



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp  
Institutt for naturforvaltning (INA)

# **Testing og videreutvikling av et GIS-basert verktøy for terrengtransport planlegging**

Testing and further development of a GIS-based toolbox for terrain transportation planning

Asle F. Lifjell & Torkjell Dyrdal  
Master skogfag



## Forord

Denne masteroppgaven er utført ved Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, og er avslutningen på vår mastergrad i skogfag. Vi valgte oppgave innen driftsteknikk på bakgrunn av fremtidsrettede utfordringer og stor felles interesse for temaet. Det er da naturlig nok det denne oppgaven omhandler.

Vi vil gjerne benytte anledningen til å rette en stor takk til alle involverte parter som har hjulpet oss med feltarbeid, datasupport og oppgaveskriving. Først vil vi rette en stor takk til vår hovedveileder, førsteamanuensis ved INA og forsker ved Skog og landskap Jan Bjerketvedt. Vi vil også benytte anledningen til å takke Kjell Anders Vikan, plansjef for Statskog som har gjort dette mulig ved å tilby oss å skrive masteroppgave for dem. Vi vil så rette en stor takk til Felipe Verdù, senior GIS – konsulent i GeoData for mange timer datasupport. Tilslutt vil vi rette en stor takk til Astrid Fykse for korrekturlesning.

Norges miljø- og biovitenskaplige universitet

Ås, 12. Mai 2016

---

Asle F. Lifjell & Torkjell Dyrdal

## Sammendrag

Det norske skogbruket har hatt en rivende utvikling siden 50-tallet med tanke på utstyr til hogst og tømmertransport. Etter dette har det blitt forsøkt og forenkle planleggingsprosessen av hogster og tiltak med tanke på å redusere tidsbruk og kostnader knyttet til planleggingen. Retningslinjer som PEFC- og FSC-standarder legger føringer på hvordan tiltak i skogen skal gjennomføres for å ta vare på ulike interessegrupper og miljø. I den sammenheng har Geodata på bestilling fra Statskog utviklet en tilgjengelighetsanalyse som kan lokalisere terrengtransporttraseen mellom vei og bestand basert på fremkommelig areal og barrierer.

Studiet går i hovedsak ut på å kjøre flere GIS-analyser med forskjellig datagrunnlag. Det ble i denne sammenheng gjennomført 7 ulike scenarioer der nøyaktighet på grunnlagsdata (DTM10 mot LIDAR) og endring av bratthetsklasser ble endret mellom scenarioene. Det ble også inkludert fuktighetsinformasjon for å se hvilke virkninger det hadde på resultatet. Målet var å finne hvilke faktorer som fungerer og hvilke faktorer som kan legges til for å videreutvikle verktøyet.

Det var ingen klare forbedringer ved å bytte ut de ordinære grunnlagsdataene med laserdata. Vi fant heller ingen tydelige forbedringer ved å bruke de nye bratthetsklassene, som heller førte til store utfordringer knyttet til sidehelling. Ved å inkludere fuktighetsinformasjon registrerte vi en betydelig reduksjon i driftskostnad. Ved å sammenligne to ulike scenario ble den gjennomsnittlige kostnaden redusert med ca. 25 %.

Etter befaringen så vi at fuktige områder var en viktig faktor for hvor entreprenørene valgte å kjøre. Dette var også det elementet som original verktøyet bommet mest på. Resultatene etter fuktighetsanalysen virket å stemme overens med det vi observerte i praksis. Det som var noe overaskende var den manglende effekten ved bruk av laserdata.

Flere elementer ble belyst og beskrevet som forslag og tanker rundt videreutvikling av verktøyet. Det som kom tydeligst frem var inkludering av fuktighetsinformasjon, sidehellingsproblematikk og kartgrunnlag basert på laserdata. Inkludering av en forgreiningsalgoritme for å samle driftsvegene til ulike bestand i samme område til en og samme veg ville også vært fordelaktig med tanke på en mer praktisk tilnærming.

## Abstract

The Norwegian forestry has since the 50s had a rapid development in terms of harvest equipment and timber transportation. Today we are focusing on the planning procedure in order to make the process simpler and less expensive. Guidelines as the PEFC- and FSC standards provide constraints on how to conduct logging to maintain the environment and different interests. In this context, Statskog have ordered an availability analysis, developed by Geodata. The availability analysis can locate terrain transport paths between roads and forest stands based on drivable areas and barriers.

The study was carried out by running multiple GIS analyzes with different input data. In this context, there were conducted seven different scenarios, where accuracy of basic data and changes in the slope classification were tested between the scenarios. Information about moist ground was also included to see what impact this had on the result. The main goal of this study was to find the factors that worked, and what factors that could be improved to further development.

The results indicated that there were no significant improvements by replacing the ordinary basic data with LiDAR. The same applies to the results of the new slope classification, which also gave major side slope challenges. By including moisture information, we registered a significant reduction in operating costs. By comparing two scenarios the average operating costs were reduced with approximately 25%.

During the field survey, we observed that wet areas had an important impact on where the contractor decided to drive. We registered that the original toolbox had big problems locating the wet areas because of the lack of information. The information about wet areas provided in this study seemed to correspond with our observations. The biggest surprise was that LiDAR had no significant impact on the result.

We have described several suggestions and thoughts on further development. The most evident was the inclusion of moisture information, side slope issues, and the use of LiDAR. Including an algorithm for designing a network of transportation routes would also be advantageous in terms of a more practical approach.

## Innholdsfortegnelse

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| Forord .....                           | I   |
| Sammendrag .....                       | II  |
| Abstract .....                         | III |
| 1 Innledning.....                      | 1   |
| 1.1 Miljø.....                         | 1   |
| 1.2 Planleggingsprosessen.....         | 3   |
| 1.3 Økonomiske aspekter.....           | 4   |
| 1.4 Planlegging .....                  | 4   |
| 1.5 Målsetting.....                    | 6   |
| 2 Metode og materiale.....             | 7   |
| 2.1 Studieområde .....                 | 7   |
| 2.2 Utvalg av drifter.....             | 7   |
| 2.2.1 Hedmark Fylke .....              | 8   |
| 2.2.2 Buskerud fylke .....             | 10  |
| 2.2.3 Østfold fylke .....              | 10  |
| 2.3 Datamaterialet .....               | 11  |
| 2.3.1 Forberedelser feltarbeidet ..... | 11  |
| 2.3.2 Feltarbeidet .....               | 11  |
| 2.4 Dataanalyse .....                  | 12  |
| 2.4.1 Scenario 1 .....                 | 13  |
| 2.4.2 Scenario 2 .....                 | 13  |
| 2.4.3 Scenario 3 og 4 .....            | 13  |
| 2.4.4 Scenario 5 og 6 .....            | 14  |
| 2.4.5 Scenario 7 .....                 | 17  |
| 2.5 Sammenligning.....                 | 18  |
| 2.5.1 Lengdeavvik og areal .....       | 18  |
| 2.5.2 Kostnadsberegninger.....         | 19  |
| 3 Resultat.....                        | 19  |

|       |                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 3.1   | Avvik .....                                     | 20 |
| 3.1.1 | Areal .....                                     | 20 |
| 3.1.2 | Lengdeavvik .....                               | 20 |
| 3.1.3 | Kostnadsberegninger.....                        | 21 |
| 3.2   | Kartpresentasjoner.....                         | 22 |
| 3.2.1 | ObjektID 4459.....                              | 22 |
| 3.2.2 | ObjektID 7402.....                              | 25 |
| 3.2.3 | ObjektID 18156.....                             | 27 |
| 3.2.4 | ObjektID 31160.....                             | 30 |
| 3.3   | Statistikk .....                                | 32 |
| 3.4   | Følsomhetsanalyse .....                         | 33 |
| 4     | Diskusjon .....                                 | 34 |
| 4.1   | Diskusjon av metode .....                       | 34 |
| 4.1.1 | Beregning av avvik.....                         | 35 |
| 4.1.2 | Kostnadsberegninger og vekting .....            | 36 |
| 4.2   | Diskusjon av resultater .....                   | 42 |
| 5     | Forslag til videreutvikling .....               | 44 |
| 5.1   | Forgreiningialgoritme .....                     | 44 |
| 5.2   | Ar5 .....                                       | 44 |
| 5.3   | Velteplass .....                                | 45 |
| 5.4   | Lokalisering av eksisterende traktorveier ..... | 46 |
| 5.5   | Bygging av midlertidigvei .....                 | 47 |
| 5.6   | Inkludering av hogstklasser .....               | 47 |
| 5.7   | Fuktighetskartlegging.....                      | 47 |
| 6     | Konklusjon .....                                | 49 |
| 7     | Referanser .....                                | 50 |
| 8     | Vedlegg.....                                    | 54 |

# 1 Innledning

Skogbruk og skogforvaltning har en lang tradisjon i Norge. Tidligere var skogen en arbeidsplass for mange mennesker, og et viktig levebrød for enda flere. Metodene var arbeidsintensive med øks, sag og barkespade om vinteren, og fløting på våren som transportmetode. Hesten var også et viktig og vanlig hjelpemiddel for transport av tømmer frem til 1950-tallet. Men deretter tok skogstraktorene sakte, men sikkert over transport til velteplass med hjelp av vinsj. Etter 1980-tallet begynte lassbæreren å ta over terrengtransporten (Berre & Teig, 1995; Hoen & Svendsrud, 2014), og ifølge Vennesland, et al (2006) blir over 90 % av skogen i dag avvirket maskinelt. De maskinene som brukes i dag vil mest sannsynlig bli brukt i mange år fremover, samtidig som videreutvikling og oppdateringer vil fortsette (Gjedtjernet & Bjerketvedt, 2003).

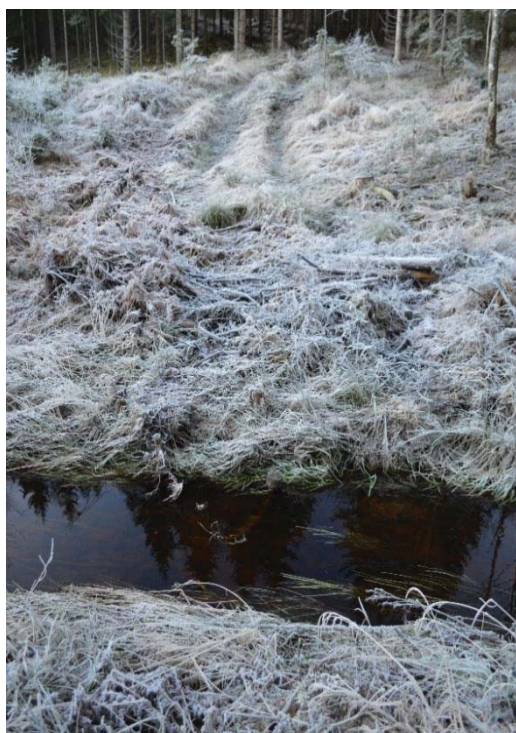
Tidligere foregikk avvirkningen bare vinterstid, mens det i dagens skogbruk avvirknes gjennom hele året. Årsaken kommer av at det stilles høyere krav til ferskhet og jevnere tilførsel av virke til industri (Mohtashami, Bergkvist, Löfgren, & Berg, 2012). Avvirkningen skjer normalt med tungt maskinelt utstyr og risikoen for sporskader og jordkomprimering er stor, spesielt under ugunstige jordforhold (Eliasson & Wästerlund, 2007; Nordlund, Ring, Högbom, & Bergkvist, 2013). Klimaet i Norge er i endring, og Norges- årstemperatur og nedbørsmengde har siden 1900- tallet økt med henholdsvis 0,9°C og 20 %. Videre forventes det en økning i temperatur og nedbør i de fleste områder i alle årstider (Tveito, 2014). Helårsavvirkning i kombinasjon med klimatiske endringer fører med seg en rekke bekymringer, og det stilles mange spørsmål om hvordan avvirkningen påvirker vannforurensning, erosjon, landskapsestetikk og det biologiske mangfoldet.

## 1.1 Miljø

Skogen dekker omtrent 40% av Norges landareal noe som tilsvarer ca. 14 millioner hektar. Av dette er ca. 8,6 millioner hektar regnet som produktiv skog og 5,4 millioner hektar uproduktiv. Skogbruket i Norge drives i småskala sammenlignet med andre land på grunn av varierende topografi, produksjonsforhold og eiendomsstruktur (Skog og landskap, 2014). Økt bruk av naturen og mange forskjellige brukergrupper gjør det svært krevende å drive et «konfliktfritt» skogbruk (Andresen, 2013). Ca. 60 % av våre kjente arter er knyttet til skog (Miljødirektoratet, 2016), og skogbruket påvirker alle i en eller annen form. For å unngå ødeleggelser av viktige økosystemer, kulturminner, friluftsområder m.fl. er det vedtatt flere lover som legger føringer på hvordan skogforvaltningen skal gjennomføres i slike områder (Skogbrukslova, 2005; Kulturminneloven, 2009; Naturmangfoldsloven, 2009). Sertifiseringssystemer som FSC (Forest Stewardship Council) og PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) er to hovedordninger som skal kvalitetssikre skogforvaltningen i Norge. De har som mål å sørge for at skogbruket skal følge lover og forskrifter slik at et bærekraftig

skogbruk sikres (Norskog, 2015). Noen eksempler som kreves av sertifiseringssystemene er bevaring av myr (krav. Pt 25), nøkkelbiotoper (krav. Pt 21) og å unngå sporskader (krav. Pt 13) (PEFC Norge, 2015).

Hvis man forutsetter en driftsstørrelse på 1000 m<sup>3</sup> og en lassbærer som rommer 15 m<sup>3</sup>/last tilsvarer dette ca. 130 turer inn og ut av bestandet. Antallet turer frem og tilbake i terrenget har stor påvirkning på jordens struktur, porøsitet og vannbalanse. Terrengtransport kan komprimere jorden (opptil 50 cm) og redusere jordporøsiteten, som igjen kan hemme rotutvikling hos trær og planter (Ampoorter, Goris, Cornelis, & Verheyen, 2007; Eliasson & Wästerlund, 2007; Solgi & Najafi, 2014).



Bilde 1: Bekk må forseres for å komme til bestandet.  
Foto: Torkjell Dyrdal

Spordybden økes ved økt antall passeringer (Wronski, Stodart, & Humphreys, 1990), dette øker sjansen for skader på stammer og røtter som igjen kan øke råtefaren (Aktivt skogbruk, 2006; Solheim, 2005) og redusere tilveksten (Wronski & Murphy, 1994). Sporskader kan også forårsake negative effekter på det hydrologiske miljøet i form av kvikksølvavrenning (Hg) (Bishop, et al., 2009) og nitrattutvasking (Löfgren, Ring, Brömssen, Sørensen, & Högbom, 2009). Gevinsten med å unngå sporskader i terrenget kan være fordelaktig både for miljøet og driftas lønnsomhet. Som nevnt tidligere legger sertifiseringsordningene krav om å unngå sporskader. Den krever også at sporskader skal gjenopprettes når forholdene ligger til rette for det.

For å unngå sporskader og jordkomprimering blir det lagt kvist og tretopper i kjøretraseen (Wronski & Murphy, 1994). Dette tiltaket har til hensikt med å styrke traseen, og har vist seg å gi positive effekter (Wronski, Stodart, & Humphreys, 1990; McDonald, & Seixas, 1997; Eliasson & Wästerlund, 2007). Lufttrykk reduksjon i dekk (CTI), bredere dekk, belter, kavlelegging, og bruk av GEONETT er metoder som blir brukt for å øke maskinenes bæreflate og redusere skader på miljøet (Gjedtjernet & Bjerketvedt, 2003).

Maskinene som brukes i dag er bygd for å transportere tungt lass i lett til middels vanskelig terreng. Flere studier knyttet til maskinstabilitet er godt utviklet. Frønsdal (1985) og Hunter (1993) studerte maskinstabilitet i forskjellige terreng. Resultatene deres indikerte at maskinene kan takle brattere terreng i kjøreretningen enn sidelengs og at maksimal sidehelling varierer med lastevekt og

svingradius. Siden den gang har maskinene gjennomgått en utvikling som fører til at komfort og manøvrering med maskinene har blitt bedre. En forsøksdrift på Vestlandet viste at en hogstmaskin kunne arbeide nesten uten redusert produktivitet helt opp til 55 prosent helling (Smith, Nyeggen, & Aarra, 1992). Rutinerte sjåfører kan transportere tømmer fra topp til bunn i hele 60 prosents helling over korte strekk (Jan Bjerketvedt, pers. med. 3. mars, 2016).

## 1.2 Planleggingsprosessen

Planleggingsprosessen knyttet til skogsdrift har i de senere årene gjennomgått en stor rasjonalisering. Lover, sertifiseringsordninger og ulike interessegrupper har ført til økt fokus på bevaring av miljø og biologisk mangfold. Planleggingen har blitt en stor, kompleks og tidkrevende jobb, da det er mange faktorer som må tas hensyn til.

I forkant av hogsten gjennomføres det en terrengklassifisering av området som skal avvirkes.

Klassifiseringen er en analyse av terrenget for å bestemme hvor tilgjengelig området er og hvilke driftsmetoder som kan benyttes for å kunne gjennomføre hogsten. Terrengklassifiseringen baseres på 3 hovedelementer der bæreevne, bratthet, og jevnhet blir vurdert. Ved planlegging av en drift med hogstmaskin og lassbærer vil man eksempelvis prøve å unngå områder med dårlig bæreevne da disse ofte fører med seg høyere driftspriser (Gjeditjernet & Bjerketvedt, 2003). Områder med dårlig bæreevne har ofte lav dybde til grunnvann og er særlig utsatt for sporskader. Kartlegging av fuktige områder har fått mer oppmerksomhet blant forskere den senere tiden og ved bruk av digitale hjelpemidler er det mulig å kartlegge disse områdene. GIS verktøyene TWI (Topographic Wetness Index) og DTW (Depth To Water) er verktøy som fungerer godt til kartlegging av områder med høytstående grunnvann. Ågren, et al (2014) mener sistnevnte (DTW) har potensialet til å forme neste generasjons kartlegging av fuktige områder i terrenget. DTW skiller seg fra TWI med at metoden er mindre sensitiv til bratthet og landskapsvariasjoner.

Metoder for kartlegging av terrengets jevnhet er lite utviklet i Norge. GYL (Grunnforhold – Ytstruktur – Lutning) er en svenskutviklet metode som NIJOS (landskogtakseringen) har begynt å inkludere i sine takseringer. Det har vært et stort ønske om å implementere jevnhet i skogbruksplaner, siden jevnhet forklarer maskinens fart og mobilitet i terrenget. Planleggerne må i dag stole på gjennomførte befaringer og lokalkunnskap da de ikke har tilgang på jevnhetskart (Bjerketvedt, 2005).

Datainnsamlingsmetoder og utstyret for å gjennomføre datainnsamling er stadig under utvikling.

LiDAR (Light Detection and Ranging systems) er et av de ledende systemene innen innsamling av geografisk informasjonsdata for skogforvaltningsformål (Suàrez, Ontiveros, Smith, & Snape, 2005).

LiDAR data kan brukes til å lese terrengformasjonene i et område, og ved bruk av et GIS system er det mulig å lage et kart som viser eksempelvis bratthet, hellingsretning og fuktighet. Datakvaliteten forbedrer seg i takt med bedre utstyr. Selv om utstyret er godt utviklet er det store arealer som ikke

er blitt kartlagt med det «beste» utstyret, og man må derfor benytte seg av mindre nøyaktig data med dårligere kvalitet. Status når det gjelder datakvaliteten varierer hvor du befinner deg i Norge. Datakvaliteten hvor studiet er gjennomført er for det meste av høy kvalitet.

### 1.3 Økonomiske aspekter

En synkende reell tømmerpris har ført til økt krav om utvikling i hele kjeden for å opprettholde lønnsomheten (Norskog, 2015). Dette har ført til økt behov for effektivisering og forbedring av planleggingsprosessen da den er tidkrevende og har høye kostnader. Planlegging av drift er også grunnlaget for hvor effektiv og lønnsom drifta kommer til å bli. Forholdet mellom kostnad og inntekt er viktig for å kunne drive lønnsomt (Vennesland, et al., 2006), og det er dette som bestemmer om en skogeier vil hogge skogen eller la den stå å vokse til den råtner. Ifølge Søvde (2014) utgjør kostnaden for terrengtransport en stor del av den totale avvirkningskostnaden, det er derfor viktig å plassere driftsvegen riktig for å unngå ekstrakostnader i form av sporskadegjenoppbygging, høyere drivstoffkostnader og lavere produktivitet. Svenske studier gjengitt i skoghåndboka (Norskog, 2015) viser at økende spordybde fører til økt drivstofforbruk (30-50%), mens Brunbergs (2004) resultater viser redusert produktivitet i brattere og mer ujevnt terreng. For å begrense slike kostnader er det mulig å gjøre preventive tiltak og bedre planleggingen. Bergsaker & Hohle (2011) undersøkte effekten og kostnaden av ulike tiltak som skulle bidra til å redusere kjøreskader, jordkomprimering og avrenning. Resultatene deres indikerer at bruk av kjørelemmer eller tilsvarende tiltak fungerer godt til overfart av myr. De fant også at driftsstørrelsen er avgjørende for om tiltaket er lønnsomt eller ikke.

### 1.4 Planlegging

Dagens planlegging baserer seg på flyfoto og lasertakst der man innhenter informasjon om skogsarealene (Statens landbruksforvaltning, 2013). Planleggingen skjer for det meste foran en dataskjerm kombinert med befaringer. Det skogbrukslederen som planlegger hvor transporttraseen bør gå i terrenget, mens det er maskinoperatøren som bestemmer den mest praktiske traseen ute i felt (Søvde, Løkketangen, & Talbot, 2013). En skogsdrift planlegges oftest av to parter, en del av oppdragsgiver og en del av entreprenør. Dette forutsetter god flyt av informasjon mellom partene for å minimere feil og få et godt sluttresultat på drifta. Det er ikke alltid at samhandlingen fungerer og i skoghåndboka 2015 ble noen av disse problemene beskrevet.

«Tilbakemeldinger fra maskinførere og entreprenører fra både i Norge og Sverige er:

- *For dårlige kart*
- *Svært ofte er det ikke planlagt velteplass, eller den er for liten*
- *Merking ute i felt er mangelfull, basveger er tegnet opp inne på kontoret og stemmer ikke ute i skogen. Mangelfull merking av basveg ute gjør det tilnærmet umulig å finne frem hvis en ikke er kjent og det er dagslys».*

(Norskog 2015)

Den økte bruken av digitale hjelpemidler i skogbruksplanlegging har gjort planleggingen før, under og etter drift enklere. Planlegging av terrengtransporttraséer ved bruk av digitale hjelpemidler har fått lite oppmerksomhet, selv om det finnes store potensialer. De siste 25 årene har det skjedd en voldsom utvikling innen optimaliseringsteknikker som kan gjøre planleggingen mer effektiv og rasjonell (Søvde, 2014). Contreras & Chung (2007) brukte Dijkstra's shortest path algoritme (Dijkstra, 1959) i deres undersøkelse for å lokalisere den billigste traséen mellom eksisterende vei og potensielle velteplasser. Dijkstras shortest path algoritme fungerer bra og er brukt av mange for å lokalisere billigste rute mellom to punkter (Contreras & Chung, 2007).

Tekniske, miljømessig og økonomiske aspekter er viktige for å utforme en trase som er godt fremkommelig og gir lave driftskostnader. Der har Geodata på bestilling fra Statskog utviklet en tilgjengelighetsanalyse som kan lokalisere terrengtransporttraseen mellom vei og bestand basert på fremkommelig areal og barrierer. Tilgjengelighetsanalysen blir foret med informasjon om nøkkelbiotoper, topografi og andre hindringer i terrenget.

Johansson (2015), Kooshki, et al (2012), og Mohtashami, et al. (2012) gjennomførte tilsvarende studier der de benyttet GIS for å lokalisere terrengtransporttraseen. For å designe traseen benyttet de alt fra avvirkningsvolum, produksjonstype, fremkommelige områder, velteplass, bratthet, fuktighetskart, elver og jordarter med forskjellig vekting. Resultatene deres viste blant annet at planlegging av terrengtransporttrasèene reduserte entreprenørenes tidsbruk og kostnader, samtidig som kjørskader i terrenget ble betraktelig redusert.

## 1.5 Målsetting

Tilgjengelighetsverktøyet er ikke blitt testet og brukt i praksis, og er fortsatt i utviklingsstadiet. I denne sammenheng skal vi teste dagens resultatet på hvor basvegene plasseres opp mot det som i praksis er gjennomført. Målet er å finne ut hvor gjennomførbare de foreslåtte basvegene er, og om det finnes forbedringspotensialer.

### **Problemstilling:**

- Hvordan stemmer tilgjengelighetsanalysen med praktisk drift?
- Blir analysen bedre med mer detaljerte høydedata (terrengdata)?
- Blir analysen bedre med ny bratthetsinndeling?
- Blir analysen bedre med informasjon om markfuktighetsforholdene?

## 2 Metode og materiale

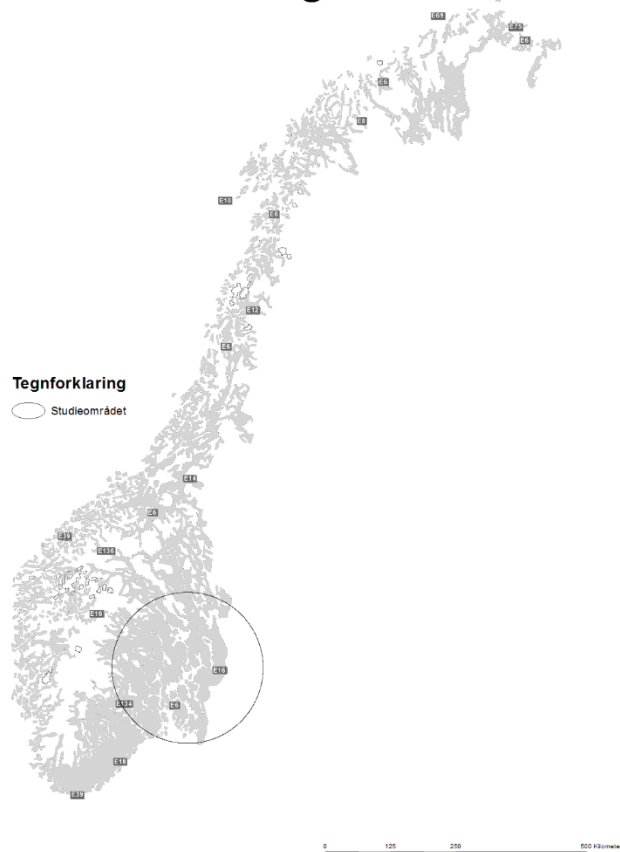
### 2.1 Studieområde

Studieområdet er lokalisert i den østlige delen av Norge på Statskogs eiendommer. Området omfatter Hedmark-, Oppland, Buskerud, Oslo, Akershus, Vestfold- og Østfoldfylke (Kart 1).

### 2.2 Utvalg av drifter

Samtlige analyser i utvalgskapittelet ble gjennomført ved bruk av ArcMap 10.2.2. Det ble på forhånd bestemt at driftene skulle variere noe i bratthet, fuktighet og at driftsveilengden skulle overstige 200 meter. Kjøretraseen skulle heller ikke være påvirket av «nabodrifter» der to ulike drifter har benyttet samme kjøretrase. For å lokalisere den kjørte traseen ble sporloggen generalisert til ei enkel linje. Sporloggen består av flere linjer i terrenget som viser hvor lassbærer og hogstmaskin har kjørt i løpet av hele drifta, og som er registrert ved hjelp av GPSer (global positioning system) som er montert på maskinene. Videre ble det fremstilt bratthetskart, løsmassekart og beregnet driftsveilengde for å enklere klare å plassere driftene under de ulike kategoriene.

### Studieområdets plassering i Norge

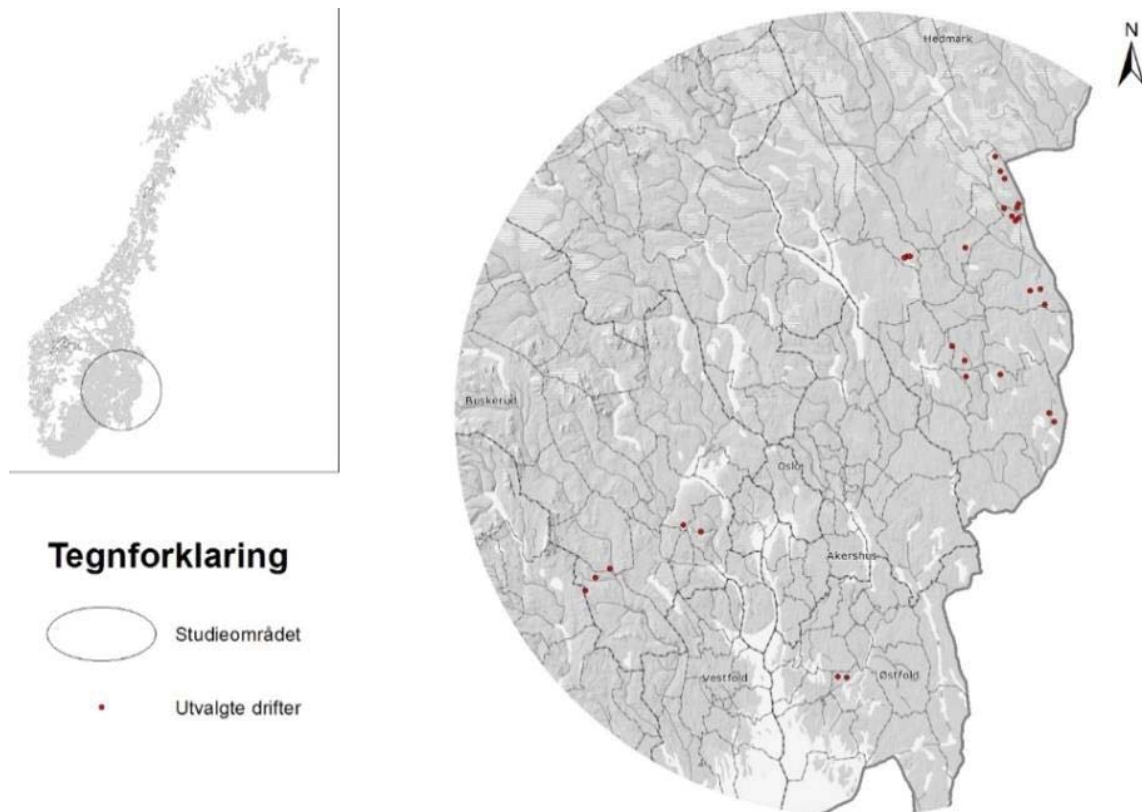


Kart 1: Studieområdets plassering i Norge

Bratthetsanalysen ble laget ved bruk av «slope» verktøyet, der DTM10 ble benyttet som inputdata. DTM10 er en digital terrengmodell med et rutenett på ti ganger ti meter med høydedata (GeoNorge, 2010). Brattheten ble videre inndelt i bratthetsklassene 0-20%, 20-40%, 40-60% og over 60%. For å enklere kunne se terrengets utforming ble det i tillegg til «slope» lagt på 1 meters høydekurver. Driftsveilengden ble beregnet ved bruk av «calculate geometry» i «attribute table». Det ble også beregnet en lengdeavviksprosent mellom kjørt trase og foreslått trase for å lokalisere driftene med størst avvik. Lengdeavviksprosenten er lengde forskjellen mellom sporlogg og foreslått trase, oppgitt i prosent. Drifter med størst avvik mellom sporlogg og planlagt driftsvegen ble satt til høyest prioritet å besøke da disse områdene forklarer verktøyets svakheter best. For å vurdere om kjøretrasevalget

ble påvirket av nabodrifter ble hver enkelt kjøretrase fra vei til bestand studert visuelt, trasèer som virket å være preget av nabodrifter ble dermed utelukket.

Av ca. 200 gjennomførte drifter tilfredsstilte 29 våre kriterier. De utvalgte driftene er fordelt over 3 ulike fylker, Hedmark (N = 22), Buskerud (N = 5) og Østfold (N = 2) (Kart 2).



Kart 2: Oversiktskart over plasseringen på de utvalgte driftene.

### 2.2.1 Hedmark Fylke

Studieområdet i denne undersøkelsen omfatter 6 kommuner i Hedmark fylke. Disse er Våler, Åsnes, Grue, Kongsvinger, Nord-Odal og Løten (Tabell 1). Det generelle terrenget i Hedmark er rimelig flatt og flytende med noen avrundede åser som bryter horisonten. Jordmassene i fylket er ofte tynne og tykke bunnmorener, og i nærheten av Glomma blir jordmassene mer leirholdige blandet med sand (Mæhlum, 2009). Disse massene egner seg godt til jordbruk og gir gode vekstforhold for korn, gress og trær. Glomma flyter rolig igjennom fylket og var svært viktig i skogbrukshistorisk sammenheng i fylket og har sørget for at jordbruk og skogbruk har stått og fortsatt står sterkt i dette fylket.

Tabell 1: Utvalgte drifter i Hedmark fylke med ulik informasjon om startpunkt på driftsveg, hogstdato, lengde på sporlogg, og på den foreslåtte traseen. Tabellen viser også det prosentvise avviket mellom sporlogg og foreslått trase, samt en grov vurdering om terrengets beskaffenhet.

| Objekt ID | Dato besøkt | Koordinat UTM: 32N           | Hogstdato  | Sporlogg | Foreslått trase | Avvik    | Terreng | m.o.h |
|-----------|-------------|------------------------------|------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| 2146      | 22/11-15    | X 359 692,1<br>Y 6 715 690,4 | 03.06.2013 | 367 m    | 229 m           | -60,3 %  | Middels | 500   |
| 2465      | -           | X 328 650,6<br>Y 6 698 069,2 | 22.10.2013 | 263 m    | 238             | -10,5 %  | Middels | 310   |
| 2747      | 21/11-15    | X 357 689,4<br>Y 6 722 273,6 | 01.01.2013 | 1604 m   | 295 m           | -443,7 % | Middels | 470   |
| 4459      | -           | X 341 256,9<br>Y 6 692 234,9 | 03.04.2014 | 342 m    | 291 m           | -17,5 %  | Lett    | 425   |
| 7067      | 22/11-15    | X 328 996,3<br>Y 6 692 811,4 | 14.02.2014 | 663 m    | 372 m           | -78,2 %  | Lett    | 400   |
| 8523      | -           | X 354 434,0<br>Y 6 721 342,7 | 19.01.2015 | 333 m    | 385 m           | 15,6 %   | Lett    | 300   |
| 11695     | -           | X 357 244,2<br>Y 6 676 019,1 | 20.11.2014 | 740 m    | 612 m           | -20,9 %  | Lett    | 270   |
| 12185     | -           | X 358 971,2<br>Y 6 673 200,4 | 04.06.2014 | 274 m    | 267 m           | -2,6 %   | Lett    | 275   |
| 16463     | 21/11-15    | X 353 406,6<br>Y 6 747 091,6 | 14.01.2014 | 886 m    | 618 m           | -43,4 %  | Middels | 340   |
| 16515     | 21/11-15    | X 352 132,8<br>Y 6 746 605,6 | 20.01.2014 | 528 m    | 333 m           | -58,6 %  | Lett    | 310   |
| 17298     | -           | X 678 789,5<br>Y 6 752 612,7 | 26.05.2014 | 437 m    | 421 m           | -1,7 %   | Lett    | 360   |
| 18017     | -           | X 350 355,2<br>Y 6 748 737,7 | 18.07.2013 | 413 m    | 420 m           | 1,7 %    | Lett    | 360   |
| 18156     | 20/11-15    | X 347 941,4<br>Y 6 751 785,9 | 21.05.2014 | 419 m    | 300 m           | -39,7 %  | Middels | 360   |
| 18820     | 21/11-15    | X 678 520,0<br>Y 6 754 433,2 | 01.01.2013 | 668 m    | 380 m           | -75,8 %  | Lett    | 320   |
| 20242     | -           | X 674 428,7<br>Y 6 762 952,5 | 06.09.2013 | 712 m    | 809 m           | 13,6 %   | Middels | 580   |
| 28900     | -           | X 672706,7<br>Y 6 765 827,8  | 14.10.2013 | 375 m    | 350 m           | -7,1 %   | Lett    | 520   |
| 29984     | 21/11-15    | X 346 111,7<br>Y 6 770 348,8 | 30.08.2014 | 428 m    | 262 m           | -63,4 %  | Lett    | 575   |
| 30128     | -           | X 332 976,1<br>Y 6 738 792,5 | 21.06.2014 | 245 m    | 206 m           | -18,9 %  | Lett    | 360   |
| 31272     | -           | X 310 872,0<br>Y 6 737 209,6 | 23.12.2013 | 155 m    | 309 m           | 49,8 %   | Lett    | 350   |
| 26171     | 21/11-15    | X 311 672,9<br>Y 6 737 341,1 | 07.06.2013 | 417 m    | 344 m           | -21,2 %  | Lett    | 330   |
| 30817     | -           | X 324 651,2<br>Y 6 703 687,6 | 15.07.2014 | 346 m    | 285 m           | -21,4 %  | Lett    | 360   |
| 31072     | -           | X 312 443,5<br>Y 6 737 223,9 | 01.01.2013 | 450 m    | 369 m           | -22,0 %  | Middels | 420   |

De terrengmessige utfordringene ved driftene i Hedmark var jevnt over lette, noen var middels utfordrende, men ingen var ansett til å være vanskelige. Jordmassene var oftest tynne morenemasser, med innslag av bløte myrer. I enkelte drifter var det noen områder med blokkstein og ujevnt terreng.

### 2.2.2 Buskerud fylke

Buskerud fylke er delt inn i flere ulike dalfører. Dette fører til variert terreng med høyfjell, skogkledde åser og dalbunner fine for jord- og skogbruk. Buskerud strekker seg fra havnivå og opp til 1930 meter som høyeste punkt (Thorsnæs, 2014). Dette fører til store variasjoner i hvilke jordmasser man finner i dette fylket. Det vanlige er en eller annen form for morenemasser og elveavsetninger etter siste istid. Det var fire kommuner som ble representert med til sammen 5 drifter i dette fylket (Tabell 2).

Tabell 2: Utvalgte drifter i Buskerud fylke med ulik informasjon om startpunkt på driftsveg, hogstdato, lengde på sporlogg, og på foreslått trase. Tabellen viser også det prosentvise avviket mellom sporlogg og foreslått trase, samt en grov vurdering av terrengets beskaffenhet.

| Objekt ID | Dato besøkt | Koordinat UTM: 32N           | Hogstdato  | Sporlogg | Foreslått trase | Avvik   | Terreng   | m.o.h |
|-----------|-------------|------------------------------|------------|----------|-----------------|---------|-----------|-------|
| 1145      | -           | X 228 588,4<br>Y 6 645 220,1 | 05.11.2014 | 226 m    | 233 m           | 3,0 %   | Lett      | 300   |
| 1586      | 05/12-15    | X 222 675,2<br>Y 6 648 520,3 | 08.12.2014 | 340 m    | 242 m           | -40,5 % | Middels   | 400   |
| 10834     | 20/11-15    | X 194 814,0<br>Y 6 635 323,1 | 20.03.2014 | 322 m    | 204 m           | -57,8 % | Vanskelig | 360   |
| 31160     | -           | X 526 363,<br>Y 6 619 453    | 24.11.2014 | 279m     | 240m            | -16 %   | Lett      | 350   |
| 31173     | 05/12-15    | X 523 520,<br>Y 6 614 404    | 30.10.2014 | 941m     | 620m            | -52 %   | Middels   | 600   |

I Buskerud var driftene mer utfordrende med små krappe daler og større slakere dalsider. Det var også et større innslag av drifter med fuktige områder og dårlig bæreevne. Størrelsen på driftene så også ut til å være svært varierende, både med tanke på driftsveglengde og antall kubikk drevet ut fra bestandene.

### 2.2.3 Østfold fylke

I Østfold var det bare en kommune representert i denne undersøkelsen. Dette er Sarpsborg kommune som historisk sett har vært en viktig kommune innen skogbruk (Thorsnæs, 2016). Det tømmeret som ble fløtet via Glomma ble fraktet hit hvor det fantes sagbruk og etter hvert industri. Terrenget hvor driftene er lokalisert er små kupert med mye innslag av fuktig mark. Begge driftene var av den korte typen, og vurdert til å være lett og middels vanskelig (Tabell 3)

Tabell 3: Utvalgte drifter i Østfold fylke med ulik informasjon om startpunkt på driftsveg, hogstdato, lengde på sporlogg, og på den foreslåtte traseen. Tabellen viser også det prosentvise avviket mellom sporlogg og foreslått trase, samt en grov vurdering av terrengets beskaffenhet.

| Objekt ID | Dato besøkt | Koordinat UTM: 32N           | Hogstdato  | Sporlogg | Foreslått trase | Avvik   | Terreng | m.o.h |
|-----------|-------------|------------------------------|------------|----------|-----------------|---------|---------|-------|
| 655       | 12/12-15    | X 267 393,6<br>Y 6 588 387,3 | 28.04.2015 | 225 m    | 216 m           | - 4,2 % | Lett    | 125   |
| 7402      | 12/12-15    | X 273 444,3<br>Y 6 589 112,6 | 16.05.2014 | 284 m    | 289 m           | 1,7 %   | Middels | 125   |

## 2.3 Datamaterialet

Datamaterialet som er brukt er hentet fra Kjell Anders Vikan, plansjef for skog i Statskog. Materialet består av en «toolbox» med tilhørende scripter, bestandsinformasjon over Statskogs eiendommer, sporlogg etter lassbærer og hogstmaskin, prioriterte veier og foreslåtte driftsveier vinter/sommer. I tillegg har vi mottatt all bakgrunnsdata (FKB, løsmasser, helling, jernbane og landskapsplan) fra Felipe Verdu, senior GIS – konsulent i GeoData.

Det ble også lastet ned laserdata (LiDAR) over de utvalgte driftene hvor dette var tilgjengelig. Laserdataen ble valgt ut etter nedbørsfeltet rundt driftene. Nedbørsfeltet tilsvarer området som samler opp alt vann som renner ned til driftsområdet.

### 2.3.1 Forberedelser feltarbeidet

For å danne oss et bilde av driftsforholdene når drifta og feltarbeidet ble gjennomført, ble det innhentet informasjon som på best mulig måte beskriver dette. Løsmassekart fra NGU (Norges Geologiske Undersøkelser) ble brukt da disse kartene kan gi en indikasjon på hvilken bæreevne området har basert på jordart. Informasjon knyttet til nedbørsmengde ble innhentet fra [www.senorge.no](http://www.senorge.no), da disse kunne gi oss en indikasjon på jordas vannmetting i de aktuelle tidsperiodene. Naturbaser ble sjekket for eventuelle forekomster av kulturminner, rødlistearter, BVO (Biologisk Viktige Områder) og lignende elementer som en skogbruksleder er pålagt å sjekke før gjennomføring av drift. Det ble laget kart over bratthet og løsmasseforekomster til hver enkel drift, for å kunne orientere og forstå hvorfor traseen ble lagt der den ble lagt. Disse kartene ble også brukt til å lokalisere andre mulige kjøretrasèer i terrenget ute i felt. Samtlige kart ble laget i ArcMap 10.2.2 og eksportert til PDF format med georeferanse informasjon. Kartene ble lastet opp på mobilappen «PDFmaps» for å enklere kunne orientere seg i terrenget.

### 2.3.2 Feltarbeidet

Første del av feltarbeidet gikk ut på å registrere driftas velteplass og av andre mulige områder som kunne benyttes til samme formål. Den brukte velteplassen ble lokalisert ved å tolke sporlogg i kombinasjon med å lete ute i felt. I tillegg ble større flate områder langs vei registrert som mulig velteplass. Videre ble det gjennomført befarings langs kjøretraseen og den foreslåtte kjøretraseen. Områder med utfordringer knyttet til bratthet, sidehelling, bæreevne, fuktighet og jevnhet ble skissert ned på kart og fotografert. Ved bratthetsutfordringer ble veien fotografert fra siden (90 grader inn mot veiens midtlinje), ved sidehellingsutfordringer ble veien fotografert parallelt med kjøreretningen. Fuktighet og bæreevne ble vurdert langsgående ved å tolke løsmassekart i kombinasjon med observasjoner langs trasèene. Det ble også benyttet jordspyd for å få en indikasjon

på jordas bæreevne. Skogsbilveiene ble vurdert kjørbare/ikke kjørbare avhengig om de var mulig å kjøre tømmerbil på eller ikke.

## 2.4 Dataanalyse

For samtlige scenarioer i dette kapitlet ble Sublime Text 3 og ArcMap 10.3.1 med utvidelsen «background geoprocessing» benyttet. Scriptredigeringen ble gjennomført i Sublime, mens toolboxen ble kjørt og redigert i ArcMap. Toolboxen består av 7 steg som er bygget opp av 7 scripter kodet i programmeringsspråket python, der python kombinerer flere verktøy i en og samme prosess. Våre analyser omfatter de 4 første stegene i tilgjengelighetsanalysen.

**Steg 1** lokaliserer framkommelige områder basert på maks tillatt bratthet, nøkkelbiotoper i Statskogs landskapsplan (barriere), fyllmasse (antropogent materiale) hentet fra løsmasser av NGU (barriere), skogsarealer fra AR5 (fremkommelig) og togbane fra FKB Bane (barriere).

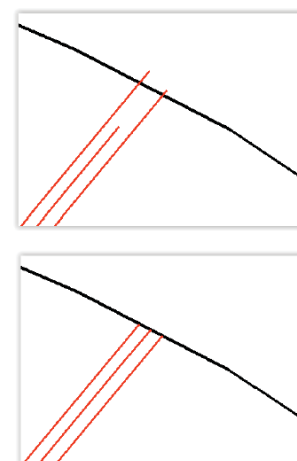
**Steg 2** lokaliserer bestandsmidtpunktet basert på fremkommelig areal (steg 1). Steg 1 ekskludere arealer som ikke er fremkommelig, dette fører til endringer i opprinnelig bestandsgrense. Bestandsmidtpunktet blir da plassert i sentrum av den nye bestandsgrensen.

**Steg 3** lager trasèene basert på fremkommelig areal og bestandsmidtpunktet. Traséen starter fra bestandsmidtpunkt og lokaliserer korteste og billigste rute frem til vei, samtidig som den unngår områdene definert som barriere (Steg 1). For å lokalisere den korteste og billigste ruta benyttes GIS verktøyene «cost distance» og «cost path». «Cost distance» beregner lavest akkumulerte kostnadsdistanse for hver rastercelle til slutt destinasjon, i tillegg beregnes «cost back-link» som definerer hvilken nabocelle som har lavest kostnad (cellene blir tildelt et tall mellom 1-8, der 1 tilsvarer nabocellen med lavest kostnad). «Cost path» lokaliserer traseen med lavest kostnad fra startpunkt til slutt destinasjon basert på «cost distance» og «cost back-link».

**Steg 4** kobler trasèene til vei. Rastercellene som brukes har en oppløsning på 5x5 meter, dette gjør at traseen enten blir for lang eller for kort

avhengig av rastercellenes plassering i forhold til veiene (Figur 1). Hvordan klargjøring av datamaterialet og analysen gjennomføres er godt beskrevet av Verdù (2015).

Før selve analysene ble det gjennomført en validering av datamaterialet. Dette ble gjort ved å kjøre verktøyet med originaldata og sammenligne det med Statskogs analyse. En slik sammenligning vil fange opp eventuelle avvik og feil mellom datagrunnlagene i vår og Statskogs analyse.



Figur 1: Illustrering av steg 4. Den svarte streken representerer vei, mens de røde strekene representerer foreslåtte trasèer. Øverste bilde er før, nederste bilde er etter steg 4 er fullført (Verdù, 2015).

Som nevnt innledningsvis er formålet med oppgaven å se hvordan verktøyets nøyaktighet påvirkes av ulike tiltak. Det ble i denne sammenheng gjennomført 7 ulike scenarioer, der vekting, klasseinndeling og datakvalitet ble endret mellom scenarioene. Det ble også implementert ekstra kartdata for å se hvilke virkninger det hadde på resultatet.

#### 2.4.1 Scenario 1

Det første scenarioet ble kjørt uten endringer i verktøyet. Det ble benyttet original grunnlagsdata og 25 grader maks helling (samme datagrunnlag og forutsetninger Statskogs resultater er basert på) (Tabell 8)

#### 2.4.2 Scenario 2

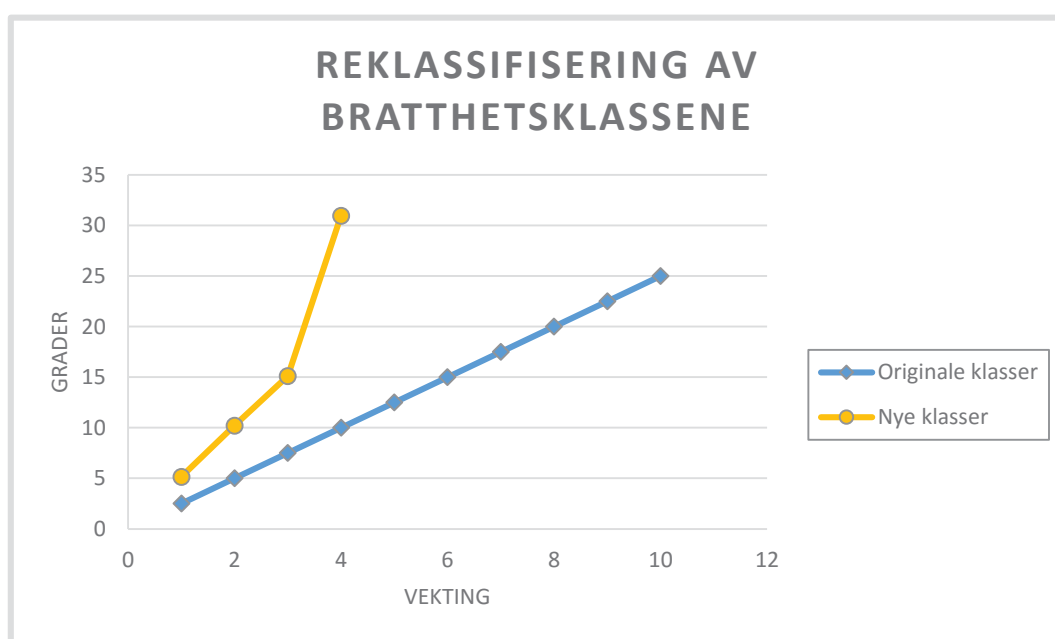
Det andre scenarioet ble kjørt med høyere nøyaktighet på bratthet, der DTM10 ble erstattet med laserdata (se Tabell 8). I forkant av scenarioet ble laserdataen klargjort. Laserdataen var av to forskjellige filtyper (LAS og XYZ) og det ble derfor benyttet to ulike fremgangsmåter for å klargjøre dem på. For å klargjøre LAS filene ble verktøyene «Create LAS dataset» og «LAS dataset to raster» benyttet. «Create LAS dataset» samler alle LAS filer i en og samme LAS datasett, mens «LAS dataset to raster» konverterer LAS datasettet til rasterformat. For å klargjøre XYZ filene ble verktøyet «ASCII 3D to feature class» og «terrain to raster» benyttet, etter «ASCII 3d to feature class» er gjennomført importeres den nye «feature class» inn i et «terrain dataset». Deretter konverteres «terrain datasettet» til rasterformat ved bruk av «terrain to raster». Før datasettene ble konvertert til raster ble det gjennomført et utvalg av lasertreffene, der bare bakketreff ble valgt. For å slå sammen og lage bratthetskart ble verktøyene «mosaic to new raster» og «slope» benyttet. «Mosaic to new raster» slår sammen flere rasterfiler til et og samme raster datasett. «Slope» identifiserer terrengets bratthet basert på cellenes helling.

#### 2.4.3 Scenario 3 og 4

I det tredje og fjerde scenarioet ble bratthetsinndelingen og vektingen av dem endret. Klassene ble endret fra ti 2.5 graders klasser til fire nye klasser (**1:** 0 – 5.1, **2:** 5.1 – 10.2, **3:** 10.2 - 15.1 og **4:** 15.1- 31). De nye bratthetsklassene og vektingen av dem er basert på Brunbergs (2004) forskning der han undersøker lassbærerproduktivitet i ulike terrengforhold og bratthetsklasser (se Tabell 4 og Figur 2). Scenario 3 ble kjørt med samme datagrunnlag som scenario 1 (DTM10), mens scenario 4 ble kjørt med samme datagrunnlag som scenario 2 (Laserdata). Maks tillat bratthet ble økt fra 25 til 31 grader for begge scenarioene (se Tabell 8)

Tabell 4: Originale og nye bratthetsklasser og vektingen av dem.

| Originale bratthetsklasser |             | Vekting | Nye bratthetsklasser<br>(Brunberg, 2004) |         | Kr/m <sup>3</sup> ub/5m | Ny<br>vekting |
|----------------------------|-------------|---------|------------------------------------------|---------|-------------------------|---------------|
| Grader                     | Prosent     |         | Grader                                   | Prosent |                         |               |
| 0 - 2.5                    | 0 – 4.4     | 1       | 0 - 5.1                                  | 0 - 9   | 0.23                    | 1             |
| 2.5 - 5                    | 4.4 – 8.7   | 2       | 5.1 - 10.2                               | 9 - 18  | 0.26                    | 2             |
| 5 - 7.5                    | 8.7 – 13.2  | 3       | 10.2 - 15.1                              | 18 - 27 | 0.30                    | 3             |
| 7.5 - 10                   | 13.2 – 17.6 | 4       | 15.1 - 31                                | 27 - 60 | 0.39                    | 4             |
| 10 - 12.5                  | 17.6 – 22.2 | 5       | -                                        | -       | -                       | -             |
| 12.5 - 15                  | 22.2 – 26.8 | 6       | -                                        | -       | -                       | -             |
| 15 - 17.5                  | 26.8 – 31.5 | 7       | -                                        | -       | -                       | -             |
| 17.5 - 20                  | 31.5 – 36.4 | 8       | -                                        | -       | -                       | -             |
| 20 - 22.5                  | 36.4 – 41.4 | 9       | -                                        | -       | -                       | -             |
| 22.5 - 25                  | 41.4 – 46.6 | 10      | -                                        | -       | -                       | -             |



Figur 2: Sammenligner Originale bratthetsklasser mot de nye basert på Brunberg (2004).

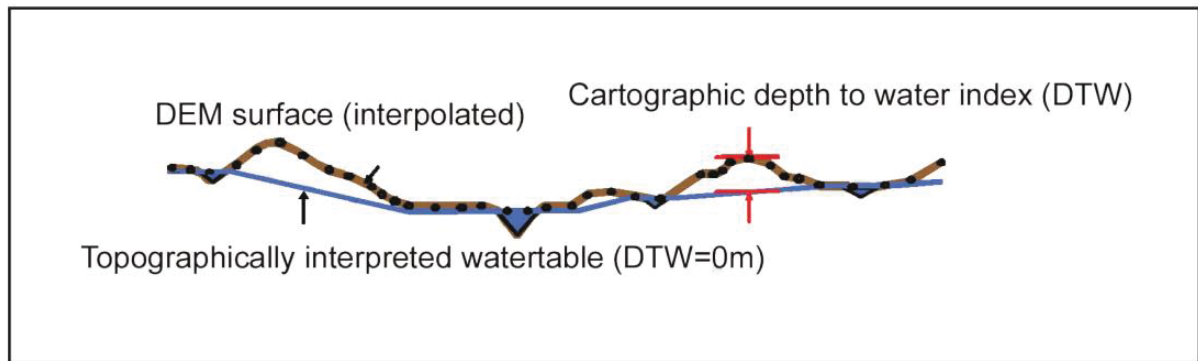
#### 2.4.4 Scenario 5 og 6

I det femte og sjette scenarioet ble fuktighetsinformasjon implementert. Fuktighetsinformasjonen ble laget ved bruk av verktøyet «DTW» (Depth to Water index), hvordan analyse gjennomføres er godt beskrevet i (Instruksjon för tillverkning av Wetmap-kartor). DTW går ut på at dybde til grunnvann blir beregnet med utgangspunkt i nærmeste åpne vannflate og terrengets utforming. Figur 3 viser formelen som blir brukt i beregningen av DTW.

$$DTW(m) = \left[ \sum \frac{dz_i}{dx_i} a \right] x_c,$$

Figur 3: Formelen for beregning av DTW, Kilde: (Murphy, et al., 2011)

$Dz/Dx$  er hellingen på en celle i rasteret, (i) representerer en celle langs ruta. (a) er verdi 1 om ruten krysser parallelt med cellegrensene, og får verdien  $2^{0,5}$  når den krysser diagonalt gjennom cellen. ( $X_c$ ) er cellestørrelsen i meter (Murphy, et al., 2011).



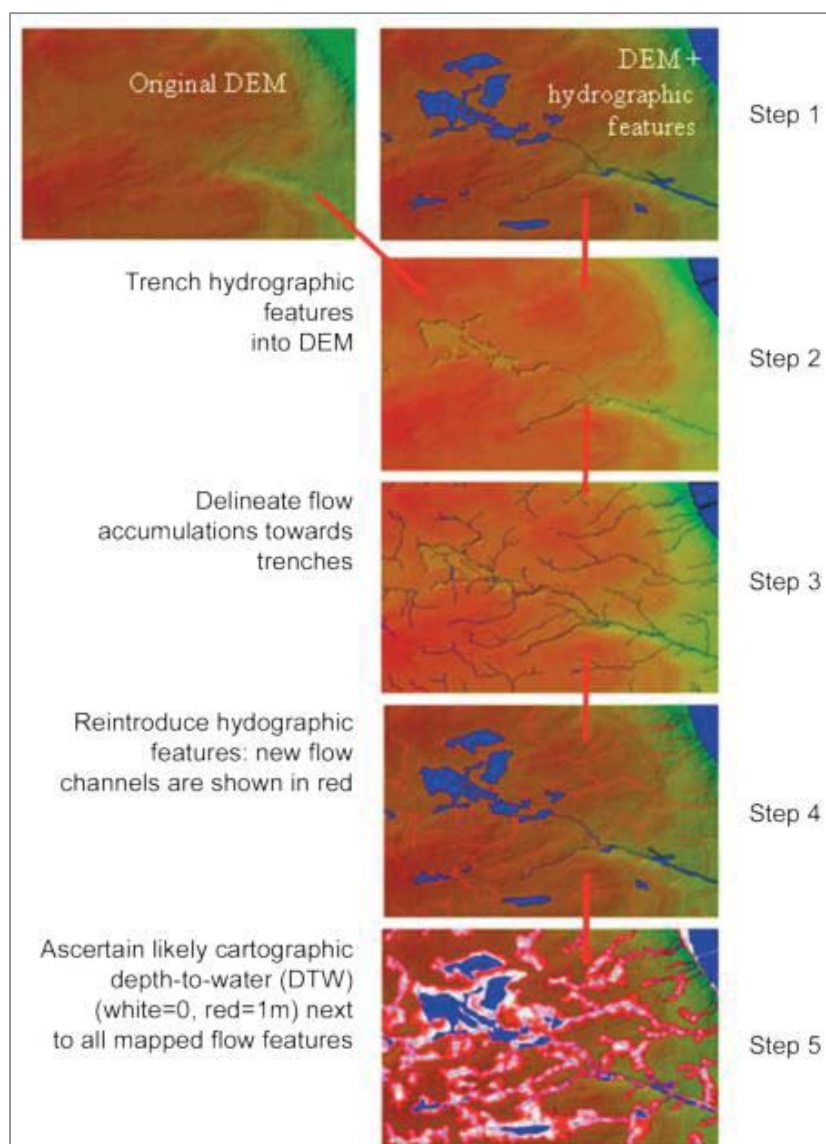
Figur 4: Visuell fremstilling av beregning av dybde til grunnvann (DTW) (Arp, 2009).

Verktøyet (DTW) fungerer slik;

- I steg 1 er utgangspunktet to DTM-kartlag. Det første kartlaget består bare av terrengformasjonene, og det andre kartlaget er en DTM hvor man har registrert vannkonturer. Dette gjøres ved å gjøre et utvalg på bakketreff i laserdataen.
- I Steg 2 blir vannflatene fjernet og det blir dannet forsenkninger i rasteret som fungerer som 0-verdier. I senere beregninger vil disse «grøftene» virke som tilknytningspunkt for de beregningene som gjøres i steg 3.
- I steg 3 blir «flow accumulation» beregnet for området. DTW bruker høydedataen i rasteret for å finne hvilken fallretning vannet vil få og hvor det samler seg. Dalbunner vil da bli beregnet som nye årer for vanntransport, og de vil ligne på nye bekker i Steg 3.
- I steg 4 kombineres steg 3 og vannkonturene i fra steg 1. Grunnvannets høyde beregnes så ut i fra de ulike åpne vannflatene. Skjematisk fremstilt i en tverrprofil vil det se ut som i Figur 4, hvor man trekker en linje fra en åpen vannkontur til den neste. Terreng mellom DTM og linja mellom vannkonturene kan heve å senke seg, og det er denne avstanden som blir beregnet i dette steget. Hver celle i rasteret får beregnet en høydeverdi ved hjelp av formelen vist i Figur 3.
- I steg 5 presenteres verdiene til hver enkelt celle med en fargegradient. I Figur 5 representerer en lysende farge lav dybde til grunnvann, mens den mørkere farge viser høy dybde til grunnvann. Hver enkelt celledverdi kan deles inn i ulike klasser, eksempelvis slik som i Tabell 5, alt ettersom hvordan man vil presentere dybde til grunnvann.

Tabell 5: Eksempel på Inndeling av klasser i en DTW-analyse.

| Klasse | Fargegradient | Dybde til grunnvann |
|--------|---------------|---------------------|
| 1      |               | > 1 meter           |
| 2      |               | 0,5 – 1 meter       |
| 3      |               | 0 – 0,5 meter       |



Figur 5: Stegvis presentasjon av hva som skjer ved beregning av dybde til grunnvann (DTW) (Arp, 2009).

Resultatet av fuktighetsanalysen ble laget med 2m x 2m celledørrelse og deretter konvertert til TIFF format og celledørrelse 5m x 5m. For å kunne implementere fuktighetsrasteret ble det lagt til et nytt parameter i toolboxen. Script endringen gikk i hovedsak ut på å reklassifisere fuktighetskartet inn i 3 nye klasser (1: > 1, 2: 0.5 - 1 og 3: 0 – 0.5) (se Tabell 7). Dette ble gjort ved bruk av verktøyet «Reclassify» som lar deg reklassifisere gamle verdier inn i nye klasser etter ønske. Videre ble det reklassifiserte fuktighetskartet inkludert inn i den allerede eksisterende «weighted Overlay» tabellen

i scripten. Innflytelsen for hvert enkelt datalag ble endret til 33 % for bratthet, 33% for framkommelighet og 34% fuktighetsrasteret.

For å beregne kostnaden knyttet til fuktighetsrasteret ble det gjennomført en rekke økonomiske beregninger. Beregningene er basert på gjennomsnittlig driftsstørrelse og driftsveilengde for Hedmark, Buskerud og Østfold. Kostnader knyttet til maskin, reparasjon og forebyggendetiltak er hentet fra Larsson & Staland (2002) og Jan Bjerketvedt (pers. med. 23. mars, 2016) (Tabell 6). Fuktighetsklasse 1 tilsvarer gjennomsnittlig maskinkostnad, fuktighetsklasse 2 tilsvarer kostnader knyttet til reparasjoner av sporskader og fuktighetsklasse 3 tilsvarer kostnaden for kavlelegging (Tabell 7). Alle kostnader er omregnet og oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m for å tilsvare rasterets cellestørrelse. I sammenheng med vektingen av fuktighetsrasteret ble det gjennomført en følsomhetsanalyse for å se virkningen mellom ulike driftsstørrelser. Det ble beregnet kostnader til 3 ulike driftsstørrelser (500, 1000 og 2000 m<sup>3</sup>) etterfulgt av en vekting. Deretter ble det beregnet et gjennomsnitt av vektingstillene for hver fuktighetsklasse.

I scenario 5 ble det brukt originale bakgrunnsdata (DTM10 og original bratthetsinndeling) i tillegg til fuktighetsinfo, og i scenario 6 ble det benyttet laserdata, de originale bratthetsinndelingene og fuktighetsinfo (Tabell 8)

Tabell 6: Forutsetninger for kostnadsberegninger for fuktighetsrasteret

| Forutsetninger for kostnadsberegninger: Fuktighetsrasteret |                         |
|------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Driftsstørrelse                                            | 1000 m <sup>3</sup>     |
| Laststørrelse                                              | 14 m <sup>3</sup> /last |
| Maskinkostnad                                              | 1000 kr/time            |
| Driftsveilengde                                            | 430 meter               |
| Sporskade gjenoppretting                                   | 5 kr/m                  |
| Flyttekostnad                                              | 5000 kr                 |
| Kavlelegging                                               | 140 kr/m                |
| Kjørehastigheter:                                          | Klasse 1: 3.0 km/t      |
|                                                            | Klasse 2: 2.0 km/t      |
|                                                            | Klasse 3: 1.5 km/t      |

Tabell 7: Vekting og klasseinndeling på fuktighetsrasteret.

| Fuktighetsklasse | Dybde til grunnvann (m) | Kr/m <sup>3</sup> /5m | Vekting |
|------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
| 1                | > 1                     | 0.12                  | 1       |
| 2                | 0.5 - 1                 | 0.20                  | 2       |
| 3                | 0 - 0.5                 | 0.94                  | 9       |

#### 2.4.5 Scenario 7

I det siste scenarioet ble verktøyet kjørt med samtlige nye tiltak (laserdata, ny bratthetsinndeling og fuktighetskart). Maks helling ble satt til 31 grader (se Tabell 8).

Tabell 8: Oversikt over de ulike tiltakene i hvert scenario.

|            | Høydegrunnlag | Maksimal bratthet | Ny bratthetsinndeling | Fuktighetsinfo |
|------------|---------------|-------------------|-----------------------|----------------|
| Scenario 1 | DTM10         | 25 grader         | Nei                   | Nei            |
| Scenario 2 | Laserdata     | 25 grader         | Nei                   | Nei            |
| Scenario 3 | DTM10         | 31 grader         | Ja                    | Nei            |
| Scenario 4 | Laserdata     | 31 grader         | Ja                    | Nei            |
| Scenario 5 | DTM10         | 25 grader         | Nei                   | Ja             |
| Scenario 6 | Laserdata     | 25 grader         | Nei                   | Ja             |
| Scenario 7 | Laserdata     | 31 grader         | Ja                    | Ja             |

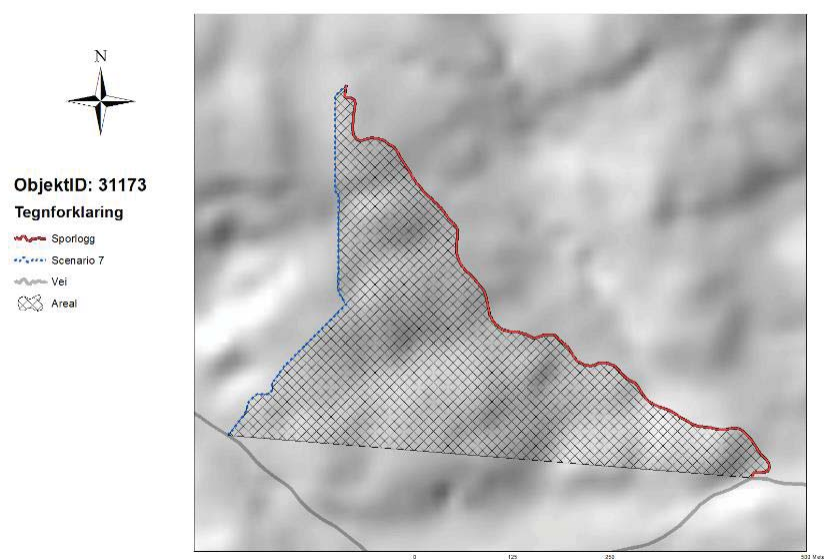
## 2.5 Sammenligning

For å identifisere virkningen av tiltakene ble resultatene stilt opp mot hverandre. Dette ble gjort ved å beregne lengdeavvik og areal mellom sporlogg og foreslåtte trasèer, der sporloggen er forutsatt til å være den «riktige» traséen. I tillegg til dette ble det for hver enkelt drift laget kart der samtlige trasèer blir illustrert.

### 2.5.1 Lengdeavvik og areal

Lengdeavviket tilsvarer lengde forskjellen mellom sporlogg og foreslått trase (%). Ettersom bestandsmidtpunktet endrer seg mellom scenarioene ble samtlige sporlogger redigert slik at de ble koblet til bestandsmidtpunktet. Lengden til sporlogg og hver enkelt trase ble deretter beregnet i «attribute table».

For å finne arealet mellom sporlogg og foreslått trase ble det trukket en rett strek mellom tilknytningspunktene på vei. Videre ble det tegnet et polygon der sporlogg, foreslått trase og den rette linjen tilsvarer ytterkantene på polygonet. For å beregne arealet for polygonet ble «calculate field» i «attribute table» benyttet (se Kart 3 for eksempel).



Kart 3: Eksempel på arealberegning

### 2.5.2 Kostnadsberegninger

For å kunne sammenligne kostnadene mellom sporlogg og foreslåtte trasèer ble det utført kostnadsberegninger for samtlige drifter og scenarioer. Beregningene ble utført ved å reklassifisere bratthets- og fuktighetsrasteret etter vektingen i Tabell 4 og Tabell 7. Videre ble kostnadene til hver vektingsklasse implementert slik at hver rastercelle fikk en kostnad i  $\text{kr/m}^3/5\text{m}$ . Verdiene der trasèene overlapper kostnadsrasteret ble identifisert ved å konvertere trasèene til punkter.

Kostnaden fra hver enkelt rastercelle ble deretter eksportert til punktene.

Denne GIS analysen ble utført ved å bruke «Polyline to raster», «Raster to point» og «Extract value to point». «Polyline to raster» konverterer polyline (trasèene) til rasterformat, «Raster to point» konverterer rasterlaget til punkt, der hver rastercelle får et punkt, «Extract value to point» eksporterer rasterverdiene der punktet er plassert til punktets «attribute table».

For å omgjøre totalkostnaden fra  $\text{kr/m}^3/5\text{m}$  til  $\text{kr/m}^3$  ble følgende formel brukt:

$$\text{kr/m}^3 = (\text{Kr/m}^3/5\text{m} / 5\text{m}) \times \text{foreslått trasélengde} / 1000\text{m}^3$$

For å teste om det var statistisk signifikant forskjell mellom kostnadene i scenarioene ble kostnadstallene kjørt gjennom statistikkprogrammet «R Commander». Først ble kostnadstallene testet for normalfordeling (Shapiro-Wilk normality test), videre ble det gjennomført «T-test» der scenario 2-7 ble sammenlignet med scenario 1. Dette ble utført for bratthets- og fuktighetskostnadene hver for seg og samlet.

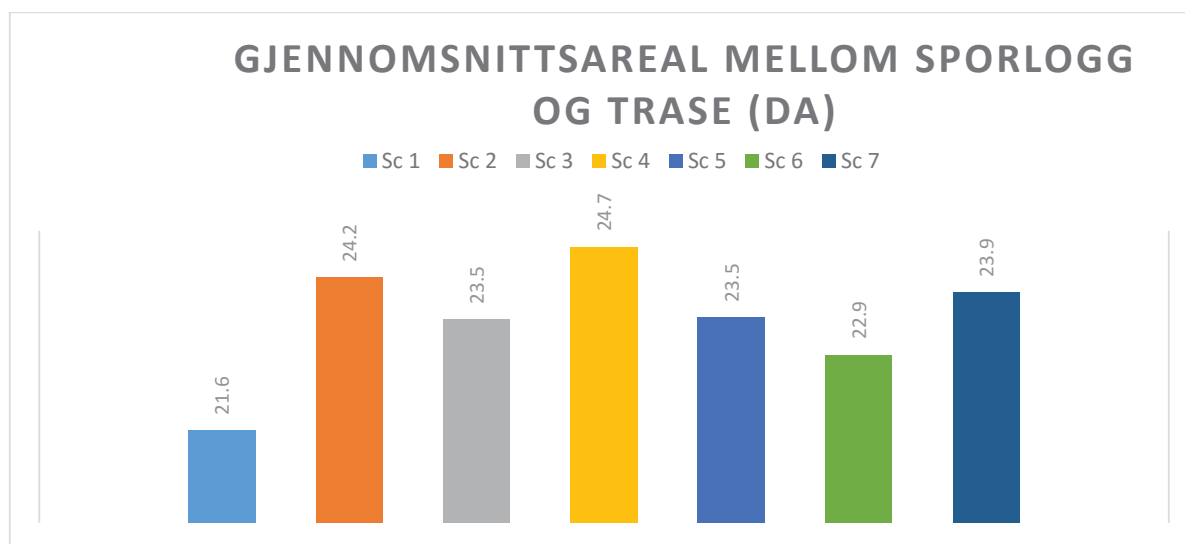
## 3 Resultat

Resultatkapittelet består av et avvikskapittel og et kartpresentasjonskapittel. I tillegg presenteres det en følsomhetsanalyse knyttet til vektingen av fuktighetsrasteret og statistikk. Avvikskapittelet presenterer areal- og lengdeavvik, samt kostnadsberegninger mellom sporlogg og foreslåtte trasèer, Kartpresentasjonskapittelet viser forslag på trasevalg på 4 utvalgte drifter som vi mener representerer totalen, de resterende driftene blir plassert som vedlegg. De utvalgte driftene har ulik grad av fuktighet- og bratthetsproblematikk. 4 av driftene ble ekskludert fra beregningene da veiene som ble brukt i verktøyet ikke var kjørbare i virkeligheten og på grunn av manglende laserdata (objektID: 1586, 2747, 10834 og 31173). Samtlige kart har 1 meters høydekurver, der 1 meters ikke fins benyttes 5 meters høydekurver.

### 3.1 Avvik

#### 3.1.1 Areal

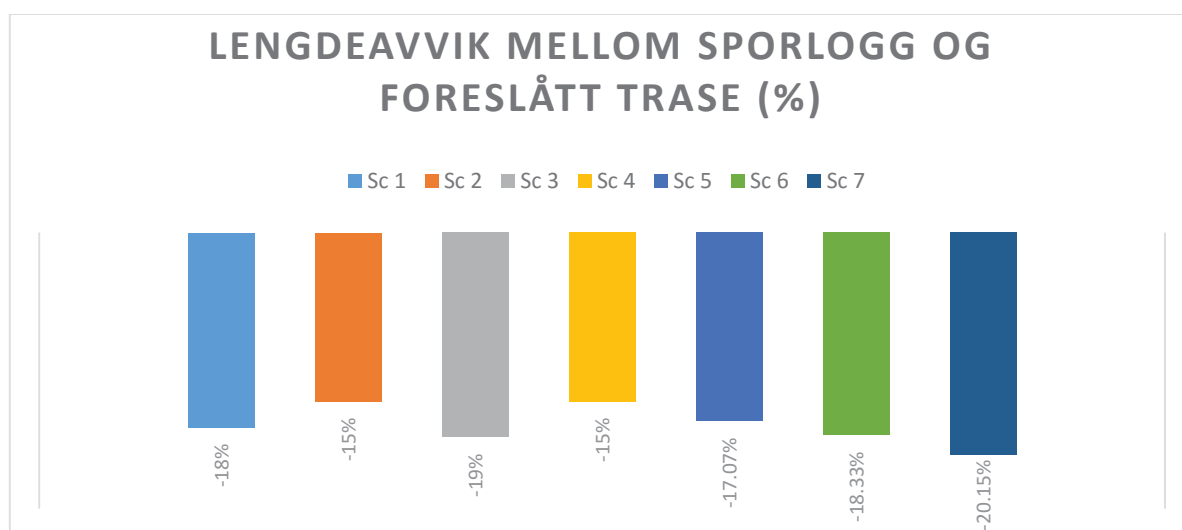
Resultatene i Figur 6 viser at alle endringer i «toolboxen» øker det gjennomsnittlige arealet mellom sporlogg og trase. Scenario 1 har det laveste gjennomsnittlige arealet (21.6 dekar), mens scenario 4 har det høyeste (24.7 dekar), som tilsvarer en økning på 3.1 dekar sammenlignet med scenario 1.



Figur 6: Viser gjennomsnittlig areal mellom sporlogg og trase for samtlige drifter fordelt på 7 ulike scenario. Resultatet er oppgitt i dekar (daa)

#### 3.1.2 Lengdeavvik

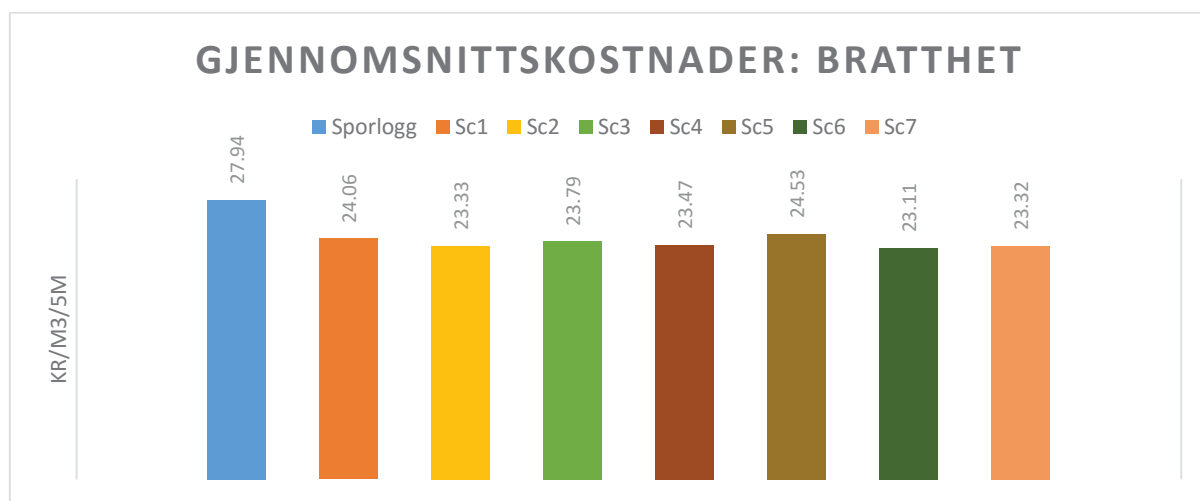
Resultatene i Figur 7 viser at lengdeavviket mellom sporlogg og foreslåtte trasèer har en tendens til å øke med økt tilgang på informasjon. Scenario 7 har det høyeste avviket (-20.15%), som tilsvarer en reduksjon på 1745 meter totalt sammenlignet med sporlogg. Scenario 2 og 4 har det laveste (-15%), som tilsvarer en reduksjon på 1363 og 1385 meter totalt.



Figur 7: Viser lengdeavvik mellom sporlogg og foreslått trase for samtlige drifter i prosent (%) fordelt på 7 ulike scenarioer

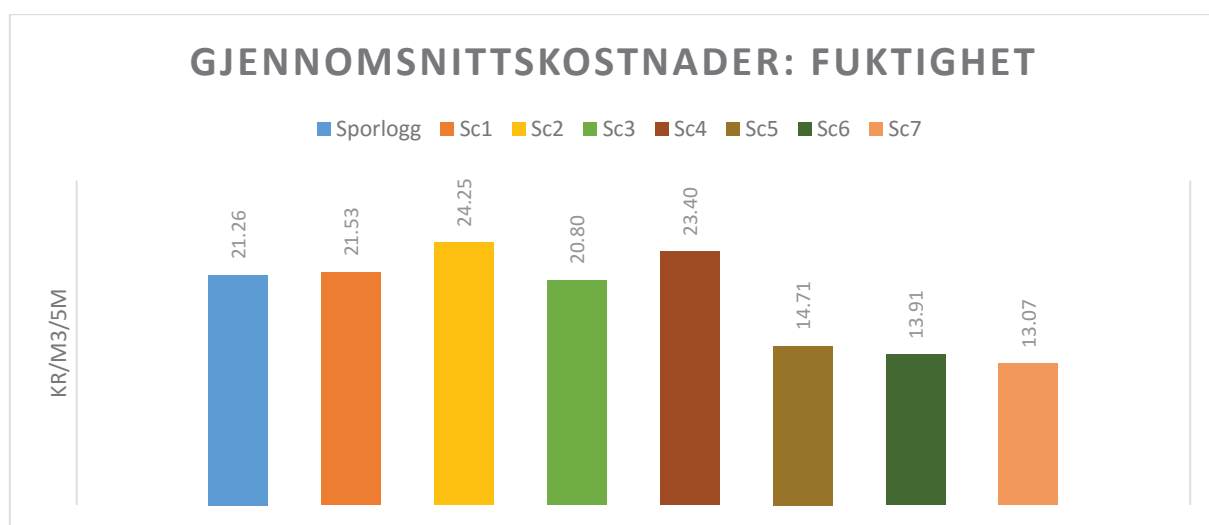
### 3.1.3 Kostnadsberegninger

Resultatene i Figur 8 viser at endringer i bratthetsinndeling, implementering av laserdata og fuktighetsinformasjon reduserer kostnaden knyttet til bratthet for samtlige scenarioer sammenlignet med sporloggen. Hvis man ser bort fra sporloggen så er det svært små variasjoner mellom scenarioene. Scenario 6 har lavest kostnad (23.11 kr/m<sup>3</sup>/5m), mens scenario 5 har høyest (24.53 kr/m<sup>3</sup>/5m).



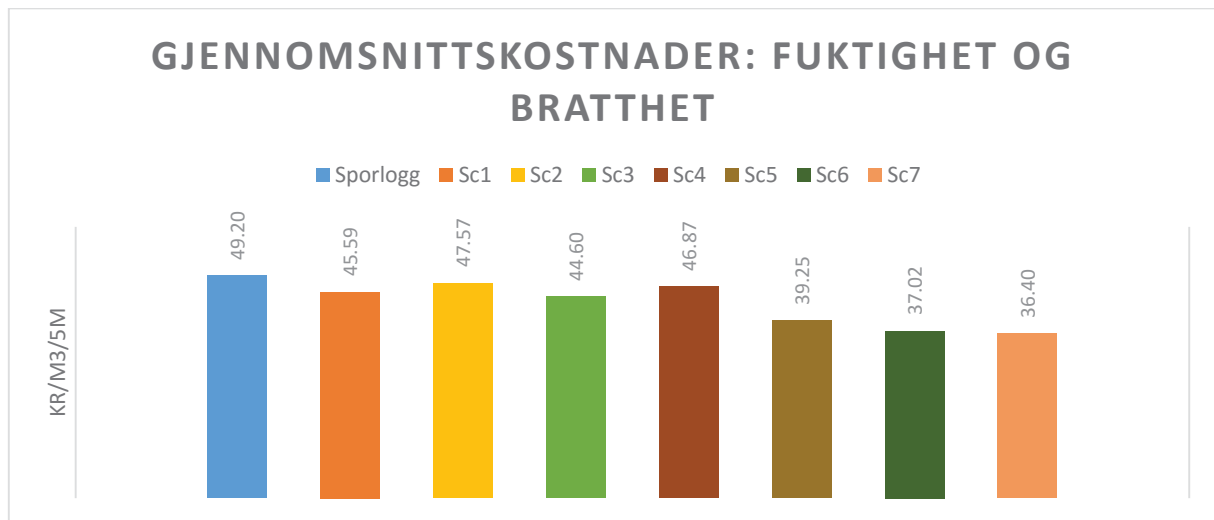
Figur 8: Viser gjennomsnittskostnader knyttet til bratthet for samtlige drifter fordelt på sporlogg og 7 ulike scenarioer. Resultatet er oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m.

Resultatene i Figur 9 viser at de gjennomsnittlige kostnaden knyttet til fuktighet er høyere for scenarioene uten tilgang på fuktighetsinformasjon (sc1, sc2, sc3 og sc4) sammenlignet med de som har tilgang (sc5, sc6 og sc7). Scenario 2 har høyest gjennomsnittlig kostnad (24.25 kr/m<sup>3</sup>/5m), mens scenario 7 har lavest (13.07 kr/m<sup>3</sup>/5m).



Figur 9: Viser gjennomsnittskostnader knyttet til fuktighet for samtlige drifter fordelt på sporlogg og 7 ulike scenarioer. Resultatet er oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m.

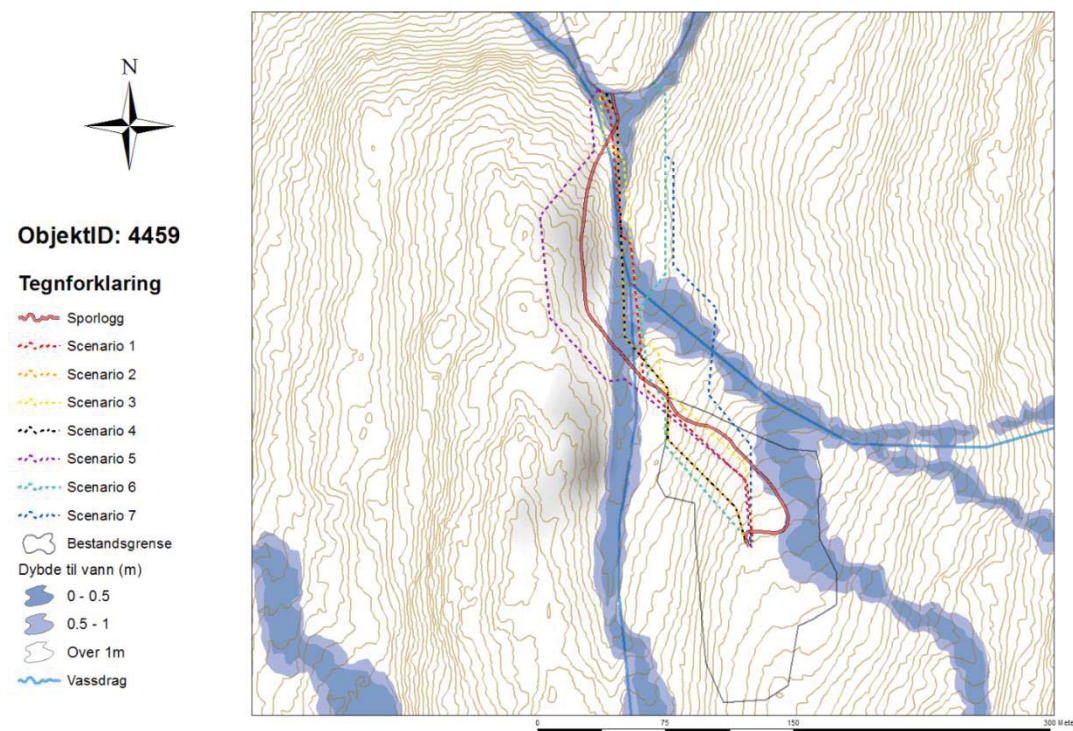
Resultatene i Figur 10 viser at scenarioene med tilgang på fuktighetsinformasjon ligger noe lavere enn scenarioene uten. Scenario 7 har den laveste gjennomsnittskostnaden (36.40 kr/m<sup>3</sup>/5m), mens sporloggen har høyeste (49.20 kr/m<sup>3</sup>/5m). Sammenligner vi scenarioene er det scenario 4 som har høyest gjennomsnittskostnad (46.87 kr/m<sup>3</sup>/5m).



Figur 10: Viser gjennomsnittskostnader knyttet til bratthet og fuktighet for samtlige drifter fordelt på sporlogg og 7 ulike scenarioer. Resultatet er oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m.

## 3.2 Kartpresentasjoner

### 3.2.1 ObjektID 4459



Kart 4: Viser sporlogg etter maskin og verktøyets forslag på hvor trasèene skal legges i terrenget mellom de ulike scenarioene for objektID 4459. Det blåfargede området indikerer dybde til vann.

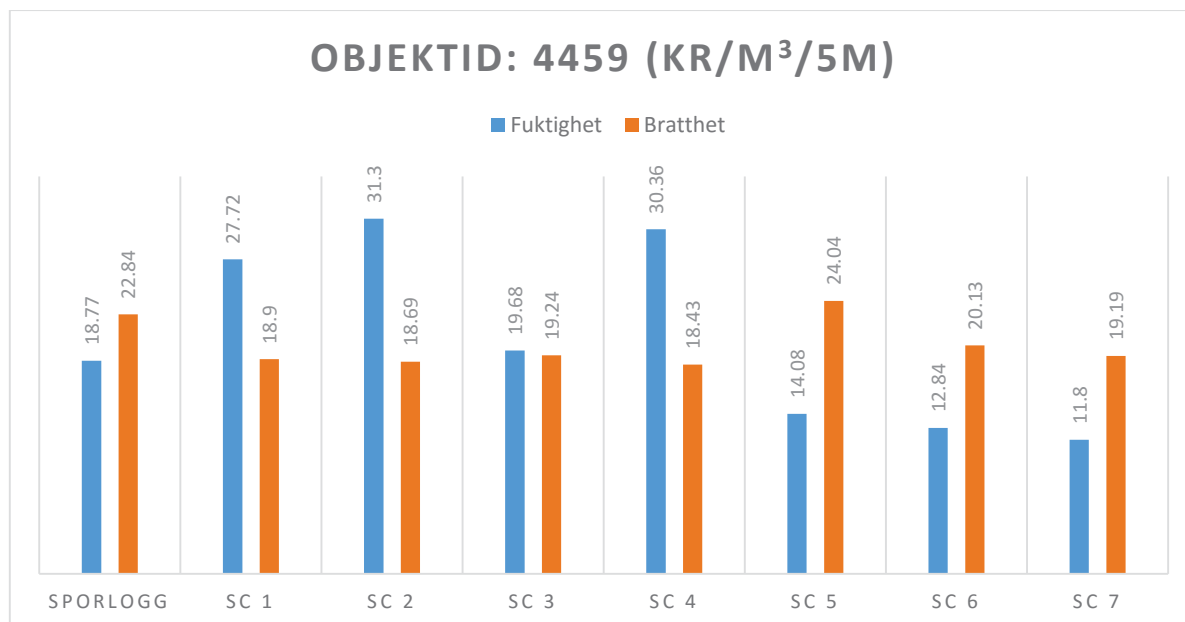
I Kart 4 er sporloggen lagt oppe i siden av en dal utenfor det blå området. Sporloggen krysser seg over det blå for så å komme seg inn i bestandet. Scenario 1, 2, 3 og 4 konsentrerer seg alle bare om bratthet og følger den billigste ruten inn i bestandet via dalbunnen for så å klyve opp i bestandet. I scenario 5, 6 og 7 er fuktighetsinfo inkludert og de planlagte trasèene unngår for det meste de blå områdene. Scenario 5 velger å kjøre på samme side av dalen som sporloggen, men unngår mye blått i starten for så å møte alle høydekurvene vinkelrett og kjører direkte mot toppen og flatere terreng. Så krysser den det blå området på et smalt krysningspunkt for å komme seg i rett retning mot bestandet. Scenario 6 og 7 velger samme startpunkt, men krysser det fuktige området på to ulike steder. Scenario 6 krysser lengre ned i dalen, mens scenario 7 krysser lenger opp på et smalere område.

Som det framgår i Tabell 9 så er det relativt liten variasjon på driftsveglengdene mellom scenarioene. Scenario 5 hadde den lengste ruta (339 m), mens scenario 4 hadde kortest (290m). Scenario 5 har minst lengdeavvik (1%) sammenlignet med sporloggen, mens scenario 4 hadde høyest (-18 %). Scenario 7 har størst areal (10.1 daa), mens scenario 1 har minst (4.1 daa).

*Tabell 9: Oversikt over lengde på sporlogg og planlagt veg i tilgjengelighetsanalysen, samt avvik mellom disse i prosent og arealet mellom sporlogg og planlagt driftsveg for bestand nummer 4459.*

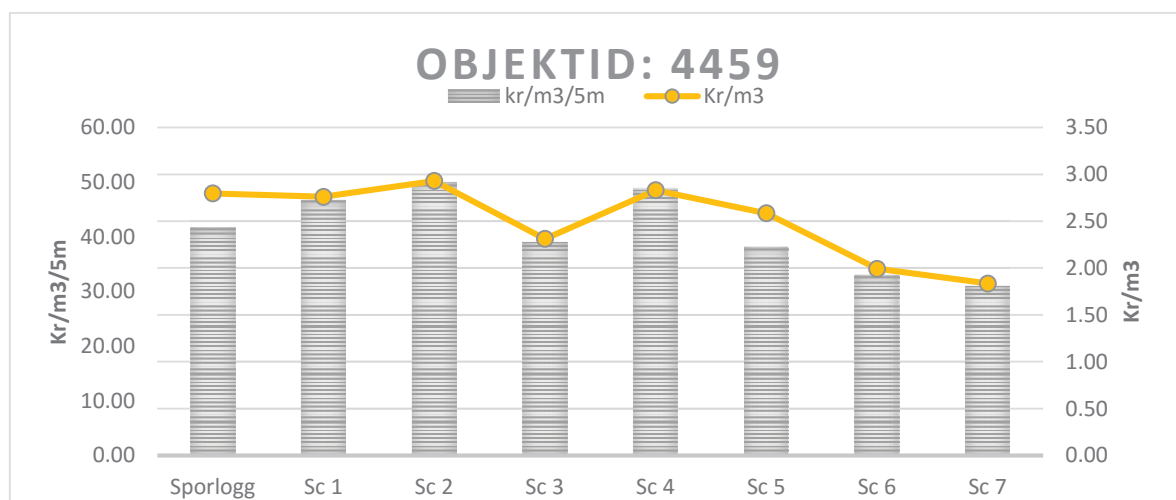
| <b>ObjektID: 4459</b> | <b>Sporlogg (m)</b> | <b>Planlagt veg (m)</b> | <b>Prosent avvik</b> | <b>Areal (daa)</b> |
|-----------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| Scenario 1            | 333                 | 296                     | -13 %                | 4.1                |
| Scenario 2            | 336                 | 293                     | -15 %                | 4.7                |
| Scenario 3            | 333                 | 297                     | -12 %                | 4.3                |
| Scenario 4            | 341                 | 290                     | -18 %                | 4.7                |
| Scenario 5            | 337                 | 339                     | 1 %                  | 4.5                |
| Scenario 6            | 336                 | 302                     | -11 %                | 8.5                |
| Scenario 7            | 336                 | 296                     | -14 %                | 10.1               |
| Gjennomsnitt          | 336                 |                         |                      |                    |

Resultatene i Figur 11 viser at scenarioene uten tilgang på fuktighetsinformasjon har noe høyere kostnader knyttet til fuktighet enn de som har tilgang. Scenario 1, 2 og 4 har høyest (27.72, 31.30 og 30.36 kr/m<sup>3</sup>/5m), mens scenario 5, 6 og 7 har lavest (14.08, 12.84 og 11.80 kr/m<sup>3</sup>/5m). Bratthetskostnader varierer forholdsvis lite mellom scenarioene og sporloggen (18.43 – 24.04 kr/m<sup>3</sup>/5m).



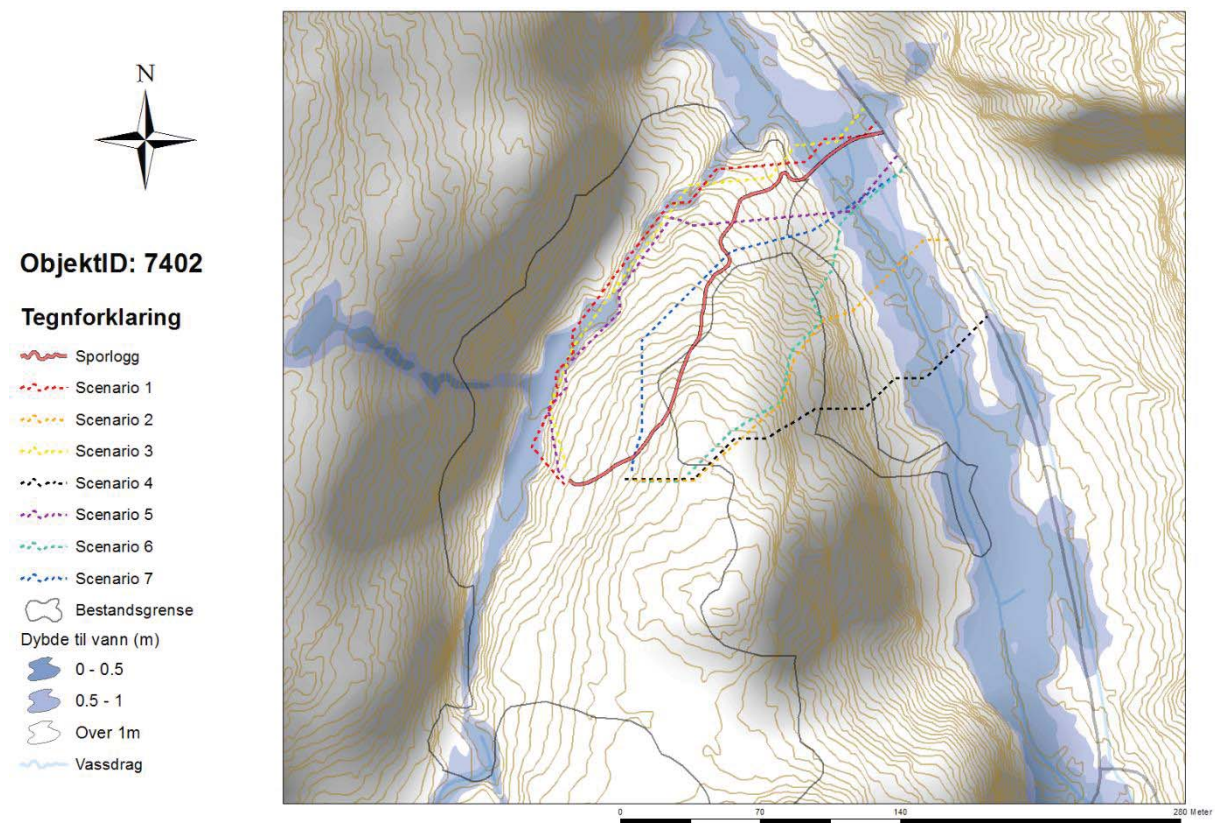
Figur 11: Viser kostnadsfordelingen mellom fuktighet og bratthet for objektID 4459. Resultatet er oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m.

Resultatene i Figur 12 viser tendenser til synkende kostnad ved økt tilgang på informasjon. Scenario 2 har høyest kostnad (2.93 kr/m<sup>3</sup>), mens scenario 7 har lavest (1.83 kr/m<sup>3</sup>).



Figur 12: Totalkostnader (bratthet og fuktighet) til sporlogg og samtlige scenarioer oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m og kr/m<sup>3</sup>. ObjektID 4459.

### 3.2.2 ObjektID 7402



Kart 5: Viser sporlogg etter maskin og verktøyets forslag på hvor trasèene skal legges i terrenget mellom de ulike scenarioene for ObjektID 7402. Det blåfargede området indikerer dybde til vann.

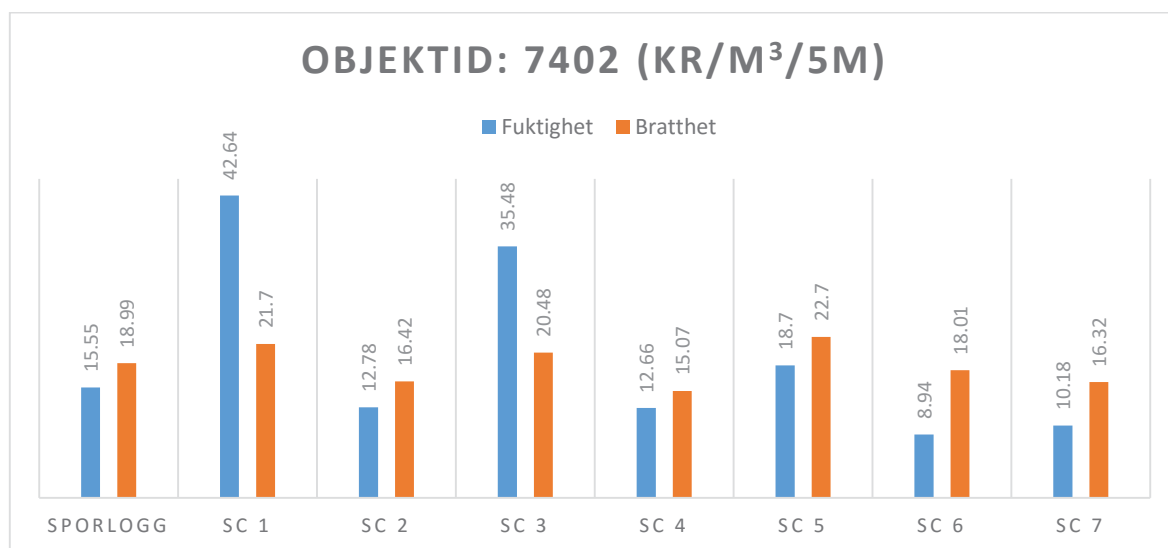
Den gjennomsnittlige sporloggen er i dette bestandet (Kart 5) beregnet til å være ca. 256 meter lang (se Tabell 10). Sporloggen er lagt rett fra veg og mot bestandsgrensen på korteste avstand, for deretter å krysse vinkelrett mot høydekurvene gjennom bestandet inn til midten. Scenario 1 og 3 har valgt tilnærmet samme startpunkt som sporloggen, men vinkler så over og inn i en dal som går noe flatere inn i bestandet. Disse to vegene er tilnærmet lik hele vegene og er henholdsvis 289 og 267 meter lang. Scenario 2 har valgt en helt annen rute lenger sør, og møter brattere terreng for å komme seg inn i bestandet, og lengden på denne vegen er 213 meter. Scenario 4 har også valgt å trekke lenger sør og klyve brattere terreng å få en kort driftsveglengde på 213 meter. Scenario 5, 6 og 7 har ulike bestandssenterpunkt, men ender opp svært likt nede ved vegen. Scenario 5 trekkes lengst nord, for så å følge i kanten på det blå området nedover dalen. Scenario 6 og 7 har samme driftsveglengde, men de velger hver sin rute. Scenario 6 går direkte på høydekurvene og kjører brattere terreng lenger sør utenfor bestandsgrensen. Scenario 7 velger en flatere rute inne i bestandet, og ligner mye på sporloggen.

Som man ser i Tabell 10 har scenario 2 og 4 de korteste driftsveglengdene (213m og 213m), -15% avvik fra sporloggen. Scenario 1, 3 og 5 har forholdsvis lik eller økt lengde på driftsvegen. Scenario 1 og 5 hadde henholdsvis 6 og 4 prosent økning, og scenario 3 hadde forholdsvis lik lengde som sporloggen. Scenario 2, 4 og 6 har helt annet vegvalg sammenlignet med de andre scenarioene som gjør at areal er størst hos disse scenarioene.

Tabell 10: Oversikt over lengde på sporlogg og planlagt veg i tilgjengelighetsanalysen, samt avvik mellom disse i prosent og arealet mellom sporlogg og planlagt driftsveg for ObjektID 7402.

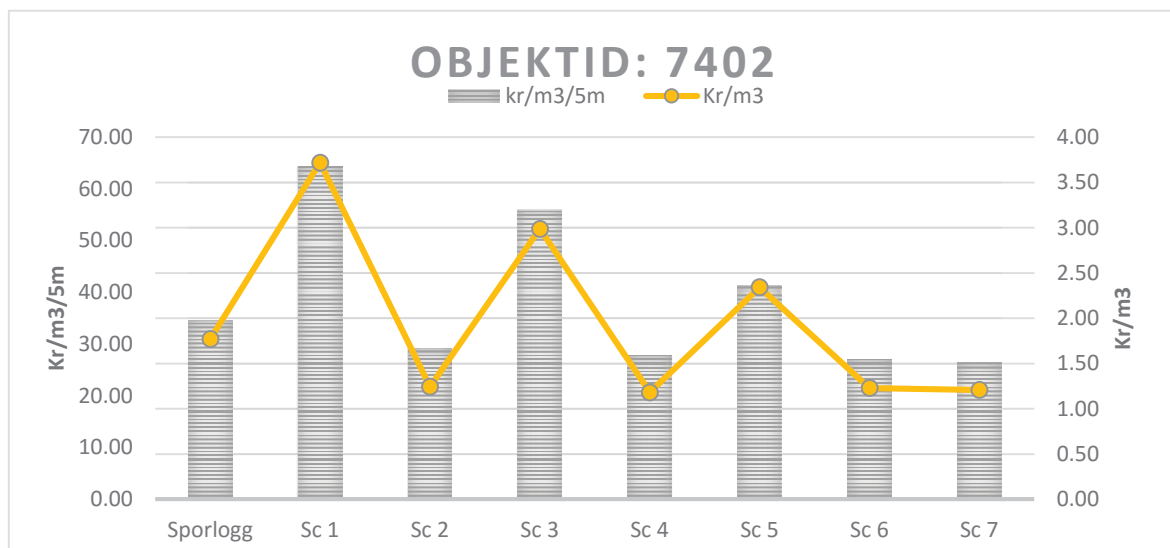
| ObjektID: 7402 | Sporlogg (m) | Planlagt veg (m) | Prosent avvik | Areal (daa) |
|----------------|--------------|------------------|---------------|-------------|
| Scenario 1     | 272          | 289              | 6 %           | 8.0         |
| Scenario 2     | 245          | 213              | -15 %         | 11.0        |
| Scenario 3     | 268          | 267              | 0 %           | 7.3         |
| Scenario 4     | 244          | 213              | -15 %         | 15.8        |
| Scenario 5     | 273          | 283              | 4 %           | 7.6         |
| Scenario 6     | 245          | 228              | -7 %          | 8.4         |
| Scenario 7     | 243          | 228              | -7 %          | 3.7         |
| Gjennomsnitt   | 256          |                  |               |             |

Resultatene i Figur 13 viser at kostnadene knyttet til fuktighet er høyest i scenario 1 og 3 (42.64 og 35.48 kr/m<sup>3</sup>/5m), mens scenario 6 og 7 er lavest (8.94 og 10.18 kr/m<sup>3</sup>/5m). Kostnadene knyttet til bratthet er høyest for scenario 5 (22.70 kr/m<sup>3</sup>/5m), mens den er lavest for scenario 4 (15.07 kr/m<sup>3</sup>/5m).



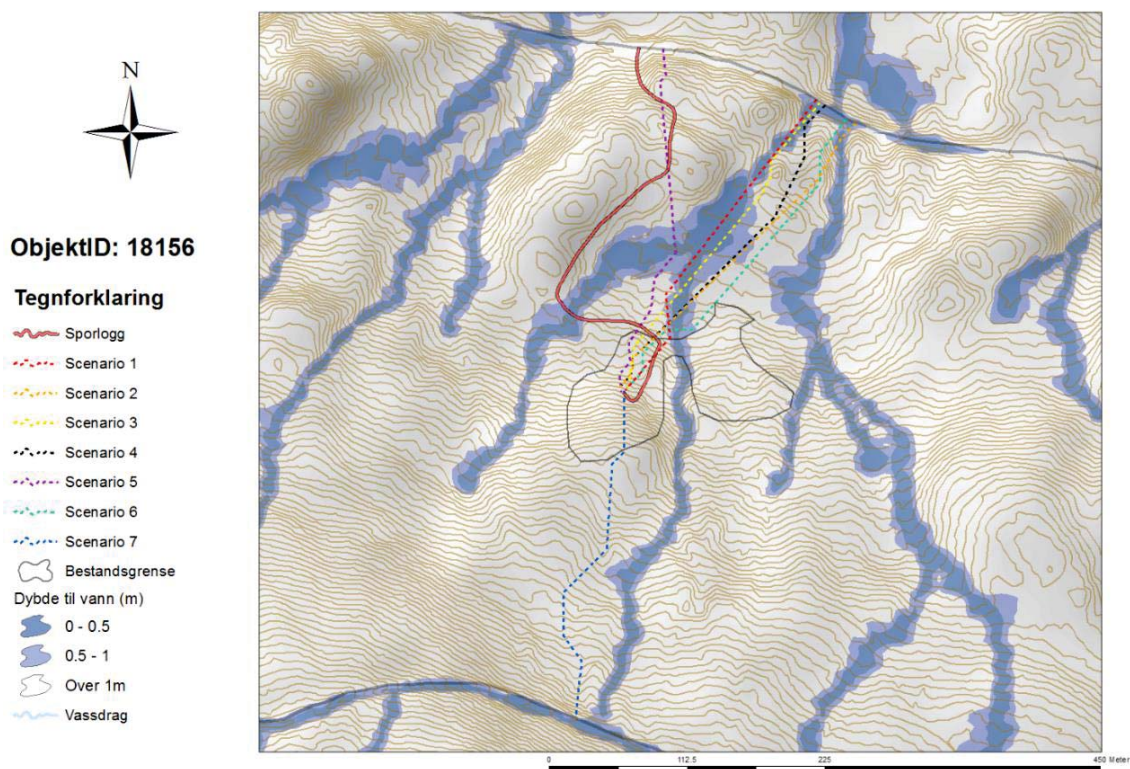
Figur 13: Viser kostnadsfordelingen mellom fuktighet og bratthet for objektID 7402. Resultatet er oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m.

Resultatene i Figur 14 viser at det varierer noe mellom scenarioene. Scenario 1 har høyest kostnad (3.72 kr/m<sup>3</sup>), mens scenario 4 har lavest (1.18 kr/m<sup>3</sup>)



Figur 14: Totalkostnader (bratthet og fuktighet) til sporlogg og samtlige scenarioer oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m og kr/m<sup>3</sup>. ObjektID 7402.

### 3.2.3 ObjektID 18156



Kart 6: Viser sporlogg etter maskin og verktøyets forslag på hvor traséene skal legges i terrenget mellom de ulike scenarioene for objektID 18156. Det blåfargede området indikerer dybde til vann.

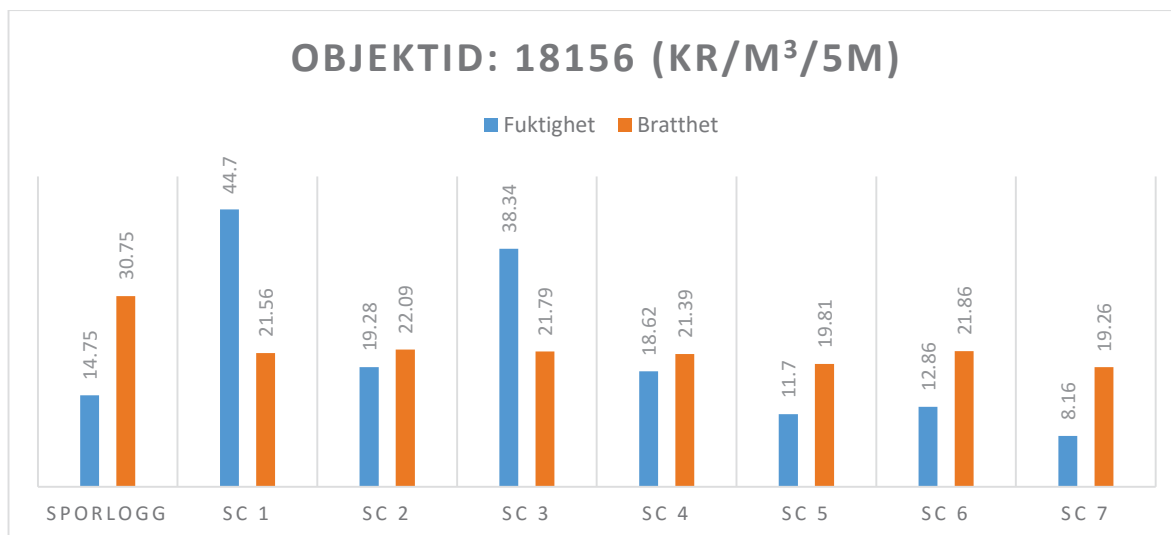
I Kart 6 ser vi verktøyets forslag til traseplassering mellom de ulike scenarioene. Startpunktet i bestandet er likt for samtlige trasèer mens treffpunktet på vei varierer noe. Scenario 1, 2, 3, 4 og 6 legger traseen noe likt, men varierer noe på andelen fuktmarkkjøring, disse har lite utfordringer knyttet til bratt terreng. Scenario 5 og 7 legger traseen noe annerledes enn de førstnevnte. Scenario 5 treffer veien nærme sporloggen, men velger en noe annen løsning halvveis inn til bestandet. Sporloggen legges rundt det fuktige området mens scenario 5 krysser fuktområdet. Scenario 5 og 6 krysser fuktområdene der det er smalest. Scenario 7 treffer veien på oversiden av bestandet og unngår for det meste fuktigmark, den velger også å kjøre last i motbakke i motsetning til alle andre scenarioer.

I Tabell 11 ser man at lengden på den planlagte driftsvegen er vesentlig kortere enn sporloggen for samtlige scenarioer. Det er noe mer variasjon på arealet mellom sporlogg og det enkelte scenarioet. Scenario 5 har minst avvik i areal (9.2 daa), mens scenario 6 har høyest (27.8 daa). Scenario 7 har også svært lite areal (10.3 daa) tross at scenario 7 angriper bestandet fra en annen side.

*Tabell 11: Oversikt over lengde på sporlogg og planlagt veg i tilgjengelighetsanalysen, avvik mellom disse i prosent og arealet mellom sporlogg og planlagt driftsveg for ObjektID 18156.*

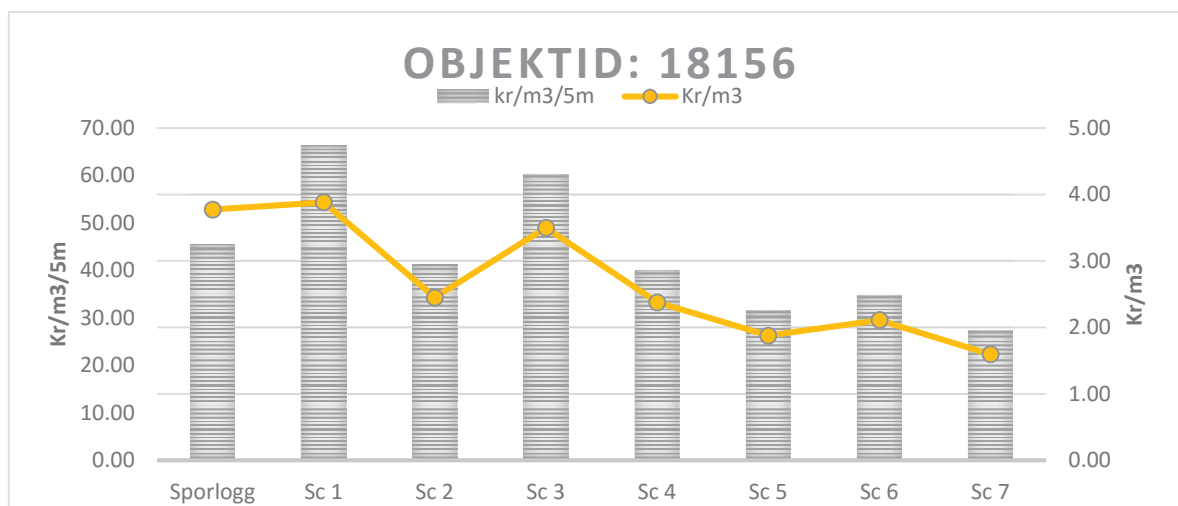
| <b>ObjektID: 18156</b> | <b>Sporlogg (m)</b> | <b>Planlagt veg (m)</b> | <b>Prosent avvik</b> | <b>Areal (daa)</b> |
|------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| Scenario 1             | 415                 | 293                     | -42 %                | 20.4               |
| Scenario 2             | 411                 | 296                     | -39 %                | 26.4               |
| Scenario 3             | 417                 | 291                     | -43 %                | 22.0               |
| Scenario 4             | 420                 | 297                     | -41 %                | 25.1               |
| Scenario 5             | 417                 | 298                     | -40 %                | 9.2                |
| Scenario 6             | 411                 | 304                     | -35 %                | 27.8               |
| Scenario 7             | 411                 | 291                     | -41 %                | 10.3               |
| Gjennomsnitt           | 415                 |                         |                      |                    |

Resultatene i Figur 15 viser at kostnadene knyttet til fuktighet er høyere for scenarioene uten tilgang på fuktighetsinformasjon (Sc1, sc2, sc3 og sc4) sammenlignet med de som har tilgang (Sc5, sc6 og sc7). Kostnadene knyttet til bratthet varierer lite mellom scenarioene (19.26 – 22.09 kr/m<sup>3</sup>/5m). Sporloggen har noe høyere bratthetskostnad (30.75 kr/m<sup>3</sup>/5m) sammenlignet med samtlige scenarioer.



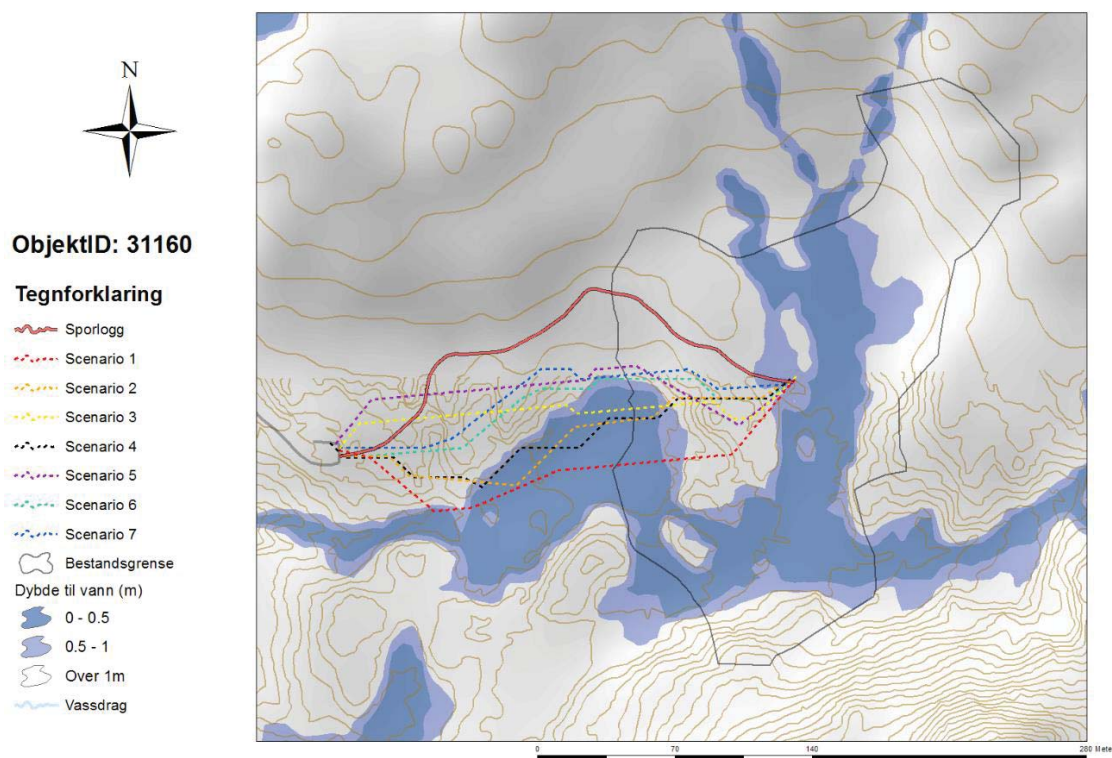
Figur 15: Viser kostnadsfordelingen mellom fuktighet og bratthet for objektID 18156. Resultatet er oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m.

Resultatene i Figur 16 viser tendenser til reduserte kostnader ved økt tilgang på informasjon. Scenario 1 har høyest kostnad (3.88 kr/m<sup>3</sup>), mens scenario 7 har lavest (1.60 kr/m<sup>3</sup>).



Figur 16: Totalkostnader (bratthet og fuktighet) til sporlogg og samtlige scenarioer oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m og kr/m<sup>3</sup>. ObjektID 18156.

### 3.2.4 ObjektID 31160



Kart 7: Viser sporlogg etter maskin og verktøyets forslag på hvor trasèene skal legges i terrenget mellom de ulike scenarioene for ObjektID 31160. Det blåfargede området indikerer dybde til vann.

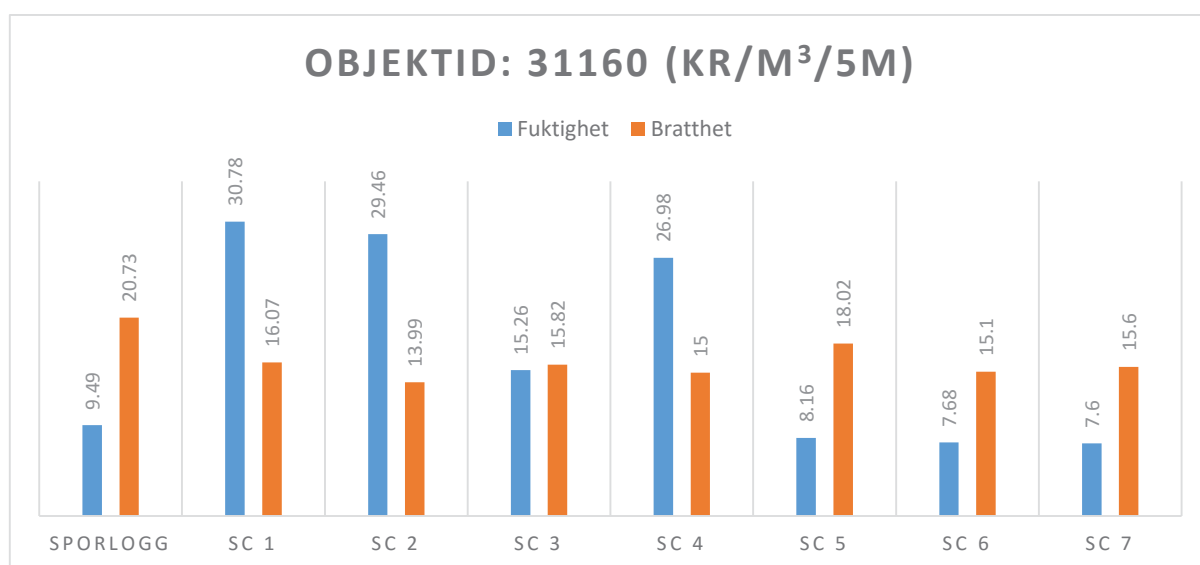
I dette bestandet (Kart 7) er den gjennomførte driftsvegen lagt i nordre side av en dal. I bunnen er det registrert våte områder. Scenario 1 er beregnet til å være 265 meter lang (Tabell 12), og går i hovedsak i det flate området nede i dalen. Scenario 2 og 4 trekker litt lenger opp mot den faktisk kjørte driftsvegen, men krysser flata og det blå området på samme sted. Scenario 3 er den av de scenarioene som ikke tar hensyn til vann, som krysser på korteste strekket over det blå arealet. Dette scenarioet viser en mye mer direkte rute fra senterpunkt mot veg. Når fuktighetsinfo inkluderes i scenario 5, 6 og 7 ser vi tydelig at rutene legges på utsiden av de blå områdene, og ligner på den gjennomførte driftsvegen.

Alle scenarioene har en kortere lengde på driftsvegene enn sporloggen, det varierer fra 5 prosent redusering opp til 13 prosent reduksjon (Tabell 12). Arealet mellom scenarioene og sporloggen varierer. Scenario 1 hadde høyest (13.1 daa), mens scenario 7 hadde lavest (5.1 daa).

Tabell 12: Oversikt over lengde på sporlogg og planlagt veg i tilgjengelighetsanalysen, samt avvik mellom disse i prosent og arealet mellom sporlogg og planlagt driftsveg for bestand nummer 31160

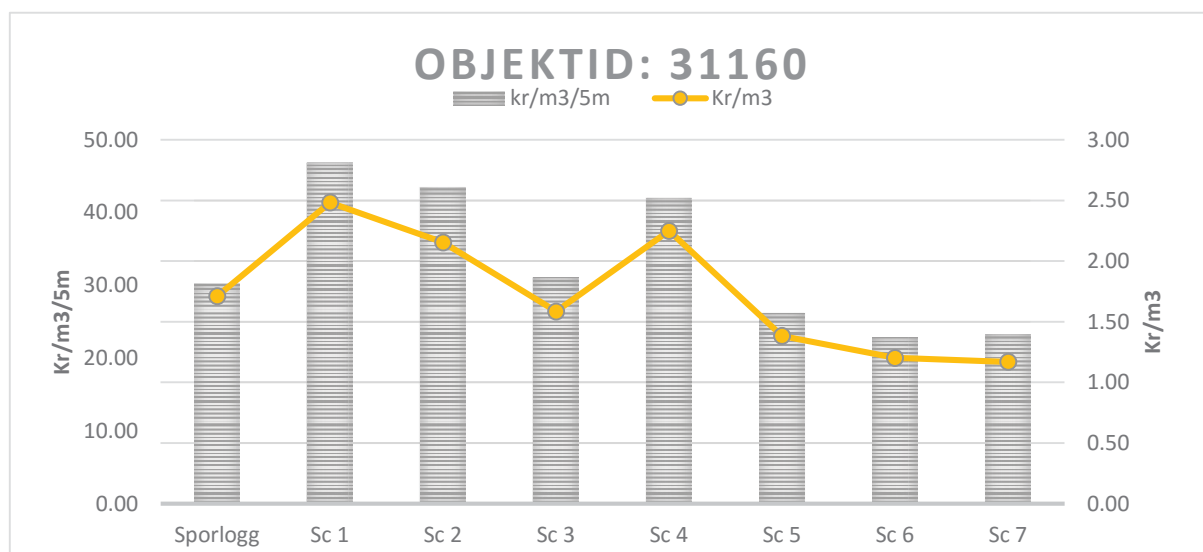
| ObjektID: 31160 | Sporlogg (m) | Planlagt veg (m) | Prosent avvik | Areal (daa) |
|-----------------|--------------|------------------|---------------|-------------|
| Scenario 1      | 284          | 265              | -7 %          | 13.1        |
| Scenario 2      | 281          | 248              | -13 %         | 9.5         |
| Scenario 3      | 287          | 255              | -13 %         | 7.1         |
| Scenario 4      | 281          | 268              | -5 %          | 9.4         |
| Scenario 5      | 283          | 264              | -7 %          | 5.7         |
| Scenario 6      | 281          | 254              | -11 %         | 6.1         |
| Scenario 7      | 284          | 252              | -13 %         | 5.1         |
| Gjennomsnitt    | 283          |                  |               |             |

Resultatene i Figur 17 viser at kostnadene knyttet til fuktighet er høyest for scenario 1, 2 og 4 (30.78, 29.46 og 26.98 kr/m<sup>3</sup>/5m), mens sporloggen og scenario 5, 6 og 7 har lavest (9.49, 8.16, 7.68 og 7.60 kr/m<sup>3</sup>/5m). Bratthetskostnadene ligger noe høyere hos sporloggen (20.73 kr/m<sup>3</sup>/5m) sammenlignet med scenarioene.



Figur 17: Viser kostnadsfordelingen mellom fuktighet og bratthet for ObjektID 31160. Resultatet er oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m.

Resultatene i Figur 18 viser tendenser til synkende kostnad med økt tilgang på informasjon. Scenario 1 har høyest kostnad (2.48 kr/m<sup>3</sup>), mens scenario 7 har lavest (1.17 kr/m<sup>3</sup>).



Figur 18: Totalkostnader (bratthet og fuktighet) til sporlogg og samtlige scenarioer oppgitt i kr/m<sup>3</sup>/5m og kr/m<sup>3</sup>. ObjektID 31160.

### 3.3 Statistikk

Tabell 13 viser resultatene etter T-test der bratthetskostnadene i scenario 2-7 ble sammenlignet med scenario 1. Sammenligningene mellom scenario 1 og samtlige scenarioer viser ingen statistisk signifikant forskjell ( $P = > 0.05$ ).

Tabell 13: Beregning av statistisk signifikant varians mellom scenario 1 og alle scenarioer (Bratthetskostnader). Ingen statistisk signifikant forskjell = \*, Statistisk signifikant forskjell = \*\*. Frihetsgrad på 0.05

#### T-test: Bratthet

|         | Scenario 2 | Scenario 3 | Scenario 4 | Scenario 5 | Scenario 6 | Scenario 7 |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| P-verdi | 0.7714 *   | 0.4366 *   | 0.8228 *   | 0.6435 *   | 0.1985 *   | 0.0713 *   |

Tabell 14 viser resultatene etter T-test der fuktighetskostnadene i scenario 2-7 ble sammenlignet med scenario 1. Scenario 2-4 viser ingen statistisk signifikant forskjell ( $P\text{-verdi} = > 0.05$ ), mens scenario 5-7 viser statistisk signifikant forskjell ( $P\text{-verdi} = < 0.05$ ).

Tabell 14: Beregning av statistisk signifikant varians mellom scenario 1 og alle scenarioer (Fuktighetskostnader). Ingen statistisk signifikant forskjell = \*, Statistisk signifikant forskjell = \*\*. Frihetsgrad på 0.05

#### T-test: Fuktighet

|         | Scenario 2 | Scenario 3 | Scenario 4 | Scenario 5 | Scenario 6 | Scenario 7 |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| P-verdi | 0.2654 *   | 0.5706 *   | 0.3189 *   | 0.0083 **  | 0.0027 **  | 0.0033 **  |

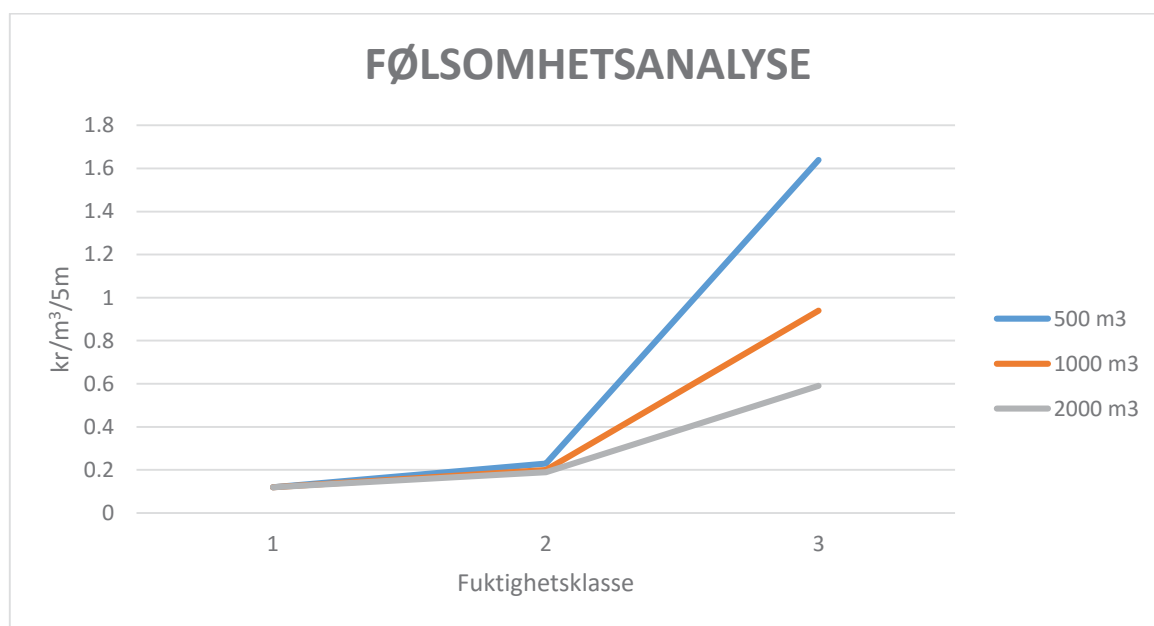
Tabell 15 viser resultatene etter T-test der bratthet- og fuktighetskostnadene i scenario 2-7 ble sammenlignet med scenario 1. Scenario 2-4 viser ingen statistisk signifikant forskjell (P-verdi = > 0.05), mens scenario 5-7 viser statistisk signifikant forskjell (P-verdi = < 0.05).

*Tabell 15: Beregning av statistisk signifikant varians mellom scenario 1 og alle scenarioer på samtlige drifter (bratthet- og fuktighetskostnader). Ingen statistisk signifikant forskjell = \*, Statistisk signifikant forskjell = \*\*. Frihetsgrad på 0.05.*

| T-test: Bratthet og fuktighet |            |            |            |            |            |            |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                               | Scenario 2 | Scenario 3 | Scenario 4 | Scenario 5 | Scenario 6 | Scenario 7 |
| P-verdi                       | 0.4581 *   | 0.5109 *   | 0.5523 *   | 0.0248 **  | 0.0028 **  | 0.0045 **  |

### 3.4 Følsomhetsanalyse

Resultatene i Figur 19 viser at fuktighetsklasse 1 og 2 har forholdsvis små forskjeller mellom driftsstørrelsene. I fuktighetsklasse 3 er det relativt store forskjeller mellom driftsstørrelsene, 500 m<sup>3</sup> har høyest (1.64 kr/m<sup>3</sup>/5m), mens 2000 m<sup>3</sup> har lavest (0.59 kr/m<sup>3</sup>/5m).



Figur 19: Følsomhetsanalyse knyttet til fuktighetskostnader mellom forskjellig driftsstørrelser

## 4 Diskusjon

### 4.1 Diskusjon av metode

#### **Utvalg av drifter**

Utvelgelsen baserte seg på forhåndsbestemte forutsetninger der driftene skulle variere noe i bratthet, fuktighet og at driftsveilengden skulle overstige 200 meter. Etter utvalget var det 29 drifter som tilfredsstilte våre krav, driftene hadde bred fuktighetsvariasjon mens det for bratthet var noe mindre. For å styrke oppgaven burde vi lokalisert flere drifter med mer bratthet for å få bedre tall på hvordan verktøyet håndterer det bratte terrenget. Samtlige utvalgte drifter går under kategorien sommerdrift (<1500 meter), vi har derfor bare testet sommerfunksjonen i verktøyet. Vinterdriftene Statskog hadde gjennomført hadde enten dårlig GPS signal eller så hadde samme basveg blitt brukt til flere ulike bestand.

Av totalt 29 drifter ble 14 befart. Ved å besøke flere kunne vi fått en bedre forståelse for verktøyets og entreprenørens trasevalg. Vi kunne også korrigert den generaliserte sporloggen ut fra observasjoner i felt. GPS nøyaktigheten på maskinenes plassering varierer, generalisering av sporloggen gir en ca. plassering som viste seg å treffe godt på driftene vi besøkte. Man må selvfølgelig regne med avvik på hvor sporloggen ligger i forhold til den kjørte traseen.

#### **Valg av kjøretrase**

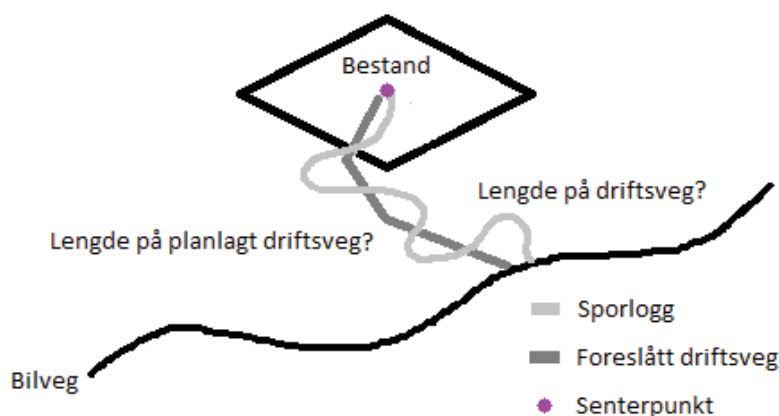
Entreprenørenes valg av kjøretrase er noe som vil variere. Hva som er den mest riktige kjøretraseen kan diskuteres. Man bør selvfølgelig vurdere alle aspekter når man skal plassere en trase, økonomiske, biologiske og estetiske. Hva som kan betegnes som fasittraseen er en subjektiv vurdering. De trasèene som er kjørt i virkeligheten er vurdert av skogbruksplanleggere og ofte av erfarne entreprenører som har de beste forutsetninger for å velge den beste ruta. Ved besøk på flere forskjellige drifter i ulike områder og i ulikt terreng virket de rutene som faktisk ble kjørt i terrenget som meget gode og logiske. Trasèene så ofte ut til å være valgt med tanke på bratthet og fuktige områder.

#### **Bakgrunnsdata**

Befaring er basert på Statskogs første resultat, men på grunn av endringer i datamaterialet klarte verken vi, Statskog eller GeoData å kjøre verktøyet slik at resultatet ble identisk med Statskogs første resultat. Befaringen foregikk i hovedsak etter sporlogg og foreslått trase, men vi bevegde oss også rundt i området for å få et helhetlig bilde av terrenget knyttet til drifta. Statskogs første resultat hadde små avvik fra våre og vi valgte derfor å forkaste Statskogs og benytte våre egne slik at alle scenario ble kjørt med likt datagrunnlag.

#### 4.1.1 Beregning av avvik

Et av målet med denne oppgaven var å teste og identifisere ulike elementer som kan føre til mindre avvik fra sporlogg. I denne sammenheng er det forutsatt at den faktisk gjennomførte driftsvegen representerer den beste/fasit ruta for området, hvis avviket er lavt betyr det at den foreslåtte traseen legges nærme sporloggen. Avviket mellom sporlogg og foreslått trase ble beregnet på to forskjellige måter (Figur 20 og Figur 21). Om metodene egner seg til å beskrive avviket kan diskuteres. Ved å beregne avvik på bakgrunn av lengden til den planlagte basvegen mot sporloggens lengde ser man om driftsvegene blir kortere eller lengre. Utfordringer knyttet til denne metoden er at avstanden kan være påvirket av siksakk-kjøring. Selv om trasèene overlapper hverandre hele veien fra vei til bestandsmidtpunkt vil avviket bli stort. Dette kan føre til at den foreslåtte traseen får en kortere lengde og gi redusert kjørelengde sammenlignet med sporloggen grunnet lite siksakk-kjøring. Det motsatte vil da skje med sporloggen hvor det vil foregå en viss siksakk-kjøring grunnet terrengutfordringer kartdataen ikke klarer å lokalisere. Dette vil føre til en lavere estimert kostnad på den foreslåtte driftsvegen sammenlignet med sporloggen.



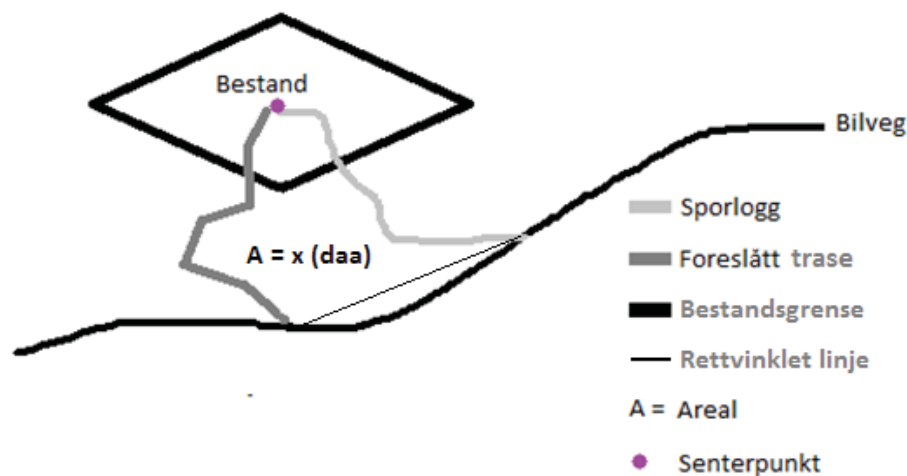
Figur 20: Illustrasjon på beregning av avvik ved hjelp av lengde på planlagt basveg sammenlignet med sporlogg.

Arealberegningene ble utført ved å trekke en rettlinjet strek mellom trasèenes tilkoblingspunkt på vei, der størrelsen på arealet representerer avviket. Er arealet lite betyr det at vegene går svært tett på hverandre og forskjellen fra den foreslåtte traseen til sporlogg er liten. Er arealet mellom trasèene stort har vi et større avvik mellom sporlogg og foreslått trase, dermed et dårligere resultat.

Utfordringer knyttet til denne metoden er at trasèenes plassering i forhold til hverandre er med på å bestemme avviket. Tar vi for oss to rette linjer som møtes parallelt i bestandsmidtpunktet vil arealet mellom dem blir 0, som tilsvarer ingen avvik. Kart 6 og Tabell 11 illustrerer dette problemet godt.

Arealet mellom sporloggen og scenario 7 er forholdsvis lavt (10.3 daa) selv om sporloggen og traseen

starter fra hver sin side av bestandet. Scenario 7 og 5 har nesten like stort avvik ifølge arealberegningene (1.1 daa differanse).



Figur 21: Illustrasjon på beregning av avvik ved hjelp av areal mellom den planlagte driftsvegen og sporlogg.

Det ble observert på flere steder at driftene var planlagt med utgangspunkt i at det skal foregå flere drifter i samme område. Derfor ble basvegen lagt slik at den kunne brukes og kombineres på flere drifter i flere år og ved ulike inngrep i skogen. Dette førte dermed til en draging på den reelle driftsvegen og gav dermed et større avvik i forhold til den planlagte vejen (se Vedlegg 2). I noen tilfeller var det også brukt gamle traktor- og basveger som også kan gi lignende dragninger på sporloggen (se Vedlegg 3). Denne variabelen vil det bli vanskelig å gjøre noe med. Årsaken er at disse vegene i svært liten grad er registrert i noen database, og de vil dermed ikke få noen annen vekting i verktøyet enn vanlig terrengkjøring. Dette kan også føre til at sporloggens kostnader overestimeres. Årsaken til dette er at det vil gå hurtigere å transportere tømmeret langs en etablert vei (økt produktivitet), samtidig som drivstofforbruket reduseres (reduisert rullemotstand).

De overnevnte metodene egner seg dårlig alene til å anslå avvik mellom sporlogg og foreslått trase. Ved å kombinere metodene med en visuell vurdering kan man oppnå et bedre grunnlag for å anslå avviket. Metodene kan gi en indikasjon, men er altså ingen fasit.

#### 4.1.2 Kostnadsberegninger og vekting

##### Bratthet

Som en del av undersøkelsen ble bratthetsklassene forsøkt endret. De originale klassene var satt til maks 25 grader som tilsvarer 46 prosent stigning. Ifølge Jan Bjerketvedt (Pers. Med. 3. mars, 2016) og Tigercat Industries Inc. (2015) kan enkelte maskinførere og maskiner strekke seg til å kjøre i opptil 60 prosent stigning i ekstreme tilfeller. Derfor ble bratthetsklassene endret til maksimalt 60 prosent (31

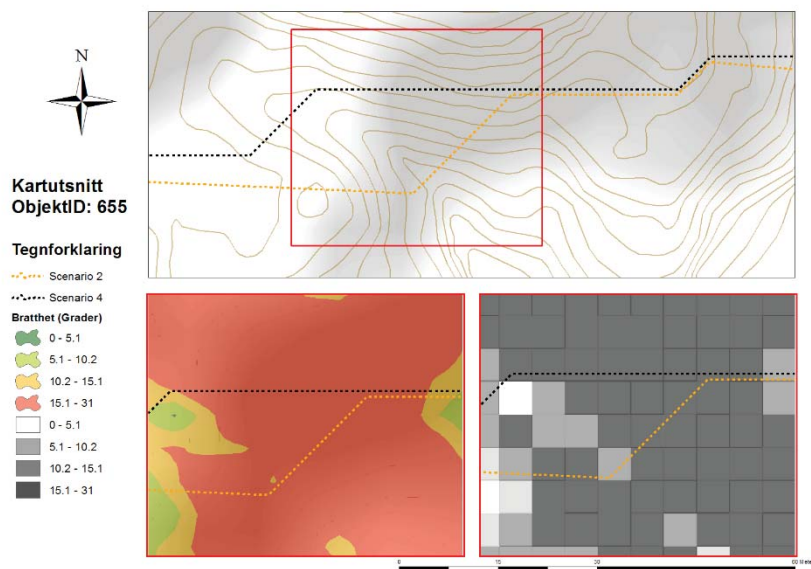
grader). Svakheten med denne klassen er at vi ikke har noen eksakte tall på kostnadsnivået ved å kjøre i så bratt terreng. Smith, Nyeggen, & Aarra (1992) fant ut at produksjonen ikke gikk ned i en stigning opp til 50 prosent. Dette gjaldt riktig nok en hogstmaskin, men ifølge Jan Bjerketvedt (Pers. Med. 3. mars, 2016) vil en rutinert lassbærersjåfør starte på topp og slippe seg utover bakken og laste underveis. Som sagt har vi meget usikre tall på driftskostnadene over 46 prosent, og disse er sannsynligvis underestimert.

I denne oppgaven vektlegges kjøreretningen i bratthetsklassene likt. Motbakkekjøring i bratt terreng vil i realiteten bli dyrere sammenlignet med utfor- og flatmarkkjøring. Kjøring langs høydekurvene vil få lavere kostnad sammenlignet med å kjøre vinkelrett på dem. Contreras & Chung (2007) brukte ulike kostnadstall på motbakkekjøring og utforkjøring i sine analyser, noe som gav et mer reelt trasevalg og kostnadstall. Våre kostnadsberegninger vil bli underestimert i de tilfeller verktøyet velger å legge veien slik at tømmertransporten skjer i motbakke (se Kart 6 scenario 7). Sammenligner vi bratthetskostnadene mellom sporlogg og scenario 7 skulle man i realiteten forventet det motsatte (se Figur 15).

### Sidehelling

Sidehellingsgrenser varierer mellom maskiner, lasstørrelser og markens bæreevne, og ifølge NSW Forest (2005) ligger maks sidehelling i fuktige perioder på 5.2 prosent helling, og opptil 8.7 prosent i tørre perioder. I følge Kjell Anders Vikan, plansjef i Statskog, blir sidehellingsproblematikken i dette verktøyet løst ved at traséene legges mest mulig vinkelrett mot høydekurvene. Vi har ingen konkrete verdier, men vi har observert flere problemer knyttet til sidehelling. Samtlige scenario med de nye bratthetsklassene viser tegn til for bratt sidehelling.

Som Kart 8 illustrerer ser man at scenario 4 er lagt parallelt med høydekurvene hvor terrenget er registrert til å være mellom 15.1 - 31 grader. I dette tilfellet er problemet størst for scenario 4 som kjører ca. 35 meter i skrått terreng (scenario 4 har nye bratthetsklasser). Scenario 2



Kart 8: Illustrerer sidehellingsproblematikk for scenario 2 og 4 (kartutsnitt fra objektID 655)

har tilnærmet ingen problematikk og kjører mer vinkelrett på høydekurvene (scenario 2 har originale bratthetsklasser). For scenario 4 i Kart 8 ser vi at maksimal sidehelling overstiger NSW forest (2005) sine tall på maksimal sidehelling ved på tørr- og fuktigmark. I en mail (mottatt 15. April, 2016) fra Svein Arild Kolstad, distriktssjef for salg av Ponnse skogsmaskiner i Kongsvinger, får vi bekreftet at noen eksakte tall på maksimal sidehelling aldri blir oppgitt på deres maskiner. Det er ifølge han en rekke faktorer som spiller inn på hvor mye en maskin tåler. Bredde på maskinen, tyngdepunktet på lasset, midjeutformingen på maskinen, hastighet, tyngde på lasset, motvekt i kran ved kjøring og utrustning på hjulene er blant noe av det han nevner. Han påpeker også at terrengets utforming, med tanke på jevnhet og hvor sleipt terrenget er, er med på å avgjøre hvor mye sidehelling som kan tåles før man tipper rundt. Erfaring til hver enkelt sjåfør er med på å bestemme maksimal grad av sidehelling, det vil derfor være vanskelig å sette en verdi på maksimal sidehelling.

Dette er en svakhet med de nye bratthetsklassene, og det bør jobbes for å implementere grenser for hvor mye sidehelling som kan tillates. Det kan nevnes at det finnes en rekke alternative løsninger på dette problemet, noen av disse er nevnt i Irmela Herzogs (2013) publikasjon.

I felt registrerte vi flere tilfeller av at den kjørte traseen har brukt eksisterende veier i terrenget for å unngå høy sidehelling. Vi observerte også at det var blitt tilrettelagt vei med gravemaskin for å unngå samme problemet.



Bilde 2: Sidehellingsproblematikk blir forhindret ved bruk av gravemaskin. Foto: Torkjell Dyrdal

## Fuktighetskart

Ifølge Ågren, et al (2014) fungerer DTW godt til fuktighetskartlegging, noe vi ved flere anledninger har observert i felt. Det skal også sies at avgrensningene på hvor det er registrert lav dybde til vann avviker noe fra virkeligheten. I realiteten varierer markas fuktighet gjennom hele året, klima, løsmasser, nedbørsfelt m.fl. er med på å bestemme fuktigheten i området. Resultatene fra fuktighetsanalysen er ikke fasit, men kan fungere som hjelpemiddel til å lokalisere hvilke områder man bør unngå, spesielt i perioder med mye nedbør. Kostnadsberegningene knyttet til fuktighet viser også en betraktelig reduksjon når man implementerer fuktighetskart i analysen (se Figur 9).

Kartene i resultatkapittelet viser at dybden til vann langs de fleste veiene er lav. Årsaken til dette er at fuktighetsanalysen i dette tilfellet ikke tar hensyn til stikkrenner og dreneringsrør. Ved bruk av «Arc hydro» er det muligheter for å brenne stikkrenner inn i rasteret, som igjen vil gi et mer reelt bilde av fuktighetssituasjonen i område. Dette krever selvsagt nøyaktige data på hvor stikkrennene er plassert og hvilken hellingsretning de har. Fuktigheten langs vei kan være med på å bestemme kjøretraseens tilknytningspunkt til skogsbilveien, som igjen kan føre til økt kjørelengde. Resultatene i Kart 6 (scenario 7), kjører ikke på fuktigmark i terrenget, men må krysse grøfta hvor det er registrert lav dybde til vann. Kostnadene knyttet til fuktmarkkjøring vil i dette tilfelle bli overestimert (se Figur 15), da lav dybde til vann blir forårsaket av manglende informasjon om drenering. En annen løsning på dette kan være å klippe bort en buffer rundt alle veier slik at fuktigheten rundt veiene blir fjernet. Når det gjelder kostnadsberegningene og vektingen av fuktighetsrasteret finnes det ikke kostnadstall på hva man kan forvente seg av utgifter i de ulike fuktighetsklassene. Vi har derfor valgt å benytte oss av kostnadstall knyttet til sporskadegjenoppretting og kavlelegging, av Larsson & Staland (2002). Det er viktig å nevne at størrelsen på driften er av meget stor betydning på lønnsomheten. Avvirker man en stor drift kan kostnaden knyttet til å krysse myra være lavere enn å kjøre rundt, da kostnaden ved å krysse vil fordeles på flere m<sup>3</sup>, sammenlignet med en liten drift. Dette kommer godt frem i følsomhetsanalyse (Figur 19) der vi har testet hvordan ulike driftsstørrelser påvirker kostnadene og vektingen av dem. Tar man et gjennomsnitt av kostnadene i hver fuktighetsklasse mellom driftsstørrelsene får vi tilnærmet samme vekting som vi har brukt i vår analyse.

Tiltakene som blir gjennomført i de ulike fuktighetsklassene er valgt ut fra forstlig skjønn og hva vi mener vil være det mest naturlige tiltaket å gjennomføre i de ulike klassene. Om dette er riktig kan selvfølgelig diskuteres, men på bakgrunn av tilgjengelig forskning mener vi at dette er en grei fremgangsmåte. Kostnadstallene av Larsson & Staland (2002) er for øvrig svenske, men ifølge Jan Bjerketvedt (pers. med. 23. mars, 2016) tilsvarer de samme kostnad som i Norge. Det kan også nevnes at det finnes mange fremgangsmåter for å forebygge skader i fuktige områder noe det er gjort en rekke kostnadsstudier opp mot (Bergsaker & Hohle, 2011). Hvilken metode som brukes bestemmes tilslutt av entreprenøren.

## Samlet vekting

Den originale vekting mellom datalagene er delt inn på følgende måte: fremkommelighet 50% og bratthet 50%. Det vil si at fremkommeighet og bratthet vektet likt. I den nye vektingen valgte vi samme vekting slik at alle vektet tilnærmet likt (fremkommelighet 33%, bratthet 33% og fuktighet 34%). Hvilken virkning vektingen mellom datalagene har på valg av kjøretrase vet vi ikke, det bør derfor utføres tester med ulike vektingsgrader mellom datalagene.

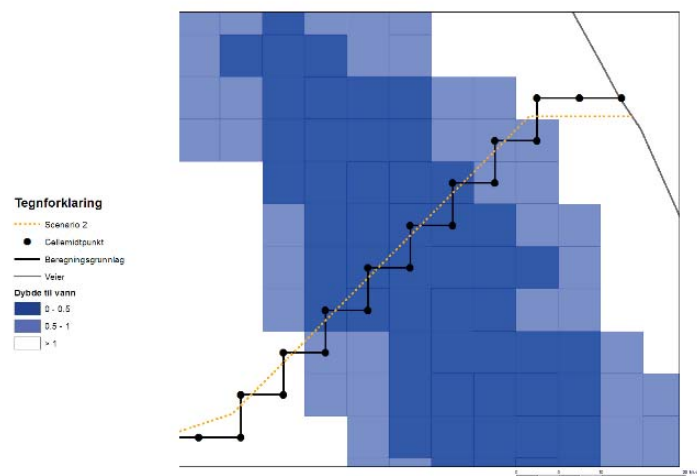
Verktøyet som vektet rastercellene (remapvalue) kan bare vekte i hele tall, dette vil gi en feilestimering av kostnadene i rasteret da kostnadstallene vi har beregnet oss frem til ikke direkte kan overføres til hele tall. Sammenligner vi vektingen mellom kostnadsrasterene har vi i etterkant innsett en svakhet (Tabell 4). Bratthetsklasse 1 har tilnærmet samme kostnad som klasse 2, men er vektet forskjellig. Dette kan føre til en underestimering av kostnaden i klasse 1. Her burde klassene blitt vektet likt.

## Svakheter ved kostnadsberegningene

Når trasèene konverteres til punkter kan punktantallet bli svært høyt. Går traséen mye på kryss og tvers blir punktantallet høyt sammenlignet med en trasé som går parallelt med rastercellene. Dette kan føre til en overestimering av kostnadene (Kart 9).

## Ujevnheter

Som nevnt innledningsvis foreligger det ikke kartlegging av terrengujevnheter i Norge. Det vi kan tenke oss til er at ujevnheter vil variere mellom årstidene, da snøen vil jevne ut terrenget. Områder med mye ujevnheter vil dermed bli tilgjengelig for terrengtransport i snørike områder noe som kan være med på å redusere kjøreavstanden



Kart 9: Eksempel på hvordan den konverterte traséen legger seg rundt den foreslåtte traséen.

og den totale kostnaden. Ujevnheter er områder entreprenørene ønsker å unngå da disse tærer på maskinene og gjør kjøringen mer ubehagelig. Ujevnheter reduserer også produktiviteten som følge av at kjørehastigheten reduseres (Gjedtjernet & Bjerketvedt, 2003).

Under feltarbeidet i Hedmark ble det observert ei steinur med forholdsvis stor stein, knyttet til en av driftene. Sporloggen er lagt rundt mens samtlige scenarioer legger traséen over ura. Dette kommer av at verktøyet ikke har tilgang på ujevnheter og at bratthetsrasteret har for lav oppløsning til å klare

å lokalisere ura. Kartlegging av slike områder ved bruk av LiDAR er vanskelig da det er mange momenter som kan virke forstyrrende.



*Bilde 3: Ujevnheter som ikke kommer frem i bratthetsrasteret. Foto: Torkjell Dyrdal*

### **Bestandsform**

Bestandsformen vil være med å bestemme hvor driftsvegen vil gå. I Vedlegg 1 ser man dette tydelig. Når bestandsgrensa er nærmere den prioriterte vegen enn bestandssenterpunktet vil driftsvegen naturligvis legges slik at det blir en kortest mulig veg inn til bestandet. Eksempelvis i bestand 7067 (Vedlegg 1) vil de planlagte driftsvegene gå igjennom en hogstklasse 2 og en ung hogstklasse 3. Dette uttaket ville ført til tapte inntekter som trærne i framtiden kunne gitt i form av tømmer, og ville ikke vært ideelt for skogeier. På en annen side kunne vegene blitt brukt i seinere inngrep som for eksempel tynning. Den faktiske driftsvegen i dette bestandet gikk igjennom en hogstklasse 4 og fikk en noe kortere veg inn til bestandsgrensen. Også her vil det bli noe uttak, men dette vil være i form av drivverdige dimensjoner og man får dermed noe inntekt ved å velge denne.

### **Vegkvalitet**

Verktøyet beregner en kjørerute fra senterpunkt i et bestand ut til veg. Disse vegene må være dimensjonert til transport av tømmer på lastebiler. En veg klasse 3 vil da ofte være normalt og ønskelig. Dette er standarden for skogsbilveger og gårdsveger som skal tåle moderat til lavt trafikk, og vegen skal kunne trafikkeres med lass hele året. Begrensinger i teleperioden er tillat (Landbruks- og matdepartementet, 2013).

En skogsbilveg som er bygd på 1990-tallet eller tidligere, og som i tillegg ikke er vedlikeholdt og oppdatert med årene, møter sannsynligvis ikke standarden for en vegklasse 3 i dag (Løvenskiold, 2014). Dette kan være problematisk i verktøyet ettersom resultatet blir beregnet ut fra disse vegene. Vegene som blir brukt i beregningene baseres på kategoriseringen i kartverket, om klassifiseringen er

gammel kan vegen i realiteten være i så dårlig forfatning at den ikke kan kjøres på. Resultatet i lengde på predikert driftsveglengde blir da feil og planlegginga må skje manuelt.

## 4.2 Diskusjon av resultater

### Areal og lengdeavvik

Avviksberegninger ved bruk av areal viser store variasjoner mellom scenarioene (Figur 6), mens avviksberegninger ut fra lengde viser tendenser til redusert kjørelengde ved økt tilgang på data (Figur 7). Man skulle i realiteten tro at ved å øke verktøyets tilgang på informasjon skulle føre til mer sikksakk-kjøring, økt kjørelengde og mindre areal. Ved å øke tilgang på informasjon får verktøyet flere barrierer å ta hensyn til (samme barrierer entreprenøren observerer i felt). Årsaken kommer nok av at datamaterialet verktøyet har tilgang til ikke gjenspeiler virkeligheten 100 %. Lokale variasjoner som ujevnheter, høy vannmetning i jord, blokkstein etc. vil være med på å påvirke entreprenørens valg av trase. Denne informasjonen er vanskelig å implementere (manglende kartlegging) og krever høy oppløsning noe verktøyet ikke opererer med i dag. Med andre ord så baseres valgene på to forskjellige virkelighetsoppfatninger, med ulikt detaljnivå. Vi har også observert sidehellingsproblemer knyttet til scenarioene med størst reduksjon i kjørelengde. Det store avviket kan også komme av «snarveiene» verktøyet velger å ta.

### Bratthet og kostnader

Noen klar effekt på kostnaden knyttet til bratthet har vi ikke sett. Om man ser på Figur 8 er det svært små endringer i kostnader tross endringer i datakvalitet og i bratthetsklasser, dette kommer også frem i Tabell 13 (ingen statistisk signifikante forskjeller). I Figur 13 ser vi ingen merkbart forskjell mellom scenario 1 og 3, som representerer to ulike bratthetsklasser med DTM10 som grunnlag. Det samme resultatet ser vi i scenario 2 og 4 som bruker laserdata til grunnlag. Sammenligner vi scenario 1 og 2 tilsvarer det en reduksjon på ca. 5 kr/m<sup>3</sup>/5m, dette indikerer at med nøyaktigere grunnlagsdata reduseres kostandene knyttet til bratthet. Det samme ser vi mellom scenario 3 og 4. For de resterende kartpresentasjonene ser vi ikke denne effekten. Bratthetskostnadene er relativt lik mellom scenario 1-4. Årsaken til forskjellene i Figur 13 kan komme av endring i bestandssenterpunkt som følger av endringer i hvilke arealer som er fremkommelig mellom DTM10 og laserdata. En slik endring av senterpunkt kan føre til helt forskjellige valg av kjøreruter noe vi ser i Kart 5.

I Kart 5 har man også muligheten til velge to forskjellige ruter med forskjellig terreng. En flatere rute med lengre kjøreavstand eller en brattere, men mer direkte rute. Ser vi på de andre kartpresentasjonene er det lite variasjon i terrenget, noe som fører til få endringer i fremkommelig areal mellom DTM10 og laserdata og dermed samme bestandssenterpunkt og kostnad.

Kostnader knyttet til bratthet virker å være mer knyttet til valg av kjørerute, og dermed vil erfaringen til entreprenør og maskinførere være viktigere i denne sammenhengen.

### **Fuktighet og kostnader**

Kostnaden knyttet til fuktighet reduseres betraktelig når fuktighetsinformasjon implementeres (se Figur 9), dette kommer også frem i Tabell 14 (scenario 5-7 har statistisk signifikante forskjeller). Årsaken til dette er at verktøyet konsekvent prøver å unngå de fuktigste områdene enten ved å kjøre rundt eller kavlelegge over de smaleste krysningspunktene hvor kostnaden er lavest. Sporloggen viser høye kostnader som mest sannsynlig kommer av entreprenørens og fuktighetskartets forskjellige oppfatning av hvor det er bløtt og ikke. Hvis vi sammenligner kostnadene mellom scenario 1 og 7 i Figur 11 øker bratthetskostnaden mens fuktighetskostnaden synker når traseen legges høyere i terrenget. Som kartene i resultatkapitlet viser er det høyere konsentrasjon av fuktighet i det lavereliggende terrenget.

Vi ser at scenarioene med tilgang på fuktighetskart prioriterer å møte brattere terreng istedenfor å kjøre på fuktigmark. Den samlede kostnadsreduksjonene ved å legge traseen høyere i terrenget kommer av at arealer med lav dybde til vann vektet dyrere enn bratthet, noe vi mener stemmer godt overens med hva som praktisk gjennomføres.

### **Totalkostnad**

Totalkostnaden har en tendens til å reduseres ved økt tilgang på informasjon (Figur 10). Denne trenden ser vi også i totalkostnadsberegningene for hver enkelt drift i kartpresentasjonskapitlet (Figur 12, Figur 14, Figur 16 og Figur 18). Tabell 15 viser at det er statistisk signifikante forskjeller mellom scenario 1 og 5-7. Årsaken til dette er at det er knyttet store kostnader til fuktighet. Scenario 1-4 har ikke denne informasjonen og legger trasèene der terrenget er flatest og avstanden inn til bestandsmidtpunkt er kortest. Som nevnt tidligere har det lavereliggende terrenget høyere konsentrasjon av fuktighet og gir dermed disse trasèene høyere fuktighetskostnad.

### **Redusert kjørelengde**

I denne undersøkelsen har vi jobbet mot at sporloggen (uten tilgang på «wetmapanalyser») var fasit, og at verktøyet til slutt burde vurdere terreng og fuktighet likt som erfarne entreprenører. Dermed er ikke en gjennomsnittlig reduksjon i kjørelengde på 20 % for senario 7 (Figur 7) det vi ønsker. Men om vi ser dette fra en ny vinkel kan dette gi en stor reduksjon i planlegging- og driftskostnader. I Sverige har de utviklet et lignende verktøy som kalles «Best Way». Resultatet av dette var også på rundt 20 prosent reduksjon i kjørelengde samt mindre kjøreskader (Johansson, 2015). Det ville vært interessant å snakket med entreprenører om hvordan de ville vurdert de kjørerutene som senario 7 har kommet opp med.

## 5 Forslag til videreutvikling

Utviklingsretningen er veldig avhengig av hva verktøyet skal brukes til. Dagens bruk er rettet mot overordnet planlegging for å beregne kjøreavstand fra vei til bestand. I tillegg blir det brukt til å koble veinummer opp mot bestandet for å få en oversikt over hvilke veier som trenger opprustning før avviklingen skal skje. Skal man ned på detaljnivå om hvor traseen bør ligge i terrenget, bør man ta i bruk mer detaljert data for å få et mer reelt bilde av virkeligheten. I følge kartverket (2015) vil laserdata være landsdekkende om noen år. Dette vil gi et mer reelt bilde på de ulike terrengformasjonene verktøyet vurderer i analysen.

## 5.1 Forgreiningsalgoritme

I utvelgelsen av drifter vi skulle bruke i denne undersøkelsen valgte vi å utelukke de driftene som tilsynelatende var preget av andre drifter og som inngikk i et nettverk av driftsveger ut til andre bestand. Vi observerte mange tilfeller der samme basveg hadde blitt brukt til å avvirke ulike bestand ved flere drifter. Vi antar at Statskog ønsker å avvirke flere bestand i samme område for å unngå kostnader knyttet til flytting av maskiner og sporskade gjenoppretting. Verktøyet lokaliserer i dag bare trasèer til hvert enkelt bestand, mens i praksis legges trasèene slik at den kan brukes i kombinasjon med flere bestand.

Denne problematikken så Dennis Dean (1997) på i sin undersøkelse. Han undersøkte tre ulike optimaliseringsmodeller for å danne et driftsvegnettverk ved hjelp av GIS-baserte hjelpemidler. Han klarte å rekonstruere et nettverk av driftsveger i et område med over 80 prosent treffsikkerhet mot det reelle nettverket. Ettersom denne praksisen er svært vanlig ville det vært hensiktsmessig å implementere denne algoritmen i «tilgjengelighetsanalysen». Dette ville ført til et mer praktisk sammenlignbart resultat siden det sjelden gjennomføres bare en og en drift i det samme området.

## 5.2 Ar5

I steg 1 blir kartlaget «skog» i AR5-kartlaget lagt inn som fremkommelig sommerstid, mens resterende kartlag er barrierer (samferdsel, myr, vann m.fl.). Ved besøk på objektID 1586 (se Kart 10) ble det observert at kjøreruten generert i verktøyet ble lagt helt ned til en vannkant med bunnløs myr som grunnlag. I kartgrunnlaget (AR5) er det registrert skog på dette området

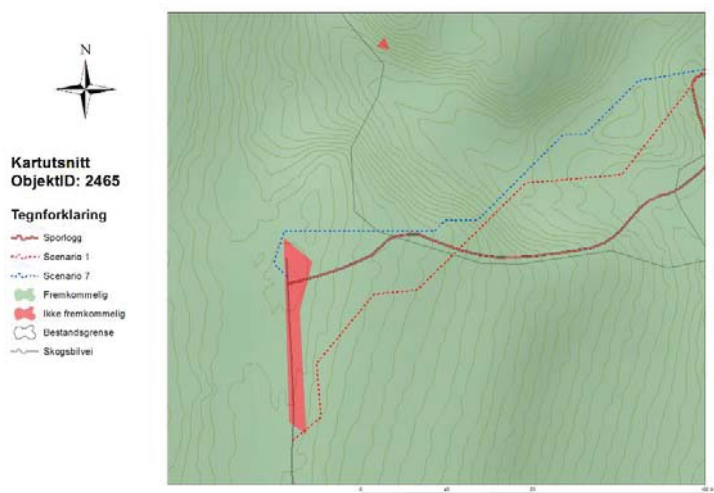


Kart 10: Illustrerer den foreslåtte traseens plassering i forhold til vannet. Grønt er registrert som «skog» i AR5 (fremkommelig), mens rødt er «vann» og for bratt terreng (ikke fremkommelig).

og regnes dermed som fremkommelig. En ide for å unngå denne problematikken er å bruke variabelen «vann» fra AR5-kartlaget og generert en buffersone på for eksempel 20 meter. Dette tiltaket ville gjort arealet rundt vannet til barriere og dermed utelukket det fra analysen. Tanken med dette er at det skal gi mer reelle kjøreruter, samt bevare kantsoner rundt vann og vassdrag (kravpunkt 27) (PEFC Norge, 2015).

Det finnes imidlertid et problem med denne måten å legge inn denne faktoren på, og det er at «vann» i AR5-kartlaget også inkluderer bekker. Dermed vil verktøyet måtte kjøre rundt bekken istedenfor å kjøre over på ett punkt. Da vil bestanden enten bli utelukket for drift grunnet kjørelengde og økonomi, eller basvegen blir unødvendig lang, mens det i praksis bare legges en midlertidig kjørebros. En annen måte å omgå dette problemet på er å bruke FKB-data som datagrunnlag. Datasettet «vann\_flate» inneholder grenser på innsjøer, og ved å gjøre et utvalg og ekskludere elver og bekker, kan man lage en buffersone rundt disse og sette de som en barriere i «tilgjengelighetsanalysen». En inkludering av FKB-data vil føre til økte datamengder som må behandles i verktøyet, og dermed kreve noe mer datakapasitet.

Når «samferdsel» (samtlige vegklasser) i AR5 blir lagt inn som barrierer kan det oppstå uheldige situasjoner når de foreslåtte traséene skal kobles til vei (Se Kart 11). Trase 1 og 7 får i dette tilfellet noe lengre driftsveg enn hva de i virkeligheten ville fått. En løsning på dette kunne vært å gjort «samferdsel» i AR5 fremkommelig og gjort alle veier i «Vbase» til barrierer bortsett fra privat- og skogsbilveier. På denne måten vil privat- og skogsbilvei blir fremkommelig og man ville unngått dette problemet.

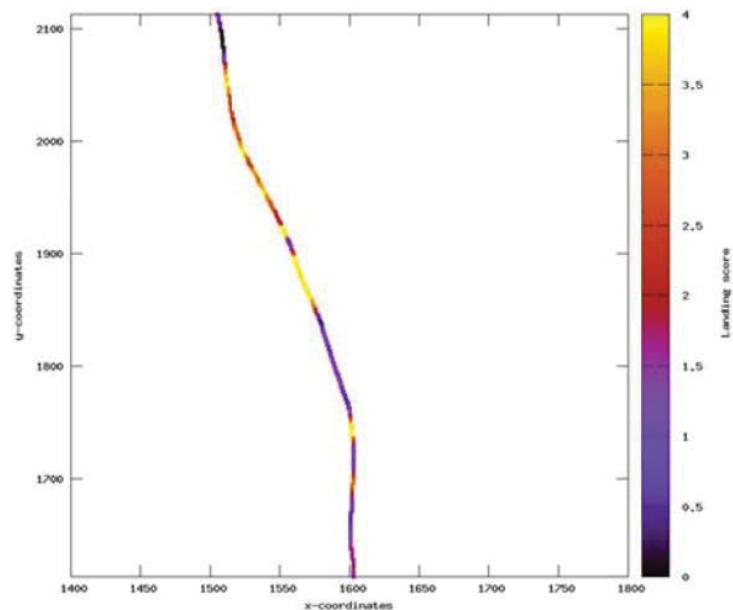


Kart 11: Utfordringer knyttet til at vei i AR5 er registrert som barriere. Det røde feltet rundt skogsbilveien er «vei» (ikke fremkommelig), mens det grønne er «skog» (fremkommelig).

### 5.3 Velteplass

Utgangspunktet for beregningene til verktøyet starter i bestandsmidtpunktet og beregne videre en rute frem til nærmeste veg. Om tilknytningspunktet på vei egner seg som velteplass er svært tilfeldig, da arealet som kreves er avhengig av driftsstørrelsen og terrengformasjonen. En tanke og ide som dukket opp hos oss var om det kunne vært mulig å identifisere områder som er egnet til dette

formålet. Contreras & Chung (2007) utførte en GIS analyse for å identifisere mulige velteplasser basert på faktorer som driftsstørrelse, velteplasseformasjon, terrengformasjon og tilkomsten til området. En inkludering av et slikt punkt eller område ville ført til at resultatet ble preget av et start og sluttpunkt. De andre begrensningene som «tilgjengelighetsanalysen» bruker ville bli føringer på hvordan kjøreruten blir mellom disse punktene. Søvde (2014) har også sett på ulike algoritmer for å lokalisere landingsplasser for taubaner, og velteplasser. Den algoritmen som han beskriver går ut på å finne høydeforskjeller ved veg innenfor en viss radius der vegen gis en farge som beskriver hvor godt området egner seg som velteplass (Figur 22).

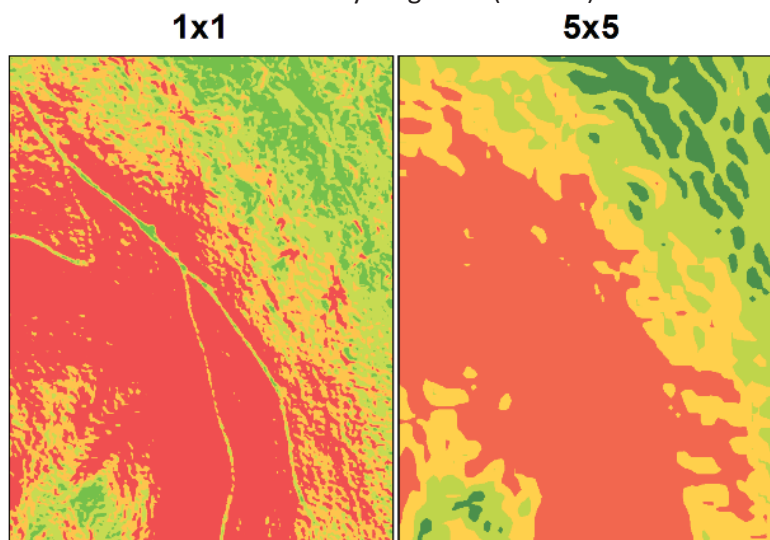


Figur 22: Resultat fra velteplassalgoritmen til Nils Egil Søvde. Streken representerer vei, lysere farge langs veien representerer gode muligheter for velteplass (Søvde, 2014).

#### 5.4 Lokalisering av eksisterende traktorveier

Laserdata er av høy kvalitet og det er fullt mulig å lokalisere eksisterende traktorveier med dem. På grunn av bratthetsrasterets lave oppløsning (5m x 5m) klarer ikke verktøyet å lokalisere veier i terrenget. Ved å øke oppløsningen til 1m x 1m kommer veiene tydelig frem (Kart 12)

Søvde, Løkketangen, & Talbot (2013) opererer med høyere oppløsning på rasterlagene (1m x 1m) og går mer i detalj. Den høye oppløsningen gjør det mulig å vurdere terrenget under hvert enkelt dekk. Dette gjør detaljnivået mye høyere enn Statskogs verktøy, samtidig som det øker mengden på datamaterialet betraktelig.



Kart 12: Sammenligning av bratthetskart med ulike oppløsning på raster.

### 5.5 Bygging av midlertidigvei

I dag gjennomføres det gravedrifter der gravemaskiner bygger midlertidige basveger slik at hogstmaskin og lastbærere kan kjøre der. Metoden er særlig utbredt i områder med bratt terreng med tykke morenemasser (Lileng, 2009). Lokalisering av hvor man kan bygge midlertidig vei kunne være interessant å implementere i verktøyet for å redusere kostanden ytterligere. En mulig løsning på dette er å beregne kostnader knyttet til graving med gravemaskin i ulike jordmasser og bratthetsklasser. Deretter legge gravekostnaden inn i bratthetsklasser som oversiger maskinstabiliteten.

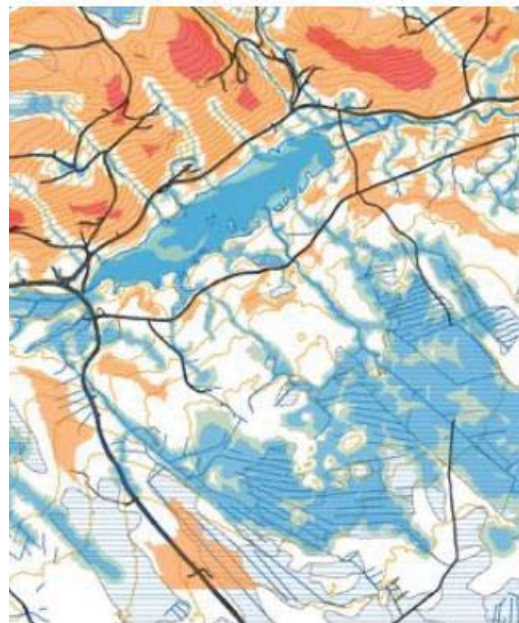
### 5.6 Inkludering av hogstklasser

Som tidligere beskrevet i metodediskusjonen ble den planlagte traseen lagt gjennom hogstklasse 2 og ung hogstklasse 3, dette vil da medføre større uttak av trær og virke som er i en høy produksjonsfase. En løsning på dette problemet kunne vært å inkludere hogstklassene og gitt dem en vektning. Selvsagt kunne denne traseen blitt lagt slik at man kunne brukt de på nytt ved eventuelle tynningsuttak senere og begrenset kostnader knyttet til uttak og planleggingstid på dette.

### 5.7 Fuktighetskartlegging

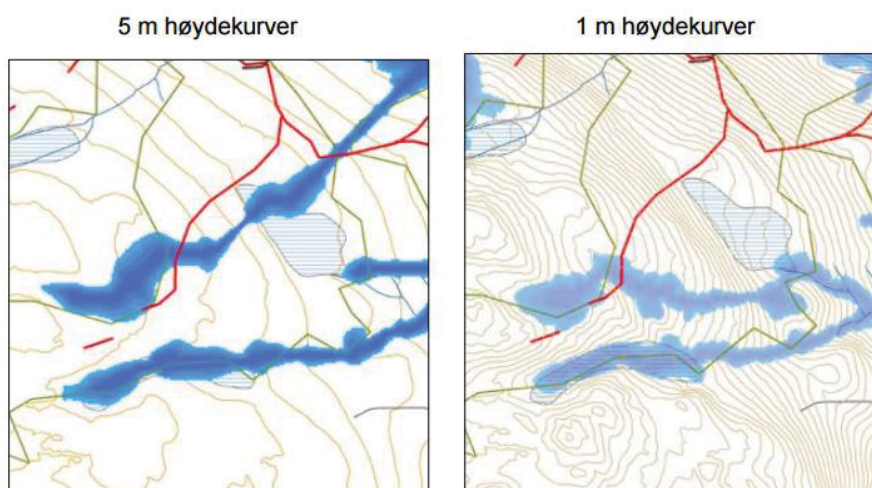
Våre resultater indikerer at bruk av fuktighetskart reduserer kostnadene betraktelig. Det kommer også frem at det er knyttet mange problemer til datalagets nøyaktighet, spesielt i områder nærme vei og grøfter. Disse problemene blir også beskrevet av Bergkvist, et al. (2014), der de sammenligner inventeringsdata og fuktighetsklassene i DTW. I 68 % av tilfellene hadde inventeringen og modellen samme verdi. For flat terreng der områder med grøfter var ekskludert hadde modellen en treffprosent på 86%. Implementerer man stikkrenner og kuverter skal man i realiteten klare å oppnå en rimelig høy treffprosent ved bruk av modellen.

DTW kan også brukes til å kartlegge områder med høy dybde til vann. Disse områdene kan være av like høy interesse som områder med lav dybde til vann da disse områdene har lavest sannsynlighet for å få sporskader (Kart 13).



Kart 13: Det er ikke bare fuktighet som kan kartlegges med DTW, man kan også kartlegge områdene med høyest dybde til vann. Det blå illustrerer lav dybde til vann, mens det røde indikerer høy dybde til vann. (Bjerketvedt, Skog og tre, 2015)

Tidligere kunne mye av terrengtransporten foregå på snøpakkede basveger eller i terreng med gode te, dette er noe vi ikke kan regne med lengre da klima er i endring (Tveito, 2014) og det gjennomføres avvirkning hele året. I den nyreviderte PEFC-standard stilles det også høyere krav til hvordan det skal se ut etter drifta er fullført, det forplikter oss til å ta mer hensyn gjennom hele planleggingsfasen og under selve hogsten. Betydningen av høy nøyaktighet på grunnlagsdata kan være avgjørende for hvor nøyaktig DTW modellen blir. Som Kart 14 illustrerer ser man det at ved bruk av 5 meters høydekurver får et noe annet resultat sammenlignet med 1 meters høydekurver. Er dataene nøyaktig ville man før drifta igangsettes visst hvor de fuktigste områdene var lokalisert og man kunne dermed prøvd å unngått disse ved å plassere trasèene i de tørrere områdene. Man kunne også fått et visst bilde på driftskostnadene og gitt et mer nøyaktig anslag på pris. God planlegging før driftas oppstart kan gjøre avvirkningen mer effektiv og kostnadsbesparende da man vet hvor det er bløtt og hvilket utstyr man trenger for å redusere sporskadene.



Kart 14: Betydning av nøyaktig grunnlagsdata. (Bjerketvedt, Skog og tre, 2015)

## 6 Konklusjon

Tilgjengelighetsanalysen ser ikke ut til å stemme med praktiskdrift. Med våre endringer ser vi ingen klare likheter med sporloggen, men ved å innføre fuktighetsinformasjon har vi fått en mer praktisk tilnærming.

Kartverket gjennomfører i skrivende stund landsdekkende laserscanning som er av høyere kvalitet enn dagens løsning (DTM10). Resultatet indikere ingen kostnadsforskjeller mellom datagrunnlagene, men vi ser at laserdata gir et mer reelt bilde av terrenget og kan lokalisere utfordringer knyttet til trasevalg bedre enn DTM10. Samtidig anbefales det at DTW kjøres med laserdata for å gi et best mulig resultat.

De nye bratthetsklassene viser ingen kostnadsreduksjon sammenlignet med de originale klassene, men vi observerer store utfordringer knyttet til sidehelling. Dette er noe vi ikke ser i de gamle klassene hvor traséene legges mer vinkelrett mot høydekurvene, vi anbefaler derfor å benytte de gamle klassene inntil videre. Når det gjelder de nye bratthetsklassene bør det gjøres ytterligere tester hvor man vurderer klassene i flere bratte drifter, det bør også utarbeides regler for sidehellingsproblematikken da dette ikke blir vurdert i de nye klassene.

Under befaringene observerte vi en rekke utfordringer knyttet til fuktighet og etter å ha tilføyet fuktighetsinformasjon (DTW) i analysen ser vi et stort potensial for kostnadsreduksjon. Fuktighet er noe vi kan forvente blir satt strengere krav til i fremtiden, og allerede nå i den ny reviderte PEFC-standarden er det satt skjerpede krav til hvordan driftsområdet skal se ut etter drifta er avsluttet. I litteraturen er det også rapportert at DTW egner seg godt til fuktighetskartlegging og at den blir sett på som fremtidens verktøy for kartlegging av fuktigmark.

Som belyst i kapittel 5 finnes det en rekke forbedringspotensialer avhengig av fremtidig bruk.

## 7 Referanser

- Aktivt skogbruk. (2006). *Tynning i gran- og furuskog - Temabok* (3. utg.). Biri: Skogbrukets kursinstitutt.
- Ampoorter, E., Goris, R., Cornelis, W., & Verheyen, K. (2007). Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. *Forest Ecology and Management*, 241, ss. 162-174.
- Andresen, L. (2013). *Levende skog - forhandlinger & årsaker til brudd*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Masteroppgave fra NMBU.
- Arp, P. (2009). High-resolution flow-channel and wet-areas maps: a tool for better forest operations planning. *Sustainable forest management network, SFM Network Research Note*(55), ss. 1-6.
- Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S., & Sonesson, J. (2014). *STIG-projektet 2010-2014*. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 818-2014.
- Bergsaker, E., & Hohle, A. E. (2011). *Økt avvirkning i marginale skogsområder med dårlig bæreevne*. Rapport fra Skog og landskap (12).
- Berre, H., & Teig, H. (1995). *Skogbrukets driftsteknikk*. Oslo: Landbruksforlaget.
- Bishop, K., Allan, C., Bringmark, L., Garcia, E., Hellsten, S., Högbom, L., . . . Åkerblom, S. (2009). The Effects of Forestry on Hg Bioaccumulation in Nemoral/Boreal Waters and Recommendations for Good Silvicultural Practice. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 38(7), ss. 373 - 380.
- Bjerketvedt, J. (2005). Skogressurser tilgjengelige for industrien - et GIS-prosjekt. *Kontaktkonferanse for skogbruk og skogforskning i Trøndelag* (ss. 13-15). Stjørdal: Skogforsk.
- Bjerketvedt, J. (2015). *Skog og tre*. Hentet Mai 1, 2016 fra <http://www.skogogtre.no/files/Bruk%20av%20fuktighetskart%20til%20valg%20av%20kj%C3%83%C2%B8reruter.pdf>
- Brunberg, T. (2004). *Underlag till produktionsnormer för skotare*. Skogforsk. Redogörelse nr 3.
- Contreras, M., & Chung, W. (2007). A computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(2), ss. 276-292.
- Dean, J. D. (1997). Finding optimal routes for networks of harvested site access roads using GIS-based techniques. *Canadian Journal of Forest Research*, ss. 11-22.
- Dijkstra, E. W. (1959). A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik*(1), ss. 269-271.
- Eliasson, L., & Wästerlund, I. (2007). Effects of slash reinforcement of strip roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil. *Forest Ecology and Management*, 252, ss. 118-123.
- Frønsdal, J. (1985). *Off-road transport by different forest machines. A practical and theoretical analysis of effects of various terrain factors on the machines travel speed and stability*. Skog og landskap.

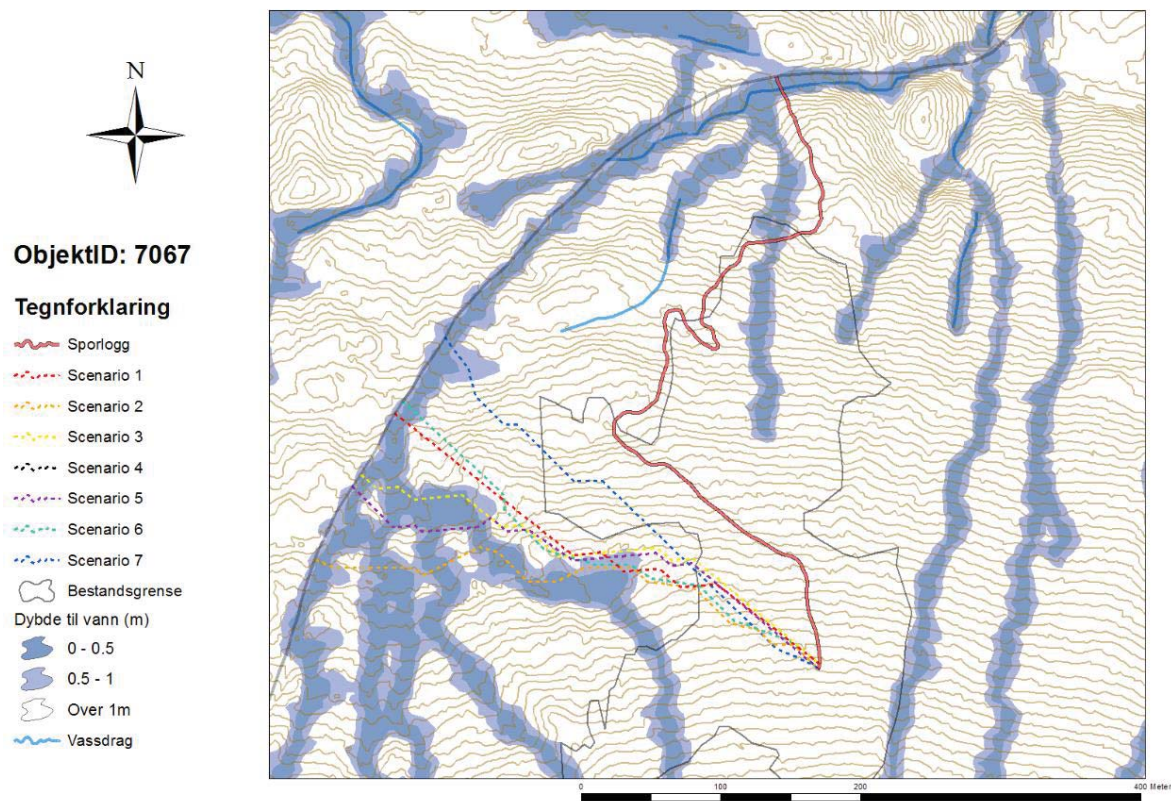
- GeoNorge. (2010). *www.geonorge.no*. Hentet April 19, 2016 fra <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/dtm-10/dddbb667-1303-4ac5-8640-7ec04c0e3918>
- Gjedtjernet, A. M., & Bjerketvedt, J. (2003). *Driftsteknikk teknisk fagskole fordypningsområde skogbruk* (1. utg., Vol. 1). GAN Forlag AS.
- Herzog, I. (2013). The Potential and Limits of Optimal Path Analysis. I A. Bevan, & M. Lake, *Computational Approaches to Archaeological Spaces* (ss. 179 - 211). Left Coast Press.
- Hoen, H., & Svendsrud, A. (2014). *Store Norske Leksikon*. Hentet Februar 3, 2016 fra [https://snl.no/Skogbruk\\_i\\_Norge](https://snl.no/Skogbruk_i_Norge)
- Hunter, A. (1993). A review of research into machine stability on slopes. *Safety sci*, 16(3-4), ss. 325-339.
- Instruktion för tillverkning av Wetmap-kartor. (u.d.). Upublisert instruksjon.
- Johansson, S. (2015). Bäst med best? Nytt effektivt beslutningsstöd för fältet. *Vision*(1), ss. 8-11.
- Kartverket. (2015). Hentet April 29, 2016 fra <http://kartverket.no/Om-Kartverket/Nyheter/klarsignal-for-3d-modell-av-norge/>
- Kooshki, M., Hayati, E., Rafatnia, N., & Ahmadi, M. T. (2012). Using GIS to Evaluate and Design Skid Trails for Forest Products. *Taiwan J For Sci*, 27(1), ss. 117-124.
- Landbruks- og matdepartementet. (2013). *Normaler for landbruksveier - med byggebeskrivelse*.
- Larsson, K., & Staland, F. (2002). *Bra planering och rätt teknik minskar risken för markskador*. Skogforsk Resultat nr.4.
- Lileng, J. (2009). *Avvirkning med hjulgående maskiner i bratt terreng*. Ås: Norsk institutt for skog og landskap.
- Lov om forvaltning av naturens mangfold. (2009). Klima- og miljødepartementet.
- Lov om kulturminner. (2009). Klima- og miljødepartementet.
- Lov om skogbruk. (2005). Landbruks- og matdepartementet.
- Löfgren, S., Ring, E., Brömssen, C. v., Sørensen, R., & Högbom, L. (2009). Short-term Effects of Clear-cutting on the Water Chemistry of Two Boreal Streams in Northern Sweden: A Paired Catchment Study. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 38(7), ss. 347-356.
- Løvenskiold, F. C. (2014). *Registrering av skogsbilveier*. Viken Skog.
- McDonald, T. P., & Seixas, F. (1997). Effect of slash on forwarder soil compaction. *Journal of Forest Engineering*, 8(2), ss. 15-26.
- Miljødirektoratet. (2016). *Miljøstatus*. Hentet April 29, 2016 fra <http://www.miljostatus.no/Tema/Naturmangfold/Skog/>
- Mohtashami, S., Bergkvist, I., Löfgren, B., & Berg, S. (2012). A GIS Approach to Analyzing Off-Road Transportation: a Case Study in Sweden. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2), ss. 275-284.

- Murphy, P. N., Ogilvie, J., Meng, F.-R., White, B., Bhatti, J. S., & Arp, P. A. (2011). Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution: A case study. *Ecological Modelling*(222), ss. 2314– 2332.
- Mæhlum, L. (2009). *Store Norske Leksika*. Hentet April 25, 2016 fra [www.snl.no](http://www.snl.no): <https://snl.no/Hedmark%2Fgeologi>
- Nordlund, A., Ring, E., Högbom, L., & Bergkvist, I. (2013). *Beliefs among Formal Actors in the Swedish Forestry Related to Rutting Caused by Logging Operations*. Arbetsrapport 807. Skogforsk.
- Norskog. (2015). *Skoghåndboka 2015*. Oslo: Det norske Skogselskap.
- NSW Forest. (2005). *Forestry Corporation of NSW*. Hentet April 26, 2016 fra [http://www.forestrycorporation.com.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0010/457174/FNSW-ForestPracticesCode-2005.pdf](http://www.forestrycorporation.com.au/__data/assets/pdf_file/0010/457174/FNSW-ForestPracticesCode-2005.pdf)
- PEFC Norge. (2015). *Norsk PEFC Skogstandard*. Oslo: PEFC Norge.
- Skog og landskap. (2014). *Bærekraftig skogbruk*. Norsk institutt for skog og landskap, Ås.
- Smith, S., Nyeggen, H., & Aarra, H. (1992). *FMT TOR Hogstmaskin. Forsøksdrift i sluttavvirkning på Vestlandet*. Rapport fra Skogforsk 16. 33 s.
- Solgi, A., & Najafi, A. (2014). The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. *Journal of forest science*, 60(1), ss. 28-34.
- Solheim, H. (2005). Kan vi gjøre noe for å hindre eller redusere råte i framtidsskogen? I S. Woxholt (Red.), *Kontaktkonferanse for skogbruk og skogforskning i Trøndelag*, (ss. 23-26). Stjørdal.
- Statens landbruksforvaltning. (2013). *Skogbruksplanlegging - Formål, behov og organisering*. Nr 5. Oslo.
- Suàrez, J. C., Ontiveros, C., Smith, S., & Snape, S. (2005). Use of airborne LiDAR and aerial photography in the estimation of individual tree heights in forestry. *Computers & Geosciences*, 31, ss. 253-262.
- Søvde, N. E. (2014). Off road transportation cost calculations for ground based forest harvesting systems. *Math. Comput. For. Natur. Resour. Sci*, 6(2), ss. 48-53.
- Søvde, N. E., Løkketangen, A., & Talbot, B. (2013). Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout. *Forest Science and Technology*, 9(4), ss. 187-194.
- Thorsnæs, G. (2014). *Store Norske Leksika*. Hentet Mai 3, 2016 fra [www.snl.no](http://www.snl.no): <https://snl.no/Buskerud/natur>
- Thorsnæs, G. (2016). *Store Norske Leksikon*. Hentet Februar 25, 2016 fra [www.snl.no](http://www.snl.no): <https://snl.no/Sarpsborg>
- Tigercat Industries Inc. (2015). Latest developments in steep slope logging. *Between the Branches*(40), s. 3.
- Tveito, O. E. (2014). *Klimaendringer og betydning for skogbruket. MET report no. 25/2014*. Norwegian Meteorological Institute.

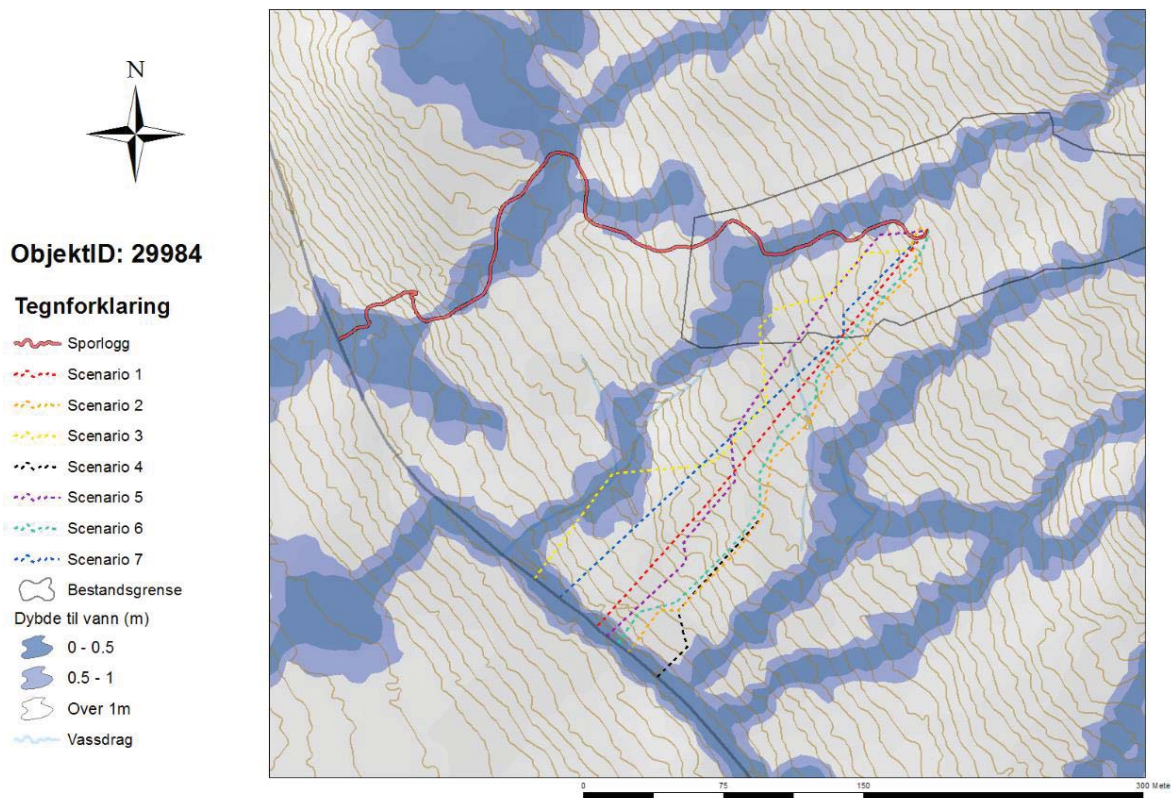
- Vennesland, B., Hobbelstad, K., Bolkesjø, T., Baardsen, S., Lileng, J., & Rolstad, J. (2006). *Skogressursene i Norge 2006. Muligheter og aktuelle strategier for økt avvirkning*. Viten fra skog og landskap 03/2006.
- Verdù, F. (2015). *Dokumentasjon for verktøy for TA & OP versjon 1.0*. Upublisert dokumentasjon. Geodata.
- Wronski, E. B., & Murphy, G. (1994). Respons of forest crops to soil compaction. I B. D. Soane, & C. V. Ouwerkerk, *Soil Compaction in Crop Production* (ss. 317–342). Amsterdam: Elsevier.
- Wronski, E. B., Stodart, D. M., & Humphreys, N. (1990). Trafficability assessment as an aid to planning logging operations. *Appita*, 43(1), ss. 18-22.
- Ågren, A. M., Lindberg, W., Strömgren, M., Ogilvie, J., & Arp, P. A. (2014). Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping - a Swedish case study. *Hydrology and Earth System Sciences*(18), ss. 3623 - 3634.

## 8 Vedlegg

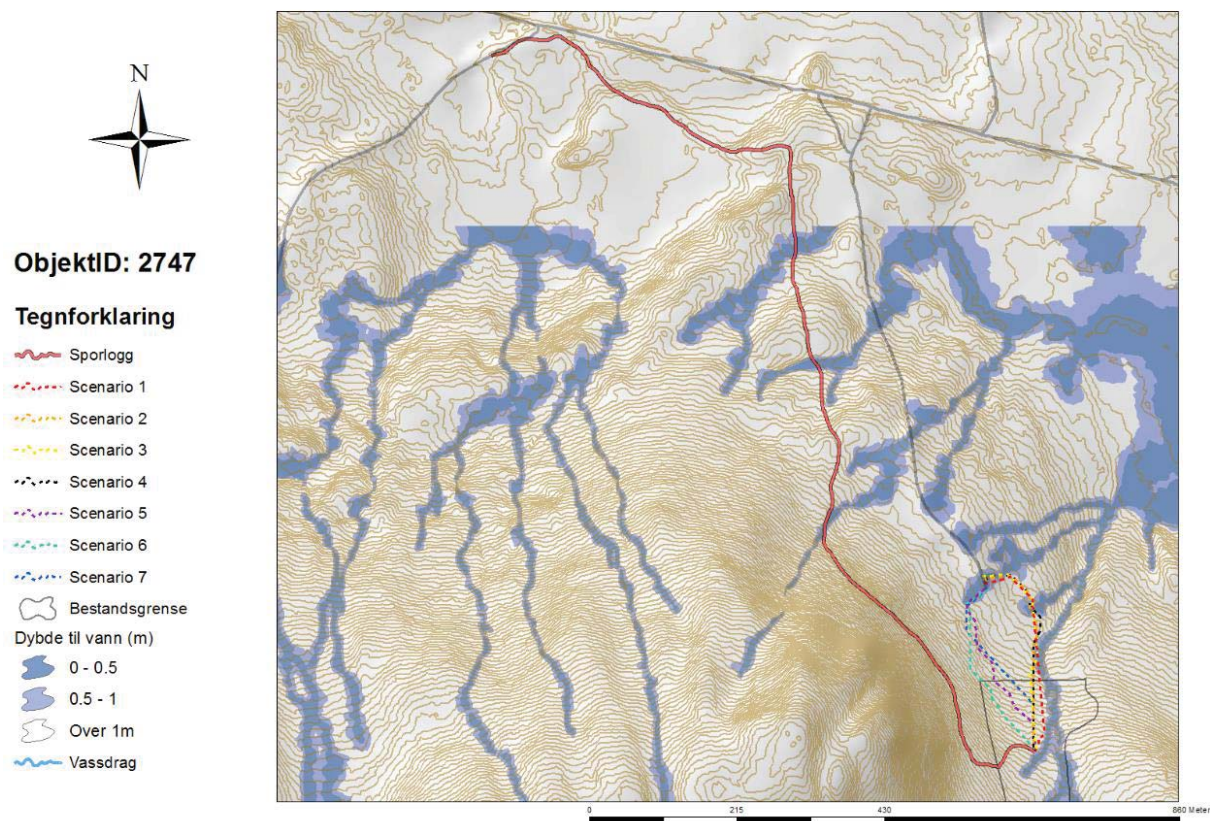
Vedlegg 1: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 7067.



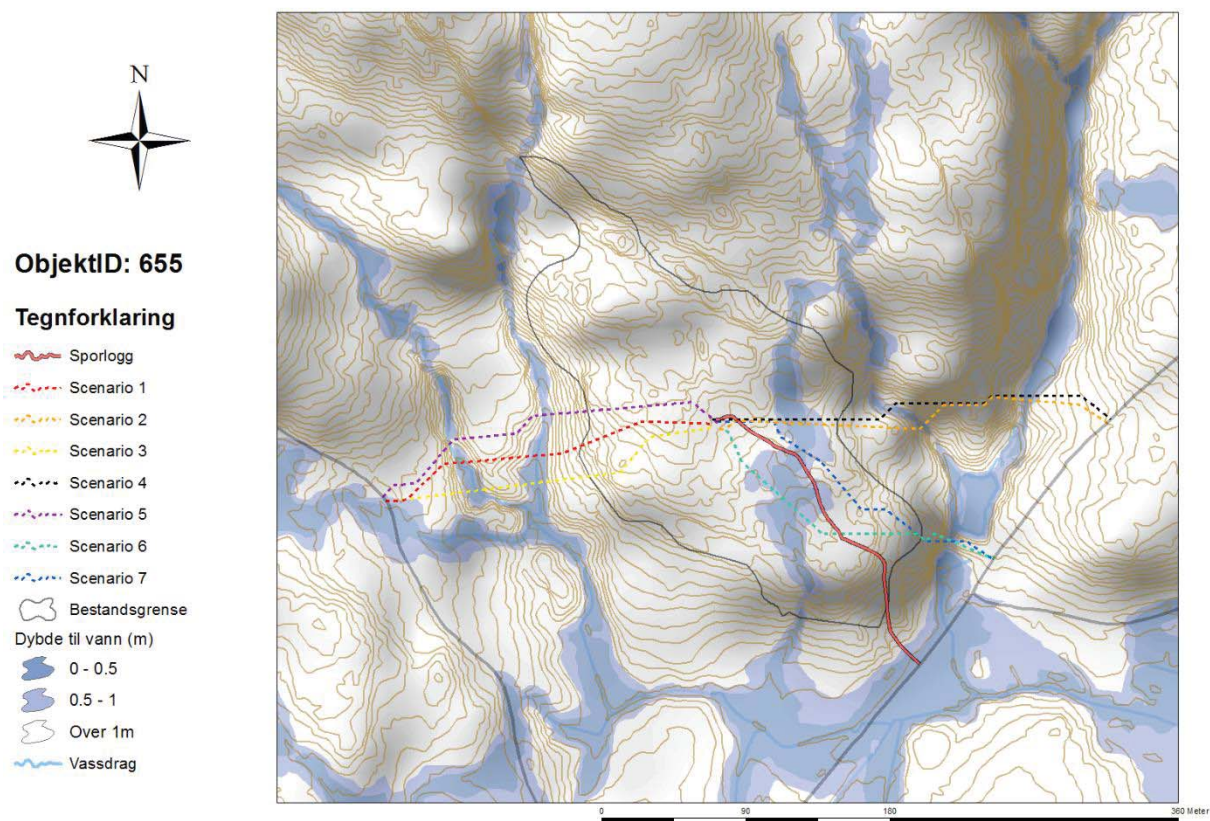
Vedlegg 2: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 29984.



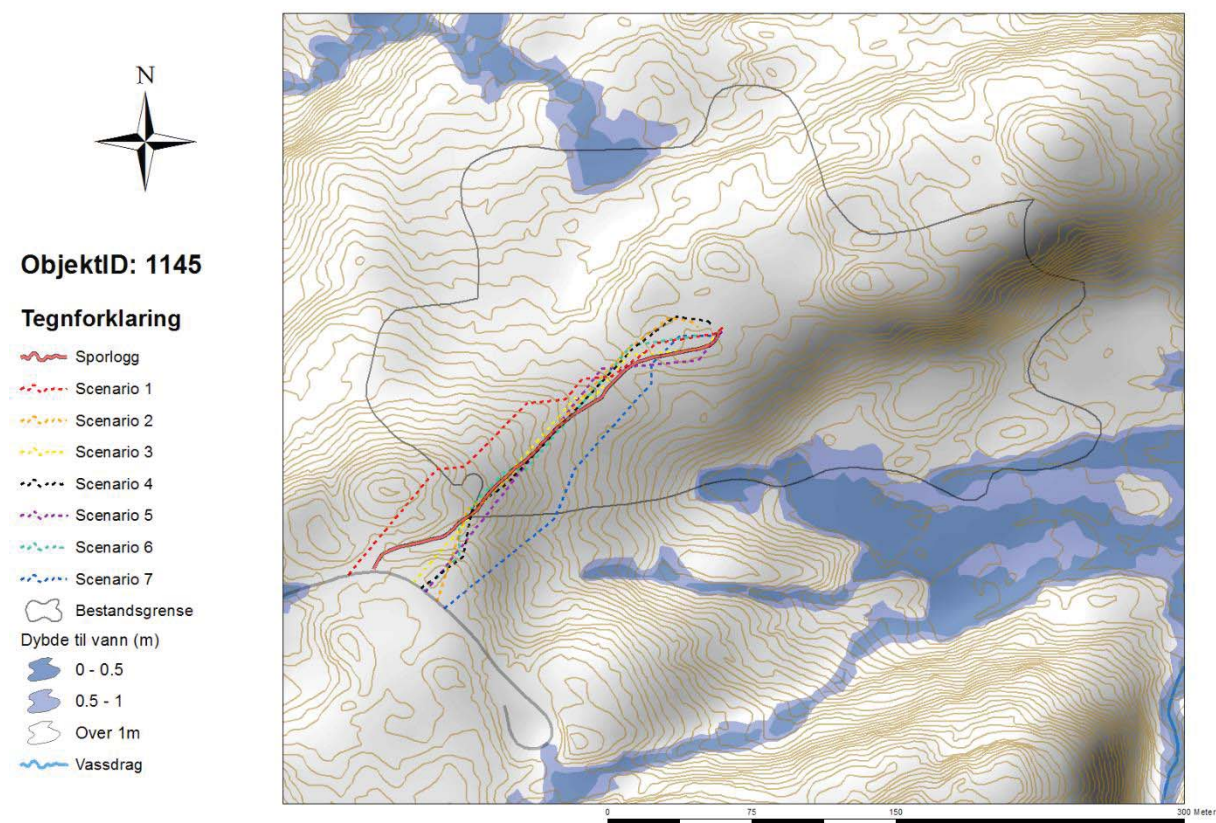
Vedlegg 3: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 2747.



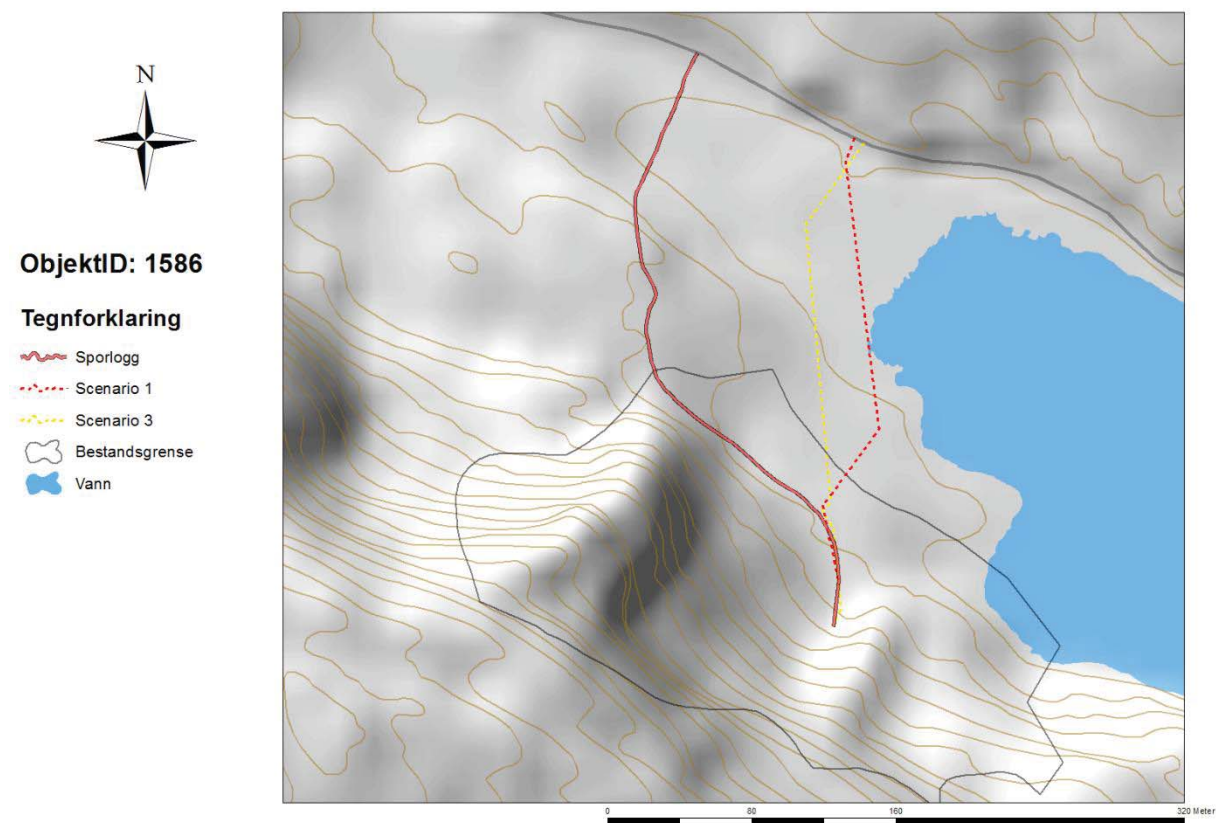
Vedlegg 4: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 655.



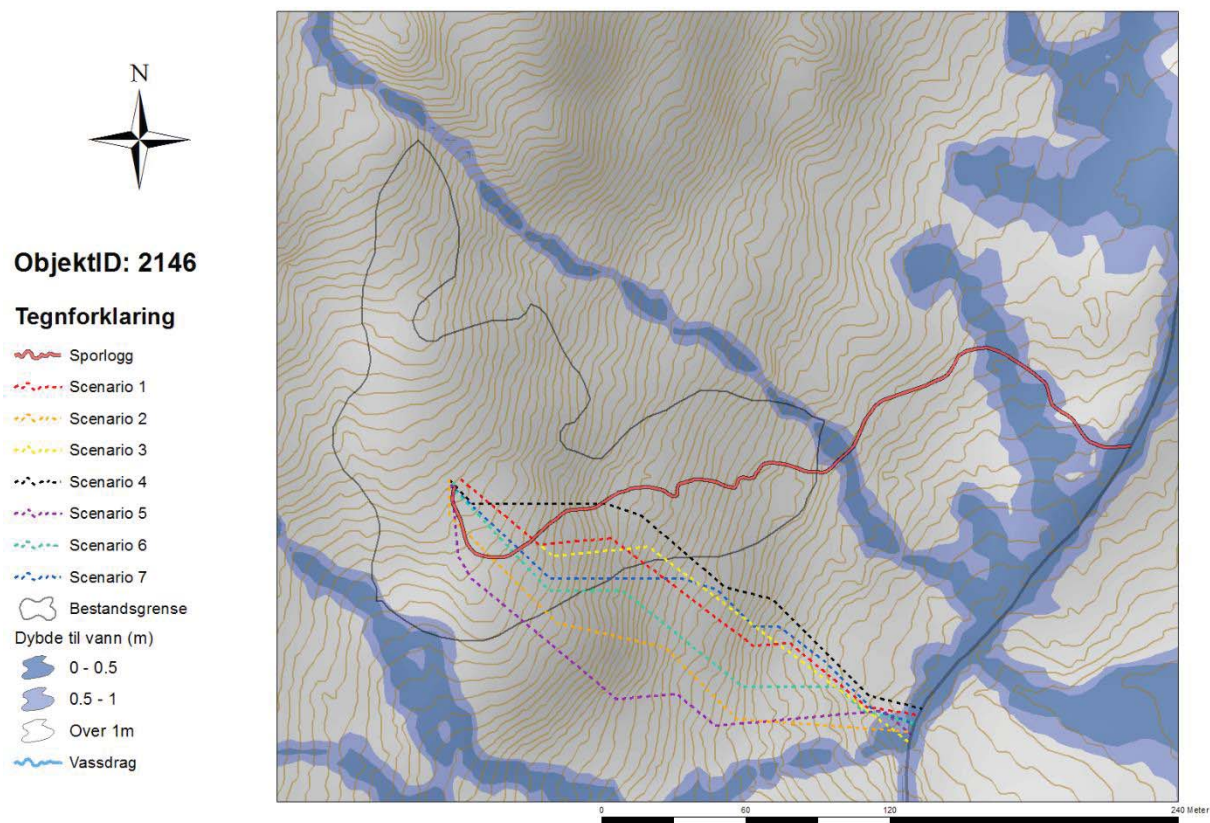
Vedlegg 5: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 1145.



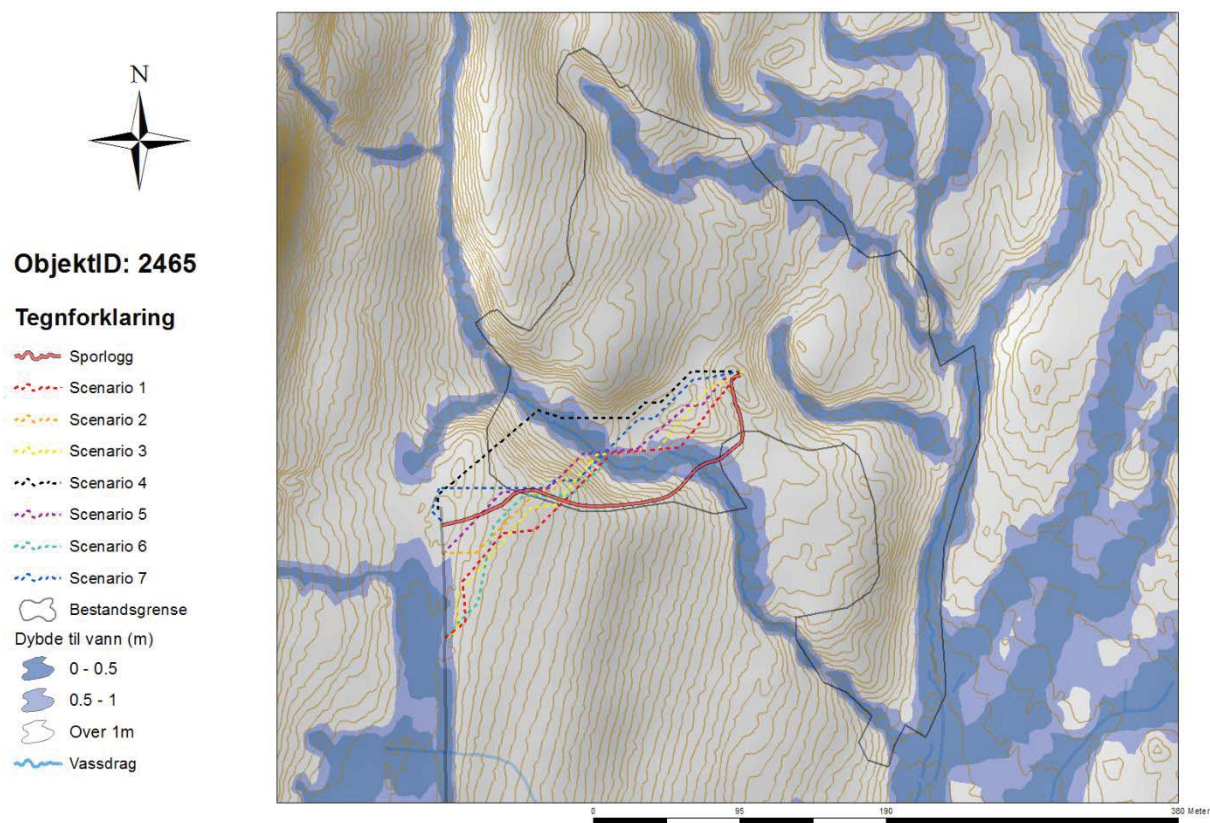
Vedlegg 6: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 1586.



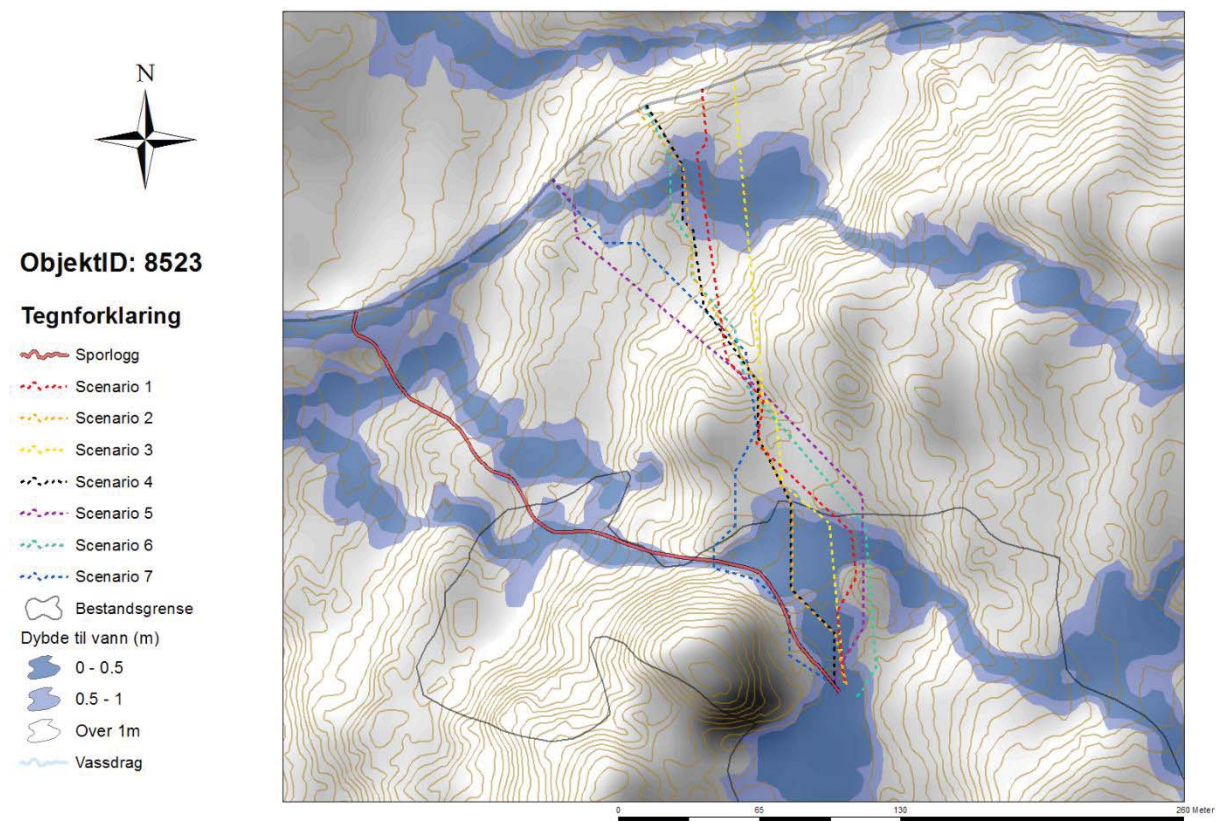
Vedlegg 7: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 2146.



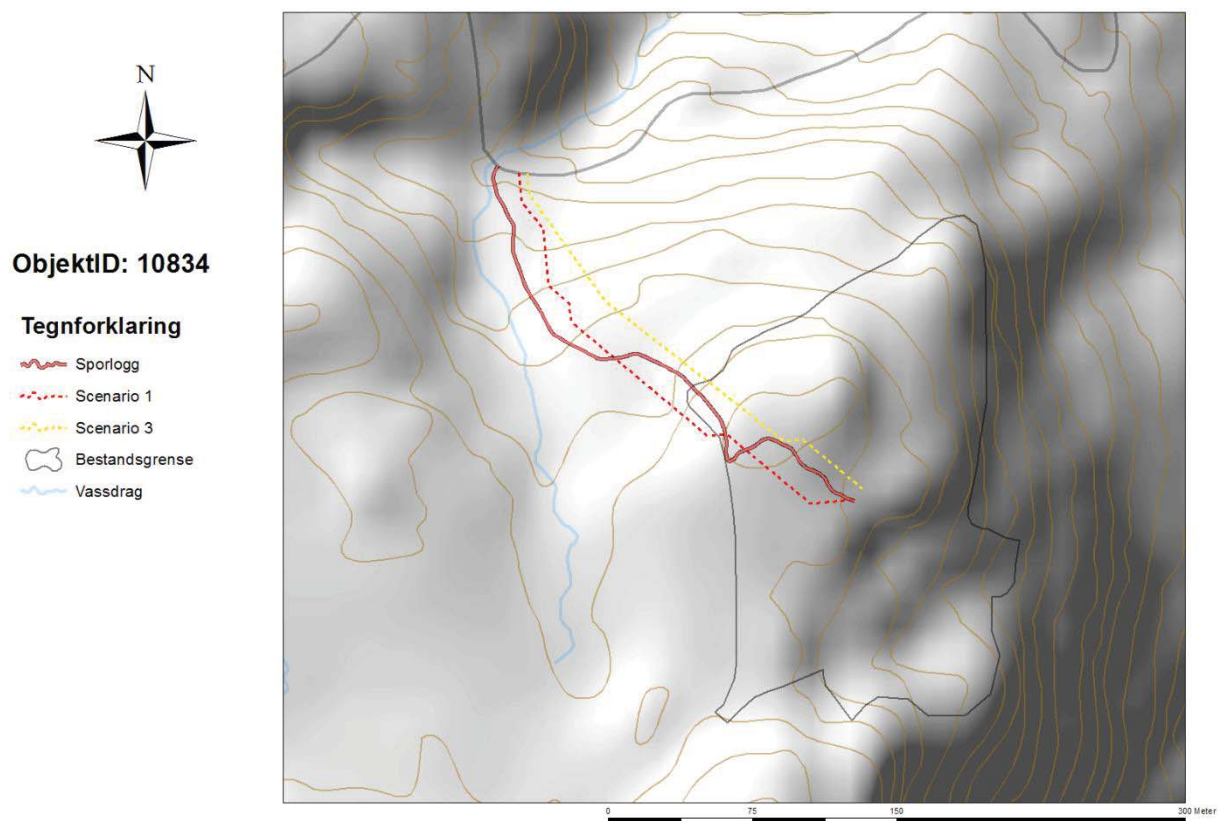
Vedlegg 8: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 2465.



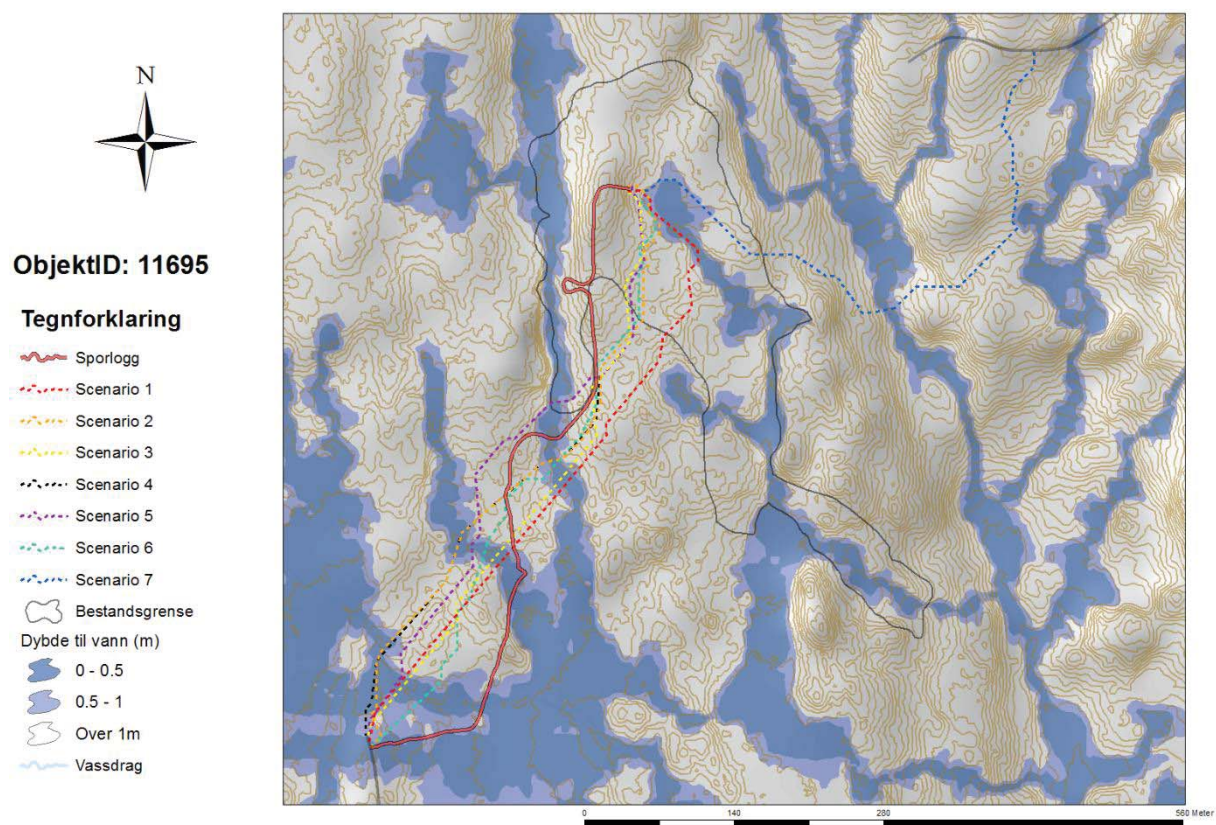
Vedlegg 9: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 8523.



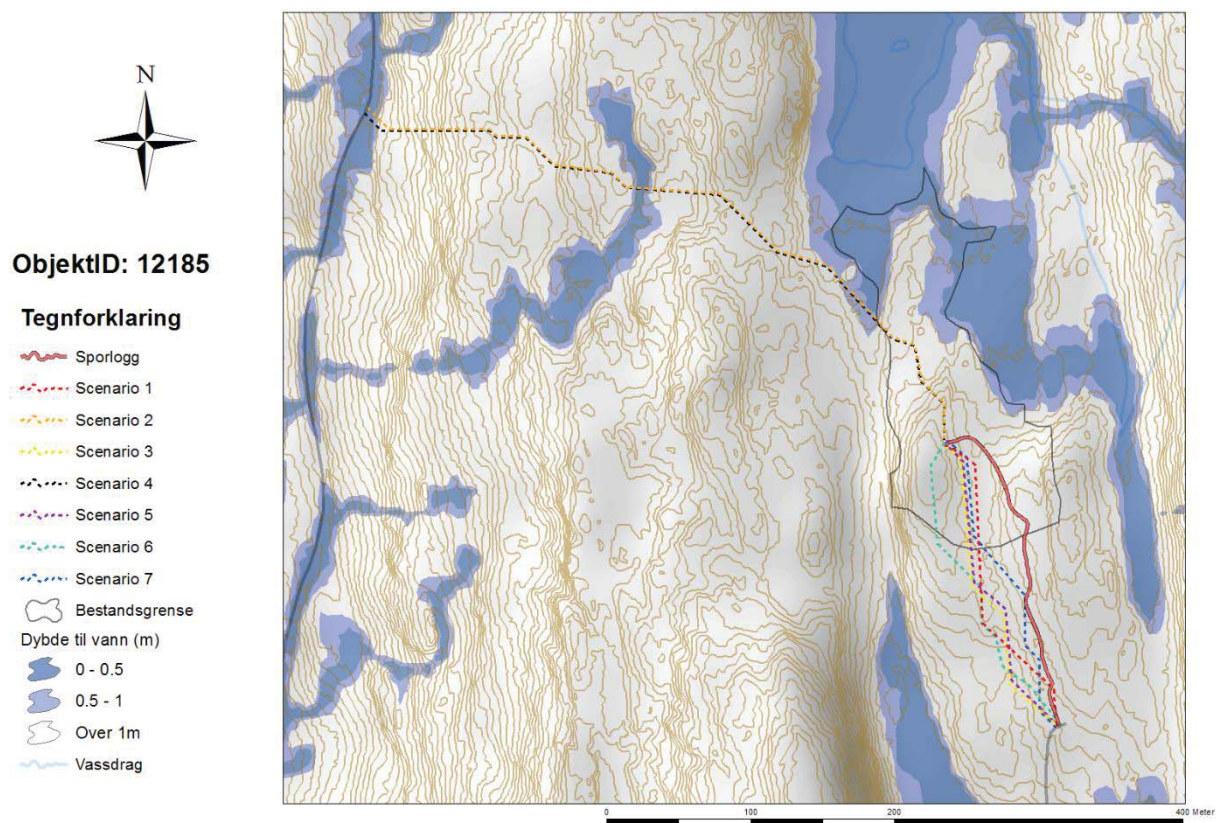
Vedlegg 10: Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 10834.



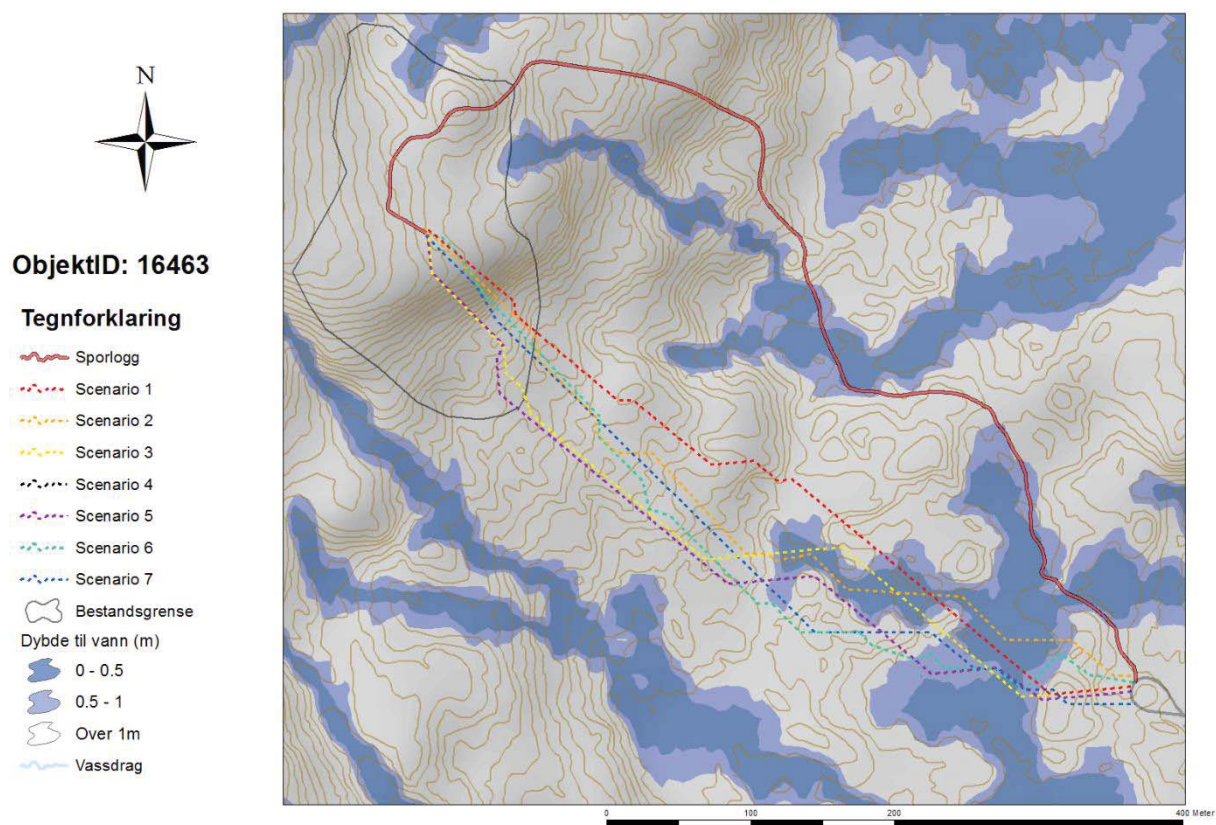
Vedlegg 11: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 11695.



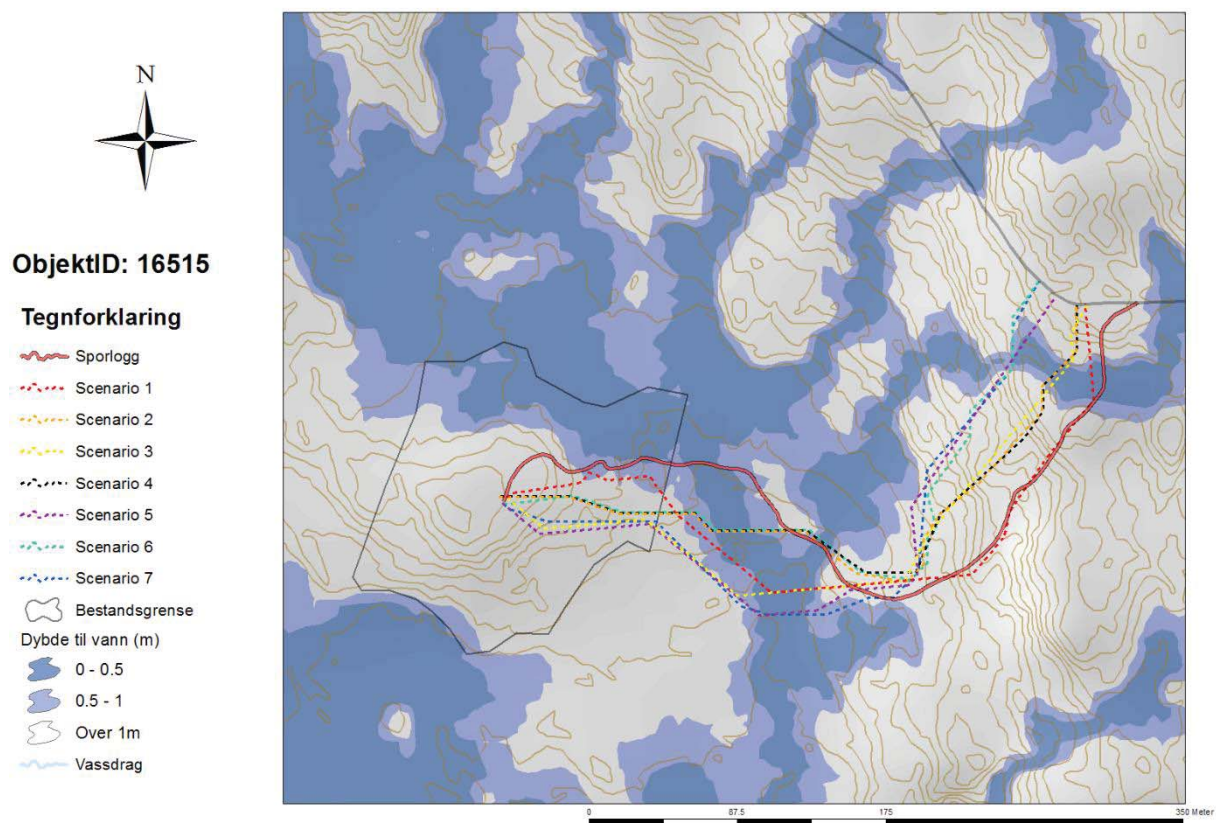
Vedlegg 12: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 12185.



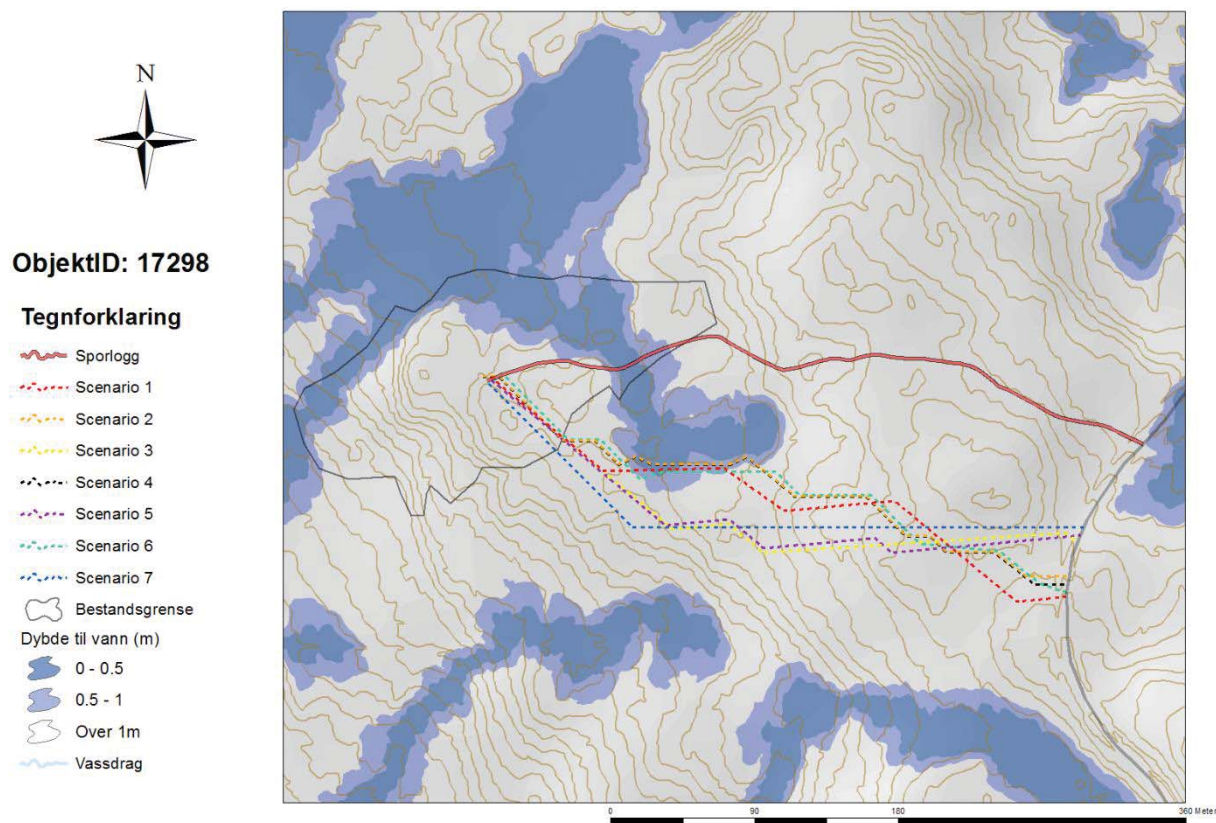
Vedlegg 13: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 16463.



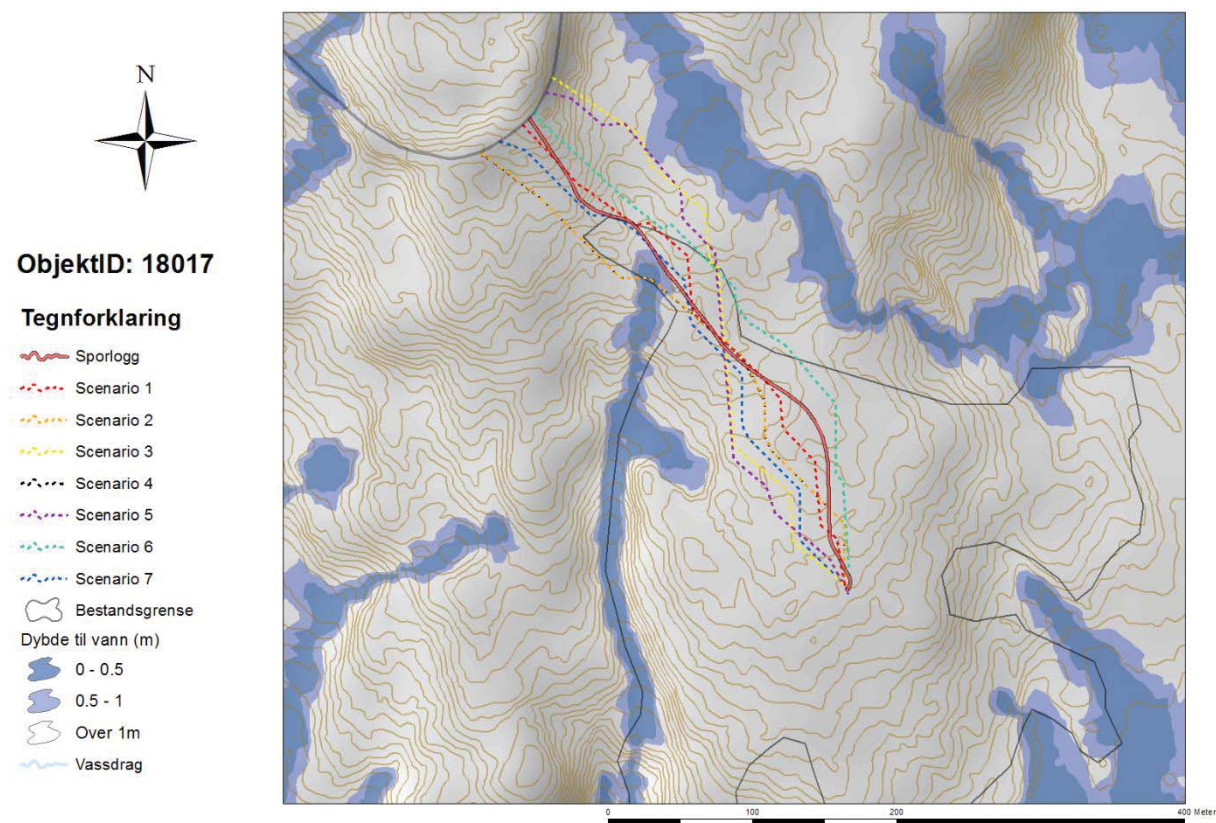
Vedlegg 14: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 16515.



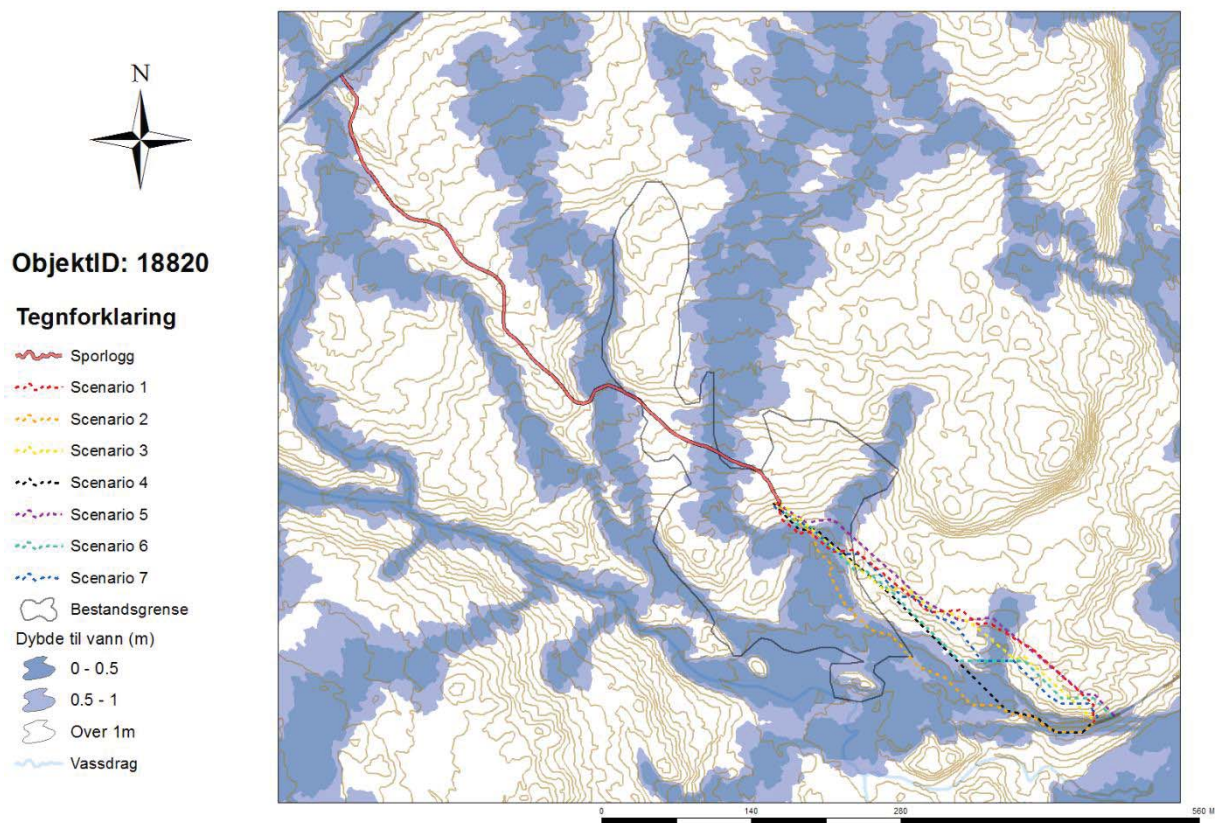
Vedlegg 15: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 17298.



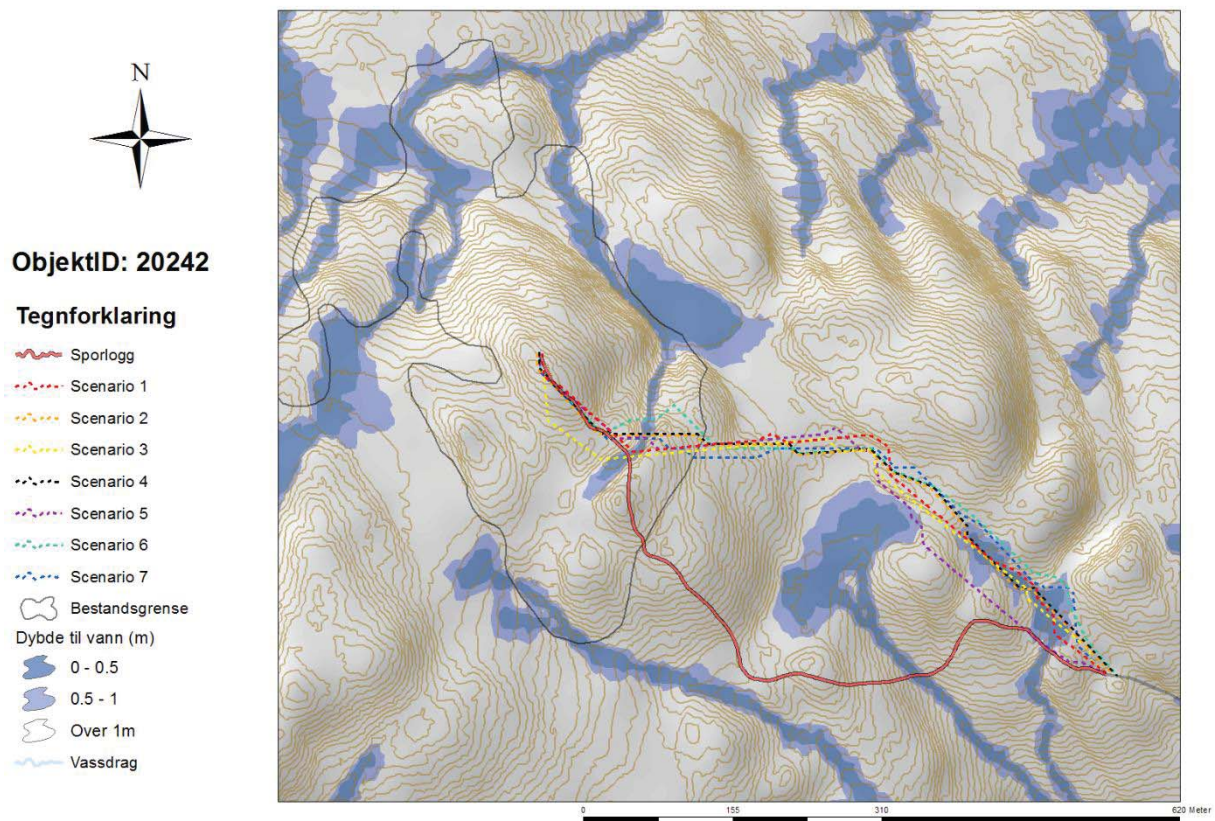
Vedlegg 16: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 18017.



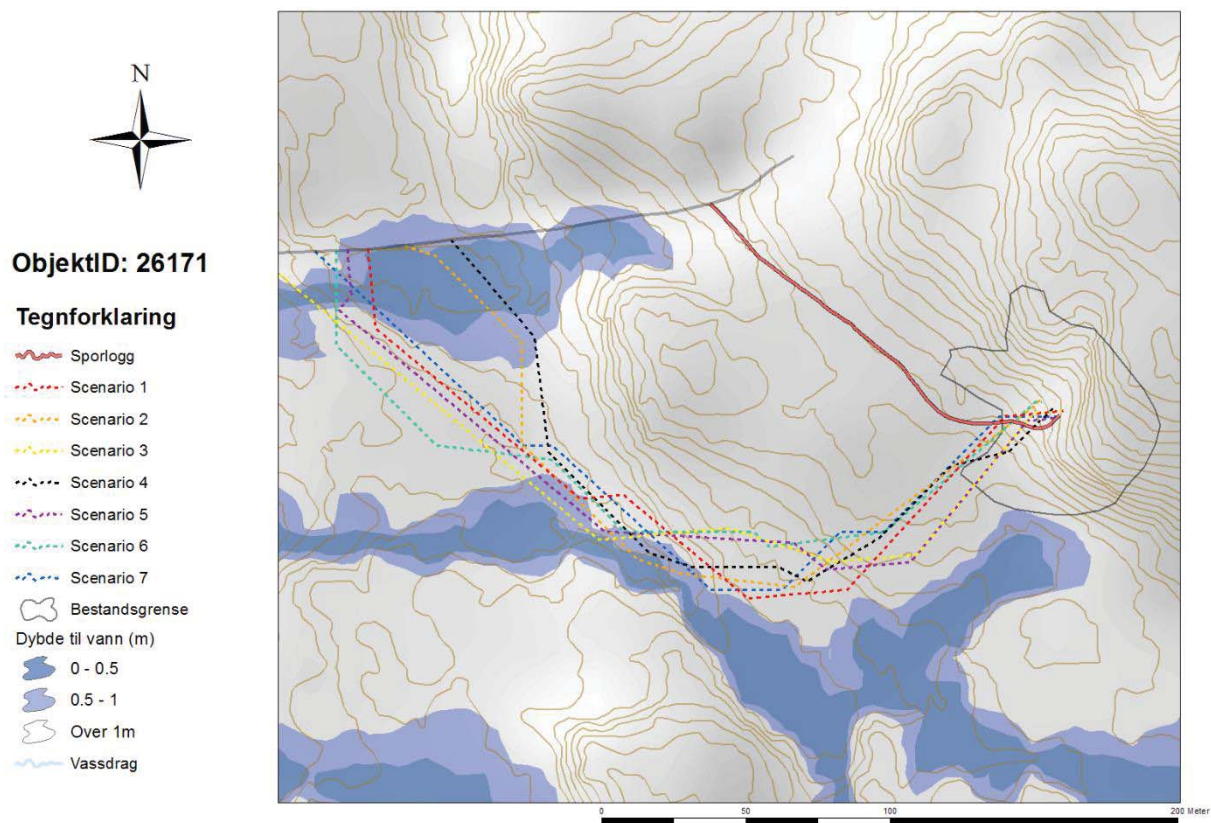
Vedlegg 17 : Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 18820.



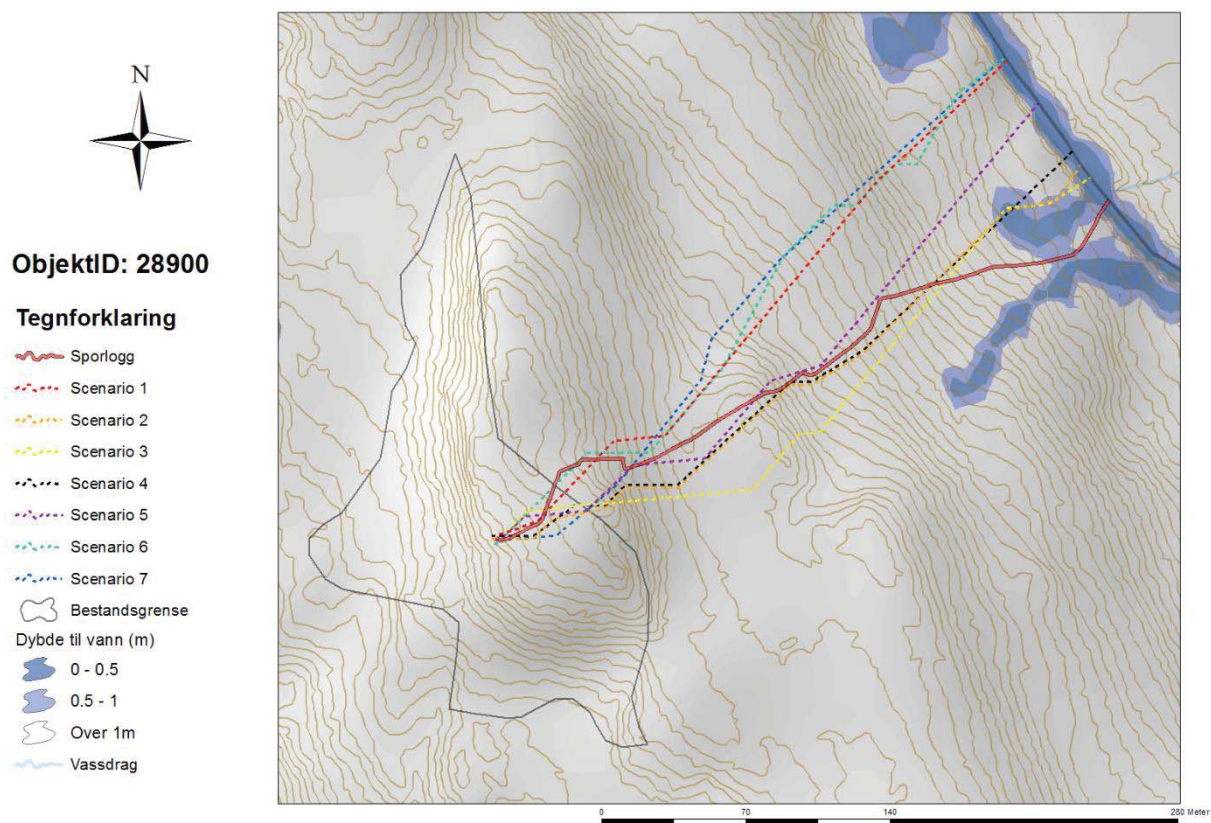
Vedlegg 18 : Sporlogg etter maskin og verktøyets traséforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 20242.



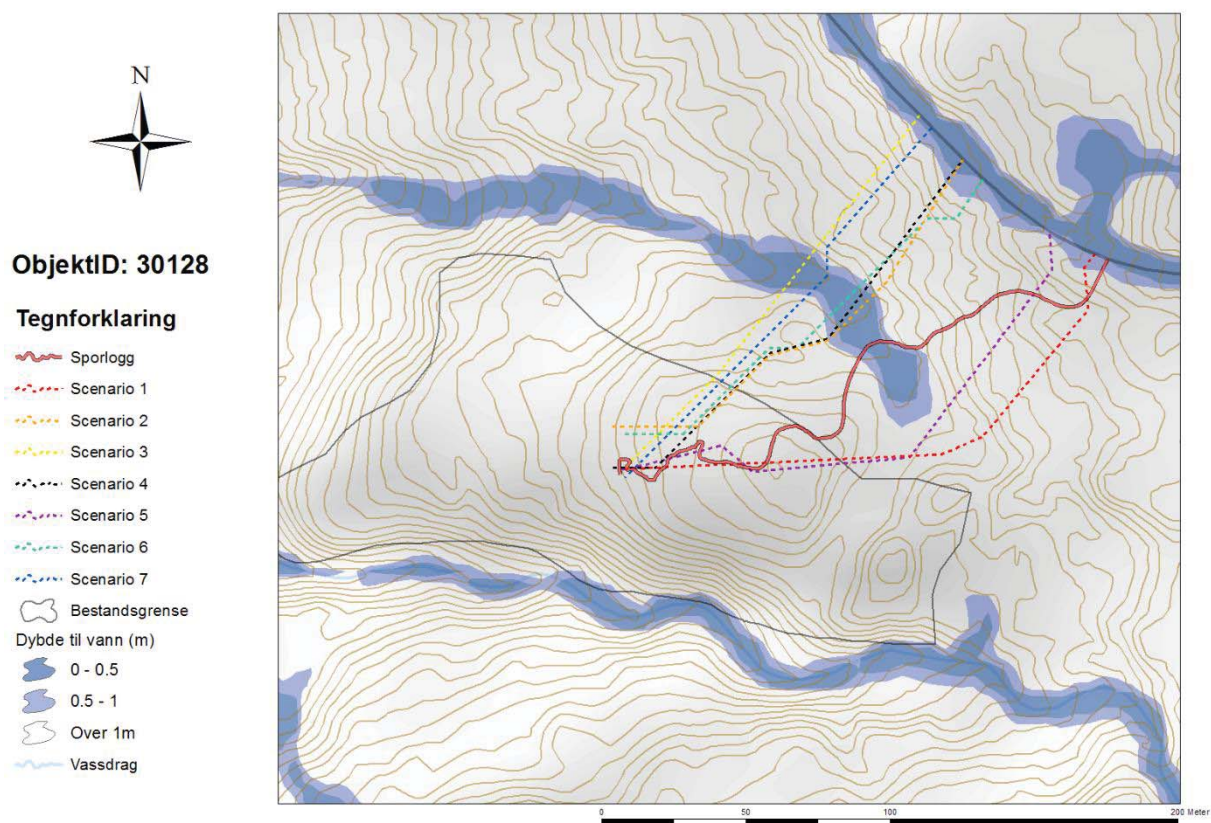
Vedlegg 19: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 26171.



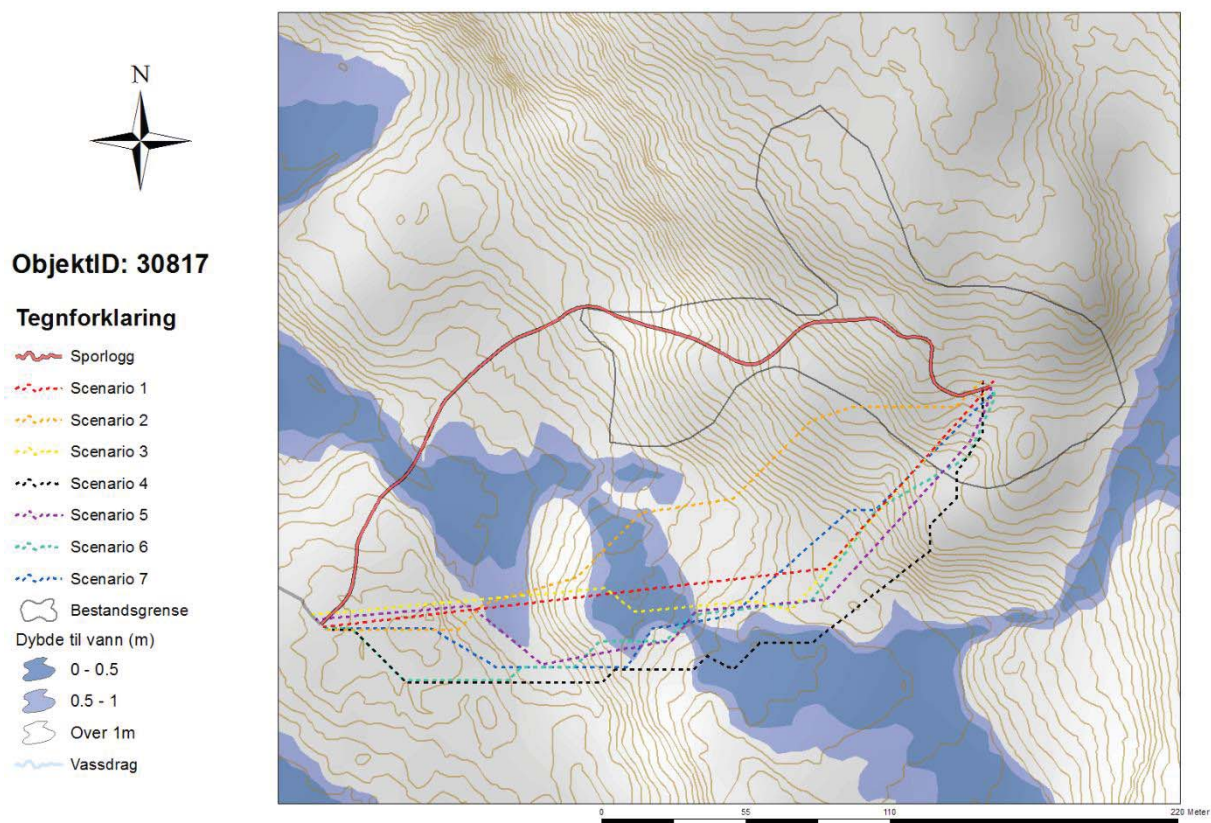
Vedlegg 20: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 28900.



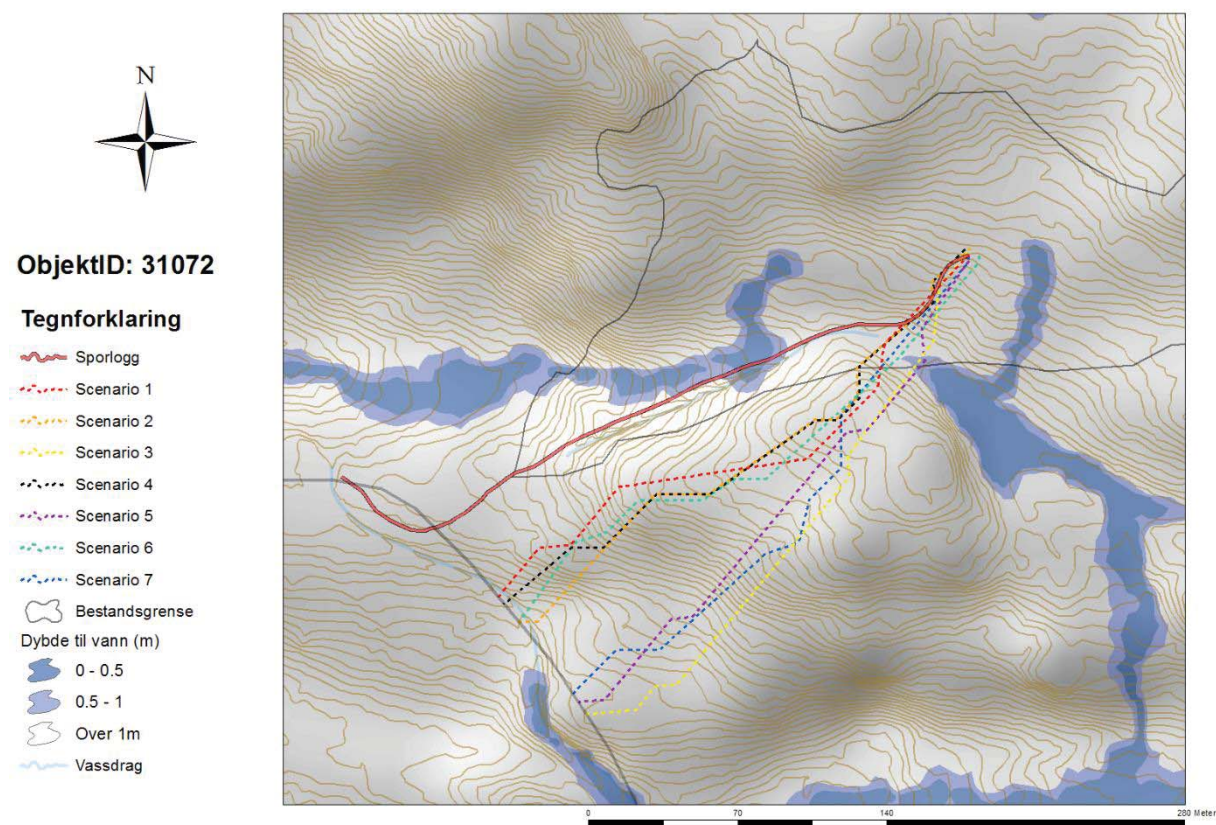
Vedlegg 21: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 30128.



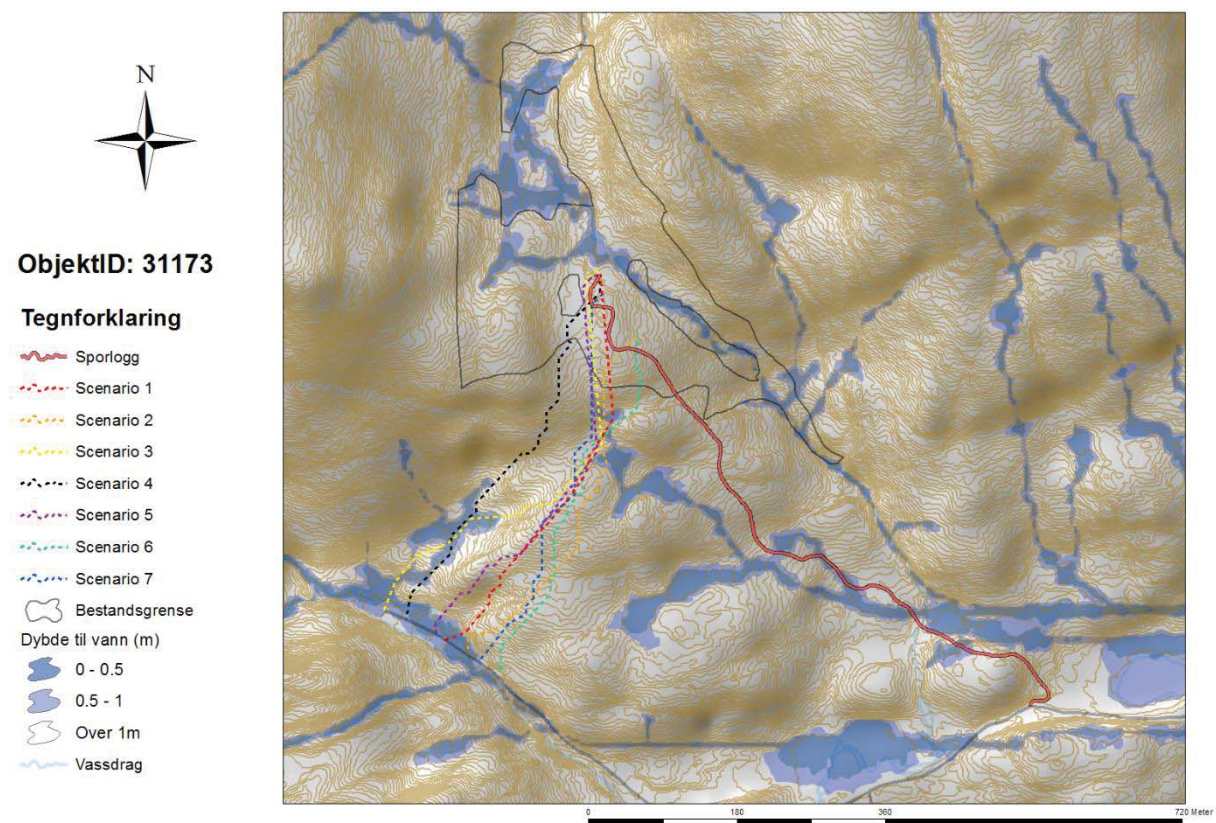
Vedlegg 22: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 30817.



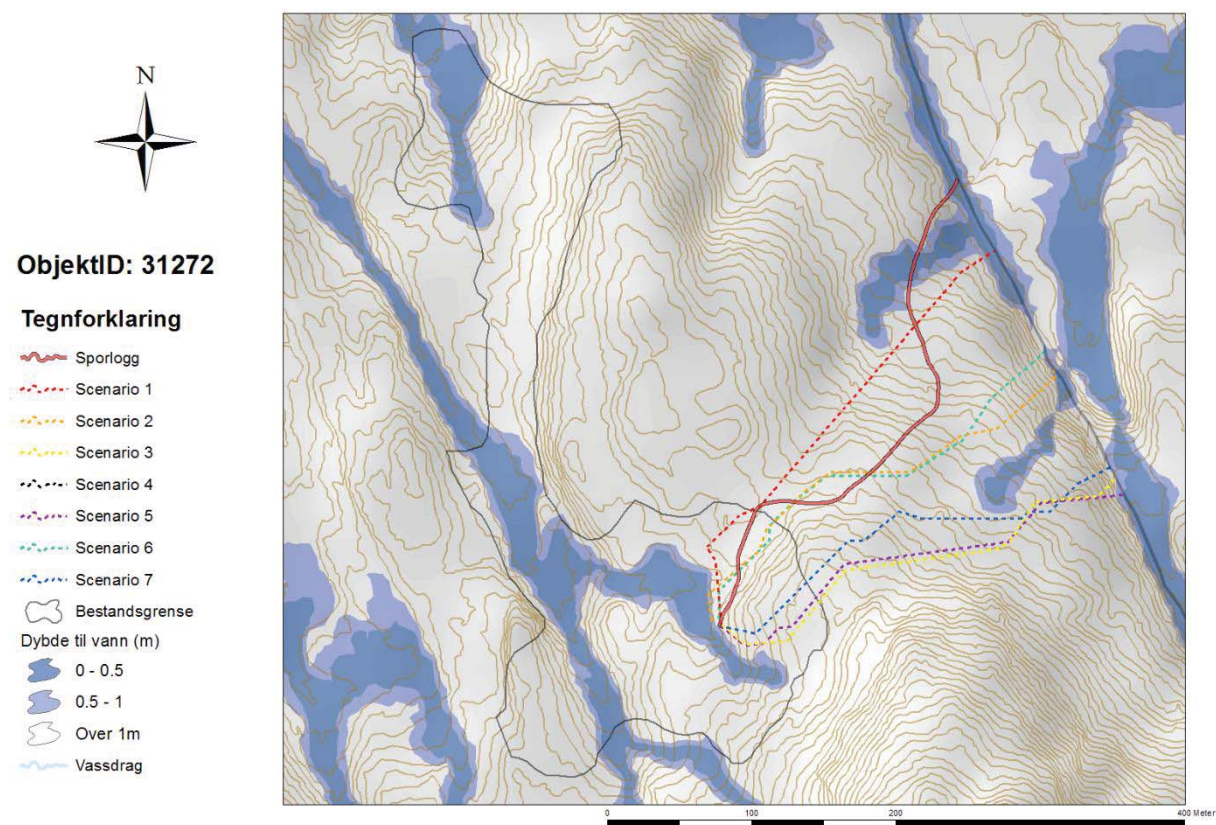
Vedlegg 23: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 31072.



Vedlegg 24: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 31173.



Vedlegg 25: Sporlogg etter maskin og verktøyets trasèforslag mellom de ulike scenarioene for objektID 31272.









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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway