
- Det tas ikke høyde for løsmassenes lagtykkelser
- Det tas ikke høyde for vegetasjon
- Lite informasjon om løsmassene i området gjorde det krevende å velge infiltrasjonsrater
- Infiltrasjonsratene er ikke testet

8.6 Videre arbeid

Parameterne overflateruhet og infiltrasjon har vist seg å være kompliserte parametere, som kan inkluderes i simuleringene på flere måter. For denne masteroppgavens formål ble en relativt enkel metode for å inkludere infiltrasjon ansett som tilstrekkelig. For å øke kvaliteten på simuleringene med hensyn til infiltrasjon vil det være hensiktsmessig å gjøre nærmere undersøkelser av grunnforholdene i området og måle infiltrasjonsrater. For å kunne benytte den mer avanserte metoden «Constant Infiltration with Capacity» kreves det en rekke opplysninger som ikke var tilgjengelig under dette masterarbeidet.

For å forbedre terrengmodellen benyttet i dette masterarbeidet hadde det vært hensiktsmessig å inkludere mer detaljerte FKB-datasett med kantstein, fortauskanter og liknende konstruksjoner. Disse konstruksjonene kan ha større betydning for vannets strømning enn tidligere antatt. Vanddybder under 0,2 m vil sannsynligvis blir kraftig påvirket av slike barrierer på terrengoverflaten.

I dette masterarbeidet ble ikke resultatene kalibrert eller verifisert. Det kunne vært interessant å sammenlikne resultatene fra denne oppgaven med bilder og målinger fra reelle hendelser. Det kunne også vært interessant å befare bakkene ovenfor Strømsø, for å undersøke hvor drenslinjene ned til Strømsø faktisk går. Da kan man se om de virkelige drenslinjene har noen likheter med de simulerte drenslinjene i denne oppgaven.

9 Konklusjon

Formålet med dette masterarbeidet var å avgjøre hvorvidt en varierende overflateruhet og infiltrasjon hadde innvirkning på oversvømmelser under et 200-årsregn i Strømsø bydel. Det lavtliggende området langs Drammenselva er spesielt utsatt for oversvømmelser under kraftige regnskyll. Med det endrede klimaet forekommer kraftige regnvær stadig oftere. Dette gjør det hensiktsmessig å undersøke hvilke faktorer som spiller inn på utbredelse av oversvømmelser. Planlegging av metoder for fordrøyning, forsinking og avledning av regnvannet gjør det viktig å ha oversikt over hvor de største vannmengdene drenerer, og hvor regnvannet samler seg på overflaten.

Det kommer frem i resultatene at begge parameterne har en effekt på hvordan regnvannet beveger seg og samler seg på overflaten. Overflateruhet har en relativt liten direkte innvirkning på oversvømmelsenes størrelse og omfang. Denne parameteren har større innvirkning på vannets hastighet og vannføring, som kan påvirke vannets strømningsveier. Flere av resultatene tyder på at ruhetsmodellen ikke var nok detaljert til å simulere vannets veier i terrenget. Det stilles spørsmålstegn ved hvor pålitelige de simulerte drenslinjene er, som i flere tilfeller har ulogisk plassering.

Infiltrasjon utpekte seg som en betydelig medvirkende faktor for dybden på oversvømmelsene. Scenarioene som inkluderer infiltrasjon har vesentlig mindre oversvømmelser enn de øvrige scenarioene. Dette er resultater som er forbundet med mange usikkerheter. Infiltrasjon er en parameter som krever omfattende undersøkelser og atskillige opplysninger for å kunne regnes som pålitelig.

Det er forbedringspotensial i resultatenes pålitelighet. Modellene for overflateruhet og infiltrasjon fungerer ved at de gir et synlig utslag på resultatene. Ettersom oppgavens formål ikke var å anslå med nøyaktighet hvor stor ruhet og infiltrasjon påvirker oversvømmelsene, blir simuleringene ansett som formålstjenlige.

