



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Kartlegging av stikkrenner på skogsbilvei ved hjelp av laserdata

Mapping of culverts on forest roads using LiDAR
data

Eva Victoria Braathe
Skogfag

Forord

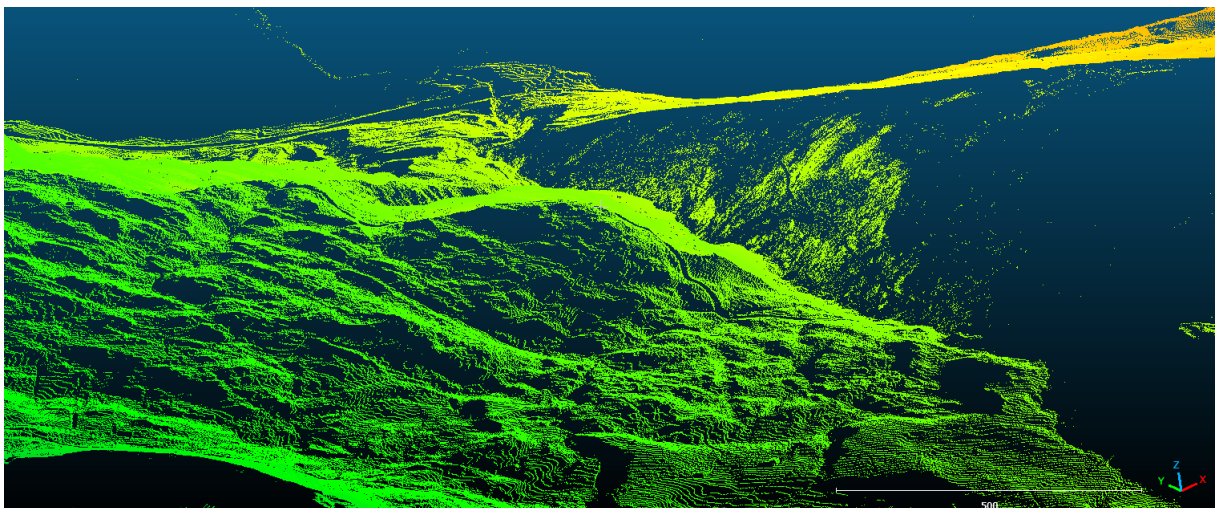
Etter lang tid på Ås er denne masteroppgaven slutten på et viktig kapittel i livet. I min studietid på Ås har jeg lært mye om både skogfag og om meg selv som person. Det gjelder også arbeidet med denne hovedoppgaven. Læringsutbyttet jeg sitter igjen med er stort, og jeg skylder en stor takk til familien, klassekamerater, venner og de jeg møtte under feltarbeidet, som hjalp meg med å finne stikkrennene.

En stor takk til veilederen min på denne oppgaven, Jan Bjerketvedt, som har hjulpet meg med å gjøre dette mulig ved hjelp av god veiledning, diskusjoner og assistanse med de digitale prosessene. Denne oppgaven hadde ikke vært mulig uten ham, hans kunnskap, engasjement for skogsbilveier og nye løsninger for å gjøre ting på nye og bedre måter.

Norges miljø- og biovitenskaplige universitet

Ås, mai 2023

Eva Victoria Braathe



Laserpunkter på vei 1

Sammendrag

Formålet med denne oppgaven er å se om det er mulig å detektere stikkrenner og kulverter på skogsbilvei ved hjelp av LiDAR data. Årsaken er at om det ikke er nok kunnskap om stikkrennenes plassering, kan det ikke gjøres korrekte analyser av vanntransporten i terrenget.

Dette påvirker blant annet flomanalyser, markfuktighetskart og dimensjonering av stikkrenner.

Feltarbeid i Ringeby var dels en kontroll av kommunens feltregistreringer av stikkrenner og befaring av Fields beregninger, samtidig som det var en nøyaktighetsstudie av egne feltregistreringer gjennomført med Ipad. Nøyaktighetsundersøkelsen var gjennomført for å kunne benyttes i Sør-Odal hvor det ikke var noen kommunale feltregistreringer.

Ringeby og Sør-Odal er de to kommunene hvor Fields hadde gjennomført beregninger. De er også gode representanter for henholdsvis bratt og flatt terreng.

Resultatene indikerer at det er mulig å detektere stikkrenner og kulverter ved hjelp av digitale analyser, hvis preprosesseringen av terrengmodellen er nøyaktig nok, samtidig som det blir brukt flere analyser til å bygge opp under hverandre.

Abstract

The purpose of this master thesis is to investigate whether it is possible to detect culverts on forest roads using LiDAR data. The reason is that without knowledge of the location of culverts, accurate analyses of water transport in the terrain cannot be performed. This affects flood analysis, depth-to-water, and correct sizing of the culvert.

Fieldwork in Ringebu partly involved checking the municipality's field registrations and surveying Field's calculations, as well as conducting an accuracy study of our own field registrations using an iPad. The accuracy study was conducted to be used in Sør-Odal where there were no municipal field registrations.

Ringebu and Sør-Odal are the two municipalities where Field had carried out calculations. They are also good representatives of steep and flat terrain.

Results indicate that it is possible to detect culverts using digital analyses, if the preprocessing of terrain model is accurate enough, while using several analyzes to build on top of each other or combining different analyzes.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag.....	III
Abstract	V
1. Innledning	1
1.1. Skred, flom og naturfarer.....	1
1.2. Skogbruk.....	1
1.3. Skogsbilveier	2
1.4. Normaler for landbruksvei.....	3
1.5. LiDAR – Laserdata.....	4
1.6. Høydedata	5
1.7. Hva er GIS?	5
1.8. Stikkrenner.....	5
1.8.1. Registrering av stikkrenner	6
1.8.2. Jordgjennomtrengende radar (GPR).....	6
1.8.3. Kontinuerlig kompakteringskontroll (CCC)	6
1.8.4. Fields sin registreringsmetode.....	7
1.8.4.1. Flyt (Flow) og Fluks (Flux)	7
1.8.5. Kommunens registreringsmetode.....	8
1.9. Tidligere forskning	8
1.10. Problemstilling.....	10
2. Materiale og metode	11
2.1. Programvare.....	11
2.1.1. QGIS.....	11
2.1.2. SAGA analyser.....	11
2.1.3. SOSICON og SOSI	11
2.1.4. ArcMap.....	11

2.1.5.	GDAL	12
2.1.6.	LAStools.....	12
2.1.7.	Whitebox	12
2.2.	Forarbeidet.....	12
2.2.1.	Valg av veier	12
2.3.	Produksjon av feltkart.....	13
2.4.	Preprosessering av terrengmodeller.....	13
2.5.	Akkumulert avrenning	13
2.5.1.	Vei 1	14
2.5.2.	Vei 2	14
2.5.3.	Vei 3	15
2.5.4.	Vei 4	15
2.5.5.	Vei 5	16
2.6.	Utvelgelse av nyttig feltinformasjon	16
2.7.	Feltarbeid	18
2.7.1.	Feltutstyr.....	18
2.7.2.	Befaring Ringebu:	18
2.7.3.	Befaring Sør-Odal:	18
2.8.	Analyser.....	19
2.8.1.	«Fill sink» - differanser	19
2.8.2.	Lengden på veiene.....	19
2.9.	Avrenningsanalyser	20
2.9.1.	Avrenning basert på DTM fra Høydedata.no	20
2.9.2.	Innbrenning av stikkrenner.....	20
2.9.3.	Punktskydata uten veier	20
3.	Resultater	23
3.1.	Feilmargin.....	23

3.2.	Rørdiameter opp mot avvik i meter	24
3.2.1.	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	24
3.2.2.	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringer	26
3.2.3.	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	26
3.3.	Treffprosent	27
3.4.	«Fill sink»-volumer	28
3.5.	Akkumulert avrenning ved bruk av tre forskjellige DTMer.....	31
3.5.1.	Avrenningsberegninger ved bruk av DTM	31
3.5.2.	Innbrenning av stikkrenner i terrengmodellen	32
3.5.3.	Avrenning ved bruk av interpolert DTM for vei 1 og 2.....	34
3.5.4.	Sammenligning av tre terrengmodeller og deres akkumulerte avrenning.....	35
3.5.5.	Fields sine fluksberegninger.....	37
4.	Diskusjon	39
4.1.	Mulige årsaker til feil	39
4.2.	Antagelser	40
4.3.	Rørdiameter og treffavstand	40
4.4.	«Fill sink» påvirkning av terrengmodellen.....	41
4.5.	Akkumulert avrenning	42
4.5.1.	Ferdig DTM.....	42
4.5.2.	Innbrenning av stikkrenner.....	42
4.5.3.	Utklipt veitrase	42
4.6.	Generelt	43
5.	Konklusjon	45
6.	Videre forskning	46
7.	Litteratur	47

1. Innledning

1.1. Skred, flom og naturfarer

Når skogsbilveier og stikkrenner skal vedlikeholdes eller det skal bygges nytt veianlegg er naturfarer viktig å ta i betraktning, særlig med tanke på klimaendringene som gjør at været kan bli villere, våtere og varmere.

Ved mye nedbør er det viktig at stikkrenner i bratt terreng blir kontrollert at de er åpne og at faren for etterfølgende løsmasseskred blir minimert. Et løsmasseskred skaper ekstra kostnader for skogeieren som må reparere eller gjenoppbygge skogsbilveien til dagens standard (Fergus, 2011).

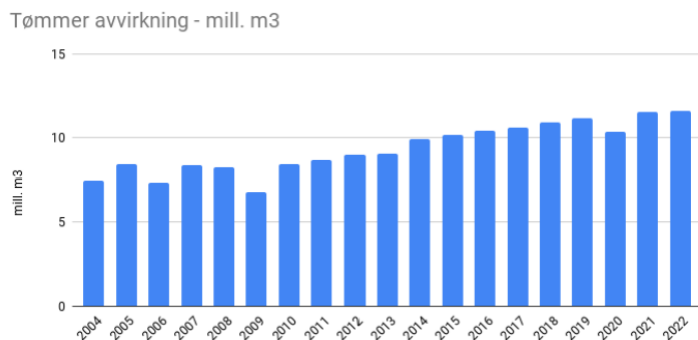
For området som blir drenert, også kalt nedbørfelt, er det viktig å huske at beregningen for den akkumulerte avrenninganalysen ikke alltid følger de vannveiene hvor vannet faktisk går, årsaken er at laserdata gir en mer detaljert oversikt enn hvordan høydedata ble beregnet i gamle dager. Det gjør at med en avrenningsanalyse vil vannet følge grøftene ved siden av veien, i stedet for å renne over eller under vei traseen. Problemet er at det kan medføre feilanalyse av hvilke områder som bør ivaretas eller kontrolleres før mye nedbør.

Når flom, skred eller andre naturfarer begynner høyt oppe i lia vil det ofte få større og større konsekvenser nedover lisen. I 2013 var det mange flomskader i Gudbrandsdalen. Da det raste over Dovrebanen førte dette til en kostnad på 1,1 milliarder kroner i gjenoppretting av infrastruktur (Aunaas, 2016). Når det ses på flomskaderapporter er det tydelig at det ofte kan regnes med en kostnad på rundt 100.000 kr ved skader som ødelegger en del av infrastrukturen (Boje, 2017 & Aall, 2015).

1.2. Skogbruk

Skognæringen er en viktig del av næringslivet i Norge. I 2022 ble den totale tømmeravvirkingen på 11,63 millioner m³, hvor dette var en økning på 0,5% fra 2021. For de siste to årene har den høyeste gjennomsnittsprisen vært på 532 kr/ m³, noe som har ført til at skognæringen har solgt tømmer for ca. 6,18 milliarder kroner i 2022 (Landbruksdirektoratet, 2023).

Industrien har behov for tømmervirke gjennom hele året. Det skaper et jevnt transportbehov av tømmer.



Figur 1: Tømmeravvirkning i Norge mellom 2004 - 2022. (Kilde: Landbruksdirektoratet, 2023)

Figur 1 viser at tømmeravvirkningen i Norge har gradvis økt de siste 13 årene, som trolig vil fortsette da skog- og trenæringen er et av de 7 satsningsområdene fremover med tanke på grønn industri (Norges skogeierforbund, 2022).

I Norge er det vanlig at industrien kjøper tømmer fra velteplass, slik at de tar seg av transporten inn til fabrikkene. Det gjør at veisikkerhet, i form av trygge kjøreforhold som minimerer faren for ulykker eller andre uønskede situasjoner, og veistandard har en vesentlig del med effektivisering av transporttiden å gjøre (Norges Skogeierforbund, 2023). I tillegg har det betydning for transport av skogsmaskiner både inn og ut av skogen.

1.3. Skogsbilveier

Skogsbilveier blir benyttet for at transporten av tømmer skal gå mest effektivt. Det er viktig at skogsbilveiene holder god nok standard, og retningslinjene for denne standarden finner man i «Normaler for landbruksveier» (Landbruksdirektoratet, 2013).

For at skognæringen skal være lønnsom er det viktig å ha på plass god infrastruktur for å kunne øke effektiviteten og gjøre virket tilgjengelig. I 2022 var det 49 617 kilometer med skogsbilvei (Statistisk sentralbyrå, 2023). Det er antatt at ca.

Skogsbilveg*, km

År	Nybygging	Ombygging
2010	83	298
2011	79	269
2012	93	274
2013	105	331
2014	72	368
2015	109	356
2016	122	421
2017	103	391
2018	106	283
2019	128	365
2020	90	386
2021	111	238
2022	119	233

* Med og uten tilskudd

Figur 2: Årlig bygg og ombygging av skogsbilvei

35-50% av skogsbilveiene trenger tunge opprustninger eller bygges helt om for å ha en god nok veistandard (Skogkurs, 2016).

Figur 2 viser hvor mye skogsbilvei i kilometer som har blitt bygd hvert år, samt hvor mange kilometer med skogsbilvei som har blitt ombygd til god nok standard.

1.4. Normaler for landbruksvei

I Norge er det en veinormal for hva som krevers for bygging av skogsbilveier og ombygging, hvis det er et ønske om tilskudd for byggingen. Her er en innføring i retningslinjer med tanke på utbygging, samt tekniske og geometriske krav. Grunnen for det er at det skal være sikre veier å kjøre på for tømmerbilene. I tillegg vil den veiklassen som blir bygd bestemme om veien kun kan benyttes på vinteren, sommeren eller om det blir en helårs-skogsbilvei (Norges Skogeierforbund, 2023).

Det eksisterer 8 forskjellige veiklasser:

1. Helårs-bilvei som er bygget i samarbeid med det offentlige
2. Helårs-landbruksvei
3. Landbruksbilvei
4. Sommerbilvei for tømmerbil med henger
5. Sommerbilvei for tømmerbil uten henger
6. Vinterbilvei
7. Traktorvei
8. Enkel traktorvei.

Kravene til de forskjellige veiklassene gjelder blant annet stigning, kurvatur, veibredde, grøfter og stikkrenner. Det er forklart hvordan veiens bæreevne kan nåes ved ulike underbygning og byggemateriale.

Stikkrenner er definert som rør med en indre diameter mellom 100 mm – 250 mm og kulverter er definert som rør med indre diameter mellom 250 - 1000 mm. Stikkrenner og kulverter har anbefalt maksimalavstand som varierer med stigning og nedbørsforhold. Her skal det beregnes for 25-50 årsflommen. Når det kommer til utvasking av vei, er det en kost/nytte-vurdering da kulverter som er dimensjonert for 200 – årsflommen blir dyre, så det velges reparasjonskostnadene i stedet. Skredfare stiller seg annerledes med tanke på viktighet,

spesielt hvis det er viktig infrastruktur nedstrøms. Konsekvensene av dette er tidligere nevnt under kapittel 1.1. *Skred, flom og naturfarer*.

I veinormalen står det beskrevet hva det er viktig å prioritere i forbindelse med stikkrenner og kulverter, blant annet ut ifra materialet som blir brukt, må det benyttes en vis tykkelse på røret, slik at det tåler eventuelle belastningen. Plasseringen av stikkrennene vil ha en påvirkning på den indre diameteren, et eksempel på dette er at nedbørrike områder har et minstekrav på 300 mm som indre diameter gjelder alle områder, det øker til 400 mm ved bratteforhold og nedbørrike områder. Hvis det kun er for drenering, kan reduseres ned til en indre diameter på 150 mm.

Veinormalen gir anvisninger på hvor man skal plassere stikkrennene, ved størst mulig grad å bevare eksisterende bekkeløp. Den anbefalte maksimalavstanden mellom stikkrennene påvirkes av stigninger på veien. Eksempelvis vil en stigningsprosent på 10 % gi en anbefalt maksimalavstand på 90 meter.

I områder med mye nedbør som har risiko for løsmasseskred kan det være aktuelt å sikre stikkrennene eller kulvertene med en sedimentasjonsgrøp i tillegg, samtidig som utløpet blir erosjonssikret (Landbruksdirektoratet, 2013).

1.5. LiDAR – Laserdata

LiDAR eller **Light Detection And Ranging** blir ofte samlet inn fra fly, og blir da definert som flybåren laserskanning.

Laseren sender ut pulser hvor avstander blir målt for å vite hvor lang tid det tar før pulsen blir reflektert tilbake til laseren. Fra informasjonen som hentes inn kan det lages en tredimensjonal punktsky med høy nøyaktighet i både x, y og z som representerer geografisk lengde, bredde og høyde. Informasjonen som blir hentet ut avhenger av hvor mange punkter det er per kvadratmeter, hvor punkttettheten gir forskjellig nøyaktighet over et område. Punkttettheten blir bestemt i forbindelse med hva ønsket er å benytte datasettet til før registreringen blir gjennomført, da forskjellig bruksområde krever forskjellig punkttetthet (ArcGIS, 2023).

LiDAR blir mye brukt i forbindelse med analyser og visualisering av terreng- og vegetasjonsdata, og endringen på sikt. Laserdata har de senere årene blitt en «billig» måte å hente inn masse informasjon på kort tid (Eid et al., 2004). Punktskyens data kan være input til mange ulike analyser.

1.6. Høydedata

Høydedata blir samlet inn fra laserdata som behandles, slik at de kan bli benyttet for en detaljert beskrivelse av både terreng og overflate. Informasjonen kommer fra «prosjektet nasjonal detaljert høydemodell» som startet opp i 2016. Da prosjektet ble ferdig i 2022 satt man med en høydemodell (DOM – **D**igital **O**verflate**M**odell) over hele Norge med 1 meters oppløsning (Kartverket, 2022).

På høydedata.no har man varierende tetthet på punktskyene, da disse blir tilpasset de ulike formålene punktskyene skal bli benyttet til. Tettheten på punktskyene blir bestemt før et område blir registrert. På høydedata.no kan man velge ut bestemte prosjekter etter den punkttettheten som er ønsket. Ut fra laserpunktene blir det frembrakt høydemodeller i enten et grid-format av terrenget (DTM – **D**igital **T**erreng**M**odell) eller overflate (DOM) (Geonorge, 2023).

Jeg benyttet her DTM modeller fra høydedata.no for å få laserdata over de veiene og deres nedbørsflater som ble benyttet i denne oppgaven. DTM-modellen som ble lastet ned ble brukt til bratthetsanalyser og akkumulert avrenning. I tillegg ble det lastet ned punktskyer for enkelte veiområder som ble brukt til oppbygging av nye terrengmodeller uten eksisterende veier.

1.7. Hva er GIS?

GIS står for **G**eografisk **I**nformasjons**S**ystem. Alt som kan stedfestes geografisk kan tas inn i et GIS for videre analyser eller presentasjon. For å kunne presentere deler av virkeligheten i et kart trenger man minst ett lag, et kartlag er en visuell representasjon av et spesifikt aspekt eller tema av geografiskdata. Det benyttes ofte flere lag avhengig av hva kartet skal benyttes til. De to mest vanlige lagtypene er vektor- og rasterlag. Vektorlaget fokuserer på en romlig og en beskrivende del som hører sammen, også definert som en diskret objektskuelse. Det består av for eksempel linjer, punkter, polygoner eller flater med tilhørende egenskapsdata. Rasterlag fokuserer mer på det kontinuerlige i en feltanskuelse. Her benyttes det flater med informasjon i hver celle laget er bygget opp av. Et eksempel på dette vil være en bratthetsanalyse eller et markfuktighetskart. Her vil hver celle ha en gitt stigning, som kan representeres i forskjellige farger ut fra verdien i cellen (Ørstavik, 2023).

1.8. Stikkrenner

Stikkrenner eller kulverter er rør som typisk blir lagt under veibane eller veikropp. Rørene har forskjellige dimensjoner ut ifra hvor mye vann det er behov for at de skal lede bort. Rørene består vanligvis av plast, betong eller stål.

Forskjellen mellom stikkrenner, kulverter og broer er størrelsen. Et rør med diameter under 1 meter kalles for en stikkrenne, diameter fra 1-2,5 meter er en kulvert, mens alt med en indrediameter større enn 2,5 meter er en bro ifølge NVE sin rapport om kulvert-prosessering (NVE, 2021). Normaler for landbruksveier og normal for vegbygging fra Statensvegvesen omtaler stikkrenne og kulvert for det samme, her er alt under 2,5 meter indre diameter stikkrenne/kulvert og alt over 2,5 meter bro (Vegdirektoratet, 2018). I denne oppgaven forenkles dette, slik at betegnelsen stikkrenner omfatter rør/stikkrenner/kulverter opp til 2,5 meter indre diameter, over dette er det en bro.

Stikkrenner brukes til å lede bort vann for å unngå erosjon eller utvasking av veier. Vedlikehold av stikkrenner er særdeles viktig. Spesielt med tanke på at rørene kan gå tette på grunn av sedimentasjon, kvist eller andre gjenstander som blokkerer vannveien. Ved manglende vedlikehold vil stikkrennene miste sin funksjon. Et godt vedlikehold er basert på at man vet hvor stikkrennene er.

1.8.1. Registrering av stikkrenner

Stikkrenner kan registreres på flere måter, for eksempel ved bildegjenkjenning på fotogrammetri eller ved fysiske registreringer ved hjelp av GPS-koordinater. Omtrent 43% (Tungland, 2022) av stikkrennene man vet om i dag er kartfestet med både inn- og utløp. Det gjelder alle kjente stikkrenner på både privat og offentlig vei.

Når det gjennomføres avrenninganalyser er det viktig at koordinatene på både inn- og utløp er lagt inn, for at stikkrennene skal ha en egengeometri slik at de er koordinatfestet. Hvis dette mislykkes, vil det ikke genereres nøyaktige avrenningsmodeller som kan føre til blant annet flomskader (Tungland, 2022).

1.8.2. Jordgjennomtrengende radar (GPR)

Ved bruk av jordgjennomtrengende radar (**G**round **P**enetrating **R**adar) blir det sendt energipulser ned i bakken. Tiden og styrken som må benyttes for å få signalet tilbake sier noe om grunnforholdene. Ved å benytte radar til bakkegjennomtrengning vil man få et utslag på hva som ligger under overflaten ut ifra refleksjonene som kommer tilbake, som for eksempel en stikkrenne (GSSI, 2023).

1.8.3. Kontinuerlig kompakteringskontroll (CCC)

Kontinuerlig kompakteringskontroll (**C**ontinuous **C**ompaction **C**ontrol) er et verktøy som ofte blir brukt på veivalser for å måle tettheten i jorden som blir komprimert, blant annet der hvor

det bygges vei. Det gir en mulighet til å sørge for en lik komprimering av hele veien (Pistol et al, 2016).

Ved bruk av responsmåler og kontinuerlig kompakteringskontroll, det gjør at man får oversikt over hvordan bæreevnen varierer langs veien. Kontinuerlig kompakteringskontroll blir også påvirket av vann innholdet i massen. Ved endring i bæreevne vil man få utslag, derfor er det en mulighet å detektere stikkrenner ved bruk av kontinuerlig kompakteringskontrollmetoden. Responsmåleren sier noe om bæreevnen til veien, trommelens vibrasjon varierer ut ifra denne (Bjerketvedt, 2017).

1.8.4. Fields sin registreringsmetode

Blom Geomatics var en del av Terratec før de ble kjøpt opp av Fields. Fields beregner stikkrenner ved hjelp av LiDAR-data, slik at beregningene gir en antatt beliggenhet for stikkrennene. Den antatte beliggenheten til stikkrennene blir vektorisert, før den blir klassifisert i forskjellige «flux»-verdier. «Flux»-verdiene sier noe om hvor stor sannsynlighet det er for å finne en stikkrenne på denne posisjonen, hvor høy «flux»-verdi gir høy sannsynlighet.

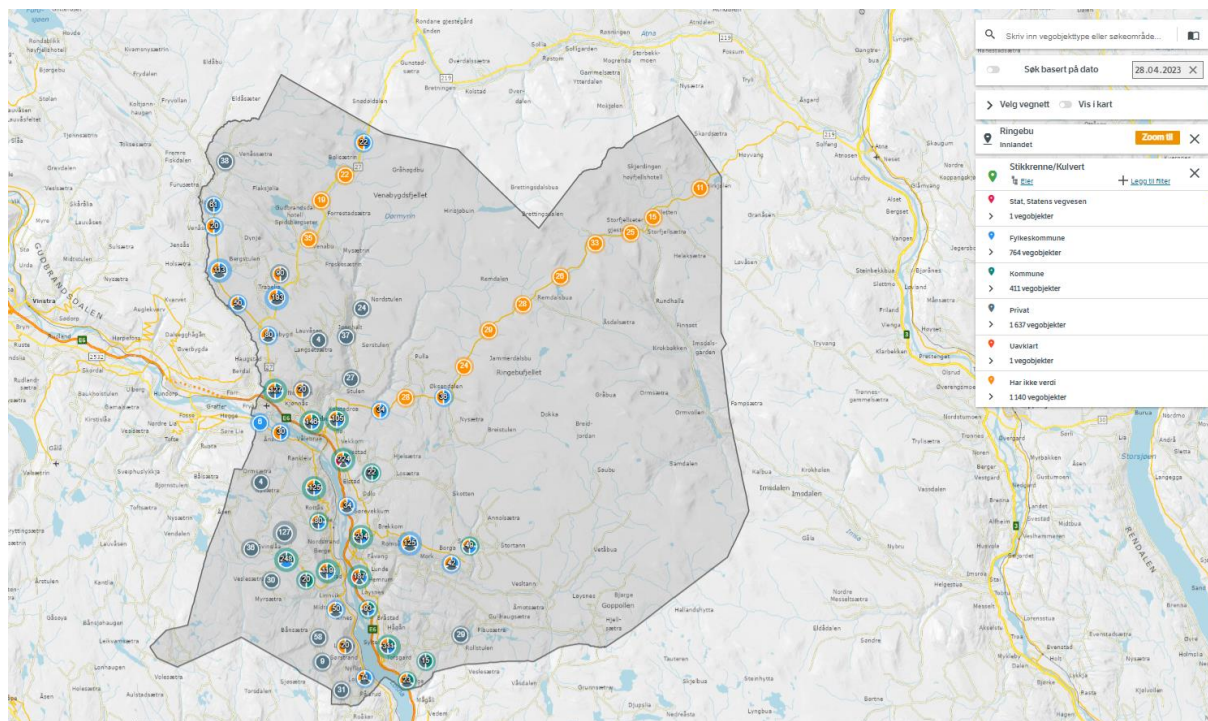
1.8.4.1. Flyt (Flow) og Fluks (Flux)

I Fields sine beregninger finner vi verdier for flyt og fluks. Flyt sier noe om nedslagsfelt-arealet som betyr hvor stort område som vannet regnes med at dreneres fra.

For å kunne definere massetransport på generelt grunnlag, er bevegeligheten av en masse målt i fluks. Fluks blir målt ved mengden masse, som strømmer gjennom en enhet, per tidsenhet (Crittenden et al, 2012, s. 395-396). Ved en høy fluks har man en høy mengde vann som skal gjennom et gitt punkt. I dette tilfellet er stikkrenner det gitte punktet og nedbørsfeltet er flaten det kommer fra.

1.8.5. Kommunens registreringsmetode

Ringebu kommune har registrert sine stikkrenner ved hjelp av applikasjonen Sinus på et nettbrett som var koblet til Spectra SP60 GNSS (GPS). Her er det målt inn både innløp og utløp av stikkrennene brukt i denne oppgaven, samt registrert materialtype og dimensjon.



Figur 3: Kart over Ringebu kommune, med oversikt over eierne til stikkrennene (Vegkart, 2023.04.28)

Bakgrunnen for innmålingene av stikkrenner er flom- og skredskadene i Ringebu fra 2013. Derfor jobbes det nå for å lage en oversikt over stikkrenner. Bratt terreng vil bli kontrollert først, før de går over til innmåling av de resterende stikkrennene. Ringebu har nå målt inn 2805 stikkrenner totalt (Ringebu kommune, 2023). Figur 3 viser at Vegdata har registrert mer enn 2805 stikkrenner. Figur 3 indikerer hvor stor andel av stikkrennene som er private i forhold til offentlige. Ses det bort fra de stikkrennene som er uavklart eller ikke har verdi, viser Figur 3 at det er ca. 70 % av stikkrennene befinner seg på privat vei og da inkludert skogsbilveier.

1.9. Tidligere forskning

Tidligere forskning viser at det skal være mulig å detektere stikkrenner og kulverter ved hjelp av laserdata, og at det er en fordel med større stikkrenner kontra små, da de er enklere og detektere. Det blir spesielt tydelig når man prøver å kartlegge mindre stikkrenner på skogsbilvei, da resultatet ofte er dårligere kartlegging av de mindre stikkrennene (Lidberg et al., 2017). Før i tiden ble de digitale terrengmodellene laget ved fotogrammetri, hvilket gjorde

det vesentlig vanskeligere å detektere stikkrenner da vegetasjon i grøfter, ras eller greiner som kan skjule stikkrennene kan føre til feilinformasjon.

De nye terrengmodellene som er bygget opp av LiDAR-data er enklere å benytte da informasjonen i terrengmodellen kan prosesseres ut ifra hva den skal benyttes til. Samtidig at ved bruk av DTM i forbindelse med hydrologi er det viktig å justere modellen til sammenhengende vanntransport før den blir benyttet, da feil vil forsterkes for hver analyse eller prosess DTMen går gjennom (Lidberg et al., 2017).

Selv om forskningen i dag er kommet langt er det fortsatt mye som gjenstår for å kunne kartlegge stikkrenner nøyaktig, det mangler enda å finne de mest korrekte algoritmene og minimumskravet for punktskytetthet. Samtidig mangler det fortsatt en stikkrenne-klassifikasjon for tolkningen av LiDAR-dataene, slik at stikkrennene blir lettere å detektere (Fareed et al., 2021).

1.10. Problemstilling

De siste 10-årene har det foregått en stor utvikling innenfor laserteknologi, laserdata benyttes på stadig flere områder. På bakgrunn av dette er det startet forskning på hvordan laserdata kan brukes til kartlegging av kulverter, stikkrenner og vann som går under bruer.

For å finne ut av dette må det ses på hva slags prosessering som skal benyttes før hydrologiske beregninger er basert på laserdata.

Problemstillingen legger utviklingen av LiDAR data til grunn, for å se på muligheten til å kunne detektere stikkrenner på eksisterende skogsbilveier ved bruk av laserdata.

Hovedproblemstillingen for denne oppgaven er ***å vurdere ulike metoder for å identifisere geografisk posisjon til stikkrenne/kulvert på skogsbilveier basert på analyser ved bruk av laserdata.***

Dette søkes nådd gjennom å undersøke om:

- Fields metode gir et akseptabelt resultat på identifisering av stikkrenneposisjoner
- «Fill sink» egner seg til detektering av stikkrenner
- Naturlig vannløp-analyse uten veitrase vil gi verdifull informasjon

2. Materiale og metode

2.1. Programvare

2.1.1. QGIS

GIS-programmet QGIS er en brukervennlig åpen kildekode, som blir benyttet for å opprette, redigere, visualisere, analysere og publisere geografiske data, som kan bli benyttet på forskjellige plattformer (QGIS, 2023).

I denne oppgaven ble det benyttet QGIS til kartografi og visualisering av databehandling og resultatene.

2.1.2. SAGA analyser

SAGA er et tilleggsprogram som kan benyttes i QGIS, men kan også benyttes alene. SAGA brukes på forskjellige typer analyser. I oppgaven er det først benyttet prosedyren “Fill sink”, som fungerer slik at områder som er flate eller med nedsenkninger som kan stoppe vannavrenningen, blir justert slik at vannet kan renne fritt over terrengmodellen.

Prosedyren “Channel network and drainage basin” blir benyttet for å beregne vannavrenningen over terrengmodellen og etablerer et bekkenettverk slik at man kan se hvor vannet beveger seg (QGIS, 2023).

2.1.3. SOSICON og SOSI

SOSI er den norske standarden for utveksling av geodata som inneholder punkter, linjer og flater som er klassifisert og koordinatfestet. De fleste programmer kan lese eller samhandle med SOSI-filer, fordi filene er lette å konvertere over til Shapefiler (Mæhlum, 2020).

SOSICON er en åpen programvare som benyttes til å konvertere SOSI-filer til ESRI shapefiler og enkelt kan lastes opp direkte til blant annet QGIS (SOSICON, 2023). I oppgaven ble SOSICON benyttet for å konvertere filer med stikkrennenes informasjon fra vegdata.no fra SOSI-fil til shapefiler.

2.1.4. ArcMap

ArcMap eller ArcGIS er et kraftig GISprogram som er skapt av Esri. ArcMap brukes til å analysere, behandle og visualisere geodata, for å nevne noen av mulighetene til databehandling i programmet. I ArcMap kan data visualiseres i både 2D og 3D, slik som i QGIS. Det er et lisensiert og relativt dyrt program som mange bedrifter benytter seg av når operasjoner blir for komplekse eller for store for QGIS (Esri, 2023). Nå jobber Esri med å fase ut ArcGIS, derfor vil de ikke lenger videreutvikle ArcGIS, men kun satse på videreutvikling ArcGIS Pro (ArcMap, 2023).

2.1.5. GDAL

GDAL er (Geospatial Data Abstraction Library) er et tilleggssbibliotek til QGIS, som har forskjellige algoritmer til bruk på raster- eller vektorlag (GDAL, 2023). I oppgaven ble GDAL benyttet til innbrenning av stikkrenner ved bruk av funksjonene Rasteriser, Fyll ikke dataceller og Slå sammen rasterlag.

2.1.6. LAStools

LAStools er en programvare som har noen gratis funksjoner, samt lisensiering. LAStools er et verktøy med mange funksjoner, de mest kjente er klassifisering, konvertering, filtrering, rastre, klippe, interpolere og polygonisere LiDAR-data, for å nevne noen få. Her ble LAStools benyttet for å klassifisere laserdataene, slik at det kun var bakketreff, før filen ble konvertert fra laz- til lasfil (Rapidlasso GmbH, 2023).

2.1.7. Whitebox

Whitebox er en åpen programvare som benyttes til å analysere forskjellige geografiske datasett. Programmet har over 500 forskjellige verktøy som utfører forskjellige analyser av geodata. I denne oppgaven benyttes prosedyren «Erase Polygon From Lidar». Whitebox kan benyttes i QGIS, på samme måte som SAGA ved å være en tilleggsfunksjon i QGIS sin verktøykasse. Her benyttes Whitebox som et eget program for preprosessering av kartlagene (Whitebox, 2023).

2.2. Forarbeidet

2.2.1. Valg av veier

De fire veiene som ble kontrollert i Ringebru ble valgt fordi de var klassifisert som skogsbilvei, samt at både Fields og kommunen hadde data på stikkrennene langs veiene. Deretter ble beliggenheten vurdert, hvor 4 veier i Ringebru ble valgt, for å få et representativt utvalg med tanke på feilmarginen som kan oppstå ved varierte dekningsforhold for Ipaden.

Vei 5 i Sør-Odal ble valgt fordi det var ønskelig å kontrollere en vei med flatt terreng. Vei 5 hadde ingen kommunale eller andre tidligere GPS-registreringer. Sammenligningen mellom Fields beregninger og egne feltregistreringer ble planlagt justert med beregnet



Figur 4: Kart over plasseringen til alle veiene

nøyaktighet mellom Ringebu kommunes GPS-målinger og egne feltregistreringer basert på Ipad-GPS.

2.3. Produksjon av feltkart

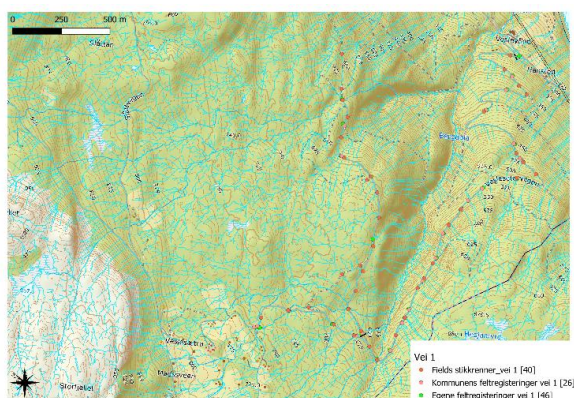
Kartet ble laget i QGIS, da det er lett å legge inn lag med forskjellig informasjon både før og etter feltarbeidet. Det ble benyttet en WMS-fil av norgeskartet for å få stedsnavn og beliggenheten til veiene. Deretter ble det lastet ned en terrengmodell med celledimensjon 1x1 meter fra høydedata.no. NIBIO sitt markfuktighetskart ble benyttet for å få en indikasjon over våte områder ut ifra fuktighetsinnhold i marka, da markfuktighetskartet tar hensyn til terrengmodellen, men ikke løsmasser (NIBIO, 2023).

2.4. Preprosessering av terrengmodeller

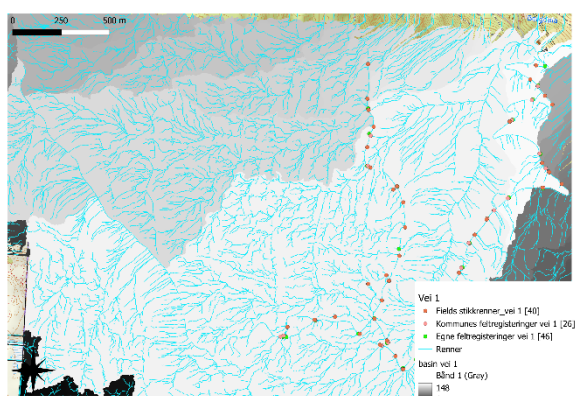
For at et kartlag skal fungere optimalt, må det ofte behandles i henhold til informasjonen man er på jakt etter. I forbindelse med hydrologi vil det være viktig at vannet har mulighet til å renne over en terrengmodell (DTM) ved en avrenningsanalyse. Hoppes det over denne delen vil risikoen for at vannet stopper opp så fort det er en nedsenkning i terrenget. «Fill sink» prosedyren ble benyttet for å fylle nedsenkningene. Konsekvensene ved å ikke gjennomføre «Fill sink» er at vannet ikke vil renne der det naturlig skulle gått (Lidberg et al., 2017).

2.5. Akkumulert avrenning

Det ble gjort en akkumulert avrenningsanalyse for alle de fem veiene, for å få en indikasjon på hvor vannet går, og for å øke sannsynligheten for funn av flest mulig stikkrenner. Gjennomføringen av denne prosessen ble gjort med SAGA prosedyren «Channel network and drainage basins».



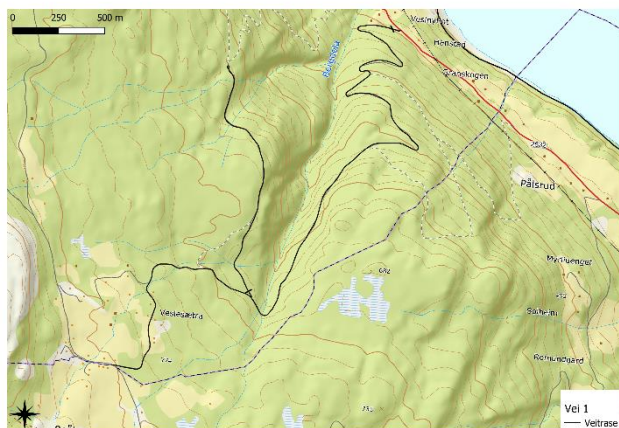
Figur 5: Kart over vei 1, som viser den akkumulerte avrenningen som blir laget av prosessen "Channel network and drainage basin"



Figur 6: Kart over vei 1, som viser den akkumulerte avrenningen og nedbørfeltet som blir laget av prosessen "Channel network and drainage basin"

Kartene i Figur 5 og Figur 6 viser hva prosessen «Channel network and drainage basins» gjør. Her akkumulerer analysen en avrenning, samtidig som et nedbørfelt blir skapt. Avrenningen blir laget på bakgrunn av nedbørfeltet for å skape en antagelse av hvor stor vannmengden er.

2.5.1. Vei 1



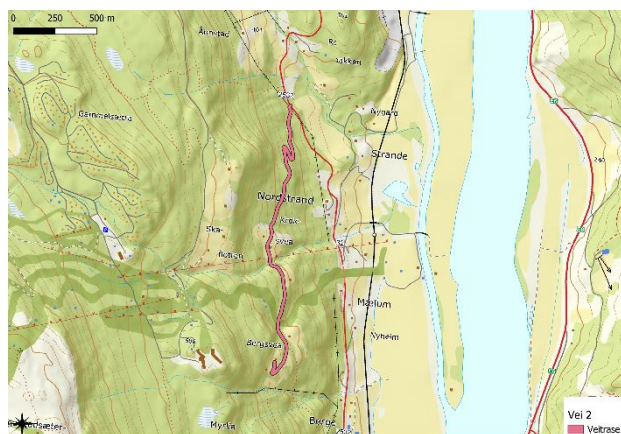
Figur 7: Her ser vi veitraseen til vei 1, og hvordan den slynger seg oppover i terrenget.



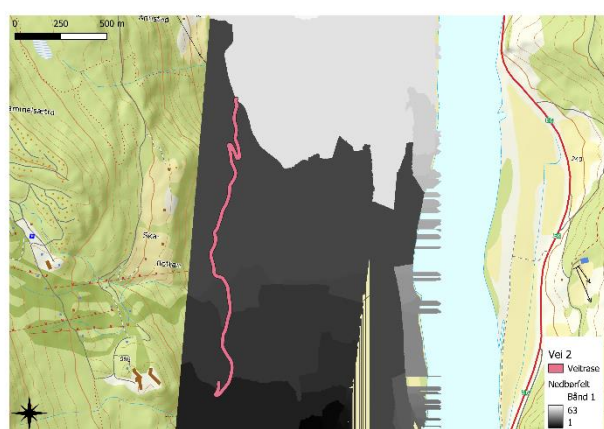
Figur 8: Kartet viser hvordan nedbørfeltet for vei 1 fordeler seg utover.

Vei 1 ligger i Ringebu kommune rundt elven Bergdøla. Figur 7 viser hvordan veitraseen ligger i terrenget, samt hvordan den klatrer seg oppover lisiden. I kartet (Figur 8) vises nedbørfeltet for vei 1, her kommer det frem hvordan veien går gjennom flere deler av inndelingene til nedbørfeltet.

2.5.2. Vei 2



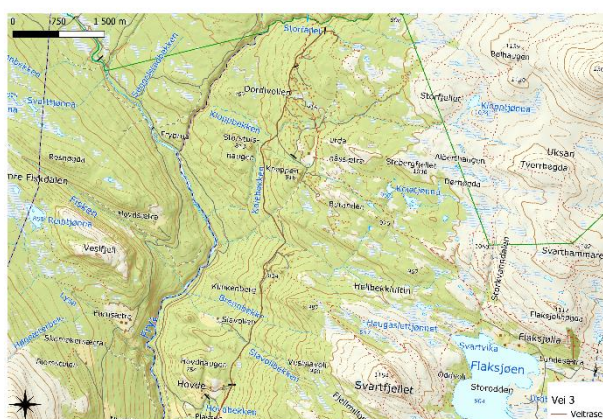
Figur 9: Plasseringen for vei 2, viser hvordan veitraseen følger høydekurvene mer bortover, enn det vei 1 gjorde.



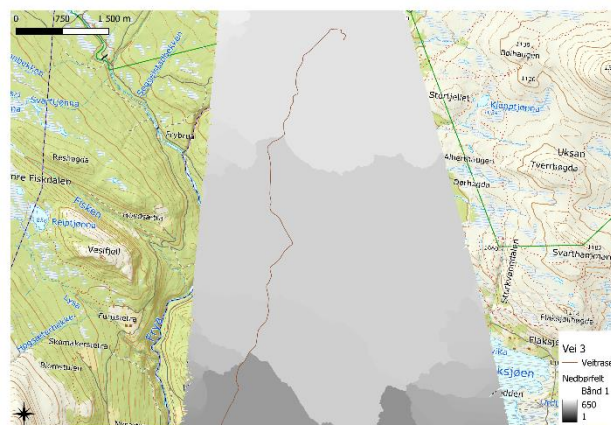
Figur 10: Karte viser hvordan nedbørfeltet til vei 2 brer seg utover.

Vei 2 har plassering på nedsiden av Kvitfjell alpinbakke. Plasseringen for vei 2, kan man se i Figur 9. Figur 10 viser nedbørfeltet for vei 2. Her kan vi se at veien krysser gjennom flere områder av nedbørfelt.

2.5.3. Vei 3



Figur 11: Her ser vi veitraseen til vei 3 og hvordan den beveger seg innover

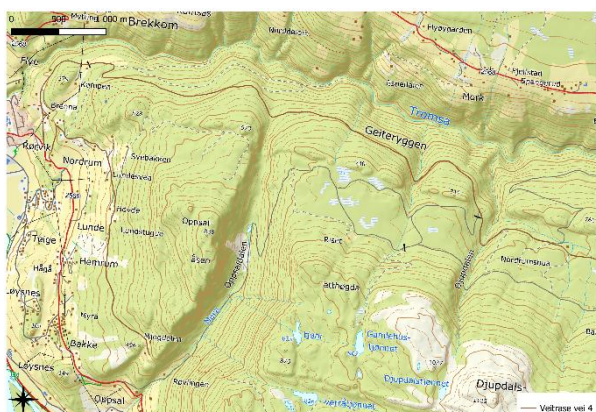


Figur 12: Kartet viser nedbørfeltet til vei 3.

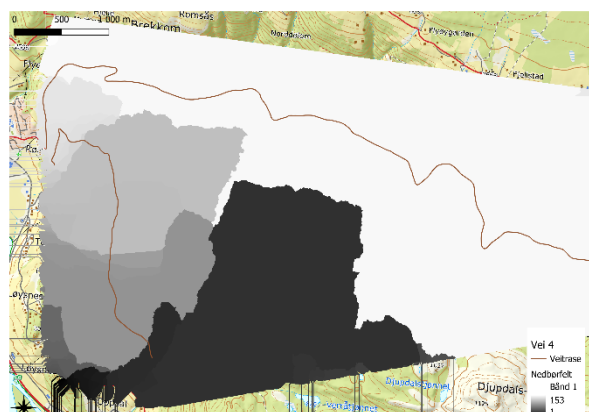
Vei 3 ligger over Venabygd, Figur 11 viser hvordan veien følger elven Frya innover fjellet.

Veien krysser gjennom fem forskjellige områder av nedbørsfeltet som vist i Figur 12.

2.5.4. Vei 4



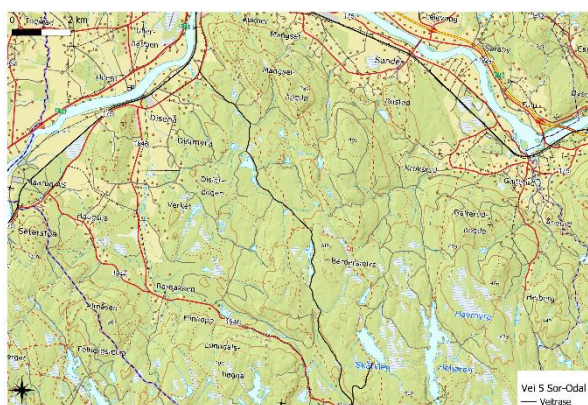
Figur 13: Kartet viser hvordan veitraseen til vei 4 beveger seg innover fjellet.



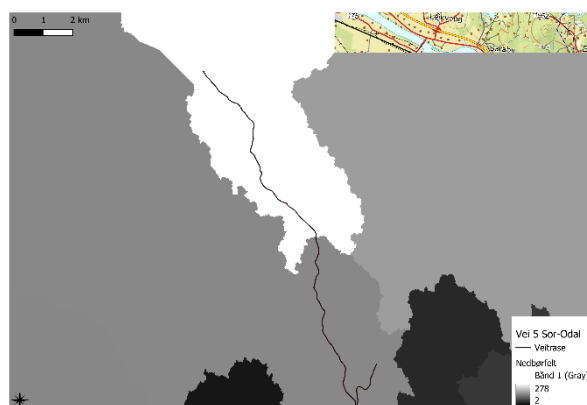
Figur 14: Kartet viser nedbørfeltet til vei 4.

Vei 4 går langs med Geiteryggen, som vist i Figur 13. Veien ligger i Fåvang og strekker seg innover fjellet. De rosa sirklene som ligger bak uthevingen av veien viser det området som ble gått under feltarbeidet. Figur 14 viser hvordan vei 4 strekker seg gjennom nesten alle nedbørsområdene.

2.5.5. Vei 5



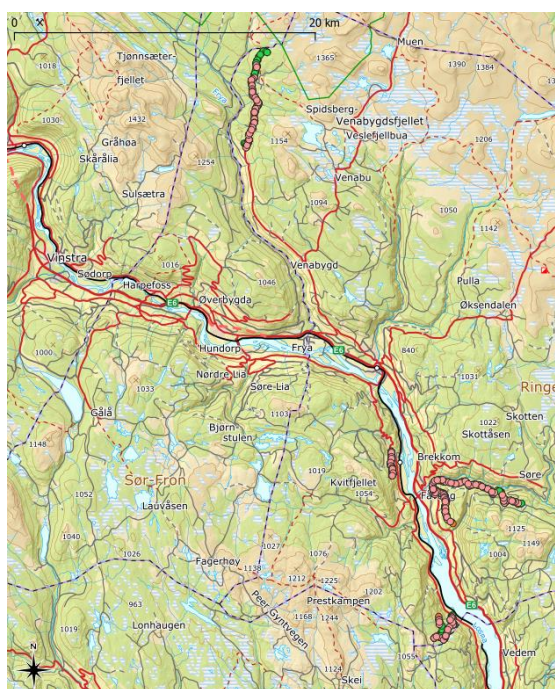
Figur 15: Beliggenheten til vei 5



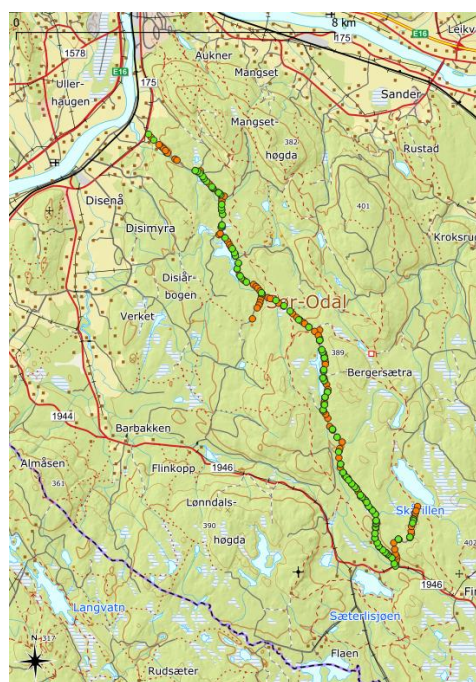
Figur 16: Nedbørfeltet til vei 5

Figur 15 viser beliggenheten for vei 5 i Sør-Odal kommune. Vei 5 ligger inne i skogen til Maarud gård, da det var et bevisst valg å finne en lang skogsbilvei med en grunneier. Figur 16 viser hvordan vei 5 kun strekker seg over to av områdene til nedbørsfelt.

2.6. Utvelgelse av nyttig feltinformasjon

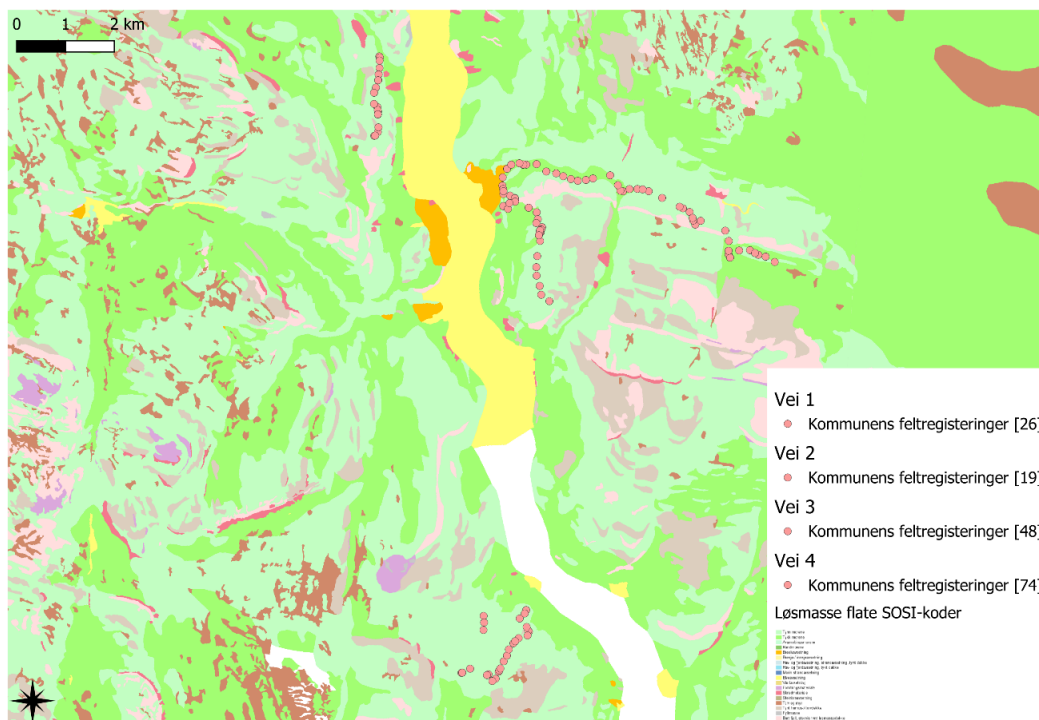


Figur 17: Kart over de 4 utvalgte veiene i Ringebu, med valgte stikkrenner.



Figur 18: Kart over vei 5 i Sør-Odal, med de utvalgte stikkrenne

Etter veivalget ble stikkrennene som var relevante å kontrollere plukket ut i kartet. I Figur 17 ser man de fire veiene som er valgt ut i Ringebu, hvor sirklene representerer stikkrenner. I Figur 18 ser vi de utvalgte stikkrennene for vei 5 i Sør -Odal.



Figur 19: Løsmasse kart over områdene til de fire veiene i Ringebu. Rosa sirkler representerer kommunens feltregistreringer

Løsmassekartet ble sjekket for de respektive veiene, slik at eventuell påvirkning av løsmasser kan utelukkes. Det ble funnet relativt små forskjeller på området, slik man kan se i Figur 19 bestod det hovedsakelig av morene, men det var litt breelvavsetninger under vei 4 i Ringebu.

Løsmasser ble sjekket for å være sikker på at det ikke var store forskjeller under veiene, da det kan ha påvirkning på resultatene. Med grunnlag i det som er vist med Figur 19 og Figur 20 vil ikke forskjeller i løsmassetyper bli sett på som relevant i forbindelse med oppgaven.



Figur 20: Løsmasse kart over området i Sør-Odal. De blå sirklene representerer egne feltregistreringer.

Etter at kartene var ferdigstilt for felt ble de lastet ned med georeferering, før de ble overført til Avenza map-applikasjonen som er en offline mobil kart applikasjon, hvor man kan laste inn egne kart, som ble benyttet på Ipad. Kartlagene for Bratthet og løsmasse ble fjernet pga liten relevans. Gjenværende kartlag består av valgte stikkrenneregistreringer fra Kommunen (for vei 1-4), valgte beregnede stikkrenner fra Fields (for vei 1-5),

markfuktighetskart for veiene i Ringeby og en «Channel network and drainage basins» analyse over alle de valgte områdene. I tillegg ble det brukt et WMS-lag med norgeskart for stedsinformasjon.

2.7. Feltarbeid

Feltarbeidet ble gjennomført på fem veier, der fire lå i Ringeby og en i Sør-Odal (Figur 4). I Ringeby ble veiene plassert i forskjellige dalsider for å fange opp om resultatene vil indikere en økning eller senkning av feilmarginen med tanke på avstand ved bruk av Ipad-GPS'en.

Vei 5 i Sør-Odal ble valgt for å få frem eventuelle forskjeller mellom et flatt terreng kontra det kupert terrenget i Ringeby. På den måten vil det være mulig å undersøke om feilmarginen er høyere eller lavere på et flatt terreng, med tanke på hvor godt Fields sine beregninger treffer egne feltregistreringer.

I forbindelse med utviklingen av kartene og etterbehandlingen av dataene, har det vært et mål å benytte åpne tjenester i størst mulig grad. Bakgrunnen for det er at det skal være lett å gjenskape, slik at alle som ønsker kan benytte seg av denne fremgangsmåten.

2.7.1. Feltutstyr

Utstyret som ble brukt under feltarbeidet var en Ipad uten SIM-kort, som Avenza Map ble brukt på, for å kunne koordinatfeste stikkrennene som ble funnet, ved å sette et punkt i det georefererte feltkartet, deretter ble også indrediameter målt. Et jordspyd ble også benyttet for å enklere kunne detektere stikkrennene.

2.7.2. Befaring Ringeby:

I Ringeby ble 4 veier undersøkt i august 2022. For mesteparten av strekningene som ble gått, var det data for plasseringene til stikkrenner fra både kommunen og Fields. Stikkrenner som ble observert ble koordinatfestet i kartet for senere å sammenligne med kommunens feltregistreringer, slik at man fikk en gjennomsnittlig feilmargin på de registrerte koordinatene med dette utstyret. Det registrerte nøyaktighetsnivået på Ipad-GPS'en kan da benyttes på målingene i Sør-Odal, hvor det ikke er kommunale feltregistreringer.

NIBIO sitt markfuktighetskart ble benyttet sammen med «Channel network and drainage basins» analyse fra QGIS. Slik generes en bedre antagelse om hvor stikkrennene lå.

2.7.3. Befaring Sør-Odal:

I Sør-Odal ble det kontrollert en vei i oktober 2022. Her var det kun data fra Fields angående beregnede stikkrenner. Ved å benytte dataene fra Ringeby og feilmarginen på egne Ipad

feltregistreringer kan man sammenligne Fields beregnede plasseringer og de faktiske plasseringene til stikkrennene registrert i felt.

2.8. Analyser

Etter feltarbeidet var ferdig ble all informasjonen om koordinater og indrediameter lagt til i QGIS som et vektorlag og i Excel for videre beregninger.

Forskjellen i feilmarginen mellom egne Ipad GPSfeltregistreringer og kommunen sine GPS-feltregistreringer ble funnet ved hjelp av en avstandsmatrise, for å få tallfestet hvor nøyaktig Ipadfeltregistreringene var. Feilmargin i avstand var gjennomført for senere å korrigere for den gjennomsnittlige antatte feilmarginen i avstand, ved eventuelle feil knyttet til satellitt dekning.

I tillegg har det blitt benyttet prosedyrene (Rasterisering, Fyll ikke data og Slå sammen) i GDAL for å brenne inn stikkrenner under veien. Lindberg et al mener at innbrenningen av stikkrenner vil gi det mest nøyaktige resultatet (Lidberg et al., 2017). Disse metodene blir sammenlignet under kapittel *Resultater*.

Utklippingen av veitraseen ble gjort for å se på endringen av vannstrømmene. Det ga en mulighet til å se hvor man antok at vannet gikk før det ble bygget en veitrase, som kan indikere hvor man eventuelt skal legge flere stikkrenner.

2.8.1. «Fill sink» - differanser

«Fill sink»-volumer ble benyttet for å sjekke om det var nedsenkninger ved innløpet av stikkrennene. Det ble gjennomført for å se hvor stor differanse det var i nærheten av stikkrennene.

2.8.2. Lengden på veiene

Tabell 1: Tabellen viser lengden på veiene som har blitt gått i meter

	Vei 1	Vei 2	Vei 3	Vei 4	Vei 5	Sum
Egne feltregistreringer	5 273 m	1 925 m	7 944 m	12 056 m	15 802 m	43 000 m
Kommunale feltregistreringer	5 273 m	1 925 m	6 262 m	11 837 m	X	25 297 m
Fields's bregninger	5 273 m	1 925 m	7 944 m	12 056 m	15 802 m	43 000 m

Tabell 1 viser hvor mange meter som har blitt kontrollert totalt. Her er det viktig å legge merke til forskjellen mellom egne feltregistreringer og de kommunale feltregistreringene. Egne feltregistreringer er lenger på vei 3 og 4. Grunnen til dette er at de kommunale feltregistreringene ikke har beveget seg forbi hindringer som bommer, selv om det er funn av stikkrenner der under de egne feltregistreringene.

2.9. Avrenningsanalyser

Avrenningsanalysene ble gjennomført med tre forskjellige metoder, i tillegg ble det gjort en analyse på graderingene til Fields sine stikkrenner med fluksverdier.

2.9.1. Avrenning basert på DTM fra Høydedata.no

Metode 1 besto av en ferdiglaget DTM fra høydedata, etterfulgt av en preprosessering med «Fill sink» før «Channel network and drainage basins» ble brukt, hvor terskelverdien for vann i dagen ble satt til 5 for alle akkumuleringene. Dette ble gjort for alle fem veiene.

2.9.2. Innbrenning av stikkrenner

For metode 2 ble den samme DTM'en som ble benyttet for metode 1 brukt til innbrenning av de kommunalt registrerte stikkrennene i Ringeby. Her ble stikkrennene lastet ned fra Vegkart.no som en SOSI-fil, slik at stikkrennene har koordinater for både inn- og utløp. SOSI-filen ble konvertert på SOSICON til en shapefil, deretter ble stikkrennene rasterisert, før stikkrennene ble brent inn i den opprinnerlige DTM.

2.9.3. Punktskydata uten veier

I Metode 3 ble punktskyer over områdene for de 5 veiene lastet ned fra høydedata.no som laz-filer. Bakgrunnen for det var å bygge en terrengmodell for veiene fra bunn, sånn at terrengmodellen hadde mest mulig informasjon før interpolering. Fra laz-filene ble det hentet ut bakketreff (klasse 2) før alle filene ble lagt sammen og konvertert til en las-fil ved bruk av prosessen lasmerge i LAStools. Det ble gjort for å kunne sammenligne forskjellen mellom avrenning fra de forskjellige terrengmodellene. Spesielt med tanke på utklipping av veitraseene over hele område, med bakgrunn i at det ikke ligger noen stikkrenner høyere opp, som vil endre vannveiene.

Veifilene ble lastet ned fra Geonorge sitt kartlag el-veg slik at senterlinje vei, ble med for alle veitraseene. De ble konvertert fra SOSI-format til Shape-format. Så ble veien buffret med 10 meter fra senterlinje. Dette bufferpolygonet ble brukt for å slette (klippe ut) alle veirelaterte laserpunkter fra punktskyen. Så ble bufferpolygonet klippet ut av las-filen ved hjelp av Whitebox prosessen «Earese polygons from Lidar». Deretter ble las-filen lastet opp i ArcGIS Pro hvor punktskyen ble interpolert ved hjelp av nærmeste nabo interpolasjon, til en DTM med størrelsen 1x1 meter. «Fill sink» ble benyttet før en avrenningsanalyse ble kjørt med «Channel network and drainage basin».

Denne prosessen ble kun gjort på vei 1 og 2, da det var de eneste områdene som har mest sammenlignbar punkttetthet. Det kommer av at flere områder har for mange laser prosjekter

over seg i Høydedata, spesielt etter flommene i Gudbrandsdalen i 2013. Det gjør det vanskelig laste ned alt for noen områder, samtidig som det blir for stor forskjell mellom punkttettheten.

3. Resultater

3.1. Feilmargin

Ipad-feilmarginen i avstand og treffprosent forteller oss hvor pålitelig feltarbeidet var, ut ifra Tabell 2 ser man at feltregistreringer har en treffprosent på 54-95 %. Det er regnet ut slik at antall stikkrenner fra enten kommunen eller Fields er delt på totalt antall stikkrenner over minste målte veilengde fra enten egne feltregistreringer eller Fields beregninger.

Tabell 2: Tabell over treffprosent mellom registreringen og beregningene

Vei	Hvem er sammenlignet	Treffprosent %
Vei 1 (Ringebu)		
	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringe	54 %
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	48 %
	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	45 %
Vei 2 (Ringebu)		
	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringe	86 %
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	52 %
	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	61 %
Vei 3 (Ringebu)		
	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringe	85 %
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	71 %
	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	53 %
Vei 4 (Ringebu)		
	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringe	71 %
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	79 %
	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	54 %
Vei 5 (Sør-Odal)		
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	53 %

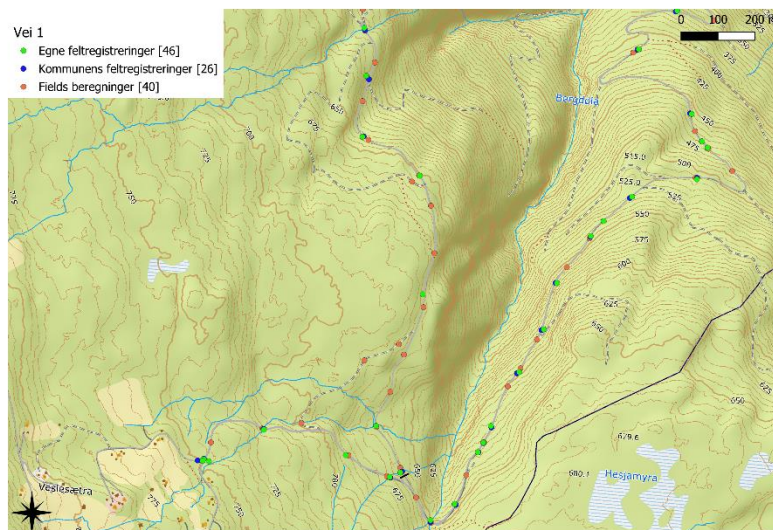
Årsaken til treffprosent på 54% mellom kommunens feltregistreringer og egne feltregistreringer, kan være at kommunen ikke har funnet all stikkrenne på delen av de forskjellige veiene. Et eksempel på det er vist i Figur 21.

Viktigheten av feilmarginen blir spesielt tydelig på vei 5 i Sør-Odal, der det ikke er kommunale registreringer på området. Ved bruk av avstandsmatrisen i QGIS, ser resultatene

Tabell 3: Tabell over avvik i meter mellom de forskjellige registreringene

Vei	Hvem er sammenlignet	Gjennomsnittelig avstand (meter)
Vei 1 (Ringebu)		
	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringe	4,02
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	19,35/14,16
	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	28,86
Vei 2 (Ringebu)		
	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringe	6,60
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	14,97/9,18
	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	16,01
Vei 3 (Ringebu)		
	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringe	6,69
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	14,91/8,97
	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	16,54
Vei 4 (Ringebu)		
	Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringe	6,56
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	24,93/18,68
	Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger	29,90
Vei 5 (Sør-Odal)		
	Fields beregninger mot egne feltregistreringer	19,83/13,99

ut som Tabell 3., 4,02 – 6,69 meter opp mot kommunens feltregistreringer. Egne feltregistreringer gis dermed en feilmargin i posisjon på +/- 6,7 meter. Det korrigerte gjennomsnittet for Fields beregninger vises på høyre side av skråstreken etter et fradrag på 6,7 meter. De negative verdiene ble satt til 0 før nytt gjennomsnitt ble regnet ut.



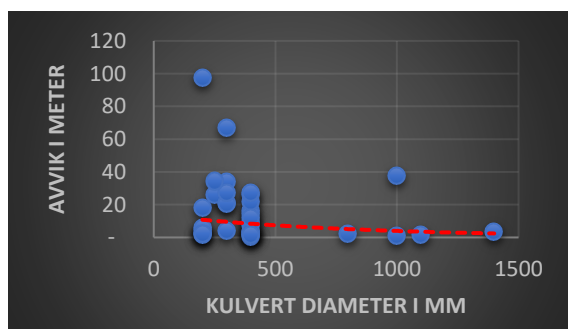
Figur 21: Utklipp fra vei 1, med manglende funn av stikkrenner fra kommunen.

3.2. Rørdiameter opp mot avvik i meter

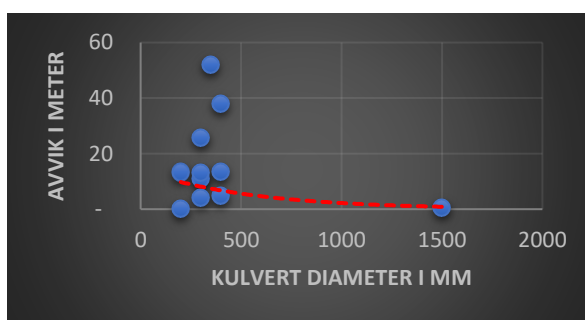
Her sammenlignes feilmarginsavstanden mot stikkrennestørrelse indre diameter.

3.2.1. Kommunens feltregistreringer mot Fields beregninger

Figur 22 til Figur 25 viser sammenhengen mellom feilmarginen knyttet til geografisk plassering av innløpet i meter og indre stikkrennediameter for kommunens feltregistreringer og Fields beregninger. Trendlinjen viser hvordan høyere indre diameter i stikkrennen fører til en lavere feilmargin i meter.

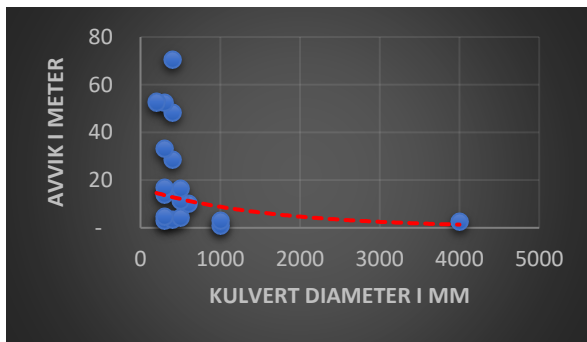


Figur 22: Sammenhengen mellom kommunens feltregistreringer og Fields beregninger for vei 1

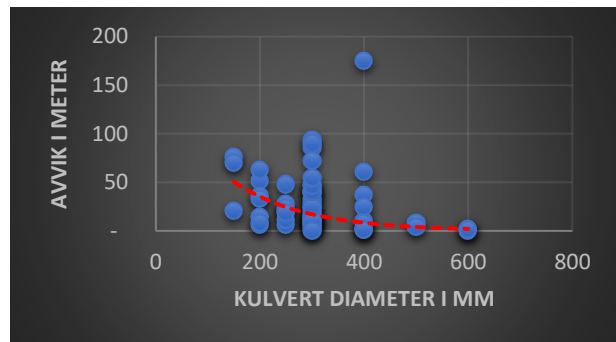


Figur 23: Sammenhengen mellom kommunens feltregistreringer og Fields beregninger for vei 2

På Figur 25 er det en «ekstremverdi», en årsak til «ekstremverdien» kan være terrenget, da det enkelte ganger er lenger strekninger uten kommunalt registrerte stikkrenner.

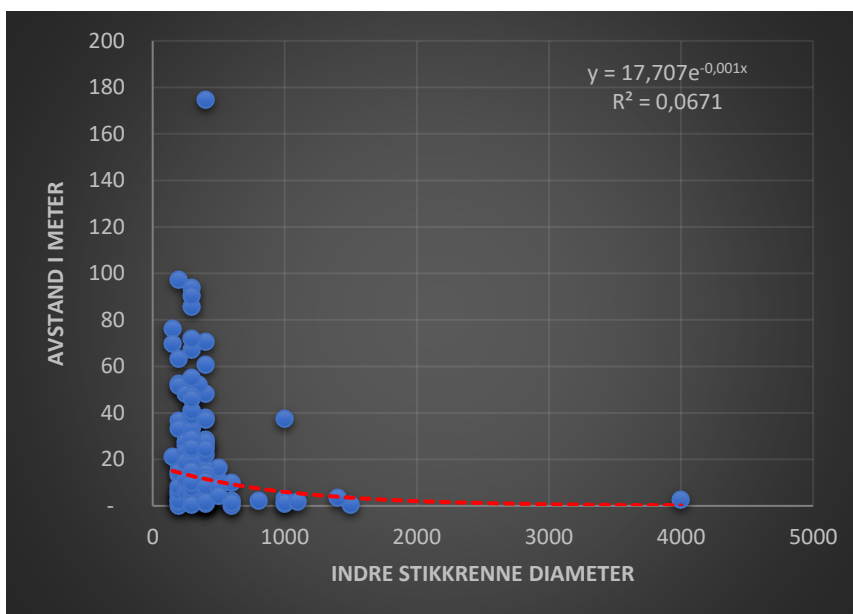


Figur 24: sammenhengen mellom kommunens feltregistreringer og Fields beregninger for vei 3



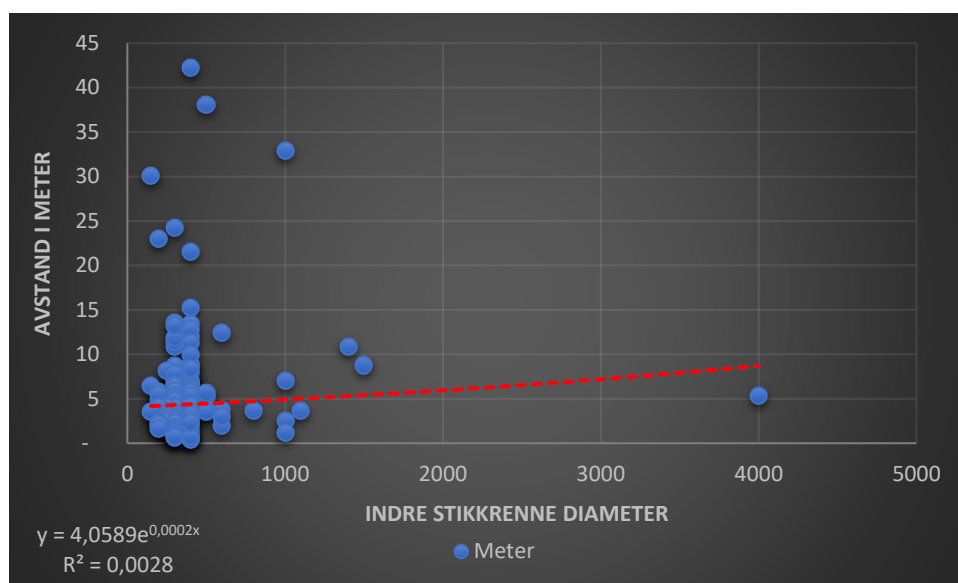
Figur 25: Sammenhengen mellom kommunens feltregistreringer og Fields beregninger for vei 4

Figur 26 viser sammenhengen mellom alle kommunens feltregistreringer og Fields beregninger for vei 1-4. Her vises den eksponentielle sammenhengen og den kvadrerte verdien av R. Det er tydelig at stikkrenner må ha en indrediameter på mer enn 500-600 mm for å oppnå et «sikkert» treff.



Figur 26: Felles graf for sammenhengen mellom indre rørdiameter og feilmargin i meter mellom kommunens feltregistreringer og Fields beregninger, med trendlinje og formler

3.2.2. Kommunens feltregistreringer mot egne feltregistreringer

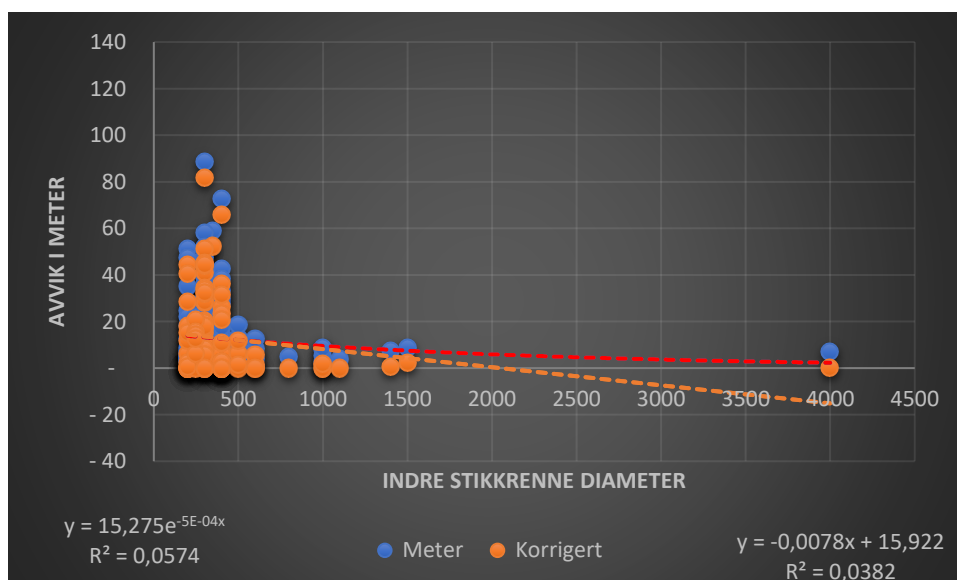


Figur 27: Sammenhengen mellom indre stikkrenne diameter og feilmargin i meter mellom kommunens feltregistreringer og egne feltregistreringer

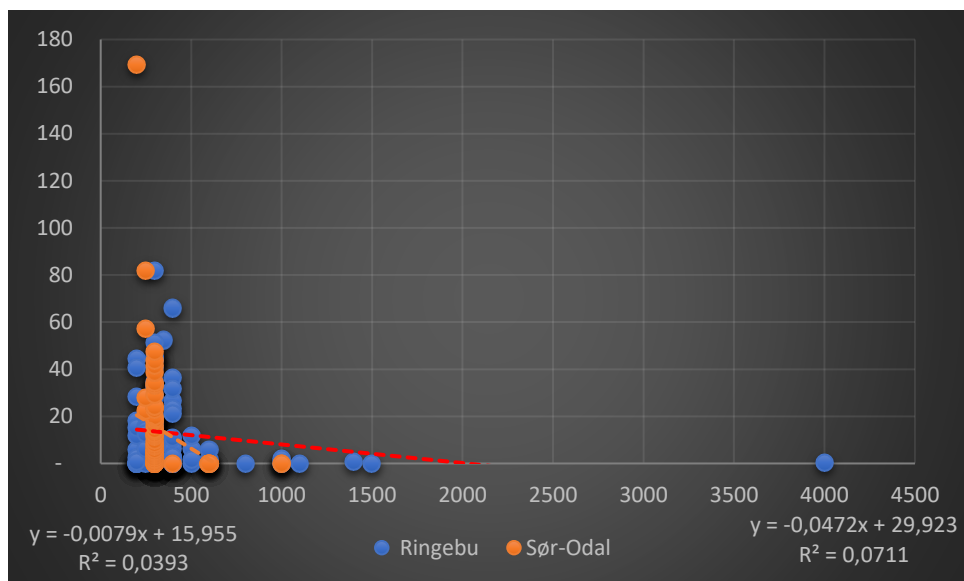
Figur 27 viser tendensene for egne feltregistreringer opp mot kommunens feltregistreringer for veiene 1-4. Stikkrennestørrelsen har her egentlig ingen betydning. Det er Ipad-GPS'ens nøyaktighet i forhold til terreng- og satellittforhold som påvirker nøyaktigheten av egne feltregistreringer.

3.2.3. Fields beregninger mot egne feltregistreringer

Figur 28 viser redusert feilmargin med en korrigering på 6,7 meter.



Figur 28: Sammenhengen mellom indre stikkrennediameter og avvik i meter mellom Fields beregninger og egne feltregistreringer. Her er stikkrennene registrert for vei 1-5.



Figur 29: Viser fordelingen mellom Ringebu og Sør-Odal

Figur 29 viser hvordan registreringene i Sør-Odal i det flate terrenget opp mot det bratte terrenget i Ringebu, her ser vi at det ikke er en veldig stor forskjell mellom målingen.

3.3. Treffprosent

På de korteste veiene (vei 1 og 2) viser Tabell 4 at egne feltregistreringer har et høyere antall stikkrenner som er funnet, enn både kommunens feltregistreringer og Fields beregninger. På vei 3 til 4 ble det funnet flere stikkrenner under feltarbeidet, enn de kommunale registreringene. For vei 3 og 4 er tabellen delt, slik at kommunens feltregistreringer er korrigert for, samtidig som man får med egne feltregistreringer og Fields beregninger som ble gjennomført for hele veien. For veien i Sør-Odal, er det Fields beregninger som har flest stikkrenner, her må det tas høyde for at de kun er beregnet.

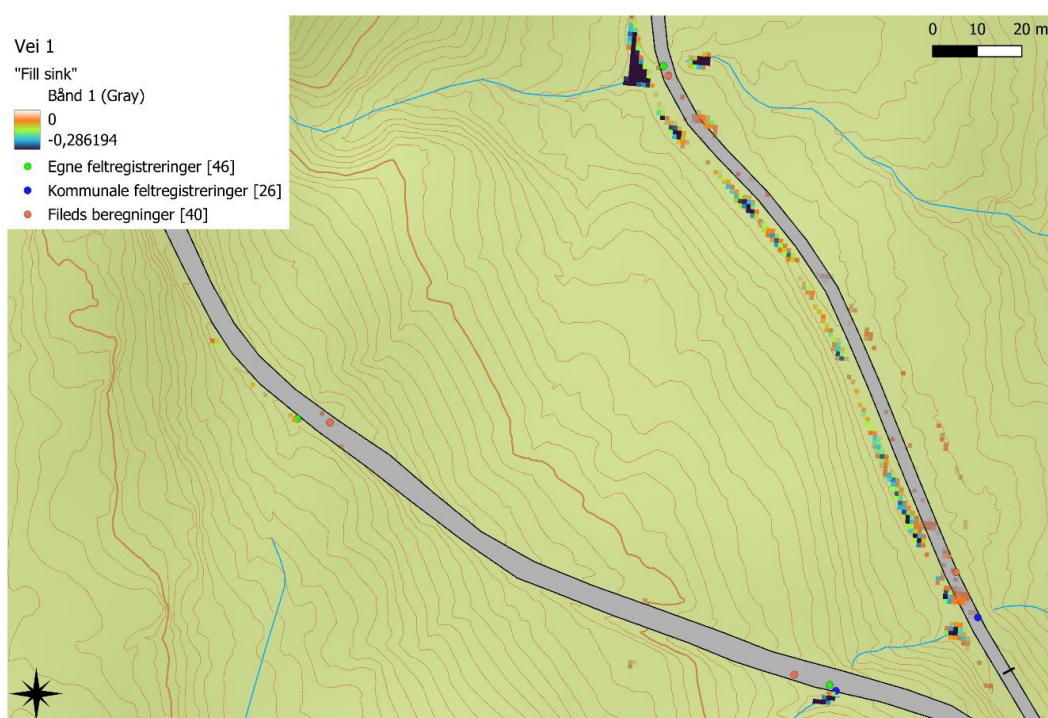
Det ble oppdaget flere stikkrenner enn kommunen hadde registrert for vei 1-4, men vesentlig færre enn det Fields hadde beregnet. Grunnen til det er at kommunen ikke hadde kartlagt hele strekningen for vei 3 og 4. (Kommunen har ikke krysset veihindringer).

Tabell 4: Informasjon over antall stikkrenner på hver vei

	Egne feltregistreringer	Kommunens feltregistreringer	Fields beregninger
Vei 1	46	26	40
Vei 2	21	19	18
Vei 3: Området kommunen har kontrollert	52	48	64
Vei 3: Hele veien	66	x	79
Vei 4: Området kommunen har kontrollert	83	74	109
Vei 4: Hele veien	85	x	113
Vei 5	137	x	146

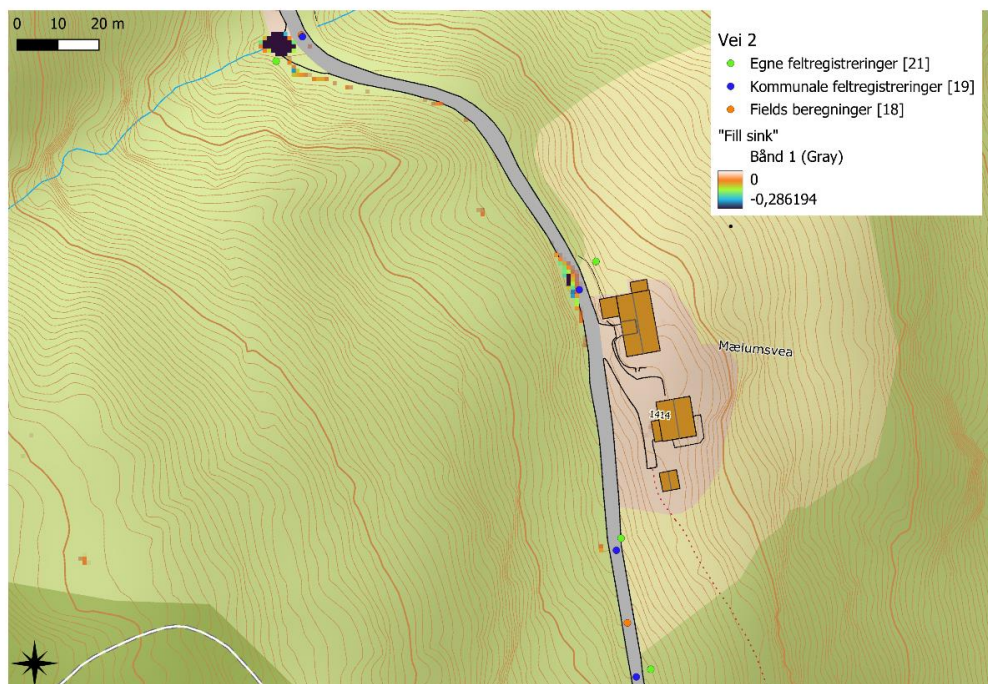
3.4. «Fill sink»-volumer

Under «Fill sink» analysen må det zoomes veldig inn på kartet for å se områdene som er fylt eller glattet over modellen.



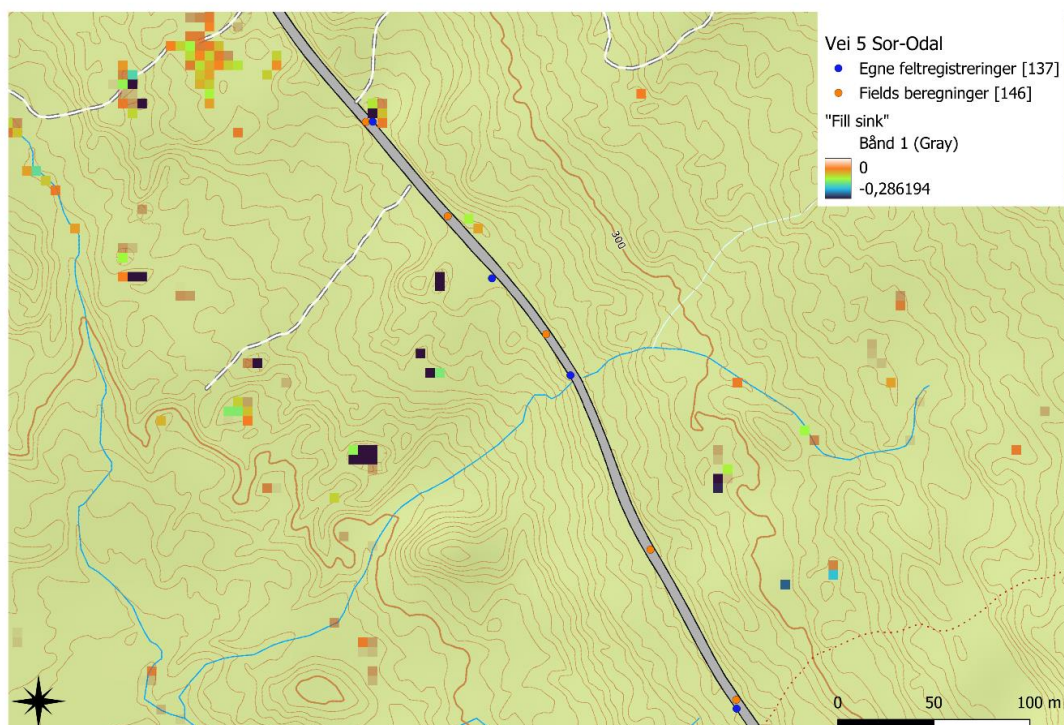
Figur 30: Utklipp fra vei 1 viser nedsenkningene i terrenget som har blitt fylt

Figur 30 viser tydelig hvordan «Fill sink» prosessen har fylt igjen langs grøften og enda tydeligere hvor det er vann i dagen. I tillegg kommer det frem at Fields beregninger er korrekte bare med små korrigeringer for plasseringen.



Figur 31: «Fill sink» analysen for et utklipp av vei 2

Utklippet fra vei 2 (Figur 31) har ikke blitt fylt opp langs veien på samme måte som for vei 1, men det er tydelige markeringer for de områdene hvor det ligger stikkrenner.

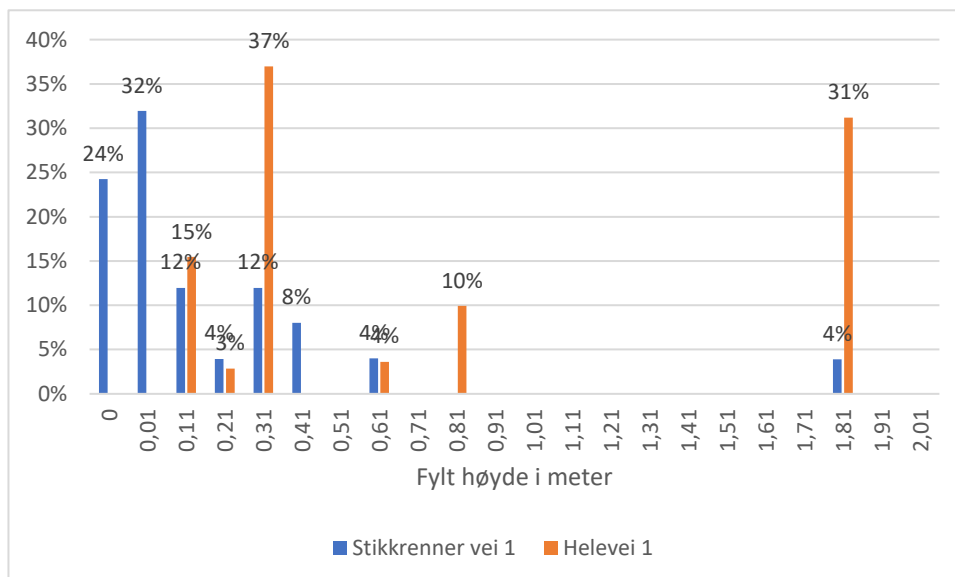


Figur 32: Utklipp fra vei 5 i Sør-Odal, med prosessen «Fill sink»

For vei 5 (Figur 32) ser man at det er mer «støy» på bildet, da «Fill sink» har fylt opp modellen flere steder utenfor veien, for at vannet skal kunne renne over denne flaten. Fields beregninger ligger her flere steder hvor det ikke ble funnet stikkrenner under egne feltregistreringer.

Etter at «Fill sink» var gjennomført ble det gjort en stikkprøve på vei 1 for å undersøke prosentfordelingen av de fylte nedsenknings klassifiseringene langs med veitraseen med en 10 meter buffer fra senterlinjen. Deretter ble verdiene registrert for de nedsenkningene som var innenfor en 5 meters radius fra hver av stikkrennene som var registrert av kommunen.

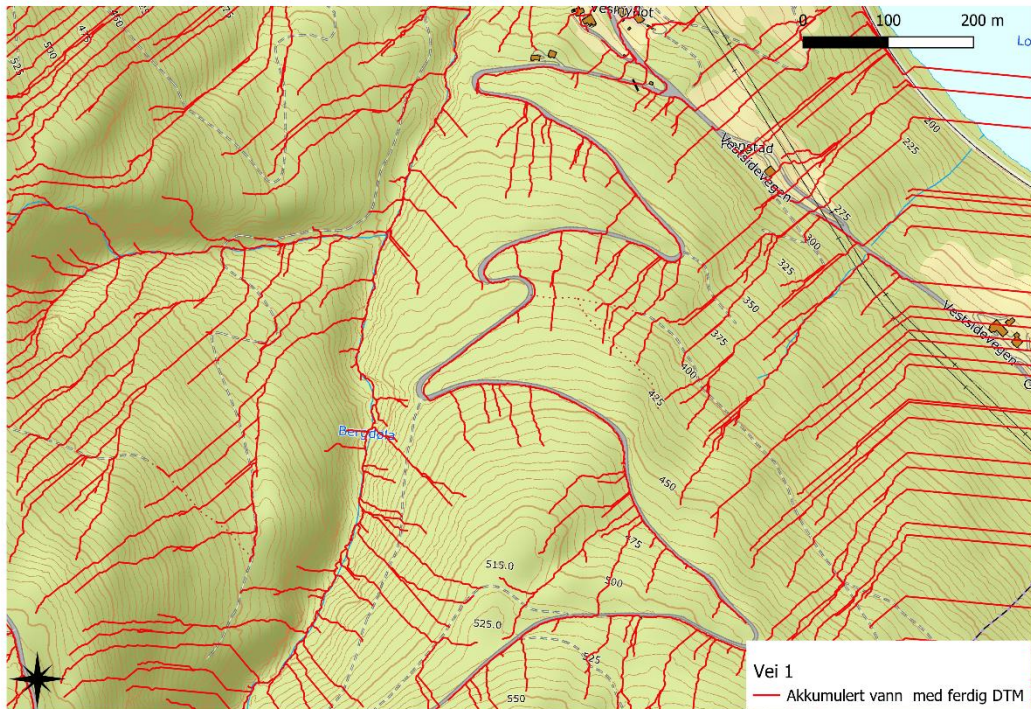
Det ble registrert 1 929 korrigerte celler med verdier som traff innenfor stikkrennens radius på 5 meter og 564 124 celle verdier var innenfor en buffer på 10 meter fra midtlinjen til vei 1.



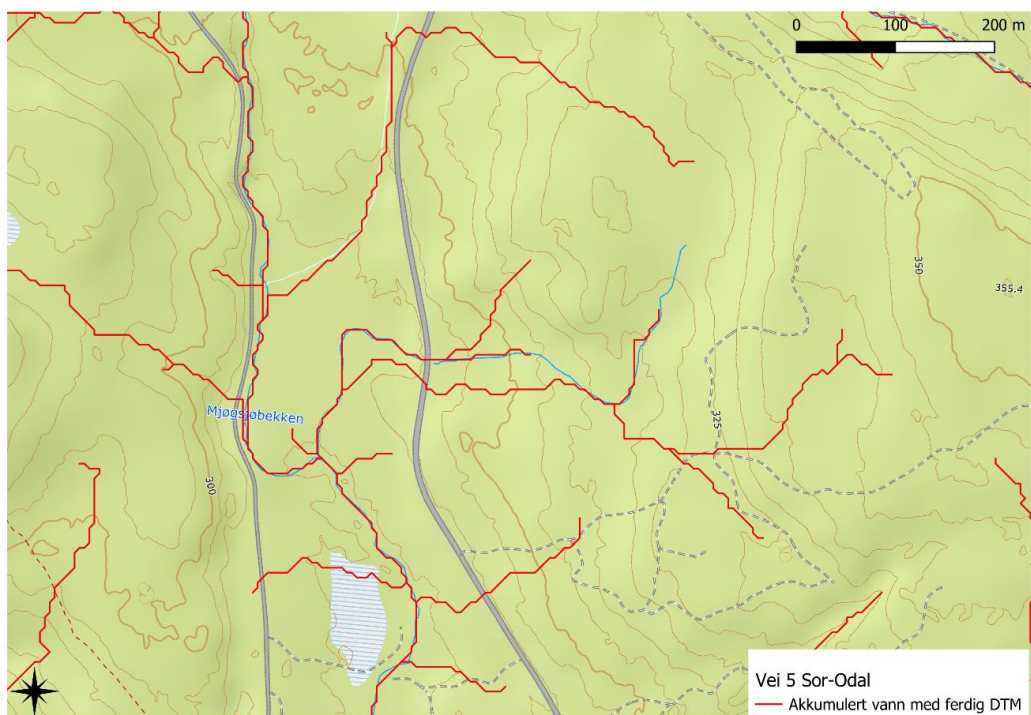
Figur 33: Prosentfordeling av fylt høyde etter «Fill sink» for vei 1.

3.5. Akkumulert avrenning ved bruk av tre forskjellige DTMer

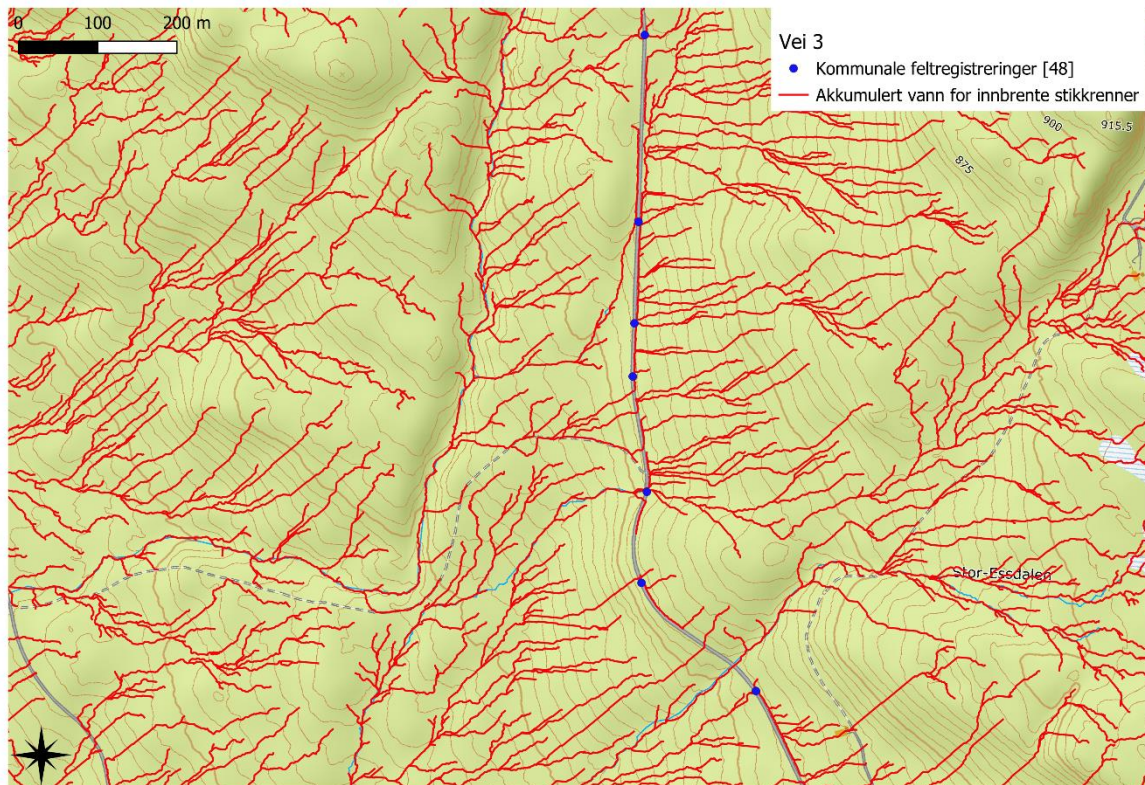
3.5.1. Avrenningsberegninger ved bruk av DTM



Figur 34: Akkumulert avrenning på fylt DTM for vei 1



Figur 35: Kart utklipp fra vei 5 med akkumulert avrenning fra fylt DTM

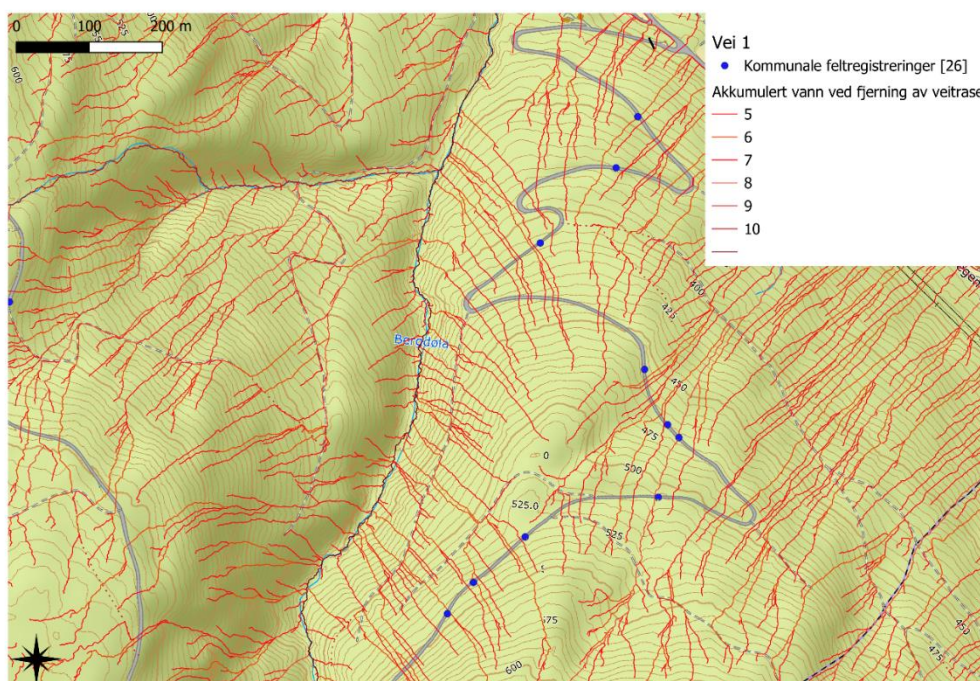


Figur 37: Kartutklipp fra vei 3, med innbrente stikkrenner

settende manglet noe informasjon, som for eksempel lengde gjorde det at ikke alle stikkrennene ble brent inn. I tillegg er vannet ledet bort fra veien via grøftene.

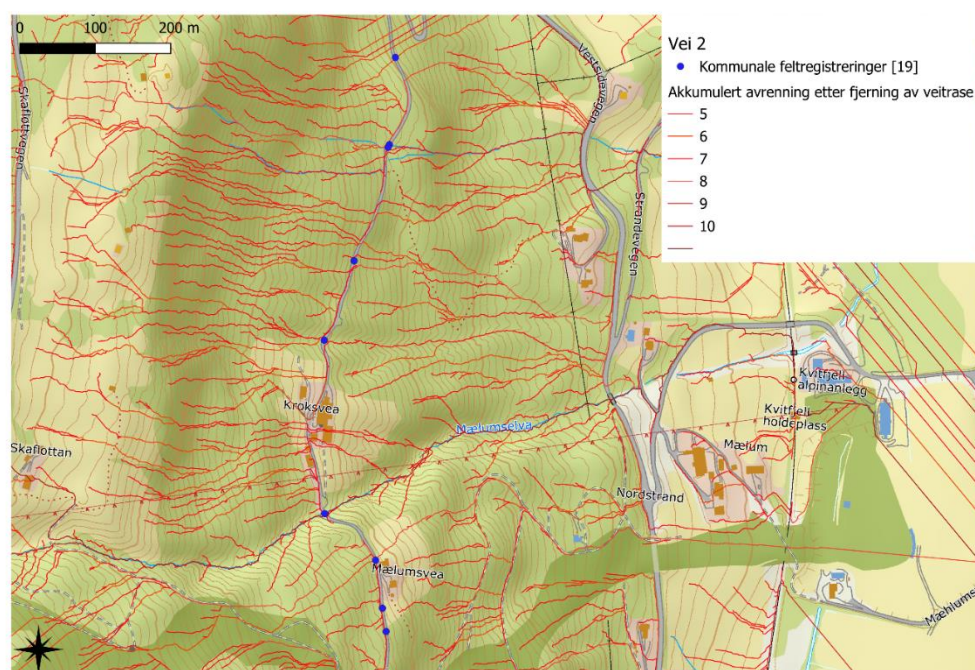
Terrengmodellen har blitt riktigere, men ikke komplett. For at terrengmodellen skulle blitt enda bedre hadde det vært viktig å få brent inn alle stikkrennene som lå høyere opp i lia i tillegg. Vannføringen nedover vil bli unøyaktig, så lenge ikke alle stikkrennene er brent inn.

3.5.3. Avrenning ved bruk av interpolert DTM for vei 1 og 2



Figur 38: Utklipp fra vei 1, med bortklipt veitrase og nye interpolerteterrengoverflate verdier

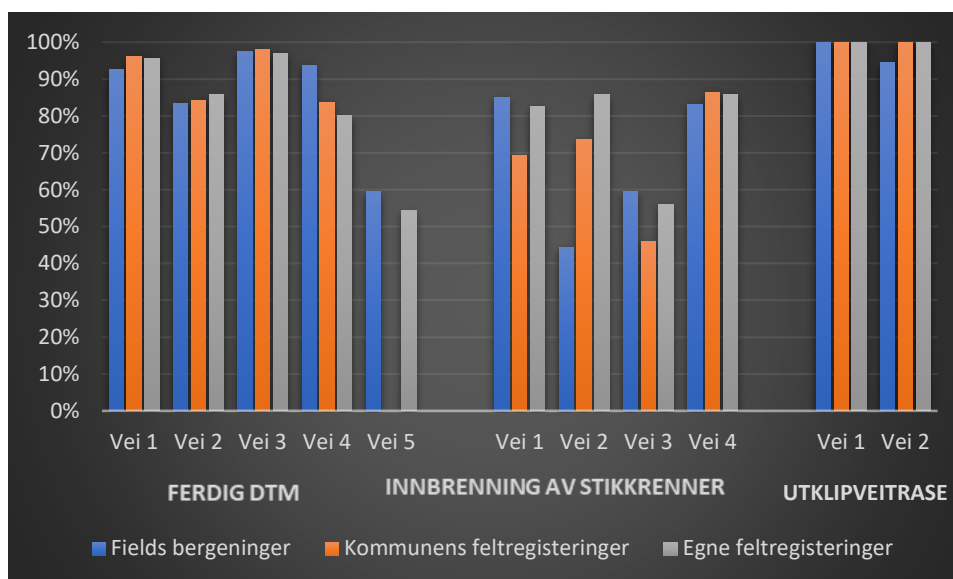
I denne analysen er DTM'en som er brukt bygget opp av punktskyer. Det var kun mulig å oppdrive tilfredsstillende laserprosjektkedninger for vei 1 og 2, derfor er det kun disse veiene som blir vist i resultatene.



Figur 39: Kart utklipp fra vei 2, med bortklipt veitrase og nye interpolerteterrengoverflate verdier

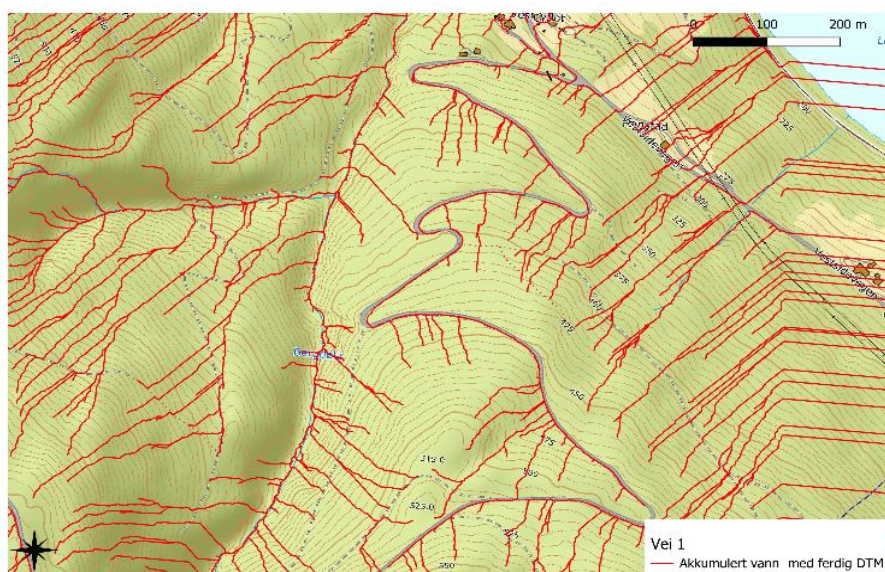
3.5.4. Sammenligning av tre terrengmodeller og deres akkumulerte avrenning

Det har blitt gjort en utregning på hvor stor prosentdel av stikkrennene på hver vei som treffer det akkumulerte bekkenettet.

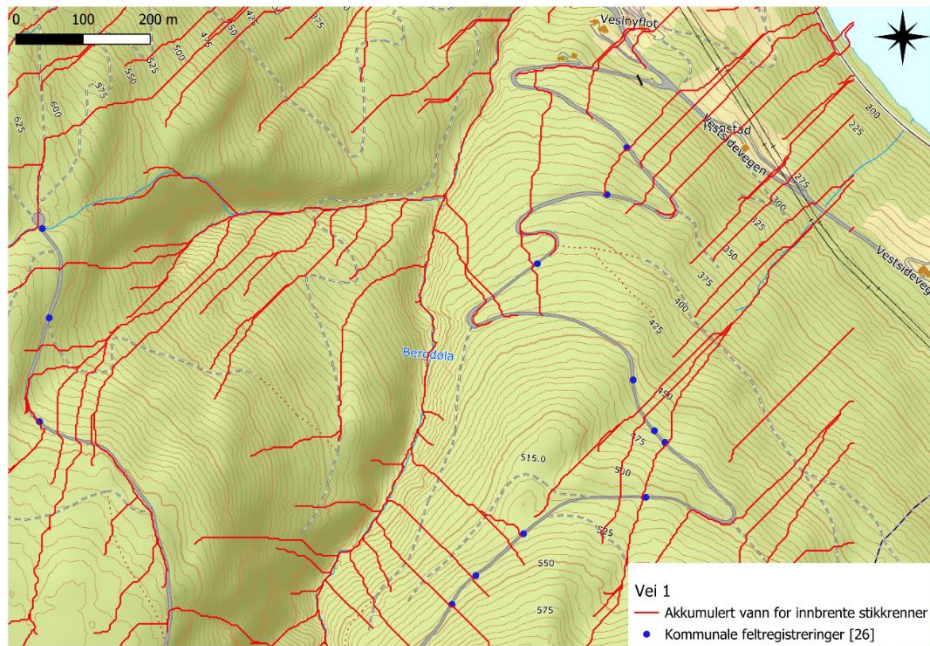


Figur 40: Prosentisk andel av stikkrenner som «treffer» akkumulert bekkenett fordelt på hver vei. Ujustert DTM til venstre, DTM med innbrente stikkrenner i midten og DTM uten veier til høyre.

Stolpediagrammet Figur 40 er delt inn i 3 bolker. Der bolken til venstre er for akkumulert avrenning med ferdig DTM. Den midterste representerer treff ved innbrenning av stikkrenner og den siste bolken representerer ved utklipt veitrase og interpolert verdi. Her har det vært en manuell kontroll, hvor hver stikkrenne har fått en buffer på 3 meter. Hvis vannet rant innenfor bufferen ble det regnet som treff.

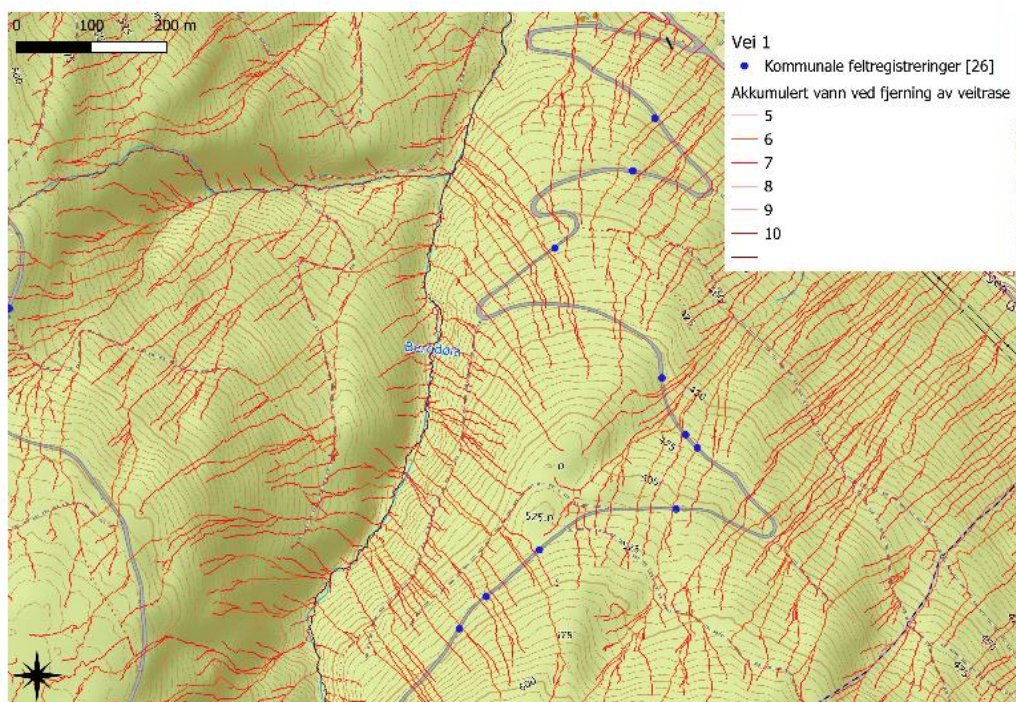


Figur 41: Kart over vei 1, ved bruk av fylt DTM



Figur 42: Kart over vei 1 med innbrente stikkrenner

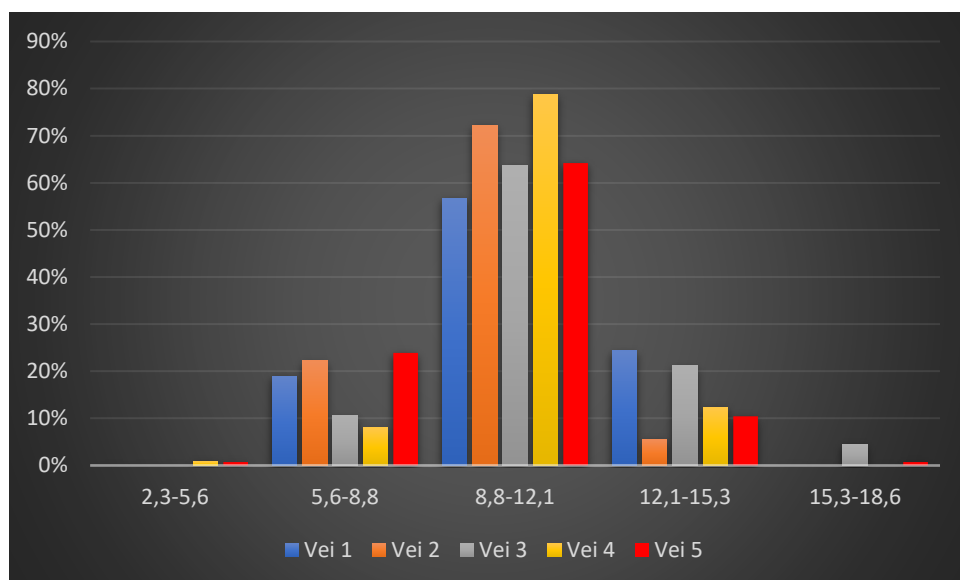
I Figur 41 til Figur 43 viser de tre forskjellige avrenningsanalysene som har blitt gjennomført over samme område.



Figur 43: Kart over vei 1, med utklipt veitrase

3.5.5. Fields sine fluksberegninger

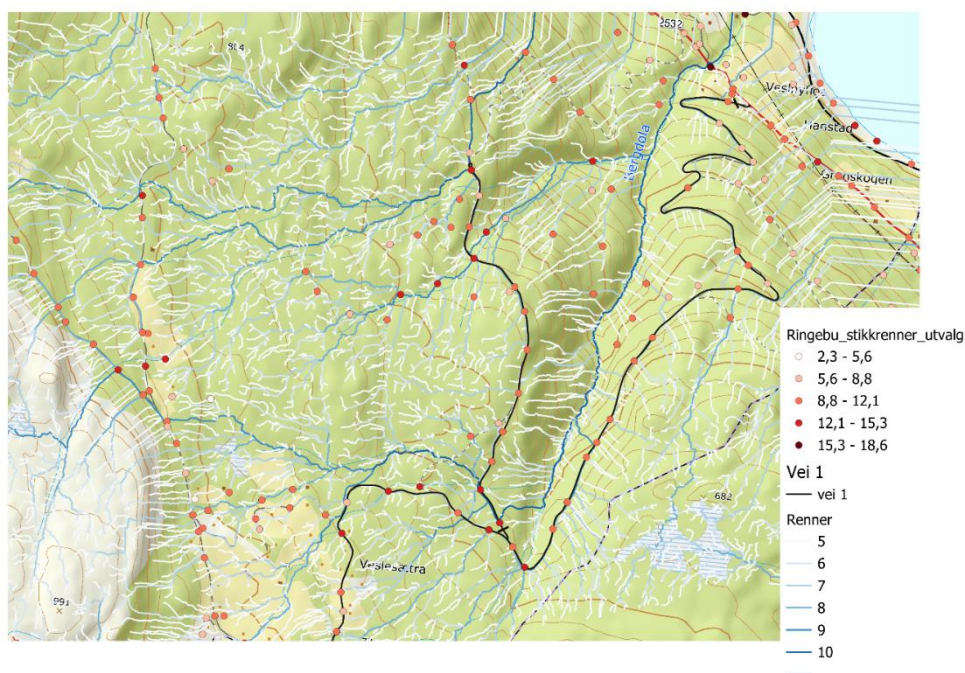
De beregnede stikkrennene Fields har er kategorisert med hver sin fluksverdi. I oppgaven er fluksverdiene delt inn i fem klasser.



Figur 44: Prosentfordeling av fluks for de forskjellige veiene

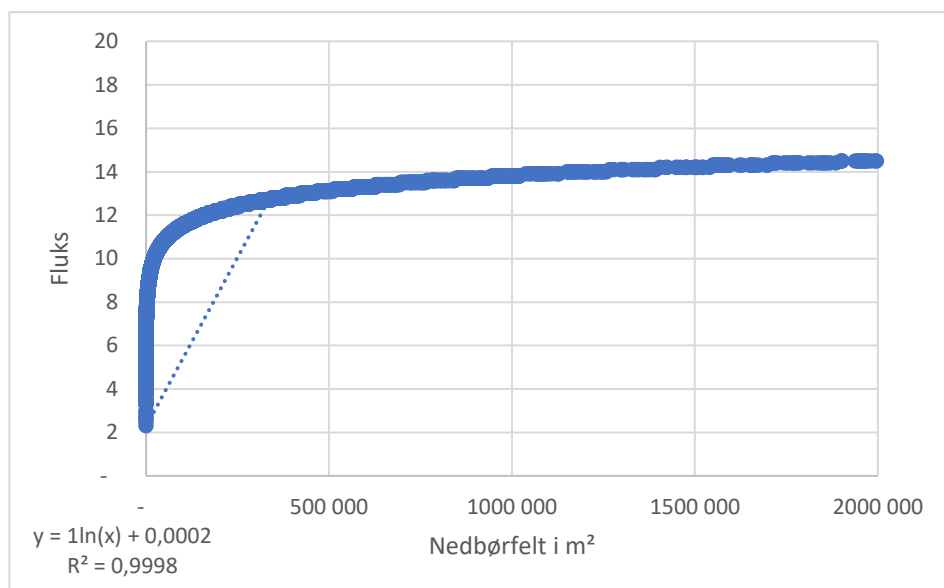
Grafen (Figur 44) viser hvordan de forskjellige intervallene av fluks fordeler seg prosentvis for veiene.

I kartet (Figur 45) kommer det frem hvordan stikkrennene utover hele karte er inne i en av de fem kategoriene av fluks. Sterkere rødfarge indikerer høyere vanntransport, som fører til økt sannsynlighet for at det er en stikkrenne på de angitte plassene.

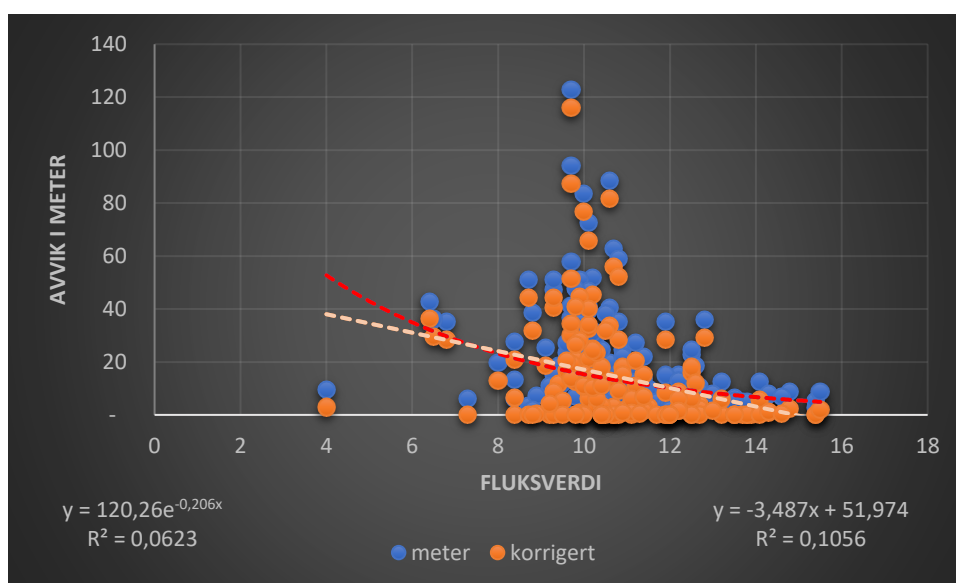


Figur 45: Kart over vei 1, med informasjon om de fem klassifiseringene som blir benyttet for fluks verdien.

Grafen (Figur 46) viser en logaritmisk sammenheng mellom nedbørfeltet og fluksverdien.



Figur 46: Den logaritmiske sammenhengen mellom fluks og nedbørfelt i m².



Figur 47: Sammenhengen mellom fluks og avvik i meter

Grafen (Figur 47) viser sammenhengen mellom feilmarginen i meter og fluksverdi på hver stikkrenne beregnet fra Fields, kommunale feltregistreringer og egne feltregistreringer for vei 1-5. Det er tydelig at ved høy fluksverdi, er feilmarginen i meter lavere. Samtidig er det en liten kvadrert R verdi og grafen ser nesten normalfordelt ut.

4. Diskusjon

4.1. Mulige årsaker til feil

Forarbeidet som ligger til grunn for kartene som ble benyttet i felt kan være en årsak til feil. Det er viktig å vurdere kostnytte effekten av hvor mye tid som bør legges ned i forarbeidet, opp mot hvor høy nøyaktighet for ønsket minstekrav.

Det finnes flere metoder for å oppnå en akkumulert avrenning, både i ArcGIS og i QGIS. Når resultatene sammenlignes med Fields beregninger kan det føre til feil informasjon, ved bruk av ulike metoder. Grunnen for det er at vi ikke vet hvordan Fields har gått frem.

Ifølge Høydedata har de benyttet nærmeste nabo interpolasjon, det er også benyttet i denne oppgaven. Om det er nærmeste nabo interpolering som er den mest optimale med tanke på vannanalyser er usikkert.

Årsaker for feilkilder kan være utstyret som ble benyttet under feltarbeidet. Da det var et gjentakende problem med Ipad-GPS dekningen, som kan ha ført til unøyaktige registreringer på koordinatfestingen av stikkrennene.

Nøyaktigheten til stikkrennenes posisjon vil åpenbart være avhengig av satellittdekning for koordinatfestingen. Da dette feltarbeidet hadde en feilmargin i avstand på 6,7 meter i gjennomsnitt kan det vurderes om det er et godt nok resultat til å gjennomføre disse analysene. Siden feilmarginen er regnet ut er det mulig å ta høyde for feilmarginen i avstand, som er gjort med de korrigerte faktorene. Det vurderes at den beregnede nøyaktigheten på egne feltregistreringer i Ringebru ikke er for dårlig ved bruk på Sør-Odal-dataene. Tvert imot kan det antas at satellittforholdene vil være bedre i flatt terreng enn i et bratt dalføre. På den måten vil korrigeringen på avstand, som ble funnet på bakgrunn av registreringene i Ringebru, bli sett på som et tilfredsstillende resultat.

Plasseringen av Fields beregninger opp mot kommunens feltregistreringer må ha med i bakhodet, da de kommunale feltregistreringene ble gjennomført i 2016, mens datasettet fra Fields er antatt beregnet i 2020. Det kan ha skjedd endringer langs veiene i den tidsperioden uten at man kan vite dette for sikkert.

I Tabell 4, kommer det frem at egne feltregistreringer fant flere stikkrenner enn kommunens feltregistreringer for alle veier. Under befaringen på vei 2 ble veiansvarlig med. Han visste nøyaktig beliggenhet til stikkrennene siden han er den som gjennomførte arbeidet.

Det er uvisst om alle stikkrenner ble funnet under egne feltregistreringer, men ettersom veiansvarlig ble med på de egne feltregistreringene for vei 2 er det stor sannsynlighet for at alle stikkrenner ble funnet på vei 2. Det kom frem at datasettet som ble lastet ned med stikkrenneinformasjonen ikke var helt komplett fordi flere stikkrenner manglet lengdedata. Det medførte at noen stikkrenner ikke ble innbrent i terrengmodellen.

Da det var flere områder med mange forskjellige laserprosjekter, førte dette til en del utfordringer. Det var fordi programmene som ble benyttet i denne oppgaven slet med de forskjellige punkttetthetene per kvadratmeter. Dette merkes for vei 3-5, spesielt vei 4, siden det skapte problemer med forskjellige punkttettheter på de forskjellige laserdata prosjekter som måtte benyttes. Det gjorde at det ikke var mulig å gjennomføre en interpolering på vei 3-5 etter utklipping av veitraseen var gjort.

Denne utredningen var umulig å unngå siden alle laserdataprojektene måtte benyttes for å kunne dekke de største delene av området. Dette er også årsaken til at det kun er vei 1 og 2 som har blitt klipt og interpolert.

4.2. Antagelser

I Figur 45 er det vist at det tydelig dreneres en god del vann. Derfor vil det antas at det er høyere fluks på første del av veien, da det er mye vann som dreneres langs grøftene. Når man ser på sammenligningen mellom veiene (Figur 44) viser grafen at det er flest stikkrenner i fluks klassen 8,8-12,1. Figur 47 viser sammenhengen mellom fluksverdien og feilmarginen i meter fra målinger mellom kommunale feltregistreringer, egne feltregistreringer og Fields beregninger. Grafen viser en tydelig sammenheng mellom avstand i meter og fluksverdien. Denne trendlinjen i Figur 47 er relativt lik trendlinjen i Figur 26, som viser sammenhengen mellom indre stikkrennediameter og avvik i avstand mellom stikkrennene.

4.3. Rørdiameter og treffavstand

Figur 25-Figur 28 viser sammenhengen mellom innvendig stikkrenne-/kulvertdiameter og avstand mellom registreringene. Det gjelder for egne feltregistreringer, kommunale feltregistreringer og Fields beregninger. Størst kulvert gir minst feilmargin i avstand. Figur 26 er et eksempel på at ekstremverdier kan oppstå selv med store stikkrenner. Figur 26 viser hvordan det kan være store avstander mellom stikkrennene på noen områder, som kan være med å forårsake slike ekstremverdier. En årsak til at grøftene er valgt er trolig for å redusere antallet stikkrenner på de flatere områdene av veistrekningene.

Figur 29 viser fordelingen mellom Ringebu og Sør-Odal. Det er tydelig at det er samme tendenser i Sør-Odal ved at det er mindre feilmargin i avstand ved stor indre stikkrenne diameter.

R-verdien for den eksponentielle trendlinjen forteller oss at det ikke er så stor sammenheng da verdiene er relativt lave. På den andre siden er det veldig tydelig visuelt i grafene at det er en sammenheng, da feilmarginen i avstand går betraktelig nedover, samt at stikkrenner med ≥ 500 mm i indre diameter gir relativt «sikre» treff. I Figur 29 er den kvadrerte r-verdien høyere for trendlinjen til stikkrennene i Sør-Odal. Dette resultatet kan ha blitt påvirket av at det var større datainnhenting i Ringebu, da det ble registrert flere stikkrenner der. Samtidig ville det vært naturlig med større treffsikkerhet i Sør-Odal da dette er et flatt terreng, kontra det kupert terrenget i Ringebu. Siden satellitt-dekning vil endre seg med terrenget, vil ofte GPS-dekning bli påvirket av eventuelle dalsider eller hvor satellittene flytter seg i løpet av dagen. Det vil ikke være et like stort problem i et flatt terreng.

4.4. «Fill sink» påvirkning av terrengmodellen

Proessen viser hvor «Fill sink» ønsker å glatte over modellen, hvilket kan være en fin måte å finne nedsenkninger i terrenget, typisk da innløpet til stikkrennene. Figur 30 og Figur 31 viser hvordan «Fill sink» har fylt opp nedsenkninger ved stikkrennenes innløp. På den andre siden gjelder ikke det nødvendigvis for alle stikkrenner. Her antas det at hvis laserpunktene som DTM er bygget opp av er nyere enn plasseringen av stikkrenne, samt at det ikke har rast ned noe foran stikkrennen, vil det øke sannsynligheten for å kunne se stikkrennene med denne prosessen. I motsatt scenario vil man trolig ikke se det. Det er ofte mye vegetasjon i grøftene langs skogsbilveien. Det kan være grener eller trær som henger over grøftene, noe som vil føre til dårligere resultat av punktskyene ved at det forårsaker færre bakketreff.

Da det ble gjort en stikkprøve på vei 1 som vist i Figur 33, figuren viser veldig mye «støy» i kartet, da det er over 500.000 celleverdier innenfor vei bufferen og under 2.000 celleverdier som er relevante. Det kan antas at grøfter langs veiene er årsaken til alle verdiene, da det og er en nedsenkning i terrenget, som Figur 30 er et godt eksempel på.

Selv om denne analysen gir en god del korrekte treff ved stikkrennene, så gir den også veldig mange falske treff som vises for vei 5 (Figur 32). Treffene rundt stikkrennene er også «lavere» enn langs veien. Bruk av «Fill sink» synes ikke å gi et tilfredsstillende resultat alene.

4.5. Akkumulert avrenning

4.5.1. Ferdig DTM

Den akkumulerte avrenningen ved bruk av en fylt DTM lastet ned fra Høydedata viser hvordan den akkumulerte avrenningen har en stor tendens til å renne langs veiene. Samtidig viser Figur 34 at vannet renner ned til veien, før det følger veitraseen videre nedover. Det gir feil både der vannet skulle gått og der Figur 34 viser det går. Med bakgrunn i kartet presentert i Figur 34 ser man at akkumuleringen ikke er korrekt, da vannet ikke beveger seg gjennom stikkrenne, men heller følger veigrøfta. Når vi ser på kartutsnittet av vei 5 i Figur 35 ser vi at det ikke er et problem i det flate terrenget i Sør-Odal.

4.5.2. Innbrenning av stikkrenner

Med de innbrente stikkrennene har vannet muligheten til å renne over veien. Dette ga et annet bilde av hvor vannet ble ført kontra når ingen annen preprosessering enn «Fill sink» var benyttet. Figur 36 og Figur 37 viser hvordan den akkumulerte avrenningen endret seg etter at stikkrennene ble brent inn, Figur 36 viser at ikke alle stikkrennene har blitt brent inn.

Innbrenning av stikkrenner viste en tydelig endring av vannettet. Det gjør det mulig å gjennomføre en mer korrekt analyse knyttet til vanntransport. Selv om terrengmodellen ikke er komplett, gir den et mer riktig bilde av hvor vanntransporten går i dag.

4.5.3. Utklipt veitrase

Her ble hele veitraseen fjernet med en buffer på 10 meter fra veiens midtlinje for vei 1 og 2, vist i Figur 38 og Figur 39. Her kommer det tydelig frem at vannet nå følger terrenget og ikke veiene. Interpoleringen av de nye verdiene der veitraseen lå kan ses på som vellykket da vannet nå renner naturlig med terrenget i stedet for langs med veitraseen. Hvis terskelverdien hadde blitt endret fra 5 til 2 i stedet, ville det vært mye mer vann i dagen for begge analysene. Dette har ikke blitt tatt med under resultatene da kartene ble lite oversiktlige som helhet, og man ser de samme tendensene med hvor vannet går med terskelverdi 5.

Etter veitraseene ble klippet bort fra punktskyen, ble utklippet område rekonstruert ved å interpolere ved bruk av nærmeste nabointerpolasjon. Figur 38 og Figur 39 viser hvordan vannet renner over hele modellen og ikke lenger langs veitraseen. Det er viktig å få innblikk i hvordan vannet ville gått uten veitraseer, da ikke alle stikkrenner er brent inn. Skal en komplett terrengmodell oppnås med tanke på hydrologi, er det viktig å få med alt som vil påvirke vanntransporten. Her er plasseringen av stikkrennene viktig.

4.6. Generelt

Ting kan ikke alltid gjennomføres helt etter boken, noe som gjør at stikkrenner ikke nødvendigvis ligger der de skulle med tanke på veinormalen. Stikkrennene kan bli flyttet under bygging på grunn av uforutsette hindringer, et eksempel på det kan være berg under bakken. Andre eksempler kan være at stikkrennene er dyre og fører til at veibyggere prøver å minimalisere antall stikkrenner av kostnadsårsaker, eller andre uforutsette hendelser som oppsto under bygging eller ombygging av skogsbilvei.

Det er en tydelig sammenheng mellom hvor stort avstandsavviket er og stikkrenne-/kulvertstørrelsen. Etter å ha korrigert for unøyaktighet til IpadGPS-målingene går feilmarginen betraktelig ned. Treffprosenten for stikkrenne viser at Fields har en høy treffprosent på vei 3 og 4 (Tabell 2).

På de fire veiene i Ringebru har Fields i gjennomsnitt en treffprosent på 42 % av stikkrenner i nærhet til kommunale eller egne feltregistreringer. Det er for liten nøyaktighet til at man etter Fields beregninger alene kan stole på beliggenheten til stikkrennene. Fields beregninger mot egne feltregistreringer ligger på 64 % i gjennomsnitt. Gjennomsnittet blir dratt opp av vei 3 og 4, hvor treffprosenten er på over 70 %. Ut ifra det kan man anta at Fields sine registreringer kan være gode nok til detektering av stikkrenner på noen områder, men de har ikke gode nok resultater alene. Når det er tatt høyde for fluks i tillegg (Figur 47) ser vi at det viser samme tendens, samtidig som grafen viser en normalfordelingstendens. Siden det er en liten R-verdi kan det ikke konkluderes med at det er et sikkert resultat, selv om fluksverdien viser samme tendenser som indre rørdiameter mot avvik i avstand.

«Fill sink»-prosessen har stor påvirkning da den glatter over terrengmodellen, noe som gjør at differansen mellom den «originale» DTM'en og den fylte viser flere av stikkrenneplasseringene ved fylte nedsenkninger i terrenget. Her vil det være viktig å ha nye laserdata for at det skal fungere best mulig, samtidig som resultatene indikerer mye støy fra andre nedsenkninger, som gjør at «Fill sink» ikke kan brukes alene.

Innbrenning av stikkrenner gir et riktig bilde av hvor vannet går i dag, hvis det antas at alle stikkrennene er funnet og er i god stand. I det bratte terrenget har flere av veiene under feltarbeidet ført vannet i grøftene, som flere steder har ført til erosjon av veien.

Med tanke på ombygging av skogsbilveier vil innbrenning av stikkrenner gi det mest riktige bildet på vannføringen. For at det skal fungere er det viktig å ta med alle veitraséene som

ligger høyere opp i dalsidene. Unnlates dette, vil bildet over vanntransporten bli feil. Bildet av terrenget og vannnettverket blir mer komplett, men ikke helt riktig.

DTM'en med fjernet veitrase viser hvor stor påvirkning en veiutbygging har på vannavrenningen, særlig i bratt terreng. Det indikerer at det er viktig å plassere stikkrennene riktig med riktig dimensjon, for å unngå farlige hendelser som medfører flom og erosjon. I Figur 40 er det tydelig at utklipping av veitraseen for så å interpolere den opprinnelige terrengoverflaten gjør at den akkumulerte avrenningen treffer stikkrennene best.

Fjerning av veitraseen vil sørge for å vise hvor vannet burde gå, det vil være en god metode for fremtidige plasseringer av stikkrenner, spesielt i forbindelse med analyser av kritiske områder. Den fungerer endog ikke like godt til å detektere stikkrennene, da vannet vil krysse veien flere steder enn der det ligger stikkrenner i dag. Er vanntransporten høyere enn antatt, bør det suppleres med flere stikkrenner.

5. Konklusjon

Man kan konkludere med at det er mulig å detektere mange stikkrenner ved hjelp av digitale hjelpemidler. Preprosesseringen av kart vil være spesielt viktig for å redusere feilmarginen. Når algoritmen er klar og det kan hentes ut en egen klassifiseringskode for beliggenheten til stikkrenner vil hele operasjonen være mulig å gjøre digitalt, dog med noen feltkontroller, for å sjekke at resultatene stemmer overens da vegetasjon i for eksempel grøfter kan være et problem når det kommer til skogsbilveier.

Prosessene som er tilgjengelig ved hjelp av ArcMap og QGIS gjør at det er mulig å gjennomføre digital detektering av stikkrenner ved hjelp av laserdata, så lenge det er tatt høyde for feilmarginen. Samtidig indikerer resultatene at alle analysene som treffprosent, «Fill sink» og akkumulert avrenning, vil gi et mer nøyaktig resultat brukt sammen.

Når flere analyser antyder plasseringen til stikkrenner på samme sted, er det større sannsynlighet for å finne en stikkrenne på gitt beliggenhet.

6. Videre forskning

Det jobbes for å lage en algoritme som klarer å detektere stikkrenner og kulverter som en bestemt klassifisering når det kommer til laserpunkter (Fareed et al., 2021). Det vil sørge for at det er mye lettere å kunne detektere stikkrenner, kulverter og broer digitalt. Videreføringen av det kan være til stor hjelp når det kommer til bygging av nye veitraseer. I dag er det mulig å få direkte koordinater i kart om hvor stikkrennene bør bli plassert med tanke på terrenget ved analyser, spesielt med tanke på akkumulert avrenning. I bratt terreng er det fremdeles en del steder man må ut og kartlegge eksisterende påvirkende stikkrenner som for eksempel ligger høyere opp i dalsidene.

Under kapittel 3.2 *Rørdiameter opp mot avvik i avstand*, viser at det er stor spredning for de små rørdiametrene. Det er et problem da det er mange små stikkrenner på skogsbilveier, hvor det ofte er dårlig vedlikeholdte grøfter og dårlig kantrydding langs skogsbilveien. Alle disse faktorene vil bidra til få bakketreff, noe som fører til at det er vanskelig å lage en algoritme for klassifisering av stikkrenner eller kulverter.

Når algoritmen er laget vil den være til stor hjelp med tanke på infrastrukturen hvis man faktisk vet hvor mye vann som blir transportert fra et område, for å minimere sjansen for eventuelle ras, som kan føre til store kostnader ved skader på infrastruktur.

7. Litteratur

- Aall, C., Baltrusiewicz, M., Groven, K., Almås, A., & Vagstad, F. (2015, 1. juni). *Føre-var, etter-snar eller på-stedet-hvil? Hvordan vurdere kostnader ved forebygging opp mot gjenoppbygging av fysisk infrastruktur ved naturskade og klimaendringer?* (Vestlandsforskningsrapport nr. 4/2015). https://nve.brage.unit.no/nve-xmlui/bitstream/handle/11250/2498473/vestlandsforskningsrapport2015_04.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ArcGIS. (2023, 22. mars). *What is lidar data?* <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>
- ArcMap. (2023, 8. april). *Mapping and visualization in ArcGIS Desktop.* <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/main/mapping-and-visualization-in-arcgis-for-desktop.htm>
- Aunaas, Dolva, Humstad, Myrabø, Petkovic, Thakur, Viklund, Øverlid & Øydvin. (2016, mars). *FoU-programmet Naturfare, infrastruktur, flom og skred (2012-2015)*. (NIFS – sluttrapport 43-2016). Naturfare Infrastruktur – flom – skred. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_43.pdf
- Bjerketvedt, J. (2017, 6. februar) *Bæreevnemålingsutstyr.*
- Boje, S. (2017, juni). *Hydrometeorologiske terskler for jordskredfare på Sørlandet og Østlandet.* (NVE Rapport 64, 2017). Norges vassdrag- og energidirektorat. https://nve.brage.unit.no/nve-xmlui/bitstream/handle/11250/2500598/rapport2017_64.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., & Tchobanoglous, G. (2012). *Water treatment, principles and design.* (Third edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. (2004). *Comparing stand inventories for large areas based on potho-interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses.*
- Esri. (2023, 8. April). *ArcGIS – Discover your power with ArcGIS.* <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>
- Fareed, N., & Wang, C. (2021). *Accuracy Comparison on Culvert-Modified Digital Elevation Models of DSMA and BA Methods Using ALS Point Clouds.* *Geomorphometry and Terrain Analysis*, 10(4). <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/4/254>
- Fergus, T., Høydal, Ø.A., Johnsrud, T., Sandersen, F. & Schanche, S. (2011). *Skogsveger og skredfare – veileder.* [https://nve.brage.unit.no/nve-](https://nve.brage.unit.no/nve-xmlui/bitstream/handle/11250/2498473/vestlandsforskningsrapport2015_04.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- xlmui/bitstream/handle/11250/2498473/vestlandsforskningsrapport2015_04.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- GDAL. (2023, 12. mai). *GDAL documentation*. Hentet fra <https://gdal.org/>
- Geonorge. (2023, 22. mars). *Høydedata – Laser*.
<https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/hoeydedata-laser/f297e948-8a34-4e6c-9740-54b3a657f8d5>
- GSSI. (2023, 5. mai). *What is GPR?* Hentet fra <https://www.geophysical.com/whatisgpr>
- Kartverket. (2022, 16. august). *Høgdedata og djupnedata*. Hentet 5. april 2023 fra
<https://www.kartverket.no/api-og-data/terrengdata>
- Landbruksdirektoratet. (2023, 5. april). *Tømmeravvirkning og -priser*.
<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/statistikk-og-utviklingstrekk/utviklingstrekk-i-skogbruket/tommeravvirkning-og-priser>
- Landbruksdirektoratet. (2023, 8. mai). *Skogsveger*. Hentet fra
<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/statistikk-og-utviklingstrekk/utviklingstrekk-i-skogbruket/skogsveier?resultId=0.0&searchQuery=skogsveger>
- Landbruksdirektoratet. (2013, 21. mars). *Normaler for landbruksveier – med byggebeskrivelse*. Hentet 5. april 2023 fra [https://skogkurs.no/wp-content/uploads/Normaler for landbruksveier 2016.pdf](https://skogkurs.no/wp-content/uploads/Normaler_for_landbruksveier_2016.pdf)
- Lidberg, W., Nilsson, M., Lundmark, T., Ågren, A.M. (2017). *Evaluating preprocessing methods of digital elevation models for hydrological modelling*. Hydrological Processes, 31(26), 4660-4668.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hyp.11385>
- Mæhlum, L., (2020, 17 november). *SOSI*. Store norske leksikon. Hentet 7. april 2023 fra <https://snl.no/SOSI>
- NIBIO. (2023, 12. mai). *Markfuktighet*. Hentet fra
<https://www.nibio.no/tema/jord/arealressurser/andre-kart/markfuktighet>
- Norgeskart. (2023, 23 mars). *Kart for plasseringen av veiene*.
<https://www.norgeskart.no/#!?project=Fastmerker&layers=1004&zoom=6&lat=6759410.39&lon=231607.97&markerLat=6676474.6741151195&markerLon=309690.21837278624&p=searchOptionsPanel&showSelection=false&sok=maarud>
- Norges skogeierforbund (2022, 24. juni). *Skog- og trenæringen er et av sju satsingsområder for grønt industriløft*. Hentet 8. mai 2023 fra <https://www.skog.no/skog-og-trenaeringen-er-et-av-sju-satsingsomrader-for-gront-industriloft/>

- Norges Skogeierforbund. (2023, 5. april). *Skogsbilveier*. <https://skog.no/vi-mener/transport/skogsbilveger/>
- NVE. (2021, 12. januar). *Modul F2.306: Kulvert – Prosjektering*. Hentet 5. april 2023 fra <https://www.nve.no/moduler/modul-f2-306-kulvert-prosjektering/>
- Pistol, J., Villwock, S., Völkel, W., Kopf, F & Adam, D. (2016). *Continuous compaction control (CCC) with Oscillating rollers*. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816305057>
- QGIS. (2023, 22. mars). QGIS – *The leading open source desktop GIS*. <https://QGIS.org/en/site/about/index.html>
- QGIS. (2023, 08. april). *Sagaalgorithm provider*. https://docs.QGIS.org/2.18/cs/docs/user_manual/processing_algs/saga/index.html
- Rapidlasso GmbH. (2023, 12. mai). *LAStools*. Hentet fra <https://rapidlasso.com/lastools/>
- Ringebu kommune. (2023, 5. april). *Innmålte stikkrenner og kart over bekker*. <https://www.ringebu.kommune.no/nyheter/innmalte-stikkrenner-og-kart-over-bekker.115937.aspx>
- Skogkurs. (2016, desember). *Veivedlikehold*. Hentet 5. april 2023 fra <https://skogkurs.no/wp-content/uploads/veileder-veivedlikehold-skjerm.pdf>
- SOSICON. (2023, 7. april). *Shape up your maps*. Hentet fra <https://sosicon.espenandersen.no>
- Statistisk sentralbyrå. (2023, 5. april). *Skogsveier*. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk/statistikk/skogsveier>
- Tungland, G.M. (2022, 15. mars). *Kvalitet på stikkrenner i NVDB*. Vegdata. Hentet 5. april 2023 fra <https://www.vegdata.no/2022/03/15/kvalitet-pa-stikkrenner-i-nvdb/>
- Vegdata. (2023, 28. april). *Kart over stikkrenner i Ringebu kommune*. Hentet fra [https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@250648,6834522,9/hva:!\(category~\(type~enum~id~7996\)id~79\)~/hvor:\(kommune~!3439\)~](https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@250648,6834522,9/hva:!(category~(type~enum~id~7996)id~79)~/hvor:(kommune~!3439)~)
- Vegdirektoratet. (2018, juli). *Vegbygging*. Hentet 8. mai 2023 fra <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-n200-vegbygging-juli-2018.pdf>
- Whitebox. (2023, 4. mai). *Innovative geospatial software*. Hentet fra <https://www.whiteboxgeo.com/>
- Ørstavik, E. & Mæhlum, L. (2023, 22. mars). *Geografisk informasjonssystem (GIS)*. Store norske leksikon. https://snl.no/geografisk_informasjonssystem_-_GIS



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway