



Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på min mastergrad i vann- og miljøteknikk på Norge miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Omfanget av oppgaven er 30 studiepoeng og er gjennomført høsten 2015 ved Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT).

Ved inngangen av oppgaven hadde jeg ingen erfaringer med programvaren som ble brukt i oppgaven. Mye av arbeidet har vært preget av prøving og feiling. Det har vært krevende å tilegne seg all kunnskapen som trengtes for å løse oppgaven. Underveis i oppgave støtte jeg på flere uforutsette utfordringer. Etter mye arbeid ble jeg til slutt fornøyd med resultatet og konklusjonen. Kunnskapen og erfaringer fra oppgaven ser jeg på som nyttig i videre VA- og jobbsammenheng.

Først vil jeg rette en takk til min veileder Jon Arne Engan for god veiledning og hyggelige samtaler.

Videre vil jeg takke Knut Presberg i Drammen kommune for tilsending av nødvendig grunnlagsdata for modelleringen.

Til slutt vil jeg takke mine studiekammerater for hyggelig samvær mens oppgaven ble til.

Ås, 15. Desember 2015

David Murtnes

Sammendrag

Klimaendringer i Norge byr på nye utfordringer som må løses. De siste 150 årene har konsentrasjonen av viktige drivhusgasser i atmosfæren skutt i været. Dette skyldes hovedsakelig den menneskeskapede industrielle revolusjon. Som en følge av dette har klimaet endret seg. I Norge har man de siste de 30 årene opplevd økt gjennomsnittstemperaturer, økte nedbørsmengder og flere ekstremvær. Siden konsentrasjonen av utslippsgasser bare fortsetter forventes denne trenden å fortsette. Økte nedbørsmengden kombinert med stadig mer fortetting av flater i urbane områder har ført til flere hendelser med urban flom. Man ser stadig flere eksempler på avløpssystemer som overbelastes. En stor andel av overvannrør ble dimensjonert for flere tiår siden. Da forutså man neppe den økte fortettingen av flater og økningen i nedbørsmengder. Dette har ført til at flom har økt i antall og intensitet de siste årene. Flomskader har medført store skader på samfunnet og flere ulemper for de som berøres. For løse disse problemene må man gå bort i fra konvensjonelle avløpssystemer og få økt bruk av åpen og lokal disponering av overvann (LOD). Før man finner tiltak for å håndtere overvann er det nødvendig å vite hvordan det eksisterende avløpssystemet fungerer og hvilke områder som er mest utsatt for flom. Dette kan løses med modeller av virkeligheten. Kunnskapen man får fra modeller kan brukes til å forberede tiltak som reduserer flomskader.

I denne oppgaven er programvaren ArcGIS med utvidelsene "3D Analyst" og "Spatial Analyst" blitt bruk for å produsere aktsomhetskart for flom for et området sør for Drammenselva. Området er tilnærmet lik avgrensningen for Solumstrand rensedistrikt. Først ble det opprettet en digital terrengmodell i ArcGIS. Grunnlagsdata som ble brukt i terrengmodellen var LiDAR-data (flybåren laserskanning) og FKB-data som representerer vegger, bygg og vannlinjer. Utvidelsen "Spatial Analyst" ble brukt for å generere drenslinjer og sinks. Drenslinjene viser potensielle flomveier og gir en god indikasjon på flomutsatte områder. Tykkelsen på drenslinjene angir størrelsen på nedbørsfelt som renner til punkter i drenslinjen. Sinks er forsøkninger i terrenget hvor

vann kan samles opp. Det er antatt et såkalt worst-case-scenario med vinterflom. Det er antatt at marken er frossen slik at alt vannet renner på overflaten. I tillegg hindrer snø og is at overvannet renner i sluk. Derfor er avløpsnettets heller ikke tatt med i modellen. Aktsomhetskart er et nyttig verktøy for arealplanlegging. Siden aktsomhetskartet i denne oppgaven ikke verifisert mot virkelige flomverdier kan den ikke brukes for dette formålet.

Aktsomhetskartene er sammenlignet med flombilder som er tatt innenfor analyseområdet. Det er altså ikke sammenlignet med skadedata. Det viste seg å være flere likhetstrekk mellom aktsomhetskartene og flombildene. Ut i fra sammenligningen og visuell observasjon virker det som at aktsomhetskartene er hydrologisk korrekte. I tillegg har bruken av ArcGIS har vist seg å være brukervennlig for personer uten tidligere erfaringer fra ArcGIS-plattformen.

Abstract

Climate change in Norway presents new challenges that must be addressed. The last 150 years, the concentration of important greenhouse gases in the atmosphere has skyrocketed. This is mainly due to the anthropogenic industrial revolution. As a result the climate has changed. In the past 30 years, Norway has experienced increased average temperatures, increased rainfall and more extreme weather. Since levels of emission gases only continues to rise, this trend is expected to continue. Increased rainfall combined with increasingly densification of surfaces in urban areas has led to several incidents of urban flooding. Overloaded drainage systems are becoming a more common occurrence. A large proportion of the water pipes were designed decades ago. They hardly foresaw the increased densification of surfaces and increase in rainfall and did not take this into account. This has led to increased flooding both in number and intensity over recent years. Flood damage has inflicted great cost on society and several disadvantages for those affected. For solving these problems, one must move away from conventional pipe systems and look towards greater use of open and local disposal of surface water (LOD). Before finding measures to deal with storm water, it is necessary to know how the existing pipe system works and which areas are most prone to flooding. This can be solved with models of reality. The knowledge you get from models can be used to prepare measures to reduce flood damage.

In this task, the software ArcGIS with extensions with "3D Analyst" and "Spatial Analyst" has been used to produce maps for flood vigilance for an area south of Drammenselva. The area is approximately equal to the delimitation of Solumstranda rensedistrikt. First, a digital terrain model in ArcGIS was created. Raw data that was used in the terrain model were LiDAR data (airborne laser scanning) and FKB data representing roads, buildings and water lines. The extension "Spatial Analyst" was used to generate drainage lines and sinks. Drainage lines show potential flooding roads and give a good indication of flood-prone areas. The thickness of the drainage lines indicate the size of the watersheds draining into points in the drainage line. Sinks are depressions in the terrain where floodway may occur. The model is intended for a worst-case-scenario with winter flooding. It is assumed that the field is frozen so that all the water flows on the surface. Additionally, snow and ice prevents water from flowing down into drains. Therefore the drainage system is not included in the model. The caution map is a useful tool for land use planning. Since the caution maps in this task have not been verified against real flood values, it can not be used for this purpose.

The caution maps that were produced in this task were compared with the flood of pictures taken within the analytical area. It is not compared with damage data. There turned out to be many similarities between the caution maps and flood pictures. Based on the comparison and visual observation, it appears that the caution maps are hydrological correct. In addition, the use of ArcGIS has proven to be user friendly for people without previous experience from the ArcGIS platform.

Innholdsfortegnelse

Forord	1
Sammendrag	2
Abstract	4
Figurliste	8
Tabelliste	11
1. Om oppgaven	12
1.1 Mål for oppgaven	12
1.2 Oppgavens utforming	12
2. Bakgrunnsteori	13
2.1 Klimaendringer	13
2.1.1 Historikk	13
2.1.2 Framtiden.....	15
2.1.3 Konsekvensen av klimaendringer i urbane strøk.....	18
2.2 Lover og forskrifter	20
2.2.1 Flomdirektivet.....	20
2.2.3 Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven).....	21
2.3 Overvannshåndtering	21
2.3.1 LOD-teknikker	22
2.3.2 Treleddsstrategi	22
2.4 Modeller	23
3. Programvare, grunnlagsdata og produkt	24
3.1 ArcGIS	24
3.1.1 Formater	24
3.2 Moduler i ArcGIS Desktop	26
3.2.1 ArcCatalog	26
3.2.2 ArcMap	26
3.2.3 ArcToolbox.....	28
3.2.4 Spatial Analyst.....	28
3.3 Koordinatsystemer	34
3.3.1 Absolutt plassering	34
3.3.2 Geografiske koordinatsystemer	35
3.3.3 Projiserte koordinatsystemer	36
3.3.5 Euref89 UTM.....	38
3.3.6 Høydereferansene NN2000 og NN1954	39
3.4 Flybåren laserskanning	40
3.4.1 Metode	40
3.4.2 Bruksområder	41
3.4.3 Toleranser for stedfestningsnøyaktighet	42
3.5 FKB – Felles kartdatabase	42
3.5.1 Introduksjon.....	42
3.5.2 Bruksområde	43
3.5.3 Krav til stedfestningsnøyaktighet – inndeling i klasser	44
3.5.4 FKB – Vann.....	44
3.5.5 FKB – Veg.....	48
3.5.6 FKB – Bygning	51
3.6 Aktsomhetskart for flom	53
3.6.1 Bruksområder	54

3.6.2 Metode for produksjon.....	54
4. Metodikk.....	54
4.1 Grunnleggende informasjon om datamaskinen.....	54
4.2 Programvare.....	54
4.3 Analyseområde.....	55
4.5 Grunnlagsdata.....	56
4.5.1 LiDAR-data.....	56
4.5.2 FKB-data.....	56
4.6 Forberedelse av grunnlagsdata.....	56
4.6.1 LiDAR-data.....	56
4.6.2 FKB-data.....	60
4.7 Oppretting av DTM.....	67
4.8 Definere flomstrømningslinjer.....	70
4.9 Sinkanalyse.....	72
4.10 Forberedelse av presentasjon.....	73
4.10.1 Opprette vektorkart av drenslinjene.....	73
4.10.2 Opprette vektorkart av sinks.....	74
5. Resultater.....	75
6. Diskusjon.....	90
6.1 Metode.....	90
6.1.1 Program.....	90
6.1.2 Forutsetninger.....	90
6.1.3 Analyseområdet.....	90
6.1.4 Grunnlagsdata.....	91
6.2 Aktsomhetskart.....	94
6.2.1 Vurdering av sinks og drensledninger.....	95
6.2.2 Bekker.....	102
6.2.3 Flomutsatte bygninger.....	102
6.2.4 Veg.....	102
6.2.5 Hovedflomveier.....	103
6.2.6 Bruksområder.....	103
6.2.7 Videre arbeid og muligheter.....	103
7. Konklusjon.....	104
Referenser.....	106
Vedlegg.....	108

Figurliste

Figur 1: Oversikt over temperaturavvik fra normalen i Norge de siste drøyt 100 år (Klimautvikling, 2015)	14
Figur 2: Oversikt over nedbør i % av normalen i Norge for perioden 1900-2013 (Klimautvikling, 2015)	15
Figur 3: Endring i middeltemperatur for hele landet fram mot år 2100 (Klimaframskrivninger, 2015)	16
Figur 4: Forventet nedbørsøkning (%) fram mot år 2100 (Klimaframskrivninger, 2015)	17
Figur 5: Endring i 200-års flom (%) for 115 vassdrag i Norge fram mot år 2100 (Klimaframskrivninger, 2015)	18
Figur 6: Eksempel på vann som strømmer ut av kum (Engan, 2014)	19
Figur 7: Viser tradisjonell overvannshåndtering kontra åpen og lokal overvannsdiskonering. (Ødegård, 2013)	22
Figur 8: Treleddsstrategi for å fordrøye og infiltrere overvann. (NorskVann, 2008)	23
Figur 9: Illustrasjon for å forstå ArcGIS-plattformen. (ESRI, 2014)	24
Figur 10: Illustrer hvordan en TIN fremstilles (ArcGISResources, 2012)	25
Figur 11: Illustrer forskjellen mellom vektor- og rasterdata (ESRI, 2014)	25
Figur 12: Viser hvordan ArcCatalog ser ut. (ESRI, A quick tour of ArcCatalog, 2010)	26
Figur 13: Illustrerer hvordan datalagene ser ut i "Table of Contents". I dette eksempelet består datarammen av tre vektorlag og et rasterlag. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)	27
Figur 14: Illustrerer attributt Tabellen for en vektorfil. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)	27
Figur 15: Illustrerer attributt Tabellen for en rasterfil. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)	27
Figur 16: Profil av en sink før og etter at verktøyet "Fill" er brukt. (ESRI, How Fill works, 2012)	28
Figur 17: Profil av en peak før og etter at verktøyet "Fill" er brukt. (ESRI, How Fill works, 2012)	29

Figur 18: Illustrerer hvordan verktøyet "Flow Direction" viser strømningsveien. (ESRI, How Flow Direction works, 2012).....	29
Figur 19: Den øverste venstre figuren viser strømmingretningen av vann fra cellene. Øverst til høyere viser antall celler som strømmer inn i hver celle. (ESRI, How Flow Direction works, 2012).....	30
Figur 20: Illustrerer drenslinjer i en strømningskanal. (ESRI, Stream Link (Spatial Analyst) , 2012)	32
Figur 21: Illustrasjon av hvordan verktøyet "Stream Order" gir drenslinjene en orden. (ESRI, How Stream Order works, 2012).....	32
Figur 22: Komponentene innenfor et nedbørsfelt. (ESRI, How Watershed works, 2012)	33
Figur 23: Eksempel på definering av nedbørsfelt med verktøyet "Watershed". (ESRI, How Watershed works, 2012).....	33
Figur 24: Illustrerer jordens koordinatsystem i breddegrader og lengdegrader. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)	35
Figur 25: Skisse for å illustrere oppbygningen av projiserte koordinatsystemer. (Geodata)	37
Figur 26: Viser soneinndelingen for Norge ved bruk av UTM Euref89. (Geodesi, 2009)	38
Figur 27: Endring i høyde ved overgang fra NN54 til NN2000. (Kartverket, 2015)	40
Figur 28: Illustrerer prinsippet ved flybåren laserskanning.....	41
Figur 29: Skjema som viser sammenheng mellom objekter som avgrenser land og sjø. (Kartverk S. , OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann, 2011).....	45
Figur 30: Skjema som illustrerer sammenhengen mellom objekter som avgrenser elver og bekker. (Kartverk S. , OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann, 2011)	47
Figur 31: Viser et vektverrsnitt med et utvalg av objekter for veg. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014)	49
Figur 32: Eksempel på utvalgte objekter for FKB-Veg. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014).....	50
Figur 33: Oversikt over alle objektsypene som inngår i FKB-Veg og klassene for stedfestningsnøyaktighet disse tilhører. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014).....	51
Figur 34: Illustrerer hvordan takriss blir registrert i 2D. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Bygning, 2013)	52

Figur 35: Oversikt over objektene i FKB-Bygning og hvilke klasser for stedfestningsnøyaktighet de tilhører. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Bygning, 2013)	53
Figur 36: Nærmeste man kommer avgrensning av ledningsnettets innenfor Solumstrand rensedistrikt.	54
Figur 37: Analyseområdet for oppgaven.....	54
Figur 38: Viser gjennomsnittlig punkttetthet for terrengpunktene (class 2) ved bruk av verktøyet "Point File Information).....	58
Figur 39: Skjermdump av verktøyet "Select by Location" som ble brukt for å markere multipoints som overlapper bruer.....	59
Figur 40: Et utvalg av markerte multipoints fra attributt-tabellen som overlapper bruer.....	60
Figur 41: Konverteringen mellom SOSI- og shapeformat ved bruk av verktøyet "SOSI-Shape"	61
Figur 42: Et utvalg av markerte vegobjekter som representerer bruer og overganger.....	63
Figur 43: Viser bilder av de markerte objektene i Figur 42.....	63
Figur 44: Skjermdump av markerte tunneller og underganger innenfor analyseområdet.	64
Figur 45: Skjermdump av et utvalg av bygninger i rasteren som ble opprettet. .	66
Figur 46: Skjermdump av datasettene som ble brukt for å lage terrain.....	67
Figur 47: Skjermdump av et lite område av TIN-overflaten som ble opprettet.	68
Figur 48: Skjermdump av rasterfilen som ble opprettet.....	69
Figur 49: Bygninger før og etter de ble lagt inn i rasteren.	70
Figur 50: "Flow Direction"-rasteren som ble opprettet av den fylte DTM.	71
Figur 51: "Flow Accumulation"-rasteren for et lite område.	71
Figur 52: Skjermdump av verktøyet "Reclassify" der rasteren ble delt inn i klasser med terskelverdier.....	72
Figur 53: Skjermdump av verktøyet "Reclassify" der sinks ble klassifisert.....	73
Figur 54: Utsnitt av aktsomhetskartet som viser et mindre område midt i analyseområdet.	76
Figur 55: Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser et mindre område ved Havnegata der hovedflomveien strømmer ut.....	79

Figur 56: Utsnitt av aktsomhetskartet av et mindre området på åssiden sør for det urbane strøket.	80
Figur 57: Utsnitt av aktsomhetskartet av et området vest i analyseområdet.	82
Figur 58: Utsnitt av aktsomhetskartet av et større området midt i analyseområdet.	85
Figur 59: Utsnitt av aktsomhetskartet lenger sør i analyseområdet.	86
Figur 60: Utsnitt av aktsomhetskartet for et mindre området øst i analyseområdet.	89
Figur 61: Prinsipp på hvordan drenslinjer reagerer på senkninger av bruer. (Jutta Meiforth, 2013)	93
Figur 62: Eksempel på drenslinje som renner gjennom undergang.	94
Figur 63: Fotografi av en flomhendelse utenfor en Elkjøp-butikk i Drammen. (Dahl, 2013).....	96
Figur 64: Et nærmere utsnitt fra området ved C o Lunds gate.	97
Figur 65: Fotografi av en flomhendelse utenfor Strømsåstunellen i Drammen. (Dahl, 2013).....	97
Figur 66: Nærmere utsnitt av Strømsåstunellen	98
Figur 67: Fotografi av en flomhendelse ved B.B. gate og Colletts gate. (Dahl, 2013)	99
Figur 68: Nærmere utsnitt av aktsomhetskartet på figur 58.	99
Figur 69: Viser at bygningsdata brukt for modelleringen ikke stemmer med bygningen fra fotografiet.	101
Figur 70: Fotografi av en flomhendelse utenfor Marienlyst. (Dahl, 2013).....	101
Figur 71: Illustrerer vann hvordan vann kan gå ut og inn av kummer.	104

Tabelliste

Tabell 1: Viser kvalitetskrav for FKB-Laser10, FKB-Laser20 og FKB-Laser30. (Kartverk, 2013).....	42
Tabell 2: Viser oversikt over områdetyper de ulike FKB-standardene brukes til. (Kartverk S. , 2013)	44
Tabell 3: Oversikt over stedfestningsnøyaktigheten for nøyaktighetsklassene i de ulike FKB-standardene. (Kartverk S. , 2013)	44

Tabell 4: Oversikt over alle objekttypene som inngår i FKB-Vann og hvilke klasser stedfestningsnøyaktighet disse tilhører. (Kartverk S. , OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann, 2011).....	48
Tabell 5: Viser oversikt over alle objektene som inngår i FKB-data for veg. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014)	49

1. Om oppgaven

1.1 Mål for oppgaven

Målet for oppgaven er å produsere aktsomhetskart for flom av området Solumstrand i Drammen ved bruk av ArcGIS.

1.2 Oppgavens utforming

Oppgaven er delt i 6 kapitler:

Kap1: introduserer mål og utforming av oppgaven.

Kap2: beskriver bakgrunnsteori for oppgaven.

Kap3: gjør rede for programvaren som brukes i oppgaven, gjennomgår kunnskap rundt grunnlagsdata og beskriver aktsomhetskartet som skal framstilles.

Kap4: beskriver stegvis fremgangsmåten for: oppretting av den digitale terrengmodellen, gjennomføringen av de hydrologiske analysene og klargjøringen av resultatene for presentasjon.

Kap5: drøfter resultatene, metodikk og scenario som ble antatt.

Kap6: konkluderer oppgaven.

2. Bakgrunnsteori

2.1 Klimaendringer

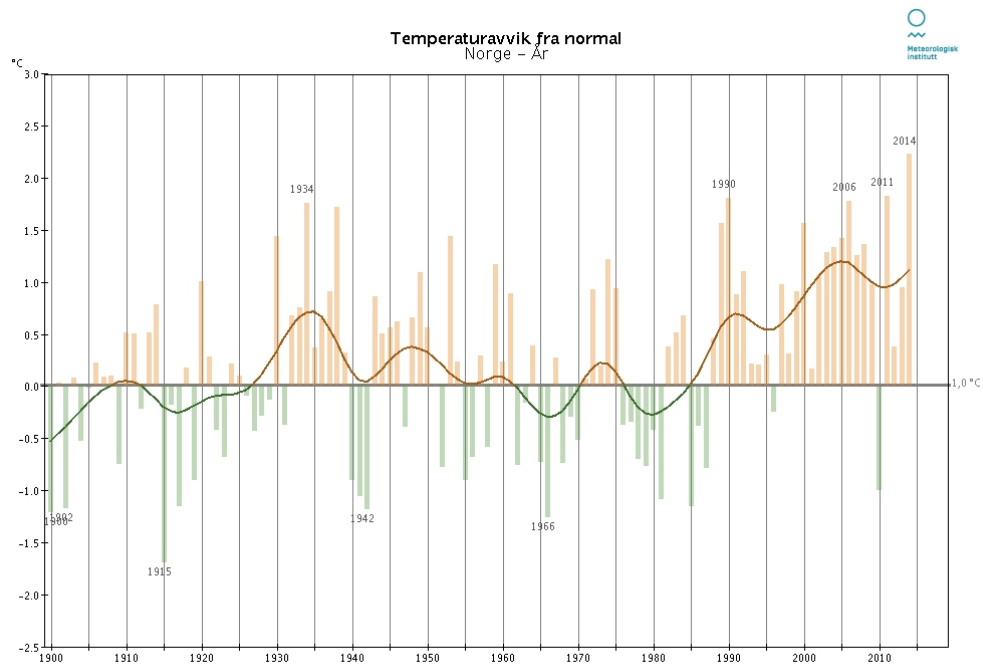
Klima er et tema de fleste er interessert i. Allikevel kan ikke alle gi en definisjon på hva klima er. Meteorologisk institutt definerer klima som *"en beskrivelse av gjennomsnittsværet på ett sted eller område."* (Klima, 2015)

Fremtidens klima vil by på nye utfordringer som må løses. For å vite hvordan klimaet vil bli i framtiden, må man se på hvordan klimaet har utviklet seg de siste årene.

2.1.1 Historikk

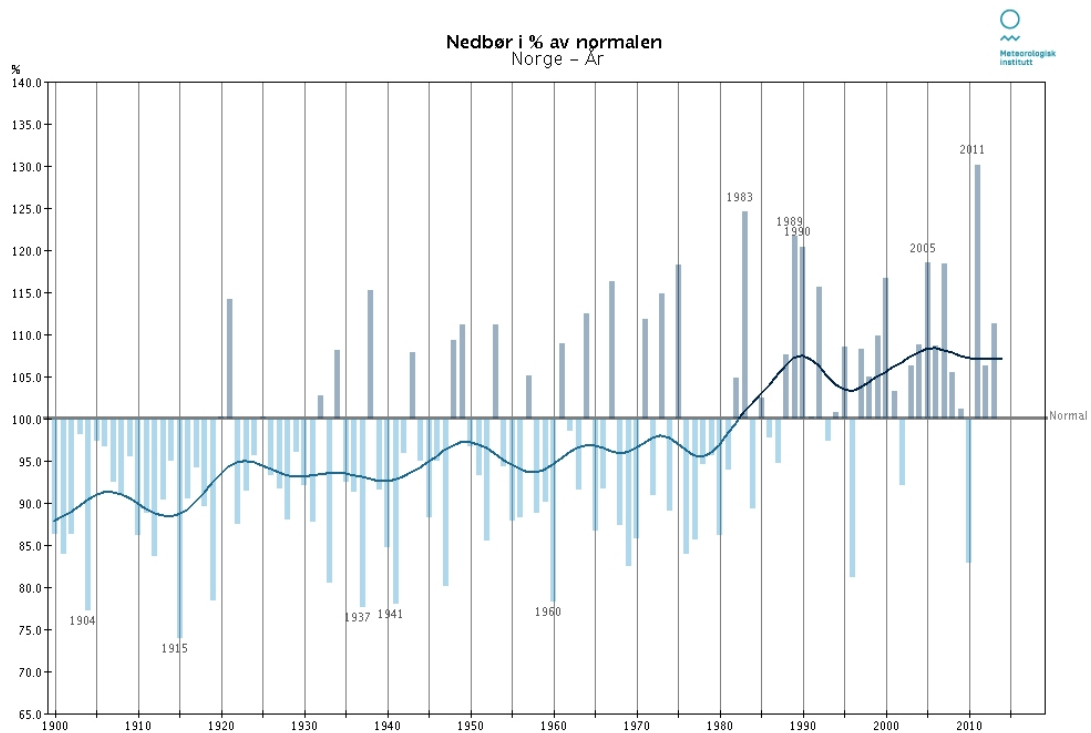
I drøyt hundre år har meteorologisk institutt gjennomført måleserier for temperatur og nedbør. Ut fra Figur 1 og Figur 2 under får man god oversikt av hvordan temperatur og nedbør har endret seg i Norge fra år 1900 og fram til i dag.

Som illustrert av Figur 1 har temperaturen gjennom det siste århundret steget. Fra år 1900 og fram til år 1985 har temperaturen ligget rundt normalen. Videre ser man at temperaturen har steget betraktelig mer de siste 30 årene.



Figur 1: Oversikt over temperaturavvik fra normalen i Norge de siste drøyt 100 år (Klimautvikling, 2015)

Som illustrert av Figur 2 har nedbørsmengden økt fra år 1900 og fram til år 1990. Fra år 1990 og fram til i dag har økningen vært størst.



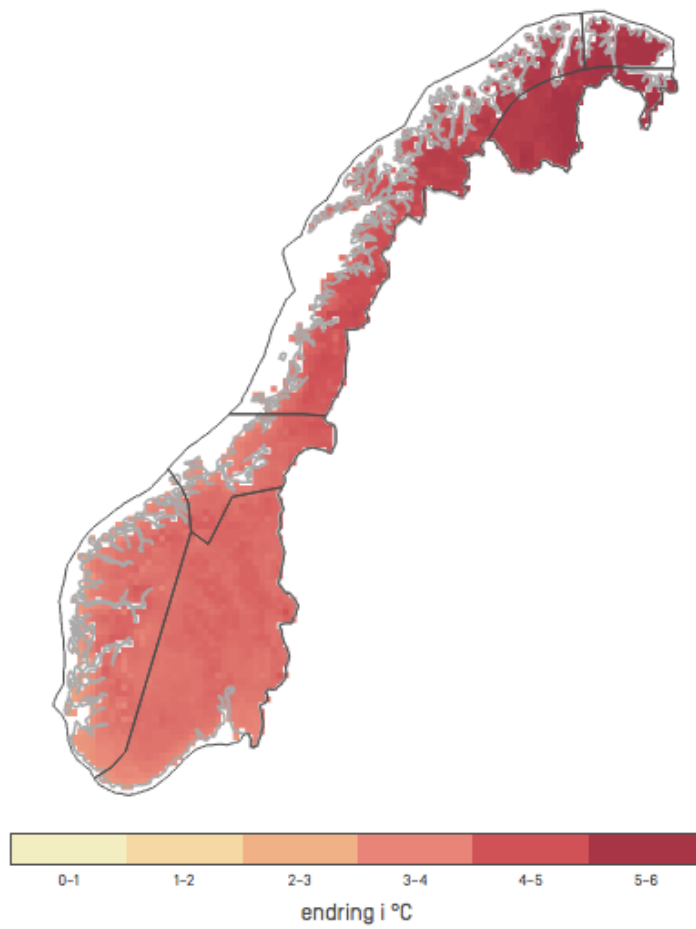
Figur 2: Oversikt over nedbør i % av normalen i Norge for perioden 1900-2013 (Klimautvikling, 2015)

2.1.2 Framtiden

Det er en klar sammenheng mellom klimaendringene og konsentrasjon av drivhusgasser i atmosfæren. Drivhusgasser har skutt i været siden 1850 og er hovedsakelig menneskeskapt som følge av den industrielle revolusjon. Dersom denne kontinuerlige veksten i klimagassutslipp fortsetter vil klimavariabler som temperatur og nedbør fortsette å øke.

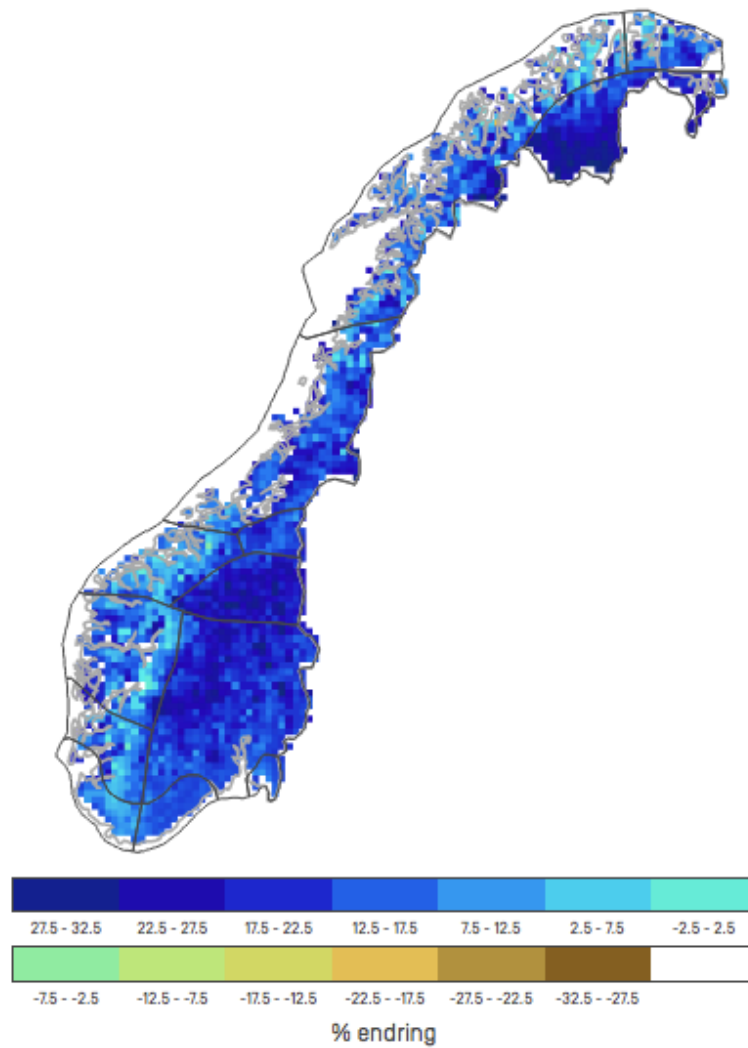
Figur 3, Figur 4 og Figur 5 er basert på antagelser om framtidige klimagassutslipp. Det er knyttet flere usikkerheter til slike klimaframskrivninger. Noe av usikkerheten er knyttet til endringer i menneskeskapt klimapådriv og endring i tilbakekoplingsmekanismer (prosesser mellom atmosfære, land og hav). Selv med slike usikkerheter kan man med ganske stor sikkerhet fastslå at Norge står ovenfor stor klimautfordringer i tiden framover. (Inger Hanssen-Bauer, 2009)

I følge (Klimautvikling, 2015) vil middeltemperaturen i Norge øke mellom 2,3 – 4,6°C mot slutten av århundret. Størst økning forventes i innlandet og i nord. Økningen i middeltemperatur vil i stor grad være avhengig av klimagassutslipp.



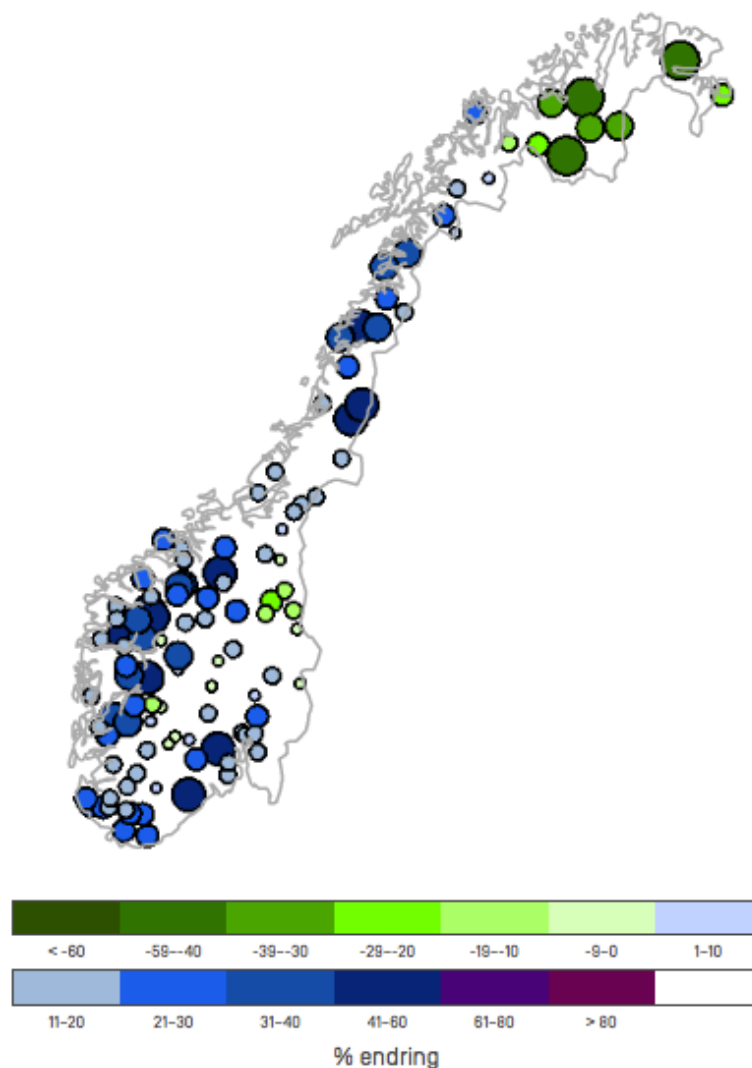
Figur 3: Endring i middeltemperatur for hele landet fram mot år 2100 (Klimaframskrivninger, 2015)

Miljødirektoratet forventer at årsnedbøren for hele landet vil øke mellom 5% til 30% mot slutten av århundret. Størst økning vil være på vinterstid med opp til 40% for hele landet. I tillegg kan det forventes opp mot 50% økning for deler av Øst-, Vest- og Sørlandet.



Figur 4: Forventet nedbørsøkning (%) fram mot år 2100 (Klimaframskrivninger, 2015)

Miljødirektoratet forventer en økning av 200-års flom i norske vassdrag dersom klimaet ikke endrer karakter. Disse framskrivningene har stor usikkerhet og store lokale forskjeller. Hovedsakelig forventes størrelsen på regnflommer å stige, mens smelteflommer vil avta. I tillegg vil temperaturøkningen medføre økt flomfare sent på høsten og om vinteren, mens vårfloppen vil komme tidligere. (Klimautfordringer, 2013)



Figur 5: Endring i 200-års flom (%) for 115 vassdrag i Norge fram mot år 2100 (Klimaframskrivninger, 2015)

2.1.3 Konsekvensen av klimaendringer i urbane strøk

En viktig komponent i det hydrologiske kretsløpet er hvordan vann infiltreres ned i bakken.

Urbane strøk består av tette flater med lav permeabilitet. En stor andel av vannet som treffer overflaten vil derfor renne videre som overvann. Dette overvannet må transporteres bort på en annen måte. Dette gjøres ved at vann samles opp i kummer og transporteres videre i avløpssystemer.

En stor andel av avløpsnettene ble bygd for mange år siden, og ble underdimensjonert for dagens forhold. Det er hovedsakelig to grunner til dette. Klimaendringer har medført økt regnintensitet og hyppigere episoder med ekstremnedbør. Slike episoder med ekstremregn har ført til økte flomskader i urbane områder. I tillegg forutsås man neppe den hyppige

urbaniseringen med fortetting av bebyggelse og infrastruktur, som har ført til at mindre vann infiltreres ned i bakken. Som en følge av dette vil avløpsnettets overbelastning. Ved overbelastning av avløpsnettets vil det oppstå overtrykk og det kan oppstå oppstuvning i kummer. Da vil vann komme ut av kummer og renne utover terrengoverflaten Figur 6. I tillegg vil flomrisikoen øke om vinteren, dersom regnskyll hindres å renne ned i avløpsnettets av snø og is. (Ødegård, 2013)



Figur 6: Eksempel på vann som strømmer ut av kum (Engan, 2014)

Overvann i urbane strøk kan også inneholde store mengder miljøgifter og tungmetaller. Dersom avløpssystemet overbelastes medfører det at overløp blir hyppigere satt i drift. Da vil forurenset overvann og avløpsvann renne direkte ut til resipienten.

Floms i urbane områder medfører store kostnader og ulemper. Boka (Ødegård, 2013) nevner disse:

- Trafikkforstyrrelser som gir forsinkelsestid for nyttetraffic, busser og biler
- Skader på veger og gangveger. Erosjonsskader på trafikkarealer og fritids- og rekreasjonsområder

- Eiendommer med vannskader i kjellere eller første etasje
- Sykedager som følge av smitte eller infeksjoner ved kontakt med flomvann eller infisert vannforsyning
- Næringsliv som mister omsetning som følge av vannskader på lokaler eller lagre, eller produksjonstap
- Skader på vann- og avløpssystemets kummer, ledninger, pumpestasjoner og renseanlegg
- Skader på strømkabler, transformatorstasjoner, telefon- og datakabler o.l
- Tap, ulemper og skader ved at elektrisitet kortsluttes eller må stenges av
- Store forurensninger fra ikke virkende avløpsanlegg, skadede kjemikalietanker og oljetanker samt fra industriområder
- Grunnvannsnivået som oftere vil stå på et høyere nivå enn i dagens klima. Dette fører til mer infiltrasjonsvann i rørene og reduserer kapasitet i systemet. Det gir økte overløpsutslipp og økte flomskader. Økt vannføring til renseanleggene gir økte utgifter til kjemikalier og pumping, samt økte utslipp pga. Økt totalvolumer av avløpstilførsler og økt tid med høy hydraulisk belastning
- Arbeidstid som må nedlegges av kommunalt ansatte og private i praktisk arbeid og administrasjon

(Ødegård, 2013) henviser til (Evans, 2004) som har vist til virkningene av klimaforandringene. En 40 % økning i regnintensitet doubler flomvolumene, noe som medfører 130% økning av flomskader på antall eiendommer, og en 200 % økning i utgiftskostnader for skadevirkningene.

2.2 Lover og forskrifter

2.2.1 Flomdirektivet

Som en følge av klimaendringene som har medført økende flomskader i Europa, har Norge og EU vedtatt flomdirektivet om vurdering og forvatning av oversvømmelser. Flomdirektivet setter krav til analyser for flomrisiko, kartlegge akseptabelt flomnivå og tiltak for å hindre at flomsenarioer ikke overskrider risikonivåene. (Ødegård, 2013)

2.2.2 Byggeteknisk forskrift av 2010 (TEK10)

Er en forskrift til den norske plan- og bygningsloven av 2008. I (TEK10§15-10, 2008)
(avløpsanlegg med ledningsnett) står det følgende:

”Overvann, herunder drensvann, skal i størst mulig grad infiltreres eller på annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området og unngå overbelastning på avløpsanleggene.”

(Byggteknisk forskrift av 2010 (TEK10))

2.2.3 Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)

Er en lov som har til hensikt å sikre en samfunnmessig forvaltning og forvarlig bruk av vassdrag og grunnvann. I § 7. (Vannets løp i vassdrag og infiltrasjon i grunnen) står det følgende:

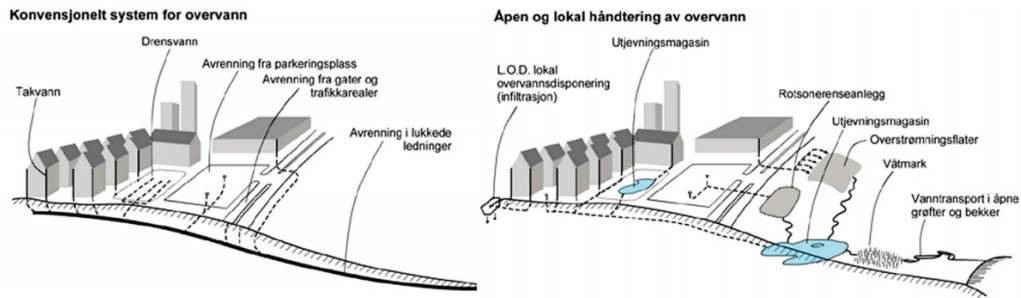
*”Ingen må hindre vannets løp i vassdrag uten hjemmel i denne lov.
Utbygging og annen grunnutnytting bør fortrinnsvis skje slik at nedbøren fortsatt kan få avløp gjennom infiltrasjon i grunnen. Vassdragsmyndigheten kan gi pålegg om tiltak som vil gi bedre infiltrasjon i grunnen, dersom dette kan gjennomføres uten urimelige kostnader.”*

(Vannressursloven, 2001)

2.3 Overvannshåndtering

Man ser stadig eksempler på avløpssystemer som ikke klarer å ta unna vann under kraftig regnskyll. I flere av disse flomtilfellene benyttes kun avløpsnett for å håndtere overvannet. Dette har vist seg å være en liten bærekraftig metode. Hvis man kun bruker avløpssystemet for å håndtere overvannet kan det resultere i følgene (Ødegård, 2013):

- økt overvannsavrenning i mengde og intensitet
- økt vannhastighet og fare for erosjon
- senkning av grunnvannstanden samt skader på vegetasjon og bygningskonstruksjoner
- utslipp og spredning av overvannsforurensninger (tungmetaller og miljøgifter m.m.)
- forringelse av det økologiske miljøet (reduksjon av biologisk mangfold)



Figur fra "Åpen overvannshåndtering: gjenåpning av Hovinbekken og tilrettelegging for økt biologisk mangfold i et urbant miljø" Brekke, Katrine (2013)

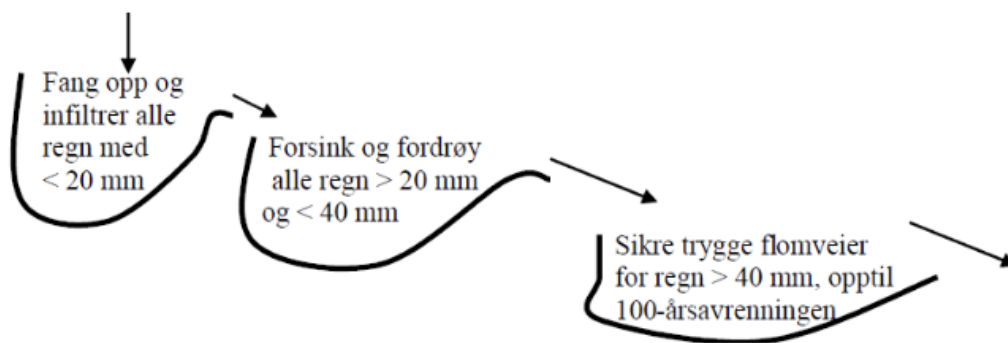
Figur 7: Viser tradisjonell overvannshåndtering kontra åpen og lokal overvannsdponering. (Ødegård, 2013)

2.3.1 LOD-teknikker

For å forebygge flom har man blitt enig om at det ikke holder å kun øke rørkapasiteten. Man må få til økt bruk av lokalovervannsdponering (LOD) samt sikre flomveier. Med bruk av LOD får man en bærekraftig og framtidsrettet overvannshåndtering. Hovedmålene med LOD er i minimalisere mengden overvann til det offentlige avløpsnett, og heller se på overvannet som en ressurs. Vannets naturlige kretsløp skal også opprettholdes. Det gjøres ved at overvannet infiltreres og fordrøyes. Da utnyttes også naturens selvrensende effekt, og man minsker forurensning til resipienten. (OVERVANNSHÅNTERING, 2015)

2.3.2 Treleddsstrategi

Overvann som kommer fra urbane områder kan inneholde forurensninger og miljøgifter. Det er ikke ønskelig at dette overvannet skal sendes direkte ut i sårbare resipienter. I stedet bør denne delen av overvannet behandles på renseanlegg før de sendes ut til vannforekomster. Ved ekstremnedbør kan avløpsnett overbelastes, og forurenset overvann fra overløpsutslipp sendes direkte ut i vannforekomster. Ved bruk av treleddsstrategien kan man løse dette problemet. Strategien går ut på å benytte lokale og åpne overvannsløsninger for å håndtere mindre nedbørsmengder lokalt, fordrøye større nedbørsmengder og sikre at ekstremnedbør ledes langs sikre flomveier. Treleddsstrategien er illustrert i figuren under. Merk at nedbørsverdiene er veiledende og det må tas hensyn til lokale forhold. (Ødegård, 2013)



Figur 8: Treleddsstrategi for å fordrøye og infiltrere overvann. (NorskVann, 2008)

2.4 Modeller

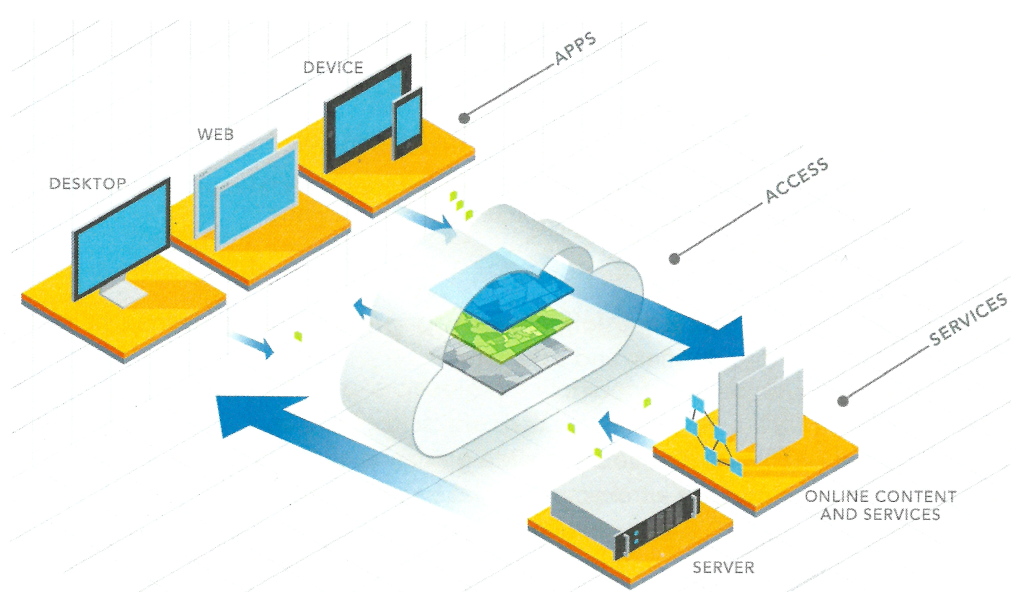
Flom i urbane områder kan altså påføre store bygningskader og ulemper for befolkningen. For å redusere disse skadevirkningene er det viktig å ha planer og beredskap for å takle flom best mulig. Da må man vite hvordan det eksisterende avløpsystemet fungerer og hvilke områder som er i flomfare. Dette kan gjøres med modeller. Analyser bør ligge til grunn for å finne eventuelle flaskehals i avløpsnett. Ved ekstremnedbør og lengre perioder med nedbør er det interessant å vite veiene vannet renner på overflaten. Dette kan gjøres med modeller som kan produsere drenslinjer som beskriver overvannsstrømningen. Mengden overvann illustreres av ved den relative størrelsen på drensledningene. Dette er nyttig for å kartlegge sårbare områder, både i ledningsnett og flomutsatte landarealer. Modeller beregner hydrologiske og hydrodynamiske linkninger og gir et forenklet bilde av virkeligheten. Modellens resultater avhenger av at detaljert og nøyaktige datasett ligger til grunn for modelleringen. Ved å gjennomføre slike analyser får man mye informasjon som ellers ikke hadde vært mulig før flomsituasjoner allerede hadde oppstått. Man kan blant annet finne avløpsnettets kapasitet, effekten av ny utbygning, mengde forurenset overvann, hvor dette renner og eventuelle skader det kan gjøre på vannforekomster.

Det finnes en rekke typer programvarer for modellering av overvann. Noen eksempler på disse er: SWMM, ArcGIS og MIKE Urban. Valg av modell avhenger av bruksområde for modelleringen. Det kan være alt fra en liten del av et rørsystem til en stor og komplisert modell som skal analyseres.

3. Programvare, grunnlagsdata og produkt

3.1 ArcGIS

GIS-baserte programmer brukes av en rekke ulike organisasjoner og enkeltbrukere. ArcGIS er et GIS-basert programvare utviklet i USA av firmaet ESRI. Sammen med grunnlagsdata utgjør ArcGIS et geografisk informasjonssystem (GIS). ArcGIS gjør det mulig for brukere å behandle, analysere og dele geografisk informasjon fra alle enheter. Plattformen inkluderer ArcGIS for Desktop, ArcGIS Online og ArcGIS Server. (Myrvoll, 2014)

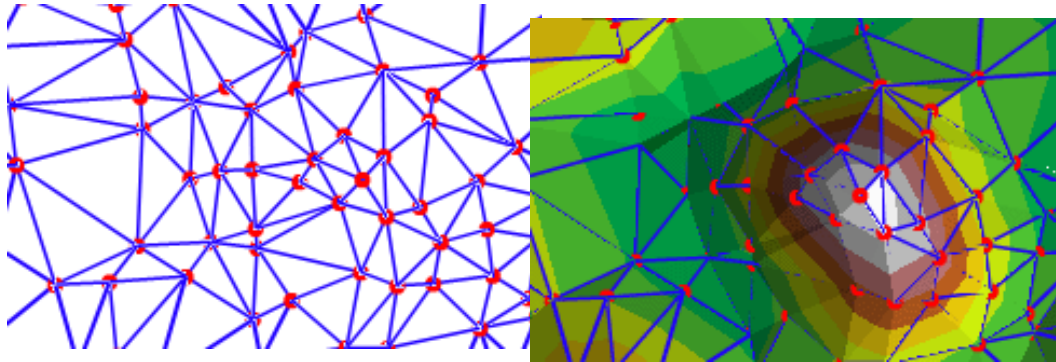


Figur 9: Illustrasjon for å forstå ArcGIS-plattformen. (ESRI, 2014)

3.1.1 Formater

TIN (Triangular irregular network)

Triangular irregular network (TIN) er en vektorbasert datastruktur som benyttes i GIS-programmer for å fremstille terrengoverflaten. Fremstillingen lages i tredimensjonale koordinater ved at noder kobles sammen med linjer. Dette danner et sammenhengende, ikke-overlappende triangulære fasetter. Denne representasjonen av terrengoverflaten er viktig for å kartlegge posisjonen til for eksempel drenslinjer. Grunnet for en digitalisert terrengmodell (DTM) er ofte TIN, før den konverteres til rasterformat. (ArcGISResources, 2012)

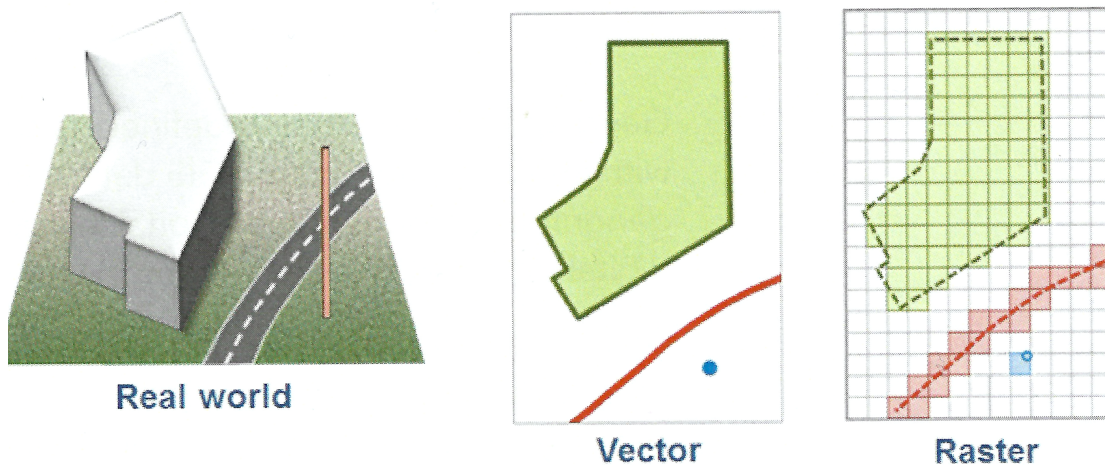


Figur 10: Illustrer hvordan en TIN fremstilles (ArcGISResources, 2012)

Raster- og vektordata

I ArcGIS er det to hovedformater for geografiske data: vektorfiler og rasterfiler. Rasterdata representerer terrengoverflaten som et rutenett av like store kvadratiske celler. En enkelt celle representerer en del av terrengoverflaten, for eksempel kvadratmeter. Videre har hver celle farge avhengig av egenskapen innenfor cellen. Egenskaper som ofte blir definert er temperatur, høyde eller klassifisering av ulike typer objekter. (ESRI, 2014)

Vektordata representerer objekter på terrengoverflaten (som veier og bygninger) som punkt, linjer og polygon. De mest vanlige vektorfiler er shapefiler og geodatabaser. Figuren under illustrerer forskjellen mellom vektor- og rasterdata. For rasterdata er formen på bygninger, vei og gatelys ikke så lik virkeligheten som vektordata gjengivelser gjør. Rasterformat er altså en forenkling av virkeligheten, men gjør det enklere å gjennomføring analyser og illustrasjoner.



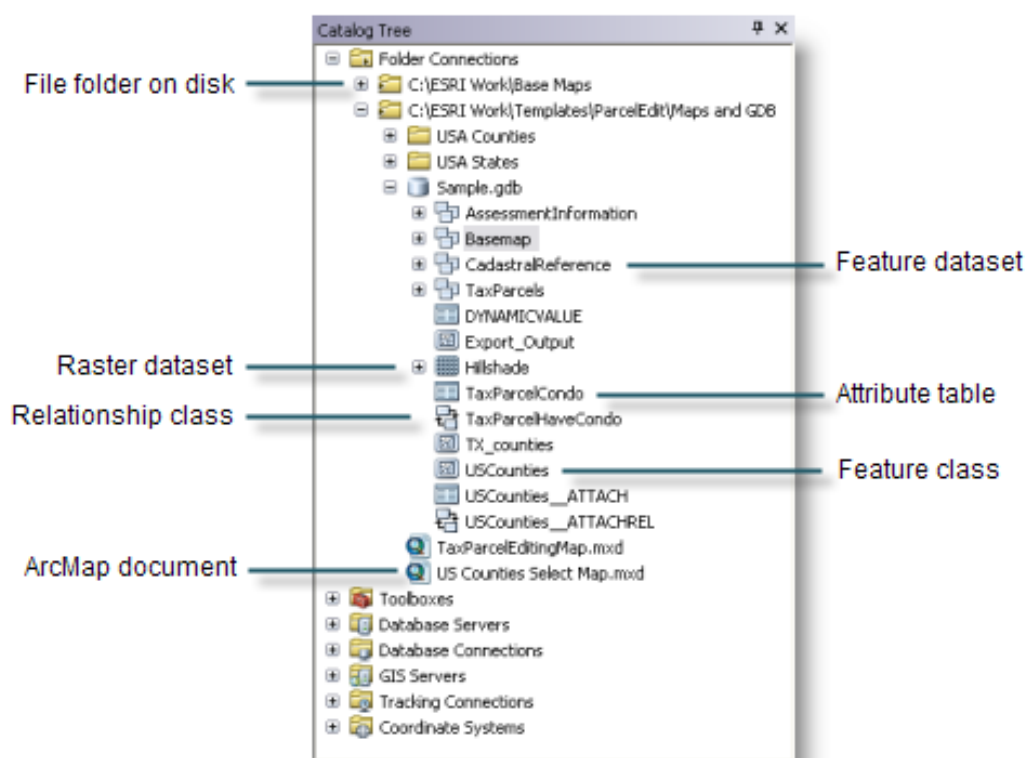
Figur 11: Illustrer forskjellen mellom vektor- og rasterdata (ESRI, 2014)

3.2 Moduler i ArcGIS Desktop

3.2.1 ArcCatalog

ArcCatalog er et vindu hvor man organiserer og administrerer geografiske data. Data man kan ønske å organisere og administrere kan være geodatabaser, raster-filer, AtcMap-filer og andre kartlag-filer. I tillegg kan man søke etter alle geoprosesseringverktøy som er tilgjengelig. (ESRI, A quick tour of ArcCatalog, 2010)

Som illustrert av Figur 12 gir ArcCatalog et integrert og helhetlig bilde av alle datafiler.

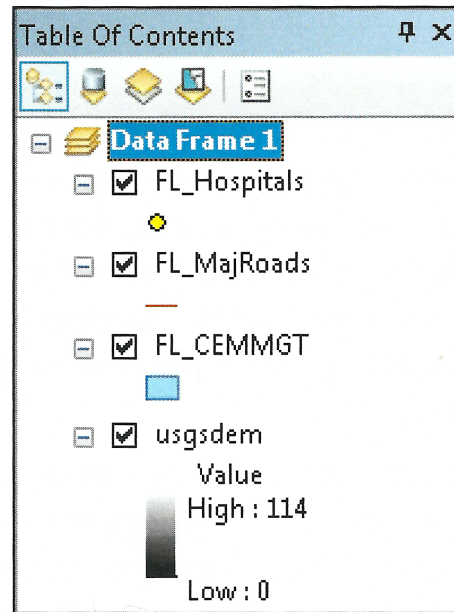


Figur 12: Viser hvordan ArcCatalog ser ut. (ESRI, A quick tour of ArcCatalog, 2010)

3.2.2 ArcMap

ArcMap applikasjonen er utformet for at du kan arbeide med dine geografiske data (raster- og vektorfiler). I ArcMap jobber du i et kartdokument, og du kan legge til nye datalag (layers) i datarammer (data frames). I et kartdokument er det minst en dataramme, og hver dataramme representerer et separat kart. Datarammene og dataene de inneholder er oppført i "table of contents", som illustrert i Figur 13.

Figur 13: Illustrerer hvordan datalagene ser ut i "Table of Contents". I dette eksempelet består datarammen av tre vektorlag og et rasterlag. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)



Videre har hvert datasett en tilhørende attributtavell, som inneholder informasjon om det man modellerer. Hver informasjon inne i attributtavellen kalles en attributt. For vektorfiler kan attributtavellen inneholde informasjon om for eksempel bygningstype. Et eksempel er illustrert i figuren under.

OBJECTID *	Shape *	HOSPIT_ID	COUNTY	FACILITY
1	Point	137	ESCAMBIA	CENTURY MEMORIAL HOSPITAL
2	Point	134	ESCAMBIA	WEST FLORIDA REGIONAL MEDICAL CENTER
3	Point	136	ESCAMBIA	SACRED HEART HOSPITAL OF PENSACOLA
4	Point	34	ESCAMBIA	SACRED HEART HOSPITAL
5	Point	41	ESCAMBIA	UNIVERSITY HOSPITAL
6	Point	135	ESCAMBIA	UNIVERSITY HOSPITAL AND CLINIC

Figur 14: Illustrerer attributtavellen for en vektorfil. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)

Ikke alle rasterfiler har attributtaveller. De rasterfiler som har attributtavell har en celleverdi som definerer hvilken klasse eller kategori objektet tilhører. I tillegg inneholder attributtavellen en kolonne med hvor mange celler som deler verdien. Figur 15 illustrerer et eksempel på dette. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)

OBJECTID *	Value	Count
1	0	0
2	1	15
3	2	10
4	3	10
5	4	8
6	5	13
7	6	14

Figur 15: Illustrerer attributtavellen for en rasterfil. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)

3.2.3 ArcToolbox

Inneholder nyttige verktøy for å gjøre ulike operasjoner på dine data.

3.2.4 Spatial Analyst

Spatial Analyst er en forlengelse til ArcGIS Desktop som inneholder en rekke verktøy for romlige analyser av geografiske data. De mest relevante verktøyene for hydrologiske analyser finner man i det hydrologiske verktøysettet. Dette verktøysettet inneholder 11 nyttige verktøy for hydrologiske analyser. (ESRI, An overview of the Spatial Analyst Toolbox, 2001)

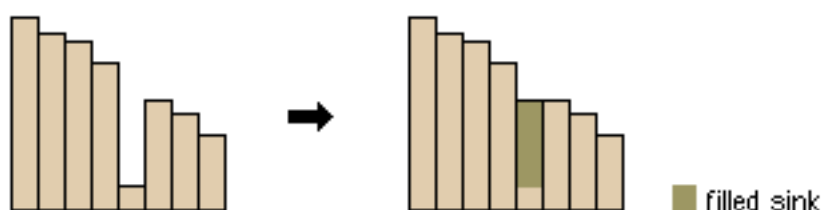
Basin

Verktøyet analyserer en "flow direction-grid" for å finne alle celler som tilhører samme nedbørfelt. Dette verktøyet kan altså brukes for å finne alle nedbørfelt innenfor et område.

Fill

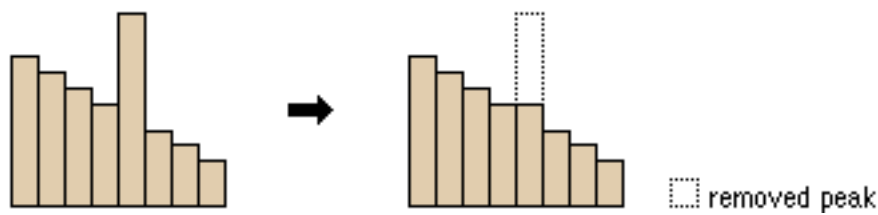
Geografiske data kan inneholde sinks eller peaks som er ujevnheter i dataen. Dette kan skyldes feil under datainnsamling eller på grunn av interpoleringsmetoden som er brukt på dataen.

Sinks er celler hvor de omkringliggende cellene har en høyere høyde. Ved slike tilfeller vil vann vil fanges opp av sinks og man vil ikke få overvannsstrømning. Da sier man at sinks har udefinert dreneringsretning. Verktøyet fill endrer høyden på sinks for å eliminere dette problemet.



Figur 16: Profil av en sink før og etter at verktøyet "Fill" er brukt. (ESRI, How Fill works, 2012)

Verktøyet kan også brukes til å fjerne peakes, som er celler hvor de omkringliggende cellene har lavere høyde (som illustrert av Figur 17).

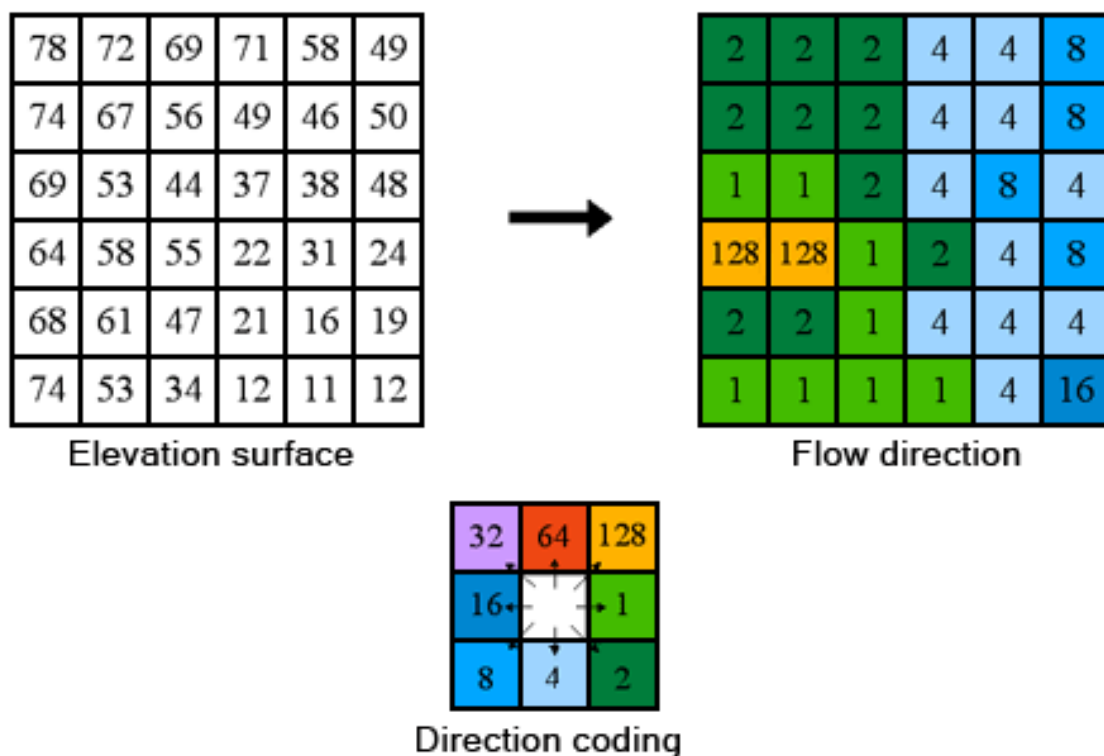


Figur 17: Profil av en peak før og etter at verktøyet "Fill" er brukt. (ESRI, How Fill works, 2012)

For å kjøre programmet trengs det en DTM-rasterfil som input. Man kan også innføre en z-grense som angir maksimal differanse mellom sinks og nabocellene. På den måten får man bestemt hvilke sinks som skal fylles og hvilke som forblir urørt. (ESRI, How Fill works, 2012)

Flow Direction

Når man gjennomfører flomanalyser er det viktig å vite strømningsretningen på terrengoverflaten. Dette gjør verktøyet "Flow Direction" som oppretter en rasterfil med verdier i hver celle som angir strømningsretningen.



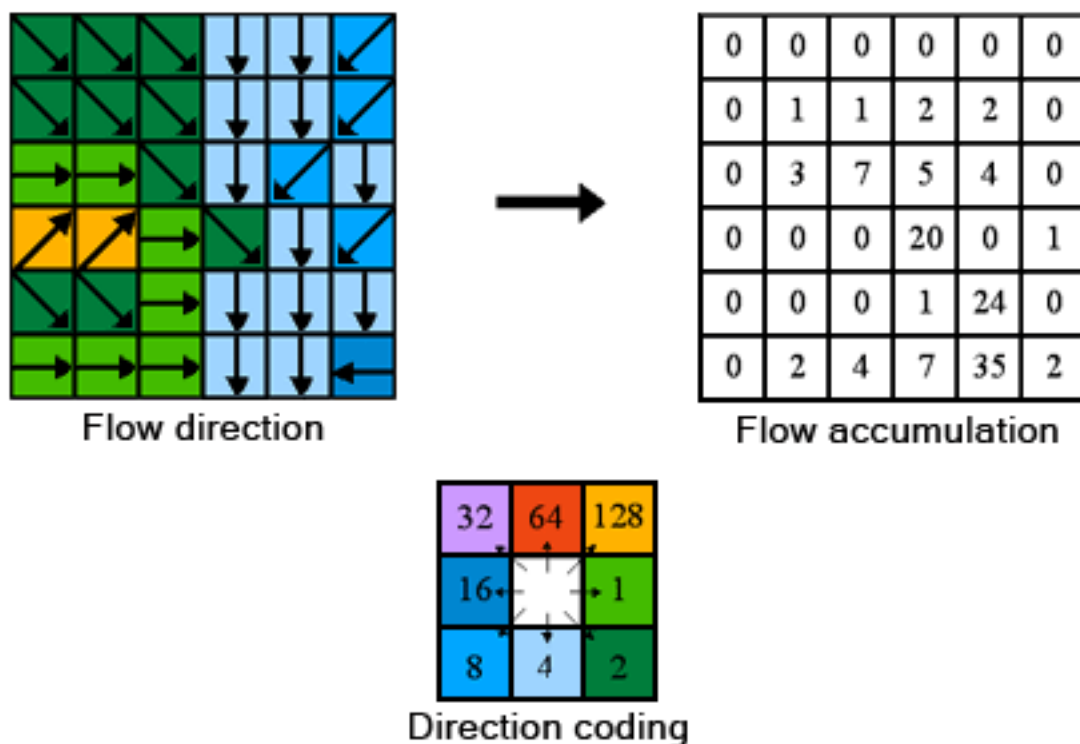
Figur 18: Illustrerer hvordan verktøyet "Flow Direction" viser strømningsveien. (ESRI, How Flow Direction works, 2012)

Som input i verktøyet brukes rasterfil av overflaten som beskriver terrenghøydene i cellene. Som output opprettes en rasterfil med tallverdier som angir strømningsretningen av den bratteste nedstigningen fra cellen til en av sine naboceller. Dette gjøres ved hjelp av en såkalt D8 algoritme. Hver celle vil få et av åtte ulike verdier. Lav verdi betyr liten strømming, mens høy verdi betyr høy strømming.

Videre kan man huke av for "Output drop raster". Da opprettes det en raster som viser prosentvis forhold mellom maksimal endring i høyden fra hver celle langs strømningsretningen og avstanden mellom cellenes senter. I tillegg kan man velge alternativet "Force all edge cells to flow outward". Da vil strømmingen fra alle cellene på kanten av overflaten tvinges til å strømme ut av området. (ESRI, How Flow Direction works, 2012)

Flow Accumulation

Verktøyet analyserer output fra "Flow Direction" (rasterfil), og beregner mengde akkumulert strømming inn i hver celle. Resultatet er en rasterfil med nummerverdi i hver celle som beskriver tilstrømmingen av vann fra andre celler.



Figur 19: Den øverste venstre figuren viser strømningsretningen av vann fra cellene. Øverst til høyre viser antall celler som strømmer inn i hver celle. (ESRI, How Flow Direction works, 2012)

Celler med høy verdi vil være potensielle flomveier, mens celler med verdien 0 vil være lokale høydetopper.

Man kan også bruke en "weight raster" som definerer hvor mye hver celle skal vektlegges. Dersom det ikke settes noen verdi for "weight raster" vil alle cellene vektlegges 1. En "weight raster" kan brukes til å finne mengde akkumulert vann innenfor et område under en gitt regnintensitet.

Flow Length

Verktøyet bruker output fra "Flow Direction" (raster) til å beregne lengste strømningslinje i et nedbørsfelt. Dette kan være nyttig for å finne konsentrasjonstiden for avrenningen i et felt. (ESRI, Flow Length (Spatial Analyst) , 2012)

Sink

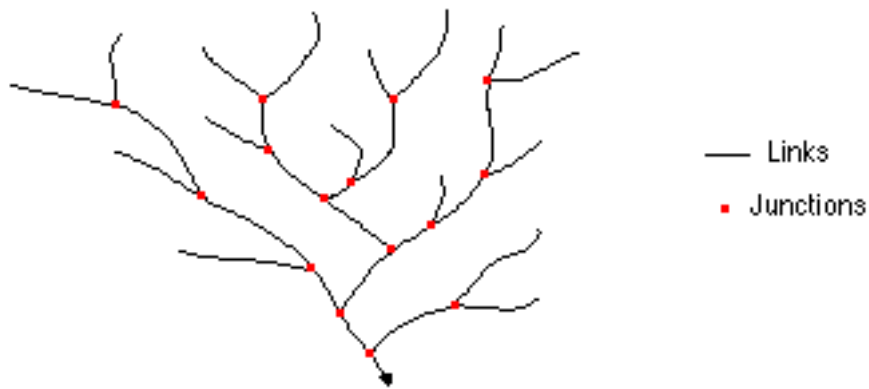
Verktøyet analyserer output fra "Flow Direction" for å finne alle sinks og områder hvor vann samles opp. Dette verktøyet kan også være nyttig for å angi z-høyden i sinks, for så å bruke denne verdien som z-grense i verktøyet "Fill". (ESRI, How Flow Direction works, 2012)

Snap Pour Point

Verktøyet brukes for å identifisere celler med høyest drenering. Dette kan være nyttig for tegning av nedbørsfelt ved hjelp av verktøyet "Watershed". Som input bruker verktøyet en "flow accumulation raster" og en "point featureclass". (Esri, 2012)

Stream Link

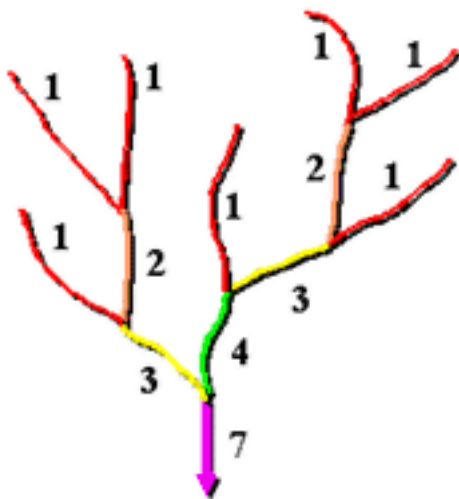
Verktøyet identifiserer og navngir dreneringslinjer. Som input bruker programmet en "stream raster" og en "flow direction raster". (ESRI, Stream Link (Spatial Analyst) , 2012)



Figur 20: Illustrerer drenslinjer i en strømningsskanal. (ESRI, Stream Link (Spatial Analyst) , 2012)

Stream Order

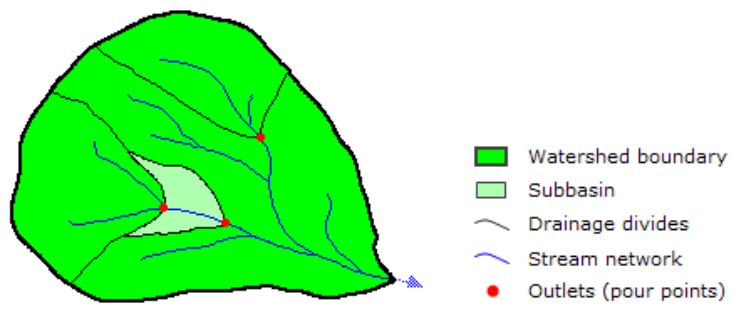
Som illustrert av Figur 21 gir verktøyet drenslinjene en orden basert på antall drenslinjer de stammer fra. Som input i verktøyet brukes en "stream raster" og en "flow direction raster". (Esri, 2012)



Figur 21: Illustrasjon av hvordan verktøyet "Stream Order" gir drenslinjene en orden. (ESRI, How Stream Order works, 2012)

Watershed

Verktøyet brukes for å finne nedbørsfelt som tilfører vann til et utløpspunkt. Grensene mellom nedbørsfelt kalles drenslinjer. Utløpspunktet er det laveste punktet langs drenslinjen, og er punktet der vann strømmer ut av et område.



Figur 22: Komponentene innenfor et nedbørsfelt. (ESRI, How Watershed works, 2012)

Som output i Watershed får man en raster som definerer nedbørsfeltet.



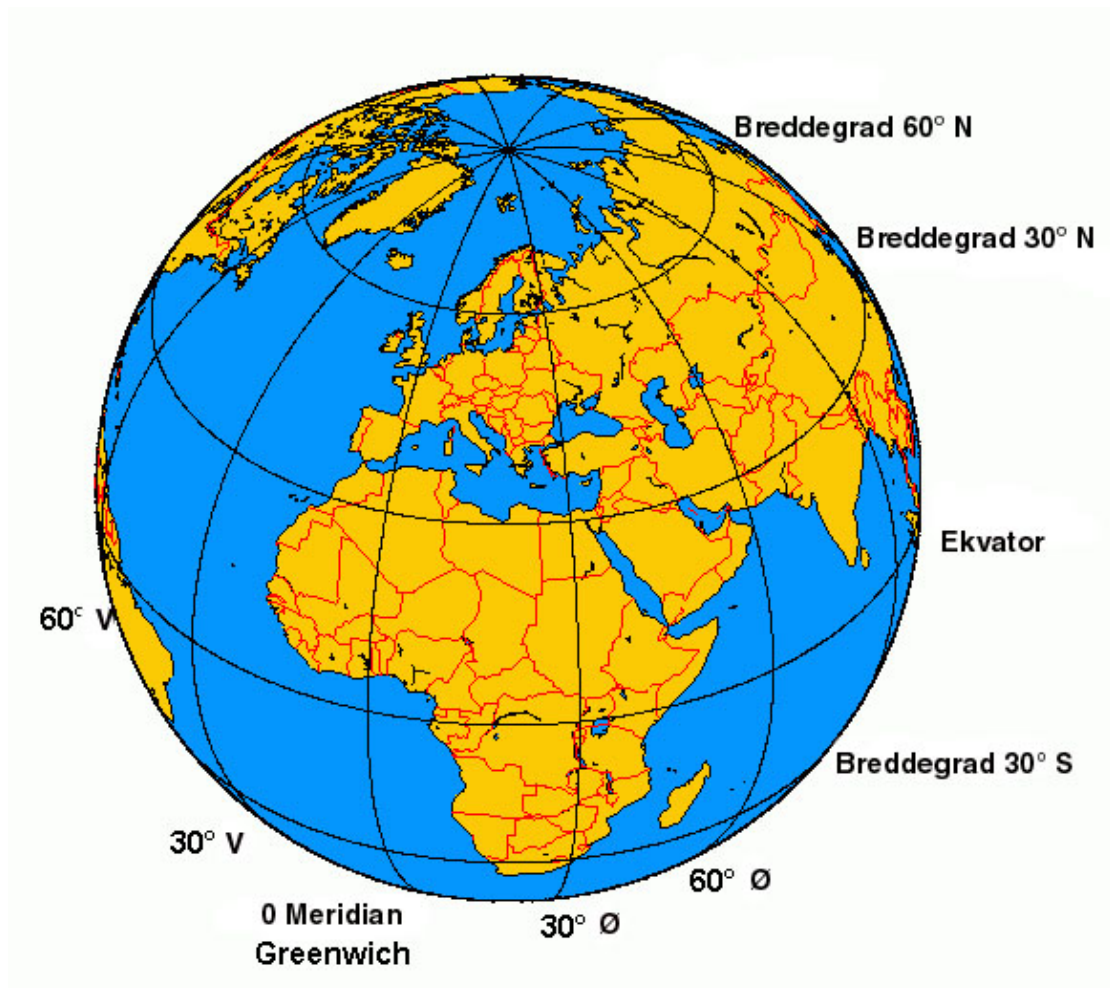
Figur 23: Eksempel på definering av nedbørsfelt med verktøyet "Watershed". (ESRI, How Watershed works, 2012)

3.3 Koordinatsystemer

Når man oppretter en digital terrengmodell er det viktig at man har kontroll på stedfestningsnøyaktigheten for data man bruker. For å bestemme plasseringen for et punkt eller objekt på et kart, må man ha et referansesystem for å definere plasseringen. Derfor bruker man koordinatsystemer for å stedfeste grunnlagsdata. I dette delkapittelet vil ulike koordinatsystemer og hvordan de fungerer gjennomgås. Ved å forstå koordinatsystemer vil man lettere kunne administrere grunnlagsdata på en måte som forbedrer nøyaktigheten i kartet du lager.

3.3.1 Absolutt plassering

Absolutt plassering definerer nøyaktig plassering av et punkt på jordoverflaten. Når plasseringen defineres på denne formen brukes ofte breddegrad- og lengdegradverdier. Både lengdegrad og breddegrad er et geografisk koordinatsystem. Lengdegraden angir nord-sør posisjonen til et punkt på jordoverflaten, og defineres som en vinkel. Vinkelen varierer fra 0° grader ved ekvator til 90° (nord eller sør) for polene. Breddegradslinjene er sirkler som går parallelt med ekvator. Lengdegraden angir øst-vest posisjonen til et punkt på jordoverflaten. Også denne uttrykkes i grader med et spennvidde fra 0° ved nullmeridianen til 180° øst og -180° vest. Nullmeridianen kalles også Greenwich-meridianen, siden den går gjennom Greenwich-observatoriet i London. Lengdegradslinjer som går fra nordpolen til sørpolen har altså konstant lengdegrad. Figuren under illustrer dette. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)



Figur 24: Illustrerer jordens koordinatsystem i breddegrader og lengdegrader. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)

3.3.2 Geografiske koordinatsystemer

Et geografisk koordinatsystem bruker en tredimensjonalt ellipsoidmodell for å angi hvor på jorda et gitt punkt befinner seg. Når et punkt identifiseres brukes normalt to koordinatverdier: Lengdegrader og breddegrader. Måleenheten er desimalgrader eller i grader, minutter og sekunder. En grad er 1/360 del av en sirkel. Videre deles en grad 60 minutter og hvert minutt deles i 60 sekunder.

I følge (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014) har et geografisk koordinatsystem disse komponentene:

- En vinkelbasert måleenhet (ofte desimalgrader, men finnes også i grader, minutter, sekunder)
- En nullmeridian for lengdegraden: Vanligvis Greenwich meridianen (nullmeridian for breddegraden er ikke nødvendig, da denne er alltid lik ekvator)

- En referanseellipsoide (matematisk modell som beskriver jordas volum og form)
- Et datum: Flere kjente kontrollpunkter på jordoverflaten som brukes til å definere det geografiske koordinatsystemet på referanseellipsoiden

Datum

Et datum blir brukt i alle koordinatsystemer. Den består av to hoveddeler: referanseellipsoiden og fastmerker. Referanseellipsoiden er en matematisk modell som beskriver jordas form. Fastmerkene beskriver avstanden til Nordpolen, Sørpolen, ekvator og nullmeridianen. Gitt jordas form (referanseellipsoiden) og fastmerker kan alle posisjoner defineres relativt til dette. De fleste datum har også enda en matematisk modell kalt geoid. Den definerer havnivå på jorda, og er ofte mer uregelmessig enn ellipsoiden. Det er fordi gravitasjonskraften er ulik rundt jordens sentrum. I dag brukes en rekke typer datum. Det avhenger av lokale forhold og utvikling av teknologi. Man skiller mellom 3 hovedtyper av datum: geodetisk datum, vertikal datum og anleggsdatum. (Geodata)

Geodetisk datum

Består av nødvendig avstander for å kunne angi punkter på jordens overflate. Alle høyder blir gitt i forhold til den benyttede ellipsoiden. Høydene kalles ellipsoidiske høyder. Innenfor geodetisk datum skiller man mellom geosentrisk og toposentrisk datum. Geosentrisk datum er knyttet til jordens massesenter, mens i et topografisk datum må loddavvik og geoid høyde anslås i et fundamentpunkt (ofte observasjonssenter). (Geodesi, 2009)

Vertikaldatum

Tar utgangspunkt i høyder påvirket av tyngdekraften. Det kan være høyde målt i forhold til middelvannstanden (meter over havet). Vertikal datum er knyttet til en referanseplate som representerer nullverdien. Geoiden benyttes ofte som referanseplate. (Geodesi, 2009)

Anleggsdatum

Er et forenklet datum som benyttes innenfor et begrenset område. I anleggsområder hvor forholdet til ellipsoiden og geoiden ikke behøver være kjent blir denne type datum brukt. (Geodesi, 2009)

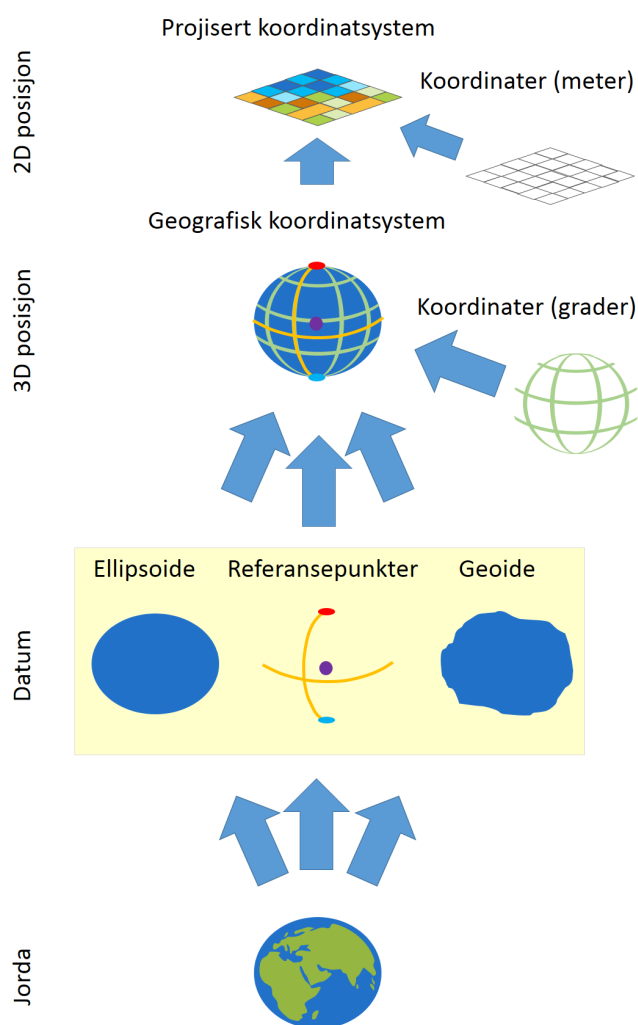
3.3.3 Projiserte koordinatsystemer

Det er ikke i alle tilfeller det er praktisk å representere jordoverflaten som et geografisk koordinatsystem (3D). Med mindre ellipsoidmodellen er veldig stor, vil man mangle

nøyaktighet og detaljnivå. I tillegg kan man bare se halvparten av kloden ved bruk av ellipsoidmodell. For å løse dette har man utviklet projeksjoner. Da illustrer man jordoverflaten som et flatt kart (2D). Et projisert koordinatsystem består av linjer som skjærer hverandre vinkelrett og danner et rutenett. I tillegg inneholder PKS origo, en x-akse og, y-akse, og en enhet for avstand. (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014)

I følge (ESRI, ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS, 2014) inneholder et projisert koordinatsystem følgende komponenter:

- Grunnlaget for konverteringen til et plan er et geografisk koordinatsystem.
- Består av en lineær målingsenhet for avstander på planet. Som oftes meter eller fot.
- en matematiske prosessen (projeksjon) for å konvertere fra 3D (geografiske koordinatsystemer) til et 2D (todimensjonalt plan)



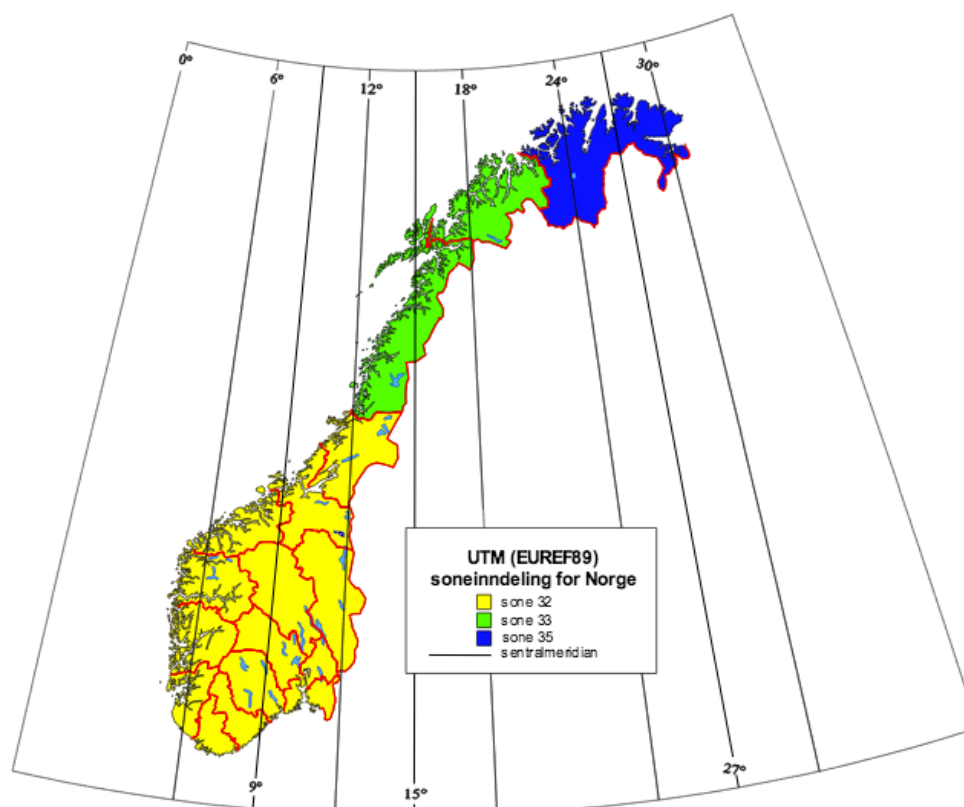
Figur 25: Skisse for å illustrere oppbygningen av projiserte koordinatsystemer. (Geodata)

Når man går fra et geografiske koordinatsystem til et projisert koordinatsystem medfører det en liten grad av forvrengning av kartet. Dette skjer, siden man ikke kan tvinge en rund overflate til et flatt plan uten at noe strekkes eller krympes. Denne forvrengningen går ut over noen av egenskapene til kartet. Dette kan være egenskaper som:

- Formlikhet
- Avstandslikhet
- Areallikhet
- Retning

3.3.5 Euref89 UTM

Euref89 UTM er et internasjonalt (europeisk) koordinatsystem som fra 1999 ble tatt fast i bruk av alle Norges kommuner. Kartplankoordinater oppgis som UTM-koordinater. UTM står for Universal Transverse Mercator og er et system som deler kloden opp i 60 soner. Disse sonene befinner seg mellom lengdegrad 84° nord og 80° syd. Norge befinner seg i UTM sonene 32-36. Fra Syd-Norge til Nord-Trøndelag benyttes sone 32. Full oversikt over sonene for landsdelene vises i figuren under. (Geodesi, 2009)



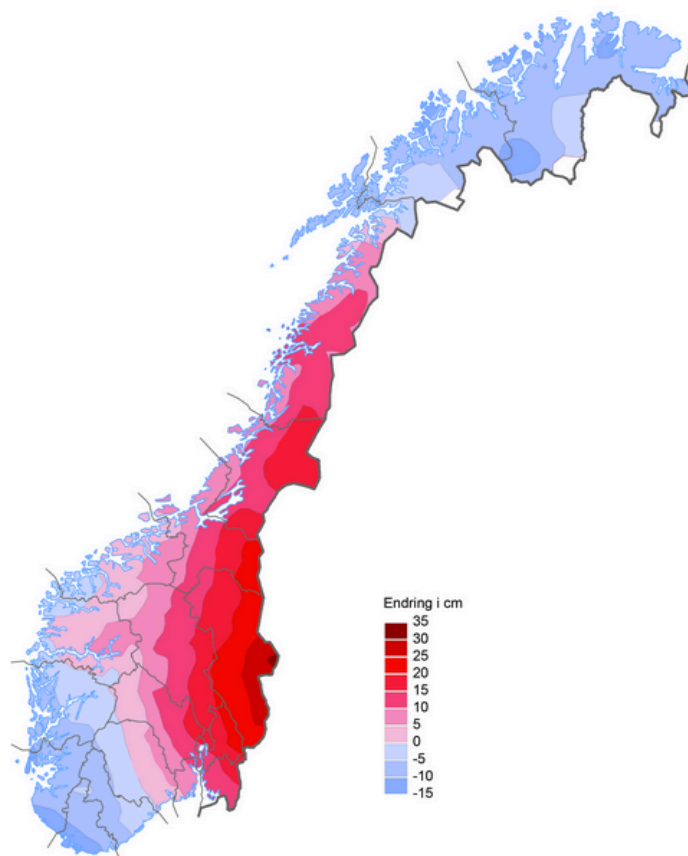
Figur 26: Viser soneinndelingen for Norge ved bruk av UTM Euref89. (Geodesi, 2009)

3.3.6 Høydereferansene NN2000 og NN1954

Når man arbeider med høydebærende data krever det et godt høydegrunnlag. 1. desember 2014 skiftet Drammen kommune høydegrunnlag fra NN1954 til NN2000, noe som innebærer at alle høyder ble hevet med 9-14 cm. Denne innføringen av nytt høydesystem skyldes at det gamle (NN1954) inneholder betydelige svakheter og mangler. Dette skyldes at landhevingen har endret seg ulikt over landet. Drammen kommune har hatt middels landheving de siste 60 årene med ca. 3 mm/år. I tillegg har havstigning på grunn av klimaforandringer bidratt til motsatt virkning på høydene. Drammen sine nettsider (Drammen, 2015) nevner følgende grunner til innføring av nytt høydesystem:

- Vi får et ensartet homogent høydesystem for hele landet, med kjent kvalitet.
- Høydesystemet stemmer med "marka".
- Referanserammen (fastmerkene) må til enhver tid være bedre enn oppmålingsteknologien.
- Nøyaktige 3D-data og data fra laserskanning stiller store krav til høydegrunnlaget.
- Mer presis påvisning av middelvannsnivå er viktig for bygg- og anleggsvirksomhet nær sjøen.

I 2016/-17 regner man med å ha en landsdekkende modell for NN2000. Figuren under viser høydedifferansen mellom de to høydereferansene N1954 og NN2000.



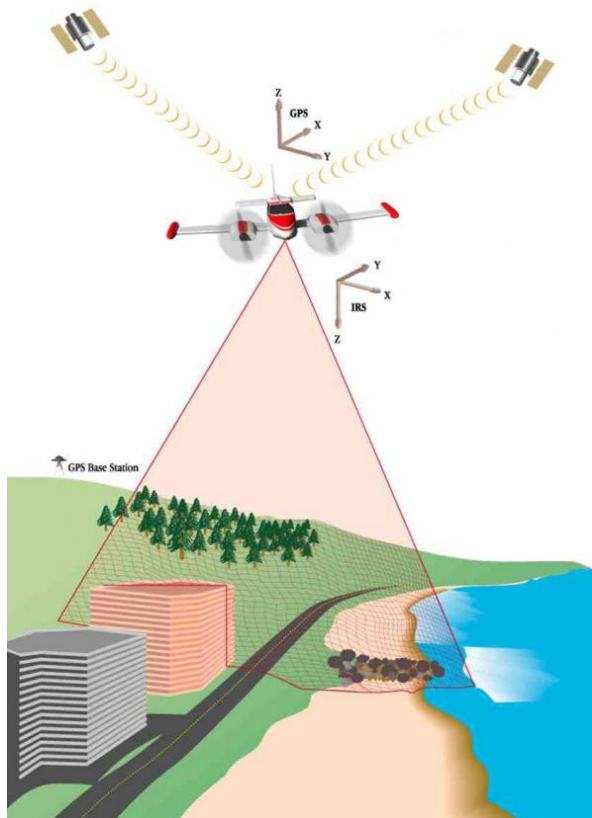
Figur 27: Endring i høyde ved overgang fra NN54 til NN2000. (Kartverket, 2015)

3.4 Flybåren laserskanning

Fra 2006 er stort sett all høydedata skaffet til veie ved flybåren laserskanning. Vanlig punkttettheter for høydemålinger i dag varierer mellom 0,5-5 pkt/m² avhengig av topografi, krav som er stilt fra brukeren og finansieringsvilje. Laserskanninger leveres med 1-meters høydekurver og en punktsky klassifisert som bakkelag på standardformat (LAS). Dette gjør det mulig å opprette digitale terrengmodeller.

3.4.1 Metode

Flybåren laserskanning (FLS) er metoden for å samle inn LiDAR data hvor prinsippet er avstandsmåling fra fly eller helikopter ved bruk av infrarødt laserlys. Avstander til terreng beregnes ved å måle tiden laserpulsene bruker på å returnere. Det samles flere hundre tusen punkter hvert sekund, noe som gir modelleringen av terreng og objekter høy nøyaktighet. Posisjoneringen til laserinstrumentet ivaretas av GPS. (Terratec)



Figur 28: Illustrerer prinsippet ved flybåren laserskanning.

Fig. Illustrer prinsippet ved FLS. (NDA)

3.4.2 Bruksområder

Høydedata har en rekke bruksområder. Statens kartverk (Kartverket, Laserskanning) nevner disse eksemplene:

- Kommuner og sentrale myndigheter - detaljplanlegging, byggetillatelse nær vann, beredskapsplanlegging for klima og miljø, støyberegninger, samt i risiko- og krisehåndteringssammenheng
- Luftfartsmyndighetene - benytter detaljerte høydedata rundt landets flyplasser til å øke flysikkerheten
- Skogbruket - plan, drift, taksering, klimaregnskap og biomasseberegning
- Forsikringsbransjen - kan benytte høydeinformasjon for å beregne risiko ved forsikrede objekter
- Vindkraftindustrien - optimalisere plasseringen av vindkraftverk
- Mobiltelefonoperatører - vurdere signalutbredelse ved planlegging av mobilmaster og dermed få en optimal plassering av disse

3.4.3 Toleranser for stedfestingsnøyaktighet

For å dekke kommunenes behov for laserdata (LiDAR-data) er det spesifisert tre delspesifikasjoner for FKB-Laser: FKB-Laser10, FKB-Laser20 og FKB-Laser50. Valget av LiDAR-data avhenger av hva kommunens formål og områdetype. FKB-Laser10 har høyest detaljnivå og stedfestingsnøyaktighet. Denne typen brukes typisk i tett urbane områder hvor prosjektering krever detaljert terrengbeskrivelse. (Kartverk, 2013)

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

Tabell 1: Viser kvalitetskrav for FKB-Laser10, FKB-Laser20 og FKB-Laser30. (Kartverk, 2013)

3.5 FKB – Felles kartdatabase

3.5.1 Introduksjon

Felles kartdatabase (FKB) er Norges offentlige kartverk i digital form. Den består av en samling datasett på vektorformat som til sammen utgjør detaljert kartdata. Dataene skaffes til veie i fellesskap av kommunen og Statens kartverk. I tillegg bidrar andre etater med karttemaer. (Leksikon)

Geovekst-samarbeidet representert ved geovekst-forumet er dataeier for FKB-spesifikasjonene. Datainnholdet i FKB avhenger av de kartlagene partene i geovekst-samarbeidet ønsker å forvalte og betale for. I følge statens kartverk (Kartverk S.) geovekst-samarbeidet av følgende parter:

- Statens vegvesen

- Energi Norge
- KS (kommunesektorens organisasjon)
- Kartverket
- Telenor
- Landbruksdepartementet med underliggende etater
- Norges vassdrags- og energidirektorat (laser)

FKB er bygd opp som uavhengig primærdatasett. Det betyr at hvert primærdatasett er uavhengig av andre datasett og kan dermed leve adskilt fra andre datasett. Dette er viktig siden ulike instanser oppdaterer primærdatasettene til ulik tid og med forskjellige verktøy.

I følge (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartdataBase (FKB), 2014) består FKB av følgende primærdatasett (karttemaer):

- | | |
|-----------------|-----------------|
| - Høydekurve | - LedningVa |
| - Vann | - Ledning |
| - Servitutt | - PblTiltak |
| - AR5 | - Veg |
| - Naturinfo | - Vegnett |
| - Arealbruk | - TraktorveiSto |
| - Bygning | - Bane |
| - BygningAnlegg | - Lufthavn |

3.5.2 Bruksområde

I følge (Kartverk S. , Felles KartdataBase (FKB)) brukes FKB til:

- Kartproduksjon
- Saksbehandlinger i kommunen ofte knyttet til plan- og bygningsloven og dens forskrifter
- Forvaltningmessige saksbehandlinger i kommunen, vegvesen og ledningsetater
- Prosjektering
- Geografiske analyser og presentasjon av et internt informasjonssystem (GIS-system)

3.5.3 Krav til stedfestningsnøyaktighet – inndeling i klasser

Detaljinnhold og stedfestningsnøyaktigheten for FKB-data varierer avhengig av kommunens bruksområde for datasettene. For å dekke de ulike behovene er det spesifisert 4 FKB-standarder (FKB-A, FKB-B, FKB-C og FKB-D). Størst detaljering og stedfestningsnøyaktighet er det i FKB-A og minst i FKB-D.

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

Tabell 2: Viser oversikt over områdetyper de ulike FKB-standardene brukes til. (Kartverk S. , 2013)

Objekttyper blir delt i 4 klasser med varierende grad av stedfestningsnøyaktighet.

Oppdelingen bygger på hvor skarpt objektet er definert i terrenget. Slik inndeling i nøyaktighetsklasser brukes for alle datasett som inngår i Fotogrammatisk FKB.

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

Tabell 3: Oversikt over stedfestningsnøyaktigheten for nøyaktighetsklassene i de ulike FKB-standardene. (Kartverk S. , 2013)

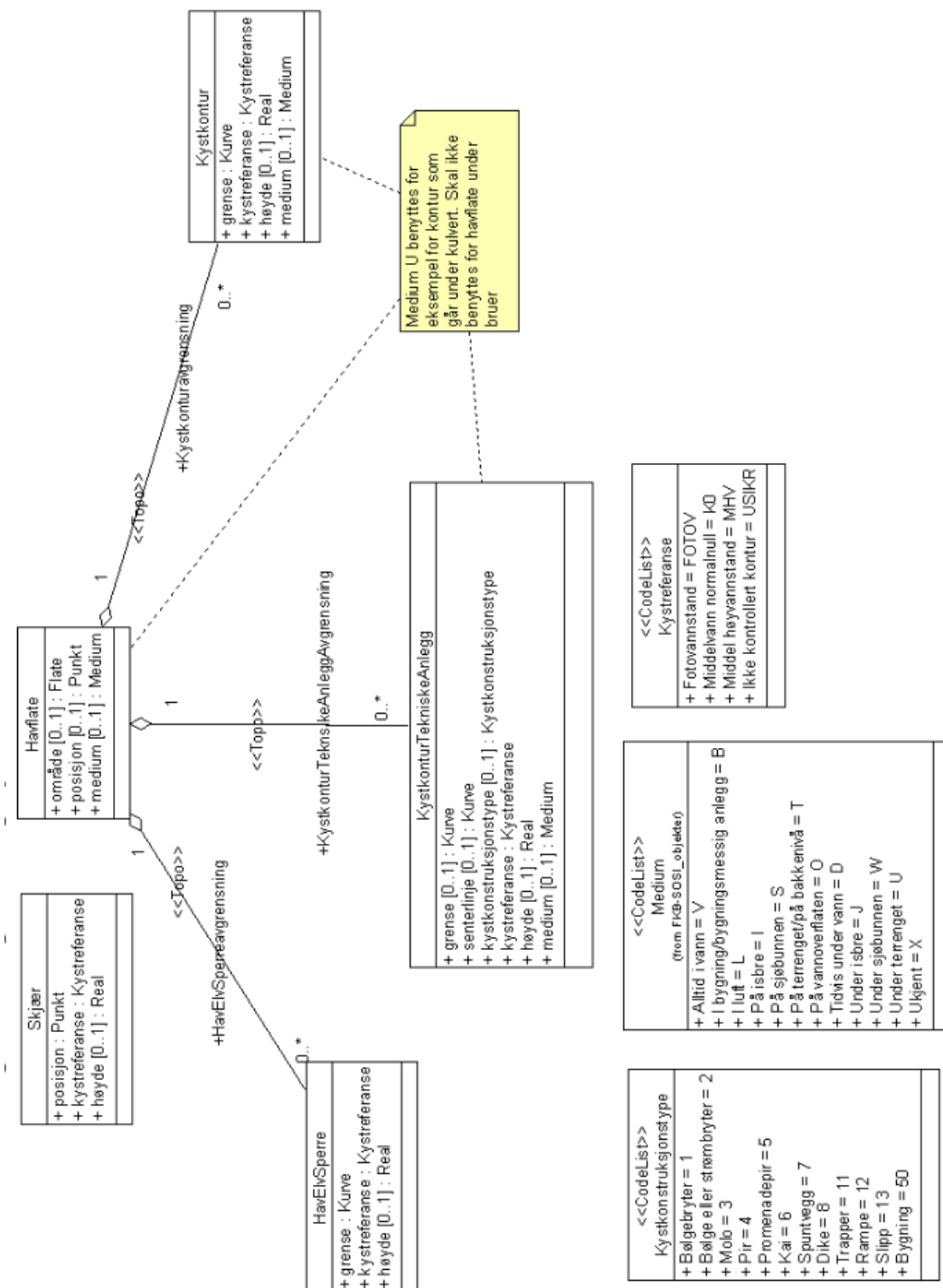
3.5.4 FKB – Vann

FKB-data for vann beskriver geografisk beliggenhet, form og forløp for bekker, kanaler, elver, innsjøer, grøfter, isbreer og kystkontur.

Objekttyper som inngår i FKB – Vann		
Flate	Avgrensede linjer	Andre objekter
Havflate	ElvBekkKant	Navigasjonsinstallasjon
Innsjø	Innsjøkant	Skjær
ElvBekk	Kystkontur	
KanalGrøft	KystkonturTekniskeAnlegg	
Snøisbre	HavElvSperre	
	Kanalgrøftkant	
	ElveElvSperre	
	ElvelinjeFiktiv	
	InnsjøElvSperre	
	Flomløpkant	
	Innsjølinjefiktiv	
	InnsjøkantRegulert	
	Snøisbrekant	

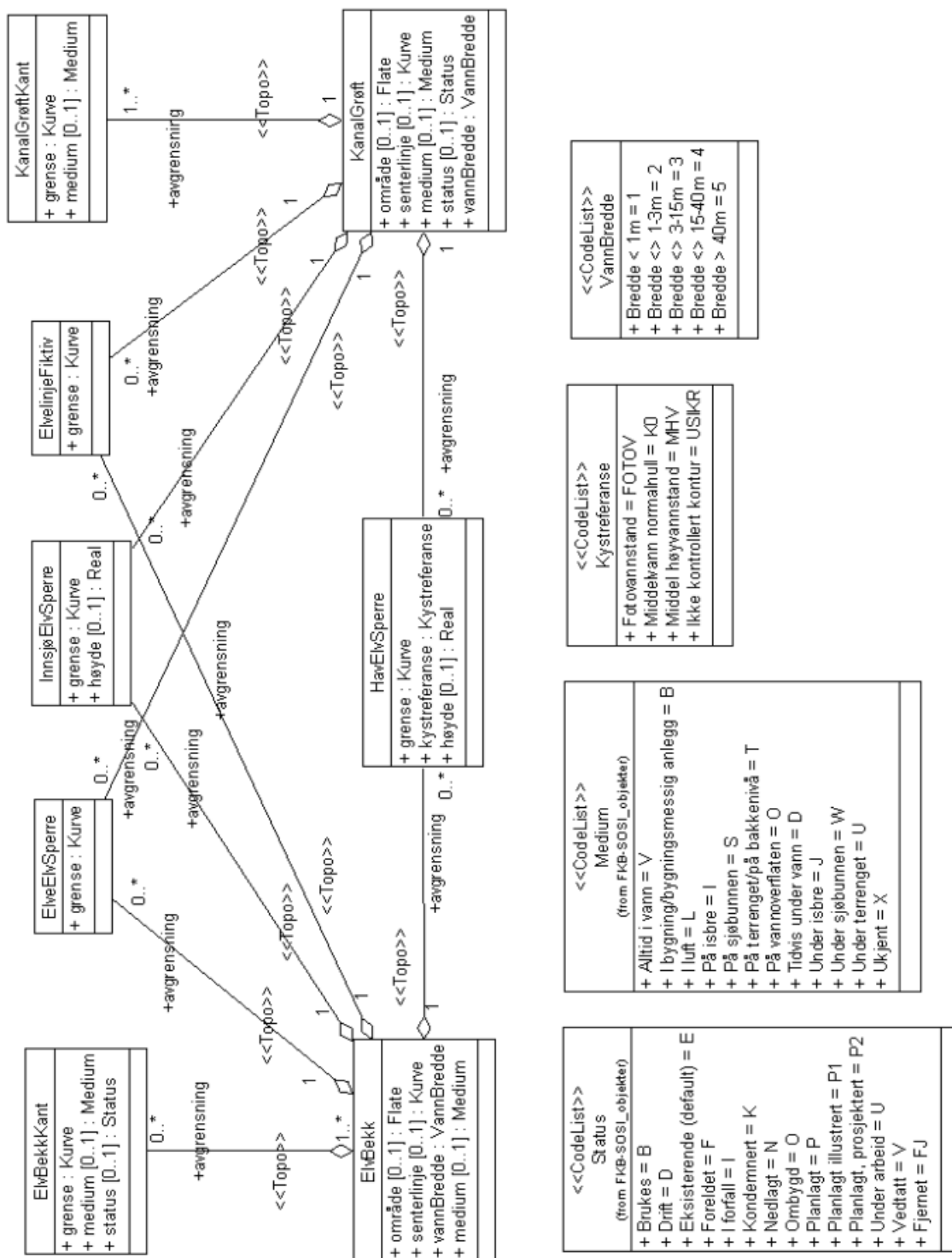
Tabell 4: viser objektene i FKB – Vann (Kartverk S. , OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann, 2011)

Avgrensing land og sjø



Figur 29: Skjema som viser sammenheng mellom objekter som avgrens land og sjø. (Kartverk S. , OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann, 2011)

Elver og bekker



Figur 30: Skjema som illustrerer sammenhengen mellom objekter som avgrensner elver og bekker. (Kartverk S., OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann, 2011)

For ytterligere detaljert beskrivelse av objektene henvises det til "SOSI Del 3

Produktspesifikasjon for FKB – Vann: (Kartverk S. , OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann, 2011)

Stedfestningsnøyaktighet

Objekttypene er inndelt i 4 klasser som angir toleranser for stedfestningsnøyaktighet.

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

Tabell 4: Oversikt over alle objekttypene som inngår i FKB-Vann og hvilke klasser stedfestningsnøyaktighet disse tilhører. (Kartverk S. , OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann, 2011)

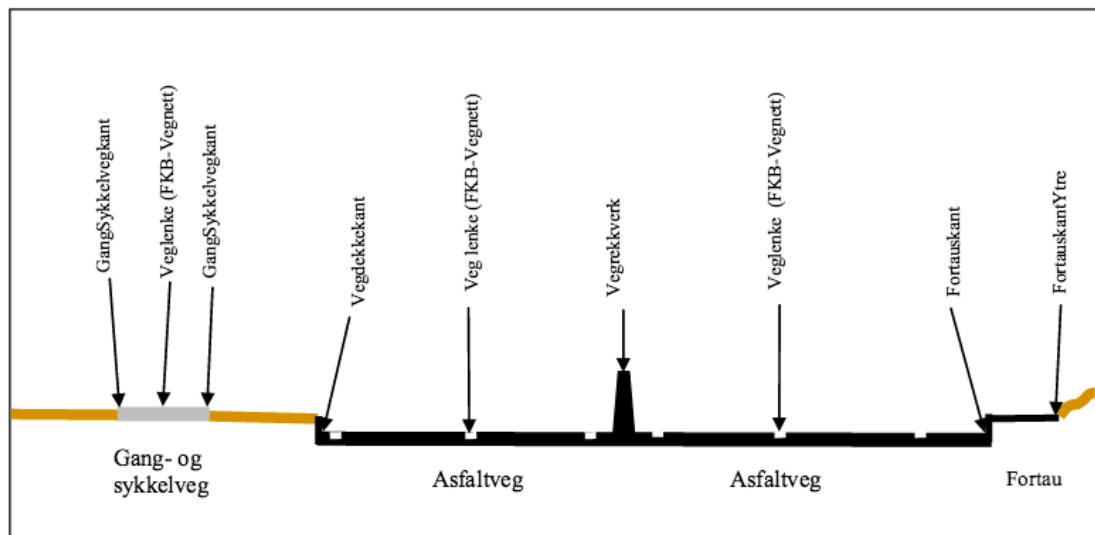
3.5.5 FKB – Veg

FKB-data for veg beskriver veglegemets geometri ved flater, flateavgrensede linjer, andre avgrensningslinjer og andre objekter. Datasettene deles inn etter objekttyper. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014)

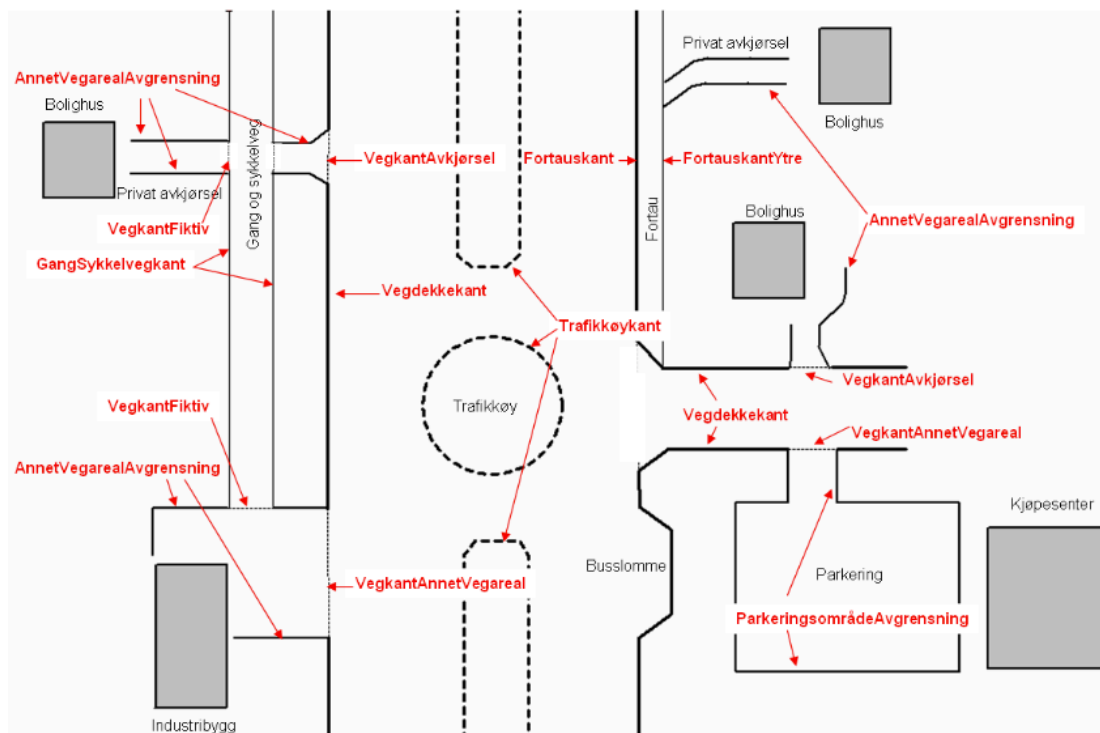
FKB – Veg: Inndeling etter objekttyper			
Flater	Flateavgrensede linjer	Andre avgrensingslinjer	Andre objekter
Veg	Vegdekkekant	Kjørebane kant	Vegrekkverk
Parkeringsområde	VegkantAvkjørsel	VegoppmerkingLangsgående	VeggrøftÅpen
Trafikkøy	VegkantFiktiv	Vegskulderkant	Trafikksignalt
GangSykkelveg	VegkantAnnetVegareal	FartsdemperAvgrensning	Vegsperring
Traktorveg	Fortauskant	FerisAvgrensning	Skiltportal
	ParkeringsområdeAvgrensning	AnnetVegarealAvgrensning	
	Trafikkøykant	FortauskantYtre	
	GangSykkevegkant	GangfeltAvgrensning	
	Traktorvegkant	Gangvegkant	

Tabell 5: Viser oversikt over alle objektene som inngår i FKB-data for veg. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014)

Figur 31 og Figur 32 illustrer noen objekttyper for veg innenfor et urbant område.



Figur 31: Viser et vektvernsnitt med et utvalg av objekter for veg. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014)



Figur 32: Eksempel på utvalgte objekter for FKB-Veg. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014)

For ytterligere detaljert beskrivelse av objektene henvises det til "SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Veg": (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014)

Stedfestningsnøyaktighet

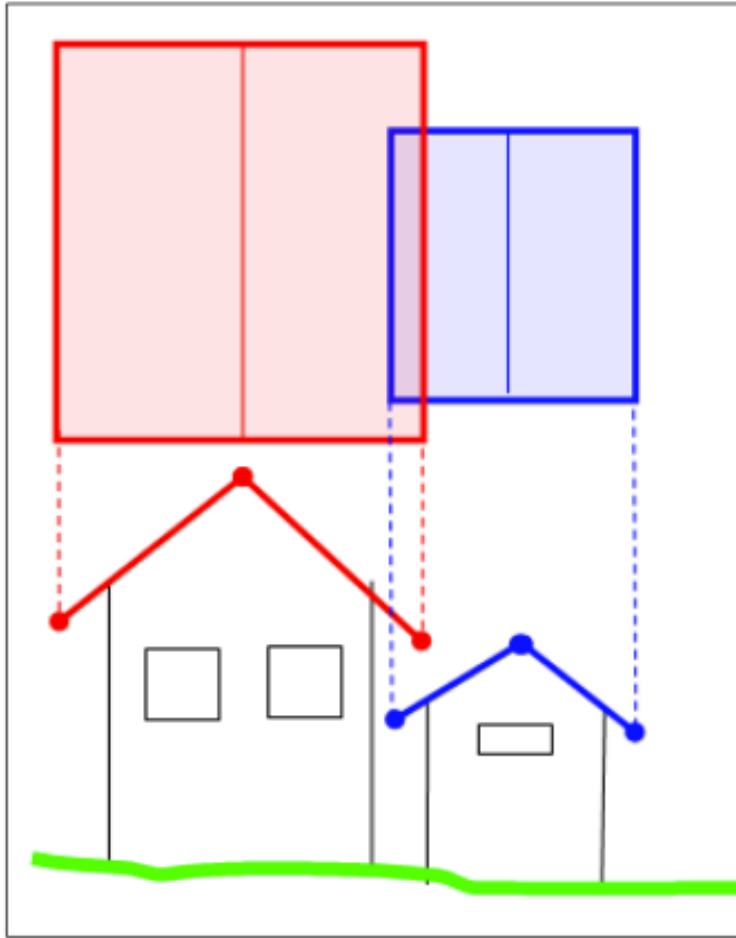
Objekttypene er inndelt i 4 klasser for å angi toleranser for stedfestningsnøyaktighet. Klassen for hver objekttype er illustrert i figuren under:

Objekttype	Klasser stedfestingsnøyaktighet								Klasser fullstendighet	
	Grunnriss				Høyde				1	2
	1	2	3	4	1	2	3	4		
Vegskulderkant		X			X				X	
Vegdekkekant		X			X				X	
Kjørebane kant		X			X				X	
Trafikkøy									X	
Trafikkøykant		X			X				X	
Fortauskant		X			X					X
FortauskantYtre			X		X					X
VegkantAvkjørsel			X		X				X	
VegkantAnnetVegareal			X		X				X	
AnnetVegarealAvgrensning			X		X					X
VegkantFiktiv										X
Veg		X			X				X	
VeggrøftÅpen			X			X				X
GangSykkelveg			X						X	
GangSykkelvegkant		X			X				X	
Gangvegkant		X			X				X	
Parkeringsområde										X
ParkeringsområdeAvgrensning			X		X				X	
FartsdemperAvgrensning		X			X					X
FeristAvgrensning		X			X					X
Trafikksignalpunkt		X				X				X
VegoppmerkingLangsgående		X			X				X	
Skiltportal		X					X		X	
Skiltpunkt		X					X		X	
GangfeltAvgrensning			X		X					X
Vegrekkverk		X				X				X
Vegsperring		X				X				X
Traktorveg				X				X		X
Traktorvegkant				X				X		X

Figur 33: Oversikt over alle objektsypene som inngår i FKB-Veg og klassene for stedfestingsnøyaktighet disse tilhører. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg, 2014)

3.5.6 FKB – Bygning

FKB-data for bygninger beskriver alle bygninger, bygningslinjer, takoverbygg og bygningsvedheng. Disse datasettene er ofte en detaljrik representasjon av virkeligheten. Mye av disse dataene er overflødig når man skal bygge en forenklet terrengmodell for hydrologiske analyser. I et slikt tilfelle er man mer interessert den geografiske plasseringen av bygningsarealene. For å definere disse bygningsarealene er det tilstrekkelig å bruke objekttypene "Bygning" og "AnnenBygning". For A og B standarden blir "Bygning" og "AnnenBygning" som hovedregel representert med flater. Med bygningsflater menes den flaten som avgrenses av "Bygningsavgrensningen". Det finnes 3 typer bygningsavgrensninger: Fasaderiss, grunnmursriss og takriss. Takriss blir som regel brukt for "Bygning" og "AnnenBygning".



Figur 34: Illustrerer hvordan takriss blir registrert i 2D. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Bygning, 2013)

Stedfestningsnøyaktighet

For å angi toleransen for stedfestningsnøyaktighet er objekttypene delt inn i 4 klasser for stedfestningsnøyaktighet.

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

Figur 35: Oversikt over objektene i FKB-Bygning og hvilke klasser for stedfestingsnøyaktighet de tilhører. (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Bygning, 2013)

For ytterligere detaljert beskrivelse av objektene henvises det til "SOSI Del 3

Produktspesifikasjon for FKB – Bygning: (Kartverk S. , SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Bygning, 2013)

3.6 Aktsomhetskart for flom

Det som ønskes å produsere i denne oppgaven er aktsomhetskart for flom. Den inneholder drenslinjer som representerer den naturlige veien overvannet vil renne på terrengoverflaten. Videre angir størrelse og farge på drenslinjene størrelse på tilrenningsareal. Det vil si hvor stor nedbørsfelt i m² som bidrar med avrenning til punkter i terrenget. Med utgangspunkt i terskelverdier kan man bestemme hvilke drensledninger som er av en slik størrelse at de medfører problematikk med tanke på flom.

3.6.1 Bruksområder

Kvalitetssikrede aktsomhetskart kan blant annet brukes til:

- Byggesaker
- Arealplanlegging
- Reguleringsplaner/kommuneplaner
- ROS-analyser
- Prosjektering

3.6.2 Metode for produksjon

Programvaren ArcGIS kan benyttes for produksjon av aktsomhetskart. Aller først må det produseres en digital terrengmodell (DTM) av analyseområdet. Til dette trenger man grunnlagsdata. Dette er data LiDAR-data (Light Detection and Ranging) og FKB-data (Skrevet om i henholdsvis kapittel 4 og kapittel 5). Videre kan man med utvidelsene "Spatial Analyst" og "Hydro Tools" gjennomføre hydrologiske analyser av terrengmodellen.

4. Metodikk

4.1 Grunnleggende informasjon om datamaskinen

Operativsystem:	Windows 8, 64-biters operativsystem
Prosesor:	AMD A8-7410 APU, 2.20 GHz
Installert minne (RAM):	8,00 GB
Harddisk:	1 TB

4.2 Programvare

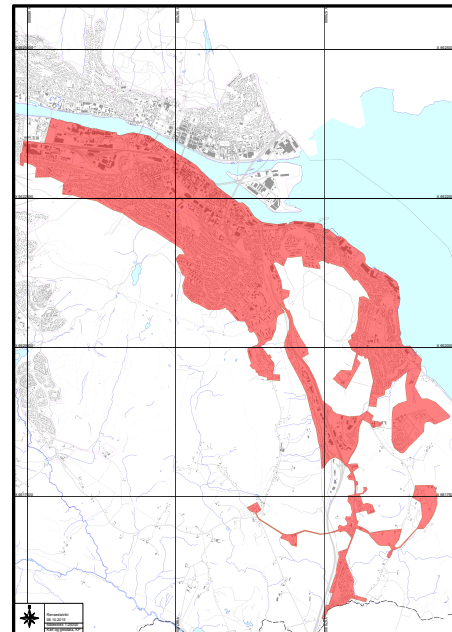
Programmet som ble brukt i oppgaven var ArcGIS Desktop 10.1 med utvidelsene "3D Analyst" og "Spatial Analyst".

4.3 Analyseområde

Området er omtrent 25km² og befinner seg sør for Drammenselva. Analyseområdet avgrensner Solumstrand rensedistrikt. Derfor omtales området som Solumstrand. I følge Drammen kommune finnes det ikke en nøyaktig avgrensning for rensedistriktet. Figurx viser det nærmeste man kommer avgrensner av ledningsnettets innenfor Solumstrand rensedistrikt. I tillegg var det nødvendig å ta med en del av åssiden i sør, da vann fra dette området drenerer ned mot Drammenselv



Figur 37: Analyseområdet for oppgaven.



Figur 36: Nærmeste man kommer avgrensning av ledningsnettets innenfor Solumstrand rensedistrikt.

4.4 Forutsetninger

I denne oppgaven antas det et "worst case scenario" med vinteravrenning. Da vil overvannet være forårsaket av nedbør kombinert med snøsmelting. Snø og is vil også hindre overvannet å renne ned i sluk og videre i avløpssystemer. Videre antas det at alt vannet renner på overflaten på grunn av frossen mark.

I et slikt scenario vil temperaturen være litt over 0 C. Da vil ikke nedbør kunne akkumuleres i form av snø og dermed fordøye overvannet. Derfor ble avløpskoeffisienten på alle flater antatt å være 1. Til slutt har det heller ikke blitt tatt hensyn til sjøhevning.

4.5 Grunnlagsdata

4.5.1 LiDAR-data

Laserdata av området Solumstrand i Drammen ble målt av Terratec AS den 26.06.2010.

Datasettet er generert i høydereferanse NN54, og har en stedfestningsnøyaktighet som tilsvarer FKB-Laser10. Det vil si at datasettet har nøyaktighet lik Tabell 1. Videre er ikke-terrengpunkter klassifisert med klasse 1, mens terrengpunkter er klassifisert med klasse 2.

Datasettet lå i koordinatsystemet EUREF1989 UTM-sone 32, og ble mottatt på LAS-format fra Drammen kommune.

4.5.2 FKB-data

FKB-data er klassifisert med klasse A-B (se Tabell 3 for stedfestningsnøyaktighet), og foreligger i høydereferanse NN2000.

Datasettene lå i koordinatsystemet EUREF1989 UTM-sone 32, og ble mottatt på SOSI-format fra Drammen kommune.

4.6 Forberedelse av grunnlagsdata

4.6.1 LiDAR-data

Oppretting av geodatabase og feature datasett

Aller først ble det opprettet en geodatabase og et feature datasett hvor LiDAR-data kunne importeres inn i.

Steg:

1. Åpnet **ArcMap 10.1**.
2. Ny geodatabase ble opprettet: Høyreklikket på mappen geodatabasen skulle opprettes > **New > File Geodatabase**. Høyreklikket på den nye geodatabasen > **Make Default Geodatabase**.
3. Ny "Feature Dataset" ble opprettet: Høyreklikket på den nye geodatabasen > **New > Feature Dataset**.
4. **25832** ble søkt på, og **ETRS 1989 UTM Zone 32N** ble valgt (hvilket er det samme som **Euref89 UTM**)

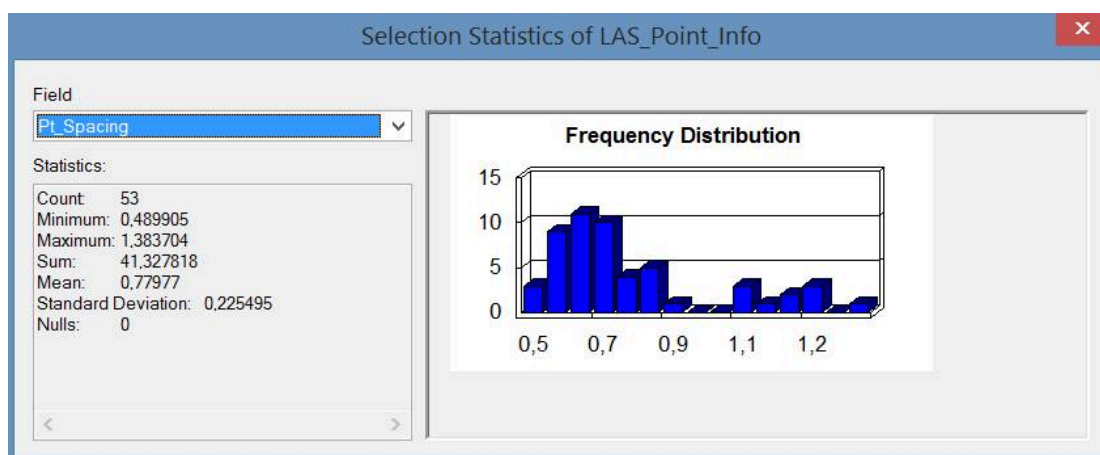
Konvertere LiDAR-data til multipoint-format

For at terrengpunktene skulle kunne integreres i en terrenghil, måtte LiDAR-data konverteres til multipoints. Det ble gjort ved å benytte verktøyet "LAS to Multipoint".

Det ble opprettet to datasett for henholdsvis "ikke-terrengpunkter" (class 1) og "terrengpunkter" (class 2). Verktøyet ble altså kjørt to ganger. Stegene under beskriver metoden for class 2. De samme stegene ble gjort for class 1.

Steg:

1. Åpnet verktøyet **LAS To Multipoint (3D Analyst)**.
2. **Input:** Navigerte til de aktuelle LAS-filene.
3. **Output Feature Class:** Destinasjonen ble satt til det opprettede **Feature Dataset**.
4. **Input Class Codes:** For at datasettet kun skulle ta hensyn til terrengpunkter ble klasse 2 opprettet. **2** ble tastet inn i tekstboksen og **Add**-knappen (+) ble trykt på.
5. **Input Return Values:** **ANY_RETURNS** ble huket av.
6. **Average Point Spacing:**
 1. Verktøyet "**Point File Information (3D Analyst)**" ble åpnet.
 2. **Input data:** Navigerte til de aktuelle las-filene.
 3. **Output Feature Class:** Destinasjonen ble satt til geodatabasen.
 4. Parameteren **Summarize by Class Code** ble slått på > **OK**.
 5. Åpnet **attributtabelen** til **Point File** datasettet som ble opprettet. Deretter klikket på **Table Options**, og **Select By Attribute**. Koden "**Class**"=2 ble tastet inn, og så **Apply**. Høyreklikket på **Pt_Spacing > Statistics**. Det ga gjennomsnittlig punktavstand lik 0, 78pkt/m når bare class 2 ble betraktet.



Figur 38: Viser gjennomsnittlig punkttetthet for terrengpunktene (class 2) ved bruk av verktøyet "Point File Information)

Justere høyden på laserdata

Siden FKB- og laserdataen som ble mottatt hadde forskjellige høydereferanser, ble verktøyet "Adjust 3D Z" brukt for å utjevne høydedifferansen mellom datasettene.

Steg:

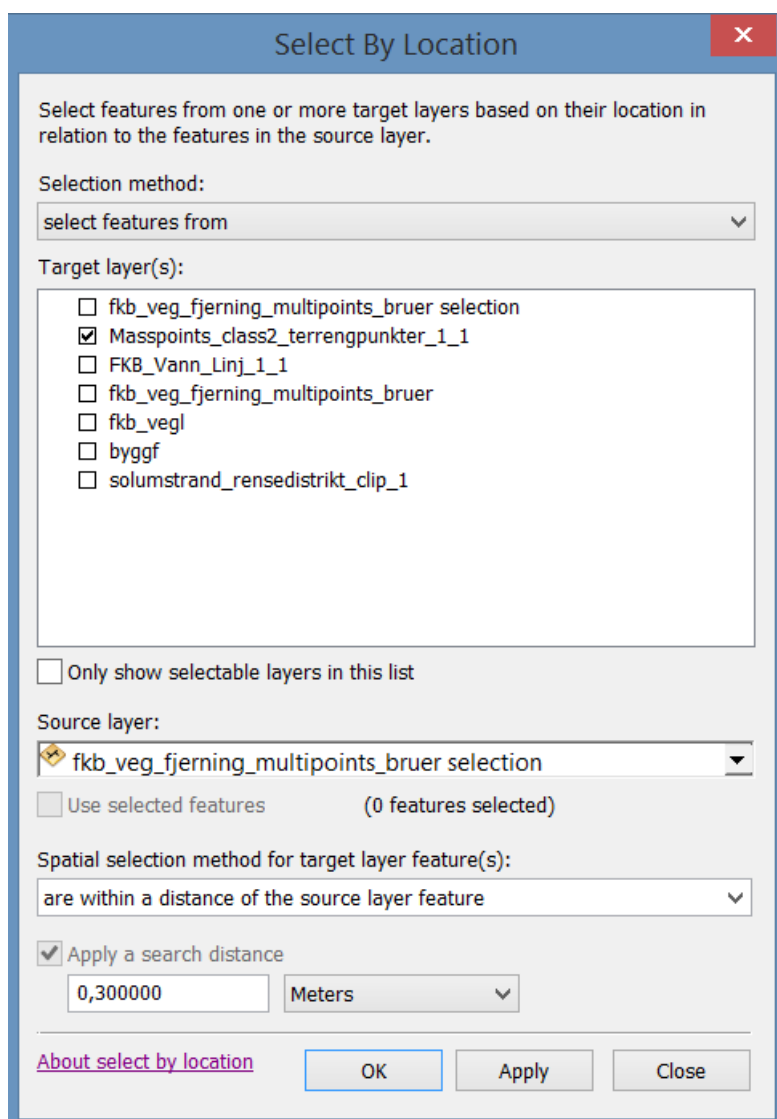
1. Åpnet verktøyet **Adjust 3D Z**.
2. Under **Input Features** ble laserdataen som representerer terrengpunkter valgt.
3. Under **Adjust Z Value** ble **0,129** tastet inn (hvilket er differansen mellom NN1954 og NN2000).

Fjerne multipoints fra bruer

For at bruer ikke skulle forstyrre vannstrømmingen under bruer ble terrengpunktene som overlapper bruer fjernet. Dette ble gjort med følgende metode:

1. Brukte **Select by Attribute** for å velge ut bruer.
2. Det ble laget et nytt lag for de valgte bruene ved **Selection > Create Layer From Selected Features**.
3. For å velge multipoints som overlapper bruer ble **Select By Location** brukt. Her ble **Selection method** valgt til **select features from**, og masspointsene (klasse 2) ble valgt som **Target layer**.
4. Som **Source layer** ble laget med markerte bruer valgt.
5. I tillegg ble det satt en buffer på 30 cm rundt valgte bruer.

6. Først ble det gjort backup av LiDAR-data, da verktøyet "Delete Features" gjør endringer direkte i datasettet og lagrer ikke kopi. Deretter ble verktøyet **Delete Features** brukt for å fjerne de utvalgte multipoints.



Figur 39: Skjermdump av verktøyet "Select by Location" som ble brukt for å markere multipoints som overlapper bruer.

OID *	Shape *	PointCount	created user	created date	last e ^
930	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
931	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
932	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
933	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
934	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
935	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
936	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
937	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
938	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
939	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
940	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
941	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
942	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
943	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
944	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
945	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
946	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
947	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
948	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
949	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
950	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
951	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
952	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
953	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
954	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
955	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
956	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
957	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>
958	Multipoint Z	3500	<Null>	<Null>	<Null>

Masspoints_class2_terrengpunkter_1_1 (172 out of 29348 Selected)

Figur 40: Et utvalg av markerte multipoints fra attributt Tabellen som overlapper bruer.

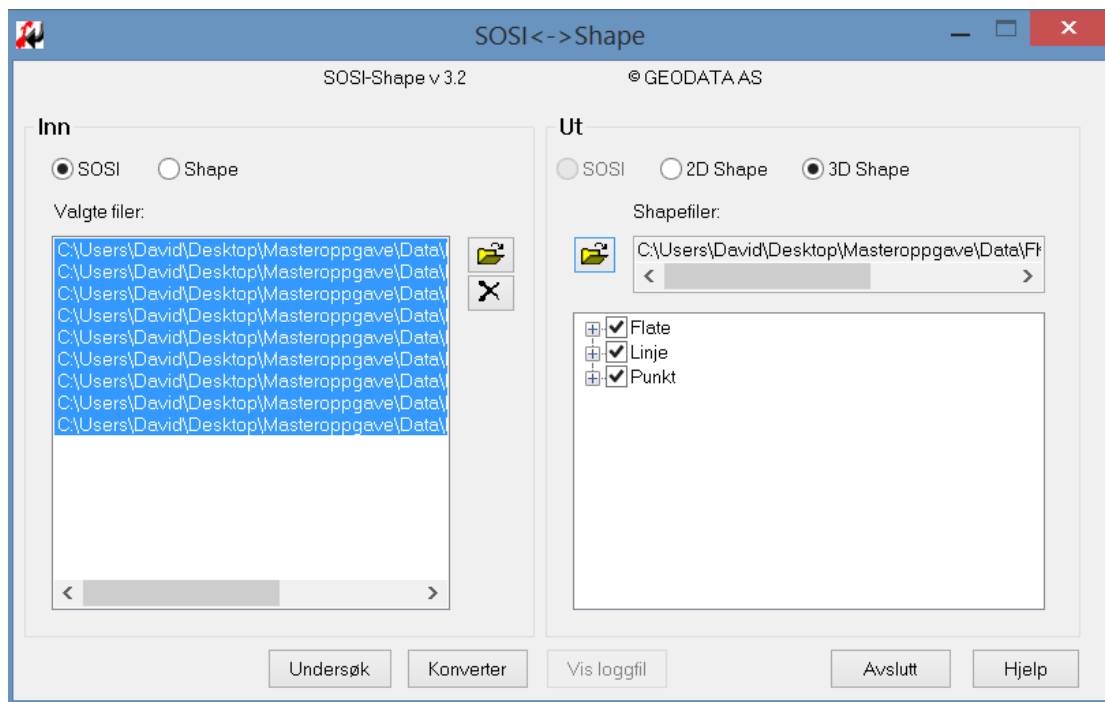
4.6.2 FKB-data

Konvertere fra SOSI til shape

For å kunne lese av FKB-data i ArcMap ble SOSI-filene konvertert til shapefiler ved bruk av verktøyet "SOSI<->Shape". Programmet ble lastet ned på egen PC med hjelp fra Geodata.

Steg:

1. Åpnet verktøyet **SOSI<->Shape**.
2. Som **input** ble SOSI-filene lagt inn.
3. Som output ble **3D** valgt og destinasjonen ble satt til ønsket mappe.



Figur 41: Konverteringen mellom SOSI- og shapeformat ved bruk av verktøyet "SOSI-Shape"

"Clip polygon feature"

For å definere analyseområdet ble en "clip polygon feature" opprettet. Dette ble gjort ved å opprette en ny polygonfeature datafil. Polygonet som ble tegnet inn fungerte som avgrensning for analyseområde.

Breaklines

LiDAR-data alene vil ikke kunne representere terrengets egenskaper tilstrekkelig. Derfor er det behov for FKB-data som definerer objekter i terrenget ved linjer (polylines) og polygoner (polygons). Ved å innføre slike vektorlinjer forbedrer modellens representasjon av overflatens egenskaper i form av jevnhet og kontinuitet. Dette har en stor betydning i form av hvordan overvannsstrømningen foregår på terrengoverflaten.

Det ble opprettet to datasett for henholdsvis vegkantlinjer og vannkantlinjer. Hvilke datasett som skulle brukes for breaklines ble funnet ved (Jutta Meiforth, 2013) prøv-og-feil-prosess. For å samle nødvendig FKB-data ble verktøyet "Merge" benyttet.

FKB – Veg

Først ble FKB-data for veg importert inn i ArcMap.

Steg:

1. Høyreklikket på feature datasettet i **katalogvinduet > Import > Feature Class (multiple)**.
2. **Input Features**: Navigerte til shapefilene som representerer veg > **ADD > OK**.

Filene som ble valgt for veg består av en rekke vegobjekter som beskriver vegkantlinjer.

Disse objekttypene hadde følgende navn:

'AnnetVegarealAvgrensning', 'Fortauskant', 'FortauskantYtre', 'GangfeltAvgrensning',
'GangSykkelvekant', 'Gangveggkant', 'Kjørebane kant', 'ParkeringsområdeAvgrensning',
'Trafikkøykant', 'Traktorveggkant', 'Vegdekkekant', 'VeggrøftÅpen',
'VegkantAnnetVegareal', 'VegkantAvkjørsel', 'Vegskulderkant'

For å klippe ut det aktuelle analyseområdet for FKB – Veg ble verktøyet "Clip (Analyst)" brukt. Dette verktøyet ble brukt på samme måte på alle datasettene som ble lagt inn i ArcMap.

Steg:

1. Åpnet verktøyet **Clip (Analyst)**.
2. Den aktuelle vegfilen ble lagt inn under **Input Features**.
3. Polygonet som avgrenser analyseområdet ble lagt inn som **Clip Feature > OK**.

Vegelementer med attributtbenevnelse "Medium = 'L'" representerer bruer og overganger.

Disse fjernes siden de kan skape hindringer for overvannstrømningen under hydrologiske analyser. Det ble gjort på følgende måte:

1. Aktiverte editering ved å gå på **Editor > Start Editing**.
2. Åpnet attributttabellen for det aktuelle datasettet.
3. Gikk inn på **Table Options > Select By Attribute** og skrev koden "**MEDIUM='L'**" > **Apply**.
4. Trykket på **Delete Selected** i attributtabellmenyen.
5. Deretter ble editering slått av ved **Editor > Stop Editing**.



Figur 42: Et utvalg av markerte vegobjekter som representerer bruer og overganger.

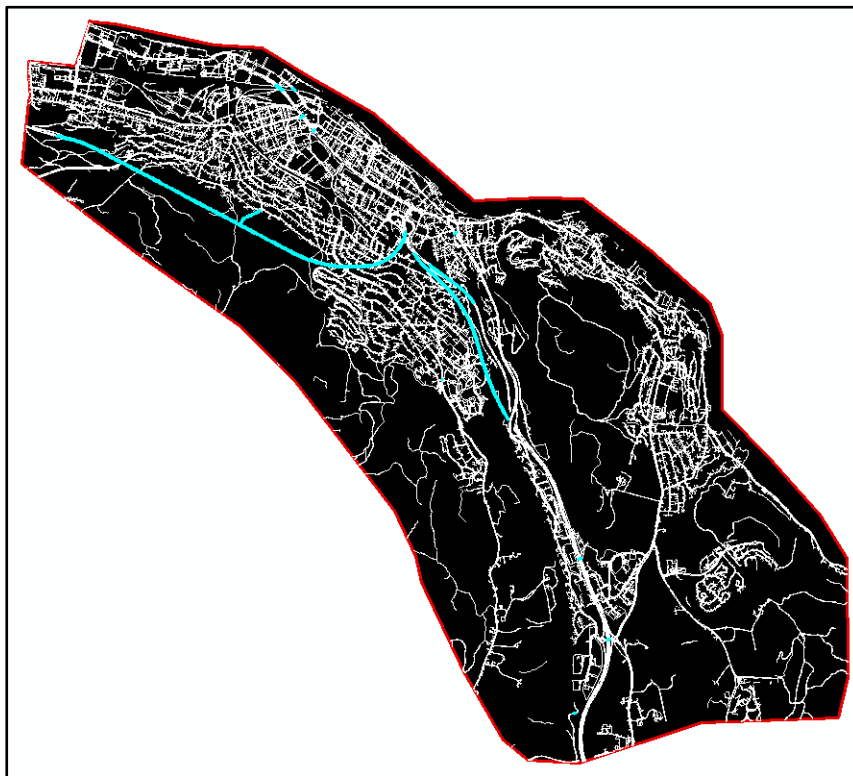


Figur 43: Viser bilder av de markerte objektene i Figur 42.

Attributter med betegnelsen "Medium='U'" representerer tunneller og underganger. Mindre underganger og tunneller ble tatt med, mens de tre største tunellene ved E138 og E18 ble fjernet (Se Figur 44).

Steg:

1. Startet editering ved **Editor > Start Editing**.
2. Deretter ble **Select Feature by Line** brukt for å markere tunellene.
3. Åpnet attributt Tabellen til FKB – Veg > **Delete Selected**.
4. Stoppet editering ved **Editor > Stop Editing**.



Figur 44: Skjermdump av markerte tunneller og underganger innenfor analyseområdet.

FKB – Vann

Filene som representerer vannkantlinjer ble importert inn i ArcMap på følgende måte:

1. Høyreklikket på feature datasettet i **katalogvinduet > Import > Feature Class (multiple)**.
2. **Input Features:** Navigerte til shapefilene som representerer vann > **ADD > OK**.

Filene som ble valgt består av en rekke objekttyper som representerer vannkantlinjer. I kartverkets produktspesifikasjonen for FKB – Vann heter disse:

'ElvBekk', 'ElvBekkKant', 'ElveElvSperre', 'ElvelinjeFiktiv', 'Innsjøkant', 'KanalGrøft', 'KanalGrøftKant', 'Kystkontur', 'KystkonturTekniskeAnlegg'.

Vannflateområder

Vektordata som representerer innsjø og hav ble klassifisert som "hard replace". I praksis betyr dette at disse områdene erstattes med polygoner med konstante høyder.

Filene som ble valgt består av to objekttyper som definerer vannflater. I kartverkets produksjonsstandard for FKB – Vann heter disse:

'Havflate' og 'Innsjø'

FKB – Bygninger

For å tvinge overvannet å strøme rundt bygningene ble bygningene hevet 25 meter over terrengoverflaten. Dette var nødvendig fordi laserdata alene ikke er tilstrekkelig klassifisert til å skille mellom bygninger og andre objekter (for eksempel biler).

For å heve bygningene ble det laget en egen rasterfil for bygningene. De aktuelle bygningsfilene ble samlet i en egen "feature class file". Deretter ble analyseområdet avgrenset ved å benytte verktøyet "Clip" med samme fremgangsmåte som beskrevet under FKB – Veg. I attributt Tabellen til det nye laget ble det opprettet en ny kolonne kalt "HOYDE". Verdien i denne kolonnen ble satt til 25 ved å benytte verktøyet "field calculator". Deretter ble rasterfil med HOYDE som kildeverdi opprettet ved å benytte verktøyet "feature to raster". Til slutt ble områder med "ingen verdi" for høyder erstattet med "0-verdier" ved å bruk av verktøyet "Reclassify".

Objekttypene som ble valgt for dette datasettet heter i henhold til kartverkets produktspesifikasjon for FKB – Bygning:

'AnneBygning', 'Bygning', 'Takoverbygning'.

Først ble bygningfilene importert inn i ArcMap på følgende måte:

1. Høyereklikket på featue datasettet i katalogvinduet > **Import > Feature Class (multiple)**.
2. Som **Input Features** ble shapefilene som representerer bygninger valgt > **ADD > OK**.

Oprettet en ny kolonne i attributtabelen:

3. Åpnet attributtabelen til bygningsfilen > **Table Options > Add Field**.
4. Den nye kolonnen ble kalt "**HOYDE**", og **Double** ble valgt som **Data Type**.

Høyden på bygninger ble satt til 25:

5. Høyereklikket på kolonnen "**HOYDE**" inne på attributtabelen til bygningsfilen > **Field Calculator > Skrev inn "HOYDE = 25"**.

Oprettning av rasterfil:

6. Åpnet verktøyet "**Polygon to raster**".
7. Som **Input Feature** ble bygningsfilen lagt inn.
8. For å sette HOYDE som kildeverdi ble **Value Field** satt til **HOYDE**.
9. Under **Output raster** ble destinasjonen satt til geodatabasen.

For å erstatte områder med ingen verdi for høyde til "0":

10. Åpnet verktøyet "**Reclassify**".
11. Som **Input raster** ble den nyopprettede rasterfilen lagt inn.
12. Under **NoData** ble **New values** satt til **0 > OK**.



Figur 45: Skjermdump av et utvalg av bygninger i rasteren som ble opprettet.

4.7 Oppretting av DTM

For å opprette terrenngmodellen ble det gjennomført 3 steg som er beskrevet nedenfor.

1) Bygge terrain

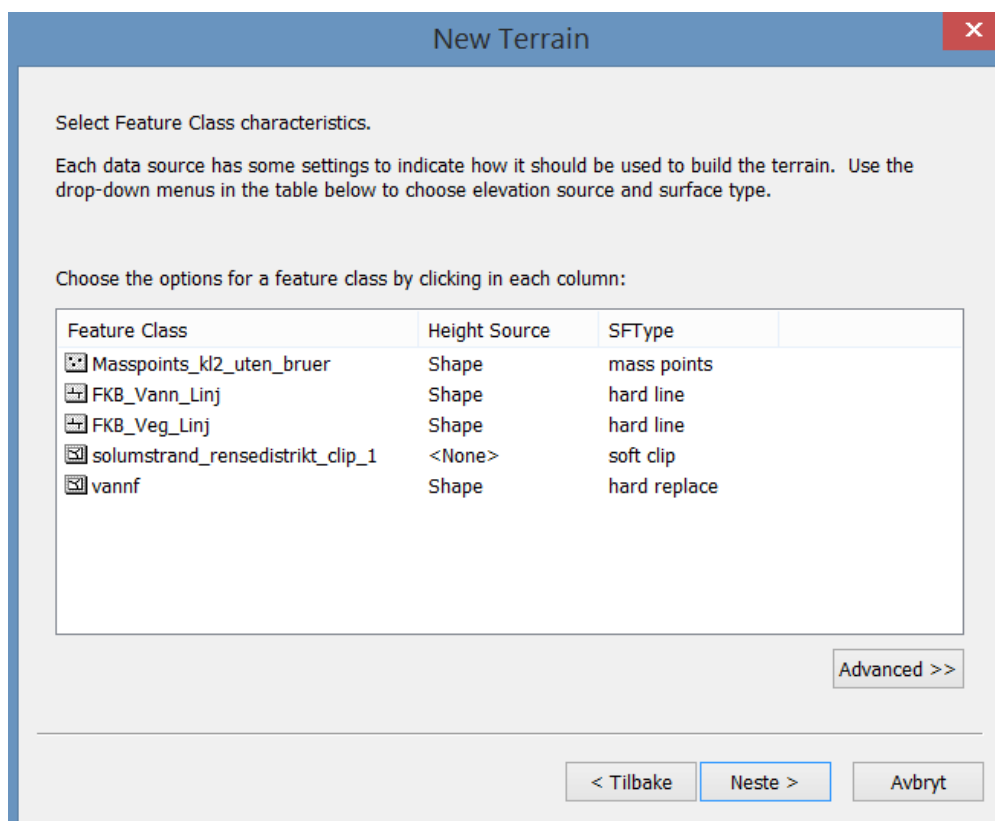
Først ble det opprettet en ny "feature dataset" i geodatabasen. Her ble følgende datasett med følgende karakteristikker samlet:

- Multipoints (LiDAR-data) (terrengpunkter)
- Polygonlinjer av FKB – Vann for vannlinjer (hardline for vannlinjer)
- Polygonlinjer av FKB – Veg for veglinjer (hardline for veg)
- Polygon som avgrensner analyseområdet (soft clip for avgrensning)
- Polygoner av FKB – Vann for vannflater (hard replace for vannflater)

Terrain ble opprettet ved å høyereklikke på datasettet og navigere til New > Terrain.

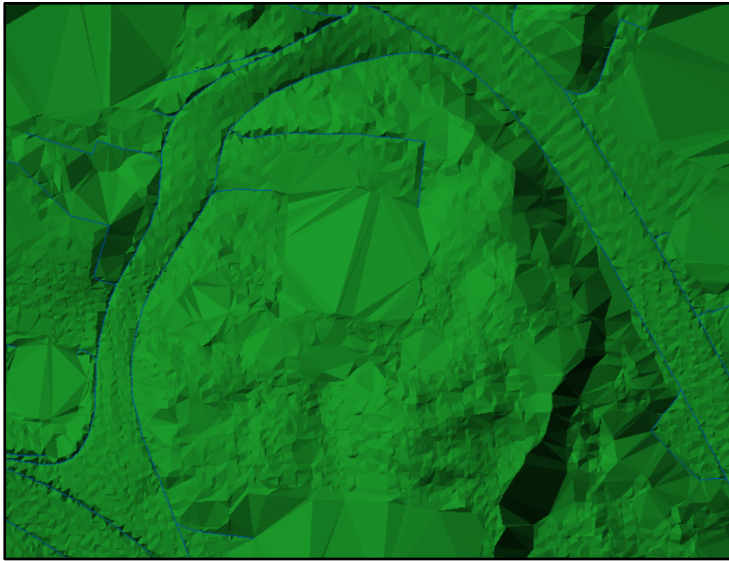
Følgende input ble valgt:

1. **Approximate point spacing** ble satt til 0,8m.
2. **Pyramide type** ble satt til Z Tolerance (Som er det beste alternativet når man kun bruker terrengpunkter fra LiDAR-data)



Figur 46: Skjermdump av datasettene som ble brukt for å lage terrain.

Som illustrert av Figur 47 ble det produsert en TIN-basert overflate av analyseområde.



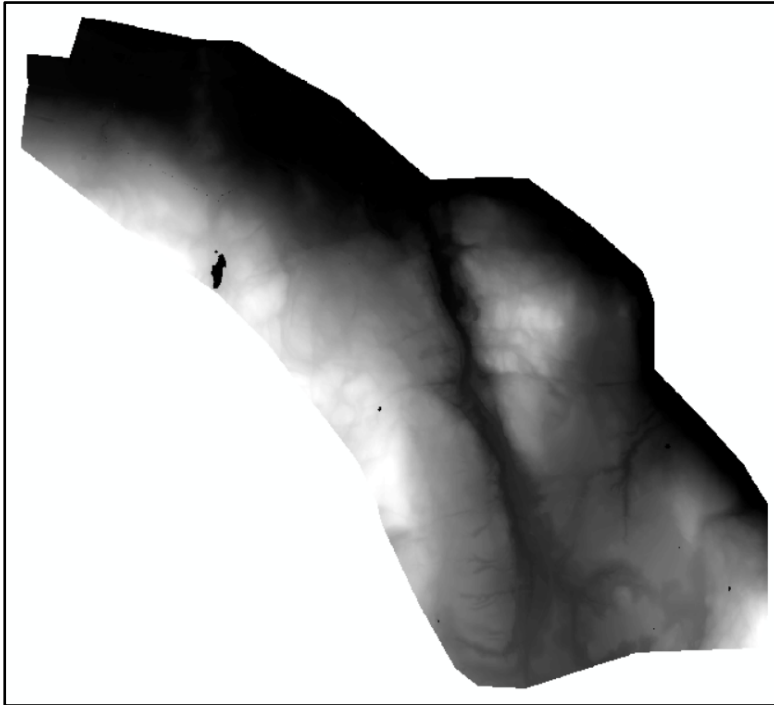
Figur 47: Skjermdump av et lite område av TIN-overflaten som ble opprettet.

2) Konvertere terrain til raster

For å legge til bygningsrasteren i terrain, ble terrain gjort om til en raster. Det ble gjort på følgende måte:

1. Åpnet verktøyet **Terrain To Raster**.
2. Som **Input Terrain** ble terrengfilen valgt.
3. **Output Raster** ble satt til geodatabasen.
4. **FLOAT** ble valgt som **Output Data Type** (brukes for å bevare små høydedifferanser som fortauskant).
5. **NATURAL_NEIGHBORS** ble brukt som **Method**. Dette ble gjort for å bevare små høydeforskjeller fra breaklines (for eksempel vegkanter).
6. **Cellsize** ble valgt til 0,8m.
7. 0 ble valgt som **Pyramid Level Resolution** (det betyr full oppløsning).

Som illustrert av Figur 48 ble det produsert en rasterfil av analyseområdet.



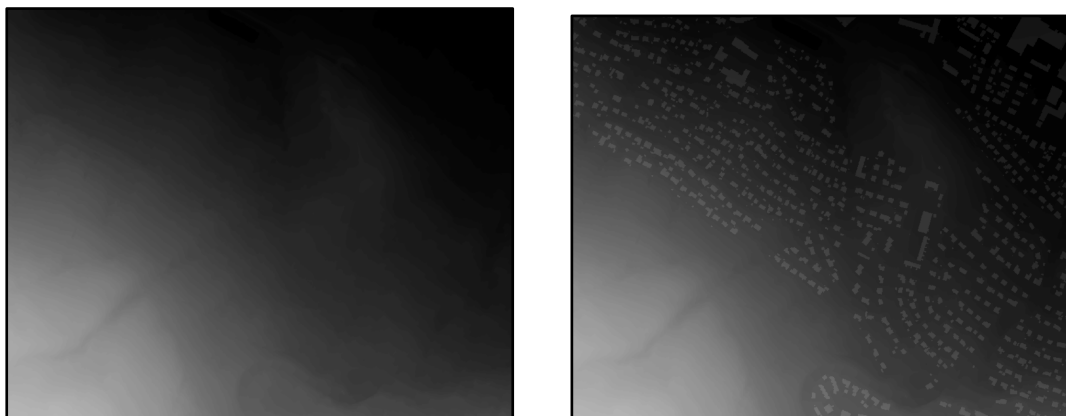
Figur 48: Skjermdump av rasterfilen som ble opprettet.

3) Legge til bygningsraster

Bygningsraster ble lagt til i terrainraster ved å bruke verktøyet "Plus (Spatial Analyst)". Det ble gjort på følgende måte:

1. Åpnet verktøyet **Plus (Spatial Analyst)**.
2. Som input raster 1 og 2 ble bygningsraster og terrainraster valgt.
3. Output raster ble satt til geodatabasen.

Figur 49 viser et utsnitt av rasteren før og etter bygningsrasteren ble lagt til.



Figur 49: Bygninger før og etter de ble lagt inn i rasteren.

4.8 Definere flomstrømningslinjer

1. Fylle forsenkninger i DTM

Forsenkninger i DTM ble fylt igjen for å sikre kontinuitet i dreneringsnettverket.

Dette ble gjort med verktøyet "Fill (Spatial Analyst)".

Input Surface raster: DTM

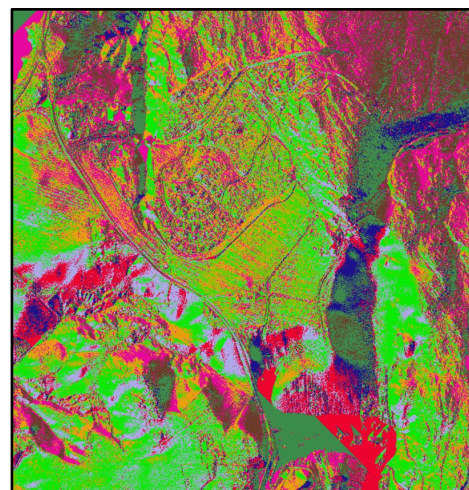
Ingen **Z limit** ble brukt.

2. Generere "Flow Direction" raster

Verktøyet "Flow Direction (Spatial Analyst)" ble brukt for å angi strømningsretningen til vannet ut av hver rastercelle.

Input surface raster: Den "fylte" DTM

En **Drop raster** ble kalkulert for å finne strømningsretningen på flate områder.

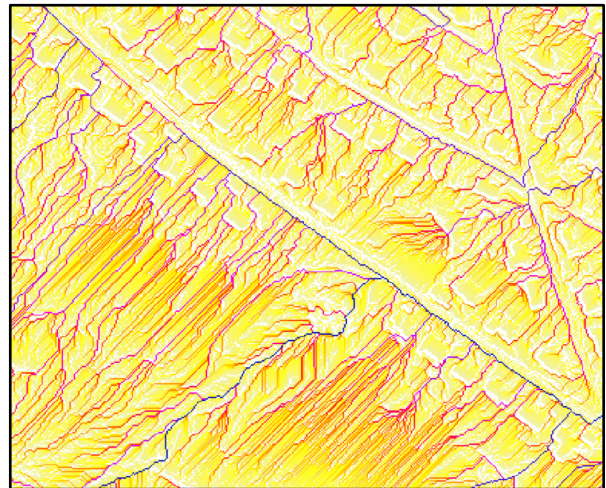


Figur 50: "Flow Direction"-rasteren som ble opprettet av den fylte DTM.

3. Generere "Flow Accumulation" raster

Verktøyet "Flow Accumulation" ble brukt på "flow direction-rasteren" for å beregne mengde akkumulert strømning inn i hver rastercelle.

Output data type ble satt til FLOAT.



Figur 51: "Flow Accumulation"-rasteren for et lite område.

4. Identifisere flomstrømningslinjer

Strømningslinjene som ble produsert fra "Flow Accumulation" rasteren har forskjellig størrelse. For å angi strømningslinjene som har betydning ved flomhendelser må det settes terskelverdier for strømningslinjene. Meiforth fant terskelverdier ved tidligere målinger av vannmengder ($l/s \cdot km^2$) ved flomhendelser i urbane områder i Trondheim. De samme terskelverdiene ble brukt som forsøksstall i denne oppgaven.

Terskelverdier for Trondheim:

- Tidligere oversvømmelser i urbane områder viste at flommer blir et problem når strømningslinjene er på minst $2000 l/s \cdot km^2$.
- Store flomhendelser oppsto når vannmengden i mindre elver nådde minst $100 l/s$.

Videre kan man benytte denne formelen:

$$\frac{2000l}{s \times 10000000m^2} = \frac{100l}{s \times Xm^2}$$

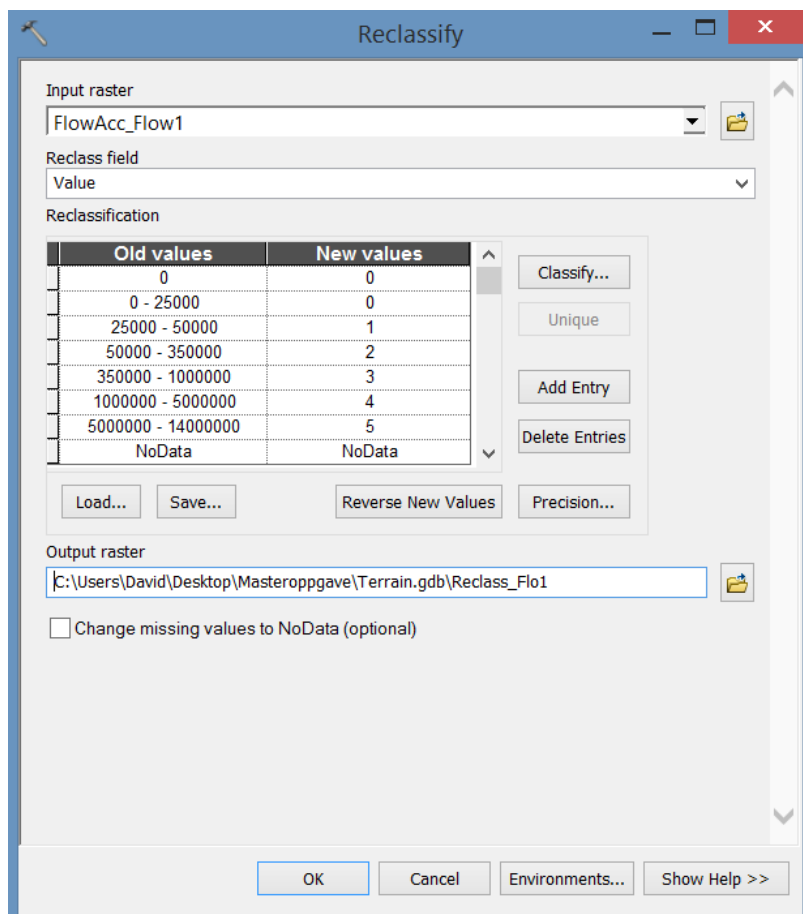
Kritisk nedbørsfelt i urbane områder ved flomhendelser blir da:

$$X = \frac{100 \frac{l}{s} \times 10000000m^2}{2000 \frac{l}{s}}$$

Dette ga et kritisk nedbørsfelt i urbane områder på minst $50\,000 m^2$ for å definere flomstrømningslinje.

Videre ble det påvist ved feltundersøkelser at kritiske nedbørsfelt for ikke-urbane strøk (for eksempel skog) var 25 000 km². Dette skyldes at avløpssystemer i urbane områder tar opp en del overvann.

Verktøyet "Reclassify" ble brukt for å dele rasteren inn i 5 klasser med terskelverdier som vist av Figur 52.

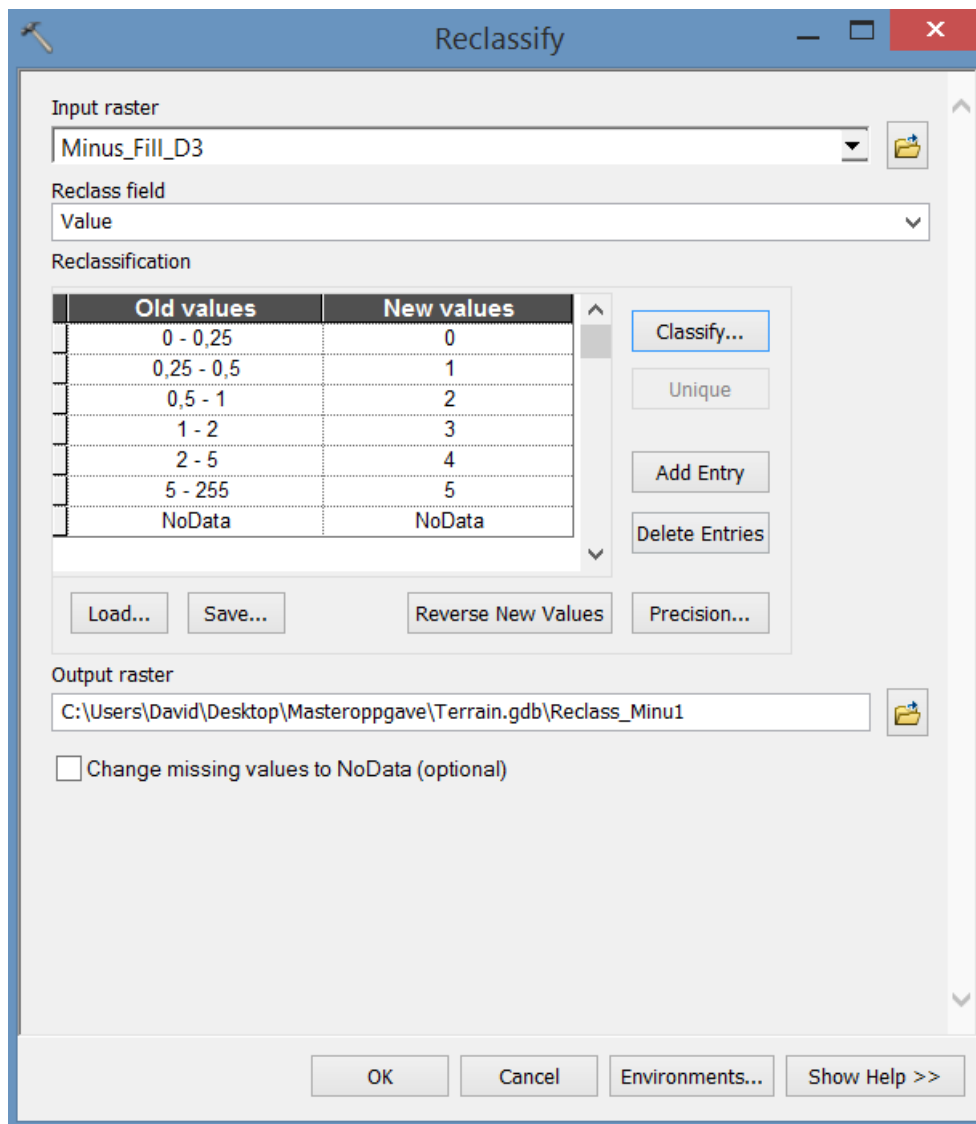


Figur 52: Skjermdump av verktøyet "Reclassify" der rasteren ble delt inn i klasser med terskelverdier.

4.9 Sinkanalyse

For å finne områder hvor vann kan samle seg opp i "sinks", ble verktøyet "Minus (Spatial Analyst)" brukt. Som input ble den "fylte" rasteren lagt inn. Input 2 ble satt til rasteren som ikke ble fylt igjen. Resultatet blir da områdene som ble fylt igjen.

For å dele sinks opp i klasser ble verktøyet "Reclassify" brukt. Valgte verdier for klassene er vist av Figur 53.



Figur 53: Skjermdump av verktøyet "Reclassify" der sinks ble klassifisert.

4.10 Forberedelse av presentasjon

4.10.1 Opprette vektorkart av drenslinjene

For å bedre layout på dreneringslinjene ble rasteren konvertert til polygonlinjer. Dette ble gjort ved å bruke verktøyet "Raster to Polyline".

"Minimum dangle length" og "Background value" ble satt til default verdier. Det ble huket av på "Simply polylines".

Videre ble tykkelse og farge på drensledningene endret med følgende metode:

1. Høyreklikket på polygonlinje-filen i **Table Of Contents > Properties**.

2. Under fanen **Symbology** ble **Values Field** satt til **grid_code**.
3. Videre ble **Add All Vaues** valgt.
4. Deretter ble farge og tykkelse på de 5 klassifiserte drenslinjene angitt.

4.10.2 Opprette vektorkart av sinks

For å forbedre layout på resultatene ble rasteren gjort om til polygoner med bruk av verktøyet "Raster to Polygon".

Alle forsenkninger lavere enn 5m ble fjernet fra resultatet, da disse regnes ikke som reelle forsenkninger i terrenget. Disse forsenkningene kan skyldes feil ved datainnsamling eller at disse områdene ligger rundt bygninger og dermed anses som senkninger. I tillegg ble alle senkninger mindre enn 3m² og lavere enn 25cm fjernet fra resultatet.

5. Resultater

Aktsomhetskartene består av to datasett på vektorformat som viser:

1. Drenslinjer som viser veien vannet vil ta på terrengoverflaten. Tykkelse og farge på drenslinjene angir størrelsen på nedbørsfelt i m^2 som drenerer til punkter i terrenget.
2. Sinks (søkk i terrenget uten naturlig utløp) i meter.

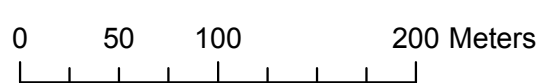
På grunn av størrelsen til analyseområdet ble det vist i flere deler. Først vises 3 utklipp av mindre områder, og deretter vises 4 utklipp av større områder. Drenslinjer med klassifisering 2 ($25\ 000m^2 - 50\ 000m^2$) blir ikke vektlagt, da de ifølge (Jutta Meiforth, 2013) ikke er problematiske i urbane områder.



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare Solumstrand rensedistrikt, Drammen

Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	25000m2 - 50000m2
	50000m2 - 350000m2
	350 000m2 - 1 000 000m2
	1 000 000m2 - 5 000 000m2
	5 000 000 - 14 000 000m2
	FKB_Bekk
Sinks	
Klassifisering	
	0,25m - 0,50m
	0,50m - 1,00m
	1,00m - 1,50m
	1,50m - 2,00m
	2,00m - 5,00m

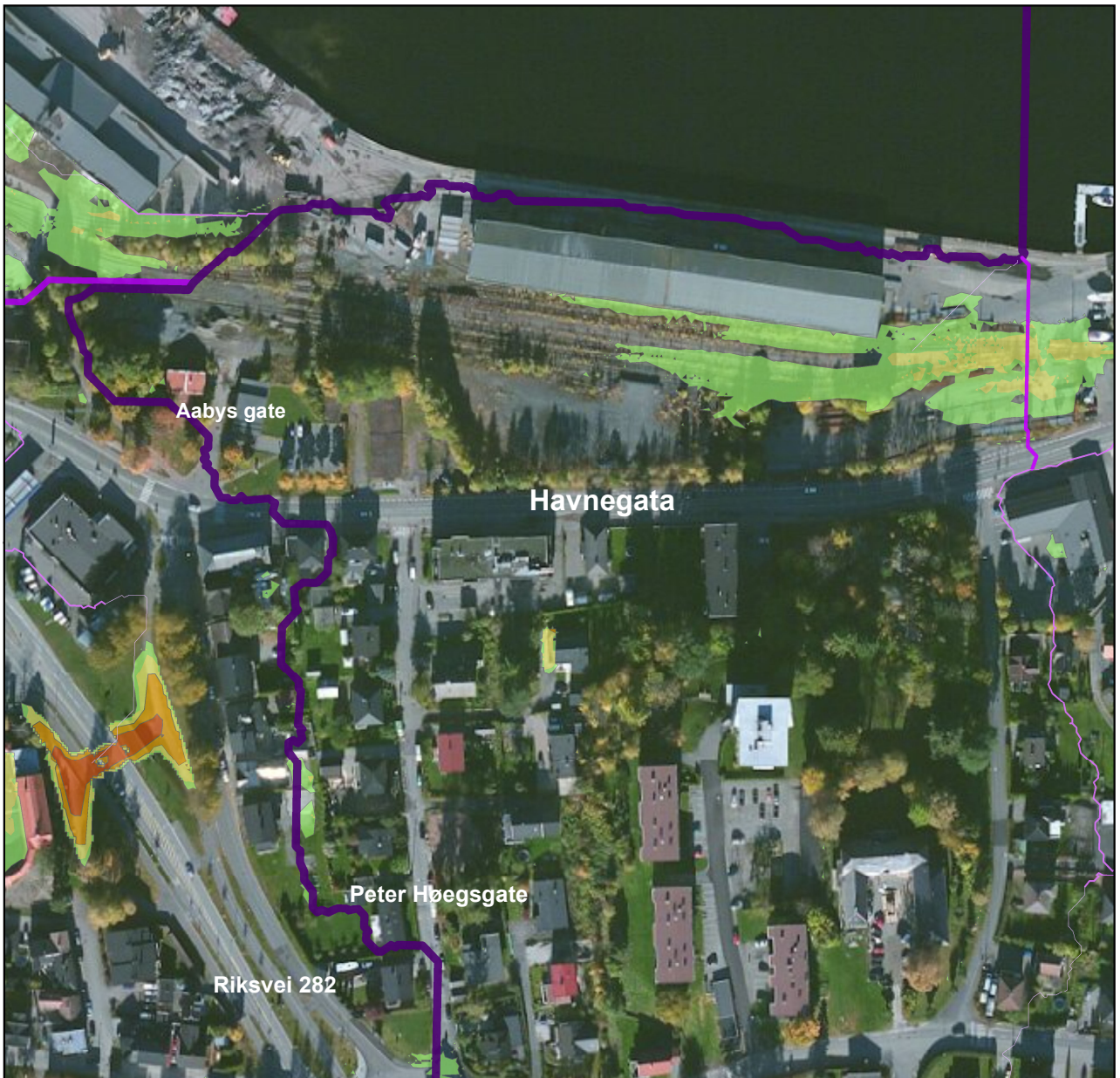


Figur 54: Utsnitt av aktsomhetskartet som viser et mindre område midt i analyseområdet.

Vest i Figur 54 viser en drenslinje med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) som følger en bekk ned mot togbanen. Der møter den drenslinjen som renner nordover langs togbanen. I punktet disse to drenslinjene sammenfaller renner det en drenslinje med klassifisering 4 ($1\,000\,000\text{m}^2 - 5\,000\,000\text{m}^2$). Denne drenslinjen krysser togbanen og akkumulerer langs en vei mot riksvei 282. Videre renner den under brua (E18) og sammenfaller en drenslinje med klassifisering 5 ($5\,000\,000\text{m}^2 - 14\,000\,000\text{m}^2$).

Drenslinjen med klassifisering 5 renner langs riksvei 282 og under bruene på E18.

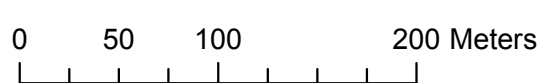
I nord renner det en drensledning med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) sørover langs E18. Denne drensledningen endrer kurs etter å ha passert togbrua. Fra punktet drenslinjen endrer kurs renner den nordover langs riksvei 282.



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare Solumstrand rensedistrikt, Drammen

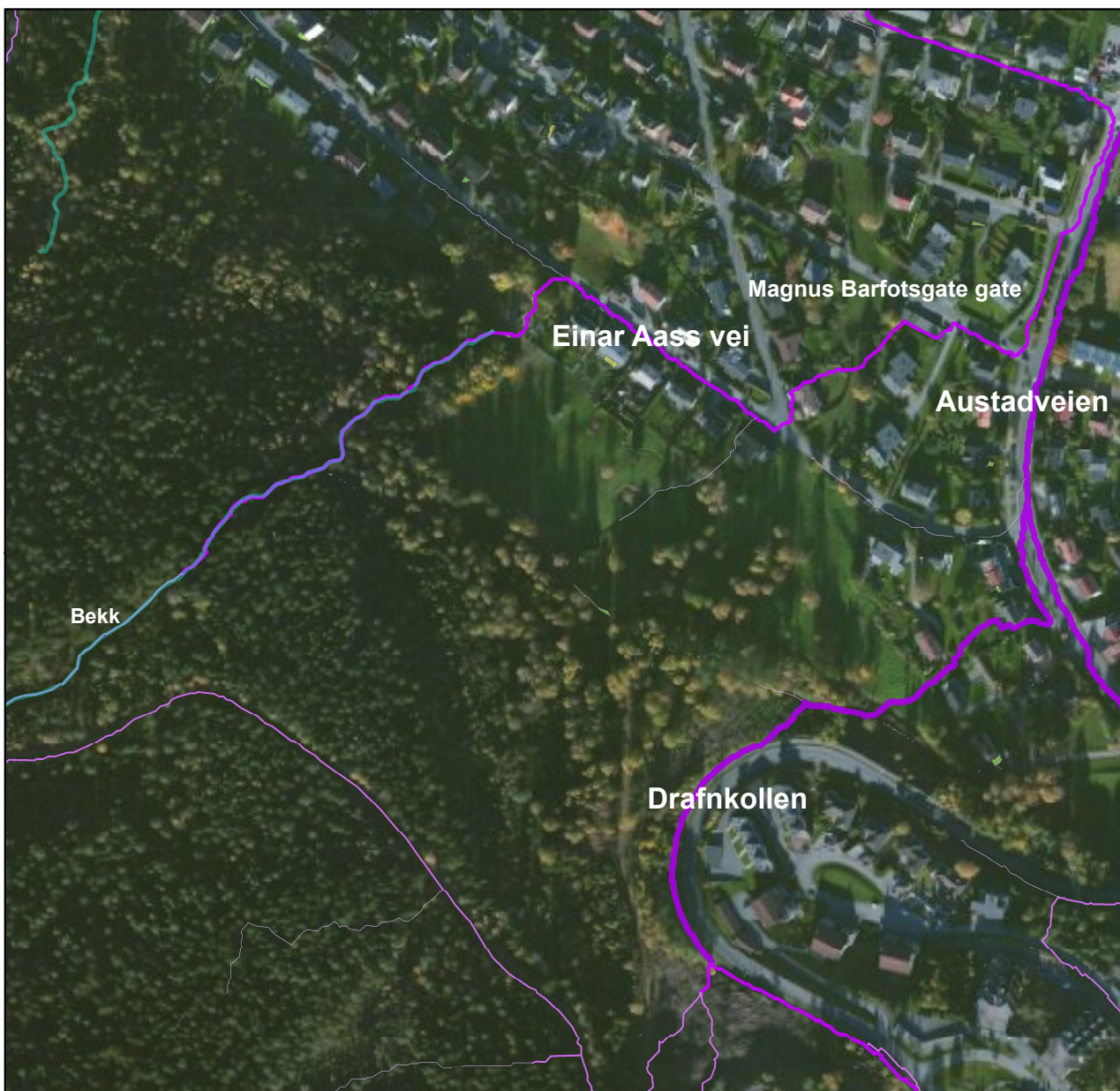
Symbologi	
Drenslinjer	
Klassifisering	
	25000m2 - 50000m2
	50000m2 - 350000m2
	350 000m2 - 1 000 000m2
	1 000 000m2 - 5 000 000m2
	5 000 000 - 14 000 000m2
	FKB_Bekk
Sinks	
Klassifisering	
	0,25m - 0,50m
	0,50m - 1,00m
	1,00m - 1,50m
	1,50m - 2,00m
	2,00m - 5,00m



Figur 55: Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser et mindre område ved Havnegata der hovedflomveien strømmer ut.

Sør i Figur 55 viser en drenslinje med klassifisering 5 ($5\,000\,000\text{m}^2 - 14\,000\,000\text{m}^2$) som skifter kurs fra riksvei 282 til Peter Høegsgate. Videre skifter den kurs og renner gjennom et boligfelt til den krysser Havnegata. Derfra renner den inn Aabys gata hvor den passerer togbanen. Videre renner den langs brygga og ut i Drammenselva.

Nord-vest i Figur 55 viser en drensledning med klassifisering 4 ($1\,000\,000\text{m}^2 - 5\,000\,000\text{m}^2$) som sammenfaller drenslinjen med klassifisering 5.



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare Solumstrand rensedistrikt, Drammen

Symbologi	
Drenslinjer	Sinks
Klassifisering	Klassifisering
25000m2 - 50000m2	0,25m - 0,50m
50000m2 - 350000m2	0,50m - 1,00m
350 000m2 - 1 000 000m2	1,00m - 1,50m
1 000 000m2 - 5 000 000m2	1,50m - 2,00m
5 000 000 - 14 000 000m2	2,00m - 5,00m
FKB_Bekk	

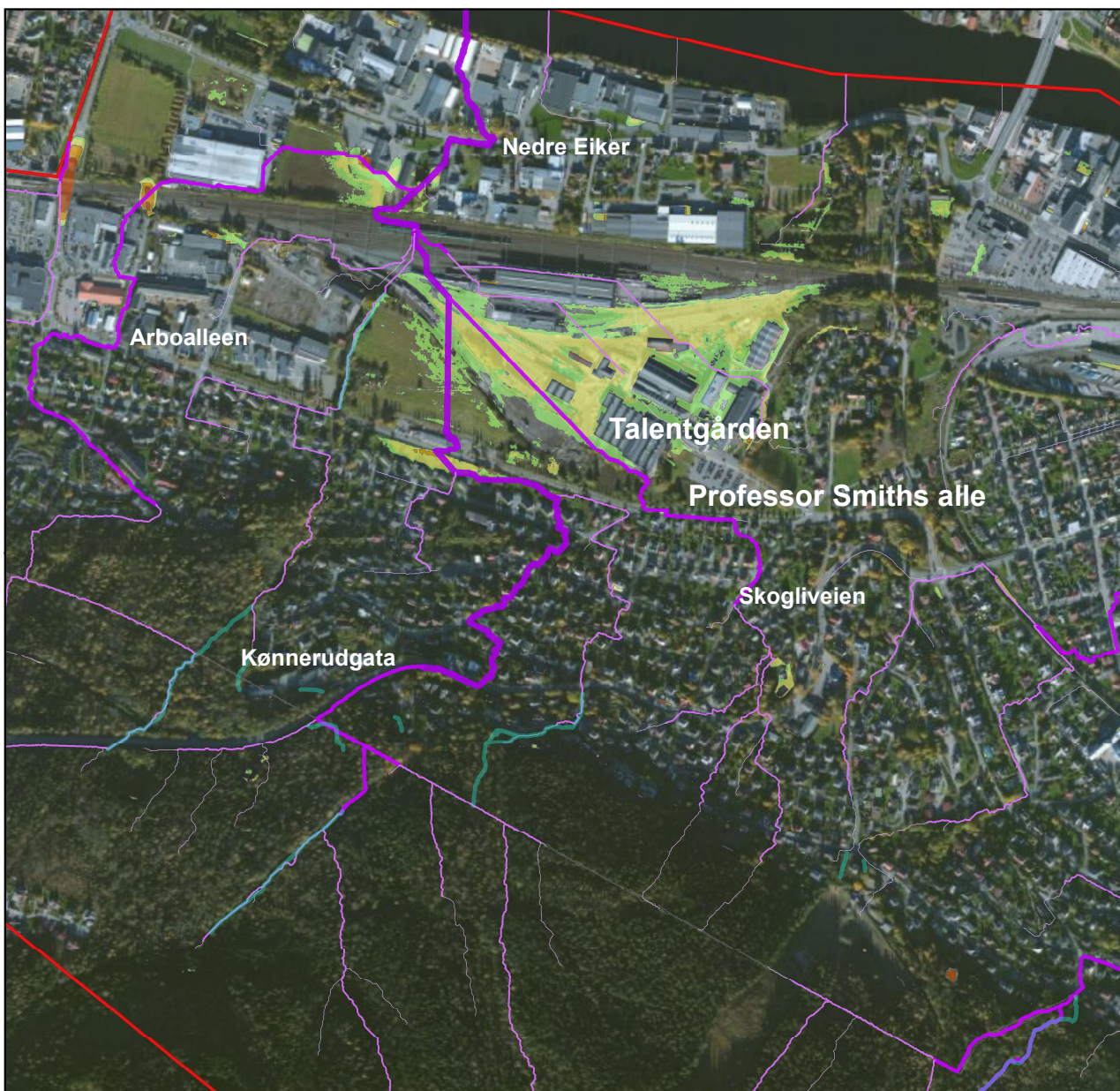
0 50 100 200 Meters



Figur 56: Utsnitt av aktsomhetskartet av et mindre området på åssiden sør for det urbane strøket.

Vest i Figur 56 viser en drenslinje med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) som renner langs en bekk ned til Einar Aasss vei. Herifra følger drenslinjen veien østover til den skifter retning mot nord-øst gjennom et boligfelt. Videre skifter den retning ved Magnus Barfotsgate og renner nordover langs Austadveien.

Sør-øst i Figur 56 viser en drenslinje med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) som følger Drafnkollen (vegnavn). Før veien svinger renner det en annen drensledning med klassifisering 3 sør for veien. Denne drensledningen stammer fra to drensledninger med klassifisering 2 ($50\,000\text{m}^2 - 350\,000\text{m}^2$). Denne drensledningen sammenfaller drenslinjen som renner lang Drafnkollen. Fra punktet de to drenslinjene med klasifiisering 3 sammenfaller, renner den en drenslinje med klassifisering 4 ($1\,000\,000\text{m}^2 - 5\,000\,000\text{m}^2$) langs Drafnkollen. Denne drenslinjen skifter retning etter svingen i Drafnkollen, og renner gjennom et boligfelt til den når Austadveien. Derfra renner den videre nordover langs Austadveien.



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare Solumstrand rensedistrikt, Drammen

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

0 125 250 500 Meters



Figur 57: Utsnitt av aktsomhetskart av et området vest i analyseområdet.

Vest i Figur 57 viser drenslinje med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) som renner norover langs veien. Videre renner den over togbanen og passerer en forsenkning på 1,5m – 2,0m (merket lyse-oransje). Videre renner den østover langs et bygg og sammenfaller en drensledning med klassifisering 4 ($1\,000\,000\text{m}^2 - 5\,000\,000\text{m}^2$).

Drensledningen med klassifisering 4 stammer fra en rekke med drenslinjer. Sør i Figur 57 viser bekker og drensledninger med klasse 2 ($50\,000\text{m}^2 - 350\,000\text{m}^2$) som sammenfaller og renner ned mot Kønnerudgata. Derfra renner den en drensledning med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) som renner gjennom flere boligfelt før den renner lang Professor Smiths gate. Videre passerer den en forsenkning på 1,0m – 1,5m (merket lys-gul). Derfra skifter den retning mot nord, og passerer forsengkninger på 0,5m – 1,0m (merket lys-grønn) og togbaner. Videre renner den nordover fra Nedre Eiker mellom bygg og ut i Drammenselva.



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare Solumstrand rensedistrikt, Drammen

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

0 125 250 500 Meters

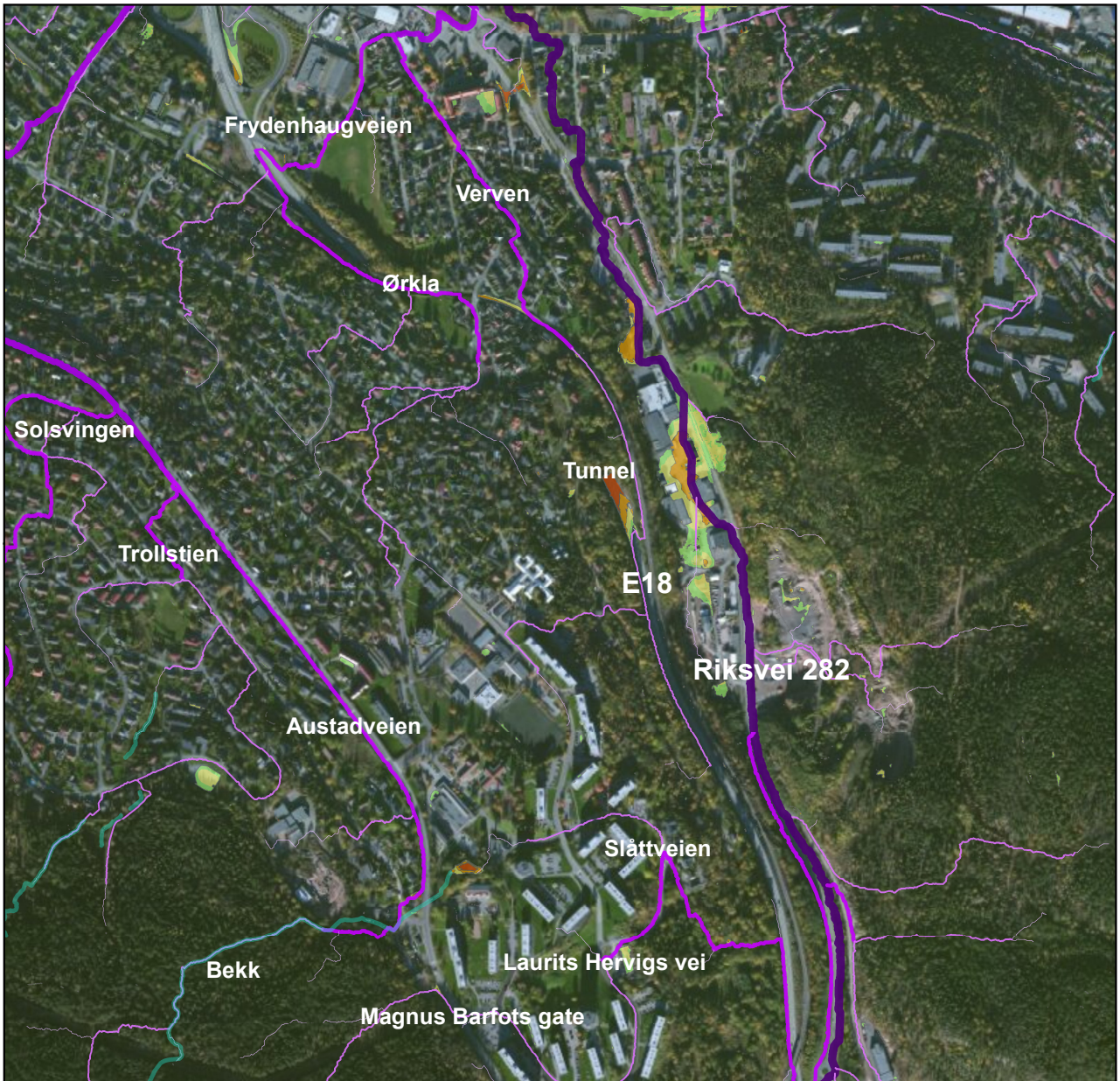


Figur 58: Utsnitt av aktsomhetskartet av et større området midt i analyseområdet.

Sør-vest i Figur 58 viser en bekk hvor en drenslinje med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) renner langs bekken. Den sammenfaller en annen drensledning med klassifisering 3 lenger nord. Videre renner drensledningen med klassifisering 3 langs Liaveien før den skifter retning nordover gjennom et boligfelt. Derfra sammenfaller den med en mindre drensledning med klassifisering 2 ($50\,000\text{m}^2 - 350\,000\text{m}^2$) og danner en drenslinje med klassifisering 4 ($1\,000\,000\text{m}^2 - 5\,000\,000\text{m}^2$). Denne drensledningen renner mellom noen boliger før den renner langs Danvikbakken (vegnavn). Videre renner den mellom boliger før den når Ordfører Ingebrigtsens gate. Derfra renner den videre langs vegkanter før den passerer forsenkninger på 1,00m – 1,5m ved Drammens Museum. Videre renner den gjennom et hageområde før den sammenfaller en drenslinje med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) som kommer fra Marienlystgata. Videre renner den til riksvei 282 hvor den sammenfaller en drenslinje med klassifisering 4 ($1\,000\,000\text{m}^2 - 5\,000\,000\text{m}^2$) langs riksvei 282. Fra dette punktet renner det en drenslinje med klassifisering 5 ($5\,000\,000\text{m}^2 - 14\,000\,000\text{m}^2$) mellom bygg til Grønland (vegnavn). Derfra renner den langs Grønland mot Høgskolen i Buskerud og Akershus hvor den renner ut i Drammenselva.

Drenslinjen med klassifisering 4 langs riksvei 282 stammer fra en drenslinje som renner nordover langs Colletts gate. Lenger sør i Figur 58 viser at denne drenslinjen følger Austadveien før den svinger øst lang Styrmoes vei. Drenslinjen har klassifisering 4 hele veien.

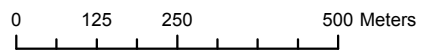
Sør i Figur 58 viser en bekk ved Magnus Barfots gate. Fra denne renner en drensledning med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) lang Magnus Barfots gate. Videre renner drensledningen mellom boliger til Austadveien. Herfra renner den norover Austadveien til den skifter retning vestover langs Styremoens vei. Videre renner den nordover gjennom boligfelt ned langs Damveien. Derfra renner den langs Ordfører Ingebrigtsens gate før den sammenfaller drenslinjen med klassifisering 4.



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare
Solumstrand rensedistrikt, Drammen

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

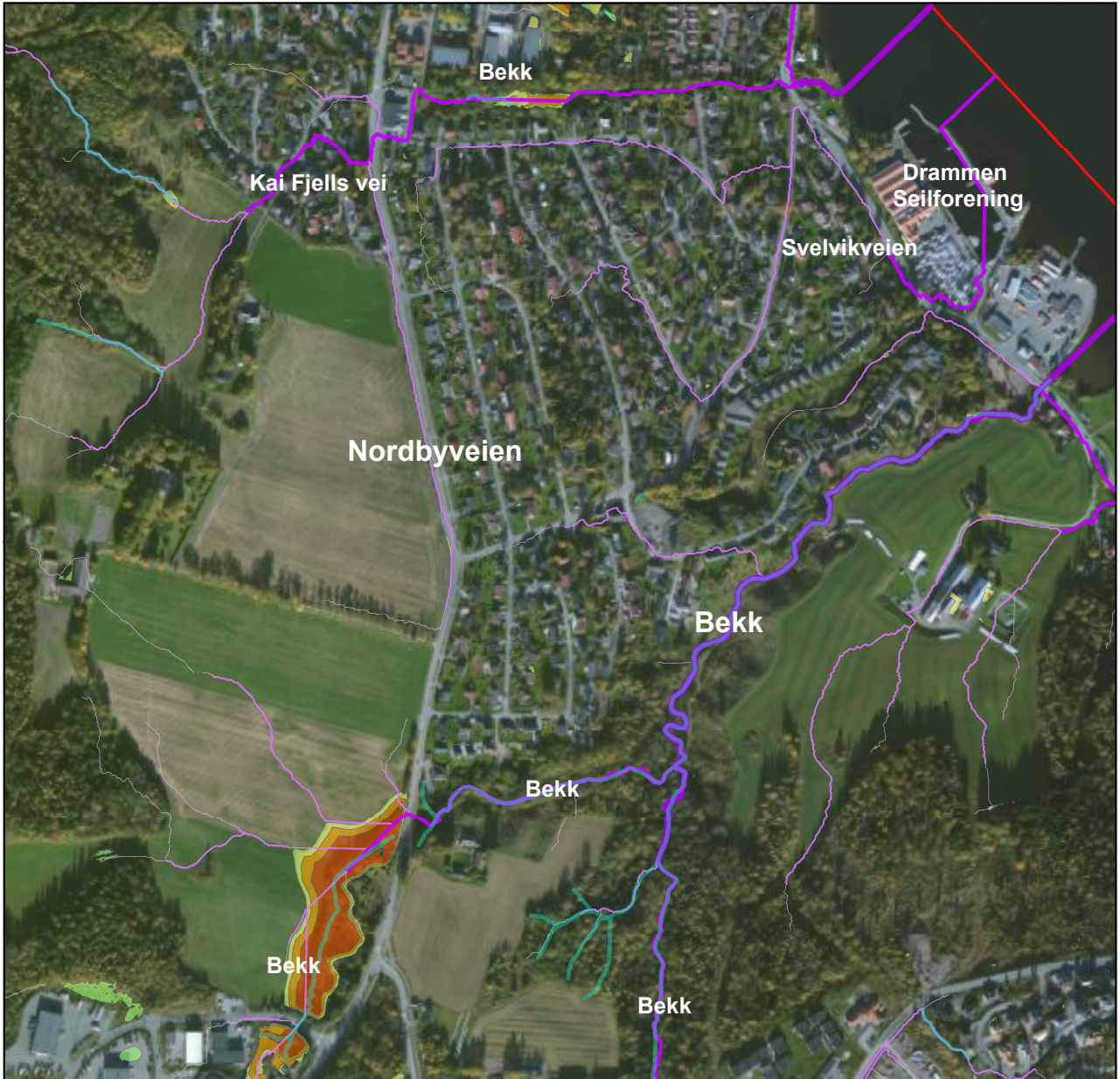


Figur 59: Utsnitt av aktsomhetskartet lenger sør i analyseområdet.

Sør-vest i Figur 59 viser en bekk hvor det renner en drenslinje med klassifisering 3 ($350\ 000\text{m}^2 - 1\ 000\ 000\text{m}^2$) i bekken. Denne drenslinjen følger Austadveien. Ved Trollstien renner den en annen drenslinje med klassifisering 3. Denne sammenfaller drenslinjen langs Austadveien og danner en drenslinje med klassifisering 4 ($1\ 000\ 000\text{m}^2 - 4\ 000\ 000\text{m}^2$). Drenslinjen med klassifisering 4 renner videre langs Austadveien og sammenfaller en drenslinje med klassifisering 3 ($350\ 000\text{m}^2 - 1\ 000\ 000\text{m}^2$) ved Solsvingen. Herfra renner drenslinjen med klassifisering 4 videre lang Austadveien.

Langs riksvei 282 renner det en drenslinje med klassifisering 5 ($5\ 000\ 000\text{m}^2 - 14\ 000\ 000\text{m}^2$). Denne drensledningen passerer forsenkninger på 1,5m – 2,0m. Videre passerer den enda en forsenkning på 2,0m – 5,0m. Herfra renner drenslinjen videre nordover langs riksvei 282.

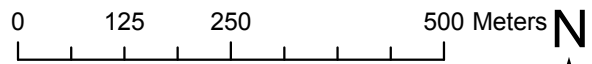
Nord i Figur 59 viser en drenslinje med klassifisering 3 ($350\ 000\text{m}^2 - 1\ 000\ 000\text{m}^2$) som renner langs Frydenhaugveien. Denne drenslinjen sammenfaller med en annen drenslinje med klassifisering 3 fra Verven. Herfra renner det en drenslinje med klassifisering 4 ($1\ 000\ 000\text{m}^2 - 5\ 000\ 000\text{m}^2$). Drenslinjen med klassifisering 4 renner østover lang veier og sammenfaller drenslinjen fra riksvei 282.



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare
Solumstrand rensedistrikt, Drammen

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



Figur 60: Utsnitt av aktsomhetskartet for et mindre området øst i analyseområdet.

Nord-vest i Figur 60 viser en bekk som renner ned mot Kai Fjells vei. I denne bekken renner det en drenslinje med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) som videre passerer Nordbyveien. Derfra renner drenslinjen videre østover langs bekken ned til Svelvikveien. Der sammenfaller den en annen drenslinje med klassifisering 3 som renner sørover langs Svelvikveien. Fra punktet de to drenslinjene sammenfaller renner det en drenslinje østover med klassifisering 4 ($1\,000\,000\text{m}^2 - 5\,000\,000\text{m}^2$). Denne drenslinjen renner ut i Drammenselva.

Sør-vest Figur 60 viser en bekk som renner gjennom en forsenkning på 2,0m – 5,0m. Fra denne forsenkningen renner det en drenslinje med klassifisering 3 ($350\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$) som renner til en bekk på andre siden av Nordbyveien. Drenslinjen renner videre lang bekken til den sammenfaller med en drenslinje med klassifisering 4 ($1\,000\,000\text{m}^2 - 4\,000\,000\text{m}^2$) som kommer fra en annen bekk. Fra dette punktet renner det en drenslinje med klassifisering 4 langs bekken helt til den passerer Svelvikveien og renner ut i Drammenselva.

6. Diskusjon

6.1 Metode

6.1.1 Program

Det ble bestemt på et tidlig tidspunkt at ArcGIS skulle brukes som verktøy i oppgaven. Valget av program hadde flere grunner:

- Jeg fikk muligheten til å lære om GIS-verktøy som jeg ikke hadde erfaringer med tidligere.
- ArcGIS er brukervennlig og det finnes en rekke brukermanualer på internett.
- Jeg fikk bli med på ArcGIS kurs hos Geodata i Oslo (Over 5 dager).
- Fikk lastet ned ArcGIS gratis på egen PC gjennom NMBU.
- Jeg fikk arbeide innenfor et tema (urban flom) som er av stor interesse for samfunnet.
- Programmet har blitt brukt i lignende oppgaver av (Jutta Meiforth, 2013) og (Myrvoll, 2014)

6.1.2 Forutsetninger

Forutsetningene som ble valgt for denne oppgaven har tillatt en del forenklinger. I de fleste flomtilfeller spiller flere faktorer inn som ikke er inkludert i modellen. I denne oppgaven ble det valgt å se på et "worst case scenario". Det ble antatt at snø og is hindrer vann å nå avløpssystemer. Ved de fleste flomtilfeller vil avløpssystemer ha en stor innvirkning på drenslinjer for flomvei. Det ble også antatt frossen mark. Dette betyr at man antar vanninfiltrasjonen i grunnen lik null, og dermed vil alt vannet renne på overflaten. Under langvarig nedbør er som regel grunnen mettet og under høy regnintensitet er det begrenset hvor mye nedbør grunnen kan infiltrere. I tillegg er en stor andel av flatene i urbane områder tette. Derfor ses det ikke kritisk på at avløpskoeffisienten er lik 1 i modellen. Terkelveriene som ble benyttet var forsøksverdier som (Jutta Meiforth, 2013) brukte. Disse er altså ikke verifisert for analyseområdet i denne oppgaven.

6.1.3 Analyseområdet

Analyseområdet er avgrenset av områdene som bidrar med overvannsavrenning til det urbane strøket sør for Drammenselva. Området er preget av varierende høydeforhold. Sør i analyseområdet er de høyeste åssidene omkring 300 meter. Derfra er det bratt terreng ned

mot det urbane strøket hvor det flater ut. Derfor er det veldig naturlig at overvannet vil renne ned mot Drammenselva. Dersom programmet hadde vist noe annet ville det vært et kraftig varsel på at noe er feil. Det bratte terrenget bidrar også til økt flomrisiko i området, da vann vil renne raskt ned terrenget og mot bygninger. Dette gjør at det er spesielt interessant å studere området med tanke på flomveier.

6.1.4 Grunnlagsdata

Høydereferanser

Det at LiDAR-data og FKB-data ble mottatt med forskjellige høydereferanser gjorde oppgaven mer tidkrevende. Beste practice hadde vært å fått laserdata med høydereferanse NN2000. Et annet alternativ hadde vært å fått FKB-data i NN54. Innføringen av FKB-data i NN2000 ble innført i Drammen så tidlig som 1 desember 2014. Derfor er det forståelig at jeg møtte på et slikt problem. Siden Drammen kommune hadde tilgang til de datasettene som ble tilsendt til meg, ble jeg nødt til å jobbe med disse.

Først ble det funnet en metode for å transformere mellom NN54 og NN2000 ved bruk av kartverkets transformasjonsverktøy som heter SkTrans. Jeg ble fortalt av Geodata at NMBU skal ha tilgang til NT transformasjon. Jeg fikk tilgang til nedlastning av programvaren på egen PC av Geodata, men fant ut at jeg ikke hadde transformasjonsformlene som trengtes. Dette viste seg å bli en for tidkrevende metode, siden det var vanskelig å fa tak i formlene.

Den neste ideen var å finne høydendifferansen mellom NN54 og NN2000, for så å justere høyden på laserdata manuelt i ArcGIS. For å finne høydendifferansen var Ola Øvstedal fra NMBU behjelpelig. Han lastet ned programvaren HREF høydereferanse-modell og brukte koordinatene jeg sendte han. Koordinatene jeg valgte var for et punkt midt i analyseområdet. Ola Øvstedal fant ut at høydendifferansen mellom NN54 og NN2000 i punktet var 0,129m. Videre ble Z-verdien på laserdataen høynet med 0,129m ved bruk av verktøyet "Adjust Z-value". Landhevingen for et område på 25km² er tilnærmet lik for hele området, men det bør allikevel nevnes at det ligger en liten usikkerhet i høydendifferansen mellom laser- og FKB-data som ble brukt i modellen.

Konverteringen SOSI-Shape

Det var forventet at FKB-data på SOSI-format skulle være lesbare i ArcMap, mens det viste seg å bli et problem. Først trodde jeg at problemet skulle løses ved å legge til SOSI som en filtype ArcCatalog kunne gjenkjenne. Dette ble gjort ved å legge til .sos som "File Extension" under "Files Types" fanen i Option-knappen i ArcCatalog. Da var SOSI-filene synlige, men fremdeles ulesbare i ArcMap. Geodata forklarte at problemet måtte være at jeg hadde ArcMap uten NT for Desktop tillegget. Med dette tillegget legges det inn en "ESRI Extension" filtype definisjon som gjør det mulig å legge SOSI-filene rett inn i ArcMap. Siden jeg ikke hadde tilgang til dette tillegget ble jeg nødt å finne en annen løsning.

Som et alternativ kunne jeg konvertere SOSI-filene til shapefiler ved bruk av verktøyet SOSI-Shape. Jeg fikk sendt FKB-data til Geodata som konverterte dataen for meg. Et problem jeg møtte på seinere var at FKB-dataene ikke hadde høyder. Det viste seg at jeg hadde glemt å si til Geodata at konverteringen til shapefiler måtte være i 3D. Til slutt fikk jeg lastet ned verktøyet SOSI-Shape på egen PC, og fikk konvertert til 3D shapefiler.

Valg av rasterstørrelser

I ettertid kan det tenkes at jeg kunne valgt en mindre cellestørrelse på rasterdata når jeg genererte DTM. Cellestørrelsen som ble valgt var 0,8m. Verktøyet "Point File Information" ga en punktavstand for terrengpunktene lik 0,8m. I tillegg bidrar FKB-data med flere punkter. Siden både (Jutta Meiforth, 2013) og (Myrvoll, 2014) valgte 1,0m for cellestørrelse, ble det i denne oppgaven valgt å ha verdier for cellestørrelse nær 1,0m. Resultatet ved å ha mindre cellestørrelse er at resultatene blir mer nøyaktig. Ulempen kunne være at beregninger og generering av TIN ville gå enda tregere.

Stedfestningsnøyaktighet

LiDAR-data har en stedfestningsnøyaktighet som tilsvarer FKB-Laser10. Det vil si at den har en standardavvik for høyde under 0,04m. Stedfestningsnøyaktigheten til FKB-data er ikke fullt like god (se Tabell 3). I tillegg varierer stedfestningsnøyaktigheten for de ulike FKB-lagene. Derfor kan det stilles spørsmål om FKB-dataen har forbedret modellen. Allikevel er

det snakk så små mengder at det ikke antas som kritisk for genereringen av drenslinjer og sinks.