10 Referanser

- Albrecht, J., 2005. *Geographic Information Science Curriculum*. Hentet fra: <http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTECH361/lectures/lecture04/concepts/06%20-%20Projected%20coordinate%20systems.html>
- Alfsen, K. H., 2001. *Klimaet er i endring!* Hentet fra: <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-4416>
- Braskerud, B., 2015. *Overvann til glede og besvær*. Hentet fra: http://www.rif.no/media/5662/braskerud_den-gode-ov-soeknaden_6mai-2015.pdf
- Brennhovd, B., 2014. *Målt og modellert avrenning. Analyse av ledningsnett og urbanstasjon på Vestli i Oslo*. Masteroppgave ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.
- Bøyum, Å. et al., 1997. *Anvendt Urbanhydrologi*. NVE Publikasjon, ISSN 0802-2569.
- Colleuille, H., Haugen, L., Udnæs, H.-C. & Møen, K., 2001. *Infiltrasjonsprosesser i frossen jord på Gardermoen*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- DHI, 2016a. *MIKE 21. 2D Modelling of coast and sea*. Hentet fra: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21>
- DHI, 2016b. *MIKE 21 Flow Model User Guide*. DHI.
- DHI, 2016c. *MIKE Zero Toolbox User Guide*. DHI.
- Esri, 2016a. *ArcGIS 1: Introduction to GIS*. Esri.
- Esri, 2016b. *What is raster data?*. Hentet fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
- Esri, 2016c. *What is ArcCatalog?*. Hentet fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/using-arccatalog/what-is-arccatalog-.htm>
- Esri, 2016d. *ArcMap Quick Start Guide*. Hentet fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/>
- Esri, 2016e. *What are geographic coordinate systems?*. Hentet fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/about-geographic-coordinate-systems.htm>
- Esri, 2016f. *Geographic Coordinate System*. Hentet fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/geographic-coordinate-system.htm>

Filipova, V., 2012. *Urban Flooding in Gothenburg - A MIKE21 Study*. Masteroppgave ved Lunds Universitet.

FN-sambandet, 2016. *Tema: Klima*. Hentet fra:
<http://www.fn.no/Tema/Klima/Hva-skjer-med-klimaet/Hvordan-endres-klimaet>

Folkehelseinstituttet, 2015. *Folkehelse rapporten - Helsetilstanden i Norge*.

Geodata, 2016a. *Koordinatsystemer og projeksjoner*. Hentet fra:
<http://geodata.no/supportsenter/forstehjelp/how-to-guider/arcgis-desktop/koordinatsystemer-og-projeksjoner/>

Geodata, 2016b. *Koordinatsystemer og projeksjoner*. Hentet fra:
<http://geodata.no/supportsenter/forstehjelp/how-to-guider/arcgis-desktop/koordinatsystemer-og-projeksjoner/>

Geonorge, 2016a. *Marin Grense Produktspesifikasjon*.

Geonorge, 2016b. *Felles kartdatabase Beskrivelse*. Hentet fra (17.10.16):
<https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/geovekst/felles-kartdatabase-fkb/0e90ca71-6a02-4036-bd94-f219fe64645f>

Geonorge, 2016c. *SOSI Produktspesifikasjon FKB-AR5*.

Gunnarsson, K., 2015. *Two-dimensional hydrodynamic modeling of overland flow and infiltration in a sustainable drainage system*. Masteroppgave ved Lunds Universitet.

Hanssen-Bauer, et al., 2015. *Klima i Norge 2100*. Miljødirektoratet.

Hellesjø, J., Myrvold, H., Gryga, P. & Hystad, P., 2015. *Analyse av overvannsstrømmer og skadedata ved hjelp av ArcGIS*. Bacheloroppgave ved Høgskolen i Østfold.

Hendriks, M. R., 2010. *Physical Hydrology*. Oxford University Press.

Jernbaneverket, 2016. *InterCity Drammen - Kobbervikdalen. Konsekvensutredning - Flom, stormflo og overvann*.

Johansen, J. & Moldekleiv, H. J., 2016. *Utpøving av metodikker for modellering av overvann i et urbant område ved bruk av ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD*. Masteroppgave ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.

Jørgensen, P., Sørensen, R. & Presvik, O., 2013. *Norske jordarter*.

Kitterød, N.-O., 2016. *Forelesning VANN200: Global Hydrology*. Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.

Klima- og miljødepartementet, 2015. *Norges offentlige utredninger. Overvann i byer og tettsteder - Som problem og ressurs*.

Lindholm, et al., 2008. *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann.
Lindholm, O., 2014. *Forelesning om overvann THT261*.

Meteorologisk Institutt, u.d. *Klima*. Hentet fra (02.09.16):
www.met.no/Klima

Murtnes, D., 2015. *Urbane flomveier. Generering av drenslinjer for området Solumstrand i Drammen ved bruk av ArcGIS*. Masteroppgave ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.

Myrvoll, A. N., 2015. *Utpøving av metodikk for produksjon av aktsomhetskart for flomfare i urbane områder*. Masteroppgave ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.

Mæhlum, L., 2015. *EUREF89*. Hentet fra:
<https://snl.no/EUREF89>

NASA, 2015. *Global climate change*. Hentet fra (14.09.16):
<http://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

National Geospatial Intelligence Agency, 2016. *World Geodetic System*. Hentet fra
<https://www.nga.mil/ProductsServices/GeodesyandGeophysics/Pages/WorldGeodeticSystem.aspx>

NGU, 2015. *Produktspesifikasjon for løsmassekart*. Norges Geologiske Undersøkelse.
Nielsen, T. R., 2013. *Analyse av arealnedbøren si betydning*: Masteroppgave Ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet.

Nirman, S. K., 2014. Hentet fra:
http://nirmancare.com/blog/index.php?controller=post&action=view&id_post=110

Norsk Digital Læringsarena, 2011. Hentet fra:
<http://ndla.no/nb/node/92946>

Norsk Vann, 2008. *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*.

NVE, 2015. Hentet fra:
<https://www.nve.no/hydrologi/vannstand-og-vannfoering/urbanhydrologi/>

Pedersen, H., 2016. *Aktsomhetskart flomfare og havstigning*. Hentet fra:
<https://www.trondheim.kommune.no/content/1117735713/Aktsomhetskart-flomfare-og-havstigning>

Prestvik, O. & Trømborg, D., 1999. *Løsmasser*. Hentet fra:
http://www-bib.hive.no/tekster/hveskrift/rapport/1999-03/rapp199903-03.html#P442_29819

Regjeringen, 2008. *Oppnevning av klimatilpassningsutvalget*. Hentet fra:
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/oppnevning-av-offentlig-utvalg-som-skal-/id538623/>

Sandersen, F., 2007. *Skredkartlegging i Drammen kommune*. Norges Geotekniske Institutt,
Statens Vegvesen, 2014. *Håndbok N200 Vegbygging*.

Stordahl, K., 2010. *Forskning.no*. Hentet fra: <http://forskning.no/meninger/kronikk/2010/01/global-temperatur-og-veksten-i-co2-utslipp>

Strømsholm, B., 2010. *Nasjonal Digital Læringsarena*. Hentet fra: <http://ndla.no/nb/node/56188?fag=2600>

Sæterbø, E., Syvertsen, L. & Tesaker, E., 1997. *Vassdragshåndboka*. 1. utgave. Tapir Forlag.

Tenge, G., 2005. *Hva er GIS*. Hentet fra: http://www.tenge.no/bilder_filer/Hva%20er%20GIS.pdf

Terratec, 2016. *Flybåren laserskanning*.

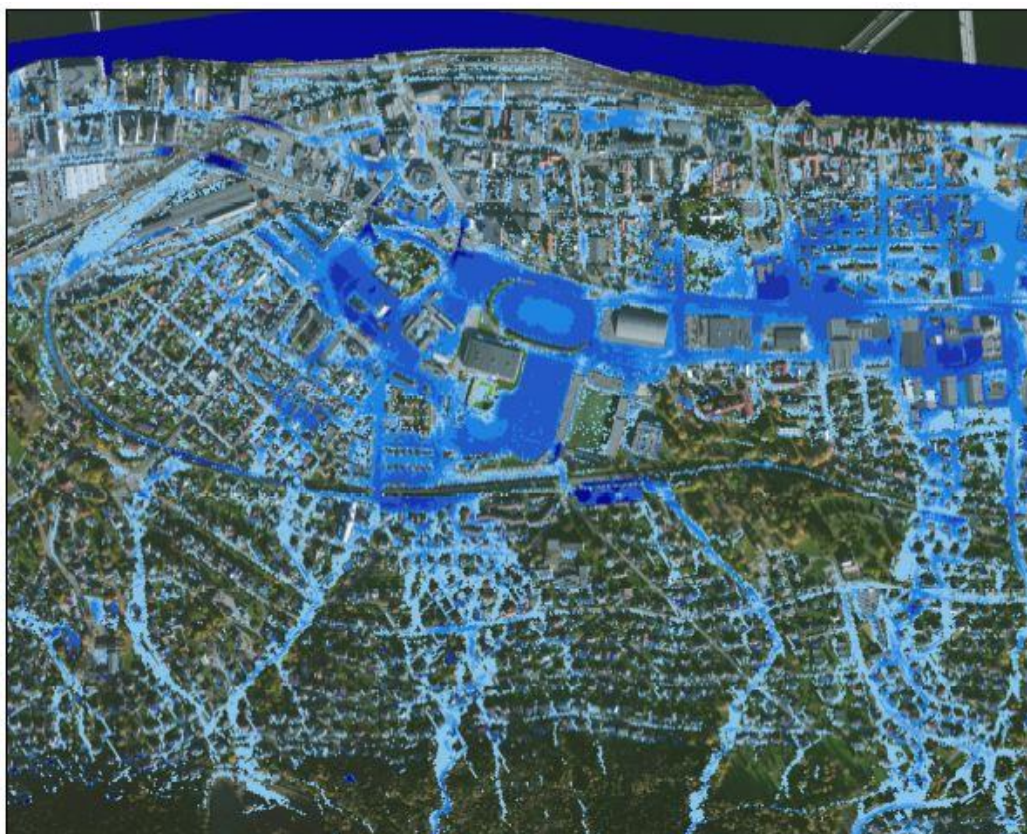
Tollan, A., 2009. *Hydrologi*. Hentet fra: <https://snl.no/hydrologi>

