



Høgskolen  
i Innlandet



**Thomas Vogler og Ole Bakmann**

# Identifikasjon av vedlikeholdsbehov og skader på skogsbilveier med flybilder tatt fra drone

Skriftserien 12 - 2019



© Forfatter/ Høgskolen i Innlandet

ISBN elektronisk versjon: 978-82-8380-110-1

ISSN trykt/elektronisk versjon: 2535-5678

## Sammendrag

Et fungerende skogsbilvegnett med god veidekning er viktig for effektiv utnyttelse av ressursene i skogen. 60% av skogsbilvegene i Hedmark har vedlikeholds- og/eller oppgraderingsbehov ift vegnormalen. Utvikling i vogntog lengde og -vekt, samt klimautvikling forsterker behovet for vedlikehold.

Vi undersøkte om drone kan brukes for å effektivisere takser og situasjonsbeskrive tilstanden til skogsbilveier. Metoden som ble benyttet var å ta bilder med drone montert rgb kamera og sette dem sammen til en ortomosaikk. Deretter analyserte vi bildene for å generere en digitalt overflatemodell og en 3d modell.

Ut ifra modellene identifiserte vi områder som hadde behov for vedlikehold og genererte et kart med koordinatfestede vedlikeholdsanbefalinger. I tillegg testet vi 3D modell som verktøy for å beregne dimensjoner, stigning og svingradius langs vegen. Dette for å identifisere flaskehals for tunge kjøretøy.

I dette prosjektet viser vi at det er mulig å bruke drone for å takser og identifisere vedlikeholdsbehov på skogsbilveier i tillegg til å kunne måle veg dimensjonene. Vi ser at teknologien har potensial men at kostnadene ved manuell analyse kan reduseres. Gjennom delvis automatisering av prosessene og tilpassing og utvikling av utstyr, mener vi at kostnaden kan reduseres vesentlig. Metoden vil bidra til effektivisering av takseringsrutinene for veivedlikehold og –bygging og vi anbefaler metoden videreutviklet.

Emneord: Fotogrammetri, ortomosaikk, uav, skogsbilvei, vedlikehold

## Abstract

A well-maintained forest road network with good coverage is crucial for the efficient extraction of forest resources. However, the state of the road has to be kept at a high level or improved to allow resource extraction and to cope with future challenges such as the increasing weight of logging trucks and increased precipitation. The current state of the forest roads in county Hedmark, however does not meet this demand. More than two thirds of all forest roads need or will need maintenance in the near future – ca 6000 km.

In this project, we used a drone to map a stretch of forest road. The drone was equipped with an rgb camera and we generated an orthomosaic, a digital surface model and a 3D model using drone images.

We used the models to identify and geo locate road stretches, which require maintenance, and marked the identified stretches in a map. We further investigated the possibility of using a 3D model to calculate or measure road dimensions such as width, depth of drainage ditches, inclination of the road and turn radius.

During this project, we show that it is technically possible to use drones to identify and quantify maintenance requirements of forest roads as well as identify bottlenecks for heavy logging trucks by measuring forest road dimensions. We carried out all the analysis manually, which is very labour intensive. By partially automating the analysis as well as using task specific equipment, we believe to be able to reduce the costs considerably. We further believe that our method can increase the efficiency of the evaluations procedures of the status of forest roads and recommend further development of the method.

Keywords: Photogrammetry, orthomosaic, uav, forest roads, maintenance

## Forord

Prosjektet er gjennomført på oppdrag fra Jesper Engel i Åmot Kommune og på eiendommen til Olaf Ilsaas.

Oppdraget er finansiert gjennom VRI-programmet for Innlandet og er en del av Høgskolen i Innlandet – Institutt for skog- og utmarkslag, Evenstad, sin søken etter metoder og aktiviteter som kan øke avkastningen og effektiviteten ved bærekraftig utnyttelse av biologiske ressurser i skoglandskapet.

Prosjektet er gjennomført av Evenstad vilt- og næringscenter (EVONS) og vurderes som et interessant bidrag til utvikling av morgendagens forvaltningsverktøy. EVONS jobber med metode- og teknologiutvikling (for eksempel applikasjoner for datainnsamling, digitalisering, telemetri og GIS) i mange prosjekter som en strategi for å kunne levere støtteverktøy for fremtidens behov.

Vi takker for oppdraget og håper å kunne fortsette samarbeidet ved en videreføring av prosjektet mot kommersialisering.

Evenstad 07.03.19

Thomas Vogler

Ole Bakmann

## Innhold

Sammendrag .....	2
Abstract .....	3
Forord .....	4
Innledning.....	6
Metode.....	7
Utstyr.....	7
Datainnsamling.....	7
Generering og analyse av ortomosaikk, dsm og 3d textured mesh .....	7
Kostnads analyse .....	8
Resultater .....	10
Generering og analyse av ortomosaikk, digital overflate modell og 3d textured mesh .....	10
Analyse av veg dimensjoner .....	12
Kostnadsanalyse .....	13
Diskusjon .....	16
Muligheter og begrensninger av metoden .....	16
Litteraturliste.....	18
Vedlegg1: Kart med vedlikeholdsbehov over hele test strekke.....	19



## Innledning

Et fungerende skogsbilvegnett med god veidekning er viktig for effektiv utnyttelse av skogen i fremtidens bioøkonomi. Andelen skog som blir hogstmoden fram til året 2045 og som samtidig står nært vei (driftsveilengde < 500m) kommer til å øke sammenlignet med i dag (Granhus et al., 2014). Dette øker behovet for et fungerende veinett og øker fokuset på veivedlikehold og oppgradering. Vegnettet brukes i tillegg for å frakte maskiner, utstyr og personell for å utføre arbeid i sammenheng med skogsdrift og i forbindelse med utnyttelse av utmark. For noen titalls år siden var det en traktor med mannskap og et par motorsager som måtte fraktes langs skogsbilvegene. I dag er det større og tungere maskiner og tømmervogner med et totalvekt opp til 60 tonn som benytter veisystemene. Denne utviklingen kommer til å fortsette i årene framover. Åmot kommune er med på en prøveordning for å teste bruk av vogntog med totalvekt opp til 74 tonn og hvis vi ser til nabolandet så tester Sverige tømmerbiler med et totalvekt på 90 tonn. Konsekvensen av dette er at skogsbilveiene må tilpasses denne virkeligheten gjennom for eksempel snuplasser med radius på minimum 13 m for vogntog med lass (Landbruks- og Matdepartementet, 2016). Dette betyr at kravene til kvalitet på skogsbilveier har økt drastisk og eldre veger trenger oppgradering og kontinuerlig vedlikehold for å sikre effektivt uttak av tømmer. I tillegg utfordrer endringer i klima for eksempel stikkrenner og grøftenes effektivitet.

Skogsbilvegnettet i Hedmark er anslått til ca. 11600 km og takseringen utført i 2015 viser at bare 4145 km av disse er i god stand. 33% av vegene må eller bør bygges om for å håndtere tømmertransport og store nedbørsmengder mens 32% av vegene har noe vedlikeholdsbehov (Fylkesmannen i Hedmark, 2016).

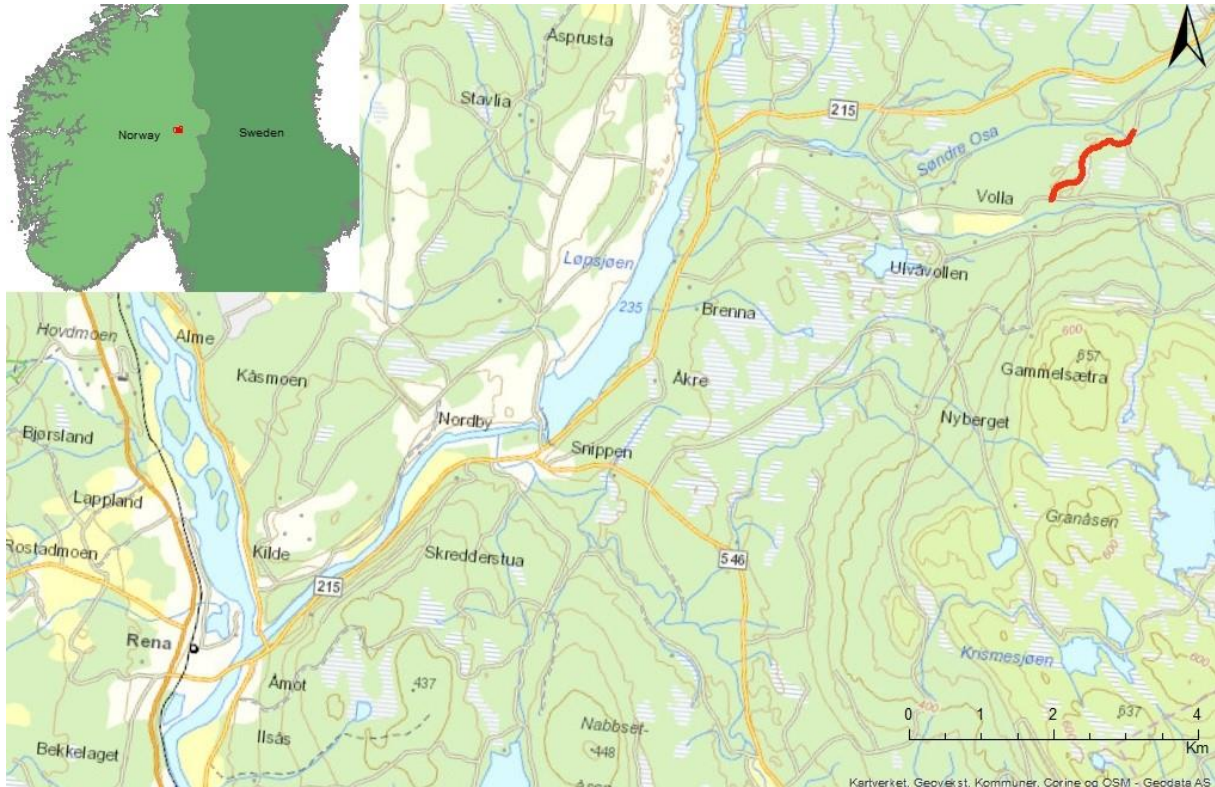
Landsdekkende fjernmålingsdata som flyfoto ("Norge i bilder," 2019) og høydemodeller ("Høydedata," 2019) er lett tilgjengelig og oppløsningen er så bra at det i noen grad kan brukes til planlegging av nye veier. I situasjoner hvor oppdatert informasjon er nødvendig siden forholdene forandrer seg i løpet av kort tid, som for eksempel ved avdekking av skader og vedlikeholdsbehov, er informasjon fra landsdekkende prosjekter fort utdatert da det går for langt tid mellom målingene. Denne type utfordringer løses i dag ofte ved at befaringsgjennomføres, observasjoner noteres og strekninger prioriteres manuelt og på flere plattformer. Vi undersøker om droner kan brukes for å hente informasjon og kartlegge områder for deretter å lage oppdaterte flybilder som kan brukes umiddelbart og i tillegg om det kan oppnås en effektiviseringsgevinst.

I dette prosjektet vil vi teste ut muligheten til å bruke flybilder tatt fra drone og prosessert i tilgjengelig software kan være en effektiv metode for å identifisere og kvantifisere vedlikeholdsbehov og skader på skogsbilveier. Vi vil gjøre det med å bruke prosesseringsverktøyer til å sette sammen bildene til en ortomosaikk som vi videre vil brukes til overflate- og 3dmodeller. Modellene kan deretter analyseres i et geografisk informasjonssystem.

Dette arbeidet er innrettet som et forprosjekt for å undersøke potensiale og begrensninger med denne teknologien og vil ved suksess danne grunnlaget for et større prosjekt og i siste ende, implementering i næringen.

## Metode

For å teste om vi kan bruke droner for å identifisere vedlikeholdsbehov på skogsbilveier valgte vi ut en veistrekke nord-øst for Rena (Figur 1) i Østerdalen. Teststrekket var 1.8 km lang og hadde liten høydeforskjell slik at flyhøyde over bakken var konstant og i tillegg for å oppnå jevn bildekvalitet.



Figur 1: Oversiktskart med teststrekket (rød)

## Utstyr

Dronen vi brukte i prosjektet er av typen DJI Phantom 3 Professional (DJI, 2019b). Kameraet som sitter på dronen har en oppløsning på 12 MP og et synsfelt på 94°. På en flyhøyde på 50 m tilsvarer dette en bakkeoppløsning på 2.68 cm per piksel. Det diagonale synsfeltet på 94° tilsvarer 81.7° horisontalt og 66° vertikalt. Det vertikale synsfeltet ved 50m flyhøyde er 64.9 m.

Fotogrammetri programmet vi brukte for å sette sammen bildene til en ortomosaikk (kart) og for å generere et digitalt overflatemodell (DSM) og 3d modell (3d textured mesh) er Pix4Dmapper (Pix4D, 2019). Analyse av modellene gjorde vi i ArcMap (ESRI, 2019).

## Datainnsamling

Dronen ble styrt med «follow me» funksjon, som gjør at dronen følger fjernkontrollen, som var i en bil som kjørte i 20 km/t (5.56 m/s). Flymodusen var ikke stabilt og vi styrte den derfor manuelt på noen strekninger. Dronekameraet gikk på tidsur og tok et bilde hver 3. sekund. Det betyr at det gjennomsnittlig blir tatt et bilde for hver 16.67m. Vi gjennomførte 2 overflygninger på hele veistrekningen. Resultatet av dette er at hvert punkt på veien ble fotografert 7-8 ganger

## Generering og analyse av ortomosaikk, dsm og 3d textured mesch

Vi importerte alle bilder til Pix4Dmapper og hentet koordinatene og kamera fra metadataene i bildene. Vi brukte standart innstillingene på ortomosaikk (Figur 3) og DSM (Figur 2) (høy oppløsning)



men satt ned oppløsning til  $\frac{1}{4}$  for å generere 3d modellen siden prosessen er ressurskrevende og tilgjengelig hardware ikke klarte å håndtere den fulle modellen.

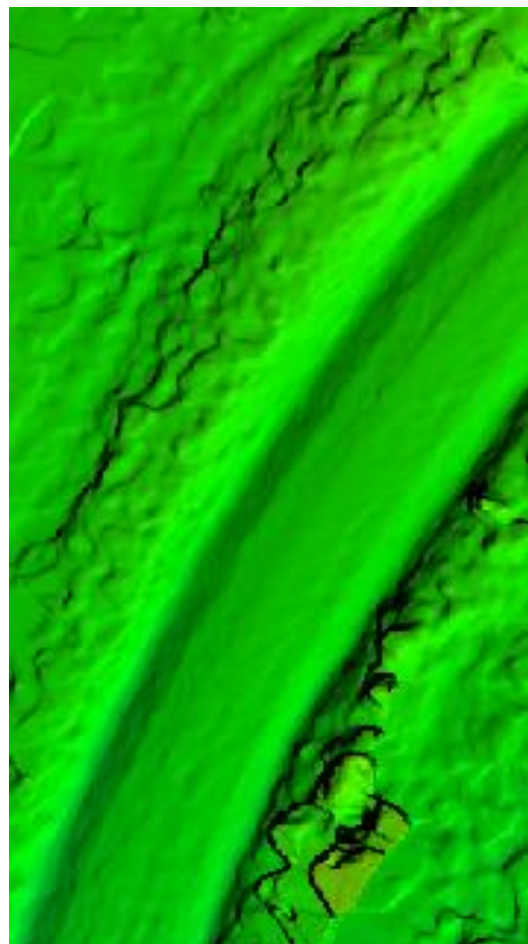
Vi analyserte ortomosaikken og DSM manuelt for å identifisere skader eller vedlikeholdsbehov langs vegen og importerte dem deretter i ESRI ArcGIS. Dette for å tegne inn områder med behov for tiltak. Vi definerte handlingsbehovet i kategorier:

- 1) Grøft mangler/må utbedres,
- 2) vegetasjon må ryddes og
- 3) skader i veidekke.

I tillegg ble det laget en beskrivelse av jobben som må utføres for hver markert avsnitt.



Figur 3:Ortomosaikk fra en del av teststrekket



Figur 2: DSM fra en del av teststrekket

### Kostnads analyse

For å beregne kostnadene til å utføre et oppdrag med manuelt gjennomgang av bildene brukte vi en timesats på 950 NOK per time for både drone, operatør med drone og analyse arbeidet, inkludert programvare og datamaskin.

Resultatet fra kostnadsanalyse beregnet vi som prisen per km vei. Grunnlaget for beregningen er

- to overflygninger
- sette bildene sammen til en ortomosaikk,
- generer en DSM,
- identifisere vedlikeholdsbehov og skader og
- levering av et oversiktskart med et sammendrag.

Sammendraget inneholder lengde på strekningen som trenger vedlikehold og typen aktivitet som anbefales på delstrekningene.

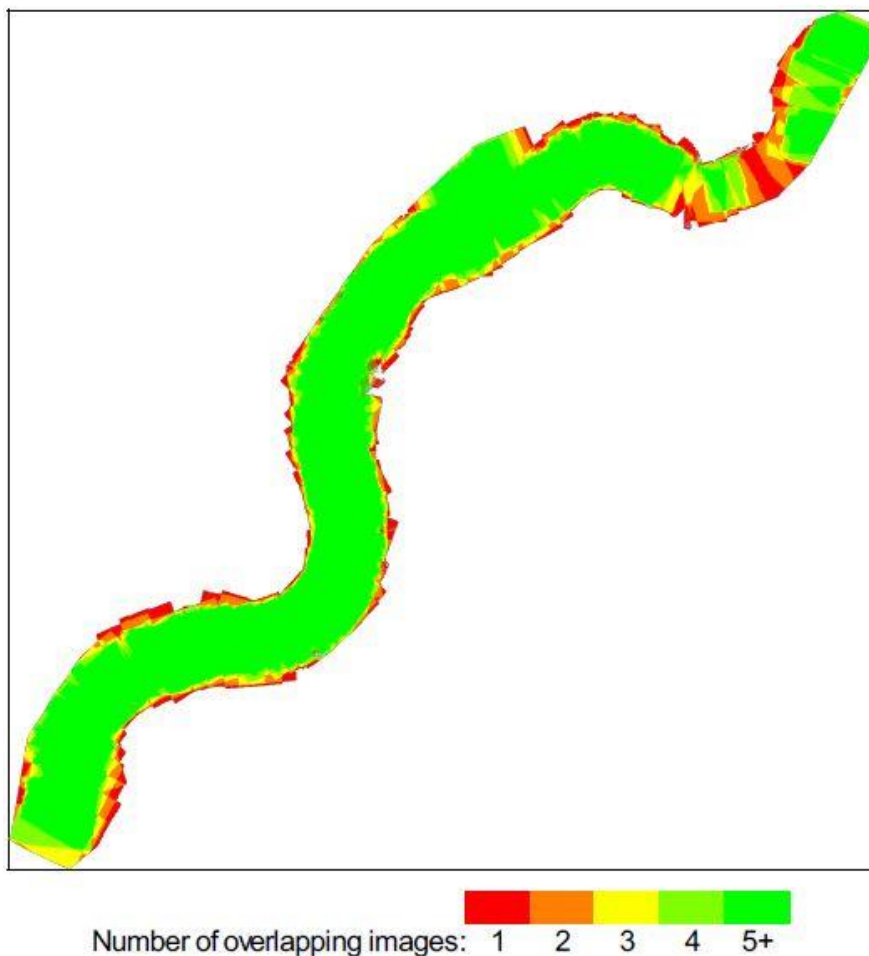
Vi estimerte også et grovt overslag over kostnadene for å utføre samme prosjektet med automatiserte prosesser.

## Resultater

Totalt tok vi 191 bilder på en strekning av 1.8 km. Vi utførte feltarbeidet den 19. juni 2018 under vanskelige værforhold. Det var delvis overskyet, noe som førte til vanskelige lysforhold og i tillegg var det sterke vindkast. På tross av det fikk vi gode resultater, men med noe unøyaktighet i modellene, spesielt i områder med vegetasjon, da trærne beveget seg i vinden. I denne undersøkelsen tok vi bilder med drone som fløy etter en bil i 20 km/t og tok bilder hver 3. sekund. I et lite område i nordøst enden av veien oppstå det en feil i ortomosaikken pga for få bilder, men dette tror vi er fordi vi fløy dronen manuelt og ikke pga (Figur 4). for høy hastighet. Vi oppfatter det overstående som et erfarings-resultat og av mindre betydning ift prosjektets hovedfokus.

### Generering og analyse av ortomosaikk, digital overflate modell og 3d textured mesh

Vi brukte 190 av det 191 bilder til å genere ortomosaikken, 1 bilde hadde for dårlig kvalitet. Gjennomsnittlige bakkeoppløsning (GSD) var 2.33 cm per piksel. På største delen av den takserte vegstrekningen ble det tatt flere enn 5 bilder for hver posisjon som var tilstrekkelig for generer nøyaktige modeller (Figur 4). Gjennomsnittlige GEO lokasjonsfeil lå på 0,000969 m for X, 0,000969 m for Y og 0,013572 m for Z akse.



Figur 4: antall bilder som ble tatt for vert enkelt punkt langs takserte vegen

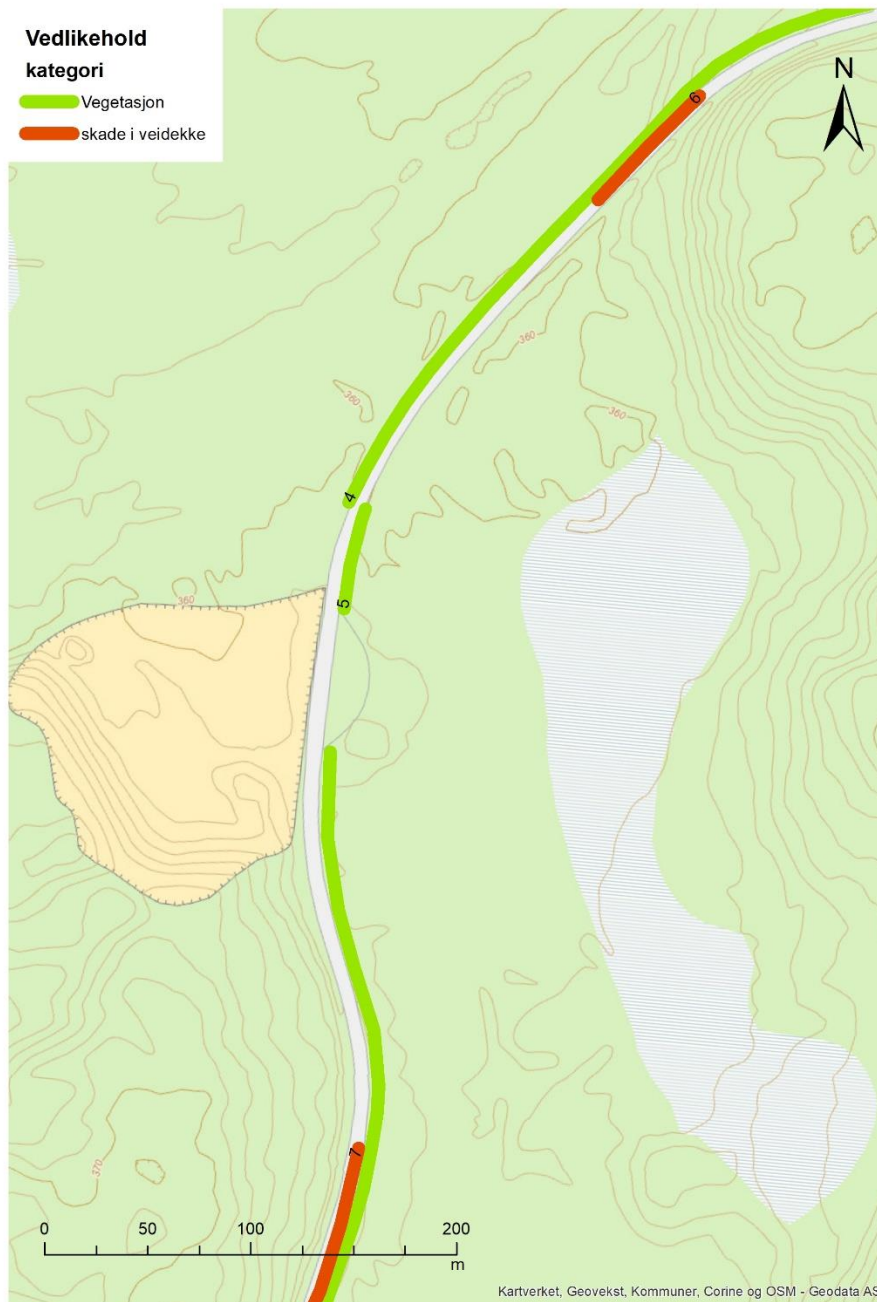
Strekninger med vedlikeholdsbehov tegnet vi manuelt i ArcMap. Totalt identifiserte vi 1262 m fordelt på 5 avsnitt hvor vegetasjon i veikanten bør ryddes og 101 m fordelt på 2 avsnitt med dype kjørespor

som må skrapes. Vi fant ikke noe manglende grøft langs test strekke, men noen strekninger med vegetasjon i grøfta hvor vi ikke klarte å identifisere grøftdybden (Tabell 1).

Tabell 1:oversikt med veg avsnitt med vedlikeholdsbehov

Nr.	kategori	beskrivelse	lengde i m
1	Vegetasjon	vegetasjon i grøften skal ryddes	20
2	Vegetasjon	vegetasjon i grøften skal ryddes	22
3	Vegetasjon	vegetasjon i grøften skal ryddes, en del overheng	399
4	Vegetasjon	vegetasjon i grøften skal ryddes, en del overheng	790
5	Vegetasjon	vegetasjon i grøften skal ryddes	31
6	skade i veidekke	dype kjørespor i veidekke	43
7	skade i veidekke	dype kjørespor i veidekke	58

Identifikasjons nummer (Tabell 1) tilsvarer vegstrekninger med vedlikeholdsbehov i kartet (Figur 5).Hele kartet blir levert digitalt som et høyoppløselig bilde eller som shp. eller gdb. fil som kan åpnes i GIS applikasjoner. På denne måten er kartet nøyaktig nok for å se på hvilken side av vegen tiltaket skal utføres (Vedlegg 1)

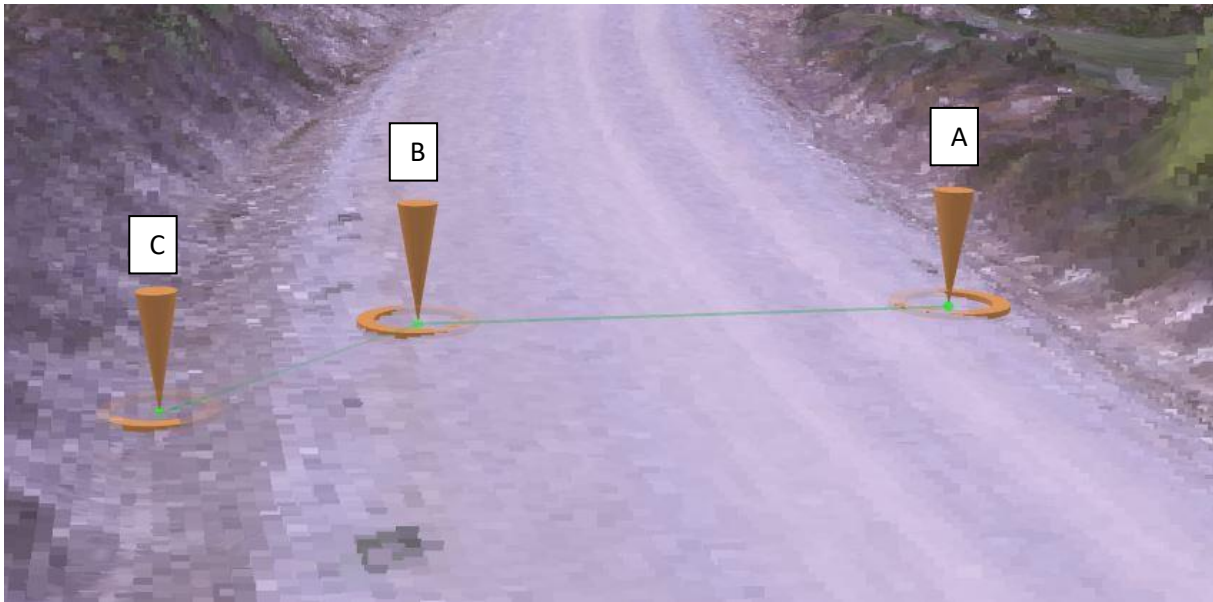


Figur 5: detaljer av veg avsnitt som trenger vedlikehold

### Analyse av veg dimensjoner

I 3d modellen er det mulig å måle lengder og volumer som igjen tillater identifikasjon av for eksempel vegbredden og grøft dybde (Figur 6).





Figur 6: målingspunkter i 3d modellen

I 3d modellen kan vi måle distanser 2 dimensjonalt som betyr at det bare tas hensyn til x og y akse for beregningene. I tillegg kan vi måle distanser også 3 dimensjonalt hvor også z akse blir brukt. Avstanden mellom punkt A og B er 4,42m begge 2- og 3 dimensjonalt og tilsvarer vegbredden. Den 2 dimensjonale avstanden mellom punkt B og C er 2,05m (b), 3 dimensjonalt er det 2,14m (c). Ut i fra disse målingen kan vi beregne høydeforskjellen mellom punkt B og C med bruk av Pytagoras formelen ( $a^2 + b^2 = c^2$  eller  $a^2 = c^2 - b^2$ ) og det tilsvarer grøftdybden på 0,61 m (a). Denne type resultater er eksempel på oppgaver som gjennom modellering kan auto genereres.

Bratte veger er et problem for tømmer- og transport bilene og grenseverdier er regulert i forskrift for normaler for landbruksveier (Landbruks- og Matdepartementet, 2016). Ved å digitalisere kart over vegen, registrere punkter langs vegen, for eksempel med 10 m avstand og ekstrahere høyde over havet fra dsm kan vi beregne høydeforskjell mellom veg punktene. Høydeforskjellen kan vi deretter bruke til å beregne stigning langs det takserte veistrekket. Samme metoden kan brukes til å beregne svingradius, istedenfor høydeforskjell brukes retningsendringer mellom punktene. Dette er et annet eksempel på resultater som gjennom modellering kan auto genereres.

## Kostnadsanalyse

Batterikapasiteten på utstyret vi brukte tillater 20 minutter effektivt taksring. Det er derfor realistisk å regne med 2 flygninger per time, resten av tiden går til å starte/lande drone og bytte batteri.

Med en hastighet på 20 km/t kan vi taksere 6.67 km med veg per flygning og 96.38 km i løpet av en 7 timers arbeidsdag. Siden det trengs 2 overflygninger kan vi regne med 46.69 km (løpemeter) taksert vei per dagsverk.

For å sette bildene sammen og generere overflatemodellen bruker vi ca 1 time per prosjekt. Prosjekt størrelsen har veldig lite betydning for tidsbruket i analyse-fasen. Etter innstilling av parameterne og igangsetting av analysene går prosessen automatisk. For å analysere vegen for nødvendige tiltak brukt vi ca. 60 minutter for dette prosjektet. Mye tid gikk til å utvikle forskjellige modeller og bruk av programvarene til analysere og kartfeste skader og vedlikeholdsbehov. Vi regner med at det er

realistisk å bruke ca. 10 min per km for å utføre jobben, men tidsbruken vil variere avhengig av vedlikeholdsbehovet.

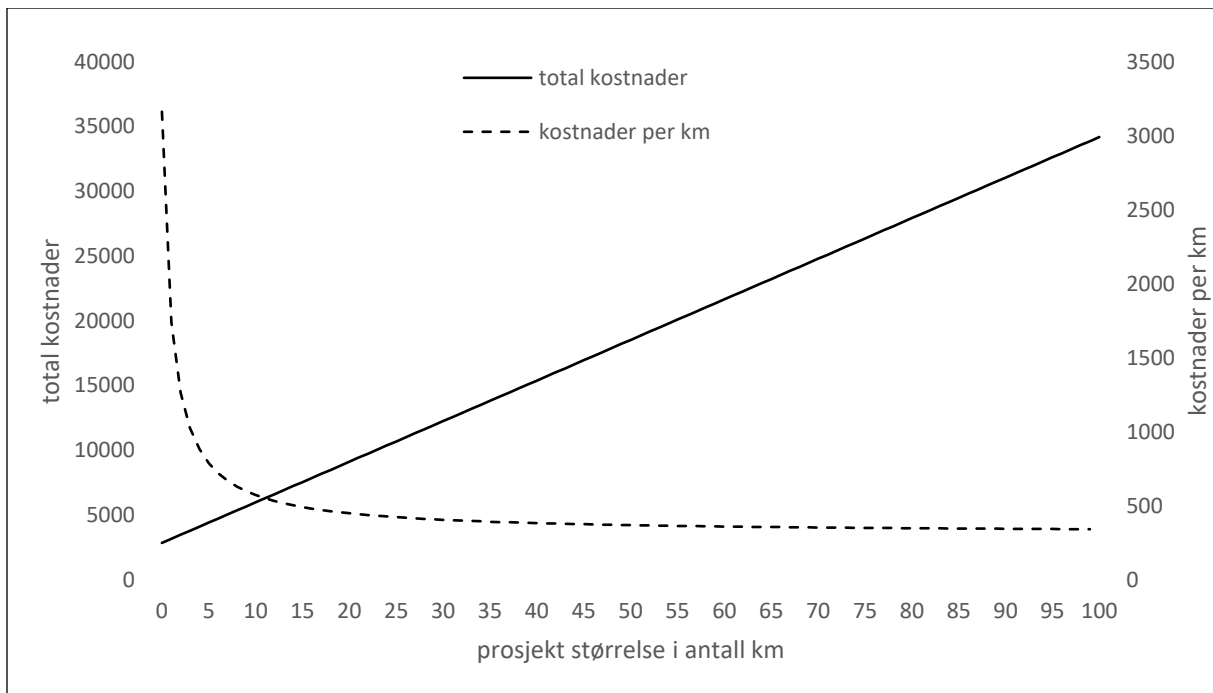
Erfaringsvis vet vi at automatisering av prosesser kan spare mye tid. Samtidig regner vi ikke med at hele prosessen kan automatiseres, da bla resultatene må kvalitetssikres manuelt. På bakgrunn av erfaring anslår vi en tidsinnsparing på 80% på analysedelen (Tabell 2).

Tabell 2: kostnadsberegning for å takserer skogsbilveier med drone og er basert på maksimale vegstrekningen vi an takserer per dag (46,69 km)

Oppgave	tidsbruk i timer	enhet	tidsbruk per taksert vegstrekning/dag	timesats	kostnader
flygning	0,16	km	7,50	950	7125,00
analyse oms/dsm	0,17	km	7,94	950	7540,44
generer oms/dsm	1,00	prosjekt	1,00	950	950,00
skrive sammendrag	2,00	prosjekt	2,00	950	1900,00
Total manuelt					17515,44
total automatisert					11483,09
antall km					46,69
kostnader per km manuelt					375,14
kostnader per km automatisert					245,94

Kostnaden for modellering og for å skrive et sammendrag er satt til å være fast mens datainnsamling (flyging) og modellanalyse er avhengig av prosjektets størrelse og derfor variabel. Veldig små prosjekter er derfor veldig dyre og prisen per km reduseres med større prosjekter (Figur 7). Størrelse av prosjektet har begrensninger siden antall bilder som kan håndteres av datamaskinen er limitert. Med Pix4D som analyseverktøy og en high-end datamaskin er maksimum anbefalt antall bilder 3000 – 5000 avhengig av ønsket kvalitet i modellene. Dette tilsvarer et strekket fra 31,6 km til 52,6 km med samme bildetetthet som vi brukte i dette prosjektet. Dette kan overkommes ved å dele opp store vegstrekninger ved modellering og analyse.

## Kostnadene



Figur 7: kostnader per prosjekt avhengig av taksert lengde (heltrukket linje) og kostnader per km avhengig av taksert lengde (punktet linje).

## Diskusjon

Etterslep i vedlikehold og oppgradering til dagens krav for skogsbilveger kan gi store utfordringer for framtidens skogbruksnæring. Det er derfor interessant å se på praktiske løsninger for å effektivisere nødvendige prosesser og aktiviteter for slik oppdatering og vedlikehold. Ved å taksere skogsbilveier med drone og modellering gjennom bruk av bildene er det mulig å levere en status-oversikt for vegstrekninger med vedlikeholdsbehov på kort tid og med akseptabel kostnad. Vi mener at det i praksis kan leveres et digitalt kart med koordinatfestet tiltak til utførende entreprenøren i løpet av en dag fra utført flygning. Alternativt at det kan gjennomføres en anbudsprosess hvor vurderingsgrunnlaget for prising presenteres aktuelle tilbydere spesifisert på antall meter og koordinatfestet i digital versjon.

I tillegg mener vi at det kan utvikles verktøy som gjennom bruk av tilvekstmodeller kan estimere og simulere vedlikeholdsbehov for kantrydding frem i tid. Dette kan danne grunnlag for mer systematiske vedlikeholds-regimer som legger til rette for «Right-on-time» service-avtaler for vegsystemer, noe som vil redusere verditap pga manglende eller ujevn vedlikeholdsinnsats.

### Muligheter og begrensninger av metoden

Med dette prosjektet har vi vist at det er mulig å identifisere vedlikeholdsbehov på skogsbilveger ved bruk av bilder fra drone. Bildene og modellene er nøyaktige nok til å identifisere vegstrekninger med vedlikeholdsbehov og for å kunne beregne høyde på vegetasjonen i veikanten. I denne undersøkelsen klarte vi ikke å finne vegstrekninger med behov for grøfting, men tror det skyldes at grøftene ble gravd innenfor det siste året og derfor ikke trenger vedlikehold. Generelt var det en utfordring å vurdere om grøftene som er gode nok eller om vegetasjonen har vokst over veg nivå. Et annet moment det bør finnes løsning på er vurdering av stikkrenner. Bildene blir tatt fra 50 m høyde med «vanlig» kamera og rett ned og der er derfor ikke mulig å se hverken gjennom veikroppen eller inn/utløp av stikkrennene. Denne operasjonen må derfor gjennomføres med annet utstyr på dronen, eller som en (anbudsregulert) aktivitet ved gjennomføring av annen nødvendig veivedlikehold.

Vegnormalen (Landbruks- og Matdepartementet, 2016) definerer spesifikke retningslinjer for forskjellige veiklasser. Ved å måle opp og beregne veg spesifikasjonene i et 3d modell er det mulig å sjekke om kravene for veiklassen er oppfylt. Dette kan gjøres for eksempel for grøftdybden, vegbredden, stigning og svingradius og diameter for snuplasser. Å utføre disse målingene krever manuell innsats i dag, men kan her også legges inn som en del av anbudskravene ved ny-bygging av veg eller ved vegvedlikehold. I praksis betyr det at entreprenøren som gjennomfører vedlikehold eller vegbygging overflyr aktuelle vegstrekninger som en del av oppdraget. Bildene modelleres og analyseres før oppdraget godkjennes av oppdragsgiver og evt offentlig myndighet.

I dette prosjektet blir all analysen og bildeinterpretasjon gjort manuelt hvilket er tidskrevende og derfor kostnadsdrivende. En automatisering av arbeidstrinn er derfor nødvendig for å kostnadsoptimere metoden. Utstyr tilpasset formålet å taksere skogsbilveger kan også redusere kostnadene. En nyere drone modell, for eksempel DJI PHANTOM 4 PRO V2.0 (DJI, 2019a), har 30% lengere flytid enn den eldre modellen, DJI PHANOM 3 PRO, vi brukte (DJI, 2019b) og Impossible Aerospace produserer en drone med 2 timers flytid (Impossible Aerospace, 2019). Med lengere flytid kan vi effektivisere datainnsamling i det vi reduserer tidsbruket per taksert km. En annen mulighet er å øke farten samtidig med bildetakingsfrekvens under takseringen for å redusere tidsbruket. Problemet med det er at bilder tatt av objekter i mosjon under eksponering fører til uskarphet og denne er avhengig av fart og eksponeringstid (Celestino & Horikawa, 2008). Et kamera med større blenderåpning kan ta bilder med kortere eksponeringstid og kan kompensere for høyere fart.

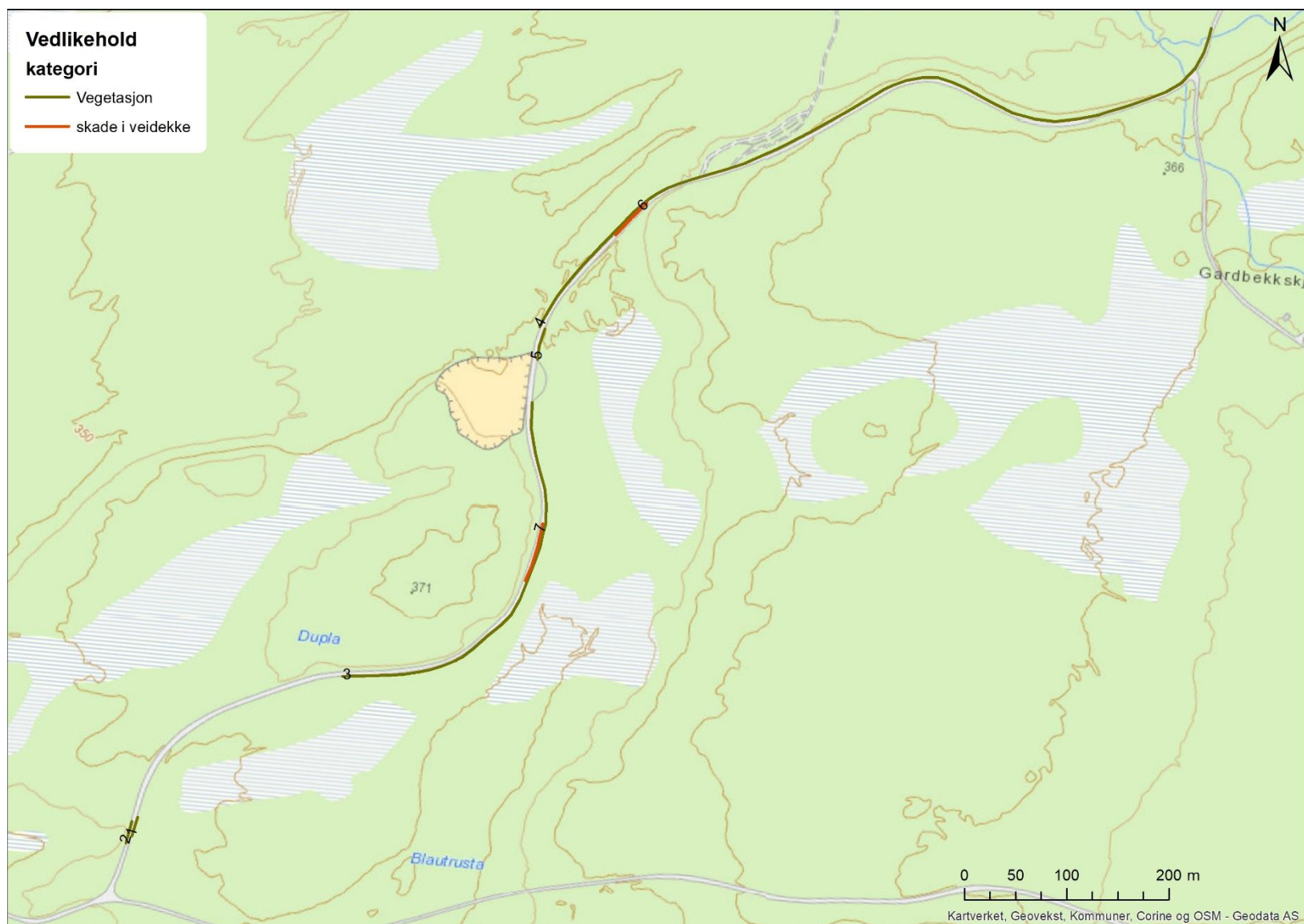
Vi mener det ligger praktisk og økonomisk potensiale i metoden stort nok til å videreføre utviklingsarbeidet. Dette vil kreve en systematisk gjennomføring av de forskjellige operasjoner og aktiviteter for kvalitetssikring, tilpasning av hard- og software, samt utvikling av automatiseringsmodeller og algoritmer. Det krever en betydelig innsats, men resultatene fra denne undersøkelsen virker som om det kan oppveies av gevinsten ved full-skala utnyttelse av metoden.



## Litteraturliste

- Celestino, M., & Horikawa, O. (2008). *Velocity measuerment based on image blur* (ABCM Sympo, Vol. 3).
- DJI. (2019a). DJI Phantom 4 Pro V2.0 – Professional Drone – DJI. Retrieved February 21, 2019, from <https://www.dji.com/phantom-4-pro-v2?site=brandsite&from=nav>
- DJI. (2019b). Phantom 3 Professional - Let your creativity fly with a 4K camera in the sky. - DJI. Retrieved March 8, 2019, from <https://www.dji.com/no/phantom-3-pro>
- ESRI. (2019). ArcMap | ArcGIS Desktop. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>
- Fylkesmannen i Hedmark. (2016). *Tilstandsregistrering skogsbilveger i Hedmark 2015*. Retrieved from <https://www.fylkesmannen.no/globalassets/fm-hedmark/dokument-fmhe/06-landbruk-og-mat/skogbruk/tilstandsregistrering-veg-13.10.16.pdf>
- Granhus, A., Von Lüpke, N., Eriksen, R., Sjøgaard, G., Tomter, S. M., Antón-Fernández, C., & Astrup, R. A. (2014). Tilgang på hogstmoden skog fram mot 2045. 31. Retrieved from <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2440184>
- Høydedata. (2019). Retrieved February 6, 2019, from <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- Impossible Aerospace. (2019). Impossible US-1 at a glance. Retrieved February 21, 2019, from <https://impossible.aero/wp-content/uploads/2018/09/Impossible-Aerospace-design-1-detail-side.pdf>
- Landbruks- og Matdepartementet. (2016). *Normaler for landbruksveier-med byggebeskrivelse*. Retrieved from [http://www.skogkurs.no/vegnormaler/pdf/Normaler\\_for\\_landbruksveier\\_2016.pdf](http://www.skogkurs.no/vegnormaler/pdf/Normaler_for_landbruksveier_2016.pdf)
- Norge i bilder. (2019). Retrieved February 6, 2019, from <https://www.norgeibilder.no/>
- Pix4D. (2019). Pix4Dmapper: professional drone mapping and photogrammetry software | Pix4D. Retrieved from <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>

## Vedlegg1: Kart med vedlikeholdsbehov over hele test strekke





Høgskolen  
i Innlandet