



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Tiltak mot flom – Gjenåpning av bekk i Ås sentrum

Methods of flood prevention – Reopening of river in
Ås city center

Håkon Larsen
Vann- og Miljøteknikk

FORORD

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på masterstudiet innenfor vann- og miljøteknikk ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). Masteroppgaven er gjennomført våren 2017 ved instituttet REALTEK, og har et omfang på 30 studiepoeng.

Ved oppstart av oppgaven hadde jeg ingen tidligere erfaring med ArcGIS, men syntes programvaren virket spennende og nyttig for mine fremtidige arbeidsoppgaver som VA-SIVING. Oppgaven bydde på mange utfordringer og var tidkrevende. Allikevel ble utfordringene tatt på strak arm og tidkrevende arbeid ble artig arbeid.

Jeg vil rette en stor takk til min dyktige hovedveileder Arve Heistad for all hjelp og nyttige råd i denne hektiske perioden. En stor takk går også til Demmelash Mengistu og Lars Buhler i Ås kommune som satte av mye tid for å gi god veiledning i ArcGIS.

Tusen takk til korrekturleserne Marius Austad, Magnus Rysstad Nyvold, Magnar Bjørnulf Mathisen, Brita Synnøve Bakkerud Larsen og Olav Harald Larsen.

Sist, men ikke minst rettes en stor takk til alle som har motivert og støttet meg i denne perioden.

Ås, 13. Mai 2017

Håkon Larsen

SAMMENDRAG

Klimaendringer fører til store utfordringer i mange deler av verden. Noen regioner vil få økte utfordringer med tørke og vannmangel, mens andre vil få økt nedbør og større flomproblemer. Det er spesielt de urbane områdene med en stor andel av tette flater og rask avrenning som er utsatt for flom og hvor skadepotensialet er størst. Store flommengder vil oppstå som følge av byområdets svake evne til å infiltrere nedbørsmengdene og begrensede magasineringssevne. Ulike strategier for klimatilpasning er skissert for å redusere skadevirkningene i fremtiden. Disse omfatter bl.a. endrede dimensjoneringskriterier for avløpssystemer separering av eldre fellesavløpssystemer, tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD) og reetablering av naturlige vannveier. Et scenario som er spesielt fryktet er flom på vinterstid. Frost i bakken vil føre til en enda lavere infiltrasjonsevne samtidig som islagte innganger til overvannsrørene hindrer videre transport av nedbørsmengdene. Det er interessant å identifisere hvilke områder som blir berørt ved store tilfeller av flom. Samtidig er det nødvendig å finne effektive tiltak som reduserer flomskadene.

I denne masteroppgaven ble ArcGIS brukt til å fremstille aktsomhetskart for en 500-årsflom i dagens Ås sentrum. Dette ble sammenlignet med aktsomhetskartene for tiltakene som omhandlet gjenåpningen av Hogstvedtbekken. Det ble forutsatt et scenario med vinterflom der vann ikke kan infiltrere til marka eller transporteres i overvannsnett som følge av frost i bakken. Aktsomhetskartene gav mulighet til å se hvilke deler av Ås sentrum som ble problemområder for de to ulike scenarioene. På denne måten kunne virkningen av bekkåpningen belyses. Aktsomhetskartet for dagens tilstand illustrerte at et stort område i Ås sentrum ble berørt som følge av en 500-årsflom. På denne strekningen berørte flommen et stort geografisk område. Et lite område nord ble vurdert som spesielt sårbart. En videregående skole, flere store boligfelt og jernbaneinfrastruktur lå i dette området. Ved gjenåpning av bekken ville ikke disse områdene bli berørt av flommen. Dette forutsatte at bekken ble plassert etter lavpunktene i terrenget. Samtidig var det områder som ikke opplevde noen effekt av tiltaket. Disse områdene omfattet landbruksområder, boligområder, jernbaneinfrastruktur og veinett.

ABSTRACT

Climate change leads to major challenges in many parts of the world. Some regions will face increased drought and water shortages, while other areas will experience increased rainfall and major flood problems. It is especially the urban areas with a large proportion of dense surfaces and rapid drainage that are prone to flooding and where the damage potential is greatest. Large flood lengths will arise because of the urban area's weak ability to infiltrate rainfall and limited storage capacity. Different strategies for climate adaptation are designed to reduce future damages. These include altered drainage system dimensioning criteria, separation of older combined drainage systems, low impact development strategies (LID) and rehabilitation of natural waterways. A feared scenario is flooding during winter. Frost in the ground will lead to even lower infiltration capabilities, while sealed inputs to the storm water system prevent transport of rainfall. It is interesting to identify which areas are affected by large cases of flooding. At the same time, it is necessary to find effective measures that reduce flood damage.

In this master's thesis, ArcGIS was used to produce maps that illustrated the area of flood caused by a 500 year flood in today's Ås center. This was compared with the maps for the actions of reopening the Hogstvedt river. It was assumed a scenario of winter flood where water cannot infiltrate to the ground or be transported by the storm water system due to frost in the ground. The maps gave the opportunity to see which parts of Ås center became problem areas for the two different scenarios. This way, the effect of the river opening could be illustrated. The maps illustrated that a large area in the center of Ås was affected as a result of a 500 year flood for today's condition. In this area, the flood affected a large geographical area. A small area north was considered particularly vulnerable. A high school, several large residential areas and railway infrastructure was in this area. By reopening the river, these areas would not be affected by the flood. It was given that the river was placed at the lowest points in the terrain. There were still areas that did not experience any effect of the action. These areas included agricultural areas, residential areas, rail infrastructure and road networks.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	iii
Abstract.....	v
Ordforklaring	xi
Tabelliste.....	xiii
Figurliste	xv
1 Innledning	1
1.1 Problemstilling.....	2
1.2 Mål med arbeidet	2
2 Klima og overvann.....	3
2.1 Klima.....	3
2.1.1 Klimaendringer – introduksjon.....	3
2.1.2 Klima i Norge (Hittil og i framtiden).....	5
2.2 Overvannshåndtering	11
2.2.1 Forurensninger i overvann	12
2.2.2 Overvannssystemer	13
2.2.3 Åpne og lokale overvannstiltak	13
2.2.4 Fremtidig flomproblematikk i urbane områder.....	16
2.2.5 500-årsflom.....	17
2.3 Lover innenfor overvannshåndtering	18
2.3.1 Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift).....	18
2.3.2 EUs rammedirektiv for vann.....	18
2.3.3 Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven).....	19
2.4 Overvannsmodeller	20
3 Geografiske informasjonssystemer (GIS).....	21

3.1	Koordinatsystemer	21
3.2	Geoide og ellipsoide	22
3.3	Datum.....	22
3.3.1	Geodetisk datum	22
3.3.2	Vertikalt datum	23
3.3.3	Anleggsdatum	23
3.4	Geografiske koordinatsystemer	24
3.5	Projiserte koordinatsystem (Kartprojeksjon).....	25
3.6	NN2000.....	26
3.7	Laserskanning	27
3.8	Digitale terrengmodeller	31
3.8.1	TIN (Triangulated Irregular Network).....	31
3.8.2	Rastermodell	32
3.9	FKB-data.....	33
4	Programvare.....	45
4.1	ArcGIS	45
4.1.1	ArcMap	45
4.1.2	ArcCatalog	45
4.1.3	ArcToolbox.....	46
4.1.4	Spatial Analyst.....	47
4.2	Hensynssoner ved flom.....	49
5	Metode	51
5.1	ArcGIS-arbeid.....	51
5.2	PC-spesifikasjoner	51
5.3	Produksjon av aktsomhetsområde uten gjenåpning av bekk	56
5.3.1	Fremstille DTM fra laserdata.....	56
5.3.2	Generere flomveier	59

5.3.3	Rydde datasett.....	60
5.3.4	Definere en elv.....	62
5.3.5	Innhenting av høyde (m.o.h.).....	62
5.3.6	Finne potensiell vannstandsstigning for 500-årsflom.....	64
5.3.7	Produserte hensynssone.....	66
5.4	Produksjon av aktsomhetsområde med gjenåpning av bekk.....	68
5.4.1	Inntegning av bekk.....	68
5.4.2	Nedsenking av bekk.....	70
6	Resultater og Diskusjon.....	73
6.1	Aktsomhetskartene.....	73
6.1.1	Hensynssone uten bekkåpning.....	73
6.1.2	Hensynssoner for bekkåpning.....	75
6.1.3	Effekt av bekkåpning.....	80
6.2	Videre arbeid.....	85
7	Konklusjon.....	87
8	Referanser.....	89
9	Vedlegg.....	95

ORDFORKLARING

Albedoeffekt: En flates evne til å reflektere lys.

PAH: Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner. Er en type organisk miljøgift som dannes ved ufullstendig forbrenning og oppvarming av organisk stoff.

LOD: Lokal overvannsdiskonering/Lokal overvannshåndtering (LOH)

Evaporasjon: betegnes som fordamping.

TABELLISTE

Tabell 2-1: Viser de ulike LOD-anleggstypene og deres formål og beskrivelse (Lindholm et al. 2008).	15
Tabell 3-1: Beskriver de ulike FKB-standardene.	34
Tabell 3-2: Viser de ulike nøyaktighetsklassenes toleranse for stedfestningsnøyaktighet i de ulike FKB-standardene (Statens kartverk 2014a).	34
Tabell 3-3: Oversikt over de ulike objektklassene og de tilhørende objekttypene for FKB-Veg (Statens kartverk 2014b).	35
Tabell 3-4: Viser hvilken klasse innenfor stedfestningsnøyaktighet de ulike objekttypene for FKB-Veg tilhører (Statens kartverk 2014b).	37
Tabell 3-5: Oversikt over de ulike objektklassene og de tilhørende objekttypene for FKB-Vann (Statens kartverk 2011).	38
Tabell 3-6: Viser hvilken klasse innenfor stedfestningsnøyaktighet de ulike objekttypene for FKB-Vann tilhører (Statens kartverk 2011).	39
Tabell 3-7: Viser hvilken klasse innenfor stedfestningsnøyaktighet de ulike objekttypene for FKB-Bygning tilhører (Statens kartverk 2013b).	42
Tabell 5-1: PC-spesifikasjoner:.....	51

FIGURLISTE

Figur 1-1: Illustrasjon over Ås sentrum som er fokusområdet i denne masteroppgaven (Statens kartverk u.å).	2
Figur 2-1: Illustrerer økningen av CO ₂ -innholdet i atmosfæren fra 1960 fram til dagens nivå (Scripps/NOAA 2017).	5
Figur 2-2: Illustrerer temperaturavviket fra normalen (1961-1990) i årene etter 1900 (eKlima 2017).	7
Figur 2-3: Forandring i gjennomsnittlig årsnedbør gitt i prosent etter 1900. Avvikene er relative til dagens normal (1961-1990) (Sorteberg 2014).	8
Figur 2-4: Temperaturendringer i ulike deler av Norge i normalperioden 2071-2100 sammenlignet med dagens normalperiode (Kartverket/Norsk Polarinstitut 2008).	9
Figur 2-5: Illustrasjon av treleddsstrategi for håndtering av nedbør. Tallene er mm nedbør per tidsenhet og må tilpasses lokalt (Lindholm et al. 2008).	14
Figur 3-1: Viser hvilke EUREF89 UTM-soner som brukes i ulike deler av Norge (Demis u.Å).	25
Figur 3-2: Oversikt over de ulike kommunenes status for innføring av NN2000. Områdene i blått har fullført overgangen til NN2000, mens områdene i oransje fortsatt er i prosjektfasen (Statens kartverk 2017).	27
Figur 3-3: Skisse av metode for laserskanning ved hjelp av fly (Portland State University). ..	28
Figur 3-4: Illustrasjon av hvordan en TIN-modell kan se ut (Portland State University).	32
Figur 3-5: Illustrasjon over de ulike objekttypene til FKB-Veg i en typisk kjørebane (Statens kartverk 2014b).	36
Figur 3-6: Oversikt over ulike FKB-Veg-objekter brukt i et typisk byområde (Statens kartverk 2014b).	36
Figur 3-7: Oversikt over de ulike objektene som avgrensner elver og bekker og deres forbindelse til hverandre (Statens kartverk 2011).	40
Figur 3-8: Oversikt over de ulike objektene som avgrensner land og sjø og deres forbindelse til hverandre (Statens kartverk 2011).	41
Figur 3-9: Illustrasjon av hvordan takoverlapping fremstilles ved bruk av FKB-datasettet for bygninger.	43
Figur 4-1: Illustrasjon av ArcCatalog-vinduet i programvaren ArcGIS (Skjermdump fra ArcMap).	46

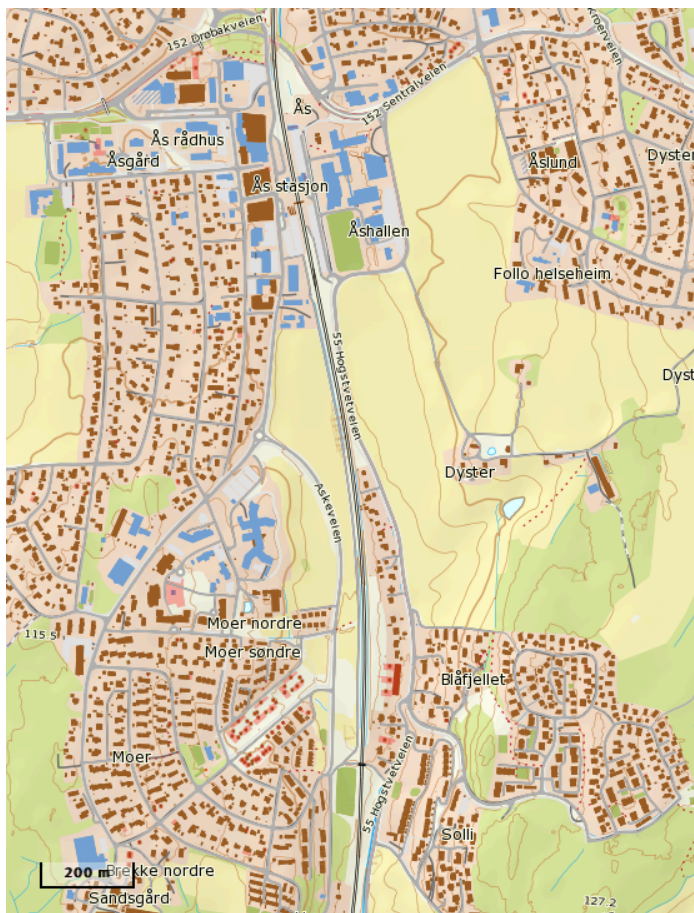
Figur 4-2: Illustrasjon av ArcToolbox-vinduet i programvaren ArcGIS (Skjermdump fra ArcMap).....	46
Figur 4-3: Illustrasjon av Fill-verktøyets funksjon. Markert i rødt er en forsenkning som fylles (ESRI 2011b).	47
Figur 4-4: Illustrasjon som viser hvordan Flow Direction angir høydeverdier til cellene for å bestemme hvilken retning vannet vil renne (Cirello u.å).....	47
Figur 4-5: Illustrasjon av hvordan "Flow Direction"-verktøyet bidrar til "Flow-Accumulation"-verktøyets beregninger(ESRI 2008a)	48
Figur 4-6: Illustrasjon av verktøyet "Raster Calculator" (Skjermdump fra ArcGIS).	48
Figur 4-7: Illustrasjon av verktøyet "Reclassify" (Skjermdump fra ArcGIS).	49
Figur 5-1: Illustrerer det første steget i metoden brukt i rapporten til PTU-OA (2016).....	52
Figur 5-2: Illustrerer det andre steget i metoden.....	52
Figur 5-3: Illustrerer det tredje steget i metoden.	53
Figur 5-4: Illustrerer det fjerde og femte steget i metoden.	54
Figur 5-6: Illustrerer det siste steget i metoden.	55
Figur 5-7: Illustrasjon av reklassifikasjonstrinnet (Skjermdump fra ArcGIS).	67
Figur 6-1: Illustrerer dagens hensynssone for Ås sentrum ved en 500-årsflom.	74
Figur 6-2: Sammenligning av hensynssonen for bekk med dybde 2 m og hensynssonen for bekk med dybde 4 m. Bekken er tegnet inn for frihånd og markert i rødt.....	76
Figur 6-3: Sammenligning av hensynssonen for bekken med fokus på lavpunkter og hensynssonen for den dype bekken.....	78
Figur 6-4: Viser et utsnitt av fokusområdet og sammenligningen mellom de to bekkenes plassering. Bekken som tar utgangspunkt i lavpunktene i terrenget er markert i grønt, mens bekken som er vilkårlig plassert er markert i rødt (Skjermdump fra ArcGIS).	79
Figur 6-5: Sammenligning av dagens hensynssone og hensynssonen for bekkåpning. Bekkåpningen er plassert over lavpunktene i terrenget, og fremstilt ved hjelp av geografiske koordinater. Bekken er markert i rødt.....	81
Figur 6-6: Sammenligning mellom rapporten av PTU-OA (2016) og denne masteroppgavens resultater fra steget som omhandler "Euclidean Allocation".	84

1 INNLEDNING

Klimaendringer fører til store utfordringer i mange deler av verden. Noen regioner vil få økte utfordringer med tørke og vannmangel, mens andre vil få økt nedbør og større flomproblemer. Klimaendringene medfører raske endringer og i vår del av verden forventes stadig kraftigere og hyppigere tilfeller av ekstremnedbør (Hanssen-Bauer et al. 2015). Dette skaper kapasitetsproblemer i avløpsnett og som følge av dette blir oversvømmelser mer vanlig. Det er spesielt de urbane områdene med en stor andel av tette flater og rask avrenning som er utsatt for flom og hvor skadepotensialet er størst. Store flommengder vil oppstå som følge av byområdets svake evne til å infiltrere nedbørsmengdene og begrensede magasineringssevne. Redusert snødekke i vinterhalvåret, kombinert med regn kan også medføre rask avrenning fra områder som ikke har stor andel tette flater. Dette medfører allerede store kostnader knyttet til skader på bygninger og infrastruktur. Forsikringsutbetalinger knyttet til flomskader i Norge ble beregnet til kr. 505 millioner i 2015 (Mørk et al. 2016). Samtidig øker sannsynligheten for sykdommer og epidemier (Schwartz et al. 2006). En annen effekt er økte overløpsutslipp fra avløpssystemet, noe som påvirker vannresipientene negativt, både med hensyn på eutrofiering og utslipp av avløps-søppel. Ulike strategier for klimatilpasning er skissert for å redusere skadevirkningene i fremtiden. Disse omfatter bl.a. endrede dimensjoneringskriterier for avløpssystemer (Lindholm et al. 2003), separering av eldre fellesavløpssystemer, tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD) og reetablering av naturlige vannveier. Mange av disse tiltakene er kostbare og det er derfor viktig å kunne vurdere effektene av ulike tiltak før de iverksettes, slik at vi får kostnadseffektive tiltak. I denne oppgaven er det fokusert sentrumsområdet i Ås, Akershus, som er et problemområde for kommunen med tanke på flom, og er derfor hovedfokus i dette masterarbeidet. Dette er et område omgitt av sårbare elementer som togskiner, skole og boligområder. Ved store flommengder vil dette området være spesielt utsatt for kostnader knyttet til skader på infrastrukturen. Området som er valgt til analyse inkluderer nedbørsfeltet til sentrumsområdet, og består dermed av en større del av Ås sentrum. Et scenario som er spesielt fryktet er flom på vinterstid. Frost i bakken vil føre til en enda lavere infiltrasjonsevne samtidig som islagte innganger til overvannsrørene hindrer videre transport av nedbørsmengdene. Med dette utgangspunktet har en vurdert aktuelle tiltak som kan forbedre overvannshåndteringen i en del av Ås sentrum.

1.1 PROBLEMSTILLING

En vinterflom karakteriseres ved frossen mark (tele), med svært begrenset infiltrasjon, og ved at inngangen til overvannsrørene er islagte. Nedbør som regn vil derfor medføre avrenning som følger terrengefallet og akkumulerer i forsenkninger i terrenget. Med utgangspunkt i endrede avrenningsforhold i vinterhalvåret, hvilke områder vil kunne bli påvirket av en flom, og hvilke tiltak bør iverksettes?



Figur 1-1: Illustrasjon over Ås sentrum som er fokusområdet i denne masteroppgaven (Statens kartverk u.å).

Det er mulig å bruke ArcGIS for å generere hensynssoner for området rundt Hogstvedtbecken i Ås. Er denne programvaren god nok for å vurdere virkning av kostbare tiltak?

1.2 MÅL MED ARBEIDET

- Identifisere hvilke områder som blir berørt ved simulering av en 500-årsflom – kartlegge hensynssoner.
- Vurdere bekkeåpning som tiltak

2 KLIMA OG OVERVANN

2.1 KLIMA

Ifølge (Meteorologisk Institutt u.d-b) beskrives klima som *«gjennomsnittsværet på ett sted eller område, slik det framkommer når enkeltobservasjoner bearbeides statistisk etter internasjonale retningslinjer»*.

Værforholdene varierer stort fra en dag til en annen, og det er derfor vanskelig å observere en tydelig identifikasjon for området klima. Hvis været derimot betraktes over en større periode synliggjøres et mønster slik at en enkel statistisk beskrivelse kan utformes. Det er derfor vanlig å dele klimaet inn i 30-årsperioder, også kalt normalperioder, for å skissere klimaet i ulike områder. Det er internasjonal enighet om at de samme normalperiodene skal brukes ved analysing av klima. 1961-1990 er den normalen som brukes i dag.

Variasjonene innad i normalen beskriver også klimaet. Dette forteller hvor mye været kan variere fra normalen uten å være unaturlig. Været har naturlige variasjoner. Det er derfor helt vanlig at ulike parametere endrer seg fra normalen i enkelte korte tidsperioder.

Klimaet bygges også opp av de observerte og beregnede ekstremverdiene. Disse verdiene kan eksempelvis være høyeste nedbørsmengde eller laveste temperatur i et område. Ved hjelp av statistiske metoder kan hyppigheten til de ekstreme verdiene beregnes. Samtidig kan det beregnes når de ulike hendelsene vil inntreffe. Disse resultatenes nøyaktighet avhenger av lengden på de historiske dataene (Meteorologisk Institutt u.d-a).

2.1.1 Klimaendringer – introduksjon

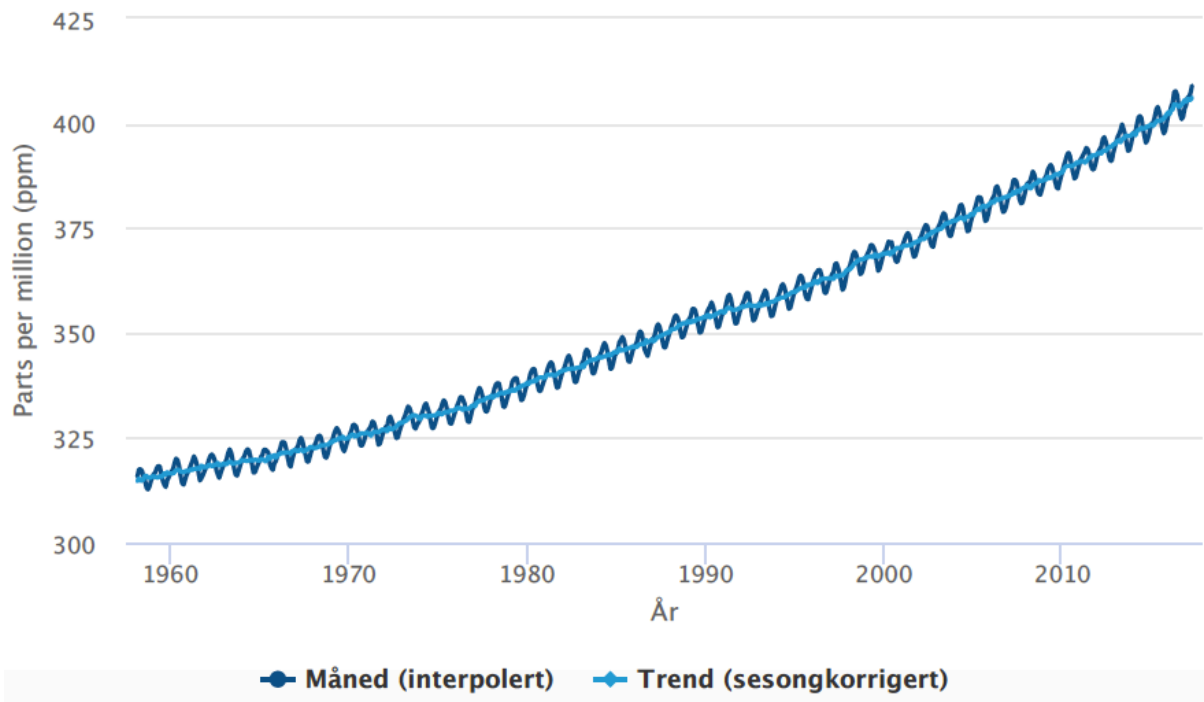
Siden industrialiseringens inntog har utslippet av klimagassene vært i sterk vekst. Dette har ført til nivåstigning i verdenshavene, forandring i vindsystemene, og økt global temperatur, samtidig som flere tilfeller av ekstremvær har blitt observert. Orkaner og sykloner er fryktede vær fenomener som det er antatt at vil fremtre oftere. Endringene som skjer i klima er forskjellig fra region til region. Dette uttrykkes tydelig gjennom de målte nedbørsmengdene. Generelt vil tørre områder lide enda mer av lave nedbørsmengder, mens nedbørsrike områder vil få enda mer nedbør. Det er ventet at nedbørsmengdene vil øke mest i polarområdene sammen med Norge og Nord-Europa. (FN-sambandet 2016).

Hovedårsaken til disse klimaendringene er den styrkede drivhuseffekten jorda opplever. Klimaet bestemmes av de tre faktorene: solens energitilførsel, refleksjonsevnen til atmosfæren og sammensetningen av de kjemiske stoffene i atmosfæren. Disse tre faktorene har derfor mulighet til å kunne påvirke klimaet. Energitilførselen som mottas fra sola er relativt stabil, men varierer over en syklus på 11 år. Denne variasjonen er derimot såpass beskjeden at den mest sannsynlig ikke påvirker klimaet.

Atmosfærens refleksjonsevne er blant annet avhengig av skylaget, sulfatinnholdet og bakkens albedoeffekt. For eksempel vil et isdekke reflektere mer lys enn et område dekket av skog (Myhre 2013). Omtrent 30% av solens stråling reflekteres direkte ut i verdensrommet. De øvrige 70% av strålingen blir enten absorbert av bakken eller av atmosfæren. Klimagassene i atmosfæren vil absorbere noe av jordens langbølgede stråling, og bidrar derfor til oppvarming av jordoverflaten.

Den naturlige drivhuseffekten bidrar til en behagelig temperatur som er grunnleggende for alt liv på jorden. Gassene i atmosfæren absorberer den langbølgede strålingen fra jorda. De viktigste gassene er vanndamp, karbondioksid, metan, lystgass, ozon og fluorholdige gasser. Uten denne effekten ville jorda hatt en gjennomsnittstemperatur på -18°C istedenfor 15°C . Stor menneskelige aktivitet etter den industrielle revolusjonen har ført til at disse klimagassene har økt sin konsentrasjon i atmosfæren. En større del av strålingen fra jorden absorberes derfor av atmosfæren. Dette har gitt en forsterket drivhuseffekt som har ført til den globale oppvarmingen som oppleves i dag og i tiden fremover.

Andelen av karbondioksid i atmosfæren øker stadig på grunn av menneskelig aktivitet. CO_2 er den drivhusgassen som bidrar mest til klimaendringene. Alene bidrar CO_2 til over 50% av den menneskeskapte drivhuseffekten. Fossile brensler som olje, kull og gass utnyttes i store mengder verden over, og er den største bidragsyteren til de menneskelige utslippene av karbondioksid. Det er spesielt etter 1960 at atmosfærens innhold av CO_2 har steget.



Figur 2-1: Illustrerer økningen av CO₂-innholdet i atmosfæren fra 1960 fram til dagens nivå (Scripps/NOAA 2017).

De mest generelle endringene i klimaet de siste 100 årene har vært gjennomsnittstemperaturen og havnivået. Gjennomsnittstemperaturen har økt med 0,3-0,6°C, mens havnivået har økt med 25 cm. Ifølge FNs klimapanel finnes det en sammenheng mellom menneskeskapt utslipp og temperaturøkningen i denne perioden.

FNs klimapanel estimerer at endringen i gjennomsnittstemperaturen vil øke med 1-3,5°C innen år 2100. Havnivået blir anslått til å øke med 15-95 cm i samme tidsperiode. Disse forandringene i klima vil kunne føre til komplikasjoner for det biologiske mangfoldet og artene i utsatte områder (Miljølære.no u.d).

2.1.2 Klima i Norge (Hittil og i framtiden)

Klimaet i Norge er relativt varmt til tross for den nordlige posisjonen. Dette skyldes de varme havstrømmene fra Atlanterhavet og vestavindsbeltet som transporterer varm luft fra sørligere strøk til Norge i nord. Årsaken til de varme havstrømmenes bevegelse mot Norge er sammensatt av en rekke tilfeldigheter. Den lange kysten til Sør-Amerika tvinger havstrømmene nordover mot Golfkysten. I dette området vil Golfstrømmen føre til at de varme havstrømmene transporteres videre over Atlanterhavet. Strømmene beveger seg så sammen med den nordatlantiske strømmen før den til slutt når den norske

atlanterhavsstrømmen. Vindsystemene er på samme vis avhengig av en rekke geografiske tilfeldigheter. Blant annet er fjellkjedene i Nord-Amerika samt Grønlandsplatået store bidragsyttere til luftstrømmenes forskyvning nordover (Dannevig 2013).

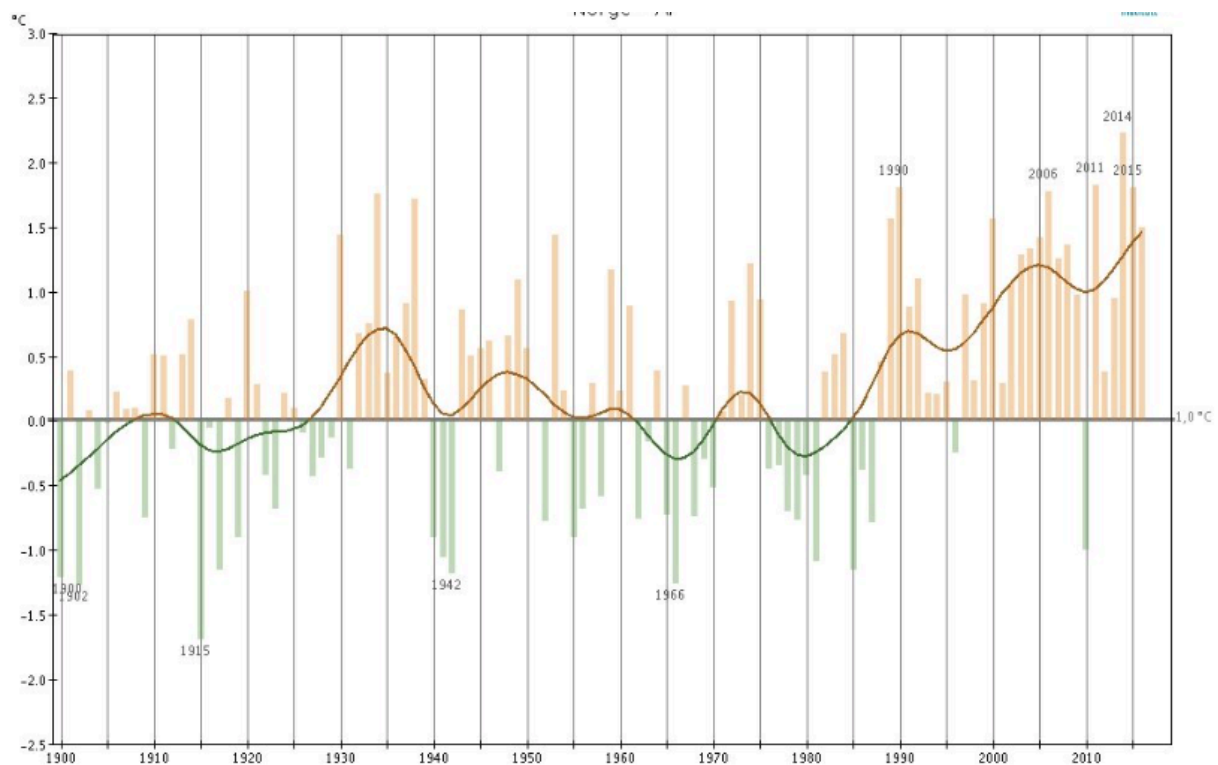
Norge er et langstrakt land som strekker seg over 13 breddegrader. Dette gir grunnlag for store klimatiske forskjeller fra sør til nord. Samtidig varierer landskapet svært mye over korte avstander. Områder kan være preget av store fjell, mens et område i nærheten kan være påvirket av et landskap med fjorder. Dette bidrar til store lokale forskjeller i klimaet. Øst-Norge med Finnmarksvidda opplever andre klimatiske forhold enn Vestlandet. På grunn av fjellkjeden som deler disse to områdene vil Vestlandet få et kystklima, mens Øst-Norge og Finnmarksvidda vil få et mer kontinentalt klima. Kystklimaet kjennetegnes generelt ved mer nedbør og varmere vintre enn det kontinentale klimaet. I Nord-Norge varierer klimaet veldig med årene. I enkelte perioder kan klimaet bli mildere ved påvirkning fra en vestlig sirkulasjonstype. I andre perioder vil klimaet bli kjøligere ved at kontinentale luftstrømmer inntreer fra øst. Den midlere årstemperaturen varierer stort over landet. De sentrale fjellområdene (750-1000 m o.h.) har en årsmiddeltemperatur rundt 0°C, mens områder på vestkysten har opp mot 8°C. De laveste årsmiddeltemperaturene finnes nord i landet i Finnmark (-1 til -2°C). Årsmiddeltemperaturen til landet sett under det hele ligger på 1°C (Dannevig 2013).

Klimaet i Norge kjennetegnes blant annet ved mye nedbør. Hvor mye nedbør som måles i et område er avhengig av hvor i landet målingene foretas. Generelt sett er områder med mye nedbør også forbundet med mye vind. Disse områdene kjennetegnes ofte ved å ha et kyst- eller fjellandskap. Spesielt ved vestkysten vil tunge, fuktige skyer skyves inn mot fjellene av vindsystemene, for senere å bli presset opp av fjellene. I disse områdene vil det typisk være en normal årsnedbør rundt 2000-3000 mm. I andre deler av landet som for eksempel Røros og Dombås finnes det normal årsnedbør på mindre enn 300 mm. Over de viktigste jordbruksområdene varierer den normale årsnedbøren mellom 500 og 1000 mm. På grunn av den enorme årlige nedbørsmengden i kyst- og fjellområdene estimeres landsgjennomsnittet til å være omkring 1600 mm per år. Størsteparten av dette går til avrenning, mens resten går til evaporasjon. Hanssen-Bauer et al. (2015) beskriver at så mye som 1100 mm av den midlere årsnedbøren går direkte til avrenning, mens de resterende 500 mm fordamper. Ved at en så stor andel av nedbøren går til avrenning øker flomrisikoen.

Norge er preget av sterke nedbørsmengder innenfor en svært liten tidsperiode. Den høyeste døgnedbøren som er målt i Norge finner sted i Indre Matre, Hordaland. Der ble døgnedbøren målt til å være 229,6 mm (26.11.1940). I nyere tid finnes det også høye verdier for døgnedbør. 14.09.2005 ble døgnedbøren i Opstveit, Hordaland målt til 179,5 mm. Flere tilfeller av slike ekstreme nedbørsverdier kompliserer oppgaven om flomsikring (Dannevig 2013).

Klimaendringer i Norge – frem til i dag

I likhet med resten av verden har Norge blitt påvirket av den globale oppvarmingen. På en annen side er det viktig å vite at været i Norge har naturlige svingninger i været på grunn av møtende vindsystemer. Allikevel kan det observeres endringer i klimaet som har blitt direkte påvirket av den globale oppvarmingen. Norges gjennomsnittstemperatur har steget med over 1°C det siste århundret (Miljøstatus.no 2017). Det er spesielt temperaturavviket fra normalen de siste 30 årene som trekkes frem som urovekkende. Avviket er stadig økende, og slik figur 2-2 illustrerer, var forskjellen fra normalen (1961-1990) i 2015 omkring 1,5°C.

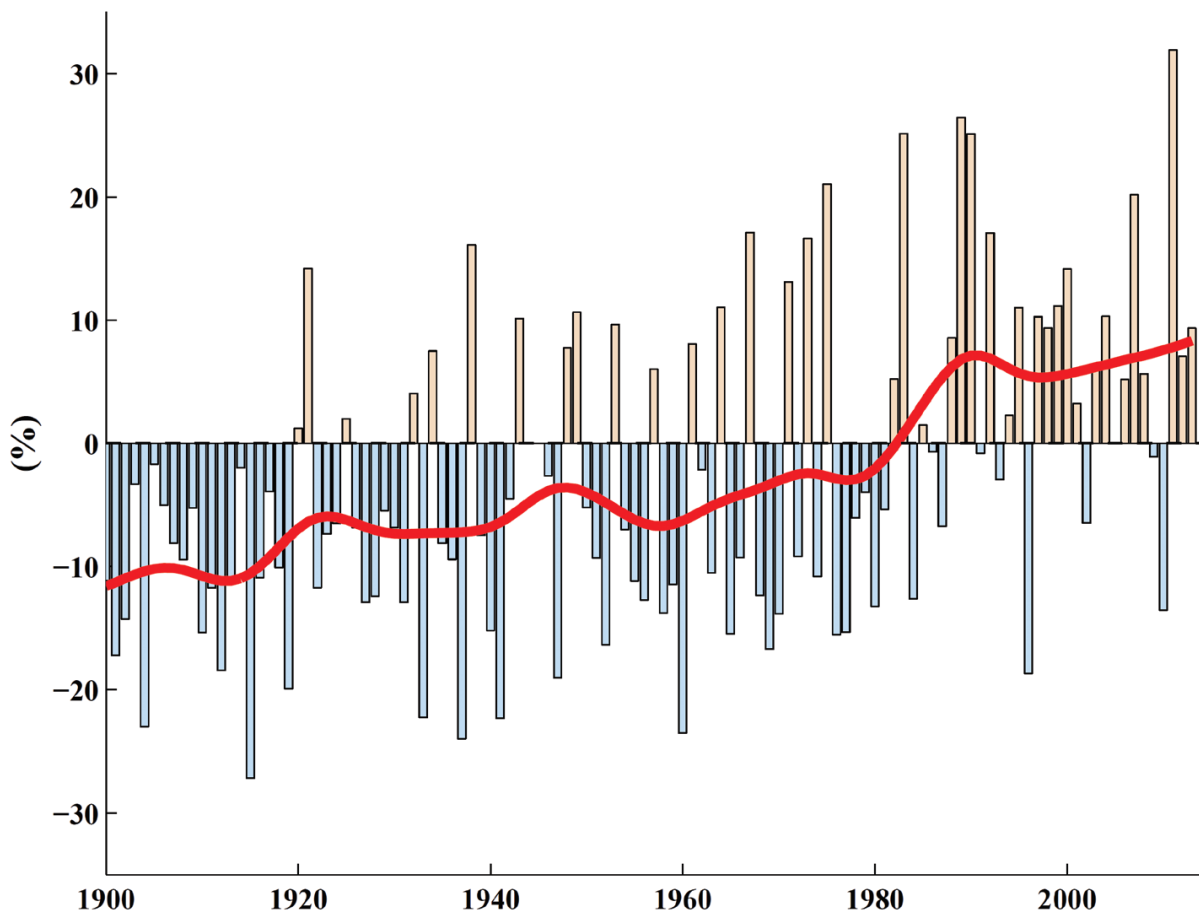


Figur 2-2: Illustrerer temperaturavviket fra normalen (1961-1990) i årene etter 1900 (eKlima 2017).

Det er i de arktiske områdene av Norge der avviket fra normalen er størst. På Svalbard i 2006 var avviket fra normalen på 5°C. Årstemperaturen i dette området har økt med 3,2°C de siste 50 årene (Miljøstatus.no 2017).

Etter år 1900 har også nedbørsmengdene økt i størrelse. Det er spesielt de siste 30-40 årene det har blitt observert en sterk økning vedrørende den gjennomsnittlige årsnedbøren.

Vestlandet er først og fremst det området med sterkest vekst, men resten av landet opplever også en ganske sterk økning i nedbørsmengder. Enkelte værstasjoner har målt en årlig økning på 300-500 mm det siste århundret. Årsaken til den store økningen skyldes flere dager med regn, samt mer intens nedbør (Sorteberg 2014).

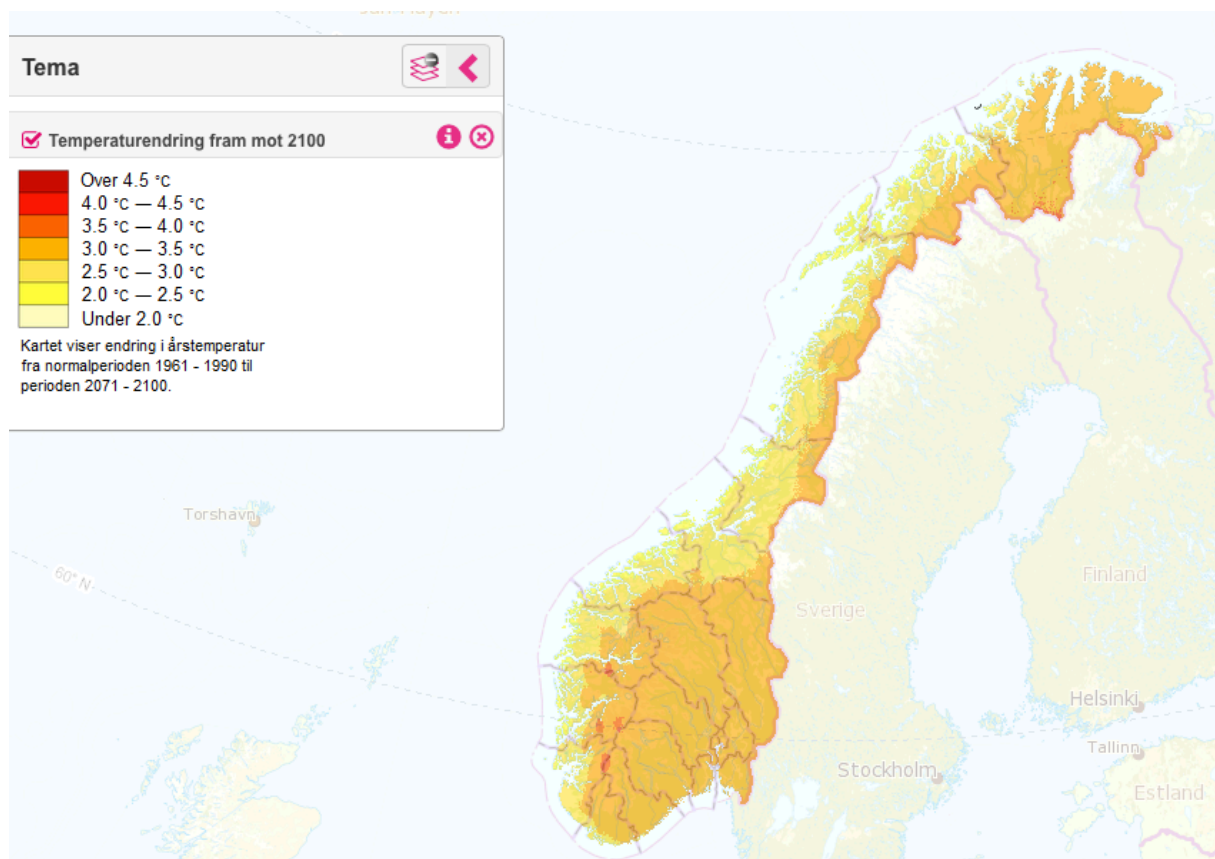


Figur 2-3: Forandring i gjennomsnittlig årsnedbør gitt i prosent etter 1900. Avvikene er relative til dagens normal (1961-1990) (Sorteberg 2014).

Slik figur 2-3 illustrerer har det blitt en brå økning i nedbørsmengdene de siste 40 årene sammenlignet med årene før 1980. Fra 1900 fram til 1980 økte årsnedbøren med omkring 8%, mens det i årene etter kan observeres en økning på nærmere 15%.

Klimaendringer i Norge – år 2100

I 2009 ble rapporten «*Klima i Norge 2100*» utarbeidet. Målet var at denne rapporten skulle føre til økt kunnskap rundt Norges behov for klimatilpasning. Rapporten beskriver klimaforandringene i Norge fram til år 2100. Generelt sett vil klimaet fortsette å bli mildere samtidig som nedbørsmengdene vil øke ytterligere (Miljøstatus.no 2015). En ny rapport ble ferdigstilt i 2015 som en oppdatert versjon av rapporten fra 2009. Ifølge denne oppdaterte rapporten, utarbeidet av Hanssen-Bauer et al. (2015), vil gjennomsnittstemperaturen i Norge ha økt med 4,5°C innen år 2100. Temperaturendringen vil være størst om vinteren og minst om sommeren. Geografisk sett vil innlandet og Nord-Norge få den største temperaturøkningen. I de sørøstlige områdene av Norge, deriblant Ås, er det beregnet at det vil forekomme flere dager med temperaturer over 20°C. Felles for lavlandet i Norge, er at det vil bli et større antall vinterdager med minimumstemperaturer over 0°C fram mot år 2100.



Figur 2-4: Temperaturendringer i ulike deler av Norge i normalperioden 2071-2100 sammenlignet med dagens normalperiode (Kartverket/Norsk Polarinstitut 2008).

Slik figur 2-4 illustrerer, vil det skje en temperaturendring mellom 3,0-3,5°C for Østlandet fram mot 2100 sammenlignet med dagens normal. Dette kan blant annet føre til kortere vintre (Miljøstatus.no 2015).

Nedbørsmengdene er ifølge Hanssen-Bauer et al. (2015) forventet en videre økning fram mot år 2100 for samtlige årstider og områder i Norge. Den gjennomsnittlige nedbørsøkningen for Norge vil være på rundt 18 prosent sammenlignet med dagens normalperiode. Samtidig vil det kunne oppleves flere dager med kraftige nedbørsverdier. Kraftige nedbørsverdier er av Hanssen-Bauer et al. (2015) definert som «ettdøgnsnedbør som ble overskredet i 0,5% av dagene i perioden 1971-2000 (det vil si den døgnverdien som ble overskredet ca. to ganger per år på årsbasis og en gang pr andre år på årstidsbasis)». Antall dager med «kraftig nedbør» er som nevnt ventet å stige, men også nedbørsmengden på disse dagene vil øke. Det er forventet en økning på 19% for nedbørsmengden på disse dagene. Intens nedbør med kort varighet er estimert til å øke med 30% innen slutten av århundret. Dette vil føre til flere episoder med større regnflommer (Miljøstatus.no 2015).

2.2 OVERVANNSHÅNTERING

Regnvann og smeltevann som ikke infiltreres i grunnen, men renner bort på tette overflater kalles for overvann. Den stadige fortettingen i urbane områder har sørget for at mindre deler av arealet er grønne flater. Denne byutviklingen har sørget for at en større del av nedbøren renner bort på tette overflater istedenfor å infiltrere ned i bakken. Ved store mengder av nedbør eller hurtig snøsmelting vil dette kunne by på problemer spesielt i de urbane områdene. Løsningen på denne problematikken har tradisjonelt sett vært å lede overvannet på en rask måte gjennom lukkede ledningssystemer ut av det urbane området.

Dette har ifølge Ødegaard et al. (2014) resultert i utfordringer knyttet til:

- Økt overvannsavrenning i mengde og intensitet
- Økt vannhastighet og fare for erosjon
- Senkning av grunnvannsstanden samt skader på vegetasjon og bygningskonstruksjoner
- Utslipp og spredning av overvannsforurensninger (Tungmetaller og miljøgifter m.m.)
- Foringelse av det økologiske miljøet (Reduksjon av biologisk mangfold)

Ved å videreføre den tradisjonelle overvannshåndteringen vil overbelastning av overvannssystemene bli mer sannsynlig. Samtidig vil overflateavrenningen, flomfrekvensen, forurensningen, anleggskostnadene, setningsskadene og vegetasjonsuttørkingen øke. Den ønskede overvannshåndteringen skal ta hensyn til innbyggernes liv, helse og økonomi, samt økosystemene i og rundt det urbane området. Dette sørges for ved å sikre at overvannet styres vekk fra bebyggelse og inn i flomveiene. Samtidig skal ikke de flomutsatte områdene bebygges. Vannkvaliteten på overvannet skal være av god kvalitet for å hindre negativ påvirkning av grunnvann, vassdrag og sjø. Videre må overløpsdriften fra avløpssystemet reduseres. Ved etablering av nye urbane områder er det viktig at grønne arealer prioriteres og at vannvegene har god kapasitet. Det er derfor viktig å unngå lukking av bekk.

Til kontrast fra den tradisjonelle overvannshåndteringen er tanken fremover å fordrøye og infiltrere overvannet lokalt slik at belastningen nedover ikke blir like stor. Dette kalles lokal overvannsdiskontering og skal omtales i kapittel 2.2.3. Dette sikrer blant annet at grunnvannsstanden opprettholdes og at overvannet føres bort på en miljøvennlig og kostnadsgunstig måte. Ved at overvannet synliggjøres istedenfor å legges i rør, bidrar til et mangfoldig økosystem og fungerer som rekreasjon for innbyggerne. Overvannshåndtering er

imidlertid en kompleks affære og krever sterkt samarbeid fra alle involverte parter i det aktuelle området.

2.2.1 Forurensninger i overvann

Forurensningene som oppleves i overvannet i de urbane strøkene kommer i hovedsak fra biltrafikken. Det er spesielt organiske miljøgifter og tungmetaller som ikke er ønsket i overvannet. PAH-forbindelser og PCB inngår under de minst ønskelige organiske miljøgiftene som er å finne i overvannet. Enkelte PAH-forbindelser kan føre til negativ helseeffekt og gi ulike typer av kreft. PCB er skadelig for både mennesker og dyr ved at dens konsentrasjon bygger seg opp gjennom næringskjedene. Ved høy konsentrasjon kan det blant annet oppstå leverproblemer, kreft, skader på nervesystemet, hudsykdommer og fosterskader.

I perioder med tørt vær vil forurensningene hope seg opp på vegger, tak, parkeringsplasser og i parker. Avgassing fra biler og maskiner, korrosjonsproduktene fra bygninger, veier og biler og organisk stoff som forbrennes bidrar alle til denne opphopingen. Konsentrasjonen til de enkelte stoffene i et område er avhengig av de lokale omgivelsene. Områder med mye vegtrafikk vil for eksempel ha en stor andel av forurensninger knyttet til biltrafikk.

Nedbør og snøsmelting fører til avrenning på overflater i de urbane områdene. Avsatte stoffer vil dermed binde seg til vannmengdene og transporteres ned i overvannsledninger eller i kombinerte fellesavløpssystemledninger. Det er ved det første regnskyellet etter en tørrværsperiode, eller såkalte «first-flush-situasjoner», at overvannets konsentrasjon av suspendert stoff, organisk stoff, næringsstoffer og mest interessant; miljøgifter og tungmetaller, er størst.

Avhengig av områdets håndtering av overvann, vil forurensningene nå vannforekomstene på tre ulike måter ifølge Ødegaard et al. (2014):

- Direkte utløp fra overvannsledningene i separatavløpssystemene
- Utslipp fra regnvannsoverløp i fellesavløpssystemer
- Utslipp fra avløpsrensaneanleggene når disse også betjener fellesavløpssystemer

Overvannet består av forurensninger som for det meste tar form som partikulært materiale. Dermed vil det være relativt enkelt og lite kostbart å fjerne disse forurensningene. En vanlig

metode for fordrøyning av overvann der rensing også foregår, er bruk av fordrøyningsdammer med mulighet for bunnfelling av partikler.

2.2.2 Overvannssystemer

Overvann kan transporteres i to ulike rørsystemer: Felles- og separatsystem. I fellessystemet er det to ledninger. Den ene er for drikkevann og den andre er for både spillvann og overvann. Dette betyr at alt avløpsvannet, inkludert overvannet, går til rensesanlegget. I situasjoner med store nedbørsmengder kan noe av avløpsvannet gå i overløpet og transporteres direkte til resipienten (Ødegaard et al. 2014).

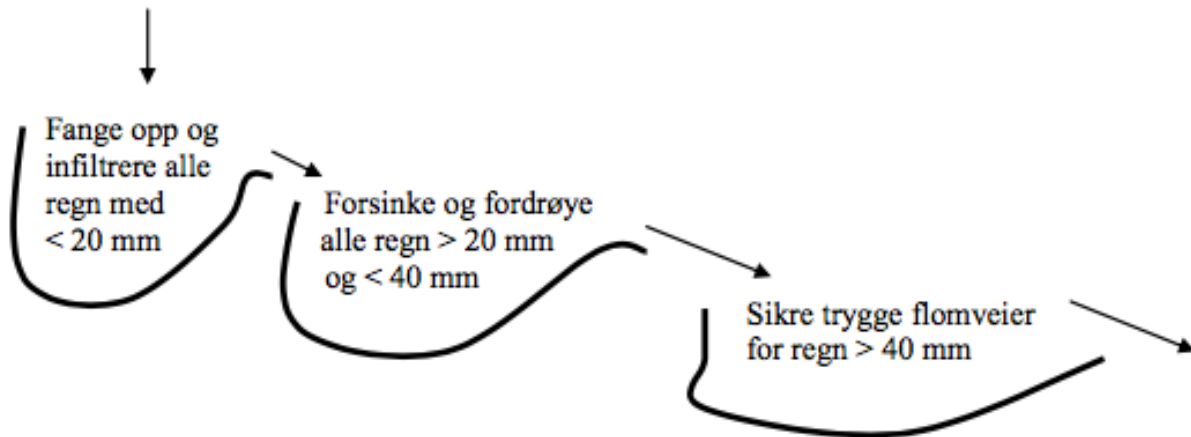
Separatsystemet har separate ledninger for spillvann og overvann. Ledningen for overvann går direkte til resipienten, mens ledningen for spillvann går til rensesanlegget. Dette fører til at rensesanlegget kun renser spillvannet (med innlekkasjer), og belastes derfor i mindre grad enn i fellessystemet. Samtidig vil forurenset overvann transporteres urensert til resipienten. Ved valg av separatsystem vil kostnader knyttet til rensing, pumper og rør bli mindre (Ødegaard et al. 2014).

Som følge av klimaendringene øker nedbørsmengdene. Dette fører igjen til større mengder av overvann. Sannsynligheten for overbelastede overvannssystemene øker som følge av dette. Dimensjoneringen til overvannssystemene må dermed vurderes økt med tanke på fremtidens flommengder (Lindholm et al. 2003).

2.2.3 Åpne og lokale overvannstiltak

Som nevnt under kapittel 2.2 fokuserer den tradisjonelle overvannshåndteringen på å lede overvannet på en rask måte gjennom lukkede ledningssystemer ut av det urbane området. Den mer moderne idéen er å ta i bruk løsninger innenfor lokal overvannsdisponering (LOD). Dette går ut på at vannet skal få infiltrere til bakken på naturlig vis og/eller ledes bort i åpne vannveger og dammer. Dette kan føre til lavere kostnader for transport av overvann, opprettholdelse av grunnvannsnivået, og kan dessuten føre til et triveligere bomiljø. Dette går innunder den blågrønne strategien som omhandler grøntarealers og vannets inkludering i bybildet. Det er også viktig å etablere trygge flomveier for store nedbørsmengder. Andre sentrale formål med LOD-løsningene handler om å unngå oversvømmelser, overløpsutslipp, overbelastning på ledningsnett, samt redusere faren for erosjon ved avrenning i sensitive områder (Ødegaard et al. 2014).

Sentralt i den lokale overvannsdiskoneringer står treleddsstrategien. Dette er en plan om hvordan regnmengdene fra feltet skal håndteres. I første omgang skal alt regn infiltreres eller fanges opp i f.eks. dammer eller våtmarker. De mengdene av regn som overskrider kapasiteten vil føres videre til det andre trinnet. Her er målet å forsinke og fordrøye ved hjelp av forsenkninger i bakken, kanaler og bekker. De regnmengdene som også overskrider denne kapasiteten renner videre til flomveiene (Ødegaard et al. 2014).



Figur 2-5: Illustrasjon av treleddsstrategi for håndtering av nedbør. Tallene er mm nedbør per tidsenhet og må tilpasses lokalt (Lindholm et al. 2008).

Det finnes ulike LOD-anleggstyper som hører til under ulike grener av treleddsstrategien. Noen anleggstyper har dermed til hensikt å fange opp og infiltrere, mens andre anleggstyper har til hensikt å forsinke og fordrøye. De ulike LOD-anleggstypene presenteres i tabell 2-1.

Tabell 2-1: Viser de ulike LOD-anleggstypene og deres formål og beskrivelse (Lindholm et al. 2008).

Prinsipp:	Type LOD-anlegg:	Formål:	Beskrivelse:
Dammer	Våtdammer uten fordrøyningsvolum	Rensing	Rensing ved sedimentering og biologisk aktivitet
	”Tørre” dammer.	Fordrøyning og rensing	Dammene dimensjoneres vanligvis for 24 timer.
	Våt dam med fordrøyningsvolum		Best rensing ved permanent vannvolum
Lukkede magasiner	Steinmagasiner og plastkassetter	Fordrøyning	Vannet fordrøyes i porevolumet
	Rørmagasiner		Rørene overdimensjoneres. Utløpet strupes
Våtmark	Grunt, vanddyp < 15 cm	Rensing og fordrøyning	Utstrakt våtmarksområde
	Dam med etterfølgende våtmark		Mindre og dypere (15-45 cm) enn foregående våtmark
	Våtmark med stort fordrøyningsvolum		Permanent vannvolum med overliggende fluktuerende fordrøyningsvolum
Infiltrasjon	Infiltrasjon fra terreng	Reduserer overflateavrenning.	Overvann infiltreres fra terrenget
	Infiltrasjon fra åpne gresskledde grøfter	Unngår grunnvannssenking.	Infiltrasjon fra avrundete åpne gresskledde grøfter
	Infiltrasjonsdammer	Rensing	Infiltrasjon i bunn og sider
	Infiltrasjon gjennom porøs overflatebelegning		Infiltrasjon gjennom f.eks. porøs asfalt
	Lukkede infiltrasjonsgrøfter		Infiltrasjon i lukkede grøfter
Grønne tak	Vannopptak i vegetasjon	Minsker overflateavrenningen	Tilbakeholdelse av første regnskyll

2.2.4 Fremtidig flomproblematikk i urbane områder

Den stadige fortettingen som oppleves i de urbane områdene skaper en rekke problemer. I tillegg bidrar økt regnintensitet til en forsterket overvannsproblematikk. Gamle avløpssystemer er underdimensjonert og har lett for å bli overbelastet nå i dag og i tiden fremover. Dette øker faren for flomskader og forurensningsutslipp direkte til vannforekomsten. Flomskader kan påvirke mange deler av samfunnet. Ødegaard et al. (2014) beskriver følgende ulemper for flomskader i et urbant område:

- Trafikkforstyrrelser
- Skader på veger, parkområder og eiendommer
- Et økt antall sykedager som følge av smitte eller infeksjoner ved kontakt av flomvann eller en infisert vannforsyning
- Tapt omsetning for næringsliv
- Skader på strømkabler, telefon og datakabler
- Elektrisk kortslutning
- Forurensningsutslipp som følge av at avløpsanlegg ikke fungerer
- Et økt grunnvannsnivå. Dette gir økt infiltrasjon av fremmedvann til rørene
- Økt arbeidstid av kommunalt ansatte og private i praktisk arbeid og administrasjon

Det er viktig å registrere størrelsen på de ulike flommengdene og den enkelte flommens hyppighet. På denne måten identifiseres de flomstørrelsene som gjør skade og hvor ofte de fremkommer. Dermed er det mulig å se på et bestemt område og se hvilke flomstørrelser som skader området over en viss tidsperiode. Da kan passende tiltak oppdages på en enklere og mer effektiv måte. De ulike tiltakene som skal kompensere for framtidige økninger i forurensningsutslipp og flomskader i de urbane områdene kan deles inn i noen hovedprinsipper. LOD-løsninger skal sørge for redusert tilrenning til avløpssystemene ved å infiltrere til grunnen. Samtidig skal LOD-løsningene sørge for forsinking og fordrøyning av regnmengdene slik at flomtoppene blir lavere. Et annet hovedprinsipp handler om at overvannet skal separeres i fellesavløpssystemer ved at et nytt rør skal anlegges i slike systemer. Videre må avløpsnettene inneholde flere fordrøyningstiltak. Dette kan for eksempel løses ved å ha høyere overløpskanter eller å inkludere flere fordrøyningsbasseng. Det er også viktig å tenke på at overvannet som går i overløp også bør renses. Det siste hovedprinsippet

går ut på å inkludere fordrøyningsvolum i avløpsrenseanleggene for å unngå forurensningsutslipp før og i renseanlegget (Ødegaard et al. 2014).

Det er ikke bare i Norge at den tradisjonelle overvannshåndteringen blir sett på som et problem. Ifølge (Moore et al. 2016) er det viktig med LOD-løsninger også i områder som Minneapolis, Minnesota, da de tradisjonelle overvannsmetodene er sårbare ved fremtidens nedbørmengder. Spesielt ble våtmarker og annen grønn infrastruktur sett på som viktige faktorer for fremtidig overvannshåndtering.

2.2.5 500-årsflom

I arbeid som involverer overvannshåndtering er det viktig å kjenne til gjentaksintervallene for de ulike flomstørrelsene. De ulike gjentaksintervallene for flom brukes til dimensjoner av ulike byggverk. Disse byggverkene omfatter blant annet kulverter, flomsikringsanlegg, veier, bruer og avløpssystemer. Ofte blir 200-årsflom brukt som grunnlag for dimensjonering (Hanssen et al. 2015).

En 500-årsflom blir betegnet som en katastrofestorm. En 500-årsflom menes med den flommen som statistisk opptrer i gjennomsnitt én gang på 500 år. Denne statistikken er basert på tidligere data, og tar dermed ikke hensyn til endringene i klima. Det er ventet kraftigere og hyppigere nedbør i fremtiden. Dette kan bidra til at dagens 500-årsflom blir fremtidens 200-årsflom (Fergus et al. 2010).

2.3 LOVER INNENFOR OVERVANNSHÅNDTERING

Under dette kapitlet skal noen delkapitler ta for seg de viktigste lovene knyttet til overvannshåndtering. En lov angående gjenåpning av vassdrag er også tatt med.

2.3.1 Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift)

Formål: Skal sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi.

§ 15-10. Avløpsanlegg med ledningsnett

(2) c) «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»

(TEK10 2010)

2.3.2 EUs rammedirektiv for vann

Formål: Alle vann, vassdrag, fjorder og kystvann skal minimum opprettholde eller oppnå «god miljøtilstand» i tråd med angitte kriterier. Dette inkluderer også overvann.

EUs vanndirektiv tredde i kraft i år 2000, og skal sikre god miljøtilstand innen 2021 i alle vannforekomster i alle EU-land og EØS-land. At alle vannforekomster forvaltes på bakgrunn av sitt nedbørfelt istedenfor de gamle administrative grenser er grunnleggende i vanndirektivet. Dette sikrer at vannforvaltningen er fullstendig og tar hensyn til vannets bevegelse i landskapet (Vannportalen 2014; Vannsiden u.Å).

Ved store nedbørmengder kan overvann ha negativ innvirkning på miljøtilstanden til nærliggende resipienter. Det er derfor viktig å inkludere forvaltning av overvann i forurensningsproblematikken (Ødegaard et al. 2014).

2.3.3 Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven)

Formål: Skal sikre en samfunnsmessig forsvarlig bruk og forvaltning av vassdrag og grunnvann.

§ 7. Vannets løp i vassdrag og infiltrasjon i grunnen

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

(Vannressursloven 2000)

§ 14. Gjenåpning av vassdrag

«Vassdragsmyndigheten kan med seks måneders varsel til grunneieren foreta gjenåpning av et lukket vassdrag. Grunneieren har rett til erstatning etter reglene i lov 6. april 1984 nr. 17 om vederlag ved overføring av fast eiendom for tap som skyldes gjenåpningen. Dersom ikke annet er avtalt, fastsettes erstatningen ved skjønn som begjæres av vassdragsmyndigheten»

(Vannressursloven 2000)

2.4 OVERVANNSMODELLER

For å beregne hvilke skader og hvor stort omfang aktuelle flomsituasjoner kan medføre, er det laget ulike modeller. Modellene tillater utregninger av vannføring, tilførsel, flom og kapasitet i overvann- og avløpssystemer. Norge er et land som opplever en stadig økning av overvannsproblematikk. Under Pinseflommen i juni 2013 i Hedmark og Oppland ble kostnadene estimert til å være på om lag 1 milliard kroner (Holø & Lien 2013). Styrket bruk av overvannsmodeller kunne forbedret forståelsen av hvordan ulike tiltak kunne innvirket på kostnadene forårsaket av denne flommen.

Det er viktig å kartlegge eventuelle problemområder der overvann kan akkumuleres og utgjøre skade på mennesker, miljø og infrastruktur. Ved bruk av ulike programmer kan disse problemområdene belyses, og ulike tiltak kan testes inne i modellen. På denne måten kan de beste tiltakene for flomreduisering velges. Dette kan gjøres ved bruk av ulike programvarer som for eksempel ArcGIS, SWMM og MIKE Urban.

Disse programvarene utfører overvannsanalyser som kan tilby resultater for spesifikke områder. Dermed kreves det nøyaktig data for fokusområdet slik at resultatene blir så virkelighetsnære som mulig.

3 GEOGRAFISKE INFORMASJONSSYSTEMER (GIS)

GIS (Geografiske Informasjonssystemer) er et datamaskinbasert system som tillater visualisering, manipulering og analysing av geografiske data. Prinsippet ved slike datamaskinbaserte systemer er å kunne danne en forenklet, men realistisk modell av den normalt svært kompliserte virkeligheten. GIS-verktøyet bidrar på denne måten til en bedre forståelse av nåværende og fremtidig status for interessante geografiske områder. Dermed kan programmer som ArcGIS bidra til bedre beslutningstaking (ESRI u.Å-e; Ørstavik 2015).

Tenge (2005) trekker frem følgende definisjon av GIS som egnet:

«Et system for innlegging, lagring, bearbeiding/analyse av stedfestet informasjon som må virke i en organisasjon og som må ha gode digitale kart i basen».

En realistisk modell er avhengig av en rekke elementer. Hva som bygger opp og bidrar til en god GIS-modell skal utdypes i dette kapitlet.

3.1 KOORDINATSYSTEMER

Ved bruk av GIS-verktøy er det essensielt å velge riktig koordinatsystem. Ved å velge feil koordinatsystem svekkes stedfestingsnøyaktigheten. Koordinatsystemets funksjon er å gi absolutte plasseringer til punkter på jordas overflate. Dette gjøres ved å gi punktet en lengdegrad og en breddegrad. På denne måten fungerer koordinatsystemet som et referansesystem som definerer punktenes plassering. Koordinatsystemet kan bli fremstilt på ulike måter. Geografiske- og projiserte koordinatsystemer presenteres i henholdsvis kapittel 3.4 og 3.5.

Et datum er med på å bygge opp et fungerende koordinatsystem og bidrar til dets funksjon som et referansesystem. De ulike datumene er avhengige av geoiden og ellipsoiden for bestemmelse av høydekoordinater (Geodata u.Å). Datumet sammen med geoiden og ellipsoiden er altså viktige faktorer for et koordinatsystem og skal derfor beskrives nærmere før de ulike typene av koordinatsystem skal presenteres.

3.2 GEOIDE OG ELLIPSOIDE

Sentrale begrep innenfor geografiske informasjonssystemer er geoide og ellipsoide. Felles for disse to begrepene er deres evne til å kunne fremstille jorda geometrisk.

Geoiden er en tenkt flate som et punkts høyde over havet kan refereres til. Flaten tar utgangspunkt i at verdenshavene dekker hele kloden og at kontinentene ikke er til stede. Geoiden er ujevn og bulkete. Disse ujevnhetene skyldes at gravitasjonskraften ikke er lik i alle retninger fra jordas sentrum (Strømsholm 2012).

Ellipsoiden er ifølge Strømsholm (2012) definert som «en lukket, krum flate som av ethvert plan blir skåret i en ellipse». Denne krumme flaten er jevn og er kun bygget opp av matematiske beregninger. Dette forenkler posisjonsberegningen av punkter. Ellipsoiden er nødvendig for oppbygningen av de ulike datumene.

3.3 DATUM

Alle koordinater er avhengige av et datum. Koordinatsystemet og den virkelige verden knyttes sammen ved hjelp av et datum. Datumet består av en matematisk modell som forestiller jordas geometriske fasong. Dette kalles for referanseellipsoiden og gir utgangspunkt for koordinatene. Datumet er også avhengig av noe som definerer hvor Nordpolen, Sørpolen, ekvator og nullmeridianen skal befinne seg. Dette kalles for fastmerker. De aller fleste datum har også en geoid. Geoiden er, som nevnt i kapittel 3.2, mer ujevn enn ellipsoiden. Dette er fordi geoiden tar hensyn til havnivået for hele jorda, samt på grunn av den ujevnt fordelte gravitasjonskraften på jorda.

Det finnes veldig mange forskjellige datum. Årsaken til dette er på grunn av den stadige teknologiutviklingen og behovet for å tilpasse datumet ut i fra lokale forhold. Videre skal de ulike typene av datum beskrives (Geodata u.Å).

3.3.1 Geodetisk datum

For å kunne bestemme punkter over hele jorden inneholder det geodetiske datumet nødvendige størrelser. Det geodetiske datumet danner grunnlaget for koordinatsystemer og høydebestemmelser ved å være referanse for geografiske målinger (Torson & Dick 2015). Det er ellipsoiden som er vesentlig ved bestemmelse av høydene i denne typen datum. Det finnes to typer av geodetisk datum: Geosentrisk datum og toposentrisk datum. Forskjellen er at det

toposentriske datumet krever flere parametre klarlagt enn det geosentriske datumet. Samtidig er det geosentriske datumet knyttet til jordens massesenter, mens det toposentriske datumet ofte er knyttet til et observatorium (Statens kartverk 2009).

3.3.2 Vertikalt datum

Et vertikalt datum kjennetegnes som å være et referansepunkt for høyder, og kan sammenlignes med en geoid. Geoiden fungerer som en referanseflate som symboliserer nullnivået. Høyden oppgis normalt i «meter over havet» (Torson & Dick 2015).

Avstanden mellom punktet og geoiden målt langs perpendikkelen. Høyden er tilknyttet havnivået og vil derfor variere. Havnivået varierer blant annet med landhevingen, det atmosfæriske trykket og tidevannet. Det er viktig å legge til et årstall i definisjonen av datumet i land som opplever disse variasjonene. Spesielt gjelder dette i Skandinavia der landheving foregår (Statens kartverk 2009).

3.3.3 Anleggsdatum

Denne typen datum brukes for nøyaktig posisjonsbestemmelse i mindre områder, eksempelvis en byggeplass. Avstanden til ellipsoiden og geoiden trenger ikke å være kjent. Dette gjør at anleggsdatumet har en redusert utstrekning sammenlignet med de andre datumene.

Området kan ha en synlig origo og hovedakse. Dette kan illustreres ved hjelp av bolter og murer (Mæhlum 2013; Statens kartverk 2009).

3.4 GEOGRAFISKE KOORDINATSYSTEMER

Geografiske koordinatsystemer definerer punkter på jorda i tre dimensjoner som skjæringspunktet mellom en linje. Dette er gitt av en lengdegrad, en breddegrad og avstanden til referanseellipsoiden. Lengdegraden er vinkelen vest eller øst for en referansemeridian til en annen meridian som går gjennom dette punktet. Enklere sagt er lengdegrader halvsirkler som går fra Nordpolen til Sørpolen. Breddegraden, derimot, er vinkelen mellom ekvatorplanet og den rette linjen som går gjennom dette punktet og inn til sentrum av jorda. Dvs. halvsirkler som posisjonerer seg på en parallell med ekvator. I og med at posisjonen er gitt på en tredimensjonal ellipsoide, kan den ikke vises fordreid eller på noe annet enn en kule. Posisjonen til et punkt på jorda blir angitt som grader, minutter og sekunder ved bruk av dette koordinatsystemet.

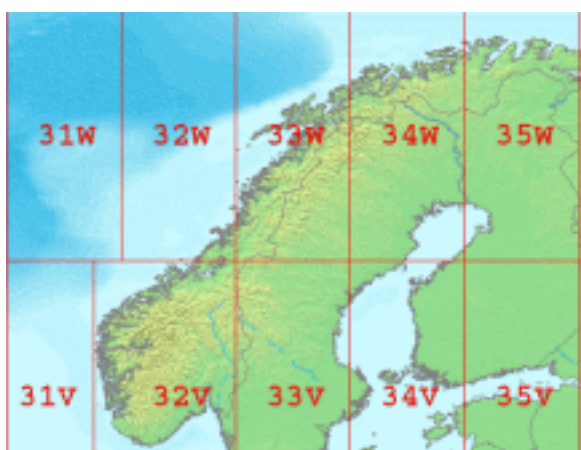
Hvilket datum det geografiske koordinatsystemet er basert på bestemmer ofte navnet det blir gitt. Eksempler er Euref89, WGS84 og ED50. Her er WGS84 ment for globalt bruk, Euref89 er den europeiske versjonen, mens ED50 er en eldre europeisk versjon. De ulike geografiske koordinatsystemene har kompliserte matematiske forskjeller. Dette gjør at de kan bli oppfattet som forskjellige språk. For å oversette fra et koordinatsystem til et annet kreves det en transformasjon. Det finnes mange ulike transformasjoner for de mange ulike geografiske koordinatsystemene. Selv for oversettelser mellom de samme to koordinatsystemene finnes det mange transformasjoner. Dette kan forklares ved at de ulike transformasjonene har forskjellig nøyaktighet (Geodata u.Å).

3.5 PROJISERTE KOORDINATSYSTEM (KARTPROJEKSJON)

Mens geografiske koordinatsystemer uttrykker jorda sfærisk, uttrykker projiserte koordinatsystem jorda som en flate. Projiserte koordinatsystem brukes derfor ofte i sammenheng med utarbeiding av kart. Ved å overføre tredimensjonale objekter ned på et todimensjonalt kart er det mulig å måle avstander direkte. Dette er det ikke mulig å gjøre direkte i et geografisk koordinatsystem. I det projiserte koordinatsystemet er det mulig å få målingene oppgitt med lineære benevninger, for eksempel meter eller kilometer (Geodata u.Å).

Flere egenskaper ved det geografiske koordinatsystemet vil miste sin nøyaktighet ved overgang til et projisert koordinatsystem. Disse egenskapene er formlikhet, areallikhet, avstandslikhet og retning. Ved å beholde nøyaktigheten til én av egenskapene vil nøyaktigheten svekkes hos de andre egenskapene. Prosjeksjoner velges avhengig av hvilken egenskap som anses som viktigst (Geodata u.Å).

For å best kunne bevare alle de fire egenskapene, er det laget et system som består av flere enkeltprojeksjoner. Dette systemet kalles UTM (Universal Transvers Mercator). UTM består av 60 UTM-soner som hver har en bredde på 6 breddegrader. I Norge brukes EUREF89 UTM-sonene 32, 33 og 35. Dette ble innført som offisielt datum og projeksjon i alle kommuner i 2009. På Østlandet brukes UTM-sone 32V. EUREF89 UTM har en målestokkfaktor på 0,9996 i sentralmeridianen. Dette vil i praksis si at 100 meter målt på kartet egentlig er 100,04 meter (Geodata u.Å; Statens kartverk 2015).



Figur 3-1: Viser hvilke EUREF89 UTM-soner som brukes i ulike deler av Norge (Demis u.Å).

3.6 NN2000

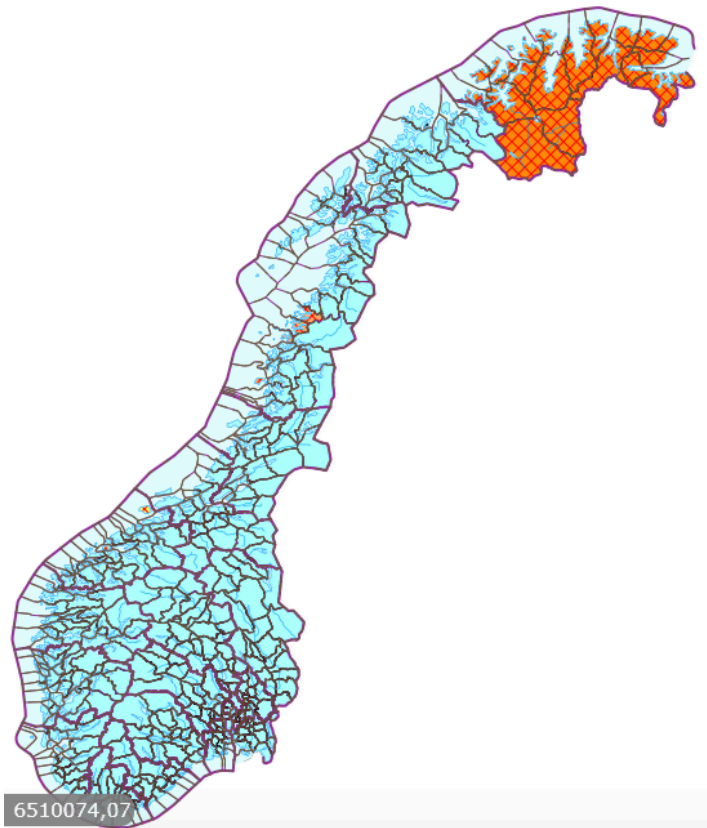
Helt siden 1954 har Norge tatt i bruk NN1954 som sitt høydesystem. Det nye høydesystemet, NN2000, ble innført i samtlige kommuner (Med unntak av kommunene i Finnmark) ved starten av 2017. Allerede i første kvartal av 2014 innførte Ås kommune NN2000 som sitt nye høydesystem. Høydesystemene fungerer som en referanse når antall meter over havet skal angis (Opheim 2014).

Årsaken til innføringen av det nye høydesystemet ligger i at NN1954 har blitt unøyaktig. Dette gamle høydesystemet har ikke blitt korrigert, og tar dermed ikke hensyn til landhevingen som Norge har opplevd etter 1954. Unøyaktigheten er så stor som 30 cm på enkelte områder. I og med at Norge fortsatt blir utsatt for landheving vil unøyaktigheten øke med tiden (Statens kartverk 2016c).

Det nye høydesystemet, NN2000 (Normal Null 2000), har en innebygd landhevingsmodell som beregner og korrigerer systemet for fremtidig landheving. Nullnivået til dette høydesystemet er representert av en geoide som tar hensyn til middelvannsnivået i referanseåret 2000. Forskjellen mellom NN2000 og NN1954 i Follo-området er så stor som 12 – 20 cm. Dette har ført til at alle høydebærende data hos offentlige etater, arkitekter, entreprenører osv. har blitt omregnet ved denne overgangen (Ås kommune 2014).

Ås kommune (2014) beskriver følgende punkter som avgjørende for overgangen til NN2000:

- Det er positivt med et ensartet homogent system for hele landet med kjent kvalitet
- Høydesystemet stemmer med den faktiske høyden til ”marka”
- Fastmerkene må til enhver tid være bedre enn oppmålingsteknologien
- Høydegrunnlaget er essensielt ved bruk av nøyaktige 3D-data og data fra laserskanning
- Bygg- og anleggsvirksomhet nær sjøen er avhengig av en nøyaktig angivelse av middelvannsnivået



Figur 3-2: Oversikt over de ulike kommunenes status for innføring av NN2000. Områdene i blått har fullført overgangen til NN2000, mens områdene i oransje fortsatt er i prosjektfasen (Statens kartverk 2017).

3.7 LASERSKANNING

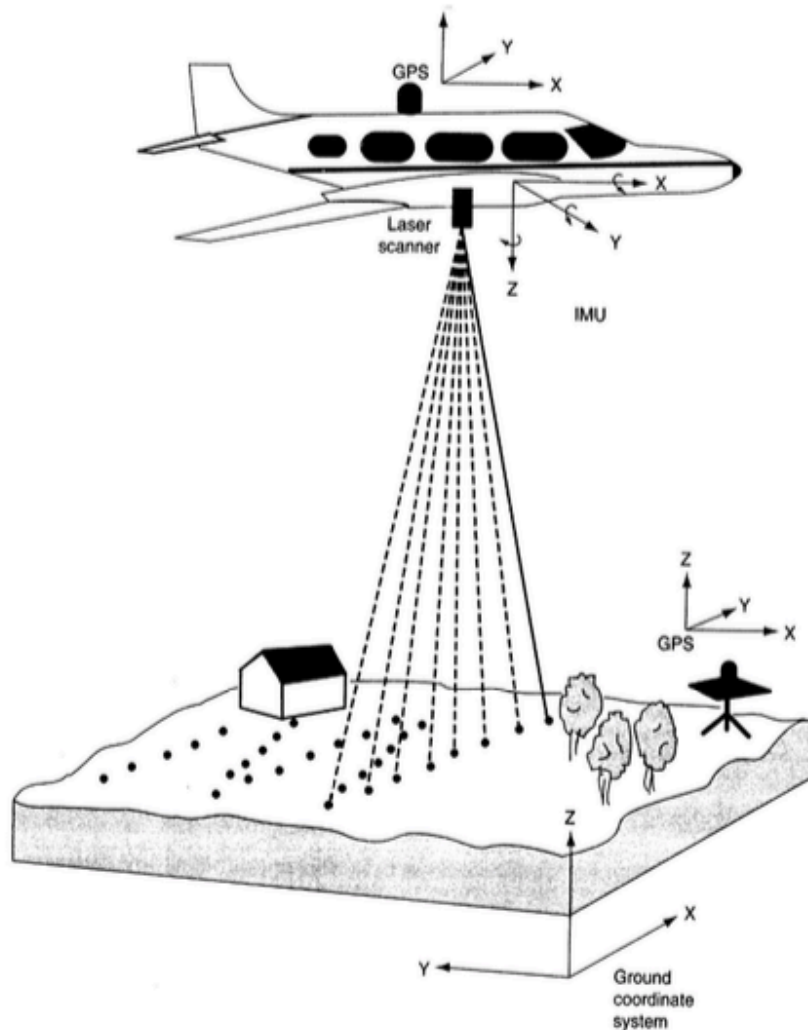
Laserskanning ved hjelp av fly (LiDAR) er et nødvendig verktøy ved innsamling av høydedata over et område. Tidligere var metoden kun brukt i svært snevre yrkesgrupper. I dag har laserskanning med fly blitt populært og brukes av veldig mange til utvikling av næringslivet og samfunnet (Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU) 2011).

Laseren er ikke avhengig av sollys. Dermed kan skanningen foregå om natten. Det kan derimot ikke være overskyet eller tåkete, eller andre forhold som kan hindre laserstrålenes passasje til overflaten. Typisk flyhøyde for denne metoden er 200-300 meter, men ofte høyere over byområder (Portland State University U.å).

Mer grundig går metoden ut på at informasjon av høydene i et område blir samlet inn ved hjelp av en laser som er montert på et fly. Laseren sender ut stråler mot bakken samtidig som flyet beveger seg gjennom landskapet. Videre fordeles strålene på en slik måte at de blir sendt ut på tvers av flyretningen. Dermed vil et bredere spekter av området bli bestrålt. Når strålene treffer bakken eller et objekt reflekteres de tilbake. Tiden det tar før disse strålene returneres

brukes til å beregne høyden til det bestrålte objektet.

Ulike objekter kan ha ulik masse. Derfor vil laserskanningen kunne identifisere skog, sjø, bygninger, fjell osv. Når laseren treffer objekter som er mulig å gjennomtrengre vil det returnere flere pulser. Én av strålingspulsene kan ha blitt reflektert fra toppen av et tre, mens en annen puls kan ha blitt returnert fra bakken ved siden av trestammen (Strømsholm 2010).



Figur 3-3: Skisse av metode for laserskanning ved hjelp av fly (Portland State University).

Når laserstrålene returneres til flyet, kan xyz-koordinatene av det bestrålte området kalkuleres ved å allerede vite posisjonen til flyet og dens orientering i forhold til geoiden. Samtidig kalkuleres også avstanden laserstrålen har beveget seg og dens utgangsvinkel. Dette har også innvirkning på bestemmelse av xyz-koordinatene.

Disse punktverdiene som blir laget er i LAS-format. Dette er et standard filformat for

utveksling av LiDAR-data. LAS-formatet er ikke veldig avansert, men inneholder kjernen av hva flybåren laserskanning vil fremstille. Disse rådataene blir så importert til et GIS-program. De påfølgende stegene er å lage en TIN-modell av overflaten for så å konvertere TIN-modellen til en rastermodell av overflaten (Portland State University U.å). Dette blir nærmere beskrevet i kapittel [3.10.1](#) og [3.10.2](#).

Det finnes mange fordeler ved bruk av LiDAR. Nedenfor er de viktigste fordelene listet opp (Portland State University U.å):

- Nøyaktigheten på kartleggingen er ekstremt stor
- Store områder kan kartlegges på en rask måte
- Raskere behandlingstid og lite arbeidskrevende
- Fungerer i bratte terreng og skyggeområder
- Små kostnader i forhold til fotogrammetriske metoder

Det finnes mange forskjellige bruksområder for dataene denne metoden produserer. Under følger noen eksempler hentet fra Nasjonal digital læringsarena om flybåren laserskanning (Strømsholm 2010):

- Produksjon av høydekurver
- Flomsonekart for elver
- Sol- og skyggestudier
- Kart over arealbruk
- Kartlegge sjø, skog og ledninger

Videre bruksområder kan være for kommuner ved avgjørelser rundt byggetillatelse, planlegging rundt klima og miljø, og ved risikoanalyse eksempelvis. Samtidig kan flysikkerheten bedres ved bruk av disse dataene. Statskog kan bruke dataene til taksering, klimaregnskap og biomasseberegning. Vindmøller kan bli satt på strategiske posisjoner med tanke på å få maksimalt utbytte av vind. Telenor kan også utbedre sine mobilmasters posisjon for konstruksjon av et stabilt og raskt mobilnett (Statens kartverk 2016b).

Det finnes ulike typer FKB-lasere avhengig av behov.

FKB-Laser10 brukes for områder som krever særdeles god beskrivelse av terreng ned på detaljnivå. Typisk brukes denne typen laser til å kartlegge utbyggingsområder og skogtaksering, samt til arkeologiske eller geologiske analyser.

Kravet til stedfestingsnøyaktigheten, når det gjelder høyde for denne laseren, skal være bedre

enn 10 cm. Der det er tett vegetasjon og/eller veldig kupert kan det tillates et svakere krav. Oppdragsgiveren bestemmer kravet for punkttettheten for FKB-Laser10. Kravet varierer avhengig av hva slags terreng som skal avbildes og bruksområdet for modellen. Typisk vil dette kravet være mellom 2 og 10 punkt pr m² (Statens kartverk 2013a).

FKB-Laser20 brukes for områder som krever en detaljert beskrivelse av terrenget. Denne typen av laser brukes ofte til de samme oppgavene som FKB-Laser10. Ulempen ved denne laseren er at den gir mindre detaljer til terrengoverflaten.

Kravet til stedfestingsnøyaktigheten i høyde for FKB-Laser20 skal være bedre enn 20 cm. Dette gjelder overflater som er harde og jevne. Områder som er kupert og/eller er preget av sterk vegetasjon har ikke det samme kravet.

Oppdragsgiveren kan bestemme kravet for punkttettheten for FKB-Laser20. Ofte er kravet mellom 0,5 og 2 punkt pr m² (Statens kartverk 2013a).

FKB-Laser50 brukes i områder der forbedring av allerede eksisterende høydedata er nødvendig. Typiske områder hvor FKB-Laser50 benyttes er i skog- og fjellområder.

Stedfestingsnøyaktigheten i høyde har krav til å være bedre enn 50 cm for harde og jevne flater. For områder som er kupert og/eller med vegetasjon er kravet svakere.

Punkttettheten for FKB-Laser50 er avhengig av bruksområde og terrenget. Det er vanlig at punkttettheten er mellom 0,1 og 0,5 punkt pr m² (Statens kartverk 2013a).

3.8 DIGITALE TERRENGMODELLER

For å knytte terrenget i den virkelige verden til GIS-modellen benyttes digitale terrengmodeller (DTM). Digitale terrengmodeller gjengir overflaten i et tredimensjonalt koordinatsystem med x,y,z -verdier. De ulike høydene i terrenget er representert med z -verdier. GIS-modellen er avhengig av høydedata i forbindelse med flomberegninger. Den digitale terrengmodellen gir altså GIS-modellen mulighet til å beregne retningen nedbørsmengdene vil renne og hvor de vil akkumuleres (ESRI u.Å-a).

Det finnes to ulike typer digitale terrengmodeller i ArcGIS: TIN og raster. De to metodene er ulike i forbindelse med teknikk, redigeringsmuligheter, nøyaktighet, tilgjengelighet osv.

3.8.1 TIN (Triangulated Irregular Network)

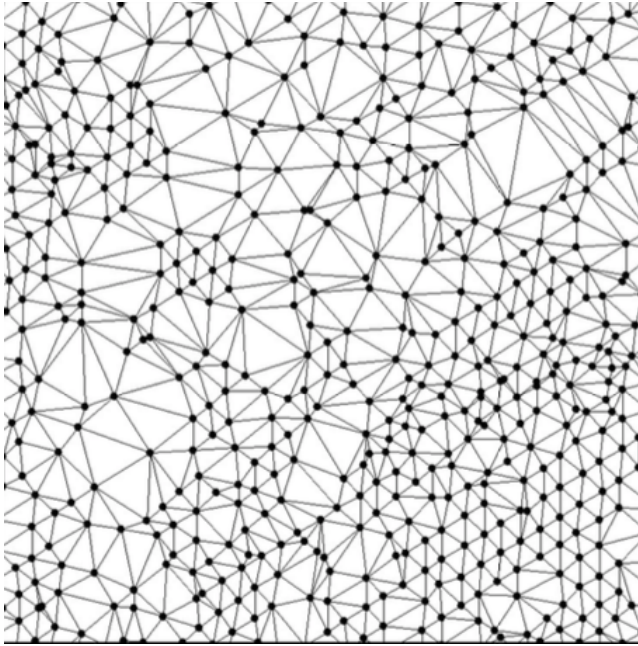
TIN står for «Triangulated Irregular Network» og er definert som en teknikk som brukes for å danne en slags maske av sammenhengende, ikke-overlappende trekantene. Disse trekantene dannes på bakgrunn av et datasett av punkter. TIN-modellen fungerer som en god måte å gjengi terrengoverflaten på. Disse punktene som bygger opp trekantene har en xyz -verdi. Punktene vil så knyttes sammen av linjer som former såkalte «Delaunay triangles». Disse trianglene dannes ved hjelp av Delauney-metoden som setter krav til trianglets størrelse og form.

En av fordelene ved TIN er at Delauney-metoden sørger for at terrengmodellen er uavhengig av hvilken rekkefølge punktene ble bearbeidet. Dette bidrar til at redigering av modellen blir enklere.

TIN-modellen kan plassere noder uregelmessig over overflaten. Dette fører til at ønsket oppløsning i de ulike områdene kan bestemmes selv. Ved svært varierende terreng i et område av landskapet, kan TIN-modellen ha flere noder i dette området. Dette sørger dermed for høyere oppløsning i dette område. For områder som ikke varierer mye i terreng og som ikke krever høy oppløsning, kan nodene plasseres med større avstand. Noder har opprinnelse i punktene.

Andre fordeler ved TIN-modellen er at den er svært presis og kan benytte både linjer og flater i tillegg til punkter (Delaunay).

De negative sidene ved TIN-modellen er at de er mindre tilgjengelige enn rastermodellene, samtidig som modellen er svært vanskelig og tidkrevende å konstruere (Delaunay).



Figur 3-4: Illustrasjon av hvordan en TIN-modell kan se ut (Portland State University).

3.8.2 Rastermodell

En rastermodell kan bli laget direkte fra TIN-modellen. Rastermodellen inneholder celler som er definert med en valgfri størrelse. Cellene ligger organisert i rader og kolonner og har en bestemt posisjon og egenskap. Celler med lik egenskap har dermed likt geografisk trekk. Disse geografiske trekkene kan for eksempel være vei, vann, jordbruk eller bygning (ESRI U.å-c). Størrelsen på cellene bestemmer detaljnivået til rastermodellen. Ved å dele inn modellen i svært små celler skapes det mer detaljer og nøyaktighet. En svært detaljert modell krever stor lagringsplass, og kan føre til ineffektivitet når analyser skal utføres. Responstiden, filstørrelsen og nøyaktigheten på kodingen er dermed avhengig av cellestørrelsen. I områder der topografien og de geografiske trekkene er tilnærmet homogene kan det, av hensyn til lagringsplassen, være gunstig å bruke store celler. Detaljnivået vil ikke påvirkes i stor grad i disse tilfellene (ESRI 2008c).

ESRI (2008c) beskriver følgende faktorer som essensielle ved bestemmelse av cellestørrelsen:

- Oppløsningen til input data
- Lagringskapasiteten til datamaskinen sammenlignet med størrelsen til databasen
- Ønsket responstid
- Hvilken applikasjon som brukes og hvilke analyser som skal utføres
- Kravet til detaljvisualisering

3.9 FKB-DATA

FKB (Felles kartdatabase) er det digitale offentlige kartverket som brukes i Norge. Denne databasen består av en rekke datasett som presenteres på vektorform. De mest detaljrike kartdataene er inkludert i FKB. Disse kartdataene blir blant annet brukt i forbindelse med forvaltningsmessig saksbehandling i kommunen, saksbehandling knyttet til plan- og bygningsloven og analyse og presentasjon i programmer som ArcGIS. Målestokken som kan benyttes i forbindelse med denne typen data varierer mellom 1:500 og 1:30 000 (Statens kartverk 2016a).

Geovekst-samarbeidet

Det er geovekst-partene i kommunen som bidrar med datasettene og forvalter dem. Geovekst-samarbeidet ble stiftet i 1992. Formålet bak dette samarbeidet var å sikre felles etablering, forvaltning, drift, vedlikehold og bruk av geografisk informasjon. De ulike partene som inngår i geovekst-samarbeidet er Statens vegvesen, Energi Norge, KS (Kommunesektorens organisasjon), Kartverket, Telenor, Landbruksdepartementet med underliggende etater og Norges vassdrags- og energidirektorat. Dette samarbeidet sikrer større produksjon av data og lavere utgifter for alle parter (Statens kartverk 2016d).

Datasettene

Det finnes flere typer av FKB-datasett. FKB-datasettene for veg, vann og bygning skal beskrives senere i dette kapitlet. Ifølge Paule (2012) finnes det en rekke typer FKB-datasett:

- Terrengform
- Vann
- Eiendomskart
- Servitutt
- Markslag/AR5
- Naturinfo
- Arealbruk
- Bygning
- BygnAnlegg
- Verneområde
- Kulturminne
- Veg
- Vegnett
- Bane
- Lufthavn
- LedningVa
- LedningElTele
- Fastmerke
- Adresse
- PblTiltak

Datasettene kan deles inn i fire ulike standarder/kategorier: FKB-A, FKB-B, FKB-C og FKB-D. Disse standardene varierer i stedfestningsnøyaktighet og bruksområde. Disse er videre beskrevet i Tabell 3-1.

Tabell 3-1: Beskriver de ulike FKB-standardene.

TYPE:	KJENNETEGN:
FKB-A	Svært detaljert og god stedfestningsnøyaktighet. Brukes i de mest kompliserte byområdene.
FKB-B	Brukes i byer og større tettsteder, samt store veier.
FKB-C	Brukes i spredt bebyggelse.
FKB-D	Lite detaljert og svak stedfestningsnøyaktighet. Brukes stort sett i fjellområder.

For å angi i hvor stor grad av skarphet de ulike objekttypene er definert i terrenget, er det laget fire ulike nøyaktighetsklasser. Forskjellene i nøyaktighet mellom de ulike FKB-standardene illustreres i Tabell 3-2.

Tabell 3-2: Viser de ulike nøyaktighetsklassenes toleranse for stedfestningsnøyaktighet i de ulike FKB-standardene (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)

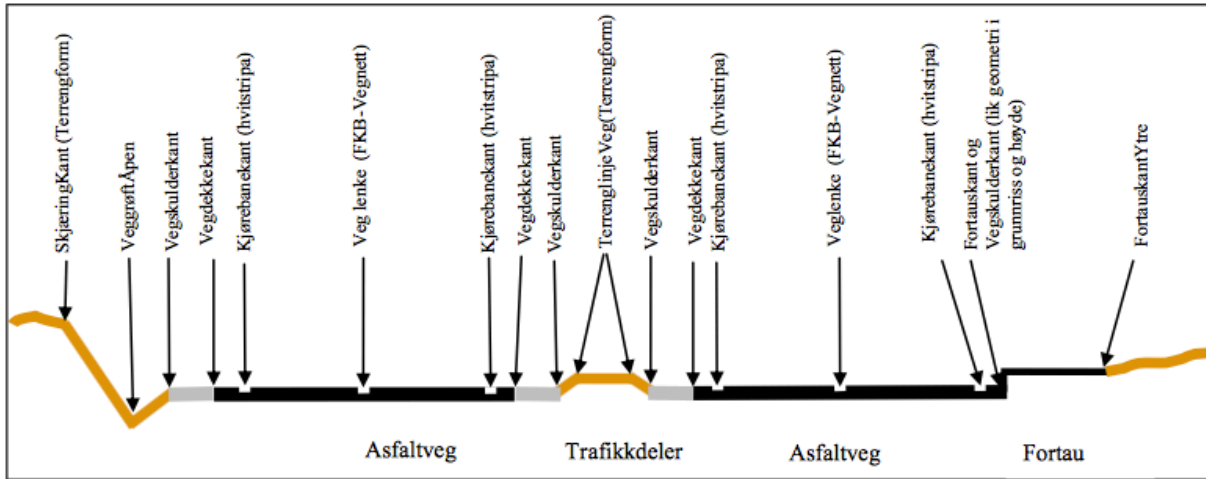
FKB-Veg

FKB-datasettet for veg kalles for FKB-Veg og består av ulike objekttyper. Formålet med FKB-Veg er å skape et godt og detaljert kartbilde gjennom å beskrive veglegemets geometri ved hjelp av flater, flateavgrensende linjer, andre avgrensningslinjer og andre objekter.

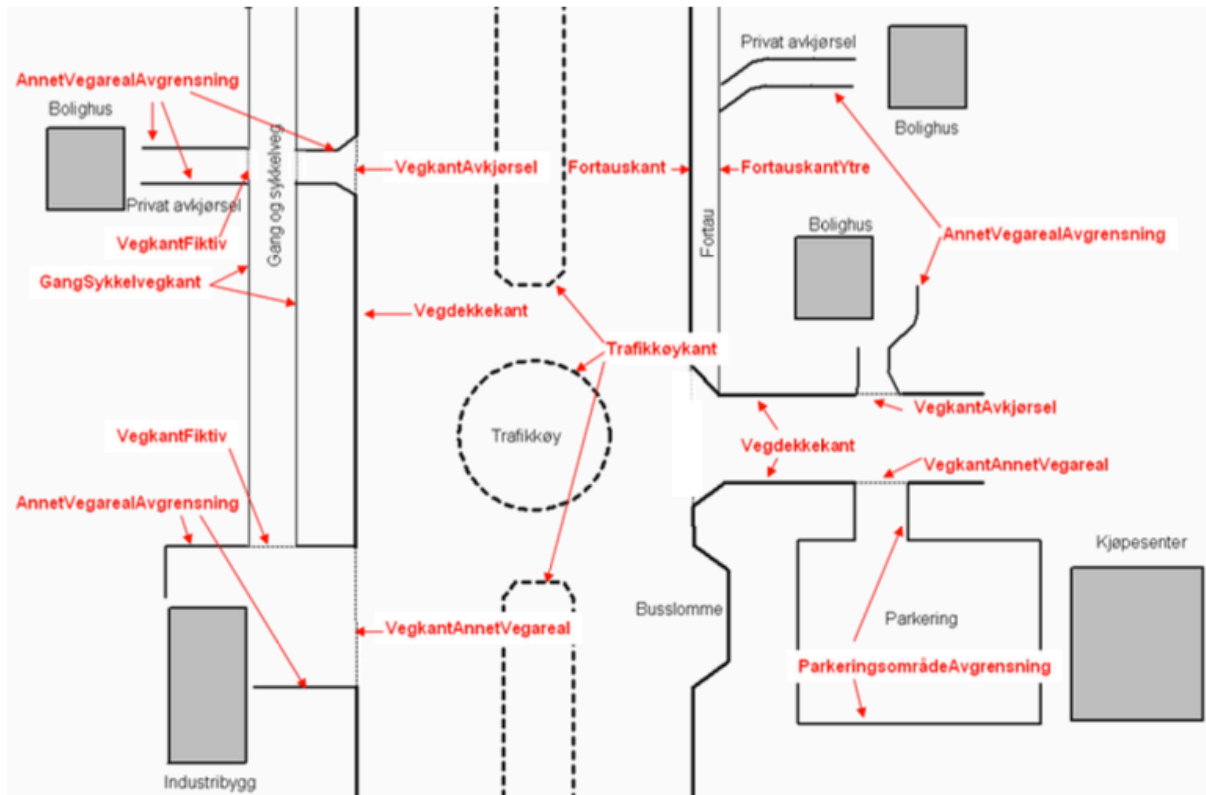
Objekttypene er delt inn etter hvilken av disse objektklassene de tilhører (Statens kartverk 2014b).

Tabell 3-3: Oversikt over de ulike objektklassene og de tilhørende objekttypene for FKB-Veg (Statens kartverk 2014b).

FKB-Veg:					
Klasse:	Flater	Flateavgrensende linjer	Andre avgrensningslinjer	Andre objekter	
Objekter:	Veg	Fortauskant	AnnetVegareal-Avgrensning	Trafikksignalp unkt	
	GangSykkelveg	Gangsykkelvegkant	FortauskantYtre	Skiltportal	
	Parkeringsområde	Traktorvegkant	Kjørebane kant	Vegsperring	
	Trafikkøy	VegkantAvkjørsel	Fartsdemper-Avgrensning	VeggrøftÅpen	
	Traktorveg	Parkeringsområde-Avgrensning	GangfeltAvgrensning	Vegrekkeverk	
			Vegdekke kant		Vegoppmerking-Langsgående
			VegkantFiktiv		Feristavgrensning
			Trafikkøykant		Gangvegkant
			VegkantAnnet-Vegareal		Vegskulderkant



Figur 3-5: Illustrasjon over de ulike objekttypene til FKB-Veg i en typisk kjørebane (Statens kartverk 2014b).



Figur 3-6: Oversikt over ulike FKB-Veg-objekter brukt i et typisk byområde (Statens kartverk 2014b).

Tabell 3-4 viser hvilken klasse av stedfestingsnøyaktighet de ulike objektene i FKB-Veg tilhører. Hvis et objekt ikke er plassert i noen av klassene kan det hende objekttypens stedfestingsnøyaktighet varierer, eller at stedfestingsnøyaktigheten for objektet anses som uaktuell å angi, eller at objektet er en fiktiv avgrensningslinje eller en flate (Statens kartverk 2014b).

Tabell 3-4: Viser hvilken klasse innenfor stedfestingsnøyaktighet de ulike objekttypene for FKB-Veg 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

FKB-Vann

FKB-datasettet for vann kalles for FKB-Vann og består av ulike objekttyper. Formålet med FKB-Vann er å skape et godt og detaljert kartbilde gjennom å beskrive geografisk beliggenhet, forløp og form for bekker, elver, kanaler, grøfter, innsjøer, isbreer og den topografien til kyst og sjø. Samtidig skal dataene kunne brukes til etablering av ett landsdekkende kystkonturdatasett, samt å kunne inngå som avgrensingslinjer mot sjø for eiendommer (Statens kartverk 2011). De ulike objekttypene til FKB-Vann og deres respektive klasser er gitt i Tabell 3-5.

Tabell 3-5: Oversikt over de ulike objektklassene og de tilhørende objekttypene for FKB-Vann (Statens kartverk 2011).

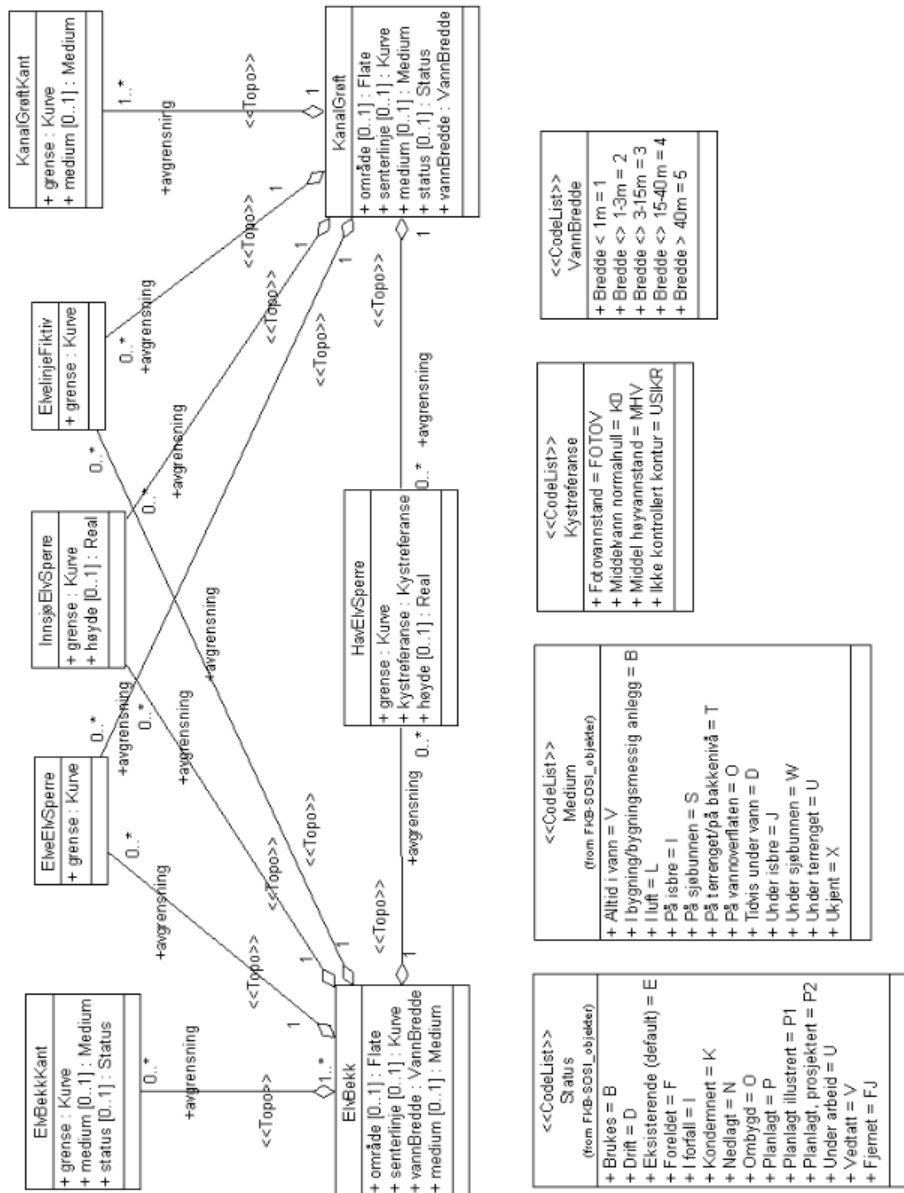
FKB-Vann:				
Klasse:	Flater	Avgrensende linjer	Andre objekter	
Objekter:	Havflate	ElvBekkKant	Skjær	
	ElvBekk	ElveElvSperre	Navigasjonsinstallasjon	
	Innsjø	FiktivDelelinje		
	Snøisbre	ElvelinjeFiktiv		
	KanalGrøft			HavElvSperre
				FlomløpKant
				InnsjøKantRegulert
				InnsjøKant
				InnsjøElvSperre
				KystKontur
				KanalGrøftKant
				InnsjølinjeFiktiv
				SnøIsbrekant
KystKonturTekniskeAnlegg				

Tabell 3-6 viser hvilken klasse av stedfestingsnøyaktighet de ulike objektene i FKB-Vann tilhører. Ulike objekter behøver ulike klasser av nøyaktighet angående grunnriss og høyde.

Tabell 3-6: Viser hvilken klasse innenfor stedfestingsnøyaktighet de ulike objekttypene for FKB-Vann tilhører (Statens kartverk 2011).

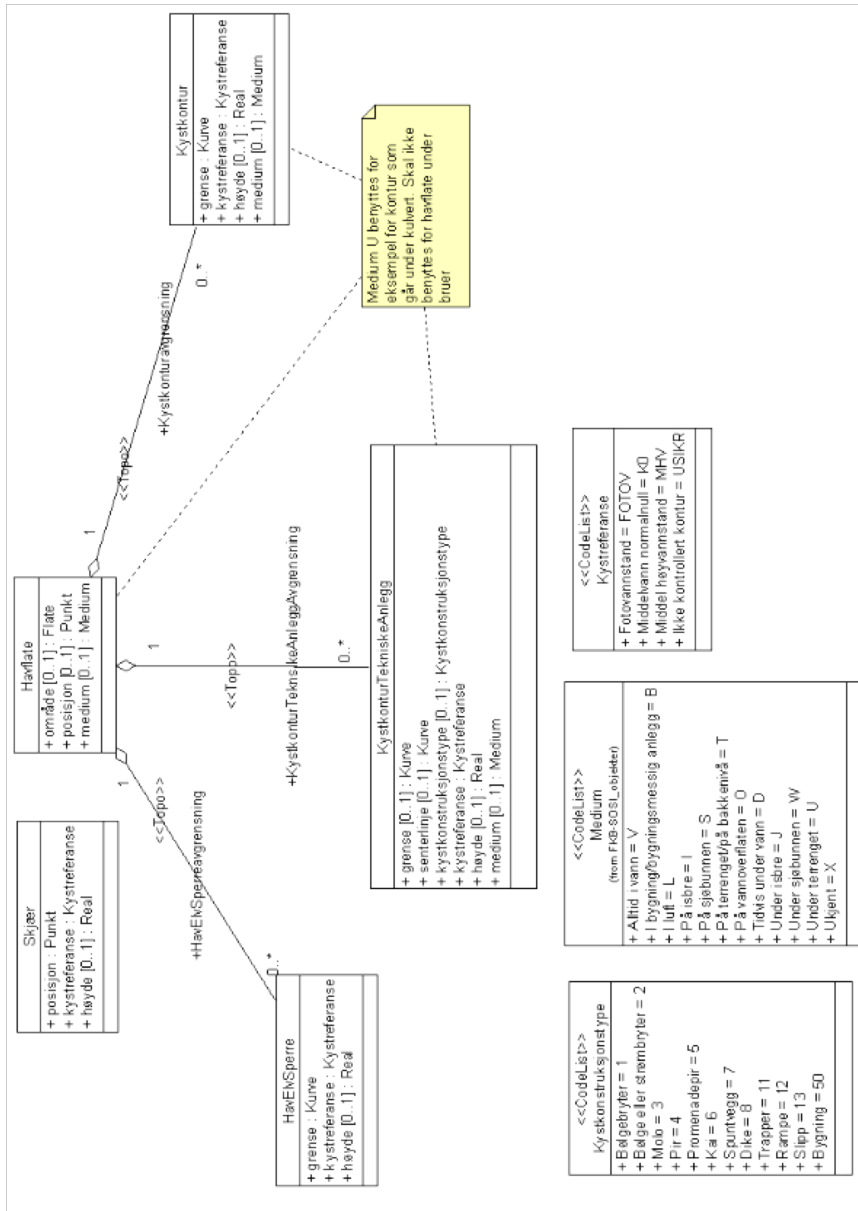
Objekttype	Klasser stedfestingsnøyaktighet								Klasser fullstendighet	
	Grunnriss				Høyde				1	2
	1	2	3	4	1	2	3	4		
Havflate									X	
Kystkontur							X		X	
KystkonturTekniskeAnlegg		X					X		X	
HavElvSperre									X	
Dataavgrensning									X	
FiktivDelelinje									X	
Skjær				X			X		X	
Navigasjonsinstallasjon			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	

Objekter: Elver og bekker



Figur 3-7: Oversikt over de ulike objektene som avgrenser elver og bekker og deres forbindelse til hverandre (Statens kartverk 2011).

Objekter: Land og sjø



Figur 3-8: Oversikt over de ulike objektene som avgrenser land og sjø og deres forbindelse til hverandre (Statens kartverk 2011).

FKB-Bygning

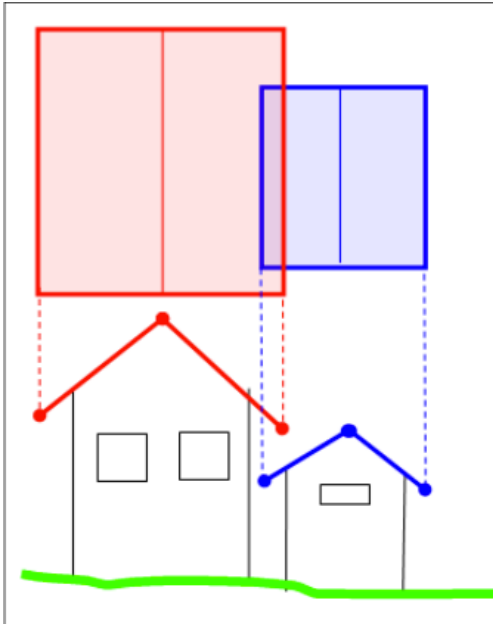
FKB-datasettet for bygninger kalles for FKB-Bygning og består av ulike objekttyper. Formålet med FKB-Bygning er at datasettene kan brukes til offentlige forvaltningsoppgaver, fremstilling av kart og 3D-modeller av bygninger, ulike analyser, samt å kunne angi bygninger under terrengoverflaten. Datasettene omfatter beskrivelser av bygninger, takoverbygg, bygningslinjer og bygningsvedheng (Statens kartverk 2013b). Objekttypene er delt inn etter hvilken av disse objektklassene de tilhører.

Tabell 3-7 viser hvilken klasse av stedfestingsnøyaktighet de ulike objektene i FKB-Vann tilhører. Ulike objekter behøver ulike klasser av nøyaktighet angående grunnriss og høyde.

Tabell 3-7: Viser hvilken klasse innenfor stedfestingsnøyaktighet de ulike objekttypene for FKB-Bygning tilhører (Statens kartverk 2013b).

Objekttype	Klasser stedfestingsnøyaktighet								Klasser fullstendighet	
	Grunnriss				Høyde				1	2
	1	2	3	4	1	2	3	4		
Bygning									X	
AnnenBygning									X	
Bygningsdelelinje			X				X			X
Takkant		X					X		X	
Fasadeliv		X						X		
Grunnmur	X					X			X	
FiktivBygningsAvgrensing									X	
Bygningslinje		X					X		X	
Hjelpelinje3D									X	
Hjelpepunkt3D		X					X		X	
Mønelinje		X					X		X	
Portrom		X					X			X
Arkade		X					X			X
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	

I Figur 3-9 illustreres fremgangsmåten i hvordan takriss blir angitt i 2D. Det røde taket ligger høyere enn det blå taket. Dette vises i 2D-fremstillingen ved at det røde taket overlapper det blå taket.



Figur 3-9: Illustrasjon av hvordan takoverlapping fremstilles ved bruk av FKB-datasettet for bygninger.

4 PROGRAMVARE

4.1 ARCGIS

Denne programvaren tillater arbeid med kart og geografisk informasjon. ArcGIS er en programvare som ofte brukes i sammenheng med overvannsanalyser. De mest brukte applikasjonene til ArcGIS er ArcGIS Pro og ArcMAP. Programmet inneholder en rekke verktøy som er skreddersydde for slike analyser. Noen av disse verktøyene skal beskrives nærmere i dette kapitlet.

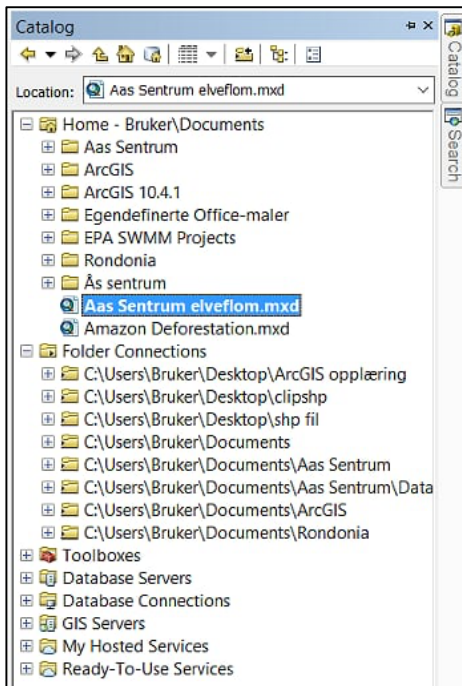
4.1.1 ArcMap

ArcMAP er den mest brukte applikasjon i ArcGIS. Denne applikasjonen tillater opprettelse og redigering av ulike typer datasett. Produserte kart kan åpnes i applikasjonen slik at informasjonen kan hentes eller arbeides med videre. ArcMAP inneholder blant annet applikasjoner som ArcCatalog, ArcToolbox og Spatial Analyst (ESRI u.å-d).

4.1.2 ArcCatalog

ArcCatalog er en applikasjon som brukes i programvaren ArcGIS. Ved å starte ArcCatalog åpnes det et vindu som inneholder alle filer som er tilknyttet programmet. Dermed vil også alle filer som produseres i løpet av et modelleringsarbeid plasseres i katalogen. De ulike filene plasseres i sine tilhørende mapper for organisering. Ifølge (ESRI 2010) tillater denne applikasjonen organisering og bruk av:

- Geodatabaser
- Rasterfiler
- Verktøybokser for koding med Python og geoprosessering
- Kartdokumenter, 3D-filer og lagfiler
- Publiserte GIS-tjenester
- Standardbaserte metadata



Figur 4-1: Illustrasjon av ArcCatalog-vinduet i programvaren ArcGIS (Skjermdump fra ArcMap).

4.1.3 ArcToolbox

ArcToolbox er en verktøylinje som inneholder ulike handlinger for geoprosessering i ArcGIS. Antallet verktøy i verktøylinjen avhenger av hvilke utvidelser som er installert (ESRI 2006)



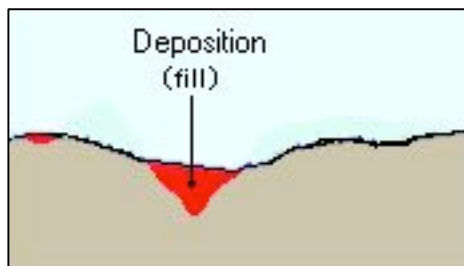
Figur 4-2: Illustrasjon av ArcToolbox-vinduet i programvaren ArcGIS (Skjermdump fra ArcMap).

4.1.4 Spatial Analyst

Spatial Analyst er en utvidelsespakke for ArcToolbox i ArcMap. Denne utvidelsespakken tilbyr ytterligere metoder for modellering og analysering av rasterdata. I Spatial Analyst er det mulig å spesifisere hvilket område som vil bli behandlet i modelleringshandlingen. Dette gjøres i "Environment". Videre beskrives noen av verktøyene til Spatial Analyst nærmere (ESRI 2009a).

Fill

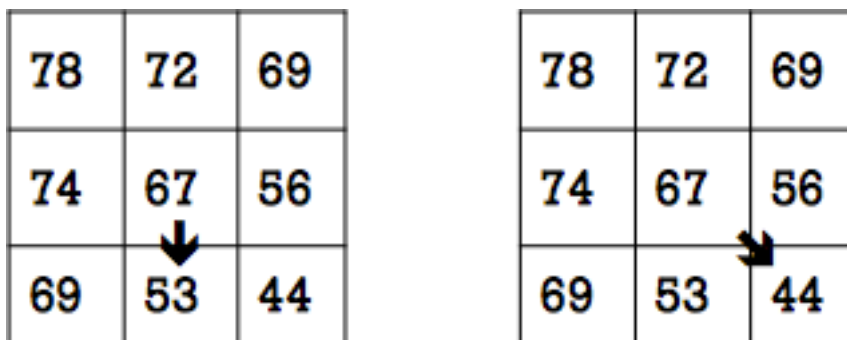
Verktøyet "Fill" bidrar til at alle forsenkninger i rasteret fylles opp. Når verktøyet lokaliserer en forsenkning erstattes denne verdien med den laveste verdien hos de nærliggende cellene. Dette sørger for at vann kan renne fra celle til celle slik at flomveien ikke blir usammenhengende (Tarboton et al. 1991).



Figur 4-3: Illustrasjon av Fill-verktøyets funksjon. Markert i rødt er en forsenkning som fylles (ESRI 2011b).

Flow Direction

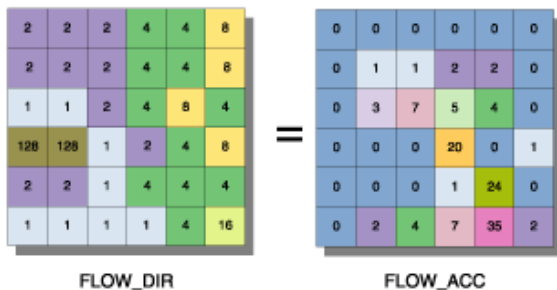
Dette verktøyet fremstiller et raster som viser retningen vannet vil renne som følge av topografien til området. "Flow Direction" bestemmer at vann i en celle skal renne videre til den nabocellen som gir størst helning. Hver celle har 8 naboceller. Dette gir dermed vannet 8 mulige retningsmuligheter (ESRI 2008b).



Figur 4-4: Illustrasjon som viser hvordan Flow Direction angir høydeverdier til cellene for å bestemme hvilken retning vannet vil renne (Cirello u.å).

Flow Accumulation

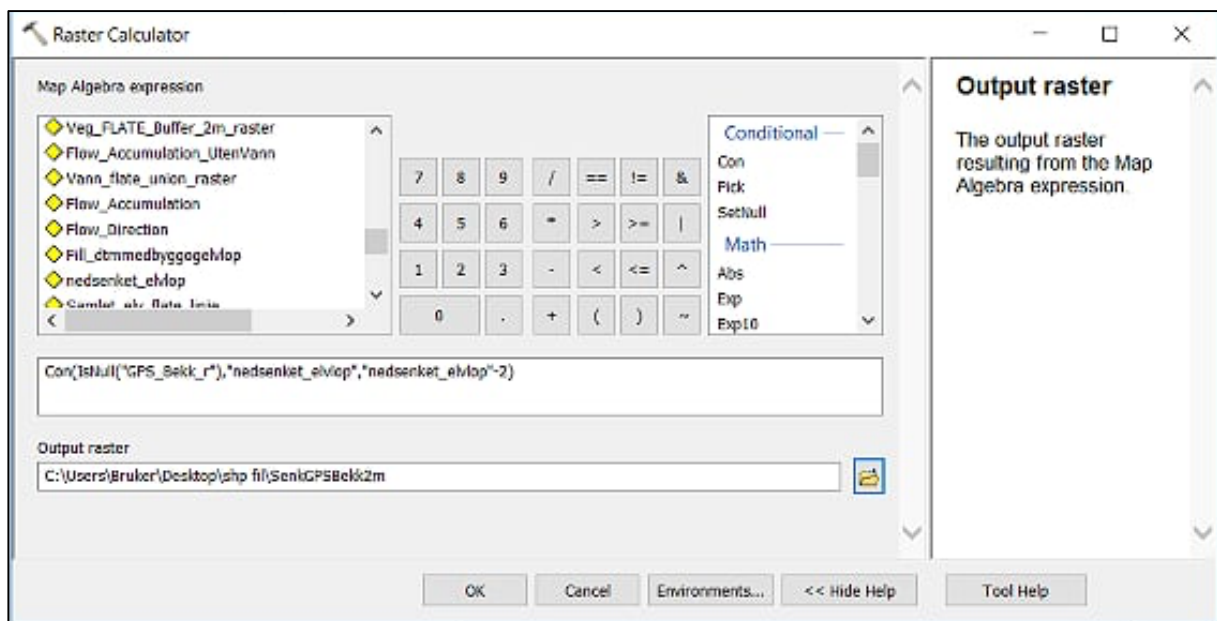
Dette verktøyet beregner hvilken verdi hver celle har akkumulert som følge av "Flow Direction"-verktøyet. Resultatet blir gitt som en rasterfil (ESRI 2008a).



Figur 4-5: Illustrasjon av hvordan "Flow Direction"-verktøyet bidrar til "Flow-Accumulation"-verktøyets beregninger (ESRI 2008a)

Raster Calculator

"Raster Calculator" tilbyr bruk av matematiske kalkuleringer som kan manipulere blant annet rasterdatasett, raster layers og shapefiler. Dette verktøyet er lett tilgjengelig i "ArcToolbox" under tilleggsapplikasjonen "Spatial Analyst" (ESRI 2009b)



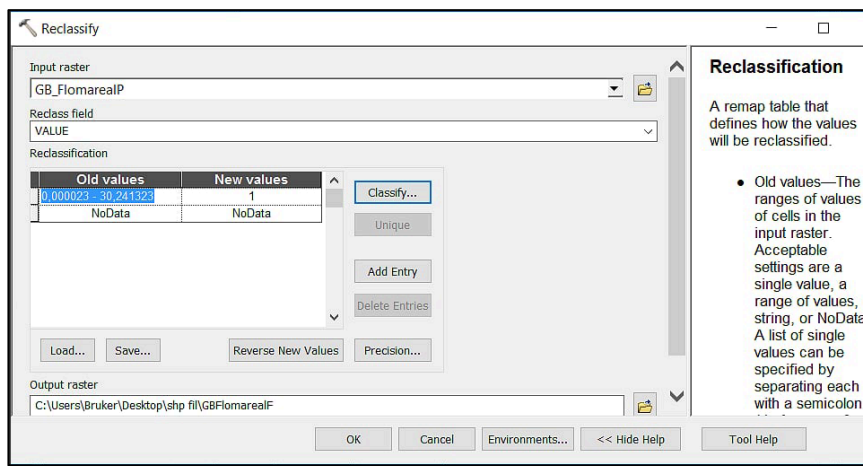
Figur 4-6: Illustrasjon av verktøyet "Raster Calculator" (Skjermdump fra ArcGIS).

Euclidean Allocation

”Euclidean Allocation” brukes til å spre verdien av en celle utover et område i modellen. Det kan bli satt en maksimal bredde på analyseområdet for ”Euclidean Allocation”. De cellene som er innenfor dette området vil bli tatt med i beregningen (PTU-OA 2016).

Reclassify

Dette verktøyet brukes til å omgjøre rasterets verdiinndeling. Verktøyet er lett tilgjengelig i ”ArcToolbox” under tilleggsapplikasjonen ”Spatial Analyst” (ESRI 2011a).



Figur 4-7: Illustrasjon av verktøyet ”Recalssify” (Skjermdump fra ArcGIS).

4.2 HENSYNSSONER VED FLOM

Aktsomhetskart for flom blir brukt for å betegne problemområdene som oppstår i et område som følge av store nedbørsmengder. Disse problemområdene blir betegnet som såkalte hensynssoner og omfatter flomarealene for området. Dette er dermed områder som har stor risiko for å bli påført skader ved flom. For disse områdene bør tiltak gjennomføres for å bedre forholdene.

5 METODE

5.1 ARCGIS-ARBEID

I dette masterarbeidet ble programvaren ArcGIS brukt. Versjonen som ble tatt i bruk var ArcMAP 10.4.1 (Utgitt 2016) med utvidelsen Spatial Analyst.

ArcGIS-arbeidet var avhengig av LiDAR/Laser-dataene for analyseområdet. Disse dataene ble mottatt i Laz-format. ArcGIS støttet kun Las-formatet. Disse ble dermed konvertert fra LAZ-format til LAS-format ved hjelp av tilleggsapplikasjonen ”LASTools Toolbox”.

ArcGIS-arbeidet som har blitt gjort i denne masteroppgaven er presentert som en bruksanvisning/veiledning for identifisering av aktsomhetsområder for elveflom. Underveis i arbeidet med modellen ble ulike filer/datasett produsert og gitt navn. Disse navnene ble basert på hva de ulike filene/datasettene representerte. Andre navn kunne blitt gitt uten å påvirke resultatet.

5.2 PC-SPESIFIKASJONER

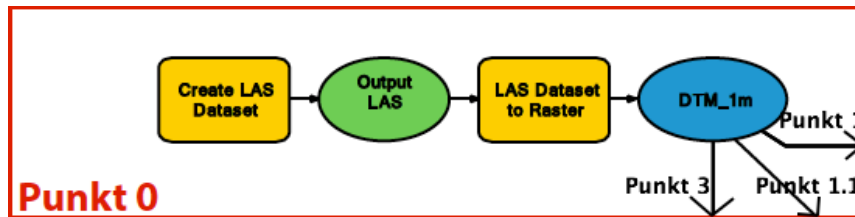
Det ble brukt en PC med følgende spesifikasjoner underveis i dette masterarbeidet:

Tabell 5-1: PC-spesifikasjoner:

Operativsystem:	Windows
RAM (GB):	8,00
Prosessortype:	Intel Core i3
Type harddisk:	SSD
Lagringskapasitet (GB):	256

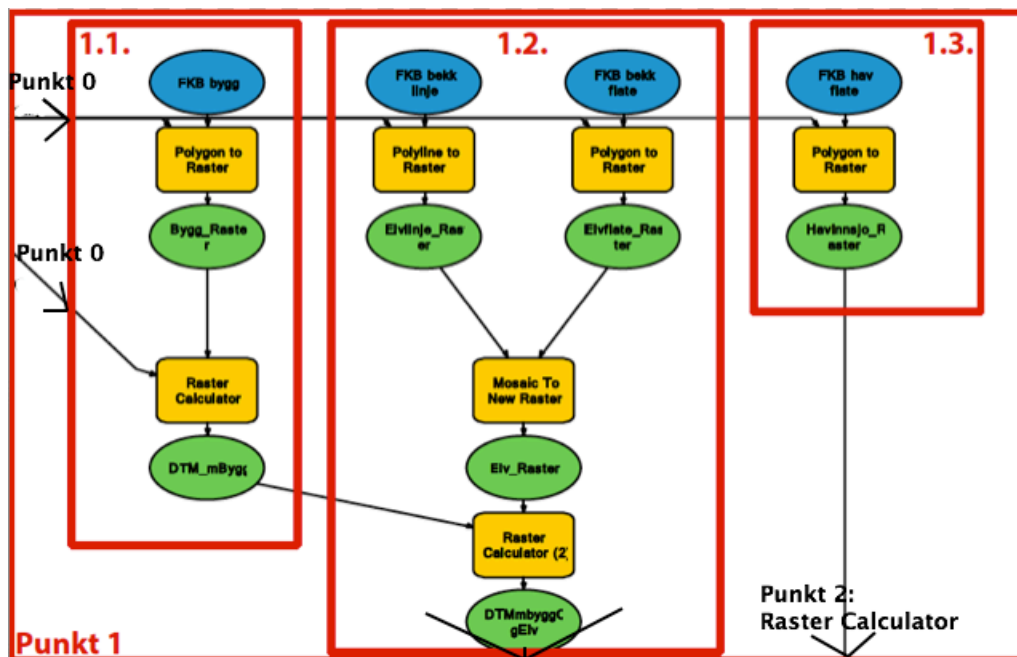
Metoden som ble brukt i dette masterarbeidet tok utgangspunkt i rapporten om identifisering av aktsomhetsområder for elveflom (PTU-OA 2016). Aktsomhetskart for Ås sentrum med/uten bekkåpning ble fremstilt ved å bruke metodikken fra denne rapporten. Noen av disse stegene var ulike og skal belyses nærmere i figur 5-1 til figur 5-6. Det er tatt utgangspunkt i de viktigste endringene fra metodikken brukt i denne masteroppgaven og metoden brukt i rapporten til PTU-OA (2016). Disse figurene gir en grov oversikt over fremgangsmåten for fremstillingen av resultatene. Hensynssonene for bekkåpningene har

også brukt metodikk fra rapporten til (PTU-OA 2016). Aktsomhetskartene ble brukt til å lokalisere problemområdene i Ås sentrum i forbindelse med en 500-årsflom. Deretter ble disse resultatene sammenlignet og analysert.



Figur 5-1: Illustrerer det første steget i metoden brukt i rapporten til PTU-OA (2016).

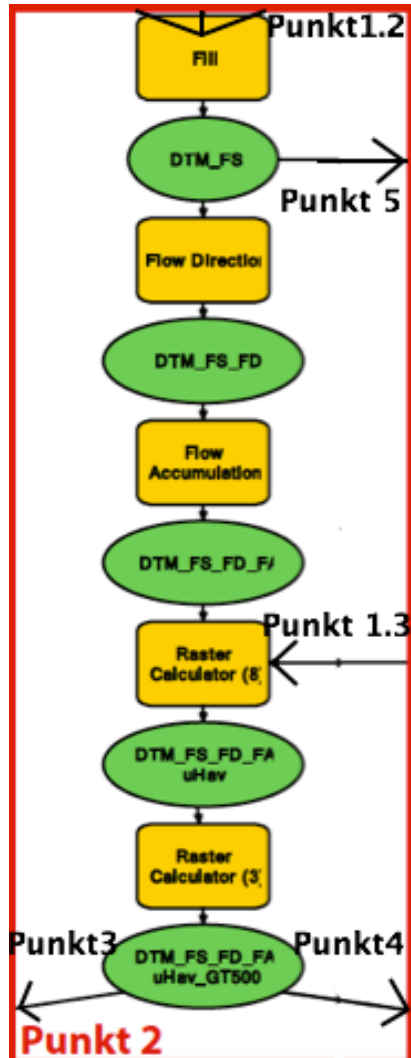
Det første steget tar for seg fremgangsmåten den digitale terrengmodellen. Her ble områdets topografi lagt inn i modellen. Den digitale terrengmodellen ble brukt videre i punkt 1 og punkt 3. Egne data for Ås kommune ble brukt i denne masteroppgaven.



Figur 5-2: Illustrerer det andre steget i metoden.

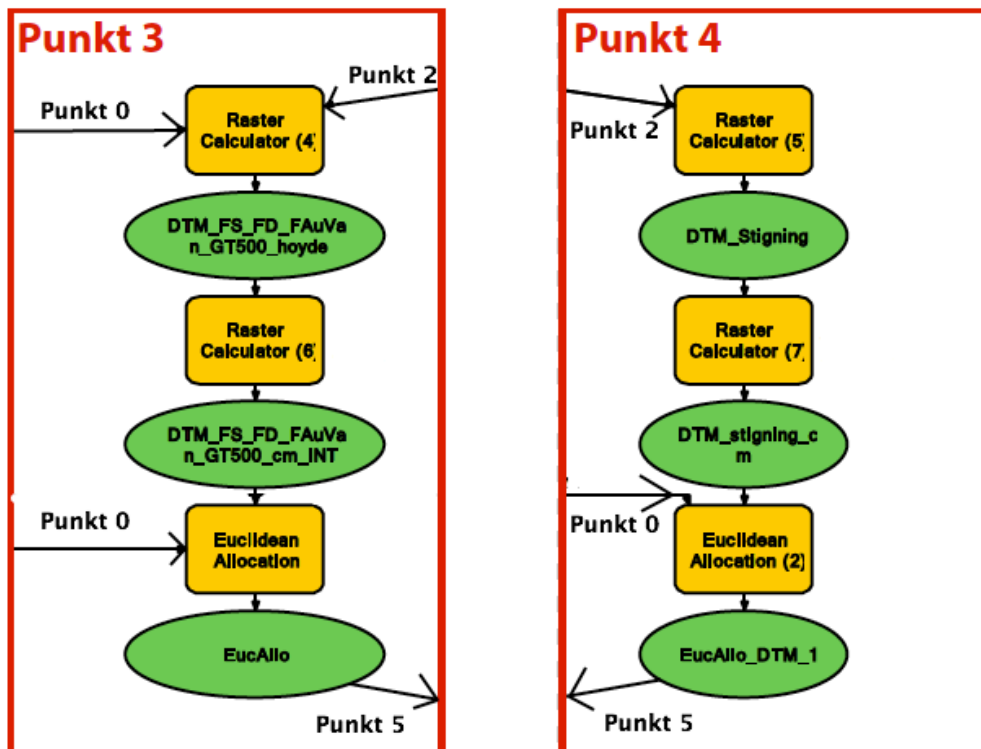
I dette steget ble FKB-dataene for bygg og vann lagt inn i modellen. Disse ble så omgjort til raster slik at de kunne brukes i verktøy som krevde et spesielt filformat. Figur 5-2 viser at den digitale terrengmodellen fra punkt 0 ble brukt i alle operasjonene for dette steget. I denne masteroppgaven ble ikke verktøyet "Mosaic to new raster" brukt. I stedet ble FKB-dataene for vann slått sammen ved hjelp av verktøyet "Union", og videre gjort om til raster ved

verktøyet ”Polygon to Raster”. Videre i dette trinnet ble rasteret for vanndataene senket slik at bruene ikke ble hinder for vannmengdene.



Figur 5-3: Illustrerer det tredje steget i metoden.

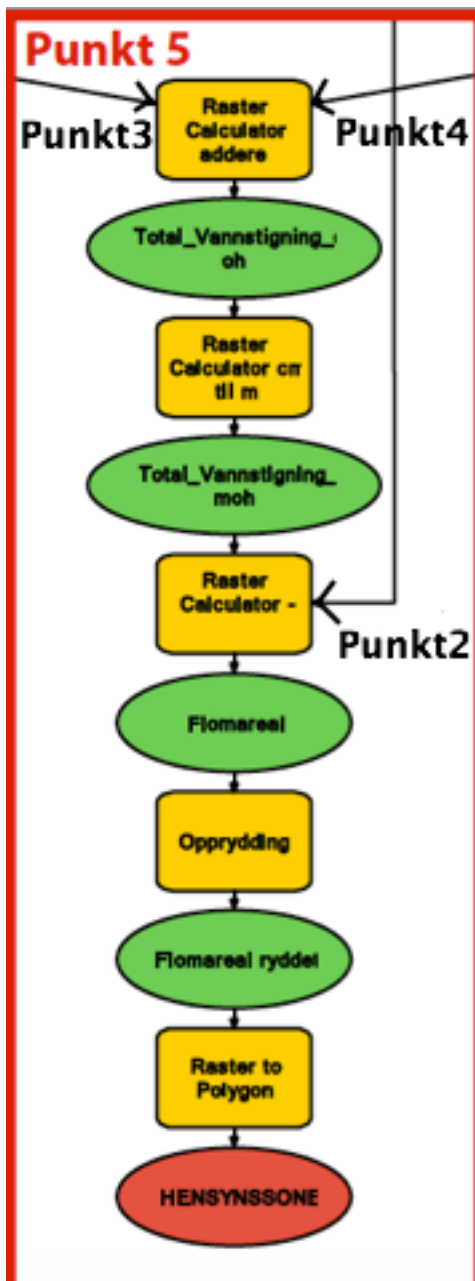
Metoden brukt i punkt 1.2 dannet grunnlaget for det tredje steget i metoden. Dataene fra det foregående steget ble brukt til å finne ut hvor mye av vannmengdene som akkumulerte i de ulike områdene. Videre ble data produsert i punkt 1.3 brukt til å fjerne flomveier i vann og hav. Disse flomveiene var altså ikke interessante for denne typen analyse. Dette steget ble til slutt brukt til å definere et elvenettverk. De cellene som ikke hadde akkumulert høy nok verdi av vannmengdene ble slettet. Dette gav utgangspunkt for arbeidet gjort i punkt 3 og punkt 4.



Figur 5-4: Illustrerer det fjerde og femte steget i metoden.

For punkt 3 ble data fra punkt 0 og punkt 2 brukt i verktøyet ”Raster Calculator” slik at høydene på vannlinjene ble hentet inn. Videre ble verktøyet ”Euclidean Allocation” benyttet for å definere et 100 meter bredt område for analyse, og hente inn høydene for dette området. Dette gav utgangspunkt for arbeidet gjort i punkt 5.

For punkt 4 ble data fra punkt 2 og punkt 0 ble brukt som grunnlag i arbeidet for dette steget. Data fra punkt 2 ble brukt til å beregne vannstigningen opp fra elvekanten. Videre ble ”Euclidean Allocation” igjen benyttet for å beregne vannstandsstigningen for et analyseområde med bredde 100 meter. Disse dataene ble benyttet videre i punkt 5.



Figur 5-5: Illustrerer det siste steget i metoden.

I dette siste steget ble hensynssonen fremstilt. Data fra punkt 2, 3 og 4 ble benyttet i dette steget. Resultatene fra "Euclidean Allocation" i punkt 3 og 4 ble benyttet til å beregne den totale vannstandsstigningen for området. Data fra punkt 2 ble benyttet for å inkludere områdets topografi i beregningen av flomarealet. Til slutt ble hensynssonen presentert som et polygon.

5.3 PRODUKSJON AV AKTSOMHETSOMRÅDE UTEN GJENÅPNING AV BEKK

I den første delen av arbeidet var målet å fremstille aktsomhetskart ved 500-årsflom for dagens område; altså uten gjenåpnet bekk. Aktsomhetskartet gav mulighet til å se hvilke deler av Ås sentrum som ble problemområder i forbindelse med en 500-årsflom. Det ble beregnet et flomareal som tok utgangspunkt i erfaringsdata fra (NVE 2015). Disse erfaringsdataene utviklet en formel som ble brukt i modellen for beregning av flomarealene i Ås sentrum. Disse produserte flomarealene illustrerte hvilke områder som opplevde oversvømmelse ved en 500-årsflom. Videre følger detaljert brukerveiledning for fremstilling av hensynssone for dagens tilstand.

5.3.1 Fremstille DTM fra laserdata

Fremstillingen av den digitale terrengmodellen krevde inkludering av relevante filer. Derfor ble en standard geodatabase opprettet og knyttet til de relevante filene. Disse filene ble dermed tilgjengelig for bruk i programmet. Filer som ble opprettet under modelleringen ble også knyttet til geodatabasen.

Det var også nødvendig med analyseområdets FKB-datasett for vann, bygning og vei. Disse ble plassert i tilhørende mapper og tilknyttet geodatabasen i ArcCatalog. Laserdata og nedbørsfeltet til området la grunnlaget for topografien og var også inkludert i ArcCatalog.

Videre beskrives fremgangsmåten for modelleringen i programmet.

1. Opprettet nytt LAS-datasett:

Valgte verktøyet ”**Create LAS Dataset**” (ArcToolbox > Data Management Tools > LAS Dataset)

- Input Files: Valgte mappen med LAS-filene for bygning, vann og vei
- Output Files: Gav datasettet tilnavnet ”**Ås sentrum**”
- Coordinate System: Valgte koordinatsystemet som var relevant for analyseområdet, altså ”**ETRS_1989_UTM_Zone_32N**”
- Krysset av ”**Store Relative Paths**” og ”**Compute Statistics**” for å opprette en LAS-hjelpetil som inneholdt statistikk og romlig indeks for hver LAS-fil. Dette forbedret ytelsen til LAS-datasettet (ESRI u.Å-b).

2. Valgte Bakkepunkt:

En DTM bruker kun bakkepunkter.

- Høyreklikket på det nyopprettede **LAS-datasettet** > **Properties** > Fane: **Filter**
- Under ”**Classification Codes**”, krysset av ”**2 ground**”
- Trykket ”**OK**”

3. La til FKB-Bygning i DTM:

Den nyopprettede terrengmodellen inneholdt ingen informasjon om bygninger. Ved å legge til FKB-bygning ville vannet rent rundt bygningene istedenfor rett gjennom. Høyden på bygningene er fiktiv og satt til 5 meter. FKB-bygning måtte først gjøres om fra polygon til raster.

Valgte ”**Polygon to Raster**” (ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster)

- Input Features: Valgte en LAS-bygningsfil
- Value Field: Valgte ”**OBJECTID**”
- Output Raster Dataset: Gav passende tilnavn for hver enkelt fil, f.eks. ”**Bygninger_Område1_R**”
- Cellsize: Valgte oppløsning 1 x 1m, altså ”**1**”
- Environments:
 - > Processing Extent > Extend: Valgte ”**Same as layer DTM_1m**”
 - > Processing Extent > Snap Raster: Valgte ”**DTM_1m**”
 - > Raster Analysis > Cell Size: Valgte ”**Same as layer DTM_1m**”

Valgte ”**Raster Calculator**” slik at bygningene ble hevet med 5 meter (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
Con(IsNull(”sosi_bygg_Bygning_FLATE_poly”,”DTM_1m”,”DTM_1m”)+5)

Likningen fortalte at for de områdene der

”sosi_bygg_Bygning_Flate_poly” ikke eksisterte skulle verdien for ”DTM_1” brukes. Hvis ”sosi_bygg_Bygning_Flate_poly” derimot hadde en verdi skulle 5 meter bli lagt til i ”DTM_1” sin celle-verdi.

- Output Raster: Gav den tilnavnet ”**Opphoyd**” siden bygningene hadde fått en høyde

4. La til FKB-Vann i DTM:

FKB-data for vann måtte legges til i modellen. Utfordringen med disse laserdataene var at tomrommet under bruene ikke ville blitt fanget opp. Det samme gjaldt for kulverter. Vannet ville derfor ikke kunne rent under bruer eller gjennom kulverter ved flomsimuleringen. Modellen ville dermed tenkt på bruer og veier som ”demninger”. Løsningen på dette problemet var å senke datasettene for vann med 7 meter slik at vannet ble tvunget til å følge elvens løp.

Valgte ”**Raster Calculator**” for å senke vannelementene med 7 meter (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
Con(IsNull(”Samlet_elv”,”DTM_1m”,”DTM_1m”-7))
Formelen fortalte at for områdene der ”Samlet_elv” ikke eksisterte skulle verdien for ”DTM_1m” bli brukt. Hvis ”Samlet_elv” derimot hadde en verdi skulle 7 meter ha blitt subtrahert fra ”DTM_1m”
- Output Raster: Gav den tilnavnet ”**nedsenket_elvlop**” i og med at elvløpet ble senket

Flomveier i hav og innsjøer skulle senere i arbeidet fjernes. Disse dataene ble derfor forberedt til fjerning.

Hav og innsjø eksisterte som to ulike datasett. Derfor måtte de ulike dataene først settes sammen ved hjelp av verktøyet ”**Union**” (ArcToolbox > Analysis Tools > Overlay)

- Input Features: Valgte de aktuelle data for FKB-Vann, f.eks. ”**sosi_vann_Havflate_FLATE**” og ”**sosi_vann_Innsjø_FLATE**”
- Output Feature: Gav unionen tilnavnet ”**Vann_flate_union**”

Unionen av polygonene for FKB-Vann måtte gjøres om til raster. Valgte ”**Polygon to Raster**” (ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster)

- Input Features: Valgte den nyproduserte unionen ”**Vann_flate_union**”
- Value Field: Valgte ”**OBJEKTID**”
- Output Raster Dataset: Gav rasteret tilnavnet ”**Vann_flate_union_raster**”

- Cellsize: "1"
- Environments:
 - > Processing Extent > Extend: Valgte "Same as layer DTM_1m"
 - > Processing Extent > Snap Raster: Valgte "DTM_1m"
 - > Raster Analysis > Cell Size: Valgte "Same as layer DTM_1m"

5.3.2 Generere flomveier

1. Fylte lavpunktene slik at flomveien ble sammenhengende:

For at en sammenhengende flomvei skulle eksistert var modellen avhengig av at alle lavpunktene ble fylt. Dermed kunne vannet rent fra en celle til en annen. Valgte verktøyet "Fill" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology)

- Input Surface Raster: Valgte rasteret for det nedsenkede elvløpet "nedsenket_elvlop"
- Output Surface Raster: Kalte den "Fill_dtmmedbyggogelvlop"

2. Fant vannets strømningsretning:

For at modellen skulle forstå hvilken retning vannet ville rent ble verktøyet "Flow Direction" tatt i bruk (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology)

- Input Surface Raster: Valgte "Fill_dtmmedbyggogelvlop"
- Output Flow Direction Raster: Kalte den "Flow_Direction"
- "OK"

3. Fant akkumulerte celler:

For at elveløpets bevegelse og utforming skulle fullstendigjøres ble de akkumulerte cellene oppdaget ved bruk av verktøyet "Flow Accumulation" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology)

- Input Flow Direction Raster: "Flow_Direction"
- Output Accumulation Raster: "Flow_Accumulation"
- Valgte "FLOAT"
- "OK"

4. Synliggjorde sterkt akkumulerte celler:

Det var nødvendig å fremstille resultatet der svakt akkumulerte celler ikke vises

- Høyreklikket på ”**Flow_Accumulation**” > ”**Properties**”
- Valgte så fanen ”**Symbology**” > ”**Classified**” > ”**Classify**”
- Skrev inn følgende intervaller:
 - > 5000
 - > 500 000
 - > 1 000 000
 - > 50 000 000
 - > Lot den siste verdien stå urørt
- ”**OK**”
- Valgte en ”**Color Ramp**” som var ønskelig
- Dobbeltrykket på intervallet ”**0 - 5000**” > ”**No Color**”
- ”**OK**”

5.3.3 Rydde datasett

1. Ryddet bort flomveier i sjø og hav:

Flomveier som bevegde seg ut i sjø og hav var ikke ønskelige i denne modellen. Merkelige linjeforløp på vannflatene oppstår generelt ved bruk av laserskanning. Ved bruk av ”Fill” ville flomveiene posisjonert seg langs med innsjøens kant fram mot utløpet. Bekkeløpene var av størst interesse, og ikke innsjøene. Derfor ble disse flomveiene fjernet. Dette ble gjort med verktøyet ”**Raster Calculator**” (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
**Con((IsNull(”Vann_flate_union_raster”))==1,
”Flow_Accumulation”,””)**
Likningen fortalte at dersom ”Vann_flate_union_raster” var lik 1 skulle verdien bli hentet fra ”Flow_Accumulation”. Hvis ikke skulle verdien bli satt til ”No data”.
- Output Raster: Gav den tilnavnet ”**Flow_Accumulation_UtenVann**” grunnet at flomveiene omfattet kun bekker og ikke innsjøer

2. Ryddet bort flomveier i kulverter og veier:

Flomveiene som ble dannet over veier og i kulverter ble ryddet bort. Årsaken var at store flomhøyder blir etablert ved bruk av original høyde i steget ”Euclidean

Allocation”. Det ble tatt hensyn for veifyllinger i dette steget. Dermed måtte veiene bli bufret 2 meter på hver side. Dette ble gjort med verktøyet ”**Buffer**” (ArcToolbox > Analysis Tools > Proximity)

- Input Features: Valgte datasettet for veg, f.eks. ”**sosi_vegg_veg_FLATE**”
- Output Feature Class: Kalte den for ”**Veg_FLATE_Buffer_2m**”
- Cellsize: ”1”
- Distance/Linear Unit: ”2” for antall meter med buffer på hver side av veien
- ”OK”

3. Konverterte bufret vei til raster:

Det var nødvendig å konvertere den bufrede veien til raster for videre bruk i modellen. Valgte verktøyet ”**Polygon to raster**” (ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster)

- Input Features: ”**Veg_FLATE_Buffer_2m**”
- Value Field: Valgte ”**OBJEKTID**”
- Output Raster Dataset: ”**Veg_FLATE_Buffer_2m_raster**”
- Cellsize: ”1”
- Environments:
 - > Processing Extent > Extend: Valgte ”**Same as layer DTM_1m**”
 - > Processing Extent > Snap Raster: Valgte ”**DTM_1m**”
 - > Raster Analysis > Cell Size: Valgte ”**Same as layer DTM_1m**”

4. Fullførte fjerning av flomveier i kulverter og veier:

Etter at veien var bufret ble de tilknyttede flomveiene ryddet bort ved hjelp av verktøyet ”**Raster Calculator**” (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
Con((IsNull(”Veg_FLATE_Buffer_2m_raster”)==1,”Flow_Accumulation_UtenVann”,””))
Likningen fortalte at dersom ”Veg_FLATE_Buffer_2m_raster” var 1 skulle verdiene bli hentet fra ”Flow_Accumulation_UtenVann”. Hvis ikke ble verdien satt til ”No Data”
- Output Raster: Gav den tilnavnet
”**Flow_Accumulation_UtenVannOgVei**”

5.3.4 Definere en elv

En elv defineres som et område på 0,5 km² med akkumulerte celler. Altså måtte en celle ha akkumulert minst 500 000 andre celler for at et elveløp skulle ha startet sin utforming.

1. Visualiserte elvenettverket:

Dette ble visualisert som i punkt 5.3.2 punkt 4 ved at fargen til intervallene "0 – 5000" og "5000 – 500 000" ble satt til "No Color"

2. Slettet celler under 500 000 akkumuleringer:

Forrige punkt skjulte cellene, men de var der dermed fremdeles. Disse ble fjernet ved hjelp av verktøyet "Raster Calculator" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:

```
Con("Flow_Accumulation_UtenVannOgVei">500000,  
"Flow_Accumulation_UtenVannOgVei", "")
```

Likningen fortalte at data med over 500 000 akkumulerte celler ble hentet. Data med under 500 000 akkumulerte celler hadde verdi "No Data"

- Output Raster: Gav den tilnavnet "Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500" for 500 (000) akkumulerte celler

5.3.5 Innhenting av høyde (m.o.h.)

Her ble det etablert et 100 meter bredt analyseområde for hver eneste celle i den definerte elva.

1. Inkluderte høyde for vannlinjene:

Først ble høyden til vannlinjene definert. Dette ble gjort ved hjelp av verktøyet "Raster Calculator" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:

```
Con("Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500", "DTM_1m")
```

Likningen fortalte at hvis "Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500" hadde en verdi skulle denne verdien bli hentet fra "DTM_1m"

- Output Raster: Gav tilnavnet "Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500_hoyde1" siden en høyde nå ble inkludert

2. Konverterte fra meter til centimeter:

I neste steg ble "Euclidean Allocation" benyttet. Derfor måtte høydeverdiene være i cm for at nøyaktigheten skulle bli ivaretatt. Dette ble gjort ved hjelp av verktøyet "Raster Calculator" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
Int(("Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500_hoyde1" * 100) + 0.5)
Likningen inkluderte vanlige regler for avrunding av desimaltall
- Output Raster: Kalte den for
"Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500_hoyde_cm_heltall" for å understreke at konverteringen hadde skjedd

3. Bestemte Euclidean Allocation:

Hver celle i elva ble spredd med 100 meter slik at det ble et 100 meter bredt analyseområde. Valgte verktøyet "Euclidean Allocation" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance)

- Input Raster: "Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500_hoyde_cm_heltall"
- Source Field: Valgte "Value"
- Output Allocation Raster: Gav den et noe kortere navn
"Elv_GT500_hoydeEucAlloc"
- Maximum Distance: "100" ble skrevet inn for bestemmelse av et 100 m bredt område
- Output Cell size: "1"
- "OK"

5.3.6 Finne potensiell vannstandsstigning for 500-årsflom

NVE (2015) gav råd om flomberegning for små nedbørsfelt:

«I små nedbørsfelt mangler det ofte tilstrekkelige målinger for å bestemme vannføring eller vannstand ved ulike størrelser av flom. I slike tilfeller kan det brukes ulike framgangsmåter for å estimere flomvannføringer og/eller flomvannstand»

Videre beskrev rapporten hvordan potensiell vannstandsstigning for en 500-årsflom kunne bli beregnet:

«For nedbørsfelt på 1 – 500 km² vil vannstanden under en 500-årsflom øke mellom 2 og 8 meter, for nedbørsfelt > 500 km² vil økningen være 8 meter. Ved bruk av formelen må det regnes med en overestimering på mellom 1 – 6 meter for de fleste elver»

Erfaringstallene i rapporten viste at forholdet mellom nedbørsfeltareal og vannstigning var følgende:

0 – 1 km ²	Vannstandsstigning: $dH(m) = 2$
1 – 500 km ²	Vannstandsstigning: $dH(m) = 0,965 * \ln(\text{Areal}) + 2$
> 500 km ²	Vannstandsstigning: $dH(m) = 8$

Ut i fra disse erfaringstallene ble en formel for beregning av potensiell vannstandsstigning for 500-årsflom dannet. Siden nedbørsfeltet i Ås kommune var mindre enn 500 km² ble ikke alle erfaringstallene tatt i betraktning i denne formelen. Minimum vannstandsstigning i elva ifølge likningen ble angitt som 2 meter ved en 500-årsflom. Denne beregningen til NVE beskriver en relasjon mellom en 500-årsflom og høyden på vannstandsstigningen i bekkene.

1. Beregnet vannstigning på 2 – 8 meter fra elvestrengen:

Erfaringstallene fra forrige punkt ble benyttet til å lage en formel. Valgte verktøyet ”**Raster Calculator**” (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:

Con(“Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500” <= 1000000,2,(0.965 * Ln(“Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500” / 1000000) + 2))

Likningen fortalte at hvis verdien for en akkumulert celle var mindre eller lik 1 km² ble vannstigningen gitt verdien ”2”, ellers ble vannstigningen gitt ved $0.965 * \ln(\text{Celleverdien} / 1000000) + 2$.

- Output Raster: Fikk tilnavnet
”Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500_stigning”

2. Konverterte fra meter til centimeter:

Euclidean Allocation ble igjen beregnet. Derfor måtte høydeverdiene være i cm samtidig som desimaltall skulle bli omgjort til heltall. Dette ble gjort ved hjelp av verktøyet ”**Raster Calculator**” (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
Int(”Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500_stigning” * 100) + 0.5)
Likningen inkluderte vanlige regler for avrunding av desimaltall
- Output Raster: Fikk tilnavnet
”Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500_stigning_cm_heltall”
for at konverteringen ble understreket

3. Bestemte Euclidean Allocation:

Hver celle i elva ble spredd med 100 meter slik det ble et 100 meter bredt analyseområde for den potensielle vannstigningen. Valgte verktøyet ”**Euclidean Allocation**” (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance)

- Input Raster:
”Flow_Accumulation_UtenVannOgVei_GT500_stigning_cm_heltall”
- Source Field: Valgte ”**Value**”
- Output Allocation Raster: Kalte den ”**Elv_GT500_StigningEucAlloc**”
- Maximum Distance: Skrev inn ”**100**” for at 100 meter radius ble oppnådd
- Output Cell Size: ”**1**”

5.3.7 Produserte hensynssone

Her skulle områdene som opplevde oversvømmelse ved 500-årsflom avdekkes.

1. Fant vertikal stigning (m.o.h.):

Verdiene for høydeplanet (fra kapittel 5.3.5 punkt 3) og vannstandstigningsplanet (fra kapittel 5.3.6 punkt 3) ble lagt sammen for å finne absolutt høyde. Dette ble gjort ved verktøyet **"Raster Calculator"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
"Elv_GT500_hoydeEucAlloc" + "Elv_GT500_StigningEucAlloc"
Likningen la sammen verdiene.
- Output Raster: Fant her total vannstigning, og gav tilnavnet
"Elv_GT500_TOTvannstigning"
- **"OK"**

2. Konverterte fra centimeter til meter:

Konverterte tilbake til meter ved hjelp av verktøyet **"Raster Calculator"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
"Elv_GT500_TOTvannstigning" / 100.00
Likningen gjorde om fra centimeter til meter ved å dele på 100
- Output Raster: Gav den tilnavnet **"Elv_GT500_TOTvannstigning_m"** og understreket at konverteringen ble fullført
- **"OK"**

3. Oppdaget oversvømt område:

Den absolutte vannstigningen måtte trekkes fra terrengmodellen ved hjelp av verktøyet **"Raster Calculator"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
"Elv_GT500_TOTvannstigning_m" - "DTM_1m"
Likningen trakk den absolutte vannstigningen fra terrengmodellen
- Output Raster: **"Elv_GT500_flomareal"**
- **"OK"**

4. Celler med negativ verdi fikk nullverdi:

De negative verdiene måtte slettes i og med at de lå under terrengmodellen. Dette ble gjort med verktøyet **"Raster Calculator"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skrev inn følgende likning:
Con("Elv_GT500_flomareal" >= 0, "Elv_GT500_flomareal", "")
Likningen fortalte at verdier for "Elv_GT500_flomareal" som var lik eller større enn 0 beholdes, mens andre verdier fikk verdien "No Data"
- Output Raster: Fikk tilnavnet "**Elv_GT500_flomareal_positiv**" grunnet innholdet av positive verdier
- "OK"

5. Reklassifiserte stigningsverdiene til heltall:

Etter hvert ble hensynssonen gjort om til vektordata. Dermed måtte stigningsverdiene være i heltall. Dette ble gjort med verktøyet "**Reclassify**" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass)

- Input Raster: "**Elv_GT500_flomareal_positiv**"
- Reclass Field: Valgte "**Value**"
- Reclassification: Valgte det siste tallet i nederste rad. Flyttet dette tallet til første rad slik at det under "Old values" stod "**0 – Siste tall**"

Reclassification	
Old values	New values
0,000023 - 30,241323	1
NoData	NoData

Figur 5-6: Illustrasjon av reklassifikasjonstrinnet (Skjermdump fra ArcGIS).

- Output Raster: Kalte den "**Elv_GT500_flomareal_flate**"
- "OK"

6. Konverterte hensynssonen/aktsomhetsområdet til vektordata/polygon:

Til slutt ble hensynssonen konvertertert til et polygon. Her ble verktøyet "**Raster to Polygon**" brukt (ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster)

- Input Raster: "**Elv_GT500_flomareal_Flate**"
- Output Polygon Features: Kalte den "**HensynssoneFlomareal_Flate**"
- Krysset av "**Simplify Polygons**" slik at polygonet fikk en mykere avgrensning

Aktsomhetsområdet for Ås sentrum uten bekkåpning er fullført. Videre skal metodikken for fremstillingen av aktsomhetsområdet for Ås sentrum med bekkåpning beskrives.

5.4 PRODUKSJON AV AKTSOMHETSOMRÅDE MED GJENÅPNING AV BEKK

Produksjonen av aktsomhetskartet uten gjenåpning av bekk er komplett. Det er viktig å lage aktsomhetskart der bekken er åpnet. På denne måten kan tiltaket om gjenåpningen av bekken sammenlignes med dagens situasjon for å se hvilken virkning dette har. Flomarealene illustrerte hvilke områder som opplevde oversvømmelse som følge av at vannet oversteg bekkedanten.

Videre følger veiledning for produksjon av aktsomhetskart ved gjenåpning av bekken.

5.4.1 Inntegning av bekk

Inntegning av bekken ble gjort for frihånd og ved hjelp av geografiske koordinater fra feltarbeid.

Frihånd

Bekken som ble tegnet inn for frihånd i programmet fulgte langs med veien fra togstasjonen ned til bekkåpningen. Tanken bak dette var at bekken skulle posisjoneres der det var mest mulig ledig plass. Samtidig var denne posisjoneringsen nært tilknyttet de laveste punktene i terrenget. Bredden på bekken var stort sett rundt 4 meter.

1. Åpnet verktøylinjen ”**Draw**” (Customize > Toolbars). En verktøylinje dukket opp med ulike redigeringsmuligheter.
2. Valgte ”**Polygon**”. Dette verktøyet tillot tegning av et polygon direkte i modellen.
3. Tegnet den hypotetiske bekken inn langs med veien fra togstasjonen ned til den originale bekkåpningen. ”**Dobbelklikket**” på det siste punktet for å fullføre tegnearbeidet.
4. Valgte ”**Convert Graphics To Features**” (> Drawing).
 - Convert: Valgte ”**Polygon graphics**”
 - Valgte samme koordinatsystem som f.eks. den originale DTM: ”**DTM_1m**”
 - Output Shapefile or Feature Class: Kalte den ”**Hyp_Bekk_t**” for å illustrere at dette var en hypotetisk tegnet bekk
 - ”**OK**”
5. Åpnet verktøyet ”**Polygon to Raster**” (ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster). Dette måtte til for å bruke bekken videre i arbeidet.
 - Input Features: ”**Hyp_Bekk_t**”
 - Value Field: ”**Shape_Area**”

- Output Raster Dataset: Kalte den ”**Hyp_Bekk_R**” for å illustrere konverteringen til raster
- Cellsize: Satt denne til ”1”
- ”OK”

Geografiske koordinater

De geografiske koordinatene tok utgangspunkt i lavpunktene i terrenget. Disse koordinatene ble samlet inn ved feltarbeid der en GNSS-mottaker ble brukt. Koordinatene beskrev bekkens bredde og posisjon. Startpunktet var lengst nord på togstasjonen, mens endepunktet var ved den originale bekkåpningen. Valgt bredde på bekken ble bestemt ut i fra nåværende bebyggelse. Det var viktig å sørge for at bekken ikke overlappet med privat eiendom, samt at det skulle være tilstrekkelig plass til en vei. For at bekken skulle sammenfalle med lavpunktene i terrenget på hele strekningen ble det tatt nye målinger der bekken ville krummes. Totalt ble 30 punkter dannet.

Vurderingene gjort under oppmålingen førte til at bekkens bredde generelt lå på 8 meter som følge av dagens bebyggelse.

1. Åpnet verktøylinjen ”**Tools**” (Customize > Toolbars). En verktøylinje dukket opp.
2. Valgte verktøyet ”**Go To XY**”. Dette verktøyet ble brukt til å lokalisere punkter i det valgte koordinatsystemet.
 - Valgte ”**Meters**” (> Units)
 - Skrev inn lengdegrad og breddegrad i ”**X**” og ”**Y**”
 - Trykket på ”**Add Point**”. Et punkt la seg inn i kartet
 - Gjentok dette for de resterende punktene. Punktene illustrerte bekkens posisjon i terrenget.
3. Åpnet verktøylinjen ”**Draw**” (Customize > Toolbars). Punktene ble brukt som hjelp til å tegne inn bekken
 - Valgte ”**Polygon**”
 - Dannet linjer mellom punktene i kartet
 - ”**Dobbeltklikket**” på det siste punktet for å fullføre arbeidet
4. Valgte ”**Convert Graphics To Features**” (> Drawing).
 - Convert: Valgte ”**Polygon graphics**”

- Valgte samme koordinatsystem som den originale DTM: ”**DTM_1m**”
 - Output Shapefile or Feature Class: Kalte den ”**GPS_Bekk**” for å illustrere at dette var en bekk tegnet ved hjelp av GPS
 - ”**OK**”
5. Åpnet verktøyet ”**Polygon to Raster**” (ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster). Dette måtte til for å bruke bekken videre i arbeidet.
- Input Features: ”**GPS_Bekk**”
 - Value Field: ”**Shape_Area**”
 - Output Raster Dataset: Kalte den ”**GPS_Bekk_r**” for å illustrere konverteringen til raster
 - Cellsize: Satt denne til ”**1**”
 - ”**OK**”

5.4.2 Nedsenking av bekk

Bekken trengte en dybde. Som i kapittel 5.3.1 punkt 1 (Legge til FKB-Vann i DTM) skulle bekken senkes inn i terrenget. I bekken tegnet med frihånd ble to datasett laget med dybdene 2 m og 4 m. I bekken som tok utgangspunkt i de geografiske koordinatene fikk en dybde lik 2 m.

Under følger fremgangsmåten for de to alternativene. For begge metodene verktøyet ”**Raster Calculator**” benyttet (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra).

Frihånd

1. Dybde: 2m

- Skrev inn følgende likning:
Con(IsNull(”Hyp_Bekk_R”),”nedsenket_elvlop”,”nedsenket_elvlop”-2)

Likningen fortalte at for de områdene ”Hyp_Bekk_R” ikke eksisterte ble verdien hentet fra ”nedsenket_elvlop”. Hvis ”Hyp_Bekk_R” eksisterte ble verdien fremdeles hentet fra ”nedsenket_elvlop”, men ble senket ytterligere 2 meter.

”nedsenket_elvlop” var datasettet som ble laget når FKB-Vann ble senket 7 meter.

- Output Raster: Kalte den ”**Hyp_Bekk_senk2m**” for å illustrere at dette var en tenkt bekk med dybde 2 meter

2. Dybde: 4m

- Skrev inn følgende likning:
Con(IsNull(”Hyp_Bekk_R”),”nedsenket_elvlop”,”nedsenket_elvlop”-4)
Likningen sørget for at bekken fikk en dybde på 4 meter istedenfor 2 meter.
- Output Raster: Kalte den ”**Dyp_Bekk_s4m**” for å understreke at dette var en dypere elv

Geografiske koordinater

- Skrev inn følgende likning:
Con(IsNull(”GPS_Bekk_r”),”nedsenket_elvlop”,”nedsenket_elvlop”-2)
Bekken som ble bygd opp av de geografiske koordinatene ble senket med 2 meter fra høyden til det nedsenkede elvløpet.
- Output Raster: Kalte den ”**SenkGPSBekk2m**”

Arbeidet videre for bekkene var likt som ved produksjon av aktsomhetskart uten bekkåpning. Derfor ble de samme stegene fra kapittel 5.3.2 og utover fulgt ved produksjon av aktsomhetskart med bekkåpning. Den videre veiledningen ble derfor lagt til som et vedlegg. Datasettene for bekkene ble satt inn i ”Input” istedenfor datasettene som representerte nåværende forhold (Uten bekkåpning). Navngivningen av de produserte datasettene i ”Output” ble dermed også endret som følge av de nye forholdene.

Det ble produsert flomareal/hensynssoner for tre ulike analyser:

- Dagens tilstand
- Bekk tegnet for frihånd med dybde på 2 m og 4 m (Tilfeldig lokasjon)
- Bekk fremstilt ved hjelp av geografiske koordinater (Plassert over lavpunktene i terrenget)

Hensynssonene ble sammenlignet ut i fra størrelsen på arealet og hvilke områder som ble berørt av 500-årsflommen.

6 RESULTATER OG DISKUSJON

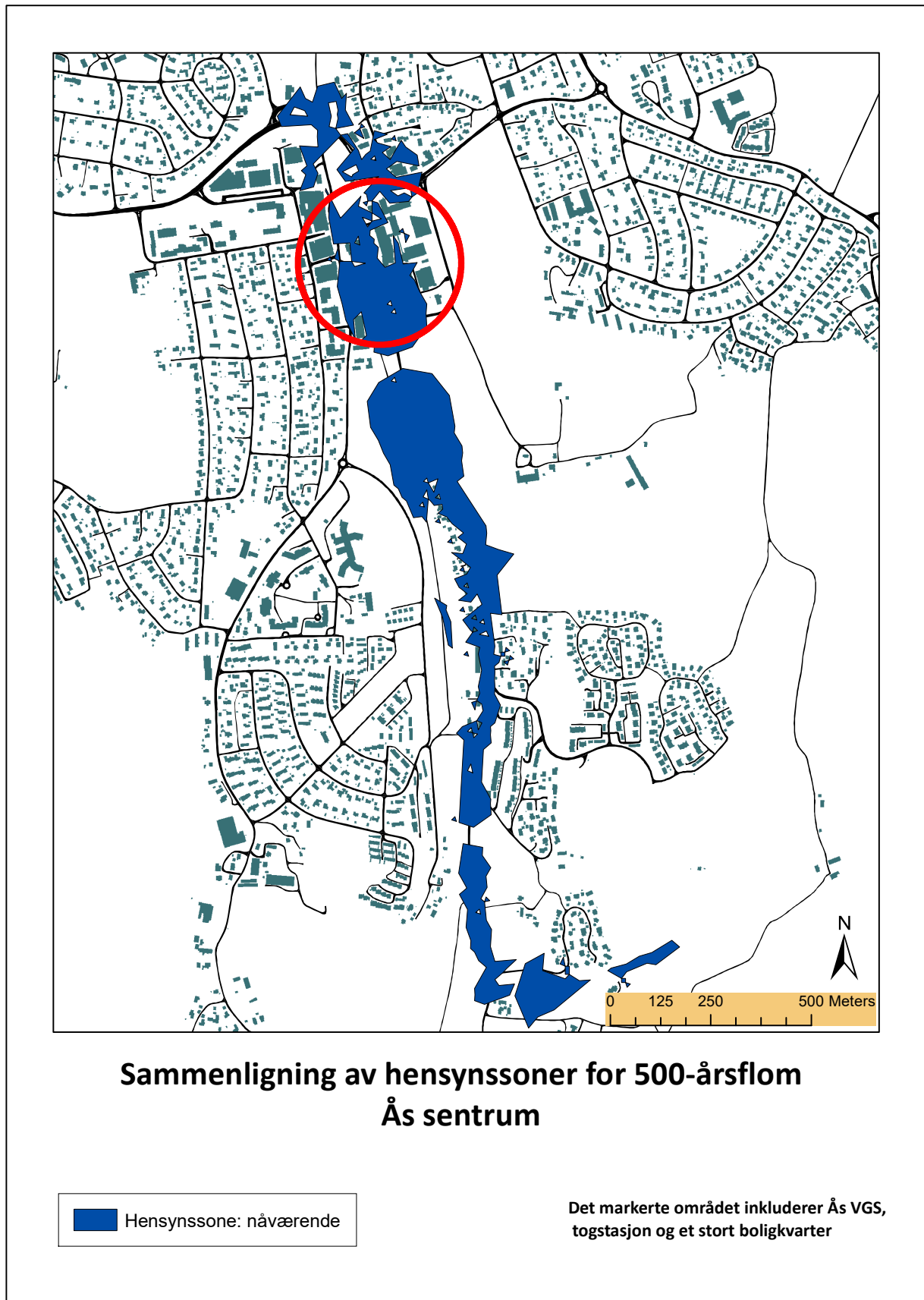
I dette kapitlet skal områdene som blir berørt av 500-årsflom med og uten bekkåpning presenteres. Videre følger diskusjon om bekkåpning er et tiltak som gir positiv effekt på hensynssonens utstrekning.

6.1 AKTSOMHETSKARTENE

Hensynssonen illustrerer problemområdene som oppstår på grunn av flom. Modellen beregner vannstigningen over vannstrengen. Av formelen gitt av NVE (2015) regner programmet ut vannstigningen over bekkanten (Der det er bekk) og brer denne verdien utover terrenget. Hensynssonen sier dermed ikke noe om vanddybden for flomarealene, men angir hvilke områder som vil bli berørt av flommengdene.

6.1.1 Hensynssone uten bekkåpning

Hensynssonen for Ås sentrum under nåværende tilstand blir presentert i figur 6-1. I denne situasjonen er Hogstvedtbekken som beveger seg gjennom sentrum lagt i rør. Dette fører til at forsenkninger i topografien akkumulerer store vannmengder uten at en åpen bekk kan transportere disse mengdene videre.



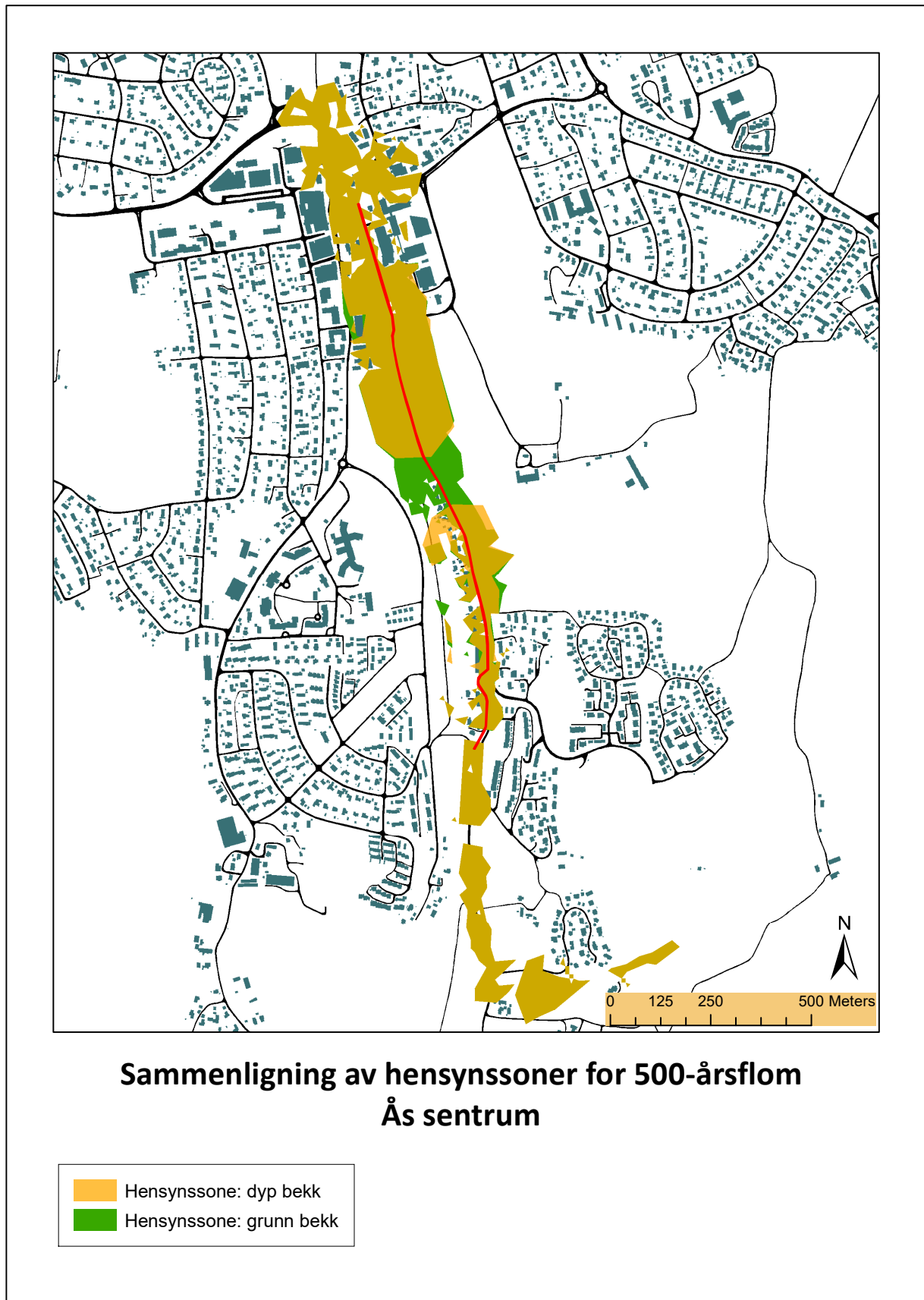
Figur 6-1: Illustrerer dagens hensynssone for Ås sentrum ved en 500-årsflom.

Slik figur 6-1 illustrerer ble et stort område i Ås sentrum berørt av en 500-årsflom ved nåværende forhold. Flomarealet startet i nord ved REMA 1000 og endte i sør ved Eldorlia. Flomstrekningen var på omtrent 2,5 km og fulgte stort sett Hogstvedtveien. På denne strekningen berørte flommen en rekke geografiske områder. Dette omfattet vei, landbruksareal, jernbaneinfrastruktur, boligområder og en videregående skole. Det var spesielt det markerte området i nord som inneholdt sterkt sårbare elementer. I dette området finnes det en videregående skole, et stort boligområde og en togstasjon. Store skader og kostnader vil forekomme ved en 500-årsflom for dette området.

Samtidig er det store boligområder sør i kartet som blir påvirket av 500-årsflommen. Her er flomarealet på sitt smaleste, og inkluderer for det meste boligene som ligger nært Hogstvedtveien. Flomarealet er på sitt bredeste i området som er preget av landbruksareal. Ved at flomarealet har så stor utbredelse i landbruksarealet vil store skader påføres åkeren.

6.1.2 Hensynssoner for bekkåpning

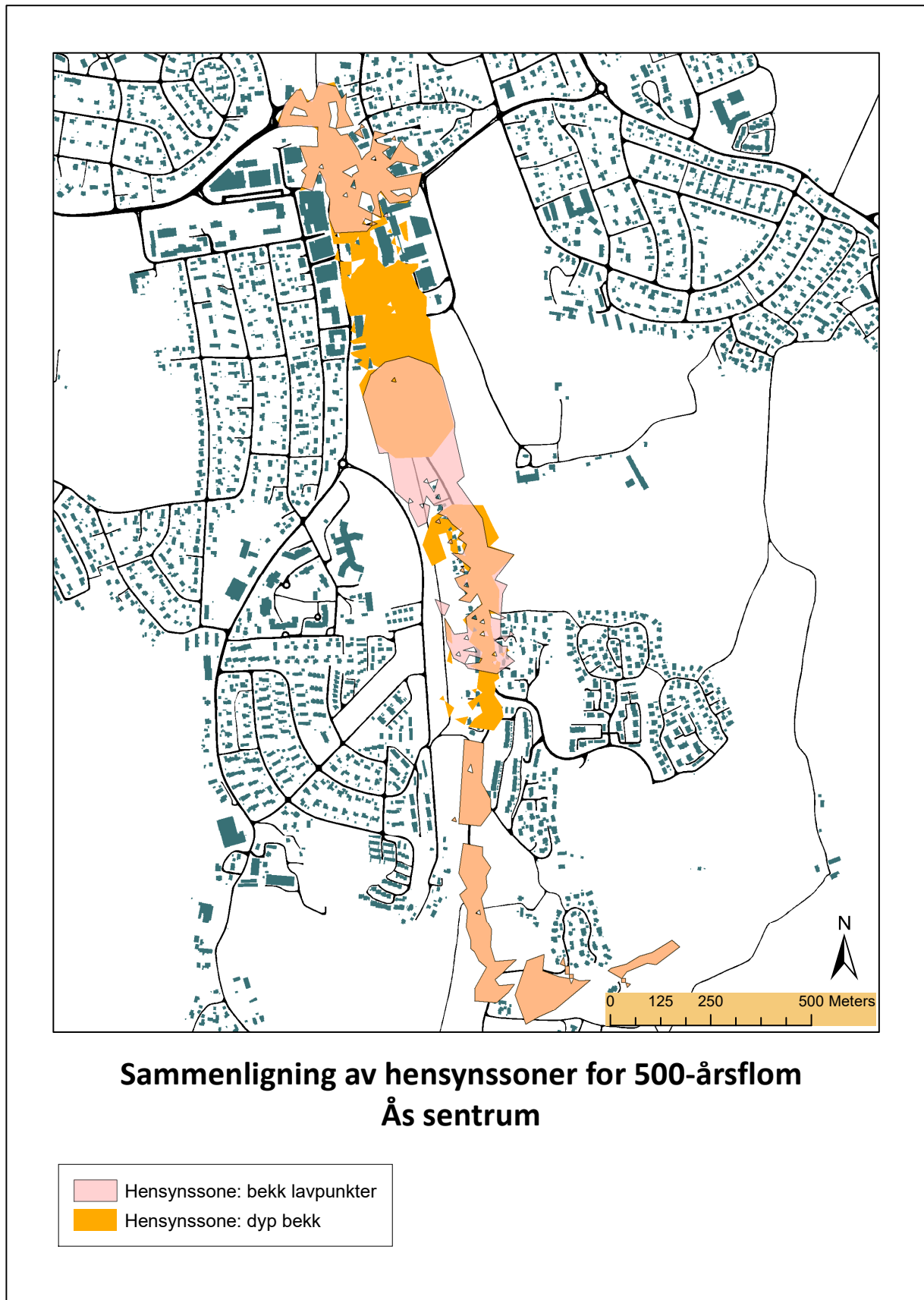
Hensynssonene for de ulike utformingene av den åpne bekken skal sammenlignes. Dette innebærer bekken som er plassert tilfeldig og bekken som er plassert over lavpunktene. Bekken som er plassert tilfeldig er illustrert ved to ulike hensynssoner. Den ene for dybde på 2 meter og den andre for dybde på 4 meter. Resultatene gav ulikt flomareal for de ulike analysene. De ulike hensynssonene fulgte samme mønster, men hadde ulik grad av utbredelse.



Figur 6-2: Sammenligning av hensynssonen for bekk med dybde 2 m og hensynssonen for bekk med dybde 4 m. Bekken er tegnet inn for frihånd og markert i rødt.

Disse hensynssonene er beregnet på bakgrunn av en tilfeldig plassert bekk. Bekken har blitt gitt to forskjellige dybder som har ført til ulike resultater. Bekken er markert i rødt på kartet og strekker seg fra parkeringsplassen ved togstasjonen og ned til Hogstvedtbekkens naturlige åpning. Dette sørger for en sammenhengende åpen bekk på hele strekningen.

Hensynssonene for dyp bekk og grunn bekk er illustrert i figur 6-2. Det underliggende grønne arealet representerer den grunne bekken, mens det overliggende gule arealet representerer den dype bekken. Disse hensynssonene har svært likt mønster og utstrekning. Ved å gjøre bekken dypere er det tydelig at et område nær senteret av hensynssonen vil unngå å bli berørt av en 500-årsflom. Tiltaket ved å øke dybden for bekken som er vilkårlig plassert i terrenget har fungert for noen mindre områder. Disse områdene omfatter en liten veistrekning og en liten bit av et landbruksareal. Skadebesparingen ved dette tiltaket vurderes derfor som svært liten i og med at andre mer sårbare områder fremdeles er utsatt for flom.



Figur 6-3: Sammenligning av hensynssonen for bekken med fokus på lavpunkter og hensynssonen for den dype bekken.

I figur 6-3 sammenlignes hensynssonen til den tilfeldige plasserte bekken med bekken som er plassert etter lavpunktene i terrenget. Hensynssonen for den dype bekken gav bedre resultat enn den grunne bekken og ble derfor brukt i denne sammenligningen.

Et lite område sør og et stort område nord vil ikke bli berørt av flom hvis bekken dimensjoneres etter lavpunktene i terrenget. Disse områdene er illustrert ved at gulfargen, som representerer hensynssonen til den dype elven, alene markerer områdene. Hensynssonen til bekken som er plassert etter lavpunktene i terrenget markerer altså ikke disse områdene.

Dette beviser hvor viktig det er å plassere bekken etter lavpunktene i terrenget. Årsaken til dette er at det er her nedbørsmengdene akkumuleres. Disse akkumuleringene av overvann blir fjernet ved at en bekk plasseres i dette punktet.

Den dype bekken ble tilfeldig plassert langs med veien der det var ledig plass. Dette var utfordrende og bekken ble vurdert til å ha en gjennomsnittlig bredde på 4 meter. Det ville derfor være usannsynlig at terrengets lavpunkter ble inkludert. Forskjellen i resultatene tilsier at bekken ikke klarte å treffe lavpunktene i terrenget tilstrekkelig. Bekken kan for det meste ha blitt plassert i skråninger der vannmengdene ikke akkumuleres. Slik figur 6-4 illustrerer er plasseringen av de to bekkene noe ulik. For å treffe lavpunktene i terrenget krevdes det dermed stor grad av nøyaktighet. Gjennom feltarbeid lokaliseres lavpunktene enklere og mer nøyaktig enn ved å studere modellen i programmet.

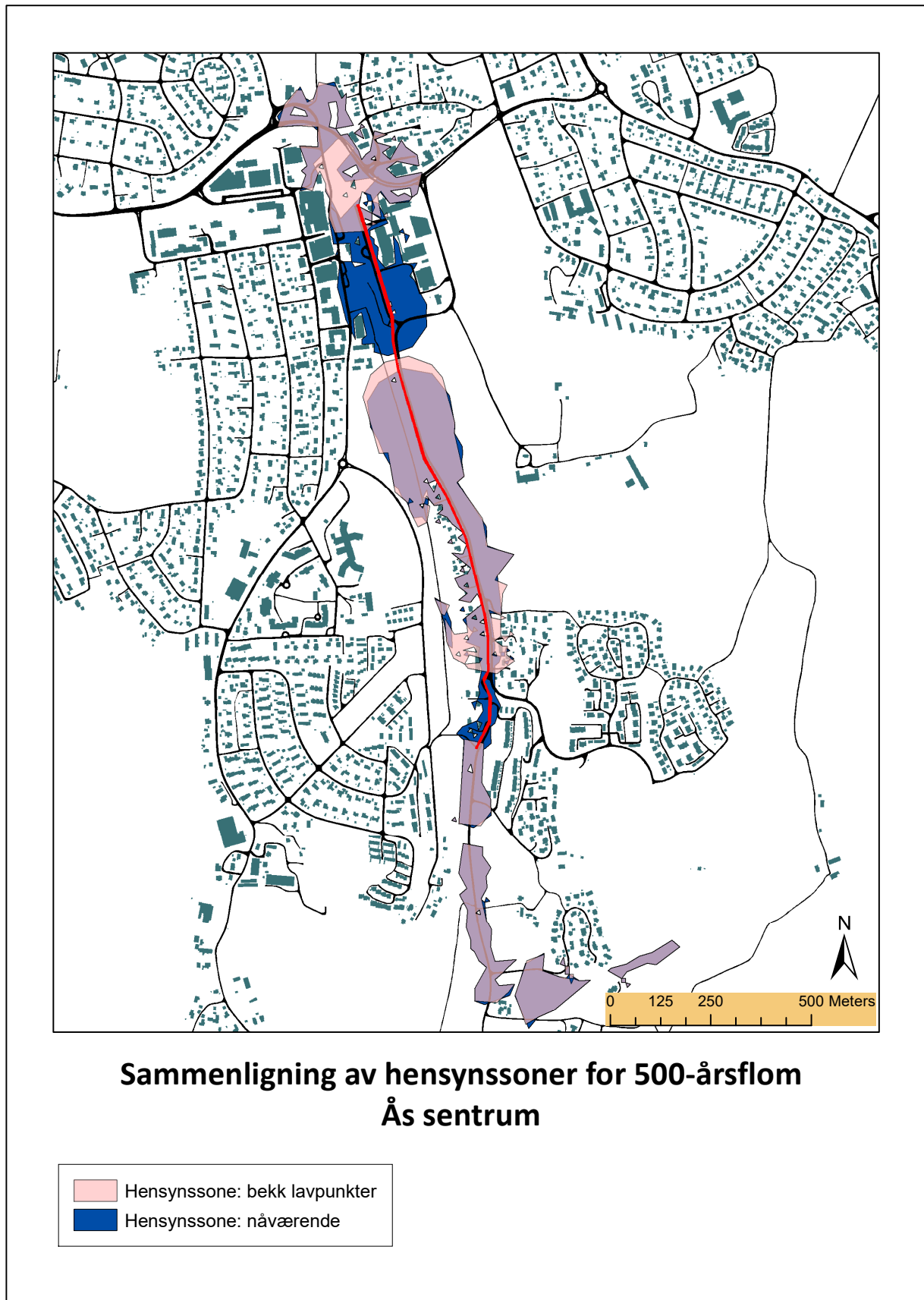


Figur 6-4: Viser et utsnitt av fokusområdet og sammenligningen mellom de to bekkenes plassering. Bekken som tar utgangspunkt i lavpunktene i terrenget er markert i grønt, mens bekken som er vilkårlig plassert er markert i rødt (Skjermdump fra ArcGIS).

Bekken som ble plassert etter lavpunktene i terrenget ble gjort bredere slik at lavpunktene hadde større sannsynlighet for å være til stede. Kapasiteten til de to bekkene var fortsatt den samme da tverrsnittsarealet var likt. Resultatet ble dermed ikke påvirket av ulikheter i kapasiteten.

6.1.3 Effekt av bekkåpning

Det viste seg at det beste resultatet for gjenåpning av bekk var gjennom å plassere bekken i terrengets lavpunkter. Denne hensynssoenen er naturlig å sammenligne med hensynssoenen for nåværende tilstand.



Figur 6-5: Sammenligning av dagens hensynssone og hensynssonen for bekkåpning. Bekkåpningen er plassert over lavpunktene i terrenget, og fremstilt ved hjelp av geografiske koordinater. Bekken er markert i rødt.

De områdene som ikke lenger berøres av flom ved gjenåpning av bekken illustreres ved at blåfargen, som representerer hensynssonen for nåværende tilstand, er enerådende. To områder skiller seg ut.

I det lille området lengst sør er det et boligområde. Slik figur 6-1 illustrerte ligger den videregående skolen, togstasjonen og de største boligkvartalene i det store området i nord. Dette er svært sårbare områder som vil bli sterkt rammet av flom ved nåværende situasjon. Uten gjenåpning av bekken vil disse områdene bli oversvømt ved en 500-årsflom. Ved gjennomføring av tiltaket vil dermed kostnader tilknyttet flomskader på disse områdene bespares. Dette vil også føre til at bybildet inkluderer en større andel av blå arealer. Dette vil skape et triveligere bomiljø og muligheter for rekreasjon.

Samtidig er det fortsatt en del områder som blir berørt av 500-årsflommen. Det nordligste området får faktisk et enda større flomareal. Dette er et område som inneholder en rekke store boligkvarterer og er også i tilknytning til jernbaneinfrastruktur. Landbruksområdene og flere store boligområder vil ikke oppleve noen form for bedring ved gjennomføring av tiltaket.

Hensynssonene laget i ArcGIS gav et godt bilde på hvilken innvirkning tiltaket om gjenåpningen av bekken hadde for Ås sentrum. Problemområdene ved en 500-årsflom ble kartlagt på en oversiktlig måte. Utgangspunktet for valget av ArcGIS som analyseprogram ble gjort på bakgrunn av følgende egenskaper:

- Brukervennlig program
- Gratis lisens i forbindelse med universitetet
- Fungerer godt på pc med disse spesifikasjonene
- Tillater bruk av laserdata (lett tilgjengelig)
- Gir gode resultater for flom i urbane områder (tette flater)

Samtidig er det viktig å vite at denne programvaren har noen usikkerheter. Blant annet er det viktig å vite at formelen utarbeidet av NVE (2015) for beregning av vannstigning ved 500-årsflom gir en usikkerhet på 1-6 meter. Denne usikkerheten bygger på at beregningene under disse flombetingelsene gjelder for et generelt område. For å få en lavere usikkerhet måtte beregningene tatt utgangspunkt i et spesifikt område.

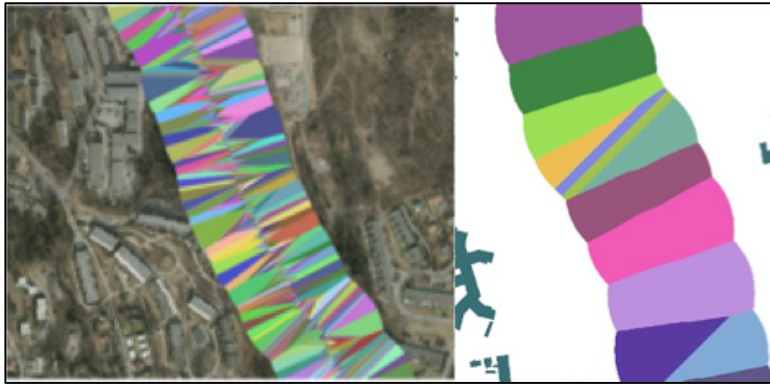
Det er også noen usikkerheter knyttet til de ulike filene som ble brukt til å danne den digitale terrengmodellen. Ikke alle detaljer når det gjelder FKB-bygning, FKB-vann og FKB-veg ble tatt med i modelleringen. Ved fullstendig inkludering av alle FKB-data for analyseområdet,

ville dette muligens påvirket resultatet. Bygninger hadde fått flere detaljer slik at nedbørsmengdene hadde rent ulikt enn i denne analysen. Flere vegdetaljer hadde gjort det totale vegarealet i analyseområdet større. I modelleringen ble flomveier som går over veger fjernet. Ved et større vegareal kunne flere slike flomveier blitt fjernet. Kulverter og bruer oppfører seg ulikt i programmet enn det de gjør i virkeligheten. Kulvertene vil ikke synes og flomveiene går dermed over veien i programmet. Disse flomveiene må fjernes for å få en realistisk analyse. Samtidig kan viktige flomveier som naturlig beveger seg i veibanen bli fjernet og dermed ikke inkluderes i analysen. Bruene vil oppføre seg som hindringer og bidra til at vannet renner en annen vei. Utfordringen med at bruene oppfører seg som hindringer ble løst ved at alle elver og kanaler ble senket med 7 meter. På denne måten ble vannmelementene brent ned i modellen og kunne strømme under bruene for å følge elvløpet. Hvis høyeste bro derimot fortsatt lå under dette nivået, ville broen oppført seg som en hindring.

Flomveier som bevegde seg i vann og hav ble også fjernet. Disse flomveiene ble vurdert som uinteressante i og med at disse flomveiene ikke skader infrastruktur. Samtidig er høyden til vann og hav varierende blant annet på grunn av bølger og tidevann. Laserdataene er tatt med flybåren laserskanning og representerer dermed vannhøyden kun for et spesifikt tidspunkt. I tillegg kunne flere flomveier blitt fjernet ved flere detaljer for FKB-Vann.

”Flow Direction”-verktøyet hadde også en viss usikkerhet med tanke på hvilken retning nedbørsmengdene ville renne. Verktøyet muliggjør kun vannstrømning i én retning. I flate områder der vannmengdene kan bres ut i flere retninger vil ikke dette verktøyet bidra med tilstrekkelig presisjon.

Metoden brukt i denne masteroppgaven gav usikkerhet i trinnet om ”Euclidean Allocation”. I dette trinnet skulle en tydelig bekk illustreres i senter av rasteret. Slik figur 6-6 illustrerer skjedde altså ikke dette. Ved diskusjon med Ås kommune ble det besluttet at dette ikke ville ha en innvirkning på den beregnede hensynssonen. Denne beslutningen baserte seg på at hensynssonene fremstilt i denne oppgaven samsvarte med tidligere beregninger.



Figur 6-6: Sammenligning mellom rapporten av PTU-OA (2016) og denne masteroppgavens resultater fra steget som omhandler "Euclidean Allocation".

ArcGIS som overvannsmoell har ogs a noen begrensninger. Det vil være komplisert   beregne vannmengdene som infiltreres til marka. Samtidig tar ikke ArcGIS hensyn til transport av vannmengder i overvannsnettet, da dette ledningsnettet ikke er inkludert i modellen. Dette ville ogs a ført til store usikkerheter i det produserte flomarealet. Ved   introdusere en situasjon som bar preg av en vinterflom ville denne usikkerheten bli neglisjert. Infiltrasjon til marka ville ikke vært mulig ved en islagt overflate. Samtidig ville ikke vannmengdene blitt transportert av overvannsledningene da åpningene var islagte. Det ble ogs a forutsatt en temperatur på 0 C slik at nedbøren falt som regn.

Grønsten et al. (2015) forteller i NVEs rapport «*Klimatilpasningsstrategi 2015-2019*» følgende: «*Flomfaren vil øke høst og vinter og regnflommene blir generelt større*». Dette gir grunn til   tro at situasjonen for vinterflom i denne oppgaven er sannsynlig.

For   utføre de tunge analysene i ArcGIS ble valget av datamaskin nøye vurdert. Spesifikasjonene til den valgte datamaskinen er nevnt under metodekapitlet. Laserdataene fra  s kommune ble gitt i 1 meter oppløsning. Dette har innflytelse på nøyaktigheten til resultatene. Ved større nøyaktighet ville beregningene i ArcMap gått tregere. Datamaskinen overrasket ved   gjennomføre oppgavene relativt raskt. Det kunne derfor tenkes at flere detaljer kunne blitt brukt for   bygge opp terrengmodellen.

6.2 VIDERE ARBEID

- Sette inn flyfoto for bedre illustrasjon av analyseområdets topografi
- Legge til et buffer i hensynssonen slik at flomutsatte bygninger blir illustrert tydeligere.
- I denne oppgaven ble erfaringstall fra generelle vassdrag brukt til beregning av vannstigningen over elvestrengen. Et forslag til videre arbeid kan være å bruke erfaringstall fra dette spesifikke området.
- Denne masteroppgaven illustrerer bare problemområdene i forbindelse med flom og gir dermed ikke et bilde på vannføring i bekken. Det kan dermed være interessant å se flomarealene i kombinasjon med vannføringen i bekken. På denne måten kan transporten av overvann i bekken belyses.

7 KONKLUSJON

Ved simulering av en 500-årsflom for Ås sentrum ble flere områder berørt. Flomarealet hadde en omtrentlig lengde på 2,5 km, og startet ved REMA1000 i nord og endte ved Eldorlia i sør. Et berørt område ble pekt ut som spesielt sårbart. Dette området omfattet en videregående skole, en togstasjon og et stort boligområde.

Ved gjennomføring av tiltaket om gjenåpning av Hogstvedtbekken ble færre områder berørt som følge av 500-årsflommen. Området som ble pekt ut som spesielt sårbart ble ikke lenger identifisert som berørt av flom. Dette forutsatte at bekken ble plassert etter lavpunktene i terrenget. Tiltaket om å gjenåpne bekken gav dermed god effekt for en rekke sårbare områder.

Gjenåpningen av bekken hadde derimot ingen effekt for landbruksområdet og flere boligområder. I tillegg var store deler av veinettet og jernbaneinfrastrukturen fremdeles berørt av 500-årsflommen. Flomskader knyttet til disse områdene vil derfor fremdeles forekomme ved gjennomføring av tiltaket.

ArcGIS er et svært brukervennlig program som er gratis gjennom universitetet. Programmet gir svært oversiktlige kart som er lette å sammenligne. Som analyseprogram for urbane oversvømmelser tok ikke ArcGIS hensyn til infiltrasjon eller transport i overvannsnettet for nedbørmengdene. Dette førte til at ArcGIS kun analyserte for den svært spesifikke situasjonen vinterflom.

8 REFERANSER

Cirello, A. (u.å). *Flow Direction and Flow Accumulation*.

Dannevig, P. H., Knut Erik. (2013). *Klima i Norge*, . Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/Klima_i_Norge (lest 28.02.17).

Delaunay, B. N. Triangulated Irregular Network.

Demis. (u.Å). *UTM-soner i Europa*. Delft, Nederland: Kartiskolen.no.

eKlima. (2017). *Temperaturavvik fra normal*. Oslo: Meteorologisk institutt.

ESRI. (2006). *ArcToolbox window basics*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=ArcToolbox_window_basics (lest 08.05.17).

ESRI. (2008a). *Flow Accumulation*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow%20Accumulation> (lest 11.05.17).

ESRI. (2008b). *Flow Direction*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow_Direction (lest 09.05.17).

ESRI. (2008c). *Resolution of a raster surface*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Resolution_of_a_raster_surface (lest 20.03.17).

ESRI. (2009a). *An overview of Spatial Analyst*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=An_overview_of_Spatial_Analyst (lest 09.05.17).

ESRI. (2009b). *The Raster Calculator*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=The%20Raster%20Calculator> (lest 11.05.17).

ESRI. (2010). *What is ArcCatalog?* . USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/using-arcatalog/what-is-arcatalog-.htm> (lest 08.05.17).

ESRI. (2011a). *Reclassify*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=reclassify> (lest 11.05.17).

ESRI. (2011b). *Understanding cut/fill volumetric analysis*. USA: ESRI.

ESRI. (u.Å-a). *About 3D surfaces*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=About%203D%20surfaces> (lest 21.04.17).

- ESRI. (u.Å-b). *Creating a LAS dataset*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/creating-a-las-dataset.htm> (lest 27.04.17).
- ESRI. (U.å-c). *Raster*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://support.esri.com/other-resources/gis-dictionary/term/raster> (lest 20.03.17).
- ESRI. (u.å-d). *What is ArcMAP*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.4/map/main/what-is-arcmap-.htm> (lest 12.05.17).
- ESRI. (u.Å-e). *What is GIS*. USA: ESRI. Tilgjengelig fra: <http://www.esri.com/what-is-gis> (lest 20.04.17).
- Fergus, T., Hoeseth, K. A., Sæterbø, E. & Aas, A. (2010). *Vassdragshåndboka*: NVE.
- FN-sambandet. (2016). *Klimaendringer*. Tilgjengelig fra: <http://www.fn.no/Tema/Klima/Klimaendringer> (lest 23.02.17).
- Geodata. (u.Å). *Koordinatsystemer og projeksjoner*: Geodata. Tilgjengelig fra: <http://geodata.no/supportsenter/forstehjelp/how-to-guider/arcgis-desktop/koordinatsystemer-og-projeksjoner/> (lest 05.04.17).
- Grønsten, H. A., Halmrast, K., Hisdal, H., Jensen, T., Melvold, K., Magnussen, I., Midttømme, G. H., Mølkersrød, K., Nelson, G. N., Pedersen, T. B., et al. (2015). NVEs Klimatilpasningsstragi. Oslo.
- Hanssen, S. D., Asmundsen, G., Nordeidet, B., Sørensen, S. & Nordmeland, R. (2015). Risikoaspekter for overvannsfloam og dimensjonerende nedbør utredning. Oslo.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A., et al. (2015). *Klima i Norge 2100*. Tilgjengelig fra: <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8> (lest 1.03.17).
- Holø, R. M. & Lien, S. J. (2013). *Prislapp på flommen i juni: En milliard kroner*. Lillehammer: NRK. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/ho/en-milliard-i-flomkostnader-1.11427240> (lest 25.04.17).
- Kartverket/Norsk Polarinstitutt. (2008). *Temperaturendring fram mot 2100*. Miljøstatus.no.
- Lindholm, O., Engan, J., Rapp, Ø., Øverleir, P. & Markhus, E. (2003). Revurdering av beregningskriterier for avløpssystemer, flom i kommunale avløpssystem.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S. & Jakobsen, G. (2008). *og Aaby L.(2008): Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*: Norsk Vann-rapport.
- Meteorologisk Institutt. (u.d-a). *Hva er klima?* Tilgjengelig fra: https://met.no/Klima/Hva_er_klima+/ (lest 21.02.17).
- Meteorologisk Institutt. (u.d-b). *Klima*. Tilgjengelig fra: <https://met.no/Klima/> (lest 21.02.17).

- Miljølære.no. (u.d). *Klimaendringer*. Tilgjengelig fra:
<https://www.miljolare.no/tema/forbruk/artikler/klimaendringer.php> (lest 27.02.17).
- Miljøstatus.no. (2015). *Klima i Norge 2100*: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra:
<http://www.miljostatus.no/tema/klima/klimainorge/klimainorge-2100/> (lest 05.03.17).
- Miljøstatus.no. (2017). *Klima i Norge*: Miljøverndirektoratet. Tilgjengelig fra:
[http://www.miljostatus.no/tema/klima/klimainorge/ - heading1](http://www.miljostatus.no/tema/klima/klimainorge/-heading1) (lest 03.03.17).
- Moore, T. L., Gulliver, J. S., Stack, L. & Simpson, M. H. (2016). Stormwater management and climate change: vulnerability and capacity for adaptation in urban and suburban contexts. *Climatic Change*, 138 (3-4): 491-504.
- Myhre, T. (2013). *Albedoeffekt*. Store Norske Leksikon Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/albedoeffekt> (lest 27.02.17).
- Mæhlum, L. (2013). *Anleggsdatum*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/anleggsdatum> (lest 07.05.17).
- Mørk, K., Moseby, H. & Haakonsen, S. (2016). Statistikk og nøkkeltall for skadeforsikring 2016. Oslo.
- Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU). (2011). *Laserskanning fra fly*. Tilgjengelig fra:
http://niku.no/no/arkeologi/flybaren_laserskanning_lidar/Laserskanning+fra+fly.9UF RjG5W.ips (lest 06.03.17).
- NVE. (2015). Flaumfare langs bekker. Oslo.
- Opheim, I. O. (2014). *Nye høydegrunnlag innført fra 1. Februar*. Ås: Ås kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.as.kommune.no/nye-hoeydegrunnlag-innfoert-fra-1-februar.5409085-125463.html> (lest 15.04.17).
- Paule, T. (2012). Geovekst - et vellykket samarbeid om digital kartlegging. I: Geovekst (red.).
- Portland State University. *Light Detection and Ranging*, U.å.
- Portland State University. (U.å). *Light Detection and Ranging (LiDAR)*: Portland State University. Tilgjengelig fra:
<http://web.pdx.edu/~jduh/courses/geog493f12/Week04.pdf> (lest 15.03.17).
- PTU-OA. (2016). ArcGIS-metode for å identifisere aktsomhetsområder for elveflom i områder som ikke er kartlagt. Hønefoss.
- Schwartz, B. S., Harris, J. B., Khan, A. I., Larocque, R. C., Sack, D. A., Malek, M. A., Faruque, A. S., Qadri, F., Calderwood, S. B. & Luby, S. P. (2006). Diarrheal epidemics in Dhaka, Bangladesh, during three consecutive floods: 1988, 1998, and 2004. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 74 (6): 1067-1073.
- Scripps/NOAA. (2017). *CO2 i atmosfæren*, . USA: NOAA.

- Sorteberg, A. (2014). *Nedbør i Norge siden 1900*. Tilgjengelig fra: http://folk.uib.no/gbsag/Publications/Sorteberg_Naturen_2014.pdf (lest 03.03.17).
- Statens kartverk. (2009). *Koordinatbaserte Referansesystemer*: Statens kartverk.
- Statens kartverk. (2011). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartDataBase (FKB). *Produktspesifikasjon for FKB-Vann*. Hønefoss.
- Statens kartverk. (2013a). *Produktspesifikasjon Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)*. Tilgjengelig fra: http://www.kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb-laser/fkb-laser-v20_2013-02-01.pdf (lest 07.03.17).
- Statens kartverk. (2013b). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartDataBase (FKB). *Produktspesifikasjon for FKB-Bygning*. Hønefoss.
- Statens kartverk. (2014a). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartDataBase (FKB). Hønefoss.
- Statens kartverk. (2014b). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartDataBase (FKB). *Produktspesifikasjon for FKB-Veg*. Hønefoss.
- Statens kartverk. (2015). EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator) sone 5 - 30. Hønefoss.
- Statens kartverk. (2016a). *FKB - Felles kartdatabase*. Hønefoss: Statens kartverk. Tilgjengelig fra: <http://www.kartverket.no/data/kartdata/Vektorkart/FKB/> (lest 19.04.17).
- Statens kartverk. (2016b). *Laserskanning*. Hønefoss: Statens kartverk. Tilgjengelig fra: <http://www.kartverket.no/Kart/Laserskanning/> (lest 06.03.17).
- Statens kartverk. (2016c). *Nytt høydesystem NN2000*. Hønefoss: Statens kartverk. Tilgjengelig fra: <http://www.kartverket.no/nn2000> (lest 15.04.17).
- Statens kartverk. (2016d). *Om Geovekst-samarbeidet*. Hønefoss: Statens kartverk. Tilgjengelig fra: <http://www.kartverket.no/geodataarbeid/geovekst/om-geovekst-samarbeidet/> (lest 15.04.17).
- Statens kartverk. (2017). *NN2000 status*. Hønefoss: Statens kartverk.
- Statens kartverk. (u.å). *Norgeskart*. Hønefoss: norgeskart.no.
- Strømsholm, B. (2010). *Flybåren laserskanning*. ndla.no. Tilgjengelig fra: <http://ndla.no/nb/node/58811?fag=2600> (lest 06.03.17).
- Strømsholm, B. (2012). *Ellipsoide og geoider*: ndla. Tilgjengelig fra: <http://ndla.no/nb/node/55934?fag=2600> (lest 13.04.17).
- Tarboton, D. G., Bras, R. L. & Rodriguez-Iturbe, I. (1991). On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrological Processes*. Massachusetts, USA. 81-100 s.

- TEK10. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift) av 01.07.2010*.
- Tenge, G. (2005). Hva er GIS? Ås.
- Torson, T. & Dick, Ø. B. (2015). *Geodetisk datum*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/geodetisk_datum (lest 07.05.17).
- Vannportalen. (2014). *Vanndirektivet*. Oslo: Vannportalen. Tilgjengelig fra: <http://www.vannportalen.no/regelverk/vanndirektivet/> (lest 24.04.17).
- Vannressursloven. (2000). *Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven) av 01.01.2001*.
- Vannsidene. (u.Å). *EUs vanndirektiv*. Oslo: Vannsidene. Tilgjengelig fra: <http://www.vannsidene.no/vannforvaltning/eus-vanndirektiv> (lest 24.04.17).
- Ødegaard, H., Heistad, A., Mosevoll, G., Lindholm, O., Østerhus, S. W., Thorolfson, S. T. & Sægrov, S. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*: Norsk Vann.
- Ørstavik, E. (2015). *Geografisk Informasjonssystem*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/geografisk_informasjonssystem (lest 21.04.17).
- Ås kommune. (2014). *Geodatasamarbeidet i Follo*. Ås.

9 VEDLEGG

Veiledning for produksjon av aktsomhetskart for gjenåpning av bekk

Arbeidet videre er repetisjon fra metoden som ble brukt i forbindelse med produksjonen av aktsomhetsområdet uten gjenåpning av bekken. Framgangsmåten er lik for begge bekkene tegnet med frihånd og bekken som tar utgangspunkt i de geografiske koordinatene. Velger dermed å beskrive metoden for bekken med de geografiske koordinatene videre i oppgaven.

Generere flomveier

1. Fylle lavpunktene slik at flomveien blir sammenhengende:

Velger verktøyet **"Fill"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology)

- Input Surface Raster: Velger rasteret for den nedsenkede bekken **"SenkGPSBekk2m"**
- Output Surface Raster: Kaller den **"GPS_Bekk_F"**
- **"OK"**

2. Finne vannets strømningsretning:

Velger verktøyet **"Flow Direction"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology)

- Input Surface Raster: Velger **"GPS_Bekk_F"**
- Output Flow Direction Raster: Kaller den **"GPS_Bekk_FD"**
- **"OK"**

3. Finne akkumulerte celler:

Velger verktøyet **"Flow Accumulation"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology)

- Input Flow Direction Raster: **"GPS_Bekk_FD"**
- Output Accumulation Raster: **"GPS_Bekk_FA"**
- Velger **"FLOAT"**
- **"OK"**

4. Synliggjøre sterkt akkumulerte celler:

- Høyreklikk på **"GPS_Bekk_FA"** > **"Properties"**

- Velger så fanen ”Symbology” > ”Classified” > ”Classify”
- Skriver inn følgende intervaller:
 - > 5000
 - > 500 000
 - > 1 000 000
 - > 50 000 000
 - > La siste verdi stå urørt
- ”OK”
- Velger en ”Color Ramp” som er ønskelig
- Dobbelttrykker på intervallet ”0 - 5000” > ”No Color”
- ”OK”

Rydde dataset

1. Rydde bort flomveier i sjø og hav:

Velger verktøyet ”Raster Calculator” (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
Con((IsNull(”Vann_flate_union_raster”))==1, ”GPS_Bekk_FA”, ””)
Likningen forteller at dersom ”Vann_flate_union_raster” er lik 1 skal verdien hentes fra ”GPS_Bekk_FA”. Hvis ikke skal verdien settes til ”No data”.
- Output Raster: Kaller den ”GPS_Bekk_FAUV”, der ”UV” står for ”Uten Vann”
- ”OK”

2. Fullføre fjerning av flomveier i kulverter og veier:

Etter at veien er bufret kan de tilknyttede flomveiene ryddes bort ved hjelp av verktøyet ”Raster Calculator” (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
Con((IsNull(”Veg_FLATE_Buffer_2m_raster”))==1, ”GPS_Bekk_FAUV”, ””)
Likningen forteller at dersom ”Veg_FLATE_Buffer_2m_raster” er 1 skal

verdiene hentes fra "GPS_Bekk_FAUV". Hvis ikke skal verdien settes til "No Data"

- Output Raster: Kaller den for "GPSBekk_FAUVV", der "UVV" står for "Uten Vann og Vei"
- "OK"

Definere en elv

1. Slette celler under 500 000 akkumuleringer:

Velger verktøyet "Raster Calculator" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
Con("GPSBekk_FAUVV">500000, "GPSBekk_FAUVV", "")
Likningen forteller at data med over 500 000 akkumulerte celler blir hentet. Data med under 500 000 akkumulerte celler har verdi "No Data"
- Output Raster: Gir den tilnavnet "GPSBekk_GT500" for 500 (000) akkumulerte celler
- "OK"

Innhenting av høyde (m.o.h)

1. Inkludere høyde for vannlinjene:

Velger verktøyet "Raster Calculator" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
Con("GPSBekk_GT500", "DTM_1m")
Likningen forteller at hvis "GPSBekk_GT500" har en verdi skal denne verdien hentes fra "DTM_1m"
- Output Raster: Gir tilnavnet "GBekk_GT500h"

2. Konvertere fra meter til centimeter:

Velger verktøyet "Raster Calculator" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
Int(("GBekk_GT500h" * 100) + 0.5)
Likningen inkluderer vanlige regler for avrunding av desimaltall
- Output Raster: Kaller den for "GBekk_GT500cm" for å understreke at konverteringen til cm har skjedd
- "OK"

3. Bestemme Euclidean Allocation:

Velger verktøyet "Euclidean Allocation" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance)

- Input Raster: "GBekk_GT500cm"
- Source Field: Velger "Value"
- Output Allocation Raster: "GB_GT500Euc"
- Maximum Distance: "100"
- Output Cell size: "1"
- "OK"

Finne potensiell vannstandsstigning for 500-årsflom

1. Beregne vannstigning på 2 – 8 meter fra elvestrengen:

Velger verktøyet "Raster Calculator" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
**Con("GPSBekk_GT500" <= 1000000,2,(0.965 *
Ln("GPSBekk_GT500" / 1000000) + 2))**

Likningen forteller at hvis verdien for en akkumulert celle er mindre eller lik 1 km^2 får den verdien "2", ellers er verdien gitt ved $0.965 * \ln(\text{Celleverdien} / 1000000) + 2$.

- Output Raster: Kalles "GB_Stigning"

2. Konvertere fra meter til centimeter:

Bruker verktøyet "Raster Calculator" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
Int(("GB_Stigning" * 100) + 0.5)
Likningen inkluderer vanlige regler for avrunding av desimaltall
- Output Raster: Får tilnavnet "**GB_Stigningcm**" for å understreke konverteringen

3. Bestemmer Euclidean Allocation:

Velger verktøyet "**Euclidean Allocation**" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance)

- Input Raster: "**GB_Stigningcm**"
- Source Field: Velger "**Value**"
- Output Allocation Raster: Kaller den "**GBStigningEuc**"
- Maximum Distance: Skriver inn "**100**"
- Output Cell Size: "**1**"

Produsere hensynssone for bekkåpningen

Arbeidet rundt gjenåpningen av bekken er fullført, og en 500-årsflom er simulert. Områdene som under disse forholdene opplever flom må kartlegges.

1. Finne vertikal stigning (m.o.h.):

Velger verktøyet "**Raster Calculator**" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
"GB_GT500Euc" + "GBStigningEuc"
Likningen legger sammen verdiene
- Output Raster: Kalles "**GBTotStigning**"
- "**OK**"

2. Konvertere fra centimeter til meter:

Velger verktøyet "**Raster Calculator**" (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
"GBTotStigning" / 100.00
Likningen gjør om fra centimeter til meter ved å dele på 100
- Output Raster: Gir den tilnavnet **"GBTotStig_m"** og understreker at konverteringen er fullført
- **"OK"**

3. Oppdage oversvømt område:

Velger verktøyet **"Raster Calculator"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
"GBTotStig_m" – "DTM_1m"
Likningen trekker den absolutte vannstigningen fra terrengmodellen
- Output Raster: **"GB_Flomareal"**
- **"OK"**

4. Celler med negativ verdi får nullverdi:

Velger verktøyet **"Raster Calculator"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra)

- Skriver inn følgende likning:
Con("GB_Flomareal" >= 0, "GB_Flomareal", "")
Likningen forteller at verdier for "GB_Flomareal" som er lik eller større enn 0 beholdes, mens andre verdier får verdien "No Data"
- Output Raster: Kaller den **"GB_FlomarealP"**
- **"OK"**

5. Reklassifiser stigningsverdiene til heltall:

Velger verktøyet **"Reclassify"** (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass)

- Input Raster: **"GB_FlomarealP"**
- Reclass Field: Velger **"Value"**
- Reclassification: Velger det siste tallet i nederste rad. Flytter dette tallet til første rad slik at det under "Old values" står **"0 – Siste tall"**
- Output Raster: Kaller den **"GBFlomarealF"**
- **"OK"**

6. Konvertere hensynssonen/aktsomhetsområdet til vektordata/polygon:

Bruker verktøyet ”**Raster to Polygon**” (ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster)

- Input Raster: ”**GBFlomarealF**”
- Output Polygon Features: Kaller den ”**GB_Hensynssone**”
- Krysser av ”**Simplify Polygons**”
- ”**OK**”

Aktsomhetsområdet for Ås sentrum med bekkåpning er fullført.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway