

# Registrering og analyse av naturskadehendelser fra flommene i 2011 og 2013 langs Gudbrandsdalslågen

- En GIS-studie

Martin Vestnes Sæter

Masteroppgave i geografi

Trondheim, mai 2018

Veileder: Jan Ketil Rød

Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet

Fakultet for samfunns- og utdanningsvitenskap

Institutt for geografi



# NTNU

Kunnskap for en bedre verden



## **Abstract**

The climate is expected to change in the future due to emission of greenhouses gases and increased human consumption. Climate scenarios for Norway shows that floods caused by precipitation in the future will increase both in frequency and magnitude, which can cause harm to buildings and infrastructure. Adapting to and preventing such events is therefore necessary, and geographic information and geographic information systems (GIS) is in this context emphasized as an important point of departure for increased knowledge and for implementation of preventive measures. Oppland County has, as a part of the regional plan for the management of the river Gudbrandsdalslågen, used geographic information to know where flood damages may occur and to be able to prevent further damage. Crucial for this knowledge acquisition has been the process of geocoding damages that occurred during the floods along the river in 2011 and 2013.

This thesis investigates the use of this data and the value it holds in the effort to prevent climate-induced damages due to flooding. Damages caused by flooding has been georeferenced and several analyses have been undertaken: hot spot analysis, modelling of surface water, exploratory regression and ordinary least square regression. The results from these analyses shows that georeferenced damage data can have a value in the actions to limit climate-induced damages. The hot spot analysis identified areas where measures can be implemented. Modelling of surface water showed that the data could be used to recreate and verify surface drainage pathways that likely occurred during the floods in 2011 and 2013. The exploratory regression and least ordinary squares regression explained partly why the cost of the damages vary and is useful in identifying variables which can explain why the damages occur. Unfortunately, the value of the data is reduced due to inaccurate positioning of damages and a lack of information about the cost of each damage.

## **Sammendrag**

Det er forventet at klimaet vil endre seg i fremtiden som følge av utslipp av klimagasser og økt menneskelig forbruk. Klimafremskrivningene for Norge viser blant annet at regnflommer vil øke i frekvens og omfang, noe som kan gi materielle skader på bygninger og infrastruktur. Tilpasning til og forebygging av slike hendelser er derfor nødvendig, og bruk av geografisk data og geografiske informasjonssystemer (GIS) blir i denne sammenheng fremhevet som et viktig utgangspunkt for kunnskapsheving og iverksetting av potensielle tiltak. Oppland fylkeskommune har, som en del av regionalplanen for Gudbrandsdalslågen, valgt å benytte seg av geografisk informasjon for å få økt innsikt i hvor naturskader under flom oppstår og

mulige tiltak som kan iverksettes. Dette er blitt gjort ved å registrere og stedfeste naturskadehendelser som oppstod i forbindelse med flommene i 2011 og 2013.

Denne oppgaven tar utgangspunkt i disse dataene, og undersøker hvilken nytteverdi stedfestet naturskadedata kan ha for forebygging av klimarelaterte naturskader. For å belyse dette har naturskader blitt registrert og stedfestet, og en rekke analyser har blitt gjennomført: intensitetsanalyser, modellering av flomveier, utforskende regresjon og minste kvadraters metode (MKM)-regresjon. Resultatene fra disse analysene viste at stedfestet naturskadedata kan ha en nytteverdi i forebygging av klimarelaterte naturskadehendelser. Intensitetsanalysene identifiserte områder hvor tiltak kan iverksettes. Modelleringen av flomveier viste at naturskadedata kan benyttes til å gjenskape og validere sannsynlige flomveier som oppstod under flommene. Utforskende regresjon og MKM-regresjon gir delvis innsikt i hvorfor kostnad på naturskade varierer, og er nyttige i identifiseringen av faktorer som kan forårsake naturskade. Nytteverdien til naturskadedataene blir derimot redusert som følge av feilkilder i datasettet i form av unøyaktig stedfesting og manglende informasjon om kostnad på naturskader.

## **Forord**

Denne oppgaven markerer slutten på mine fem år som student ved Institutt for geografi og NTNU. Dette har vært fem år hvor jeg har lært mye om geografifagets ulike fagfelt, og sett nytteverdien i utdanningens tverrfaglighet. Arbeidet med masteroppgaven har vist seg å være en utfordrende og tidkrevende prosess. Samtidig har jeg gjennom denne prosessen opparbeidet meg kunnskap og erfaring som jeg kan ta med meg videre.

Jeg vil begynne med å takke min veileder Jan Ketil Rød for veiledning og tilbakemeldinger som jeg har hatt stort utbytte av. Videre vil jeg takke Oppland fylkeskommune for muligheten til å benytte naturskadedataene som har dannet utgangspunktet for denne oppgavens problemstillinger. Jeg vil også takke Erlend Schjetne og Øystein Hole for faglige råd og diskusjoner underveis i prosessen. Tilslutt vil jeg takke alle mine medstudenter på masterstudiet for utenomfaglige diskusjoner både på lesesalen og linjeforeningskontoret.

Martin Vestnes Sæter

Trondheim, 15. mai 2018



## **Innholdsfortegnelse**

<b>Abstract</b> .....	iii
<b>Sammendrag</b> .....	iii
<b>Forord</b> .....	v
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	vii
<b>Figurliste</b> .....	xi
<b>Tabelliste</b> .....	xv
<b>Forkortelser</b> .....	xvii
<b>1 Innledning</b> .....	1
1.1 Problemstilling.....	2
1.2 Bakgrunn .....	3
1.2.1 Regionalplan for Gudbrandsdalslågen .....	3
1.2.2 Statens naturskadefond.....	4
1.3 Oppgavens relevans .....	5
1.4 Tidligere studier.....	6
1.5 Oppgavens struktur.....	8
<b>2 Studieområde</b> .....	11
2.1 Gudbrandsdalslågen.....	11
2.2 Klima i studieområdet .....	12
2.2.1 Fremtidige klimaendringer fram mot 2100 .....	12
2.3 Nedbørfeltene .....	13
2.3.1 Hundorp.....	13
2.3.2 Ruste nedbørfelt .....	15
<b>3 Teori</b> .....	17
3.1 Geografiske informasjonssystemer.....	17
3.1.1 Vektor og raster datastrukturer.....	17
3.2 LiDAR .....	18
3.3 Interpolasjon .....	19
3.3.1 Romlig autokorrelasjon .....	20
3.3.2 Interpolasjonsmetoder .....	20
3.3.3 Hvilken interpolasjonsmetode genererer den mest nøyaktige DHM?.....	23
3.4 Digital høydemodell .....	24

3.4.1	Vektorrepresentasjon.....	24
3.4.2	Rasterrepresentasjon.....	24
3.5	Getis-Ord $G_i^*$ .....	26
3.6	Hydrologisk modellering av overflatevann .....	28
3.6.1	Forsknninger .....	29
3.6.2	Dreneringsretning .....	30
3.6.3	Akkumulert overflatestrømning .....	31
3.7	Regresjonsanalyse og Minste kvadraters metode .....	31
3.7.1	Statistiske mål på resultat av regresjonsanalyse og nullhypotesen .....	33
3.7.2	Valg av uavhengige variabler.....	35
<b>4</b>	<b>Metode</b> .....	<b>43</b>
4.1	Innsamling av data.....	43
4.1.1	Registrering og stedfesting av naturskadedata .....	44
4.2	Intensitetsanalyse (Getis-Ord $G_i^*$ ).....	46
4.3	Avgrensning av studieområde ved generering av nedbørfelt .....	50
4.4	Prosessering av LiDAR-data .....	51
4.4.1	Valg av romlig oppløsning .....	52
4.4.2	Interpolasjon av LiDAR-data .....	53
4.4.3	Root Mean Square Error .....	55
4.5	Modifisering av digitale høydemodeller.....	57
4.5.1	Digitalisering av stikkrenner og kulverter.....	58
4.5.2	Heving av bygninger .....	59
4.5.3	Generering av DHM med åpne stikkrenner og kulverter .....	60
4.5.4	Gjenskaping av flomsituasjonene i 2011 og 2013 .....	61
4.6	Modellering av overflatestrømning .....	61
4.6.1	Identifisering og igjenfylling av forsknninger.....	62
4.6.2	Dreneringsretning og akkumulert overflatestrømning .....	63
4.6.3	Konvertering til vektordata og valg av terskelverdier.....	64
4.7	Utforskende regresjon og MKM-regresjon .....	65
4.7.1	Konvertering av vektordata til rasterdata .....	67
4.7.2	Generering og bearbeiding av terrengparametere og akkumulert overflatestrømning .....	67
4.7.3	Ekstrahering av verdier fra rasterdatasett.....	68
4.7.4	Bearbeiding av variabelverdier .....	69
<b>5</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>73</b>



5.1	Naturskadehendelser.....	73
5.1.1	2011-flommen .....	73
5.1.2	2013-flommen .....	75
5.2	Intensitetsanalyse.....	77
5.2.1	2011-flommen .....	77
5.2.2	2013-flommen .....	79
5.2.3	Tolkning og videre bruk av resultat .....	80
5.3	Valg av interpolasjonsmetode for generering av DHM.....	81
5.3.1	RMSE-resultat .....	81
5.3.2	Hydrologisk korrekt høydemodell .....	83
5.4	Modellerte flomveier .....	84
5.4.1	Hundorp nedbørfelt .....	85
5.4.2	Ruste nedbørfelt .....	89
5.5	Utforskende regresjon.....	92
5.6	MKM-regresjon .....	93
5.6.1	Hundorp.....	93
5.6.2	Ruste.....	98
<b>6</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>103</b>
6.1	Vurdering av naturskadedatasett.....	103
6.2	Vurdering av intensitetsanalyser.....	105
6.3	Valg av interpolasjonsmetode.....	107
6.4	Valg av romlig oppløsning .....	109
6.5	Vurdering av flomveismodellering.....	110
6.5.1	Modifisering av DHM .....	110
6.5.2	Dreneringsalgoritme .....	112
6.5.3	Akkumulert overflatestrømning .....	112
6.5.4	Terskelverdi.....	113
6.6	Vurdering av resultat etter validering av modellerte flomveier.....	114
6.7	Vurdering av utforskende regresjon .....	116
6.8	Vurdering av MKM-regresjon.....	117
<b>7</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>123</b>
7.1	Videre arbeid .....	126
<b>8</b>	<b>Litteraturliste .....</b>	<b>127</b>
<b>9</b>	<b>Vedlegg.....</b>	<b>137</b>



## Figurliste

Figur 1.1: Oversikt over antall skader og erstatningssummer for naturskade i perioden 2006-2016. (Statens Naturskadefond, 2016 ).	6
Figur 2.1: Kart over de fire kommunene som studieområdet utgjør, og hvor i Norge disse kommunene er lokalisert.	11
Figur 2.2: Studieområdet ved Hundorp, som også indikerer nedbørfeltet for dette området...	14
Figur 2.3: Høydeprofil for studieområdet ved Hundorp.	15
Figur 2.4: Høydeprofil for studieområdet ved Ruste.	15
Figur 2.5: Studieområdet ved Ruste, som også indikerer nedbørfeltet for dette området.....	16
Figur 3.1: Illustrasjon av flybåren LiDAR og de tre komponentene som benyttes ved skanning (Tomljenovic et al., 2015).	18
Figur 3.2: Prinsipp for LiDAR-skanning, hvor det kan skilles mellom ulike retursignaler (Challis et al., 2011).	19
Figur 3.3: Illustrasjon av vekting i Naturlig Nabo. Overlappet mellom Voronoi diagrammene, angitt ved grønne polygoner, og polygon for punkt med ukjent verdi, angitt ved gjennomsiktig beige farge, benyttes som vekt i beregning av Z-verdi (ESRI, Udatert-i).....	22
Figur 3.4: Illustrasjon på et av problemene ved å benytte rasterstrukturen. Avstanden fra sentrumscellen til de omkringliggende cellene varierer (Hengl & Evans, 2009).	26
Figur 3.5: Illustrasjon av hvordan verktøyet Fill i ArcMap fyller igjen forsenkninger i DHM (ESRI, 2011b).....	30
Figur 3.6: Illustrasjon av de ulike dreneringskodene som et raster tildeles ved bruk av D8-algoritmen i flomveismodellering (ESRI, 2012a).	31
Figur 3.7: Illustrasjon av hvordan et vindu beveger seg over et raster og prosesser verdiene. Fokalcellen er markert med røde streker (Olaya, 2009).....	37
Figur 3.8: A) Positiv og B) negativ profilkurvatur, samt C) lineær profilkurvatur (Buckley, 2010).....	38
Figur 3.9: A) Positiv og B) negativ plankurvatur, samt C) lineær plankurvatur (Buckley, 2010).....	39
Figur 3.10: De ulike kategoriene og verdiene som et raster over himmelretning består av (Rød, 2015).....	40
Figur 4.1: Skjermdump fra kartløsningen Gårdskart (Norsk Institutt for Bioøkonomi, Udatert).	45
Figur 4.2: Illustrasjon av hvordan verktøyet Collect Events aggreger punkter (ESRI, 2009a).	47

Figur 4.3: Aggregerte skadedata for naturskadehendelser registrert for 2013-flommen. ....	47
Figur 4.4: Romlig autokorrelasjon for egenskapen kostnad på naturskade for skadepunkter registrert for 2011-flommen. ....	49
Figur 4.5: Romlig autokorrelasjon for egenskapen kostnad takst for skadepunkter registrert for 2013-flommen. ....	49
Figur 4.6: Arbeidsflyt for å generere nedbørfelt. ....	50
Figur 4.7: Genererte nedbørfelt for Ruste og Hundorp, og nedbørfelt hentet fra REGINE-datasettet. ....	51
Figur 4.8: Illustrasjon av punktskyen som danner grunnlaget for generering av DHM. Forskjell i farge reflekterer høydeverdien på punktene, mens hvite områder er bygninger som er blitt filtrert bort. ....	52
Figur 4.9: Skjermdump fra Topo to Raster, som viser hvilken klassifisering inngangsdata har fått. ....	55
Figur 4.10: Arbeidsflyt for å danne et utvalg av multipunkter og for å konvertere disse til enkeltpunkter. ....	57
Figur 4.11: Punkter som representerte stikkrenner hentet fra NVDB og ferdig digitaliserte stikkrenner. ....	59
Figur 4.12: Forskjell før og etter heving av bygninger av DHM, her illustrert med fjellskygge. ....	60
Figur 4.13: Arbeidsflyt for å reklassifisere stikkrenner og senke disse i DHM. ....	61
Figur 4.14: Pythonskript benyttet til å identifisere forsenkninger og høyden på disse. Skriptet vist i figuren er tilpasset studieområdet ved Ruste. ....	63
Figur 4.15: Forskjell mellom bruk av terskelverdi på 5000 og 25000 ved konvertering av akkumulert overflatestrømning til vektordata. ....	65
Figur 4.16: Arbeidsflyt for å generere variabler, ekstrahering og bearbeiding av variabelverdier. ....	66
Figur 4.17: Akkumuleringsvariabel før og etter log-transformasjon. ....	70
Figur 4.18: Egenskapstabell for naturskadedatasettet, med kolonner for uavhengig variabel og uavhengige variabler. ....	71
Figur 5.1: Oversikt over registrerte og stedfestede naturskadehendelser i forbindelse med 2011-flommen langs Gudbrandsdalslågen. ....	74
Figur 5.2: Oversikt over type hendelser som er registrert for 2011-flommen. ....	74
Figur 5.3: Fordeling årsak til naturskade registrert i forbindelse med 2011-flommen. ....	75

Figur 5.4: Oversikt over registrerte naturskadehendelser i forbindelse med 2013-flommen langs Gudbrandsdalslågen. ....	76
Figur 5.5: Oversikt over type hendelser som er registrert i forbindelse med 2013-flommen. .	76
Figur 5.6: Fordeling årsak til naturskade registrert i forbindelse med 2013-flommen. ....	77
Figur 5.7: Resultat av intensitetsanalyse for natur naturskadehendelser for 2011-flommen. ..	78
Figur 5.8: Resultat av intensitetsanalyse for kostnad på naturskade for 2011-flommen. ....	78
Figur 5.9: Resultatet av intensitetsanalyse for antall naturskadehendelser for 2013-flommen. ....	79
Figur 5.10: Resultatet av intensitetsanalyse for 2013-flommen, hvor kostnad på naturskade har blitt benyttet som vekt. ....	80
Figur 5.11: Posisjonen til referansepunkter brukt i RMSE-analyse for de to studieområdene.	82
Figur 5.12: Forskjell i flomveismodellering med utgangspunkt to ulike interpolasjonsmetoder. ....	83
Figur 5.13: Modellerte flomveier for Hundorp nedbørfelt. ....	84
Figur 5.14: Modellerte flomveier for Ruste nedbørfelt. ....	85
Figur 5.15: Fordeling over generert avstand mellom flomveier og skadepunkter for studieområdet ved Hundorp. ....	86
Figur 5.16: Modellerte flomveier langs elva Trilla, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen er vurdert som god og dårlig. ....	87
Figur 5.17: Modellerte flomveier langs elva Kvikstadåa, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen er vurdert som god og dårlig. ....	88
Figur 5.18: Modellerte flomveier ved Stokke, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen vurdert som dårlig. Kart til høyre viser vedlegg innhentet fra nettbasert kartløsning benyttet for å registrere skadehendelser. ....	89
Figur 5.19: Fordeling over generert avstand mellom flomveier og skadepunkter for studieområdet ved Ruste. ....	90
Figur 5.20: Modellerte flomveier langs Bekkjedalsbekken, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen vurdert som god. ....	90
Figur 5.21: Modellerte flomveier ved Øygarden, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen vurdert som god. ....	91
Figur 5.22: Modellerte flomveier ved Haugen, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen vurdert som dårlig. ....	92
Figur 5.23: Resultatet etter kjøring av Spatial Autocorrelation i tilknytning MKM-regresjon for Hundorp, hvor det ikke er noen tegn på tydelige mønster. ....	96

Figur 5.24: Spredningsplott for residualer i tilknytning MKM-regresjon for Ruste, med ingen tegn til noe mønster. ....	96
Figur 5.25: Fordeling av residualer, i tilknytning MKM-regresjon for Hundorp, illustrert i histogram. ....	97
Figur 5.26: Resultatet etter kjøring av Spatial Autocorrelation i tilknytning MKM-regresjon for Ruste, hvor det ikke er noen tegn på tydelige mønster. ....	99
Figur 5.27: Spredningsplott for residualer i tilknytning MKM-regresjon for Ruste, med ingen tegn til noe mønster. ....	100
Figur 5.28: Fordeling av residualer, i tilknytning MKM-regresjon for Ruste, illustrert i historigram. ....	101

## Tabelliste

Tabell 3.1: Tabellen gir en oversikt over kritiske verdier for z-skår og p-verdi for de ulike konfidensnivåene (ESRI, Udatert-t).....	28
Tabell 3.2: Oversikt over og kort beskrivelse av uavhengige variabler benyttet i utforskende regresjon.....	36
Tabell 3.3: Oversikt over avrenningsfaktorverdier for ulike overflatetyper (Miljødirektoratet, 2015).....	41
Tabell 5.1: RMSE verdier beregnet for DHM generert for studieområde ved Hundorp. ....	82
Tabell 5.2: RMSE verdier beregnet for DHM generert for studieområde ved Ruste. ....	82
Tabell 5.3: Tabellen viser kombinasjonen av variabler som har samlet høyest forklaringsevne for kostnad på naturskade i studieområdet ved Hundorp. ....	93
Tabell 5.4: Tabellen viser kombinasjonen av variabler som har samlet høyest forklaringsevne for kostnad på naturskade i studieområdet ved Ruste. ....	93
Tabell 5.5: Tabellen viser koeffisientverdier, statistisk signifikans og VIF for uavhengige variabler benyttet i MKM-regresjon for studieområdet ved Hundorp. ....	94
Tabell 5.6: Tabellen viser ulike statistiske mål benyttet for å vurdere modell benyttet i MKM-regresjon for studieområdet ved Hundorp.....	95
Tabell 5.7 Tabellen viser koeffisientverdier, statistisk signifikans og VIF for uavhengige variabler benyttet i MKM-regresjon for Ruste studieområde. ....	98
Tabell 5.8: Tabellen viser ulike statistiske mål benyttet for å vurdere modell benyttet i MKM-regresjon for studieområdet ved Ruste.....	99
Tabell 9.1: Oversikt over de ulike egenskapene som er blitt registrert ved stedfesting av naturskadehendelser .....	137





## **Forkortelser**

GIS – Geografiske informasjonssystemer

LiDAR – Light Detection and Ranging

GPS – Global Positioning System

DHM – Digital Høydemodell

IAV – Invers Avstandsvektning

RMSE – Root Mean Square Error

TIN – Triangulært Irregulært Nettverk

MKM – Minste Kvadraters Metode

VIF – Varians Inflasjonsfaktor

TRASP - Topographic Radiation Aspect Index

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – FN's klimapanel

FKB – Felles Kartdatabase

NVE – Norges Vassdrags- og Energidirektorat

NGU – Norges Geologiske Undersøkelse

NIBIO – Norsk Institutt for Bioøkonomi



## 1 Innledning

Stadig flere bevis peker på at det globale klimaet har endret seg siden den industrielle revolusjon, og at endringene kommer til å bli betraktelig større i fremtiden grunnet økte utslipp av klimagasser og økt forbruk (Houghton, 2009). FNs klimapanel (IPCC) konkluderer blant annet i sin femte hovedrapport om klimaendringer at det er 95 % sannsynlighet for at observerte endringer i klimaet er forårsaket av menneskelig aktivitet. Rapporten påpeker i forbindelse med klimascenariet RCP 8.5, hvor det ikke foretas noen form for reduksjon i utslippet av klimagasser og forbruk, at irreversible endringer i klimaet vil oppstå. Det er blant annet forventet at gjennomsnittlig global årstemperatur vil stige med mellom 2,6 og 4,8 C° fram mot 2100 hvis utslippet av klimagasser holdes på dagens nivå (IPCC, 2014). Det er vist gjennom nedskalerte regionale klimamodeller også at Norge vil oppleve endringer i klimaet frem mot 2100. Årsmiddeltemperatur er forventet å øke med mellom 3,3 til 6,4 C°, mens årsnedbør forventes å øke mellom 7 og 18 % for ulike deler av landet (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Klimaendringene som er forventet å oppstå i Norge frem mot 2100 har en rekke konsekvenser, hvor det blant annet antas at regnflommene vil bli større og øke i frekvens (Hanssen-Bauer et al., 2015; Vatne, 2013). Ifølge Stortingsmelding 33 – Klimatilpasning i Norge (St.meld.nr 33. (2012-2013)) vil økt forekomst av flom kunne gi store materielle skader på infrastruktur og bygningsmasse, samtidig som tap av menneskeliv kan oppstå. Det blir derfor også i Stortingsmeldingen trukket frem viktigheten av å tilpasse seg og forebygge fremtidige flomhendelser. Dette skal det legges til rette for gjennom økt kunnskap om klimaendringer, bedre kartlegging av utsatthet for klimaendringer og forbedret samordning mellom statlige og kommunale etater. Geografiske data blir i denne sammenheng trukket frem som et viktig ledd i arbeidet med klimatilpasning og forebygging (NOU, 2010 ; Næss & Solli, 2013). Flere aktører, deriblant forsikringsindustrien, har i nyere tid vist stor interesse for bruk av geografiske data i arbeidet med å tilpasse seg et endret klima. Finans Norge startet i 2014 opp et pilotprosjekt hvor målet var å undersøke om stedfestede forsikringsdata kunne anvendes til forebygging av klimarelaterte hendelser (Ebeltoft, 2014). Funnene fra dette prosjektet var positive, men det var flere utfordringer knyttet til manglende stedfesting, koding av skadedataene og restriksjoner knyttet til bruken av dataene (Breivik et al., 2015). Stedfestingen og tilretteleggingen av skadedataene i dette prosjektet tok utgangspunkt i data fra private forsikringsordninger og Norsk naturskadepool (Breivik et al., 2015). Dette er to av tre forsikringsordninger i Norge som eksisterer når det gjelder utbetaling av erstatning etter

naturskade (Norsk Naturskadepool & Landbruksdirektoratet, Udatert). For den tredje ordningen, erstatning fra Naturskadefondet, er det ikke tidligere gjort noen tilsvarende prosjekter, hvor skadedata har blitt stedfestet. I forbindelse med regionalplanen for Gudbrandsdalslågen har det derimot blitt igangsatt et prosjekt hvor data fra naturskadefondet er blitt anvendt. Naturskader som oppstod i forbindelse med flommene i 2011 og 2013 langs Gudbrandsdalslågen og som ble meldt inn til Statens naturskadefond skal registreres og stedfestes i en digital kartløsning. Registreringen av slike skader skal gi et bedre kunnskapsgrunnlag og oversikt hvor hvilke naturskader som har inntruffet og sannsynlig årsak til skade (Oppland Fylkeskommune, 2017). Dette arbeidet representerer slik sett en ny milepel innenfor arbeidet med klimatilpasning i Norge, ettersom data fra naturskadefondet har aldri blitt anvendt til slike formål før.

### **1.1 Problemstilling**

Denne oppgaven baserer seg på bruk av naturskadedata i regi av regionalplanen for Gudbrandsdalslågen, hvor følgende hovedproblemstilling danner utgangspunktet for arbeidet som gjennomføres:

*Hvilken nytteverdi kan stedfestet naturskadedata ha for forebygging av klimarelaterte naturskader?*

For å undersøke dette er det utformet fire underproblemstillinger:

1. *Hvilke feilkilder introduseres i naturskadedatasettet ved bruk av takstdokumenter for å stedfeste og registrere naturskadehendelser?*
2. *Vil registrerte og stedfestede naturskadehendelser gi innsikt i områder hvor tiltak i forbindelse med regionalplanen for Gudbrandsdalslågen kan iverksettes?*
3. *Er det mulig å gjenskape flomveiene som oppstod under flommene i 2011 og 2013 i to utvalgte nedbørfelt, og vil bruk av skadedata kunne validere disse?*
4. *Kan faktorer som påvirker overflateavrenning forklare hvorfor kostnad på naturskade varierer for registrerte naturskader i to utvalgte nedbørfelt?*

Bruk av geografiske informasjonssystemer vil være avgjørende for å svare på problemstillingene nevnt ovenfor. Registrering og stedfesting av naturskadehendelser i en nettbasert kartløsning, ArcGIS Online, danner utgangspunktet for å svare på underproblemstilling 1. Disse dataene benyttes videre i underproblemstilling 2,3 og 4. Intensitetsanalyser benyttes for å identifisere områder hvor tiltak kan iverksettes. Resultatet fra analysene danner utgangspunktet for valget av nedbørfeltene hvor flomveier gjenskapes og

valideres som en del av underproblemstilling 3. I de samme nedbørfeltene benyttes utforskende regresjon og minste kvadraters metode (MKM) regresjon for å identifisere faktorer som kan forklare hvorfor kostnad på naturskade varierer.

## **1.2 Bakgrunn**

### **1.2.1 Regionalplan for Gudbrandsdalslågen**

Utarbeidelsen av regionalplan for Gudbrandsdalslågen startet opp høsten 2013, ble sendt på høring høsten 2017, og forventes å vedtas innen utgangen av 2018. Hovedformålet med planen er å sikre samfunnet mot skader forårsaket av skred- og flomhendelser. For å oppnå dette er det blant annet konstruert en hydrologisk vassdragsmodell, som er blitt benyttet til å vurdere tiltak som kan redusere flomvannstanden i Gudbrandsdalslågen og sideelver. Det er også i planen et omfattende fokus på kompetansetiltak og samarbeid mellom berørte aktører. Et slikt fokus skyldtes at skadestatistikk viser at mange av skadehendelsene har oppstått som følge av menneskelige inngrep i terrenget. Disse inngrepene bidrar i mange tilfeller til endret overflatedrenering og større erosjonskapasitet, noe som samlet sett kan øke omfanget av naturskade. Kompetanseheving kan gi berørte aktører innsikt i hvorfor skade oppstår, og dermed bedre forutsetninger for å begrense skade ved fremtidige flomhendelser. Videre skal også kartlegging av naturverdier, arealdata og private dreneringstiltak forbedres slik at effektene av ulike tiltak kan vurderes. Registrering og stedfesting av naturskadehendelser fra flommene i 2011 og 2013 er en del av dette arbeidet, hvor målet er en helhetlig oversikt over hvilke skader som har oppstått, hvor disse er lokalisert og årsak (Oppland Fylkeskommune, 2017). Som nevnt innledningsvis er det denne delen av regionalplanen oppgaven tar utgangspunkt i. I forbindelse med dette er det viktig å påpeke at regionalplanen fokuserer i stor grad på tiltak rettet mot Gudbrandsdalslågen og tilhørende sideelver. Skadehendelsene som har oppstått i dalsidene har ikke fått like stort fokus i planen, og problemstillingene som undersøkes i denne oppgaven, kan gi større innsikt i eventuelle tiltak i disse områdene.

Bakgrunnen for at utarbeidelsen av regionalplanen ble startet opp skyldes at Gudbrandsdalslågen og tilhørende sidedbørfelt preges av høy flomrisiko og har vært utsatt for flere alvorlige flomhendelser i løpet av de siste årene. Spesielt var flommene i 2011 og 2013 avgjørende for at arbeidet med regionalplanen ble startet opp (Oppland Fylkeskommune, 2017). Flommen i 2011 inntraff i perioden 9.-15. juni, og skyldtes en kombinasjon av rask snøsmelting i fjellområder grunnet høye temperaturer og intens nedbør over kort tid. Det ble i dagene i forkant av flommen sendt ut varsel om 5-20 års flom i sidevassdragene, men flere steder ble det rapportert om forhold som tilsvarende 100-års flom. Det

oppstod både flom i bekker og elver i side- og hovedvassdrag, samtidig som en rekke skred ble utløst som følge av mettet jordsmonn (Statens vegvesen, 2012). Under denne flommen var det hovedsakelig kommunene langs Gudbrandsdalslågen som ble hardest rammet, deriblant Nord- og Sør-Fron og Ringebu kommune. Flommen i 2013 oppstod noe tidligere enn flommen i 2011, i perioden 21.-23. mai, men årsaken til flommen var den samme som i 2011; snøsmelting og intens nedbør (Roald, 2013). I tillegg til kommunene langs Gudbrandsdalslågen, ble også Gausdal kommune påvirket av flomhendelsen i 2013. Det var derimot Nord-Fron kommune som ble hardest rammet av flommen, hvor det ble gjort store skader ved Kvam.

Konsekvensene av begge flommene var store og alvorlige. Ved flommen i 2011 ble 270 personer evakuert (Lillestøl, 2016) og det ble gjort store materielle skader på både infrastruktur og bebyggelse. Flommen gjorde skader for 245 millioner kroner på vegnettet (Statens vegvesen, 2012) og det ble meldt inn skadeerstatninger hvor kostnaden er beregnet til 219 millioner kroner (Lillestøl, 2016). Sammenlignet med flommen i 2011, var omfanget av skadene knyttet til flommen i 2013 betraktelig større (Holø & Lien, 2013). De samlede samfunnsøkonomiske kostnadene, hvor skader på vei- og jernbanenettet, kommunale skader og forsikringsutbetalinger er inkludert, er estimert til underkant av 1.1 milliarder kroner. Trolig er de faktiske kostnadene knyttet til flommen betraktelig høyere, da samfunnsmessige virkninger av endret transport- og trafikkmønster ikke har blitt prissatt som en del av denne estimeringen (Siedler, 2015).

### **1.2.2 Statens naturskadefond**

Dataene som danner grunnlaget for denne oppgavens problemstillinger er takstdokumenter utarbeidet etter flommene i 2011 og 2013 i forbindelse med utbetalinger fra Statens naturskadefond. Naturskadefondet er en ordning som administreres av Landbruksdirektoratet, og gjelder naturskade på objekter som normalt ikke dekkes av ordinær forsikring eller Norsk Naturskadepool. Eksempler på objekter som dekkes av denne ordningen er jordbruksarealer, broer og veier. Et sentralt aspekt ved denne ordningen er at den omfatter kun tilbakeføring av skadet objekt til samme standard før skaden inntraff. Dette innebærer at standardheving og sikringstiltak ikke er omfattet av ordningen (Norsk Naturskadepool & Landbruksdirektoratet, Udatert).

De objektene som ikke er dekket av Statens naturskadefond, kan erstattes gjennom Norsk Naturskadepool. Denne ordningen tar utgangspunkt i naturskadeforsikringsloven, som sier at dersom en bygning og/eller innbo er forsikret mot brannskade, så er objektet også forsikret

mot naturskade. Forsikringsselskaper som forsikrer mot brannskade, må ifølge norsk lov være medlem av Naturskadepoolen, og betaler en premierate som for tiden er på 0.07 promille av brannforsikringssum til poolen. Dette benyttes av Naturskadepoolen til å utligne skadene som ordningen gjelder (Norsk Naturskadepool, Udatert). Skadeerstatninger fra flommene i 2011 og 2013 langs Gudbrandsdalslågen som er omfattet av denne ordningen har ikke blitt registrert og stedfestet i forbindelse med regionalplanen. Dette betyr at skade på bygninger og lignende ikke eksisterer i oversikten over registrerte skadehendelser.

### **1.3 Oppgavens relevans**

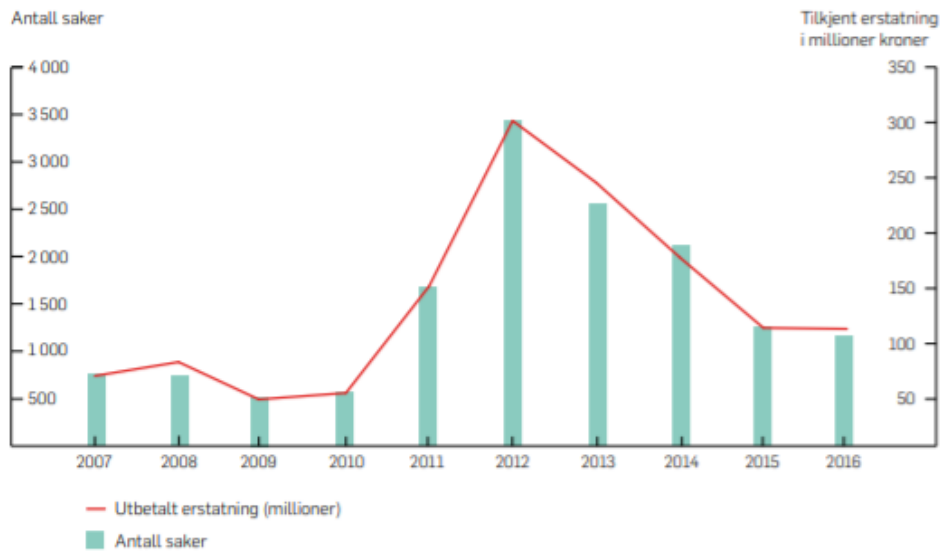
Som vist i figur 1.1, har antallet og summen på erstatningsutbetalinger fra naturskadefondet variert betraktelig de siste 10 årene, og det kan ikke identifiseres noen klar trend ut i fra disse dataene. Figuren viser at 2011-2014 er årene hvor erstatningsutbetalingene har vært spesielt høye, og dette settes i sammenheng med flere flommer på Østlandet. Flomhendelser har hatt størst innvirkning på erstatningsutbetalingene og antall saker, hvor 72 prosent av skadene registrert på landsbasis mellom 2007-2016 har vært relatert til flom. Perioder uten flom preges som regel av lavere antall erstatningssaker (Statens Naturskadefond, 2016).

Klimascenarioene som er utarbeidet for Norge frem mot 2100 viser at både temperaturen og nedbøren vil øke, noe som vil bidra til at regnflommene vil komme oftere og omfanget vil bli større (Hanssen-Bauer et al., 2015). For å unngå at naturskadeerstatningene knyttet til flom blir betraktelig høyere som følge av fremtidige klimaendringer, er det svært aktuelt og relevant å heve kunnskapsgrunnlaget omkring flom og sette inn tiltak som kan forebygge flomrelaterte hendelser.

Dette blir ytterligere mer aktuelt med tanke på at det er blitt bygget kritisk infrastruktur og bebyggelse i Norge som er utsatt for flom av ulik grad. I Riksrevisjonens undersøkelse av myndighetenes arbeid med å forebygge skred- og flomfare, kommer det frem at 34 sykehus er lokalisert og det bor 22 000 mennesker i områder som er utsatt for 200-års flom. For områder utsatt for 500-års flom bor det i overkant av 30 000 mennesker og der finnes omtrent 10 000 bygninger. Ved flom i disse områdene står både menneskeliv og viktig infrastruktur i fare for å gå tapt (Riksrevisjonen, 2010). Tiltak og kunnskap som bidrar til at det i fremtiden ikke bygges i slike områder og reduserer faren for skade er dermed essensielt. Regionalplanen for Gudbrandsdalslågen har som formål å oppnå dette. Den skal bidra til å øke samfunnets sikkerhet mot skred- og flomskader, hvor flere forebyggende tiltak skal iverksettes.

Kartleggingen av flomskader og hva som er årsaken til disse skadene kan danne et viktig utgangspunkt for økt kunnskap om hvor skadene skjer og hvilke tiltak som burde settes inn,

noe som samlet sett vil kunne bidra til å forebygge fremtidige flomskader (Oppland Fylkeskommune, 2017).



Figur 1.1: Oversikt over antall skader og erstatningssummer for naturskade i perioden 2006-2016. (Statens Naturskadefond, 2016).

Problemstillingene som denne studien omfatter er også relevant i forbindelse med innmelding av naturskade til Statens naturskadefond. Tidligere har lensmannen hatt ansvaret for å ta imot alle søknader om naturskadeerstatning, og deretter sende ut takstmenn for å inspisere skadene.

1. januar 2017 trådte en ny lov om statlig naturskadeerstatning inn, noe som innebar en endring i ordningen. Ifølge denne loven er skadelidte nå selv ansvarlig for å melde inn naturskade til Landbruksdirektoratet gjennom et elektronisk søkeskjema. I dette skjemaet må søkere dokumentere skaden med kart og bilder som viser omfanget og beliggenheten til skadene, samt kostnader for gjenoppretting. Bakgrunnen for denne endringen skyldtes at en slik ordning vil gi raskere behandlingstid av naturskadeerstatning (Landbruksdirektoratet, Udatert). Som en del av denne oppgaven skal skadehendelser som er omfattet av den gamle ordningen registreres og stedfestes. Erfaringene som gjøres med registrering og stedfesting i denne oppgaven kan danne utgangspunktet for tilbakemeldinger som kan være med på å forbedre den nye ordningen for innmelding av naturskade. Dersom tilsvarende prosjekter i fremtiden skal gjennomføres, kan da et forbedret skadedatasett fra naturskadefondet gi et større og bedre grunnlag for å gjennomføre ulike analyser.

#### 1.4 Tidligere studier

Omfanget av studier som er gjennomført i forbindelse med denne studiens problemstillinger varierer. Når det gjelder bruk av skadedata til analyse og som utgangspunkt for klimaforebyggende tiltak, så er dette et relativt nytt fagområde innenfor GIS. Pilotprosjektet



initiert av Finans Norge, nevnt i avsnitt 1, er den første større studien som ligger innenfor dette fagområdet. I denne studien undersøkte Breivik et al. (2015) hvordan skadedata fra forsikringsnæringen kunne benyttes til vurdering av klimasårbarhet og forebygging av klimarelaterte naturskader i ti kommuner. Hovedkonklusjon fra dette prosjektet viste at:

«Det er nyttig for kommunene å få tilgang til forsikringsnæringens skadestatistikk. Dette vil styrke kommunenes forebyggende naturskadearbeid på følgende områder: [...] arealplanlegging, sikring av offentlig infrastruktur og utbygging av vann og avløp» (Breivik et al., 2015, s. 5-6)

Pilotprosjektet viste derimot også at det var knyttet flere utfordringer til bruken av skadedata. Spesielt var det store utfordringer knyttet til stedfesting av skadedataene, da mange av skaderegistreringene ikke hadde informasjon om gårds- og bruksnummer eller gateadresse. Videre viste det seg at bruken av dataene til å gjennomføre relevante analyser var vanskelig grunnet restriksjoner pålagt av forsikringsselskapene (Breivik et al., 2015). Hole (2015), som har skrevet en masteroppgave innen dette temaet, ble også pålagt restriksjoner ved ferdigstillelse, da oppgaven var unntatt offentligheten i omtrent 6 måneder før den ble publisert. I oppgaven til Hole (2015) ble skadedata fra forsikringsnæringen benyttet til å vurdere romlige mønstre i forbindelse med intensiteten av skadehendelser og erstatningsutbetaling i Stavanger Kommune i forbindelse med vannskader. Resultatene viste at intensitetsanalyser kan benyttes til å identifisere problemområder, mens regresjonsanalyse forklarte hvorfor utbetalingene varierte. Metodene benyttet av Hole (2015) danner utgangspunktet for deler av den metodiske fremgangsmåten i denne studien.

Som en del av denne oppgaven skal også dreneringsmønstre for overflatevann modelleres i ved bruk av digitale høydemodeller (DHM), og innenfor dette temaet er det tidligere utført flere studier ved bruk av ulike algoritmer. I litteraturen har det vært fokus på fordelene og ulempene ved bruk ulike algoritmer for å simulere dreneringsretning, modellering av flomveier på flate områder og hvordan egenskaper til terrengoverflaten kan inkluderes i slike analyser (Garbrecht & Martz, 1997; Gruber & Peckham, 2009; Wilson et al., 2008). I Norge er det spesielt studiene av gjennomført Bratlie (2015) og Meiforth (2013) som har fått mye oppmerksomhet. Ved bruk av LiDAR-data og FKB-data genererte Bratlie (2015) en hydrologisk korrekt og høyoppløselig høydemodell, som dannet utgangspunktet for modellering av flomveier som oppstod under regnstormen Frida i Nedre Eiker kommune. Samtidig som studien viste hvordan flomveier kan modelleres, ble det også gitt eksempler på hvordan flomveiskart kan benyttes i prosjektering og arealplanlegging. Meiforth (2013) har

gjort en tilsvarende studie i Trondheim, men skiller seg fra Bratlie (2015) ved å modellere hvordan overflatevann vil bevege seg under to scenarier: et scenario med lukkede stikkrenner og kulverter og et scenario der hvor alle stikkrenner og kulverter er åpne. Dette ble gjennomført ved å hente inn relevant FKB-data og deretter modifisere DHM.

Konklusjonen fra denne studien viste at det resulterende flomveiskartet oppfyller flere av kravene som er nødvendige ved bruk av slike kart i kommunal planlegging (Meiforth, 2013).

Ved Institutt for geografi ved NTNU har modellering av flomveier vært et sentralt tema i flere masteroppgaver de siste årene. Med bakgrunn i flommen i 2013 som oppstod langs Gudbrandsdalslågen modellerte Viréhn (2014) flomveier i tre nedbørfelt under normale forhold hvor stikkrenner var åpne og situasjoner der hvor stikkrenner og kulverter var blitt tettet igjen. For å oppnå dette ble høydemodeller modifisert ved å legge inn høyden på stikkrenner og kulverter i selve høydemodellen. I Viréhns studie ble også endringer i akkumulert overflatestrømning undersøkt ved åpne og lukkede dreneringsveier. I studien til Hennig (2015) ble også flommen i 2013 langs Gudbrandsdalslågen undersøkt. Flomveier ble modellert ved bruk av to ulike algoritmer, D8 og  $D_{\infty}$ , i Brandrudåa nedbørfelt. I likhet med Viréhn (2014) ble høydemodellene i denne studien modifisert slik flomveier kunne modelleres med både åpne og lukkede stikkrenner. Funnene fra denne studien viste at  $D_{\infty}$  algoritmen produserte i deler av studieområdet et mer nøyaktig resultat. En annen studie, av Sellæg (2016), modellerte flomveier i tre nedbørfelt i Lillehammer kommune, og sammenlignet endringene i akkumulert areal for skadeområder rammet av flommen 8 og 9. juli 2014. Formålet med studien var å undersøke om vann på avveie var hovedårsaken til skadene som oppstod under flommen, og resultatene viste at dette gjaldt kun ett av nedbørfeltene.

## **1.5 Oppgavens struktur**

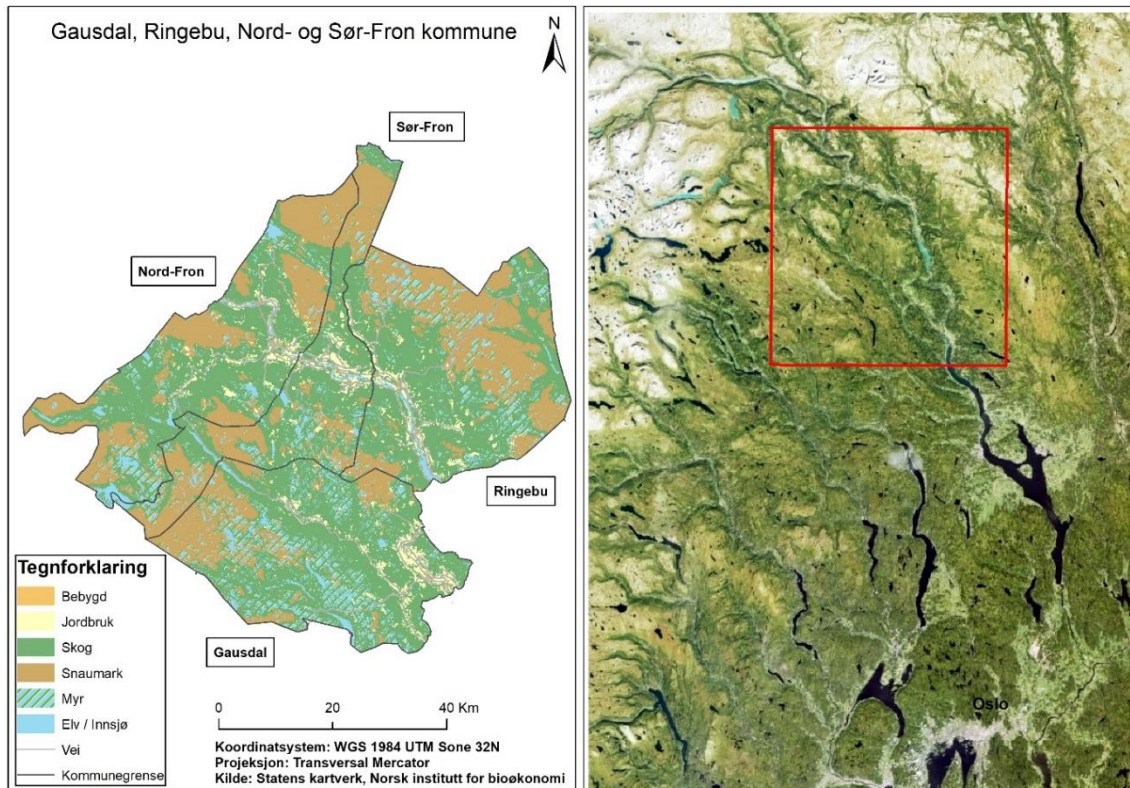
Denne oppgaven består av ni kapitler. Kapittel 1 består av en innledning som setter rammen for oppgaven og introduserer problemstillingene som skal undersøkes. Kapittel 2 gir en beskrivelse av studieområdet, hvor de ulike delene av studieområdet beskrives. Som en del av dette presenteres også fremtidige klimaendringer som er forventet å oppstå i disse områdene. Relevante begreper og teori blir introdusert i kapittel 3 og den metodiske fremgangen blir beskrevet i kapittel 4. Resultatene som oppgaven kommer frem til, blir presentert i kapittel 5, mens kapittel 6 diskuterer og evaluerer resultatene. Konklusjonen blir gitt i kapittel 7, hvor problemstillinger besvares og muligheter for videre arbeid innen dette temaet presenteres.

Kapittel 8 består av litteraturliste, mens kapittel 9 inneholder et vedlegg, som refereres til i kapittel 4.



## 2 Studieområde

Problemstillingene som ble beskrevet i avsnitt 1.1 er blitt besvart med utgangspunkt i et område som omfatter kommunene Nord- og Sør-Fron, Ringebu og Gausdal. Alle disse kommunene ligger i Oppland fylke, og deres utstrekning er gitt i figur 2.1. Innad i studieområdet, har to nedbørsfelt, henholdsvis Hundorp og Ruste, blitt nærmere undersøkt, hvor flomveier er blitt modellert og regresjonsanalyser gjennomført.



Figur 2.1: Kart over de fire kommunene som studieområdet utgjør, og hvor i Norge disse kommunene er lokalisert.

### 2.1 Gudbrandsdalslågen

Felles for kommunene som utgjør studieområdet, bortsett fra Gausdal, er at elva Gudbrandsdalslågen renner igjennom disse kommunene. Gudbrandsdalslågen er en av Norges største og lengste elver med en lengde på 202 kilometer og et nedbørsfelt på 17 509 km<sup>2</sup> (Thorsnæs, 2017). I vest avgrenses nedbørsfeltet av Jotunheimen, mens det i øst avgrenses av Dovrefjell og Rondane (Drageset, 2000). Elva starter ved Lesjaskogvatnet 611 meter over havet, og følger Gudbrandsdalen gjennom Dovre og Sel. Videre går elva gjennom Nord-Fron, Sør-Fron og Ringebu kommune. Gudbrandsdalslågen ender til slutt ved Mjøsa 123 meter over havet. Langs denne strekningen er det flere sideelver som munner ut i elva, blant annet Otta, Frya, Gausa og Vinstra (Thorsnæs, 2017)

Gudbrandsdalslågen er svært utsatt for flom, og opplever vanligvis to flommer i løpet av året, henholdsvis på høsten og våren. Årsaken til at disse flommene oppstår skyldes primært smelting av snø i høytliggende fjellområder, men ofte vil flom i elva også utløses som en kombinasjon av snøsmelting og ekstremnedbør (Drageset, 2000; Oppland Fylkeskommune, 2017). Det er derimot vårflommen i månedene mai og juni som dominerer i Gudbrandsdalslågen, og som har gitt de største og mest ødeleggende flommene opp gjennom tidene (Drageset, 2000). I sidevassdragene til Gudbrandsdalslågen oppstår flom opptil flere ganger i løpet av året, og skyldes som regel intens nedbør over korte tidsperioder. Så senest som juli 2017 oppstod det flom i et av sidevassdragene til elva, mellom Nord- og Sør-Fron kommune. Da kom det mellom 60 og 70 millimeter med nedbør i løpet av 24 timer, noe som bidro til store skader på offentlig infrastruktur, spesielt på kommunale veier (Lyngstad, 2017).

## **2.2 Klima i studieområdet**

Klima på et sted beskrives i form av middelveier og variasjoner i disse middelveiene over en periode på 30 år, ofte kalt normalperiode (Hanssen-Bauer et al., 2015). Det er knyttet en rekke ulike variabler til målingen av klima, og disse inkluderer blant annet temperatur, nedbør, vind, solinnstråling og snø- og isdekke (Norsk Polarinstitutt, 2014). Klimaet som studieområdet ligger i, kan karakteriseres som et innlandsklima eller et kontinentalt klima. Vintrene er som regel kalde, mens sommerhalvåret preges av varme temperaturer og lite nedbør. Gjennomsnittlig årsnedbør varierer betraktelig gjennom Oppland, med høyest nedbørsmengder i de sørøstlige delene av fylket, mens de nordlige delene av Gudbrandsdalen preges av lite nedbør og er et av områdene i Norge hvor det er minst nedbør i løpet av et år (Norsk Klimaservicesenter, 2017)

### **2.2.1 Fremtidige klimaendringer fram mot 2100**

Klimaframskrivningene for Norge frem mot 2100 viser at både temperaturen og nedbøren i området som utgjør Oppland fylke vil øke (Norsk Klimaservicesenter, 2017). Utgangspunktet for klimaframskrivningene er globale klimamodeller som har blitt nedskalert til et regionalt nivå, hvor det opereres med modeller med en romlig oppløsning på 1x1 km<sup>2</sup> og 12x12 km<sup>2</sup> (Norsk Klimaservicesenter, Udatert). Både i de globale og regionale klimamodellene er ulike klimascenarier tatt i bruk, og tilknyttet modellene er antagelser om hvordan utslipp av klimagasser vil utvikle seg frem mot 2100 (Hanssen-Bauer et al., 2015). I den siste rapporten fra FNs klimapanel er det laget fire utslippsscenarioer, som rangeres fra et lavt til høyt utslipp av klimagasser på en global skala (IPCC, 2014). Tar man utgangspunkt i scenarioet der hvor

det forventede klimagassutslippet er høyt, så antas gjennomsnittlig årstemperatur i Oppland å øke med 4,0 C°. Økningen i temperatur vil være størst i vintermånedene, hvor den forventede temperaturen i 2100 vil være 5 C° varmere enn dagens nivå. Den gjennomsnittlige nedbørsmengden i løpet av et år er forventet å øke med 20 %, hvor den største økningen er antatt å komme på høsten og vinteren. Samtidig vil kraftige nedbørshendelser øke både i frekvens og omfang. I likhet med resten av landet, er det i Oppland forventet en betraktelig reduksjon i snømengde og antall dager hvor det snør, både i lavere og høyreliggende områder (Hanssen-Bauer et al., 2015; Norsk Klimaservicesenter, 2017).

En av konsekvensene som er forventet å oppstå som følge av klimaendringene nevnt ovenfor, er et endret flomregime. Økte temperatur vil bidra til å redusere mengden snø, noe som igjen vil påvirke og bidra til færre og mindre flommer som oppstår som følge av snøsmelting. Dette gjelder spesielt vårflommene i lavereliggende områder (Lawrence, 2016; Norsk Klimaservicesenter, 2017). På høsten og vinteren viser derimot klimaframskrivningene at nedbøren vil øke og i større grad komme i form av regn og ikke snø, noe som vil bidra til å øke sannsynligheten for større regnflommer. Dette har spesielt stor effekt på mindre, bratte og uregulerte vassdrag, hvor det er forventet en økning på 20 % i vannføring under flom (Norsk Klimaservicesenter, 2017).

## **2.3 Nedbørfeltene**

I avsnittene nedenfor gis en kort beskrivelse av to av nedbørfelt hvor flomveier skal modelleres og regresjonsanalyser gjennomføres med utgangspunkt i registrerte skadepunkter. Bakgrunnen for at disse nedbørfeltene er blitt valgt, skyldes at det i disse områdene er funnet statistisk signifikante *hot spots* knyttet til intensitetsanalysene av kostnad på naturskade. Se avsnitt 5.2 for disse resultatene. Disse nedbørfeltene er også interessante fordi det her oppstod store skader som følge av flommene i 2011 og 2013. Hundorp som studieområde er spesielt relevant da man i dette nedbørfeltet finner både jernbane og E6, som ble hardt rammet under flommen i 2013 (Roald, 2013). Derfor er det interessant å undersøke disse områdene ytterligere, og se om analysene som skal gjennomføres kan gi innsikt i faktorer som har bidratt til skade. Genereringen av disse nedbørfeltene er utdypet i avsnitt 4.3. I kartene som benyttes er studieområdets utstrekning tilsvarende nedbørfeltenes utstrekning.

### **2.3.1 Hundorp**

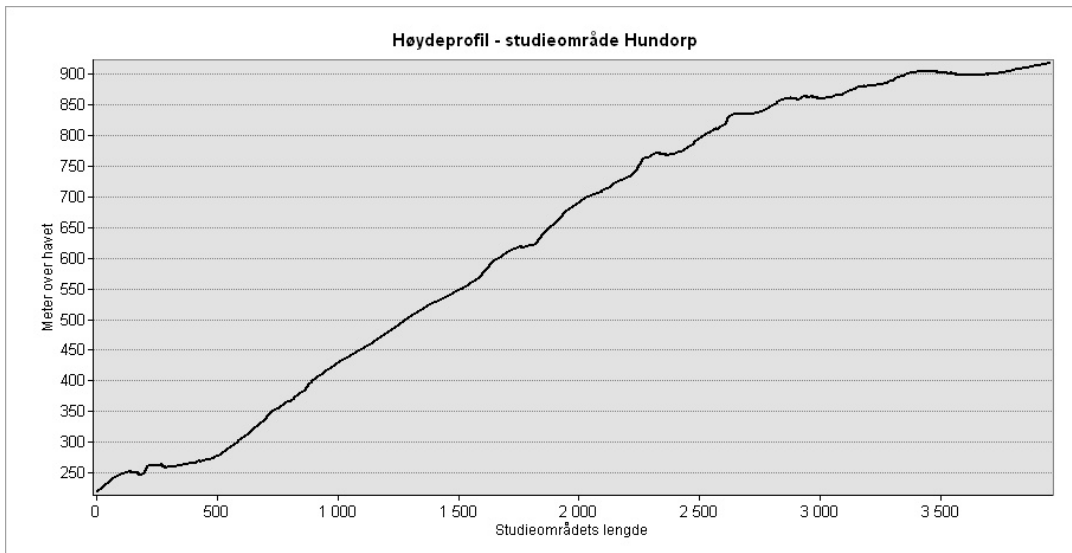
Hundorp nedbørfeltet befinner seg i Sør-Fron kommune, vist i figur 2.2, og har et areal på 12,22 km<sup>2</sup>. Terrenget i nedbørfeltet preges av det befinner seg i en av dalsidene til Gudbrandsdalen, som er blitt hovedsakelig formet av isbreer og i etterkant av fluvial erosjon

(Thorsnæs, 2017). De nedre delene av nedbørsfeltet ligger omtrent 190 meter over havet, og gjennom dette området går blant annet jernbanen og nybygd E6. Oppover dalsiden er stigning jevn, og toppen av studieområdet ligger 900 meter over havet. Se figur 2.3 for høydeprofil for studieområdet ved Hundorp. Den gjennomsnittlige helningen for hele nedbørsfeltet er 12 %. I nedbørsfeltet finner man flere store elver, henholdsvis Lauvåa, Trilla, Augla, Brandrudsåa og Kvikstadåa som alle munner ut i Gudbrandsdalslågen. Jordbruk dominerer arealbruket i nedbørsfeltet, men det finnes også store områder med skog. I dette nedbørsfeltet er det registrert 41 naturskadehendelser fra flommen i 2013, hvor den samlede kostnaden for disse er 6,2 millioner kroner.



Figur 2.2: Studieområdet ved Hundorp, som også indikerer nedbørsfeltet for dette området.



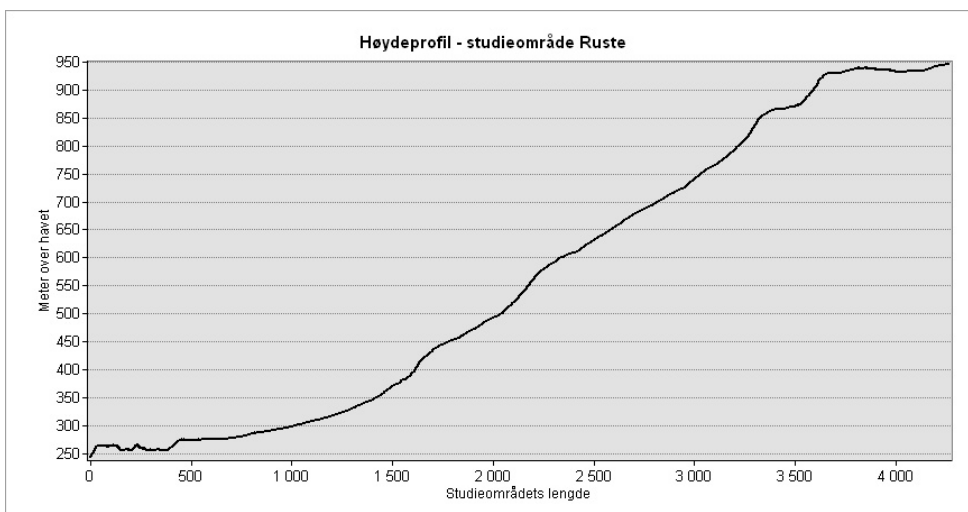


Figur 2.3: Høydeprofil for studieområdet ved Hundorp.

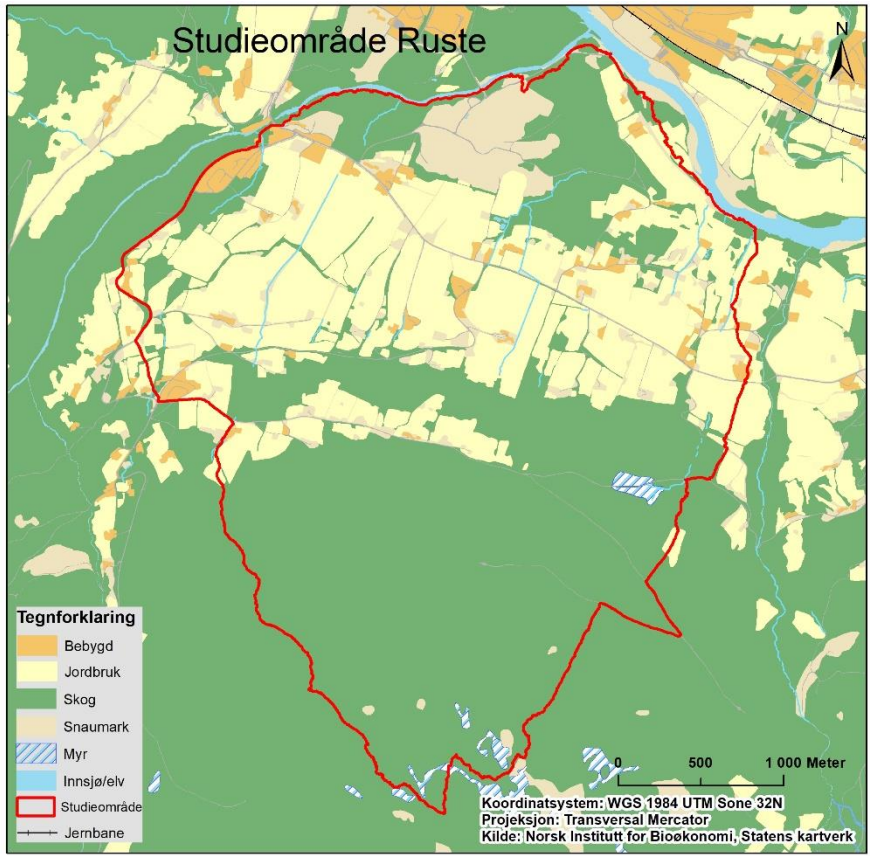
### 2.3.2 Ruste nedbørfelt

Ruste nedbørfelt, vist i figur 2.5, er lokalisert i Nord-Fron kommune og har et areal på 11,14 km<sup>2</sup>. I likhet med Hundorp nedbørfelt, så preges terrenget i dette nedbørfeltet at det er blitt formet av glasiale prosesser og deretter fluvial erosjon. Bunnen av dalsiden som nedbørfeltet ligger i er flatt, mens terrenget blir brattere oppover mot toppen. Som vist i figur 2.4, ligger de nederste delene av nedbørfeltet 250 meter over havet, og stigningen opp til toppen av nedbørfeltet på 950 meter er jevn. Gjennomsnittlig helning i nedbørfeltet er på 11 %.

Arealbruken i de nedre delene av nedbørfeltet preges av store områder med dyrka mark og spredt bebyggelse, mens de øvre delene består hovedsakelig av skog. I området som utgjør Ruste nedbørfelt er det registrert 34 naturskadehendelser etter flommen i 2011. De samlede kostnadene for disse naturskadehendelsene er 7 millioner kroner.



Figur 2.4: Høydeprofil for studieområdet ved Ruste.



Figur 2.5: Studieområdet ved Ruste, som også indikerer nedbørfeltet for dette området.

### **3 Teori**

#### **3.1 Geografiske informasjonssystemer**

Det er blitt utarbeidet en rekke ulike definisjoner av begrepet Geografiske Informasjonssystemer (GIS), men en enerådende definisjon har vært vanskelig å komme frem til (Heywood et al., 2011). Likevel kan man definere GIS som et databasert system som gjør det mulig å samle inn, lagre, prosessere og visualisere stedfestet informasjon. Analysene og dataene produseres ved bruk av GIS kan være med på å danne utgangspunktet for avgjørelser og identifisering av løsninger, og slik sett er GIS et viktig og nyttig verktøy som har en rekke bruksområder. (Longley et al., 2015; Rød, 2015). Ifølge Longley et al. 2015 består GIS av seks ulike komponenter: programvare, data, prosedyrer, maskinvare og menneskene som bruker systemet, og sammen utgjør disse komponentene et nettverk. I henhold til programvare, så vil denne oppgaven bruke programvaren ArcMap.

##### **3.1.1 Vektor og raster datastrukturer**

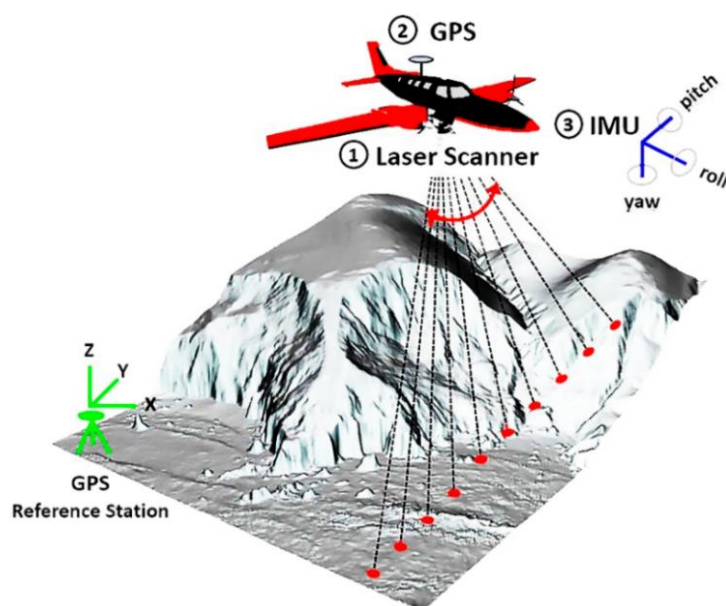
I GIS er det to rådende datastrukturer, henholdsvis vektor og raster, som anvendes for å representere geografisk informasjon. Vektorrepresentasjon tas i bruk når man skal representere diskrete objekter, det vil si objekter som har veldefinerte grenser. Eksempler på diskrete objekter er bygninger og innsjøer (Longley et al., 2015). Diskrete objekter representeres i vektorstrukturen gjennom tre ulike typer entiteter: punkt, linje eller polygon. Punkter, bestående av et enkelt X- og Y-koordinat, utgjør den grunnleggende byggeblokken som alle romlige entiteter er bygget opp av. Til disse entitetene er det lagret informasjon som beskriver egenskaper i en tilknyttet egenskapstabell (Heywood et al., 2011). En slik tabell består av rader og kolonner, hvor hver rad representerer en entitet eller enhet, mens kolonnene representerer ulike egenskaper for disse enhetene (Rød, 2015). I et GIS anvendes rasterstrukturen til å representere kontinuerlige data. Kontinuerlige data kjennetegnes ved at det ikke er noen klar grense mellom objektene eller fenomenene som representeres. Fenomener som visualiseres blir omtalt som en kontinuerlig overflate, hvor det finnes en verdi for ethvert punkt på overflaten, og eksempler på kontinuerlige fenomener er høyde over havet og nedbør (ESRI, 2009b; Longley et al., 2015). For å representere slike fenomener i et GIS ved bruk av rasterstrukturen, så deles terrenget inn i et grid eller rutenett bestående av piksler, hvor de enkelte pikslene blir tildelt en bestemt verdi. Pikslene utgjør den grunnleggende byggeblokken i rasterrepresentasjon (Heywood et al., 2011; Longley et al., 2015)

### 3.2 LiDAR

Light Detection and Ranging (LiDAR) er en teknikk for fjernmåling hvor laserpulser sendes ut mot objekter som er av interesse, og som mottar det reflekterte signalet fra objektet tilbake i en sensor (Liu, 2008). For å generere laserpulsene, anvendes ultrafiolett, synlig eller nær infrarødt lys (Rød, 2015). LiDAR har en rekke bruksområder slik som hydrologisk modellering, klassifisering av landformer, modellering av urban bebyggelse og overvåkning av isbreer. Det er derimot modellering av terrenget som har vært primærfokuset ved anvendelse av LiDAR-skanning, ettersom LiDAR blir ansett som en svært effektiv metode for generering av terrengmodeller (Liu, 2008). Som vist i figur 3.1, består LiDAR-skanning fra fly av tre komponenter: Laserskanner, Globalt posisjoneringssystem (GPS) og Inertial Measurement Unit (IMU). Laserskanneren består en pulsgenerator og en mottaker som tar imot reflekterte signal fra objekter (Liu, 2008). For å finne avstanden mellom sensoren og objektet som skal skannes, kan følgende formel benyttes (Wehr & Lohr, 1999):

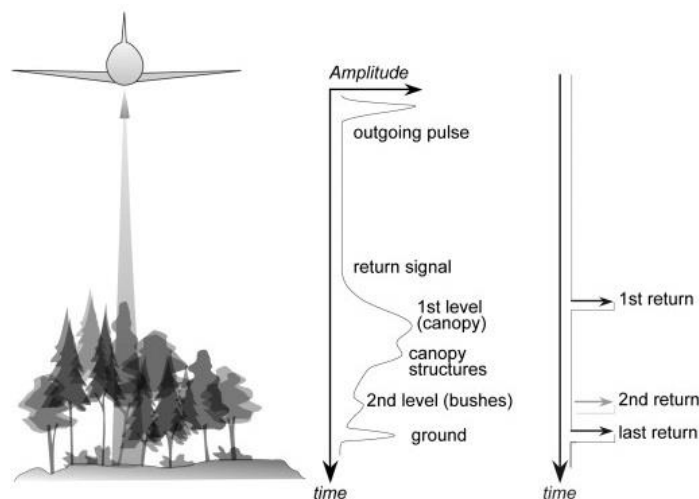
$$R = \frac{1}{2} c \times t_L$$

hvor  $R$  er distansen mellom sensor og objektet på overflaten,  $c$  er lysets hastighet og  $t_L$  er tiden en puls bruker fra den blir sendt ut til den mottas tilbake i sensor. GPS-mottakeren holder rede på flyets posisjon under skanning, mens IMU måler flyets høyde. Nøyaktigheten på disse to komponentene vil være avgjørende for nøyaktigheten til resultatet av LiDAR-skanningen, og for LiDAR-data ligger nøyaktigheten på 15 cm vertikalt og 20 cm horisontalt (Liu, 2008).



Figur 3.1: Illustrasjon av flybåren LiDAR og de tre komponentene som benyttes ved skanning (Tomljenovic et al., 2015).

Figur 3.2 viser prinsippet for LiDAR-skanning og hvordan man kan skille mellom ulike reflekterende retursignaler. Den første laserpuls som returneres utgjør det viktigste retursignalet i en skanning, og vil vanligvis makere det høyeste objektet i landskapet, slik som tretoppene illustrert i figur 3.2. Det siste retursignalet vil som regel stamme fra bakkepunkter (ESRI, 2016c). De fleste LiDAR-systemer vil kun registrere første og siste signal, men noen sensorer kan registrere opptil seks ulike retursignaler for en enkelt laserpuls. Flere returnerte signaler oppstår når laserpulsene treffer objekter som ikke fullstendig blokkerer pulsens bane. Laserpulsene vil samtidig som de reflekteres tilbake til sensor, fortsette nedover og fortsette å reflektere pulser helt til den treffer bakken. Dette vil typisk forekomme i skogdekte områder, da det er mellomrom mellom greiner og blader (Liu, 2008).



Figur 3.2: Prinsipp for LiDAR-skanning, hvor det kan skilles mellom ulike retursignaler (Challis et al., 2011).

Resultatet av en LiDAR-skanning er en punktsky, som er en samling av tredimensjonale punkter bestående av X-, Y- og Z-verdier samt attributtinformasjon for hvert enkelt punkt (Liu, 2008; Rød, 2015). For å kunne anvende disse punktene til å generere DHM, som det skal gjøres i denne oppgaven, er det nødvendig å filtrere bort punkter som representerer objekter slik som trær og bygninger. Bakgrunnen for dette skyldes at det er bakkepunktene som danner grunnlaget for generering av høydemodellene. Det finnes flere ulike algoritmer som filtrerer punktskyer automatisk (Silván-Cárdenas & Wang, 2006), men ofte kreves det i tillegg manuell redigering for å få et nøyaktig resultat (Jiang et al., 2008). I denne oppgaven er bakkepunkter fra LiDAR-skanningene filtrert og utvalgt ved bruk av verktøyet *LAS dataset Toolbar*, som automatisk filtrerer punkter.

### 3.3 Interpolasjon

I tillegg til at LiDAR-data må filtreres, er det også nødvendig å interpolere punktskyen slik at en digital høydemodell kan konstrueres. Interpolasjon kan beskrives som prosessen med å

predikere verdier for en variabel på et sted hvor det ikke er foretatt målinger, basert punkter hvor verdiene er fra før av målt og kjent (Liu, 2008). Resultatet av interpolasjon er et raster med verdier for hver enkelt celle som rasteret består av (Rød, 2015). Denne teknikken bygger på to underliggende antagelser: terrengoverflaten er kontinuerlig, det vil si at det finnes en verdi for hvert enkelt punkt på overflaten, og at det er korrelasjon eller samsvar mellom verdiene til punkter som ligger nært hverandre (Li et al., 2005). Bakgrunnen for at interpolasjon må gjennomføres har opphav i at ved generering av DHM, og andre kontinuerlige overflater, vil antall punkter med kjente verdier være begrenset. Ved å bruke interpolasjon beregnes celleverdier også for områdene hvor det ikke eksisterer punkter med kjente verdier (Rød, 2015).

### **3.3.1 Romlig autokorrelasjon**

Som nevnt i avsnitt 3.3 er et viktig prinsipp i interpolasjon at det er korrelasjon mellom verdier for punkter som ligger nært hverandre, og dette er knyttet til begrepet romlig autokorrelasjon. Romlig autokorrelasjon kan uttrykkes som graden en variabel korrelerer med seg selv i det geografiske rom (Rød, 2015), og kan identifiseres når verdiene til en variabel på et sted er avhengige av verdiene til samme variabel på et annet sted (Odeland, 1988). Romlig autokorrelasjon måles ved bruken av Morans I, og angir om observasjoner og tilhørende verdier er konsentrert i en klynge, spredt eller tilfeldig (ESRI, Udatert-k). Ved konsentrasjon av observasjoner med lik verdi i en klynge vil Morans I være positiv, og romlig autokorrelasjon kan identifiseres. Når Morans I er negativ, vil observasjoner som ligger i nærheten av hverandre ha ulike verdier, og romlig autokorrelasjon kan ikke påvises. Et nært relatert prinsipp som kan forklare romlig autokorrelasjon er Toblers første lov om geografi. Denne loven bygger på ideen om at geografiske fenomener eller objekter som ligger nært hverandre vil være mer like enn tilsvarende fenomener eller objekter som ligger lengre unna (Rød, 2015). Et eksempel på dette, anvendt i konteksten av denne oppgaven, er at det er større sannsynlighet for at nedbørsmengdene er tilnærmet like store på Vinstra i Nord-Fron kommune og Hundorp i Sør-Fron kommune, enn likhet i nedbørsmengden mellom Vinstra og Oslo.

### **3.3.2 Interpolasjonsmetoder**

Ved bruk av interpolasjon til generering av kontinuerlige overflater, skiller man gjerne mellom to ulike former for interpolasjon: deterministisk og geostatistisk. Deterministisk interpolasjon konstruerer overflater basert på punkter som har kjente verdier og som ligger i nærheten av hverandre. Invers avstandsvektning (IAV) er et eksempel på en deterministisk

interpolasjonsmetode (Arun, 2013; Childs, 2004). Geostatistiske interpolasjonsmetoder tar utgangspunkt i de statistiske egenskapene slik som nøyaktighet og/eller usikkerhet ved punktene som har kjente verdier. Kriging er et eksempel på en interpolasjonsmetode som kan kategoriseres som geostatistisk (Childs, 2004).

Invers avstandsvektning (IAV) og Naturlig nabo er to av flere interpolasjonsmetoder som ble benyttet i testene for å avgjøre hvilken interpolasjonsmetode som genererer den mest nøyaktige DHM. Den fullstendige oversikten over benyttede interpolasjonsmetoder er gitt i tabell 5.1 og 5.2.

### 3.3.2.1 Invers Avstandsvektning

Invers avstandsvektning (IAV) (engelsk: *Inverse Distance Weighting (IDW)*) er en deterministisk interpolasjonsmetode tar utgangspunkt i både z-verdien til punkter og disse punktenes avstand til punktet som det skal beregnes z-verdi for. Punkter som er lokalisert nær punktet med ukjent verdi vil ha en større betydning for det ukjente punktets estimerte verdi enn punkter som er plassert lengre bort (Rød, 2015). IAV tar utgangspunkt i Toblers første lov om geografi (Longley et al., 2015), og anvendes i interpolasjonsmetoden ved at punkter med kjent z-verdi vektlegges desto nærmere de er punktet med ukjent z-verdi. For å estimere verdien til det ukjente punktet  $x$ , blir punktene som fra før av er kjent,  $x_i$ , og punktenes z-verdi,  $z_i$ , tatt i bruk i utregning (Longley et al., 2015). Dette er gitt ved følgende formel (Rød, 2015):

$$z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

hvor  $n$  er antall kjente datapunkter som anvendes,  $z_i$  er den kjente verdien til utvalgte datapunkter  $i$ , og tilslutt er  $w_i$  den individuelle vekten til hvert enkelt datapunkt (Rød 2015). For å finne vekten til et punkt er det mange ulike metoder som kan anvendes, men ifølge Longley et al. (2015) er følgende formel mest tatt i bruk:

$$w_i = 1/d_i^2$$

Der hvor  $d_i^2$  er avstanden fra datapunkt,  $i$ , opphøyd i 2, til punkt uten kjent verdi  $x$ . Det er denne formelen som gir punkter med kjent verdi som ligger nært punkt med ukjent verdi større vektning enn punkter lengre unna (Rød, 2015). En av svakhetene ved IAV-interpolering er at verdier som blir estimert for et punkt ikke kan overstige maksimum- eller minimumsverdien til punktene med kjent z- verdi, noe som har bakgrunn i at denne metoden alltid resulterer i et vektet gjennomsnitt. Tar man utgangspunkt i en terrengoverflate, så vil

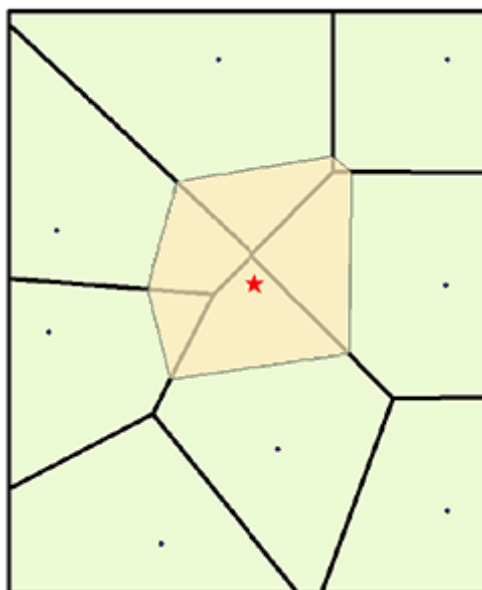
dette resultere i at fjelltopper og daler som ikke er blitt målt med høydeverdierverdier, ikke vil bli en del av den interpolerte terrengoverflaten (ESRI, 2011c; Kennedy, 2004)

### 3.3.2.2 Naturlig nabo

Naturlig nabo (engelsk: *Natural Neighbor*) er en interpolasjonsmetode som i likhet med IAV, benytter vektet gjennomsnitt for å beregne høydeverdi (Childs, 2004). Den skiller seg derimot fra IAV ved at det ikke er avstand, men andelen areal som er utgangspunktet for interpoleringen. Andelen areal bestemmes ved hjelp av et Voronoi diagram (Ledoux & Gold, 2005). Et Voronoi diagram dannes ved at det opprettes forbindelseslinjer mellom alle punkter som er en del av datasettet. Midt på forbindelseslinjene konstrueres normaler, og som et resultat av dette skapes et diagram bestående av polygoner for hvert enkelt punkt (Midtbø, 1993). Ved bruk av naturlig nabo til interpolasjon vil det først opprettes polygoner for punkter med kjent z-verdi, og deretter konstrueres et nytt polygon for punktet som det skal interpoleres z-verdi for, illustrert ved polygonen med gjennomsiktig beige farge i figur 3.3. Størrelsen på overlappet mellom dette polygonen og polygonene for nabopunktene benyttes deretter som vekt i beregningen av z-verdi (ESRI, Udatert-i), hvor følgende formel benyttes (Liang & Hale, 2010):

$$f(x) = \frac{\sum_i a_i f(x_i)}{\sum_i a_i}$$

hvor  $a_i$  er det overlappende polygonen mellom ukjent punkt  $x$  og punkt med kjent verdi gitt ved  $x_i$ .



Figur 3.3: Illustrasjon av vektning i Naturlig Nabo. Overlappet mellom Voronoi diagrammene, angitt ved grønne polygoner, og polygon for punkt med ukjent verdi, angitt ved gjennomsiktig beige farge, benyttes som vekt i beregning av Z-verdi (ESRI, Udatert-i).



En av fordelene ved naturlig nabo som interpolasjonsmetode er at den produserer nøyaktige resultater når dataene er ujevnt distribuert. Ved bruk av gjennomsnittlig vektete interpolasjonsmetoder som baserer seg på avstand, så vil alle punkter innen en viss avstand fra punkt med ukjent verdi, gitt ved  $x$ , analyseres, og vekten til hvert nabopunkt er inverst proporsjonalt med distansen til  $x$ . Slike metoder kan gi gode resultater når punktene er jevnt distribuert, men en kontinuerlig overflate er derimot vanskelig å generere når det er variasjon i punktenes plassering. Dette skyldtes at det er vanskelig å identifisere en passende avstand for å velge punkter som skal benyttes i interpolering, og dette krever nærmere undersøkelse av datasettets egenskaper. Dette unngås ved bruk av naturlig nabo som interpolasjonsmetode, ettersom valget av punkter som skal inkluderes baseres på dataens egenskaper (Boissonnat & Cazals, 2002; Ledoux & Gold, 2005).

### **3.3.3 Hvilken interpolasjonsmetode genererer den mest nøyaktige DHM?**

Av interpolasjonsmetodene beskrevet ovenfor og andre deterministiske og geostatistiske metoder, er det ingen enerådlig konklusjon om hvilken interpolasjonsmetode som vil generere den mest nøyaktige DHM (Liu, 2008). Hver interpolasjonsmetode vil produsere ulik grad av nøyaktighet avhengige av punkttettheten til dataene og karakteristikker ved terrenget slik som gradient og kurvatur (Rishikeshan et al., 2014). Dermed er det essensielt å ta hensyn til dataenes egenskaper og formen på terrenget når interpolasjonsmetode velges.

Det er blitt gjennomført en rekke empiriske tester for å avgjøre hvilken interpolasjonsmetode som produserer den mest nøyaktige DHM. Rishikeshan et al. (2014) konkluderer i sin studie med at IAV og Naturlig Nabo er egnede interpolasjonsmetoder dersom terrengoverflaten som skal genereres, ikke preges av store helningsendringer. Childs (2004) påpeker at IAV kan anvendes når punkttettheten er høy og datapunktene er jevnt distribuert, og når disse kriteriene ikke oppfylles burde man unngå å benytte denne interpolasjonsmetoden. Funn fra Zimmerman et al. (1999) viser på en annen side at Kriging vil produsere en mer nøyaktig DHM enn IAV-interpolering, uavhengige av overflatens egenskaper og punkttetthet, og at denne metoden er å foretrekke. Dette motbevises derimot av funn fra Chaplot et al. (2006), som konkluderte med at dersom dataene har en høy punkttetthet, så vil forskjellen mellom IAV og Kriging være minimal, uavhengige av formen eller egenskapene til terrengoverflaten. Når punkttettheten ble lavere, viste resultatene derimot at Kriging var foretrukket som interpolasjonsmetode. Ettersom det er vanskelig å konkludere med hvilken interpolasjonsmetode som genererer DHM med høyest nøyaktighet, ble det i denne oppgaven besluttet å gjennomføre en Root Mean Square Error (RMSE) analyse for å identifisere dette.

Sammen med et krav om hydrologisk korrekthet, danner dette kriteriene for valget av interpolasjonsmetode som skal benyttes til å generere DHM. Dette utdypes ytterligere i avsnitt 5.3.

### **3.4 Digital høydemodell**

Ved å bearbeide en punktsky som LiDAR-skanning resulterer i, gjennom filtrering av bakkepunkter og en interpoleringsmetode, er det mulig å konstruere en digital høydemodell (DHM). En DHM er en representasjon av terrengoverflaten, hvor terrenget deles opp i et rutenett med informasjon om høydedata for hver enkelt rute. En slik modell er en statistisk representasjon av en kontinuerlig overflate i form av punkter med kjent X-, Y- og Z-verdi. Digitale høydemodeller kan representeres på flere måter, deriblant som vektor eller rastermodell (Hengl & Evans, 2009; Liu, 2008)

#### **3.4.1 Vektorrepresentasjon**

I vektormetoden kan DHM representeres ved bruk av Triangulært Irregulært Nettverk (TIN). Ved bruk av TIN representeres en terrengoverflate i form av et nettverk bestående av irregulære trekanter, hvor punkter med kjente verdier danner utgangspunktet for genereringen av nettverket. I genereringen av trekantnettverket, anvendes Delaunay-Triangulering, som oppretter en trekant når sirkelen som går igjennom trekantens tre punkter ikke inneholder andre punkter (Heywood et al., 2011). Delaunay-triangulering sørger samtidig for at trekantene er så likesidete som mulig og ikke overlapper med hverandre (ESRI, Udatert-d; Rød, 2015). En av fordelene ved å representere DHM i form av TIN, er at datalagringen er svært effektiv. Dette skyldes at kun et utvalg av punkter med kjent verdi er nødvendig for å reproducere en overflate. Basert på nærhet og verdi til nærliggende punkter, velges ut de mest avgjørende punktene. I flate områder vil overflaten representeres av mindre antall trekanter, mens fjellområder representeres med flere trekanter for å kunne fange opp komplekse endringer (Heywood et al., 2011; Longley et al., 2015). En annen fordel som er knyttet til bruk av TIN til å representere DHM er muligheten til å definere knekkpunkter, som utgjør brudd i terrenget. Dette kan være naturlige fenomener slik som bekker eller fjellrygger eller menneskeskapte fenomener slik som veier (Heywood et al., 2011; Rød, 2015). Dette kan bidra til å produsere en mer nøyaktig DHM.

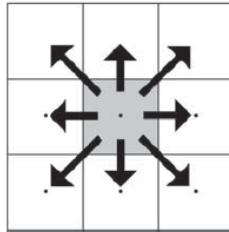
#### **3.4.2 Rasterrepresentasjon**

DHMene som benyttes i denne oppgaven, representeres ved hjelp av rasterstrukturen. I rasterstrukturen består DHM av et grid eller rutenett, som er bygd opp av like store celler. Hver celle inneholder en høydeverdi som representerer høyden i det området som cellen

dekker, og størrelsen på disse cellene bestemmes av oppløsningen (Heywood et al., 2011). Begrepet oppløsning, også kalt romlig oppløsning, referer til graden av detaljer som er mulig å identifisere i et raster, og angis ut i fra hvor stort område en enkelt celle dekker. Dette betyr at hvis cellen dekker et område på 5x5 meter, så vil den romlige oppløsningen være 5 meter (ESRI, 2008a). Ved høy romlig oppløsning, vil størrelsen på cellene være liten, noe som vil gi en mer detaljert modell av terrenget som skal representeres. I motsatt tilfelle, vil stor cellestørrelse gi en lavere oppløsning, og graden av detaljer vil bli mindre (Hengl, 2006; Liu, 2008). Valget av korrekt cellestørrelse er et viktig valg da dette vil påvirke representasjonen av DHM og analysene som skal gjøres på grunnlag av DHM. Det finnes ingen standard cellestørrelse for alle formål (Hengl & Evans, 2009), men størrelsen bør være såpass stor at den kan representere terrengets kompleksitet samtidig som datamengden ikke blir for stor, slik at prosesseringstid reduseres så mye som mulig. En passende cellstørrelse vil, ifølge Liu (2008), være avhengige av punktettheten på kildedataene og hvilke analyser som skal gjennomføres. Det finnes flere metoder for å finne passende cellestørrelse, og i denne oppgaven er metoden utviklet McCullagh (1988) anvendt for å finne egnet cellestørrelse. Denne metoden og valgt cellestørrelse utdypes i avsnitt 4.4.1.1.

Det er knyttet en rekke ulemper til bruken av rasterstrukturen for å representere DHM, og et av disse er relatert til valget av cellestørrelse. Hvis et variert terreng bestående av både flate områder og fjell skal representeres, så kan cellestørrelse utgjøre et problem som kan bidra til unødvendig store datamengder. Et raster med høy oppløsning vil kunne representere fjellområdene på en korrekt og nøyaktig måte, men en tilsvarende høy oppløsning for de flate områdene vil gi store datamengder som øker prosesseringstiden. I motsatt tilfelle, hvor et raster med lav oppløsning anvendes, vil kunne bidra til at de flate områdene representeres på en passende måte, men samtidig bidra til at kompleksiteten og detaljene ved terrenget i fjellområdet går tapt da oppløsningen ikke er høy nok til å representere detaljene (Heywood et al., 2011). Ifølge Hengl og Evans (2009) skyldtes dette at ved kompleks topografi blir et for lite utvalg tatt i bruk, men ved jevn topografi er utvalget for stort. En annen ulempe ved bruk av rasterstrukturen er knyttet til at avstanden mellom sentrum i rutene, og er illustrert i figur 3.4. Som det fremkommer av figuren er avstanden fra sentrum i cellen markert med grått ulikt for de omkringliggende cellene. Dette kan ha negativ påvirkning på nøyaktigheten ved bruk av DHM til hydrologisk modellering (Hengl & Evans, 2009). Til tross for ulempene knyttet til bruk av rasterstrukturen til representasjon av DHM, anses denne representasjonsformen som den mest egnede da den har en enkel struktur og effektiv metode for lagring av store mengder

data. Videre er rasterstrukturen tilpasset strukturen som anvendes for bildeprosessering (Hengl & Evans, 2009; Liu, 2008). På grunnlag av disse egenskapene, ble det derfor besluttet at høydemodellene som skulle produseres i denne oppgaven skulle representeres ved bruk av rasterstrukturen.



Figur 3.4: Illustrasjon på et av problemene ved å benytte rasterstrukturen. Avstanden fra sentrumscellen til de omkringliggende cellene varierer (Hengl & Evans, 2009).

### 3.5 Getis-Ord $G_i^*$

Getis-Ord  $G_i^*$ , ofte omtalt som kun *hot spot* analyse, er en type analyse som tas i bruk for å identifisere romlige mønstre basert på egenskaper i et datasett, hvor det skiller mellom områder med høy og lav romlig likhet ut i fra observerte verdier (Songchitruksa & Zeng, 2010). Begrepet intensitetsanalyse vil heretter bli brukt for å referer til Getis-Ord  $G_i^*$  - analyse. I denne oppgaven anvendes en slik analyse for å identifisere områder hvor tiltak i forbindelse med regionalplanen for Gudbrandsdalslågen kan settes inn. Antall skadehendelser og egenskapen kostnad takst, som angir kostnaden på naturskade, vil danne utgangspunktet for resultatene av analysene.

Identifisering av romlige mønstre ved å ta i bruk Getis-Ord  $G_i^*$  analyse ble utviklet av Getis og Ord (1992) med bakgrunn i at en slik analyse ville gi bedre innsikt i lokale romlige mønstre enn det andre mål på romlig likhet og ulikhet gir, slik som ved bruk av ulike former for Moran I. Getis-Ord  $G_i^*$  kan i motsetning til ulike Moran indekser skille mellom det som omtales som *hot spots* og *cold spots*. Dette betyr at den kan identifisere klynger av både høye (*hot spots*) og lave (*cold spots*) verdier blant observasjoner. Identifisering av slike romlige mønstre ved Getis-Ord  $G_i^*$  er gitt ved følgende formel (Songchitruksa & Zeng, 2010):

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} X_j}{\sum_{j=1}^n X_j}$$

Der hvor  $G_i^*$  beskriver den romlige avhengigheten av hendelse  $i$  over  $n$  hendelser,  $X_j$  størrelsen på variabel  $X$  ved hendelse  $j$  over  $n$  hendelser og  $W_{ij}$  er vektet verdi mellom hendelse  $i$  og  $j$  som representerer det romlige forholdet mellom disse to hendelsene.

Ved kjøring av verktøyet *Hot Spot Analysis (Getis-ord Gi\*)* i ArcMap vil nye kolonner legges til egenskapstabellen for datasettet som blir analysert, henholdsvis z-skår, p-verdi og konfidensnivå. Verdiene som kan innhentes fra disse kolonnene gir en indikasjon på om man har statistisk signifikante *hot* eller *cold spots*, det vil si et romlig mønster med konsentrasjon av verdier med enten høye eller lave verdier. Z-skår angir graden av intensitet for en *hot* eller *cold spot*, og for hver z-skår angis det en p-verdi (ESRI, Udatert-e). P-verdier (p står her for det engelske ordet «*Probability*») er et mål som angir hvor stor sannsynlighet det er for at det romlige mønsteret har oppstått som følge av en tilfeldig prosess (ESRI, Udatert-t). Hvorvidt om punkter kan klassifiseres som *hot* eller *cold spots*, avhenger av hvilket konfidensnivå og tilhørende konfidensintervall man ønsker å benytte for å vurdere z-skår og tilhørende p-verdi.

For å forstå begrepet konfidensintervall og hvordan dette er knyttet til konfidensnivå, er det først essensielt å se på hva som er hensikten bak bruken av konfidensintervall. Slike intervaller benyttes ofte som en del av generaliserende statistikk, hvor man ønsker å trekke slutninger om en populasjon, basert på resultatene for et utvalg av denne populasjonen (Rød, 2017). Et eksempel på dette kan være at man vil identifisere gjennomsnittlig antall minutter en populasjon bruker til jobb, basert på et mindre utvalg, ettersom det er vanskelig og tidskrevende å måle verdier for en hel populasjon. Basert på gjennomsnittet for dette utvalget kan man generalisere og hevde at dette også er gjennomsnittet for hele populasjonen. Dersom en slik generalisering skal gjøres, må man derimot angi hvor stor sannsynlig det er for at resultatet for utvalget også gjelder for hele populasjonen, og det er dette som konfidensintervallet angir. Konfidensintervallet er med andre ord et slingringsmonn som benyttes for å beskrive hvor sikker man er på at man kan angi parameterverdien for hele populasjonen (Rød, 2017). Hvilket konfidensintervall man vil benytte avhenger av konfidensnivået, og de vanligste nivåene er 90, 95 og 99 % (Devore & Berk, 2012).

Avhengig av hvilket nivå man velger, så betyr dette man ønsker å identifisere slingringsmonnet for å angi parameterverdien med henholdsvis 90, 95 eller 99 % sannsynlighet (Rød, 2017). Jo høyere konfidensnivået er, jo større tillit har man til at parameterverdien som blir estimert ligger innenfor intervallet. For eksempel så vil et konfidensnivå på 99 % implisere at det er en sannsynlighet på 99 % at resultatet for utvalget vil gi et intervall som inkluderer populasjonsparameteren (Devore & Berk, 2012)

Dersom observasjoner skal kunne klassifiseres som *hot* eller *cold spots*, må z-skår og tilhørende p-verdi ligge utenfor intervallet av verdier som bestemmes av valgt konfidensnivå. For eksempel, hvis et konfidensnivå på 95 % velges, som det er tatt utgangspunkt i denne

oppgaven, må z-skår være lavere enn -1.96 for å bli klassifisert som *cold spot* og høyere enn 1.96 for å bli klassifisert som *hot spot*, forutsatt at tilknyttet p-verdi er lavere enn 0.05. Z-skår må dermed ligge utenfor intervallet -1.96 og 1.96 dersom verdiene skal kunne klassifiseres som statistiske signifikante. Bakgrunnen for at z-skår må ligge utenfor dette intervallet, skyldes at innenfor intervallet vil p-verdien være større enn 0.05 og dermed er det mer sannsynlig at det observerte mønsteret har oppstått som følge av en tilfeldig romlig prosess. Dersom z-skår faller utenfor intervallet så vil dette indikere at det observerte mønsteret er for uvanlig til å være resultatet av en tilfeldig prosess (ESRI, Udatert-t). Tabell 3.1 gir en oversikt over hvilke intervaller z-skår må ligge over og verdier p må ligge under dersom observasjoner skal kunne klassifiseres som statistiske signifikante *hot* eller *cold spots* ved ulike konfidensnivå.

Tabell 3.1: Tabellen gir en oversikt over kritiske verdier for z-skår og p-verdi for de ulike konfidensnivåene (ESRI, Udatert-t).

z-skår (Standard avvik)	p-verdi	Konfidensnivå
< -1.65 or > +1.65	< 0.10	90 %
< -1.96 or > +1.96	< 0.05	95 %
< -2.58 or > +2.58	< 0.01	99 %

### 3.6 Hydrologisk modellering av overflatevann

Ved bruk av en korrekt hydrologisk høydemodell er det mulig å modellere hvordan overflatevann vil drenerer i terrenget. Hvorvidt overflatevann oppstår, vil være avhengige av flere faktorer slik som nedbørsmengde og nedbørintensitet, men egenskaper knyttet til nedbørfeltet som vannet renner gjennom, er også avgjørende. Et nedbørfelt blir definert som et område som drenerer til det samme punktet, utløpspunktet, som utgjør det laveste punktet i det avgrensede nedbørfeltet. Et nedbørfelt blir avskilt fra andre nedbørsfelt i form av et vannskille, som defineres i form av karakteristiske høydedrag slik som fjellrygger.

Egenskaper ved et nedbørfelt som vil avgjøre om vannet vil bevege seg på overflaten og hvilken retning det beveger seg i er nedbørfeltets størrelse, form og topografi, vegetasjon, arealbruk, geologi og jordtyper (Charlton, 2008; Sulebak, 2007).

Av disse egenskapene er vegetasjon, geologi og jordtype viktig da disse egenskapene kan påvirke om vann perkolerer ned og infiltrere bakken, eller beveger seg på overflaten. Slike overflateegenskaper har ifølge Gruber og Peckham (2009) vært vanskelig å inkludere i hydrologisk modellering ved bruk av DHM. Gravitasjon, som primært styrer bevegelsen til vann, har istedenfor vist seg å være mye lettere å ta hensyn til og danner utgangspunktet for

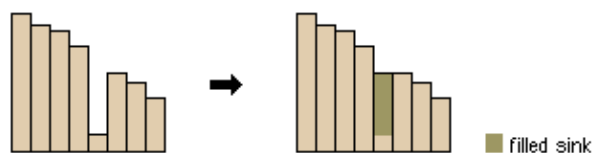
de fleste hydrologiske analyser hvor bevegelsene til overflatevann skal modelleres (Gruber & Peckham, 2009).

Løsmasser som er lokalisert i dalsidene i flere av nedbørsfeltene langs Gudbrandsdalslågen er morenemateriale som er avsatt etter siste istid. Infiltrasjonkapasiteten til slike avsetninger vil være avhengige av sortering og kornstørrelse, men for morenemateriale i dalsidene langs Gudbrandsdalslågen er infiltrasjonkapasiteten lavere enn normalt. Under perioder med lengre eller intense nedbørsperioder vil dette kunne bidra til overflateavrenning ettersom infiltrasjonkapasiteten overstiges (Walberg & Devoli, 2014). Slike forhold kan bidra til at nedbørsfeltene langs Gudbrandsdalslågen vil være utsatt for overflatevann ved ekstremnedbør.

For å modellere hvordan overflatevann beveger seg i terrenget ved bruk av DHM, er det flere steg som må gjennomføres. Dette inkluderer igjenfylling av forsenkninger, identifisere dreneringsretning og akkumulering av overflatestrømning (Rød 2015). Bruk av *Spatial Analyst* i ArcMap muliggjør dette i form av verktøyene *Fill*, *Flow Direction* og *Flow Accumulation*. Disse stegene redegjøres i avsnittene som følger.

### **3.6.1 Forsenkninger**

Ved generering av DHM, vil modellen inneholde forsenkninger som har innvirkning på dreneringsretning og kan gi feilaktige resultater. Derfor er det essensielt å korrigere slike feil slik at overflatestrømningen vil være så nøyaktig som mulig. En forsenkning kan i et rasterbasert GIS defineres som en celle eller samling av celler hvor det ikke er mulig å definere en de av åtte mulige dreneringsretningene, som er ytterligere omtalt i avsnitt 3.6.2. Forsenkninger oppstår når omkringliggende naboceller har en høyere z-verdi enn den cellen som det skal genereres dreneringsretning for, eller når to celler har en dreneringsretning mot hverandre. Dette gjør at det ikke er mulig å finne dreneringsretning for den aktuelle cellen, og modelleringen av dreneringsretning stopper opp (ESRI, Udatert-j; Rød, 2015). Slike feil kan identifiseres og korrigeres ved bruk av verktøyene *Sink* og *Fill* i ArcMap, hvor resultatet er en DHM uten forsenkninger. *Sink* fungerer ved at verktøyet identifiserer forsenkninger i DHM (ESRI, Udatert-j), mens *Fill* fyller igjen forsenkningene. *Fill* anvender flere ulike verktøy, som samlet sett fyller igjen forsenkninger som er blitt identifisert og gir celler en z-verdi tilsvarende nabocellen eller høyere (ESRI, 2011b). Figur 3.5 viser hvordan dette verktøyet fungerer.



Figur 3.5: Illustrasjon av hvordan verktøyet Fill i ArcMap fyller igjen forsengkninger i DHM (ESRI, 2011b).

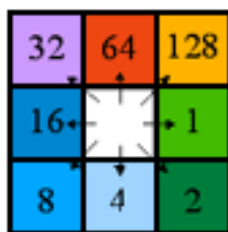
En DHM vil alltid inneholde forsengkninger, og bakgrunnen for at disse fylles igjen har opphav i at forsengkninger antas å oppstå som følge av feil i høydemodellen som anvendes. Ifølge Senevirathne og Willgoose (2013) oppstår forsengkninger i en DHM som en effekt av at oppløsningen som er valgt er for lav eller feilkilder knyttet til interpolasjonsmetoden som er blitt tatt i bruk. Selv om de fleste forsengkninger kan karakteriseres som kunstige, er det viktig å være oppmerksom på at naturlige forsengkninger i en høydemodell også kan forekomme. Eksempler på hvor det kan identifiseres naturlige forsengkninger er områder med kalkstein- og breformasjoner (Rød, 2015).

### 3.6.2 Dreneringsretning

Det andre steget som må gjennomføres for å kunne modellere hvordan overflatevann beveger seg, er å identifisere dreneringsretningen. Dreneringsretning kan i et rasterbasert GIS defineres som retningen vann vil ta fra hver enkelt celle i et raster (ESRI, 2012a). Et dreneringsraster muliggjør identifisering av forsengkninger og beregning av akkumulert overflatestrømning, og er slik sett viktig i modellering av overflatevann. Utgangspunktet for identifisering av dreneringsretning bygger på prinsipper fra gravitasjon og fysikk, som påpeker at vann vil alltid ta retningen med den bratteste gradient (Gruber & Peckham, 2009).

Det er utviklet flere ulike algoritmer for å identifisere dreneringsretning, hvor det ofte skiller mellom algoritmer som kan enten produsere en eller flere dreneringsretninger samtidig. I ArcMap anvendes algoritmen som kalles for D8. Denne algoritmen undersøker nabocellene til cellen som det skal identifiseres dreneringsretning for. Retningen vannet vil ta fra denne cellen vil være mot nabocellen som har brattest gradient, og denne identifiseres ved å finne nabocelle med størst endring i z-verdi (ESRI, 2012a). Resultatet av D8-algoritmen er et rasterlag, hvor hver celle kodes ut i fra den identifiserte dreneringsretningen, og figur 3.6 illustrerer hvordan de ulike dreneringsretningene kodes. Nord og sør kodes som 64 og 4, øst og vest som 1 og 16, nordvest og nordøst som 32 og 128 og tilslutt sørøst og sørvest som 2 og 8 (Rød, 2015).





Figur 3.6: Illustrasjon av de ulike dreneringskodene som et raster tildeles ved bruk av D8-algoritmen i flomveismodellering (ESRI, 2012a).

En av egenskapene til denne algoritmen er at den kan simulere konvergens, det vil si at flere celler drenerer til en og samme celle. Divergerende drenering, der hvor en celle drenerer til flere ulike celler, er derimot ikke mulig å modellere med denne algoritmen (Gruber & Peckham, 2009). Dette utgjør en av ulempene med bruk av denne algoritmen, og dette diskuteres ytterligere i avsnitt 6.5.2.

### 3.6.3 Akkumulert overflatestrømning

Ved å ta utgangspunkt i et raster som viser identifiserte dreneringsretninger, er det mulig å konstruere et raster som viser akkumulert overflatestrømning. Et slikt raster gir informasjon om antall celler som drenerer til det samme punktet, eller celle, og dette kan anvendes til å beregne størrelsen på arealet som drenerer til en bestemt celle. Dette gjøres ved å multiplisere antall drenerende celler med cellestørrelsen (ESRI, 2008b; Rød, 2015). Hvis et vekt raster ikke benyttes i beregningen av akkumulert overflatestrømning, så vil hver celle bidra med en vekt tilsvarende 1 (Rød, 2015). Et eksempel på et vekt raster kan være et nedbør raster hvor hver celle representerer mengden nedbør som har falt i området som cellen tilsvarer. I denne oppgaven er det ikke benyttet noe vekt raster.

## 3.7 Regresjonsanalyse og Minste kvadraters metode

Regresjonsanalyse kan beskrives som en teknikk innenfor statistikk som anvendes for å modellere forholdet mellom flere variabler, hvor forholdet mellom en avhengig variabel gitt ved  $y$  og en uavhengig variabel gitt ved  $x$  står i fokus. Avhengig variabel omtales gjerne som responsvariabel, ettersom den responderer på endring i uavhengig variabel. Uavhengig variabel kalles derimot forklarende variabel, ettersom den kan forklare variasjonen i avhengig variabel (Montgomery et al., 2012). Når flere uavhengige variabler benyttes i en regresjonsanalyse, noe som er tilfelle i denne oppgaven, kalles dette for multipl regressjonsanalyse (Rød, 2015). Det finnes flere typer regresjonsanalyser, og en av disse er minste kvadraters metode (MKM). MKM-regresjon er en form for regresjonsanalyse som kan anvendes til å modellere, utforske forhold og forklare faktorene bak et observert fenomen (ESRI, Udatert-q). Dette utgjør hovedårsaken til at MKM er blitt benyttet i oppgaven, da

metoden gjør det lett å modellere kostnad på naturskade som en funksjon av faktorer relatert til overflateavrenning. Dette vil også kunne gi innsikt i hvorfor kostnad på naturskade varierer, noe som kan være nyttig kunnskap ved iverksetting av forebyggende tiltak.

Ved bruk av MKM-regresjon estimeres lineære forhold mellom forklarende variabler og responsvariabel, og det lineære forholdet kan være positivt, negativt og/eller ikke-eksisterende. Ved et positivt forhold vil verdien til forklarende variabel stige samtidig som verdien til den avhengige variabelen stiger. Hvis verdien til begge variablene faller, så vil dette også kunne omtales som et positivt forhold. Ved et negativt forhold, kan for eksempel verdien til forklarende variabel øke, mens verdien til responderende variabel faller (ESRI, Udatert-q). Det er viktig å påpeke at man i en MKM-regresjon kan få en modell hvor de ulike forklarende variablene har ulike forhold til avhengig variabel. De ulike lineære forholdene beskrevet ovenfor er gitt ved følgende funksjon (ESRI, Udatert-q):

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots \dots \beta_n X_n + \varepsilon$$

der  $y$  utgjør den avhengige variabelen. I denne studien er egenskapen kostnad takst fra naturskadedatasettet benyttet som avhengig variabel. Denne egenskapen angir kostnad i kroner for å gjenopprette skadet objekt.  $X_1$  viser til uavhengige variabler, som benyttes for å modellere eller estimere verdien til den avhengige variabelen. Den avhengige variabelen er dermed en funksjon av de uavhengige variablene. Uavhengige variabler som benyttes i MKM-regresjonsanalysene er valgt på grunnlag av resultatet etter utforskende regresjon, som er beskrevet i avsnitt 5.5. Uavhengige variabler benyttet i utforskende regresjon er gitt i tabell 3.1, hvor noen av disse beskrives i avsnitt 3.7.2. For hver uavhengig variabel er det i funksjonen en tilhørende koeffisient, angitt ved tegnet  $\beta$ . Disse angir styrke til og om forholdet til den avhengige variabelen er positivt eller negativt. Et minustegn vil indikere at forholdet er negativt, mens en verdi nært null vil indikere at forholdet er svakt, og dermed ikke-eksisterende. Skjæringspunktet mellom regresjonslinjen og andreaksen er angitt ved  $\beta_0$  i regresjonsligningen. Dette er verdien som er forventet for den avhengige variabelen, forutsatt at alle uavhengige variabler er lik 0 (ESRI, Udatert-q).

$\varepsilon$  i funksjonen viser til residualer. Dette defineres som avviket mellom observerte  $y$ -verdier og de  $y$ -verdiene som predikeres i regresjonsanalysen (Rogerson, 2011), og indikerer variasjonen i den avhengige variabelen som ikke kan forklares. Slik sett er dette et mål på hvor godt modellen passer til observerte forhold. Residualer beregnes ved at kjente verdier for avhengig variabel og uavhengige variabler benyttes i konstruksjonen av en funksjon, som gir predikerte

y-verdier. Deretter blir de predikerte y-verdiene subtrahert fra de observerte y-verdiene, noe som gir differansen mellom verdiene. Dersom denne differansen er stor, så vil dette være et tegn på at modellen passer dårlig til observerte forhold (ESRI, Udatert-q; Rumsey, 2007)

### **3.7.1 Statistiske mål på resultat av regresjonsanalyse og nullhypotesen**

Etter kjøring av MKM-regresjon i ArcMap produseres det en rapport med en rekke statistiske mål, som kan anvendes til å vurdere resultatet av regresjonsanalysen. I tillegg til residualer, finner man i denne rapporten de statistiske målene multiple regresjonskoeffisient  $R^2$ , justert multiple regresjonskoeffisient  $R^2$ , koeffisientverdi, sannsynlighet (p-verdi), varians inflasjonsfaktor (VIF), Joint F, Joint Wald, Koenker (BP) og Jarque-Bera. Disse redegjøres i avsnittene nedenfor. Det er ved vurdering av statistikk viktig å være oppmerksom på begrepet nullhypotesen. Nullhypotesen, gitt ved symbolet  $H_0$ , kan defineres som en antagelse hvor man antar at det ikke eksisterer noen sammenheng eller signifikant forhold mellom variablene som testes. I konteksten av min studie vil en bekreftelse av nullhypotesen for eksempel kunne indikere at det ikke er noen sammenheng mellom en av de uavhengige variablene og den avhengige variabelen kostnad på naturskade. Innenfor statistisk forskning er det et mål om å undersøke om nullhypotesen kan avvises, eller å vise gjennom forskning at en alternativ hypotese,  $H_a$ , er mer gyldig enn nullhypotesen (Carey, 2013; Everitt & Skrondal, 2013).

#### **3.7.1.1 Multiple regresjonskoeffisient $R^2$ og justert multiple regresjonskoeffisient $R^2$**

Både multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  og justert multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  er begge statistiske mål som er beregnet på grunnlag av regresjonsligningen, og som benyttes for å kvantifisere modellens forklaringssevne. Disse omtales heretter som multiple  $R^2$  og justert multiple  $R^2$ . Verdiområdet for begge  $R^2$ -målene er fra 0 til 1, hvor en verdi på 1 indikerer at modellen passer verdiene fra den avhengige variabelen perfekt. En  $R^2$  verdi på 1 vil derimot sjeldent inntreffe (Rød, 2015), da dette er gjerne en indikasjon på brukerdefinerte feil ved kjøring av MKM-regresjon (ESRI, Udatert-q). Mindre  $R^2$  verdier er derimot mer vanlig, for eksempel 0.39. En slik verdi tilsier at modellen kan forklare 39 % av variasjonen i den avhengige variabelen. Justert multiple  $R^2$  er målet som ofte benyttes til å vurdere modellens forklaringssevne, da dette målet i større grad reflekterer en modells kompleksitet med hensyn til antall variabler som blir benyttet enn det multiple  $R^2$  gjør. Bakgrunnen for dette skyldes at verdien for justert multiple  $R^2$  vil kun øke dersom nye uavhengige variabler som legges til, øker modellens forklaringssevne mer det som forventes dersom økningen hadde alene skyldtes tilfeldigheter. Dette er også årsaken til at justert multiple  $R^2$  vil alltid være lavere enn multiple  $R^2$  (Rød, 2015).

### **3.7.1.2 Koeffisienter**

Koeffisientene for hver enkelt uavhengig variabel reflekterer både styrken og type forhold uavhengig variabel har til den avhengige variabelen. Som nevnt i avsnitt 3.7, indikerer fortegnet foran koeffisienten om hvorvidt forholdet til den avhengige variabelen er positivt eller negativt. Uavhengige variabler som har en koeffisientverdi nært 0 predikerer den avhengige variabelen på en lite tilstrekkelig måte, og anses ikke å ha noe forhold til avhengig variabel. Slike variabler burde bli fjernet fra modellen med mindre man kan teoretisk forankre anvendelsen (ESRI, Udatert-q).

For koeffisientene assosiert med hver uavhengig variabel gjennomføres også en sannsynlighetstest, gitt ved p-verdi. Denne testen beregner sannsynligheten for at uavhengig variabel har en statistisk innvirkning på modellens forklaringskraft. Nullhypotesen for denne testen tar utgangspunkt i at koeffisienten ikke er signifikant forskjellig fra 0, noe som kan tolkes slik at dersom koeffisienten er lik 0, så har ikke uavhengig variabel noen innvirkning på modellen. Lave p-verdier reflekterer lav sannsynlighet for at sammenhengen er resultat av tilfeldige forhold og dermed at variabelen er forklarende for modellen (ESRI, Udatert-q; Rød, 2015).

### **3.7.1.3 Varians Inflasjonsfaktor**

I likhet med koeffisienter, kan Varians Inflasjonsfaktor (VIF) benyttes til å vurdere hvor egnet de uavhengige variablene er til å predikere den avhengige variabelen. VIF er et statistisk mål som måler redundans eller multikollinearitet for hver av de uavhengige variablene (Rød, 2015). Multikollinearitet beskriver i hvor stor grad det er et lineært forhold mellom to eller flere uavhengige variabler (Gujarati & Porter, 2009), og indikerer hvorvidt variablene overlapper hverandre i forbindelse med forklaring av den avhengige variabelen (Rød, 2015). VIF-verdier over 7.5 indikerer at et slik sammenheng kan identifiseres, og som en følge av dette burde variabler med slike VIF-verdier fjernes fra modellen (ESRI, Udatert-n).

### **3.7.1.4 Joint F og Joint Wald**

Både Joint F og Joint Wald er mål som benyttes til å vurdere om modellen er statistisk signifikant. Hvilken av disse to målene man anvender for å vurdere dette, vil være avhengig om målet for Koenker (BP) er statistisk signifikant. Dersom dette målet er signifikant, burde kun Joint Wald benyttes for å vurdere modellens statistiske signifikans, mens hvis dette ikke er tilfelle, benyttes begge. For et konfidensnivå på 95 %, så indikerer en p-verdi mindre enn 0.05 for målene Joint F og Joint Wald en statistisk signifikant modell (ESRI, Udatert-n).

### 3.7.1.5 Koenker (BP) statistikk

Koenker Breusch-Pagan (BP) statistikk er en test som anvendes for å avgjøre om uavhengige variabler i en modell har et konsistent forhold til den avhengige variabelen, både i geografisk rom og i dataomgivelsene. At uavhengige variabler har et konsistent forhold til avhengig variabel i geografisk rom betyr at de romlige prosessene representert ved de uavhengige variablene er lik i hele studieområdet. Et konsistent forhold i dataomgivelsene betyr at variasjonen i forholdet mellom predikerte verdier og hvert enkelt uavhengige variabels faktiske verdi ikke endres med endringer i de uavhengige variabelenes størrelse. Dersom det ikke eksisterer et konsistent forhold, så vil modellen preges av heteroskedastisitet.

Heteroskedastisitet er problematisk i en modell fordi dette påvirker modellens prediksjonsevne avhengig av verdistørrelsen (ESRI, Udatert-n). En modell som preges av heteroskedastisitet vil predikere et fenomen bedre for høye verdier enn lave verdier, eller eventuelt motsatt (Rød, 2015). Anvendt i konteksten av denne oppgaven, vil en modell med heteroskedastisitet kunne bety at variasjonen i kostnad på naturskade forklares bedre for områder hvor kostnadene på naturskade er høye enn for områder hvor kostnadene er lave. Heteroskedastisitet innebærer dermed at modellens forklaringsevne varierer. For et konfidensnivå på 95 %, så vil en p-verdi på mindre enn 0.05 for Koenker (BP)-målet indikere statistisk signifikant heteroskedastisitet (ESRI, Udatert-n).

### 3.7.1.6 Jarque-Bera

Jarque-Bera er et statistisk test som indikerer om residualene er normalfordelte (Rød, 2015), og nullhypotesen for denne testen bygger på at residualene er normalfordelte. Dersom p-verdien for Jarque-Bera er mindre enn 0.05 for et konfidensnivå på 95 %, så tilsier dette at residualene ikke er normalfordelt og at modellen er skjevfordelt (ESRI, Udatert-n). Dersom en modell er skjevfordelt, er resultatene som modellen produserer ikke til å stole på, og dette burde derfor unngås. Det eksisterer flere årsaker til en modell er skjevfordelt, deriblant heteroskedastisitet, mangel på relevante variabler og observasjoner med verdier som skiller seg fra resten av observasjonene, såkalte uteliggere (Rød, 2015).

### 3.7.2 Valg av uavhengige variabler

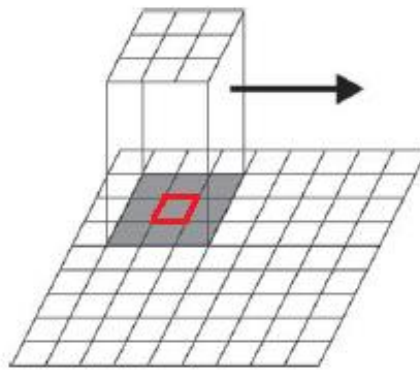
Å velge hvilke uavhengige variabler som skal benyttes i en regresjonsanalyse kan være et vanskelig valg, spesielt med tanke på at det kan finnes flere variabler som kan påvirke den avhengige variabelen som man ønsker å modellere. I slike tilfeller er verktøyet utforskende regresjon (engelsk: *Exploratory regression*) nyttig, da dette verktøyet tester alle mulige kombinasjoner av uavhengige variabler, for å deretter velge ut hvilke variabler som gir den

beste modellen. Den beste modellen kan velges på grunnlag av en rekke statistiske mål, og disse inkluderer blant annet justert  $R^2$ , VIF, Jarque-Bera, koeffisientverdier og romlig autokorrelasjon. For hver enkelt av disse målene er det mulig å spesifisere terskelgrenser for hva som er akseptert verdi (Rød, 2015). Som nevnt i avsnitt 3.6 er det en rekke ulike faktorer som kan påvirke hvorvidt overflateavrenning oppstår (Charlton, 2008). Dersom overflatevann oppstår, er det videre andre faktorer som påvirker om skader oppstår. Med bakgrunn i dette ble det vurdert at utforskende regresjon kunne være nyttig for å identifisere kombinasjonen av uavhengige variabler som modellerer avhengig variabel, kostnad på naturskade, best. Disse variablene kan dermed videre benyttes i en MKM-regresjon for å undersøke nærmere hvordan de utvalgte uavhengige variablene modellerer kostnad på naturskade. De uavhengige variablene som skal kjøres i utforskende regresjon er gitt i tabell 3.2. Noen av disse er utdypet i følgende avsnitt. Før dette kan utdypes er det derimot viktig å påpeke at dersom regresjonsanalyser skal kunne kjøres, må verdier for de uavhengige variablene ekstraheres til kolonner i egenskapstabellen til naturskadedatasetet hvor skadepunkter er blitt registrert. Dette skyldes at det er egenskapstabeller som er enheten og utgangspunktet for kjøring av regresjonsanalyser i ArcMap. Denne prosessen beskrives ytterligere i avsnitt 4.7.

Tabell 3.2: Oversikt over og kort beskrivelse av uavhengige variabler benyttet i utforskende regresjon.

Egenskapsnavn	Beskrivelse
Aspekt_TRASP	Himmelretning klassifisert ut i fra Topographic Radiation Aspect Index (TRASP). Himmelretning blir klassifisert som nord-nordøst eller sør-sørøst. Tilegnes verdi mellom -1 og 1. Gjelder for celle hvor skadepunkt er lokalisert
Nord_Sør	Himmelretning klassifisert ut i fra Stage (1976) metode for transformering av himmelretning. Himmelretning blir klassifisert som nord eller sør, og gis verdi mellom -1 og 1. Gjelder for celle hvor skadepunkt er lokalisert.
Vest_Øst	Himmelretning klassifisert ut i fra Stage (1976) metode for transformering av himmelretning. Himmelretning blir klassifisert som vest eller øst, og gis verdi mellom -1 og 1. Gjelder for celle hvor skadepunkt er lokalisert.
Log_Akkumulering	Akkumulert overflatestrømning. Angir antall celler som drenerer til en utvalgt celle. Gjelder celle hvor skadepunkt er lokalisert. Log-transformert
Kurvatur	Mål for generell kurvatur, som kombinerer plan- og profilkurvatur. Gjelder celle hvor skadepunkt er lokalisert.
Plankurvatur	Mål for plankurvatur. Gjelder for celle hvor skadepunkt er lokalisert.
Profilkurvatur	Mål for profilkurvatur. Gjelder for celle hvor skadepunkt er lokalisert
Avrenningsfaktor	Gjennomsnittlig avrenningsfaktor for nedbørfeltet som skadepunkt er lokalisert i. Ordinal variabel
Infiltrasjonsevne	Gjennomsnittlig infiltrasjonsevne for nedbørfeltet som skadepunkt er lokalisert i. Ordinal variabel
Log_skråning	Verdi for terrenghelning. Angitt i antall grader. Gjelder for celle hvor skadepunkt er lokalisert. Log-transformert.
Avstd_flomvei	Avstand fra skadepunkt til nærmeste modellerte flomvei i antall meter.

Felles for alle terrengparameterne nevnt i tabell 3.2 er at de beregnes ved å definere et naboskap hvor man tar i bruk et vindu, med en størrelse på 3x3. Vinduet beveges over deler av rasteret som DHM består av, hvor verdiene til nabocellene benyttes for å beregne verdien til sentercellen i vinduet, kalt fokalcellen. Denne prosessen gjentas trinnvis til hver enkel celle er blitt dekt av vinduet. En slik prosess blir gjerne omtalt som en form for fokal kartalgebrafunksjon, hvor fokalcelle og omkringliggende celleder verdier benyttes for utregning av verdier for aktuell parameter (Olaya, 2009; Rød, 2015). En illustrasjon på fokal kartalgebrafunksjon med fokalcelle og vindu er gitt i figur 3.7.



Figur 3.7: Illustrasjon av hvordan et vindu beveger seg over et raster og prosesser verdiene. Fokalcellen er markert med røde streker (Olaya, 2009).

### 3.7.2.1 Terrenghelning

Terrenghelning (engelsk: *slope*) representerer maksimal endring i høydeverdi i en høydemodel fra en celle til nærliggende celler, og i ArcMap kan denne terrengparameteren måles i to måleenheter: grader, fra 0 til 90°, eller i prosent (ESRI, Udatert-s). Det anbefales ifølge Rød (2015) at grader tas i bruk som enhet til å måle terrenghelning, ettersom hvis en helning på 90 grader finnes, vil ikke dette oppgis i prosent da det vil gå mot det uendelige. Dette er tatt til etterretning i denne oppgaven, og grader er enheten som er anvendt til å måle helning. For å beregne terrenghelning blir et vindu med størrelse 3x3 plassert over fokalcellen, og verdien for denne cellen blir beregnet på grunnlag av de åtte nabocellene i vinduet. Resultatet av dette er den maksimale endring i høydeverdi fra fokalcellen til nabocellene, og denne verdien identifiserer den bratteste helningen (ESRI, 2008c).

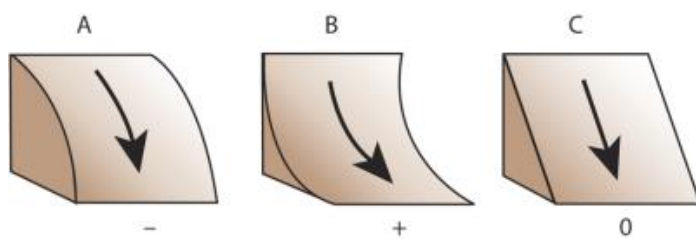
Bakgrunnen for at terrenghelning er tatt med som en uavhengig variabel skyldtes at denne terrengparameteren påvirker hydrologiske prosesser i terrenget. Flere studier har konkludert med at under nedbør, øker overflateavrenningen og dermed blir erosjonspotensialet større desto brattere helningen i terrenget blir (Assouline & Ben-Hur, 2006; Wischmeier & Smith, 1978). Dette kan bidra til større skadepotensial under perioder med ekstremnedbør og dermed

også høyere kostnader for å reetablere skadede objekter. Derfor er en slik variabel relevant å inkludere.

### 3.7.2.2 Kurvatur

Kurvatur beskrives som en egenskap og mål ved terrenget som gir informasjon om hvordan terrenget på et sted krummer, og er relatert til konkavitet og konveksitet i terrenget. I beregningen av kurvatur er det ønskelig å benytte en så høy romlig oppløsning som mulig, da dette har stor innvirkning på kurvaturverdier (MacMillan & Shary, 2009).

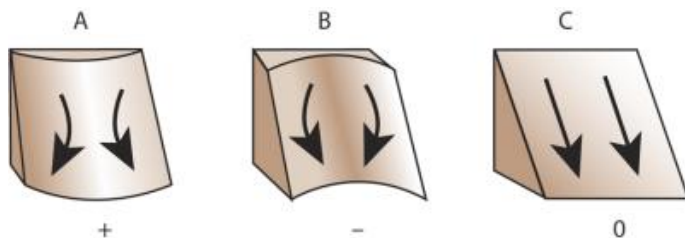
Ved beregning av kurvatur i ArcMap skilles det mellom tre ulike typer kurvaturmål, henholdsvis profil-, plan- og generell kurvatur. Sistnevnte kombinerer både profil- og plankurvatur i et mål. Profilkurvatur er et mål på hvor mye terrenget krummer parallelt med helningsretningen (Rød, 2015). Denne formen for kurvatur beskriver også om terrenget har en konveks, konkav eller lineær form, illustrert ved figur 3.8 (Buckley, 2010). Dette er spesielt relevant i forbindelse med hydrologiske analyser, da en overflate med konveks profilkurvatur vil bidra til at overflatevann vil akselerere. Ved konkav profilkurvatur vil det motsatte inntreffe, hvor overflatevann får negativ akselerasjon grunnet terrengoverflatens form (Olaya, 2009). Negativ profilkurvatur beskriver en konkav overflate, mens en positiv profilkurvatur beskriver en konveks overflate (Buckley, 2010).



Figur 3.8: A) Positiv og B) negativ profilkurvatur, samt C) lineær profilkurvatur (Buckley, 2010).

Plankurvatur er et mål på hvor mye terrenget krummer i horisontal retning (Rød, 2015), og er relatert til konvergens og divergens i terrenget, noe som vil ha innvirkning på bevegelsen av overflatevann (Wilson & Gallant, 2000). Ved konkav plankurvatur, som er angitt ved negativ verdi, vil overflatevann konvergere, mens ved konveks plankurvatur, gitt ved positiv verdi, vil overflatevannet divergere (Olaya, 2009) De ulike typene plankurvatur er illustrert i figur 3.9.





Figur 3.9: A) Positiv og B) negativ plankurvatur, samt C) lineær plankurvatur (Buckley, 2010).

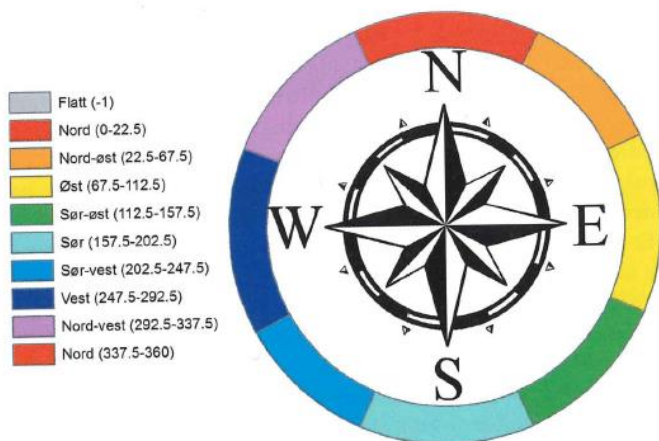
Generell kurvatur kombinerer de to typene kurvatur beskrevet ovenfor. Dette målet gjenspeiler dermed både profilkurvatures innvirkning på akselerasjon av overflatevann, og plankurvatures innvirkning på konvergens og divergens av overflatevann. Samlet sett gir dette et helhetlig bilde av hvordan overflatevann beveger seg som følge av landskapets form (ESRI, Udatert-c).

Som nevnt ovenfor, har formen på landskapet stor innvirkning på hvordan vann beveger seg og erosjonspotensial, og derfor er alle målene for kurvatur inkludert i utforskende regresjonsanalyse som variabler. At dette er relevante variabler å inkludere når vannets bevegelse og skadepotensial skal undersøkes, støttes av flere studier. Hole (2015) viste ved bruk av generell kurvatur som variabel i regresjonsanalyse, at i områder med høyere erstatningsutbetalinger etter vannskade, ble konvekse landformer identifisert. Videre har Torgersen et al. (2017), ved bruk av regresjonsanalyse, konkludert med at urbane flommer har en tendens til å oppstå i områder med konkav kurvatur. Slik sett tilsier teorien at landskapets form kan ha en hydrologisk innvirkning som kan bidra til å øke skadepotensialet under flomhendelser.

### 3.7.2.3 Helningsretning

Helningsretning (engelsk: *aspect*) er terrengparameteren som beskriver terrenghelningens himmelretning (Rød, 2015). I likhet med både terrenghelning og kurvatur, benyttes et 3x3 vindu for å beregne fokalcelleverdier for helningsretning basert på fokalcellens åtte naboceller. (ESRI, Udatert-f). Terrengparameteren helningsretning kan benyttes i flere sammenhenger innen GIS, deriblant i vurdering av skredfare, identifisere områder med maksimal solinnstråling og hydrologisk analyse (Rød, 2015; Wilson & Gallant, 2000).

Rasteret som produseres som et resultat av verktøyet *Aspect* i ArcMap inneholder celler som angir kompassretning, hvor mulige verdier finnes i intervallet 0° til 360° (ESRI, Udatert-f). For å symbolisere dette intervallet, benyttes åtte ulike kategorier som er hver representert ved en sektor på 45°. I tillegg gis celler som er lokalisert på flate områder en verdi på -1 (Rød, 2015). Inndelingen som er beskrevet ovenfor er illustrert i figur 3.10.



Figur 3.10: De ulike kategoriene og verdiene som et raster over himmelretning består av (Rød, 2015).

Bakgrunnen for at terrenghelningens himmelretning er inkludert i utforskende regresjon skyldtes at denne parameteren kan påvirke dreneringsretning og erosjon. Når vann beveger seg i terrenget så vil vannet følge helningsretningen, og dette danner utgangspunktet for de fleste dreneringsalgoritmer benyttet i GIS (Olaya, 2009). Fang og Guo (2015) konkluderer med at helningsretningen har en innvirkning på erosjonsgraden under nedbør, og viser til en rekke studier hvor det er funnet at erosjonspotensialet varierer avhengige av skråningens himmelretning. Hvilken himmelretning for en helning som påvirker erosjon er derimot funnet å være stedsspesifikt, og kan ikke generaliseres for alle steder. Et slik forhold tilsier dermed at noen områder med visse helningsretninger vil ha større innvirkning på erosjon enn andre områder. En slik variabel er dermed relevant da naturskader kan oppstå som følge av erosjon og vannets dreneringsretning. Som angitt i tabell 3.2 er det generert tre ulike variabler for himmelretning, og genereringen av disse er utdypet i avsnitt 4.7.2.

#### 3.7.2.4 Infiltrasjonskapasitet

Om vann infiltrerer ned i bakken eller drenerer på overflaten ved en nedbørshendelse, avhenger i stor grad av infiltrasjonskapasiteten til materialet som terrengoverflaten består av.

Infiltrasjonskapasitet betegnes som den maksimale raten vann kan infiltrere jordoverflaten under gitte forhold. Infiltrasjonskapasiteten vil være størst etter en periode uten nedbør, og vil gradvis reduseres under nedbør. Når nedbørintensiteten overstiger infiltrasjonskapasiteten, vil ikke jorda kunne absorbere mer vann og vannet vil bevege seg som overflatevann på jordoverflaten. Infiltrasjonskapasiteten vil være avhengig av jordsmonnets egenskaper, og dette bestemmes ut i fra jordas permeabilitet, tilstedeværelsen av vegetasjon og røtter, samt hvor mye vann som finnes i jorda fra før av (Charlton, 2008). Da slike egenskaper varierer i landskapet, betyr dette at infiltrasjonskapasiteten vil være høyere i noen områder enn andre. De områdene hvor infiltrasjonskapasiteten er lavere er spesielt interessante i forbindelse med

regresjonsanalysene, ettersom overflatevann vil lettere forekomme i slike områder, og kan potensielt bidra til å utløse skade. Dette danner bakgrunnen for hvorfor infiltrasjonskapasitet er valgt som en de av de uavhengige variablene som skal benyttes i utforskende regresjon.

Infiltrasjonskapasitet kan angis i cm/per time (Sulebak, 2007), men det finnes ikke noe datasett for studieområdet som tar i bruk denne måleenheten. I stedet for benyttes det et datasett utviklet av Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) hvor infiltrasjonskapasitet til løsmasser er rangert fra lite egnet til godt egnet (Norges Geologiske Undersøkelse, 2015). Dette datasettet er bearbeidet slik at det viser gjennomsnittlig infiltrasjonsevne for nedbørfeltet som naturskade er lokalisert i. Mer informasjon om datasettet og bearbeiding gis i avsnitt 4.1 og 4.7.1.

### 3.7.2.5 Avrenningsfaktor C

Avrenningsfaktor C kan defineres som forholdet mellom overflateavrenning fra et område og nedbøren som faller i dette området, og er blant annet avhengige av terrenghelning, vegetasjon og overflatens tetthet. Overflatens tetthet er derimot forholdet som har størst innvirkning på avrenningsfaktor. Denne faktoren benyttes til å beskrive i hvor stor grad overflatevann renner av ulike overflatetyper (Miljødirektoratet, 2015; Steinius et al., 2015).

Verdier for avrenningsfaktor er avhengige av hvilken overflatetype som finnes i nedbørsfeltet, og en oversikt over ulike avrenningsfaktorer er gitt i tabell 3.3. Det er disse verdiene som danner utgangspunktet for variabelen avrenningsfaktor i utforskende regresjon, hvor gjennomsnittlig avrenningsfaktor for nedbørfeltet som skadepunkt er lokalisert i, er beregnet. Prosessen med å tilegne avrenningsverdier for ulike overflatetyper og deretter beregne gjennomsnittlig avrenningsverdi for nedbørfeltene er beskrevet i avsnitt 4.7.1.

Tabell 3.3: Oversikt over avrenningsfaktorverdier for ulike overflatetyper (Miljødirektoratet, 2015).

Overflatetype	Avrenningsfaktor, C
Betong, asfalt, bart fjell og lignende	0,6 -0,9
Grusveier	0,3 - 0,7
Dyrket mark og parkområder	0,2 -0,4
Skogsområder	0,2 - 0,5

Bakgrunnen for at avrenningsfaktor er blitt inkludert som en variabel, skyldes at jo høyere avrenningsfaktoren er, jo større sannsynlighet er det for at nedbør ikke drenerer ned i bakken og istedenfor beveger seg som overflatevann. Da overflatevann kan ha et stort skadepotensial (Miljødirektoratet, 2016), vurderes en slik variabel som relevant i forbindelse med hensikten til regresjonsanalysene.



## 4 Metode

### 4.1 Innsamling av data

Data som er benyttet i denne studien er hentet fra tre LiDAR-skanninger, Oppland fylkeskommune, Nasjonal vegdatabank (NVDB), Norges Geologiske Undersøkelse (NGU), Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO), BaneNor og Felles kartdatabase (FKB). Data som er innhentet og registrert i regi av Oppland fylkeskommune omtales i et eget avsnitt, 4.1.1. De tre LiDAR-skanningene som danner utgangspunktet for analysene i oppgavene, ble gjennomført i 2009, 2012 og 2013. For skanningene gjennomført i 2012 og 2013 var det fra oppdragsgiver bestilt en punkttetthet på 5 pkt/m<sup>2</sup>. Rapportene som ble produsert i etterkant av LiDAR-skanningene viser at for 2012 skanningen har 97 % av prosjektområdet en høyere punkttetthet enn 5 pkt/m<sup>2</sup>. For 2013 skanningen har 94 % av prosjektområdet en punkttetthet som er høyere enn 5 pkt/m<sup>2</sup>. For LiDAR-skanningen gjennomført i 2009 er punkttettheten på 0,7 pkt/m<sup>2</sup> for 57 % av prosjektområdet. LiDAR-skanningene ble lastet ned via hoydedata.no, som er en åpen forvaltningsløsning hvor høydedata fra samarbeidspartnere i Norge Digitalt er tilgjengelig (Norge Digitalt, 2018). LiDAR-skanningen gjennomført i 2009 dannet utgangspunktet for generering av referansepunkter til RMSE-analyse, mens de to andre skanningene ble brukt til testing av interpolasjonsmetoder.

FKB er en database som inneholder kartdata på vektorformat hvor aktører fra Geovekst samarbeidet bidrar med leveranse av data (Kartverket, 2017). FKB-data som ble benyttet og dannet utgangspunktet for denne studiens analyser var vei, bygninger, vann, høydekurver og jernbane. I dette datasettet var også angitt plasseringen og orienteringen til stikkrenner. Fra NVDB ble vegnett og stedfestede stikkrenner innhentet. NVDB er en database som inneholder informasjon om offentlige og private veier (Statens vegvesen, 2017), og data hentet fra denne databasen ble levert på vektorformat. Ved bruk av applikasjonen NVDB API ble dataene direkte nedlastet i ArcMap. Stikkrennedata som ble lastet ned fra denne applikasjonen ble levert i form av et punktlag på vektorformat, hvor hver stikkrenne var representert som et punkt midt på vei. I tillegg til stikkrenner fra NVDB, ble også stikkrenner som går under jernbane anvendt. Stikkrenner knyttet til jernbanen ble levert av BaneNor som et punktlag, og det var derfor nødvendig å digitalisere dette datasettet også. I likhet med datasettet fra NVDB, inneholdt dette datasettet et punkt per stikkrenne. Prosessen med å digitalisere stikkrennene utdypes i avsnitt 4.5.1.

Fra NGUs karttjeneste ble et datasett som inneholder informasjon om evnen til ulike løsmasser til å infiltrere vann lastet ned. Dette datasettet er basert på løsmassekart, hvor

infiltrasjonsevne avhenger av løsmassenes kornfordeling, permeabilitet, jorddybde og terrengforhold. Inndeling av infiltrasjonsevne er kvalitativ, og rangeres fra uegnet, lite egnet, middels egnet til godt egnet (Norges Geologiske Undersøkelse, 2015). Da datasettet hadde en slik inndeling, var bearbeiding nødvendig for at det kunne anvendes i utforskende regresjon, og dette utdypes i avsnitt 4.7.1.

Fra NIBIO ble AR50 og AR5 lastet ned, som begge er datasett som inneholder informasjon om arealressurser. I disse datasettene var det egenskapen Arealtype som var av størst interesse, ettersom denne egenskapen inneholder en oversikt over ulike arealressursklasser. (Norsk Institutt for Bioøkonomi, 2014, 2016). AR50 ble anvendt som bakgrunnskart, mens AR5 ble benyttet til å generere en av variablene benyttet i utforskende regresjon, gjennomsnittlig avrenningsfaktor for nedbørfeltet som skadepunkt er lokalisert i. Her ble arealressursklassene i AR5 anvendt for å tildele avrenningsfaktor for de ulike overflatetyperne. Dette arbeidet beskrives ytterligere i avsnitt 4.7.1.

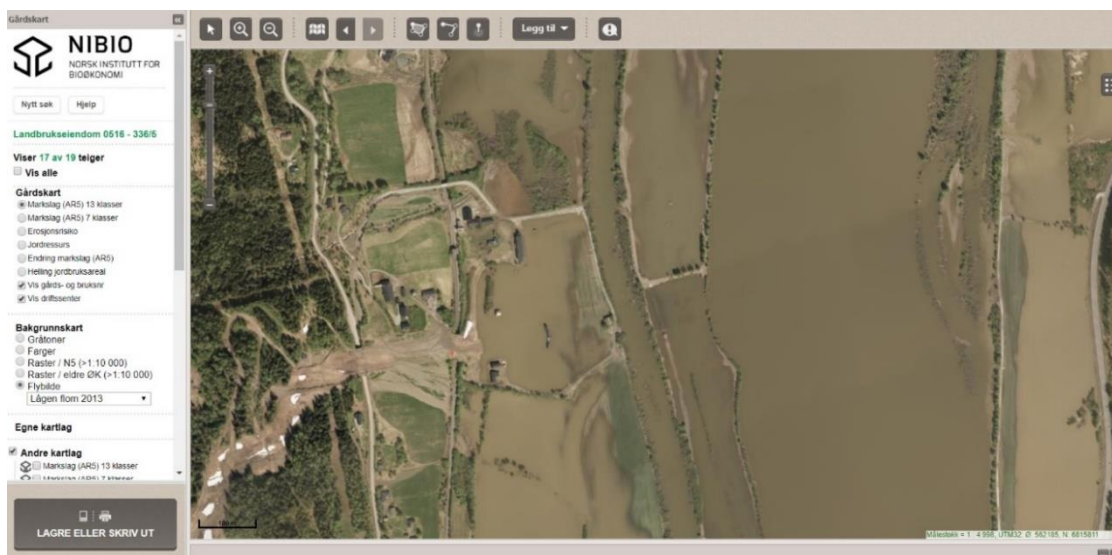
#### **4.1.1 Registrering og stedfesting av naturskadedata**

Naturskadedataene som danner utgangspunktet for store deler av oppgaven, er hentet fra Midt-Gudbrandsdal lensmannskontor via Oppland fylkeskommune. Det er gjennom lensmannen naturskade er blitt meldt og videreformidlet til Landbruksdirektoratet, som er ansvarlig for videre saksbehandling. Oppland fylkeskommune har gjennom arbeidet med regionalplanen for Gudbrandsdalslågen fått tilgang til lensmannens arkiv over naturskader. Majoriteten av naturskadene er blitt registrert og stedfestet av ansatte i Oppland fylkeskommune, men undertegnede har også bidratt med registrering av naturskadehendelser. Skadedatasettet er består per 01.12.2017 av 1455 punkter. Skadepunktene er blitt registrert og stedfestet i den nettbaserte kartløsningen ArcGIS Online.

Naturskadehendelsene som er registrert er blitt kategorisert etter type hendelse, hvor det finnes en rekke ulike kategorier som skade kan registreres under. Disse kategoriene er som følger: steinsprang, ulike typer skred (fjellskred, flomskred, jordskred, sørpeskred, leirskred, løsmasseskred, snøskred), isnedfall, utglidning av vei, skade på vei, flom, skade på vei, annet, skade åpent bekkeløp, skade lukket bekkeløp, skade utenom bekkeløp og erosjon/sedimentasjon. Kategorien «annet» er blitt tatt i bruk når det er gjort skade på infrastruktur slik som brønner, gjerder, stikkrenner, broer og avløpsanlegg. I tillegg til type hendelse, er det tatt i bruk en rekke andre egenskaper for å beskrive skadene som er oppstått. Tabell 9.1 i kapittel 9 gir en detaljert oversikt over disse egenskapene. Av disse egenskapene er det verdiene tilknyttet egenskapen kostnad takst som er spesielt viktig, da denne danner

utgangspunktet for deler av intensitetsanalysen og anvendes som avhengig variabel i regresjonsanalysene. Bakgrunnen for at naturskadedatasettet inneholder en rekke ulike egenskaper har opphav i at Oppland fylkeskommune ønsket å generere statistikk som beskrev omfanget av flommene. Videre ville statistikken kunne brukes som et grunnlag for å vurdere hvilke tiltak som ville være mest aktuelle å implementere.

Utgangspunktet for registrering og stedfesting av naturskadehendelser fra flommene i 2011 og 2013 er takstdokumenter som ble utarbeidet av takstmenn på befaring på eiendommer berørt av flommene. Hvert takstdokument består vanligvis av et skadeskjema, vedlegg med beskrivelse og årsak til skade, utgifter knyttet til reetablering av skadet objekt og kart som viser hvor skaden(e) har skjedd. Som et hjelpemiddel til takstdokumentene, er kartløsningen Gårdskart, som er blitt utviklet av NIBIO, benyttet i registreringsarbeidet. Dette er en nettbasert kartløsning hvor arealtyper (AR5), eiendomsgrenser, FKB-data og andre relevante datasettet vises. Det er i tillegg mulig å lokalisere eiendom ut i fra gårds- og bruksnummer, måle opp størrelse og lengde på objekter og se flyfoto fra ulike årstall (Norsk Institutt for Bioøkonomi, Udatert). Løsningen er blitt benyttet til å lokalisere eiendom som har blitt berørt av naturskade, da takstdokumentene referer til eiendommer ved hjelp av gårds- og bruksnummer. Videre er løsningen blitt benyttet til å identifisere hvor naturskade har skjedd på eiendom og beskrive omfanget av skade. Dette har vært mulig siden løsningen inneholder ortofoto som er blitt tatt i etterkant av flommen i 2013, hvor naturskadene forårsaket av flomhendelsen fortsatt er tydelige. Dette har vært til stor hjelp i registreringen og stedfesting av naturskade. Figur 4.1 viser en skjermdump fra denne kartløsningen hvor ortofoto fra flommen i 2013 vises.



Figur 4.1: Skjermdump fra kartløsningen Gårdskart (Norsk Institutt for Bioøkonomi, Udatert).

## 4.2 Intensitetsanalyse (Getis-Ord $G_i^*$ )

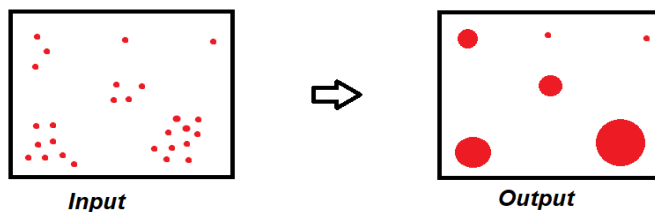
Intensitetsanalyse ble benyttet til å identifisere romlige mønstre for antall naturskadehendelser og kostnaden på naturskadehendelser, ettersom dette kunne gi innsikt i områder hvor flomforebyggende tiltak i forbindelse med regionalplanen kunne iverksettes. Da skadedatasettet består av skader fra flommen i juni 2011 og mai 2013, ble det besluttet å gjennomføre intensitetsanalyser for hvert av disse årene. Bakgrunnen for dette valget skyldtes at de to flommene var forskjellige med hensyn til romlige utbredelse og skadeomfang, hvor forskjellene er ytterligere utdypet i avsnitt 1.2.1. Resultatet fra disse intensitetsanalysene dannet utgangspunktet for valget av områder hvor flomveismodellering skulle gjennomføres og variasjon i kostnad på naturskade skulle undersøkes ved bruk av regresjonsanalyser.

For å kjøre en intensitetsanalyse der hvor man ønsker å analysere intensiteten av en hendelse, representert som punkter, er det en viktig forutsetning som må oppfylles. Verdiene i egenskapskolonnen som benyttes som inputfelt i verktøyet *Hot spot analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ )* må representere aggregerte data (ESRI, Udatert-h). Dette betyr at dersom intensitetsanalysen hvor antall naturskadehendelser benyttes som vekter, må punktene som representerer naturskade, aggregeres. For å lage en egenskapskolonne som inneholder de aggregerte naturskadedataene, var det flere verktøy som ble tatt i bruk.

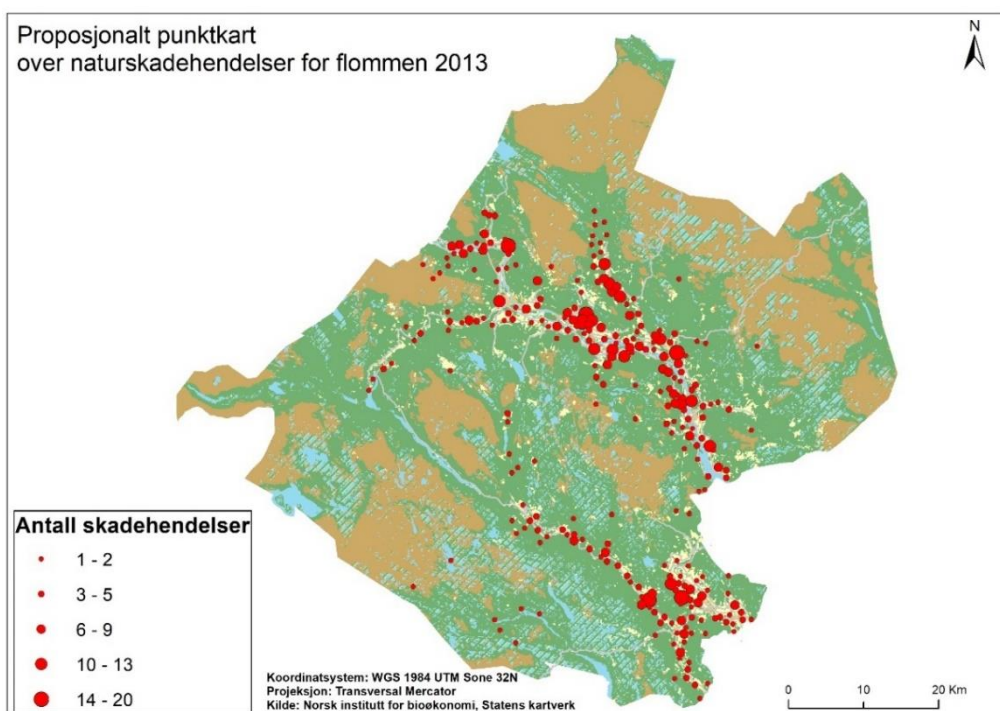
Verktøyet *Integrate* ble først anvendt. Dette er et aggregeringsverktøy som opprinnelig benyttes til å slå sammen punkter som ligger innen en viss avstand fra hverandre, og denne avstanden spesifiseres i alternativet XY Tolerance (ESRI, 2012c). Dette verktøyet kan derimot også anvendes i forbindelse med intensitetsanalyser, da verktøyet gjør det mulig å tilegne vekter til punkter som ligger innenfor en spesifikk avstand fra hverandre. Vekten som tilegnes et skadepunkt er antall skadepunkter som ligger innenfor avstanden, spesifisert i XY Tolerance, fra dette skadepunktet (Hole, 2015). For å finne en passende avstand ble *Near* tatt i bruk. Dette verktøyet kan benyttes til å beregne avstand mellom et objekt og det mest nærliggende objektet i det samme temakartlaget (ESRI, 2009c). En gjennomsnittlig avstand mellom skadepunkter kan dermed identifiseres ved å kalkulere statistikk for egenskapskolonnen i datasettet som *Near* produserer. Gjennomsnittlig avstand beregnes for å få en indikasjon på hva som kan være en fornuftig avstand å bruke i spesifiseringen av XY Tolerance. Generert statistikk for egenskapskolonnen med distanseverdi viste at gjennomsnittlig avstand for 2011- og 2013-flommen var på henholdsvis 400 og 326 meter for hvert punkt, og disse verdiene ble brukt til spesifisering av XY toleranse. Merk at *Integrate* ikke generer et nytt datasett, men angir kun hvilke punkter som skal aggregeres til et punkt.



For å genere et nytt datasett, må *Collect Events* anvendes. Dette verktøyet benytter resultatet fra *Integrate* og oppretter vektet punktdata ved å aggregere sammen punkter som ligger innenfor avstanden oppgitt i XY Tolerance til ett punkt. Resultatet er da et nytt datasett i form av et vektet temakartlag hvor en ny egenskapskolonne kalt ICOUNT opprettes og brukes for å representere temakartlaget som et proporsjonalt symbolkart. Verdiene i denne kolonnen indikerer hvor mange punkter som er aggregert (ESRI, 2009a), og representerer vektene som benyttes for å analysere intensiteten av naturskadehendelser. Figur 4.2 gir en illustrasjon på hva dette verktøyet gjør, mens figur 4.3 viser resultatet av verktøyet for studieområdet. Ved kjøring av *Hot spot analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ )* er det kolonnen ICOUNT som tas i bruk som i inputfeltet til verktøyet, og dette muliggjør en analyse av det romlige mønsteret for intensiteten av naturskadehendelser.



Figur 4.2: Illustrasjon av hvordan verktøyet *Collect Events* aggreger punkter (ESRI, 2009a).



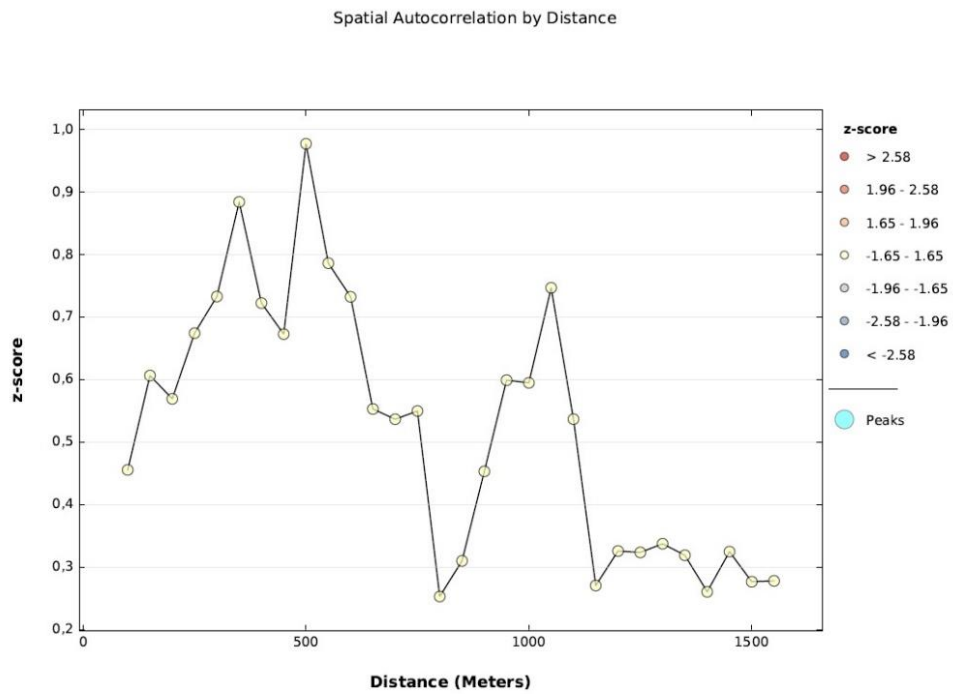
Figur 4.3: Aggregerte skadedata for naturskadehendelser registrert for 2013-flommen.

For intensitetsanalysene der hvor naturskade skulle vektet etter kostnaden på naturskade, måtte det også identifiseres en avstand som angir hvilke objekter som skal tilegnes vekter. Ved kjøring av *Hot spot analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ )* spesifiseres dette i alternativet Distance Band. I tillegg måtte det også angis en metode som bestemmer hvordan objekter innenfor og utenfor denne avstanden skulle vektet, og dette angis i alternativet Conceptualization of Spatial Relationship (ESRI, Udatert-e).

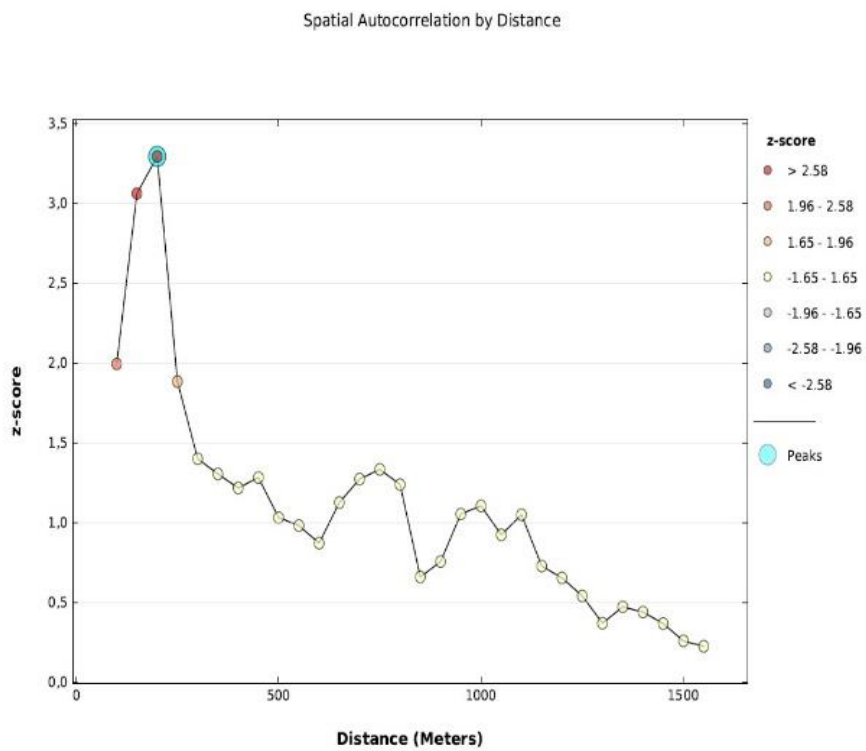
For å identifisere avstanden som skulle tas i bruk i alternativet Distance Band ble *Incremental Spatial Autocorrelation* tatt i bruk. Dette er et verktøy som måler romlig autokorrelasjon ved ulike distanser basert på startdistanse, intervalldistanse og antall iterasjoner angitt av brukeren. Resultatet er en graf som viser distanse og romlig autokorrelasjon, gitt ved en z-skår, for hvert intervall. Grafen vil normalt bestå av en eller flere toppunkter, som angir avstanden hvor romlig autokorrelasjon er størst, og dermed indikerer hvor de romlige prosessene som promoterer romlige mønstre er størst. Avstandsverdien for disse toppunktene egner som verdi for spesifisering av Distance band (ESRI, Udatert-l). Bakgrunnen for at dette verktøyet ble anvendt skyldtes at det anbefales ved kjøring av *Hot spot analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ )* å benytte en avstand som reflekterer maksimal romlig autokorrelasjon (ESRI, Udatert-p), og *Incremental Spatial Autocorrelation* kan benyttes til å identifisere en slik avstand.

Ved kjøring av dette verktøyet, ble det tatt i bruk en startdistanse på 100 meter, intervalldistansen ble satt til 50 meter og 30 iterasjoner ble kjørt. Resultatet av analysene er illustrert i figur 4.4 og 4.5, som viser at den romlige autokorrelasjonen er størst for skadepunktene fra 2011-flommen ved en distanse på 500 meter, mens skadepunktene fra 2013-flommen viser sterkest romlig autokorrelasjon ved 200 meter. Disse distansene ble deretter anvendt som parameter i alternativet Distance band. Merk her at det er kun avstanden for 2013 flommen som er statistisk signifikant.

Det siste steget før *Hot spot* verktøyet kunne kjøres, var å spesifisere hvilken metode som skulle benyttes til å angi hvordan objekter innenfor og utenfor avstanden gitt i Distance Band skulle vektet. Det finnes en rekke ulike metoder som kan anvendes, og i analysene ble metoden Zone of Indifference valgt. Denne metoden gir objekter innenfor avstanden angitt i Distance Band samme vekt, mens vekten til objekter utenfor reduseres gradvis med avstand (ESRI, Udatert-p). Bakgrunnen for at denne metoden ble valgt er gitt i avsnitt 6.2.



Figur 4.4: Romlig autokorrelasjon for egenskapen kostnad på naturskade for skadepunkter registrert for 2011-floppen.

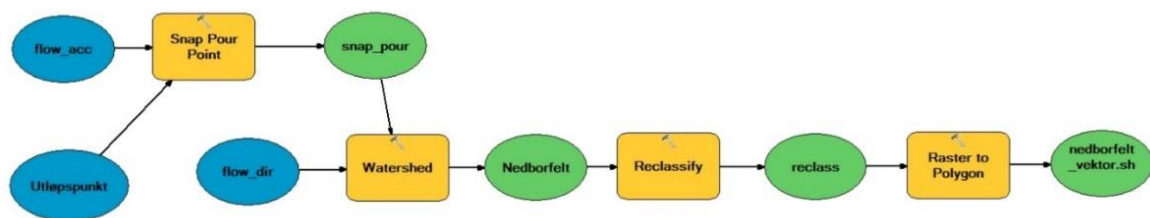


Figur 4.5: Romlig autokorrelasjon for egenskapen kostnad takst for skadepunkter registrert for 2013-floppen.

### 4.3 Avgrensning av studieområde ved generering av nedbørfelt

Som nevnt i avsnitt 3.6, kan et nedbørfelt defineres som et område som drenerer til samme utløpspunkt. Slike områder er egnede til å anvende som studieområde da de gir et avgrenset og definert område hvor analyse kan foretas. Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE) har utarbeidet et datasett, kalt REGINE, som gir en oversikt over alle nedbørfelt i Norge. Dette datasettet består i dag av 20 000 enheter og leveres som vektordata. Ettersom utgangspunktet for inndelingen av nedbørfelt er N50 kartdata (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2017), vil ikke mindre elver tas hensyn til i bestemmelsen av nedbørfelt, noe som vil gi store og mindre detaljerte nedbørfelt. Det ble med bakgrunn i denne ulempen ved REGINE-datasettet besluttet å generere egne nedbørfelt. Dette ville i tillegg avgrense studieområdet hvor flomveismodellering og regresjonsanalyser skulle gjennomføres.

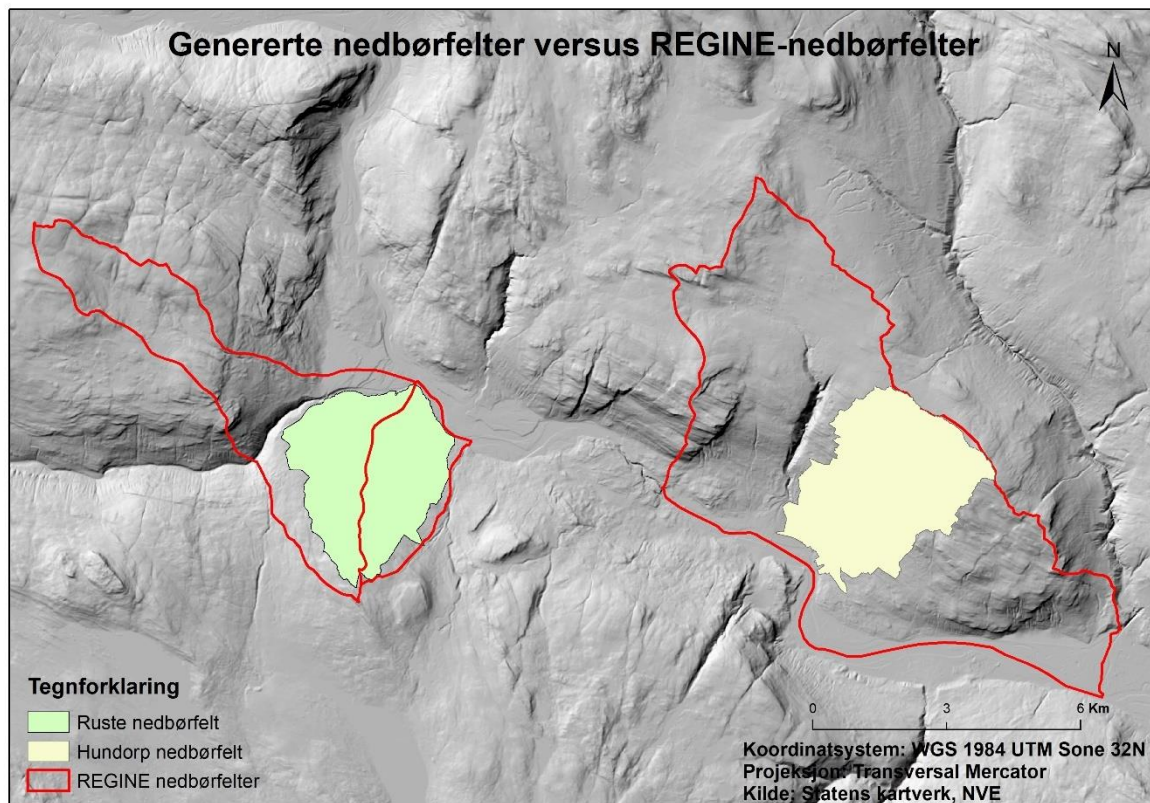
Figur 4.6 gir en beskrivelse av arbeidsprosessen for å generere nedbørfelt for begge studieområdene. Som det fremgår av figuren er det benyttet tre ulike inngangsdatasett: dreneringsretning, akkumulert overflatestrømning og utløpspunkter (engelsk: *Pour Point*). Et eget punktlag ble konstruert for utløpspunktene, og disse ble manuelt plassert ved utløpet av elvene som fantes i studieområdene. Utgangspunktet for plasseringen av disse punktene var rasteret over akkumulert overflatestrømning. Verktøyet *Snap Pour Point* ble deretter anvendt slik at de plasserte punktene automatisk flyttes til nærmeste celle med høyeste akkumuleringsverdi (ESRI, 2011d). Dette verktøyet bidrar til å forhindre at eventuelle feilplasseringer ved manuell plassering av utløpspunktene ikke har innvirkning på det endelige resultatet.



Figur 4.6: Arbeidsfly for å generere nedbørfelt.

Resultatet etter bruk av *Watershed* var et rasterlag som inneholdt flere ulike nedbørfelt, hvor hvert enkelt nedbørfelt har fått en unik verdi. Ved å bruke verktøyet *Reclassify* ble alle nedbørfeltene samlet som et rasterlag, og dette ble gjort ved at verdiene for de ulike nedbørfeltene ble omkodet til samme verdi. Bakgrunnen for at disse ble slått sammen skyldes at dette forenklet konverteringen av nedbørfeltet til vektordata. Resultatet etter reklassifiseringen kunne dermed enkelt konverteres til et vektorlag ved å bruke *Raster to*

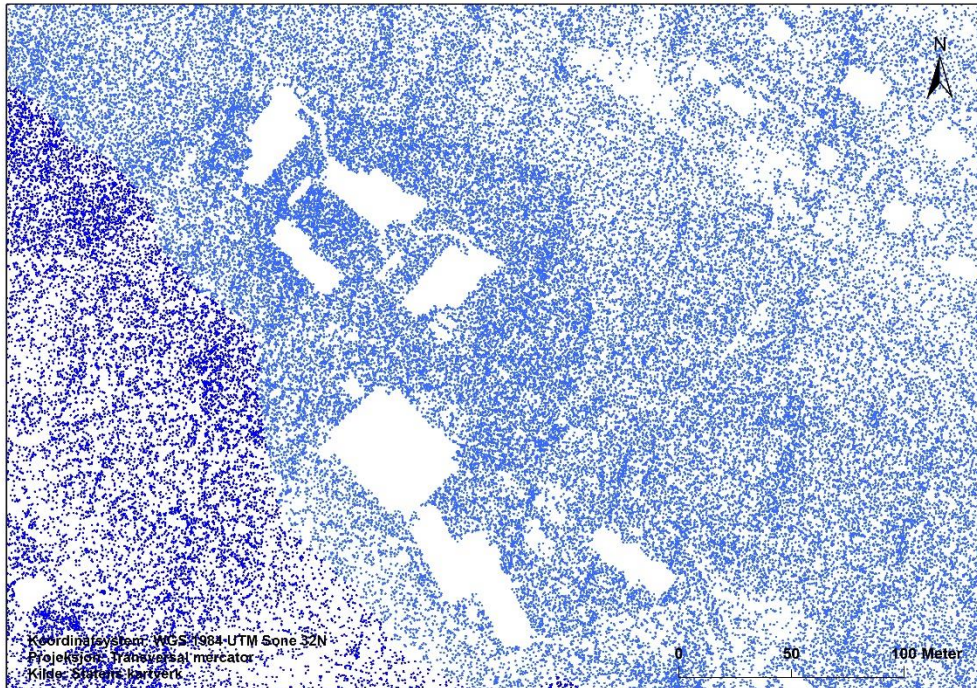
*Polygon*. Figur 4.7 viser de ferdige vektorlagene for begge nedbørfeltene, og i tillegg er det i figuren inkludert nedbørfeltene fra REGINE-datasettet som ligger i studieområdene. Som det fremkommer av denne figuren, dekker nedbørfeltene fra REGINE et større område enn de genererte nedbørfeltene, spesielt gjelder dette for området ved Hundorp. Dermed er bruk av egengenererte nedbørfelter mer passende da disse bidrar til å avgrense et mindre område hvor mer detaljerte analyser kan foretas.



Figur 4.7: Genererte nedbørfelt for Ruste og Hundorp, og nedbørfelt hentet fra REGINE-datasettet.

#### 4.4 Prosessering av LiDAR-data

LiDAR-skanningene som dannet utgangspunktet for generering av høydemodeller, ble begge levert i form av LAS-filer. Statistikk tilknyttet LAS-filene viser at nedbørfeltet ved Hundorp bestod av 49 LAS-filer og 278 419 409 LiDAR-punkter, hvorav 100 441 226 av disse er klassifisert som bakkepunkter. Nedbørfeltet ved Ruste bestod derimot av 69 LAS-filer og totalt 264 694 206 LiDAR-punkter, hvorav 66 049 366 er klassifisert som bakkepunkter. LiDAR-datasettene som danner utgangspunkt for LAS-filene hadde projeksjonen WGS 1984 UTM sone 32N og NN2000 som vertikaldatum.



Figur 4.8: Illustrasjon av punktskyen som danner grunnlaget for generering av DHM. Forskjell i farge reflekterer høydeverdien på punktene, mens hvite områder er bygninger som er blitt filtrert bort.

#### 4.4.1 Valg av romlig oppløsning

Ved prosessering av LiDAR-data til DHM, er valget av passende romlig oppløsning et sentralt moment da dette har innvirkning på analysene som gjøres på grunnlag av DHM. Dette valget bør ta hensyn til egenskaper og variasjoner ved kildedataene og studieområdet, samtidig som datamengden minimeres slik at tiden for prosessering og analyser reduseres. Videre er det også viktig å ta hensyn til hvilken type analyse som skal gjennomføres (ESRI, 2008a; Liu, 2008). Med utgangspunkt i disse kriteriene er det utviklet en rekke ulike metoder for å finne passende romlig oppløsning, og en av disse metodene er utviklet av McCullagh (1988). Denne metoden tar utgangspunkt i studieområdets utstrekning og antall terrengpunkter, og er gitt ved følgende formel:

$$S = \sqrt{\frac{A}{n}}$$

Hvor  $S$  er cellestørrelse,  $A$  er studieområdets areal og  $n$  er antall terrengpunkter. Denne formelen tar hensyn til både egenskaper ved kildedataene og studieområdet, og bidrar til at oppløsningen stemmer overens med LiDAR-punktene (Liu, 2008). Tar man utgangspunkt i denne formelen vil cellestørrelsen for nedbørsfeltene ved Hundorp og Ruste bli følgende:

$$Hundorp S = \sqrt{\frac{12220900}{100\ 441\ 266}} = 0,34\ m/punkt$$

$$Ruste S = \sqrt{\frac{11132400}{66\ 049\ 366}} = 0,41\ m/punkt$$

For studieområdene blir størrelsen på cellene beregnet til å være 0,34 m for Hundorp og 0,41 m for Ruste. Beregnet oppløsning for områdene kan klassifiseres som høy, og vil bidra til å generere DHM-er hvor det er mulig å gjengi små detaljer i terrenget. En ulempe med å ta i bruk denne formelen, er ifølge Liu (2008), at den ikke tar hensyn til terrengets variasjon og kompleksitet. Denne formelen tar videre ikke betraktning til formålet ved studien, nemlig å modellere overflatevann og generere terrengparametere. Videre vil en celledørrelse på 0,34 m og 0,41 m gi betraktelig datamengder, noe som vil bidra til å forlenge prosesseringstid ved analyse. Dette er ønskelig å unngå da det er flere prosessorkrevende analyser som skal kjøres. Samlet sett bidro dette til at beregnet celledørrelse ved bruk av McCullaghs formel ble sett bort i fra.

Med utgangspunkt i tidligere studier hvor formålet har vært modellering av overflatevann, ble istedenfor en celledørrelse på 1 meter valgt. Lignende studier gjennomført av Bratlie (2015), Meiforth (2013), Viréhn (2014) og Hole (2015) har tatt i bruk DHM med celledørrelse på 1x1 meter. En slik celledørrelse ble vurdert som tilfredsstillende i denne oppgaven også, da den vil bevare kompleksiteten og nødvendige detaljer ved terrenget. Dette vil ved senere analyser bidra til en mer nøyaktig modellering av overflatevann. Samtidig er en slik celledørrelse i større grad tilpasset faktumet at prosessorkrevende analyser skal kjøres, og vil bidra til å redusere datamengden.

#### 4.4.2 Interpolasjon av LiDAR-data

For å generere DHM er det nødvendig å interpolere LiDAR-data, og i oppgaven ble interpolasjonsmetodene *IDW*, *Natural neighbor*, *Maximum*, *Minimum*, *Average*, *Nearest* og *Topo to Raster* testet. Bakgrunnen for at disse metodene har blitt testet skyldes at flere av metodene har i litteraturen blitt diskutert i forbindelse med hvilken interpolasjonsmetode som er den mest passende for å generere den mest nøyaktige DHM (Liu, 2008; Rishikeshan et al., 2014). Derfor var det ønskelig å teste hvilken interpolasjonsmetode som var mest nøyaktig. Alle metodene unntatt *Topo to Raster* ble generert ved bruk av verktøyet *LAS Dataset to Raster*, hvor utgangspunktet for interpolering var LAS-filer bestående kun av bakkepunkter.

*Topo to Raster* er en interpolasjonsmetode som tar utgangspunkt i flere ulike vektorlag, deriblant høydekurver og elver, for å generere en hydrologisk korrekt DHM (ESRI, 2012b).

#### **4.4.2.1 LAS to Raster**

I verktøyet *LAS-dataset to Raster* er det mulig å velge mellom to ulike tilnæringer for å bestemme celleverdi, henholdsvis *Binning* og *Triangulering*. Førstnevnte tilnærming angir celleverdi ved å velge ut punkter som faller innenfor en celles utstrekning. Tilknyttet denne tilnærmingen finnes det fem ulike metoder for å bestemme celleverdien, og DHM for hver av disse metodene ble generert. *Average* beregner en gjennomsnittsverdi for cellen basert på verdien til punktene som er lokalisert i cellen. *Minimum* tildeler cellen den laveste verdien som punktene innenfor cellen har. Tilsvarende gjøres ved teknikken *Maximum*, men istedenfor er utgangspunktet punktene med høyest verdi. *Inverse Distance Weigthing (IDW)* er interpolasjonsmetode hvor avstandsvektning bestemmer celleverdien, og denne er allerede utdypet i avsnitt 3.3.2.1. Den siste teknikken som ble anvendt er *Nearest Neighbour*, som tildeler cellen verdi basert på punktene som ligger nærmest senteret i cellen (ESRI, 2016a, udatert-o).

Ved *Triangulering* bestemmes celleverdi ut i fra bruk av TIN-struktur. I likhet med *Binning* interpolasjon, kan man i denne tilnærmingen benytte ulike metoder for å bestemme celleverdi, deriblant *Linear* og *Natural Neighbour*. Av disse metodene ble *Natural Neighbour* testet, og prinsippet bak denne teknikken er beskrevet i avsnitt 3.3.2.2.

#### **4.4.2.2 Topo to Raster**

Ettersom en av problemstillingene i oppgaven har som formål å gjenskape flomveier som oppstod under flommene i 2011 og 2013, var det ønskelig å generere en DHM som var interpolert med utgangspunkt i dette. Derfor ble *Topo to Raster* også testet ut som interpolasjonsmetode. Dette er en interpolasjonsmetode som er spesifikt utviklet for å konstruere en hydrologisk korrekt høydemodell. Metoden interpolerer høydeverdier samtidig som den innfører begrensninger eller knekklinjer, noe som sørger for et korrekt dreneringsnettverk og en korrekt representasjon av terreng med utgangspunkt i høydekurver. Slike begrensninger innføres ved å ta i bruk vektordata som inngangsdata. Samlet sett bidrar dette til å generere svært nøyaktige kontinuerlige overflater basert på minimalt med inngangsdata. Datamengdene vil dermed være betraktelig mindre enn ved bruk av andre interpolasjonsmetoder (ESRI, 2012b).

Ved bruk av denne interpolasjonsmetoden danner ulike vektordata, enten i form av punkt, linje eller polygon, utgangspunktet for interpoleringen. FKB-data ble benyttet som



inngangsdata, hvor data fra vann, høydekurve og høydepunktet ble tatt i bruk. Disse dataene ble klassifisert ut i fra hvilken type data det dreide seg om. Figur 4.9 viser hvilken klassifisering de ulike datasettene har fått. Det finnes en rekke innstillinger som kan anvendes ved bruk denne interpolasjonsmetoden, og to spesielt viktig er drainage enforcement og primary input data. Under førstnevnte innstilling ble alternativet enforce benyttet, da dette sørget for at alle forsenkninger fylles igjen under interpolering. Ved primary input data ble contour benyttet. Ved valg av dette alternativet, benyttes FKB-høydekurver som hovedgrunnlag for interpolering og dermed bestemmelse av høydeverdi for hver celle i DHM. Videre ble cellestørrelse satt til 1x1 meter.

Feature layer	Field	Type
hoydepunktp_clip	HOEYDE	PointElevation
vann_clip		Stream
hoydekurvel_clip	HOEYDE	Contour

Figur 4.9: Skjermdump fra Topo to Raster, som viser hvilken klassifisering inngangsdata har fått.

#### 4.4.3 Root Mean Square Error

Ettersom flere interpolasjonsmetoder ble benyttet til å generere høydemodeller, var det ønskelig å identifisere hvilken av disse metodene som genererte den mest nøyaktige høydemodellen. Dette ble gjennomført ved å ta i bruk Root Mean Square Error (RMSE). Interpolasjonsmetoden som generer DHM med lavest RMSE-verdi utgjør et av to kriterier for valget av interpolasjonsmetode. Det andre kriteriet bygger på et krav om at interpolasjonsmetoden skulle generere en DHM som er hydrologisk korrekt, det vil si at modellerte flomveier følger etablerte elve- og bekkeløp. Begge disse kriteriene og resultatene er utdypet i avsnitt 5.3. Bakgrunnen for at disse kriteriene har blitt utarbeidet og er viktige å vurdere skyldes at interpolasjonsmetoden som velges, skal benyttes til å generere høydemodellen som danner utgangspunkt for flomveismodellering og regresjonsanalysene. Dersom valgt interpolasjonsmetode introduserer feil i høydemodellen, vil dette kunne påvirke resultatet for disse analysene.

RMSE er et mål på forskjellen mellom referansepunkter med kjent målt høydeverdi og punkter hvor høydeverdien har blitt beregnet gjennom interpolasjon. I forbindelse med referansepunkter burde disse være jevnt fordelt over studieområdet og målt ved en høyere nøyaktighet enn generert DHM. Resultatet av RMSE spesifiserer unøyaktigheten knyttet til høydeverdier i det vertikale plan (ESRI, udatert-r; Reuter et al., 2009). RMSE er gitt ved følgende formel (Reuter et al., 2009):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [Z(S_i) - Z_{REF}(S_i)]^2}{n}}$$

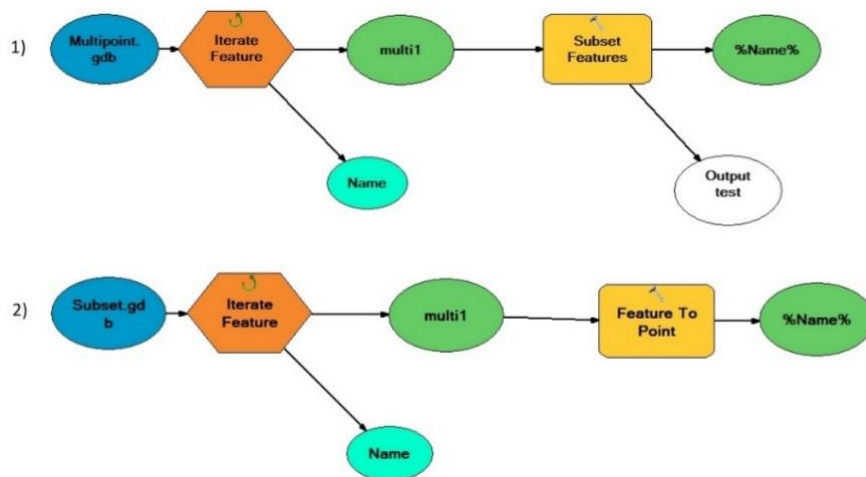
Der hvor  $Z(S_i)$  er høydeverdien for interpolert punkt,  $Z_{REF(S_i)}$  verdien for referansepunkt og  $n$  er antall referansepunkt. I denne studien ble RMSE beregnet ved å i bruk interpolerte høydeverdier fra utvalgte celler fra DHM generert ved bruk av LiDAR-skanningene gjennomført i 2012 og 2013, og ekstraherte LiDAR-punkter med kjent høydeverdi fra LiDAR skanning gjennomført i 2009. LiDAR-punktene fra sistnevnte datasett ble benyttet som referansepunkter, og avsnitt 4.4.3.1 gir en beskrivelse av hvordan disse ble valgt ut og ekstrahert.

#### 4.4.3.1 Utvalg av LiDAR-punkter til bruk i RMSE-test

For å velge ut LiDAR-punkter med høydeverdi fra skanningen gjennomført i 2009, ble flere verktøy benyttet. Først ble *LAS to Multipoint* benyttet. Dette verktøyet konverterer LiDAR-punkter fra LAS-filer til multipunkter, som er punkter som inneholder en samling av egenskaper fra ulike punktdatasett (ESRI, udatert-b). Ved prosessering av LiDAR-data ved bruk av dette verktøyet, vil et utvalg av LiDAR-punkter samles under et punkt i det nye multipunktlaget. Dette bidrar til at fremvisningen og håndteringen av data blir lettere ettersom datamengden reduseres. I denne studien ble det generert multipunkter for et utvalg av LAS-filene i studieområdet, og det ble fokusert på å lage multipunktlag for LAS-filer som falt fullstendig innenfor studieområdet. For studieområdet ved Ruste ble det produsert 27 datasett med multipunkter, mens for studieområdet ved Hundorp ble det produsert 28 datasett. Disse datasettene inneholdt en kolonne med informasjon om hvor mange LiDAR-punkter hvert enkelt multipunkt representerer. Det var derimot ikke tilknyttet noe høydeverdi for disse punktene. For å legge til dette ble verktøyet *Add Z Information* benyttet, hvor  $z$ -verdi for hvert enkelt punkt blir lagt til i attributt Tabellen (ESRI, udatert-a).

Før *Add Z Information* ble benyttet, var det derimot nødvendig å gjøre et utvalg av multipunktene og deretter konvertere utvalget til enkeltpunkter. Dette ble gjennomført ved å ta i bruk verktøyene *Subset Features*, *Merge* og *Feature to Point*. Verktøyet *Subset Features* ble benyttet til å velge antall multipunkter som skulle benyttes som referansepunkter, og ble besluttet å velge ut 75 % av punktene. I etterkant av dette ble alle datasettene koblet sammen til et datasett ved å bruke *Merge*. *Feature to point* ble deretter benyttet for å konvertere multipunktene til enkeltpunkter. Tilslutt ble *Add Z information* benyttet. Figur 4.10 gir en illustrasjon av arbeidsflyten for å gjøre et utvalg av multipunktene og konverteringen av disse til enkeltpunkter med  $z$ -verdi. Merk her at verktøyet *Iterate Feature* ble benyttet i *Modelbuilder*. Dette verktøyet itererer gjennom hvert datasett i den valgte geodatabasen og

utfører ønsket verktøy. Dette bidrar til at man unngår å måtte lage en tilsvarende modell for hvert enkelt datasett i geodatabasen, noe som bidrar til å redusere arbeidsmengden.



Figur 4.10: Arbeidsflyt for å danne et utvalg av multipunkter og for å konvertere disse til enkeltpunkter.

#### 4.5 Modifisering av digitale høydemodeller

En av denne oppgavens underproblemstillinger er rettet mot spørsmålet om hvorvidt det er mulig å gjenskape flomveier som oppstod under flommene i 2011 og 2013, og om disse kan valideres ved bruk av naturskadedatasettet. For å svare på denne problemstillingen, er det nødvendig å modifisere DHM slik at den inneholder stikkrenner og kulverter som er både åpne og lukkede. Bakgrunnen for dette skyldes at under flommene i 2011 og 2013 oppstod situasjoner hvor noen stikkrenner og kulverter ble tettet igjen, mens andre ble holdt åpne. Tidligere studier, slik som Meiforth (2013) og Sellæg (2016), har modellert to tenkte scenarioer, en hvor alle stikkrenner er åpne og en hvor alle stikkrenner er stengt. Forfatterne av disse studiene har derimot ikke hatt informasjon som har gjort det mulig å vite hvilke stikkrenner som har vært tettet eller åpne, og derfor har ikke det vært mulig å gjenskape sannsynlige flomveier for spesifikke flomsituasjoner. Dette har derimot Bratlie (2015) gjort i sin studie av flomveier som oppstod under flommen Frida i Nedre Eiker kommune i august 2012. Basert på informasjon om stikkrenner som gikk tett ved Årbogen-dammen under flommen, ble DHM modifisert slik at tette stikkrenner ble stengt igjen. Resultatene av modelleringen viste seg i dette området å tilsvare flomveiene som faktisk oppstod under flommen (Bratlie, 2013). Å gjenskape spesifikke flomsituasjoner har dermed blitt gjennomført tidligere, men trolig ikke i samme omfang som denne oppgaven har som mål å utføre.

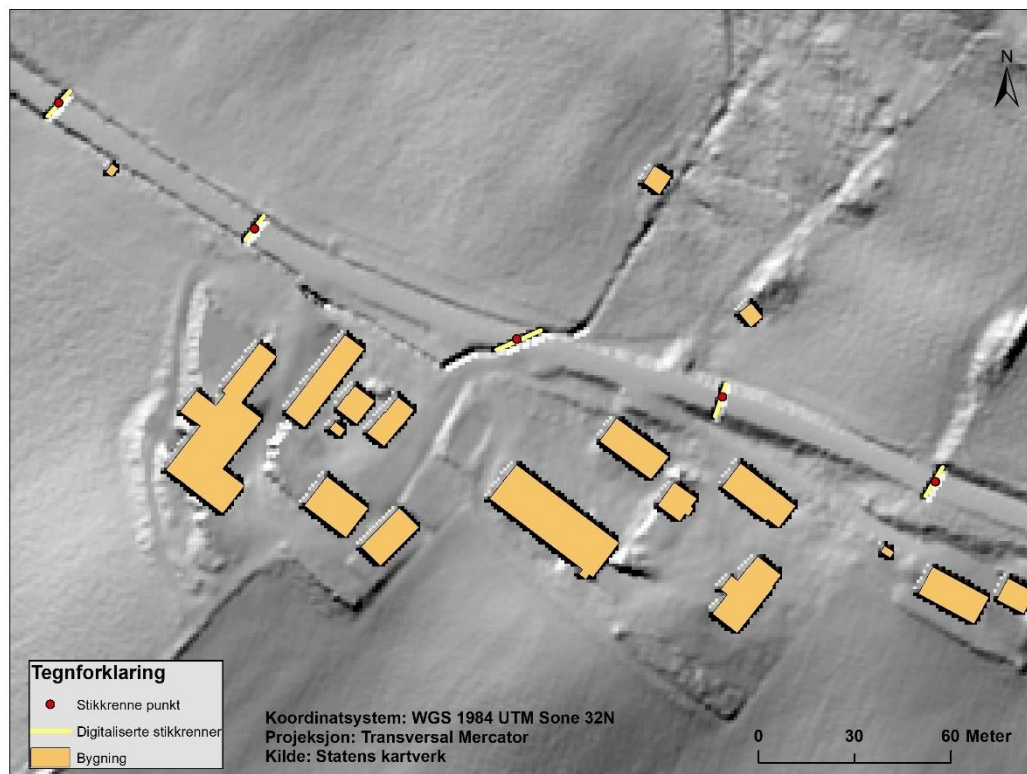
For å gjenskape flomveiene fra flommene var det nødvendig å modifisere DHM i flere ulike steg. Det første steget var å foreta en hevning av alle bygninger, slik at modellert overflatevann drenerer langs bygningers omriss, og ikke gjennom. Deretter ble alle stikkrenner og kulverter senket, og sammen med hevede bygninger var resultatet av disse modifikasjonene en DHM hvor man har en normalsituasjon med åpne stikkrenner. Denne høydemodellen ble benyttet til å modellere flomveier med åpne dreneringsveier. Det siste steget var å modifisere en ny DHM slik at den inneholdt både lukkede og åpne stikkrenner. For å identifisere hvilke stikkrenner og kulverter som har vært lukket og åpnet under flommen, ble naturskadedatasettet benyttet som utgangspunkt da datasettet inneholder informasjon om hvorvidt stikkrenne(r) har blitt tettet igjen under flommene. Stikkrenner som ble holdt åpne under flommene ble senket, mens lukkede stikkrenner ble ikke inkludert i det siste steget av modifiseringen.

#### **4.5.1 Digitalisering av stikkrenner og kulverter**

Som en del av arbeidet med å gjenskape flomveier som oppstod under flommene i 2011 og 2013 var det nødvendig å modifisere DHM slik at stikkrenner som ikke hadde gått tett i løpet av flommene ble senket. Som nevnt i avsnitt 4.1 ble stikkrenne- og kulvertdata innhentet fra ulike kilder; NVDB, BaneNor og FKB. Stikkrennedataene hentet fra NVDB og BaneNor bestod kun av punkter lokalisert midt på vei eller jernbane, og det var derfor nødvendig å digitalisere disse til linjer. FKB-vann inneholdt linjeelementer som viste utstrekningen til kulverter og disse ble hentet ut ved å bruke *Select By Attributes*. Objekter som hadde verdien U under kolonnen Medium ble hentet ut i dette utvalget. Kolonnen Medium beskriver objektets beliggenhet i forhold til terrengoverflaten, og verdien U indikerer at objektet går under bakken (Statens Kartverk, 2016). Objekter med verdien U vil dermed være en indikasjon på tilstedeværelsen av kulvert eller stikkrenne.

For å digitalisere punktene til linjer ble editeringsverktøyet i ArcMap brukt. Hver stikkrenne var i datasettene representert som et punkt, og ved digitalisering ble det trukket en linje gjennom dette punktet. For å redusere feilkilder knyttet til lengden på digitalisert linje, ble et skyggekart generert og anvendt som et hjelpemiddel. Dette bidro til at det var mulig å identifisere grøfter på begge sider av veien eller jernbane som stikkrenne gikk gjennom. Dermed kunne passende lengde på stikkrenne velges. For Ruste ble 101 stikkrenner digitalisert, mens i studieområdet ved Hundorp ble 105 stikkrenner digitalisert. Etter digitalisering ble stikkrennedata konvertert til raster, hvor generert DHM ble benyttet som

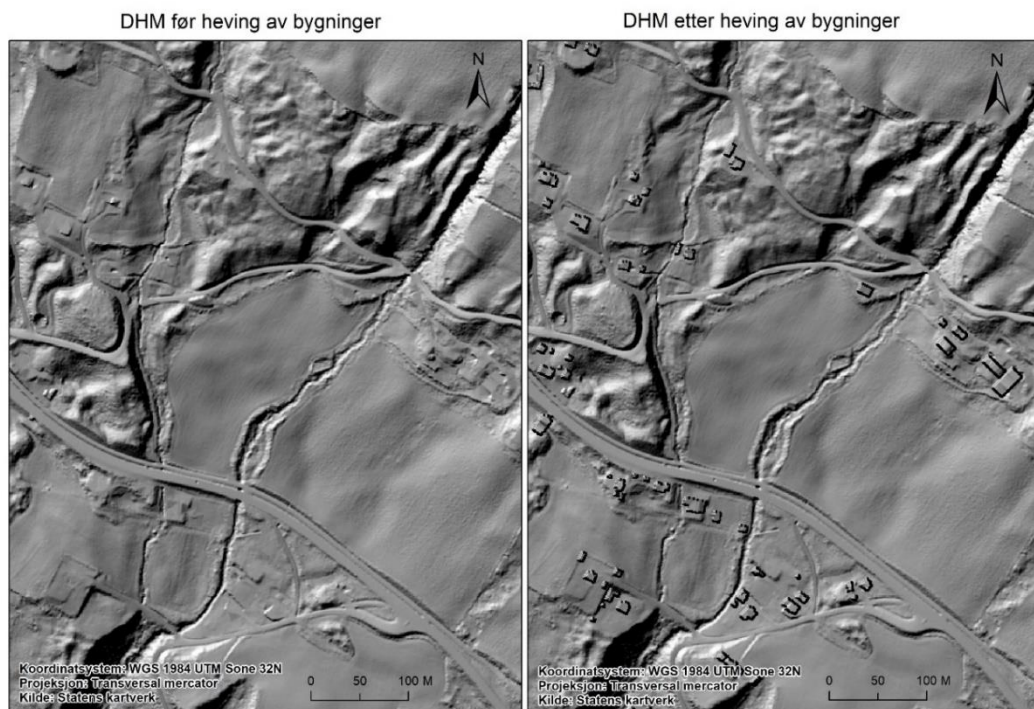
snapperaster. For eksisterende digitaliserte kulverter hentet fra FKB-vann ble også konvert til rasterdata på denne måten.



Figur 4.11: Punkter som representerte stikkrønner hentet fra NVDB og ferdig digitaliserte stikkrønner.

#### 4.5.2 Heving av bygninger

Data som dannet utgangspunktet for å heve bygninger i DHM var datasettet FKB-bygninger. Det første verktøyet som ble brukt var *Clip*, hvor et utvalg av bygninger som falt innenfor studieområdet ble valgt. Deretter ble en ny egenskapskolonne lagt til, med navnet høyde, hvor alle objekter fikk tildelt verdien 15 i denne kolonnen. Dette datasettet ble konvertert til et rasterlag ved bruk av *Polygon to Raster*, hvor verdiene i kolonnen høyde dannet utgangspunktet for tildelingen av verdier til objekter i det resulterende rasterlaget. Resultatet var et rasterlag hvor alle bygninger hadde fått tildelt verdien 15. Årsaken til at verdien 15 ble valgt, skyldes at bygningene skulle heves med 15 meter. En høydeverdi på 15 meter for alle bygninger representerer ikke den faktiske høyden til bygningene i virkeligheten, men ble valgt på grunnlag av at den ville utfylle hensikten med hevingen, å sørge for at vannet drenerer langs bygningenes omriss (Meiforth, 2013). Det siste steget for å heve bygninger var å benytte verktøyet *Plus*. I dette verktøyet blir celler fra det reklassifiserte bygningsrasteret addert cellene fra den opprinnelige høydemodellen, hvor resultatet blir en ny DHM med hevede bygninger, som vist i figur 4.12.

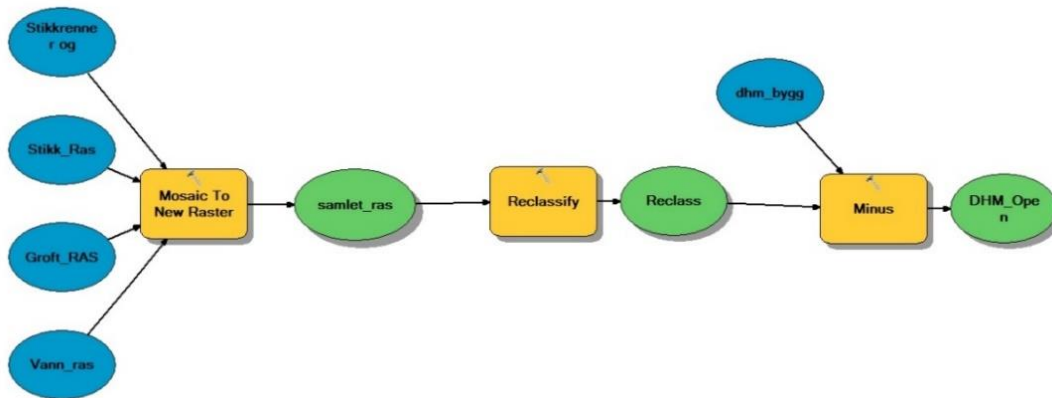


Figur 4.12: Forskjell før og etter heving av bygninger av DHM, her illustrert med fjellskygge.

### 4.5.3 Generering av DHM med åpne stikkrenner og kulverter

Proessen for å generere DHM med åpne stikkrenner er illustrert i figur 4.13. Som det fremkommer av denne figuren, var det første steget å samle de ulike rasterdatasettene i et datasett, og dette ble gjort ved å bruke *Mosaic to New Raster*. Det nye samlede datasettet ble deretter reklassifisert. Celler som representerte stikkrenner og kulverter fikk verdien 2, mens celler uten stikkrenner og kulverter fikk verdien 0. Verdien 2 betyr her at utvalgte celler skal senkes to meter. Bakgrunnen for at cellene senkes med to meter skyldtes at ved bruk av denne verdien så drenerte modellert overflatevann gjennom stikkrenner og kulverter, samtidig som forsenkninger som oppstod som følge av senkingen, ikke hadde innvirkning på dreneringen. Det faktumet at forsenkninger oppstod som følge av modifiseringen diskuteres ytterligere i avsnitt 6.5.1.

Det samlede rasterdatasettet ble etter reklassifisering brukt som input i verktøyet *Minus*, hvor rasterdatasettet ble subtrahert fra DHM med hevede bygninger. Celler som hadde verdien 2 ble subtrahert cellene i DHM med hevede bygninger, og resultatet av dette var et ny DHM med hevede bygninger hvor stikkrenner og kulverter var åpne.



Figur 4.13: Arbeidsflyt for å reklassifisere stikkrenner og senke disse i DHM.

#### 4.5.4 Gjenskaping av flomsituasjonene i 2011 og 2013

For å gjenskape flomveier som oppstod i forbindelse med flommene i 2013 og 2011 var det nødvendig å identifisere stikkrenner og kulverter som mest sannsynligvis har blitt tettet igjen i løpet av flommene, og dermed bidratt til et endret dreneringsmønster. Identifisering av tette stikkrenner og kulverter ble foretatt ved å undersøke registrerte skadepunkter både visuelt og i egenskapstabellen. For å undersøke skadepunktene visuelt, ble modellerte flomveier generert som et hjelpemiddel. Utgangspunktet for genereringen av flomveiene var DHM med åpne stikkrenner og hevde bygninger, som er beskrevet i avsnitt 4.5.3. Modellerte flomveier som ikke sammenfalte med registrerte skadehendelser ble nærmere undersøkt i egenskapstabellen for å avgjøre om årsak til skade skyldtes tette stikkrenner. I de tilfeller der det viste seg at en tette stikkrenne eller kulvert var årsak til skade, ble disse identifisert og redigert bort fra datasettene. Totalt ble 3 stikkrenner og 4 kulverter fjernet for nedbørfelt ved Hundorp, mens for nedbørfeltet ved Ruste viste det seg at ingen av skadene skyldtes tette stikkrenner.

Resterende stikkrenner ble deretter konvertert til raster ved bruk av verktøyet *Polyline to Raster*, og samlet i et datasett ved bruk av verktøyet *Mosaic to New Raster*. Dette datasettet ble deretter reklassifisert slik at celler som representerte stikkrenner og kulverter fikk verdien 2. Tilslutt ble verktøyet *Minus* tatt i bruk, og resultatet av dette verktøyet var en ny DHM som inneholdt både åpne og lukkede stikkrenner. Rasteret for modifisert DHM ble gitt navnet «dhm\_scenarior».

#### 4.6 Modellering av overflatestrømning

Høydemodellen som er beskrevet i avsnitt 4.5.4 danner utgangspunkt for den hydrologiske modelleringen av overflatestrømning i de to utvalgte nedbørfeltene. En viktig forutsetning for at denne skal kunne anvendes til dette formålet er at høydemodellen må være så hydrologisk korrekt som mulig. Dette innebærer blant annet å sørge for at det ikke eksisterer celler med

undefinerbare dreneringsretninger i modellen (Reuter et al., 2009). For å unngå dette ble det først benyttet et skript som identifiserer forsengkninger og hvor dype disse. Deretter ble dreneringsretning og akkumulert overflateoverstrømning beregnet.

#### 4.6.1 Identifisering og igjenfylling av forsengkninger

Som nevnt i avsnitt 3.6.1 vil en DHM alltid inneholde forsengkninger, og dersom en slik DHM benyttes i modellering av overflatevann, vil dette gi en unøyaktig representasjon (Gruber & Peckham, 2009). I ArcMap kan verktøyet *Fill* benyttes til å automatisk fylle igjen forsengkninger, men dette verktøyet gir derimot ikke noe informasjon om hvor forsengkningene er lokalisert og hvor dype de er (ESRI, 2011b). Det ble derfor besluttet å benytte flere ulike verktøy satt sammen i et Python skript for å gi en bedre forståelse av egenskapene ved forsengkningene i høydemodellene, noe som også anbefales av Rød (2015). Bruk av et slikt skript ville også redusere både arbeidsmengde og tid for å fylle igjen forsengkninger.

Skriptet som ble benyttet ble laget i Python og kjørt i ArcMaps integrerte teksteditor for Python. Skriptet tok utgangspunkt i et tilsvarende skript skrevet av Rød (2015) og er tilpasset data som er brukt i denne studien. Før selve skriptet ble kjørt, ble et raster som viser dreneringsretninger ved bruk av verktøyet *Flow Direction* laget. Dette utgjør sammen med rasteret for modifisert DHM, gitt ved navnet *dhm\_scenario*, inngangsdatasettene som anvendes. Som vist i figur 4.14, er det første steget i skriptet en import av systemmodulen *arcpy*, som muliggjør bruk av ulike verktøy fra ArcMap. Deretter, i linje 5, blir lagringsområdet på datamaskinen hvor inngangsdataene er lagret, definert. I linje 7 undersøker skriptet om lisensen for *Spatial Analyst* er aktivert, ettersom alle verktøyene som skal benyttes i skriptet krever en slik lisens. I linje 8 benyttes verktøyet *Sink* hvor det for hver celle i rasteret blir undersøkt dreneringsretning, og celler uten dreneringsretning blir definert som forsenkning. Hver forsenkning blir gitt en unik verdi ved bruk av heltallsverdier, og naboceller som også utgjør en forsenkning blir tildelt samme heltallsverdi. Verdien *NoData* blir gitt til celler hvor det allerede er definert en dreneringsretning (Rød, 2015).



```

1 #importer systemmoduler
2 import arcpy
3 from arcpy import env
4 #definer lagringsområde hvor data er lagret
5 env.workspace = "E:\Masteroppgave\Skript1"
6 #Sjekk at lisensen for Spatial Analyst er aktivert
7 arcpy.gp.CheckOutExtension("Spatial")
8 arcpy.gp.Sink_sa("flow_dir_rus", "sinks")
9 arcpy.gp.Watershed_sa("flow_dir_rus", "sinks", "sink_areas", "VALUE")
10 arcpy.gp.ZonalFill_sa("sink_areas", "dhm_scenario", "sink_max")
11 arcpy.gp.ZonalStatistics_sa("sink_areas", "VALUE", "dhm_scenario", "sink_min",
    "MINIMUM", "DATA")
12 arcpy.gp.Minus_sa("sink_max", "sink_min", "sink_depth")

```

Figur 4.14: Pythonskript benyttet til å identifisere forsengkinger og høyden på disse. Skriptet vist i figuren er tilpasset studieområdet ved Ruste.

Som angitt i linje 9 er *Watershed* det neste verktøyet som skriptet kjører, hvor resultatrasteret fra *Sink* verktøyet, *sinks*, benyttes som inngangsdata. Dette verktøyet identifiserer alle celler som drenerer til en forsenkning, og disse cellene utgjør sonene som anvendes i verktøyet *Zonal Fill*. Sammen med DHM, utgjør resultatrasteret fra kodelinje 9, «*sink\_areas*», inngangsdataene i *Zonal Fill*. Dette verktøyet identifiserer minste høyde for sonene som ikke overlapper med forsenkning, og høyden blir lagret i «*sink\_max*». Det neste verktøyet, *Zonal Statistics*, har en tilsvarende funksjon, men finner i stedet minste høyde i selve forsengkningen, og lagrer denne verdien i rasteret «*sink\_min*». Verktøyet *Minus* er det siste verktøyet som benyttes i skriptet, og dette benyttes til å identifisere hvor dype forsengkningene er. Gjennom subtraksjon finner verktøyet differansen mellom høydeverdi for kanten av forsenkning i «*sink\_max*» og minste høydeverdi for forsengkningene gitt i «*sink\_min*». Resultatet gitt ved rasteret «*sink\_depth*» angir hvor mange meter som høydemodellen må justeres med for å oppnå en hydrologisk egnet modell (Rød, 2015).

Resultatet fra rasteret «*sink\_depth*» viste en høydeverdi på 15,02 meter for Hundorp nedbørfelt og 15,02 meter for Ruste nedbørfelt. For å fylle igjen forsengkningene ble verktøyet *Fill* kjørt, hvor en terskelverdi (*z limit*) på 15,03 meter for begge nedbørfeltene ble tatt i bruk. Resultatet fra *Fill* er dermed en DHM som er hydrologisk korrekt, og som kan benyttes til å modellere overflatevannets retning i terrenget og beregning overflatestrømning.

#### 4.6.2 Dreneringsretning og akkumulert overflatestrømning

For å identifisere dreneringsretning ble verktøyet *Flow Direction* benyttet, hvor hydrologisk korrekt DHM ble benyttet som inngangsdata. Dette verktøyet beregner dreneringsretning for hver celle med utgangspunkt i D8-algoritmen, hvor hver celle i dette rasteret blir tilegnet en verdi ut i fra åtte mulige dreneringsretninger som overflatevann kan ta (ESRI, 2012a).

Deretter ble dreneringsrasteret tatt i bruk for å beregne akkumulert overflatestrømning ved bruk av verktøyet *Flow Accumulation*. I dette verktøyet er det mulig å spesifisere om man vil benytte et vektaster i beregning, hvor blant annet nedbørmengde per celle kan benyttes til å angi vekt. Det ble besluttet å ikke benytte et slikt raster, da det var kun et fåtall målestasjoner i studieområdene, noe som ville gitt et dårlig premiss for interpolering av nedbørsdata. Når et vektaster ikke benyttes, gis hver cellen en vekt tilsvarende 1 (ESRI, 2008b).

Akkumuleringsrasteret inneholder informasjon om hvor mange celler som drenerer til en spesifikk celle, og ved å multiplisere antall celler med størrelsen på cellen kan man beregne areal som drenerer til en celle (Rød, 2015). Da DHM som er generert i denne studien har en oppløsning på 1x1 meter, betyr dette at verdien 1 multipliseres antall celler for å finne areal m<sup>2</sup> som drenerer til cellen. Det er disse verdiene som ble ekstrahert til skadepunktene og ble benyttet som en av variablene som skulle testes i utforskende regresjon.

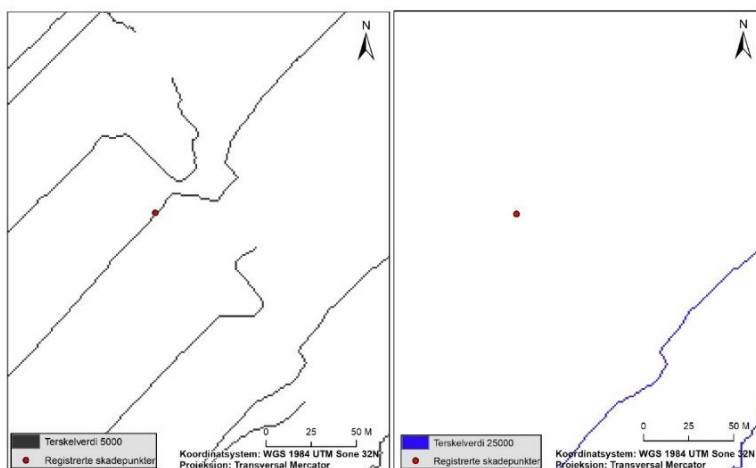
#### **4.6.3 Konvertering til vektordata og valg av terskelverdier**

Etttersom flomveiene som ble generert skulle valideres ved bruk naturskadedatasettet, var det ønskelig å konvertere akkumulert overflatestrømning til vektordata. Dette vil gi et linjelag som viste hvordan overflatevannet har drenert, og vil være enklere å validere ved bruk av skadepunktene i naturskadedatasettet. Konverteringen ble gjort ved å ta bruk verktøyet *Raster Calculator*, hvor følgende uttrykk ble benyttet:

```
«flow_acc» > 5000
```

Verdien 5000 fungerer her som en terskelverdi, hvor celler med en akkumuleringsverdi under 5000 ikke blir inkludert i resultatrasteret. Bakgrunnen for at en slik terskelverdi ble tatt bruk har bakgrunn i utprøvinger med ulike terskelverdier ved konvertering. Meiforth (2013) og Bratlie (2015) anbefaler å anvende en terskelverdi mellom 25 000 og 50 000 da flomveier med slike akkumuleringsverdier har stort skadepotensial. Det ble derfor prøvd med slike terskelverdier, men dette resulterte i at flere flomveier ikke sammenfalt med registrerte skadepunkter. Figur 4.15 illustrerer dette, hvor en terskelverdi på 5000 vil gi en flomvei som treffer skadepunkt, mens en terskelverdi på 25 000 ikke vil gi slike resultater. En terskelverdi på 5000 ville dermed gi et større datagrunnlag som kunne benyttes ved validering.

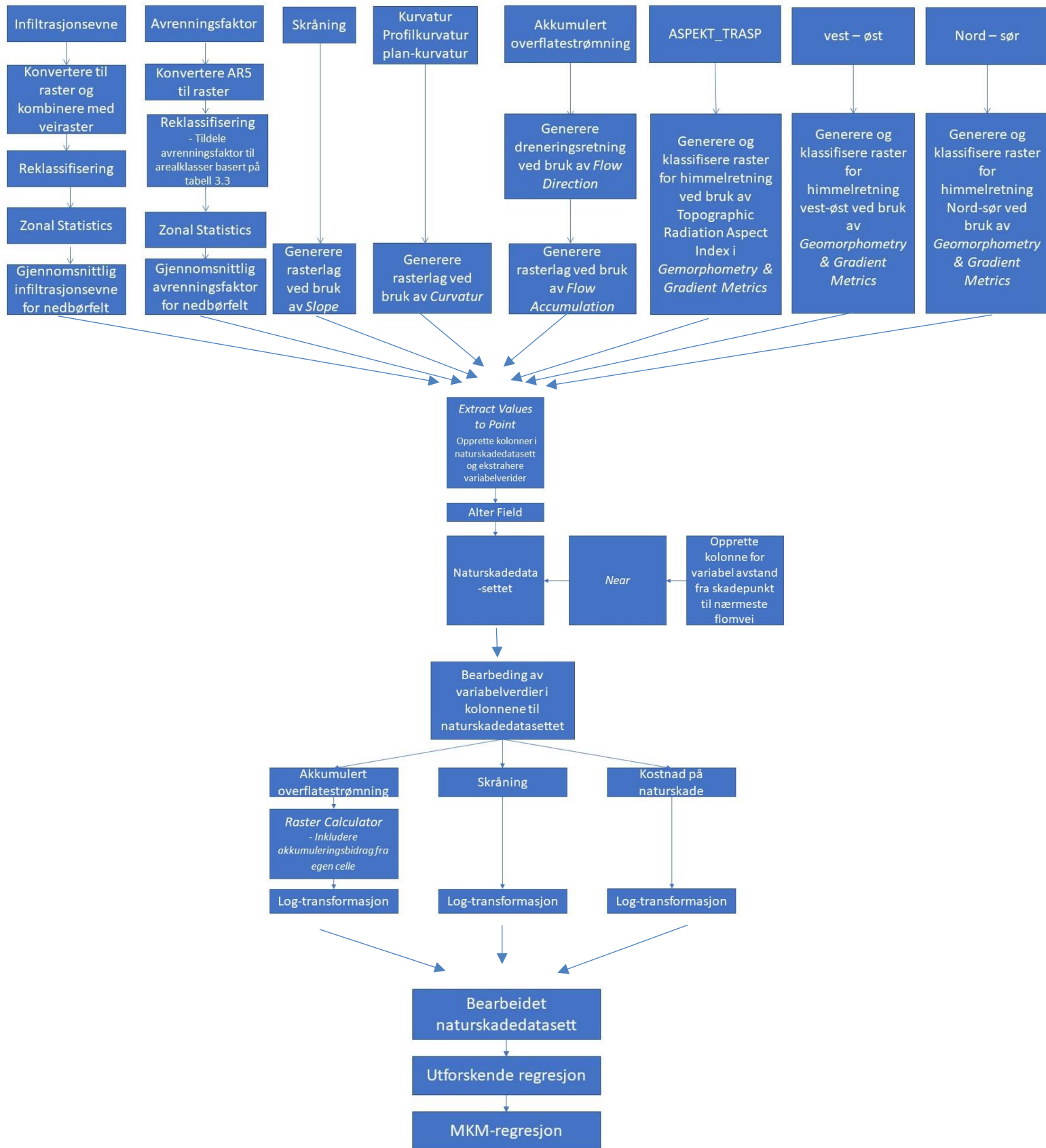
Resultatrasteret etter bruk av *Raster Calculator* ble deretter konvertert til vektorformat i form av et linjelag ved å bruk verktøyet *Raster to Polyline*.



Figur 4.15: Forskjell mellom bruk av terskelverdi på 5000 og 25000 ved konvertering av akkumulert overflatestrømming til vektordata.

#### 4.7 Utforskende regresjon og MKM-regresjon

Som nevnt i avsnitt 3.7.2 ble det besluttet å benytte utforskende regresjon for å identifisere faktorene som er mest relevante i forklaringen av hvorfor kostnad på naturskade varierer, hvor faktorene skulle representeres som uavhengige variabler. Variablene som ble identifisert som mest relevante, skulle deretter nærmere undersøkes i en MKM-regresjonsanalyse, hvor mer detaljerte statistiske mål for hver enkelt variabel og modellens forklaringsevne produseres. Før disse analysene kunne kjøres, var det derimot nødvendig at det eksisterte en egenskapstabell som inneholdt egne kolonner for hver av de uavhengige variablene som skulle benyttes til å forklare variasjonen i kostnad på naturskade. Bakgrunnen for dette er at det er en egenskapstabell som utgjør enheten og inngangsdata ved kjøring av regresjonsanalyser i ArcMap. Da naturskadedatasettet hadde allerede fra før av en egenskapstabell som inneholdt en kolonne for avhengig variabel, kostnad på naturskade, ble det besluttet å benytte denne tabellen som utgangspunkt for regresjonsanalysene. De uavhengige variablene som det måtte opprettes kolonner for er gitt i tabell 3.2. For variabelen som beskriver avstand fra skadepunkt til nærmeste modellerte flomvei, hadde det fra før av blitt opprettet en egen kolonne i naturskadedatasettet, i forbindelse med validering av flomveier, beskrevet i avsnitt 5.4. Prosessen med å opprette variabler, ekstrahere verdier for variablene inn i kolonner og transformering av variabelverdier er illustrert i figur 4.16, og beskrives i de følgende avsnittene.



Figur 4.16: Arbeidsflyt for å generere variabler, ekstrahering og bearbeiding av variabelverdier.

#### **4.7.1 Konvertering av vektordata til rasterdata**

For variabelen infiltrasjonsevne, fremkommer det av figur 4.16, at det første steget var å konvertere datasettet fra NGU som klassifiserte løsmassers evne til å infiltrere vann til et rasterlag. Bakgrunnen for dette var at datasettet ble lastet ned i form av et vektorlag. Det konverterte datasettet ble deretter kombinert med et veiraster ved bruk av *Combine*.

Bakgrunnen for at et veiraster ble inkludert skyldes at på veier vil infiltrasjonsevnen være meget lav, og dette er viktig å ta hensyn til i analysen. Tilslutt ble resultatrasteret reklassifisert slik at områdene fikk tildelt verdier basert på det opprinnelige infiltrasjonskartet. Som nevnt i avsnitt 4.1., beskrev infiltrasjonskartet løsmassenes evne til å infiltrere vann kun kvalitativt, og det ble derfor besluttet å tilegne kategorien uegnet verdien 1, lite egnet 2, middels egnet 3 og godt egnet 4.

For variabelen avrenningsfaktor eksisterte det ikke noe ferdiglaget datasett som kunne benyttes, og derfor måtte dette genereres. Som figur 4.16 indikerer dannet arealressursklasser fra AR5 grunnlaget for genereringen, hvor dette datasettet ble først konvertert til raster. Etter konvertering av arealressurskartet til et rasterlag, ble rasteret reklassifisert slik at de ulike overflatetyperne i arealressurskartet fikk tildelt verdier basert på avrenningsfaktor som samsvarte med verdiene oppgitt i tabell 3.3. Som det fremgår av tabell 3.3 er det et intervall av verdier for avrenningsfaktor for de ulike overflatetyperne. Det ble derfor besluttet å bruke den høyeste verdien i intervallet ved tildeling av avrenningsfaktor. Skogområder ble derfor tildelt verdien 5, dyrka mark 4 og bebygde arealer og veier fikk verdien 9.

Etter disse variablene hadde blitt konvertert til raster, var det nødvendig med videre bearbeiding da det var ønskelig at verdiene som skulle benyttes i regresjonsanalysene skulle gjenspeile gjennomsnittlig infiltrasjonskapasitet og avrenningsfaktor for nedbørsfeltet som skadepunktet ligger i. Dette ble oppnådd ved bruk av verktøyet *Zonal Statistics*, som er et verktøy som kalkulerer statistikk for et raster basert på avgrensede soner fra et annet rasterdatasett (ESRI, 2011e). Nedbørfeltene som skadepunktene er lokalisert i, ble benyttet til å definere soner. Rasterlagene for avrenningsfaktor og infiltrasjonskapasitet ble satt som rasterlagene det skulle kalkuleres statistikk for. Statistikktypen ble deretter satt til gjennomsnittlig.

#### **4.7.2 Generering og bearbeiding av terrengparametere og akkumulert overflatestrømning**

For hver av terrengparametere som skulle benyttes som uavhengige variabler, ble det, som det vist i figur 4.16, generert egne rasterdatasett. For variabelen akkumulert

overflatestrømning hadde det tidligere blitt generert et rasterdatasett i forbindelse med flomveimodelleringen, og fremgangsmåte for generering av denne variabelen er utdypet i avsnitt 4.5 og 4.6.

For variabelen som indikerer himmelretningen til terrenghelningen hvor naturskade har inntruffet, ble det ble besluttet å dele variabelen opp i tre ulike variabler. Bakgrunnen for denne beslutningen er at himmelretning er en ikke-lineær variabel (Hole, 2015).

Himmelretning klassifiseres gjerne som en sirkulær variabel med mulige verdier som strekker seg fra 0° til 360°, og hvor 0 og 360 gis samme himmelretning, nord (Warton et al., 2013)

Ved generering av himmelretning i ArcMap får man dermed et rasterdatasett som inneholder celler med verdier fra 0 til 360 (ESRI, Udatert-f). Slike verdier gir lite mening når variabelen inngår i en analyse med en aritmetisk skala, og variabelen burde derfor være transformert for å reflektere dens sirkulære natur (Warton et al., 2013). For å oppnå dette kan man ta i bruk verktøysamlingen *Geomorphometry & Gradient Metrics* utviklet av Evans et al. (2014). Dette er en verktøysamling hvor det finnes flere metoder som genererer og klassifiserer himmelretning som en kontinuerlig og lineær variabel. Fra denne verktøysamlingen ble to ulike metoder benyttet: en metode utviklet av Stage (1976) for å generere og klassifisere himmelretning som to ulike deler, og Topographic Radiation Aspect Index (TRASP). Den førstnevnte metoden benytter seg av sinus og cosinus transformering, hvor himmelretning blir klassifisert i to ulike deler, nord-sør og vest-øst. I den første klassifiseringen gis himmelretningen verdier mellom -1 og 1, hvor verdien 1 gis til himmelretningen nord, mens sør gis verdien -1. Tilsvarende verdier gis for vest-øst klassifikasjonen, hvor vest er 1, mens øst er -1 (Palmer, Udatert; Roberts, 1986). Himmelretning blir med andre ord to kontinuerlige og lineære variabler ved bruk av denne metoden. TRASP metoden genererer og transformerer også himmelretning til en kontinuerlig og lineær variabel, men klassifiseringen er annerledes. Mulige verdier strekker seg mellom 0 og 1, hvor områder med himmelretning nord gis verdien 1, mens områder med himmelretning sør gis verdien 0 (Evans et al., 2014; Roberts & Cooper, 1987)

#### **4.7.3 Ekstrahering av verdier fra rasterdatasett**

Etter at alle rasterdatasettene for hver av de uavhengige variablene var generert, var det neste steget å opprette egenskapskolonner for hver variabel i naturskadedatasettet, og deretter fylle disse med verdier som representerte rasterverdi fra cellen hvor naturskadepunktene var lokalisert. Som nevnt i avsnitt 4.7 er dette nødvendig ettersom i det utforskende regresjon og MKM-regresjon er en egenskapstabell med kolonner for hver uavhengige variabel som

benyttet som utgangspunkt for prediksjon av avhengig variabel. For å opprette slike kolonner med verdier fra rasterdatasettene ble verktøyet *Extract Values to Points* benyttet. Dette er et verktøy som ekstraherer celleverdien til cellen som et punkt ligger i, og celleverdien blir lagret i en ny egenskapskolonne til punktlaget som benyttes. Den nye egenskapskolonnen som blir opprettet får automatisk navnet RASTERVALU (ESRI, 2011a). Naturskadedatasettet, som var allerede representert som et punktlag, var derfor passende å anvende som inngangsdata. For hver av rasterene som representerte de uavhengige variablene ble celleverdien ekstrahert til naturskadedatasettet, i form av kolonner med variabelverdier for hvert skadepunkt. Disse egenskapskolonnene fikk derimot en annen betegnelse enn RASTERVALU da et slikt navn ikke gjorde det mulig å skille de ulike variablene. Dette ble oppnådd ved å bruke verktøyet *Alter Field*, som muliggjør endring av tittelnavn på egenskapskolonne.

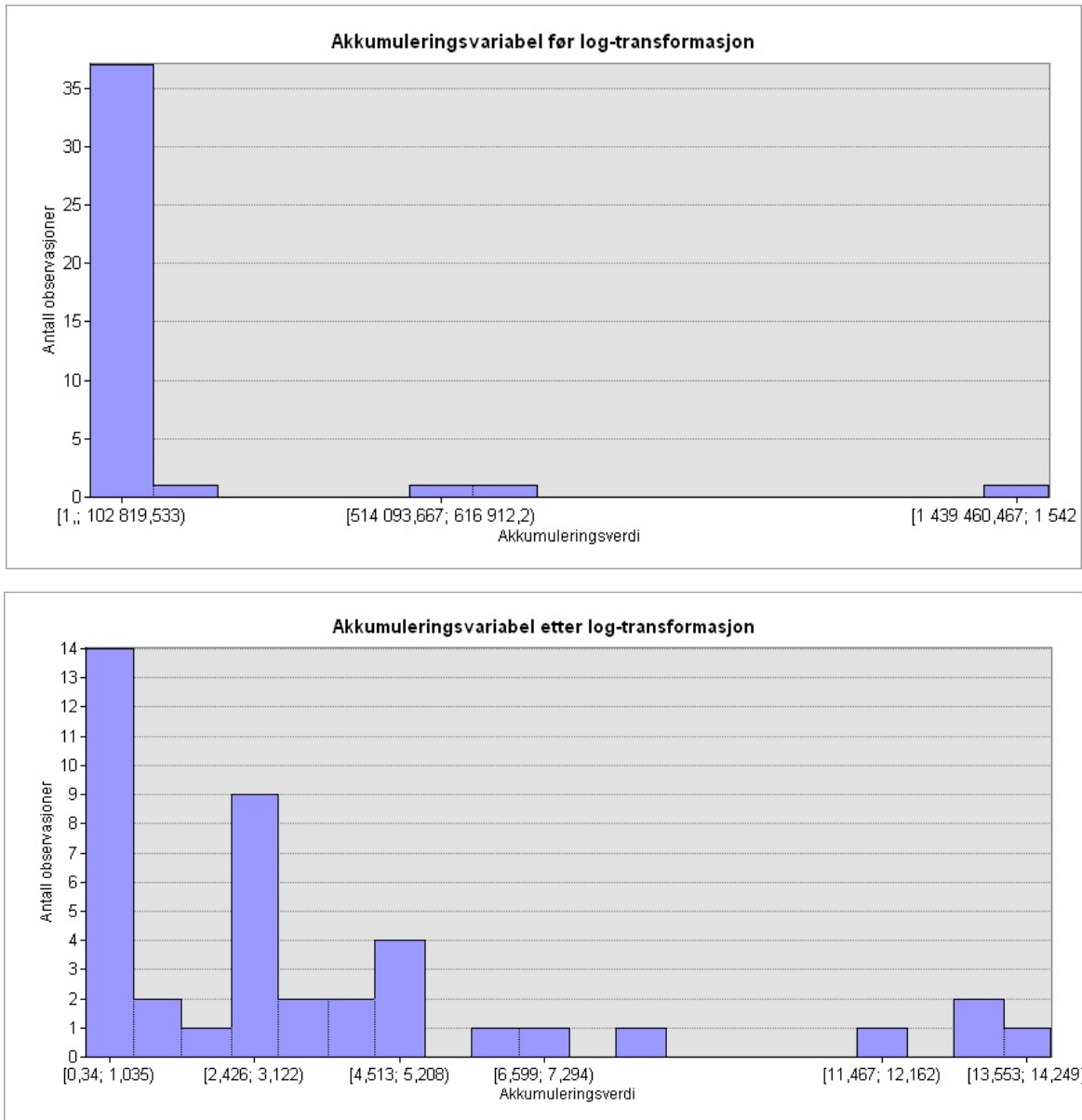
#### **4.7.4 Bearbeiding av variabelverdier**

Det siste steget før regresjonsanalysene kunne kjøres var å bearbeide variabelverdiene i kolonnene som hadde blitt opprettet i naturskadedatasettet. I forkant av utforskende regresjon og MKM-regresjon anbefales det å undersøke om verdifordelingen til avhengig og uavhengige variabler er skjevfordelte. Hvis dette er tilfellet, kan bruken av slike variabler bidra til en statistisk signifikant Jarque-Bera verdi, noe som indikerer at modellen er skjevfordelt (ESRI, Udatert-u). For å unngå dette er det mulig å benytte en log-transformasjon som gir en normalfordeling av verdier (Rød, 2015). Det viste seg at avhengig variabel kostnad på naturskade og de uavhengige variablene akkumulert overflatestrømning og terrenghelning positivt skjevfordelt. Log-transformering av disse variablene var dermed nødvendig.

I forkant av transformering var det derimot nødvendig å redigere avhengig variabel, kostnad på naturskade. Dersom en verdi på 0 finnes i kolonnen som transformeres vil ikke log-transformasjonen fungere, og slike verdier må derfor fjernes (Hole, 2015).

Egenskapskolonnen for kostnad på naturskade inneholdt flere objekter med en verdi på 0, og årsaken til dette skyldes at det for noen naturskader ikke har vært mulig å fastsette kostnad i arbeidet med å registrere naturskader. Dette utdypes ytterligere i avsnitt 6.1. Derfor ble det vurdert at slike variabelverdier ikke representerte faktiske forhold, og derfor ble objekter med nullverdi fjernet. Det var også nødvendig å redigere verdier for variabelen akkumulert overflatestrømning, da det var ønskelig å inkludere akkumuleringsbidraget fra egen celle. Dette ble gjort ved å bruke feltkalkulatoren, *Raster Calculator*, hvor uttrykket «Akkumulering +1» ble benyttet.

Log-transformeringen av variablene ble gjort ved å opprette en ny egenskapskolonne og deretter bruke uttrykket «Log ([navn egenskapskolonne])» i feltkalkulatoren. Etter transformering var det forventet at alle de aktuelle variablene skulle være mer normalfordelte, men dette viste seg ikke å være tilfellet for akkumuleringsvariabelen. Som figur 4.17 viser, var det fortsatt etter log-transformasjon en skjevfordeling av verdier.



Figur 4.17: Akkumuleringsvariabel før og etter log-transformasjon.

Resultatene av alle stegene beskrevet ovenfor, er kolonner for hver uavhengig variabel i egenskapstabellen til naturskadedatasettet. Figur 4.18 viser en skjermdump fra denne egenskapstabellen, hvor de ulike kolonnene er vist. Ved kjøring av både utforskende regresjon og MKM-regresjon er det denne tabellen som benyttes til å spesifisere hvilken kolonne som



skal benyttes til å representere avhengig variabel, og hvilke kolonner som skal representere de uavhengige variablene.

FID	OBJ	Shape *	Kurvatur	Prof kurv	Plan kurv	Loq akkumu	Loq skrån	Kostnad	Aspekt tra	Vest ost	Nord sor	Infiltrasi	Avstd flom	Avrennings
0	1	Point	-115,014648	95,220039	-19,794611	13,3777	2,98134	13,9612	0,214094	-0,152366	0,324322	2,146077	0,73189	4,815015
1	2	Point	-353,930664	282,6763	-71,254349	1,60944	3,58195	12,6834	0,745108	0,369742	-0,623676	2,344489	0,91138	4,569654
2	3	Point	-45,336814	30,461111	-14,875803	3,95124	2,94836	10,7339	0,99995	-0,165386	-0,303668	2,840122	1,086241	4,467486
3	4	Point	2,584839	0,737957	3,322796	2,83321	2,65497	12,9676	0,864474	-0,24264	-0,073387	2,408402	1,509793	4,509008
4	5	Point	30,889893	-35,853962	-4,964069	0,34	1,01778	9,88766	0,333944	-0,03148	0,036674	2,408402	4,345615	4,509008
5	6	Point	-17,172241	7,508955	-9,663285	6,58203	1,85799	10,5405	0,996935	-0,066554	-0,090528	2,971259	12,653242	4,468343
6	7	Point	-7,196045	2,739458	-4,456587	2,56495	1,55637	10,0737	0,902107	0,009368	-0,082415	2,779413	6,6577	4,9233
7	8	Point	-3,787231	1,158683	-2,628549	4,95583	1,14052	11,5559	0,884452	-0,051265	-0,018948	2,971259	24,211377	4,468343
8	9	Point	65,209961	-23,266243	41,943718	0,34	2,78283	10,2772	0,986304	-0,199216	-0,210551	2,408402	2,517013	4,509008
9	10	Point	37,356567	-8,119528	29,23704	0,34	2,67856	10,4807	0,942468	-0,01079	-0,259617	2,950645	1,633134	5,286013
10	11	Point	-16,567993	-4,911047	-21,47904	3,91202	2,59047	11,7598	0,899938	-0,21797	-0,093185	1,974946	0,713004	4,615788
11	12	Point	36,727905	-25,700897	11,027008	0,34	1,59973	11,4437	0,838689	-0,08453	-0,019003	1,974946	1,141	4,615788
12	13	Point	-81,335449	72,534286	-8,80116	0,693147	3,14057	12,1585	0,975794	-0,089316	-0,41744	1,974946	0,606698	4,615788
13	14	Point	-379,618835	311,993713	-67,625114	13,2993	2,4716	9,4572	0,995233	-0,078742	-0,194316	2,863215	0,301	4,998032
14	15	Point	197,447205	-206,57309	-9,12589	0,34	3,68305	10,779	0,868014	0,181884	-0,812084	2,408402	2,018812	4,509008
15	16	Point	63,128662	-19,56518	43,563484	0,34	2,54399	11,1563	0,798569	0,089548	-0,207412	2,344489	0,673276	4,569654
16	17	Point	-6,567383	-13,50551	-20,072893	2,48491	3,33778	11,7136	0,996314	-0,209256	-0,492614	2,863215	27,98449	4,998032
17	18	Point	8,526611	-1,88966	6,636951	0,34	1,85794	11,1742	0,52764	-0,100289	0,05065	2,344489	2,440979	4,569654
18	19	Point	-387,527466	243,938522	-143,588943	2,19722	3,69158	11,2848	0,453002	0,765899	-0,350576	2,344489	0,833651	4,569654
19	20	Point	-44,165039	13,427651	-30,737389	11,5815	2,60359	11,9191	0,838538	-0,234473	-0,052609	2,344489	0,159841	4,569654
20	21	Point	-15,740967	10,009646	-5,73132	2,63906	2,38526	12,3327	0,966004	-0,149588	-0,120173	2,840122	12,291362	4,467486
21	22	Point	6,848145	-0,961216	5,886928	4,68213	2,36775	10,4787	0,966116	-0,146856	-0,118128	2,816791	70,440422	4,58049
22	23	Point	-7,659912	-7,672631	-15,332543	3,04452	3,17176	12,6982	0,998488	-0,190462	-0,398951	1,974946	20,81721	4,615788
23	24	Point	-61,724854	13,29883	-48,426025	14,2488	2,24422	8,69951	0,937198	-0,142409	-0,085574	2,174002	0,294624	4,61723
24	25	Point	-63,763428	31,221371	-32,542057	5,11199	2,54728	10,3572	0,999335	-0,123235	-0,190264	2,174002	1,403183	4,61723
25	26	Point	-116,687012	69,486053	-47,200958	3,49651	3,11951	12,3512	0,640718	0,287921	-0,301625	1,974946	0,83649	4,615788
26	27	Point	-306,688335	219,115753	-87,567604	0,693147	4,07441	11,1721	0,922971	0,039598	-1,009223	2,408402	2,0726	4,509008
27	28	Point	-89,666748	27,874239	-61,792507	7,14441	3,28071	13,8012	0,987509	-0,340212	-0,367292	1,742466	12,623879	4,781022
28	29	Point	-1,45874	2,081336	0,622596	0,693147	2,36097	9,90534	0,98005	-0,04445	-0,181813	2,97025	4,692569	4,265098
29	30	Point	102,050781	-37,065464	64,985321	0,34	3,26729	10,3844	0,940676	-0,01536	-0,492691	1,974946	0,75749	4,615788
30	31	Point	-19,921875	5,50325	-14,418625	4,56435	2,41274	11,4549	0,719911	0,110143	-0,163768	1,974946	1,529783	4,615788
31	32	Point	-15,264893	7,583762	-7,68113	2,63906	2,23675	9,81192	0,990721	-0,053469	-0,155972	1,974946	1,5906	4,615788
32	33	Point	11,712646	-14,791583	-3,078937	2,48491	3,20398	11,3244	0,915751	-0,411084	-0,20301	2,733299	23,694299	4,435954
33	34	Point	-60,021973	36,853603	-23,168371	1,38629	2,72673	11,2005	0,842631	-0,265933	-0,062798	2,733299	6,500433	4,435954
34	35	Point	-24,911499	12,698462	-12,213037	8,32118	2,76709	8,85367	0,929366	-0,248853	-0,139096	2,733299	5,156186	4,435954
35	36	Point	-8,328247	6,570899	-1,757349	2,99573	2,49034	8,68592	0,967890	-0,165209	-0,135627	2,733299	9,907627	4,435954
36	37	Point	-21,618652	-1,286324	-22,904976	3,80665	2,75807	11,5249	0,9217	-0,250421	-0,130524	2,146077	7,632064	4,815015
37	38	Point	59,997559	-8,049193	51,948364	0,34	3,35461	13,3057	0,941964	-0,462283	-0,290627	2,146077	1,593472	4,815015
38	39	Point	7,867432	-3,74009	4,493423	2,99573	2,26566	10,4038	0,984162	-0,106371	-0,132589	2,479244	37,354281	6,25107
39	40	Point	9,011841	-1,44382	7,568021	0,34	2,54137	11,5848	0,920595	-0,20022	-0,103317	2,324824	2,992941	4,298983
40	41	Point	4,25415	-2,26506	1,98909	0,34	1,64368	9,92672	0,992061	-0,030604	-0,085225	2,324824	13,817157	4,298983

Figur 4.18: Egenskapstabell for naturskadedatasettet, med kolonner for uavhengig variabel og uavhengige variabler.



## 5 Resultater

Dette kapittelet presenterer resultatene basert på arbeidet og benyttede metoder som er beskrevet i kapittel 4. Først vil resultatet for registrering og stedfesting av naturskadehendelsene for flommene i 2011 og 2013 presenteres. I tillegg til kart som viser naturskadehendelsene, gis det her en statistisk beskrivelse av skadene. Deretter vil intensitetsanalysene gjennomført for de to flomhendelsene presenteres. Videre gis en beskrivelse av resultatet i forbindelse med modellering av flomveier. Tilslutt vil funnene fra utforskende regresjon og MKM-regresjon gjennomført i de to studieområdene omtales.

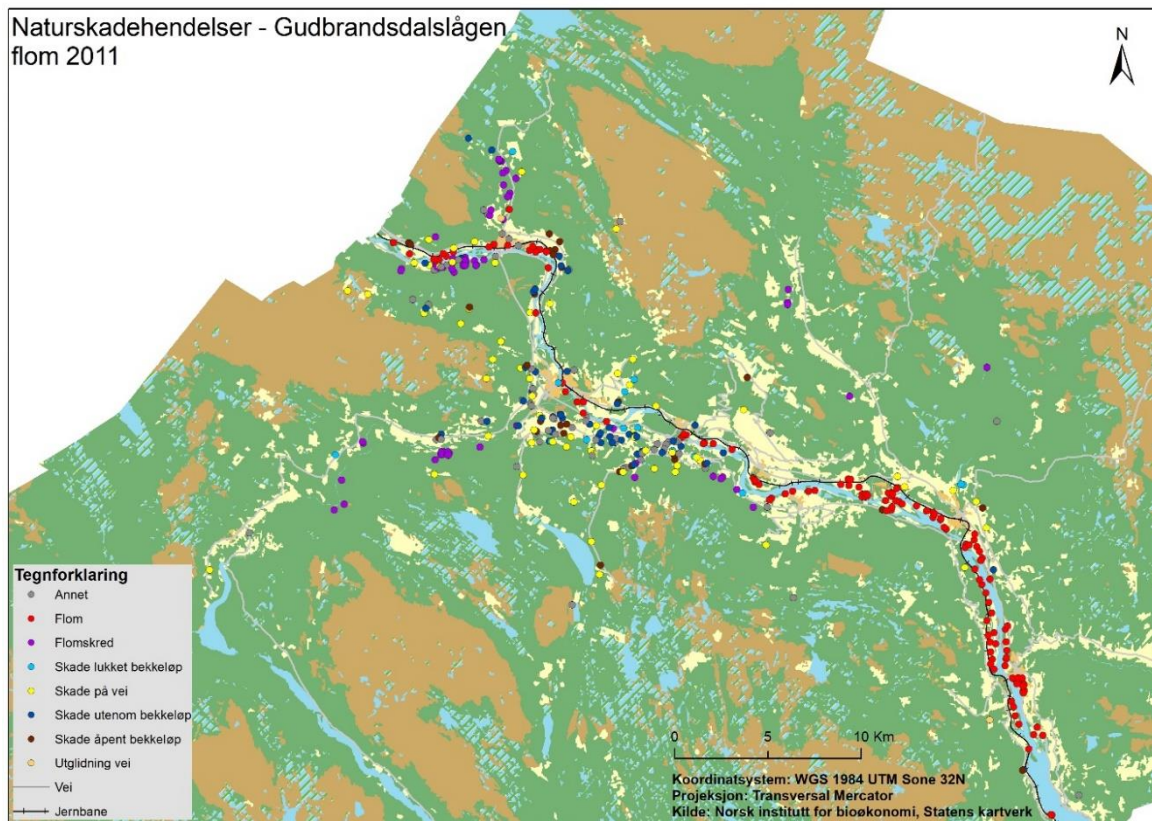
### 5.1 Naturskadehendelser

For flommene som oppstod langs Gudbrandsdalslågen i 2011 og 2013 er det registrert med stedfesting totalt 1455 naturskadehendelser. Forfatter av denne studien har registrert 490 naturskadehendelser, mens de resterende naturskadene har vært registrert av ansatte i Oppland Fylkeskommune. Nedenfor gis en detaljert beskrivelse av naturskadene for de to flomhendelsene.

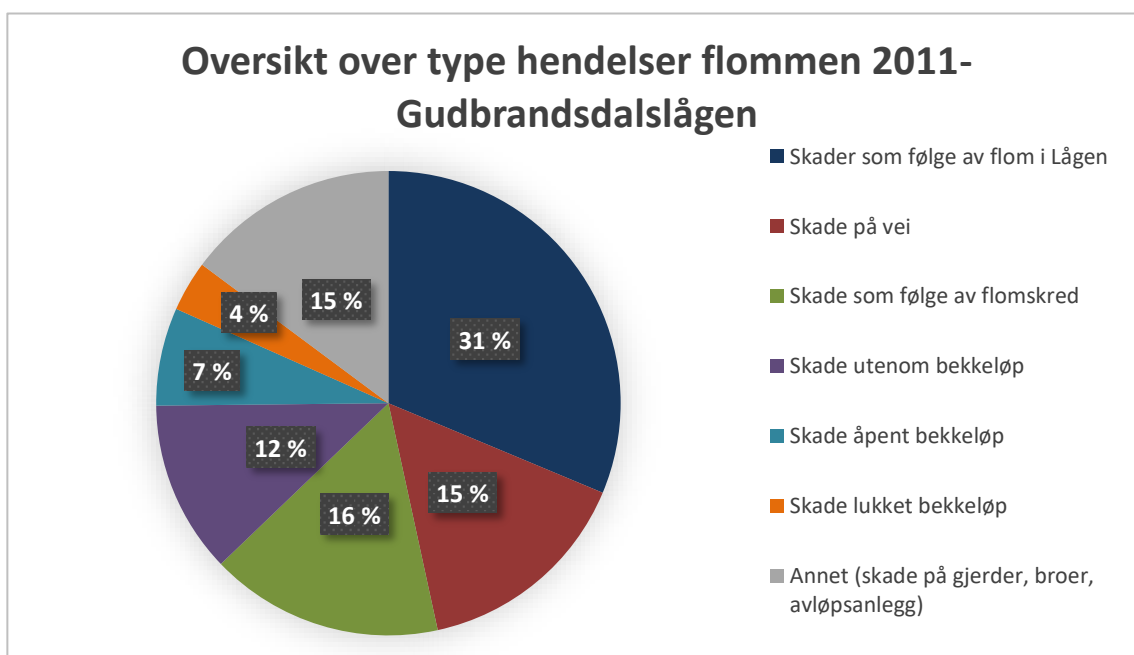
#### 5.1.1 2011-flommen

Figur 5.1 viser resultatet av registreringen og stedfestingen av naturskadehendelser tilknyttet flommen som oppstod langs Gudbrandsdalslågen i juni 2011. Naturskadene som ble registrert var lokalisert i kommunene Ringeby, Nord- og Sør-Fron. For denne flomhendelsen er det registrert 433 naturskadehendelser, hvor den samlede kostnaden for disse naturskadene er taksert til 48 millioner kroner. Av de registrerte hendelsene, er det i 44 av disse ikke registrert verdi for kostnad på naturskade. Bakgrunnen for dette forklares i avsnitt 6.1. Det er gjort skade på dyrka mark i 207 av naturskadehendelsene, hvor 5591 dekar med dyrka mark er blitt berørt. I 203 av naturskadene er det blitt registrert skade på vei, hvor totalt 80 kilometer med vei er blitt berørt av flommen.

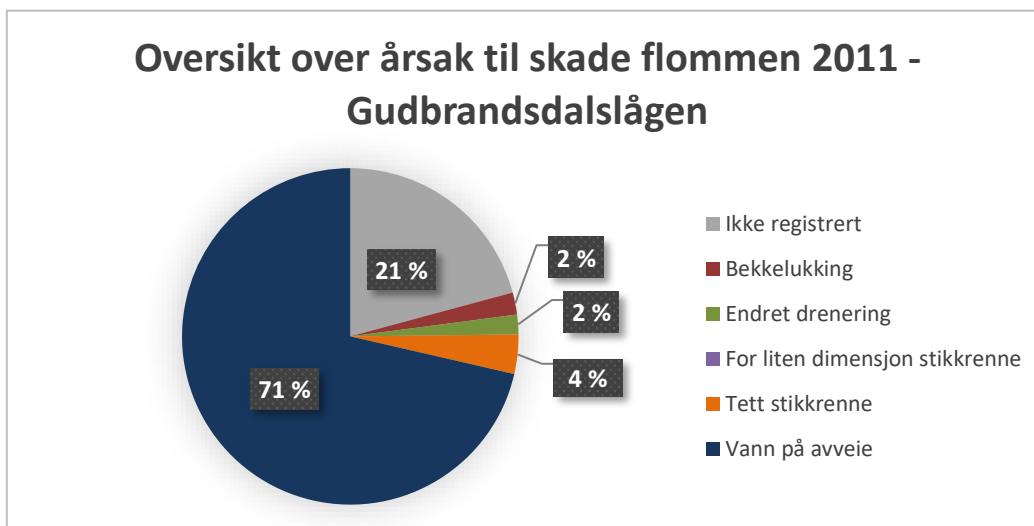
Når det gjelder hvilken type hendelse som har inntruffet, så gir figur 5.2 en oversikt over denne fordelingen. Som det fremgår av figuren, er et stort antall av naturskadene, 31 %, registrert som skade forårsaket av flom i Gudbrandsdalslågen, mens flomskred og skade på vei er hendelser som utgjør henholdsvis 16 og 15 % av registreringene. Skader på gjerder, broer og avløpsanlegg utgjør også en viktig del av registreringene med en prosentandel på 15 %. Figur 5.3 gir en oversikt over hvilke kategorier som er blitt benyttet til å registrere årsak til skade. I 71 % av de registrerte naturskadehendelsene er vann på avveie oppgitt som årsak, mens for de resterende hendelsene varierer skadeårsaken. Som figuren viser, er det for mange av skadene, henholdsvis 21 %, ikke vært mulig å fastsette noen klar årsak til skade



Figur 5.1: Oversikt over registrerte og stedfestede naturskadehendelser i forbindelse med 2011-flommen langs Gudbrandsdalslågen.



Figur 5.2: Oversikt over type hendelser som er registrert for 2011-flommen.



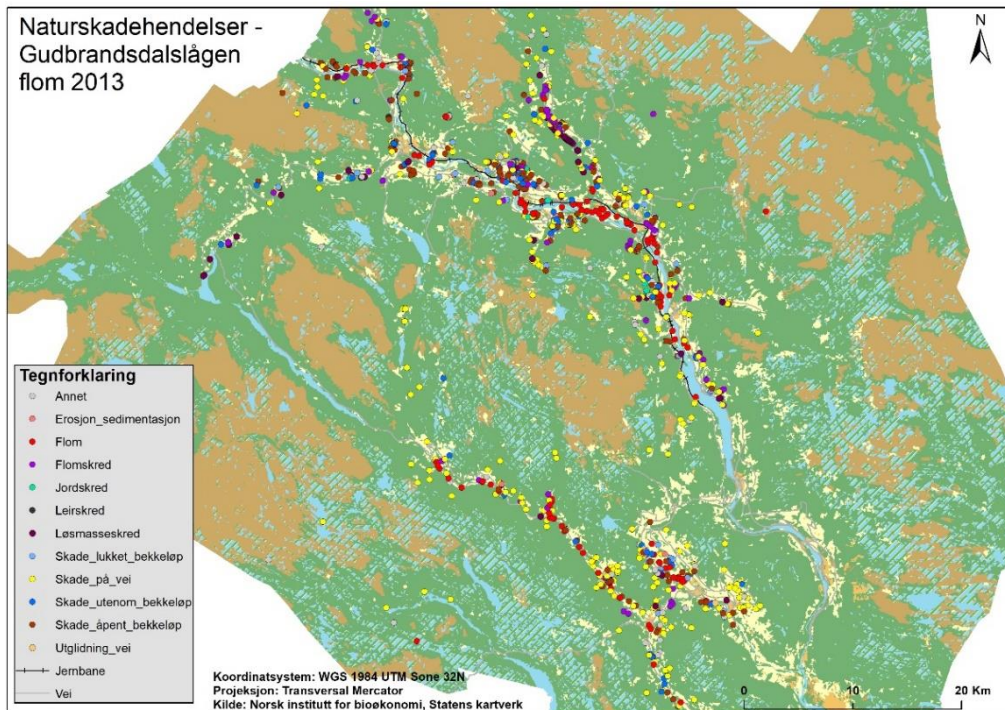
Figur 5.3: Fordeling årsak til naturskade registrert i forbindelse med 2011-flommen.

### 5.1.2 2013-flommen

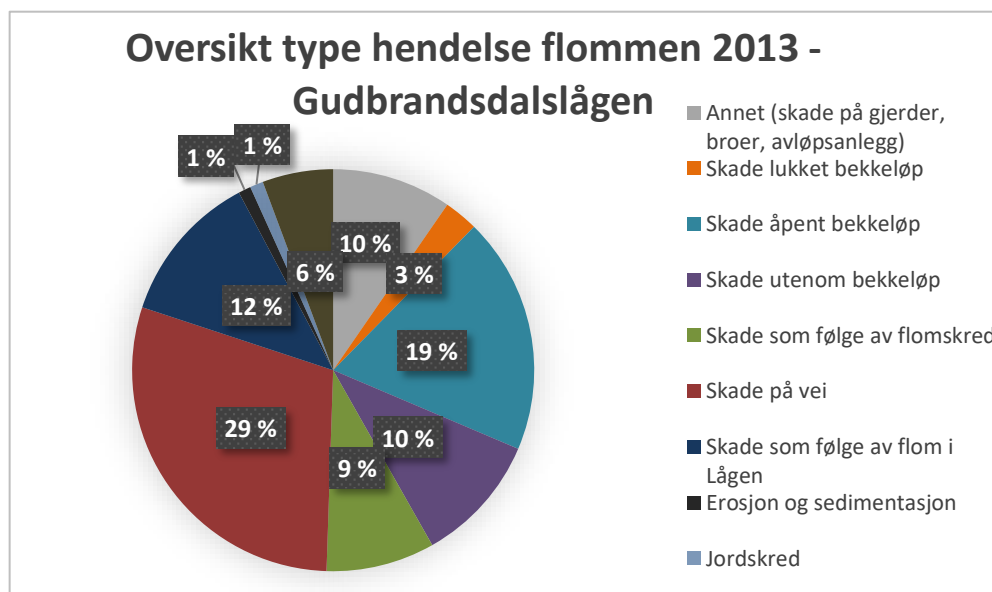
Registrerte og stedfestede naturskadehendelser som oppstod i forbindelse med flommen langs Gudbrandsdalslågen i mai 2013 er vist i figur 5.4. I tillegg til skader i Ringebu, Nord- og Sør-Fron kommune, er det for flommen i 2013 registrert skader også i Gausdal kommune. Dette indikerer at flommen i 2013 hadde et større geografisk omfang enn flommen i 2011. For 2013-flommen er det registrert 1021 naturskadehendelser, men det gjenstår fortsatt mye arbeid før alle innmeldte naturskader fra flommen er registrert. Den samlede kostnaden for naturskadehendelsene som er registrert er taksert til 72 millioner kroner. 319 av de 1021 registrerte naturskadehendelsene inneholder ikke verdi for antatt kostnad for skade. I 349 av skadene er det registrert skade på dyrka mark, hvor til sammen 4095 dekar med dyrka mark er blitt berørt. Det er registrert skade på vei i 472 naturskadehendelser, hvor 101 kilometer er blitt berørt.

Figur 5.5, som gir en oversikt over type hendelser som har inntruffet, viser at skade på vei er typen hendelse som er blitt anvendt mest og er benyttet som type hendelse i 29 % i registreringene. Skade på åpent bekkeløp er også en type hendelse som er blitt anvendt mye, hvor 19 % av de registrerte naturskadehendelsene har fått denne kategorien. Figuren viser også at det er benyttet nye type hendelser som ikke eksisterte i registreringen av 2011-flommen, og dette gjelder erosjon og sedimentasjon, jordskred, leirskred og løsmasseskred. Bakgrunnen for at disse typene hendelsene er blitt lagt til for registrering av naturskade for 2013-flommen, skyldtes at etter hvert som man har registrert naturskader, har man kommet over nye skader som ikke passet til kategoriene anvendt i registreringen av 2011-flommen. Dermed har det vært nødvendig å legge til nye type hendelser som beskriver disse

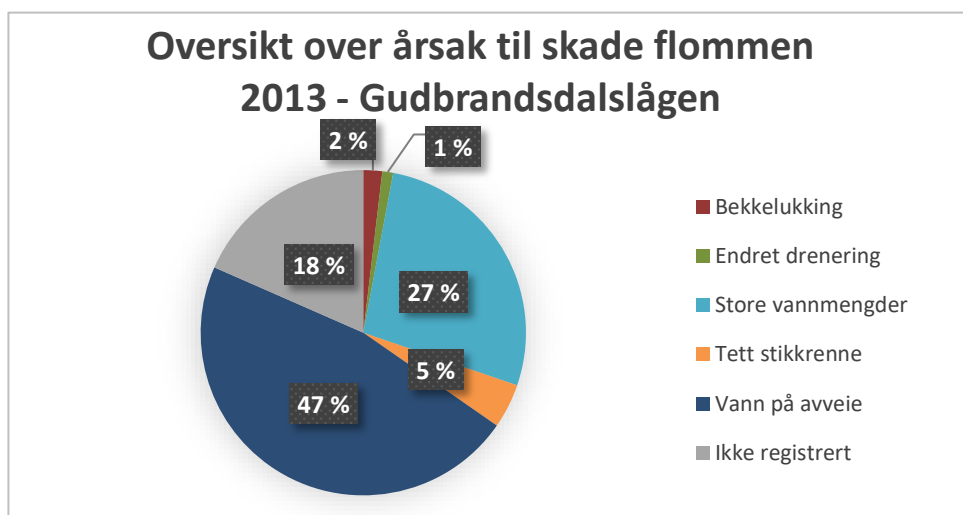
naturskadene. Merk at leirskred ikke er inkludert i figur 5.5 da denne type hendelse er kun benyttet 2 ganger i registrering. Som det fremkommer av figur 5.6 er vann på avveie skadeårsaken som dominerer og har blitt brukt i 47 % av registreringene. I 27 % av tilfellene har store vannmengder blitt benyttet som skadeårsak, mens det ikke har vært mulig å fastsette skadeårsak i 18 % av de registrerte naturskadehendelsene.



Figur 5.4: Oversikt over registrerte naturskadehendelser i forbindelse med 2013-flommen langs Gudbrandsdalslågen.



Figur 5.5: Oversikt over type hendelser som er registrert i forbindelse med 2013-flommen.



Figur 5.6: Fordeling årsak til naturskade registrert i forbindelse med 2013-flommen.

## 5.2 Intensitetsanalyse

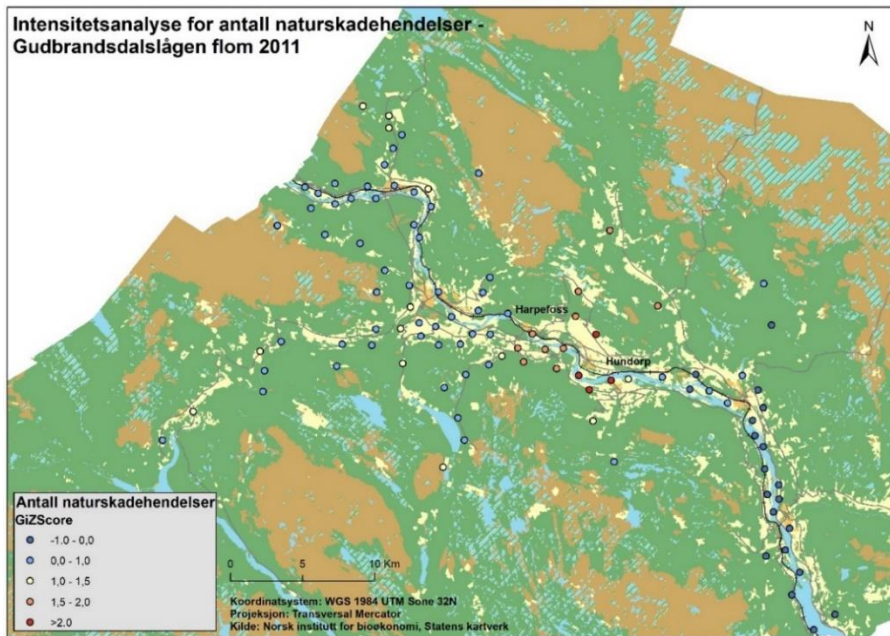
Resultatet fra intensitetsanalysene som er gjennomført for registrerte naturskadehendelser for de to flommene presenteres her. For hver av de to flomhendelsene er det gjort to ulike intensitetsanalyser, en analyse hvor intensiteten av antall naturskadehendelser er blitt undersøkt og en analyse hvor intensiteten av kostnad på naturskade er blitt undersøkt. Bakgrunnen for at det er gjort to intensitetsanalyser for hver av flomhendelsene, skyldes at det er interessant å se om det er likhet i konsentrasjonen av områder med høy intensitet av antall naturskadehendelser og kostnad på naturskade.

### 5.2.1 2011-flommen

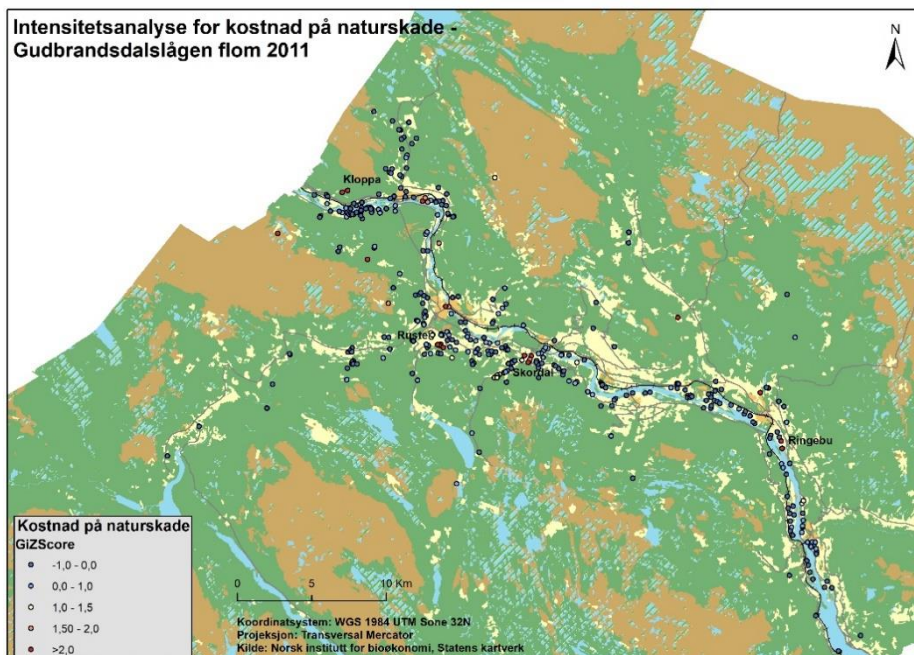
Figur 5.7 viser resultatet av intensitetsanalysen for antall naturskadehendelser for flommen som oppstod i 2011. Som det fremgår av figuren er det mulig å identifisere et område hvor man finner flere statistiske signifikante *hot spots*, og dette området ligger i strekningen mellom Harpefoss og Hundorp. Her er det både nord og sør for Gudbrandsdalslågen signifikante *hot spots*. Fra Hundorp og sørøst langs Gudbrandsdalslågen er det en opphopning av punkter med negative verdier langs dalsiden, indikert ved blå punkter. Disse er derimot ikke statistisk signifikante, da z-skår for disse punktene er høyere enn -1,96 og har en p-verdi som er høyere enn 0.05. Ved bruk av et konfidensnivå på 95 %, som benyttes i analysene, må disse verdiene være lavere enn -1.96 for at *cold spots* kan markeres som statistiske signifikante. Tilsvarende for å identifisere statistiske signifikante *hot spots*, må z-skår være over 1,96 og p-verdi lavere enn 0.05.

For intensitetsanalysen hvor kostnad på naturskade er analysert, er resultatene vist i figur 5.8. Langs Gudbrandsdalslågen er det opphopning av naturskader med lave beløp for kostnad,

indikert ved negativ z-skår (blå punktsymboler). Ingen av disse er derimot statistisk signifikant, og et fremtredende romlig mønster er ikke mulig å identifisere. Det er derimot flere områder hvor *hot spots*, indikert ved røde punkter, kan identifiseres. Ved Kloppa, Ruste, Skordal og Ringebu er det opphopning av punkter som har z-skår og p-verdi som gjør at de kan klassifiseres som statistisk signifikante *hot spots*. Disse områdene viser et tydelig romlig mønster når det gjelder kostnad på naturskade.



Figur 5.7: Resultat av intensitetsanalyse for natur naturskadehendelser for 2011-flommen.

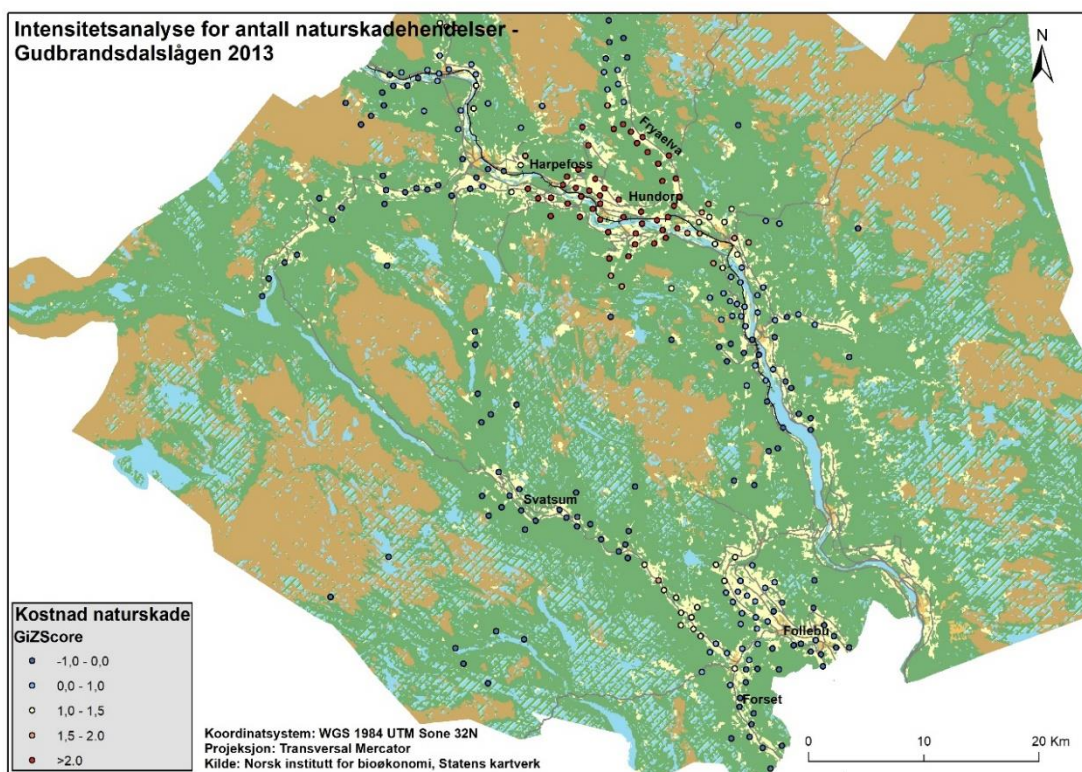


Figur 5.8: Resultat av intensitetsanalyse for kostnad på naturskade for 2011-flommen.



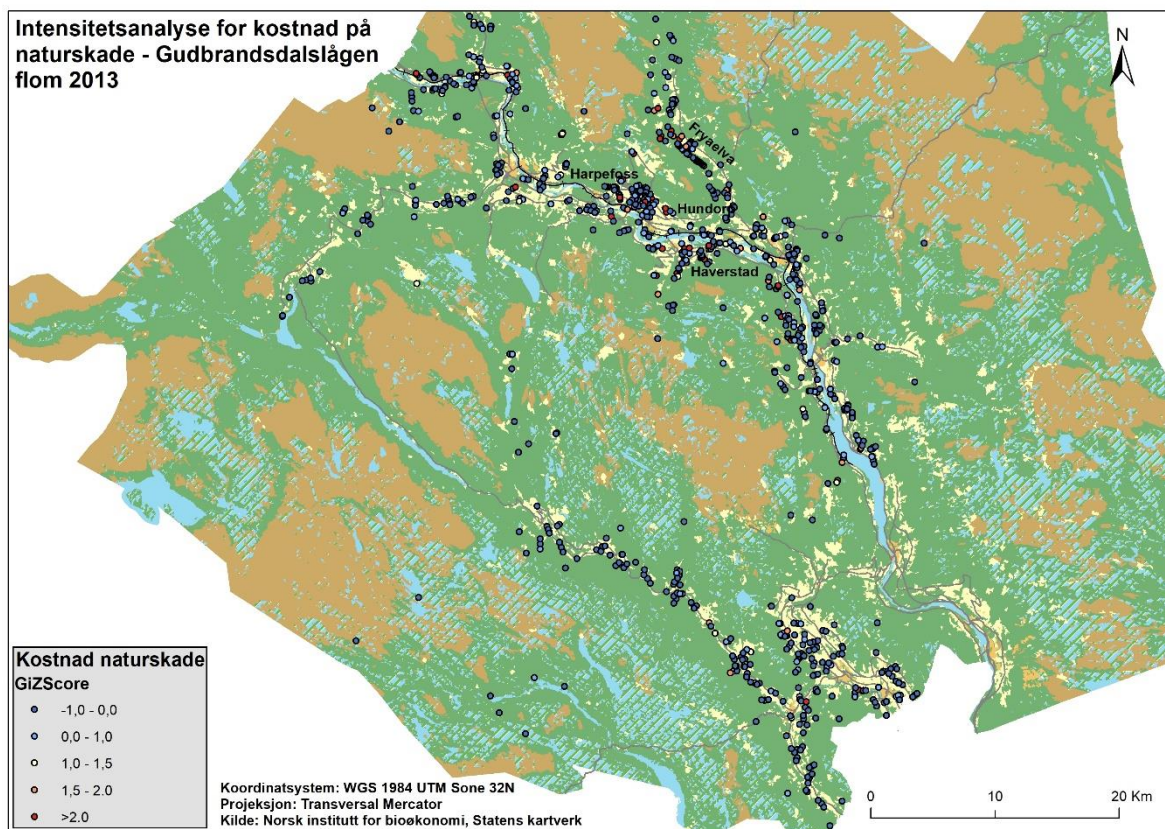
### 5.2.2 2013-flommen

Som det fremkommer av figur 5.9, som viser resultatet etter intensitetsanalyse for antall naturskadehendelser for flommen som oppstod i 2013, omfatter analysen et større geografisk område enn analysen gjennomført for 2011-flommen. Samtidig kan man identifisere flere punkter i denne intensitetsanalysen enn intensitetsanalysen for 2011-flommen, noe som skyldtes at en lavere verdi for XY toleranse ble benyttet. I området mellom Harpefoss og Hundorp, samt nordvest langs Fryaelva, kan man identifisere konsentrasjoner av statistisk signifikante *hot spots*. Som nevnt i avsnitt 5.2.1, viste intensitetsanalysen for 2011-flommen også at dette var et område med statistisk signifikante *hot spots*. I Gausdal er det to steder som en konsentrasjon av punkter med negativ z-skår; mellom Follebu og Forset og i Svatsum. Ingen av disse punktene har derimot verdier som tilsier at de er statistisk signifikant.



Figur 5.9: Resultatet av intensitetsanalyse for antall naturskadehendelser for 2013-flommen.

For intensitetsanalysen for 2013 hvor kostnad på naturskade har blitt analysert og benyttet som vekt, så er det ikke noe tydelig mønster av *hot spots*. Som vist i figur 5.10 preges resultatet av mange blå punkter med negativ z-skår. Mellom Harpefoss og Hundorp er det derimot lokalisert flere punkter i klynge som har z-skår over 1.96 og p-verdi lavere enn 0.05, noe som gjør at disse klassifiseres som statistiske signifikante *hot spots*. Klynger av slike punkter er også tilstede nord og sør for Hundorp, ved Haverstad og langs Fryaelva.



Figur 5.10: Resultatet av intensitetsanalyse for 2013-flommen, hvor kostnad på naturskade har blitt benyttet som vekt.

### 5.2.3 Tolking og videre bruk av resultat

Resultatene tilknyttet intensitetsanalysene har for begge flomhendelsene identifisert statistisk signifikante *hot spots* i flere ulike områder både når det gjelder intensiteten av hendelser og intensiteten for kostnad på naturskade. For intensitetsanalysen hvor kostnad på naturskade er benyttet som vekt, vil en opphopning av statistisk signifikante punkter, indikert ved rød farge, bety at resultatet ikke er tilfeldig. Det er med andre ord et romlig mønster, hvor verdien (kostnad på naturskade) er mye større enn det man skulle forventet dersom dette hadde vært en tilfeldig prosess. Dette betyr at det her er en eller flere faktorer som forårsaker det romlige mønsteret som observeres i spesifikke områder og som gjør at disse områdene skiller seg ut fra andre områder hvor det ikke er identifisert *hot spots* (ESRI, Udatert-t).

Basert på disse resultatene, er det interessant å nærmere undersøke hvorfor områdene med statistiske signifikante *hot spots* er der de er. Det er ønskelig å identifisere faktorene som forårsaker disse mønstrene, og dette kan for eksempel gjøres ved å ta i bruk regresjonsanalyse hvor variasjonen i kostnad på naturskade undersøkes. Utforskende regresjon og MKM-regresjon ble derfor vurdert som egnede metoder for å identifisere de mest relevante faktorene og deretter undersøke disse nærmere. Ettersom det i intensitetsanalysene for kostnad på naturskade ble identifisert flere områder med *hot spots* for begge flomhendelsene, ble det

besluttet å velge et område for hvert av flomhendelsene som skulle undersøkes ved bruk av regresjonsanalysene nevnt ovenfor. For 2011-flommen ble et nedbørfelt ved Ruste valgt, mens for 2013 ble et nedbørfelt ved Hundorp valgt. For hver av disse områdene ble det laget en regresjonsmodell, og resultatene av disse er gitt i avsnitt 5.5 og 5.6. Bakgrunnen for at det ble laget to modeller, og ikke en, skyldes at ettersom de utvalgte områdene er lokalisert på ulike steder, var det interessant å se om det var forskjell i hvilke faktorer som hadde størst innvirkning. I de utvalgte områdene skulle også flomveier modelleres, for å undersøke om det var mulig å gjenskape sannsynlige flomveier som oppstod under flommene. Valget av akkurat disse områdene ble også gjort fordi det her ble forårsaket store skader under begge flommene, som nevnt i avsnitt 2.3.

### **5.3 Valg av interpolasjonsmetode for generering av DHM**

Som nevnt i avsnitt 4.4.3 var det to kriterier som dannet utgangspunktet for valget av interpolasjonsmetode. Det ene kriteriet bygde på at interpolasjonsmetoden skulle generere DHM med lavest RMSE-verdi. Det andre kriteriet var at interpolasjonsmetoden skulle også generere DHM som var hydrologisk korrekt, ved at modellerte flomveier i høydemodellen fulgte etablerte bekkeløp. Med bakgrunn i disse kriteriene, ble de to interpolasjonsmetodene som produserte DHM med lavest RMSE-verdi valgt ut og flomveier ble modellert med utgangspunkt i disse høydemodellene. Modellerte flomveier ble deretter sammenlignet med etablerte bekkeløp i høydemodellene. Dersom det viste seg at begge interpolasjonsmetodene produserte høydemodeller som var hydrologiske korrekte, skulle DHM med lavest RMSE-verdi velges. På bakgrunn av disse kriteriene ble interpolasjonsmetoden *Average* valgt for Ruste, mens metoden *Maximum* ble valgt for Hundorp. Resultatet for RMSE-analysen og vurdering av hydrologisk korrekthet beskrives i de neste to avsnittene.

#### **5.3.1 RMSE-resultat**

Som nevnt i avsnitt 4.4.2, ble det generert flere digitale høydemodeller ved bruk av ulike interpolasjonsmetoder, og nøyaktigheten ved disse høydemodellene ble estimert ved bruk av Root Mean Square Error (RMSE). Resultatet av RMSE-analysen er gjengitt i tabell 5.1 for Hundorp nedbørfelt og tabell 5.2 for Ruste nedbørfelt. Som tabellene viser, har DHM generert ved bruk av *Maximum* lavest verdi for begge nedbørfeltene. DHM generert ved bruk av *Natural Neighbour* er interpolasjonsmetoden som har nest lavest RMSE-verdi for Hundorp nedbørfelt, mens for nedbørfeltet ved Ruste er *Average* metoden som har generert DHM med nest lavest verdi. Som det også fremkommer av begge tabellene, er DHM generert ved bruk

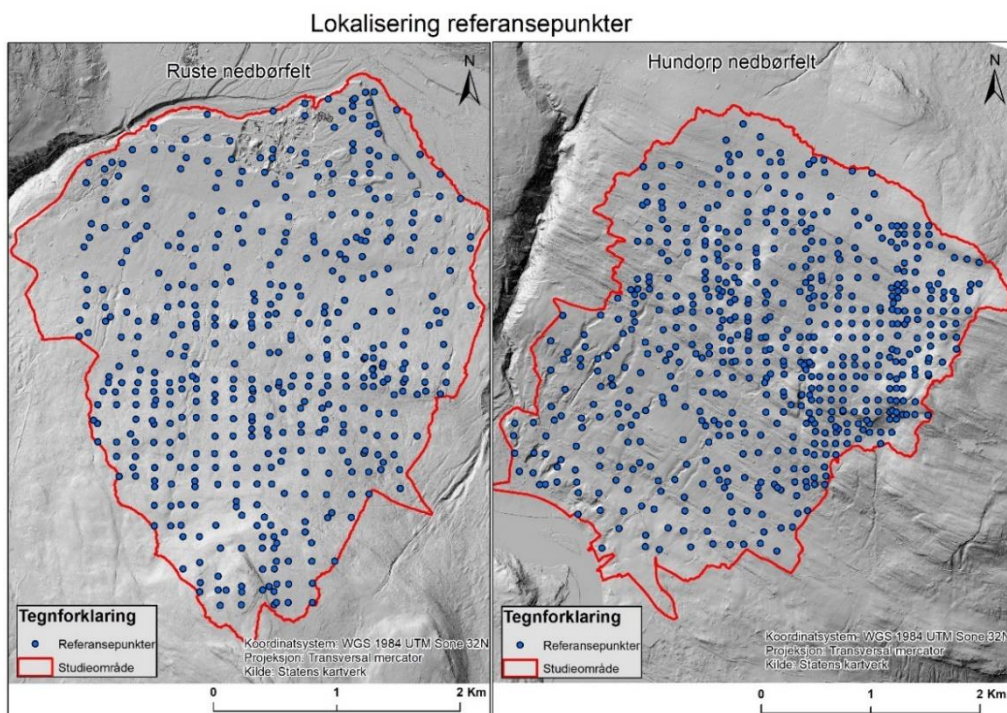
av *Topo to Raster* interpolasjonsmetoden som har høyest RMSE-verdi, og som dermed har størst avvik fra referansepunktene.

Tabell 5.1: RMSE verdier beregnet for DHM generert for studieområde ved Hundorp.

Root Mean Square for Hundorp nedbørfelt (m)		
Data anvendt i interpolering	Interpolasjonsmetode	RMSE
FKB-Data (vann, høydepunkt og høydekurve)	Topo to Raster	0,55033
LiDAR	Average	0,26732
LiDAR	IDW	0,26775
LiDAR	Maximum	0,25031
LiDAR	Minimum	0,31502
LiDAR	Nearest Neighbour	0,27184
LiDAR	Natural Neighbour	0,25646

Tabell 5.2: RMSE verdier beregnet for DHM generert for studieområde ved Ruste.

Root Mean Square for Ruste nedbørfelt (m)		
Data anvendt i interpolering	Interpolasjonsmetode	RMSE
FKB-Data (vann, høydepunkt og høydekurve)	Topo to Raster	1,95160
LiDAR	Average	0,43690
LiDAR	IDW	0,43769
LiDAR	Maximum	0,39597
LiDAR	Minimum	0,49750
LiDAR	Nearest Neighbour	0,45293
LiDAR	Natural Neighbour	0,44270

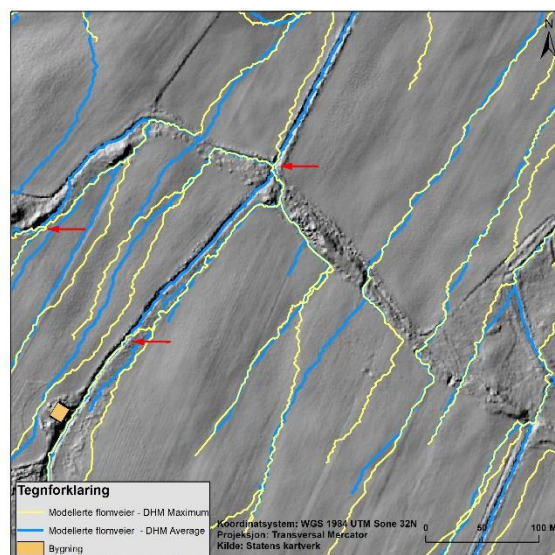


Figur 5.11: Posisjonen til referansepunkter brukt i RMSE-analyse for de to studieområdene.

Referansepunktene som danner utgangspunktet for beregning av RMSE er vist i figur 5.11 for begge nedbørfeltene. For nedbørfeltet ved Ruste ble det benyttet 475 referansepunkter, mens for nedbørfeltet ved Hundorp ble det tatt i bruk 581 referansepunkter. Disse er hentet ut fra LiDAR-skanningen gjennomført i 2009, og er dermed uavhengig av skanningene som har dannet utgangspunktet for interpoleringen av høydemodellene.

### 5.3.2 Hydrologisk korrekt høydemodell

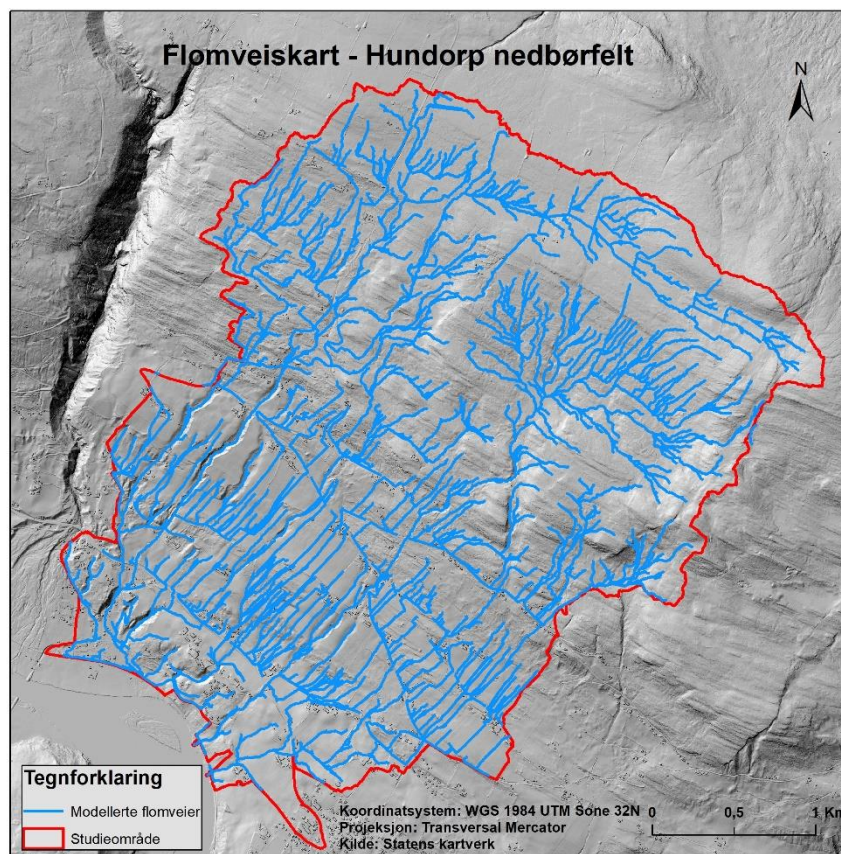
For to av høydemodellene med lavest RMSE-verdi, henholdsvis generert ved bruk av *Maximum* og *Average* for Ruste og *Maximum* og *Natural Neighbour* for Hundorp, ble det modellert flomveier for å vurdere høydemodellenes hydrologiske korrekthet. Modellerte flomveier ble visuelt undersøkt for å se om flomveiene sammenfalt med etablerte bekkeløp i DHM. Resultatet for Hundorp viste at flomveiene for begge høydemodellene fulgte etablerte bekkeløp. For Ruste derimot, viste det seg at DHM generert ved bruk av *Maximum* interpolasjon ikke sammenfalt med etablert bekkeløp, og tok ofte nytt far midt i elveløpet ut på dyrka mark og deretter inn igjen i bekkeløpet. For DHM generert ved bruk av *Average* interpolasjon var dette ikke tilfellet, og modellerte flomveier sammenfalt godt med eksisterende bekkeløp. Figur 5.12 viser et eksempel på dette langs Bekkjedalsbekken, hvor røde piler indikerer hvor flomveiene avviker fra bekkeløpet. Ettersom en sentral del av oppgaven omhandler bruk av modellerte flomveier, ble et slikt resultat vurdert som problematisk for videre arbeid. I kombinasjon med kriteriet om lavest mulig RMSE-verdi dannet denne sammenligningen utgangspunktet for at DHM generert ved bruk av *Average* skulle benyttes til generering av DHM for Ruste, mens for Hundorp ble DHM generert ved bruk av *Maximum* valgt.



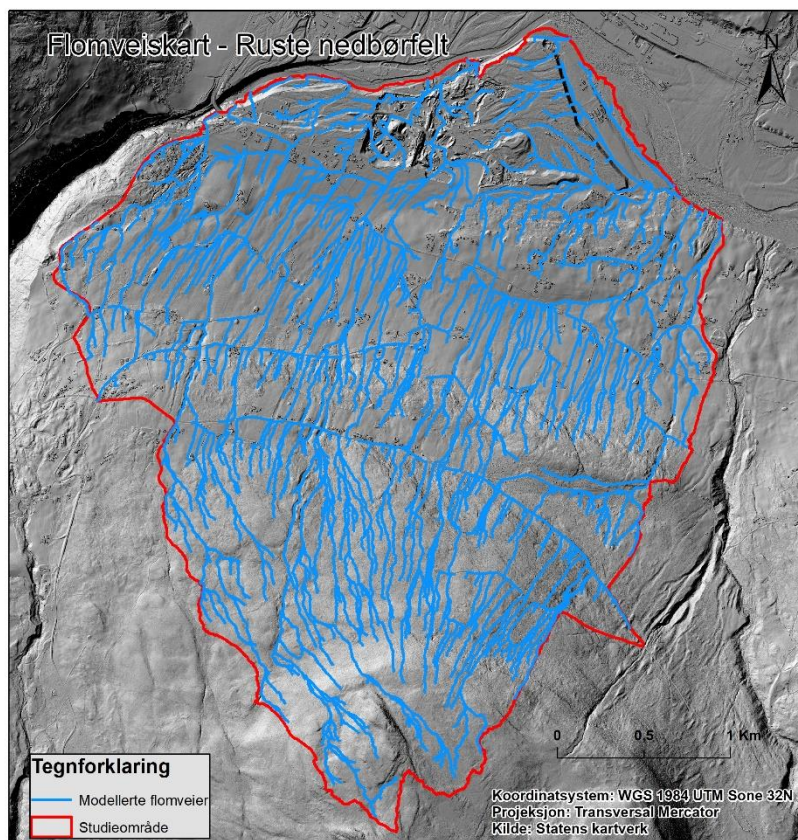
Figur 5.12: Forskjell i flomveismodellering med utgangspunkt to ulike interpolasjonsmetoder.

## 5.4 Modellerte flomveier

Figur 5.13 og 5.14 viser resultatet av flomveisanalysene for henholdsvis nedbørfeltene Hundorp og Ruste. Det finnes flere måter å validere flomveiene som analysen har generert, hvor en av disse er å visuelt sammenligne eksisterende elever og bekker i FKB-datasettet med modellerte flomveier. Dette er en kjent måte å validere flomveier, og er blitt benyttet i en rekke studier, deriblant Hennig (2015) og Sellæg (2016). I konteksten av denne oppgaven er det derimot mer relevant å undersøke om modellerte flomveier sammenfaller med naturskadepunktene som er registrert. Dette gir et større grunnlag for å validere flomveier som ikke følger de typiske lavbrekkene i terrenget. For å kvantifisere i hvor stor grad flomveiene treffer skadepunktene, ble verktøyet *Near* anvendt, hvor avstanden mellom skadepunkt og flomvei ble kalkulert. Avstandene for hvert skadepunkt ble lagret i en egen kolonne i egenskapstabellen til skadedatasettet. Disse verdiene ble benyttet til å vurdere mer konkret hvor godt flomveiene sammenfalt med skadepunktene sammenlignet med å undersøke de visuelt. Det er også disse verdiene som danner utgangspunktet for den uavhengige variabelen *avstd\_flomvei* som benyttet i regresjonsanalysene.



Figur 5.13: Modellerte flomveier for Hundorp nedbørfelt.



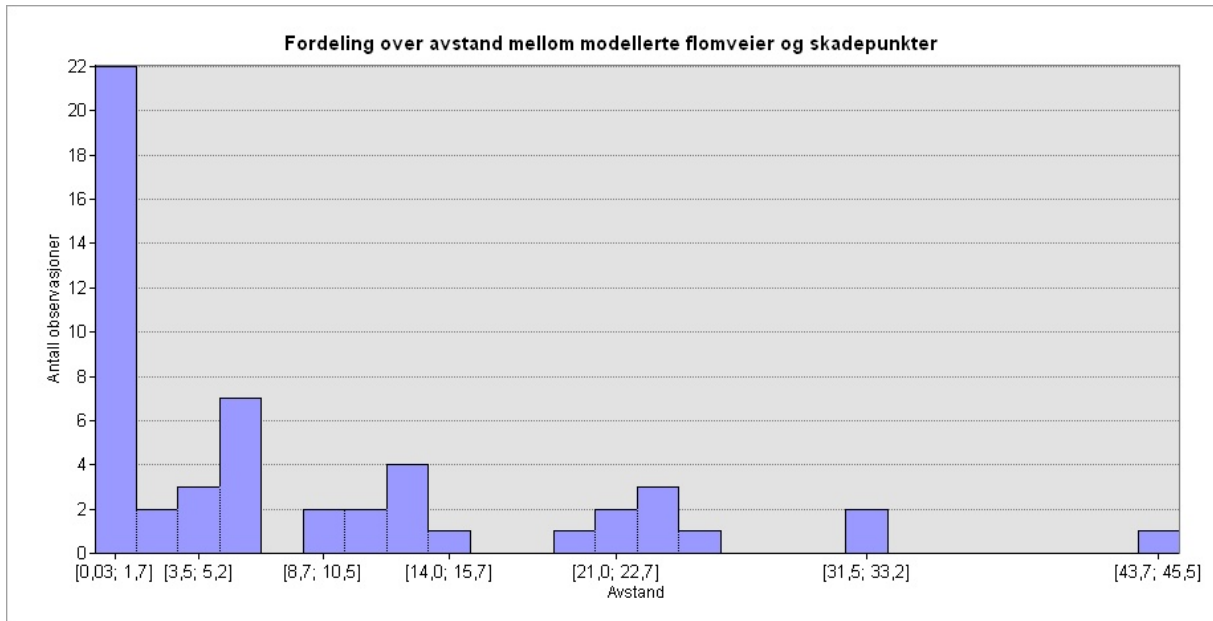
Figur 5.14: Modellerte flomveier for Ruste nedbørfelt.

#### 5.4.1 Hundorp nedbørfelt

Gjennomsnittlig avstand mellom modellerte flomveier og skadepunkter registrert for 2013-flommen i det som utgjør Hundorp nedbørfelt er på 8,8 meter, og en slik verdi gir inntrykk av at de modellerte flomveiene ikke sammenfaller særlig bra med registrerte skadepunkter. Som figur 5.15 viser, er fordelingen meget skjevfordelt og intervallet av verdier stort, fra 0,03 til 45 meter. Dette vil si at de modellerte flomveiene sammenfaller i noen områder godt med skadepunktene og er her en god indikasjon på sannsynlige dreneringsmønstre. I andre områder så sammenfaller flomveiene i liten grad med skadepunktene og er nødvendigvis ikke korrekte. Nedenfor presenteres områder i Hundorp nedbørfelt hvor modellerte flomveier sammenfaller både godt og dårlig med skadepunkter. En avstand under 15 meter vurderes her som god modellering, mens en avstand over 15 meter vurderes som dårlig. 81,13 % av observasjonen har en avstand som er mindre enn 15 meter, og vurderes som gode.

Bakgrunnen for valget av denne terskelverdien er at den tar hensyn til naturlige brudd i fordelingen av verdier, samtidig som det tas hensyn til at skadehendelsene har ofte blitt stedfestet på grunnlag av dårlig informasjon i takstdokumenter. Felles for områdene hvor flomveiene vurderes som gode er at det i disse områdene er flere elve- og bekkeløp, mens områdene hvor flomveismodelleringen kan klassifiseres som dårlig, preges av

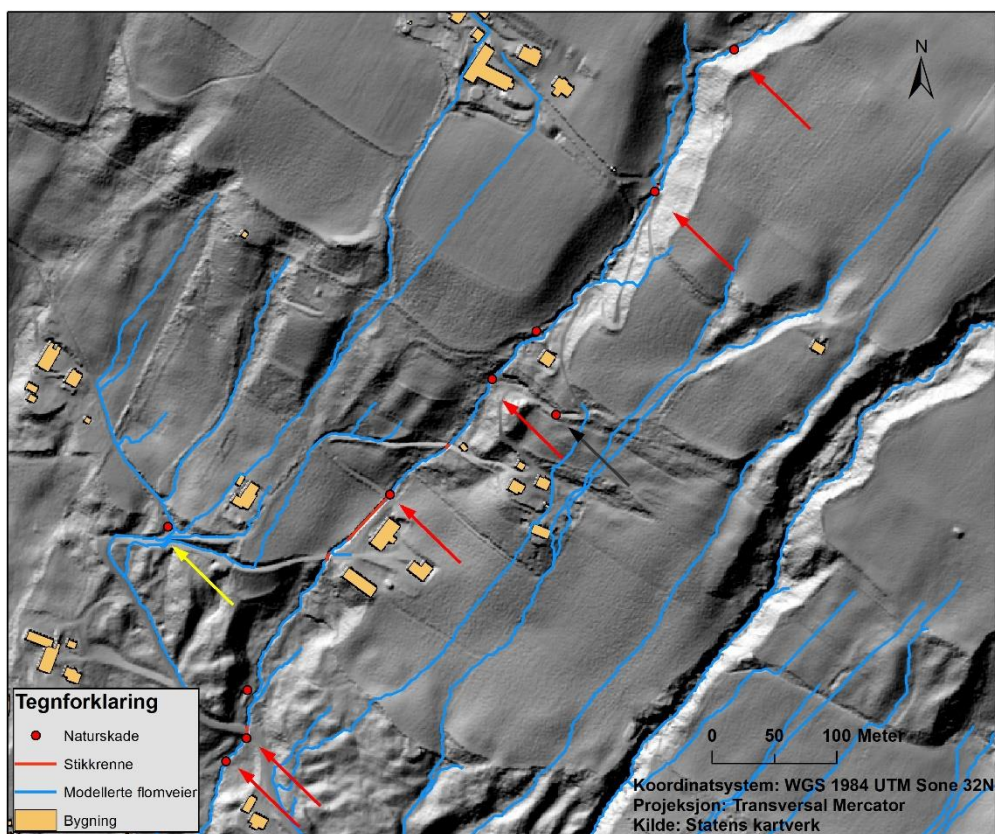
jordbruksarealer hvor det ikke er noen tydelige lavbrekk i terrenget. Videre er det et fellestrekk at i seks av åtte skadepunkter som ligger nærmest flomveier vurdert som dårlig modellert så er vann på avveie blitt registrert som skadeårsak.



Figur 5.15: Fordeling over generert avstand mellom flomveier og skadepunkter for studieområdet ved Hundorp.

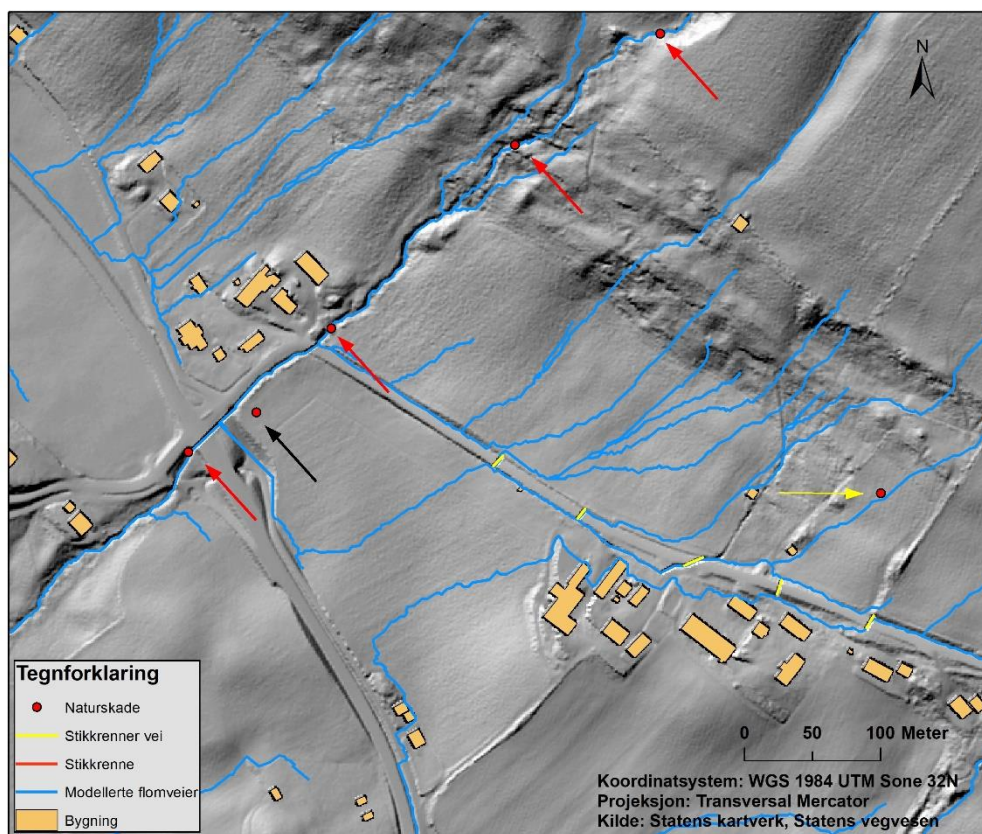
Figur 5.16 viser modellerte flomveier for et område langs elva Trilla, og resultatet av avstandsanalysen viser at det er her flere flomveier som sammenfaller godt med skadepunktene. Spesielt gjelder dette for flomveien i selve elveløpet, som sammenfaller med seks av skadepunktene, indikert ved røde piler. Distansen fra skadepunktene i elveløpet og til flomveien ligger alle under en meter, hvor den minste avstanden er på 0,03, mens den høyeste avstanden er på 0,91. Slike verdier er en indikasjon på at den modellert flomveien representerer sannsynlig dreneringsmønstre, og at modelleringen er god. Et annet eksempel hvor flomveiene sammenfaller godt med registrerte skadepunkter er angitt ved gul pil, hvor avstanden fra modellert flomvei til skadepunkt er 3,6 meter. Informasjonen som ligger i skadepunktet bekrefter at modelleringen stemmer med hvordan vannet drenerte under flommen, da det her er blitt gjort skade på vei ved skadepunktet og opp mot bebyggelse nordvest for skadepunkt. I området som figuren viser er det også et tilfelle hvor flomveiene ikke sammenfaller med skadepunkt, og dette er indikert ved svart pil. Her har det blitt gjort skade på en driftsvei, og her kan man se at modellert flomvei følger deler av veien før den drenerer ut av veien og nedover mot bebyggelse. Her er avstanden mellom flomvei og skadepunkt på 22,1 meter, og denne verdien gjør at modelleringen vurderes som dårlig. Modellen gjenspeiler her ikke dreneringsmønstre som sannsynligvis oppstod under flommen i 2013.





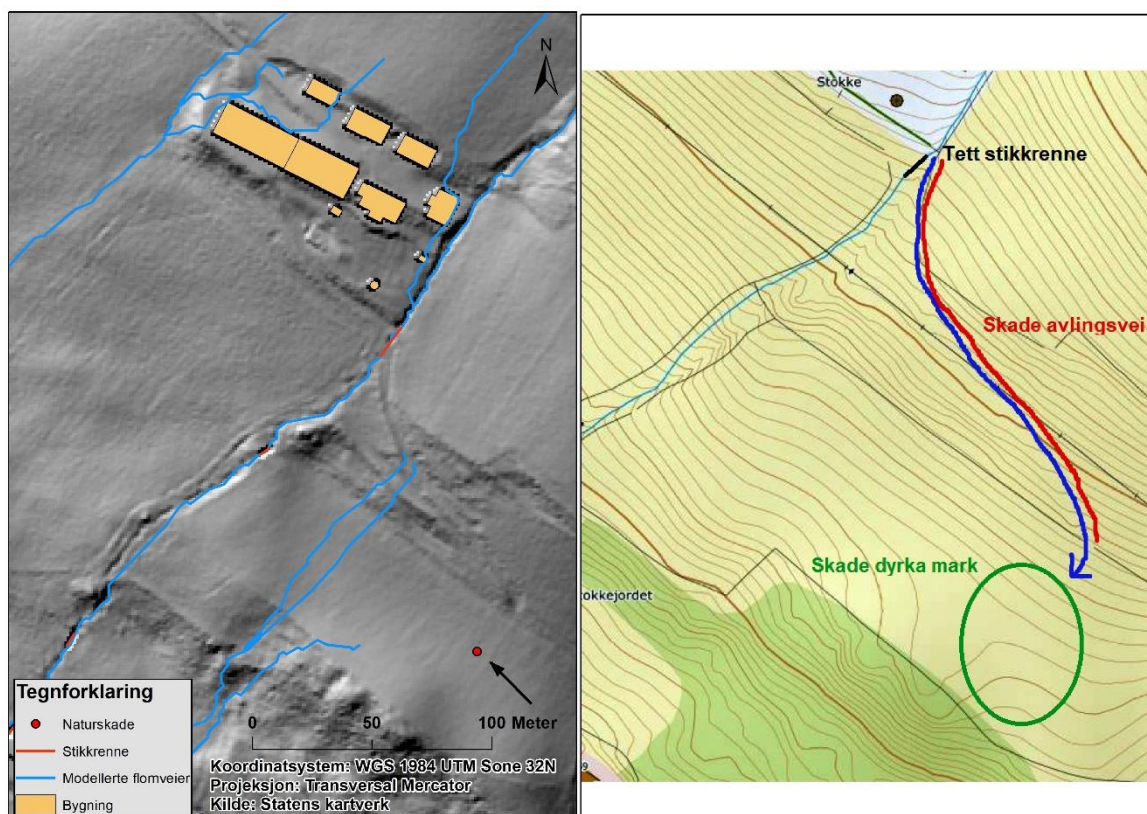
Figur 5.16: Modellerte flomveier langs elva Trilla, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen er vurdert som god og dårlig.

Et annet eksempel på et område hvor modellerte flomveier sammenfaller godt med registrerte naturskadehendelser, er i området langs elva Kvikstadåa, vist i figur 5.17. For modellert flomvei som går i selve elveløpet er avstanden til skadepunktene, indikert ved røde piler, innenfor grensen for hva som vurderes som en god modellering. For denne flomveien er minste avstanden til de fire skadepunktene på 0,30 meter, mens den høyeste er på 1,42 meter. Langs elveløpet kan man også identifisere en naturskadehendelse, gitt ved svart pil, hvor det ikke er noen flomveier som sammenfaller med registrert skadepunkt. Fra nærmeste flomvei og til dette skadepunktet er det en avstand på 14,70 meter. Ved nærmere undersøkelse viser det seg at det her har blitt gjort skade på dyrka mark ved at Kvikstadåa har gått over sine bredder og vasket ut deler av dyrka mark som ligger langs elva. Videre ser man helt til høyre i figuren, ved gul pil, flomveier som tilsynelatende sammenfaller veldig bra med naturskadehendelse, og dette bekreftes ved å undersøkes avstanden fra flomvei til skadepunkt. Avstanden ligger på 4,60 meter.



Figur 5.17: Modellerte flomveier langs elva Kvikstadåa, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen er vurdert som god og dårlig.

I de områdene hvor flomveiene ikke følger tydelige lavbrekk i terrenget slik som elver og grøfter, er gjerne avstanden til nærmeste registrerte skadepunkt stor. Et eksempel på dette er illustrert i figur 5.18, som viser et område lokalisert ved Stokke. Ved skadepunktet har avlingsvei blitt delvis erodert bort og dyrka mark har blitt skadet i form av gjenlagte masser. Punktet som stedfester denne hendelsen, indikert ved svart pil, ligger 45,51 meter unna nærmeste flomvei, og modelleringen vurderes dermed som dårlig. I skadepunktet ligger det informasjon som beskriver at oppstrøms for skadepunkt, langs bekken som går igjennom området, har en stikkrenne som ligger nedenfor gårdsbebyggelsen blitt tettet igjen. Som et resultat av dette har vannet havnet på avveie og tatt nytt løp langs avlingsvei og inn på dyrka mark. I den nettbaserte løsningen som er blitt brukt til å stedfeste skadene er det lagt ved et vedlegg som viser hvordan vannet mest sannsynlig har drenert under flommen, og dette er vist i figur 5.18. Dette ble tatt hensyn til i modifiseringen av DHM, og stikkrenne som ble tettet igjen under flommen ble modifisert slik at den var lukket. Likevel, som indikert i figuren, hadde ikke dette noe innvirkning på resultatet ved modellering av flomveiene.

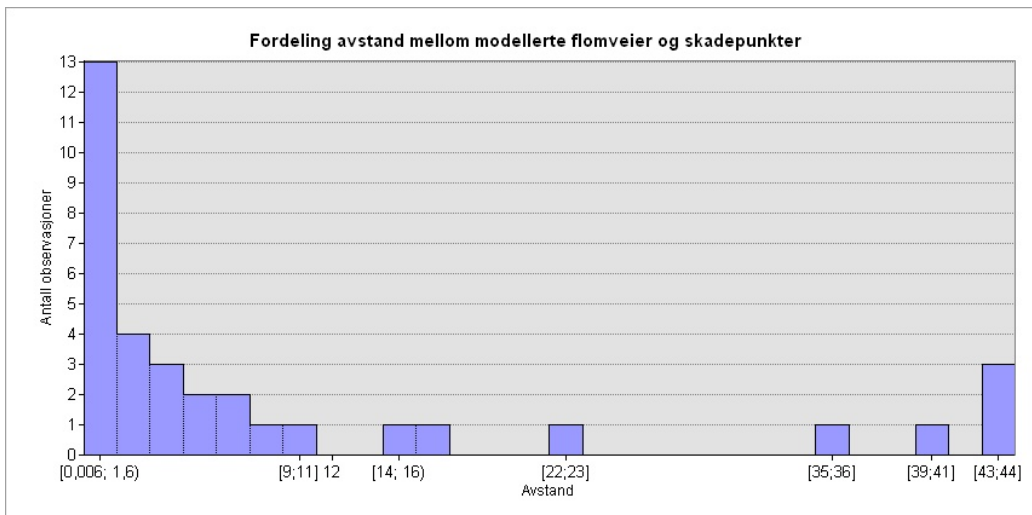


Figur 5.18: Modellerte flomveier ved Stokke, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen vurdert som dårlig. Kart til høyre viser vedlegg innhentet fra nettbasert kartløsning benyttet for å registrere skadehendelser.

#### 5.4.2 Ruste nedbørfelt

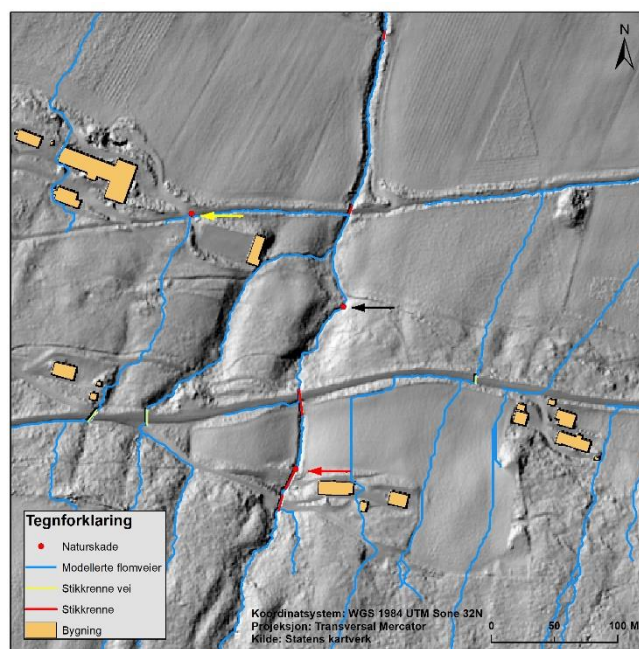
Den gjennomsnittlige avstanden mellom modellerte flomveier og skadepunkter registrert for 2011-flommen i Ruste nedbørfelt er på 9,86 meter, og modelleringene har dermed høyere gjennomsnittsverdi enn modellerte flomveier for Hundorp nedbørfelt. I likhet med avstandene generert for flomveiene for Hundorp, er intervallet mellom avstandsverdier stort. Som figur 5.20 viser, strekker dette intervallet seg fra den minste avstandsverdien på 0,006 meter til 44,79 meter. Dette gir dermed en indikasjon på at flomveiene er modellert bedre i noen områder enn andre. I påfølgende avsnitt presenteres områdene hvor flomveier sammenfaller bra og dårlig med skadepunkter. Terskelverdien som benyttes til å vurdere hva som er god eller dårlig modellering er satt til 12 meter, hvor flomveier under 12 meter vurderes som gode mens flomveier over vurderes til å være dårlige. 81,25 % av observasjonen har en avstand som er mindre enn 12 meter, og vurderes som gode. I likhet med resultatet av valideringene av flomveiene modellert for Hundorp, preges områdene hvor modelleringene er vurdert som gode, av at det finnes elve- og bekkeløp i disse områdene. Modellerte flomveier som er klassifisert som dårlig preges av de er lokalisert på områder med dyrka mark. Et annet likhetstrekk som resultatet for Ruste deler med resultatet for Hundorp, er at for skadepunktene som ligger nærmest flomveier som er vurdert som dårlig, så er kategorien vann på avveie blitt

benyttet som skadeårsak. I alle av de åtte skadepunktene dette gjelder så er denne kategorien benyttet.



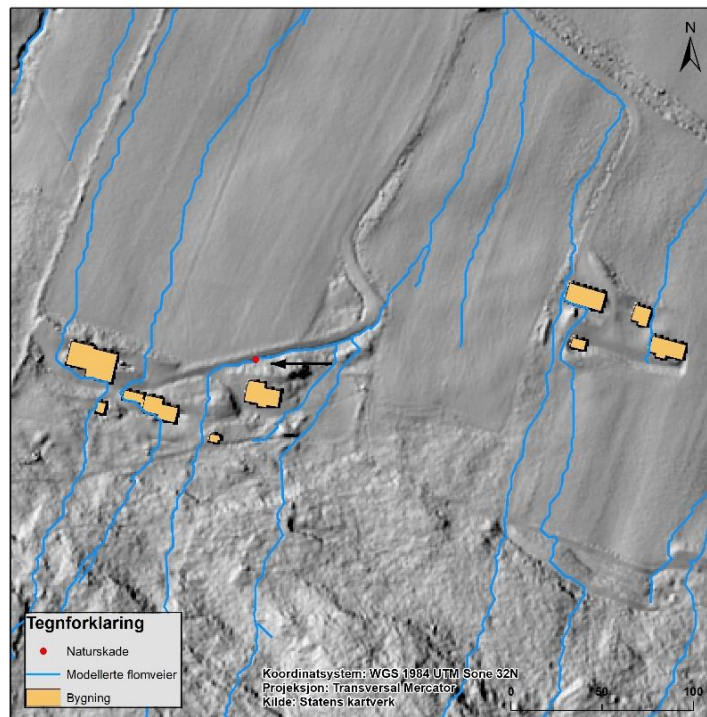
Figur 5.19: Fordeling over generert avstand mellom flomveier og skadepunkter for studieområdet ved Ruste.

I området som følger nedre deler av Bekkjedalsbekken, som vist i figur 5.20, er det flere flomveier som sammenfaller godt med registrerte skadepunkter. For flomveien som går i selve elveløpet er avstanden fra skadepunkt indikert med svart pil kun 0,66 meter, mens for skadepunkt indikert ved rød pil er avstanden 0,31. Dette er innenfor grensen av hva som vurderes som en god flomveismodellering. Man kan også observere til venstre i figuren en flomvei som drenerer nordover og over vei hvor flomveien sammenfaller med registrert skadepunkt, indikert ved gul pil. Her er avstanden mellom skadepunkt og flomvei på kun 1,16 meter og dermed vurderes denne modelleringen som god.



Figur 5.20: Modellerte flomveier langs Bekkjedalsbekken, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen vurdert som god.

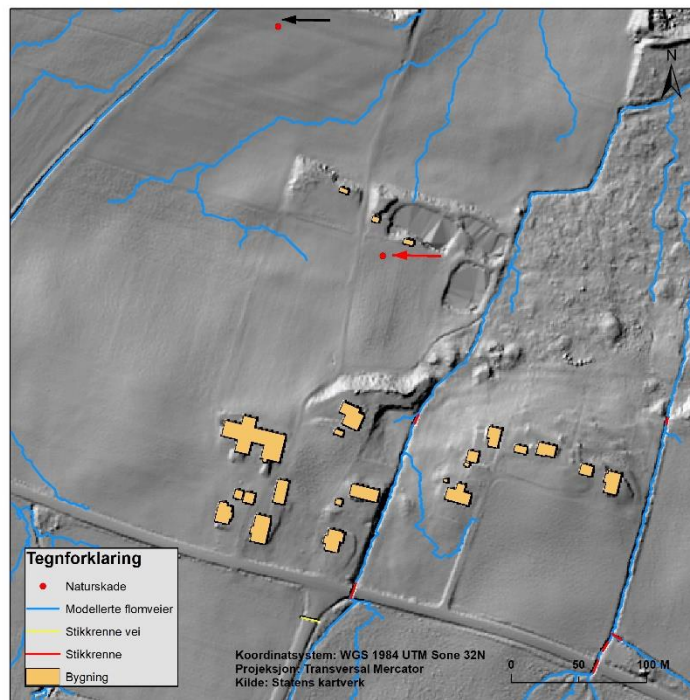
Et annet eksempel på et område hvor modellerte flomveier sammenfaller godt med registrert skadepunkt er gitt i figur 5.21, som viser et område ved Øygarden. Ved skadepunktet, her indikert med rød pil, er det blitt gjort skade på gårdsvei over en strekning på 650 meter. Her kan man visuelt observere at modellert flomvei sammenfaller med registrert skadepunkt, og dette understøttes av avstandsverdien, som er kun på 0,006 meter. Denne flomveien er flomveien som har minst avstand til registrert skadepunkt i hele datasettet, og modelleringen i dette området anses dermed som svært god.



Figur 5.21: Modellerte flomveier ved Øygarden, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen vurdert som god

I likhet med flomveismodelleringen for Hundorp nedbørfelt, er det flere områder hvor flomveismodelleringen er dårlige da det er stor avstand mellom modellerte flomveier og registrerte skadepunkter. Et godt eksempel på dette er illustrert i figur 5.22, som viser et område ved Haugen, like nedenfor Rustevegen. Ved skadepunktet, indikert ved rød pil, er det gjort skade i form av gjenlegging av masse og utgravninger på dyrka mark. Årsaken til skade skyldes delvis flom i bekkeløp øst for skadepunkt, men også at nedbør har fulgt traktorvei, som går til vest for skadepunkt. Vannet som har forårsaket skade har med andre ord havnet på avveie. Selv om veien er synlig i høydemodellen, er det langs denne veien ikke blitt modellert flomveier. For dette skadepunktet er nærmeste flomvei 44 meter unna, og slik sett vurderes modelleringen til å være dårlig. Nord i figuren er det også et område hvor flomveismodelleringen er vurdert som dårlig. For skadepunktet indikert ved svart pil finnes det ikke noen modellerte flomveier i umiddelbar nærhet, og nærmeste flomvei er 41 meter

unna. Slik sett er dette området et godt eksempel på hvor flomveismodelleringen kan anses som dårlig.



Figur 5.22: Modellerte flomveier ved Haugen, med indikasjon på hvor flomveismodelleringen vurdert som dårlig.

## 5.5 Utforskende regresjon

Utforskende regresjon ble benyttet for å finne kombinasjonen av faktorene, gitt ved uavhengige variabler, som forklarer best hvorfor egenskapen kostnad takst varierte. Ved kjøring av utforskende regresjon i ArcMap er det mulig å spesifisere søkekriterier som angir minimum og maksimum antall variabler som skal inkluderes i analysen. Det ble benyttet totalt 11 kandidatvariabler, og minimum og maksimum antall variabler ble satt til henholdsvis 1 og 11. Resultatet er en rapport som inneholder tabeller med statistiske mål, og gir informasjon om modellenes forklaringssevne, variabelenes signifikans, multikollinearitet, skjevhet og romlig autokorrelasjon (ESRI, Udatert-m). Det er målet på modellens forklaringssevne som er mest interessant for oppgavens problemstilling, og derfor ble variabler valgt på grunnlag av dette målet.

Tabell 5.3 viser hvilke variabler som har forklarer hvorfor kostnad på naturskade varierer best for studieområdet ved Hundorp. I tabellen er det tre modeller med fire ulike kombinasjoner av variabler, hvor forklaringssevnen ligger på 27 prosent for to av modellene, mens den tredje har en forklaringssevne på 32 prosent. Sistnevnte modell ble valgt ut og skulle undersøkes nærmere i MKM-regresjon. Variablene i denne modellen Aspekt\_TRASP, helning på skråning, vest og øst og infiltrasjon. Fortegnet foran disse variablene indikerer type forhold de

har til avhengig variabel, mens asterisk indikerer graden av statistisk signifikans. \*\* indikerer at det er 5 % sannsynlighet for at statistisk signifikans skyldes tilfeldigheter, mens \*\*\* indikerer at det er 1 % sannsynlighet for at statistisk signifikans skyldes tilfeldigheter.

Tabell 5.3: Tabellen viser kombinasjonen av variabler som har samlet høyest forklaringssevne for kostnad på naturskade i studieområdet ved Hundorp.

Justert R <sup>2</sup>	AICc	Jarque-Bera	Koenker (BP)	Romlig Autokorrelasjon	VIF	Utvalgte variabler
0,32	130,02	0,8	0,67	0,82	1,32	+LOG_SKRÅNING*** -ASPEKT_TRASP** - VEST_ØST** -INFILTRASJON*
0,27	132,54	0,88	0,52	0,6	1,33	-LOG_AKKUMULERING +LOG_SKRÅNING*** -ASPEKT_TRASP*** -VEST_ØST**
0,27	132,1	0,99	0,27	0,85	2,62	-LOG_AKKUMULERING +LOG_SKRÅNING*** +NORD_SØR** -INFILTRASJON**

Tabell 5.4 viser at det er to modeller som har lik og høyest forklaringssevne for studieområdet ved Ruste, med en forklaringssevne på 30 prosent. Da alle de statistiske målene er lik for disse to modellene, ble det besluttet å velge modellen med variabelen vest\_øst. Bakgrunnen for dette valget skyldtes at variabelen vest\_øst også ble valgt ut for Hundorp, noe som gir mulighet til å sammenligne resultatene for variablene.

Tabell 5.4: Tabellen viser kombinasjonen av variabler som har samlet høyest forklaringssevne for kostnad på naturskade i studieområdet ved Ruste.

Justert R	AICc	Jarque-Bera	Koenker (BP)	Romlig Autokorrelasjon	VIF	Utvalgte variabler
0,30	100,17	0,45	0,47	0,76	1,52	+KURVATUR*** +LOG_SKRÅNING +VEST_ØST** -AVSTD_FLOMVEI
0,30	100,17	0,45	0,47	0,76	1,52	+KURVATUR*** +LOG_SKRÅNING +NORD_SØR** -AVSTD_FLOMVEI
0,29	100,74	0,49	0,86	0,95	2,61	+KURVATUR*** +PROFIL_KURV +NORD_SØR** -AVSTD_FLOMVEI**

## 5.6 MKM-regresjon

Basert på variablene identifisert i forbindelse med utforskende regresjon, ble MKM-regresjon kjørt for begge studieområdene, Ruste og Hundorp, for å undersøke variablene og modellens forklaringskraft nærmere. Resultatene av regresjonsanalysene er presentert i de følgende avsnittene.

### 5.6.1 Hundorp

#### 5.6.1.1 Koeffisientverdi og VIF

Koeffisientverdien for hver enkelt uavhengig variabel er vist i tabell 5.5 under feltet Coefficient. Som nevnt i avsnitt 3.7.1.2., er koeffisientverdien et mål som indikerer styrken og

type forhold uavhengig variabler har til avhengig variabel (Rød, 2015). Avhengig variabel er i denne modellen egenskapen kostnad på naturskade, mens de uavhengige variablene er gjennomsnittlig infiltrasjonsevne, aspekt\_TRASP og vest-øst. Som det fremgår av koeffisientverdiene i tabellen, har de uavhengige variablene både positive og negative forhold. De negative forholdene er indikert ved et minustegn foran verdien, og dette gjelder for variablene aspekt\_TRASP, infiltrasjonsevne og vest\_øst

Tabell 5.5: Tabellen viser koeffisientverdier, statistisk signifikans og VIF for uavhengige variabler benyttet i MKM-regresjon for studieområdet ved Hundorp.

Variabel	Coefficient [a]	StdError	t-Statistic	Probability [b]	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr [b]	VIF [c]
Intercept	13,39876	1,550204	8,643222	0,000000*	1,308069	10,24316	0,000000*	-----
Log_skråning	0,753509	0,260737	2,889927	0,006491*	0,252479	2,984449	0,005081*	1,123193
Aspekt_TRASP	-2,646945	1,038608	-2,548551	0,015228*	0,789812	-3,351363	0,001900*	1,317349
Vest_øst	-1,910451	0,885729	-2,156925	0,037766*	0,641996	-2,975797	0,005197*	1,267094
Infiltrasjon	-0,877886	0,499292	-1,758263	0,087202	0,468415	-1,874162	0,069042	1,128742

Variabelen Aspekt\_TRASP, som er en av variablene som indikerer terrenghelningens himmelretning, har en koeffisientverdi -2,64, noe som indikerer et sterkt negativt forhold til avhengig variabel kostnad på naturskade. Dette betyr at når terrenghelningen naturskade er lokalisert i har en nordvendt himmelretning, så faller kostnaden på naturskade. Videre kan man observere at i feltene Probability[b] og Robust\_Pr[b] så har denne variabelen fått \* symbolet bak verdiene. Dette symbolet betyr at koeffisienten er statistisk signifikant, og har en viktig innvirkning på modellens resultater (ESRI, Udatert-n, Udatert-q). For variabelen Vest\_øst, som også indikerer terrenghelningens himmelretning, kan man også observere et slik symbol bak de samme feltene. Koeffisientverdien for denne variabelen er en indikasjon på et sterkt negativt forhold til avhengig variabel, og tilsier at når terrenghelning hvor naturskade inntruffet har en vestlig himmelretning, så faller kostnaden på naturskade.

For variabelen skråning, som er blitt logaritmisk transformert, kan man imidlertid observere et positivt og sterkt forhold til kostnad på naturskade, da koeffisientverdien er 0,75. Dette betyr at når helningen på skråning øker, så øker også kostnaden på naturskade. I likhet med variablene for himmelretning, er det for denne variabelen et asterisk symbol bak feltene Probability[b] og Robust\_Pr[b]. Dette betyr at denne variabelen også har en innvirkning på modellens forklaringssevne.

For den siste variabelen, gjennomsnittlig infiltrasjonsevne for nedbørfeltet som naturskade er lokalisert i, så indikerer en koeffisientverdi på -0,87 at denne variabelen har et negativt



forhold til avhengig variabel. Når infiltrasjonsevnen i nedbørfeltet som naturskade er lokalisert i øker, så faller kostnad på naturskade. I motsetning til de andre variablene så har ikke denne variabelen noen innvirkning på modellens forklaringssevne.

Felles for alle de uavhengige variablene vist i tabell 5.5, er at verdien for målet Varians inflasjonsfaktor (VIF) er under 7.5. Som nevnt i avsnitt 3.7.1.3 beskriver dette målet redundans, noe som gir en indikasjon på hvorvidt variablene overlapper hverandre når det gjelder prediksjon av den avhengige variabelen. Verdiene i denne analysen ligger rundt en, og er dermed innenfor grensen på 7.5, hvor verdier over dette indikerer redundans og burde dermed fjernes (ESRI, Udatert-n).

### 5.6.1.2 Modellvurdering

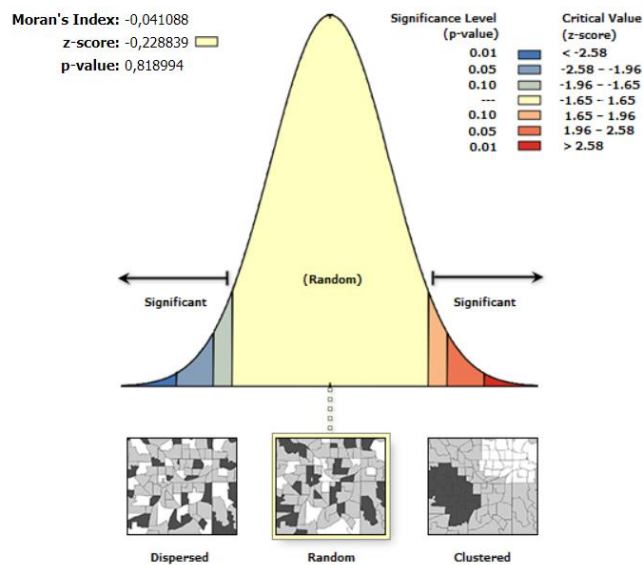
Ved vurdering av modellen som er blitt benyttet, er det en rekke momenter som må undersøkes. Dette inkluderer blant annet modellens forklaringskraft, modellens statistiske signifikans, heteroskedastisitet og skjevhet. For å vurdere modellens forklaringskraft kan målene multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  og justert multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  benyttes. Disse målene er, sammen med en rekke andre mål som beskriver modellen, vist i tabell 5.6.

Tabell 5.6: Tabellen viser ulike statistiske mål benyttet for å vurdere modell benyttet i MKM-regresjon for studieområdet ved Hundorp.

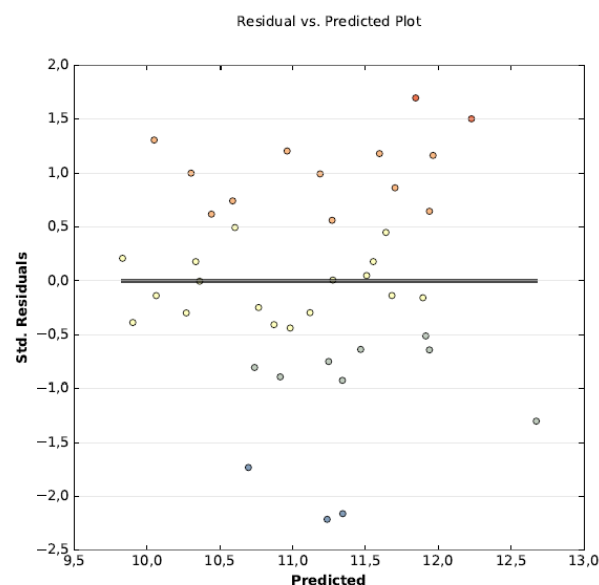
Antall observasjoner	41	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	130,022509
Multiple R-Squared [d]:	0,384644	Adjusted R-Squared [d]:	0,316271
Joint F-Statistic [e]:	5,625681	Prob(>F), (5,35) degrees of freedom:	0,001268*
Joint Wald Statistic [e]:	28,953632	Prob(>chi-squared), (5) degrees of freedom:	0,000008*
Koenker (BP) Statistic [f]:	2,375769	Prob(>chi-squared), (5) degrees of freedom:	0,667011
Jarque-Bera Statistic [g]:	0,438585	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,803087

Som det fremgår av denne tabellen, er verdien for målene multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  på 0,38, mens justert multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  har en verdi som tilsier at de uavhengige variablene kan forklare 31,6 prosent av variasjonen i avhengig variabel, kostnad på naturskade. Det sistnevnte målet benyttes gjerne til å beskrive modellens forklaringskraft, da dette er mer et mer nøyaktig mål enn multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  og reflekterer i større grad modellens kompleksitet (Rød, 2015). For å validere dette resultatet kan man undersøke residualer som genereres som en del av regresjonsanalysen, og her er det en rekke forutsetninger som må oppfylles dersom resultatene skal kunne stoles på. Først og fremst, så skal ikke residualene vise noe tegn til romlig autokorrelasjon som er statistisk signifikant. Hvis dette er tilfellet, så kan dette indikere at viktige variabler mangler (Rød, 2015). Som figur 5.23 viser, så kan ikke romlig autokorrelasjon identifiseres. For det andre, så skal ikke

residualene vise tegn til konsentrasjon av under- og overprediksjoner, da dette kan være en indikasjon på heteroskedastisitet (ESRI, Udatert-u). Figur 5.24 viser at dette ikke er tilfelle, da det ikke er noe tydelig struktur for spredningsplottet og mønsteret fremstår som tilfeldig. For det tredje så skal residualene være normalfordelte. Dersom dette ikke er tilfellet, så er dette et tegn på at modellen er skjevfordelt, og som nevnt i avsnitt 3.7.1.6, burde bruk av skjevfordelte modeller i regresjonsanalyser unngås. Skjevfordeling kan undersøkes nærmere ved å se på et frekvenshistogram som viser fordelingen av standardiserte residualer (Rød, 2015). Dette knyttes gjerne opp mot Jarque-Bera målet, og omtales derfor senere i avsnittet.



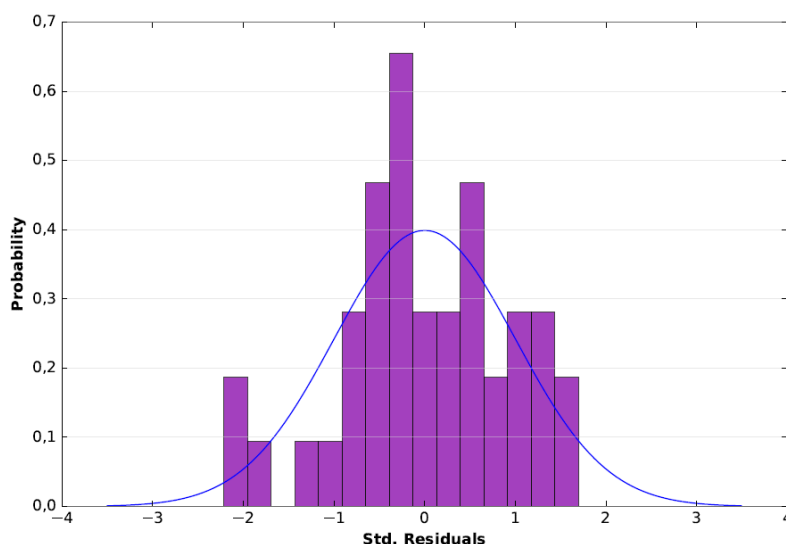
Figur 5.23: Resultatet etter kjøring av Spatial Autocorrelation i tilknytning MKM-regresjon for Hundorp, hvor det ikke er noen tegn på tydelige mønster.



Figur 5.24: Spredningsplott for residualer i tilknytning MKM-regresjon for Ruste, med ingen tegn til noe mønster.

For å vurdere modellens statistiske signifikans anvendes målene Joint F-statistikk og Joint Wald statistikk. Dersom verdien for Koenker(BP) er statistisk signifikant, indikert ved en asterisk ved siden av verdien, kan ikke Joint F-statistikk anvendes for å vurdere statistisk signifikans for modellen - da må Joint Wald statistikk benyttes (ESRI, Udatert-n). Som tabell 5.6 viser, er ikke målet for Koenker (BP) markert som statistisk signifikant, og dermed kan både Joint F og Joint Wald benyttes til å vurdere modellens signifikans. Ved et konfidensnivå på 95% må p-verdien være mindre enn 0.05 for at disse målene skal kunne klassifiseres som statistiske signifikante. Dersom dette er tilfellet, så vil dette også indikere at modellen er statistisk signifikant (ESRI, Udatert-n). Som det fremkommer av tabell 5.6 er verdiene for Joint Wald og Joint F er lavere enn 0.05, og dette bekrefter at modellen er statistisk signifikant.

Det siste målet som kan benyttes til å vurdere modellen, er Jarque-Bera. Dette er et mål som beskriver om residualene er normalfordelte. En visuell undersøkelse av dette, gis i form av et frekvenshistogram over residualene, hvor det er forventet at søylene danner en klokkeform som følger en normalfordelingskurve (Rød, 2015). Dette er illustrert i figur 5.25. Som det fremkommer av figuren, følger ikke søylene normalfordelingskurvens form. Om det er vanskelig å konkludere med at modellen er skjevfordelt kun med utgangspunkt i histogrammet, kan dette nærmere undersøkes ved å inspisere verdien i Jarque-Bera feltet. Denne verdien er på 0,80. For at denne verdien skal være statistisk signifikant og en indikasjon på at modellen er skjevfordelt, må den være mindre enn 0,05 ved et 95 % konfidensnivå (ESRI, Udatert-n). Tabell 5.6 viser at Jarque-Bera verdien ligger derimot langt unna terskelverdien for skjevfordelt materiale.



Figur 5.25: Fordeling av residualer, i tilknytning MKM-regresjon for Hundorp, illustrert i histogram.

## 5.6.2 Ruste

### 5.6.2.1 Koeffisientverdi og VIF

For MKM-regresjonsanalysen gjennomført for studieområdet ved Ruste, er uavhengige variabler benyttet i analysen annerledes enn analysen gjennomført for Hundorp. I stedet for Aspekt\_TRASP og infiltrasjon, er kurvatur og avstand fra skadepunkt til modellert flomvei (AVSTD\_FLOMVEI) benyttet, i tillegg til skråning og himmelretning vest-øst.

Koeffisientverdier for alle de uavhengige variablene er gitt i tabell 5.7.

Tabell 5.7 Tabellen viser koeffisientverdier, statistisk signifikans og VIF for uavhengige variabler benyttet i MKM-regresjon for Ruste studieområde.

Variabel	Coefficient			Probability			Robust_Pr	VIF [c]
	[a]	StdError	t-Statistic	[b]	Robust_SE	Robust_t	[b]	
Intercept	11,402185	0,538767	21,163494	0,000000*	0,601055	18,970277	0,000000*	-----
Kurvatur	0,018275	0,005979	3,056526	0,005001*	0,004133	4,421515	0,000143*	1,519543
Log_skråning	0,285627	0,208119	1,372422	0,181225	0,214804	1,329713	0,194737	1,341428
Vest_Øst	3,291174	1,210476	2,718908	0,011308*	0,887821	3,707022	0,000955*	1,415663
AVSTD_FLOMVEI	-0,021216	0,015773	-1,345061	0,189795	0,019229	-1,103349	0,279614	1,436124

I likhet med MKM-regresjonsanalysen for Hundorp, indikerer koeffisientverdien for helning på skråning at denne variabelen har et positivt forhold til avhengig variabel. Den har derimot ikke et statistisk signifikant bidrag til modellens forklaringssevne, da det ikke er markert med asterisk symbolet bak feltene Probability [b] og Robust\_Pr [b]. Dette gjelder derimot for variabelen kurvatur. Kurvaturvariabelen har imidlertid en koeffisientverdi så nær null at denne ikke anses å ha noe forhold til kostnad på naturskade, men likevel har den et signifikant bidrag til modellens forklaringssevne. Variabelen vest\_øst har også et statistisk signifikant bidrag til modellens resultater, da asterisk symbolet er tilstede bak verdiene i feltene Probability [b] og Robust\_Pr [b]. Koeffisientverdien for denne variabelen indikerer et positivt forhold til kostnad på naturskade, og betyr at når terrenghelningen som naturskade er lokalisert i, har en vestlig himmelretning, så øker kostnaden på naturskade. For variabelen som viser avstand fra skadepunkt til modellert flomvei, AVSTD\_flomvei, viser koeffisientverdien at et forhold er ikke-eksisterende da verdien er nær null.

Når det gjelder målet for redundans, VIF, så ligger alle variablene under terskelgrensen på 7,5 som indikerer at redundans ikke kan identifiseres.

### 5.6.2.2 Modellvurdering

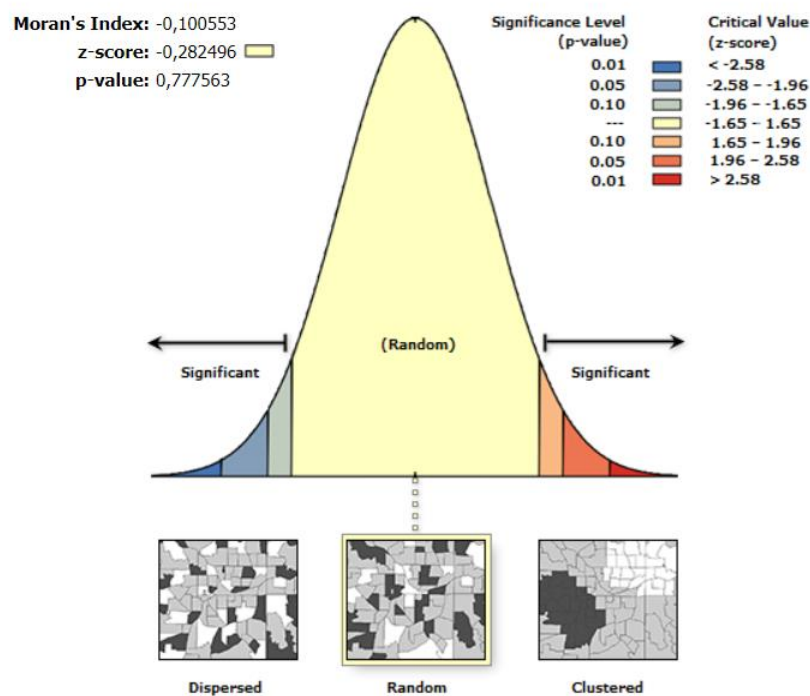
Det første steget i å vurdere modellen som er produsert for regresjonsanalysen for skadepunkter ved Ruste nedbørfelt, er å undersøke multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  og justert

multiple regresjonskoeffisient  $R^2$ . Som tabell 5.8 viser, har målet multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  en verdi på 0,3941, mens justert multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  har en verdi på 0,3043. Verdi for sistnevnte mål betyr at de uavhengige variablene som er benyttet i analysen kan forklare 30,43 prosent av variasjonen i kostnad på naturskade.

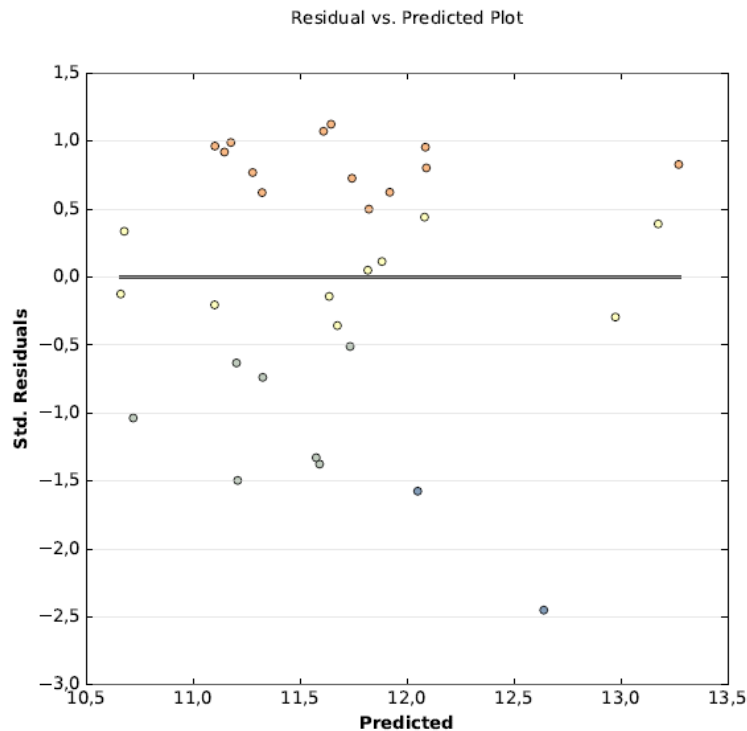
Tabell 5.8: Tabellen viser ulike statistiske mål benyttet for å vurdere modell benyttet i MKM-regresjon for studieområdet ved Ruste.

Antall observasjoner	32	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	100,170171
Multiple R-Squared [d]:	0,394107	Adjusted R-Squared [d]:	0,304345
Joint F-Statistic [e]:	4,390584	Prob(>F), (5,35) degrees of freedom:	0,007296*
Joint Wald Statistic [e]:	32,354441	Prob(>chi-squared), (5) degrees of freedom:	0,000002*
Koenker (BP) Statistic [f]:	3,569869	Prob(>chi-squared), (5) degrees of freedom:	0,467334
Jarque-Bera Statistic [g]:	1,602516	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,448764

For at justert multiple regresjonskoeffisient  $R^2$  skal kunne benyttes til å beskrive modellens forklaringskraft, er det derimot nødvendig at residualene ikke utviser noen form for romlig autokorrelasjon som er statistisk signifikant og at over- og underprediksjonen for residualene ikke viser tegn til mønster. Figur 5.26. viser resultatet etter bruk av verktøyet *Spatial Autocorrelation*, og resultatet indikerer at residualene ikke utviser statistisk signifikant romlig autokorrelasjon. Figur 5.27 viser over- og underprediksjon for residualene, og som det fremkommer av denne figuren er det ikke noe tydelig mønster som kan identifiseres.



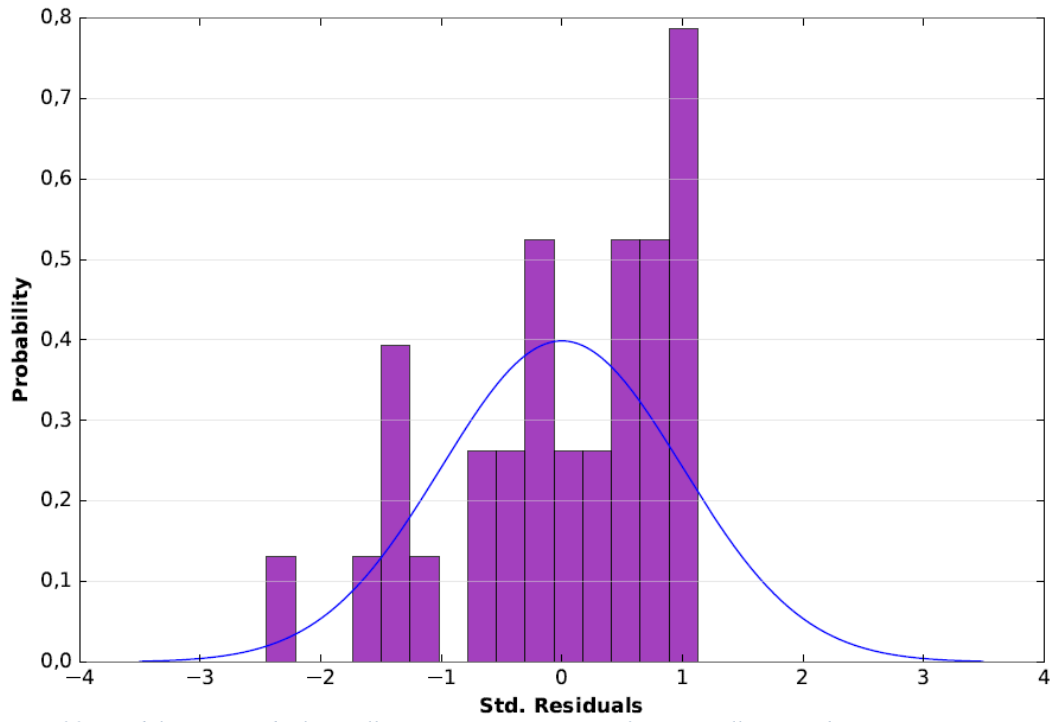
Figur 5.26: Resultatet etter kjøring av *Spatial Autocorrelation* i tilknytning MKM-regresjon for Ruste, hvor det ikke er noen tegn på tydelige mønster.



Figur 5.27: Spredningsplott for residualer i tilknytning MKM-regresjon for Ruste, med ingen tegn til noe mønster.

Modellens statistiske signifikans er gitt ved målene Joint F-statistikk og Joint Wald statistikk. Som tabell 5.8 viser, er begge disse målene markert som statistisk signifikant i form av et asterisk symbol. Tabellen viser også at Koenker (BP) statistikk er over 0,05, og dermed ikke statistisk signifikant. En slik verdi betyr at man kan benytte Joint Wald og Joint F for å vurdere modellens statistiske signifikans, samt at modellen ikke preges av heteroskedastisitet.

Det siste målet som er av interesse i tabell 5.8 er Jarque-Bera målet, og verdien for dette målet tilsier ingen statistisk signifikans. Dette kan ytterligere undersøkes ved et frekvenshistogram som viser fordelingene over residualene og er illustrert ved figur 5.28. Ideelt sett skal fordelingen følge normalfordelingskurven gitt ved den blå linjen i histogrammet ettersom dette indikerer at residualene er normalfordelte. Som det fremgår av figuren er ikke dette tilfellet, og residualene avviker fra normalfordelingskurven. Visuelt kan dette tolkes som om modellen er skjev, men verdien for Jarque-Bera, 0,44, er for høy til at skjevfordelingen i modellen kan klassifiseres som statistisk signifikant.



Figur 5.28: Fordeling av residualer, i tilknytning MKM-regresjon for Ruste, illustrert i historigram.





## 6 Diskusjon

Resultatene som en GIS-analyse produserer er kun like god som datasettene som benyttes i analysen, noe som betyr at datakvaliteten har en innvirkning på de resultatene som oppnås. Videre kan manipulering og analyse av datasett introdusere feilkilder som påvirker det endelige resultatet. Det er derfor i etterkant av enhver studie essensielt å vurdere datasettene og benyttet metodikk, og undersøke hvordan dette kan ha påvirket resultatet (Heywood et al., 2011). I denne delen av oppgaven blir dette nærmere undersøkt, hvor datasett, metoder og resultater blir vurdert, diskutert og sammenlignet med andre studier.

### 6.1 Vurdering av naturskadedatasett

#### *Stedfesting*

Som nevnt i avsnitt 4.1.1. har arealressurskart på papir med markeringer over hvor naturskade (r) på en eiendom har inntruffet, dannet utgangspunktet for digital stedfesting av naturskadehendelsene. I de fleste tilfellene har markeringene gjort av takstmennene på papirkart vært av god kvalitet slik at det har vært mulig å oppnå god nøyaktighet på skadepunktene som representerer naturskade. Likevel er det viktig å være oppmerksom på at manuell registrering, slik som er blitt foretatt i denne oppgaven, blir ansett som en av hovedårsakene til feil i datasett. Spesielt relevant i forbindelse med dette, er det som omtales som registreringsfeil. Ved denne type feil oppstår avvik mellom faktisk plassering på papirkartet og plassering i det digitaliserte kartet for et punktsymbol (Heywood et al., 2011). Det er naturlig å vurdere at slike feil har oppstått for naturskadedatasettet som er benyttet, da det har vært vanskelig ved stedfesting å få nøyaktig samme plassering på skadepunktene som takstmennene har markert i papirkartene. For de fleste skadene er trolig avviket lite mellom plassering på papirkart og digitalisert kart da takstmennene har markert naturskade godt.

I noen tilfeller har derimot takstmennene markert veldig dårlig hvor naturskade (r) har skjedd på kartet, og det har også vært tilfeller der hvor skade ikke har vært markert i det hele tatt. Ved slike situasjoner har eksterne kilder blitt benyttet for å stedfeste naturskadene. Ortofoto tatt i etterkant av flommen i 2013, som er tilgjengelig i Gårdskart, ble ofte anvendt for å stedfeste skade, da oppløsningen på ortofotoene gjorde det mulig å se hvor skade på berørte eiendommer hadde inntruffet. Ortofotoene var derimot av begrenset nytte, da de kun dekket områder som lå nært Gudbrandsdalslågen. Dette betyr at for skadene i dalsidene har ikke ortofoto vært tilgjengelig. Takstmenn ble også kontaktet for å hente ut mer informasjon om hvor skade har skjedd. I de tilfellene hvor eksterne kilder ikke var tilgjengelige, ble derimot punktene blitt plassert ut i fra hvilken type skade som har inntruffet. For eksempel, hvis

takstdokument nevner at skade har inntruffet på dyrka mark på en eiendomm, så ble skadepunktet plassert hvor det var sannsynlig at skaden på dyrka mark hadde inntruffet på eiendommen. For skade på vei, ble skadepunkt plassert ved starten av veien når kart ikke indikerte hvor skaden hadde skjedd. Dette betyr at for noen av skadene så har stedfestingen vært en ren gjetting på hvor skade kan ha oppstått, og representerer slik sett en stor feilkilde. Hvor mange skadepunkter som dette gjelder for, er derimot ukjent. Dermed er det sannsynlig at i naturskadedatasettet eksisterer områder hvor det indikeres at det har skjedd skade på en eiendom, men hvor det i virkeligheten har skjedd skade på et annet sted på eiendommen. At datasettet inneholder slike feil er viktig å ta med seg videre i vurderingen av resultatet etter intensitetsanalysene og validering av modellerte flomveier.

### *Kostnad takst*

For hver naturskadehendelse som har blitt stedfestet, har også en rekke egenskaper knyttet til naturskade blitt registrert, og en av de viktigste er egenskapen kostnad takst. Denne egenskapen indikerer kostnaden for å reetablere skadet objekt tilbake til opprinnelig tilstand, og som nevnt i avsnitt 4.1.1. har utgangspunktet for fastsetting av kostnad vært regnskapsark som følger med takstdokumentene. Føringen av disse regnskapsarkene har variert ut i fra hvilken takstmann som har hatt ansvaret for verdivurderingen. Dette er imidlertid basert på skjønn, og dette har vist seg å introdusere en potensiell feilkilde i datasettet. I de tilfellene hvor flere ulike naturskader har oppstått på en eiendom, har noen takstmenn utformet regnskapsarkene slik at det er mulig å fastsette kostnad for hver enkelt skade som har inntruffet. For hver skade er det blant annet blitt beskrevet hvor mange timer med gravemaskin eller traktor som er blitt benyttet, hvor store mengder med løsmasser som er blitt kjøpt inn eller hvor mange stikkrenner som må erstattes. Dette har gjort det mulig ved registrering å fastsette kostnadene som faktisk ble brukt til gjenoppretting etter skade. Noen takstmenn har derimot utformet regnskapsarket slik at det ikke har vært mulig å beregne hva hver enkelt skade på en eiendom har kostet. I slike tilfeller oppgis hva som er skadeårsak og skadeforløp for de ulike skadene, men det gis ikke noen beskrivelse på antall timer brukt for å reetablere skade eller hvilke objekter som er innkjøpt. Alle skadene er med andre ord samlet under en utgiftspost. Ved registrering av slike tilfeller ble de totale kostnadene for alle skadene på en eiendom registrert i skadepunktet hvor det ble antatt at skaden var størst. Deretter ble det lagt ved en kommentar i egenskapen «merknad kostnad takst» om at summen for kostnad takst gjelder også flere skadepunkter. Sistnevnte skadepunkter ble deretter gitt en verdi på null, samtidig som en referanse ved OBJECTID til skadepunktet som inneholder den

samlede takstsummen ble oppgitt. Sett i etterkant kunne dette blitt registrert annerledes, hvor det hadde vært mer gunstig å dele kostnad for naturskade likt for alle punktene som blir registrert på en eiendom. For naturskader som oppstod i forbindelse med 2011-flommen, er det registrert 44 skadepunkter med nullverdi, mens for 2013-flommen er det 319 skadepunkter som har nullverdi.

Det at flere av skadepunktene har en kostnad som gjelder samlet kostnad for alle skadepunkter på samme eiendom kan representere en mulig feilkilde for intensitetsanalysene og regresjonsanalysene som er gjennomført. Bakgrunnen for dette skyldes at kostnad på naturskade har dannet utgangspunktet for resultatet i disse analysen, og når dataene som benyttes ikke er korrekt, vil dette påvirke resultatet.

## **6.2 Vurdering av intensitetsanalyser**

Ved bruk av intensitetsanalyser er det en rekke feil som kan introduseres i resultatet som følge av valg gjort av brukeren, og et av disse er valget av XY toleranse i intensitetsanalysen hvor antall naturskadehendelser skulle analyseres. Verdien i XY toleranse ble brukt for å angi hvilke punkter som skulle aggregeres og hvilken vekt disse punktene skulle tildeles.

Beregningen av dette baserte seg på gjennomsnittlig avstandsverdi mellom skadepunktene. Gjennomsnittsavstand beregnet for skadepunktene registrert for 2011 og 2013-flommen var henholdsvis 400 og 326 meter. I hjelpeteksten til verktøyet *Integrate* blir det anbefalt å bruke en så lav XY toleranse som mulig, da en for stor toleranseverdi kan føre til at unødvendig mange punkter slås sammen (ESRI, 2012c). Det gis ingen fasit på hva som er en lav XY toleranse, og dette må vurderes ut i fra området som datasettet dekker. Hole (2015) benyttet en langt lavere verdi for XY toleranse, henholdsvis 15 og 75 meter, da intensiteten av antall vannskadehendelser ble analysert for Stavanger kommune. Omfanget av intensitetsanalysen som er gjennomført i denne oppgaven er derimot mye større, da naturskadehendelser for fire kommuner er blitt analysert. Det er stor avstand mellom den nordligste og sørligste kommunen, henholdsvis 70 Km i luftlinje. I sammenheng med studieområdets størrelse vurderes dermed toleranseverdiene som lave. Likevel er det viktig å være oppmerksom på at dersom en lavere eller høyere toleranseverdi hadde blitt benyttet, hadde grunnlaget for intensitetsanalysen blitt endret og dermed også resultat. Slik sett kan valget av XY toleranse utgjøre en mulig feilkilde.

I intensitetsanalysene hvor kostnad på naturskade analysert, ble avstanden hvor romlig autokorrelasjon er størst identifisert ved bruk av verktøyet *Spatial Autocorrelation*. Dette verktøyet ble anvendt for å identifisere hvilke punkter som skulle tildeles vekter. Verktøyet

viste for 2011-flommen at skadepunkter som lå under 500 meter fra hverandre hadde størst innvirkning på det romlige mønsteret, mens for 2013-flommen var det skadepunkter med avstand under 200 meter fra hverandre som hadde størst innvirkning. Verktøyet viste derimot kun at verdien funnet for skadepunktene tilknyttet 2013-flommen var statistisk signifikant, mens dette ikke var tilfellet for skadepunktene for 2011-flommen. Ifølge ESRI (Udatert-1) bør avstanden hvor z-skår er statistisk signifikant velges, da dette indikerer distansen hvor romlig autokorrelasjon for egenskapen som analyseres er størst. Da det ikke fantes noen distanse som var statistisk signifikant for skadepunktene registrert i forbindelse med 2011-flommen, ble distansen med høyest z-skår istedenfor valgt. Hvorvidt denne verdien representerer en potensiell feilkilde fordi den ikke er statistisk signifikant er usikkert, men det skal være tilstrekkelig å bruke distansen med høyeste z-skår, uavhengig om den er signifikant eller ikke. I sammenheng med dette blir det påpekt at det nødvendigvis ikke finnes en enkelt avstand som er korrekt, og at det finnes trolig ulike avstander hvor det romlige forholdet er sterkest (ESRI, Udatert-p).

En annen potensiell feilkilde som må vurderes i forbindelse med intensitetsanalysen hvor kostnad på naturskade er blitt benyttet analysert, er alternativet om hvordan det romlige forholdet mellom egenskaper blir definert. Dette handler om hvilken grad av innvirkning nærliggende objekter har på hverandre. Som nevnt i avsnitt 4.2 ble metoden Zone of Indifference benyttet til å definere dette. Det finnes derimot andre metoder som tilegner vektor basert på andre kriterier, og som en konsekvens av dette vil det genereres ulike resultater avhengig av hvilken metode man velger. Det er usikkert om de andre metodene ville gitt et bedre resultat, men metoden Zone of Indifference ble vurdert som egnet. Bakgrunnen for denne vurderingen var at det ikke var ønskelig å påføre markante grenser som anga hvilke objekter som fikk angitt vekt. Det var ønskelig at alle objektene skulle få tilegnet vektor, men at vektene var forskjellige avhengig om objektene falt innenfor eller utenfor avstanden hvor romlig autokorrelasjon ble funnet å være størst. I slike tilfeller er Zone of Indifference en passende metode for å angi hvordan objektene skal tilegnes vektor (ESRI, Udatert-p).

Tilslutt er det viktig å vurdere om datagrunnlaget for intensitetsanalysen kan ha hatt innvirkning på resultatet og dermed utgjort en feilkilde. Som tidligere nevnt i avsnitt 6.1 inneholdt mange av skadepunktene nullverdier som følge av manglende grunnlag for å fastsette kostnad for å reetablere skade. Etersom objekter som har null som egenskapsverdi ikke kan benyttes i intensitetsanalyse og automatisk blir fjernet, betyr dette at datagrunnlaget som ble benyttet i analysen er betraktelig redusert i forhold til det opprinnelige

datagrunnlaget. Dersom flere skadepunkter hadde verdi for egenskapen kostnad takst, så ville grunnlaget for analyse vært større, og dette kunne hatt en innvirkning på resultatet.

### 6.3 Valg av interpolasjonsmetode

Det forelå to kriterier for valg av interpolasjonsmetode i denne studien. Det ene kriteriet bygde på at interpolasjonsmetode skulle generere DHM som skulle være så nøyaktig som mulig, og skulle identifiseres ved bruk av RMSE-analyse. Det andre kriteriet hadde grunnlag i at høydemodellen måtte også være hydrologisk korrekt, og dette skulle velges på grunnlag av visuell inspeksjon av modellerte flomveier i etablerte elveløp og grøfter.

Det var interpolasjonsmetoden *Maximum* som genererte den mest nøyaktige høydemodellen for begge studieområdene, mens metodene *Average* og *Natural Neighbor* produserte den mest nøyaktige høydemodellen for henholdsvis Ruste og Hundorp. I vurderingen av kriteriet for hydrologisk korrekthet for Hundorp, så viste flomveismodellering med utgangspunkt i DHM interpolert ved bruk av *Maximum* at flomveier fulgte etablerte elve- og bekkeløp. For Ruste ble derimot ikke kravet om hydrologisk korrekthet oppfylt for interpolasjonsmetoden *Maximum*. DHM generert ved bruk av *Average* modellerte flomveier bedre enn DHM interpolert ved bruk av *Maximum*, da flomveier generert ved *Maximum* havnet utenfor etablerte elveløp og grøfter. Dette var et noe overraskende resultat, ettersom det var forventet at den mest nøyaktige høydemodellen skulle også produsere den mest hydrologisk korrekte flomveismodelleringen. Ved å lage en skyggemodell av DHM generert ved bruk av *Maximum*, viste det seg at grøfter og bekkeløp var modellert med dårlig kvalitet, og fremstod som uklare og nøyaktige. At dette ikke har påvirket RMSE-resultatet kan være relatert til lokaliseringen av referansepunkter som ble benyttet. Som det fremgår av figur 5.11, så er antall referansepunkter høyere og mer jevnt fordelt i de øvre delene av begge studieområdene enn de nedre områdene, hvor de fleste bekkeløpene og grøftene er lokalisert. Trolig har *Maximum* generert en bedre modell i de øvre delene av studieområdet enn de nedre delene, og dette har gitt utslag i RMSE-analysen, da utvalget av referansepunkter er større og mer jevnt fordelt i de øvre delene. Slik sett reflekterer ikke RMSE-analysen variasjonen i hele studieområdet som det er generert DHM for.

At referansepunktene er jevnt fordelt over hele studieområdet er en viktig forutsetning for at en slik metode skal kunne gi best mulig resultater (Reuter et al., 2009), og dette kravet oppfylles dermed ikke. Slik sett kan dette representere en mulig feilkilde som har hatt innvirkning på resultatet. En annen forutsetning som må oppfylles når RMSE-analyse gjennomføres, er at referansepunktene er målt med høyere presisjon enn dataene som er blitt

benyttet til å generere høydemodellene (Reuter et al., 2009). Ettersom det er benyttet LiDAR-skanninger for ekstrahering av referansepunkter og interpolasjon av høydemodeller, så er det ikke noen forskjell i målt presisjon mellom dataene som er blitt benyttet og fasiten de er vurdert opp mot. Dette kan representere en annen mulig feilkilde som har hatt innvirkning på resultatet av RMSE-analysen.

Når det gjelder resultatene av RMSE-analysene, så kan man fra tabell 5.1 og 5.2 se at DHM generert ved bruk av *Topo to Raster* interpolasjon har størst samlet avvik fra referansepunkter og målt høydeverdier i høydemodellen for begge studieområdene. Dette står i kontrast til RMSE-analysene foretatt av Lesschen et al. (2008) og Rishikeshan et al. (2014), hvor DHM generert ved bruk av *Topo To Raster* ga nest lavest RMSE-verdi. Det er derimot viktig å være oppmerksom på at dataene benyttet som inngangsdata i interpolering ved bruk av *Topo to Raster*, er forskjellig. Lesschen et al. (2008) og Rishikeshan et al. (2014) benyttet kun GPS-målte høydeverdier som inngangsdata, men, som nevnt i avsnitt 4.4.2.2, ble det i denne oppgaven benyttet flere ulike datasett. Selv om datagrunnlaget er annerledes, er det likevel slik at denne interpolasjonsmetoden skal i praksis generere en nøyaktig og hydrologisk korrekt høydemodell (ESRI, 2012b). Bakgrunnen til at dette ikke har blitt oppnådd, kan ha opphav i datagrunnlaget, men også brukerstyrte innstillinger.

Høydekurver, toppunkter og elver fra FKB ble satt som inngangsdata ved bruk av denne interpolasjonsmetoden, og disse ble klassifisert etter datatype. Det finnes derimot ikke noen mulighet for å klassifisere veidata i denne interpolasjonsmetoden, og derfor ble ikke FKB-vei benyttet som en del av datagrunnlaget. Dette kan ha hatt innvirkning på resultatet da veier utgjør tydelige knekkpunkt i terrenget, og mangelen på slik inngangsdata kan ha gitt feil ved interpolering av DHM. Videre ble det ikke benyttet punkter med høydeverdier, slik som Lesschen et al. (2008) og Rishikeshan et al. (2014) gjorde. Dersom slike punkter hadde blitt inkludert, kunne dette bidratt til at grunnlaget for interpolering ble større, og dermed et bedre resultat for interpoleringsmetoden i RMSE-analysen. En annen mulig feilkilde som kan ha oppstått ved bruk av *Topo to Raster* er valg av innstillinger i forbindelse med alternativet Drainage enforcement. Dersom man velger å bruke innstillingen enforce, som gjør at forsenkninger fylles igjen ved interpolering, kan det i noen tilfeller oppstå unøyaktige høydeverdier i det resulterende rasteret (ESRI, 2016b). Ved interpolering ble dette alternativet benyttet, og dette kan ha vært årsaken til at Topo to Raster har generert DHM med høyest avvik, og representerer slik sett en potensiell feilkilde.

Hennig (2015) har også benyttet RMSE-analyse til å identifisere interpolasjonsmetoden som generer den mest nøyaktige DHM, og har blant annet testet metodene *Average*, *IDW*, *Natural Neighbour*, *Maximum*, *Minimum* og *Nearest Neighbour*. Sammenlignes resultatene av RMSE-analysen for denne studien med resultatene for RMSE-analysen i denne oppgaven, er det i begge tilfellene funnet at metoden *Maximum* generer den mest nøyaktig DHM. Etersom studieområdet i studien til Hennig (2015), et nedbørfelt ved Hundorp kalt Brandrudsåa, ligger i studieområdet som det er blitt generert DHM for i denne oppgaven, kan dette være en indikasjon på at *Maximum* er interpolasjonsmetoden som er mest korrekt og passende for å generere DHM i dette området.

#### **6.4 Valg av romlig oppløsning**

Romlig oppløsning ble opprinnelig beregnet til å være 0,34 m og 0,41 meter for studieområdene ved Hundorp og Ruste ved bruk av formel utviklet McCullagh (1988). Det ble derimot valgt en oppløsning på 1x1 meter, og det er flere momenter som bidro til at denne oppløsningen istedenfor ble valgt. Først og fremst så ville en slik oppløsning redusere prosesseringstiden, sammenlignet med beregnet oppløsning. Da maskinvaren som er benyttet til å prosessere dataene ikke har de raskeste prosessorene, ville bruk av en høyere oppløsning innebære lengre tid for å gjennomføre analyse og produsere resultater. For det andre så bevarer en slik oppløsning detaljer ved terrenget som er nødvendige for å produsere egnede inngangsdata til oppgavens analyser. For eksempel, så har en romlig oppløsning på 1x1 meter funnet å være tilstrekkelig i flere studier hvor modellering av flomveier har vært tema (Bratlie, 2015; Meiforth, 2013).

Etersom terrengparameterne benyttet i regresjonsanalysene er avledet fra DHM, har valget av romlig oppløsning en innvirkning på beregningen av disse parameterne. Ifølge Kienzle (2004) vil bruk av forskjellige oppløsninger gi ulike resultater ved beregning av terrengparametere, og finnes det ikke noen fasit på hva som er den beste romlige oppløsningen å benytte. Likevel er det kjent at jo høyere oppløsning som benyttes, jo større mulighet er det for å gjengi flere detaljer som kan ha innvirkning på beregning av terrengparameter (Hengl & Evans, 2009). Selv om høyere oppløsning gir en mer detaljert DHM, er ikke dette nødvendigvis det mest passende når terrengparametere skal benyttes i regresjonsanalyser. Torgersen et al. (2017) testet ut flere forskjellige romlige oppløsninger, henholdsvis 1, 10 og 50 meter, for generering av terrenghelning og kurvatur som uavhengige variabler i regresjonsanalyse hvor flomutsatthet i urbane områder skulle undersøkes. I denne studien ble det funnet at en oppløsning på 50 meter for kurvaturvariabelen ga best resultat i regresjonsanalysen. For

variabelen kurvatur i regresjonsanalysen foretatt av Hole (2015) ble en romlig oppløsning på 10 meter benyttet, og denne variabelen ble funnet å være statistisk signifikant. Dermed er det ikke slik at den høyeste oppløsningen alltid gir det beste resultatet. Dette kan ytterligere bekreftes av MacMillan og Shary (2009), som viser til at det er en konsensus i litteraturen om at en oppløsning på mellom 5 -10 meter vurderes som optimal for å representere terrengformasjoner. Dette betyr at den romlige oppløsningen som ble valgt, 1x1 meter, ikke var den mest gunstige for å representere de ulike terrengparameterne som ble benyttet som uavhengige variabler i regresjonsanalysene.

Basert på avsnittene ovenfor, hadde det trolig vært mer gunstig å benytte en 1x1 oppløsning for modelleringen av flomveier, mens for regresjonsanalysene kunne flere oppløsninger blitt testet ut, for eksempel 1,10 og 50 meter, for de ulike terrengparameterne.

## **6.5 Vurdering av flomveismodellering**

### **6.5.1 Modifisering av DHM**

Høydemodellene som ble benyttet til å modellere flomveier i denne oppgaven ble modifisert slik at bygninger ble hevet og utvalgte stikkrenner og kulverter ble senket. Dette hadde som formål å sikre en mest mulig hydrologisk korrekt DHM, hvor vann drenerte langs bygninger, gjennom stikkrenner eller tok nye veier ved stikkrenner som var tette under flommene. Det er derimot flere potensielle feilkilder som er knyttet til denne modifisering som må vurderes. Naturskadedatasettet ble benyttet for å velge ut hvilke stikkrenner som skulle forbli lukket i DHM, da skadedatasettet inneholdt informasjon om hvilke stikkrenner som har gått tett under flommene. Ettersom dette datasettet ikke er fullstendig og det gjenstår fortsatt naturskader som ikke er blitt registrert, kan det bli registrert nye naturskader hvor tett stikkrenne har vært årsak til skade under flommen. Dersom disse hadde blitt inkludert i modifiseringen av DHM, ville trolig resultatet av flomveismodelleringen blitt annerledes.

Selve digitaliseringen av stikkrennene utgjør også en potensiell feilkilde som kan ha hatt stor innvirkning på resultatet. Som nevnt i avsnitt 4.5.1 ble stikkrennedataene fra NVDB og BaneNor levert som vektordatasett, hvor et enkelt punkt midt på vei eller jernbane indikerte tilstedeværelsen av en stikkrenne. Disse datasettene inneholdt ikke noe informasjon om lengden på stikkrennene eller hvilken retning de hadde. Dette betydde at mine egne vurderinger ble benyttet som grunnlag ved valg av stikkrenneretning og lengde i digitaliseringsprosessen. Et skyggekart ble også generert som et hjelpemiddel i digitaliseringen, med bakgrunn i at dette kartet visualiserte grøfter, som kunne benyttes som utgangspunkt for start- og sluttspunkt for stikkrenne. Selv om dette var til stor hjelp, er det



knyttet stor usikkerhet til nøyaktigheten til dette datasettet ettersom lengden og orienteringen på stikkrennene ikke er kjent. Dette vurderes derfor som en potensiell stor feilkilde som kan ha påvirket resultatene i oppgaven. At digitalisering av stikkrenner kan være en feilkilde omtales også av Sellæg (2016) og Hennig (2015), som også digitaliserte stikkrenner for å generere hydrologisk korrekt DHM. Likevel trekker Sellæg (2016) frem at prosessen med å digitalisere stikkrenner har flere fordeler enn ulemper, ettersom digitaliseringsprosessen er essensiell for å produsere modellerte flomveier som gjenspeiler hvordan vannet vil drenere i virkeligheten.

En annen potensiell feilkilde som kan ha blitt introdusert ved bruk av stikkrennedata, oppstod ved selve senkningen av stikkrennene. Som nevnt i avsnitt 4.5.3 ble stikkrenner senket 2 meter med bakgrunn i at dette ville sørge for at vann drenerte gjennom stikkrennene. Det viste seg derimot i etterkant, ved undersøkelse av forsenkninger i høydemodell, at det i cellene hvor stikkrenne startet og sluttet hadde oppstått forsenkninger. Som nevnt i avsnitt 3.6.1, er dette noe som burde unngås da dette kan føre til at flomveismodelleringen stopper opp.

Bakgrunnen til at forsenkningene oppstod har trolig opphav i at verdien som ble benyttet for å senke stikkrennene er for stor. Stikkrennene burde ha blitt senket med utgangspunkt i høydeforskjellen mellom start- og sluttspunkt på stikkrenne. En slik verdi tar i større grad hensyn til høydeforskjellen i terrenget som stikkrenne er lokalisert i. Viréhn (2014) beregnet høydeforskjell mellom start og sluttspunkt til stikkrenne ved hjelp av lineær interpolasjon implementert ved et Pythonskript, og senket stikkrenne i DHM med utgangspunkt i beregnet høyde. Det ble gjort forsøk på dette i denne oppgaven, men det ble ikke funnet noen god metode som kunne benyttes. Det ble derfor manuelt prøvd med flere forskjellige verdier for senkning av stikkrenner, og en verdi på 1 meter ble først testet ut. Den påfølgende flomveismodelleringen viste derimot at for noen utvalgte stikkrenner så drenerte ikke vannet igjennom. Ved å senke stikkrennene med 2 meter ble derimot overflatevann modellert slik at det drenerte gjennom alle stikkrenner. Andre studier, deriblant Sellæg (2016), Meiforth (2013) og Hennig (2015), har benyttet langt større verdier ved senkning av stikkrenner, henholdsvis 10 meter, ved modifisering av DHM. I disse studiene har ikke bruk av slike verdier blitt vurdert til å ha innvirkning på resultatet av modelleringen. Derfor anses en senkningsverdi på 2 meter som passende. Likevel vil jeg påpeke, nok en gang, at det hadde vært mer ideelt med mer nøyaktige verdier, da dette ville ha bidratt til at analysegrunnlaget gjenspeiler virkeligheten i større grad.

### 6.5.2 Dreneringsalgoritme

D8 er algoritmen som ble i denne oppgaven benyttet til modelleringen av dreneringsretning og, som nevnt i avsnitt 3.6.2, kan modellert vann tildeles en av åtte mulige retninger ved bruk av denne algoritmen. Dette betyr at konvergens kan simuleres, men ikke divergens. Det sistnevnte punktet er en av begrensningene ved denne algoritmen da overflatevann i virkeligheten vil kunne ha uendelig antall retninger (Rød, 2015). Dette betyr at hvis D8-algoritmen anvendes for å generere dreneringsretning, så vil dreneringsretningen være mindre divergerende enn hva den faktisk er i virkeligheten. Ifølge Rød (2015) kan dette innføre feilkilder knyttet til målingen av akkumulert overflatestrømning, og derfor vurderes bruken av D8-algoritmen som en potensiell feilkilde. For å unngå dette, er det derfor utviklet flere algoritmer som tar hensyn til og kan modellere divergerende overflatedrenering (Gruber & Peckham, 2009; Rød, 2015). En av de mest brukte algoritmene som kan modellere flere dreneringsretninger fra samme celle er  $D_{\infty}$ -algoritmen, utviklet av Tarboton (1997). Hennig (2015) benyttet blant annet  $D_{\infty}$ -algoritmen i sin studie av Brandrudåa nedbørfelt i Gudbrandsdalen, og fant at algoritmen var mer egnet til å modellere vann på avveie enn D8, ettersom algoritmen kan modellere divergerende overflatedrenering.

Selv det er knyttet flere ulemper ved bruk av D8-algoritmen, ble denne valgt framfor  $D_{\infty}$  med bakgrunn i at D8 var fra før av integrert i ArcMap som et standardverktøy, mens  $D_{\infty}$  måtte lastes ned som en utvidelse fra en ekstern nettside.  $D_{\infty}$  algoritmen ble også utprøvd, men under utprøving oppstod det flere feilmeldinger i verktøyet, hvor det ikke var mulig å identifisere en klar årsak. Det ble derfor vurdert at D8 var mer hensiktsmessig å benytte da denne algoritmen ikke produserte noen feilmeldinger og produserte samtidig et resultat som var egnet for å svare på oppgavens problemstillinger. D8-algoritmen har også i en rekke andre studier, deriblant Sellæg (2016) og Hole (2015), blitt vurdert til å være en foretrukket algoritme for å modellere flomveier grunnet dens integrasjon i ArcMap.

### 6.5.3 Akkumulert overflatestrømning

Som nevnt i avsnitt 4.6.3 ble det ved beregning av akkumulert overflatestrømning ikke benyttet et nedbørsraster som et vektraster, da det ikke fantes tilstrekkelig med målestasjoner til å generere et nedbørsraster. Mangelen på et slikt vektraster kan ha hatt innvirkning på rasteret for akkumulert overflatestrømning, ettersom hver celle gis en vekt på 1 i beregningen av overflatestrømning når vektraster ikke benyttes. Ved bruk av et vektraster, for eksempel nedbør, gis hver celle en vekt som tilsvarer faktisk nedbørsmengde i cellen som akkumulert overflatestrømning skal beregnes for. Dette betyr at akkumuleringrasterene som er blitt

generert i denne oppgaven ikke gjenspeiler de faktiske nedbørsmengdene som falt i studieområdene under flommene. Inkludering av nedbørsmengde kunne gitt et mer detaljert akkumuleringsraster.

Det er derimot viktig å påpeke at dersom nedbørsmengdene ikke varierer innad i nedbørsfeltene, så vil ikke bruk av nedbørsraster ha noen innvirkning. Dette ble nærmere undersøkt ved bruk av nettsiden senorge.no, som inneholder nedbørsdata for hver dag tilbake til 1957 (NVE, 2018). For 2013-flommen viste nedbørsdata ikke noe variasjon innad i studieområdet ved Hundorp, mens for 2011-flommen varierte nedbørsmengden i studieområdet ved Ruste. Dermed er det kun for studieområdet ved Ruste bruk av vektraster ville gitt et annet resultat.

Sett i etterkant, da for få målestasjoner bidro til valget om å ikke generere nedbørsraster, kunne radardata fra regnhendelsene for de aktuelle dagene for de to flomhendelsene blitt benyttet. Flere studier, deriblant Cole og Moore (2009) og Gabriele et al. (2017), påpeker at radardata kan generere nedbørsraster med høy romlig oppløsning og som i noen tilfeller er bedre enn nedbørsraster generert ved bruk av kun målestasjoner. Dette er noe som studien til Reinemo (2012) også bekrefter. I denne studien ble værradardata anvendt for å simulere flommen som oppstod i Trondheim i august 2007, og det ble funnet at radardata genererte bedre nedbørsraster enn interpolerte data fra tilgjengelige målestasjoner. Videre ble det påpekt i studien til Reinemo (2012) at radardata er egnet til å genere nedbørskart for ekstremnedbørshendelser. Med bakgrunn i dette, og faktumet at det finnes en værradar på Hafjell (Mo, 2016), som dekker områdene som er omfattet i denne studien, hadde det vært mulig å benytte data fra denne radaren for å generere et nedbørsraster som gjenspeiler nedbørsmengdene under flommene. Dette rasteret kunne videre ha blitt anvendt som vektraster i beregning av akkumulert overflatestrømning, noe som ville bidratt til et mer detaljert akkumuleringsraster.

#### **6.5.4 Terskelverdi**

Å angi hvilken terskelverdi som er mest korrekt og som kan benyttes til å visualisere flomveier som i størst grad gjenspeiler faktiske forhold under en flomsituasjon kan være et vanskelig valg. Flere andre lignende studier hvor flomveier har blitt modellert, har benyttet langt høyere terskelverdier enn terskelverdien på 5000 som ble anvendt i denne oppgaven. Meiforth (2013) og Bratlie (2015) benyttet en terskelverdi på 50 000 for å visualisere flomveier. I disse studiene har en slik terskelverdi blitt benyttet med bakgrunn i at flomveier med et akkumuleringsareal på 50 000 m<sup>2</sup> har blitt vurdert til å utgjøre et stort skadepotensial

ved intens nedbør. En slik verdi tar derimot utgangspunkt i urbane områder, og i rurale områder kan flomveier med lavere akkumuleringsareal utgjøre en risiko for skade (Meiforth, 2013). Hvilken terskelverdi som er kritisk for skade i rurale områder er derimot ikke entydig, men Meiforth (2013) fant blant annet at flomveier med akkumuleringsareal på 25 000 m<sup>2</sup> kan gi skade i skogområder. En slik terskelverdi ble blant annet benyttet av Sellæg (2016), med bakgrunn i at studieområdet hvor flomveiene skulle modelleres, var preget av skog. Hvorvidt en slik terskelverdi er representativt for områder med dyrka mark, som studieområdene i denne oppgaven preges av, er derimot usikkert. I studien gjennomført av Hole (2015) er derimot en terskelverdi på 5000 en av flere terskelverdier benyttet for å visualisere flomveier. Gjennom testing av flere ulike terskelverdier fant Watson (2016) at en terskelverdi på 5000 visualiserte eksisterende bekker og sannsynlige flomveier bedre enn terskelverdier på 2500, 7500 og 10 000. Med bakgrunn i studiene som er nevnt ovenfor, er det tydelig at det er stor variasjon hvilken terskelverdi som kan benyttes til å visualisere flomveier.

Som nevnt i avsnitt 4.6.3 ble det prøvd ut flere ulike terskelverdier, og valget falt til slutt en verdi på 5000. Bakgrunnen for valget av denne verdien skyldes at en slik verdi produserte flere synlige flomveier enn høyere terskelverdier gjorde. Det var ønskelig å inkludere så mange flomveier som mulig, da dette ville gi et større grunnlag for å undersøke om modellerte flomveier sammenfalt med registrerte skadepunkter. Slik sett ble terskelverdien på 5000 vurdert til å oppfylle formålet som flomveismodelleringen skulle benyttes til.

## **6.6 Vurdering av resultat etter validering av modellerte flomveier**

Registrerte og stedfestede naturskadehendelser ble benyttet til å validere flomveiene ved å se hvor stor avstand det var mellom skadepunkt og nærmeste flomvei. Denne analysen ga slik sett et innblikk i hvor stor grad modellerte flomveier sammenfalt med skadepunktene. Det ble spesifisert en terskelverdi for å vurdere om modellerte flomveier var godt eller dårlig modellert. Denne verdien dannet dermed utgangspunktet for vurderingen av resultatet for flomveismodelleringen i de to studieområdene.

Resultatene fra valideringen av modellerte flomveier for begge studieområdene deler store likhetstrekk. For områder hvor det eksisterer enten elveløp, bekkeløp eller grøfter, så ble modelleringen av flomveier vurdert til å være god. Avstanden fra skadepunkter og modellerte flomveier var veldig lav, nært null, ved tilstedeværelsen av slike egenskaper i terrenget. Dette vurderes som et gyldig resultat, ettersom overflatevann alltid vil drenere langs lavbrekkene i terrenget. Lavbrekk utgjør de laveste gjennomfartsveiene i terrenget (Bratlie, 2015), og dette vil typisk være elveløp eller grøfter. For områder uten noen tydelige lavbrekk, viste

valideringsresultatet at modelleringen av flomveier var dårlig. Typiske områder hvor dette gjaldt var på åpne jordbruksarealer, uten noen form for bekker eller grøfter. Disse områdene var preget av at de hadde stor avstand til nærmeste lavbrekk i terrenget. At flomveiene modelleres dårligere i slike områder vurderes som naturlig da det ikke finnes noen tydelige lavbrekk som har innvirkning på modelleringen. Resultatene som er diskutert ovenfor kan være en indikasjon på at det er lettere å modellere vann som følger lavbrekk enn vann som har kommet på avveie og havnet på åpne områder under flommene. Dette ble bekreftet ved å undersøke skadepunktene som lå nærmest til flomveiene som ble vurdert som dårlige. Som nevnt i avsnitt 5.4.1 og 5.4.2 var det for majoriteten av skadepunktene som lå nærmest til dårlig modellerte flomveier benyttet vann på avveie som skadeårsak. Flomsveismodelleringen for Ruste skilte seg spesielt ut, da alle de åtte skadepunktene som dette gjaldt var registrert med denne kategorien.

I vurderingen av disse resultatene er det viktig å være oppmerksom på at metodiske valg og datagrunnlaget kan ha bidratt til slike resultater, og kan dermed utgjøre potensielle feilkilder. Dette diskuteres i de to kommende avsnittene.

Høydemodellene, som danner utgangspunktet for flomveismodelleringen, er blitt modifisert slik at noen stikkrenner og kulverter har blitt holdt åpne, mens andre er blitt stengt igjen. Valget av stikkrenner og kulverter som skulle forbli stengt ble gjort på bakgrunn av tilgjengelig informasjon i naturskadedatasettet, da flere av punktene som indikerte naturskade inneholdt informasjon om at tett stikkrenne hadde forårsaket skade. Naturskadedatasettet er derimot ikke fullstendig da det fortsatt mangler flere naturskadehendelser som enda ikke er blitt registrert. Med flere naturskader i datasettet kunne disse gitt ytterligere informasjon om hvilke stikkrenner som hadde gått tett under flommene. Ettersom endringer i hvilke stikkrenner som holdes åpne eller lukket kan endre hvordan flomveier modelleres (Sellæg, 2016), kunne ny informasjon om lukkede stikkrenner bidra til at dreneringsmønsteret endres. Dette kan bidra til at flomveiene blir bedre modellert, og sammenfaller i større grad med registrerte naturskadehendelser enn det som resultatene viser nå. Det er derimot viktig å påpeke at dette vil kun være relevant for flomveismodelleringen for Hundorp, da ingen stikkrenner forårsaket skade for naturskadehendelsene registrert i studieområdet ved Ruste. En annen potensiell feilkilde som kan ha hatt innvirkning på resultatet av valideringen for modellerte flomveier, er stedfestingen av naturskadene. Som nevnt i avsnitt 6.1 er stedfesting av naturskadehendelser gjort på grunnlag av takstdokumenter hvor skade noen ganger er markert svært dårlig eller ikke i det hele tatt. En konsekvens av dette er at noen av

skadepunktene er unøyaktig stedfestet og i noen tilfeller plassert feil. Ettersom skadepunktene har dannet grunnlaget for beregning av avstand til nærmeste modellerte flomvei, vil dette gi et resultat som er påvirket av skadepunktens unøyaktige plassering. Dette kan ha bidratt til at beregnet avstand fra flomvei til skadepunkt har blitt større enn den faktisk hadde blitt dersom skadepunktet hadde i utgangspunktet blitt stedfestet riktig.

## 6.7 Vurdering av utforskende regresjon

Ved bruk av utforskende regresjon til å identifisere uavhengige variabler som kan benyttes i MKM-regresjon, er det viktig å være oppmerksom på at bruken av dette verktøyet er kontroversielt. Dette kan knyttes opp mot to ulike standpunkter eller synspunkter; det vitenskapsmetodologiske synspunktet og datautvinnings (engelsk: *Data mining*) synspunktet (ESRI, Udatert-g).

Det vitenskapsmetodologiske synspunktet ser på utforskende regresjon som et verktøy man burde unngå å benytte. Ifølge dette synspunktet burde man formulere hypotesen før man utforsker dataene for å unngå å konstruere modeller som kun passer dataene som blir anvendt, men som ikke reflekterer generelle prosesser (ESRI, Udatert-g). Dette blir gjerne omtalt som å lage en «overfitted modell» (Everitt & Skronnal, 2013). Å konstruere modeller som korresponderer til et bestemt datautvalg, men som ikke passer til andre datasett, blir sett på negativt. Dersom nye datasett eller observasjoner skal legges til en slik modell, kan man risikere at modellen blir ustabil, ved at forklaringsevnen reduseres eller at signifikansen til uavhengige variabler fjernes. Slike modeller er med andre ord ikke robuste, da de ikke klarer å ta hensyn til nye observasjoner. Dette betyr også at modellene ikke fullstendig klarer å forklare prosessen som modelleres. I motsatt ende har man datautvinning synspunktet, hvor det oppfordres til å benytte utforskende regresjon for å finne de mest egnede variablene. Ifølge dette synspunktet er det på forhånd umulig å vite hvilke faktorer som bidrar til å forklare utfallet av en prosess i virkeligheten. Problemstillingene som undersøkes er gjerne komplekse, og teorien relatert til problemstillingen kan være preget av ulike svar (ESRI, Udatert-g).

I forbindelse med formålet ved bruk av utforskende regresjon i denne oppgaven, så har det blitt tatt hensyn til begge synspunktene. Underproblemstilling nr. 4 ble formulert i oppstartsfasen av oppgaven, og slik ble det unngått å konstruere en modell som kun passer til dataene som benyttes. Variabler ble valgt ut med utgangspunkt i denne problemstillingen, og begrunnet med referanse til flere studier som viser at variablene er relevante. Slik sett har aspekter fra det vitenskapsmetodologiske synspunktet blitt inkludert. Fra

datautvinningsperspektivet er tanken om at det er krevende å identifisere faktorene som forklarer en prosess, blitt inkludert. Som nevnt i avsnitt 3.6 er det en rekke faktorer som kan forklare hvorfor overflatevann oppstår og hvordan det beveger seg, og det er vanskelig å velge ut hvilke av disse som har størst betydning. Utforskende regresjon viste seg i forbindelse med dette å være nyttig, da resultatet identifiserte kombinasjonen av variabler som ga høyest forklaringssevne. Det ble eksperimentert med ulike kombinasjoner av variabler i MKM-regresjon uten å ha gjennomført utforskende regresjon i forkant, og resultatet viste en langt lavere forklaringssevne, mellom sju og 12 prosent. Slik sett har utforskende regresjon vært nyttig for å identifisere de mest egnede variablene og dermed også øke modellens forklaringssevne.

## **6.8 Vurdering av MKM-regresjon**

I vurderingen av resultatene for de gjennomførte MKM-regresjonene, tas det utgangspunkt i spørsmål utformet av Rød (2015) og ESRI (Udatert-u). Disse spørsmålene gir innsikt i potensielle svakheter og styrker ved resultatene, og muligheten til å vurdere om hvorvidt resultatene er gyldige eller ikke.

*Har de uavhengige variablene signifikante bidrag som forklarer variasjonen i avhengige variabel?*

Som det fremgår av resultatene for begge regresjonsanalysene, fantes det flere variabler som hadde en signifikant innvirkning på variasjonen i avhengig variabel, kostnad på naturskade. For MKM-regresjon gjennomført for studieområdet i Hundorp gjaldt disse variablene helning på skråning, Aspekt\_TRASP og vest\_øst, mens for studieområdet ved Ruste hadde kurvatur (generell kurvatur) og variabelen vest\_øst signifikante bidrag. For variabelen kurvatur var derimot koeffisientverdien nær null, og indikerte slik sett ikke noe forhold til den avhengige variabelen. Det er standard praksis å fjerne variabler med slike koeffisientverdier, da disse ikke normalt modellerer den avhengige variabelen (ESRI, Udatert-q). Det finnes derimot flere unntak som gjør at man nødvendigvis ikke trenger å fjerne slike variabler. Et av disse unntakene er at dersom p-verdien indikerer at variabelen er statistisk signifikant, så kan variabelen beholdes (Albright et al., 2015). Som tabell 5.7 viser, er variabelen kurvatur markert som statistisk signifikant. Videre så kan en slik variabel beholdes dersom det eksisterer teori eller studier som tilsier at variabelen har et forhold til den avhengige variabelen som skal modelleres (Albright et al., 2015). Avsnitt 3.7.2.2 begrunner hvorfor kurvatur er en relevant variabel å inkludere i regresjonsanalysen, samtidig som det i samme

avsnitt vises til en relevant studie gjennomført av Torgersen et al. (2017). På bakgrunn av dette ble det derfor besluttet å ikke fjerne kurvatur som variabel i regresjonsanalysen.

Det var derimot flere variabler som ikke var markert som signifikante for forklaring av variasjon i avhengig variabel. For MKM-regresjon gjennomført for Ruste ble det funnet at helning på skråning og avstand fra skadepunkt til nærmeste modellert flomvei ikke hadde signifikante bidrag. For Hundorp hadde derimot alle variablene, bortsett fra gjennomsnittlig infiltrasjonsevne signifikante bidrag til modellen.

*Er forholdet mellom de ulike uavhengige variablene og avhengig variabel som forventet?*

Basert på teori og flere studier, deriblant Hole (2015), som hadde gjennomført en lignende regresjonsanalyse med flere av de samme variablene som ble benyttet i denne oppgaven, ble det forventet at ulike forhold skulle kunne identifiseres. Det viste seg i etterkant av analysene at noen av de forventede forholdene ble innfridd, mens andre ikke ble modellert slik undertegnede forventet.

For variabelen helning på skråning, viste det seg at det forventede forholdet var likt resultatet. Det ble i forkant forventet at når helningen på skråning øker, så ville også kostnaden på naturskade øke, ettersom muligheten for overflateavrenning og erosjon blir større jo brattere helningen blir. For begge regresjonsanalysene utviste variabelen skråning, som forventet, et positivt forhold til kostnad for naturskade. Når helningen på skråningen øker, så øker også kostnaden for å reetablere skadet objekt. Denne variabelen hadde kun i regresjonsanalysen for Hundorp et statistisk signifikant bidrag til modellens forklaringsevne.

Generell kurvatur ble kun benyttet som uavhengig variabel i MKM-regresjon for Ruste. Det var på forhånd forventet at forholdet skulle være positivt, ettersom positive verdier for denne variabelen vil indikere konvekse landformer, hvor overflatevann vil få høyere fart og kan bidra til erosjon (Rød, 2015). Forventningene bygde også på funn gjort av Hole (2015), hvor et positivt forhold mellom generell kurvatur og erstatning ved vannskade ble identifisert. Det forventede forholdet ble derimot ikke oppfylt, da koeffisientverdien indikerte at forhold til avhengig variabel ikke var mulig å identifisere. Hvorfor et positivt forhold til kostnad på naturskade ikke var tilstede er usikkert, men kan være relatert til romlig oppløsning benyttet i DHM. Det er kjent at valget av romlig oppløsning påvirker hvilke kurvaturverdier som blir beregnet for et område (MacMillan & Shary, 2009). Som nevnt i avsnitt 6.4 benyttet både Torgersen et al. (2017) og Hole (2015) langt høyere romlig oppløsning for kurvaturvariabel i regresjonsanalyse, henholdsvis 50 og 10 meter, mens det i denne oppgaven ble benyttet en



oppløsning på 1 meter. I begge disse studiene ble det funnet et positivt forhold mellom kurvaturvariabelen og avhengig variabel. Dette kan være en indikasjon på at det er kurvaturtrekkene som fremkommer ved lavere oppløsning, slik som 10 eller 50 meter, som gir de beste resultatene ved bruk av kurvatur som variabel i regresjonsanalyser hvor flom- og vannskade undersøkes. Skalaen som kurvaturvariabelen representeres på blir med andre ord en viktig faktor. Kurvaturformasjon ved lavere oppløsning fremstår som viktigere enn små kurvaturformasjoner som fremkommer ved bruk av 1 meters oppløsning. Tar man dette i betraktning, så er det mulig at en lavere oppløsning, for eksempel på 10 meter, kunne gitt et resultat som hadde bidratt til å innfri det forventede forholdet.

For variabelen infiltrasjonsevne, som viste gjennomsnittlig infiltrasjonsevne for nedbørfeltet hvor naturskade var lokalisert i, var det forventet et negativt forhold til kostnad på naturskade. Bakgrunnen for denne forventningen bygde på at jo høyere gjennomsnittlig infiltrasjonsevne i nedbørfeltet, jo større sannsynlighet er det at nedbør vil infiltrere ned i bakken og overflatevann vil ikke oppstå. Dermed vil potensialet for skader som følge av overflatevann reduseres. Denne variabelen ble kun benyttet for regresjonsanalysen for studieområdet ved Hundorp, og resultatet viste at forholdet til kostnad på naturskade var negativt. Når infiltrasjonsevnen i nedbørfeltene øker, så faller kostnadene på naturskade.

Ettersom litteraturen inneholder ulike funn når det gjelder hvilken innvirkning terrenghelningens himmelretning har på erosjon og overflateavrenning, så var det på forhånd knyttet usikkerhet til hvordan forholdet til kostnad på naturskade ville være. Det var derimot forventet at resultatet skulle være ulikt for de to områdene, da studieområdet ved Hundorp ligger sørvendt, mens Ruste ligger vendt mot nordøst. For de to studieområdene ble det benyttet ulike variabler for terrenghelningens himmelretning. For Hundorp ble både variabel som viste nord og sør (Aspekt\_TRASP) og vest og øst for terrenghelningens himmelretning benyttet. Resultatene for disse variablene viste et negativt forhold til avhengig variabel. Naturskader hvor terrenghelningen har en tendens til å ligge nordvendt og vestvendt, så vil kostnadene på naturskade falle. I regresjonsanalysen for Ruste, var det kun variabelen som viste terrenghelningens himmelretning vest og øst som ble benyttet. Denne utviste et positivt forhold til avhengig variabel. For naturskader hvor terrenghelningen har en tendens til å en vestvendt himmelretning, så vil kostnaden på naturskade øke. Slik sett ble forventningen om at forholdene skulle være ulike for de to studieområdene innfridd.

For variabelen som indikerte avstand fra skadepunkt til nærmeste modellerte flomvei, var det forventet at når avstanden reduseres, så skulle kostnad på naturskade øke. Bakgrunnen for at

et slikt forhold var forventet, skyldtes at modellerte flomveier indikerer hvordan og hvor overflatevann vil drenere under nedbør. I områder hvor det kan identifiseres modellerte flomveier, vil det være større sannsynlighet for at overflatevann vil drenere gjennom disse områdene og at vannet kan gjøre skade under ekstremnedbør. Et slikt forhold var også forventet da resultatene for valideringen av modellerte flomveier, omtalt i avsnitt 5.4, viste at mange av naturskadene er lokalisert tett opp mot modellerte flomveier. Resultatene viste derimot at et forhold ikke kunne identifiseres ettersom koeffisientverdien lå svært nær null.

Samlet sett var det to av variablene, helning på skråning og gjennomsnittlig infiltrasjonsevne, som hadde et forhold til kostnad på naturskade som på forhånd var forventet. Selv om de resterende variablene ikke hadde et forhold som var forventet, har flere av de signifikante bidrag og ble derfor vurdert som relevante.

#### *Preges modellene av skjevhet?*

Hvorvidt modellene preges av skjevhet, kan undersøkes ved å se på Jarque-Bera målet. Dette målet gir en indikasjon på graden av skjevhet i en modell ved å undersøke om residualene av resultatene er normalfordelte. Dersom Jarque-Bera verdien er statistisk signifikant, vil dette indikere at residualene ikke er normalfordelt og at modellen preges av skjevhet (Rød, 2015). For begge regresjonsanalysene viste frekvenshistogrammene at residualene ikke fulgte normalfordelingskurven. Dette ble opprinnelig tolket som et tegn på at modellen utviste skjevhet, men ble avkreftet ved å undersøke om verdien for Jarque-Bera var statistisk signifikant. For begge modellene viste Jarque-Bera verdien at dette ikke var tilfellet. Det ble også kjørt romlig autokorrelasjon på residualene for å undersøke om de utviste noe mønster som var statistisk signifikant. Dersom et romlig mønster kan identifiseres, kan dette være et tegn på skjevhet i modellen (Rød, 2015). Resultatet viste derimot at mønsteret var tilfeldig. Samlet sett viser alle testene at modellene som er blitt benyttet ikke preges av skjevhet.

#### *Kan redundans identifiseres i variablene?*

Redundans, som indikerer om en variabel overlapper med en eller flere andre variabler i forklaringen av avhengig variabel, kan identifiseres ved å undersøke VIF-verdiene for hver enkelt uavhengig variabel. VIF må overstige en verdi på 7.5 dersom redundans skal kunne identifiseres (ESRI, Udatert-n). VIF-verdiene for variablene som ble benyttet i de to modellene var betraktelig lavere enn dette, og dermed ble ikke redundans vurdert som et problem.

### *Inneholder modellene de viktigste variablene?*

Variablene som ble benyttet i modellene for studieområdene, ble valgt på grunnlag av resultatet etter utforskende regresjonsanalyse, hvor kombinasjonen av variablene som samlet ga høyest forklaringssevne ble valgt. Dette alene sier derimot ikke noe om modellene inneholder de viktigste variablene. Dette kan undersøkes ved å kjøre en romlig autokorrelasjonsanalyse på residualene etter modellering. Dersom over- og underpredikterte verdier klynger seg sammen i geografiske mønstre, så kan dette være et tegn på at nøkkelvariabler mangler (ESRI, Udatert-u). Ved bruk av utforskende regresjon, kjøres en slik analyse automatisk, og verdiene for analysene indikerte ikke noe tegn til statistisk signifikant romlig autokorrelasjon for residualene. Dette ble ytterligere sjekket ved at residualene produsert etter kjøring av begge MKM-regresjonene ble analysert ved bruk av *Spatial Autocorrelation*, som måler romlig autokorrelasjon. Som figur 5.23 og 5.26 illustrerte, var det ikke noe tegn til geografisk opphopning av residualer.

Likevel er det viktig å være oppmerksom på at selv om gjennomførte tester ikke viser tegn på at nøkkelvariabler mangler, må dette settes i kontekst av forklaringssevnen til modellene. Begge modellene har en relativt lav forklaringskraft som ligger like over 30 prosent. En slik forklaringskraft betyr at i underkant av 70 prosent av variasjonen i kostnad på naturskade ikke er forklart av variablene som er benyttet i modellene. Dette er en indikasjon på at det fortsatt mangler flere nøkkelvariabler som kan forklare de resterende prosentene, og et tegn på at det flere variabler burde inkluderes for å se om de kan heve forklaringskraften. I sammenheng med dette er det flere variabler som undertegnede i etterkant ser at kunne vært inkludert i regresjonsanalysene. Dette gjelder avstand fra skade til nærmeste elv, dreneringstetthet for nedbørfeltet naturskade ligger i og størrelse på nedbørfelt naturskade ligger i.

### *I hvor stor grad blir variasjonen i avhengig variabel forklart av modellene?*

Justert multiple  $R^2$  er et mål som kan benyttes for å vurdere i hvor stor grad variasjonen i kostnad på naturskade blir forklart av de uavhengige variablene i modellene. Dette målet kan derimot ikke alene benyttes til å vurdere modellen. Spørsmålene som er besvart i avsnittene ovenfor må også trekkes inn i vurderingen av modellens forklaringssevne. For eksempel, hvis romlig autokorrelasjon kan identifiseres, så kan man ikke stole på koeffisientforholdene i modellen. Med VIF-verdier som tilsier redundans i modellen vil dette normalt resultere i høye verdier for justert  $R^2$  verdier, men modellen vil derimot samtidig være ustabil. Den vil som følge av dette ikke reflektere de faktiske forholdene man ønsker å modellere og kan gi helt andre resultater dersom en ny observasjon legges til. Dermed er det essensielt at andre mål må

tas hensyn til dersom verdien for justert multiple  $R^2$  skal kunne stoles på (ESRI, Udatert-u). Som beskrevet i avsnittene ovenfor, er det for de andre modellmålene ingen verdier som kan tilsi at justert  $R^2$  ikke er til å stole på. Verdiene i målene ligger innenfor det som vurderes som normalt.

Ved vurdering av hvor godt en modell forklarer et fenomen, vil det være ulike svar på hva som er akseptert justert multiple  $R^2$  verdi. Dette avhenger blant annet av hvilket fenomen man ønsker å modellere og hvilket vitenskapsområde forskningen faller innenfor. Ifølge Rød (2015) vil det ved modellering av menneskelig atferd eller naturlige prosesser være normalt å få en lav verdi da forklaring av menneskelig atferd er vanskelig, mens naturlige prosesser kan være komplekse å modellere. Det er av flere blitt definert terskler for hva som vurderes som god og dårlig forklaringssevne i en modell (Henseler et al., 2009), men dette vil variere avhengig av hvilket fagfelt som forskningen foretas innen, hvor akseptert forklaringssevne kan variere fra 20 til 90 prosent. (ESRI, Udatert-u). Tar man dette i betraktning, er det vanskelig å vurdere om forklaringssevnen til modellene, som ligger rundt 30 prosent, er gode eller ikke. Det er en rekke faktorer og prosesser som har innvirkning på om det oppstår overflatevann ved nedbør, og om dette vannet har et skadepotensial. Det er med andre ord en kompleks prosess hvor en høy forklaringskraft kan være vanskelig å oppnå, og i slike tilfeller kan det være viktigere med signifikante variabler som forklarer avhengig variabel (Rød, 2015). Som nevnt innledningsvis i dette avsnittet inneholder begge modellene flere signifikante variabler, og dette kan dermed være en indikasjon på at modellene er gode.

## 7 Konklusjon

Denne oppgaven har hatt som mål å undersøke om naturskadedata kan benyttes i arbeidet med å forebygge klimarelaterte naturskader ved å anvende dataene i ulike analyser. Naturskader ble registrert og stedfestet på grunnlag av informasjon i takstdokumenter utarbeidet etter flommene i 2011 og 2013 langs Gudbrandsdalslågen. Intensitetsanalyser har blitt utført for å undersøke om naturskadene kan gi innsikt i områder hvor tiltak i forbindelse med regionalplanen for Gudbrandsdalslågen kan iverksettes. Videre har flomveier har blitt modellert i to utvalgte studieområder, Hundorp og Ruste. Flomveiene har blitt modellert med utgangspunkt i registrert informasjon i naturskadedatasettet, hvor dette har dannet grunnlag for modifisering av høydemodeller i form av åpne og tette stikkrenner. Disse flomveiene ble i etterkant validert ved å ta utgangspunkt i registrerte naturskader. Tilslutt ble regresjonsanalyser utført med hensikt i å få økt innsikt i hvorfor kostnad på naturskade varierer, og identifisere hvilke faktorer som påvirker omfanget av naturskade. Utforskende regresjon ble benyttet til å identifisere de mest egnede variablene, mens MKM-regresjon ble benyttet til å undersøke disse variablene nærmere.

Oppgavens formål med bruk av naturskadedata og analyse av disse dataene er blitt foretatt med bakgrunn i at geografisk data er blitt trukket frem som et viktig verktøy i arbeidet med å forebygge klimarelaterte naturskader. Oppland fylkeskommune har videreført denne tankegangen i arbeidet med regionalplanen for Gudbrandsdalslågen, hvor naturskader er blitt registrert og stedfestet. Målet med disse dataene har vært at de skal kunne benyttes som grunnlag for potensielle flomforebyggende tiltak. Bruken av dette naturskadedatasettet har dannet utgangspunktet for utforming og svar på følgende underproblemstillinger og hovedproblemstilling:

1. *Hvilke feilkilder introduseres i naturskadedatasettet ved bruk av takstdokumenter til stedfesting og registrering av naturskadehendelser?*

Arbeidet med registrering og stedfesting av naturskade har vist at det er hovedsakelig to feilkilder som introduseres i naturskadedatasettet når takstdokumenter benyttes som utgangspunkt. Først og fremst er det ikke mulig for mange av skadepunktene å fastsette kostnad på naturskade. Bakgrunnen for dette er at flere av takstdokumentene ikke skiller mellom kostnad på skadene når takst er utført for en enkelt eiendom med flere naturskader. Dette betyr at flere av skadepunktene ikke har verdi for egenskapen kostnad takst, som er blitt benyttet som utgangspunkt for intensitetsanalysene og regresjonsanalysene. Den andre feilkilden er knyttet opp mot stedfesting av skadepunktene. I takstdokumentene er det ved

noen tilfeller markert dårlig hvor naturskade har skjedd, eller så er ikke naturskade markert i det hele tatt. Dette gir vanskeligheter med å stedfeste punktene som representerer naturskade. En konsekvens av dette er at det vil være avvik mellom faktisk plassering for naturskade og stedfestet plassering, og at i noen tilfeller vil det være steder på en eiendom hvor det er registrert naturskade, men hvor det faktisk ikke har inntruffet naturskade. En potensiell løsning på dette problemet kan ved innmelding av naturskade være registrering av geografiske koordinater ved bruk av GPS. En slik løsning er anbefalt av Breivik et al. (2015) og Viréhn (2014).

2. *Vil registrerte og stedfestede naturskadehendelser gi innsikt i områder hvor tiltak i forbindelse med regionalplanen for Gudbrandsdalslågen kan iverksettes?*

Intensitetsanalysene har identifisert flere områder hvor tiltak i forbindelse med regionalplanen kan settes inn. Resultatene har spesielt vist at dalsiden i området mellom Harpefoss og Hundorp skiller seg ut, både for flommen som oppstod i 2011 og 2013. Dette er fra før av et kjent problemområde (Olsen et al., 2015), noe som intensitetsanalysene bekrefter.

Intensitetsanalysene har også identifisert nye områder som fra før av ikke har vært kjent som typiske problemområder, og dette gjelder områder ved Kloppa, Ringebu, Ruste, Haverstad og Skordal. I regionalplanen har det vært et stort fokus på tiltak som kan redusere flom i selve Gudbrandsdalslågen, mens tiltak i dalsidene har fått lite oppmerksomhet (Oppland Fylkeskommune, 2017). Resultatene fra intensitetsanalysene viser at områder i dalsidene er viktige, og at slike områder bør også vurderes i forbindelse med iverksetting av tiltak.

3. *Er det mulig å gjenskape flomveiene som oppstod under flommene i 2011 og 2013 i to utvalgte nedbørfelt, og vil bruk av skadedata kunne validere disse?*

Egenskapsinformasjon i registrerte skadepunkter ble benyttet som grunnlag for å modifisere høydemodellene, som har videre dannet utgangspunktet for modelleringen av sannsynlige flomveier som oppstod under flommene. Resultatet for valideringen av flomveier viser at det er mulig å gjenskape flomveier som oppstod under flommene i 2011 og 2013, og at naturskadedatasettet er et egnet datasett for å validere flomveiene. Hvorvidt flomveiene sammenfalt med registrerte skadepunkter, viste seg å være avhengig av terregegenskaper til området det skulle gjenskapes flomveier for. For områder med tydelige lavbrekk slik som bekkeløp og grøfter gjenspeiler modellerte flomveier i større grad sannsynlige flomveier som oppstod under flommene enn for områder hvor det ikke finnes lavbrekk. Eksempler på slike områder er åpne områder med dyrka mark, og her viste resultatene fra valideringen at det var

stor avstand mellom registrerte skadepunkter og nærmeste modellerte flomvei. For disse områdene viste også skadepunkter som var lokalisert nærmest til flomveiene som ble vurdert som dårlige, at kategorien vann på avveie er den dominerende årsaken til skade. Dermed er resultatene en indikasjon på at det er enklere å gjenskape flomveier som følger lavbrekk enn flomveier som har oppstått som følge av vann på avveie og havnet på områder uten noen form for lavbrekk. Det er viktig i forbindelse med dette å påpeke at naturskadedatasettet som er benyttet i denne oppgaven ikke er komplett, og ved ytterligere registrering kunne dette gi et forbedret resultat for valideringen av flomveier.

4. *Kan faktorer som påvirker overflateavrenning forklare hvorfor kostnad på naturskade varierer for registrerte naturskader i to utvalgte nedbørfelt?*

Ved bruk av utforskende regresjon ble faktorer som bidro til størst forklaringssevne identifisert, og disse inkluderte generell kurvatur, helning på skråning, gjennomsnittlig infiltrasjonsevne, avstand fra skadepunkter til modellerte flomveier og terrenghelningens himmelretning nord-sør og vest-øst. Påfølgende MKM-regresjonsanalyser gjennomført for studieområdene i Hundorp og i Ruste viste at disse variablene kan forklare henholdsvis 31 og 30 prosent av variasjonen i kostnad på naturskade. En slik forklaringskraft vurderes som relativt lav når i underkant av 70 prosent av variasjonen ikke blir forklart. Slik sett gir ikke disse variablene en fullstendig forklaring på hvorfor kostnad på naturskade varierer, og er en indikasjon på at det mangler nøkkelvariabler som kan heve forklaringssevnen. Likevel er det viktig å påpeke at de utvalgte variablene delvis forklarer hvorfor kostnad på naturskade varierer for de utvalgte naturskadedepunktene, og gir innsikt i hvilke variabler som kan påvirke omfanget av naturskade.

*Hovedproblemstilling: Hvilken nytteverdi kan stedfestet naturskadedata ha for forebygging av klimarelaterte naturskader?*

Basert på besvarelsene gitt for underproblemstillingene er det mulig å konkludere med at stedfestet naturskadedata kan ha en stor nytteverdi for forebygging av klimarelaterte naturskader. Naturskadedatasettet i seg selv gir økt kunnskap om hvor naturskader har inntruffet, hvilke typer skader som har inntruffet og hva som er årsakene til skade. De ulike analysene av naturskadedatasettet har vist at det er mulig å identifisere områder hvor tiltak kan iverksettes, samt gjenskape og validere sannsynlige flomveier som oppstod under flommene. Videre har analysene bidratt til kunnskap om variabler som kan påvirke kostnad på naturskade. Samlet sett er slik informasjon er tidligere funnet til å være av stor nytteverdi for

kommuner i arbeidet med forebygging av klimarelaterte naturskader, og kan benyttes innenfor arealplanlegging, sårbarhets- og risikoanalyser og iverksetting av tiltak (Breivik et al., 2015). Det er derfor sannsynlig at både Oppland fylkeskommune og kommuner langs Gudbrandsdalslågen også vil ha stort utbytte av naturskadedataene, da dataene gir økt kunnskapsgrunnlag om skadeforløpet under flommene og innsikt i utsatte områder. Funnene fra denne oppgaven støtter slik sett opp om tanken om at geografisk informasjon er viktig i forebygging av klimarelaterte naturskader. Avslutningsvis er det derimot viktig å påpeke at nytteverdien til dataene kan bli redusert dersom naturskadedataene inneholder feilkilder slik som unøyaktig plassering og mangelfull registrering av sentrale egenskaper.

### **7.1 Videre arbeid**

Basert på resultatene som denne oppgaven har kommet frem til, og metodene som er benyttet, ser undertegnede et potensial for videre arbeid og forskning innen dette temaet. Først og fremst så burde det undersøkes hvordan naturskadedatasettet kan bedre representeres for å ta hensyn til feilkilder som oppstår under registrering, slik som at verdien for kostnad på naturskade for et skadepunkt kan gjelde også kostnad på naturskade for andre skadepunkter på samme eiendom. Et forslag kan være å se om det er mulig å representere naturskadedatasettet i form av *multipoints*, der hvor flere skadepunkter er representert med en rad i egenskapstabellen for å indikere at flere skadepunkter er knyttet til et skadepunkt på samme eiendom. Videre vil det å utvikle en metode som beregner høydeforskjell mellom start- og slutt punkt for stikkrenner være relevant, da dette kan gi en mer korrekt modifisering av høydemodeller. Dette vil redusere feilkilder ved bruk av stikkrennedata i modellering av flomveier. Utforskende regresjon og MKM-regresjon anses som egnede metoder for å identifisere hvilke faktorer som kan forklare variasjonen i kostnad på naturskade. For å forbedre resultatene av regresjonsanalysene burde det undersøkes nærmere hvilken romlig oppløsning som er ideell for å representere ulike terrengparametere. Ytterligere arbeid burde også utføres for å identifisere faktorer som kan øke forklaringsvekten. Som nevnt i avsnitt 6.8 ble det foreslått at avstand fra skade til nærmeste elv, dreneringstetthet for nedbørfelt naturskade ligger i og størrelse på nedbørfelt naturskade ligger i, kan være relevante faktorer i forbindelse dette.



## 8 Litteraturliste

- Albright, S.C., Winston, W.L. & Zappe, C.J. (2015). *Business Analytics: Data Analysis & Decision Making* (5 utg.). Boston, MA: Cengage Learning.
- Arun, P. V. (2013). A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(2), 133-139.
- Assouline, S. & Ben-Hur, M. (2006). Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *CATENA*, 66(3), 211-220.
- Boissonnat, J. & Cazals, F. (2002). Smooth surface reconstruction via natural neighbour interpolation of distance functions. *Computational Geometry*, 22(1), 185-203.
- Bratlie, R. (2013). GIS finner flomveiene. Hentet 23.11.2017, fra [http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/102714/Exflood\\_tema\\_endelig\\_litenversjon.pdf](http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/102714/Exflood_tema_endelig_litenversjon.pdf)
- Bratlie, R. (2015). Beregning av flomveier med eksempel på bruk i kommunal forvaltning. *Kart og Plan* 75(1), 24-34.
- Breivik, R., Aall, C. & Rød, J.K. (2015). Pilotprosjekt for testing av skadedata fra forsikringsbransjen for vurdering av klimasårbarhet og forebygging av klimarelatert naturskade i utvalgte kommuner. Vestlandsforskningsrapport 2014 nr. 7. Sogndal : Vestlandsforskning. Hentet 24.01.2018., fra [https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate\\_files/vf-rapport-7-2014-testing-av-skadedata.pdf](https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-rapport-7-2014-testing-av-skadedata.pdf)
- Buckley, A. (2010). Understanding curvature rasters. Hentet 04.01.2018, fra <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/understanding-curvature-rasters/>
- Carey, G. (2013). *Quantitative Methods in Neuroscience Draft*. University of Colorado. Boulder, CO.
- Challis, K., Carey, C., Kinsey, M. & Howard, A. J. (2011). Assessing the preservation potential of temperate, lowland alluvial sediments using airborne lidar intensity. *Journal of Archaeological Science*, 38(2), 301-311.
- Chaplot, V., Darboux, F., Bourennane, H., Leguédou, S., Silvera, N. & Phachomphon, K. (2006). Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, 77(1), 126-141.
- Charlton, R. (2008). *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. New York, NY: Routledge.
- Childs, C. (2004). Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analys. Hentet 13.11.2017, fra <http://webapps.fundp.ac.be/geotp/SIG/interpolating.pdf>
- Cole, S. J. & Moore, R. J. (2009). Distributed hydrological modelling using weather radar in gauged and ungauged basins. *Advances in Water Resources*, 32(7), 1107-1120.
- Devore, J.L. & Berk, K.N. (2012). *Modern Mathematical Statistics with Applications* (2 utg.). New York, NY: Springer.
- Drageset, T-A. (2000). Flomberegning for Otta og Gudbrandsdalslågen. Hentet 22.01.2018, fra [http://publikasjoner.nve.no/dokument/2000/dokument2000\\_04.pdf](http://publikasjoner.nve.no/dokument/2000/dokument2000_04.pdf)

- Ebeltoft, M. (2014). Endret klima skjerper kommunenes ansvar. Hentet 23.01.2018, fra <https://www.finansnorge.no/aktuelt/nyheter/2014/11/endret-klima-skjerper-kommunenes-ansvar/>
- ESRI. (2008a). Cell size of raster data. Hentet 25.10.2017, fra [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Cell\\_size\\_of\\_raster\\_data](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Cell_size_of_raster_data)
- ESRI. (2008b). Flow Accumulation. Hentet 14.11.2017, fra [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow\\_Accumulation](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow_Accumulation)
- ESRI. (2008c). How Slope Works. Hentet 02.01.2018, fra <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How%20Slope%20works>
- ESRI. (2009a). Collect Events. Hentet 18.12.2017, fra [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?id=1917&pid=1915&topicname=Collect\\_Events\\_\(Spatial\\_Statistics\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?id=1917&pid=1915&topicname=Collect_Events_(Spatial_Statistics))
- ESRI. (2009b). Discrete and continuous data. Hentet 13.11.2017, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/discrete-and-continuous-data-in-3d-analyst.htm>
- ESRI. (2009c). Near (Analysis). Hentet 15.12.2017, fra <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?id=1111&pid=1107&topicname=Near%28Analysis%29>
- ESRI. (2011a). Extract Values to Points. Hentet 18.01.2018, fra [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Extract\\_Values\\_to\\_Points](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Extract_Values_to_Points)
- ESRI. (2011b). How Fill works. Hentet 02.11.2017, fra <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Fill%20works>
- ESRI. (2011c). IDW. Hentet 11.10.2017, fra <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?topicname=IDW>
- ESRI. (2011d). Snap Pour Point. Hentet 21.11.2017, fra <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Snap%20Pour%20Point>
- ESRI. (2011e). Zonal Statistics. Hentet 28.03.2018, fra [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Zonal\\_Statistics](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Zonal_Statistics)
- ESRI. (2012a). Determining flow direction. Hentet 14.11.2017, fra [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Determining\\_flow\\_direction](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Determining_flow_direction)
- ESRI. (2012b). How Topo to Raster works. Hentet 26.11.2017, fra <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009z0000007m000000>
- ESRI. (2012c). Integrate (Data Management). Hentet 15.12.2017, fra [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Integrate\\_\(Data\\_Management\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Integrate_(Data_Management))

- ESRI. (2016a). FAQ: What is the difference between Nearest Neighbor, Bilinear Interpolation and Cubic Convolution? Hentet 26.11.2017, fra <https://support.esri.com/en/technical-article/000005606>
- ESRI. (2016b). FAQ: Why does the Topo to Raster tool generate inaccurate elevation values? Hentet 05.03.2018, fra <https://support.esri.com/en/technical-article/000012375>
- ESRI. (2016c). What is lidar data? Hentet 13.11.2017, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>
- ESRI. (Udatert-a). Add Z information. Hentet 28.11.2017, fra <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/add-z-information.htm>
- ESRI. (Udatert-b). Creating a multipoint feature. Hentet 28.11.2017, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/creating-new-features/creating-a-multipoint-feature.htm>
- ESRI. (Udatert-c). Curvature Function. Hentet 04.01.2018, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>
- ESRI. (Udatert-d). Delaunay triangulation. Hentet 20.10.2017, fra <http://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary/term/delaunay%20triangulation>
- ESRI. (Udatert-e). Hot Spot Analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ ). Hentet 15.12.2017, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/hot-spot-analysis.htm>
- ESRI. (Udatert-f). How Aspect Works. Hentet 05.01.2018, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-aspect-works.htm>
- ESRI. (Udatert-g). How Exploratory Regression works. Hentet 03.03.2018, fra <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/how-exploratory-regression-works.htm>
- ESRI. (Udatert-h). How Hot Spot Analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ ) works. Hentet 23.04.2018, fra <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm>
- ESRI. (Udatert-i). How Natural Neighbor works. Hentet 06.01.2018, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-natural-neighbor-works.htm>
- ESRI. (Udatert-j). How Sink works. Hentet 02.11.2017, fra <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-sink-works.htm>
- ESRI. (Udatert-k). How Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) Works. Hentet 13.12.2017, fra <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>

- ESRI. (Udatert-l). Incremental Spatial Autocorrelation. Hentet 15.12.2017, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/incremental-spatial-autocorrelation.htm>
- ESRI. (Udatert-m). Interpreting Exploratory Regression results. Hentet 09.03.2018, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/interpreting-exploratory-regression-results.htm>
- ESRI. (Udatert-n). Interpreting OLS-results. Hentet 11.01.2018, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/interpreting-ols-results.htm>
- ESRI. (udatert-o). LAS dataset to Raster. Hentet 26.11.2017, fra <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/conversion/las-dataset-to-raster.htm>
- ESRI. (Udatert-p). Modelling Spatial Relationships. Hentet 02.03.2018, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/modeling-spatial-relationships.htm#>
- ESRI. (Udatert-q). Regression analysis basics. Hentet 28.12.2017, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/regression-analysis-basics.htm>
- ESRI. (udatert-r). RMS error. Hentet 27.11.2017, fra <https://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary/term/rms%20error>
- ESRI. (Udatert-s). Slope. Hentet 02.01.2018, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/slope.htm>
- ESRI. (Udatert-t). What is a z-score? What is a p-value? Hentet 14.12.2017, fra <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/what-is-a-z-score-what-is-a-p-value.htm>
- ESRI. (Udatert-u). What they don't tell you about regression analysis. Hentet 18.01.2018, fra <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/what-they-don-t-tell-you-about-regression-analysis.htm>
- Evans, J., Oakleaf, J., Cushman, S.A. & Theobald, D. (2014). An ArcGIS Toolbox for Surface Gradient and Geomorphometric Modeling, version 2.0-0. Hentet 03.12.2017, fra <http://evansmurphy.wixsite.com/evansspatial/arcgis-gradient-metrics-toolbox>
- Everitt, B.S. & Skrondal, A. (2013). *The Cambridge dictionary of Statistics*. Edingburgh: Cambridge University Press.
- Fang, H-Y. & Guo, M. (2015). Aspect-induced differences in soil erosion intensity in a gullied hilly region on the Chinese Loess Plateau. *Environmental Earth Sciences*, 74(7), 5677-5685.
- Gabriele, S., Chiaravalloti, F. & Procopio, A. (2017). Radar–rain-gauge rainfall estimation for hydrological applications in small catchments. *Advances in Geosciences*, 44, 61-66.
- Garbrecht, J. & Martz, L. W. (1997). The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models. *Journal of Hydrology*, 193(1), 204-213.

- Getis, A. & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206.
- Gruber, S. & Peckham, S. (2009). Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology. I Hengl T. & Reuter H. (red.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* (s. 171-194). Amsterdam: Elsevier.
- Gujarati, D.N. & Porter, D.C. (2009). *Basic Econometrics* (5 utg.). Boston: McGraw-Hill.
- 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. & Ålandsvik, B. (2015). Klima i Norge 2100. NCCS rapport 2015 nr. 2. Hentet 24.01.2018, fra <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M406/M406.pdf>
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32(9), 1283-1298.
- Hengl, T. & Evans, L. S (2009). Mathematical and Digital Models of the Land Surface. I Hengl T. & Reuter H. (red.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* (s. 31-63). Amsterdam: Elsevier.
- Hennig, I.M. (2015). *Flomvei og Aktsomhetskartlegging ved bruk av GIS over nedbørsfeltet Brandrudsåa i Gudbrandsdalen*. (Masteroppgave), NTNU, Trondheim.
- Henseler, J., Ringle, C.M. & Sinkovics, R.R. (2009). The Use of Partial Least Squares Path Modeling in International Marketing. *Advances in International Marketing*, 20, 277-320.
- Heywood, I., Cornelius, S. & Carver, S. (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems*. Edinburgh: Pearson.
- Hole, Ø. (2015). *Vurdering av romlige mønstre i Stavanger Kommune ved bruk av skadedata og multivariat regresjon - En GIS studie*. (Masteroppgave), NTNU, Trondheim.
- Holø, R.M & Lien, S.J. (2013). Prislapp på flommen i juni: En milliard kroner. Hentet 24.01.2018, fra <https://www.nrk.no/ho/en-milliard-i-flomkostnader-1.11427240>
- Houghton, J.T. (2009). *Global Warming - The Complete Briefing*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneve, Sveits.
- Jiang, J., Zhang, Z. & Ming, Y. (2008). Filtering of airborne Lidar point clouds for complex cityscapes. *Geo-spatial Information Science*, 11(1), 21-25.
- Kartverket. (2017). FKB - Felles Kartdatabase. Hentet 20.11.2017, fra <https://www.kartverket.no/data/kartdata/vektorkart/fkb/>
- Kennedy, H. (2004). *Data in Three Dimension: A Guide to ArcGIS 3D Analyst*. New York, NY: Delmar Learning.
- Kienzle, S. (2004). The Effect of DEM Raster Resolution on First Order, Second Order and Compound Terrain Derivatives. *Transactions in GIS*, 8(1), 83-111.

- Landbruksdirektoratet. (Udatert). Ny lov om statlig naturskadeerstatning fra 2017 - viktige endringer. Hentet 25.01.2018, fra <https://www.landbruksdirektoratet.no/naturskadeordningen/forside/ny-lov-om-statlig-naturskadeerstatning-fra-2017-viktige-endringer>
- Lawrence, D. (2016). Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVE Rapport 2016 nr.81. Hentet 24.01.2018, fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016\\_81.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_81.pdf)
- Ledoux, H. & Gold, C. (2005). An Efficient Natural Neighbour Interpolation Algorithm for Geoscientific Modelling. I P.F Fisher (red.), *Developments in Spatial Data Handling: 11th International Symposium on Spatial Data Handling* (s. 97-108). Berlin: Springer.
- Lesschen, J. P., Cammeraat, L. H. & Nieman, T. (2008). Erosion and terrace failure due to agricultural land abandonment in a semi-arid environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(10), 1574-1584.
- Li, Z. , Zhu, Q. & Gold, C. (2005). *Digital Terrain Modelling. Principles and Methodology*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Liang, L & Hale, D. (2010). A stable and fast implementation of natural neighbor interpolation. CWP Hentet 06.01.2018, fra <http://www.cwp.mines.edu/Documents/cwpreports/cwp-657.pdf>
- Lillestøl, C. (2016). *Krisehåndtering, læring og endring - en studie av flommene i Gudbrandsdalen 2011 og 2013*. (Masteroppgave), Universitet i Bergen, Bergen.
- Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in Physical Geography*, 32(1), 31-49.
- Longley, P.A. , Goodchild, M. F, Maguire, D. J & Rhind, D.W. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (Vol. 4th ). Hoboken, NJ: Wiley.
- Lyngstad, O.K. (2017). Vannet fosser over E6 - Nå er det verste over. Hentet 22.01.2018, fra <http://www.h-a.no/nyhet/loten/skogbrannfare-enkelte-steder---mye-regn-andre-steder>
- MacMillan, R.A. & Shary, P.A. (2009). Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. I Hengl T. & Reuter H. (red.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* (s. 227-254). Amsterdam: Elsevier.
- McCullagh, M. J. (1988). Terrain and surface modelling systems: theory and practice. *The Photogrammetric Record*, 12(72), 747-779.
- Meiforth, J. (2013). Modelling flood streams for urban planning in Trondheim, Norway. Uni GIS professional. Hentet 23.11.2017., fra <https://www.trondheim.kommune.no/attachment.ap?id=59632>
- Midtbø, T. (1993). *Spatial Modelling by Delaunay Networks of Two and Three Dimensions*. (Doktorgrad), NTNU, Trondheim.
- Miljødirektoratet. (2015). Gjennomgang av avrenningsfaktorer. Hentet 04.03.2018, fra <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M293/M293.pdf>
- Miljødirektoratet. (2016). Overvann. Hentet 08.05.2018, fra <http://www.klimatilpasning.no/klimautfordringer/overvann/>

- Mo, A-K. (2016). Ny radar skal gi sikrere værvarsel. Hentet 13.05.2018, fra <https://www.nrk.no/ho/ny-radar-skal-gi-sikrere-vaervarsel-1.13109623>
- Montgomery, D.C., Peck, E.A. & Vinning, G.G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (4. utg.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Norge Digitalt. (2018). Hoydedata.no. Hentet 20.08.2017, fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- Norges Geologiske Undersøkelse. (2015). Produktspesifikasjon: ND\_Løsmasser, versjon 3.0. Hentet 28.02.2018, fra [https://register.geonorge.no/data/documents/produktspesifikasjoner\\_L%C3%B8smasser%20N50%20N250\\_v2\\_produktspesifikasjon-ngu-losmasser-ver3\\_0\\_.pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/produktspesifikasjoner_L%C3%B8smasser%20N50%20N250_v2_produktspesifikasjon-ngu-losmasser-ver3_0_.pdf)
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2017). Nedbørfelt (REGINE). Hentet 21.11.2017, fra <https://www.nve.no/karttjenester/kartdata/vassdragsdata/nedborfelt-regine/>
- Norsk Institutt for Bioøkonomi. (2014). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – AR5. Hentet 04.03.2018, fra [https://kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb-4.5/4-ar5-2014-03-01.pdf#\\_ga=2.121020040.1454520447.1525939843-1582355269.1505906116](https://kartverket.no/globalassets/standard/sosi-kap3-produktspesifikasjoner/fkb-4.5/4-ar5-2014-03-01.pdf#_ga=2.121020040.1454520447.1525939843-1582355269.1505906116)
- Norsk Institutt for Bioøkonomi. (2016). Produktspesifikasjon : AR50 (Arealressurskart) i målestokk 1:50.000. Hentet 04.03.2018, fra [https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner\\_AR50\\_v2\\_produktspe sifikasjon-ar50-20161212\\_.pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_AR50_v2_produktspe sifikasjon-ar50-20161212_.pdf)
- Norsk Institutt for Bioøkonomi. (Udatert). Gårdskart på internett. Hentet 04.03.2018, fra <https://www.nibio.no/tema/jord/arealressurser/arealressurskart-ar5/g%C3%A5rdskart>
- Norsk Klimaservicesenter. (2017). Klimaprofil Oppland. Hentet 23.01. 2018, fra <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-oppland/attachment/12035?ts=15d9d3c1d03>
- Norsk Klimaservicesenter. (Udatert). Grunnlagsdata for klimafremskrivningene. Hentet 16.02.2018, fra <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/klima-og-hydrologiske-data/datagrunnlag-klimafremskrivninger>
- Norsk Naturskadepool. (Udatert). Hva er Norsk Naturskadepool? Hentet 24.01.2018, fra <https://www.naturskade.no/hva-er-norsk-naturskadepool/>
- Norsk Naturskadepool & Landbruksdirektoratet. (Udatert). Naturskader og erstatning. Hentet 23.01.2018, fra <https://www.landbruksdirektoratet.no/naturskadeordningen/forside/attachment/66553?ts=15e9f0c9ac8>
- Norsk Polarinstitutt. (2014). Hvordan måler vi klimaendringer? Hentet 23.01.2018, fra <http://www.npolar.no/no/tema/klima/klimaendringer/klimaendringer-maaling.html>
- NOU. (2010). Tilpasning til eit klima i endring. 2010:10. Oslo:Miljøverndepartementet. Hentet 11.10.2017, fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/01c4638b3f3e4573929f3b375f4731e0/nn-no/pdfs/nou201020100010000dddpdfs.pdf>

- NVE. (2018). Vann - SeNorge.no. Hentet 01.04.2018, fra <http://www.senorge.no/>
- Næss, R & Solli, J. (2013). *Klimakunnskap og kunnskapsklima - Hvordan drives klimatilpasning?* Trondheim: Akademika
- Odeland, J (1988). Spatial Analysis and Statistical Inference IG.I. Thrall (red.), *Spatial Autocorrelation* (s. 7-17). Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Olaya, V. (2009). Basic Land-Surface Parameters. I Hengl T. & Reuter H. (red.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* (s. 141-169). Amsterdam: Elsevier.
- Olsen, M.H., Hopland, A.A., Myrabø, S., Viréhn, P.L.E. & Glad, P.A. (2015). Flom- og skredhendelser i Gudbrandsdalen. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 5.3 Hendelser og kostnader. NVE rapport 2015 nr.123. Hentet 06.05.2018, fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015\\_123.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_123.pdf)
- Oppland Fylkeskommune. (2017). Regional plan for Gudbrandsdalslågen med sidevassdrag - tiltak for å redusere flom og skredskader. Hentet 22.01.2018, fra <https://www.oppland.no/Handlers/fh.ashx?MId1=2662&FillId=5723>
- Palmer, M. (Udatert). Environmental Variables in Constrained Ordination. 29.03.2018, fra <http://ordination.okstate.edu/envvar.htm>
- Reinemo, P. (2012). *Simulering av urban flom ved bruk av værradar*. (Masteroppgave), NTNU, Trondheim.
- Reuter, H., Hengl, T., Gessler, P. & Soille, P. (2009). Preparation of DEMs for Geomorphometric Analysis. I Hengl, T & Reuter H (red.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Application*. (s. 87-120). Amsterdam: Elsevier.
- Riksrevisjonen. (2010). Riksrevisjonens undersøkning av arbeidet til styresmaktene med å førebygge flaum- og skredfare. Dokument 3:3(2009-2010). Hentet 25.01.2018, fra [https://www.riksrevisjonen.no/SiteCollectionDocuments/Dokumentbasen/Dokument3/2009-2010/Dokumentbase\\_Dok\\_3\\_4\\_2009\\_2010.pdf](https://www.riksrevisjonen.no/SiteCollectionDocuments/Dokumentbasen/Dokument3/2009-2010/Dokumentbase_Dok_3_4_2009_2010.pdf)
- Rishikeshan, C. A., Katiyar, S.K. & Mahesh, V.V.N. (2014). *Detailed evaluation of DEM interpolation methods in GIS using DGPS data*. Innlegg presentert ved Sixth International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, Bhopal, India.
- Roald, L.A. (2013). Flommen på Østlandet i mai 2013. NVE Rapport 2015 nr.21. Hentet 20.01.2018, fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015\\_21.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_21.pdf)
- Roberts, D.W. (1986). Ordination on the basis of fuzzy set theory. *Vegetatio*, 66(3), 123-131.
- Roberts, D.W & Cooper, S.V. (1987). *Concepts and Techniques of vegetation mapping*. Innlegg holdt ved Proceedings - Land Classifications based on vegetation: Applications for Resource Management .Mosow, ID.
- Rogerson, P.A. (2011). *Statistical methods for geography*. London: Sage Publications.
- Rumsey, D. (2007). *Intermediate Statistics for Dummies*. Hoboken, NJ: Wiley Publishing
- Rød, J.K. (2015). *GIS Vektøy for å forstå verden*. Trondheim: Fagbokforlaget.



- Rød, J.K. (2017). *Innføring i GIS og Statistikk - Verktøy for å beskrive verden* (2 utg.). Trondheim: Fagbokforlaget.
- Sellæg, S.A. (2016). *Modellering av flomveier på Lillehammer, en GIS studie av åpne og blokkerte dreneringsveier i skadepunkter fra flommen juli 2014*. (Masteroppgave), NTNU, Trondheim.
- Senevirathne, N. & Willgoose, G. (2013). *A Comparison of the Performance of Digital Elevation Model Pit Filling Algorithms for Hydrology* Innlegg presentert ved 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, SA.
- Siedler, C.E. (2015). Samfunnsøkonomiske kostnader av Gudbrandsdalsflommen 2013. NVE Rapport 2016 nr. 93. Hentet 24.01.2018, fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015\\_93.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_93.pdf)
- Silvn-Crdenas, J. L. & Wang, L. (2006). A multi-resolution approach for filtering LiDAR altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61(1), 11-22.
- Songchitruksa, P & Zeng, X. (2010). Getis-Ord spatial statistics to identify hot spots by using incident management data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2165), 42-51.
- St.meld.nr 33. (2012-2013). (2013). Klimatilpasning i Norge. Oslo : Miljøverndepartementet. Hentet 24.01.2018, fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/e5e7872303544ae38bdbdc82aa0446d8/no/pdfs/stm201220130033000dddpdfs.pdf>
- Stage, A.R. (1976). An expression for the effect of aspect, slope, and habitat type on tree growth. *Forest Science* 22(4), 457-460.
- Statens Kartverk. (2016). Produktspesifikasjon - FKB-vann 4.6. Hentet 25.04.2018, fra [https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner\\_FKB%20Vann\\_v3\\_produktspesifikasjon-fkb-vann-4\\_6\\_.pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_FKB%20Vann_v3_produktspesifikasjon-fkb-vann-4_6_.pdf)
- Statens Naturskadefond. (2016 ). rsmelding 2016. 26.03.2018, fra <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/dokumenter/publikasjoner/attachment/65488?ts=15c6275e300&download=true>
- Statens vegvesen. (2012). Rapport om skadeflom i Pinsehelga 2011. Hentet 24.01.2018, fra [https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/190571/Rapport%20om%20skadeflom%20i%20pinshelga%202011\\_Statens%20vegvesen%20%20Region%20%C3%B8st.pdf?sequence=1&is%20Allowed=y](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/190571/Rapport%20om%20skadeflom%20i%20pinshelga%202011_Statens%20vegvesen%20%20Region%20%C3%B8st.pdf?sequence=1&is%20Allowed=y)
- Statens vegvesen. (2017). Nasjonal vegdatabank. Hentet 20.11.2017, fra <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/Nasjonal+vegdatabank>
- Steinius, S., Glad, P.A., Reitan, T., Wang, T.C., Tvedalen, A.K., Reinemo, P. & Amland, S. (2015). Sammenligning av metoder for flomberegninger i små uregelerte felt. NVE Rapport 2015 nr. 86. Hentet 04.03.2018, fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015\\_86.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_86.pdf)
- Sulebak, J.R. (2007). *Landformer og prosesser. En innføring i naturgeografiske tema*. Bergen: Fagbokforlaget.

- Tarboton, D.G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33(2), 309-319.
- Thorsnæs, G. (2017). Gudbrandsdalslågen. Hentet 22.01.2018, fra <https://snl.no/Gudbrandsdalsl%C3%A5gen>
- Tomljenovic, I., Höfle, B., Tiede, D. & Blaschke, T. (2015). Building Extraction from Airborne Laser Scanning Data: An Analysis of the State of the Art. *Remote Sensing*, 7(4), 3826.
- Torgersen, G., Rød, J.K., Kvaal, K., Bjerkholt, J.T. & Lindholm, O.G. (2017). Evaluating Flood Exposure for Properties in Urban Areas Using a Multivariate Modelling Technique. *Water*, 9(5), 318.
- Vatne, G. (2013). Klima og flom - i fortid og fremtid. I Bye L.M, Lein H & Rød J.K (red.), *Mot en farligere fremtid? - Om klimaendringer, sårbarhet og tilpasning i Norge* (s. 33-50). Trondheim: Akademika.
- Viréhn, P.L.E. (2014). *Water on Devious Ways: A GIS Analysis*. (Masteroppgave), NTNU, Trondheim.
- Walberg, N.A. & Devoli, G. (2014). Regional varsling av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen. NVE Rapport 2014 nr. 44. Hentet 31.10.2017, fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014\\_44.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_44.pdf)
- Warton, D., Aarts, G. & Manly, B. (2013). Advancing our thinking in presence-only and used-available analysis. *Journal of Animal Ecology*, 82(6), 1125-1134.
- Watson, C. (2016). *Watershed and stormwater drainage assessment of the Washington Park Arboretum*. (Masteroppgave), University of Washington, Washington, SA. Hentet fra [https://depts.washington.edu/uwbg/research/theses/Chris\\_Watson\\_2016.pdf](https://depts.washington.edu/uwbg/research/theses/Chris_Watson_2016.pdf)
- Wehr, A. & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2), 68-82.
- Wilson, J.P. , Aggett, G., Yongxin, D & Lam, C. S. (2008). Water in the Landscape: A Review of Contemporary Flow Routing Algorithms. I Q. Zhou, B. Lees & G Tang (red.), *Advances in Digital Terrain Analysis* (s. 213-236). Berlin: Springer.
- Wilson, J.P. & Gallant, J.G (2000). Primary Topographic Attributes. I J.P. Wilson & J.G. Gallant (red.), *Terrain Analysis - Principles and Applications* (s. 51- 85). New York, NY: Wiley.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to Conservation planning*. Beltsville, MD.
- Zimmerman, D., Pavlik, C., Ruggles, A. & Armstrong, M.P. (1999). An Experimental Comparison of Ordinary and Universal Kriging and Inverse Distance Weighting. *Mathematical Geology*, 31(4), 375-390.

## 9 Vedlegg

Tabell 9.1: Oversikt over de ulike egenskapene som er blitt registrert ved stedfesting av naturskadehendelser

Egenskapsnavn	Type	Forklaring	Kommentar
OBJECTID	Heltall	Tildeler hvert skadepunkt en unik verdi som brukes som identifikator	
ID	Heltall	Identifikator for å skille mellom 2011 og 2013 flommen	2011 2013
ID_politi	Heltall	Politiets saksnummer for skaden det gjelder	
Type hendelse	Tekst	Angir hvilken type hendelse det dreier om/ type objektet som er skadet	Steinsprang, uspesifisert Steinsprang (<100 m3) Lite fjellskred (100-10000 m3) Fjellskred (<10000 m3) Sørpeskred Løsmasseskred (uspesifisert) Flomskred Leirskred Jordskred Isnedfall Utglidning av vei Snøskred Annet Flom Skade åpent bekkeløp Skade utenom bekkeløp Skade lukket bekkeløp Skade på vei Erosjon/sedimentasjon
Dato hendelse	Heltall	Datoen for når hendelse inntraff	
Tidspunkt hendelse	Heltall	Tidspunkt når hendelse inntraff	Ikke brukt
Tidspunkt observert	Heltall	Tidspunkt når hendelsen startet /ble observert	Ikke brukt
Personer berørt	Tekst		Ikke brukt
Bygning skadet	Tekst	Angir om bygninger er blitt skadet	Lite brukt
Skog, jord, dyr skadet	Tekst	Angir om skogarealer, jord eller dyr er blitt skadet	Ja Nei
Evakuering	Tekst		Ikke brukt
Værobservasjon	Tekst		Ikke brukt
Øyevitne	Tekst		Ikke brukt

Eier skade	Tekst	Angir hvem som eier eiendommen/objektet hvor det er gjort naturskade	Grunneier Jernbaneverket Statens Vegvesen Norges Vassdrags- og Energidirektorat Fylke Kommune Politi Andre (Bedrifter)
Årsak skade direkte	Tekst	Angir årsak til skade.	Tett stikkrenne For liten dimensjon stikkrenne Feil på drenering - ikke tatt i bruk Endret drenering Vann på avveie Bekkelukking Store vannmengder
Årsak skade direkte problem	Tekst	Bakgrunnen for at skade har inntruffet	Dårlig vedlikehold Is/gjenfrossen Stikkrenne feilplassert Sedimenttransport under flom
Årsak skade indirekte	Tekst	Årsak til skade som ligger oppstrøms for selve skaden, gjerne utenfor berørt eiendom	Tett stikkrenne Stikkrenne for liten dimensjon Stikkrenne feilplassert Endret drenering som følge av vei Endret drenering som følge av dyrket mark Endret drenerings som følge av hogst Endret drenering som følge av nye bygg Inngrep i vassdrag Endret drenering annet Endring av grunnvann Bekkelukking Skred
Utglidning vei	Tekst	Angir om vei har glidd ut	
Dato skade meldt	Heltall	Dato for når skade ble meldt inn til politiet	
Registrert av	Tekst	Hvem som har registrert skaden	
Gjentatte skader	Tekst	Angir om det har skjedd naturskade på samme eiendom før	Ja Nei Usikkert
Annen skade	Tekst	Hvis flyfoto i etterkant av flom er tilgjengelig, gis en beskrivelse av synlige skader som ligger på eiendommer i nærheten av berørt eiendom	
Skadeomfang m2	Heltall	Angir arealet av utgravninger	

Skadeomfang m3	Heltall	Angir volumet av utgravninger	
Lengde veiskade meter	Heltall	Angir lengde på veiskade hvis slik skade har forekommet	
Brudd på flomvoll	Tekst	Brukt i forbindelse med registrering av skadepunkter langs Lågen hvor flom har inntruffet. Angir om det under flom har oppstått brudd i flomvoll	Ja Nei Usikkert
Skade jorde	Tekst	Angir om dyrka mark har blitt skadet	Ja Nei Usikkert
Skade skog	Tekst	Angir om skog har blitt skadet	Ja Nei Usikkert
Skade tun	Tekst	Angir om gårdstun har blitt skadet	Ja Nei Usikkert
Skade gjerde	Tekst	Angir om gjerde er blitt skadet	Ja Nei Usikkert
Berørt fulldyrka mark	Heltall	Angir antall dekar dyrka mark som er blitt skadet	
Berørt beite	Heltall	Angir antall dekar beiteareal som er blitt skadet	
Berørt skog	Heltall	Angir antall dekar skogareal som er blitt skadet	
Lengde skade åpent bekkeløp	Heltall	Lengde skade på åpent bekkeløp	
Lengde skade lukket bekkeløp	Heltall	Lengde skade på lukket bekkeløp	
Merknad tast	Tekst	Kommentarer til beløp oppgitt i kostnad takst: utregning av takst, hvorvidt sum takst gjelder et eller flere skadepunkter	
Merknad registrering	Tekst	Kommentarer til registrering av skade: Innhenting av opplysninger som danner utgangspunkt for registrering.	
Beskrivelse skade	Tekst	Gir en beskrivelse av skaden (e) som har skjedd, hva som er årsak til skade, hvor skade befinner seg i forhold til berørt areal eller objekt.	

Kommune	Tekst	Angir hvilken kommune skade har skjedd i	Nord-Fron Sør-Fron Ringebu Gausdal Sel - Ikke benyttet Lillehammer - Ikke benyttet Øyer - Ikke benyttet Dovre - Ikke benyttet Vågå - Ikke benyttet
ID andre skade på samme eiendom	Heltall	Angir OBJECTID på andre skadepunkter som ligger på samme eiendom	