Ørstavik, E., 2015. *Geografisk informasjonssystem*. Hentet fra: https://snl.no/geografisk_informasjonssystem

Vedlegg

Resultater fra referansescenariot med konstant ruhet ($M=14$) og antatt ingen infiltrasjon.

Oversvømmelsesanalyse



Oversvømmelser: Konstant ruhet og ingen infiltrasjon

200-årsregn med 10 års fratrekk
Ruhet: Mannings tall = 14

0 50 100 200 Meter



Symbologi

Oversvømmelser

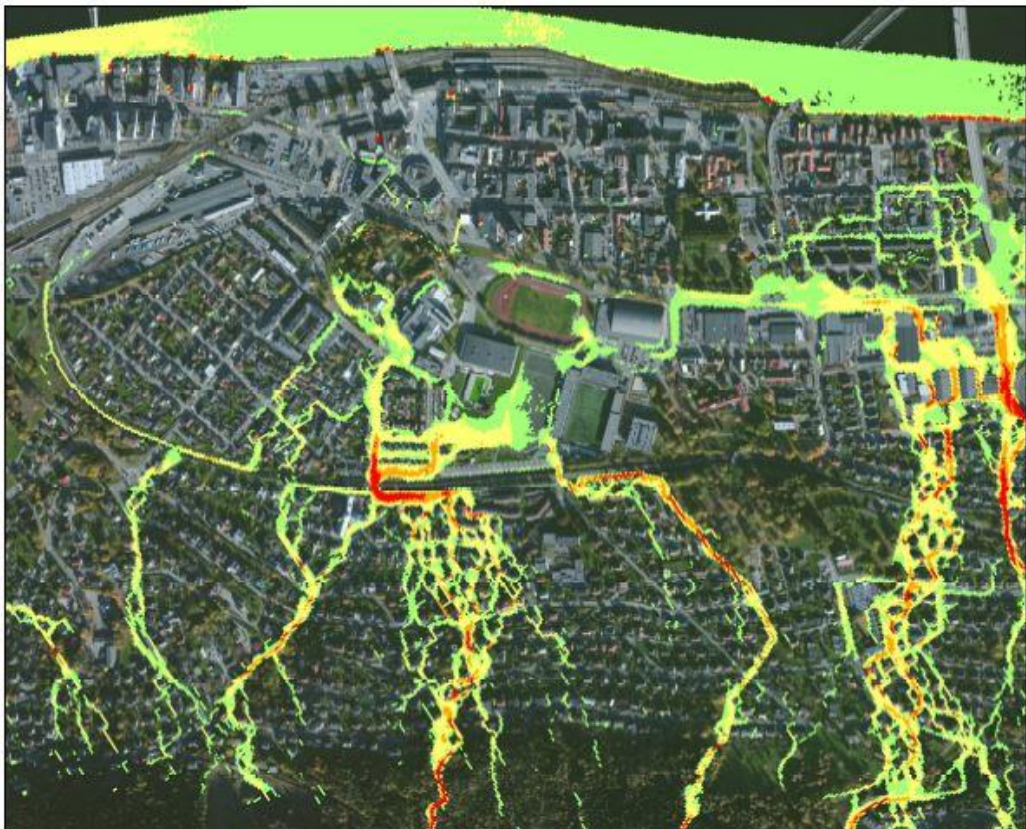
Klassifisering

	0m - 0.05m
	0.05m - 0.15m
	0.15m - 0.25m
	0.25m - 0.5m
	0.5m - 1m
	1m - 2m
	2m - 10m



Oversvømmelsesanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: konstant ruhet $M=14$ og antatt ingen infiltrasjon.

Drenslinjeanalyse



Meter
0 50 100 200

Drenslinjer: Konstant ruhet og ingen infiltrasjon






200-årsregn med 10 års fratrekk
Ruhet: Mannings tall = 14



Symbologi

Mengde

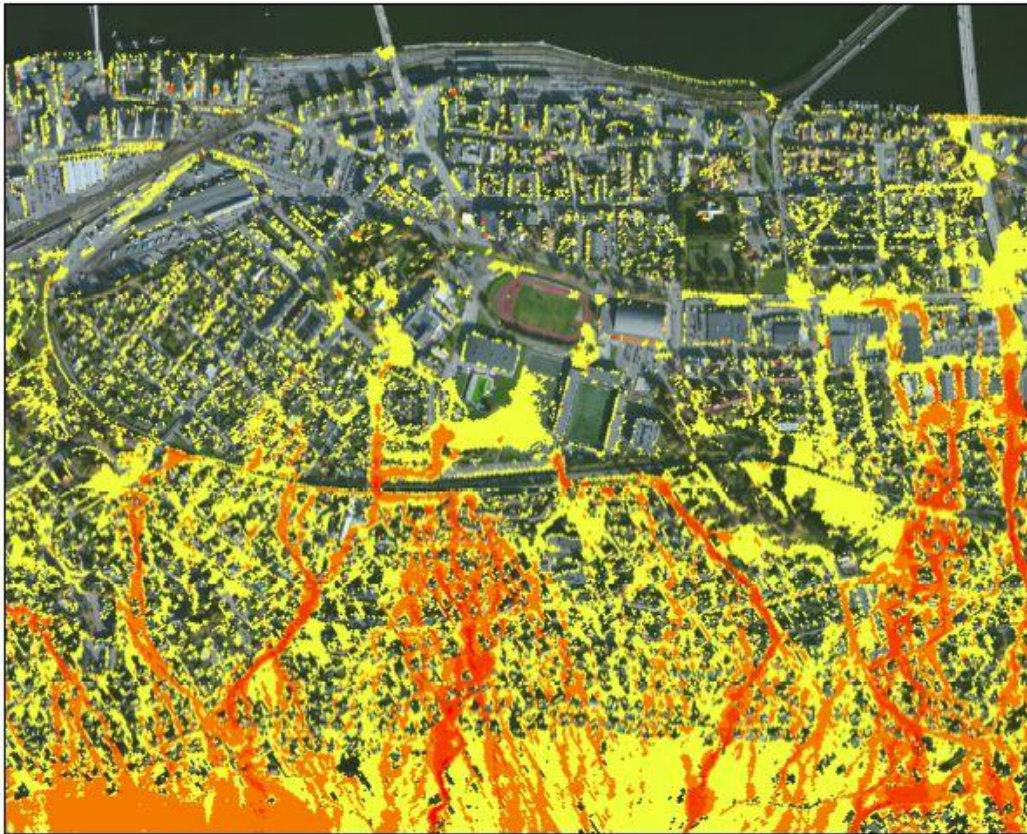
Klassifisering

	< 50l/s
	50l/s - 100l/s
	100l/s - 300l/s
	300l/s - 500l/s
	> 500l/s



Drenslinjeanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: konstant ruhet $M=14$ og antatt ingen infiltrasjon.

Vannhastighetsanalyse








Vannhastighet: Konstant ruhet og ingen infiltrasjon

200-årsregn med 10 års fratrekk
Ruhet: Mannings tall = 14

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



Vannhastighetsanalyse av Strømsø, Drammen med følgende variabler: konstant ruhet $M=14$ og antatt ingen infiltrasjon.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway