



## Forord

Denne mastergradsoppgaven markerer avslutningen på mitt studium innenfor vann- og miljøteknikk ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og er skrevet høsten 2014 ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, IMT.

Ved oppgavens oppstart hadde jeg svært lite kunnskap vedrørende terrengmodeller og hydrologiske analyser. Frustrasjonsnivået har til tider vært høyt og det har vært meget utfordrende å tilegne seg all kunnskapen som var nødvendig for å kunne gjennomføre denne oppgaven. Det har vært mye prøving og feiling som nok ikke representeres så godt i antall sider og ord. På tross av at jeg i liten grad har fått benyttet VA-kunnskapene som jeg har opparbeidet meg gjennom studiet, så anser jeg kunnskapen og erfaringen som jeg har tilegnet meg under arbeidet med masteroppgaven som verdifull i VA- og arbeidssammenheng. ArcGIS er et verktøy med mange bruksområder som jeg vil kunne dra nytte av ved senere anledninger. Metodikken som jeg har lært meg er anvendbar både i prosjektering- og planleggingsøyemed innenfor VA-faget.

Først og fremst vil jeg takke min hovedveileder Jon Arne Engan for å ha vært en god motivator og rådgiver når jeg har sett litt mørkt på utfordringene og for hyggelige samtaler under mastergradsperioden.

Jeg vil også takke Knut Presberg i Drammen kommune for å ha hjulpet meg med raskt å skaffe til veie nødvendig datagrunnlag til terrengmodellen.

Takk til alle på TF209 for hyggelig sosialt samvær under masterperioden.

Sist men ikke minst vil jeg rette en stor takk til Marit Reiso for korrekturlesing og konstruktive innspill i forhold til utforming av rapporten.

Ås, 15. februar 2015

---

Alexander Nymo Myrvoll

## Sammendrag

Etter den industrielle revolusjonen har konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren økt. Konsekvensen av dette er et klima i endring. I Norge har vi gjennom de siste 30 år allerede opplevd økt gjennomsnittstemperatur, mer nedbør og flere ekstremvær. Basert på klimascenarioer er det grunn til å tro at denne trenden bare vil fortsette. Klimaendringer i kombinasjon med økt fortetting av flater i mange byer har ført til at overvann er blitt et stort problem i bybildet. Det konvensjonelle systemet som baserer seg på å transportere overvannet bort på raskest mulig måte, utelukkende ved hjelp av rørsystemer, har vist seg å være en lite bærekraftig løsning. Byenes avløpsnett ble dimensjonert og bygget for mange år siden, og det ble da neppe tatt høyde for økt fortetting av flater i kombinasjon med økte regnintensiteter som følge av klimaendringene. Dette har ført til at mengden flomskader har økt de senere årene. Det er nå et sterkt behov for å ta i bruk mere helhetlige løsninger for disponering av overvann. For å vite hvilke tiltak som er mest kostnadseffektive er det først nødvendig å tilegne seg mest mulig kunnskap om hvordan det eksisterende overvannssystemet fungerer og hvilke områder som er spesielt utsatt for flom. Modeller av virkeligheten gir oss i VA-sammenheng muligheten til å erverve nyttig kunnskap om hvilke konsekvenser ulike flomscenarier vil kunne få før de allerede har oppstått. På den måten kan man finne de beste mottiltak for å unngå at flomskader med påfølgende konsekvenser forekommer.

I denne oppgaven er det blitt utprøvd en metodikk for produksjon av et aktsomhetskart for flomfare. Ved hjelp av ArcGIS med programutvidelsen «3D Analyst» har det blitt generert en digital terrengmodell av et forsøksområde like nord for Drammenselva med tilnærmet lik avgrensning som Muusøya rensedistrikt. LiDAR (Light Detection And Ranging) -data fra flybåren laserskanning i kombinasjon med FKB-vektordata for veger, elver og bygninger legger grunnlaget for modellen. Ved hjelp av programutvidelsen «Spatial Analyst» i ArcGIS har det blitt gjennomført hydrologiske analyser av terrengmodellen i raster format. Analysene viser hvor store nedbørsfelt som bidrar med å tilføre vann til et gitt punkt i terrenget. Sammenhengende punkter med høye verdier danner drenslinjer som viser hvor det er sannsynlig at flomveier vil oppstå. Det har også blitt foretatt en «sinks» analyse som viser senkninger i terrenget hvor det er sannsynlig at vann vil akkumulere. Det er tatt utgangspunkt i et «worst case» scenario hvor en vinterflom er forårsaket av regn og snøsmelting i kombinasjon med at snø og is hindrer vannet fra å nå avløpsnett. Dermed er forutsetningen for aktsomhetskartet at all nedbør renner av på terrengoverflaten og at avløpsnett ikke har noen innvirkning på resultatet. Aktsomhetskartet har begrensninger i forhold til detaljeringsgrad og angir ingen eksakt avgrensning eller størrelse på flom. Det vil allikevel kunne gi et godt innblikk i potensielt flomutsatte områder og flomveier på en tids- og kostnadseffektiv måte.

Kartet som produseres i denne oppgaven er ikke kvalitetssikret. Med det menes at drenslinjer i det produserte aktsomhetskartet ikke er verifisert opp mot virkelige flomhendelser eller observasjoner og kan ikke dermed ikke benyttes som et verktøy i planleggingsøyemed. Modellens funksjonalitet er derfor subjektivt vurdert ut fra visuell inspeksjon av det ferdige aktsomhetskartet. Ut fra denne inspeksjonen finnes det grunnlag til å konkludere med at modellen oppfører seg korrekt i forholdet til det hydrologiske aspektet. Et aktsomhetskart for flomfare er et anvendelig verktøy for byplanleggere og andre fagpersoner som jobber innenfor sektorer hvor overvann i bybildet må tas hensyn til. Metoden som benyttes i denne oppgaven har vist seg å være gjennomførbare av personer uten mye forkunnskaper innenfor GIS-verktøy og modellering.



## Abstract

After the industrial revolution the concentrations of greenhouse gases in the atmosphere has increased with a changing climate as a result. Throughout the last three decades, Norway has already experienced higher average temperatures, more precipitation and an increased number of extreme weathers. Based on climate scenarios there are reasons to believe that this trend only will continue. As a result of climate change in combination with an increased share of impermeable surfaces, stormwater is now considered as a major problem in the townscape. The conventional stormwater-systems which purpose is to lead the water to a recipient as fast as possible, using only pipes, has proven itself not to be sustainable. Higher rain intensities caused by climate change and the increased shares of impermeable surfaces was probably not accounted for when the pipe-networks were constructed several years ago. As a consequence we have experienced an increased amount of flood damages throughout the recent years. Now is the time to consider more holistic solutions for stormwater management. In order to know what measures which is the most cost-effective we first have to acquire as much information as possible regarding the existing stormwater-systems functionality and in what areas flood might occur. Models of the real world, can in this context, give us the ability to acquire valuable knowledge concerning the consequence of different flood scenarios already before they take place. With this knowledge, we can implement the best countermeasures to avoid flood damage from becoming a reality.

In this thesis a methodology for production of flood-caution maps will be tested. A digital terrain model has been generated with the help of ArcGIS and the "3D Analyst" expansion. The pilot area lies just north of Drammenselva and has approximately the same boundary as Muusøya purifying district. LiDAR-data from airborne laser scanning in combination with FKB-vectordata for roads, rivers and buildings makes up the foundation for the model. Hydrological analysis of the model was conducted using the "Spatial Analyst" expansion in ArcGIS. The analysis shows the size of the watersheds draining to a given point in the terrain. Cohesive points with high values forms a drainage line where there is likely that a floodway may occur. A sinks-analysis was also conducted, this shows lowered areas in the terrain where water is likely to accumulate. The model is intended for a worst case scenario where a winterflood is caused by precipitation and snowmelting in combination with snow and ice preventing water from reaching the pipe network. Thus the pipe network will not have any impact on the result. The caution-map has its limitations related to the level of detail and will not provide any exact border or size of the flood. Regardless of the limitations the map could give useful insight for revealing potentially flood-vulnerable areas and floodroutes in a cost- and timeeffective way.

The map produced in this thesis is not quality assured. This means that drainagelines in the produced flood caution-map has not been verified against actual flood incidents and that the pilot area has not been inspected during a similar scenario as the model was intended to represent. Therefore the produced flood caution-map can't be used as a tool regarding planning purposes. The models functionality has only been subjectively evaluated by visually inspecting the result. From this inspection there is basis to conclude that the model behaves correctly relative to the hydrological aspect. A flood caution-map is an applicable tool for city planners and other professionals who works within sectors concerning stormwater within the cityscape. The method used in this thesis has proven to be workable even for people with close to no previous knowledge concerning GIS-tools and modelling.

## Innhold

Forord .....	1
Sammendrag .....	2
Abstract .....	4
Figurliste .....	9
1 Innledning.....	1
1.1 introduksjon .....	1
1.1.1 Klimaendringer .....	1
1.1.2 Klimaendringers konsekvenser i urbane strøk .....	4
1.1.3 Regerlverk/veiledning .....	6
1.1.4 Overvannshåndtering.....	6
1.1.5 Modeller .....	9
1.2 Oppgavens hensikt .....	9
1.3 Oppgavens utforming.....	9
2 Produkt, programvare & grunnlagsdata.....	11
2.1 Aktsomhetskart for flomfare.....	11
2.1.1 Nytteverdi.....	11
2.1.2 Metodikk for produksjon av aktsomhetskart for flom .....	11
2.2 ArcGIS Desktop .....	12
2.2.1 Formater .....	12
2.2.2 ArcCatalog .....	13
2.2.3 ArcMap .....	14
2.2.4 Spatial Analyst .....	15
2.3 Koordinatsystemer .....	20
2.3.1 Geografiske koordinatsystemer .....	21
2.3.2 Datum.....	22
2.3.3 Projiserte koordinatsystemer .....	23
2.3.4 Romlige egenskaper og forvrengning.....	24
2.3.5 EUREF89 .....	25
2.4 FLS – Flybåren laserskanning.....	26
2.4.1 Metodikk .....	27
2.4.2 Bruksområder.....	28
2.4.3 Stedfestingsnøyaktighet.....	29
2.5 FKB – Felles KartdataBase .....	29
2.5.1 Beskrivelse.....	29

2.5.2 Formål.....	31
2.5.3 Stedfestingsnøyaktighet.....	31
2.5.4 FKB – Veg.....	32
2.5.5 FKB – Vann.....	34
2.5.6 FKB – Bygning .....	38
3 Metodikk .....	40
3.1 PC-spesifikasjoner .....	40
3.2 Programvare.....	40
3.3 Forutsetninger .....	40
3.4 Analyseområde.....	41
3.5 Data til terrengmodell .....	42
3.5.1 LiDAR-data .....	42
3.5.2 FKB.....	42
3.6 Forberedelse av data for generering av DTM .....	43
3.6.1 LiDAR-DATA .....	43
3.6.2 FKB DATA.....	44
3.7 Konstruksjon av DTM .....	48
3.8 Definere flomstrømningslinjer .....	51
3.9 Sinksanalyse.....	52
3.10 Forberedelse av presentasjon .....	53
3.10.1 Generere vektorkart av dreneringslinjer.....	53
3.10.2 Generere vektorkart av sinks .....	53
4 Resultat.....	54
5 Diskusjon .....	75
5.1 Metode .....	75
5.1.1 ArcGIS .....	75
5.1.2 Analyseområde.....	75
5.1.3 Scenario .....	76
5.1.4 Datagrunnlag .....	76
5.1.5 Spesielle hensyn .....	76
5.1.6 Videre utvikling av metoden .....	79
5.1.7 Benyttelse.....	80
5.2 Aktsomhetskart .....	80
5.2.1 Sinks.....	81
5.2.2 Elve- og bekkeløp .....	82
5.2.3 Veg.....	82

5.2.4 Hovedflomvei .....	83
5.2.5 Flomutsatte bygninger .....	83
5.3 Videre arbeid og muligheter .....	83
6 Konklusjon .....	84

## Figurliste

FIGUR 1. OVERSIKT OVER TEMPERATURAVVIK FRA NORMAL I NORGE FOR PERIODEN 1990 - 2013 (KLIMAUTVIKLING 2014).....	1
FIGUR 2. OVERSIKT OVER NEDBØR I % AV NORMAL I NORGE FOR PERIODEN 1990 - 2013 (KLIMAUTVIKLING 2014).....	2
FIGUR 3. KART SOM VISER FORVENTET TEMPERATURØKNING I NORGE FRAM MOT ÅR 2100 (TEMPERATUR- OG NEDBØRSENDERINGER 2100 2014).....	3
FIGUR 4. KART SOM VISER FORVENTET ØKNING AV NEDBØRSMENGDE I NORGE FRAM MOT ÅR 2100 (TEMPERATUR- OG NEDBØRSENDERINGER 2100 2014).....	4
FIGUR 5. KAPASITETEN I AVLØPSNETTET ER SPRENGT OG TRYKKHØYDEFORSKJELL I NETTET GJØR AT VANNET STRØMMER OPP TIL OVERFLATEN. FOTO: MORTEN WANWIK HENTET FRA: (ENGAN 2014).....	5
FIGUR 6. TRELEDDSTRATEGIEN. ILLUSTRASJON PÅ STRATEGI FOR HÅNDTERING AV NEDBØR. TALLENE ER EKSEMPLER SOM MÅ TILPASSES LOKALT (LINDHOLM ET AL. 2008).....	7
FIGUR 7. KONVENJONELT AVLØPSSYSTEM FOR OVERVANN (LINDHOLM ET AL. 2008).....	8
FIGUR 8. ET MER HELHETLIG AVLØPSSYSTEM FOR OVERVANN SOM BENYTTET LOD-LØSNINGER (LINDHOLM ET AL. 2008).....	8
FIGUR 9. ILLUSTRERER HVORDAN EN TIN GENERERES (WHAT IS A TIN SURFACE? 2012).....	12
FIGUR 10. ILLUSTRASJON AV EN RASTER MED KLASIFISERINGER. (WHAT IS RASTER DATA 2014).....	13
FIGUR 11. ARCCATALOG MED MAPPESTRUKTUR OG EKSEMPEL PÅ INNHOLD (WHAT IS ARCCATALOG 2010).....	14
FIGUR 12. EKSEMPEL PÅ HVORDAN ARCMAP KAN SE UT MED OVERSIKT OG KARTLAG, VERKTØY OG CATALOG (QUICK TOUR OF ARCMAP 2012).....	15
FIGUR 13. PROFIL AV EN SINK FØR OG ETTER AT VERKTØYET «FILL» ER BENYTTET (HOW FILL WORKS 2012).....	16
FIGUR 14. PROFIL AV EN PEAK FØR OG ETTER AT VERKTØYET «FILL» ER BENYTTET (HOW FILL WORKS 2012).....	16
FIGUR 15. ILLUSTRASJON SOM VISER HVORDAN D8 ALGORITMEN I VERKTØYET «FLOW DIRECTION» VIRKER (HOW FLOW DIRECTION WORKS 2012).....	17
FIGUR 16. ILLUSTRASJON SOM VISER HVORDAN VERKTØYET «FLOW ACCUMULATION» FUNGERER (HOW FLOW ACCUMULATION WORKS 2012).....	18
FIGUR 17. ILLUSTRASJON SOM VISER RESULTATET MAN OPPNÅR VED Å BENYTTET VERKTØYET «STREAM ORDER» (HOW STREAM ORDER WORKS 2012).....	19
FIGUR 18. ILLUSTRASJON SOM VISER NEDBØRSFELT MED UNDERNEDBØRSFELT, DRENERINGSSKILLER, DRENSLINJER OG DRENERINGSPUNKT (HOW WATERSHED WORKS 2013).....	20
FIGUR 19. EKSEMPEL PÅ RESULTAT SOM KAN OPPNÅS VED Å BENYTTET VERKTØYET WATERSHED (HOW WATERSHED WORKS 2013)..	20
FIGUR 20. ILLUSTRASJON SOM VISER BREDDEGRAD (LATITUDE) OG LENGDEGRAD (LONGITUDE). HENTET FRA: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Latitude_and_longitude_of_the_earth.svg">HTTP://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/6/62/LATITUDE_AND_LONGITUDE_OF_THE_EARTH.SVG</a> .....	21

FIGUR 21. ILLUSTRASJON SOM VISER FORSKJELLEN PÅ ET GLOBALT OG ET LOKALT DATUM. HENTET FRA: HTTP://WWW.ICSM.GOV.AU/MAPPING/DATUMS1.HTML .....	22
FIGUR 22. ILLUSTRASJON SOM VISER ULIKE TYPER PROJEKSJONER (COORDINATE REFERENCE SYSTEMS 2014) .....	24
FIGUR 23. OVERSIKT OVER INNDELING AV SONER FOR UTM [EUREF89] I NORGE (STATENS KARTVERK 2009) .....	26
FIGUR 24. ILLUSTRASJONEN VISER EKSEMPEL PÅ HVA MAN KAN OBSERVERE FRA ET ORTOFOTO SAMMENLIKNET MED EN DTM FRA LIDAR DATA. HENTET FRA: HTTP://WWW.TERRATEC.NO/LIDAR_DATA_KLASSIFISERING/CMS/71 .....	27
FIGUR 25. METODISK ILLUSTRASJON AV FLS (AIRBOURNE LASER SCANNING 2014) .....	28
FIGUR 26. ILLUSTRASJON SOM VISER TVERRSNITT AV EN KJØREBANE OG HVILKE OBJEKTER FRA FKB–VEG SOM INNGÅR I DENNE (STATENS KARTVERK 2014b) .....	33
FIGUR 27. OVERSIKTSBILDE SOM ILLUSTRERER BRUK AV ULIKE OBJEKTER FRA FKB – VEG (STATENS KARTVERK 2014b) .....	33
FIGUR 28. DIAGRAM SOM VISER SAMMENHENG MELLOM OBJEKTER SOM AVGRENSER LAND OG SJØ (STATENS KARTVERK 2011) .....	36
FIGUR 29. DIAGRAM SOM VISER SAMMENHENG MELLOM OBJEKTER SOM AVGRENSER FLATER FOR ELVER OG BEKKER (STATENS KARTVERK 2011) .....	37
FIGUR 30. ILLUSTRASJON SOM VISER HVA SOM MENES MED TAKRISS (STATENS KARTVERK 2013c) .....	39
FIGUR 31. TYPISK VINTERFLOMSITUASJON SOM TILSVARER DET SCENARIOET SOM MODELLEN ER TILTENKT (MEIFORTH 2013) .....	41
FIGUR 32. RØD LINJE VISER AVGRENSNING FOR ANALYSEOMRÅDET VED ÅSSIDEN/BRAGERNES I DRAMMEN. ....	41
FIGUR 33. VISER AVGRENSNING FOR MUUSØYA AVLØPSRENSEDISTRIKT FØR MAI 2012. FIGUR HENTET FRA (DESSRUD 2013) .....	42
FIGUR 34. VISER RESULTATET FRA EN «POINT FILE INFORMATION ANALYSIS» PÅ LIDAR-DATA FRA FORSØKSOMRÅDET .....	44
FIGUR 35. VISER I RØDT EKSEMPLER PÅ FKB-DATA MED ATTRIBUTTBETEGNELSEN «MEDIUM = 'L'» SOM IKKE BLE TATT MED I TERRENGMODELLEN. BLÅE SIRKLER MARKERER 2 BRUER SOM KUNNE BLI AV BETYDNING .....	45
FIGUR 36. VISER I RØDT FKB-DATA MED ATTRIBUTTBETEGNELSEN «MEDIUM = 'U'» SOM IKKE BLE TATT MED I TERRENGMODELLEN	46
FIGUR 37. VISER I RØDT FKB-DATA MED ATTRIBUTTBETEGNELSEN «MEDIUM = 'B'» SOM IKKE BLE TATT HENSYN TIL I MODELLEN ...	47
FIGUR 38. UTSNITT AV RASTER BESTÅENDE UTELUKKENDE AV DATA FOR BYGNINGER .....	48
FIGUR 39. SKJERMDUMP SOM VISER HVORDAN UTVALGT DATA VISES I ARCGIS .....	49
FIGUR 40. VISER HVORDAN TERRENGMODELLEN SER UT FØR (VENSTRE) OG ETTER (HØYRE) AT BYGNINGER ER LAGT TIL .....	50
FIGUR 41. SKJERMDUMP FRA VERKTØYET «RECLASSIFY» SOM VISER TERSKELVERDIER FOR DE ULIKE KLASSEINNDDELINGENE .....	52
FIGUR 42. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER NORDVESTRE DEL AV ANALYSEOMRÅDET. I SENTRUM VISES KJØSTERUBBEKENS LØP (FKB- ELV OG BEKK) SLIK DEN REGISTRERT I FKB SAMT BEKKEINNTAK .....	55
FIGUR 43. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER BERRA TERRASSE BOLIGFELT I SENTRUM MED GJENNOMGÅENDE DRENSLINJE SAMT DRENSLINJE VEST FOR BERRA TERRASSE SOM FØLGER BERABEKKENS LØP SLIK DET ER REGISTRERT I FKB (FKB- ELV OG BEKK) .....	57

FIGUR 44. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER EKSEMPEL PÅ TYPISK FORSENKET OMRÅDE UTEN NATURLIG DRENERING.....	59
FIGUR 45. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER ET OVERBLIKK AV DRENSLINJER MED ULIKE KARAKTERISTIKKER, SAMT OVERSIKT OVER ALLE OV- OG AF LEDNINGER MED DIMENSJON OVER 400MM .....	61
FIGUR 46. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER FORSTØRRELSE FRA FIGUR 45. DET FORSTØRREDE OMRÅDET VISER EN UNDERGANG SOM LEDER EN DRENSLINJE I KUNSTIG RETNING. DENNE UNDERGANGEN BURDE IKKE VÆRT MED I MODELLEN, DA VILLE VANNET TROLIG FORTSATT I SIN OPPRINNELIGE RETNING ØSTOVER LANGS ROSENKRANTZGATE .....	62
FIGUR 47. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER EN AV DE STØRSTE DRENSLINJENE SOM KOMMER FRA BETZY KJELBERGS VEI OG KRYSSER ROSENKRANTZGATE GJENNOM UNDERGANGEN VED HOTVETVEIEN .....	63
FIGUR 48. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER DRENSLINJER OG FKB-BEKKELØP SOM KOMMER NED ÅSSIDEN FRA HAMBORGSTRØMSKOGEN OG MØTER BEBYGGELSE SAMT BEKKEINNTAK .....	65
FIGUR 49. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER KUDALSBEKKENS LØP SLIK DET ER REGISTRERT I FKB MED SAMMENFALLENDE DRENSLINJE I SENTRUM. I NORDVEST VISES UNDERLIABEKKENS LØP SLIK DET ER REGISTRERT I FKB MED SAMMENFALLENDE DRENSLINJE SOM FØLGER UNDERLIA OG DERETTER SPARAVOLLEN SØROVER .....	67
FIGUR 50. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER KJØSTERUDBEKKENS LØP OG AVGRENSNING SLIK DET ER REGISTRERT I FKB. I VESTLIGE DEL VISES TO DRENSLINJER AV PROBLEMSKAPENDE KARAKTERISTIKK (50 000M <sup>2</sup> – 250 000M <sup>2</sup> ) .....	69
FIGUR 51. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VEST FOR SPARAVOLL VISES SPARAVOLLBEKKENS LØP SLIK DET ER REGISTRERT I FKB MED SAMMENFALLENDE DRENSLINJE. I VESTLIGE DEL VISES BLÅSTEINBEKKENS LØP SLIK DET ER REGISTRERT I FKB MED SAMMENFALLENDE DRENSLINJE SOM MØTER BEBYGGELSE VED JONAS LIES VEI .....	71
FIGUR 52. UTSNITT FRA AKTSOMHETSKARTET SOM VISER DRENSLINJEN SOM STAMMER FRA DE TO DRENSLINJENE VED HESTEHAGEN/ØVREJORDET I FIGUR 42 OG FIGUR 49. DENNE STRØMMER SØRVEST OG PASSERER I GJENNOM BYGNINGER.....	73
FIGUR 53. BLÅE PILER VISER HVORDAN VANNET LEDES GJENNOM EN UNDERGANG (VENSTRE) SAMT KONSEKVENSEN AV EN USENKET BRU TIL HØYRE (MEIFORTH 2013) RØDE PILER SOM JEG HAR LAGT TIL SKISSEN VISER HVORDAN EN DRENSLINJE SOM I UTGANGSPUNKTET PASSERER OVER EN UNDERGANG VIL LEDES I EN KUNSTIG RETNING DERSOM UNDERGANGEN ER SENKET, DEN STIPELE RØDE LINJEN VISER HVORDAN DRENSLINJEN VILLE FORTSATT OVER UNDERGANGEN DERSOM DENNE IKKE VAR SENKET. ....	77
FIGUR 54. VISER I RØDT EKSEMPLER PÅ FKB-DATA MED ATTRIBUTTBETEGNELSEN «MEDIUM = 'L'» SOM IKKE BLE TATT MED I TERRENGMODELLEN. BLÅE SIRKLER MARKERER 2 BRUER SOM KUNNE BLITT AV BETYDNING DRENSLINJENE (LILLA FARGE) PASSERER BRUENE UTEN Å ENDRE RETNING.....	78
FIGUR 55. EKSEMPEL PÅ HVOR ULIKE RESULTATER MAN KAN FÅ VED Å GJENNOMFØRE ANALYSER AV EN MODELL MED BYGG (DRENSLINJER I LILLA) OG EN MODELL UTEN BYGG (DRENSLINJER I RØDT).....	79
FIGUR 56. EKSEMPEL PÅ RESULTAT FRA EN MER AVANSERT MODELL I 3D. FRA BILDE 1 - 6 KAN MAN SE HVORDAN VANN SOM KOMMER OPP FRA GATEKUMMER SPRER SEG PÅ OVERFLATEN MED TIDEN. FIGUREN ER SAMMENSATT AV SKJERMDUMPER FRA EN ILLUSTRASJONSFILM UTVIKLET AV ITWH .....	84



## Tabelliste

TABELL 1. OVERSIKT OVER ULIKE TYPER PROJEKSJONER OG HVILKE EGENSKAPER DISSE BEVARER (ESRI 2013) .....	25
TABELL 2. OVERSIKT OVER KVALITETSKRAV FOR FKB-LASER10, FKB-LASER20 OG FKB-LASER50 (STATENS KARTVERK 2013B) .....	29
TABELL 3. OVERSIKT OVER ULIKE FKB-STANDARDER OG HVILKE OMRÅDETYPER DE TILHØRER (STATENS KARTVERK 2014A) .....	31
TABELL 4. OVERSIKT OVER ULIKE KLASSER AV STEDFESTINGSNØYAKTIGHET (STATENS KARTVERK 2014A).....	32
TABELL 5. OVERSIKT OVER ALLE OBJEKTER SOM INNGÅR I FKB – VEG (STATENS KARTVERK 2014B) .....	32
TABELL 6. OVERSIKT OVER OBJEKTER FRA FKB- VEG OG HVILKE KLASSER FOR STEDFESTINGSNØYAKTIGHET DISSE TILHØRER (STATENS KARTVERK 2014B) .....	34
TABELL 7. OVERSIKT OVER OBJEKTER SOM INNGÅR I FKB – VANN.....	35
TABELL 8. OVERSIKT OVER OBJEKTER FOR FKB – VANN OG HVILKE KLASSER FOR STEDFESTINGSNØYAKTIGHET DISSE TILHØRER (STATENS KARTVERK 2011) .....	38
TABELL 9. OVERSIKT OVER OBJEKTER SOM INNGÅR I FKB – BYGNING OG HVILKE KLASSER FOR STEDFESTINGSNØYAKTIGHET DISSE TILHØRER (STATENS KARTVERK 2013c) .....	39
TABELL 10. SAMMENFATTET OVERSIKT OVER STEDFESTINGSNØYAKTIGHET FOR BENYTTET FKB-DATA.....	43

# 1 Innledning

## 1.1 introduksjon

### 1.1.1 Klimaendringer

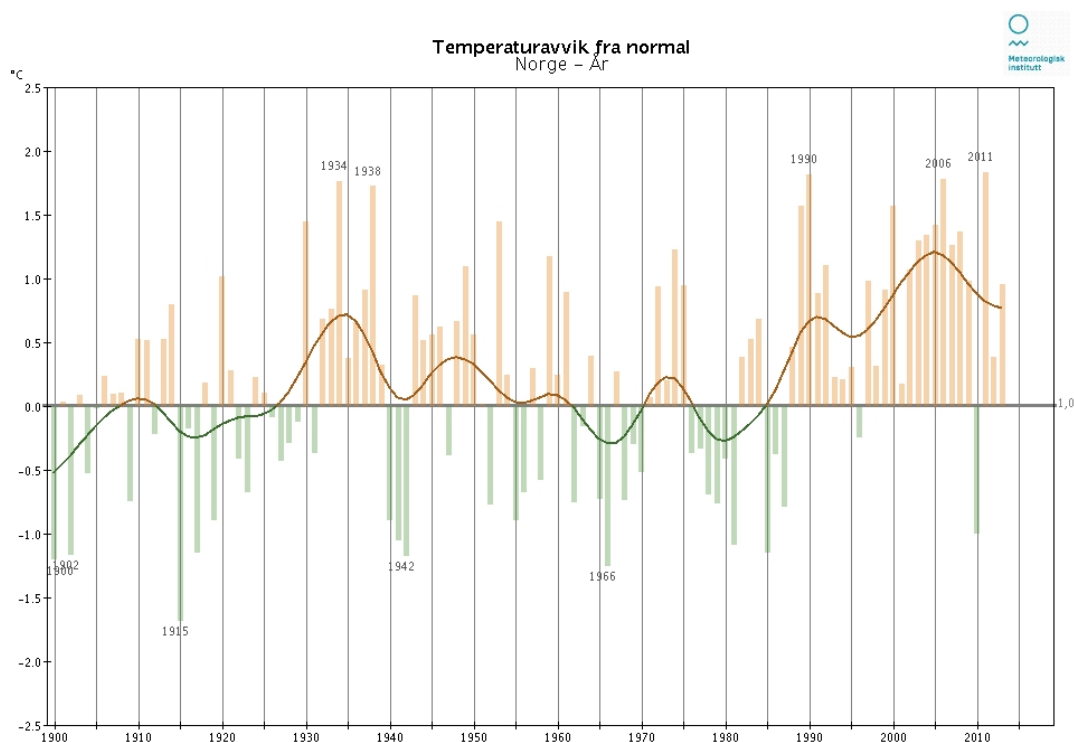
Klima er noe som «alle» er opptatt av, men som kanskje ikke alle kan sette nøyaktig ord på hva er.

Man kan definere klima som «en beskrivelse av gjennomsnittsværet på ett sted eller område, slik det framkommer når enkeltobservasjoner bearbeides statistisk etter internasjonale retningslinjer» (Klima 2014).

For å kunne planlegge og forberede seg for klimaet som kommer i framtiden så må man vite noe som været som har vært.

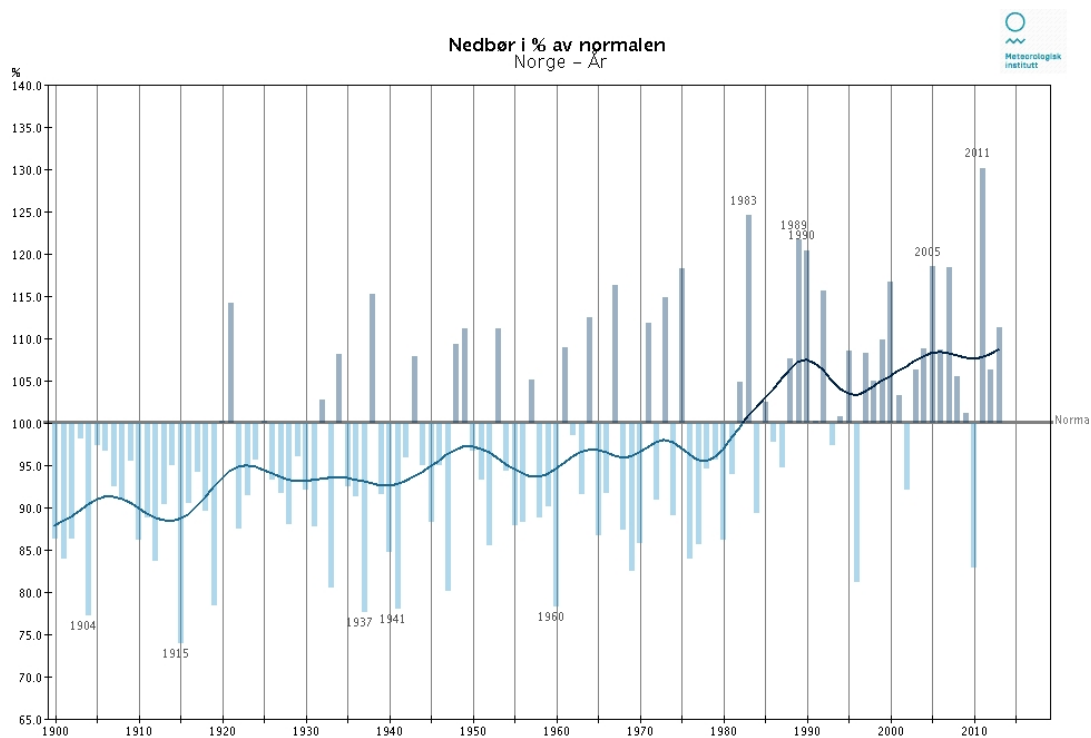
### Historikk

Metrologisk institutt har meget gode måleserier for temperatur og nedbør fra år 1900 og fram til i dag. Ut fra disse måleseriene kan man se hvordan temperatur og nedbørstrender har utviklet seg gjennom det forrige århundre.



Figur 1. Oversikt over temperaturavvik fra normal i Norge for perioden 1900 - 2013 (Klimautvikling 2014)

«Hovedtendensen i temperaturutviklingen for Norge de siste drøyt 100 år er at det har blitt varmere. Fra 1900 frem til cirka 1985 lå temperaturen jevnt nær normalen, med en kortvarig varmere periode på 30 tallet. Etter 1985 og frem til i dag har temperaturen vært jevnt varmere enn normalen, med en tendens til fortsatt oppvarming.» (Klimautvikling 2014)



Figur 2. Oversikt over nedbør i % av normal i Norge for perioden 1900 - 2013 (Klimautvikling 2014)

«Hovedtendensen i utviklingen av nedbør i Norge de siste drøyt 100 år er at det har blitt våtere. Dette er en gjennomgående trend for hele perioden, men spesielt tydelig for de drøyt siste 20 årene.»  
(Klimautvikling 2014)

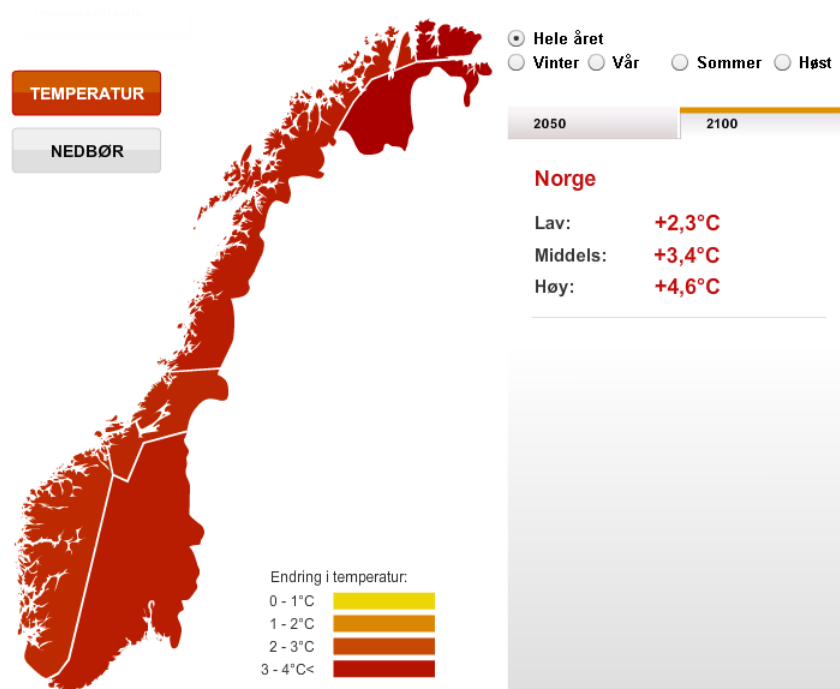
## Framtiden

Etter den industrielle revolusjonen har utslippet av klimagasser økt globalt. Økt konsentrasjon av disse gassene i atmosfæren har ført til at klimaet er i endring. I Norge vil vi i framtiden oppleve høyere gjennomsnittstemperatur, mer nedbør og hyppigere ekstremvær på grunn av dette (Klimautfordringer 2013).

Dager med mye nedbør vil øke både i antall og mengde nedbør. I følge Miljødirektoratet vil det bli en endring i nedbørsmengde på dager med mye nedbør fra 7% til 23%.

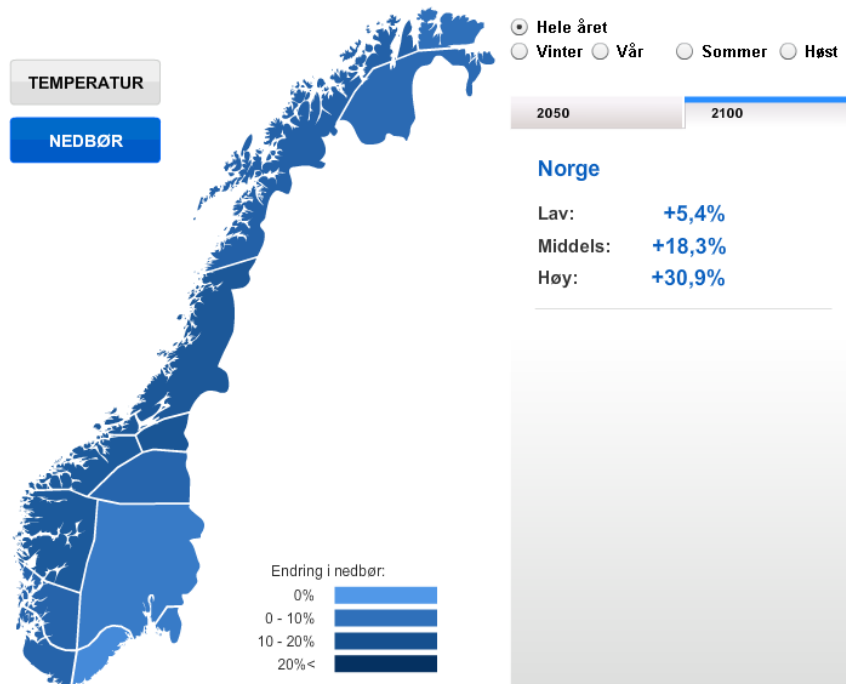
**Figur 3** og **Figur 4** er basert på et klimascenario. Dette er altså ikke et varsel men en mulig utvikling basert på forhold som påvirker klimaet. Selv om det er knyttet en rekke usikkerhetsfaktorer til slike klimascenarier, kan man uansett med ganske stor sikkerhet si at verden og Norge står ovenfor store klimautfordringer i tiden som kommer. I følge miljødirektoratet kan man forvente at årlig

middeltemperatur i Norge vil stige med 2,3°C – 4,6°C fram mot år 2100 (*Temperatur- og Nedbørsendringer 2100* 2014).



Figur 3. Kart som viser forventet temperaturøkning i Norge fram mot år 2100 (*Temperatur- og Nedbørsendringer 2100* 2014)

I følge miljødirektoratet vil årsnedbøren for hele landet kunne komme til å øke med mellom 5% og 30% fram mot 2100. Vinternedbør vil kunne øke mest med opptil 40% på landsbasis og opp mot 50% økning for deler av Øst-, Sør- og Vestlandet (*Temperatur- og Nedbørsendringer 2100* 2014).



Figur 4. Kart som viser forventet økning av nedbørmengde i Norge fram mot år 2100 (Temperatur- og Nedbørsendringer 2100 2014)

### 1.1.2 Klimaendringers konsekvenser i urbane strøk

I mindre sentrale strøk vil mye av nedbøren infiltreres gjennom bakken og ned til grunnvannet siden store deler av arealet ofte består av permeable flater som gress og skog. I urbane strøk er derimot de fleste overflater dekket av tette materialer som for eksempel asfalt og betong. Dette fører til at mesteparten av nedbøren renner av på overflaten og ned i rørsystemet som er konstruert for å håndtere overvann (heretter referert til som avløpsnett). Økt nedbør i urbane strøk vil kunne føre til overbelastning av avløpsnett. Noen plasser vil overtrykk i avløpsnett kunne føre til oppstuvning i kummer slik at vannet kommer opp av kummen og finner sin naturlige vei videre på overflaten (**Figur 5**). På vinterstid kan det oppstå scenarier hvor snø og is hindrer vannet i å renne ned i avløpsystemet slik at mesteparten av nedbøren renner på overflaten. Når slike scenarier oppstår er det stor sannsynlighet for at det vil forekomme flom.



Figur 5 Kapasiteten i avløpsnettet er sprengt og trykkehøydeforskjell i nettet gjør at vannet strømmer opp til overflaten. Foto: Morten Wanvik Hentet fra: (Engan 2014)

I urbane strøk kan overvann inneholde betydelige mengder tungmetaller og miljøgifter. Overbelastning av avløpssystemet vil kunne føre til at overløp er i hyppigere drift med den konsekvensen at forurenset overvann og avløpsvann renner direkte ut til resipient.

Når flomsituasjoner oppstår vil det føre med seg en rekke kostnader og ulemper. I Ødegaard og Norheim (2012) er noen av disse nevnt:

- Trafikkforstyrrelser som gir forsinkelsestid for nyttetraffic, busser og biler
- Skader på veier og gangveier. 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 elektrisiteten kortsluttes eller må stenges av
- Store forurensningsutslipp fra ikke virkende avløpsanlegg, skadede kjemikalietanker og oljetanker, samt fra industriområder
- Grunnvannsnivået som oftere vil stå på et høyere nivå enn i dag. Dette fører til mer infiltrasjonsvann i rørene og redusert kapasitet i systemet. Det gir økte utslipp fra overløp og

- økte flomskader. Økt vannføring til renseanleggene gir økte utgifter til kjemikalier og pumping, samt økte utslipp og økte totalvolumer av avløpstilførsel og økt tid med hydraulisk belastning
- Arbeidstid som må nedlegges av kommunalt ansatte og private i praktisk arbeid og administrasjon

Klimaendringer har vært med på å bidra til at flomskadene i byer har økt i de senere årene. Byenes avløpsnett ble dimensjonert og bygget for mange år siden, og det er lite sannsynlig at man forutså den fortetting av flater som enkelte byer har opplevd og økningen i regnintensitetene som klimaforandringene allerede har medført (Ødegaard & Norheim 2012).

Ødegaard & Nordheim 2012 viser til Evans et al. (2004) som har vist at en 40% økning i regnintensitetene vil føre til 100% økning i flomvolumene, 130% økning av antallet eiendommer som blir flomskadet og 200% økning i skadeverdier.

### 1.1.3 Regerverk/veiledning

EU og Norge har vedtatt flomdirektivet om vurdering og forvaltning av oversvømmelser. Her settes det krav til å utføre analyse av flomrisiko, fastsetting av et akseptabelt risikonivå og tiltaksplaner for å minke risikoen til et akseptabelt nivå. Begrunnelsen for direktivet er blant annet at flomskader som følge av klimaendringer og utvikling i urbane områder har økt overraskende mye i Europa (Ødegaard & Norheim 2012).

I Byggteknisk forskrift (TEK 10) § 15-10 lyder følgende:

*«Overvann, herunder drenevann, 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 (TEK 10) 2014)

I vannressursloven §7. (vannets løp i vassdrag og infiltrasjon i grunnen) lyder 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.» (Lov om vassdrag og grunnvann 2000)*

### 1.1.4 Overvannshåndtering

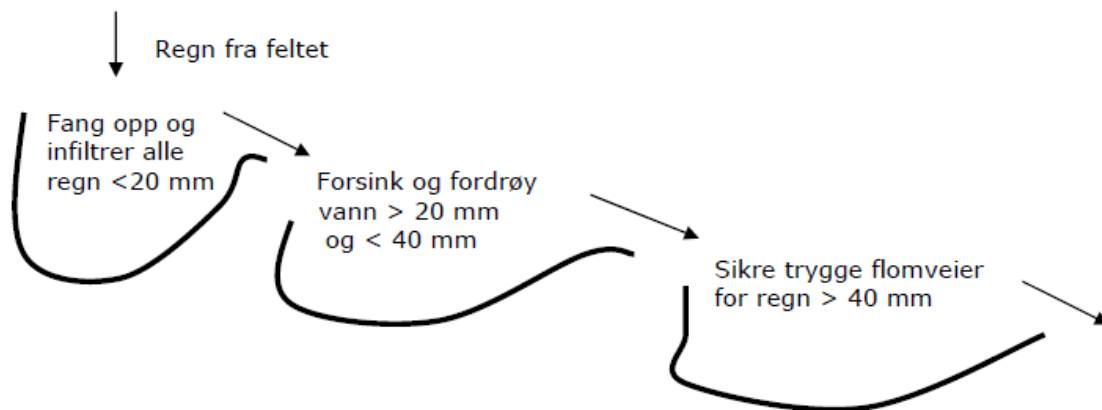
Klimaendringer i kombinasjon med økt fortetting av flater i byer har ført at overvann er blitt et stort problem i bybildet. Det konvensjonelle systemet som baserer seg på å transportere overvannet bort på raskest mulig måte utelukkende ved hjelp av rørsystemer har vist seg å være en lite bærekraftig løsning. Ved å tenke på denne måten spiller man ikke på lag med miljøet og vannets naturlige kretsløp. I følge Ødegaard og Norheim (2012) resulterer praksisen ofte i:

- 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
- Forringelse av det økologiske miljøet

Vi kan altså slå fast at det er et sterkt behov for å ta nye grep i arbeidet med flom og overvann. Det er behov for å ta i bruk mer helhetlige løsninger for disponering av overvann. Selv om det er mye problematikk forbundet med overvann så er det i senere tid blitt bred enighet om at overvann også kan ses på som en ressurs. Ved å gå bort fra den konvensjonelle tankegangen om å sende vannet bort på rasket mulig måte utelukkende ved hjelp av rørsystemer kan det i større grad satses på å infiltrere og fordrøye vannet lokalt slik at det også kan benyttes til rekreasjon og bli et estetisk element i bymiljøet.

*«Målet med et helhetlig overvannssystem er å avlede nedbør på en sikker, miljøtilpasset og kostnadseffektiv måte slik at innbyggernes helse, sikkerhet og økonomiske interesser ivaretas. I tillegg bør overvannet søkes utnyttet til glede for innbyggerne.» (Ødegaard & Norheim 2012)*

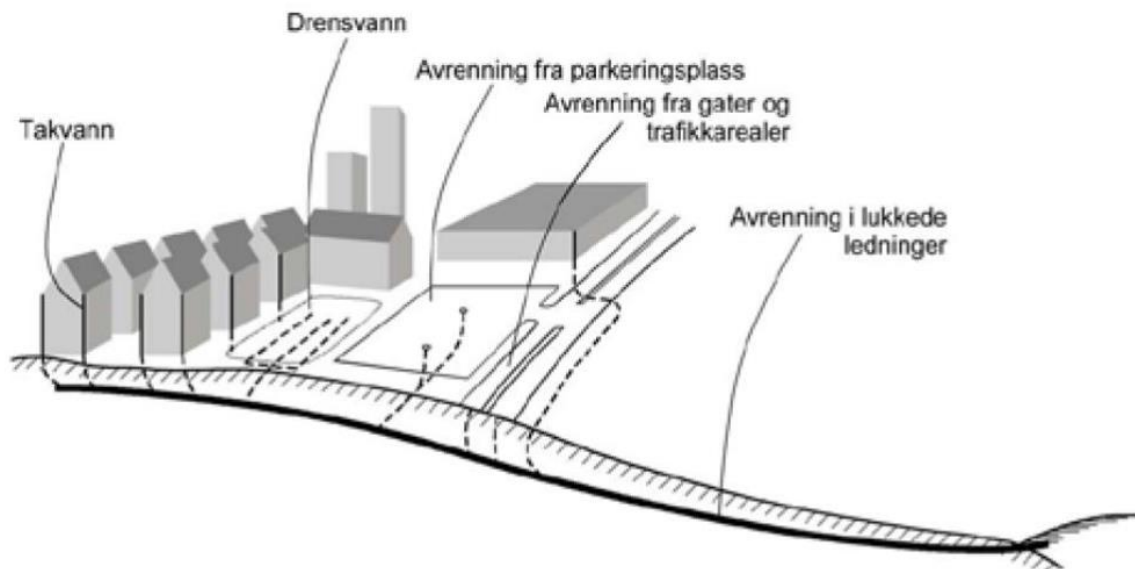
LOD (Lokal overvannsdiskonering) handler i all hovedsak om å behandle overvann lokalt for å bevare den lokale hydrologiske situasjonen samt minimalisere tilførsel av overvann til det offentlige avløpsnett. Da benyttes mekanismer som infiltrasjon og fordrøyning. Lindholm et al. (2008) viser til treleddsstrategien (**Figur 6**) som baserer seg på disse prinsippene.



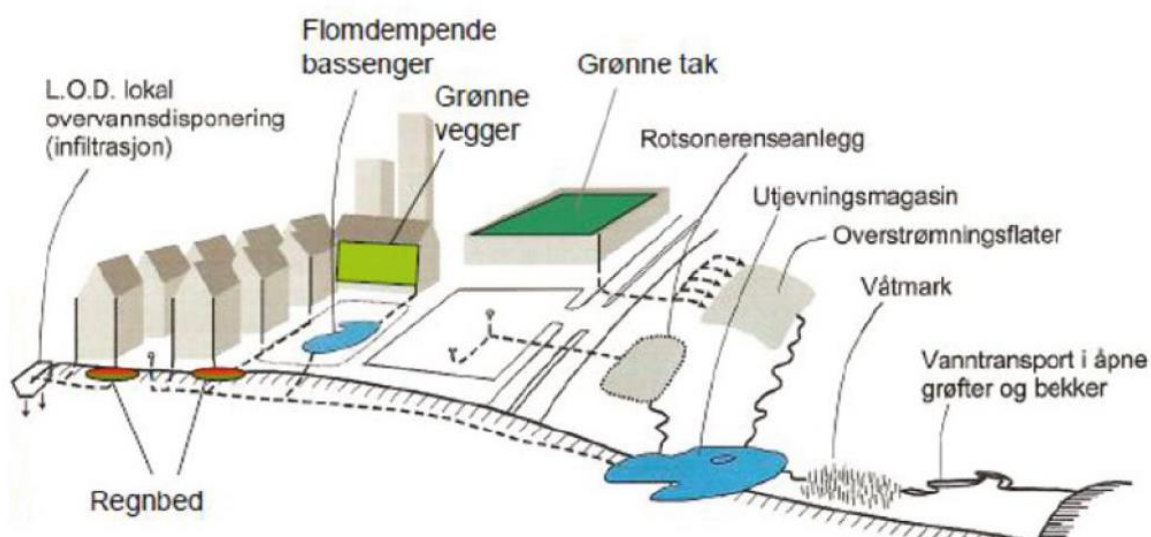
*Figur 6. Treleddsstrategien. Illustrasjon på strategi for håndtering av nedbør. Tallene er eksempler som må tilpasses lokalt (Lindholm et al. 2008)*

Ved å sammenlikne **Figur 7** og **Figur 8** kan vi se forskjellene på et konvensjonelt system og et mer helhetlig system for behandling av overvann. Det helhetlige systemet inneholder LOD-løsninger som baserer seg på fordrøynings- og infiltrasjonsbassenger eller magasin, infiltrasjonsgrøfter og arealer, permeable belegninger, regnbed, grønne tak/vegger samt åpne grøfter, renner og kanaler.





Figur 7. Konvensjonelt avløpssystem for overvann (Lindholm et al. 2008)



Figur 8. Et mer helhetlig avløpssystem for overvann som benytter LOD-løsninger (Lindholm et al. 2008)

I følge Ødegaard og Norheim (2012) er en helhetlig metode for overvannshåndtering nødvendig for å:

- Gi sikkerhet for innbyggernes liv, helse og økonomi
- Unngå flomskader og sikre at flommer ledes i flomveger utenom bebyggelsen
- Se til at flomutsatte området ikke bebygges
- Sikre en best mulig vannkvalitet for overvann
- Redusere driftstiden for overløp fra avløpssystemet
- Ivareta vegetasjonsområder innenfor urbane områder
- Sikre en god bruk av vannveger ved utforming av nye urbane områder

### 1.1.5 Modeller

Flom i urbane områder kan altså gi svært store skadevirkninger, derfor er det viktig å ha beredskap og planer for å takle flom best mulig. Analyser bør legges til grunn for å finne eventuelle problemområder og flaskehalsar i nettet. Både i planlegging- og beredskapsøyemed er det essensielt å vite hvor vannet tar veien ved ulike flomsituasjoner. For å vite hvilke tiltak som er mest kostnadseffektive behøver man kunnskap om hvordan det helhetlige overvannssystemet fungerer når det blir utsatt for kraftige regn og ulike flomsituasjoner. Ved å benytte hydrauliske og hydrologiske modeller kan man simulere slike situasjoner for å finne ut hvordan avløpsnettet reagerer og hvor vannet tar veien på overflaten ved sprengt kapasitet på nettet. Modeller gir oss et forenklet bilde av virkeligheten. I denne sammenhengen består de ofte av programvare som kan utføre tunge matematiske beregninger. Ved hjelp av hydrologiske og hydrodynamiske likninger kan modeller innenfor VA-teknikk gi oss mye informasjon vi ellers ikke ville hatt mulighet til å erverve før et fenomen allerede hadde oppstått. Denne informasjonen kan blant annet være ledningsnettets kapasitet og funksjon, hvor, hvordan og med hvilken kvalitet overvann vil transporteres på terrengoverflaten samt ulike fenomeners innvirkning på vassdrag og resipienter.

Per dags dato finnes det mange ulike programvarer innenfor modellering av overvann (eksempelvis SWMM, MIKE URBAN, ArcGIS). Disse programmene har som nevnt ulike bruksområder men også et stort spenn i brukervennlighet. På generell basis vil en mer reell modell ha færre forenklinger, være mer avansert og dermed kreve høyere grad av ekspertise. Bruksomfanget kan altså variere fra enkle modeller som for eksempel beskriver funksjonen til en liten del av et rørsystem til en stor og avansert modell. Avanserte modeller kan med tilstrekkelig kunnskap om et overvannsystems oppbygning og dimensjoner gi et komplett bilde av dets funksjon på bakgrunn av nedbør med bestemt intensitet og størrelse.

## 1.2 Oppgavens hensikt

Utprøving av metodikk for produksjon av aktsomhetskart for flomfare i urbane områder. Muusøya rensedistrikt ved Åssiden/Bragernes i Drammen kommune var forsøksområde.

## 1.3 Oppgavens utforming

Oppgaven er delt opp i 5 hoveddeler.

**Del 1** introduserer temaet, gjør rede for oppgavens hensikt og beskriver oppgavens utforming.

**Del 2** beskriver produktet som ønskes framstilt, beskrivelse av verktøyet som ble benyttet for bygging av modellen samt nødvendig kunnskap rundt grunnlagsdata.

**Del 3** forklarer stegvis hvordan den digitale terrengmodellen ble utformet, hvordan de hydrologiske analysene ble gjennomført samt beskrivelse av hvordan resultatet ble klargjort for presentasjon.

**Del 4** viser aktuelle utsnitt av aktsomhetskart for flomfare.

**Del 5** drøfter oppgavens forutsetninger og resultat.

**Del 6** avsluttende konklusjoner

## 2 Produkt, programvare & grunnlagsdata

### 2.1 Aktsomhetskart for flomfare

Produktet som ønsket produsert i denne oppgaven er et aktsomhetskart for flomfare. Kartet viser hvor store nedbørsfelt som bidrar med å tilføre vann til et gitt punkt i terrenget. Disse punktene vil være sammenhengende og danne en linje som kalles for en drenslinje. Drenslinjen viser hvor smelte- og regnvann vil kunne transporteres på overflaten. Viktigheten eller størrelsen på drenslinjen bestemmes ut fra hvor stort areal i kvadratmeter som drenerer til hvert enkelt punkt. Ut fra terskelverdier kan man identifisere de drenslinjene som er av en slik størrelse at de kan defineres som problemskapende i forhold til bebyggelse og infrastruktur. Et slikt verktøy kan benyttes til å finne uforutsette flomveier og på den måten være et nyttig verktøy i planlegging- og beredskapsøyemed.

#### 2.1.1 Nyttieverdi

Et aktsomhetskart for flomfare har begrensninger i forhold til detaljeringsgrad som følge av grunnlagsdata og forholdsvis enkle analysemetoder. Det angir ingen eksakt avgrensning eller størrelse på flom. Det finnes som nevnt avanserte modeller som i 3D kan vise en reell tidsmessig flomutvikling med informasjon om vannets spredning, dybde, fart og mengde. Det er likevel mange fordeler med terrenganalyser av denne typen i forhold til de mer avanserte modellene. Metodikken kan benyttes av personer med moderate datakunnskaper og man kan velge å analysere store eller små områder etter behov. Man får et godt innblikk i potensielt flomutsatte områder og flomveier på en tids- og kostnadseffektiv måte nettopp på grunn av enkelheten i metodikken. ArcGIS er allerede tilgjengelig programvare i de fleste kommuner noe som også gjør at man slipper å være avhengig av høy programvareekspertise og kostbar brukerveiledning fra eksterne konsulenter. Metodikken kan være nyttig for saksbehandlere og andre personer som arbeider innenfor:

- Arealplanlegging/utbygging
- Prosjektering
- Kommuneplan/reguleringsplan
- Risiko- og sårbarhetsanalyser
- Planlegging av tiltak for eksisterende bygninger og infrastruktur
- Gjenåpning av vassdrag i urbane strøk

#### 2.1.2 Metodikk for produksjon av aktsomhetskart for flom

Aktsomhetskartet kan produseres ved hjelp av GIS-programvare og terrenganalyser. For å produsere et aktsomhetskart for flomfare må man først framstille en DTM (digital terrengmodell) av analyseområdet. Det finnes ulike metoder som kan benyttes for å produsere en DTM ut fra hvor

detaljert data man har tilgjengelig for området man ønsker å analysere. Datagrunnlaget for en slik terrengmodell er avgjørende for det endelige resultatet. LiDAR (Light Detection and Ranging)- data med høy oppløsning, god stedsfestningsnøyaktighet og god punktklassifisering legger grunnlaget for modellen. Dersom man benytter LiDAR-data med lavere oppløsning kan man ved å legge inn FKB-data for veg, vann og bygninger øke punkttettheten og nøyaktigheten i modellen. Videre benyttes programutvidelser til ArcGIS som for eksempel «Hydro Tools» eller «Spatial Analyst» til å utføre de hydrologiske analysene av terrenget.

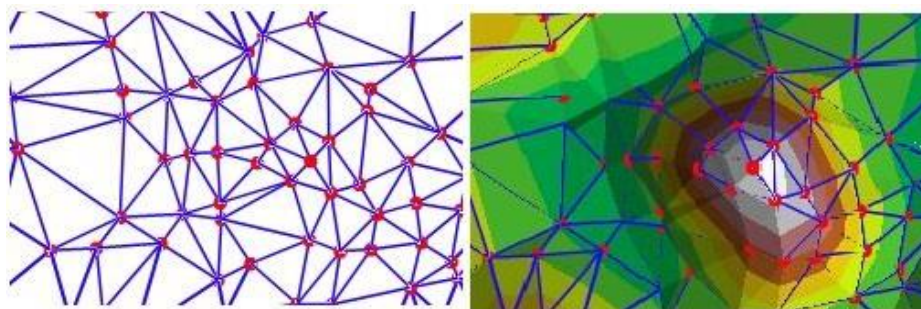
## 2.2 ArcGIS Desktop

GIS (Geografiske informasjonssystemer) benyttes av et bredt spekter av organisasjoner og enkeltbrukere for å organisere og analysere ulike typer geografisk data. GIS-programvaren ArcGIS fra ESRI er en programvarefamilie som dekker de fleste GIS-behov. ArcGIS er et skalerbart system som passer inn i de fleste organisasjoner og kan benyttes på enkelt PC-er eller distribueres over globale nettverk. Programpakken inneholder moduler for desktop, server, web og mobile enheter. ArcGIS benyttes av GIS-eksperter, saksbehandlere, beslutningstakere, feltarbeidere og studenter. ArcGIS baserer seg mye på åpne standarder (Informasjonsteknologi og GIS) og tilbyr en rekke grensesnitt for utviklere. Derfor finnes det mange utvidelser til ArcGIS (Strømsholm 2011).

### 2.2.1 Formater

#### **TIN (Triangular irregular network)**

TIN har blitt benyttet i GIS sammenheng i mange år og er en digital måte å representere en overflates geologiske struktur. TIN er en form for vektorbasert digital geografisk data som konstrueres ved å triangulere et sett med toppunkter. Punktene knyttes sammen med linjer. Linjene danner sammenhengende, ikke-overlappende triangulære fasetter som representerer overflaten på en nøyaktig måte (**Figur 9**). Disse kan benyttes til å bestemme posisjonen til lineære elementer av interesse, det kan for eksempel være åskammer eller drenslinjer. En TIN er ofte grunnlaget for en DTM før den konverteres til rasterformat (*What is a TIN surface?* 2012).

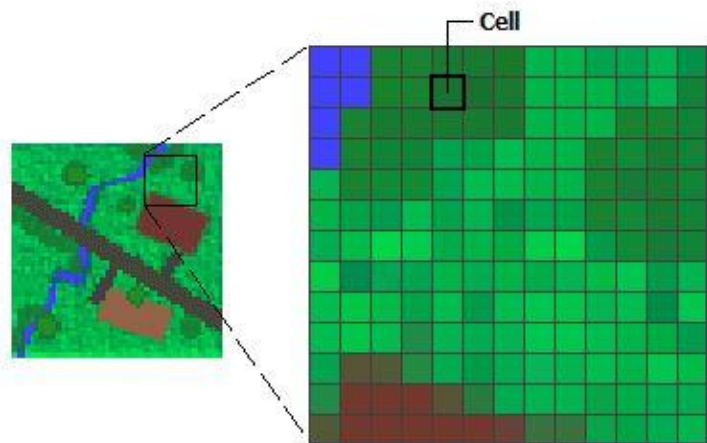


Figur 9. Illustrerer hvordan en TIN genereres (*What is a TIN surface?* 2012)

## Raster

Datsett på dette formatet representerer geografiske egenskaper ved å dele verden (eller området) inn i kvadratiske celler i et rutenett. Hver celle har en verdi som brukes til å representere en viss karakteristikk for det aktuelle stedet. Det kan eksempelvis være temperatur, høyde eller en klassifisering. Data på dette formatet er en forenkling av virkeligheten som gjør det enklere å gjennomføre analyser og vise illustrasjoner. I **Figur 10** vises et eksempel på en raster hvor klassifiseringen eksempelvis kan fungere på følgende måte:

Bebyggelse av klasse 1 = 1 (mørk brun), bebyggelse av klasse 2 = 2 (lys brun), Vann = 3 (blå), gresskledd grunn = 4 (lys grønn), vegetasjon = 5 (mørk grønn), vei = 6 (grå).



Figur 10. Illustrasjon av en raster med klassifiseringer. (What is raster data 2014)

Rasterformatet består av:

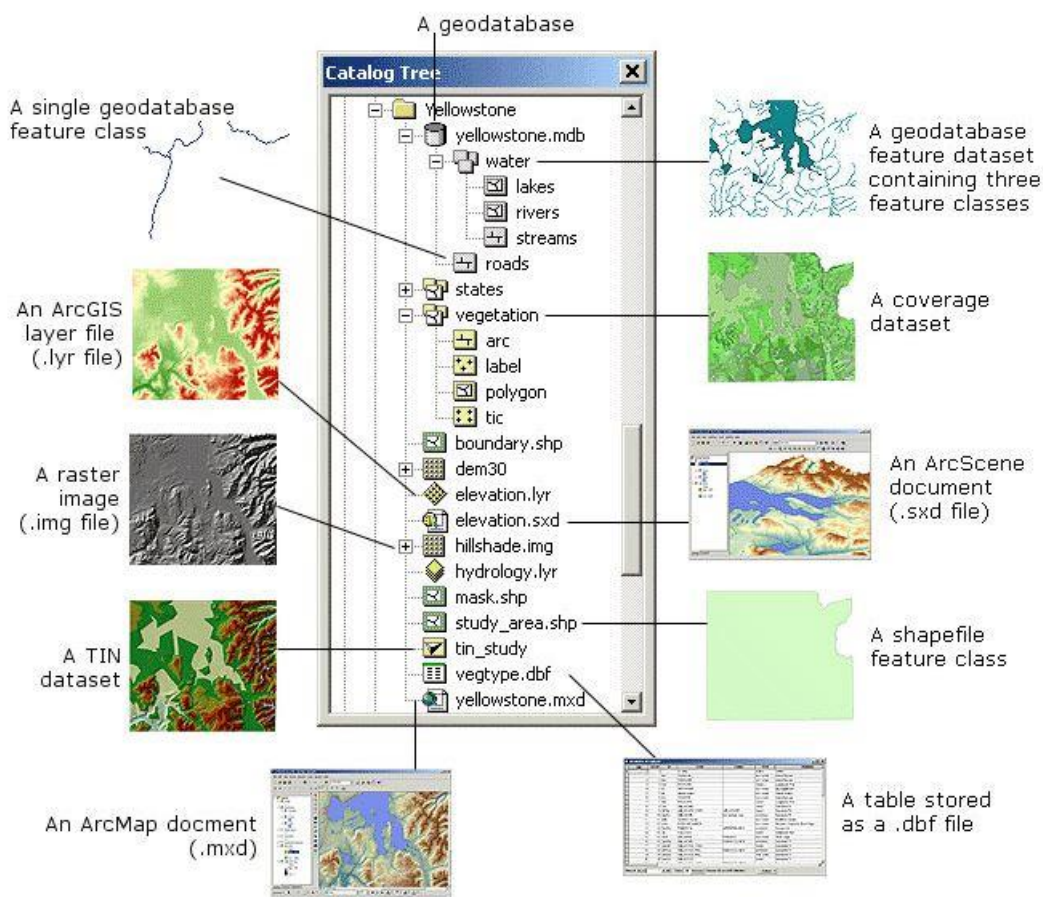
- Et koordinatsystem
  - Et referansekoordinat for x- og y koordinater (typisk øvre eller nedre venstre hjørne)
  - En celle størrelse
  - Et antall rader og kolonner
- (What is raster data 2014)

### 2.2.2 ArcCatalog

ArcCatalog-applikasjonen (**Figur 11**) er et katalogvindu hvor man kan organisere og administrere ulike typer geografisk informasjon og verktøy som for eksempel:

- Geodatabaser
- Raster-filer
- ArcMap-filer, ArcGlobe-filer, 3D ArcScene-filer og kartlag-filer
- Geoprosesseringsverktøy, modeller eller python script
- GIS tjenester som skal publiseres ved hjelp av ArcGIS Server

- Standardisert metadata for GIS-informasjon  
(What is ArcCatalog 2010)

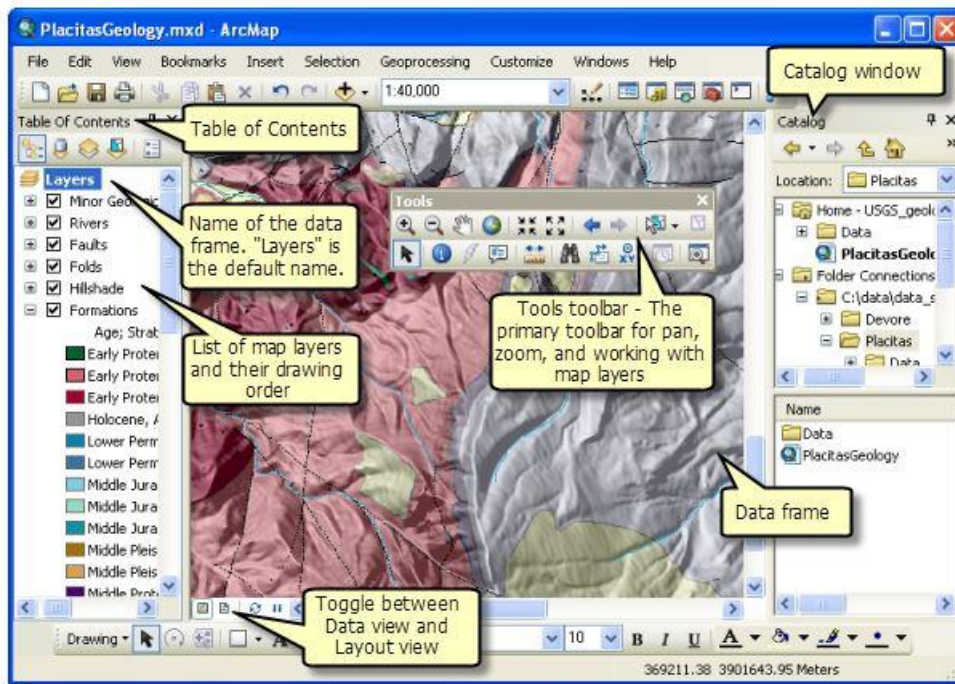


Figur 11. ArcCatalog med mappestruktur og eksempel på innhold (What is ArcCatalog 2010)

### 2.2.3 ArcMap

Med ArcMap (**Figur 12**) er det mulig å arbeide med alle typer geografiske data i kart, uansett format og plassering på underliggende data. I ArcMap er det mulig å utvikle et kart med forhåndsdefinerte maler, eller legge til data fra for eksempel temalag, shapefiler, geodatabaser, satellittbilder og tabeller med koordinater eller adresser.





Figur 12. Eksempel på hvordan ArcMap kan se ut med oversikt og kartlag, verktøy og catalog (Quick tour of ArcMap 2012)

## 2.2.4 Spatial Analyst

Spatial analyst utvidelsen til ArcGIS har mange muligheter for romlige analyser og modelleringer for både raster- og vektordata. For en oppgave som omhandler aktsomhetskart er det de hydrologiske verktøyene som er av interesse. I spatial analyst's hydrology toolset finner man 11 verktøy som benyttes til å definere drenslinjer og nedbørsfelt (An overview of the Hydrology toolset 2012).

### FILL

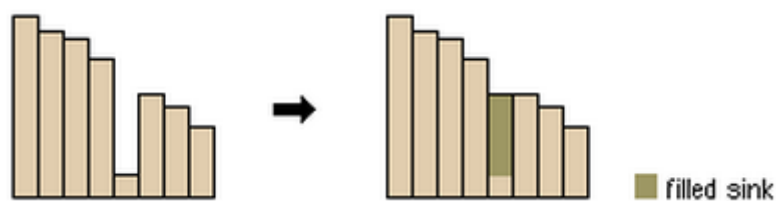
Mindre sinks eller peaks i en DEM er ofte ikke reelle i forhold til terrenget. De kan oppstå som følge av feil som har oppstått ved datainnsamlingen eller som følge av interpoleringsmetoden som er benyttet på innsamlet data.

En sink er en celle med udefinert drensretning. Slike celler oppstår når ingen av de omkringliggende cellene har lavere verdi. Det er nødvendig og fylle slike sinks i modellen før man benytter andre verktøy for hydrologiske analyser (How fill works 2012).

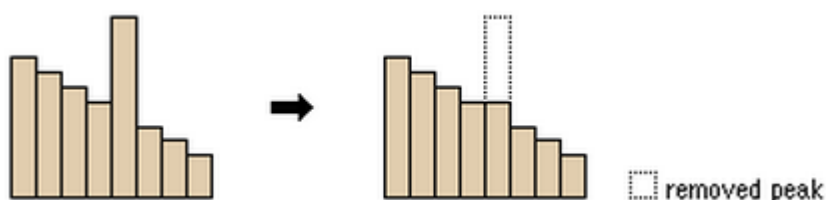
Verktøyet «Fill» kan benyttes for å fylle slike sinks, eller fjerne peaks.

Større områder som blir fylt kan vises som et kartlag i resultatet for å illustrere senkninger i terrenget hvor det sannsynlig at vann vil akkumulere.





Figur 13. Profil av en sink før og etter at verktøyet «Fill» er benyttet (How fill works 2012)



Figur 14. Profil av en peak før og etter at verktøyet «fill» er benyttet (How fill works 2012)

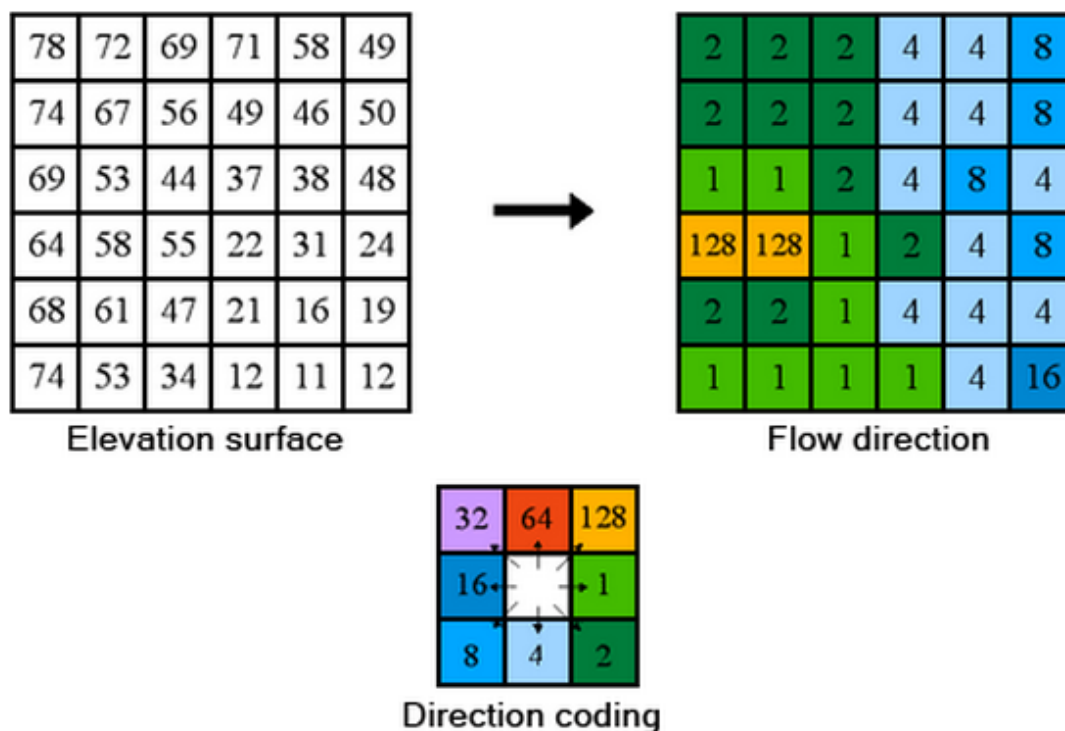
Verktøyet trenger kun input i form av en DTM-rasterfil.

Det er også mulig å velge en «z-limit» før man kjører verktøyet. Denne verdien avgjør hvilke sinks som fylles. «z-limit» spesifiserer maksimal tillatt avstand mellom dybden av en forsenkning og dreneringspunktet. Dette er lett å misoppfatte men kan illustreres med følgende eksempel:

I et teoretisk tilfelle kan man ha en forsenkning hvor dreneringspunktet ligger 210 meter over havet, mens det dypeste punktet i forsenkningen ligger 204 meter over havet. Da har man en høydeforskjell på 6 meter. Hvis det da settes en «z-limit» lik 8 meter så vil denne forsenkningen fylles. Dersom «z-limit» settes lik 4 meter så vil denne forsenkningen ikke fylles. Dersom det ikke oppgis noe «z-limit» så vil alle forsenkninger bli fylt.

## FLOW DIRECTION

En av de viktigste nøklene for hydrologiske analyser av overflater er å avgjøre i hvilken retning vannet strømmer fra hver celle i en raster. Dette gjøres med verktøyet «Flow Direction». Dette verktøyet benytter en raster med tallverdier som representerer terrengets høydepotensial som input. Som output produserer den en ny raster med tallverdier som viser hvilken retning vannet strømmer ut fra hver celle. Verktøyet benytter en såkalt D8 algoritme, det vil si at cellene kan få et av åtte ulike tall som hver representerer en retning som vannet vil strømme ut av cellen. Dette kommer av de åtte cellene som omringer en celle i senter. Dette illustreres i **Figur 15** (How Flow Direction Works 2012).



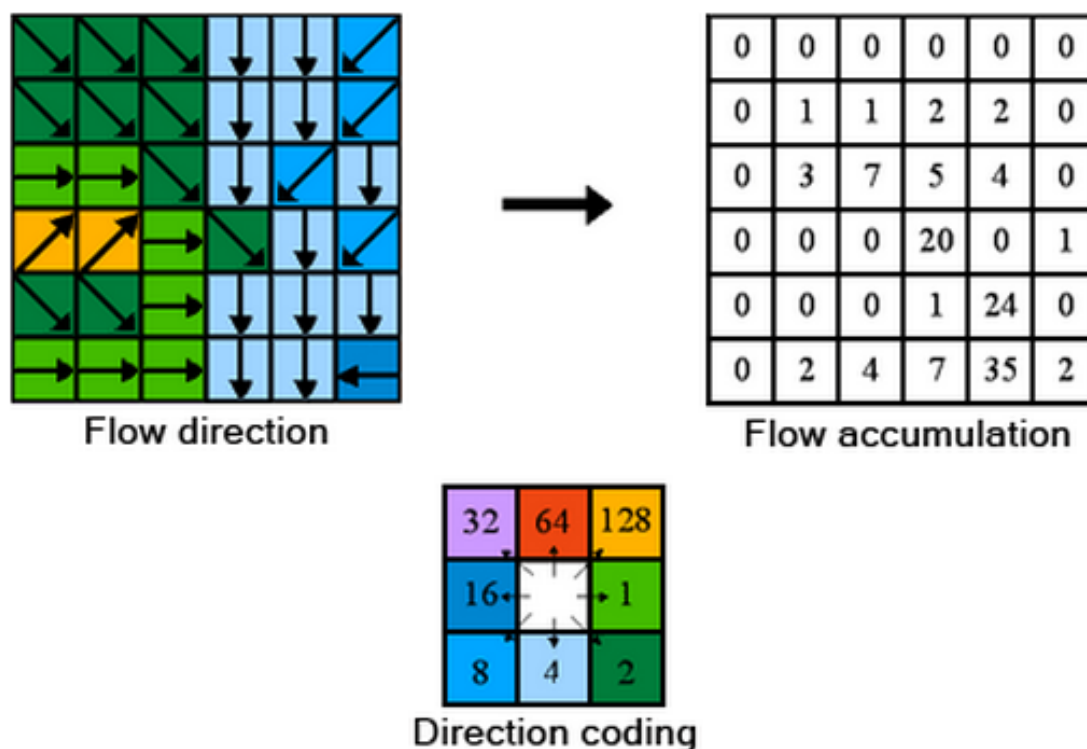
Figur 15. Illustrasjon som viser hvordan D8 algoritmen i verktøyet «Flow Direction» virker (How Flow Direction Works 2012)

Det er mulig å huke av for «Output drop raster». Da vil det produseres en raster som viser forholdet mellom maksimal endring i høyde fra hver celle langs strømningsretningen og lengden mellom cellenes senter. Resultatet er prosentmessig uttrykt.

Det er også mulig å velge «Force all edge cells to flow outward». Da vil alle celler som befinner seg på kanten av overflaterasteren ha strømningsretning ut fra overflaten.

### FLOW ACCUMULATION

Dette verktøyet benytter rasteren som er output fra «Flow Direction» verktøyet til å kalkulere akkumulert tilstrømning for alle cellene i rasteren. Det gjøres for hver enkelt celle ved å beregne den akkumulerte vekten av alle celler som ligger oppstrøms. Output fra «Flow Accumulation» vil altså bestå av en raster med verdier som forteller hvor mange cellers strømning som ender opp i hver enkelt celle. Denne funksjonen illustreres i **Figur 16**.



Figur 16. Illustrasjon som viser hvordan verktøyet «Flow Accumulation» fungerer (How flow accumulation works 2012)

Celler som har et høyt akkumuleringstall vil være mulige flomveier. Celler som har verdien 0 vil være lokale høyder i terrenget.

Det er mulig å benytte en vektingsraster (weight raster) for å bestemme hvordan hver enkelt celle skal vektet. Hvis det ikke benyttes noen vektingsraster så vil alle celler vektet med 1.

Et eksempel på benyttelse av vektingsraster kan være å avgjøre hvor mye vann som akkumuleres under et gitt regn. I et slikt tilfelle vil en vektingsraster representere en gjennomsnittlig regnintensitet under et gitt regn. Output fra «flow accumulation» verktøyet ville da representere mengden regn som strømmet gjennom hver celle i rasteren, gitt at all nedbør rant av på terrengoverflaten.

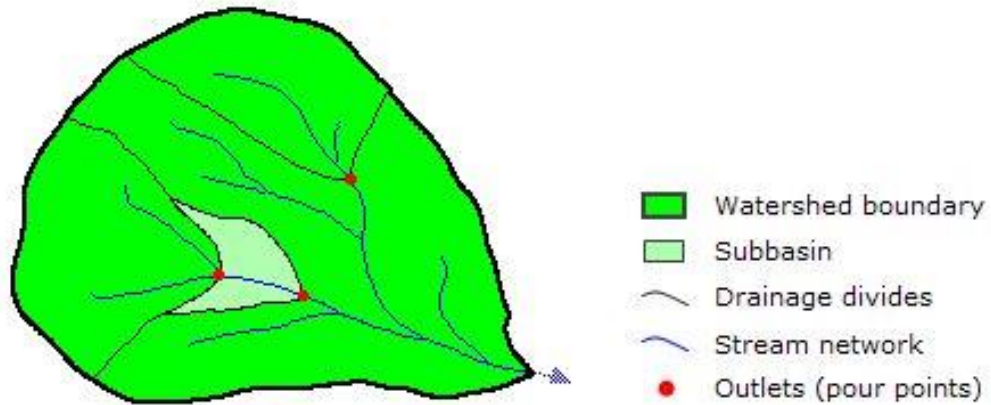
## BASIN

Verktøyet analyserer en «flow direction-raster» og finner åskammene som definerer nedbørsfelt innenfor analyseområdet. Dermed kan alle celler som drenerer til samme nedbørsfelt identifiseres og resultatet er en raster som viser avgrensningen til alle nedbørsfelt i analyseområdet.

## FLOW LENGTH

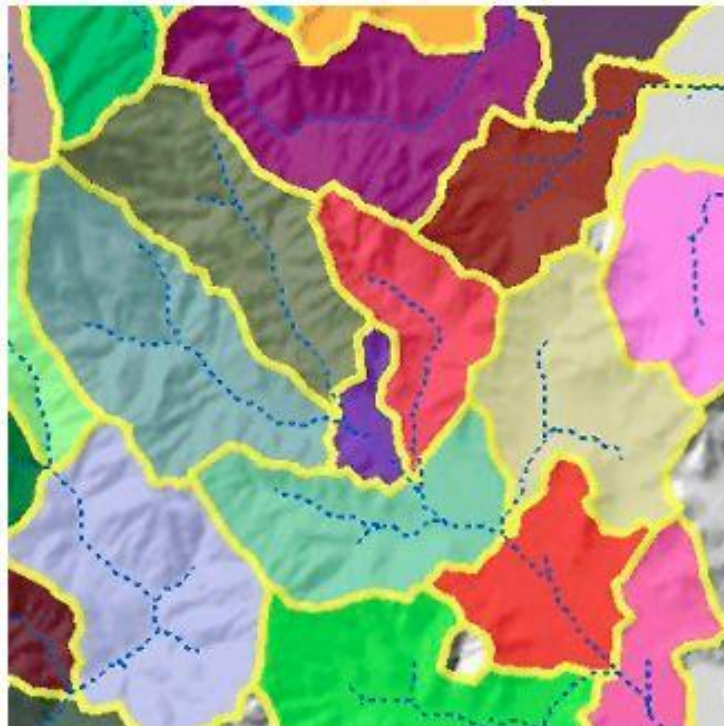
Verktøyet analyserer en «flow direction-raster» og kalkulerer den lengste strømningsveien innenfor et nedbørsfelt. Dette verktøyet er nyttig for å måle konsentrasjonstiden i et nedbørsfelt.





Figur 18. Illustrasjon som viser nedbørsfelt med undernedbørsfelt, dreneringsskille, drenslinjer og dreneringspunkt (How watershed works 2013)

Resultatet man får ved å benytte dette verktøyet illustreres i **Figur 19**.

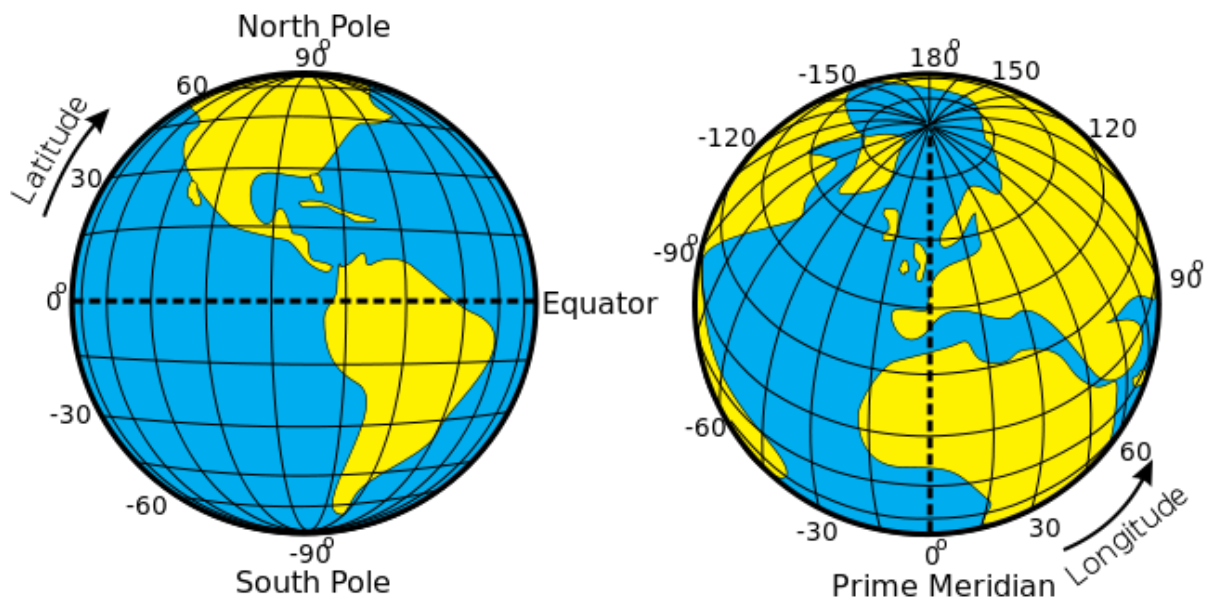


Figur 19. Eksempel på resultat som kan oppnås ved å benytte verktøyet watershed (How watershed works 2013)

### 2.3 Koordinatsystemer

Når man skal framstille en digital terrengmodell så er det sentralt at man har kontroll på stedfestingsnøyaktigheten for grunnlagsdata som blir benyttet. En av de viktigste faktorene er å vite i hvilket koordinatsystem data foreligger og hvilke egenskaper dette systemet bevarer. I det følgende vil koordinatsystemers hensikt og funksjon belyses.

Når man jobber med romlige data er man interessert i å vite hvor punkter og objekter befinner seg på jordoverflaten. Koordinatsystemer benyttes nettopp for å gi oss absolutte plasseringer av punkter på jordas overflate. Når punkter skal defineres med absolutte plasseringer blir punktene ofte beskrevet med breddegrad- og lengdegradverdier. Dette er svært nyttig for navigering og kartproduksjon. Breddegraden er et geografisk koordinat som spesifiserer nord-sør posisjonen av et punkt på jordens overflate. Den defineres som en vinkel som spenner seg fra  $0^{\circ}$  ved ekvator til  $90^{\circ}$  (nord eller sør) ved polene. Linjer med konstant breddegrad går øst-vest som parallelle sirkler til ekvator. Lengdegrad er et geografisk koordinat som spesifiserer øst-vest posisjonen av et punkt på jordens overflate. Også denne oppgis i grader med et spenn fra  $0^{\circ}$  ved nullmeridianen (også kalt Greenwich meridianen da den går igjennom et fastmerke i observatoriet i Greenwich, London) til  $+180^{\circ}$  øst og  $-180^{\circ}$  vest. Punkter med samme lengdegrad ligger på linjer som går fra Nordpolen til Sørpolen (Esri 2013). Breddegrad(latitude) og lengdegrad(longitude) illustreres i **Figur 20**.



Figur 20. Illustrasjon som viser breddegrad (latitude) og lengdegrad (longitude). Hentet fra: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Latitude\\_and\\_Longitude\\_of\\_the\\_Earth.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Latitude_and_Longitude_of_the_Earth.svg)

### 2.3.1 Geografiske koordinatsystemer

Et geografisk koordinatsystem benytter en tredimensjonal ellipsoidmodell for å identifisere punkter eller områder på jordens overflate. Når det oppgis et par av koordinater som skal identifisere et punkt på et kart så er de alltid relatert til dets geografiske koordinatsystem. Systemet plotter data i breddegrad og lengdegrad med enheter i desimalgrader eller i grader, minutter og sekunder.

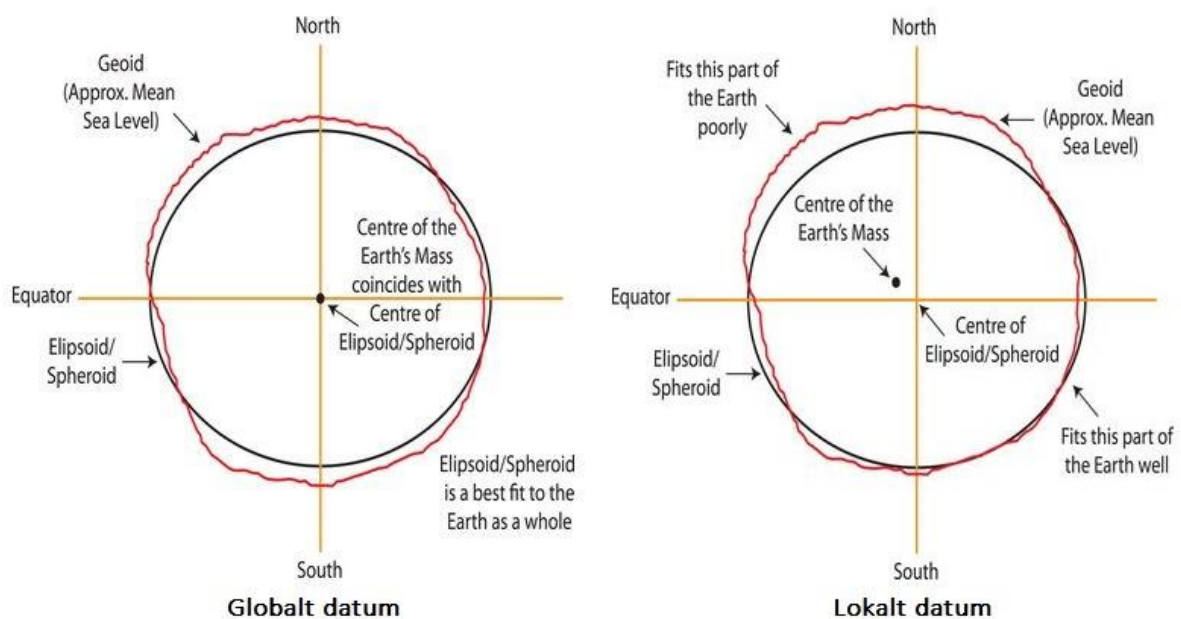
I følge Esri (2013) består et geografisk koordinatsystem av følgende komponenter:

- En vinkelbasert målingsenhet - vanligvis desimalgrader men kan også være grader, minutter, sekunder
- En nullmeridian – vanligvis Greenwich meridianen
- En referanseellipsoide – en matematisk modell som estimerer størrelse og form på jorden
- Et datum – en samling av kjente referansepunkter på jordens overflate som benyttes til å definere det geografiske koordinatsystemet på referanseellipsoiden

«Geografiske koordinatsystemer er gjerne navngitt etter de datum de er basert på. Eksempler er WGS84 (GPS), ETRS89 (Euref89) og ED50.» (Koordinatsystemer og projeksjoner 2014)

### 2.3.2 Datum

Et datum er grunnlaget for alle geografiske koordinatsystem. Datamet består i hovedsak av to deler; referanseellipsoiden og fastmerker. Referanseellipsoiden er en matematisk modell av jordas fasong som alle koordinater blir regnet ut fra. Fastmerker er med på å definere posisjonen til Nordpolen, Sørpolen, ekvator og nullmeridianen. Datumer inneholder ofte enda en matematisk modell av jorda kalt en geoid. Geoiden angir et modellert havnivå for hele jorda, og er som regel mer ujevn enn ellipsoiden. Forskjeller i disse bestanddelene på bakgrunn av utvikling av teknologi og lokale behov gjør at det finnes en rekke forskjellige datum (Statens kartverk 2009). **Figur 21** viser forskjellen på et globalt og et lokalt datum.



Figur 21. Illustrasjon som viser forskjellen på et globalt og et lokalt datum. Hentet fra: <http://www.icsm.gov.au/mapping/datums1.html>

Man skiller mellom tre hovedtyper datum.

#### Geodetisk datum



Består av nødvendige størrelser for entydig å kunne angi posisjoner over hele jorden. I geodetisk datum oppgis alle høyder i forhold til anvendt ellipsoide, derav kalles de for ellipsoidiske høyder. Innenfor geodetiske datum skilles for øvrig mellom geosentriske datum som er knyttet til jordens massesenter, og toposentriske datum som er knyttet til et fundamentalpunkt på jordens overflate med angitt loddavvik og geoidhøyde (Statens kartverk 2009).

### **Vertikalt datum**

Består av nødvendige størrelser for å kunne angi entydige tyngdekraftrelaterede høyder. Det vil si høyder som har verdi påvirket av variasjoner i tyngdekraftens styrke og loddlinjens retning (høyder av typen «høyde over havet»). Vertikale datum knyttes til geoiden (Statens kartverk 2009).

### **Anleggsdatum**

Består av nødvendige størrelser for å kunne angi entydige posisjoner innenfor et begrenset område typisk et anleggsområde (Statens kartverk 2009).

### 2.3.3 Projiserte koordinatsystemer

Man kan representere jorden og dens overflate forholdsvis enkelt ved å benytte en ellipsoidmodell av jorden, men dette er ikke en praktisk løsning i de fleste applikasjoner. Eksempelvis vil man få nedsatt nøyaktighet og detaljeringsnivå med mindre ellipsoiden er veldig stor. I tillegg kan man bare se halve kloden, man kan ikke brette sammen kloden og ta den med seg og man kan ikke vise hele kloden samtidig på en flat dataskjerm. En projeksjon av det geografiske koordinatsystemet løser disse problemene da det er et koordinatsystem som lar deg identifisere plasseringer og måle egenskaper som lengde, areal og form på et flatt kart i lineære enheter. Det består av linjer som skjærer hverandre vinkelrett og på den måten danner et rutenett. Projeksjoner har et origo, en x-akse, en y-akse og en enhet for å måle avstand (Esri 2013).

I følge Esri (2013) består et projisert koordinatsystem av følgende komponenter:

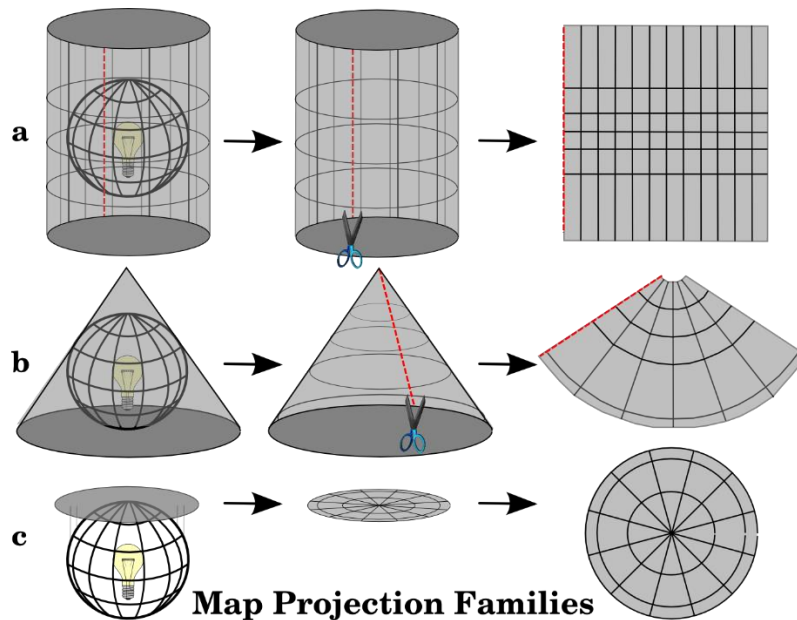
- Et geografisk koordinatsystem – fungerer som grunnlag for å transformere koordinater til et plan
- En lineær målingsenhet – representerer enheter i planet og er vanligvis meter eller fot
- En projeksjon – en matematisk transformasjon som benyttes til å konvertere geografiske koordinater til plankordinater

### **Projiseringsmetoder**

Prosessen ved å generere kartprojeksjoner kan visualiseres ved å sette en lyskilde inne i en gjennomiktig globus med et avtrykk av jordens egenskaper for så å projisere lysbildet på et ark. Ulike



projeksjoner kan produseres ved å stille opp arket rundt globusen på forskjellige måter. **Figur 22** illustrerer de tre projeksjonsfamiliene.



Figur 22. Illustrasjon som viser ulike typer projeksjoner (Coordinate reference systems 2014)

Eksempler på slike projeksjoner kan være:

Sylinder:

- Mercator
- Transversal Mercator (også kalt Gauss-projeksjonen)

Kjegle:

- Polykonisk
- Lamberts konforme kjegleprojeksjon

Plan:

- Stereografisk
- Gnomonisk

(Statens kartverk 2009)

#### 2.3.4 Romlige egenskaper og forvrengning

Verden er mer eller mindre rund, dermed kan man ikke lage et plant kart av den uten å endre noen av proporsjonene. Man er nødt til å gjøre noen ting bredere, smalere, større, nærmere eller lengere unna enn hva de egentlig er. Projiserte koordinatsystemer forvrenger verden. Alle kart har en viss mengde

forvrengning. I små kart er kanskje forvrengningen neglisjerbar, men i store kart vil den bli signifikant.

Det er fire romlige egenskaper som blir påvirket av forvrengning ved projisering:

- Form
- Område
- Avstand
- Retning

Noen kart bevarer en egenskap, andre bevarer to, men ingen bevarer mer enn to. Noen bevarer ingen egenskaper, men gjengir alle med en liten grad av forvrengning. Projeksjoner organiseres ofte etter hvilken egenskap de bevarer slik som vist i **Tabell 1**.

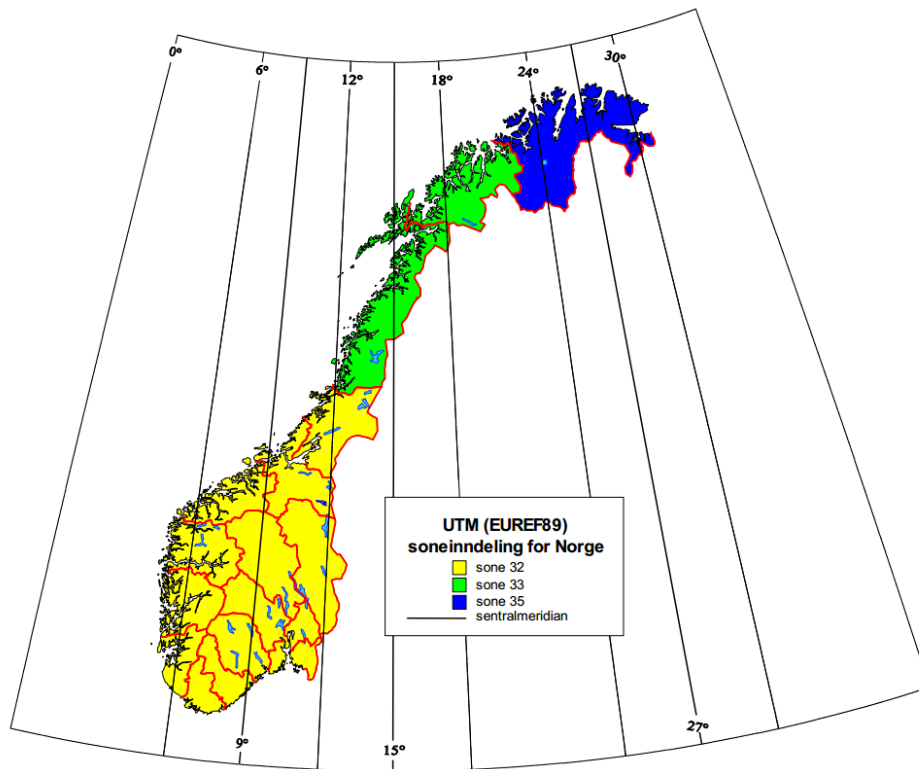
Tabell 1. Oversikt over ulike typer projeksjoner og hvilke egenskaper disse bevarer (Esri 2013)

Type projeksjon	Egenskap som bevares
Konform	Form, men ikke areal
Likt areal	Areal, men ikke form
Lik avstand	Avstand fra et eller to punkt til alle andre punkt
Azimuth	Retning fra et eller to punkt til alle andre punkt
Gnominsk	Kortest rute (avstand og retning), men bevarer ikke areal
Kompromiss	Ingen, men forvrenger alle egenskaper litt

### 2.3.5 EUREF89

«EUREF89 UTM (Universal Transversal Mercator-projeksjon) er i løpet av 1. halvår 2009 innført som offisielt datum og projeksjon i alle landets kommuner. Innføringen av EUREF89 har gitt oss et moderne, homogent og nøyaktig geodetisk grunnlag som for de fleste praktiske formål kan ansees som feilfritt» (EUREF89 NTM 2009)

«For Norges hovedland og Svalbard skal kartplankoordinater oppgis som UTM-koordinater. I norske tekniske og økonomiske kartserier benyttes sonene 32 for Syd-Norge til og med Nord-Trøndelag, sone 33 for Nordland og Troms, og sone 35 for Finnmark. Se **Figur 23**. Dette er i tråd med Miljøverndepartementets anbefaling i veilederen Kartgrunnlag for plan- og byggesaksbehandlingen.» (Statens kartverk 2009)

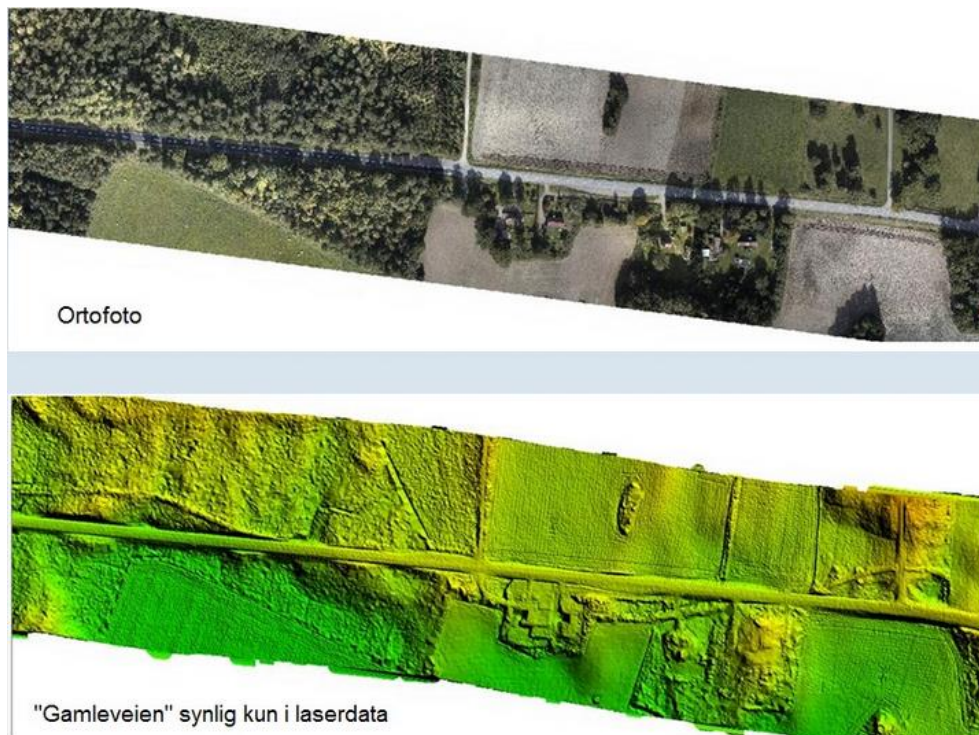


Figur 23. Oversikt over inndeling av soner for UTM [EUREF89] i Norge (Statens kartverk 2009)

UTM er et system som deler jorden mellom lengdegrad 80°S og 84°N inn i 60 soner som alle bruker transverse mercator projeksjonen. Hver sone er på 6° breddegrad slik at de kan vise store nord-sør områder med svært lav grad av forvrengning.

## 2.4 FLS – Flybåren laserskanning

Fram til 2006 ble nesten all høydedata skaffet til veie ved fotogrammetrisk konstruksjon ved hjelp av vertikalbilder fra stereoinstrumenter. I dag er flybåren laserskanning blitt en vanlig måte å samle inn høydedata på. I dag er det normalt å laserskane et område med punktetthet på 0,5 – 5 pkt/m<sup>2</sup> avhengig av områdets karakter, brukernes behov og finansieringsvilje. En standardleveranse fra et laserskanningsprosjekt leveres med 1-meters høydekurver og en klassifisert punktsky på standardformat(las) som skiller mellom bakke, støy, vann, bru og uklassifiserte punkter (*Laserskanning* 2014). Dette datagrunnlaget kan benyttes til å etablere både høydemodeller og digitale terrengmodeller slik som vist i **Figur 24**.

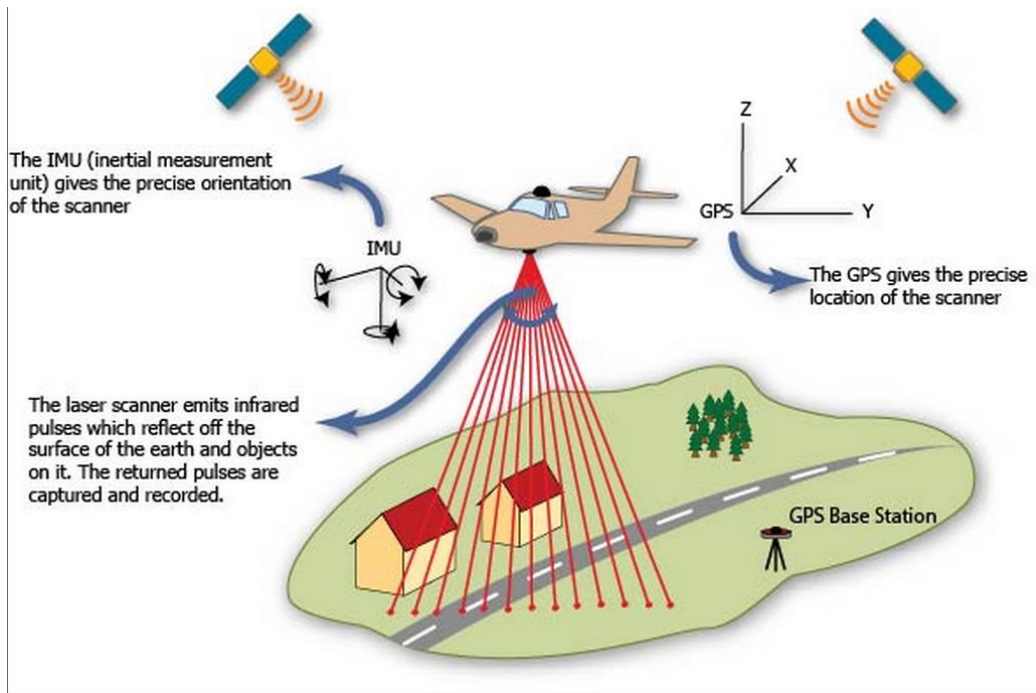


Figur 24. Illustrasjonen viser eksempel på hva man kan observere fra et ortofoto sammenliknet med en DTM fra LiDAR data. Hentet fra: [http://www.terratec.no/lidar\\_data\\_klassifisering/cms/71](http://www.terratec.no/lidar_data_klassifisering/cms/71)

#### 2.4.1 Metodikk

LiDAR er en optisk fjernmålingsteknikk som benytter infrarødt laserlys for å måle avstander til terreng og objekter. LiDAR systemer innenfor flybåren laserskanning sender ut laserpulser med variabel styrke og frekvens mens man flyr over området som skal måles inn. Utgående laserpulser blir reflektert av bakken og objekter på overflaten og fanget opp av en LiDAR sensor som vist i **Figur 25**. Ved å måle tiden før pulsene returneres, kan man beregne avstanden til objektet. Ved å samle inn flere hundre tusen slike punkter hvert sekund kan bakke, trær, veier og objekter modelleres med ekstremt høy nøyaktighet (*Flybåren laserskanning* 2014).

GPS benyttes for å stedfeste de målte punktene i terrenget med koordinater.



Figur 25. Metodisk illustrasjon av FLS (Airbourne Laser Scanning 2014)

#### 2.4.2 Bruksområder

Høydedata med høy oppløsning og god nøyaktighet har mange bruksområder. Statens kartverk nevner følgende eksempel:

- Av kommuner og sentrale myndigheter til detaljeringsplanlegging, byggetillatelse nært vann eller flomveier, beredskapsplanlegging for klima og miljø, støyberegninger, risiko- og krisehåndteringsammenheng
- Av luftfartsmyndighetene som benytter detaljert høydedata rundt landets flyplasser til å øke flysikkerheten
- Av skogbruket til plan, drift, taksering, klimaregnskap og biomasseberegning
- Av forsikringsbransjen som benytter høydeinformasjon til å beregne risiko ved forsikrede objekter
- Av vindkraftindustrien for å optimalisere plassering av vindkraftverk
- Av mobiltelefonoperatører for å vurdere signalutbredelse ved planlegging av mobilmaster og dermed få optimal plassering av disse

(Laserskanning 2014)

### 2.4.3 Stedfestingsnøyaktighet

Detaljeringsgrad og stedfestingsnøyaktighet på laserdata (LiDAR-data) kan variere ut fra hvilket formål datasettet er tenkt benyttet til. Innenfor produktspesifikasjonen for FKB-Laser finnes det tre delspesifikasjoner, FKB-Laser10, FKB-Laser20 og FKB-Laser50. FKB-Laser10 har høyest detaljeringsgrad og stedfestingsnøyaktighet. Kravene til de ulike produktspesifikasjonene vises i **Tabell 2**.

Tabell 2. Oversikt over kvalitetskrav for FKB-Laser10, FKB-Laser20 og FKB-Laser50 (Statens Kartverk 2013b)

Kvalitetsэлеment	Delelement	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 %

## 2.5 FKB – Felles KartdataBase

### 2.5.1 Beskrivelse

FKB er Norges offentlige kartverk i digital form. Det består av en samling vektordatasett som til sammen utgjør det offentlige kartgrunnet. Statens kartverk og kommunene samarbeider om å skaffe til veie dataene men også andre etater kan bidra med karttemaer (Mæhlum 2011).

Dataeier for FKB-spesifikasjonene er Geovekst-samarbeidet. Det er et samarbeid om felles etablering, forvaltning, drift, vedlikehold og bruk av geografisk informasjon.

I følge Statens Kartverk (2013a) består partene i Geovekst-samarbeidet av:

- Statens vegvesen
- Energi Norge
- KS (kommunesektorens organisasjon)
- Kartverket
- Telenor

- Landbruksdepartementet med underliggende etater
- Norges vassdrags- og energidirektorat

«Datainnholdet i FKB er derfor begrenset til det de kartdataene som partene i Geovekst-samarbeidet ønsker å forvalte og finansiere. FKB-data er data som samsvarer med FKB-spesifikasjonene i SOSI-standard –Produktspesifikasjon for FKB.» (Statens Kartverk 2014a)

FKB bygger på prinsippet om uavhengige primærdatasett. Det betyr at primærdatasettene ikke er avledet av andre datasett og ajourføres uavhengig av andre datasett. De ulike datasettene lever på den måten atskilt fra hverandre og et objekt tilhører kun ett primærdatasett. Årsaken til at primærdatasettene er uavhengige er at disse holdes ved like av ulike instanser, til ulik tid og med ulike verktøy.

Følgende primærdatasett inngår i FKB:

- |              |                 |                |
|--------------|-----------------|----------------|
| ➤ Høydekurve | ➤ BygnAnlegg    | ➤ Ledning      |
| ➤ Vann       | ➤ Veg           | ➤ PbTiltak     |
| ➤ Servitutt  | ➤ Vegnett       | ➤ Eiendomskart |
| ➤ AR5        | ➤ TraktorvegSti | ➤ Adresse      |
| ➤ Naturinfo  | ➤ Bane          | ➤ Verneområde  |
| ➤ Arealbruk  | ➤ Lufthavn      | ➤ Kulturminne  |
| ➤ Bygning    | ➤ LedningVa     | ➤ Fastmerk     |



## 2.5.2 Formål

I følge Statens Kartverk (2014a) er FKB en samling datasett som alene eller sammen med andre data skal kunne benyttes til:

- Forvaltningsmessig saksbehandling i kommuner, vegvesen og ledningsetater
- Saksbehandling knyttet til plan- og bygningsloven med forskrifter (jf. Veilederen Kartgrunnlag for plan- og byggesaksbehandling)
- Prosjekteringsformål
- Analyse og presentasjon i et integrert informasjonssystem (GIS-system)
- Produksjon av kart og avledende produkter med forskjellig krav til innhold, detaljering og stedfestingsnøyaktighet.

## 2.5.3 Stedfestingsnøyaktighet

Det er spesifisert FKB-standarder (FKB-A, FKB-B, FKB-C og FKB-D) som skal dekke behovet for felles kartdatabase i ulike områdetyper (**Tabell 3**). Innhold og stedfestingsnøyaktighet i FKB varierer i de ulike standardene, med størst detaljering og stedfestingsnøyaktighet i A-standard og minst i D-standard (Statens Kartverk 2014a).

Tabell 3. Oversikt over ulike FKB-standarder og hvilke områdetyper de tilhører (Statens Kartverk 2014a)

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

For å angi toleranser for stedfestingsnøyaktighet (standardavvik) er det definert fire klasser som objekttypene er inndelt i. Inndelingen i klasser bygger på hvor skarpt objekttypen er definert i terrenget. Denne inndelingen i nøyaktighetsklasser (**Tabell 4**) benyttes gjennomgående for alle datasett som inngår i Fotogrammetrisk FKB (Statens Kartverk 2014a).



Tabell 4. Oversikt over ulike klasser av stedfestingsnøyaktighet (Statens Kartverk 2014a)

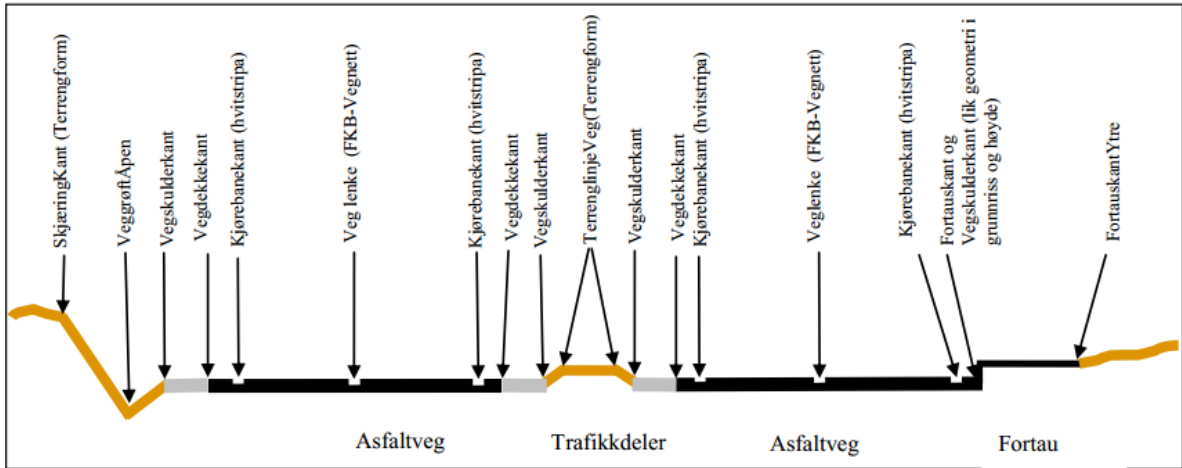
FKB-STANDARD		Nøyaktighetsklasse			
		Klasse 1 Svært veldefinerte detaljer	Klasse 2 Veldefinerte detaljer	Klasse 3 Uskarpe detaljer	Klasse 4 Diffuse naturlige detaljer
FKB-A	Grunnriss	0.15 m	0.20 m	0.35 m	0.55 m
	Høyde	0.15 m	0.20 m	0.25 m	0.35 m
FKB-B	Grunnriss	0.20 m	0.25 m	0.35 m	0.55 m
	Høyde	0.20 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)

#### 2.5.4 FKB – Veg

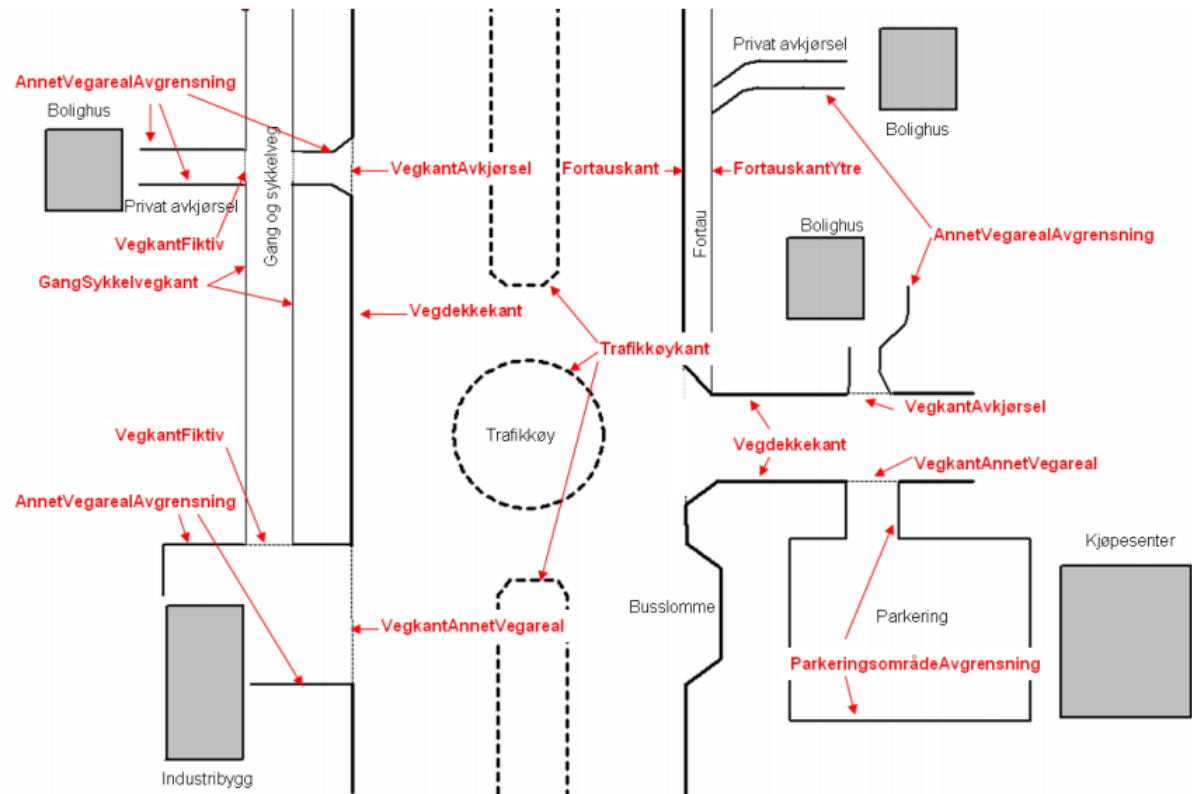
FKB-data for veg er inndelt etter objekttyper og hovedsakelig i flater, flateavgrensende linjer, andre avgrensningslinjer og andre objekter. Disse er listet opp i **Tabell 5** og noen av dem er illustrert i **Figur 26** og **Figur 27**. Disse skal til sammen beskrive alle elementer som beskriver veglegemets geometri.

Tabell 5. Oversikt over alle objekter som inngår i FKB – Veg (Statens Kartverk 2014b)

FKB-Veg Objektinndeling			
Flate	Flateavgrensende Linjer	Andre Avgrensende Linjer	Andre Objekter
Veg	Fortauskant	AnnetVegarealAvgrensning	Trafikksignalpunkt
GangSykkelveg	GangSykkelvegkant	FartsdemperAvgrensning	Skiltportal
Parkeringsområde	ParkeringsområdeAvgrensning	FeristAvgrensning	Vegsperring
Trafikkøy	Trafikkøykant	FortauskantYtre	Veggrøftåpen
Traktorveg	Traktorvegkant	GangfeltAvgrensning	Vegrekkverk
	Vegdekkekant	Gangvegkant	
	VegkantAnnetVegareal	Kjørebane kant	
	VegkantAvkjørsel	VegoppmerkingLangsgående	
	VegkantFiktiv	Vegskulderkant	



Figur 26. Illustrasjon som viser tverrsnitt av en kjørebane og hvilke objekter fra FKB –Veg som inngår i denne (Statens Kartverk 2014b)



Figur 27. Oversiktsbilde som illustrerer bruk av ulike objekter fra FKB –Veg (Statens Kartverk 2014b)

For ytterligere spesifisering og beskrivelse av objekter henvises det til «SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Veg» (Statens Kartverk 2014b).

## Stedfestingsnøyaktighet

Tabell 6. Oversikt over objekter fra FKB- Veg og hvilke klasser for stedfestingsnøyaktighet disse tilhører (Statens Kartverk 2014b)

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

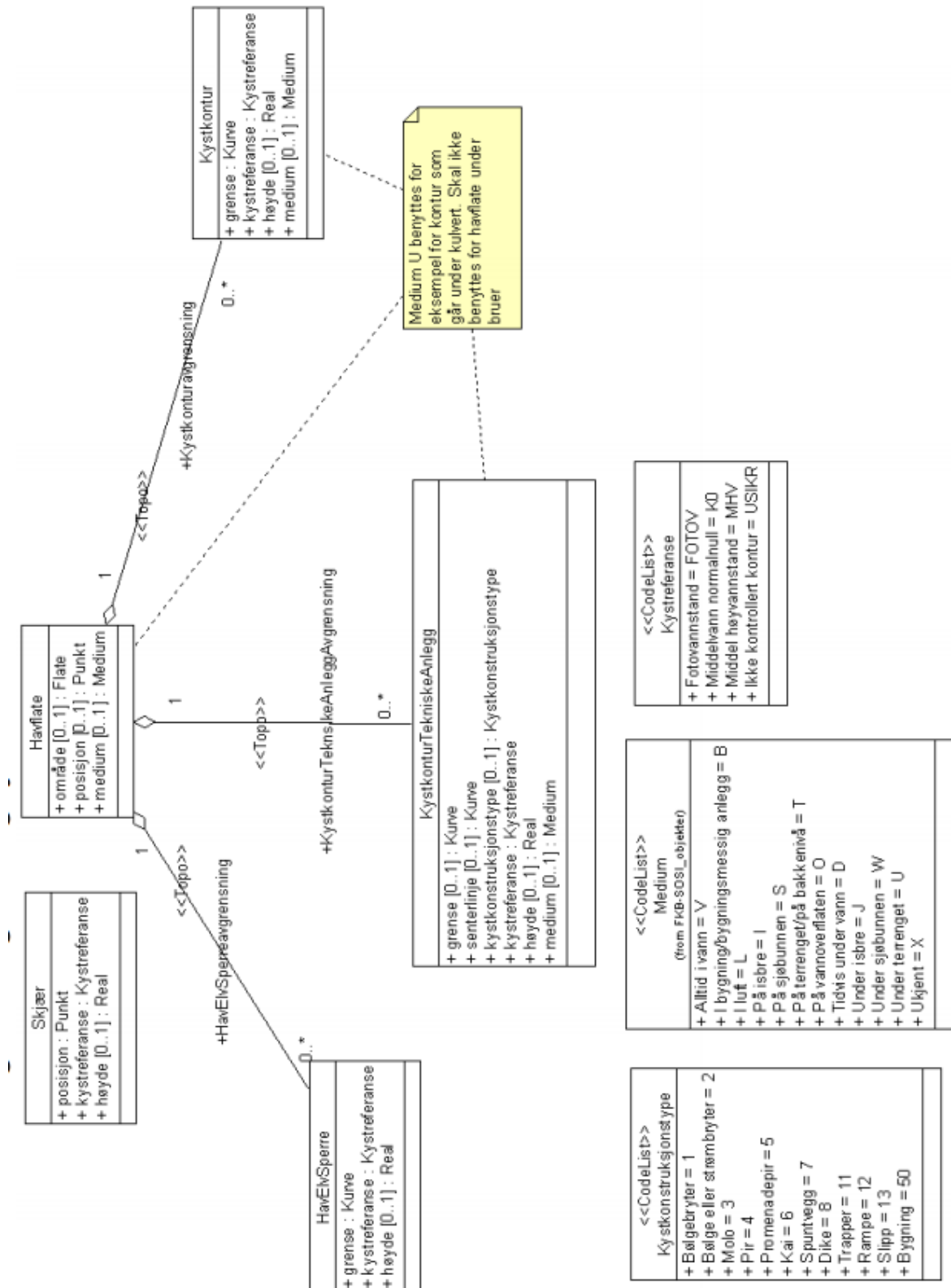
### 2.5.5 FKB – Vann

Samling av objekter som beskriver geografisk beliggenhet, forløp og form for bekker, elver, kanaler, grøfter, innsjøer, isbreer og den topografiske delen av kyst og sjø. Objektene navngis i **Tabell 7**.

Tabell 7. Oversikt over objekter som inngår i FKB – Vann.

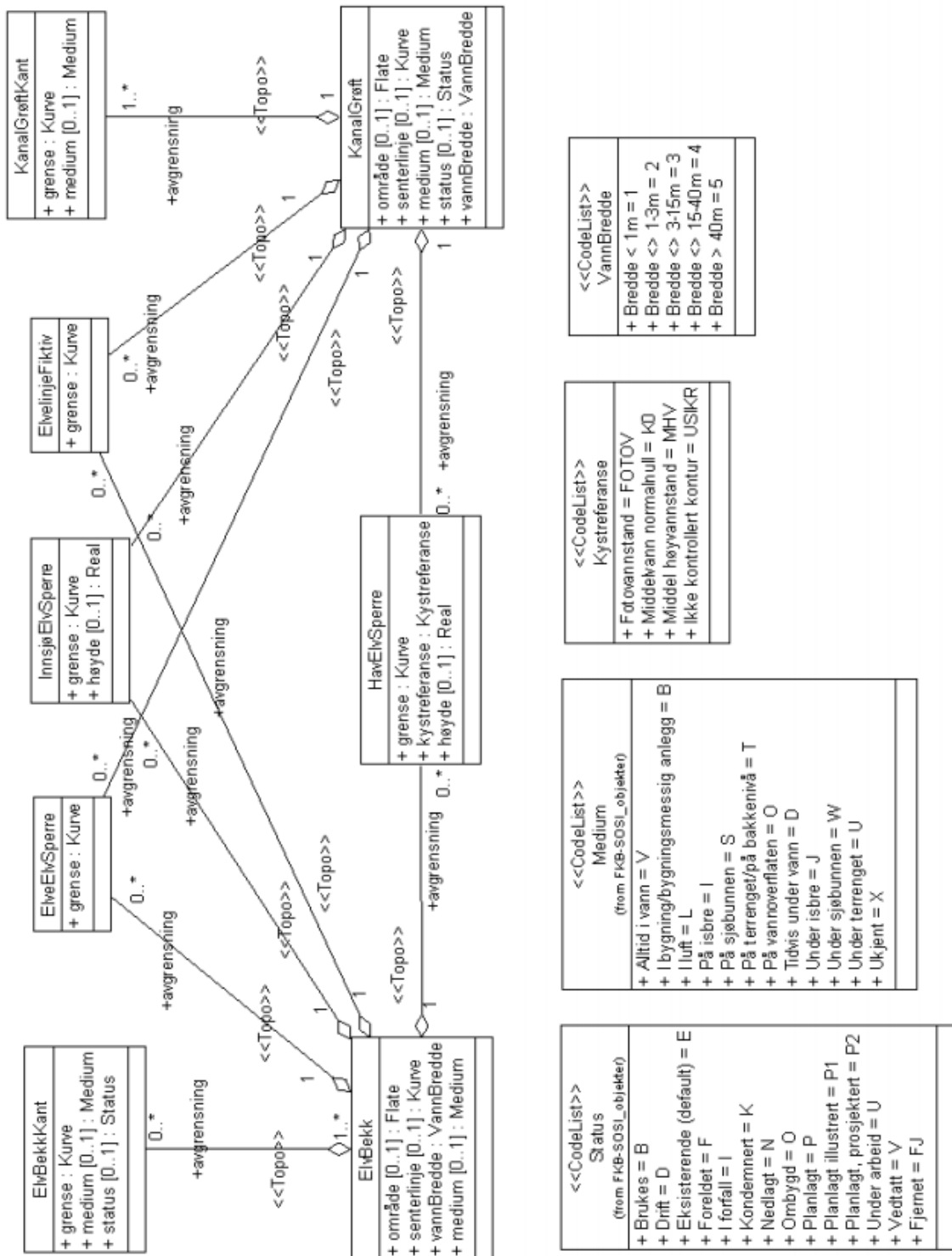
FKB-Vann Objektoversikt		
Flate	Avgrensende Linjer	Andre Objekter
Havflate	HavElvSperre	Skjær
ElvBekk	KystkonturTekniskeAnlegg	Navigasjonsinstallasjon
KanalGrøft	Kystkontur	
Innsjø	SnøisbreKant	
Snøisbre	Kanalgrøftkant	
	ElvBekkKant	
	Innsjøkant	
	ElveElvSperre	
	InnsjøElvSperre	
	ElvelinjeFiktiv	
	HavElvSperre	
	Innsjølinjefiktiv	
	Flomløpkant	
	InnsjøkantRegulert	

## Avgrensning land og sjø



Figur 28. Diagram som viser sammenheng mellom objekter som avgrensner land og sjø (Statens kartverk 2011)

## Elver og bekker



Figur 29. Diagram som viser sammenheng mellom objekter som avgrensner flater for elver og bekker (Statens kartverk 2011)

For ytterligere spesifisering og beskrivelse av objekter henvises det til «SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Vann» (Statens kartverk 2011).

## Stedfestingsnøyaktighet

Tabell 8. Oversikt over objekter for FKB – Vann og hvilke klasser for stedfestingsnøyaktighet disse tilhører (Statens kartverk 2011)

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

### 2.5.6 FKB – Bygning

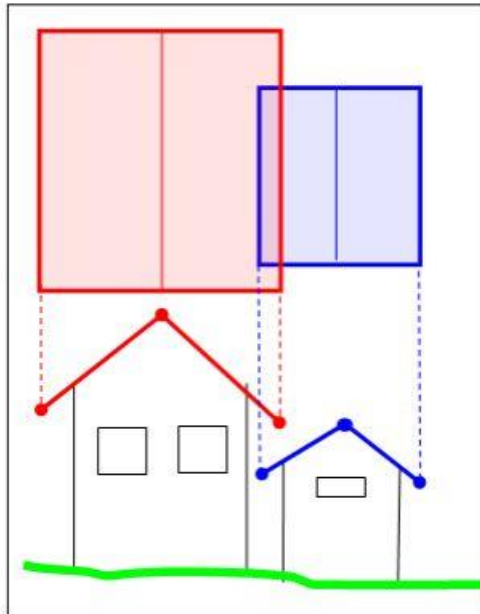
Omfatter beskrivelse av alle typer bygninger, takoverbygg, beskrivende bygningslinjer samt bygningsvedheng. I FKB – Bygning inngår det ofte svært detaljert data om bygningen. I forhold til å bygge en forenklet terrengmodell for hydrologiske analyser er mye av denne dataen overflødig da man hovedsakelig er interessert i å bestemme bygningsflatens plassering i terrenget.

For å definere disse flatene får man tilstrekkelig data ved å benytte FKB-objektene «Bygning» og «AnnenBygning»

### Stedfestingsnøyaktighet

Bygning- og AnnenBygnings plassering i terrenget er ofte angitt ved takkantriss som vist i **Figur 30**, eller grunnmurriss. Stedfestingsnøyaktighet for takkantriss og grunnmurriss vises i **Tabell 9**.





Figur 30. Illustrasjon som viser hva som menes med takriss (Statens kartverk 2013c)

Tabell 9. Oversikt over objekter som inngår i FKB – Bygning og hvilke klasser for stedfestingsnøyaktighet disse tilhører (Statens kartverk 2013c)

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	

For ytterligere spesifisering og beskrivelse av objekter henvises det til «SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Bygning» (Statens kartverk 2013c).



## 3 Metodikk

Metodikken for å bygge den digitale terrenngmodellen samt gjennomføre de hydrologiske analysene er utarbeidet med bakgrunn i Jutta Meiforth's rapport «Modelling flood streams for urban planning in Trondheim, Norway» (Meiforth 2013)

### 3.1 PC-spesifikasjoner

Alle operasjoner er gjort på en PC med følgende spesifikasjoner:

OS:	Windows 8.1 64-bit
Prossessor:	Intel Celron N2920 @ 1,86 GHz
RAM:	4 GB
HD:	500 GB

### 3.2 Programvare

Programvare som ble benyttet til å bygge DTM samt gjennomføre hydrologiske analyser og sinks analyser var ArcGIS Desktop 10.2 med utvidelsene «spatial analyst» og «3D analyst»

### 3.3 Forutsetninger

I urbane strøk vil rørsystemer for overvann og avløpsvann har stor innvirkning på dreneringslinjer for flomvann. I denne oppgaven ble det valgt å se på et «worst-case scenario» hvor en vinterflom var forårsaket av regn og snøsmelting kombinert med at snø og is hindret vannet i å nå overvannsnettlet/avløpsnettlet.

I et slikt scenario ville mesteparten av vannet renne av på overflaten da grunnen var frossen og ikke kunne holde på vann. Temperaturen ville være litt over 0 °C slik at nedbør ikke kunne akkumulere i form av snø. Derfor ble dreneringsfaktor for alle overflater antatt å være 1.

Siden det ble antatt at grunnen var frossen ville heller ikke infiltrasjon eller grunnvannstrømning påvirke modellen. Heller ikke sjøheving ble tatt hensyn til.



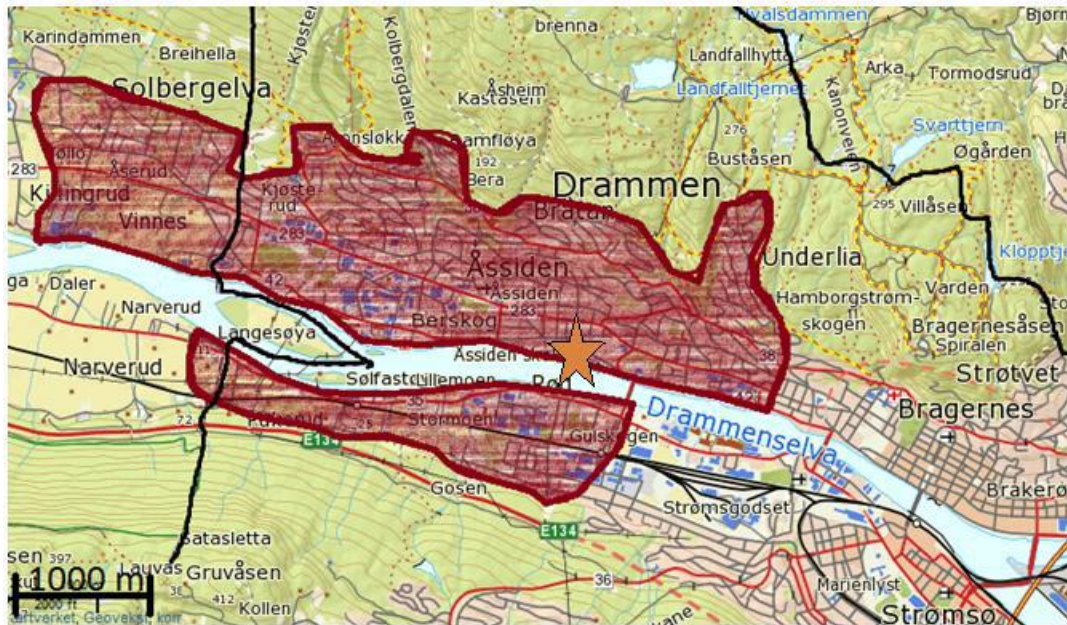
Figur 31. Typisk vinterflomsituasjon som tilsvarer det scenarioet som modellen er tiltenkt (Meiforth 2013)

### 3.4 Analyseområde

For denne oppgaven ble et areal i Drammen kommune valgt som forsøksområde. Området er omtrent 10 km<sup>2</sup> stort og befinner seg ved Åssiden/Brageres i Drammen (**Figur 32**). Analyseområdet dekker den delen av Muusøya avløpsrensedistrikt som ligger nord for Drammenselva (**Figur 33**). Området refereres derfor til som Muusøya. Det var naturlig å benytte dette området til testing av metodikk da hele arealet drenerer ned til Drammenselva og derfor ville gi fornuftige forhold for å teste hydrologiske analyser.



Figur 32. Rød linje viser avgrensning for analyseområdet ved Åssiden/Brageres i Drammen.



Figur 33. Viser avgrensning for Muusøya avløpsrensedistrikt før Mai 2012. Figur hentet fra (Dessrud 2013)

### 3.5 Data til terrengmodell

For å konstruere en DTM for analyseområdet måtte terrengdata skaffes til veie. LiDAR-data og FKB-data ble skaffet til veie gjennom Drammen kommune.

#### 3.5.1 LiDAR-data

Laserskanning av Drammen kommune ble gjennomført av TerraTec AS på oppdrag fra Drammen kommune den 21.06.2010.

Data ble mottatt på .las format fra Drammen kommune. I rapporten fra TerraTec ble det opplyst om at terrengpunkter og ikke-terrengpunkter var klassifisert med henholdsvis klasse 2 og 1.

Standardavvik for stedfestingsnøyaktighet på LiDAR-data var på 0,033m (ref **Vedlegg 1**). Dette kvalifiserer til FKB-Laser10 som er den klassen data med høyest stedfestingsnøyaktighet.

Mottatt data foreligger i koordinatsystemet Euref89 UTM sone 32

#### 3.5.2 FKB

FKB-data for veg, vann og bygg ble tilsendt fra Drammen kommune.

Data for denne typen område skal være av FKB-standard A-B. Det vil si at den har en stedfestingsnøyaktighet som vist i **Tabell 10**.

FKB-data foreligger alltid i koordinatsystemet Euref89 (ref. kap. 2.3.5)

Tabell 10. Sammenfattet oversikt over stedfestingsnøyaktighet for benyttet FKB-data.

Stedfestingsnøyaktighet for FKB-grunnlag		
Grunnlag		Stedfestingsnøyaktighet [m]
FKB-veg	Høydenøyaktighet	0,15-0,20
	Grunnrissnøyaktighet	0,15-0,35
FKB-vann	Høydenøyaktighet	0,15-0,35
	Grunnrissnøyaktighet	0,15-0,55
FKB-bygning	Høydenøyaktighet	0,15-0,20
	Grunnrissnøyaktighet	0,15-0,20

### 3.6 Forberedelse av data for generering av DTM

#### 3.6.1 LiDAR-DATA

LiDAR-data måtte først konverteres til multipoint-format og legges i en geodatabase for å kunne benyttes til integrering i en terrainfil. Verktøyet «LAS to Multipoint» ble benyttet for konverteringen.

Stegvis framgang:

1. Opprettet en ny «filegeodatabase»
2. Opprettet nytt «feature dataset»
3. Benyttet verktøyet «Las to Multipoint» med følgende innstillinger:

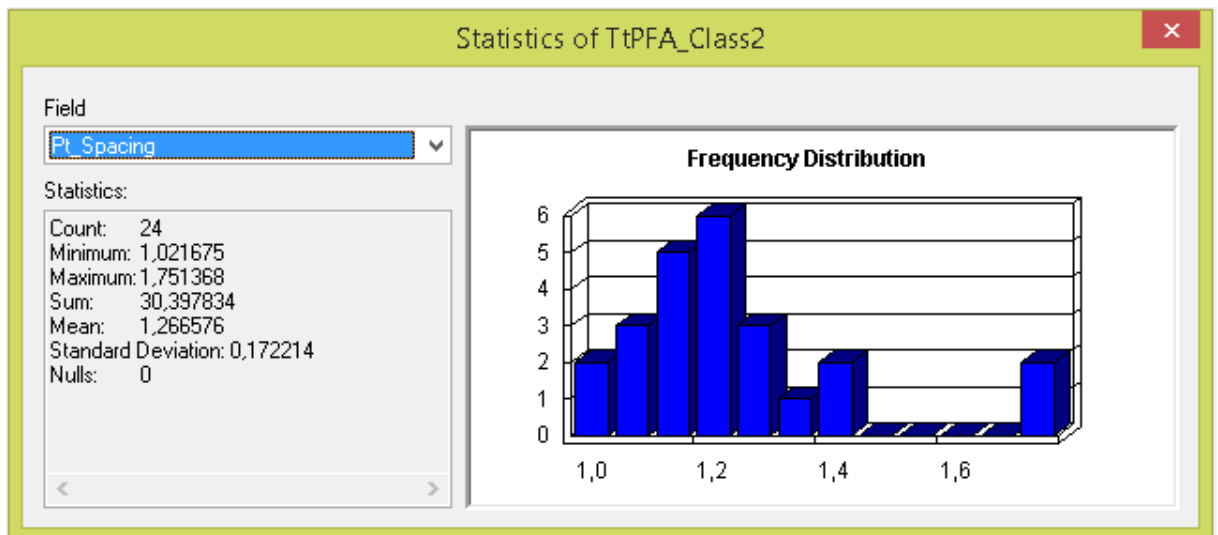
**Output Feature Class:** Destinasjon inni det opprettede feature dataset.

**Class Code:** Datasettet var klassifisert med to klasser: Terrengpunkter (class 2) og ikke-terrengpunkter(class 1). Bare terrengpunkter, class 2, ble valgt.

**Average Point Spacing:** Verktøyet «Point File Information Analysis» ble benyttet for .las-filene som var gjeldende for forsøksområdet. Den viste en «average point spacing» på 1,27m hvis punkter med bare class 2 ble betraktet (**Figur 34**). Derfor ble denne satt til 1,3m.

**Return:** Siden bare class 2 allerede var valgt med seleksjon, kunne denne innstillingen stå på «ALL RETURNS».





Figur 34. Viser resultatet fra en «point file information analysis» på LiDAR-data fra forsøksområdet.

### 3.6.2 FKB DATA

#### Clip Polygon Feature

Det ble konstruert en «clip polygon feature» for analyseområdet. Det ble gjort ved å lage en ny polygonfeature datafil, for så å editere denne ved å tegne opp et polygon som dekket det aktuelle området. Dette ble i praksis avgrensingen for analyseområde.

#### Breaklines

FKB data på vektorformat er linjer (polylines) eller flater (polygones) som benyttes for å representere egenskaper i modellen som ikke er tilstrekkelig representert ved hjelp av LiDAR-data. Ved å legge til slike vektorlinjer, øker man punkttettheten i modellen og man får en mer hydrologisk korrekt terrengmodell (Meiforth 2013).

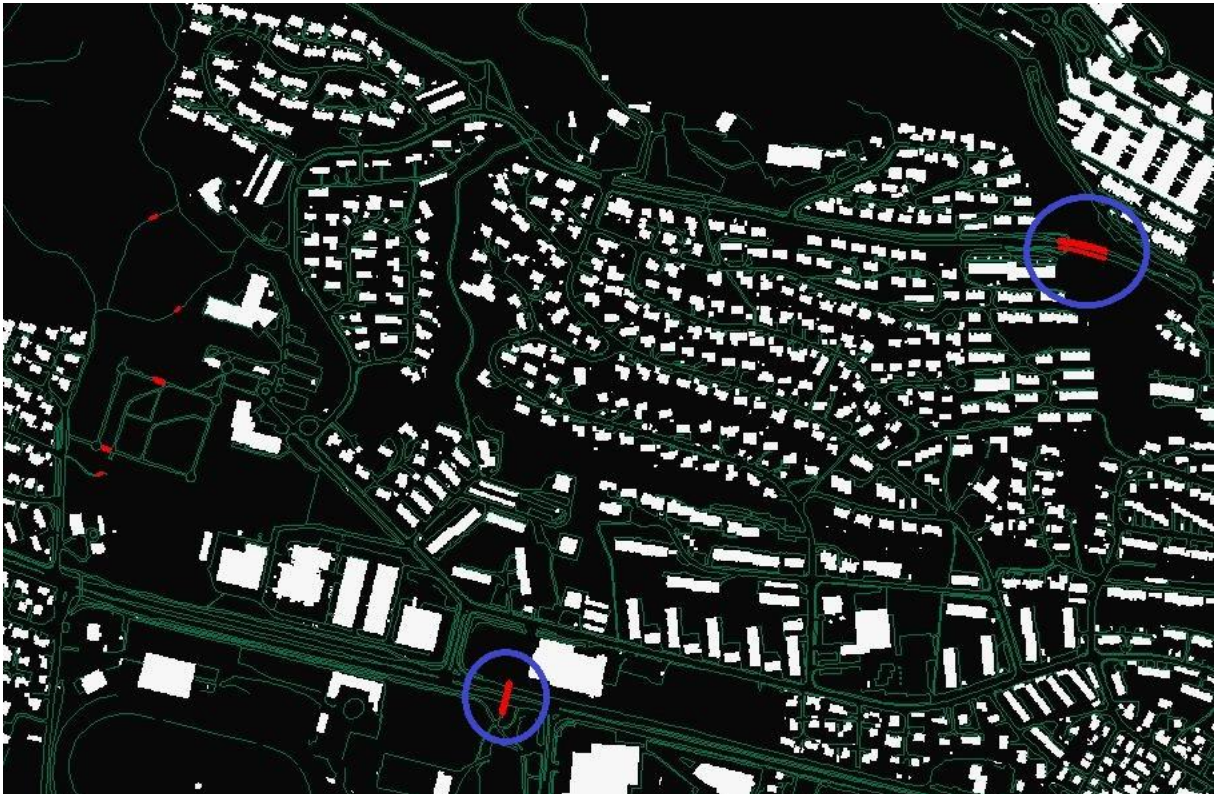
For breaklines ble det konstruert to datasett for henholdsvis vegkantlinjer og vannkantlinjer. Hvilke linjer disse datasettene skulle bestå av er basert på Meiforth (2013) prøv-og-feil-prosess. Verktøyet «Merge» ble benyttet for å samle nødvendig FKB-data i samme «feature».

##### 1. FKB - Veg

Filen som ble benyttet til breaklines for veg ble satt sammen av et utvalg av FKB-data som representerer vegkantlinjer. I Norsk standardformat for FKB-data heter disse:

AnnetVegarealAvgrensning, Fortauskant, FortauskantYtre, GangSykkelvegkant, Gangvegkant, ParkeringsområdeAvgrensning, Trafikkøykant, Traktorveg, Traktorvegkant, Vegdekkekant, VeggrøftÅpen og VegkantAnnetVegareal.

Vektordata med attributtbetegnelse «Medium = 'L'» er benyttet for å markere overganger og bruer. Data med denne betegnelsen ble fjernet ved hjelp av attributtseleksjon. Disse var ikke ønskelig å ha med som breaklines i terrengmodellen siden det da kunne oppstå hindringer for vannstrømmen som i realiteten ikke eksisterte. Innenfor analyseområdet var det to bruer av betydelig størrelse som kunne gjøre utslag for drenslinjene (**Figur 35**).



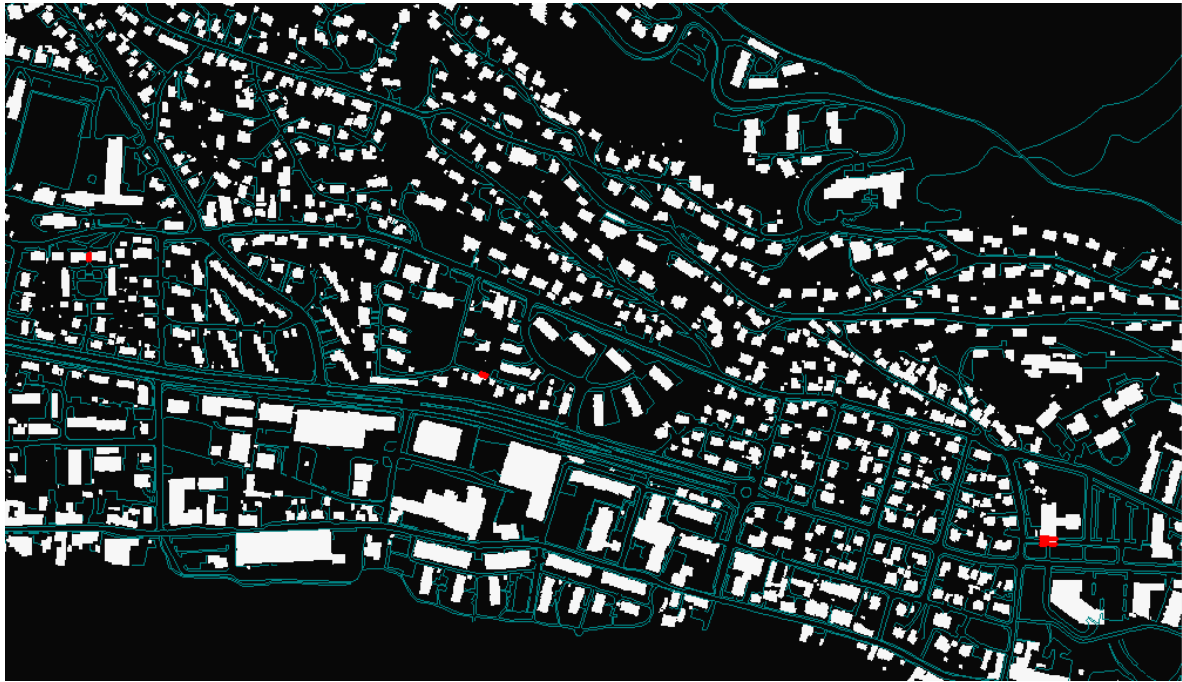
*Figur 35. Viser i rødt eksempler på FKB-data med attributtbetegnelsen «Medium = 'L'» som ikke ble tatt med i terrengmodellen. Blåe sirkler markerer 2 bruer som kunne bli av betydning*

Vektordata med attributtbetegnelsen «Medium = 'U'» er benyttet for å markere underganger og tuneller. Data med denne betegnelsen ble i all hovedsak tatt med som breaklines i modellen, med unntak av tilfellet som vises i **Figur 36**.



Figur 36. Viser i rødt FKB-data med attributtbetegnelsen «Medium = 'U'» som ikke ble tatt med i terrengmodellen

Vektordata med attributtbetegnelsen «Medium = 'B'» er benyttet for å markere veg som går under bygninger. I analyseområdet opptrer denne markeringen bare ved 3 tilfeller (**Figur 37**) og det ble ikke gjort tiltak da disse tilfellene ikke vil påvirke modellen betydningsverdig.



Figur 37. Viser i rødt FKB-data med attributtbetegnelsen «Medium = 'B'» som ikke ble tatt hensyn til i modellen

## 2. FKB - Vann

Filen som ble benyttet til breaklines for vannlinjer ble satt sammen av et utvalg av FKB-data som representerer vannkantlinjer. I Norsk standardformat for FKB-data heter disse:

ElvBekk, ElvBekkKant, ElveElvSperre, Innsjøkant, KanalGrøft, KanalGrøftKant, Kystkontur og KystkonturTekniskeAnlegg.

### **Vannflateområder**

Områder klassifisert som innsjø og hav ble lagt til i terrenngmodellen som «hard replace» i terrenget. Det vil si at disse områdene ble erstattet med polygoner. I praksis vil dette si at de i terrenngmodellen anses som glatte og flate områder med homogen høyde.

Verktøyet «Merge» ble benyttet for å samle nødvendig FKB-data i samme «feature».

Filen som ble benyttet for å representere vannflater består av et utvalg av FKB-data som representerer vannflater. I Norsk standardformat for FKB-data heter disse:

Havflate, Innsjø

### **Bygninger**

For å heve bygninger i terrenngmodellen ble det laget en egen raster for bygninger slik at denne kunne settes sammen med raster fra høydemodellen. Det var viktig at vannet strømmet rundt bygninger for



at terrengmodellen skulle bli korrekt. Og siden LiDAR-data ikke var godt nok klassifisert til å skille bygninger fra, for eksempel biler, så ble det nødvendig å skape en egen raster for bygninger. For å lage denne rasteren ble aktuell FKB-data for bygg samlet i en «feature class file». Deretter ble denne filen «clippet» etter samme polygon som høydemodellen. Det ble lagt til en ny kolonne i denne filen med navn «HOYDE». Ved å benytte «field calculator» ble verdien på denne kolonnen satt til 30. Videre ble verktøyet «feature to raster» benyttet for å skape en rasterfil med HOYDE som kildeverdi. Etterpå ble verktøyet «reclassify» benyttet på rasterfilen for å reklassifisere områder med «NoData» verdi for høyde til «0» verdier. Utsnitt av denne rasteren vises i **Figur 38**.



*Figur 38. Utsnitt av raster bestående utelukkende av data for bygninger*

Filen som ble benyttet til dette formålet består av et utvalg FKB-data som representerer bygninger. I Norsk standardformat for FKB-data heter disse:

Bygning og AnnenBygning.

### 3.7 Konstruksjon av DTM

Når alle steg under forberedelse av data var gjennomført var det klart for å bygge terrengmodellen. Det ble gjort i 3 steg.

## 1. Bygge terrain

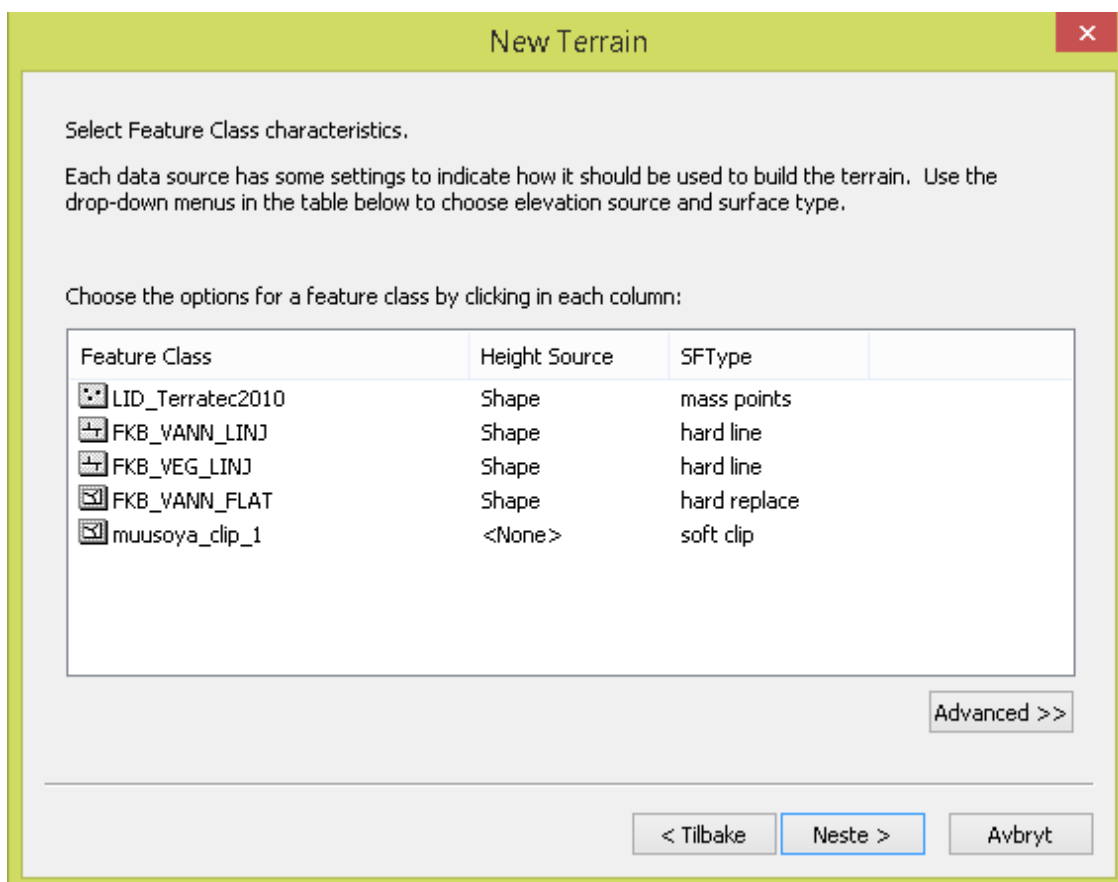
I file geodatabasen ble det opprettet et «new feature dataset». Datasettet fungerer som en mappe og filer med følgende karakteristikker ble samlet i denne:

- LiDAR-data på multipoint format (terrengpunkter)
- Polygonlinjer av FKB-data for veg (hard line for veg)
- Polygonlinjer av FKB-data for vannlinjer (hard line for vann)
- Polygoner av FKB-data for vannflater (hard replace for vannflater)
- Polygon som avgrenset analyseområdet (soft clip for avgrensning av området)

Ved å høyreklikke på datasettet ble «new terrain» valgt for å bygge en terrengmodell. Følgende innstillinger ble benyttet:

**Approximate point spacing:** 1,0m

**Pyramid type:** Z-Tolerance (Dette er det beste alternativet dersom man benytter kun terrengpunkter fra LiDAR-data.)



Figur 39. Skjermdump som viser hvordan utvalgt data vises i ArcGIS

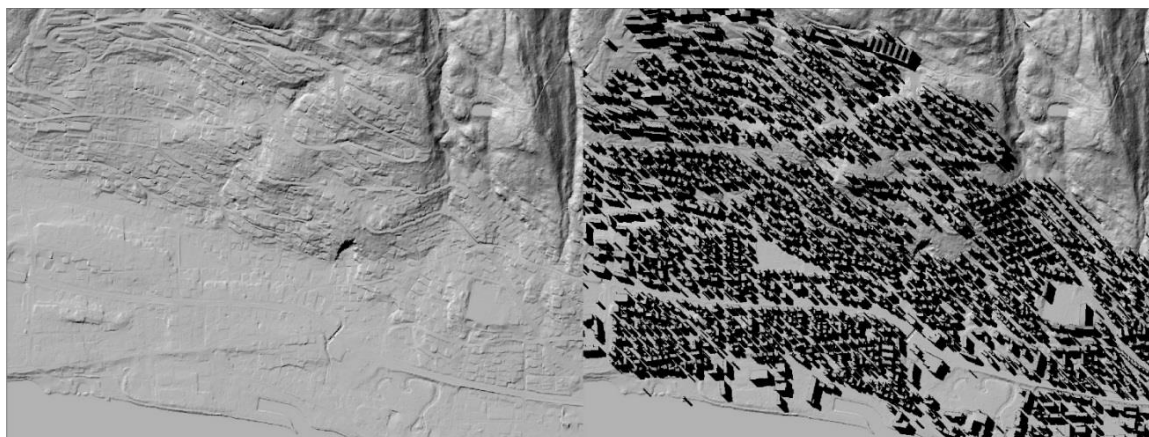
## 2. Konvertere terrain til raster

Terrainfilen måtte konverteres til raster for å kunne legge til bygninger i modellen, men også for å kunne kjøre diverse analyser med modellen. Verktøyet «terrain to raster» ble benyttet for å konvertere. Følgende innstillinger ble benyttet

<b>Output Data Type:</b>	Float (benyttet for å bevare små høydeforskjeller som for eksempel fortau)
<b>Interpolation Method:</b>	Natural neighbours (benyttet for å bevare høydeforskjeller i små skala, som for eksempel vegkantlinjer som ble lagt til som breaklines)
<b>Cellsize:</b>	Rasterstørrelse på 1 ble valgt med bakgrunn i LiDAR-data med 1,3 i gjennomsnittlig punktavstand + FKB vektordata.
<b>Pyramid Level Resolution:</b>	Denne er 0 som default, dvs. full skala

## 3. Legge til bygningsraster

Rasterfilen som representerte bygninger med høyde på 30m ble lagt til terrengrasteren fra trinn 2 ved å benytte verktøyet «plus» i Spatial Analyst utvidelsen. I **Figur 40** ser man betydningen av å legge til bygninger i modellen.



Figur 40. Viser hvordan terrenngmodellen ser ut før (venstre) og etter (høyre) at bygninger er lagt til

### 3.8 Definere flomstrømningslinjer

#### 1. Fylle forsenkninger i DTM

For at vannstrømmene i modelleringen ikke skulle stoppe i forsenkninger i terrenget var det viktig å fylle disse i terrengmodellen. Til det ble verktøyet «fill» i Spatial Analyst benyttet.

Det ble ikke satt noen «Z limit».

Input fil: DTM-raster

#### 2. Generere «Flow Direction» raster

Verktøyet «Flow Direction» ble benyttet på den «fylte» rasteren for å definere hvilken retning vannet vil strømme fra hver enkelt rastercelle.

«Force flow» ble satt til default.

Det ble kalkulert en «Drop Raster» for å evaluere strømningsretning i flate områder.

#### 3. Generere «Flow Accumulation» raster

FlowDirection-rasteren ble benyttet som input for å kjøre verktøyet «Flow Accumulation».

Det ble ikke benyttet «Input Weight Raster». FLOAT ble brukt som «Output Data Type».

#### 4. Identifisere flomstrømningslinjer

Basert på «Flow Accumulation» rasteren kan man si at en flomstrømningslinje er en linje med rasterceller av høy verdi. Det var nødvendig å spesifisere hvor stor denne verdien måtte være for at strømningslinjen skulle bli av betydning i forhold til flomproblematikk. Meiforth (2013) benyttet en konkret metode for å finne terskelverdier for Trondheim. Terskelverdiene fra denne metoden ble benyttet som forsøksverdier i denne oppgaven.

Metodikk benyttet for Trondheim:

- Tidligere flommer i urbane områder viste at flomstrømningslinjer vanligvis ble et problem fra vannmengder på minst 2000 l/s\*km<sup>2</sup>
- Store flombegivenheter i urbane områder i Trondheim oppsto med vannføring på 100 l/s. Dette tallet refererer til målinger som ble tatt i små elver i Trondheim, hvor vannmengden ble målt i l/s.

Ut fra dette kunne følgende likning benyttes:

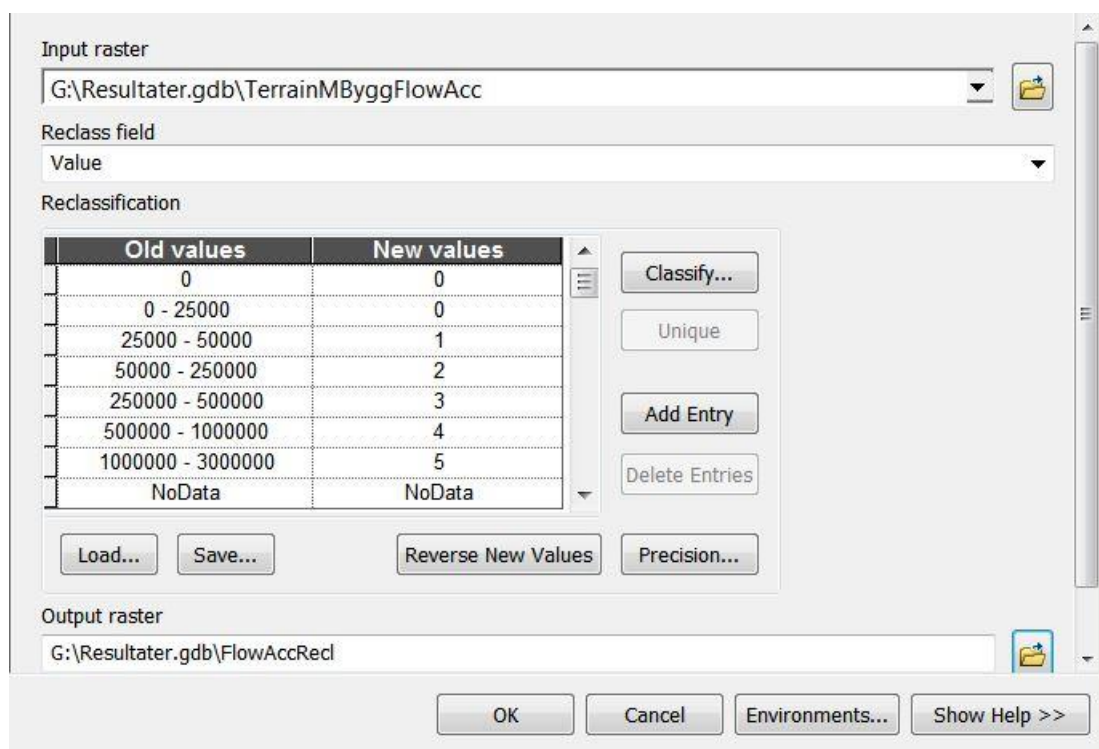
$$2000 \text{ l/(s * 1 000 000 m}^2) = 100 \text{ l/(s * X m}^2)$$

$$X = \frac{100 \frac{l}{s} * 1\ 000\ 000\ m^2}{2000 \frac{l}{s}}$$

Dette resulterte i et kritisk nedbørsfelt i urbane strøk med areal på minst 50 000 m<sup>2</sup> for å definere en flomstrømningslinje.

I tillegg til dette ble det ved feltvurderinger vist at det i ikke-urbane områder som park og skog, kunne bli flomproblemer allerede ved nedbørsfelt på 25 000 m<sup>2</sup>. Det kan forklares ved at urbane områder har avløpssystemer som drenerer deler av overvannet.

Når terskelverdier var bestemt kunne verktøyet «reclassify» benyttes for å dele rasteren opp i klasser. Det ble generert 5 klasser slik som vist i **Figur 41**.



Figur 41. Skjermdump fra verktøyet «reclassify» som viser terskelverdier for de ulike klasseinndelingene

### 3.9 Sinksanalyse

For å finne sinks i terrenget hvor vann kunne akkumulere ble verktøyet «minus» i Spatial Analyst utvidelsen benyttet. Verktøyet ble benyttet for å trekk verdier for ufylt raster fra verdier for fylt raster. Altså DTM raster fra henholdsvis før og etter at «Fill» verktøyet ble benyttet.

Verktøyet «reclassify» ble benyttet for å dele opp resultatet i fornuftige klasser:

0. 0,00m – 0,25m
1. 0,25m – 0,50m
2. 0,50m – 1,00m
3. 1,00m – 2,00m
4. 2,00m – 5,00m
5. 5,00m – 30,00m

### 3.10 Forberedelse av presentasjon

#### 3.10.1 Generere vektorkart av dreneringslinjer

For å enklere kunne visualisere resultatene fra analysene ble raster gjort om til polygonlinjer. Den reklassifiserte rasteren fra 3.8.4 ble transformert ved hjelp av verktøyet «raster to polyline».

«Background value» og «Minimum dangle length» ble satt til default. «Simplify polylines length» ble benyttet.

#### 3.10.2 Generere vektorkart av sinks

Verktøyet «Raster to polygon» ble benyttet på den reklassifiserte rasteren fra sinksanalysen.

Ved å studere resultatet ble det bestemt å fjerne alle sinks dypere enn 5m fra det endelige resultatet da det viste seg at de fleste av disse ikke var reelle senkninger i terrenget, men områder som var omringet av bygg og dermed tolkes som forsenkninger av «fill» verktøyet. Alle senkninger som var lavere enn 25cm eller mindre enn 3m<sup>2</sup> ble også fjernet fra resultatet.

## 4 Resultat

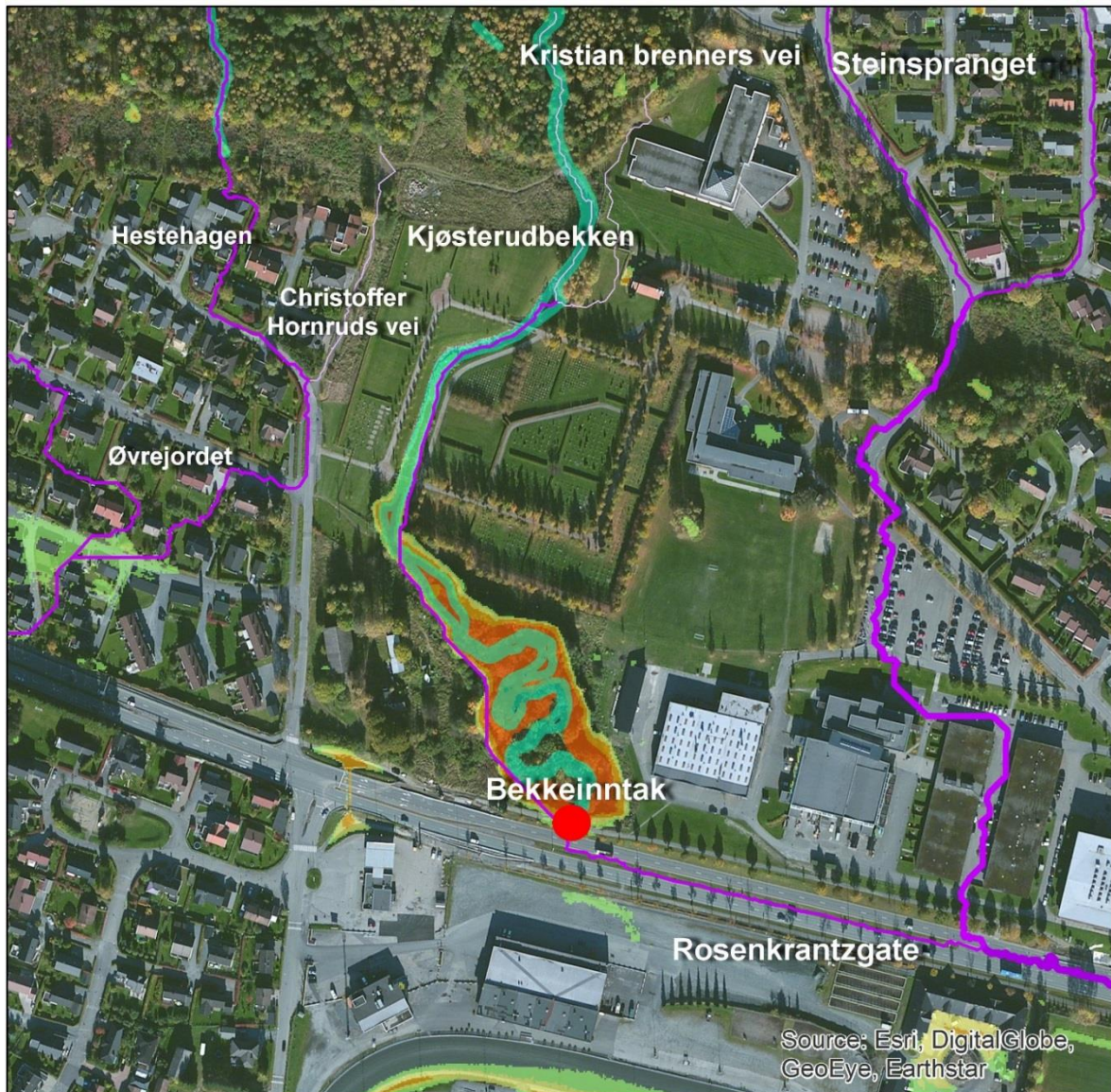
Resultatet i denne oppgaven består av to datasett på vektorformat:

- Drenslinjer (polylinjer) som viser hvor store nedbørsfelt i  $m^2$  som drenerer til punkter i drenslinjen
- Sinks (polygoner) som viser nedsenkede områder uten naturlige utstrømningsveier for vann med indikasjon om dybde i m

Disse er framstilt ved hjelp av ArcGIS og illustreres ved hjelp av et flyfoto «basemap».

I det følgende vil noen aktuelle utsnitt av aktsomhetskartet vises med beskrivelser av innhold. Disse vil videre diskuteres under kapittel 5.2. Drenslinjer med karakteristikk i størrelsesorden  $25\ 000m^2$  –  $50\ 000m^2$  vil ikke bli vektlagt i beskrivelsene da disse ifølge Meiforth (2013) for de fleste tilfeller ikke er ansett som problematiske i urbane områder.





## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>
- FKB- Elv og Bekk

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

### Utsnitt



Figur 42. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser nordvestre del av analyseområdet. I sentrum vises Kjøsterudbekkens løp (FKB- Elv og Bekk) slik den registrert i FKB samt bekkeinntak

**Figur 42** viser i vest en drenslinje av problemskapende klassifisering ( $50\,000\text{m}^2 - 250\,000\text{m}^2$ ) som følger en FKB-registrert bekk (merket i turkis) ned en åsside og inn i Hestehagen boligområde. Deretter følger den Christoffer Hornsruds vei før den endrer retning vest over Øvrejordet og videre passerer bebyggelse samt et området med  $0,25\text{m} - 0,5\text{m}$  forsenkning (merket i grønt). I sentrum vises Kjøsterudbakkens løp (merket i turkis) slik det er registrert i FKB, samt bekkeinntaket for denne. En drenslinje av problemskapende klassifisering ( $50\,000\text{m}^2 - 250\,000\text{m}^2$ ) følger til å begynne med Kjøsterudbakkens løp nøyaktig. Lengre ned ligger drenslinjen noe øst for bekkeløpet før den krysser bekken og følger bekkens rand på vestsiden og deretter passerer bekkeinntaket før den følger Rosenkrantzgate østover. I øst møtes en drenslinje fra Kristian brenners vei og en fra Steinspranget (vegnavn). Disse er begge av klassifisering  $50\,000\text{m}^2 - 250\,000\text{m}^2$  og danner en drenslinje med klassifisering  $250\,000\text{m}^2 - 500\,000\text{m}^2$  som følger Kristian brenners vei et stykke sørover før den krysser en parkeringsplass og møter drenslinjen fra Kjøsterudbekken i Rosenkrantzgate og danner en drenslinje med klassifisering  $500\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$ .





## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>
- FKB\_VANN\_LIN

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

### Utsnitt

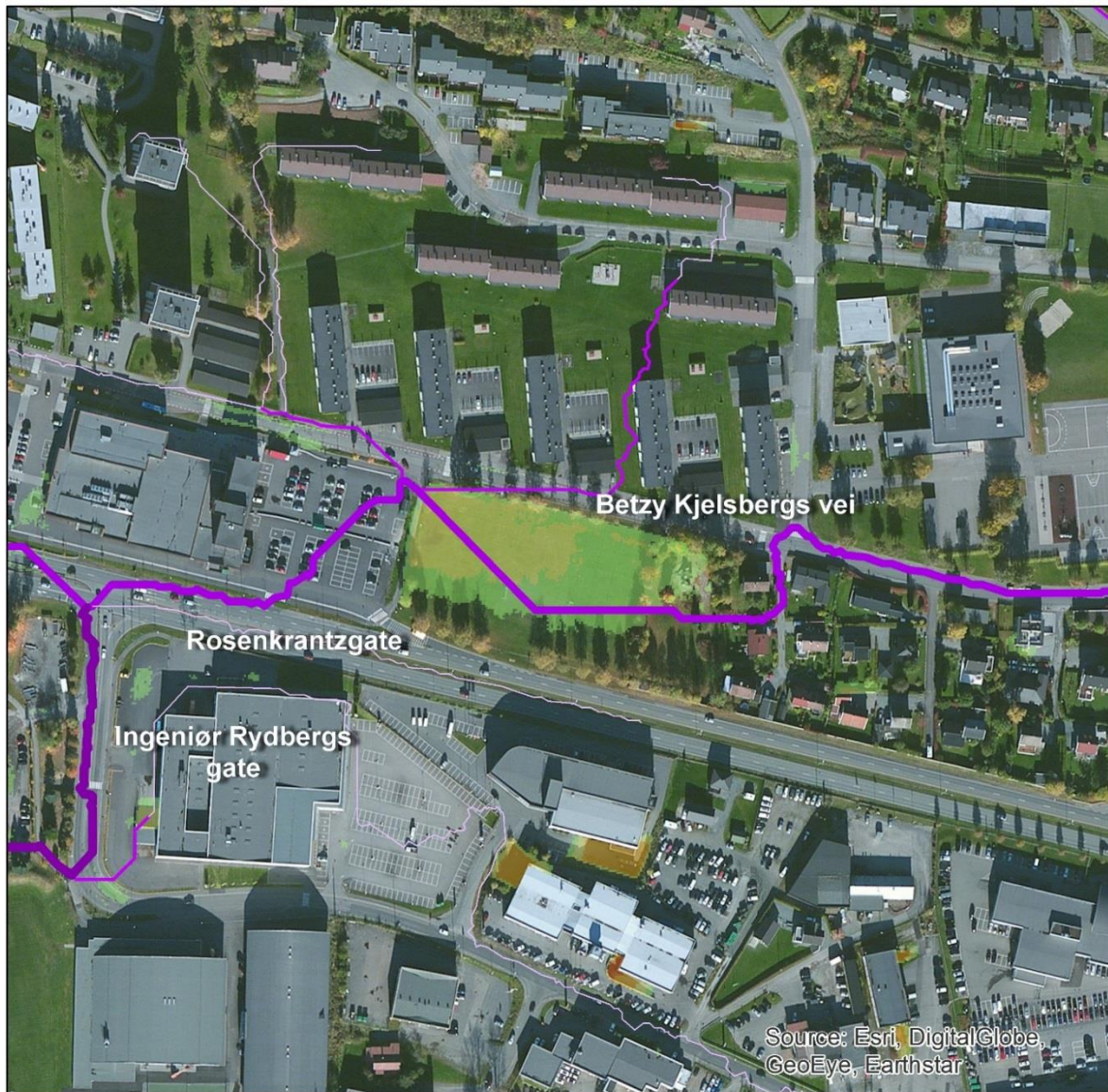
0 75 150 300 Meters



Figur 43. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser Bera terrasse boligfelt i sentrum med gjennomgående drenslinje samt drenslinje vest for Bera terrasse som følger Berabekkens løp slik det er registrert i FKB (FKB- Elv og Bekk)

**Figur 43** viser i vest Berabekken løp (turkis) slik det er registrert i FKB. Drenslinje med klassifisering 50 000m<sup>2</sup> – 250 000m<sup>2</sup> følger Berabekken løp. I sentrum vises Bera terrasse boligfelt. Drenslinje med klassifisering 50 000m<sup>2</sup> – 250 000m<sup>2</sup> oppstår i åssiden ovenfor Bera terrasse og følger Bera terrasses svingete atkomstveg ned til Bera (vegnavn) som den videre følger et stykke sørøst før den skifter retning til sørvest og møter Berabekken og danner en drenslinje med klassifisering 250 000m<sup>2</sup> – 500 000m<sup>2</sup>. Gule og oransje områder i Bera terrasse er områder som er fylt av «fill» verktøyet i «spatial analyst».





## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

### Utsnitt

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

0 75 150 300 Meters



Figur 44. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser eksempel på typisk forsenket område uten naturlig drenering

I **Figur 44** ankommer det fra vest langs Rosenkrantzgate en drenslinje som har sitt opphav fra Kjøsterudbekken og Kristian brenners vei (**Figur 42**). Fra øst følger en drenslinje med klassifisering  $500\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$  Betzy Kjelsbergs vei et stykke før den krysser et område på ca. 1hektar med senkninger fra 0,25m – 1,00m. Videre sammenfaller drenslinjen fra Betzy Kjelbergs vei med to drenslinjer som begge har klassifisering 50 000 – 250 000 før den videre krysser en parkeringsplass og sammenfaller med drenslinjen som kommer fra vest og danner en drenslinje med klassifisering  $1\,000\,000\text{m}^2 - 3\,000\,000\text{m}^2$  som forsetter sørover langs Ingeniør Rydbergs gate.





## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>

#### OV og AF

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

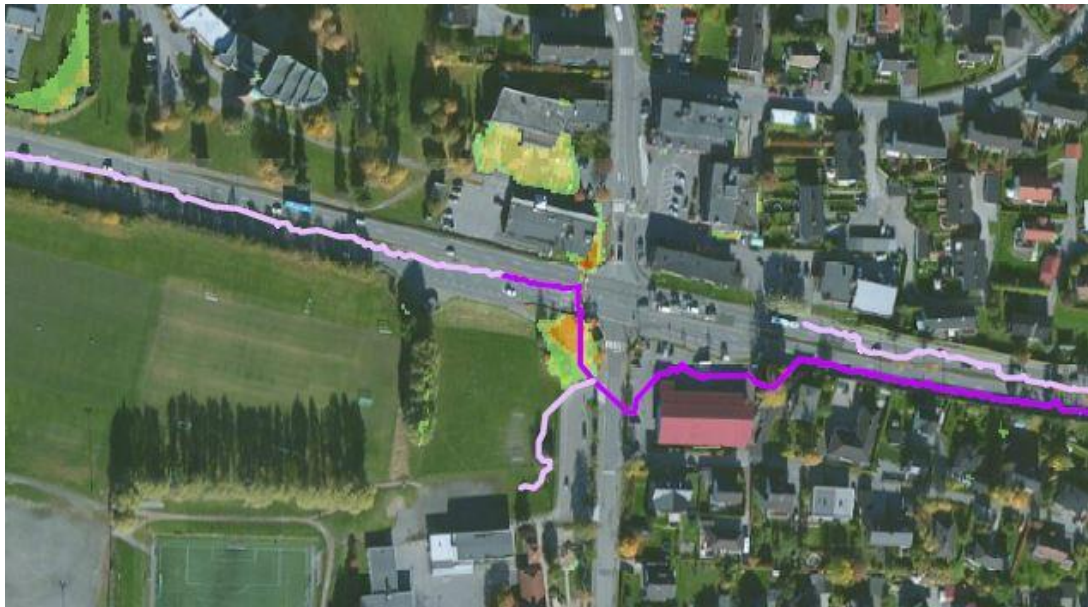
0 150 300 600 Meters



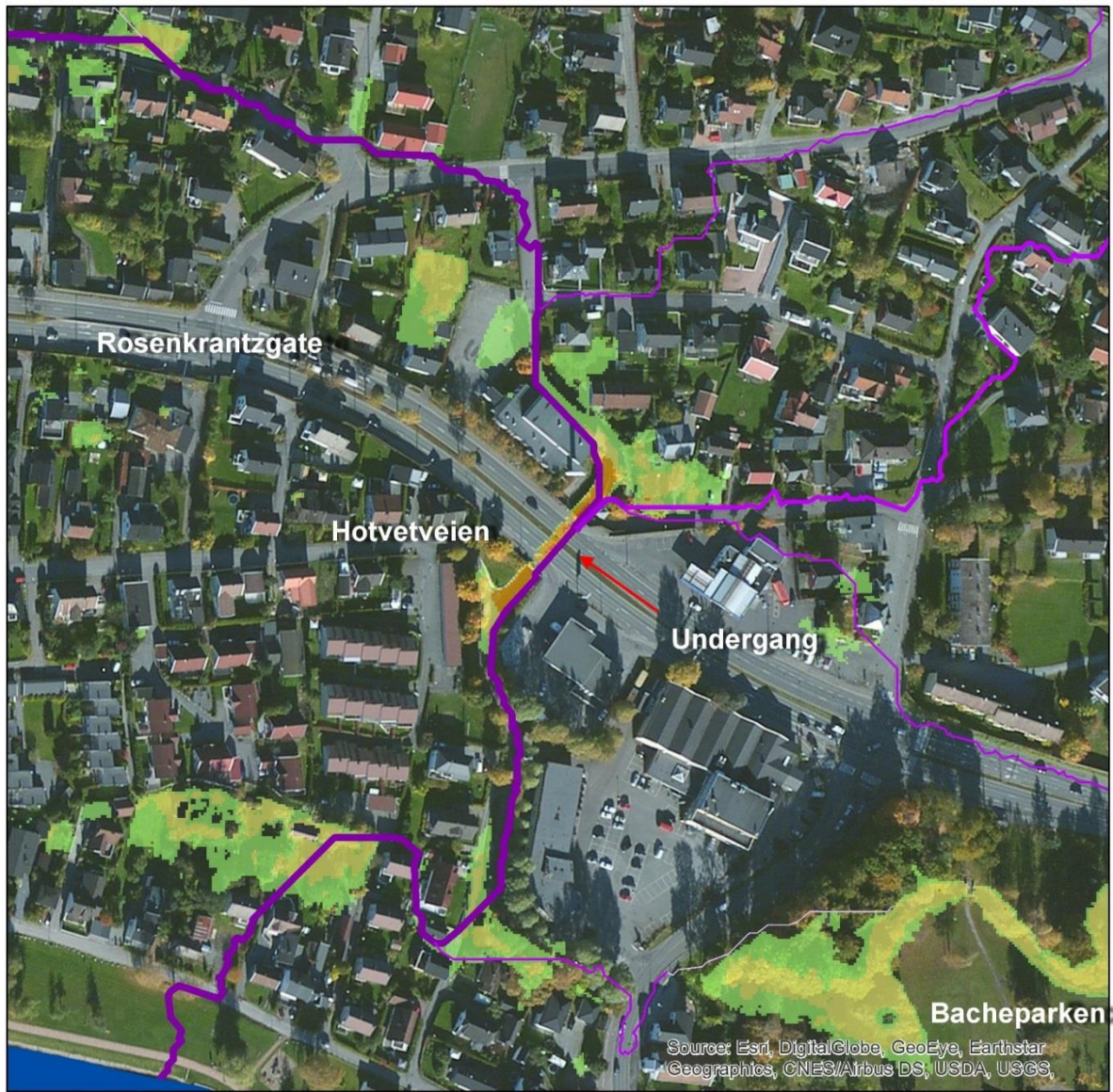
Figur 45. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser et overblikk av drenslinjer med ulike karakteristikk, samt oversikt over alle OV- og AF ledninger med dimensjon over 400mm



**Figur 45** viser en av de største drenslinjene, disse refereres til som hovedflomveier. Hovedflomveien er av klassifisering 1 000 000m<sup>2</sup> – 3 000 000m<sup>2</sup> og begynner i krysset Betsy Kjelsbergs vei/Vårveien. Den følger Betsy Kjelsbergs vei østover, passerer et større forsønknet område ved Henrik Walters plass og krysser Rosenkrantzgate i undergangen ved Hotvetveien. Deretter passerer den gjennom tett bebyggelse og enda et nedsenket område, krysser Muusøya (vegnavn) og ender opp i Drammenselva. Samtidig vises OV og AF ledninger med dimensjon større enn 400 mm i lyseblått. Hovedflomveiens rute sammenfaller i stor grad med avløpsnettets trasé langs Betsy Kjelsbergs vei. Også andre drenslinjer med mindre akkumuleringsklassifisering sammenfaller med avløpsnettets. Langs Rosenkrantz gate er det to underganger. Man kan se en drenslinje som i utgangspunktet passerer på veien over undergangen som befinner seg helt i vest. Denne blir så ledet direkte sørover siden undergangen er senket.



*Figur 46. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser forstørrelse fra Figur 45. Det forstørrede området viser en undergang som leder en drenslinje i kunstig retning. Denne undergangen burde ikke vært med i modellen, da ville vannet trolig fortsatt i sin opprinnelige retning østover langs Rosenkrantzgate*



## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

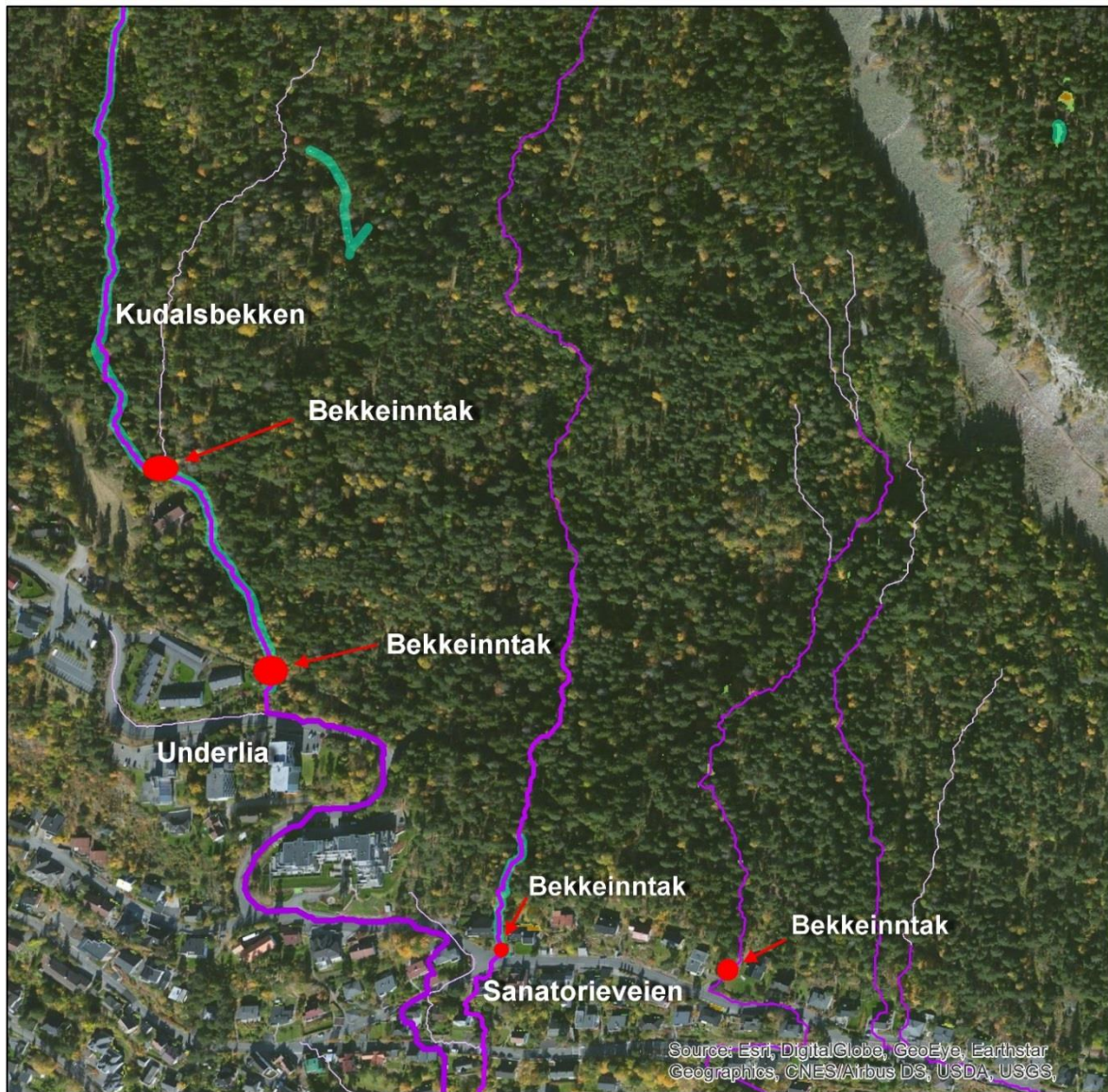


## Utsnitt

Figur 47. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser en av de største drenslinjene som kommer fra Betzy Kjelsbergs vei og krysser Rosenkrantzgate gjennom undergangen ved Hotvetveien

**Figur 47** viser en forstørret del av **Figur 45** hvor en hovedflomvei ( $1\,000\,000\text{m}^2 - 3\,000\,000\text{m}^2$ ) krysser Rosenkrantzgate gjennom en undergang rett ved Hotvetveien. Hovedflomveien blir matet av andre drenslinjer som kommer inn fra Hans Hansen vei ( $50\,000\text{m}^2 - 250\,000\text{m}^2$ ) og Hotvetveien ( $250\,000\text{m}^2 - 500\,000\text{m}^2$ ). Undergangen vises som en dyp forsenkning (2m – 5m) i modellen (mørk oransje). Drenslinjen passerer bebyggelse og forsenkede områder sør for Rosenkrantzgate før den ender opp i Drammenselva. Det forsenkede området i sørøstlige del er et konstruert dam/elvesystem i forbindelse med Bacheparken.





## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>
- FKB\_VANN\_LIN

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

### Utsnitt

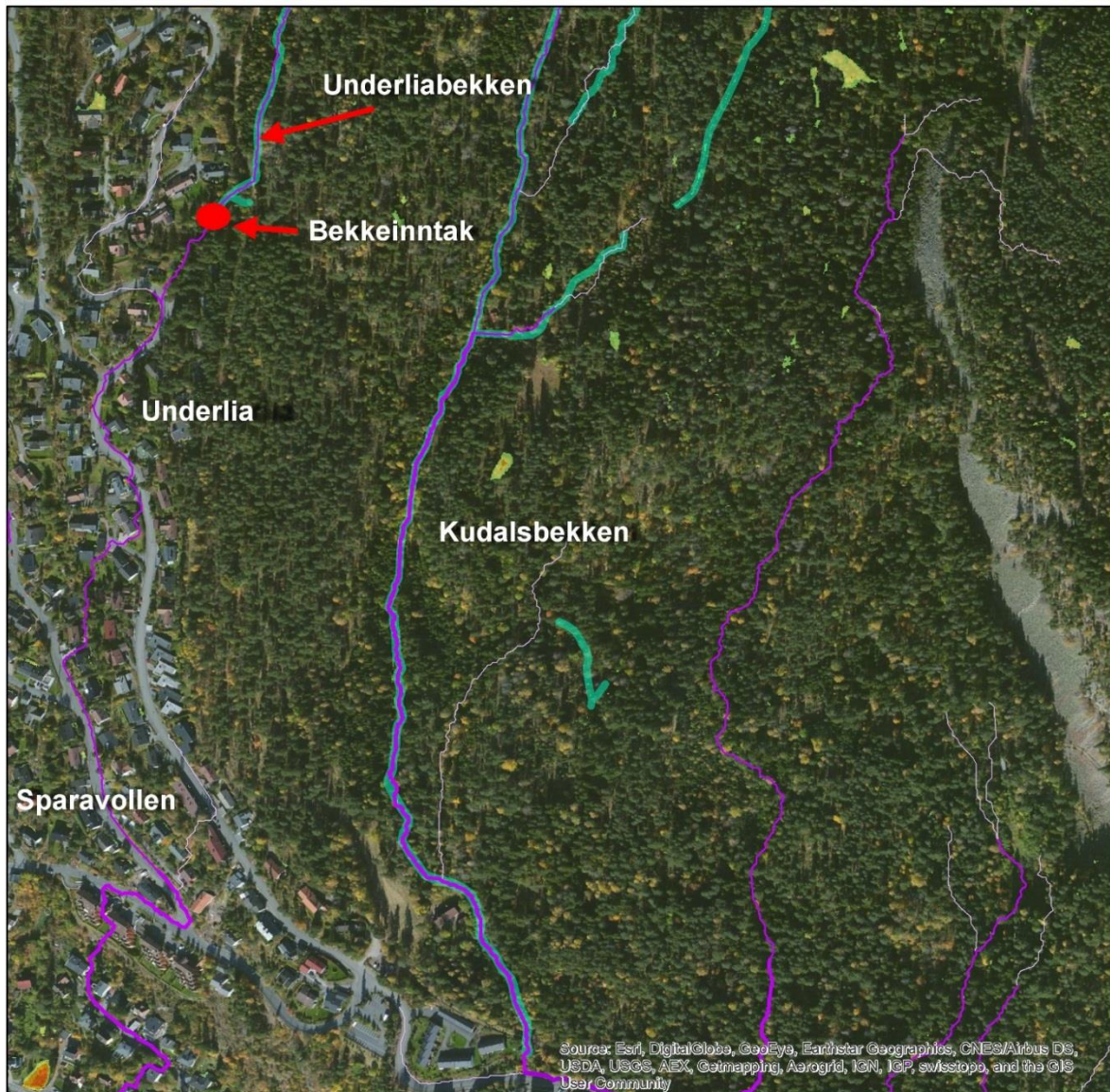
0 120 240 480 Meters



Figur 48. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser drenslinjer og FKB-bekkeløp som kommer ned åssiden fra Hamborgstrømskogen og møter bebyggelse samt bekkeinntak

**Figur 48** viser i vest Kudalsbakkens løp slik det er registrert i FKB (turkis). En drenslinje med klassifisering  $250\,000\text{m}^2 - 500\,000\text{m}^2$  følger bekkeløpet ned åssiden og møter Underlia (vegnavn) hvor den endrer klassifisering til  $500\,000\text{m}^2 - 1\,000\,000\text{m}^2$ . I midten kommer en drenslinje med klassifisering  $250\,000\text{m}^2 - 500\,000\text{m}^2$  ned fra åssiden og sammenfaller med et bekkeløp før den treffer Sanatorieveien. Lengre øst vises også 2 drenslinjer av problemskapende klassifisering ( $50\,000\text{m}^2 - 250\,000\text{m}^2$ ) som kommer ned åssiden og møter Sanatorieveien. Alle de nevnte drenslinjene passerer nærme bebyggelse. Man kan også se eksisterende bekkeinntak.





## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>
- FKB\_VANN\_LIN

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

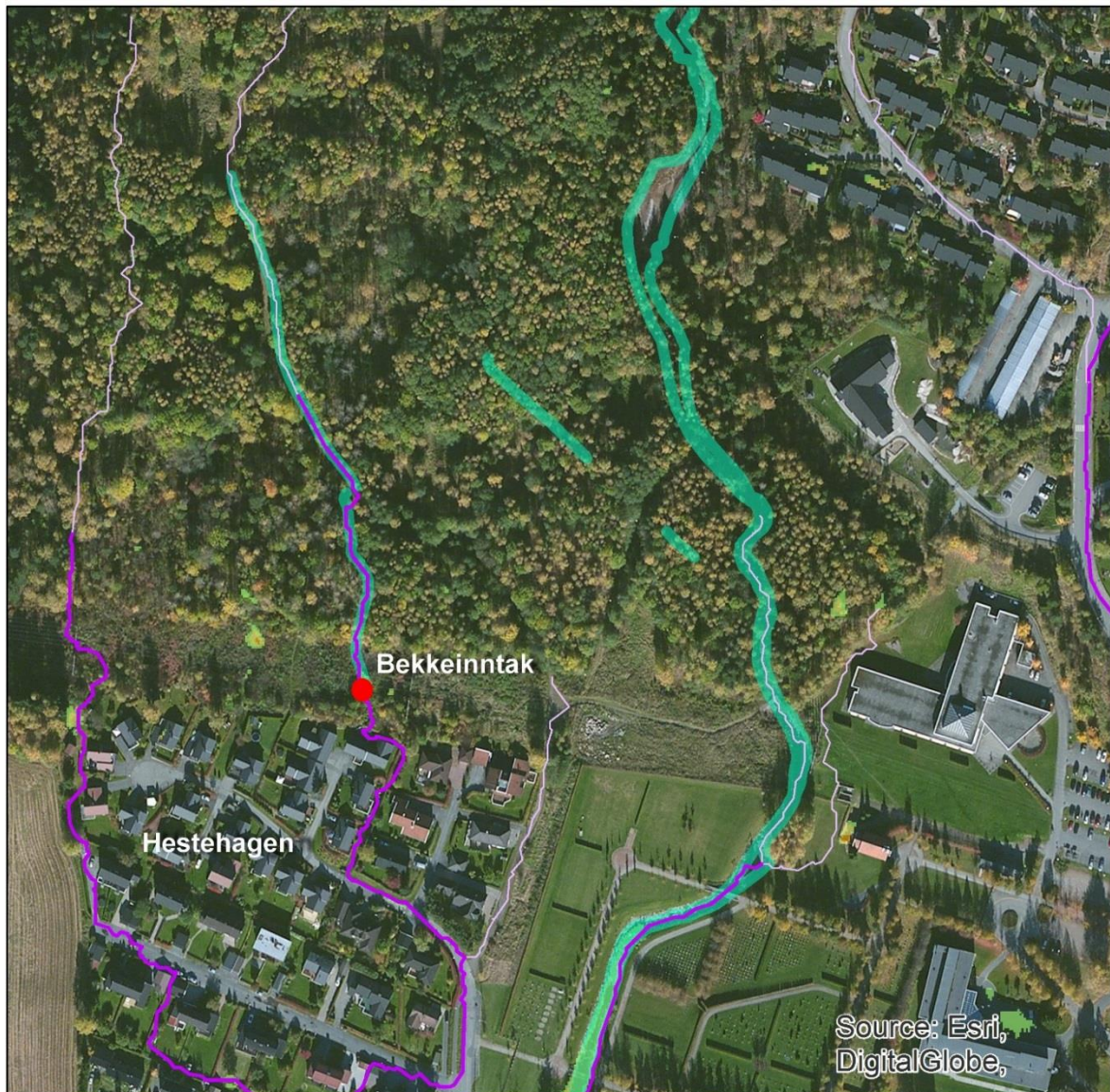
## Utsnitt



Figur 49. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser Kudalsbekkens løp slik det er registrert i FKB med sammenfallende drenslinje i sentrum. I nordvest vises Underliabekkens løp slik det er registrert i FKB med sammenfallende drenslinje som følger Underlia og deretter Sparavollen sørover

**Figur 49** viser i sentrum Kudalsbakkens løp (vises også i **Figur 48**) slik det er registrert i FKB med sammenfallende drenslinje av problemskapende klassifisering (50 000m<sup>2</sup> – 500 000m<sup>2</sup>). Denne drenslinjen møter bebyggelse ved Underlia (vegnavn). I vest vises Underliabakkens løp slik det er registrert i FKB med sammenfallende drenslinje av problemskapende klassifisering (50 000m<sup>2</sup> – 250 000m<sup>2</sup>). Denne drenslinjen passerer i nærheten av bebyggelse mens den følger Underlia og deretter Sparavollen (vegnavn) før den fortsetter sørover.





Source: Esri,  
DigitalGlobe,

## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>
- FKB\_VANN\_LIN

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

## Utsnitt

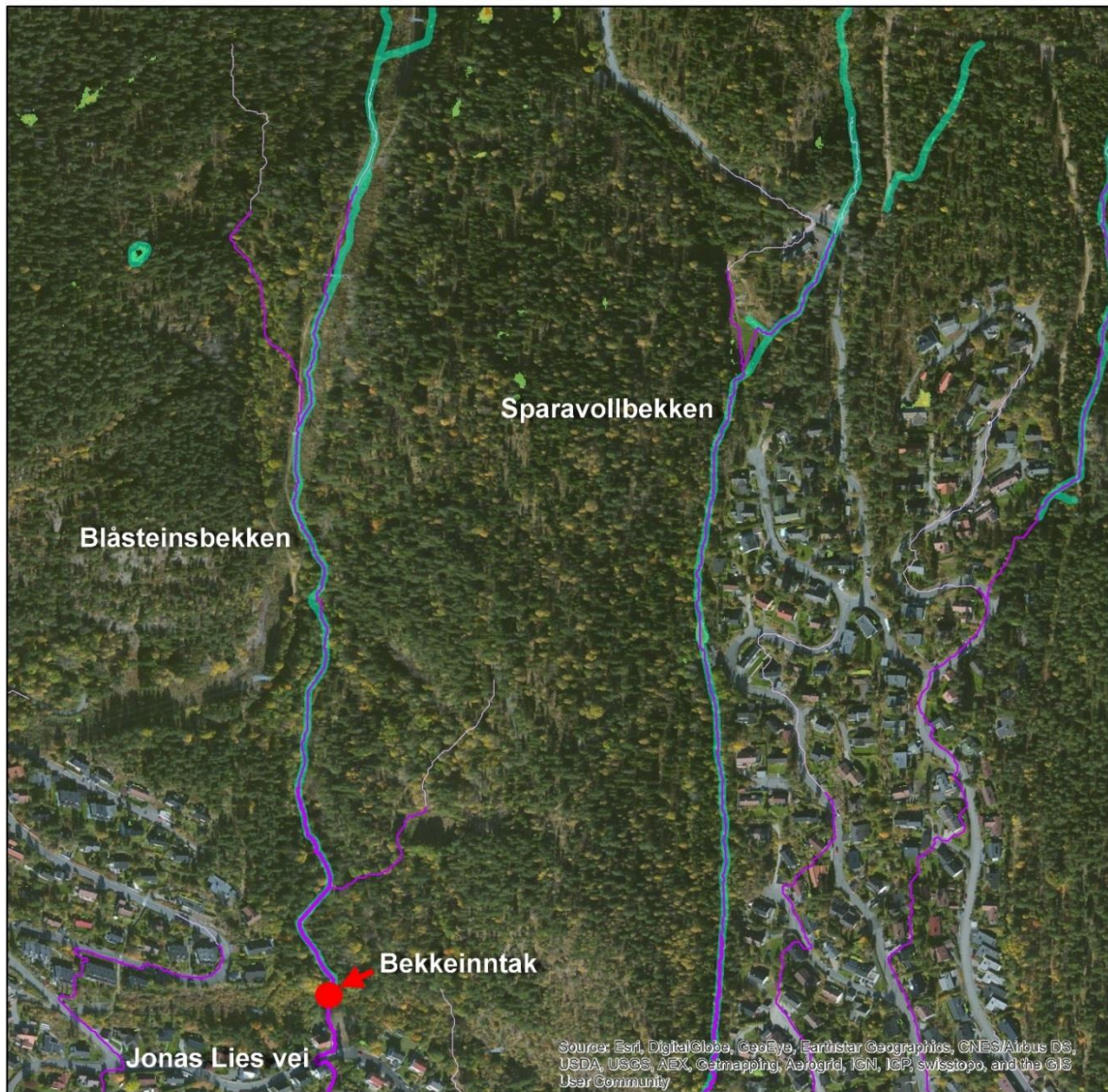
0 75 150 300 Meters



Figur 50. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser Kjøsterudbakkens løp og avgrensning slik det er registrert i FKB. I vestlige del vises to drenslinjer av problemskapende karakteristikk (50 000m<sup>2</sup> – 250 000m<sup>2</sup>)

**Figur 50** viser Kjøsterudbekkens løp og avgrensning slik det er registrert i FKB og sammenfallende drenslinje (tidligere vist i **Figur 42**). I nordvest vises to drenslinjer av problemskapende klassifisering (50 000m<sup>2</sup> – 250 000m<sup>2</sup>) som kommer ned en åsside og møter bebyggelse ved Hestehagen. Den østre drenslinjen av disse to sammenfaller med et lite bekkeløp som er registrert i FKB.





## Symbologi Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

### Drenslinjer

#### Klassifisering

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>
- FKB\_VANN\_LIN

### Sinks

#### Klassifisering

- 0,25m - 0,50m
- 0,50m - 1,00m
- 1,00m - 2,00m
- 2,00m - 5,00m

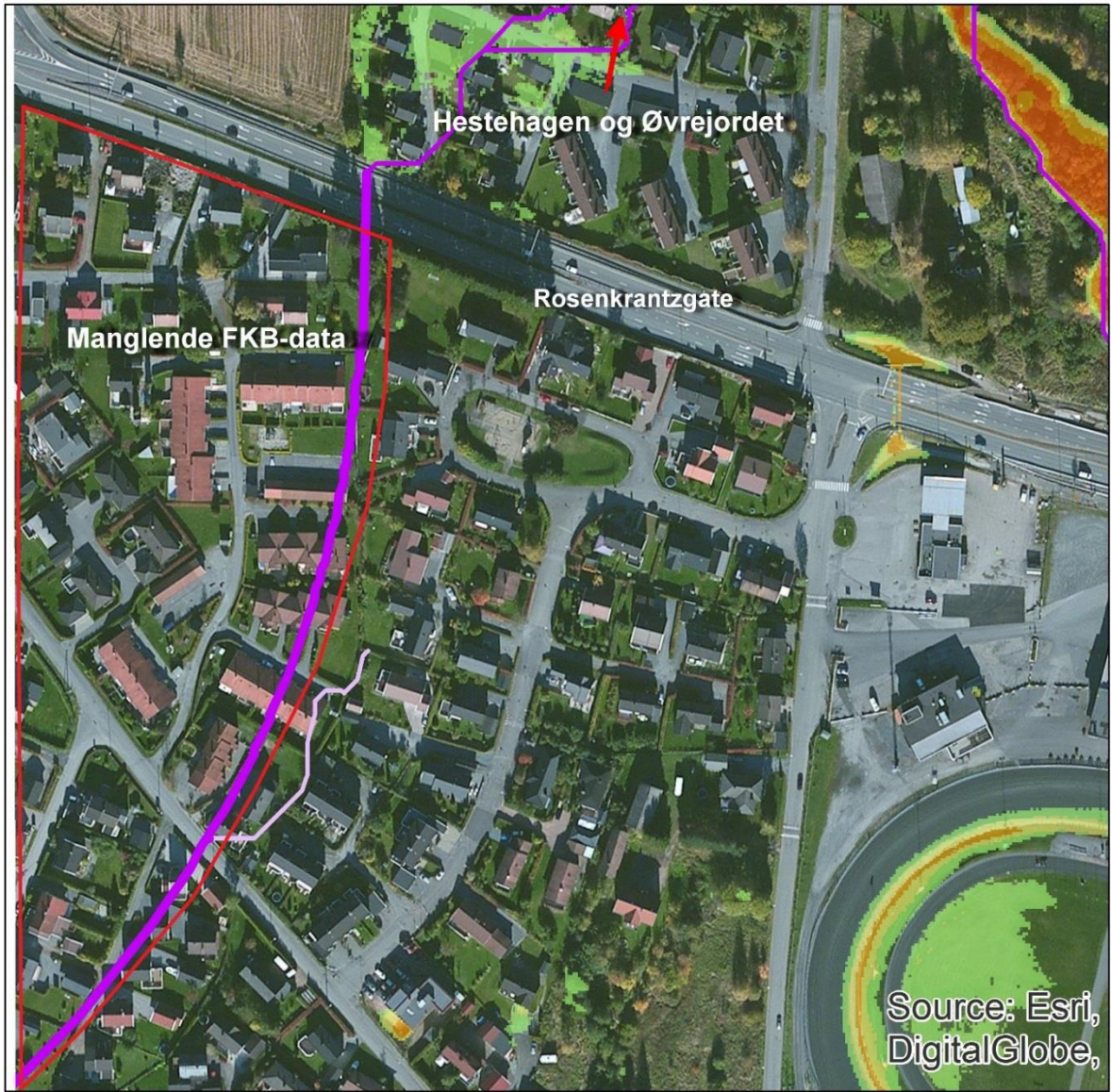
## Utsnitt



Figur 51. Utsnitt fra aktsomhetskartet som vest for Sparavoll viser Sparavollbakkens løp slik det er registrert i FKB med sammenfallende drenslinje. I vestlige del vises Blåsteinbakkens løp slik det er registrert i FKB med sammenfallende drenslinje som møter bebyggelse ved Jonas Lies vei

**Figur 51** viser Sparavollbekkens løp slik det er registrert i FKB (turkis) og sammenfallende drenslinje med klassifisering av 50 000m<sup>2</sup> – 500 000m<sup>2</sup>. Lengre vest vises Blåsteinbekkens løp slik det er registrert i FKB og sammenfallende drenslinje med klassifisering 50 000m<sup>2</sup> – 500 000m<sup>2</sup>. Drenslinjen møter bebyggelse ved Jonas Lies vei.





Aktsomhetskart for flomfare - Muusøya, Drammen

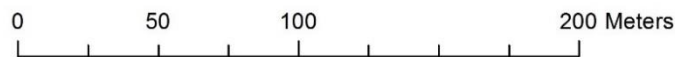
**Symbologi**

**Utsnitt**

- 25 000m<sup>2</sup> - 50 000m<sup>2</sup>
- 50 000m<sup>2</sup> - 250 000m<sup>2</sup>
- 250 000m<sup>2</sup> - 500 000m<sup>2</sup>
- 500 000m<sup>2</sup> - 1 000 000m<sup>2</sup>
- 1 000 000m<sup>2</sup> - 3 000 000m<sup>2</sup>

**Sinks**

- Klassifisering**
- 0,25m - 0,50m
  - 0,50m - 1,00m
  - 1,00m - 2,00m
  - 2,00m - 5,00m



Figur 52. Utsnitt fra aktsomhetskartet som viser drenslinjen som stammer fra de to drenslinjene ved Hestehagen/Øvrejordet i Figur 42 og Figur 50. Denne strømmer sørvest og passerer igjennom bygninger

**Figur 52** viser en drenslinje som stammer fra de to drenslinjene ved Hestehagen/Øvrejordet (tidligere vist i **Figur 42** og **Figur 50**). Man kan se at den aktuelle drenslinjen fortsetter i sørvestlig retning og at den passerer igjennom bebyggelse. Dette er en feil i modellen som følge av at området som er omringet av den røde linjen mangler FKB-data for bygninger og veg.



## 5 Diskusjon

### 5.1 Metode

#### 5.1.1 ArcGIS

Det ble relativt raskt bestemt at ArcGIS skulle benyttes som verktøy i denne oppgaven uten at det ble foretatt omfattende undersøkelser rundt alternative programvarer. ArcGIS ble valgt av flere årsaker:

- Jeg hadde ingen tidligere erfaring med andre GIS-verktøy og hadde dermed ingen preferanser på forhånd
- ArcGIS var gratis tilgjengelig gjennom NMBU
- ArcGIS er meget brukervennlig og det finnes utfyllende manualer tilgjengelig på internett
- Jeg fikk mulighet til å delta på to ArcGIS kurs hos Geodata AS i Oslo
- Det var ønskelig å benytte en anerkjent og kommersiell programvarepakke slik at andre kunne benytte metoden senere uten å måtte investere i dyr programvare og lisenser, samt være uavhengig av ekstern brukerstøtte
- ArcGIS var benyttet til dette formålet tidligere av blant andre Meiforth (2013) for Trondheim kommune

For å kunne jobbe effektivt med ArcGIS har jeg erfart at man trenger en kraftig PC. Maskinen som ble benyttet i denne oppgaven befant seg i grenseland med tanke på ytelse. Det anbefales derfor å ha en maskin med forholdsvis høy kapasitet dersom man skal jobbe med å produsere digitale terrengmodeller, spesielt gjelder dette dersom man skal lage modeller for store områder. Formatkonvertering, generering av TIN og de hydrologiske analysene krever mye regnekapasitet og tok svært lang med den maskinen som ble benyttet.

#### 5.1.2 Analyseområde

Tanken ved valg av analyseområdet var at det skulle være forhold som gjorde det forholdsvis enkelt å undersøke at modell og analyser gav resultater med mening. Området er preget av bratte skråninger som går over i et flatere og urbant terreng langs Drammenselva. Dette gjør at alt vann skal drenere mot Drammenselva, og dersom modellen skulle vise noe annet ville det avsløre kritiske feil. Topografien gjør også at området er spesielt utsatt for flom da nedbøren ledes raskt nedover skråningene og rett mot bebyggelse, derfor er dette området interessant å studere med tanke på flomfare. Analyseområdet er begrenset til et delområde av Drammen ved Åssiden/Bragernes. Grunnen til at ikke hele Drammen ble benyttet var i første omgang mangel på datakraft. PC-en som ble benyttet til dette arbeidet var av en mindre kraftig type, noe som gjorde at de fleste operasjoner tok lang tid. Både utforming av terrengmodell og hydrologiske analyser ville blitt svært tidkrevende å gjennomføre for hele Drammen kommune. I og med at det var metodikken som skulle utprøves i oppgaven var det heller ikke noe mål i seg selv å benytte et større analyseområde.

### 5.1.3 Scenario

Valget av scenario er ikke tilfeldig da det tillater en del forenklinger som ikke ville vært realistiske i en mer normal situasjon. Blant annet er avløpsnettets innvirkning i sin helhet sett bort fra i denne analysen. Siden scenarioet forutsetter frost i grunnen er heller ikke infiltrasjon tatt hensyn til i modellen. Dersom man skulle modellere for et scenario uten is, snø og frossen grunn ville en av de største utfordringene være at man måtte ta hensyn til at store deler av overvannet ville blitt transportert vekk ved hjelp av avløpsnettet. Med et slikt hensyn ville det bli mer komplisert å gjøre modellen korrekt (forslag til metode nevnes i kapittel 5.1.6). Ved langvarige regn vil grunnen ofte være mettet og ved høy regnintensitet er det begrenset hvor stor andel av regnvannet som infiltreres i grunnen. Urbane områder er ofte preget av høye andeler tette flater. Derfor ville det uansett ikke være kritisk å ta hensyn til infiltrasjon da det nettopp er situasjoner hvor mesteparten av regnvannet renner av på overflaten eller ned i avløpsnettet man ønsker å modellere. Terskelverdiene er hentet fra beregninger som er gjort for Trondheim kommune og er benyttet i denne oppgaven for å ha referanseverdier å gå ut fra. Disse terskelverdiene burde tilpasses lokalt for det aktuelle området. Det var i utgangspunktet metoden som skulle utprøves i denne oppgaven dermed er ikke utarbeiding av nye terskelverdier prioritert.

### 5.1.4 Datagrunnlag

I ettertid kan det stilles spørsmålsteget ved om FKB-data har styrket eller svekket modellens funksjon. LiDAR-data som er benyttet i modellen tilfredsstiller stedfestingsnøyaktighet til FKB-Laser10 og er dermed av svært høy nøyaktighet med standardavvik for høyde på under 0,04m.

Stedfestingsnøyaktigheten for de ulike FKB-grunnlagene er variabel som vist i **Tabell 10** og dermed kan det tenkes at en modell hvor FKB-data ble benyttet i mindre grad fremdeles kunne blitt mer nøyaktig på tross av at dette ville bidra til lavere punkttetthet.

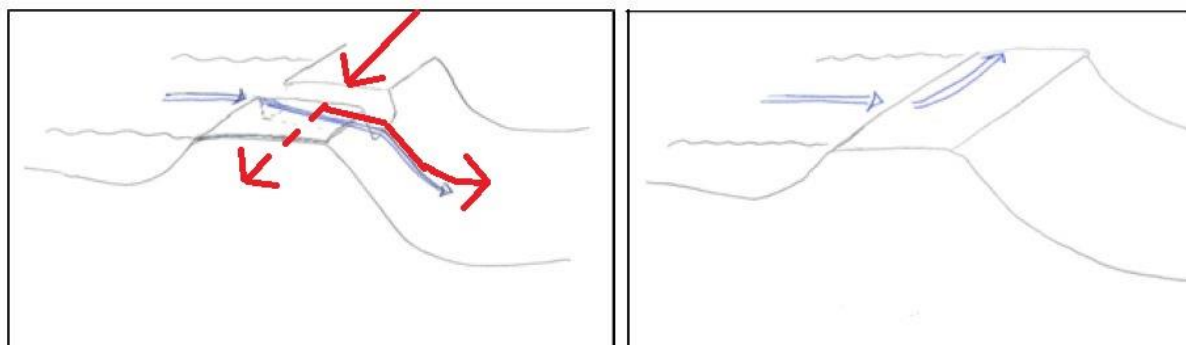
Med en bedre datakilde ville prosessen ved å generere DTM forenkles, og nøyaktigheten i modellen kunne økes. LiDAR-data med høyere tetthet (5 – 10 punkt/m<sup>2</sup>) samt god klassifisering som skiller mellom bakke, vegetasjon, bygninger, bruer og vann er ønskelig for å kunne benytte dataen direkte i modellen (Meiforth 2013).

### 5.1.5 Spesielle hensyn

#### **Bruer og underganger**

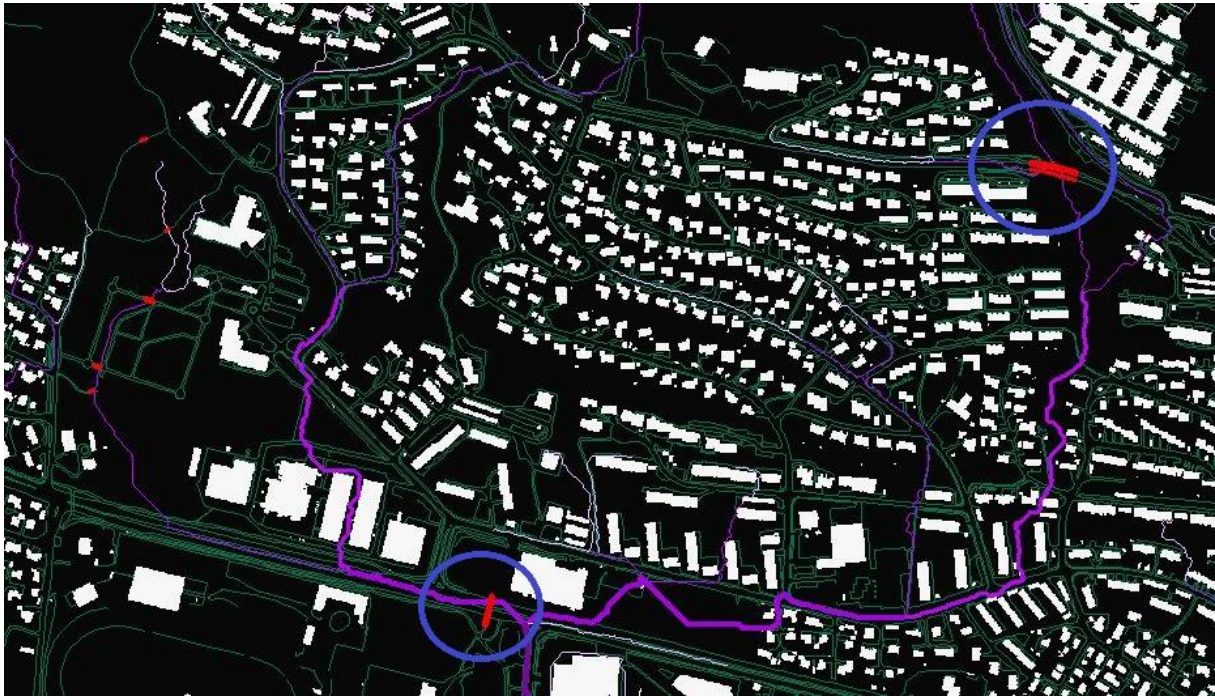
Underganger og bruer/overganger er objekter som burde gis ekstra oppmerksomhet under utforming av terrengmodellen. Årsaken til det er at bruer i modellen vil kunne framstå som hinder for

drenslinjene, noe som i realiteten ikke vil være korrekt. Underganger burde i utgangspunktet senkes slik at vannet kan passere «under», men ukritisk senkning av underganger vil igjen kunne føre til at viktige drenslinjer som passerer over undergangen ledes i en kunstig retning. Før underganger senkes, må det derfor undersøkes hvilke drenslinjer som passerer under/over. Dersom en drenslinje av høy klassifisering eller viktighet i utgangspunktet passerer på veien over en undergang burde ikke denne senkes. Meiforth (2013) illustrerer disse problemstillingene med en enkel skisse (**Figur 53**).



*Figur 53. Blå piler viser hvordan vannet ledes gjennom en undergang (venstre) samt konsekvensen av en usenket bru til høyre (Meiforth 2013) Røde piler som jeg har lagt til skissen viser hvordan en drenslinje som i utgangspunktet passerer over en undergang vil ledes i en kunstig retning dersom undergangen er senket, den stiplede røde linjen viser hvordan drenslinjen ville fortsatt over undergangen dersom denne ikke var senket.*

Metodikken som kan benyttes for å senke bruer eller skape en undergang i modellen er å generere polygoner som dekker bruens eller undergangens omriss. Videre må polygonene transformeres til rasterformat for så benytte samme metode som gjøres for bygninger i kapittel 3.6.2, bare at man benytter «minus» verktøyet i stedet for «pluss» slik at bruene senkes i modellen. Som nevnt i kapittel 3.6.2 er FKB-data for bruer er ikke tatt med som breaklines i terrenngmodellen. I ettertid kunne det tenkes at disse allikevel ville kunne gi utslag da benyttet LiDAR-data ikke har spesiell klassifisering for bruer og at disse ikke er senket i modellen. Jeg sjekket derfor hvilket utslag bruene hadde for drenslinjene og det viste seg at disse ikke fikk noen kritisk innvirkning (**Figur 54**).



Figur 54. Viser i rødt eksempler på FKB-data med attributtbetegnelsen «Medium = 'L'» som ikke ble tatt med i terrenngmodellen. Blåe sirkler markerer 2 bruene som kunne blitt av betydning Drenslinjene (lilla farge) passerer bruene uten å endre retning

Underganger er heller ikke senket i modellen med den nevnte metoden, men lagt inn som breaklines. Dette ble gjort ukritisk og i aktsomhetskartet kan man både se et eksempel på en undergang som fungerer etter ønsket hensikt, samt en undergang som leder en drenslinje i en kunstig retning (**Figur 45**). Undergangen som fungerer slik den skal helt i øst ved Hotvetveien (forstørret i **Figur 47**), og undergangen som leder drenslinjen i en kunstig retning helt i vest (forstørret i **Figur 46**). Undergangen i **Figur 46** er et typisk eksempel på at underganger ikke alltid burde senkes og i dette tilfellet skulle den ikke vært med som et breaklineobjekt i modellen.

### Bygninger

Når man skal utføre hydrologiske analyser av en DTM så er bygningers avtrykk i terrenget av stor betydning for resultatet. For det første vil det ikke være korrekt at drenslinjer passerer igjennom bygninger slik de åpenbart ville gjort dersom de ikke ble tatt hensyn til under utformingen av terrenngmodellen. For det andre er D8-logaritmen svært følsom ovenfor små endringer i modellen. Om en drenslinje kan passere igjennom, eller må finne veien rundt en bygning kan utgjøre en stor forskjell i forhold til hvilken rute drenslinjen følger videre. I **Figur 55** vises et eksempel på hvor stor forskjell dette kan utgjøre. Drenslinjer i rødt stammer fra en modell uten bygninger, mens drenslinjer i lilla stammer fra det produserte aktsomhetskartet. I dette eksempelet er forskjellen betydelig.



Figur 55. Eksempel på hvor ulike resultater man kan få ved å gjennomføre analyser av en modell med bygg (drenslinjer i lilla) og en modell uten bygg (drenslinjer i rødt)

I **Figur 52** vises en drenslinje som løper direkte gjennom bygninger. Dette er ikke korrekt. Ved nærmere undersøkelse av datagrunnlaget har det vist seg at området som er avgrenset med rødt mangler både FKB- og LiDAR-data. Det er uvisst hva som er årsaken til at dette området mangler FKB-data, men en mulig teori er at FKB-data som befinner seg i utkanten av analyseområdet ikke har kommet med når verktøyet «clip» er blitt benyttet til dataseleksjon.

#### 5.1.6 Videre utvikling av metoden

##### **Strømningsretning**

Fordelene med D8-algoritmen som benyttes i «spatial analyst - flow direction» er at det er en enkel deterministisk funksjon som tillater strømming i kun en retning. Dette gjør at den er velegnet for å bestemme drenslinjer og nedbørsfelt. Enkelheten bidrar også til at algoritmen har flere svakheter:

- At algoritmen kun tillater at vannet strømmer ut av cellene i en retning (i realiteten vil vannstrømmen ofte dele seg på flate områder og i homogene hellinger)
- Algoritmen er begrenset til 8 retninger, noe som resulterer i et unaturlig strømningsmønster
- Algoritmen er følsom ovenfor små feil i terrengmodellen, noe som kan gi kritiske utslag for resultatet

Noen av de nevnte svakhetene kan utbedres ved å benytte algoritmer som tillater strømming i flere retninger ut fra cellen. «Multiple flow direction» og «D-infinity» algoritmene er ifølge Meiforth (2013) to aktuelle alternativer.



## Implementere avløpsnettets innvirkning og nedbørsmengde

I denne oppgaven er avløpsnettets innvirkning ikke tatt hensyn til på grunn av det valgte scenarioet. Det er tatt utgangspunkt i 100% avrenning («weight factor» = 1). For å benytte modellen for et scenario hvor avløpsnettets innvirkning på drenslinjene så er det mulig å tilegne områder som befinner seg over eller i umiddelbar nærhet til avløpsnettets en annen «weight factor». Dette kan simulere at vann «forsvinner» fra overflaten og ned i avløpsnettets. Dersom størrelse på nedbørsfelt, regnintensitet og varighet er kjent, så kan mengden nedbør pr enhet ( $1 \text{ m}^2$ ) beregnes og den totale vannstrømmen for en drenslinje beregnes. Dette gjør det mulig å klassifisere drenslinjene ut fra vannmengde i stedet for nedbørsfeltets areal.

### 5.1.7 Benyttelse

Et kvalitetssikret aktsomhetskart av denne typen har mange bruksområder. Man kan for eksempel legge til en buffer på drenslinjer og områder klassifisert som sinks. Det gjør det videre mulig å definere hvilke bygninger som befinner seg i områder, eller i umiddelbar nærhet til områder som er flomutsatt (Meiforth 2013). Deretter kan man avgjøre hvilke av disse bygningene som er spesielt sårbar for flom. Det kan eksempelvis være skoler, sykehus, pleiehjem, barnehager, bygg med kjeller som har verdifullt innhold etc. Dette kan være typiske bygninger/områder hvor det vil være viktig å iverksette tiltak for å sikre god LOD.

Aktsomhetskartet kan også benyttes til reguleringsformål av kommuner. Områder som vises flomutsatt kan tillegges spesielle krav for byggetillatelse. Dette kan eksempelvis være spesiell tilpassing for plassering av bygninger, spesiell tilpassing av terrenget som skal bygges på (drenering, sikrede flomveier etc.), spesiell planlegging av kjellere og kjellerinnganger. Man kan også pålegge utbyggere om å utføre ytterligere undersøkelser av områdets risiko og sårbarhet ovenfor flom før utbygging finner sted. I områder med stor flomfare kan det til og med være aktuelt å forby utbygging (Meiforth 2013).

Ved å studere hvor de største flomveiene oppstår i forhold til eksisterende avløpsnett som i **Figur 45** kan man få indikasjoner på hvor det er nødvendig å oppgradere avløpsnettets eller etablere nye ledninger (Meiforth 2013).

## 5.2 Aktsomhetskart

I denne oppgaven er det ikke blitt foretatt noe form for kvalitetssikring av resultatet utover det visuelle studiet av aktsomhetskartet i seg selv. Med kvalitetssikring menes det at resultatet ses på i sammenheng med flomtilfeller som oppstår eller har oppstått i virkeligheten. Det kan eksempelvis gjøres ved å drøfte resultatet sammen med lokalkjente eksperter innenfor vann- og avløp, hydrologi eller byplanlegging, foreta feltvurderinger under tilsvarende scenarier som det modellen er tiltenkt



eller sammenlikne resultatet med data for tidligere registrerte flomhendelser. Før produktet kan benyttes som et hjelpemiddel innenfor planlegging og/eller beredskap, vil det være nødvendig med slike vurderinger for å avgjøre om modellens funksjon samsvarer med virkeligheten i tilfredsstillende grad for dette formålet. Da det ikke er gjennomført kvalitetssikring av typen som nevnes over, vil det være vanskelig å bestemme i hvor stor grad modellen samsvarer med virkeligheten. Det er allikevel flere aspekter ved aktsomhetskartet som kan studeres for å vurdere modellens hydrologiske funksjon.

I kapittel 4 vises 10 figurer med utsnitt fra det produserte aktsomhetskartet. Ved å studere disse kan man se indikasjoner på at modellen fungerer på flere områder, men at det også er noen svakheter. Jeg vil i det følgende diskutere situasjoner som vises i disse utsnittene.

### 5.2.1 Sinks

Funksjonen av verktøyet «fill» beskrives under 2.2.4 og metoden for å generere sinks er beskrevet i kapittel 3.9. Det er verktøyet «fill» som gjør det mulig å skape sammenhengende drenslinjer. Verktøyet er en nødvendighet for å gjøre modellen hydrologisk anvendbar for analyser. En analyse av en terrengmodell hvor dette verktøyet ikke hadde blitt benyttet på forhånd vil ikke gi fornuftige resultater. Årsaken til det er at analysene ikke tar høyde for oppstuvning på steder hvor vannstrømmen naturlig vil demmes opp. «Flow direction» algoritmen stopper opp dersom en celle ikke har noen naboceller med lik eller lavere høyde. Å benytte «fill» er derfor en forutsetning for å oppnå sammenhengende og kontinuerlige drenslinjer. En «fylt» raster er en modifisering av virkeligheten som i noen tilfeller vil gjøre at drenslinjer følger andre ruter enn man ville forvente. I **Figur 42** vises et tydelig eksempel på dette. Man kan se at drenslinjen til å begynne med følger Kjøsterudbakkens løp, men at den etter hvert følger bekkens østre rand før den krysser over til vestre rand og ender opp ved bekkeinntaket. Det er intuitivt at vannet reelt sett ville fulgt bekkeløpet, og at drenslinjen som vises i kartet ikke følger dette på korrekt måte. Årsaken til det er at bekkeinntaket er det siste dreneringspunktet for bekken, og derav en celle uten naboceller med lavere verdi. Man kan se i utsnittet at det nedre området av bekkeløpet er klassifisert som en senkning i terrenget, det betyr at verktøyet «fill» har gjort sin jobb her. Dersom det nedre området av bekkeløpet ikke hadde blitt «fylt» i modellen så ville drenslinjen i modellen fulgt bekkeløpet mer nøyaktig og stoppet opp ved bekkeinntaket. Drenslinjen gir altså et unøyaktig bilde av hvordan vannet vil transporteres i bekken. Sluttresultatet stemmer likevel med virkeligheten da drenslinjen passerer svært nærme bekkeinntaket og det er herfra den er interessant å studere med tanke på flomfare. Det ble ikke funnet noen løsning for å rette opp i denne feilen, men tendenser til denne typen unøyaktigheter vil forekomme på grunn av at terrengmodellen er «fylt».

Sinks er interessant å studere i flomrisikosammenheng, da dette kan være områder som ikke har noen naturlig dreneringsmulighet, noe som gjør at vann vil kunne akkumulere. Det er allikevel ikke alle områder med sink-klassifisering som er problematiske. Dette kommer ikke så godt fram i resultatet og kan være misvisende dersom man ikke forstår hva man ser. I **Figur 43** ser man eksempelvis dype senkninger ved Bera Terrasse. Dette syntes å være hageområder som er omringet av mur og bygg. De fleste av disse senkningene ligger forholdsvis skjermet til i forhold til flomveier. Det er sannsynlig at kun nedbør som faller direkte på de nedsenkede områdene vil kunne akkumulere her og disse vil derfor trolig ikke være problematiske. I **Figur 42** vises Kjøsterudbekkens løp som en forsenkning, det samme gjør damanlegget ved Bacheparken i **Figur 47**. Dette er elver/dammer som man kjenner godt til, hvor faren for flom trolig er godt utredet og planlagt. Sinks i forbindelse med underganger har sin naturlige forklaring i at disse ligger under det omkringliggende terrenget. Det er sinks i «uforutsette» områder som er av høyest interesse. Spesielt dersom disse er i kontakt med, eller befinner seg i umiddelbar nærhet til en drenslinje. Dersom det befinner seg bebyggelse i slike områder kan disse være særlig utsatt for flomskader. Områder av denne typen ser man eksempler på i flere av utsnittene, eksempelvis i **Figur 42** ved Øvrejordet, i **Figur 45** ved Henrik Walters plass og **Figur 47** sør for Hotvetveien.

### 5.2.2 Elve- og bekkeløp

At drenslinjer følger eksisterende eller gamle bekkeløp er en god indikator på at det hydrologiske aspektet ved modellen fungerer som det skal. Dette forekommer i stor grad når man studerer resultatet. Både i **Figur 43**, **Figur 48**, **Figur 49**, **Figur 50** og kan man se drenslinjer som følger de elv- og bekkeløpene som er lagt inn ved hjelp av FKB-data i terrenget.

### 5.2.3 Veg

At drenslinjer ville følge veger var en tendens som jeg på forhånd tenkte at ville forekomme. Dette har jeg selv observert i urbane områder ved kraftig nedbør. Det har sin naturlige forklaring i fortauskanter eller andre langsgående barrierer som følger vegkanten. Denne tendensen gjentar seg i mange av utsnittene i resultatdelen (kap. 4), og spesielt i **Figur 43**. Det er vanskelig å si om dette er en indikator på korrekthet i seg selv. I og med at FKB-data har dårligere stedfestingsnøyaktighet enn LiDAR-data, vil det kunne forekomme tilfeller med høydeunøyaktigheter som er store nok til at drenslinjer, på grunn av breaklines, følger veger på steder hvor de i virkeligheten ville valgt andre ruter. At vannet i virkeligheten viser tendenser til å følge veier med langsgående barrierer er allikevel et faktum da dette ofte er «minste mostands vei».

#### 5.2.4 Hovedflomvei

I **Figur 45** vises en av de største drenslinjene på kartet, den refereres til som hovedflomvei. I figuren kan man også se alle OV- og AF ledninger med dimensjon over 400mm slik de er registrert av Drammen kommune. Det er interessant å se at drenslinjene i stor grad følger samme trasé som disse ledningene. Dette kan også anses som en indikator på at modellen fungerer som den skal da disse ledningene ofte legges med naturlig fall i forhold til terrenget, samt at slike ledninger typisk anlegges der det har vist seg å være stort behov for drenering.

#### 5.2.5 Flomutsatte bygninger

Jeg nevnte tidligere spesielle tilfeller i forbindelse med forsenkede områder hvor bygninger kunne være utsatt for flom (kapittel 5.2.1), men det er også andre tilfeller hvor bygninger kan være spesielt utsatt for dette. Området som er modellert er preget av at bebyggelsen ligger på et forholdsvis flatt terreng som i nord grenser til bratte skråninger. Bebyggelse som ligger i nærheten av bekkeløp og drenslinjer som kommer ned fra slike skråninger kan være spesielt utsatt for flom ved kraftige regn dersom for eksempel bekkeinntaket skulle være tilstoppet. I **Figur 48**, **Figur 49**, **Figur 50** og **Figur 51** vises eksempler på slike områder med bebyggelse som kan være spesielt utsatt. Under et slikt scenario som det modellen er tiltenkt, hvor flomsituasjonen oppstår som følge av kombinert nedbør og snøsmelting, vil et tilstoppet bekkeinntak kunne bli et skrekksenario for nedenforliggende bebyggelse. I disse områdene vil tilstoppede bekkeinntak også kunne få alvorlige konsekvenser under mer normale scenarier med kraftig eller langvarig nedbør. Ut over dette vil også annen bebyggelse som kommer i kontakt med, eller ligger i umiddelbar nærhet til drenslinjer kunne være utsatt for flom.

### 5.3 Videre arbeid og muligheter

Når denne oppgaven ble påbegynt var det i utgangspunktet ønskelig å få til en 3D-modell som kunne illustrere hvordan en flom utviklet seg over tid med tanke på hvordan flomvann spredde seg på terrengoverflaten med informasjon om vannets hastighet, mengde og dybde (**Figur 56**). Dette viste seg å være mer avansert enn først antatt og dermed ble oppgaven begrenset til produksjon av DTM og aktsomhetskart for flomfare. Forhåpentligvis vil det være mulig å arbeide videre med denne metodikken og benytte en DTM av den typen som produseres her til mer avansert modellering av den typen. Det er som nevnt i kapittel 5.1.6 også muligheter for utbedring av metodikken som er benyttet i denne oppgaven for å gi mer nøyaktige resultater.



Figur 56. Eksempel på resultat fra en mer avansert modell i 3D. Fra bilde 1 - 6 kan man se hvordan vann som kommer opp fra gatekummer sprer seg på overflaten med tiden. Figuren er sammensatt av skjermdumper fra en illustrasjonsfilm utviklet av itwh

## 6 Konklusjon

Som nevnt er det vanskelig å avgjøre i hvor stor grad denne modellen samsvarer med virkeligheten uten å ha foretatt en kvalitetssikring av resultatet. På bakgrunn av de vurderinger som er blitt gjort i kapitlene 5.2.1 – 5.2.4 er det allikevel grunnlag for å påstå at modellen oppfører seg hydrologisk korrekt i forhold til det scenariet som den er tiltenkt. Arbeidet med oppgaven har vært preget av høy grad av selvstendighet. Ved hjelp av rapporten til Meiforth (2013) og youtube har jeg uten spesielle forkunnskaper klart å produsere et aktsomhetskart for flomfare. Dette viser at metodikken er brukervennlig. Det er grunn til å tro at de hydrologiske verktøyene bare vil bli enda bedre med tiden, og at slike aktsomhetskart kan gi oss enda mer nøyaktig informasjon om de hydrologiske forholdene i urbane områder. Derfor er det grunn til å konkludere med at denne metodikken er et anvendelig verktøy for alle som arbeider innenfor fagfelt hvor slike hydrologiske analyser er av interesse. Det finnes som nevnt mer avanserte modeller (typisk 3D) som eksempelvis kan gi resultater som vist i **Figur 56**. På tross av at slike avanserte modeller gir oss mer informasjon omkring hvordan flom utvikler seg over tid, har en enkel modell og metodikk som benyttes i denne oppgaven flere fordeler satt opp mot disse.

### Fordeler og ulemper vedrørende aktsomhetskart for flomfare

+ Metodikken er brukervennlig og kan dermed anvendes av personer med lite forkunnskap innenfor modellering

- + Kommersiell og anerkjent GIS-programvare som ArcGIS kan benyttes, dette gjør at man slipper å bruke penger på dyre supporttjenester
- + Metodikkens enkelhet gjør at den raskt kan benyttes for store områder, og at den med enkelhet kan reproduseres med små endringer
- + Gir en god indikasjon for potensielt flomutsatte områder
- +Nyttig for å gi et overblikk over den hydrologiske situasjonen for et område
- + Aktsomhetskartet er enkelt å forstå, og kan være anvendbart for saksbehandlere, beslutningstakere og andre personer som arbeider innenfor arealplanlegging/utbygging, prosjektering, Kommuneplan/reguleringsplan, ROS-analyser, planlegging av tiltak for eksisterende bygninger og infrastruktur samt personer som arbeider med gjenåpning av vassdrag i urbane strøk
- Begrensninger i forhold til detaljeringsgrad som følge av enkle analyser
- Gir ingen eksakt avgrensning eller størrelse for flom



## Litteraturliste

- Airbourne Laser Scanning*. (2014). <http://gmvc.cast.uark.edu/scanning-2/airborne-laser-scanning/>: Geospatial Modeling & Visualization.
- Byggeteknisk forskrift (TEK 10)*. (2014). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489?q=TEK+10>: Kommunal - og moderniseringsdepartementet.
- Coordinate reference systems*. (2014). [http://docs.qgis.org/2.2/en/docs/gentle\\_gis\\_introduction/coordinate\\_reference\\_systems.html#overview](http://docs.qgis.org/2.2/en/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html#overview): QGIS.
- Dessrud, E. A. (2013). *Estimering av fremmedvann i Muusøya rensedistrikt, med bruk av typeområder og modellering av vannføring*. <http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/189146>: UMB, IMT.
- Engan, J. A. (2014). *Lokal overvannsdiskonering (LOD)*. Upublisert manuskript.
- Esri. (2013). *ArcGIS 1 Kurshefte - Introduction to GIS v.2.1*.
- Euref89 NTM (Norsk Transversal Mercator) sone 5 - 30*. (2009). <http://www.statkart.no/Documents/Posisjonstjenester/EUREF89NTMbeskrivelse.pdf>: Statens Kartverk (lest 29.01.2015).
- Flybåren laserskanning*. (2014). [http://www.terratec.no/flybaaren\\_laserskanning/cms/59](http://www.terratec.no/flybaaren_laserskanning/cms/59): Terratec.
- How Fill Works*. (2012). [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How\\_Fill\\_works/009z00000061000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_Fill_works/009z00000061000000/): Esri (lest 29.01.2015).
- How Flow Accumulation Works*. (2012). [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How\\_Flow\\_Accumulation\\_works/009z00000062000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_Flow_Accumulation_works/009z00000062000000/): Esri.
- How Flow Direction Works*. (2012). [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How\\_Flow\\_Direction\\_works/009z00000063000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_Flow_Direction_works/009z00000063000000/): Esri.
- How stream order works*. (2012). [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How\\_Stream\\_Order\\_works/009z000000z3000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_Stream_Order_works/009z000000z3000000/): Esri.
- How watershed works*. (2013). [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How\\_Watershed\\_works/009z00000068000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_Watershed_works/009z00000068000000/): Esri.
- Klima*. (2014). <http://www.met.no/Klima/>: Meteorologisk Institutt.
- Klimautfordringer*. (2013). [http://www.miljodirektoratet.no/no/Klimatilpasning\\_Norge/Klimautfordringer/](http://www.miljodirektoratet.no/no/Klimatilpasning_Norge/Klimautfordringer/): Miljødirektoratet.
- Klimautvikling*. (2014). [http://www.met.no/Klima/Klimautvikling/Klima\\_siste\\_150\\_ar/Hele\\_landet/](http://www.met.no/Klima/Klimautvikling/Klima_siste_150_ar/Hele_landet/): Meteorologisk Institutt.
- Koordinatsystemer og projeksjoner*. (2014). <http://geodata.no/supportsenter/forstehjelp/how-to-guider/arcgis-desktop/koordinatsystemer-og-projeksjoner/>: Geodata AS.
- Laserskanning*. (2014). <http://www.statkart.no/Kart/Laserskanning/>: Statens Kartverk (lest 15.01.2015).

- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). Norsk Vann Rapport 162 - Veiledning om klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann.
- Lov om vassdrag og grunnvann.* (2000). [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82/KAPITTEL\\_1#KAPITTEL\\_1](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82/KAPITTEL_1#KAPITTEL_1): Lovdata.
- Meiforth, J. (2013). Modelling flood streams for urban planning in Trondheim, Norway. <https://www.trondheim.kommune.no/attachment.ap?id=59632>: University of Salzburg. 56 s.
- Mæhlum, L. (2011). *FKB*. <https://snl.no/FKB>: Store Norske leksikon.
- An overview of the Hydrology toolset.* (2012). [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/An\\_overview\\_of\\_the\\_Hydrology\\_tools/009z0000004w000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/An_overview_of_the_Hydrology_tools/009z0000004w000000/): Esri.
- A quick tour of ArcMap.* (2012). [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/A\\_quick\\_tour\\_of\\_ArcMap/018q00000050000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/A_quick_tour_of_ArcMap/018q00000050000000/): Esri.
- Statens kartverk. (2009). *Koordinatbaserte Referansesystemer Versjon 2.1*. [http://www.statkart.no/Documents/Standard/Bransjestandarder%20outover%20SOSI/koo\\_referansesyst.pdf](http://www.statkart.no/Documents/Standard/Bransjestandarder%20outover%20SOSI/koo_referansesyst.pdf): Statens Kartverk.
- Statens kartverk. (2011). *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Vann*. <http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI%20kap3%20Produktspesifikasjoner/FKB%204.02%202011-12-01/2-Vann-2011-12-01.pdf>: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2013a). *Om Geovekst-samarbeidet*. <http://www.statkart.no/Kart/Geodatasamarbeid/Geovekst/Om-Geovekst-samarbeidet/>: Statens Kartverk (lest 29.01.2015).
- Statens Kartverk. (2013b). *Produktspesifikasjon FKB-Laser Versjon 2.0 2013-02-01*, 29.01.2015. [http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI%20kap3%20Produktspesifikasjoner/FKB%20Laser/FKB-Laser-v20\\_2013-02-01.pdf](http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI%20kap3%20Produktspesifikasjoner/FKB%20Laser/FKB-Laser-v20_2013-02-01.pdf): Statens Kartverk.
- Statens kartverk. (2013c). *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - Bygning Versjon 4.02 - 2013-01-01*. <http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI%20kap3%20Produktspesifikasjoner/FKB02/5-Bygning-2013-01-01.pdf>: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2014a). *SOSI Del 3 - Produktspesifikasjon for Felles KartdataBase (FKB)*. <http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI%20kap3%20Produktspesifikasjoner/FKB%204.5/0-Generell-del-2014-03-01.pdf>: Statens Kartverk.
- Statens Kartverk. (2014b). *SOSI Del 3 - Produktspesifikasjon for FKB - Veg*. <http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI%20kap3%20Produktspesifikasjoner/FKB%204.5/14-Veg-2014-03-01.pdf>: Statens Kartverk.
- Strømsholm, B. (2011). *Hva er ArcGIS Desktop*. <http://ndla.no/nb/node/61867?fag=2602>: ndla.
- Temperatur- og Nedbørsendringer 2100.* (2014). [http://www.miljodirektoratet.no/no/Klimatilpasning\\_Norge/Temperatur--og-nedborendringer-2050-og-2100/](http://www.miljodirektoratet.no/no/Klimatilpasning_Norge/Temperatur--og-nedborendringer-2050-og-2100/): Miljødirektoratet.
- What is a TIN surface?* (2012). <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/006000000001000000/>: Esri.
- What is ArcCatalog.* (2010). [http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/What\\_is\\_ArcCatalog/006m00000690000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/What_is_ArcCatalog/006m00000690000000/): Esri (lest 29.01.2015).

*What is raster data.* (2014).

[http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/What\\_is\\_raster\\_data/009t00000002000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/What_is_raster_data/009t00000002000000/): Esri.

Ødegaard, H. & Norheim, B. (2012). *Vann- og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk Vann. 704 s. : ill. s.

## Vedlegg

1. Terratec LiDAR
2. Aktsomhetskart for flomfare i A1

## Vedlegg 1

Resultat fra kjentflater					
Nr	East	North	Known z [m]	Laser z [m]	Dz [m]
1	565474.029	6618179.393	121.892	121.840	-0,052
2	565473.406	6618178.626	121.860	121.870	0,010
3	565472.785	6618177.841	121.837	121.830	-0,007
4	565472.160	6618177.077	121.801	121.780	-0,021
5	565471.536	6618176.290	121.777	121.760	-0,017
6	565470.898	6618175.497	121.759	121.720	-0,039
7	565470.103	6618176.145	121.692	121.670	-0,022
8	565470.755	6618176.931	121.720	121.680	-0,040
9	565471.368	6618177.712	121.749	121.680	-0,069
10	568687.779	6622195.685	2.185	2.250	0,065
11	568688.265	6622194.810	2.177	2.220	0,043
12	568688.737	6622193.948	2.176	2.250	0,074
13	568689.237	6622193.071	2.174	2.170	-0,004
14	568689.713	6622192.184	2.163	2.190	0,027
15	568690.183	6622191.312	2.167	2.190	0,023
16	568689.318	6622190.822	2.139	2.200	0,061
17	568688.833	6622191.711	2.140	2.210	0,070
18	568688.354	6622192.573	2.145	2.180	0,035
19	570803.522	6620198.252	55.816	55.820	0,004
20	570804.509	6620198.163	55.814	55.830	0,016
21	570805.502	6620198.062	55.804	55.810	0,006
22	570806.513	6620197.947	55.791	55.810	0,019
23	570807.503	6620197.827	55.786	55.770	-0,016
24	570808.494	6620197.735	55.782	55.750	-0,032
25	570808.406	6620196.758	55.795	55.790	-0,005
26	570807.402	6620196.846	55.800	55.830	0,030
27	570806.405	6620196.967	55.798	55.820	0,022
28	562076.093	6621533.518	322.137	322.120	-0,017
29	562076.785	6621532.787	322.165	322.130	-0,035
30	562077.465	6621532.073	322.202	322.180	-0,022
31	562078.160	6621531.326	322.227	322.210	-0,017
32	562078.843	6621530.578	322.253	322.250	-0,003
33	562079.525	6621529.872	322.291	322.310	0,019
34	562078.791	6621529.186	322.287	322.280	-0,007
35	562078.121	6621529.916	322.261	322.230	-0,031
36	562077.432	6621530.636	322.208	322.220	0,012
37	565472.009	6618178.487	121.778	121.730	-0,048
38	565472.621	6618179.251	121.812	121.810	-0,002
39	565473.256	6618180.029	121.841	121.800	-0,041
40	565472.491	6618180.662	121.790	121.730	-0,060
41	565471.856	6618179.883	121.757	121.750	-0,007
42	565471.238	6618179.100	121.718	121.690	-0,028
43	565470.597	6618178.322	121.693	121.670	-0,023
44	565469.968	6618177.543	121.667	121.630	-0,037
45	565469.332	6618176.767	121.642	121.620	-0,022
46	565468.566	6618177.407	121.599	121.550	-0,049
47	565469.191	6618178.188	121.628	121.580	-0,048

48	565469.829	6618178.963	121.648	121.630	-0,018
49	565470.454	6618179.733	121.670	121.630	-0,040
50	565471.080	6618180.514	121.701	121.680	-0,021
51	565471.714	6618181.283	121.739	121.680	-0,059
52	565470.928	6618181.911	121.704	121.700	-0,004
53	565470.290	6618181.132	121.667	121.670	0,003
54	565469.672	6618180.346	121.632	121.610	-0,022
55	565469.040	6618179.572	121.601	121.570	-0,031
56	565468.409	6618178.807	121.570	121.550	-0,020
57	565467.782	6618178.027	121.545	121.530	-0,015
58	565467.011	6618178.673	121.531	121.480	-0,051
59	565467.641	6618179.459	121.562	121.570	0,008
60	565468.253	6618180.224	121.589	121.600	0,011
61	565468.888	6618181.011	121.623	121.640	0,017
62	565469.522	6618181.771	121.666	121.630	-0,036
63	565470.143	6618182.553	121.702	121.680	-0,022
64	568687.864	6622193.450	2.141	2.200	0,059
65	568687.376	6622194.334	2.152	2.180	0,028
66	568686.896	6622195.181	2.157	2.200	0,043
67	568686.020	6622194.712	2.142	2.160	0,018
68	568686.488	6622193.846	2.127	2.150	0,023
69	568686.979	6622192.961	2.120	2.170	0,050
70	568687.475	6622192.086	2.127	2.150	0,023
71	568687.957	6622191.207	2.128	2.180	0,052
72	568688.427	6622190.344	2.132	2.160	0,028
73	568687.551	6622189.861	2.112	2.160	0,048
74	568687.081	6622190.727	2.117	2.140	0,023
75	568686.595	6622191.605	2.116	2.140	0,024
76	568686.104	6622192.485	2.114	2.150	0,036
77	568685.624	6622193.353	2.128	2.160	0,032
78	568685.154	6622194.218	2.143	2.130	-0,013
79	568684.273	6622193.733	2.112	2.120	0,008
80	568684.751	6622192.869	2.100	2.110	0,010
81	568685.244	6622191.995	2.079	2.130	0,051
82	568685.736	6622191.120	2.075	2.100	0,025
83	568686.213	6622190.239	2.074	2.110	0,036
84	568686.695	6622189.359	2.070	2.140	0,070
85	568685.822	6622188.874	2.061	2.100	0,039
86	568685.334	6622189.764	2.057	2.070	0,013
87	568684.849	6622190.637	2.053	2.090	0,037
88	568684.371	6622191.522	2.071	2.120	0,049
89	568683.882	6622192.390	2.082	2.110	0,028
90	568683.405	6622193.259	2.086	2.120	0,034
91	570805.420	6620197.057	55.813	55.810	-0,003
92	570804.416	6620197.173	55.816	55.830	0,014
93	570803.426	6620197.261	55.828	55.830	0,002
94	570803.308	6620196.266	55.840	55.870	0,030
95	570804.314	6620196.170	55.834	55.850	0,016
96	570805.314	6620196.075	55.820	55.840	0,020
97	570806.316	6620195.956	55.815	55.790	-0,025



98	570807.306	6620195.852	55.807	55.810	0,003
99	570808.306	6620195.744	55.805	55.790	-0,015
100	570808.198	6620194.766	55.815	55.790	-0,025
101	570807.180	6620194.871	55.821	55.810	-0,011
102	570806.208	6620194.968	55.830	55.830	0,000
103	570805.223	6620195.045	55.829	55.840	0,011
104	570804.209	6620195.162	55.839	55.820	-0,019
105	570803.214	6620195.284	55.854	55.890	0,036
106	570803.099	6620194.269	55.858	55.890	0,032
107	570804.109	6620194.158	55.851	55.860	0,009
108	570805.125	6620194.071	55.844	55.870	0,026
109	570806.103	6620193.959	55.840	55.840	0,000
110	570807.091	6620193.851	55.833	55.860	0,027
111	570808.086	6620193.754	55.830	55.840	0,010
112	570807.993	6620192.741	55.849	55.830	-0,019
113	570806.992	6620192.852	55.858	55.850	-0,008
114	570805.991	6620192.955	55.861	55.830	-0,031
115	570805.012	6620193.075	55.864	55.870	0,006
116	570804.006	6620193.175	55.868	55.880	0,012
117	570803.012	6620193.281	55.872	55.840	-0,032
118	562076.741	6621531.348	322.226	322.150	-0,076
119	562076.054	6621532.075	322.182	322.140	-0,042
120	562075.374	6621532.824	322.143	322.120	-0,023
121	562074.651	6621532.131	322.145	322.120	-0,025
122	562075.335	6621531.414	322.184	322.150	-0,034
123	562076.020	6621530.698	322.206	322.170	-0,036
124	562076.705	6621529.941	322.233	322.210	-0,023
125	562077.396	6621529.232	322.282	322.210	-0,072
126	562078.083	6621528.511	322.296	322.260	-0,036
127	562077.355	6621527.826	322.322	322.280	-0,042
128	562076.680	6621528.539	322.281	322.260	-0,021
129	562075.990	6621529.279	322.262	322.190	-0,072
130	562075.310	6621530.000	322.232	322.160	-0,072
131	562074.608	6621530.740	322.185	322.170	-0,015
132	562073.921	6621531.450	322.147	322.110	-0,037
133	562073.185	6621530.778	322.154	322.130	-0,024
134	562073.882	6621530.042	322.180	322.170	-0,010
135	562074.579	6621529.301	322.215	322.190	-0,025
136	562075.259	6621528.591	322.258	322.220	-0,038
137	562075.941	6621527.862	322.300	322.270	-0,030
138	562076.613	6621527.139	322.334	322.280	-0,054
139	562075.904	6621526.447	322.352	322.310	-0,042
140	562075.217	6621527.167	322.309	322.290	-0,019
141	562074.528	6621527.892	322.282	322.260	-0,022
142	562073.844	6621528.609	322.244	322.230	-0,014
143	562073.161	6621529.342	322.217	322.160	-0,057
144	562072.454	6621530.088	322.178	322.140	-0,038

Avvik [m]	
Gjennomsnitt	-0,447
Maksimum	0,074
Minimum	-0,076
Standard	0,033



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)