



NIBIO
NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI



SKOGKURS

Bæreevneklassifisering for skogsbilveier

[Forklarende undertittel]

NIBIO RAPPORT | VOL. x | NR. x | 2021



Dag Fjeld, Jan Bjerketvedt og Martin Bråthen (Skogkurs)
Divisjon for skog og utmark

TITTEL/TITLE

Bæreevneklassifisering for skogsbilveier

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Dag Fjeld, Jan Bjerketvedt og Martin Bråthen (Skogkurs)

| | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| DATO/DATE: | RAPPORT NR./ REPORT NO.: | TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY: | PROSJEKTNR./PROJECT NO.: | SAKSNR./ARCHIVE NO.: |
| 06.04.2022 | Vol/nr/2021 | Åpen | Prosjektnr | Arkivnr |
| ISBN: | ISSN: | ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES: | ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES: | |
| 978-82-17-[xxxx-x] | 2464-1162 | Antall sider | Vedlegg | |

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Norges Skogeierforbund (eier)

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Martin Bråthen

STIKKORD/KEYWORDS:

Skogsbilvei, Landbruksvei, Bæreevne, Fallodd, Klimatilpasning

Forest road, Bearing capacity, Deflectometer, Adapting climatic change

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Skogsveier

Forest roads

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Det er samlet inn data fra 77 veier, totalt 231 unike registreringspunkter som fanger opp variasjoner i veier, volum uttransportert og værforhold. Disse dataene sammen med historiske transportdata, ca. 200 000 stk. har gjennom analyser og data-sammenstillinger gitt et grunnlag til å fortelle noe om veiers bæreevne.

Grunnlaget gjør det mulig å vurdere en veis egnethet for transport etter undergrunn og oppbygning, planlagt volum uttransportert og etter historiske klimaforhold. Det er produsert en rapport som presenterer funnene i prosjektet.

Noen slutninger:

- Løsmasstyper for eldre veier har stor betydning for når en vei ikke bør benyttes til transport, sett i forhold til tele og mye nedbør
- Historiske vær- og tele-data kan gi gode prediksjoner for å planlegge drifter
- Feltobservasjoner av oppbygning, løsmasser, tilstand på veien vil være nødvendig
- Bæreevneundersøkelser ved fallodd gir predasjoner av en veis bæreevne (> 6omp = solide, 40-6omp = ok, når hensyn tas, og < 4omp = svakt og stor risiko for sporskader og deformasjoner)

Det er ikke mulig å klassifisere en skogsbilvei kun på grunnlag av digitale kilder. Gode prediksjoner kan gjøres, men feltobservasjoner må gjøres. Antagelser om store variasjoner i bæreevne langs en vei gjør det vanskelig å få sikre data om bæreevne ved «tilfeldige» falloddsundersøkelser, men det kan gi en indikasjon.

En prognosemodell er et verktøy som kan forenkle planlegging, men brukerterskelen og feilkildene ved et slikt planleggingsverktøy er såpass store at det ikke anbefales å benytte et slikt verktøy som beslutningsgrunnlag. Ramme for prognosemodell kommer frem av kapittel 4.4. En demo av et planleggingsverktøy/prognosemodell er testet i undervisningssammenheng ved NMBU.

LAND/COUNTRY:

Norge/Norway

GODKJENT /APPROVED

[Navn Navnesen]

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Martin Bråthen

NAVN/NAME

Bæreevneklassifisering for skogsbilveier

Prosjektet Bæreevneklassifisering for skogsbilveier er et prosjekt som har kommet til etter arbeidet med [Pilotprosjekt for bæreevneklassifisering](#). Det er ikke bare i terrenget bæreevnen kan by på logistikk og problemer, men også på skogsveier. Prosjektets ambisjon har vært å innhente et datamateriale som kan bidra med innsikt i bæreevnen på eksisterende skogsveier. Hvordan påvirkes bæreevnen av vær, transportmengde og løsmasser/veiens oppbygning?

Skogkurs og NIBIO ønsket videre å undersøke sammenhenger for bæreevne på skogsveinettet. Eier av prosjektet er Norges Skogeierforbund og Norskog, og i forbindelse med å sikre tilgang til skogsbilveidata har landets skogandelslag bidratt: Viken Skog, Glommen-Mjøsen Skog, AT Skog, Allskog og Nortømmer.

NIBIO ved Dag Fjeld og Jan Bjerketvedt har vært faglig ansvarlige, mens Skogkurs har stått ansvarlige for prosjektgjennomføringen.

Denne rapporten belyser funnene av prosjektet, i tillegg har det blitt utviklet et prognoseverktøy (Excel) og et tilhørende informasjonsark.

Prosjektet er finansiert med støtte fra Skogtiltaksfondet og Skogbrukets utviklingsfond. I tillegg har andelslagene bidratt med betydelig egeninnsats, samt at Skogkurs og NIBIO har bidratt med egne midler.

En stor takk til alle som har bidratt i prosjektet. Spesielt til de som har bidratt med innspill til metodeutvikling og datamateriell i form av feltarbeid: Kristofer Tveiterå, Sigbjørn Hammer, Bjørn Arve Øvereng, Vetle Nergård, Bjørnar Sørbøen, Torbjørn Flaas, Einar Aune og Ole Bertil Reistad. Det rettes også en takk til veieierne.

Biri, 20.12.2021

Martin Bråthen

Prosjektleder, Skogkurs

Innhold

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Bakgrunn og mål | 5 |
| 1.1 | Prosjektets hovedmål | 6 |
| 1.2 | Deltagere i prosjektet | 6 |
| 2 | Materiale og metoder | 8 |
| 2.1 | Bæreevne | 8 |
| 2.1.1 | Kriterier for registrering av skogsbilvei: | 8 |
| 2.1.2 | Datamateriale | 9 |
| 2.1.3 | Registrering på skogsbilveier | 10 |
| 2.2 | Transportdata | 14 |
| 2.2.1 | Sammenstilling av data og analyser | 14 |
| 3 | Resultater | 15 |
| 3.1 | Transport | 15 |
| 3.2 | Kobling av veiegenskaper til bæreevne | 19 |
| 3.3 | Lettvektsfallodd kontra ordinært fallodd | 25 |
| 4 | Diskusjon og konklusjon | 26 |
| 4.1 | Registrering av skogsbilveier | 26 |
| 4.1.1 | Endret metode underveis i prosjektet | 27 |
| 4.2 | Hvordan vet man hva en vei er bygd opp av? | 30 |
| 4.3 | Transport og bæreevneanalyse | 31 |
| 4.4 | Forslag til ramme for digital bæreevnemodellering | 31 |
| 4.5 | Videre anvendelse av dataene | 33 |
| 5 | Litteraturreferanse | 34 |
| 6 | Vedlegg | 35 |
| 6.1 | Vedlegg 1: Oversikt over utstyr feltarbeiderne fikk tildelt | 35 |
| 6.2 | Vedlegg 2: Registreringsskjema | 36 |
| 6.3 | Vedlegg 3: Presentasjoner om prosjektet | 37 |

1 Bakgrunn og mål

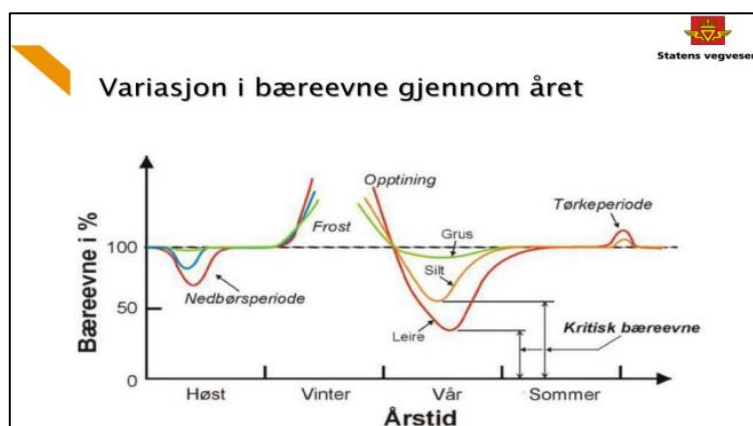
I Skandinavia har vi historisk sett utnyttet både vinterens tele og snø og sommerens tørre perioder for å få tilgang til arealer med dårlig bæreevne i forbindelse med avvirkning og videretransport av tømmer. Klimaforandringenes trend med økende temperaturer og tilhørende kortere teleperiode krever ytterligere utvikling av virkesforsyningens planleggingsprosess for å opprettholde en jevn virkesflyt gjennom hele året. Samtidig behøves det nye metoder for å identifisere og klassifisere skogsbilveienes tilgjengelighet med utgangspunkt i de faktiske værforholdene.

Bakgrunnen for bæreevneprosjektet på skogsbilveier er *Pilotprosjektet for bæreevneklassifisering*, som undersøker bæreevnevariabler som påvirker bæreevnen i terrenget (Fønhus, Fjeld & Bjerketvedt, 2017). Det ble utviklet metoder for klassifisering av bæreevne for innlandet. Ved god driftsplanlegging og nødvendige tiltak vil skogsbilveier med svak bæreevne være en flaskehals. Norske skogsbilveier (veiklasse 3) er i stor grad dimensjonert for helårstrafikk, med begrensninger i teleløsningsperioden og i perioder med spesielt mye nedbør (Normaler for landbruksveier, 2016). Skogsbilveier kan, på samme måte som for terrenget, klassifiseres i et antall bæreevneklasser. For Svenske skogsbilveier finnes 4 ulike klasser av bæreevne; A: helårs, B: helårs unntatt teleløsning, C: helårs unntatt vår- og høstforfall, og D: vinterbilvei (Biometria, 2021). Hver klasse har, som i Norge (Normaler for landbruksveier, 2016), hvert sitt krav til bærelagtykkelse, avhengig av undergrunn og bærelagsmateriale. Faktisk bæreevne vil variere med vanninnhold i veikroppen og undergrunn. Av denne grunn er det viktig å koble sesongens klimadata med målt bæreevne og hjulsporutvikling. Kvantifisering av disse sammenhenger gjør det mulig å kunne utvikle metoder for klassifisering av bæreevne for skogsbilveier som kan oppdateres med tilgjengelig værdata. Klassifiseringen gir også grunnlag for å kunne identifisere områder med generelt høyere bæreevne.

Motivasjonen bak prosjektet er klimaendringene. Kortere vintre og mer nedbør gir lengre perioder med redusert bæreevne. Dette gjør det mer utfordrende å holde en jevn leveranse av tømmer igjennom året. Samtidig har driftsapparat og industri blitt mer avhengig av jevn drift og virkestilgang.

Enklere klassifisering av bæreevne for skogsbilveier vil gjøre det mulig å planlegge avvirkning og transport av tømmer volum etter årstid, rådende værforhold eller værutvikling for den gjeldende sesong.

Dette vil gi reduserte kostnader for sporretting, veivedlikehold og jevnere kapasitetsutnyttelse for skogsmaskiner og tømmerbiler. Forhåpentligvis vil et lavere tømmerkvantum bli låst inne grunnet endringer i værforholdene med påfølgende bæreevneproblematikk, spesielt i forbindelse med teleløsningen. Et annet ønske er at det vil bli enklere for tømmerkjøperne å premiere gode veier.



Figur 1. Bæreevnen varierer gjennom året og med nedbørsmengde og tørke. (Aurstad et al. 2006)

1.1 Prosjektets hovedmål

Prosjektets hovedmål er å utvikle forslag til prognosemodeller for veiskader som følge av tømmertransport. Som grunnlag for modellene vil prosjektet utarbeide og teste en metodikk for klassifisering av bæreevne for skogsbilveier. Klassifisering vil bli basert på både feltobservasjoner og digitale kilder. Bæreevneklasse, transportvolum og værforhold vil inngå som variabler i modellene.

Delmål 1 er å identifisere sesongvariasjoner i transporten knyttet til skogsbilveier.

Delmål 2 er å koble sesongvariasjoner til skogsbilveienes bæreevne.

Delmål 3 er å utvikle grunnlaget for en prognosemodell som anviser skadepotensialet for tømmertransport på skogsbilveier.

1.2 Deltagere i prosjektet

- Norges Skogeierforbund (NSF) – Dag Skjølaas
- Norskog – Erling Bergsaker var Norskog sin kontakt innledningsvis i prosjektet

NSF og Norskog har vært prosjekteier. Som en nasjonalt overbyggende organisasjon har de samordnet de øvrige partene og søkt og fått innvilget økonomisk støtte til prosjektet fra Skogtiltaksfondet.

- NIBIO – Dag Fjeld og Jan Bjerketvedt

Seniorforsker Dag Fjeld var den som initiert prosjektet. Sammen med forsker Jan Bjerketvedt har de hatt faglig ansvarlig for valg av metodikk, faglig instruks, analyse og sammenstilling av resultatene.

- Skogkurs

Flere av Skogkurs sine fagfolk har deltatt sammen med NIBIO i utvikling av metodikk og instruksjoner. Dessuten har Skogkurs hatt den administrative og praktiske prosjektledelsen, herunder ansvaret for å engasjere feltarbeidere og følge opp disse, samt å følge opp og sikre kommunikasjon mellom partene. Prosjektleder har vært Martin Bråthen.

- Skogeierandelslagene/ tømmerkjøperorganisasjonene

Mange personer fra samtlige av de store tømmerkjøperorganisasjonene har vært involvert. I forsøksperioden har det vært noen fusjoner, men uten stor betydning for prosjektet. Viken Skog, Glommen-Mjøsen Skog, AT Skog, Allskog og Nortømmer. Samtlige har sett behovet for et verktøy for bæreevnevurderinger og logistikk. De har derfor deltatt aktivt prosjektet på følgende områder:

- Deltatt på oppstartsmøte for å avstemme hva næringen trenger
- Valgt ut og skaffet til veie veier å registrere etter aktive drifter
- Fremskaffet nøyaktig volum transportert i registreringsperioden

- Feltarbeidere

Skogkurs har leid 3 feltarbeidere av gangen. Totalt har det vært 8 forskjellige personer involvert. De har bidratt ulikt. Noen har bidratt til utvikling av metode, mens andre har bidratt med å samle data. Feltarbeiderne ble valgt ut for å gi et utvalg etter geografi. Tre skogsmaskinentreprenører har vært involvert, spesielt i arbeidet med metodeutviklingen. Spesielt en hadde gode forutsetninger da han også har utøvd veibygging og vedlikehold av vei i sitt virke. Tre av feltarbeiderne utøver veiplanlegging

i sitt yrke og hadde derfor særlig gode forutsetninger til å gjøre vurderinger av veiene. Disse var involvert:

- Ole Bertil Reistad, skogs- og maskinentreprenør fra Lillehammer
 - Einar Aune, skogsmaskinentreprenør fra Melhus
 - Torbjørn Flaas, skogbruksleder og skogsmaskinentreprenør fra Evje og Hornnes
 - Bjørnar Sørbøen, selvstendig næringsdrivende innafor skogbruk fra Sør-Aurdal
 - Vetle Nergaard, selvstendig næringsdrivende innafor skogbruk fra Åmotd
 - Bjørn Arve Øvereng, veiplanlegger fra Overhalla
 - Sigbjørn Hammer, veiplanlegger fra Levanger
 - Kristofer Tveiterå, veiplanlegger og skogbrukssjef i Hjelmeland, fra Suldal
- NN – Anonymiserte deltagere som har bidratt med fraktbrev i forbindelse med tømmertransporten

2 Materiale og metoder

2.1 Bæreevne

En metode ble utarbeidet med mål om å fange variasjoner i veier, uttransportert volum og værforhold.

2.1.1 Kriterier for registrering av skogsbilvei:

- Veier: skal registreres både der det antas at det er høy og lav bæreevne, samt variasjon innen hver vei. For en veiregistrering gjøres tre registreringer: på de antatt verste og beste bitene av veien, samt på et tilnærmet gjennomsnitt.
- Transportvolum: veier med volumer rundt 500 m³ eller mer registreres. Må akseptere det som kjøres ut jevnlig over en definert periode. «Korrekt m³» skal ligge til grunn.
- Vær: Datamaterialet skal bestå av veier registrert under ulike forhold: teleløsning, typisk barmarksdrift (både tørr og fuktig sommer), samt fuktig høst. I utgangspunktet de veier som brukes under de respektive sesongene og som bør gi oss et representativt utvalg av bæreevne.

Metoden la dermed opp til at deltagerne i prosjektet skulle finne relevante skogsbilveier etter kriteriene, til ulike tider på året og veier med ulik kvalitet. Kvaliteten på skogsbilveiene henger ofte sammen med alder, byggemetode, materialer i veien og datidens gjeldende krav. For eksempel er veldig mange av de gamle skogsveiene i stor grad bygd opp av stedegne materialer eller uforedledede masser fra lokale løsmassetak i tilknytning til veien.

Ettersom en tømmertransportvei kan strekke seg over lange distanser og at en vei regnes som en «homogen konstruksjon» ble det lagt opp til at en drift kunne utløse flere registreringer når en eller flere av følgende kriterier ble møtt:

- Drifta er på en sidevei (lavere kvalitet) og transporten går over en hovedvei (høyere veiklasse) før tømmeret kommer til offentlig vei. Sideveien kan registreres som en vei og hovedveien som en annen.
- Veien strekker seg over ulike løsmassetyper. F.eks. om veien først går 500 m over havavsetninger før den går 500 m over elveavsetninger og avslutter med 500 m med morene så kan det gjøres tre registreringer på denne veien.
- Strekker veien seg over store høydeforskjeller, og dermed ulike klimatiske forhold, som eks. forskjellige teleløsningstidspunkter, kan flere registreringer gjøres for denne veien. F.eks. hvis veien begynner nær havnivå hvor veien har tørket opp etter våren, og strekker seg oppover mot fjellet der snøen smeltet for noen uker siden.

Fordeling av veiregistreringer etter geografi

Dette har vært et prosjekt med et mål om å representere mesteparten av Norge. Tømmerkjøperorganisasjonene skulle i teorien bidra omtrent likt med antall veier. Antall veier faktisk registrert fordelt på geografi:

Tabell 1. Geografisk fordeling av registrerte veier.

| Geografi | Antall forsøksveier |
|--------------------------------------------|---------------------|
| Midt-Norge (Trøndelag) | 33 |
| Østlandet (nord-øst for Oslo) | 33 |
| Sør-Vestlandet (Rogaland og Sunnhordaland) | 11 |
| Sum | 77 |

77 veiregistreringer gir 231 unike registreringspunkter.



Bilde 1: Test og videreutvikling av metode i 2018. Bilde: Martin Bråthen

2.1.2 Datamateriale

I prosjektet undersøkte man veiegenskaper og undergrunn i felt og de ble koblet mot digitale kilder. Samtidig målte man bæreevnen med fall-lodd og hjulsporutvikling etter transport. Lokale klimadata ble logget under transportperioden for kobling til veiegenskaper, bæreevne og hjulsporutvikling. Veiene velges fra områder med tilgjengelig laserdatta for digitale terrengeanalyser.



Bilde 2: Lettvekts fallodd Zorn ZFG 3.0 (t.v., fra Internett) ble benyttet til å registrere e-modul i prosjektet. Konvensjonelt fallodd (t.h. hengermontert, bilde: Jan Bjerketvedt) fra Statens Vegvesen ble benyttet på et utvalg av veiene for å se på korrelasjon ved målinger av bæreevne.

2.1.3 Registering på skogsbilveier

2.1.3.1 Feltarbeidere

Grunnleggende kriterier for feltarbeidere:

- Relevant utdanning, tilsvarende bachelorgrad eller tilstrekkelig praktisk erfaring
- Kunnskaper om skogsveier og dens oppbygning
- Praktiske ferdigheter
- Førerkort klasse B
- Tilgang til henger (ev. førerkortklasse BE) ved mangel på takgrind (for frakt av skinne)

Opplæring ble gjort i flere omganger ettersom det ble utskiftninger av feltarbeiderne:

1. Felles test og utvikling av metodikk. Da ble det også gitt opplæring for de tre første feltarbeiderne
2. Opplæring gitt til de nyansatte feltarbeidere ved at, hovedsakelig, prosjektleder oppsøkte de nyansatte kort tid etter ansettelsen. Opplæring foregikk på en skogsvei som bidro til materiale i datasettet
3. En feltarbeider fikk grundig opplæring over Teams. Denne løsningen ble valgt da denne feltarbeideren ble vurdert til å ha meget gode kunnskaper både om skogsveier og fallodd, da personen selv besitter et tilsvarende fallodd og benytter det i sitt arbeid som veiplanlegger

Alle feltarbeidere fikk utdelt samme utstyr, se Vedlegg 1.



Bilde 3: Bæreevnmåling utført av veiplanlegger Bjørn Arve Øvereng på en nybygd vei. En solid og fint utformet vei. Bilde: Martin Bråthen.

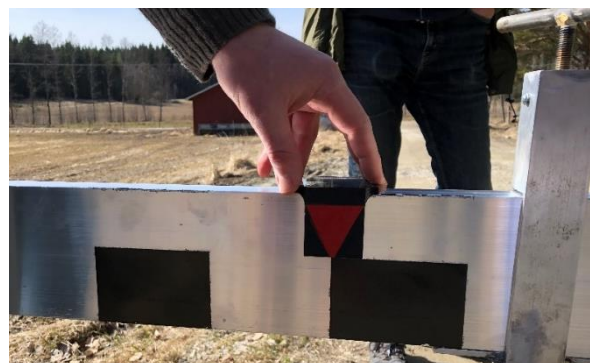
2.1.3.2 Kommunikasjonsflyt

Prosjektet har hatt mange personer involvert, og metodikken og kravene for «registreringsobjektene» eller veiene har krevd oppfølging. Fremdrift har vært drevet frem ved kontinuerlig kontakt.

Det ble utarbeidet instruks for feltarbeidere og for kontaktene i tømmerkjøperorganisasjonene. Underveis har det vært evalueringsmøter og vurderinger av metode og av resultatene.

2.1.3.3 Digitale hjelpemidler

Feltarbeideren har benyttet Ipad med relevante applikasjoner. Både til å finne frem til veiene, geoposisjonere registreringene (apper som Avensa-maps, Navida og Google-maps) og føre registreringene direkte i registreringsskjema (Excel) som var knyttet opp i skyløsningen Dropbox. På Ipad, kunne de også finne instruks, søke opp nødvendig informasjon og ta bilder. Laseren til registrering av overflateprofilen kunne også kommunisere direkte med en app på Ipad, men denne var ikke pålitelig nok, så disse registreringene måtte fylles inn i skjema.



Bilde 4: Distanselasen er festet til en holder som flyttes på skinna og måling utføres for hver tiende centimeter for å skape en veiprofil. Bilde: Martin Bråthen

2.1.3.4 Registreringene

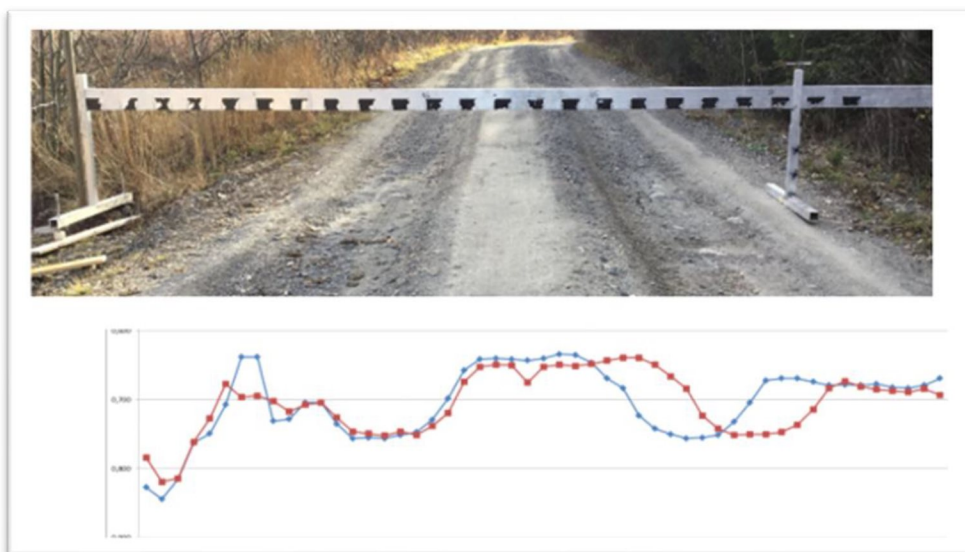
Metoden for feltregistrering ble endret i 2020 (se 4.1.1) og man har deretter fulgt registrerings skjemaet i Vedlegg 2.

Tabell 2. Datainnsamling per forsøksvei og drift.

| | Under transport | Etter transport avsluttet |
|----------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Markfuktighetsindeks/løsmassetyper (for utvalg av veier) | | X |
| Undergrunn/grøfter/bærelag/slitelag | | X |
| Værdata | X | |
| Bæreevne (fallodd) | | X |
| Hjulsporutvikling (tverrprofil) | | X |
| Transportert volum | | X |

Følgende om registreringene nevnes (fremgår også i skjemaets forklaring, Vedlegg 2):

- 3 registreringer/tverrsnitt pr. registreringsobjekt (det som defineres som en vei) – beste bæreevne, dårligste bæreevne og snitt bæreevne.
- Veien, terrenget og skogbildet rundt ble beskrevet, målt og fotografert, sett fra avkjøringa inn mot snuplass med tanke på hva som defineres som høyre og venstre for veien.
- En 5 meter lang og vatret skinne, påmontert føtter (fastpunkt), ble benyttet til å skape et profil av overflaten til veien på gitt punkt, fra ytterst på veiskulder til ytterst på motsatt veiskulder. Profilet ble skapt ved å benytte en Leica DISTO distanselaser påmontert skinna der punktenes høyde ble registrert for hver tiende centimeter.
- Bæreevnen ble målt 3 ganger pr. tverrsnitt – en i hvert hjulspor og en i midten av veien. Dette ble målt med et lettvekts fallodd Zorn ZFG 3.0
- For et utvalg av drifter måles bæreevne med et vanlig fallodd (innleid av Statens Vegvesen) for korrelasjon mot lettvekts fall-lodd
- Transportvolum pr. forsøksvei følges opp etter transportørens fraktbrev frem til registreringstidspunkt

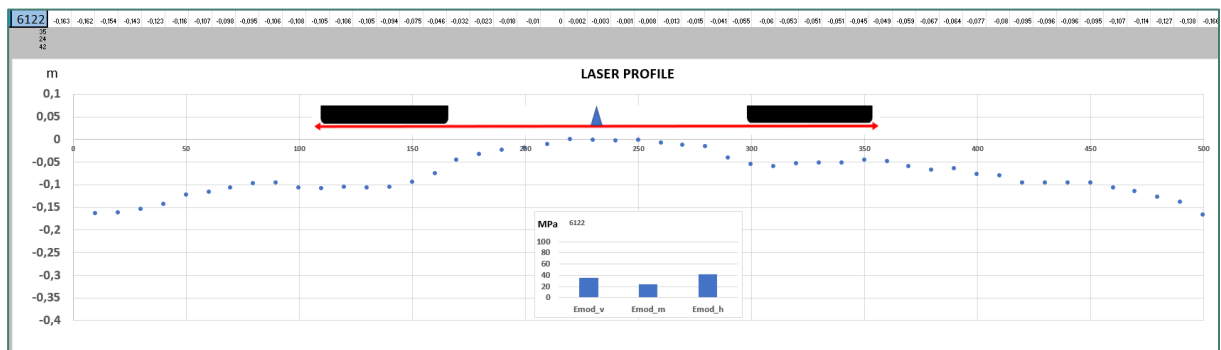


Bilde 5: Det ble benyttet en 5 meter lang skinne og distanselaser til å lage en overflateprofil av veien. På bildet vises resultatene for et par tester på en vei med store sporskader

Totalt ble 280 skogsbilveistrekninger i kyst- og innlandsregionen registrert rett etter uttransport av tømmer var ferdig.

Målt E-modul og hjulspordannelse ble koblet sammen med:

- Transportvolum fra siste drift
- Skogsbilveiens omgivelser (topografi, vegetasjon)
- Skogsbilveiens planumsinformasjon (løsmasetype, jordteksturklasse, markfuktighet (DepthToWater-index), skjæring/fyllingshøyde og drenering)
- Bære- og slitelag (tykkelse og materialtype).



Bilde 6: Laserprofil og målefoto ble brukt for å identifisere hjulspor og veimidt

2.2 Transportdata

Fraktbrev/transportbrev er anonymisert. Totalt 200 000 ble analysert for en periode på 2-3 år; 100 000 for Innlandsregionen og 100 000 for Kystregionen.

2.2.1 Sammenstilling av data og analyser

Materialet er fordelt på to regioner, hhv Kystregionen og Innlandsregionen. Disse geografiske områdene spesifiseres ikke ytterligere av bedriftsinterne hensyn.

Prosjektet fikk tilgang til totalt 100 000 fraktbrev pr region over en 3-årsperiode før 2020.

Fraktbrevene ble koblet sammen med værdata for klima- og høydelagssoner (ukentlig snødybde, nedbør og temperatur), veinettsdata, løsmassetyper og analyseresultater fra **Digitale TerrengModeller** (DTM-avledede variabler).

De utkjørte transportvolumene ble registrert for hovedløsmassetypene for de aktuelle skogsbilveiene. Av totalt registrert 14 ulike NGU-løsmasstypekoder, ble 4-6 hovedkoder benyttet i analysen. Hovedgruppene for permeabilitet (vanngjennomstrømligheten av et materiale) går fra fluviale avsetninger (kode 20, 50), morenemateriale (kode 11, 12) og hav/fjordavsetning (kode 41), samt torv og myr (kode 90).

Tabell 3. Løsmasstyper og permeabilitet

| NGU kode | Løsmasstype | Permeabilitet |
|----------|-------------------------|---------------|
| 20 | Breelvavsetning | Høy |
| 50 | Elve- og bekkeavsetning | Høy |
| 11 | Tykk morene | Middels |
| 12 | Tynn morene | Middels/Lav |
| 41 | Hav- og fjordavsetning | Lav |

Det ble benyttet Principal Component Analysis (PCA) for å analysere sammenhengen mellom transportintensitet, løsmasstype og værforhold.

3 Resultater

3.1 Transport

Av hensyn til bedriftsinterne rettigheter publiseres ikke denne figuren.

Figur 2. Leveranseprofil over året for regioner og klimasoner.

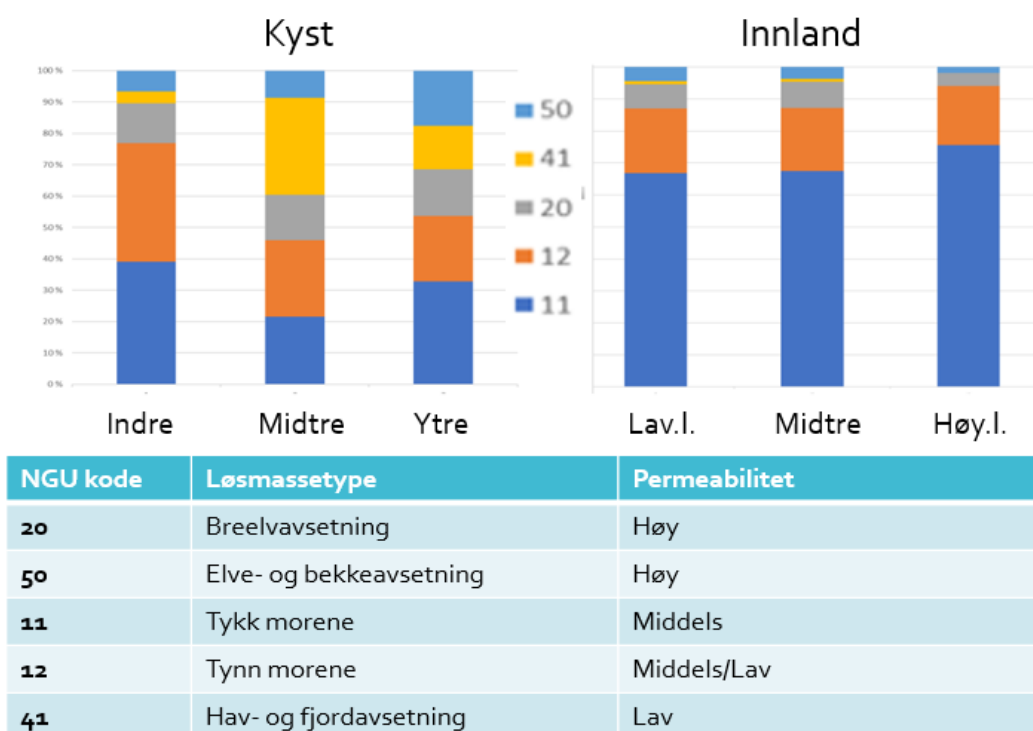
For både kyst- og innlandsregionen ser man at teleløsningsperioden gir en reduksjon i virkestransporten på skogsbilveiene. For kystregionen er indre strøk angitt med blått og ytre strøk med grått. Det er den midtre regionen som har den største reduksjonen. For innlandsregionen er lavereliggende strøk i blått og høyereliggende med grått. Her er det lavland og midtre områder som har markant reduksjon.

Av hensyn til bedriftsinterne rettigheter publiseres ikke denne figuren.

Figur 3. Ukentlige leveranser fra private veier (blått) og skogsbilveier (oransje) fordelt på region og klimasoner.

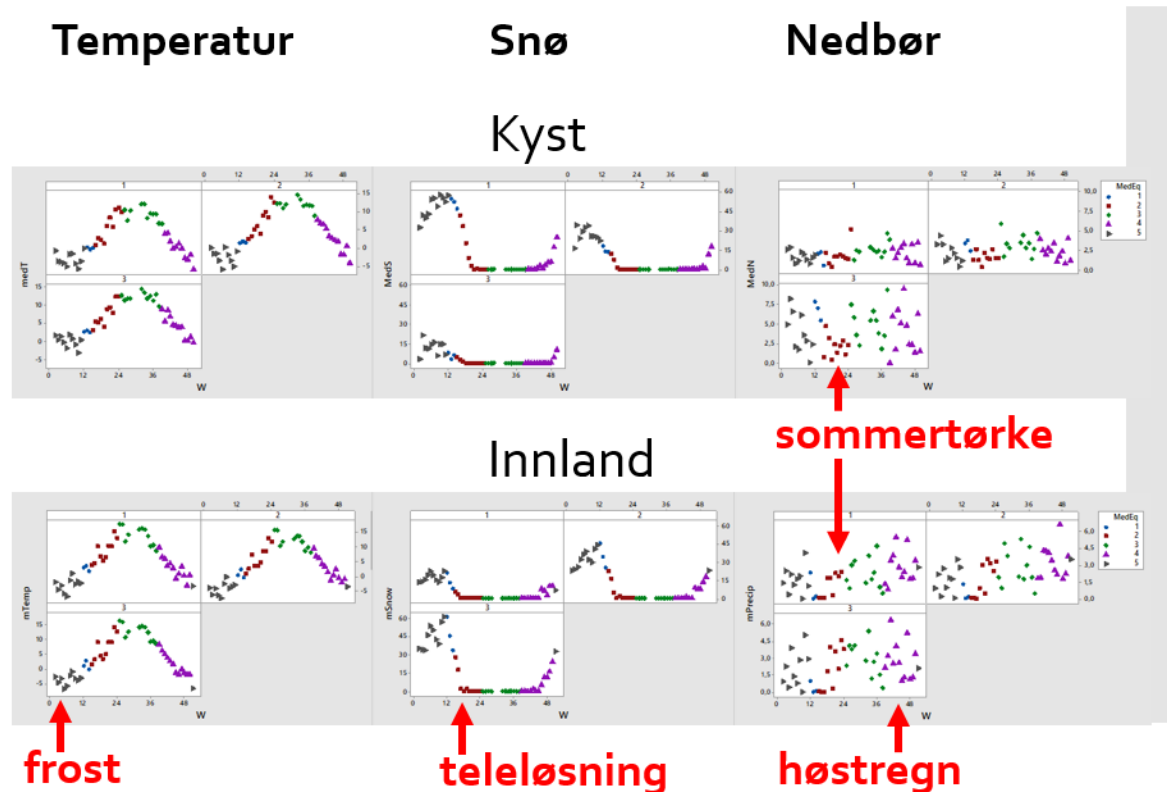
I Figur 3 er teleløsningen angitt med røde piler. Det er tydelige forskjeller i påvirkningen mellom de ulike klimasonene innenfor regionene. I kystregionen er utslagene største i midtre deler etterfulgt av indre strøk. I innlandsregionen er reduksjonen størst i midtre og høyereliggende områder.

Fordeling av løsmassetyper



Figur 4. Løsmassetypenes fordeling mellom regioner og høydeler

Figur 4 viser at innlandsregionen har en klart høyere andel av tykk morene (middels permeabilitet), mens kystregionen har en høyere andel av hav- og fjordavsetning (lav permeabilitet). Massene med høy permeabilitet (breelavsetning og elve- og bekkeavsetning) er oftere forekommende i kystregionen.



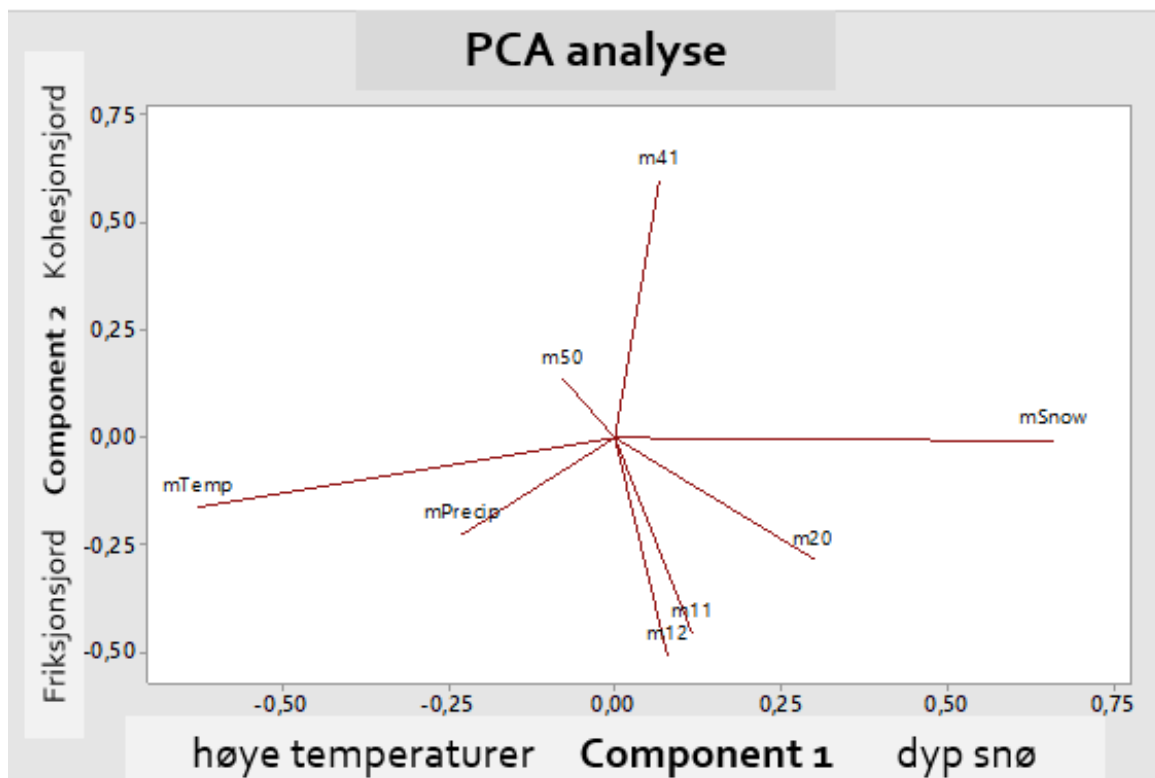
Figur 5. Sesongvariasjon (5 perioder/farger) i ukentlige værforhold for de 3 ulike sonene i hhv kyst- og innlandsregionen.

I Figur 5 gjengis ukentlige måledata over et helt år for temperatur, snødybde og nedbør. For kyst- og innlandsregionen er de tre forskjellige sonene fremstilt med sone 1 og 2 øverst (venstre og høyre), mens sone 3 står under til venstre.

Temperaturmessig har man et relativt likt forløp for alle de seks sonene. Lavest temperatur (frost) ved starten av året. Så stiger temperaturen til sitt maksimum mellom uke 24 og 36 (grønn farge), for så å synke utover høsten.

For snødybdens vedkommende er det langt større forskjeller, også innad regionene. Men, det essensielle for snødybdens vedkommende er når den går ned mot null cm snø, det vil si teleløsningsperioden. Hvor mye snø skal smeltes og over hvor lang tid?

I forbindelse med nedbør er det to viktige perioder. Den første, sommertørken (brun farge), har en positiv effekt, mens den andre, høstregnet (lilla farge), har en negativ effekt.



Figur 6. Principal Component Analysis (PCA) av transportintensitet for løsmasetype og værforhold.

Tabell 4. PCA-verdier for løsmasetyper

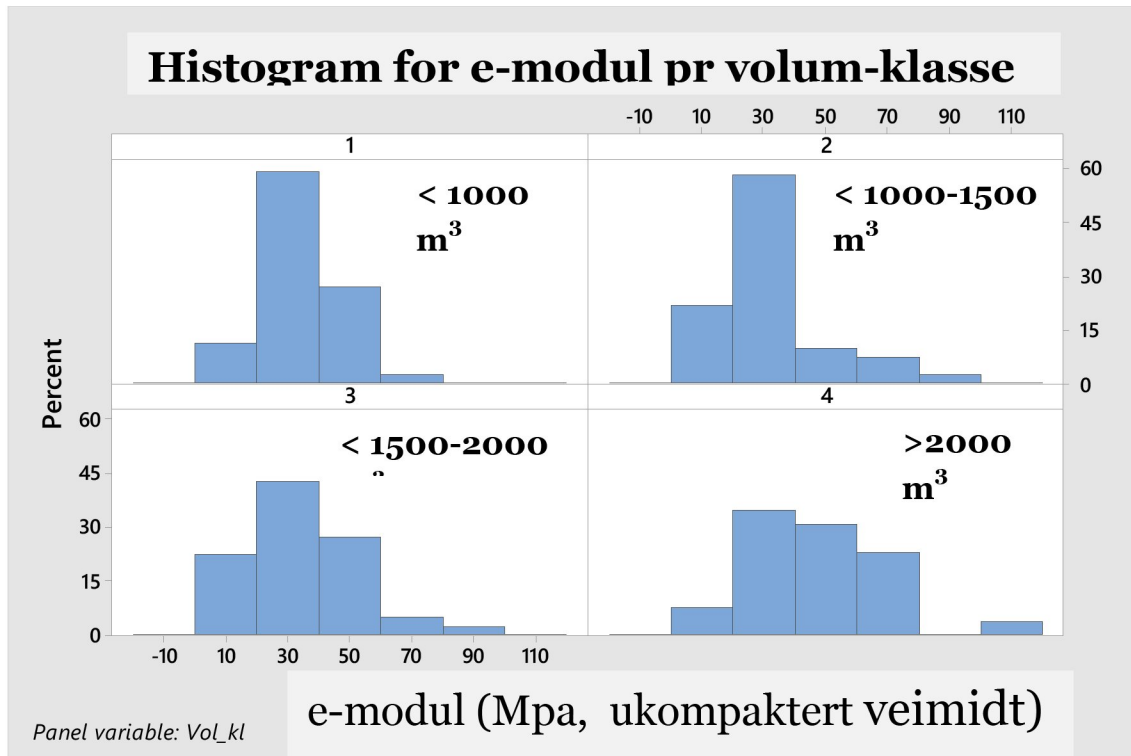
| | PC1 | PC2 | PC3 |
|--------|---------------|---------------|---------------|
| Temp | -0,625 | | |
| Precip | | -0,224 | -0,479 |
| Snow | 0,661 | | |
| 11 | | -0,455 | -0,279 |
| 12 | | -0,507 | 0,532 |
| 20 | 0,299 | -0,284 | |
| 41 | | 0,599 | 0,246 |
| 50 | | | -0,549 |

Hvordan har de transportansvarlige styrt transporten avhengig av værforholdene? Hvis man ser Figur 6 og Tabell 4 i sammenheng kan følgende sammenhenger utledes:

- PC1: Mye snø (Snow i Tabell 4) gir økt transportintensitet på breelavsetninger (20)
- PC2: Redusert nedbør (Precip i Tabell 4) gir mindre transport på morene (11/12) og breelavsetninger (20), men økt transport på hav- og fjordavsetninger (41)
- PC3: Ytterligere redusert nedbør (Precip i Tabell 4) gir enda mindre transport på tykk morene (11) og særlig på elve- og bekkeavsetninger (50), mens tynn morene (12) og hav- og fjordavsetninger (41) får en sterk økning i transporten.

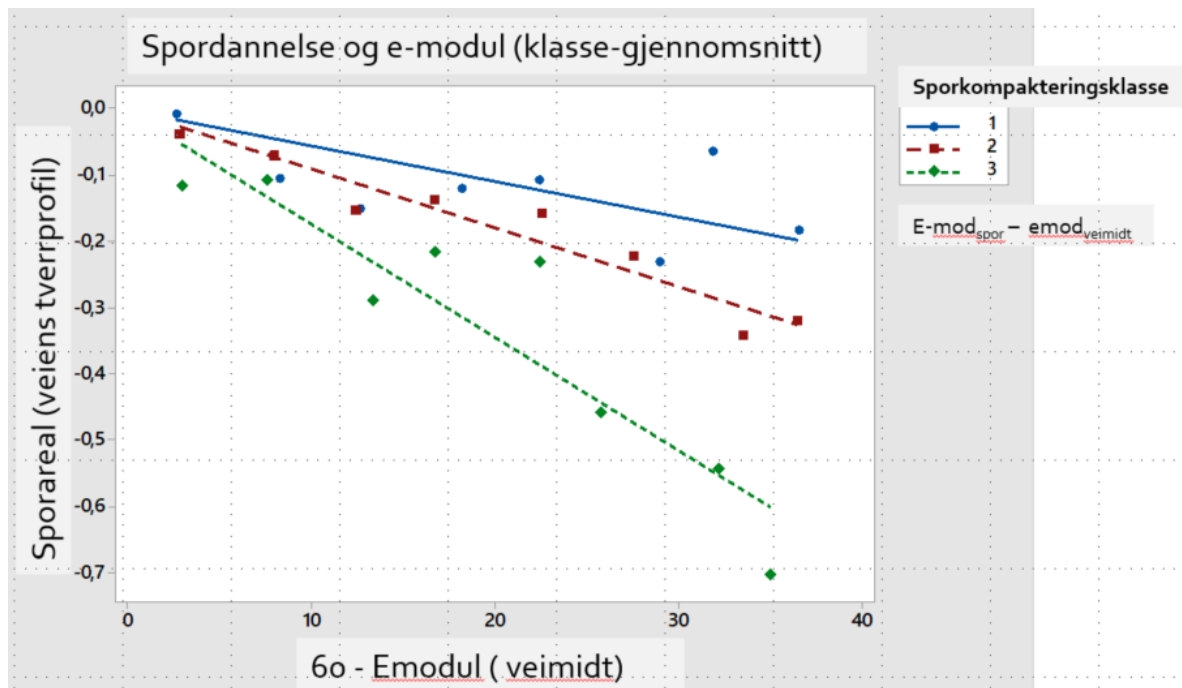
Skogsbilveier anlagt på de finstoffrike massene, først og fremst representert ved hav- og fjordavsetninger, får sin anvendelse i perioder med lite nedbør. Da synker også transportintensiteten på tykk morene og elve- og bekkeavsetninger.

3.2 Kobling av veiegenskaper til bæreevne



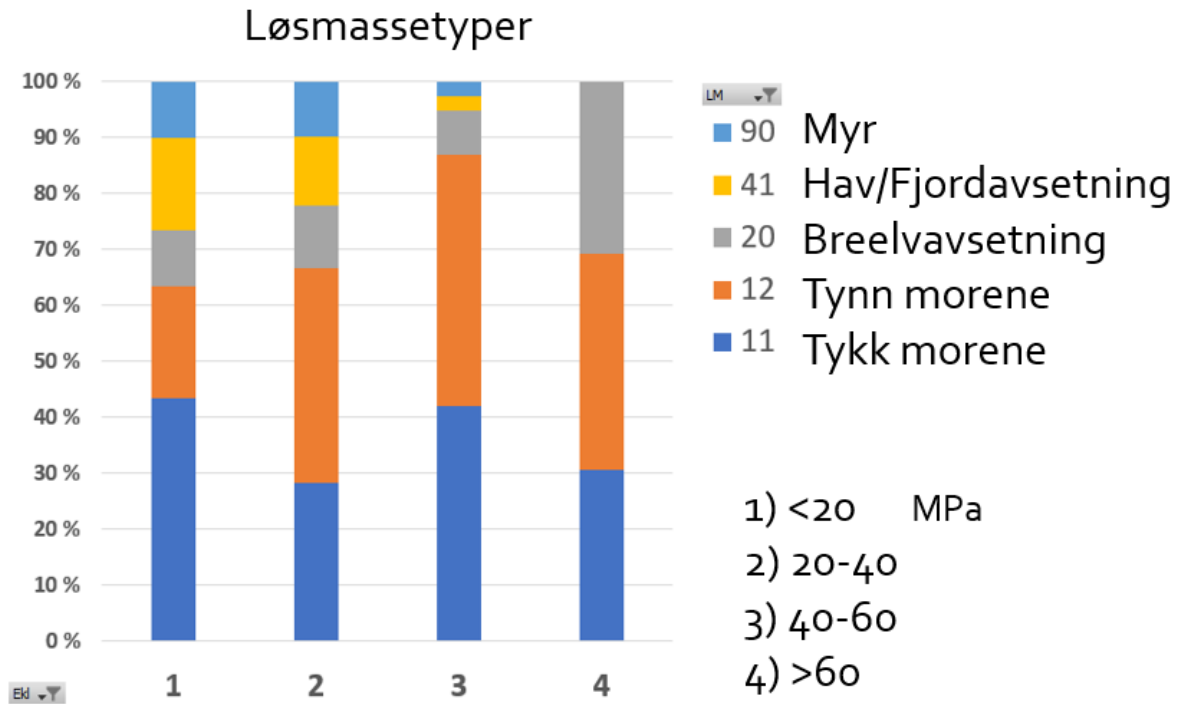
Figur 7. Registrert e-modul for ukompaktert veimidt fordelt på klasser av uttransportert tømmer volum.

Dersom man grupperer de undersøkte skogsbilveiene i klasser etter uttransportert tømmer volum, så viser Figur 7 at de større driftene er lagt til veier med høyere e-modul og bæreevne.



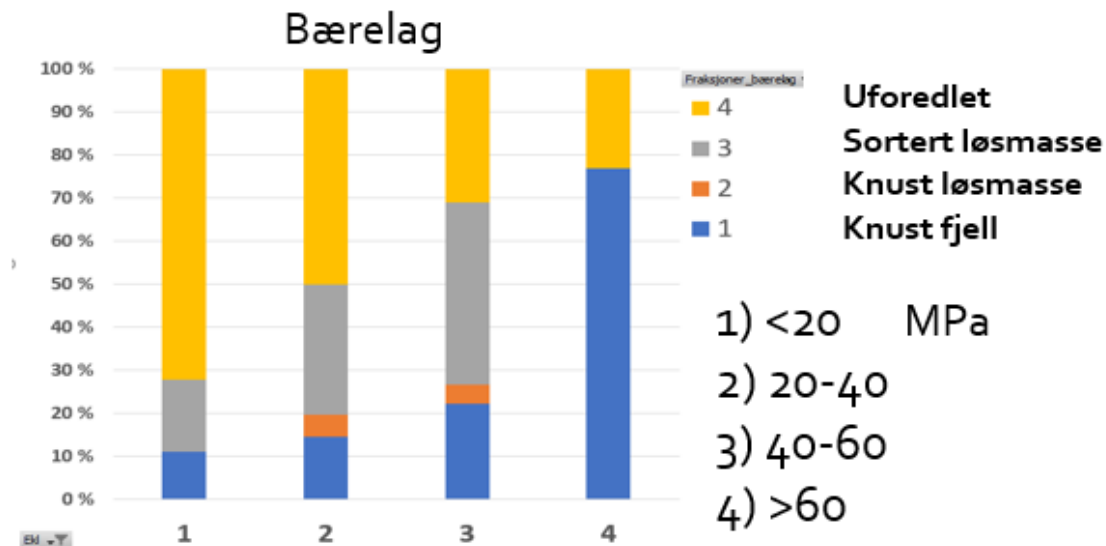
Figur 8. Sammenheng mellom spordannelse (sporeareal) og e-modul for 3 sporkompakteringsklasser på veier med mindre enn 2000 m³ transportvolum.

Sporearealet som ble registrert ved lasermåling av veikroppens tverrprofil blir i Figur 8 sammenlignet med 3 ulike sporkompakteringsklasser. Disse klassene er beregnet på bakgrunn av e-modul differansen mellom kjørespor og ukomprimert veimidt. Jo lavere forskjell i e-modul mellom ubelastet veimidt og belastet kjørespor, jo mindre sporeareal blir det.



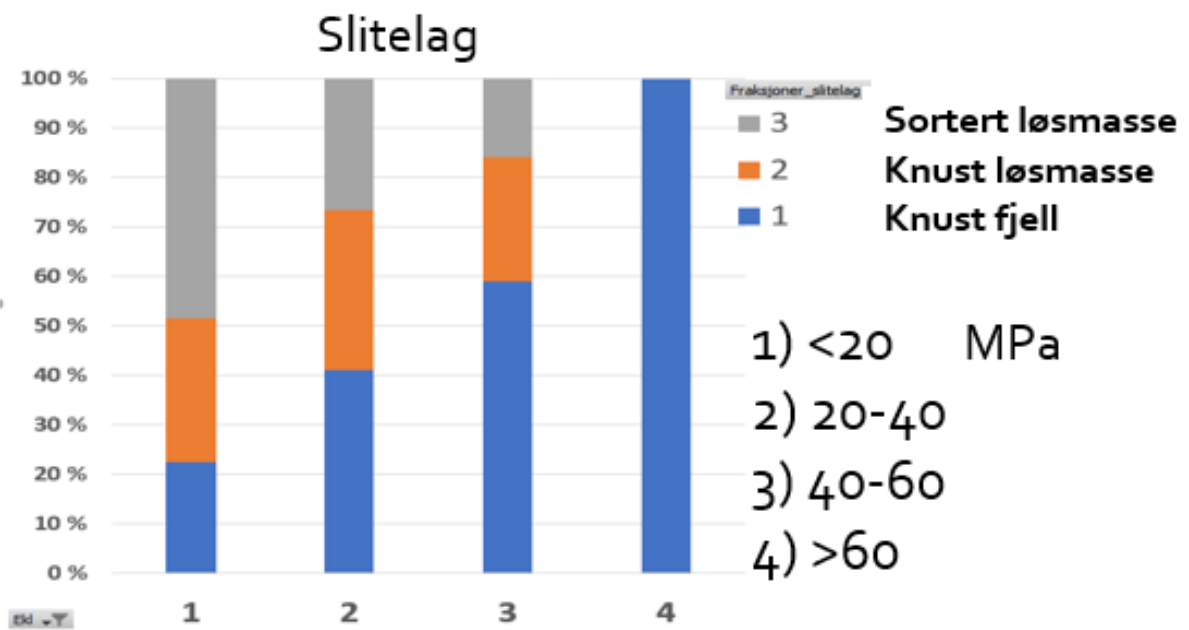
Figur 9. Fordeling av e-modulklasser på løsmassetyper.

For den dårligste e-modulklassen (1) i Figur 9 finner man innslag av alle løsmassetypene, men det er en klar utvikling i løsmassetypfordelingen når man beveger seg over mot den beste e-modulklassen (4). Da sitter man igjen med morene og breelavsetning.



Figur 10. Bærelagsmateriale og e-modul.

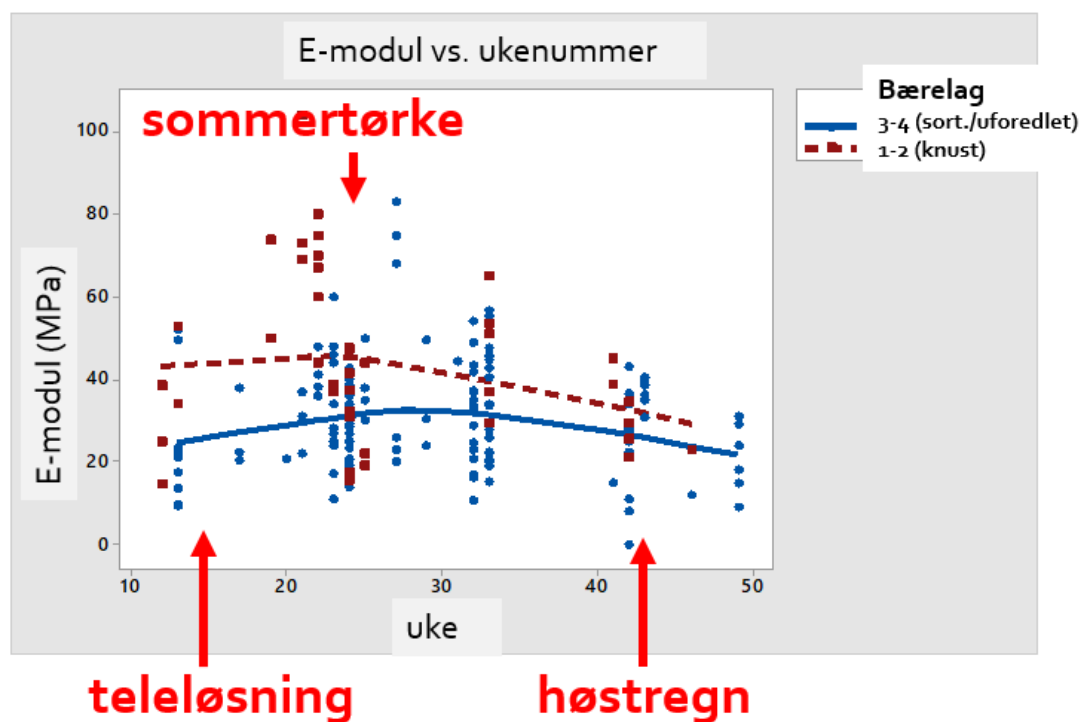
Det er liten tvil om at det som i Veinormalen klassifiseres som det beste bærelagsmaterialet også i praksis viser sin styrke (Figur 10). Knust fjell er best, men uforedlet masse på rett sted og tid gir også bæreevne.



Figur 11. Slitelagsmateriale og e-modul.

Som for bærelaget, så viser Figur 11 at også slitelagsmaterialet kan ha en viss betydning e-modulen. Men, her vil selvsagt det underliggende bærelaget ha en viktig rolle.

| | Intercept | Surface deposit effect | | | Bearing layer material effect | | | | |
|-------------|-----------|------------------------|-------|-------|-------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| | | 11 | 12 | 20 | 41 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| E-mod (MPa) | 37,6 | -1,52 | +0,83 | +7,16 | -6,47 | +15,24 | -3,92 | -4,01 | -7,31 |



Figur 12. Forventet e-modul for kombinasjon av ulike løsmasser og bærelagskvaliteter.

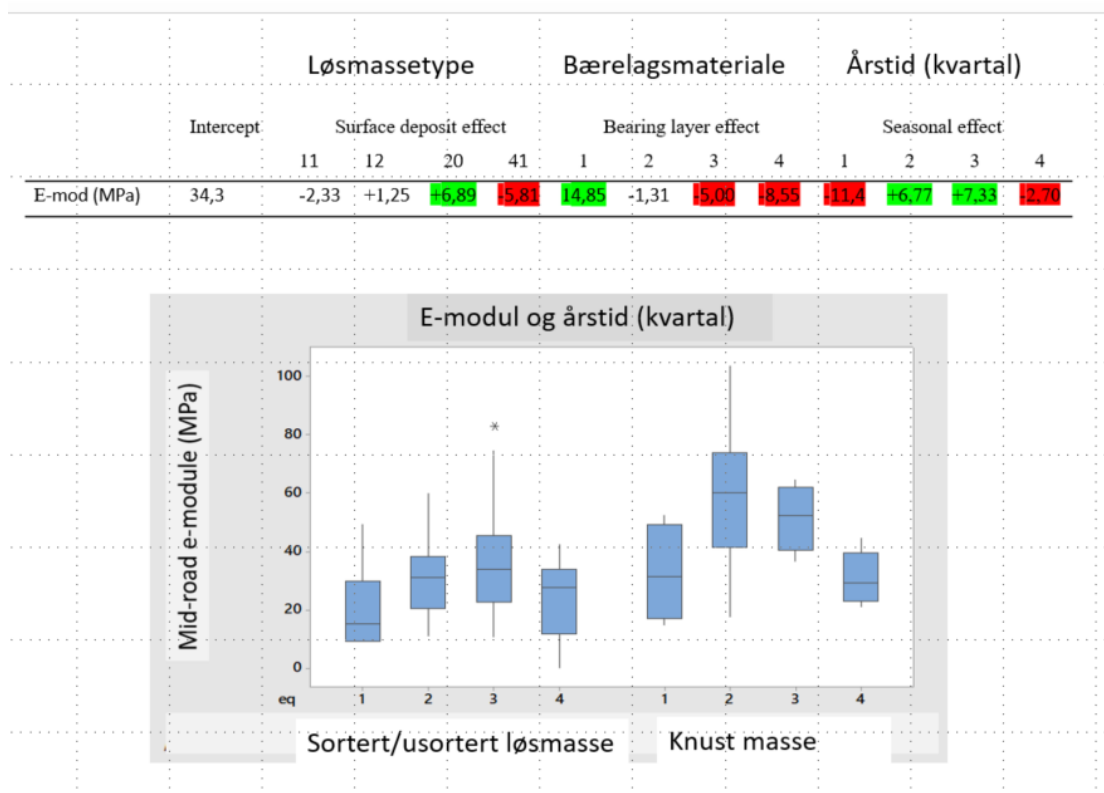
Toppen av Figur 12 beskriver en formel for å beregne en mulig e-modul for en skogsbilvei bygd med en gitt løsmasstype og med en gitt bærelagstype.

Om man befinner seg i det røde alternativet, med hav- og fjordavsetning (41) under planum og uforedlede masser (4) i bærelaget, så gir analysen denne e-modulen:

$$37,6 - 6,47 - 7,31 = 23,82 \text{ MPa}$$

Om man derimot er heldigere og har «grønt lys», med breelavsetning (20) under planum og knust fjell (1) i bærelaget, så gir analysen denne e-modulen:

$$37,6 + 7,16 + 15,24 = 60,00 \text{ MPa}$$



Figur 13. E-modulvariasjon for ulike løsmasstyper, bærelagsmaterialer og årstid (kvartal)

I Figur 13 ser man hvordan bæreevnen (E-modul) varierer både med bærelagsmaterialet og med tid på året. Bedre bæreevne med knuste masser i bærelaget og dårligere bæreevne i 1. og 4. kvartal.

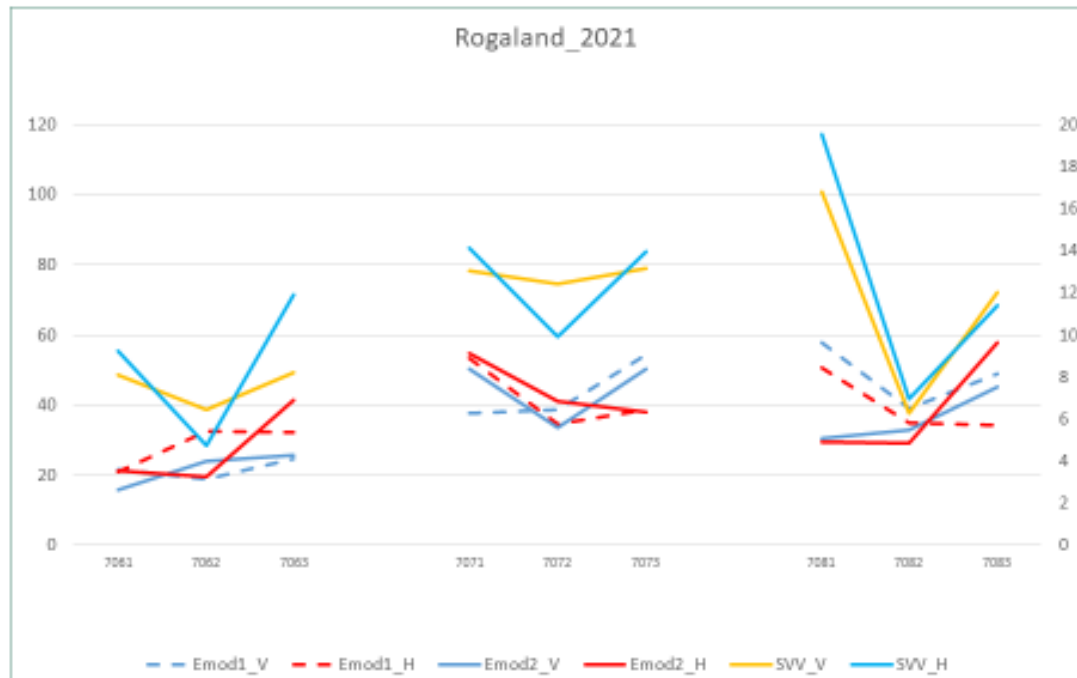


Bilde 7: Utkjøring av tømmer til feil tider kan gi store behov for reparasjoner på veinetet. Få veier i Skandinavia har en god nok standard til å kunne benyttes hele året. Bilde: Romeriks allmenningene v/ Johannes Enersen

3.3 Lettvektsfallodd kontra ordinært fallodd

Høsten 2021 ble 3 av de tidligere registrerte skogsbilveiene i Rogaland målt på nytt med både lettvektsfallodd og et ordinært fallodd fra Statens Vegvesen (SVV). Det var 3 forskjellige målesteder på hver vei. Målingene ble gjennomført under relativt fuktige forhold.

Lettvektsfallodd og SVV-fallodd, Rogaland 2021



Figur 14. Sammenligning mellom målinger med lettvektsfallodd og konvensjonelt fallodd. Venstre y-akse er MPa-verdier og høyre y-akse bæreevne i tonn.

I Figur 14 er SVV-målingene vist med turkis (høyre kjørespor) og gul (venstre kjørespor) sammenhengende linje. De parallelle lettvektsfalloddsmålingene er vist med rød (høyre kjørespor) og blå (venstre kjørespor) sammenhengende linje. De tidligere gjennomførte lettvektsfalloddsmålingene er vist med stiplet linje.

Det er relativt store avvik mellom målingene gjort med konvensjonelt fallodd og lettvektsfalloddet.

4 Diskusjon og konklusjon

4.1 Registrering av skogsbilveier

Prosjektets feltarbeid har krevd mye logistikk og oppfølging. Prosjektet måtte søke om å få bruke en endret metodikk og utsettelse av frist til finansielle partnere. Det var dessverre også frekvent utskifting av feltarbeiderne. På prosjektsøknaden kom følgende frem som en *risikofaktor*: «*Prosjektet er avhengig av at informasjon om tid og sted for igangsetting og avslutting av drifter er tilgjengelig for feltarbeiderne som utfører registreringer. Det er derfor avgjørende at samarbeidet og kommunikasjonen mellom andelslagene feltarbeiderne fungerer.*», dessverre var mye kommunikasjonen mellom prosjektdeltakerne uproduktiv og resulterte i for lav økning av datamaterialet i forhold til ressursbruken.

Mulig de rette feltarbeiderne ikke ble funnet? Kanskje organiseringen av de som registrerer skulle vært gjort annerledes? Mulig det ble lagt opp til for omfattende kommunikasjonsflyt mellom tømmerkjøpene, prosjektleder og feltarbeidere?

At fire andelslag ble slått i sammen til to og korona-pandemien er tydelige hendelser som har påvirket prosjektets fremdrift negativt.

Trolig ville prosjektet ha gått med høyre fremdrift og suksess med de erfaringene som nå foreligger, men grunnet prosjekt-progresjonen ble det altså nødvendig med en metode-endring for å oppnå målene med prosjektet.



Bilde 8: Skogsbilveiene er avgjørende for skogbrukets lønnsomhet. Dessverre er mange veier, i sin tid, bygd opp av stedeigne masser for transport med kortere og lettere tømmerbiler, samt for et annet klima. Bæreevneprosjektet skal hjelpe å planlegge fremtidens drifter for å prøve å unngå ødeleggelse av veier ved feil bruk (bruk til feil tid)

4.1.1 Endret metode underveis i prosjektet

Metoden ble endret grunnet få vellykkede registreringer i perioden 2018-2020. Opprinnelig metodikk lot seg gjennomføre i praksis. Metoden krevde sømløs kommunikasjon mellom partene. Dessverre opplevde tømmeroppkjøperne prosjektet ofte som mas og enda en arbeidsoppgave. Det ble energikrevende å finne veier å registrere, få varsel om endt transport og volum utkjørt. I tillegg er feltarbeidere deltidsansatt og hadde sjeldent den fleksibilitet å kunne ta registreringene når transportperioden pågikk.

Metoden medførte svært få vellykkede registreringer da det var vanskelig å gjennomføre både før- og etter registrering innenfor den fastsatte tidsramme. Det trengtes en metode-forenkling som fremdeles ivaretok prosjektets formål. Metodikken ble derfor forenklet og omfattet kun etter-registrering som passer bedre til den varierende tilgang til egnet forsøksveier. Forenklingen medførte at det ble tilstrekkelig med en utvidet etter-registrering og at antallet forsøksveier kunne reduseres noe. Som supplement til feltdata ble historisk transportdata benyttet for å fange større variasjon i værforhold.

Metoden endret seg fra følgende, se Tabell 5 og Tabell nedenfor:

Tabell 5: **Opprinnelig metodikk 2018-2020**. Datainnsamling per forsøksvei og drift.

| | Før transportstart | Under transport | Etter transport avsluttet |
|-----------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| Markfuktighetsindeks/løsemassetyper (for utvalg av veier) | X | | |
| Undergrunn/grøfter/bærelag/slitelag | X | | |
| Værdata | X | X | |
| Bæreevne (fall-lodd) | X | | X |
| Hjulsporutvikling (tverrprofil) | X | | X |
| Transportert volum | | | X |

Tabell 6: **Revidert metodikk 2020-2021**. Datainnsamling per forsøksvei og drift.

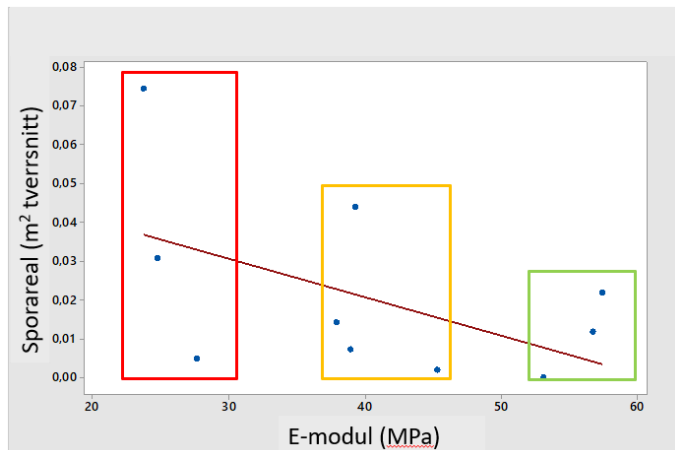
| | Under transport | Etter transport avsluttet |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Markfuktighetsindeks/løsemassetyper (for utvalg av veier) | | X |
| Undergrunn/grøfter/bærelag/slitelag | | X |
| Værdata | X | |
| Bæreevne (fall-lodd) | | X |
| Hjulsporutvikling (tverrprofil) | | X |
| Transportert volum | | X |



Bilde 9: Fra en av registreringene utført i Hedmark sommeren 2020

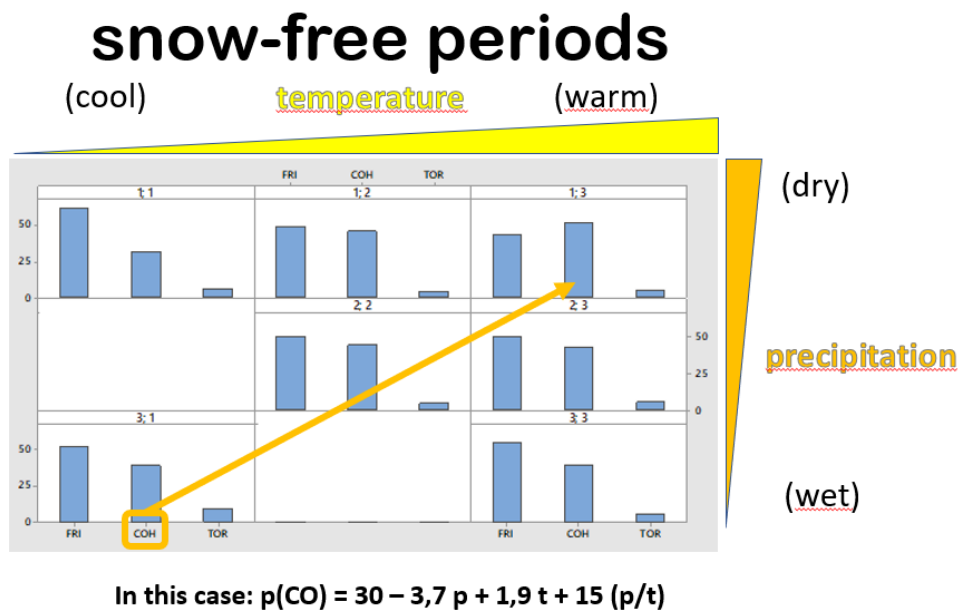
4.1.1.1 Redegjørelse ivaretagelse av prosjektets formål ved metodeendring

Feltmålinger med lettvekts-fallodd: Allerede etter første årets registrering var samvariasjon tydelig mellom skogsbilveienes sporutvikling (hjulsporenes tverrsnitt areal), sporareal og veiens målte stivhet (e-modul registrert med lettvekts-fallodd). Variasjonen i sporutvikling på de svake veiene (< 30 MPa) er mer enn dobbelt så stor som de de sterke veiene (> 50 MPa). Av de registrerte veiene har 30 % akseptabel stivhet (>50 MPa). Målemetodikken med lettvekts-fallodd fungerte derfor som tenkt.



Figur 15: Fra feltregistreringene 2018-2020; målt økningen i sporutvikling (tverrsnittsareal fra lasermåling) med reduserte bæreevne (e-modul målt med lettvekts-fallodd).

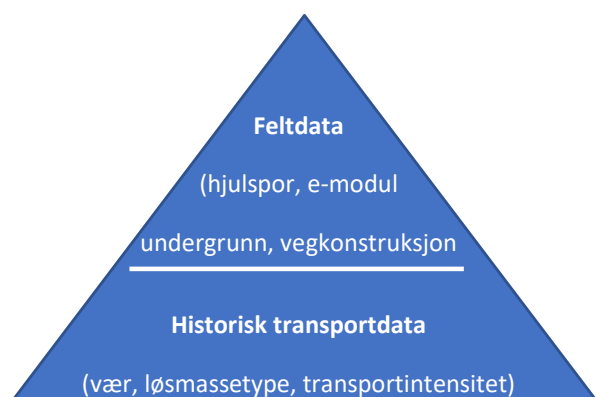
Supplering med transportdata – Som supplement til felldata ble historisk transportdata testet for å fange større variasjon i værforhold. 30 000 fraktbrev ble koblet til område, vei, værdata og løsmasser via tømmertransportenes GPS/tidspunkt. Datakoblingen viser hvor det har vært mulig å hente virke under lette kontra vanskelig værforhold. Sammenstillingen viste den økt bruk av offentlig veier som leveransepunkt under de vanskeligste perioder, som forventet. Når det gjelder bruk av skogsbilveier under barmarksesongen, viste resultatene logiske trender for henting fra de ulike løsmassetypene. Disse trender ble sterkere for kontrakter med høyere transportintensitet (antall lass/uke).



Figur 16: Fra transportdata; Effekten av nedbør og temperatur på andelen tømmerlass hentet fra skogsbilveier bygd av ulike løsmassetypene (kun barmarksesong).

Mulighet for kombinerende av felt- og transportdata for modellering av bæreevne – Gitt resultatene som vises ovenfor skulle det være mer effektivt å kombinere historiske fraktbrev (transport/værdata) med detaljerte data fra feltregistreringer fra spesifikke forsøksveier. Lett-tilgjengelig data for ulike distrikter og løsmassetypene vil underbygge feltmålinger for veiegenskaper for de samme løsmassetypene for å bedre kvantifisere skogsbilveinettets tilgjengelighet til enhver tid.

Historisk transportdata er allerede tilgjengelig for visse strøk i kyst-Norge og innlandet. Selve datasamlingen vil gi større gyldighet uten å medføre merkostnader.



Figur 17: Bruk av historiske transportdata for å underbygge høyoppløst feltdata for å gi en dynamisk kvantifisering av skogsbilvegens tilgjengelighet.

Revidert forslag til datainnsamling (2020)

Under vises både det opprinnelig plan (kun feltdata for 90 veier) og den revidert plan (feltdata for minst 65 veier + 3 års historisk transport/værdata fra både kyst og innlandet).

Tabell 6: Antall forsøksveier fordelt på opprinnelig og revidert metodikk, fordelt på kyst og innland

| Sum | Kyst - 3 års transportdata | Innland -3 års transportdata |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Opprinnelig forsøksplan | | |
| 90 | 45 | 45 |
| Revidert forsøksplan | | |
| 65 | 35 | 30 |
| Faktisk registrert etter endt datainnsamling | | |
| 77 | 44 | 33 |

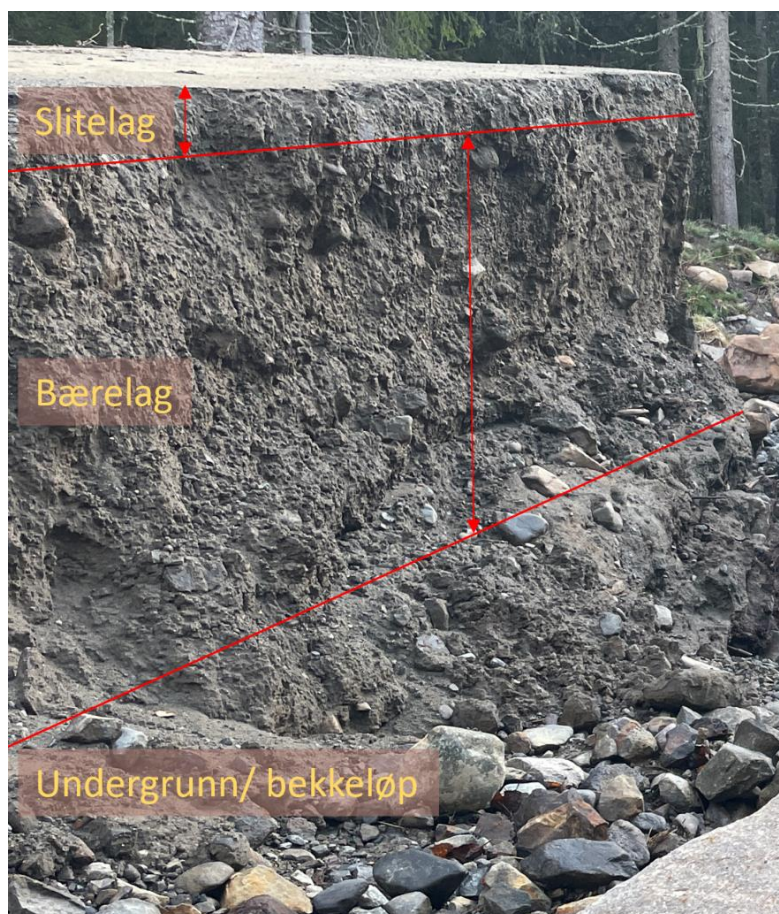
Det er viktigst å fange opp fra historisk transportdata er de typiske sesongvariasjonene for kyst, kontra innlandet ved ulike høydelag. Sammenlagt vil dette gi oss en sikrere modellering av væreffekter i ulike klimasoner, men fremdeles de empiriske effekter av de ulike veikonstruksjoner for ulike lokale forhold.

Der feltarbeidet ved opprinnelig metodikk var mer omfattende, har nå analysedelen av prosjektet blitt vesentlig mer omfattende. I stedet for et par ukers dataanalyse ble bearbeiding av data og analyse dobbelt så tidkrevende.

4.2 Hvordan vet man hva en vei er bygd opp av?

På eldre veier uten byggeplan, fotografier, kvitteringer for kjøpt masse etc., må dette normalt undersøkes. Gode prediksjoner kan gjøres i felt ut fra å se på massene i skjæringer og lokale massetak. Antagelser kan gjøres ut fra NGUs løsmassekart, da mange av de eldre veiene er bygd opp av materialer fra stedet, ev. fra nærmeste løsmassetak langs veien. Senere kan selvfølgelig veien være forsterket, eller fått påfyll av slitelag av knust stein. En skogsveis materialoppbygging vil variere, ofte over korte distanser, og det bli vanskelig å gi noe eksakt svar. Selv med graveprøver, så vil trolig ikke resultatene fra prøvestedene være representative for hele veien, og slike undersøkelser vil kanskje ikke være formålstjenlig. En annen løsning er å benytte georadar på veien, men det krever store ressurser å fortolke datamaterialet i ettertid.

Er byggherre (slekt eller selger av gården/skogen) fremdeles tilgjengelig vil de trolig huske byggeprosessen og hvordan veien ble bygget opp, samt tiltak gjort i ettertid med betydning for bæreevnen. Bedre er det om entreprenør fremdeles er tilgjengelig, men selvfølgelig kan det være vanskelig for denne personen å huske detaljer. Noen undersøkelser og informasjonsinnhenting er bedre enn gjetting.



Bilde 10: Det kan være vanskelig å vurdere oppbygningen av en eldre skogsbilvei. Her ser vi en vei som er gravd tvers over ved flom. Denne veien består av (dyp) morene med relativt høyt finstoffinnhold. Foto: Steinar Lyshaug/ Even Hoffart

4.3 Transport og bæreevneanalyse

Transportanalysen viser hvordan ulike veier ble benyttet i praksis for å balansere virkesstrømmen mellom sesonger med varierende fuktighetsforhold.

Markfuktigheten i disse regionene følger en gradient mellom teleløsning, høstregn og tidlig sommertørke. Ulike veier ble benyttet på forskjellig vis, for eksempel:

- Nødvendighet: bruk av elveavsetningsområder under teleløsning eller høstregn
- Mulighet: bruk av hav/fjordavsetninger under tidlig sommertørke

Bruksmønsteret varierte mye mellom regioner.

Bæreevneanalysen viser at for skogsbilveier som mangler en klassifisering, kan man ved å identifisere områdets løsmasstype og veiens bærelagsmateriale få en indikasjon på veiens bæreevne og tilgjengelighet under ulike sesonger.

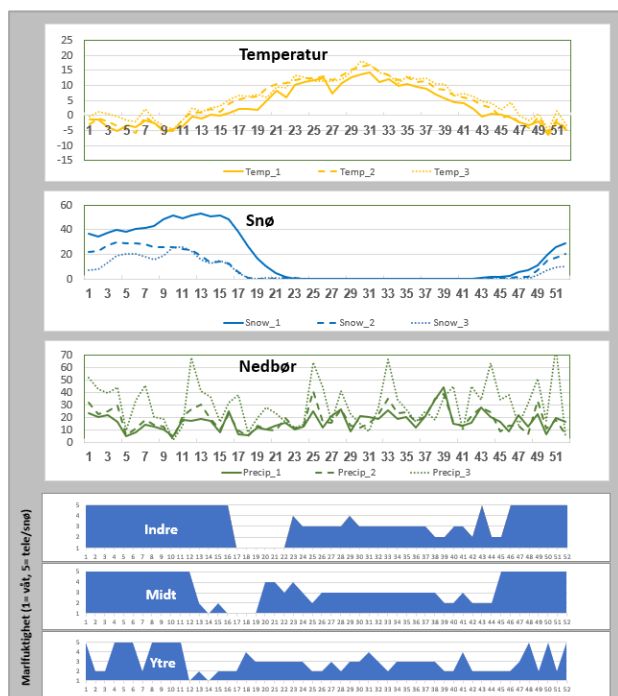
Sammenligningen mellom bæreevne målinger utført med Statens Vegvesens konvensjonelle fallodd og et lettvektsfallodd viste relativt store forskjeller. Resultatene fra lettvektsfalloddet lå konsekvent lavere enn det konvensjonelle falloddet. De værmessige forholdene var imidlertid ikke ideelle på det aktuelle måletidspunktet. Det hadde ifølge seNorge.no falt rundt 80 mm nedbør den foregående uken og prosentisk vannmetning i jord var 60-70%. Dette kan ha hatt en større innvirkning på lettvektsfalloddet siden det kun registrerer forholdene i den øverste delen av veikroppen.

4.4 Forslag til ramme for digital bæreevnemodellering

Prosjektets empiriske resultater gav enkle svar på to spørsmål som må besvares for en digital modellering av bæreevne; a) hvordan bruk av de ulike skogsbilveiene varierte mellom ulike sesonger, og b) hvordan veiens målte bæreevne varierte gjennom barmarksesongen. Resultatene viste økt bruk av skogsbilveier med elveavsetninger (løsmasstype 20 og 50) under fuktige perioder og hav- og fjordavsetning (løsmasstype 41) under tørre perioder. Disse supplerte bruk av tykk morene (løsmasstype 11) når det var nødvendig (20/50 under vår/høst) eller mulige (41 under tørre perioder). Ellers forekom bruk av tynn morene (løsmasstype 12) under samme sesong som tykk morene, men oftere under tørrere perioder pga. lavere drenering/infiltrasjonsevne. På grunn av at mange av veiene var bygd opp av stedege masser, viste målinger av bæreevne høy styrke for veldrenerte friksjonsjordarter (løsmasstype 20/50) uansett sesongforhold. Styrken for kohesjonsjordarter (løsmasstype 41) var lavere, men tilstrekkelig under de tørre periodene. Morener (løsmasstype 11/12) befant seg i en mellomklasse. Knust fjell og knust løsmasse i bære- og slitelag ga høyest målt bæreevne og minst veideformasjon.

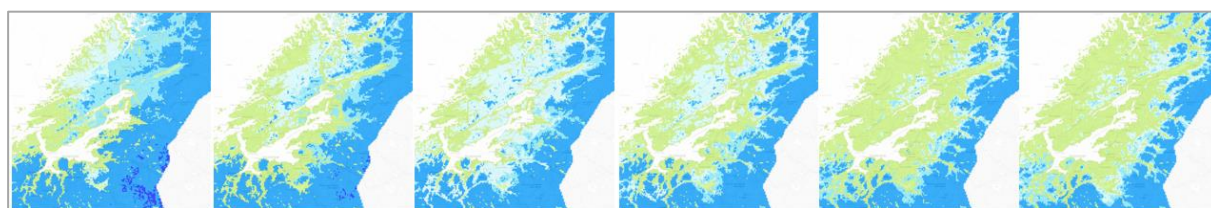
Ramme for en heldigital modellering av bæreevne: Systemets hovedfunksjon er å kunne gi en geografisk oversikt av fuktighetsforhold i ulike klimasoner og hvilke typer veier som har tilstrekkelig bæreevne for de rådende forholdene. Modelleringen baseres derfor på a) en enkel klassifisering av forhold i de ulike klimasoner forsyningsarealer, og 2) en tilsvarende klassifisering av ulike veiers styrke. I dag savnes den viktigste egenskap for veiernes bæreevne; knuste masser i bærelag/slitelag. Dette savnes i dagens databaser, men er ofte kjent lokalt og bør derfor kunne klassifiseres uten feltbesøk.

Del 1 - Klassifisering av fuktighetsforhold i ulike klimasoner. Klassifisering av fuktighetsforhold for bæreevne bør kunne fange 5 ulike forhold (fra svak til sterk); 1) ekstrem høy fuktighet (teleløsning), 2) høy fuktighet (høstregn), 3) normale barmarksforhold, 4) ekstra tørre barmarksforhold 5) frossen mark eller dyp snø. En enkel prototyp ble utviklet for å fange disse 5 varianter. Geografien som ble modellert var Trøndelag, med 3 klimasoner; ytre, midtre- og indre kyststrøk (under).



Figur 18. Ramme for ukentlig krav til bæreevne ut fra kombinasjoner av temperatur, snødybde og nedbør. Eksempel på minste krav til bæreevne vises lengst ned i 3 ulike klimasoner og varierer fra kl 1 (ekstrem høy fuktighet som behøver sterk vei) til kl 5 (frossen mark/dyp snø som behøver mindre sterk vei).

For overganger mellom klasser 2-3 er de mest avgjørende værparametere temperatur og nedbør (også humiditet under høsten). For mer kritiske tidspunkt som teleløsning på våren og begynnende frost på høst kan en variant av NVEs daglige modellering av teledybde være et mer presist verktøy (under).

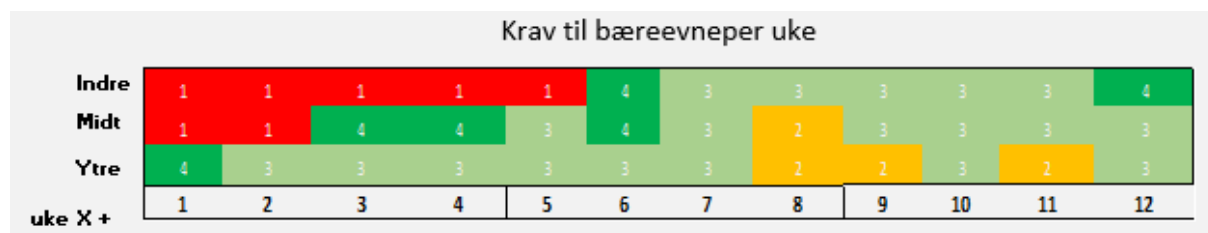


Figur 19. Ukentlig bevegelse av teleløsning (overgang fra mellom-blå til lys-blå med 1 km² pixler (SeNorge/teledyp; venstre; 25.02.20, høyre; 29.04.20).

Del 2 – Klassifisering av skogsbilveiene etter material og E-modul

Gitt det ukentlige krav til bæreevne per klimasone, er neste steg å matche mot veier med tilstrekkelig styrke. Typiske verdier for målt E-modul varierte fra + 7 MPa på sommeren til -3 og -11 MPa på høst og våren, respektivt. Disse reduksjoner for varierende fuktighetsforhold kan brukes for å matche til tilsvarende økt bæreevne ifra både løsmasstype for stedege masser (kobling av veistrekning mot NGU løsmassekart) og knust/sorterte masser i bærelaget (veidatabase med oppdatering ut ifra lokal kunnskap).

I Figur 20 vises et eksempel fra en tidsserie brukt til praktisk test av prinsippet. Testen gjelder for transportstyring innen de samme 3 klimasoner som i Figur 18, over en 12 ukersperiode som strekker seg fra datum for start på teleløsning i indre kyststrøk (uke x+1).



Figur 20. Eksempel på ukentlig modellering av krav til minste bæreevne for transportstyring. Krav til minste bæreevne variere fra rødt (kl 1; ekstrem høy fuktighet som krever høy E-modul) til mørk grønn (kl 4; tørt som tillater lavere E-modul).

Som nøkkelen til veivalg for styring av ukens transport ble det brukt en enkel tabell (Figur 21) for kobling til veimaterial og tilsvarende E-modul. I dette eksempelet inkluderes løsmassetypene breelavsetning (20), tykk morene (11), tynn morene (12) og hav- og fjordavsetning (41) for stedeagne masser med tillegg av knust stein i bærelaget.

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------|---|---|---|---|
| 41 | | | | |
| 12 | | | | |
| 11 | | | | |
| 20 | | | | |
| Knust masser | | | | |

Figur 21. Eksempeltabell for valg av egnet vei for transport ut ifra veimaterial og ukens krav til minste bæreevne. Under perioder med krav til kl 1 (rød; teleløsning) er det forutsatt transport kun fra veier med løsmasstype 20 eller knust stein. Under perioder med krav til kl 4 (grønn; tørre barmarksforhold) tillates transport fra alle massetyper.

4.5 Videre anvendelse av dataene

Prognoseverktøyet gir tømmerkjøper en fin anledning til å predikere hvilke veier som egner seg for transport ut ifra historiske værddata. Brukerne må allikevel ha tunga rett i munn, det produseres kun en prognose for et snitt-klima, altså ikke ut ifra de rådende værforholdene eller hvordan været er meldt. Dette må tas med i betraktningen. Hva veien er bygd opp av og hva undergrunnen består av må også vurderes. Geologiske løsmassekart og markfuktighetskart kan gi gode indikasjoner, men også for disse kildene er det mange feilkilder som ved ukritisk bruk kan medføre at skogsbilveien blir benyttet i en periode den ikke burde vært trafikkert.

Dataene og resultatene bekrefter langt på vei hva som har vært antatt tidligere. Og hjelper med å gi føringer for bruk av ulike typer skogsbilveier til ulike årstider, tider med ulikt vær, etter mengde tømmer og hvordan veien er bygd opp (stedeagne materialer eller knust fjell). Videre gir materialet et meget godt grunnlag for pedagogisk materiale som viser veier og sporutvikling etter type undergrunn og oppbygning. Her gjenstår en del jobb som kan løses i andre prosjekter.

5 Litteraturreferanse

Aurstad, J., Aksnes, J., Berntsen, G., Gryteselv, D., Johansen, R., Lindland, T., Myhre, Ø., Oset, F., Ottesen, H. B., Paulsrud, G., Refsdal, G., Sund, E., & Taddesse, E. (2016). *Lærebok Vegteknologi* (Bd. 626). Vegdirektoratet.

https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/statens+vegvesens+rappporter/_attachme nt/1431251?_ts=155b4b48f60&download=true&fast_title=L%C3%A6rebok%3A+Vegteknologi

Biometria. (2021). Klassning av skogsbilvägar. Hentet 09. desember 2021, fra

https://www.biometria.se/media/fa1ba4qc/klassning-av-skogsbilvaegar_september-2021_webb.pdf

Fønhus, M; Fjeld, D. & Bjerketvedt, J., 2017. Sluttrapport for Pilotprosjekt for bæreevneklassifisering.

[http://www.skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2017/2016-25_Pilotprosjekt%20for%20b%C3%A6reevneklassifisering_januar%202017\(1\).pdf](http://www.skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2017/2016-25_Pilotprosjekt%20for%20b%C3%A6reevneklassifisering_januar%202017(1).pdf)

Norges geologiske undersøkelse: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>

Normaler for landbruksveier—Med byggebeskrivelse. (2016). Skogbrukets Kursinstitutt.

<http://www.skogkurs.no/vegnormaler/>

SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut), 2020:

<https://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/new-ventures/smhi-timbr-1.121178>

6 Vedlegg

6.1 Vedlegg 1: Oversikt over utstyr feltarbeiderne fikk tildelt

| Utstysliste - feltarbeidere | | |
|-----------------------------|----------------------------------|--------|
| Vare | Kommentar | Antall |
| Aluminiumskinne | 5m | 1 |
| Stativ fast | Fot1 til skinna | 1 |
| Stativ regulerbart | Fot2 til skinna | 1 |
| Laser - Disto | Med holder til å feste på skinna | 1 |
| Ipad med deksel | | 1 |
| Stigningsmåler | | 1 |
| Fallodd | Zorn ZFG 3.0 | 1 |
| Feltspade | | 1 |
| Fuktmåler | | 1 |
| Vater | 2 m | 1 |
| Vater | 60 cm | 1 |
| Sag | Til fjerning av kjerr | 1 |
| Plastdunk | Oppbevaring til utstyret | 1 |
| Plastdunk | Til fallodd | 1 |
| Yogamatter | Mykt underlag til utstyret | 3 |
| Klubbe | | 1 |
| Skilt | Varsling | 1 |
| Linjal/tommestokk | 1 m | 1 |
| Hakke | | 1 |
| Krafse | | 1 |
| Refleksvest | | 1 |
| Lastestropper | | 2 |
| Hansker | | 1 |
| Vernebrille | | 1 |
| Merkespray | | 2 |
| Lupe | Til fraksjonsmåling av stein | 1 |

Vedlegg 2: Utklipp av arket «forklaringer» i registreringskjemaet har tilsvarende felter til utfylling som kolonnen til venstre

2 Vedlegg 2: Registreringskjema

| | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dato | Registreringsdato i felt (dag,måned,år) |
| Veinavn | Veinumeret som står i de offentlige listene. Evt. lokalnavn på veien |
| Tverrsnitt nr. | 1011 = operatør 1, vel 01, tverrsnitt 1 (tverrsnitt 1 er lengst inne). |
| GPS-X | GPS - x-koordinat (Ø-V) etter avtalt referansesystem |
| GPS-Y | GPS - y-koordinat (N-S) |
| 4,5m | Foto tas 4,5m fra skinna på den siden taipen er (samme V-H orientering som øvrig data). Bildet skal tas i samme høyde som skinna (horisontalt). Liggende bilder. |
| ca. 8m | Foto ca. 8m unna skinna for å vise tverrsnittet, grøfter og terrenget på siden. Samme V-H orientering som øvrig data, liggende bilder. |
| Dato_start | Dato for transportstart (dag,måned,år) |
| Dato_slutt | Dato for siste lass før oppløpingsregistrering (dag,måned,år) |
| Sum_volum | Sum volum transportert under perioden fra skogbruksdekl. (m ³) |
| Emodul_midt | tas midt i venstre hjulsporet - overflate jevnes ut først - umgå stein |
| Emodul_h | tas midt i mellom hjulsporene - jevnes ut først - umgå stein |
| V_avstand | tas midt i høyre hjulsporet - overflate jevnes ut først - umgå stein |
| V_overhøyde | avstand fra veikulder til nærmeste bestandskant |
| H_avstand | overhøyde (5 m intervaller) |
| H_overhøyde | avstand fra veikulder til nærmeste bestandskant |
| Posisjon | overhøyde (5 m intervaller) |
| veistigning | Posisjon i terrenget: bakkeledd (1), jevn lisse (2), dalbunn eller søkk (3) |
| V_SKF | % veistigning i transportretning (tas over 25 m) |
| V_grøfte_dybde | venstre skjæringshøyde (-) eller fyllingshøyde (+) fra kjørebane - hvor mye veien er over eller under terrenget. Flatt = X |
| V_grøfte_bredde | venstre grøftebredde i forhold til veikulder (dm) ... måles i midt på grøftebunn. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forelengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X. |
| V_grøfte_tilstand | venstre grøftebredde i forhold til veikulder (dm) ... til midten av bunn på grøft. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forelengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X. |
| H_SKF | høyre skjæringshøyde (-) eller fyllingshøyde (+) fra kjørebane - hvor mye veien er over eller under terrenget. Flatt = X |
| H_grøfte_dybde | høyre grøftebredde i forhold til veikulder (dm) ... måles i midt på grøftebunn. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forelengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X. |
| H_grøfte_bredde | høyre grøftebredde i forhold til veikulder (dm) ... til midten av bunn på grøft. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forelengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X. |
| H_grøfte_tilstand | høyre grøftebredde i forhold til veikulder (dm) ... til midten av bunn på grøft. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forelengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X. |
| Fukt_bærelag_V | Måles 25 cm under veloverflate (langt nok in for å komme under siltelaget). Der det er sprengt grøfter eller er stein/fjell ... måles ikke = kommentar. |
| Fukt_bærelag_V | Måles 25 cm under veloverflate (langt nok in for å komme under siltelaget). Der det er sprengt grøfter eller er stein/fjell ... måles ikke = kommentar. |
| Løsmasser | Hent informasjon i fra et løsmassekart (skogportalen, NGU), men gjør en vurdering om dette stemmer på stedet. |
| Tekstur | Grav ei renne fra topp til bunn for å se de ulike lagene. Er det grøft, så måles der undergrunden og veikroppen møtes (der terrenget gikk før). Vurder tekstur etter tabell. |
| Fraksjoner | Vurder de ulike lag i lupe og plasser etter tabellen. |
| Tykkelse | |
| KOMMENTARER | F.eks. om det er filterlag, fiberduk eller nett. Om det er noen spesielle forhold, evt. nevne noe om hvordan det ser ut på stedet. |
| OBS! HUSK BACK-UP HVER DAG OG SJEKKE AT BILDERNE ER PÅ DROP-BOX | |

| Løsmasser | Verdi |
|-------------------------------------------|-------|
| Fjell | 1 |
| Morene (tykk, tynn og rand) | 2 |
| Bresjøavsetning | 3 |
| Bresjøavsetning | 4 |
| Marin-avsetning (hav- og fjord + stranda) | 5 |
| Torv/myr +30cm | 6 |
| Annet | 7 |
| | 8 |

| Tekstur | Verdi |
|---------------------------------------------------|-------|
| Grus (synlige korn ned til 2mm) | 1 |
| Grov-middelsand (synlige korn (2mm-0,2mm)) | 2 |
| Finsand og middels silt (<0,2mm: kan ikke ruller) | 3 |
| Finsilt (kan ruller) | 4 |

| Fraksjoner (Bærelag) | Verdi |
|----------------------|-------|
| Knust fjell | 1 |
| Knuste løsmasser | 2 |
| Sorterte løsmasser | 3 |
| Uforedlet | 4 |

| Fraksjoner (Siltelag) | Verdi |
|-----------------------|-------|
| Knust fjell | 1 |
| Knuste løsmasser | 2 |
| Sorterte løsmasser | 3 |

6.3 Vedlegg 3: Presentasjoner om prosjektet

Prosjektet og resultatene har blitt presentert ved flere anledninger:

- 11-12 sept. 2018 (Oslo): [NB Nord Workshop on Timber transport and forest roads: Cost modelling approaches and latest news from the front](#). Presentert av Martin Bråthen.
- 22-24 sept. 2020 (København, Virtual). [NB Nord 2020, Forest operations for the future](#). Presentert av Dag Fjeld.
- 27-30 sept. 2021 (Oregon, USA, Virtual): [FORMEC/COFE](#). Presentert av Dag Fjeld.
- 3 nov. 2021 (Quebec, CA, Virtual): [FORAC morning conference](#). Presentert av Dag Fjeld.
- 18 nov. 2021 (Sverige, Virtual): Skogforsk, [TSG tillverkarseminarium](#). Presentert av Dag Fjeld.
- 16 nov. 2021 (Kristiansand): [Veiplanleggersamling](#). Presentert av Jan Bjerketvedt.
- 17-18 nov. 2021 (Kristiansand): [Fagsamling vei](#). Presentert av Jan Bjerketvedt, samt demonstrasjon av bæreevnmålinger i felt av Martin Bråthen.

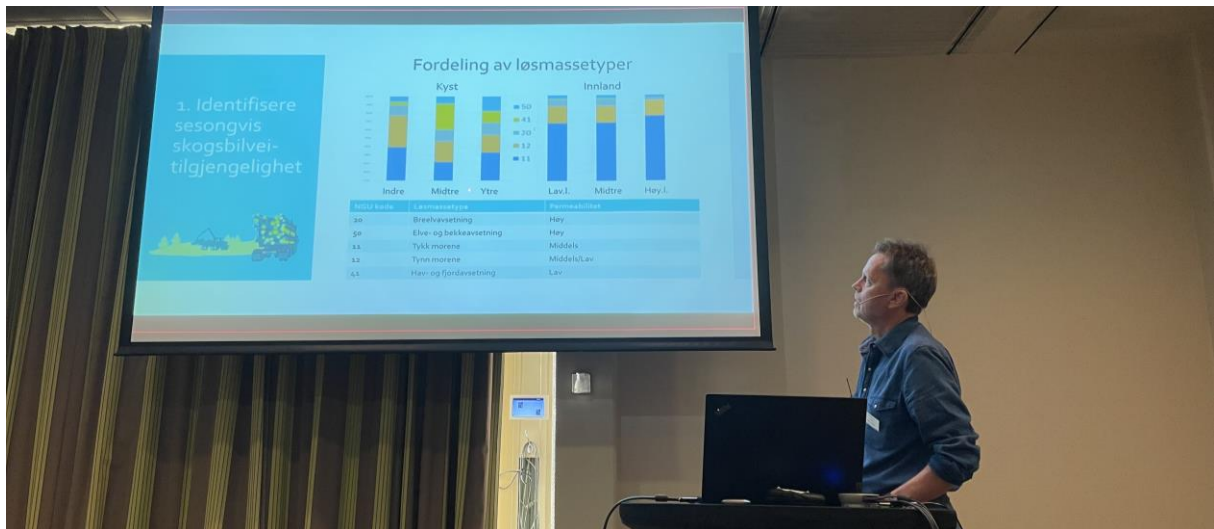
Prosjektet, metodene for innhenting og bruk av data har fått stor oppmerksomhet, og det planlegges flere innlegg om temaet i 2022. Nedenfor er en konferanse som er spikret:

- 24 jul. 2022 (Colorado, USA, Virtual): [Symposium on Systems Analysis in Forest Resources \(SSAFR\)](#) ved Warner College of Natural Resources Colorado State University. Presenteres av Dag Fjeld med tittelen "Developing digital solutions for monitoring forest road availability in a new climate".

Prosjektrapport, info-ark og modelleringsverktøy finnes på [Skogkurs.no](#) og [NIBIO.no](#).



Bilde 11: Demonstrasjon av bæreevne måling under Fagsamling vei 202, for ca. 60 deltagere1. Martin Bråthen fra Skogkurs demonstrerer bruk av fallodd med bistand fra veiplanlegger Sigbjørn Hammer feltarbeider i prosjektet (med mikrofon) og forsker Jan Bjerketvedt fra NIBIO (svart og oransje jakke ute til høyre). Foto: Steinar Lyshaug



Bilde 12: Jan Bjerketvedt viser resultatene fra prosjektet på Fagsamling vei 2021. Foto: Martin Bråthen



Bilde 13: Jan Bjerketvedt (NIBIO) presenterer resultatene fra prosjektet på Fagsamling vei 2021. I underkant av 100 deltagere fikk med seg presentasjonen. Foto: Martin Bråthen

CONFÉRENCE PETIT-DÉJEUNER VIRTUEL

FORAC
DE LA FORÊT AU CLIENT

Mercredi 3 novembre 2021 à 10 h 00
Vidéoconférence



Dag Fjeld
Professor forest operations
Swedish University of Agricultural Sciences, NMBU

Bilde 14: Dag Fjeld har presentert resultatene av prosjektet i flere internasjonale konferanser. På bildet ser vi et utklipp fra et nyhetsblad for en konferanse for FORAC (Quebec i Canada)

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.