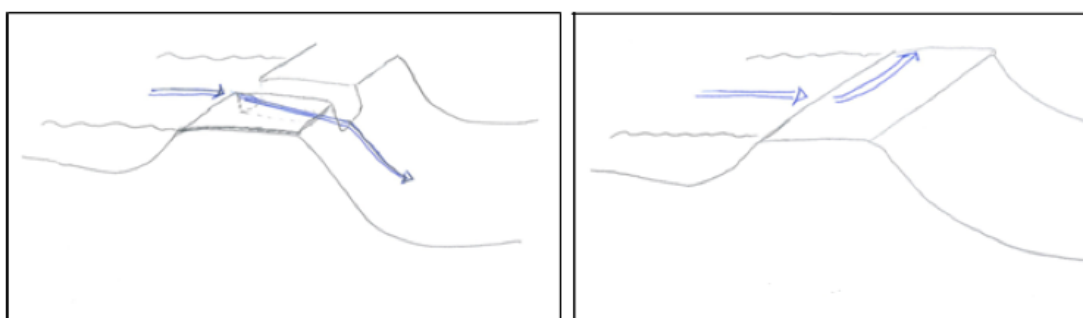
Metodeforbedring

D8-algoritmen som brukes i verktøyet "Flow Direction" er veldig enkel, og tilater strømming i kun 1 av 8 mulige retninger. I realistisk med tanke på virkeligheten. I tillegg er algoritmen veldig følsom mot små endringer i modellen. En mulighet hadde vært å benytte seg av algoritmer hvor vann kan strømme ut til flere celler. (Jutta Meiforth, 2013) nevner algoritmen "D-infinity" som et godt alternativ.

6.1.5 Spesielle hensyn

Bruer og underganger

Objekter som måtte tas spesielt hensyn til var bruer og underganger. Dette var fordi de kunne skape hindringer for drenslinjene som i realiteten ikke finnes. Når man lager rasterfil av vektordata lages det ruter loddrett ned fra bruene. Da tas det ikke hensyn til "hullrommet" under bruene som vann kan renne igjennom. Før bruene senkes må det sjekkes hvilke drenslinjer passerer under og over brua. Dersom en drenslinje med høy klassifisering passerer over brua må ikke brua senkes.

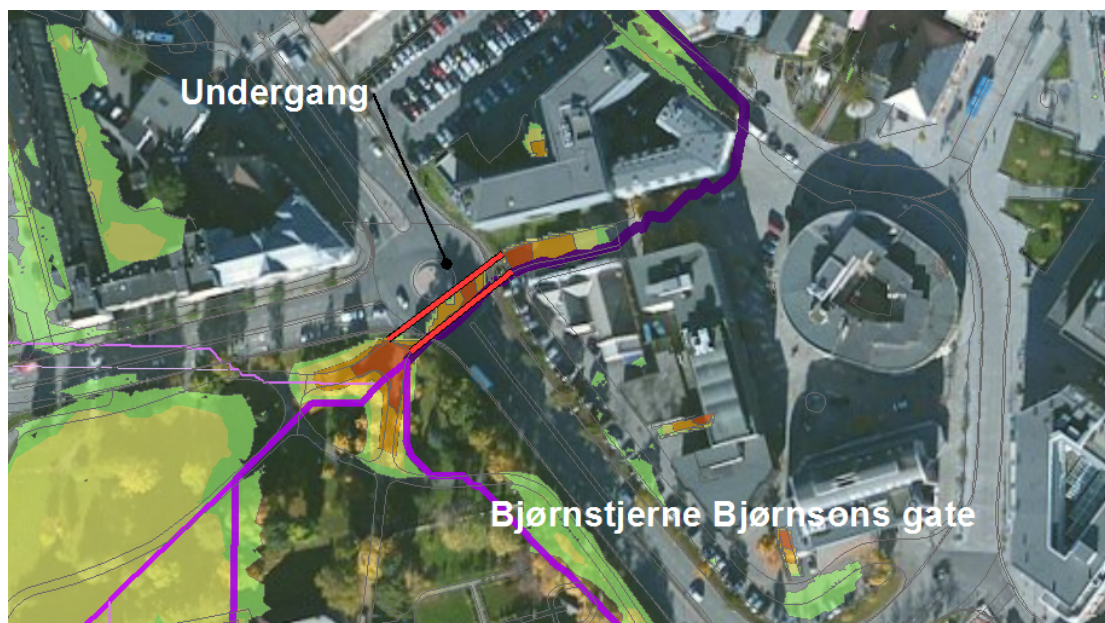


Figur 61: Prinsipp på hvordan drenslinjer reagerer på senkninger av bruer. (Jutta Meiforth, 2013)

Senking av bruer er beskrevet i metoden. Bruene i FKB-data ble fjernet ved benyttelse av attributtseleksjon. Siden LiDAR-data ikke klassifiserer bruer ble jeg også nødt til å fjerne LiDAR-data som overlapper bruene. Jeg forhørte meg om denne metoden hos Geodata, og

de mente dette var det beste alternativet. I Figur 54 ser man flere eksempler på drenslinjer som passerer bruer. Dette er en god indikasjon på at modellen fungerer.

Underganger ble lagt inn som breaklines i modellen. I aktsomhetskartene ser man flere eksempler på underganger som virker etter ønsket hensikt. Nedenfor er det vist et nærmere utsnitt med mindre målestokk slik at man ser at overvannet ledes gjennom underganger og ut til andre siden av veien.



Figur 62: Eksempel på drenslinje som renner gjennom undergang.

Bygninger

Når man genererer drenslinjer for et område med bygg er man nødt til å ha FKB-data for bygninger. Høyden på bygningspolygonene i modellen ble satt til 25 meter. Dette ble gjort for å tvinge vannet å renne rundt bygningene. D8-logaritmen i verktøyet "Flow Direction" er svært følsom for små endringer. Dette er illustrert med eksempel i kapittel 6.2.1.

6.2 Aktsomhetskart

Aktsomhetskartene er sammenlignet med fotografier som er tatt av flomhendelser innenfor analyseområdet. Dette er ingen ikke en optimale metode for å kvalitetssikre resultatene på, men gir en indikasjon om det er en sammenheng mellom resultatene og virkeligheten. Man

kan for eksempel se om oppstuvninger av vann samsvarer med sinks i modellen. Videre kan man se om en avbildede flomveier samsvarer med drenslinjer i modellen.

Den mest optimale metoden for å kvalitetsteste resultatene ville vært å gjennomføre feltundersøkelser under samme scenario som i oppgaven. Videre kunne man sammenligne resultatene med data som viser tilfeller av flom, for så å se om disse tilfellene samsvarer med drenslinjer og forsenkede områder i modellen. En mulighet hadde være å få kartgrunnlag fra forsikringsselskap eller kommune som viser tilfeller av flom. Videre kunne man drøftet resultatene med eksperter innen fagfeltet. For at aktsomhetskartene skulle kunne bli brukt i forbindelse med byplanlegging og beredskap, hadde det vært nødvendig å kvalitetssikre kartene med de disse metodene.

I kapittel 5 vises aktsomhetskartene som ble laget. I dette delkapittelet vil disse bli diskutert og vurdert om de samsvarer med virkeligheten eller ikke. I noen tilfeller er det tatt ut et nærmere utsnitt for å synliggjøre aktsomhetskartene.

6.2.1 Vurdering av sinks og drensledninger

Som nevnt er sinks områder med udefinert drensetning. Dette er interessant med tanke på flomsituasjoner, da dette er områder hvor vann kan samles opp. I aktsomhetskartene er det flere markert sinks som i realiteten ikke vil være problematiske. Spesielt i tilfeller med sinks langs bekker med god avstand til bygninger. Et eksempel på det er Figur 60 hvor det renner en bekk gjennom et lite skogområde. På høyre side går det en vei, men den er trolig ikke berørt siden den har god høydemargin til bekken. Lenger sør i bekken er det markert sinks rundt noen bygninger. Det er i slike tilfeller sinks er problematiske. Man ser flere eksempler på dette i Figur 54, Figur 55, Figur 57, Figur 58, Figur 59. Videre var det flere tilfeller ved undergang at sinks var markert. Dette er naturlig siden veg eller gang-/sykkelveg i underganger har som regel lavere terrenghøyde.

Elkjøp C.O Lunds gate

Bilde nedenfor er tatt av parkeringsområdet utenfor Elkjøp ved C O Lunds gate. Som man ser er det betydelig med vannmengder på parkeringsplassen. Derfor bør det forventes at aktsomhetskartet som ble produsert viser sinks på samme sted.



Figur 63: Fotografi av en flomhendelse utenfor en Elkjøp-butikk i Drammen. (Dahl, 2013)

Figuren nedenfor viser et nærmere utsnitt Figur 58. Utenfor parkeringsplassen på elkjøp er det sinks som varierer fra 0,5m – 1,0m (lysegrønt) og et mindre område med sinks på 0,5m – 1,0m (lysegult). Hvis man tar utgangspunkt i aktsomhetskartet vil man forvente at vann samles opp på parkeringsplassen, noe det har gjort i flomsituasjonen vist av figuren nedenfor.



Figur 64: Et nærmere utsnitt fra området ved C o Lunds gate.

Strømsåstunnelen

Bildet under viser et tilfelle av flom i åpningen i Strømsåstunnelen (på østsiden). Her ser man oppstuvning av overvann i tunnelåpningen. Når man ser på aktsomhetskartet bør det derfor forventes at sinks er markert i tunnelåpningen.



Figur 65: Fotografi av en flomhendelse utenfor Strømsåstunnelen i Drammen. (Dahl, 2013)

Figuren nedenfor viser et nærmere utsnitt av Figur 58. I åpningen på tunnelen viser aktsomhetskartet sinks som varierer mellom 0,5m – 1,0m, 1,0m – 1,5m og 2,0m – 5,0m. Med tanke på at fotografiet viser oppstuvning ved en flomhendelse, er dette en god indikasjon på at modellen fungerer. Selv om denne tunnelen ble fjernet fra modellen så viser aktsomhetskartene sinks på vegen like utenfor tunnelen. Vegbanen i tunnelåpningen har omtrent samme høydeverdi som vegbanen like utenfor tunnelen.



Figur 66: Nærmere utsnitt av Strømsåstunnelen

Bjørnstjerne Bjørnsons gate/Colletts gate

Det ble også funnet tilfeller hvor sinks ikke stemte. Bildet under viser en flomsituasjon i krysset mellom Colletts gate og Bjørnstjerne Bjørnsons gate. På aktsomhetskartet vises ikke noen sinks i dette vegkrysset (Se figur nedenfor).



Figur 67: Fotografi av en flomhendelse ved B.B. gate og Colletts gate. (Dahl, 2013)



Figur 68: Nærmere utsnitt av aktsomhetskartet på figur 58.

Modellen er svært sårbar mot forandringer. Ved å legge til polygonlinjer for bygninger, kunne man se at det var bygget et nytt bygg i akkurat dette krysset. Bakgrunnsbilde (basemap) som brukes i aktsomhetskartene er tydeligvis utdatert. Med bakgrunn i at flomsituasjonen i fotografiet fra en tid hvor det sto et annet bygg der, så er ikke flomsituasjonen i fotografiet sammenlignbar med modellen. Ved å bruke "google street view" fant jeg også ut at det står et bygg der som tilsvarer størrelsen til bygningspolygonet som er brukt i modelleringen.



Figur 69: Viser at bygningsdata brukt for modelleringen ikke stemmer med bygningen fra fotografiet.

Marienlyst

Bildet under viser en flomsituasjon der overvann renner under en bru langs Schwartz gate og ned mot Ordfører Ingebrigtsens gate. Ved å se på det nærmere utsnittet av aktsomhetskartet på figuren nedenfor, så renner det en drenslinje med klassifisering 3 ($350\ 000\text{m}^2 - 1\ 000\ 000\text{m}^2$) på samme stedet. Videre er det markert sinks ved overgangen. Dette samsvarer godt med flomsituasjonen på bildet hvor vann akkumuleres under overgangen. Drenslinjen på aktsomhetskartet endrer kurs mot Ordfører Ingebrigtsens gate. På bildet kan det virke som at det renner vann langs veien, men at mesteparten av vannet renner mot overgangen. Ved å studere data i modellen, så viser det seg at det går vegkanter langs veien. En av svakheten med drenslinjer er at den angir ingen eksakt avgrensning for flom. Ved store flomsituasjoner kan overvannsstrømningen gå over veikanter som vist i figuren under. Spesielt med tanke på at vegbanen ved Schwartz gate har en bratt helning som gir overvannsstrømningen større fart.



Figur 70: Fotografi av en flomhendelse utenfor Marienlyst. (Dahl, 2013)



6.2.2 Bekker

Et gjentakende mønster i aktsomhetskartene er at drenslinjer følger bekker. Oppe ved åssidene starter ofte drenslinjene med mindre klassifisering. Videre følger drenslinjene bekkene ned mot bebyggelsen og infrastruktur hvor de forandrer retning. Man ser flere eksempler av dette i Figur 56, Figur 57, Figur 58 og Figur 59. Dette er en god indikasjon på at modellen fungerer.

6.2.3 Flomutsatte bygninger

Det er spesielt bygninger som ligger i forsenkede områder som er mest flomutsatt. Dette er ikke det eneste tilfelle for flomutsatte bygninger. I aktsomhetskartene var det flere tilfeller med drensledninger som renner gjennom boligfelt. Noen eksempler på det er i Figur 55, Figur 56, Figur 57. Figuren nedenfor er et større utsnitt av Figur 57.



Bygninger som ligger i slike skråninger der drenslinjer eller bekker renner igjennom vil være flomutsatte. Spesielt hvis bekkene eller drenslinjer tilstoppes og vann akkumulerer. Annen bebyggelse som ligger nær drenslinjer vil også være flomutsatt.

6.2.4 Veg

Det at drenslinjene i aktsomhetskartene ville følge vegkanter var forventet. I aktsomhetskartene er det en rekke eksempler på dette. Ved Figur 56 ser man et gode eksempler på drenslinjer som følger vegbanen. Videre ser man at drenslinjen med klassifisering 5 følger vegkanten rundt rundkjøringen. Under flomhendelser ser man ofte

vannstrømninger langs vegkantene. At aktsomhetskartene viser det samme er en god indikasjon på at modellen fungerer.

6.2.5 Hovedflomveier

I Figur 57 og Figur 58 ser man de største flomveiene. Disse blir ofte referert som hovedflomveier. I Figur 57 ser man at hovedflomveien renner gjennom et boligfelt. Boligene i dette området kan altså være veldig utsatt for flom. Ved sammenligning av en modellering gjort i Høgskolen i Buskerud og Vestfold, viser det seg at en drenslinje renner på akkurat samme sted (Link til modellen fra HiBV: http://web.rosim.no/regnbygge3m/wp-content/uploads/sites/3/2014/09/Regnbygge_3M_GT_JAE-3.pdf). En interessant og aktuell mulighet hadde vært å forhørt seg med Drammen kommune eller beboerne i bygningene om de har opplevd flomsituasjoner i disse bygningene.

6.2.6 Bruksområder

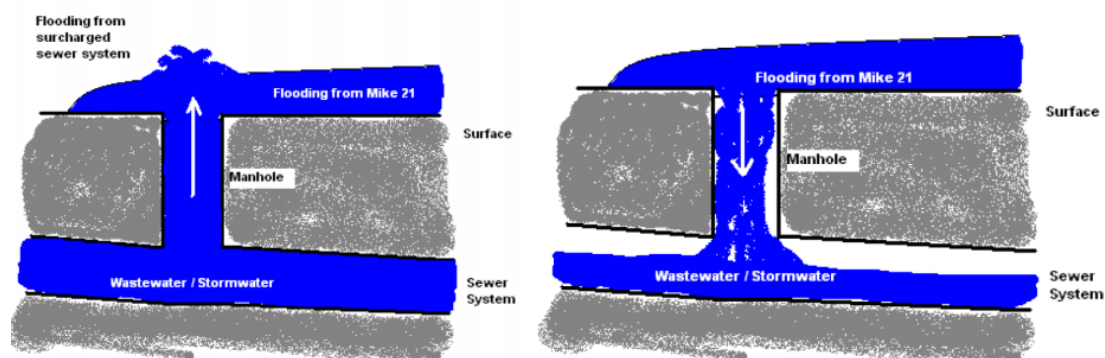
Aktsomhetskart som er kvalitetssikret har flere bruksområder. Man kan blant annet legge på en buffer på drenslinjene og sinks. Dette kan gjøres for å angi hvilke bygninger som er flomutsatte eller hvor mange som må evakueres. Videre kan ArcGIS gi svar på hvor det må settes opp veisperringer eller finne de mest effektive omkjøringene under flomsituasjoner. Ved bruk av attributtseleksjon kan man også velge ut bygninger som er spesielt sårbare mot flom. Eksempler på dette kan være sykehus, barnehager, skoler m.m.

Aktsomhetskart har også flere bruksområder i kommuner. Ved arealplanlegginger og reguleringsplaner kan aktsomhetskart være nyttig. Man kan finne ut hvilke områder som er sårbare mot flom, og dermed kreve spesielle krav for bygging. Videre kan man kreve utbyggere å gjennomføre undersøkelser av hvor sårbart området er ovenfor flomsituasjoner. Det kan hende det må gjøres spesielle tiltak med tanke på drenering og sikre terrenget mot flomveier eller spesielle løsninger for kjellere. Dersom området er meget utsatt for flom kan det hende at byggeren nektes å oppføre bygning på stedet.

6.2.7 Videre arbeid og muligheter

Før oppgaven begynnelsen av denne oppgaven var det ønskelig å kombinere 1D modellering av ledningsnett med 2D avrenning på terrengoverflaten. Til dette var det tenkt å bruke MIKE FLOOD. Med denne metodikken kunne man finne hvordan flom utvikler seg over tid og mengder vann som strømmer opp fra kummer. Da med tanke på dybde og mengder av flom,

og hvordan overvannsstrømningen sprer seg utover terrenget. Å utføre dette viste seg å være mer avansert og tidkrevende enn forventet. Derfor ble oppgaven begrenset til 2D modellering av drenslinjer og sinks. Med den stegvise framgangsmåten i denne oppgaven vil forhåpentligvis bidra til at andre får tid til å inkludere MIKE FLOOD.



Figur 71: Illustrerer hvordan vann kan strømme ut og inn av kummer.

7. Konklusjon

Det er ikke lett å avgjøre hvor godt modellen i oppgaven samsvarer med virkeligheten uten å ha foretatt grundige kvalitetssikringer av resultatet. For å kvalitetssikre modellen ble aktsomhetskartene vurdert mot bilder som viser tilfeller av flom. Det viste seg at drenslinjer og forsenkede områder i modellen samsvarer ganske godt med flombildene. Dette er en god indikasjon på at modellen fungerer. Videre er det etter mine visuelle observasjon ingen tydelige feil i modellen. Dette kan gi grunnlag for å påstå at modellen fungerer som den skal.

+/- for modellen som ble opprettet:

- +Drenslinjer og forsenkninger i modellen samsvarer godt med bilder av tidligere tilfeller av flom.
- +Forsenkninger i modellen virker å samsvare med virkeligheten etter visuelle observasjoner.
- +Drenslinjene følger vegkanter.
- +Metoden for fjerning av bruer virker ikke å ha påvirket drenslinjer.

-Modellen er ikke tilstrekkelig kvalitetssikret med kartgrunnlag fra kommune/forsikringselskap som viser tilfeller av flom.

Oppgaven er utført med høy grad av selvstendighet. Ved hjelp av rapportene til (Jutta Meiforth, 2013) og (Myrvoll, 2014) har jeg med uten forkunnskaper til GIS-verktøy produsere aktsomhetskart for flom. Det viser at programvaren er brukervennlig og kan benyttes av personer uten noen særlig forkunnskaper til programvaren. Det finnes mer avanserte modeller som beregner hvordan flom endres over tid. Allikevel har aktsomhetskart for flom flere fordeler enn ulemper.

+/- for produksjon av aktsomhetskart for flom:

+Programmet er brukervennlig og det finnes en rekke veiledende manualer gratis tilgjengelig på nett.

+Kartlegger flomveier i urbane områder og gir en god indikasjon på flomutsatte områder.

+Aktsomhetskartene er lette å forstå.

+Er tilgjengelig i de fleste kommuner.

+Kan brukes til arealplanlegging, beredskapsplaner, saksbehandlinger, risiko- og sårbarhetsanalyser, reguleringsplaner, byggesaker, andre vurderinger hvor overvannet i urbane områder må tas hensyn til.

-Gir ingen eksakt størrelse eller avgrensning for flom.

-Enkel modellering som ikke gir like reelle resultater som mer avanserte modeller gir .

Referanser

ArcGISResources. (2012). *What is a TIN surface?* ESRI.

Dahl, M. (2013). *Overvannsstrategi for Drammen*.

Drammen. (2015). *NN2000*. Hentet fra <https://www.drammen.kommune.no/no/Tjenester/Bolig-og-eiendom/Kart-og-geodata/NN2000/>

Engan, J. A. (2014). *Håndtering av overvann i et våtere og villere klima*. NMBU.

ESRI. (2010). *A quick tour of ArcCatalog*. Hentet fra <http://help.arcgis.com/EN/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/006m00000001000000.htm>

ESRI. (2001). *An overview of the Spatial Analyst Toolbox*. Hentet fra http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/An_overview_of_the_Spatial_Analyst_toolbox/009z00000003000000/

ESRI. (2014). *ArcGIS 1: Introduksjon til ArcGIS*. Geodata.

ESRI. (2012). *Flow Length (Spatial Analyst)*. Hentet fra <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z00000053000000>

ESRI. (2012). *How Fill works*. Hentet fra <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z00000061000000>

ESRI. (2012). *How Flow Direction works*. Hentet fra <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z00000063000000>

ESRI. (2012). *How Stream Order works*. Hentet fra <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z000000z3000000>

ESRI. (2012). *How Watershed works*. Hentet fra <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z00000068000000>

Esri. (2012). *Snap Pour Point (Spatial Analyst)*. Hentet fra http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Snap_Pour_Point/009z00000055000000/

ESRI. (2012). *Stream Link (Spatial Analyst)*. Hentet fra http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Stream_Link/009z00000056000000/

Geodata. (u.d.). *Koordinatsystemer og projeksjoner*. Hentet fra <http://geodata.no/supportsenter/forstehjelp/how-to-guider/arcgis-desktop/koordinatsystemer-og-projeksjoner/>

Geodesi, S. k. (2009). *KOORDINATBASERTE REFERANSESYSTEMER*. Hentet fra http://kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/koo_referansesyst.pdf

Inger Hanssen-Bauer, H. D. (2009). *Klima i Norge*. Norsk Klimasenter.

Jutta Meiforth. (2013). *Modelling flood streams for urban planning in Trondheim, Norway*.

Kartverk, S. (u.d.). *Felles KartdataBase (FKB)*. Hentet fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/felles-kartdatabase-fkb/0e90ca71-6a02-4036-bd94-f219fe64645f>

Kartverk, S. (u.d.). *Om Geovekst-samarbeidet*. Hentet fra <http://kartverket.no/kart/geodatasamarbeid/geovekst/Om-Geovekst-samarbeidet/består>

Kartverk, S. (2011). *OSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann*. Hentet fra <http://www.kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb-4.02-2011-12-01/2-vann-2011-12-01.pdf>

Kartverk, S. (2013). *Produktspesifikasjon Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB - Laser)*. Hentet fra http://kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb-laser/fkb-laser-v20_2013-02-01.pdf

Kartverk, S. (2014). *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartdataBase (FKB)*. Hentet fra <http://kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb-4.5/0-generelldel-2014-03-01.pdf>

Kartverk, S. (2014). *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Veg*. Hentet fra <http://kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb-4.5/14-veg-2014-03-01.pdf>

Kartverk, S. (2013). *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Bygning*. Hentet fra <http://kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb02/5-bygning-2013-01-01.pdf>

Kartverket. (u.d.). *Laserskanning*. Hentet fra <http://kartverket.no/Kart/Laserskanning/>

Kartverket. (2015). *Nytt høydesystem NN2000*. Hentet fra <http://kartverket.no/Kart/Geodatasamarbeid/Geovekst/Hoydegrunnlag/>

Klima. (2015). Hentet fra <http://met.no/Klima/>

Klimaframskrivninger. (2015). *Meteorologisk Institutt*. Hentet fra <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/scenarios.xhtml>

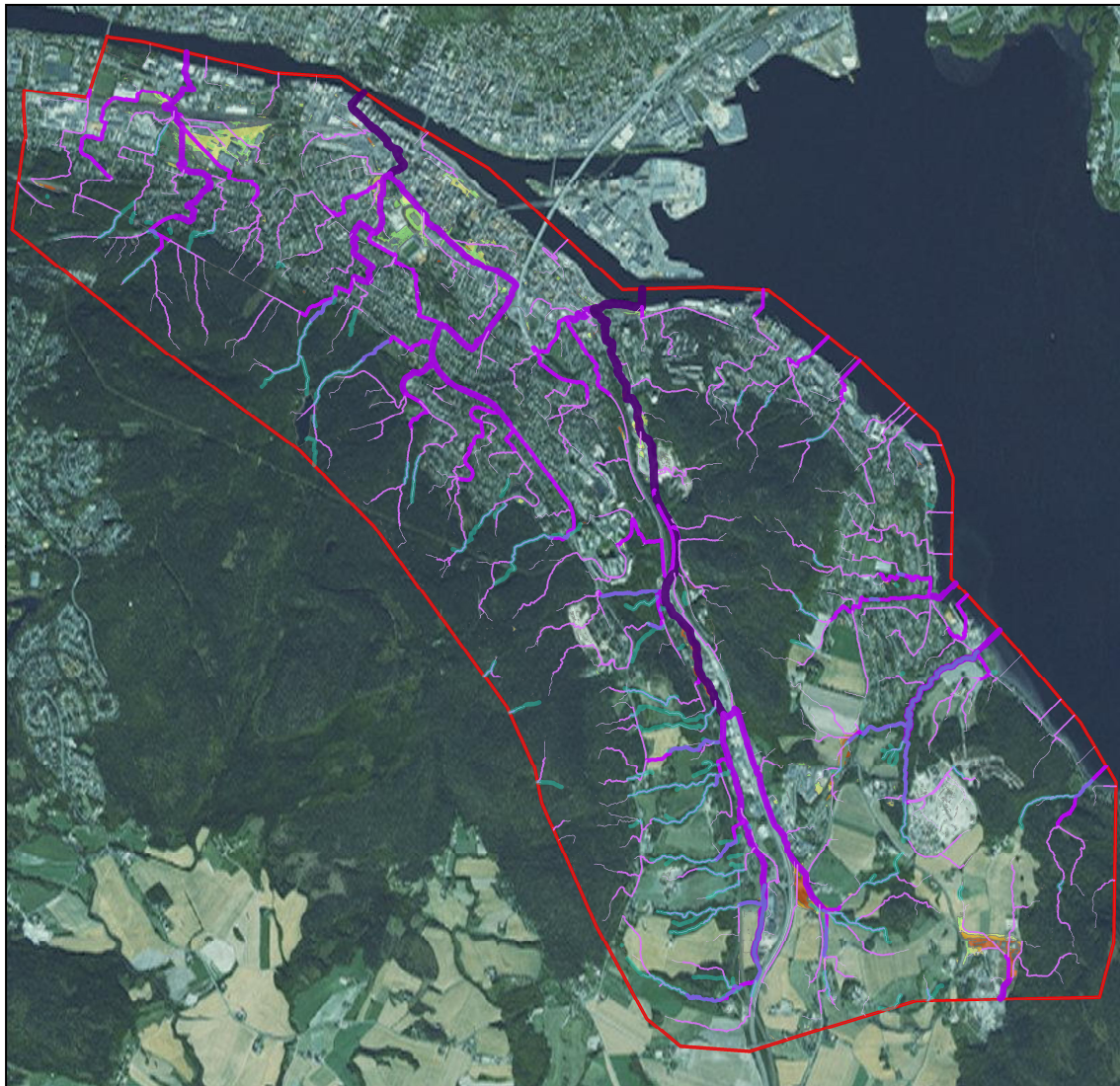
Klimautfordringer. (2013). *Klimatilpasning*. Hentet fra http://www.miljodirektoratet.no/no/Klimatilpasning_Norge/Klimautfordringer/

- Klimautvikling. (2015). Hentet fra http://met.no/Klima/Klimautvikling/Klima_siste_150_ar/Hele_landet/
- Leksikon, S. N. (u.d.). *FKB*. Hentet fra <https://snl.no/FKB>
- Myrvoll, A. (2014). *Utprøving av metodikk for produksjon av aktsomhetskart for flomfare i urbane områder*. Ås.
- NDA. (u.d.). *Prinsippet ved flybåren laserskanning*. Hentet fra <http://ndla.no/nb/node/58813>
- NorskVann. (2008). *Norsk Vann Rapport 162: Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*.
- OVERVANNSHÅNTERING. (2015). *Oslo kommune*. Hentet fra <http://www.dsb.no/PageFiles/18214/Veileder%20for%20overvannsh%C3%A5ndtering%20for%20utbygger.pdf>
- TEK(10). (2008). Hentet fra https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489#KAPITTEL_3
- TEK10§15-10. (2008). Hentet fra https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489#KAPITTEL_3
- Terratec. (u.d.). *Flybåren laserskanning*. Hentet fra http://www.terratec.no/flybaaren_laserskanning/cms/59
- Vannressursloven. (2001). Hentet fra https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82#KAPITTEL_7
- Ødegård, H. (2013). *Vann- og avløpsteknikk*. Norsk Vann.

Vedlegg

1. Aktsomhetskart for flomfare.

Vedlegg 1:



Utsnitt

Aktsomhetskart for flomfare
Solumstrand rensedistrikt, Drammen

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





Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no