



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Bæreevneklassifisering for skogsbilveier

Resultater av pilotforsøket 2018-2021

NIBIO RAPPORT | VOL. 8 | NR. 147 | 2022



Dag Fjeld¹, Jan Bjerketvedt¹ og Martin Bråthen²

1 NIBIO, Divisjon for skog og utmark; 2 Skogkurs

TITTEL/TITLE

Bæreevneklassifisering for skogsbilveier - Resultater av pilotforsøket 2018-2021

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Dag Fjeld, Jan Bjerketvedt og Martin Bråthen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
13.12.2022	8/147/2022	Åpen	11127	18/00133
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17- 03177-2	2464-1162	42	3	

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Norges Skogeierforbund (eier)

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Jan Bjerketvedt

STIKKORD/KEYWORDS:

Skogsbilvei, Landbruksvei, Bæreevne, Fallodd, Klimatilpasning

Forest road, Bearing capacity, Deflectometer, Adapting climatic change

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Skogsveier

Forest roads

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Prosjektets mål var å utvikle en prognosemodell for sesongvis tilgjengelighet av skogsbilveier. Det er samlet inn felldata fra 77 veier, totalt 231 unike registreringspunkter som fanger opp variasjoner i målt bæreevne, byggematerial, volum uttransportert og deformasjon/sporutvikling. Disse felldataene er supplerte med historiske transportdata, ca. 200 000 fraktbrev, for at belyse hvordan været tidligere har påvirket veiers utnyttelse under barmarksesongen.

Resultatene gjør det mulig å gi visse tommelfingerregler for egnethet for transport under rådende værforhold. Rapporten dokumenterer prosjektets hovedresultater.

Noen slutninger:

- Løsmassetyper for eldre veier har stor betydning for når en vei ikke bør benyttes til transport, sett i forhold til tele og nedbørsrike perioder
- Både historiske vær- og tele-data, så vel som nye on-line datakilder kan gi bedre prediksjoner av vannstatus for planlegging av drifter og videretransport
- Feltobservasjoner av oppbygning, løsmasser, og tilstand på veien vil fortsatt være nødvendig for en sikker klassifisering av sesongtilgjengelighet
- Konvensjonell fallodd gir fremdeles det beste estimat av en veis bæreevne



- Måling av bæreevne/E-modul med lettvektsfallodd underestimert bæreevne, og bruken må videreutvikles for å øke nytten i praksis

Det var ikke mulig å gi en sikker klassifisering av bæreevne kun på grunnlag av digitale kilder. Digitale kilder må suppleres med feltobservasjoner om f.eks. bærelagets byggemateriale og tykkelse, som dimensjoneringstabeller forutsetter. I fravær av en slik klassifisering gir kombinasjonen av digitale kilder og lokalkunnskap om byggemateriale en indikasjon.

En framtidig prognosemodell vil forenkle planlegging, men det gjenstår mye arbeid før et slikt verktøy vil være pålitelig. Ramme for prognosemodell presenteres i kapittel 4.4. En demo av en enkel prototyp er testet i undervisningssammenheng ved NMBU.

LAND/COUNTRY: Norge/Norway

GODKJENT /APPROVED

Bjørn Håvard Evjen

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDERE /PROJECT LEADERS (NIBIO)

Dag Fjeld, Jan Bjerketvedt

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

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 om spørsmålet: hvordan påvirkes bæreevnen av vær, transportmengde og løsmasser/veiens oppbygning?

NIBIO og Skogkurs ønsket videre å undersøke sammenhenger for bæreevne på skogsveinettet. Eier av prosjektet var 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 ved Martin Bråthen har stått ansvarlig for prosjektgjennomføringen.

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.

Ås, 21.11.2022

Dag Fjeld, Jan Bjerketvedt, Martin Bråthen

Innhold

1	Bakgrunn og mål.....	6
1.1	Prosjektets hovedmål.....	7
1.2	Deltagere i prosjektet.....	7
2	Materiale og metoder	9
2.1	Bæreevne	9
2.1.1	Kriterier for registrering av skogsbilvei	9
2.1.2	Datamateriale	10
2.1.3	Registrering på skogsbilveier	11
2.2	Transportdata.....	14
2.2.1	Sammenstilling av data og analyser	14
3	Resultater	16
3.1	Variasjon i transportvolumer.....	16
3.2	Belysning av samvariasjon mellom transport og vær.....	18
3.3	Veiegenskaper og bæreevne	20
3.4	Lettvektsfallodd kontra ordinært fallodd	25
4	Diskusjon og konklusjon	27
4.1	Lærdommer fra feltregistrering av skogsbilveier	27
4.1.1	Endret metode underveis i prosjektet	27
4.2	Hvordan vet man hva en vei er bygd opp av?	31
4.3	Transport- og bæreevneanalyser	32
4.4	Utvikling av underlag for digital bæreevnemodellering.....	33
4.5	Videreutvikling av heldigitalmodellering av bæreevne	35
5	Referanser	36

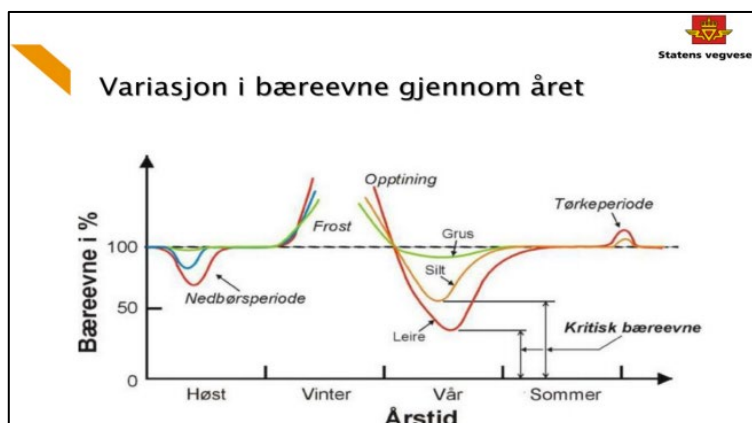
1 Bakgrunn og mål

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 undersøkte variabler som påvirker bæreevnen i terrenget (Fønhus, Fjeld & Bjerketvedt, 2017). Med utgangspunkt i disse variabler ble det utviklet metoder for klassifisering av bæreevne for innlandet. I neste steget vil skogsbilveienes bæreevne være neste flaskehals for utviklingen mot jevnere virkesfly. 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. En slik klassifisering vil også gjøre det enklere for tømmerkjøperne å premiere drifter på veier med høyere tilgjengelighet.



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

1.1 Prosjektets hovedmål

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

Delmål 1 - identifisere sesongvariasjoner i transporten knyttet til skogsbilveier.

Delmål 2 - koble sesongvariasjoner til skogsbilveienes bæreevne.

Delmål 3 - 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

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 Sørboen, selvstendig næringsdrivende innenfor skogbruk fra Sør-Aurdal
- Vetle Nergaard, selvstendig næringsdrivende innenfor skogbruk fra Åmotd
- Bjørn Arve Øvereng, veiplanlegger fra Overhalla
- Sigbjørn Hammer, veiplanlegger fra Levanger
- Kristofer Tveiterå, veiplanlegger og skogbrukssjef i Hjelmeland, fra Suldal

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 svakeste og sterkeste deler av veien, samt på et tilnærmet gjennomsnitt.
- Transportvolum: veier med volumer > 500 m³ registreres.
- 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 bør gi 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 uforedlede 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.

2.1.1.1 Fordeling av veiregistreringer etter geografi

Prosjektets mål var å dekke en representativ bredde av norske transportforhold. Tømmerkjøperorganisasjonene skulle i teorien bidra omtrent likt med antall veier. Antall veier faktisk registrert fordelt på geografi vises i Tabell 1.

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. Foto: Martin Bråthen

2.1.2 Datamateriale

I prosjektet undersøkte man veiegenskaper og undergrunn i felt og dette ble koblet mot digitale kilder. Samtidig målte man bæreevnen med lettvekts fallodd og hjulsporutvikling etter transport. Veiene velges fra områder med tilgjengelig laserdata 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, foto: 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: Bæreevne måling utført av veiplanlegger Bjørn Arve Øvereng på en nybygd vei. En solid og fint utformet vei. Foto: Martin Bråthen.

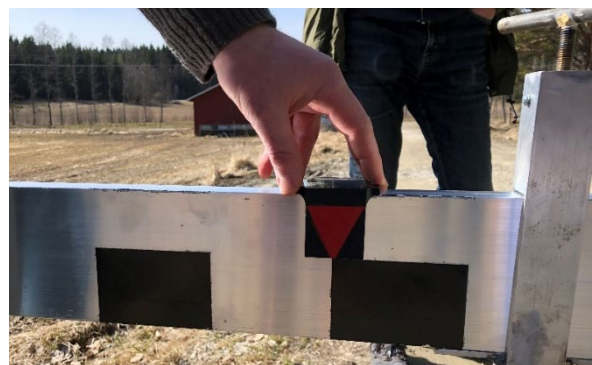
2.1.3.2 Kommunikasjonsflyt

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

2.1.3.4 Registreringene

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

Tabell 2. Datainnsamling pr. forsøksvei og drift.

	Etter transport avsluttet
Markfuktighetsindeks/løsmasstyper (for utvalg av veier)	X
Undergrunn/grøfter/bærelag/slitelag	X
Bæreevne (fallodd)	X
Hjulsporutvikling (tverrprofil)	X
Transportert volum	X

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

- 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 (E-modul) 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 fallodd.

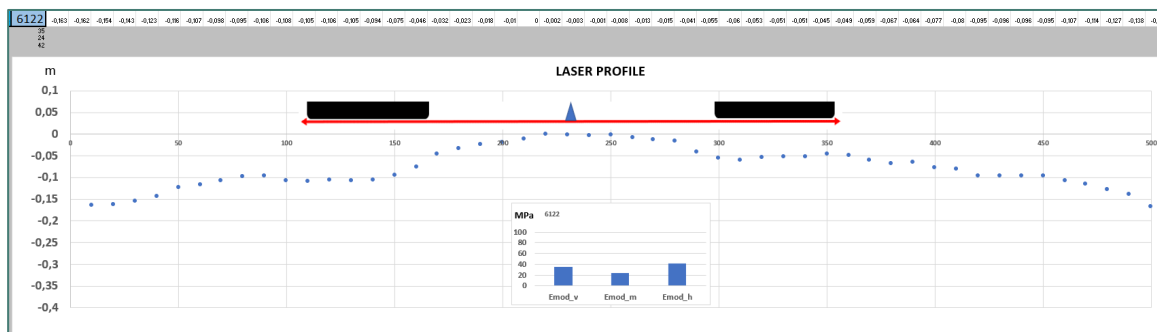


Bilde 5: Det ble benyttet en 5 meter lang skinne og distanselaser til å lage en overflateprofil av veien. På bildet vises resultatene for et par tester på en vei med store sporskader. Foto: Martin Bråthen

Totalt ble 231 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 (løsmasstype, 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. Foto: Martin Bråthen.

2.2 Transportdata

Fraktbrev/transportbrev var 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

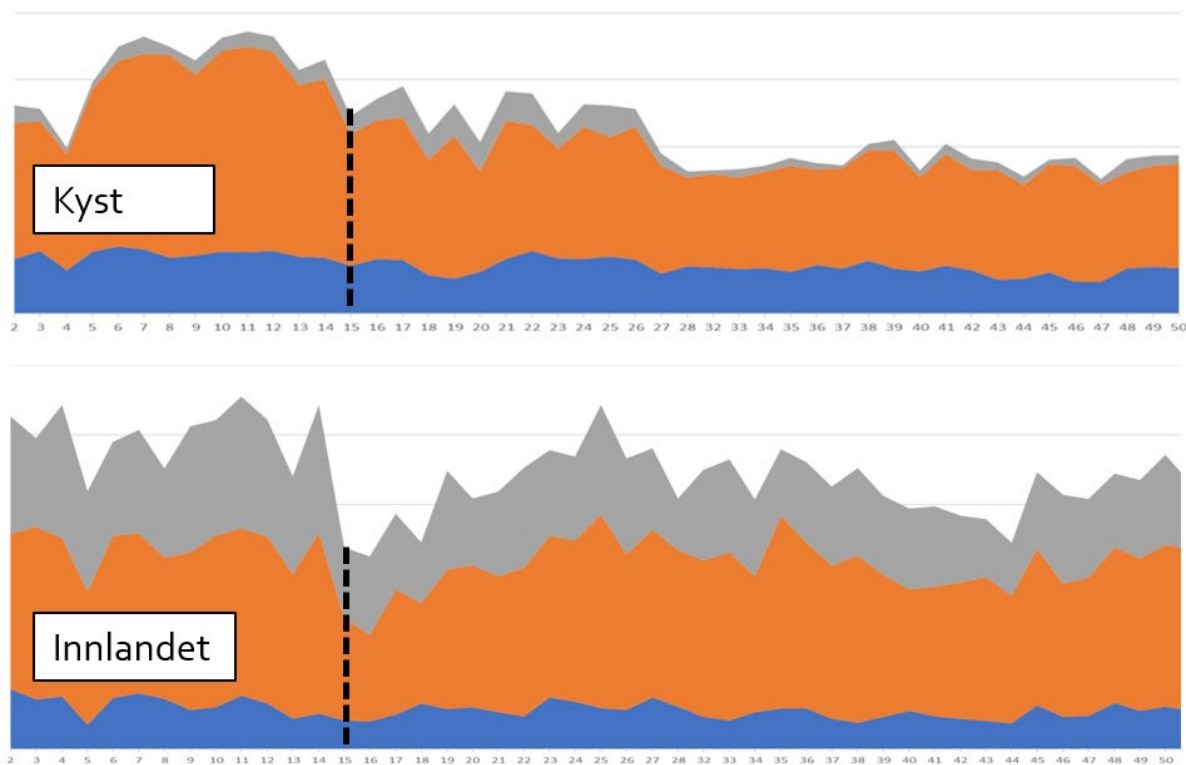
NGU kode	Løsmasstype	Permeabilitet
20	Breevlavsetning	Høy
50	Elve- og bekkeavsetning	Høy
11	Tykk morene	Middels
12	Tynn morene	Middels/Lav
41	Hav- og fjordavsetning	Lav

Det ble benyttet en variant av Multivariat Analyse (Principal Component Analysis; PCA) for å analysere sammenhengen mellom transporttakt, løsmasstype og værforhold.

3 Resultater

3.1 Variasjon i transportvolumer

Figur 2 viser eksempel på ukentlige transportvolumer for utvalgte deler av innlandet- og kystområdene. For begge vises den karakteristisk høysesong om vinteren der variasjonen i transporttakt speiler den tilsvarende variasjon i bæreevne for både avvirkning og transport.

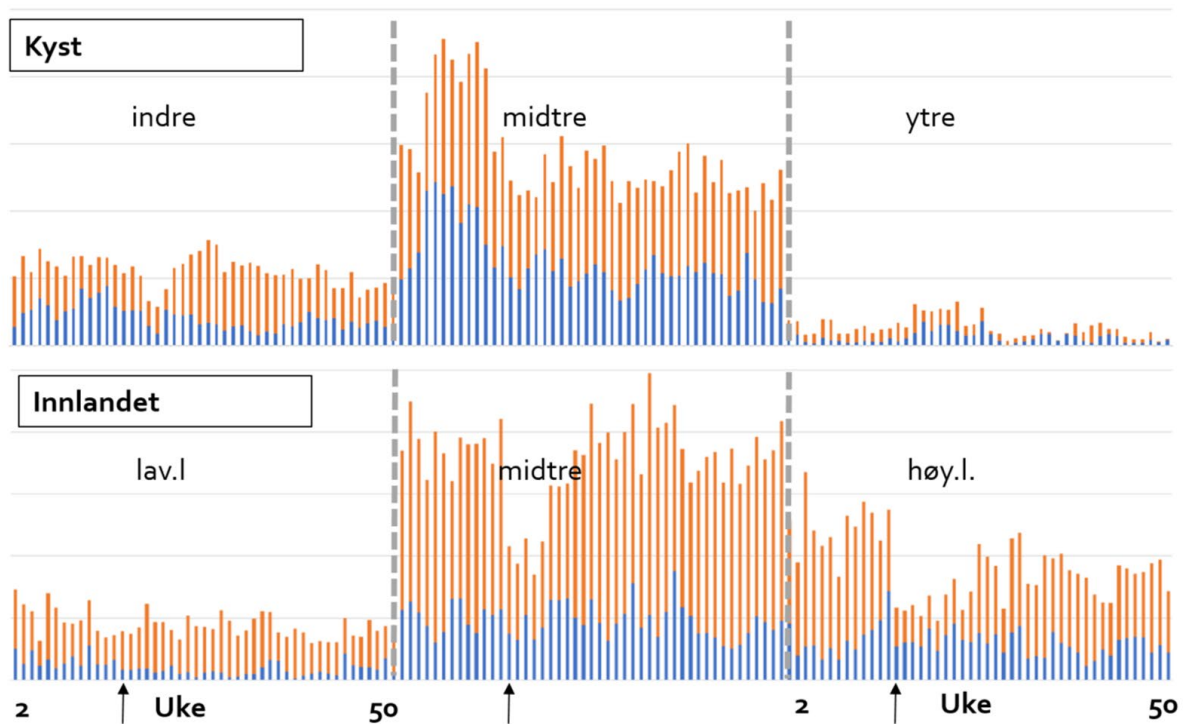


Figur 2. Eksempel på leveranseprofil over året (uke 2-50) for utvalgte regioner på kysten og i innlandet. Inndelingen i klimasoner (blå/oransje/grå) ble basert på avstand fra kysten (kyst) og høyde over havet (innlandet).

For både kyst- og innlandsregionen ser man at teleløsningsperioden (oftest etter uke 15) innleder reduksjon i transporttaket. Reduksjonen er mest markant i innlandet, der reduksjon under høsten (omkring uke 40) også er synlig.

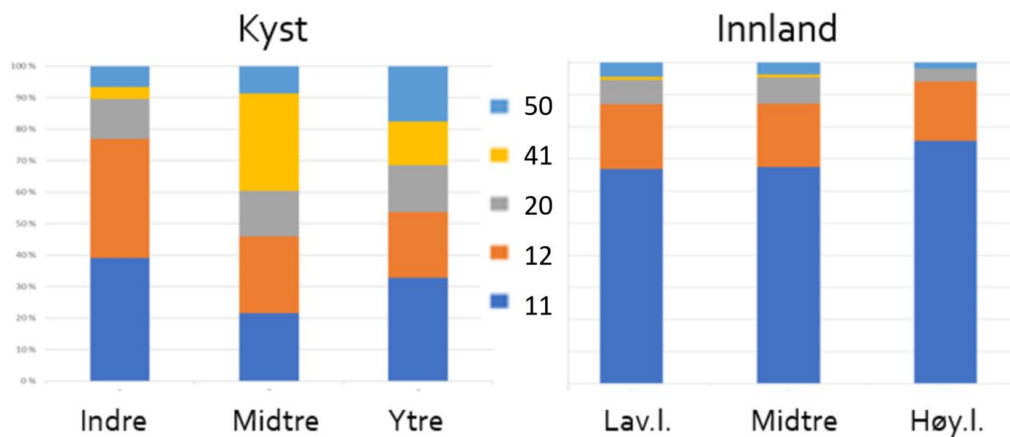
Figur 3 viser samme tidsserien, spesifikt for leveranser fra private- og skogsbilveier. På kysten fantes tre ulike sesongmønstre for transporttakt. I ytre kyststrøk var transporttaket høyest under forsommeren. I den dominerende midtre kyststrøk var transporttaket høyest midtvinters. Indre kyststrøk hadde en relativt jevn transporttakt, men en tydelig reduksjon under teleløsningsperioden etter uke 15.

For innlandet var det også tre ulike sesongmønstre. Lavereliggende strøk hadde en relativt jevn transporttakt med en mindre merkbar reduksjon etter uke 15. I den dominerende midtre strøk var det relativt jevn transporttakt med unntak av reduksjonen etter uke 15. Høyereliggende strøk hadde høyeste transporttakt om vinteren med en lengre reduksjon etter uke 15. Både midtre- og høyereliggende strøk har en redusert transporttakt omkring uke 40.



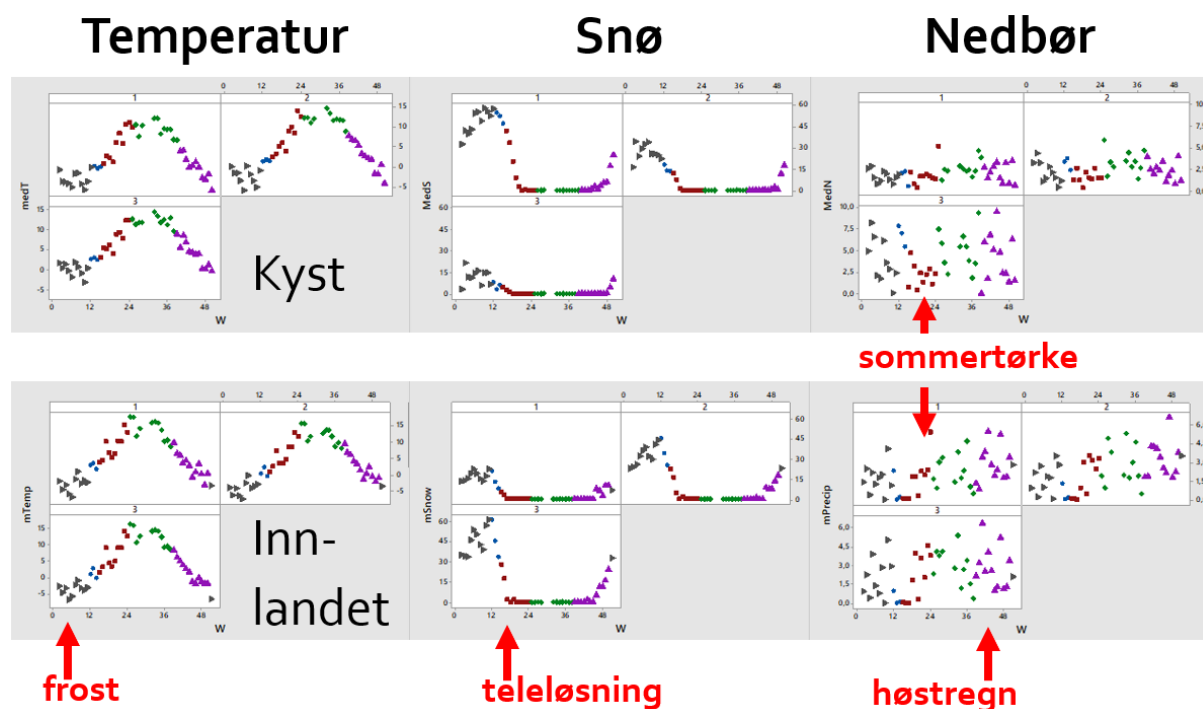
Figur 3. Eksempel på ukentlige leveranser (uke 2-50) fra veier klassifiserte som private veier (blått) og skogsbilveier (oransje) fordelt på region (kyst, innlandet) og klimasoner (indre-midtre- ytre, lavereliggende- midtre-høyereliggende). De svarte piler er plassert ved uke 15 for respektiv tidsserie.

Fordeling av løsmassetyper



Figur 4. Løsmassetypenes fordeling mellom regioner og høydeler

Figur 4 viser at data fra innlandsregionen hadde en høyere andel av tykk morene (middels permeabilitet), mens kystregionen har en høyere andel av hav- og fjordavsetning (lav permeabilitet). Massene med høy permeabilitet (brelvavsetning, elve- og bekkeavsetning) var også oftere forekommende i kystregionen.



Figur 5. Sesongvariasjon i ukentlige værforhold (uke 1-52 på x-aksen) for de 3 ulike klimasonene i hhv kyst- og innlandsregionen (svart=vinter, blå=tidlig vår, rødbrun=forsommer, grønn=ettersommer, lilla=høst).

I Figur 5 gjengis ukentlige måledata for samme tidsserier som for transportdataene; med 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.

Temperaturer hadde et relativt likt forløp for alle de seks sonene. Vintertemperaturer er lavest i indre kyststrøk (1) og høyereliggende innlandsstrøk (3) ved starten av året. Så stiger temperaturen til sitt maksimum mellom uke 24 og 36 (grønn farge), for så å synke utover høsten. Snødybdene i indre kyststrøk (1) og høyereliggende innlandsstrøk (3) følger også samme mønster.

For snødybdens vedkommende er det større forskjeller, også innad regionene. Summen av kuldegrader over vinteren er avgjørende for teleløyden i indre kyststrøk (1) og høyereliggende innlandsstrøk (3). Det essensielle for snødybdens vedkommende er når det forekommer den raskeste snøsmeltingen (blå og rødbrune punkter i Figur 5), det vil si teleløyingsperioden. Kombinasjonen av disse faktorer påvirker varigheten av redusert transporttakt som vises i Figur 2.

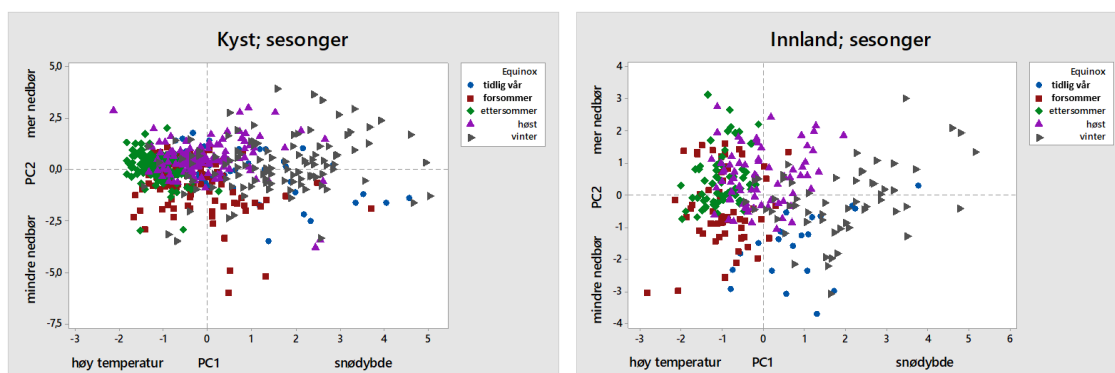
I forbindelse med variasjoner i nedbør finns to ulike sesongeffekter; forsommertørken (rødbrun farge) i perioden med økende temperaturer, og høstregnet (lilla farge) i perioden med synkende temperaturer.

3.2 Belysning av samvariasjon mellom transport og vær

For å kvantifisere hvordan været påvirket transport fra privat- og skogsbilveier på ulike løsmassetyper ble samvariasjonen kvantifisert med såkalt multivariate analyse. Analysen identifisere grupper av variabler (såkalte prinsipale komponenter; PC) som samvarierte, og legger disse grupper i en rekkefølge fra sterkeste (PC1) til svakeste (PC2) samvariasjon.

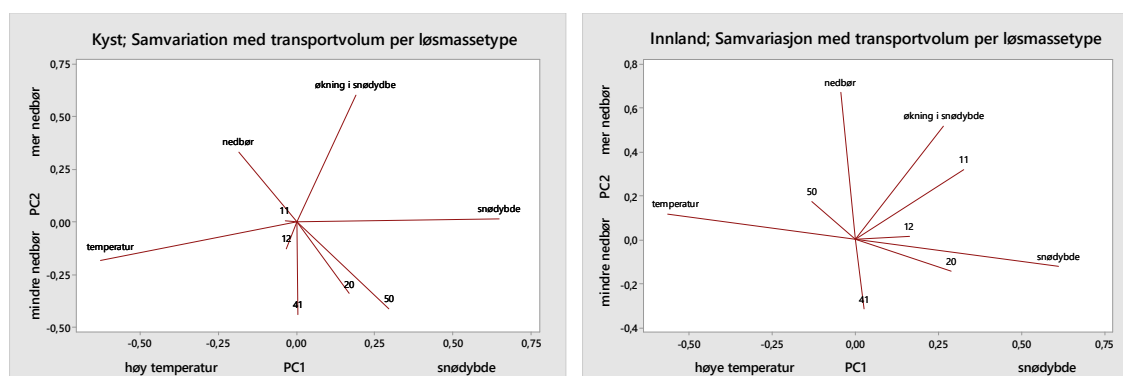
Den største samvariasjonen i datamaterialet forbindes med sesongvariasjon i temperatur og snødybde (PC1 på x-akse). Deretter følger nedbørsmengden (PC2 på y-akse). Sesongfordeling av værparameterne for kyst og innland vises i Figur 6. Fordelingen er lik mellom regioner med sommer til

venstre (høye temperaturer) og vinter til høyre (lave temperaturer og snø) med vår på den nedre halvdel (mindre nedbør) og høst i den øvre halvdel (mer nedbør).



Figur 6. Principal Component Analysis (PCA) score plot med fordeling av sesonger (Equinox) i forhold til variasjoner i temperatur og snødybde (PC1 på x-akse) og nedbør (PC2 på y-akse).

Samvariasjon mellom transporttakt per løsmasstype (11, 12, 20, 41, 50) og værparametrene vises i Figur 7. Styrken i samvariasjonen vises av pilens lengde i retning av de ulike komponenter.



Figur 7. Principal Component Analysis (PCA) loading plot som viser samvariasjon mellom transportvolum pr. løsmasstype og sesongens værparametre.

For *innlandet* finns flere generelle samvariasjoner mellom løsmasstyper og vær (Figur 7, høyre). Økt transportvolumer fra veier av tykk morene (11) assosieres med perioder med synkende temperatur (PC1) og høyere nedbør/økende snødybde (PC2) i overgangen mellom høst og vinter. Økte transportvolumer fra breelavsetninger (20) samvarierte med perioder med lav temperatur og mindre nedbør i overgangen mellom vinter (svart) og tidlig vår (blått). Økte transportvolumer fra hav- og fjordavsetninger (41) samvarierte med perioder av mindre nedbør på tidlig vår og forsommer. I tillegg fantes en svakere samvariasjon mellom elve- og bekkeavsetninger (50) i sommerperioder med høyere nedbør, samt tynn morene (12) og midtvinters med lav temperatur og snø.

For *kystregionen* finnes lignende samvariasjoner (Figur 7, venstre). Den sterkeste samvariasjon var mellom elve- og bekkeavsetninger (50) samt breelavsetninger (20) i perioder med mindre nedbør ved overgangen mellom tidlig vår og forsommer. Økt transport fra hav- og fjordavsetninger (41) samvarierte med perioder av mindre nedbør på forsommeren.

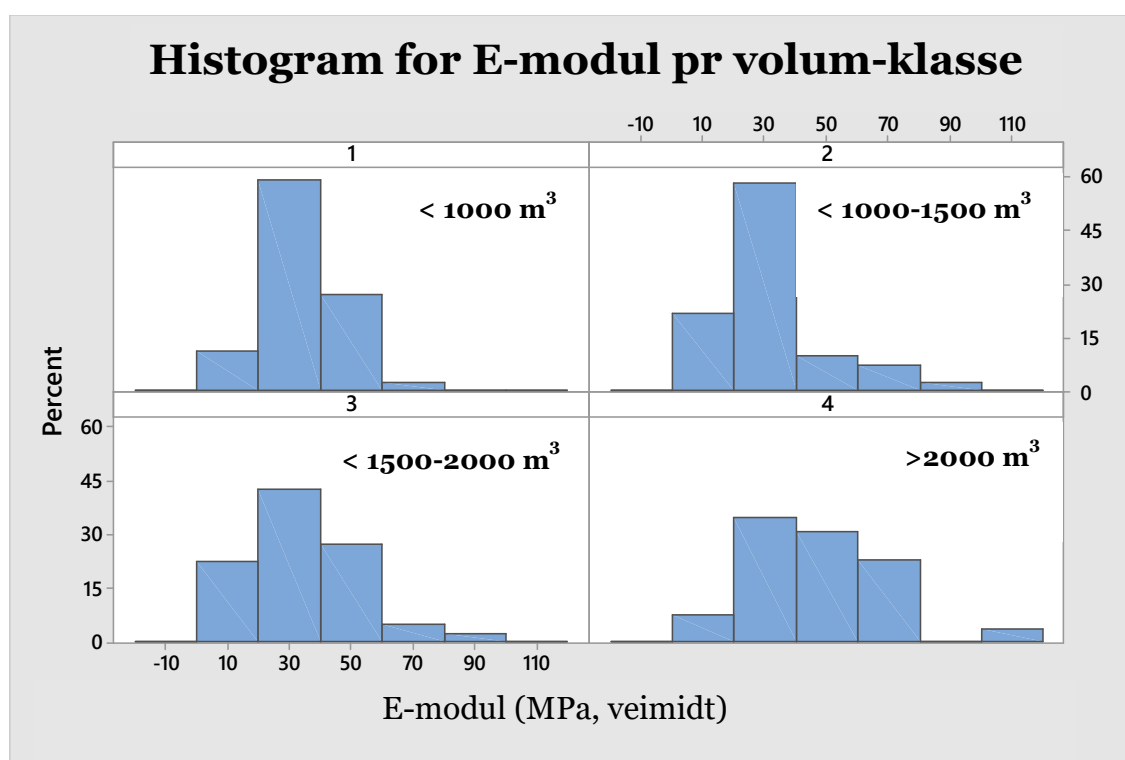
Basert på analyser fra både kyst- og innlandet kan man gjøre noen generaliseringer. Den mest tydelig samvariasjon med transportvolumer var for breelavsetninger (20; høy permeabilitet) samt elve- og bekkeavsetninger (50; middels- og høy permeabilitet). Disse ble spesielt mye brukt i perioder da krav til drenering var høyt (kyst; 20 og 50 om våren, innlandet; 20 på tidlig vår og 50 om sommer/høst

med høyere nedbør). Økt transport fra hav- og fjordavsetninger (41, lav permeabilitet) var assosiert med perioder med mindre nedbør i første halvår (kyst; forsommer, innlandet; tidlig vår og forsommer). Angående morener var resultatene utydelig, antageligvis på grunn av generelt gode egenskaper for tykk morene (11, middels permeabilitet) i mange perioder av året, og mer varierende egenskaper for tynn morene (12; lav- og middels permeabilitet) med eventuell reservasjon til perioder med frost/snø på innlandet eller redusert nedbør på kysten (se de korteste pilene i Figur 7 høyre).

Disse resultater gjelder analyse av tre klima-soner sammenlagt for respektiv region. Analyser av den enkelte klima-sone i respektiv region gav mer lokale trender. For eksempel for ytre- og midtre kyststrøk var det tydelig økte transportvolumer fra hav- og fjordavsetninger under begrenset perioder med snø/frost. Samme trend var ikke lengre tydelig når datamaterialet fra indre kyststrøk inngikk i analysen.

3.3 Veiegenskaper og bæreevne

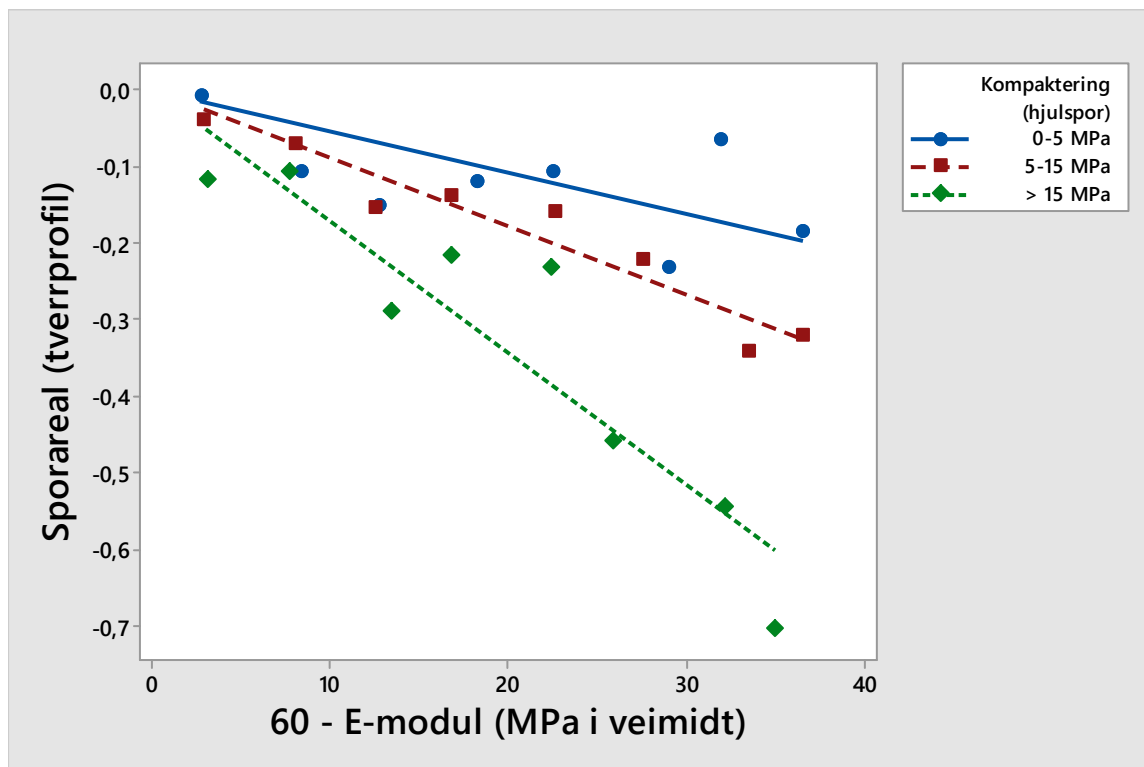
Dersom man grupperer de undersøkte skogsbilveiene i klasser etter uttransportert tømmer volum, så viser Figur 8 hvordan de større driftene hadde en større andel veier med høyere E-modul og bæreevne.



Figur 8. Fordeling av registrert E-modul for ukompaktet veimidt fordelt på klasser av uttransportert tømmer volum.

Andelen veier med E-modul over 60 MPa var under 5 % for < 1000 m³, ca. 10 % for 1000-2000 m³, og ca. 25 % for > 2000 m³.

For veier med E-modul < 60 MPa viser Figur 10 sporarealet som ble registrert ved lasermåling av veikroppens tverrprofil (y-akse) sammenlignet med veiens E-modul (x-akse; 60 – E-modul) for 3 ulike sporkompakteringsklasser. Kompakteringsklassene ble beregnet på bakgrunn av E-modul differansen mellom kjørespor og ukomprimert veimidt. Sporarealet økte med forskjellen i E-modul mellom ubelastet veimidt og belastet kjørespor.

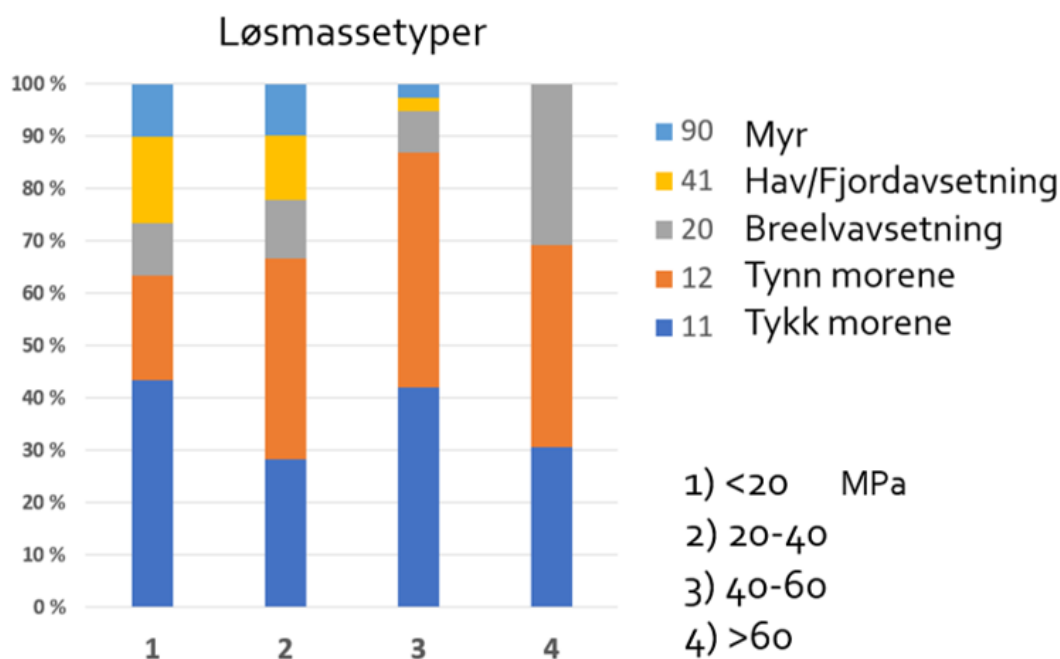


Figur 9. Sammenheng mellom spordannelse (sporeal i tverrprofil) og E-modul for 3 sporkompakteringsklasser på veier med transportvolum mindre enn 2000 m³ og E-modul mindre enn 60 MPa.

Disse data gjelder middelerverdier for 5 MPa klasser av E-modul. Effekten av komprimeringen på sporearealet ble størst for lavest E-modul (høyre på x-akse). I en regresjonsanalyse kunne 76 % av variasjonen i tverrprofilens sporeal forklares av disse to faktorer ($p=0,020$ for E-modul og $p=0,000$ for interaksjonen mellom E-modul og kompaktering).

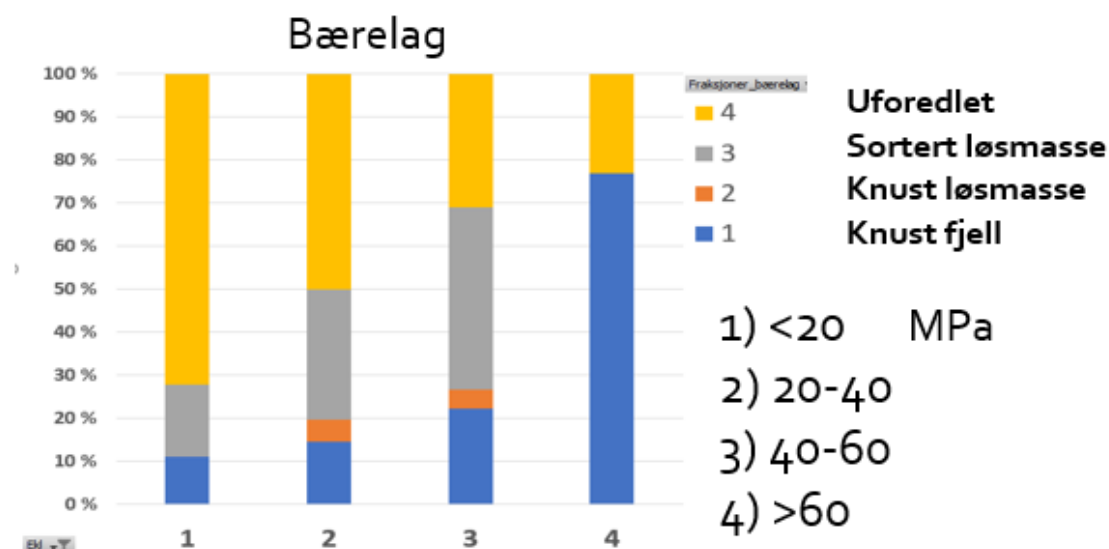
$$\text{Sporeal i m}^2 = -0,0028 - 0,00575 (60 - \text{Emod}_{\text{veimidt}}) - 0,000525 (60 - \text{Emod}_{\text{veimidt}}) * (\text{Emod}_{\text{spor}} - \text{Emod}_{\text{veimidt}})$$

En inndeling av forsøksveier i 4 klasser av E-modul viste forskjeller i forekomst av ulike løsmassetyper, (Figur 11), bærelag- og slitelagmaterial (Figur 12).



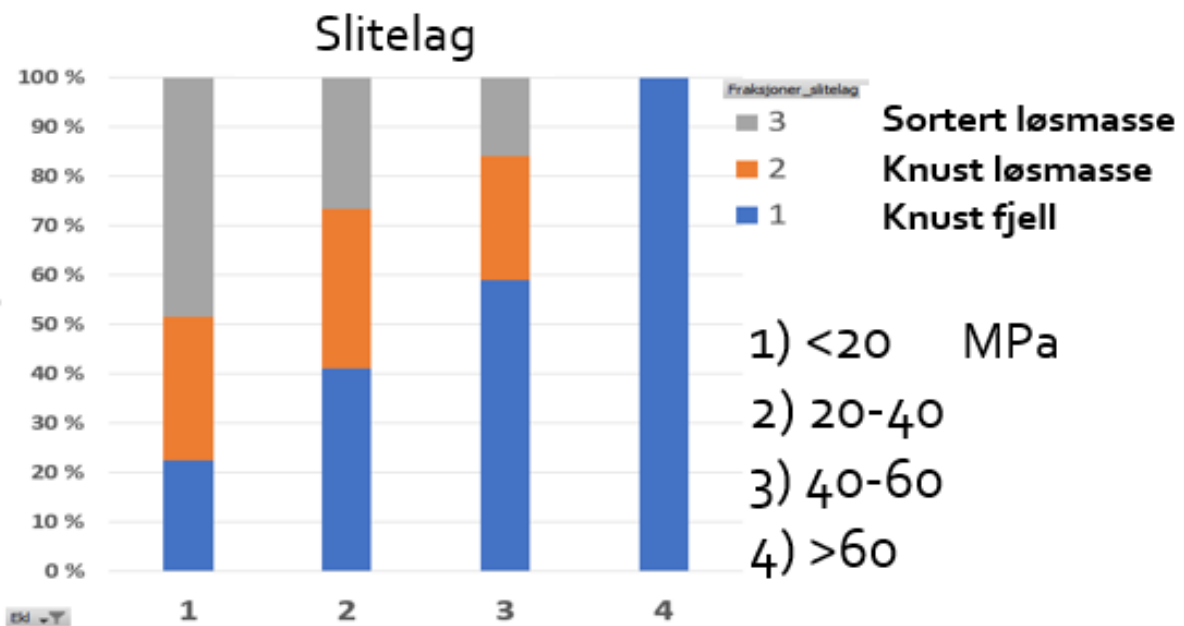
Figur 10. Fordeling av løsmasstype pr. E-modulklasse (veimidt kl 1-4).

For den laveste e-modulklassen (1) i Figur 10 finner man innslag av alle løsmasstypene. Innslag av organisk materiale samt hav- og fjordavsetninger avtar med økende E-modul. Innslag av friksjonsjordartene øker når man beveger seg over mot den høyeste E-modulklassen (4). Da gjenstår morene og breelavsetning.



Figur 11. Fordeling av bærelagsmateriale per e-modulklasse (veimidt kl 1-4).

Figur 11 viser fordelingen av bærelagsmateriale med økende E-modul. Med økende E-modul reduseres andelen av uforedlet materiale og andelen av knust fjell øker. Det er liten tvil om at det som i Veinormalen klassifiseres som det beste bærelagsmaterialet også i praksis viser sin styrke (Figur 11). Knust fjell er best, men uforedlet masse på rett sted og tid kan også gi tilstrekkelig bæreevne.



Figur 12. Fordeling av slitelagsmateriale pr. E-modulklasse (veimidt kl 1-4).

Som for bærelaget, så viser Figur 12 at også slitelagsmaterialet assosieres med variasjoner i E-modulen. Men, det underliggende bærelaget har den avgjørende rolle.

General Linear Model (GLM) analyse ble brukt for å estimere de mer generelle effekter av underbygning og bærelag på E-modul. Modellen forklarte bare 27 % av variasjonen i E-modul, men effektene av både løsmasstype ($p=0,059$) og bærelagsmateriale ($p=0,000$) var signifikant.

$$E\text{-modul} = 37,56 - 1,52 LM11 + 0,83 LM12 + 7,16 LM20 - 6,47 LM41 \quad (\text{underbygning}) \\ + 15,24 \text{ knust fjell} - 3,92 \text{ knust LM} - 4,01 \text{ sortert LM} - 7,31 \text{ usortert LM} \quad (\text{bærelag})$$

Formelen kan brukes for å estimere en forventet E-modul for en skogsbilvei bygd med en gitt løsmasstype og med en gitt bærelagstype.

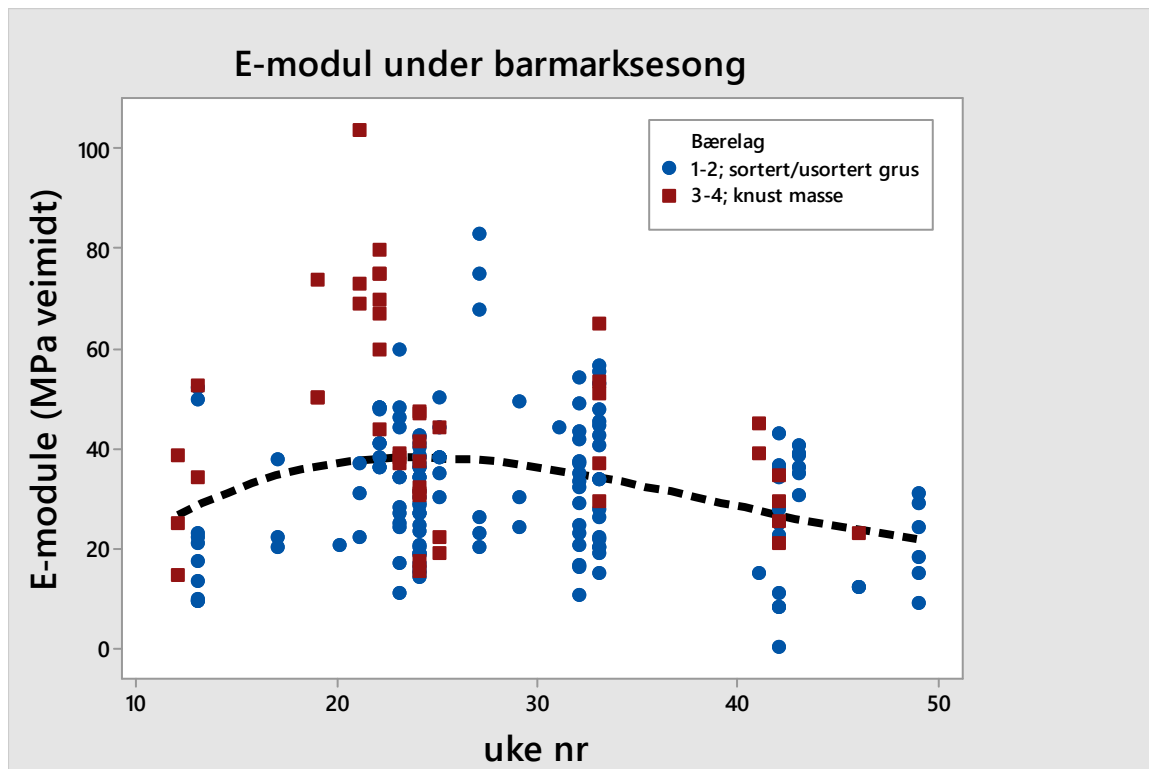
Om man har mindre gunstige forhold, med hav- og fjordavsetning (41) som underbygning og uforedledede masser (4) i bærelaget, så gir modellen denne E-modulen:

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

Om man derimot er heldigere med forutsetningene, med breelavsetning (20) som underbygning og knust fjell (1) i bærelaget, så gir modellen denne E-modulen:

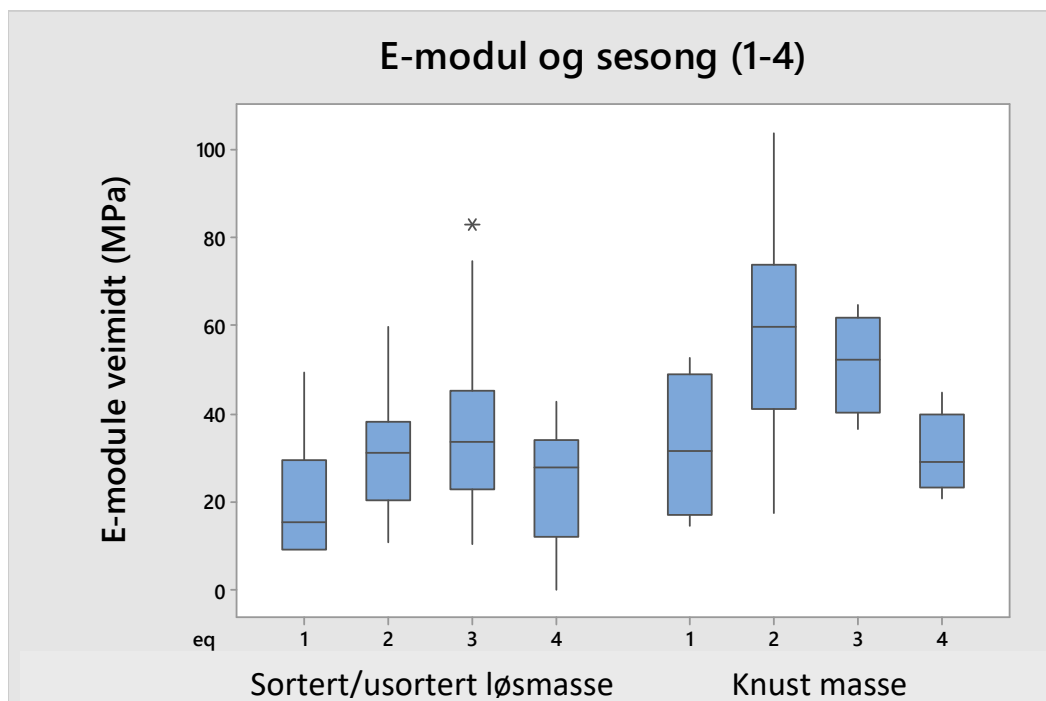
$$37,6 + 7,16 + 15,24 = 60,00 \text{ MPa}$$

Tidspunktet for E-modulmålingene gav det forventete sesongmønster, men med mye gjenstående variasjon mellom målingene i samme sesong (Figur 13).



Figur 13. Variasjon i E-modul over tid i barmarksesongen.

I Figur 14 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 periodene 1 (tidlig vår) og 4 (høst).



Figur 14. E-modulvariasjon for ulike løsmassetyper, bærelagsmaterialer og årstid i barmarksesongen (1=tidlig vår, 2=forsommer, 3=ettersommer, 4=høst).

En GLM analyse med sesong forklarte kun 36 % av variasjonen i E-modul, men effekten av både underbygning ($p=0,050$), bærelag ($p=0,000$) og sesong var signifikant ($p=0,000$).

$$\begin{aligned} E\text{-modul} = & 34,28 - 2,33 LM11 + 1,25 LM12 + 6,89 LM20 - 5,81 LM41 && (\text{underbygning}) \\ & + 14,85 \text{ knust fjell} - 1,31 \text{ knust LM} - 5,00 \text{ sortert LM} - 8,55 \text{ usortert LM} && (\text{bærelag}) \\ & - 11,39 \text{ vår} + 6,77 \text{ førsommer} + 7,33 \text{ ettersommer} - 2,70 \text{ høst} && (\text{periode}) \end{aligned}$$

Det finnes fremdeles mye uforklart variasjon i både Figur 13 og 14. Bearbeiding av datamaterialet fortsetter for å bedre kvantifisere den resterende variasjon.



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

3.4 Lettvektsfallodd kontra ordinært fallodd

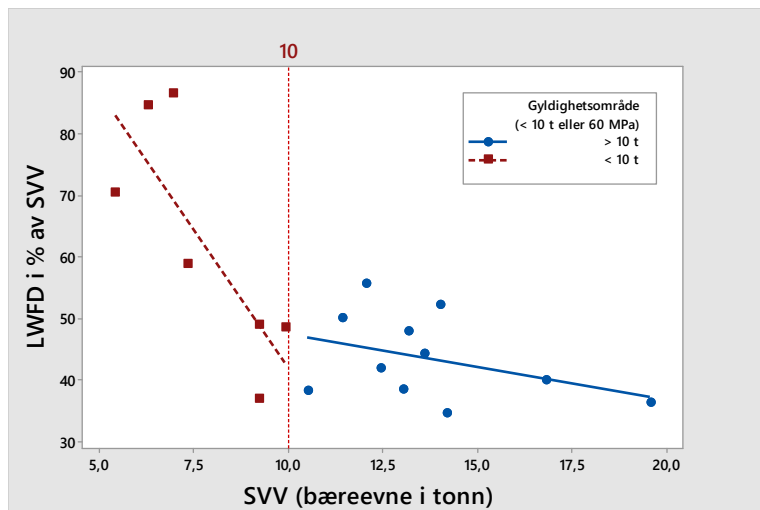
Høsten 2021 ble 3 av de tidligere registrerte skogsbilveiene i Rogaland målt på nytt med både lettvektsfallodd (LWFD) og et ordinært fallodd fra Statens Vegvesen (SVV). Det var 3 forskjellige målesteder på hver vei (9 målinger i hvert hjulspor med hver metode, $n=18$). Målingene ble gjennomført under relativt fuktige forhold.

For observasjoner innen gyldighetsområde for lettvektsfallodd (< 60 MPa, omregnet til 10 tonn bæreevne) var forholdet mellom LWFD og SVV lineær (rød linje i Figur 15).

$$\text{LWFD i \% av SVV} = 131 - 8,96 (\text{SVV})$$

$$N=18, R^2= 64 \%$$

I forhold til SVV-målte verdier for 6 tonn bæreevne var de målte verdier for LWFD ca. 80 % av SVV. Ved 10 tonn bæreevne (maksverdi for LWFD) var de målte verdiene ca. 50 % av SVV, og 40 % ved 20 tonn.



Figur 15. Sammenligning av E-modulmålinger med lettvektsfallodd (LWFD) og konvensjonelt fallodd (SVV). Y-akse er lettvektsfallodd i prosent av SVV-målingene (x-akse; bæreevne i tonn). Gyldighetsområdet for LWFD er < 10 tonn.

Av de 18 observasjonene var 7 innenfor gyldighetsområdet for LWFD (60 MPa, 10 tonn bæreevne). Denne underestimering av bæreevne med lettvektsfallodd for målinger < 60 MPa kan ha flere årsaker. Den mest sannsynlige årsaken er den forenklete metodikken som ble brukt under pilotforsøket. Produsentens anbefaling for bruk av LWFD er å dekke og jevne ut testområdet med sand for å sikre full kontakt før måling. I pilotforsøket ble overflate kun jevnet ut med rake. Det innebærer at veioverflaten sannsynligvis ikke var tilstrekkelig komprimert av de første to falltrykkene, før det tredje trykket som registreres for E-modul. For å øke gyldighetsområde utover 60 MPa kreves en tyngre LWFD. En 15 kg modell skulle gi dypere penetrasjon og bredere gyldighetsområde. I det fortsatte arbeidet skulle det kreves kontrollmålinger under både tørre og fuktige forhold på svake og sterke veier for mer sikre verdier.

4 Diskusjon og konklusjon

Prosjektet har brukt transportørenes fraktbrev for å identifisere sesongvariasjoner i transporttakt i forhold til ukentlig vær og skogsbilveienes løsmasstype (delmål 1). Feltnålingene fanget variasjonen i skogsbilveienes bæreevne under barmarksperioden i forhold til sesong, transportvolum og veiens underbygnings- og overbygningsmateriale (delmål 2). Måling av bæreevne med lettvektsfallodd underestimerer den faktiske bæreevnen, men prosjektets forenklete metode har fanget variasjonen frem til de sterkeste veiene (< 60 MPa).

Prosjektets siste delmål bestod av å utvikle grunnlaget for en prognosemodell som anviser skadepotensialet for tømmertransport på skogsbilveier. Dette vises i avsnitt 4.4.

4.1 Lærdommer fra feltregistrering av skogsbilveier

Feltarbeid har krevd mye logistikk og oppfølging under prosjektperioden. Metodikken har blitt utviklet under tiden med forlenging av prosjektperioden. Det som var mest kritisk i begynnelsen var *informasjon om tid og sted for igangsetting og avslutning av drifter*. Disse forhold førte til en nødvendig utvikling av en enklere, men mer tidseffektiv metodikk (4.1.1).



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

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, men metoden krevde sømløs koordinering mellom partene. Størst utfordring var å få oversikt over tidspunkt for startet og endt transport. Fremtidige prosjekt skulle gjerne ha heltidsansatt feltarbeidere som gir den fleksibilitet som kreves for registreringsarbeidet når transportperioden pågikk.

Metoden medførte få komplette registreringer med både før- og etterregistrering innenfor den fastsatte tidsrammen. Metodikken ble derfor forenklet og omfattet kun etterregistrering som passer bedre til den varierende tilgang til egnete forsøksveier. Forenklingen medførte at det ble tilstrekkelig

med en utvidet etterregistrering og at antallet forsøksveier kunne reduseres noe. Som supplement til feltdata ble historiske transportdata benyttet for å fange en større bredde av værforhold. Metoden endret seg som følger, se Tabell 4 og 5 nedenfor:

Tabell 4: Opprinnelig metodikk 2018-2020. Datainnsamling pr. forsøksvei og drift.

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

Tabell 5. Revidert metodikk 2020-2021. Datainnsamling pr. forsøksvei og drift.

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

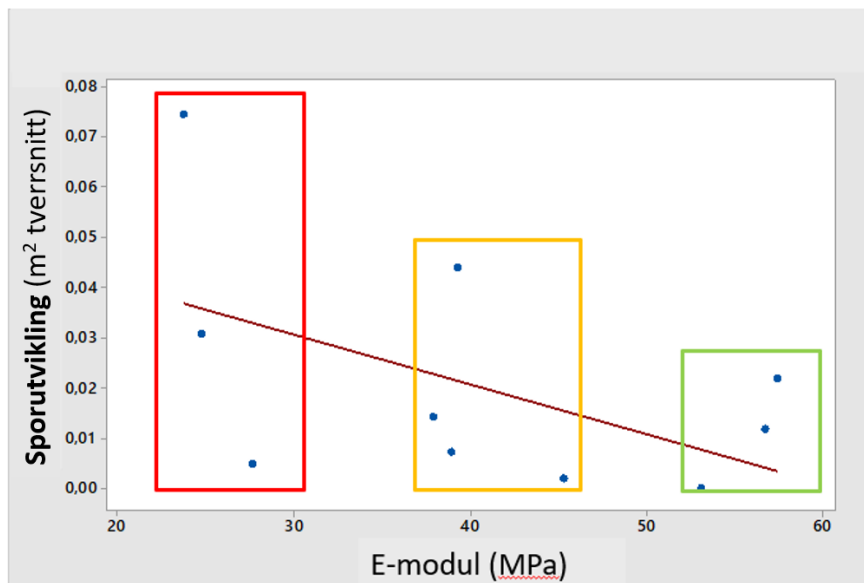


Bilde 9: Fra en av registreringene utført i Hedmark sommeren 2020. Foto: Martin Bråthen

4.1.1.1 Redegjørelse for ivaretagelse av prosjektets formål ved metodeendring

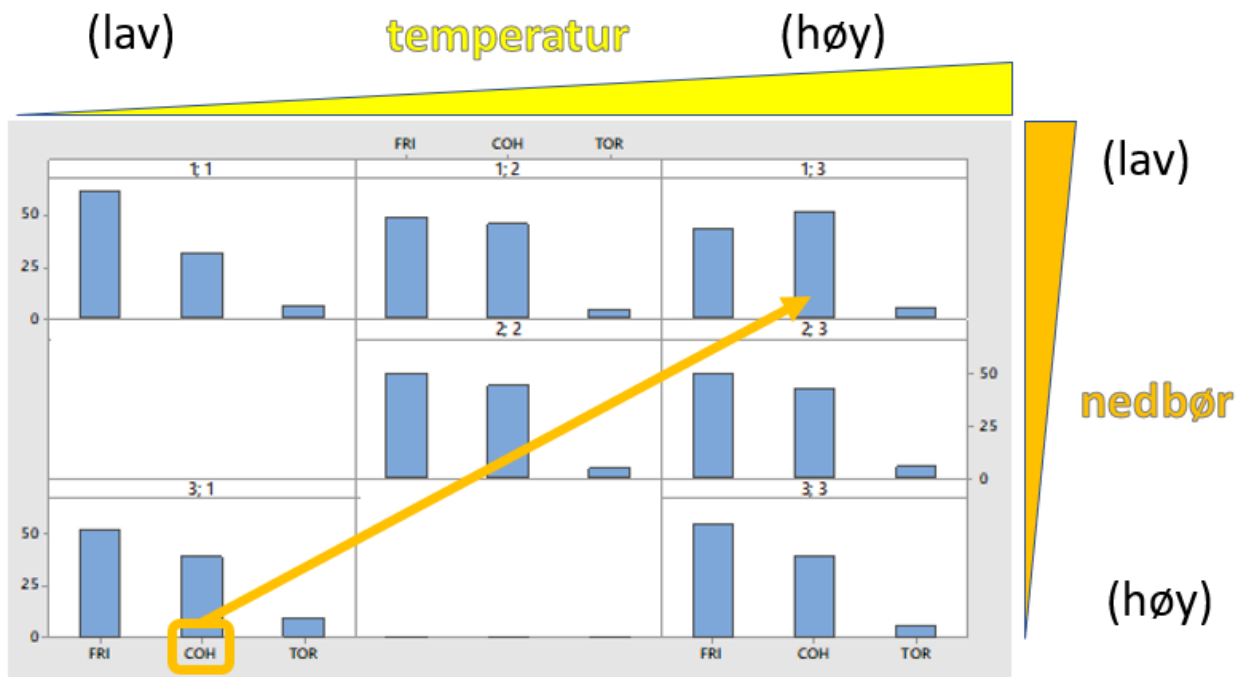
Feltmålinger med lettvekts-fallodd: Første årets registrering kunne vise en tydelig samvariasjon mellom skogsbilveienes sporutvikling (forandring i hjulsporenes tverrsnittsareal før og etter transport) og veiens målte stivhet (E-modul registrert med lettvektsfallodd). Med den opprinnelige metodikk var E-modul målt separat på toppen av slitelaget og bærelaget. Den beste samvariasjon påvistes mellom sporutvikling og E-modul for bærelaget (Figur 16). Variasjonen i sporutvikling på de svake veiene (< 30 MPa) var mer enn dobbelt så stor som på de sterke veiene (> 50 MPa). Av de registrerte veiene har 30 % akseptabel stivhet (>50 MPa). Den opprinnelige målemetodikken med lettvekts-fallodd fungerte som tenkt, men disse første målingene speiler verdier for en usedvanlig tørr sommer med begrenset

sporutvikling. Seinere kontroll med vanlig fallodd indikerer at disse målinger også underestimerer den faktiske bæreevnen.

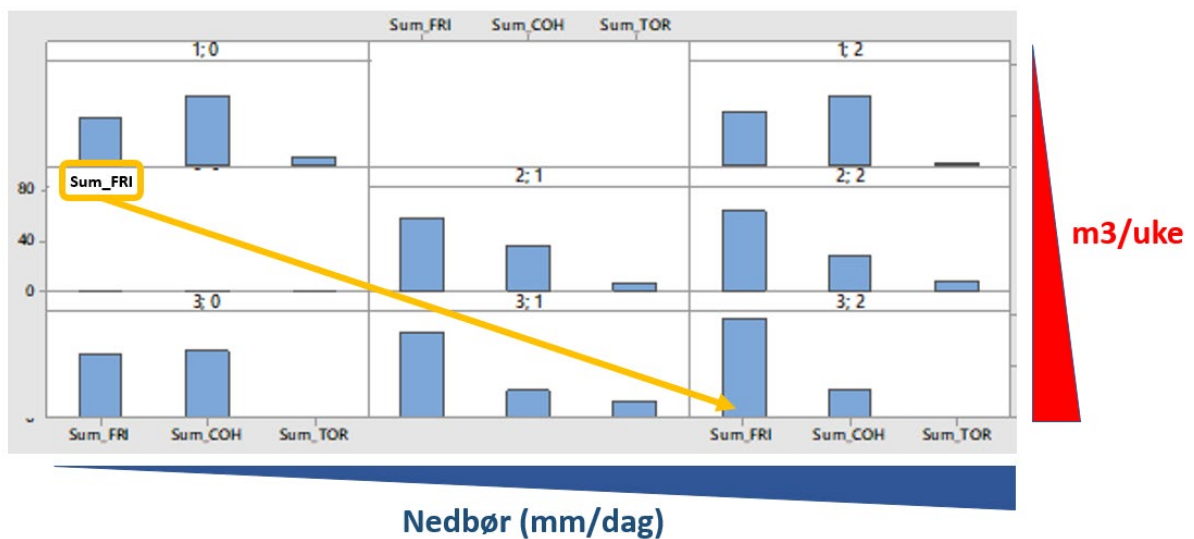


Figur 16: Fra feltregistreringene 2018-2020; målt økning i sporareal (forandring i tverrsnitt før og etter transport fra lasermåling) med reduserte bæreevne (E-modul målt på bærelaget med lettvektsfallodd).

Test med supplerende transportdata: om supplement til felldata ble historiske 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 viste hvor det har vært mulig å hente virke under lette kontra vanskelig værforhold. Sammenstillingen viste økt bruk av offentlige veier som leveransepunkt under de vanskeligste periodene, som forventet. Når det gjelder bruk av skogsbilveier i barmarksesongen, viste resultatene logiske trender for tømmertransport fra en grov gruppering av løsmassetyper (friksjonsjord, kohesjonsjord, torv) (Figur 17). Disse trender ble sterkere for kontrakter med høyere transportintensitet (Figur 18).



Figur 17: Fra transportdata; Effekten av nedbør og temperatur på andelen tømmerlass hentet fra skogsbilveier bygd på ulike løsemassetyper (COH=kohesjonsjordarter, kun barmarksesong).



Figur 18: Fra transportdata; Effekten av nedbør og transportintensitet (m^3/uke) på andelen volum hentet fra skogsbilveier bygd på ulike løsmassetyper (FRI=friksjonsjordarter, kun barmarksesong).

Revidert forsøksplan (2020): Med bakgrunn i de to første års erfaring ble innsatsen omfordelt fra den opprinnelige planen (kun felldata for 90 veier) og til den revidert planen (felldata 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

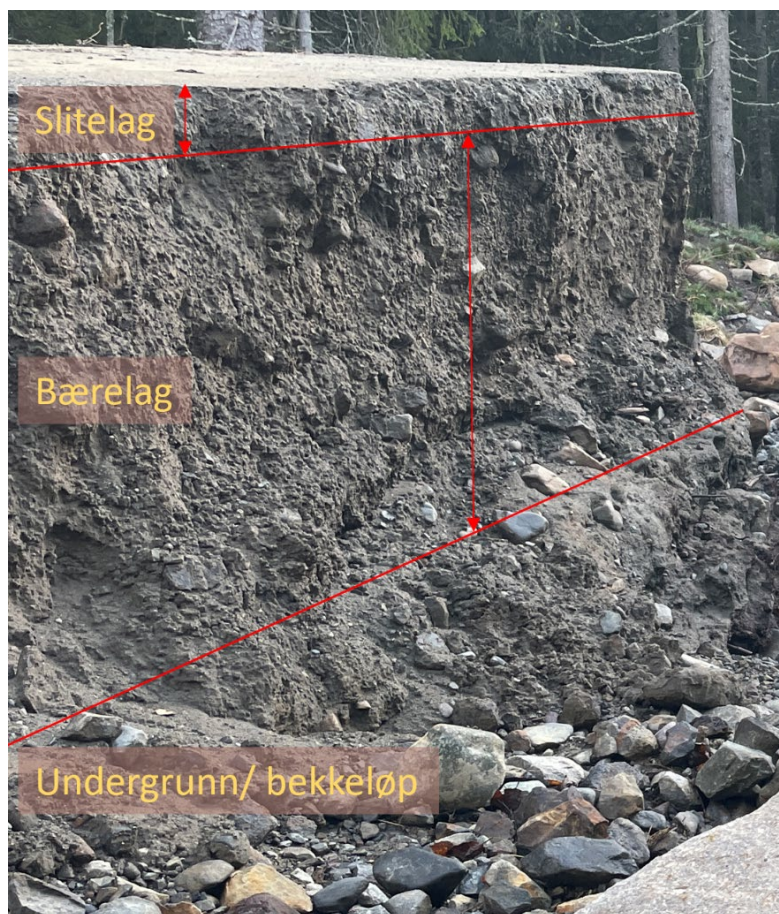
Sum	Kyst	Innland
Opprinnelig forsøksplan		
90	45	45
Revidert forsøksplan		
65	35	30
Faktisk registrert etter endt datainnsamling		
77	44	33

Innsamling av historiske transportdata var fokusert på de typiske sesongvariasjonene for kyst og innlandet ved ulik nedbørintensitet/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, ble nå analysedelen av prosjektet vesentlig mer omfattende.

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 tolke dette 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 bæreevneanalyser

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

Brukmønsteret varierte mye mellom regioner, også på grunn av at transportvolumer er avhengig av sesongtilgjengelighet for avvirkning. Bæreevneanalysen viser at for skogsbilveier som mangler en klassifisering, kan man ved å identifisere områdets løsmasetype 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, til og med i gyldighetsområde for lettvektsfallodd (< 60 MPa). Fremtidige prosjekter bør oppgradere til et tyngre lettvektsfallodd (15 kg istedenfor 10 kg) og inkludere utjevning av underlaget med sand for hver registrering. Forhåpentligvis vil dette redusere målefeil. Likevel vil neste innsats kreve en repetisjon av kontrollmålinger med konvensjonelt fallodd.

De værmessige forholdene under pilotforsøket 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.

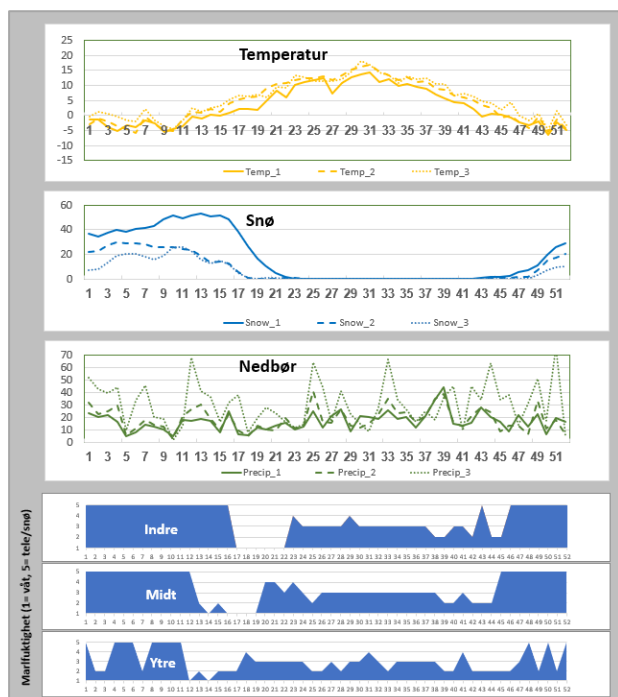
4.4 Utvikling av underlag for digital bæreevnemodellering

Prosjektets empiriske resultater gav enkle svar på to spørsmål som må besvares for en digital modellering av bæreevne; a) hvordan den praktiske bruken av ulike typer skogsbilveier varierer mellom sesonger, og b) hvordan bæreevnen varierer for tilsvarende veier og perioder.

Resultatene for hvordan skogsbilveiene brukes speiler også skogarealenes bæreevne for avvirkning (Fjeld et al. 2018). Sett kun på transport utenfor vinterforhold er resultatene logisk med økt bruk av skogsbilveier med i) elveavsetninger (løsmasstype 20 og 50) under spesielt fuktige perioder og ii) hav- og fjordavsetning (løsmasstype 41) under tørre perioder. Disse supplerte bruk av tykk morene (løsmasstype 11) når det var i) nødvendig (løsmasstype 20/50 under vår/høst) eller ii) mulig (løsmasstype 41 under tørre perioder). Ellers forekom økt transport over tynn morene (løsmasstype 12) i samme sesong som tykk morene, men oftere under tørre perioder pga. lavere drenering/infiltrasjonsevne. På grunn av at de fleste eldre veier var bygd opp av stedeagne 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.

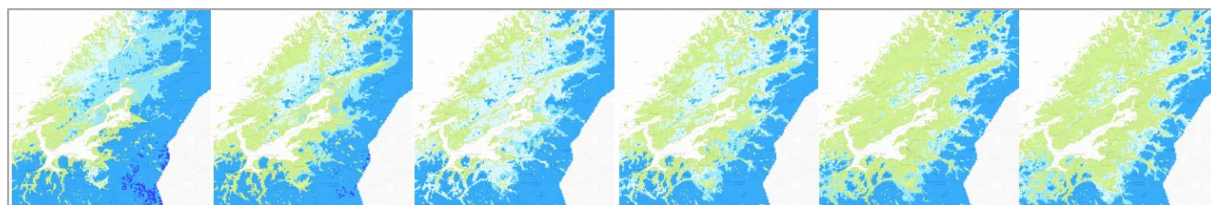
Underlag for en heldigital modellering av bæreevne: En heldigital modellering av bæreevne skal kunne gi en geografisk oversikt av fuktighetsforhold i ulike klimasoner og hvilke typer veier som har tilstrekkelig bæreevne for de rådende forholdene. Modelleringen baseres derfor på i) en enkel klassifisering av forhold i de ulike klimasoner, og ii) en tilsvarende klassifisering av ulike veiers styrke. I dag savnes den viktigste egenskap for veiens bæreevne; forekomst av knuste masser i bærelag/slitelag. Dette savnes i dagens databaser, men er ofte kjent av lokale produksjons- og transportansvarlige og bør derfor kunne fastsettes 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 i kyststrøk med 3 klimasoner; ytre, midtre- og indre kyststrøk (Figur 19).



Figur 19. Eksempel på modellering av ukentlig krav til bæreevne ut fra kombinasjoner av temperatur, snødybde og nedbør. Eksempel på minste krav til bæreevne (klasse 1-5) vises lengst ned i 3 ulike klimasoner. Klasseinndelingen 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 klasse 2 (typisk for våt høst) og klasse 3 (vanlige sommerforhold) er de mest avgjørende værparametere temperatur og nedbør (også humiditet om høsten). For mer kritiske tidspunkt som for eksempel teleløsning på våren og begynnende frost på høsten kan en variant av NVEs daglige modellering av teledybde være et godt hjelpemiddel (Figur 20).

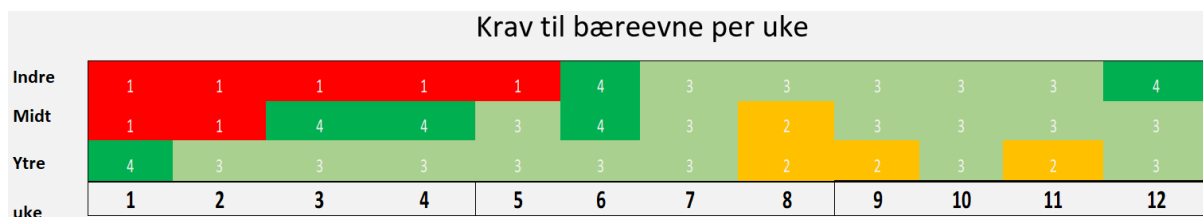


Figur 20. Ukentlig bevegelse av teleløsning (overgang fra mellom-blå til lys-blå med 1 km² piksler (SeNorge/teledyp; venstre; 25.02.20, høyre; 29.04.20).

Del 2 – Dynamisk klassifisering av skogsbilveiene etter material og E-modul

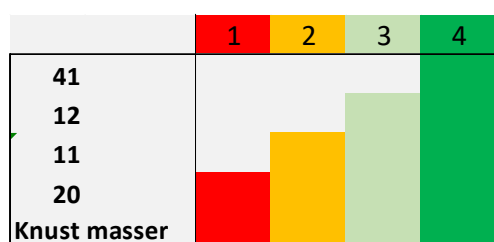
Gitt det ukentlige krav til bæreevne pr. klimasone, er neste steg å matche mot veier med tilstrekkelig styrke. Typiske verdier for målt E-modul fra pilotforsøket varierte fra + 7 MPa på sommeren til -3 og -11 MPa på høsten og våren, respektivt. Disse reduksjoner for varierende fuktighetsforhold kan brukes for å matche til tilsvarende økt bæreevne ifra både løsmassetype for stedegne masser (kobling av veistrekning mot NGU løsmassekart) og knust/sorterte masser i bærelaget (veidatabase med oppdatering ut ifra lokal kunnskap). Implementering av et slik klassifisering bør helst bygge på sesongeffekt spesifikt pr. massetype.

I Figur 21 vises et eksempel på en 12-ukers tidsserie. Tidsserien ble brukt i en test for transportstyring innen de samme 3 klimasoner som i Figur 19 over en 12 ukers periode fra dato for start på teleløsning i indre kyststrøk (uke x).



Figur 21. Eksempel på ukentlig modellering av krav til minste bæreevne for transportstyring. Tidsaksen strekker seg fra uke 15 (x+1) til 27 (x+12). Første uke (x+1) representerer starten på teleløsning i indre kyststrøk. Krav til minste bæreevne varierer fra rødt (kl. 1; høy fuktighet som krever sterk vei) til mørk grønn (kl. 4; tørt som tillater svakere vei).

Som nøkkelen til veivalg for styring av ukens transporter ble det brukt en enkel tabell (Figur 22) for å indikere krav til veimaterial (tilsvarende E-modul). I dette eksempelet inkluderes knuste masser og breelvavsetning (løsmasstype 20) i klasse 1, tykk morene (løsmasstype 11) i klasse 2, tynn morene (løsmasstype 12) i klasse 3 og hav- og fjordavsetning (løsmasstype 41) i klasse 4.



Figur 22. Eksempeltabell for valg av egnet vei 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) kan det tillates transport fra alle masstyper (Knuste masser, 20, 11, 12, 41).

4.5 Videreutvikling av heldigitalmodellering av bæreevne

Et slikt underlag skulle kunne utvikles videre til et lett-tilgjengelig prognoseverktøy for tømmerkjøpere, produksjon- og transportledere. Det skulle gi en bedre mulighet til å prediktere hvilke veier som egner seg for transport ut ifra fortløpende værdata og prognoser. Historisk data skal også kunne brukes for planlegging på lengre sikt, men da gjelder prognosen for et snitt-klima, altså ikke ut ifra de rådende værforholdene eller hvordan været er meldt. Ved implementering må det foreligge informasjon om i) hva veien er bygd opp av (bærelagsmateriale) og ii) hvilken undergrunn (løsmasstype). Geologiske løsmassekart og markfuktighetskart kan gi gode indikasjoner, men for disse datakildene er det mange feilkilder. Ukritisk bruk medfører risiko for at skogsbilveien ikke er trafikkerbar i den aktuelle perioden.

Dataene og resultatene bekrefter langt på vei hva som har vært antatt tidligere. De 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 (stedegne 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 imidlertid en del jobb som kan løses i fremtidige prosjekter.

5 Referanser

- 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 skogsbilvågar. Hentet 09. desember 2021, fra https://www.biometria.se/media/fa1ba4qc/klassning-av-skogsbilvaegar_september-2021_webb.pdf
- Fjeld, D., Bjerketvedt, J. og M. Fønhus (2018). Nye muligheter for klassifisering av bæreevne. Norsk Skogbruk 4-2018:45-47.
- Fønhus, M, Fjeld, D. og J. Bjerketvedt (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>

Vedlegg

Vedlegg 1: Oversikt over feltutstyr

Utstysrliste - 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
Falloodd	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 falloodd	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 registreringsskjemaet har tilsvarende felter til utfylling som kolonnen til venstre

Dato	Registreringsdato i felt (dag,måned,år)
Veinavn	Veinummeret som står i de offentlige listene. Evt. lokalnavn på veien
Tversnitt nr.	1011 = operator, 1. vei 01, tversnitt 1 (tversnitt 1 er lengst inne).
GPSX	GPS - x-koordinat (Ø-V) etter avtalt referansesystem
GPSY	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 tversnittet, 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 oppfølgingsregistrering (dag,måned,år)
Sum_volum	Sum volum transportert under perioden fra skogbruksleder (m ³)
Emodul_v	tas midt i venstre hjulsporret - overflate jevnes ut først - umgåå stein
Emodul_midt	tas midt i mellom hjulsporene - jevnes ut først - umgåå stein
Emodul_h	tas midt i høyre hjulspåret - overflate jevnes ut først - umgåå stein
V_avstand	avstand fra veiskulder til nærmeste bestandskant
V_overhøyde	overhøyde (5 m intervaller)
H_avstand	avstand fra veiskulder til nærmeste bestandskant
H_overhøyde	overhøyde (5 m intervaller)
Posisjon	Posisjon i terrenget: bakketopp (1), jevn lise (2), dalbunn eller søkk (3)
veistigning	% veistigning i transportretning (tas over 25 m)
V_SKF	venstre skjæringshøyde (-) eller fyllingshøyde (+) fra kjørbane : hvor mye veien er over eller under terrenget. Flatt = X
V_grofte_dybde	venstre grøftebredde i forhold til veiskulder (dm) ... måles i midt på grøftebunn. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forlengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X;
V_grofte_bredde	venstre grøftebredde i forhold til veiskulder (dm) ... til midten av bunn på grøft. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forlengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X;
V_grofte_tilstand	venstre grøfte tilstand: renset, jevn og velfungerende (1), tilgrodd, ujevn og mindre velfungerende (2), grøft mangler (X)
H_SKF	høyre skjæringshøyde (-) eller fyllingshøyde (+) fra kjørbane : hvor mye veien er over eller under terrenget. Flatt = X
H_grofte_dybde	høyre grøftebredde i forhold til veiskulder (dm) ... måles i midt på grøftebunn. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forlengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X;
H_grofte_bredde	høyre grøftebredde i forhold til veiskulder (dm) ... til midten av bunn på grøft. Målingen skal tas rett ut fra der skinna sto, som en forlengelse av profilen. Mangler grøft, marker med: X;
H_grofte_tilstand	høyre grøfte tilstand: renset, jevn og velfungerende (1), tilgrodd, ujevn og mindre velfungerende (2), grøft mangler (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 = kommenter.
Fukt_bærelag_V	Måles 25 cm under veloverflater (langt nok in for å komme under siltelaget). Der det er sprengt grøfter eller er stein/fjell ... måles ikke = kommenter.

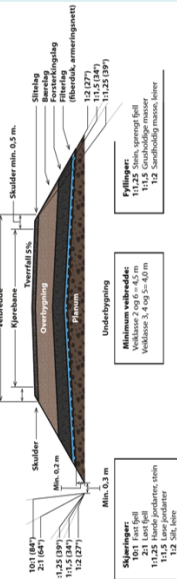
Hent informasjon i fra et løsmassekart (skogportalen, NGU), men gjør en vurdering om dette stemmer på stedet.

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.

Vurder de ulike lag i lupe og plasser etter tabellen.

OBS! HUSK BACK-UP HVER DAG OG SJEKKE AT BILDERNE ER PÅ DROP-BOX

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.

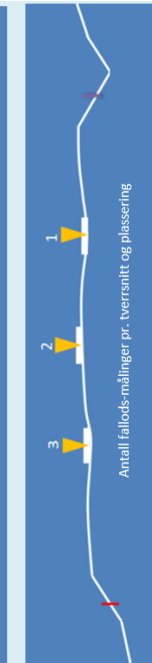


Løsmasser	Verdi
Fjell	1
Morene (tykk, tynn og ranc)	2
Breiløvssetning	3
Bresjøavssetning	4
Marin-avssetning (hav- og fjord + stranda)	5
Blockhav	6
Tonv/myr +30cm	7
Åmnet	8

Tekstur	Verdi
Grus (synelige 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



Vedlegg 3: Presentasjoner om prosjektet

Prosjektet og resultatene har blitt presentert ved flere anledninger:

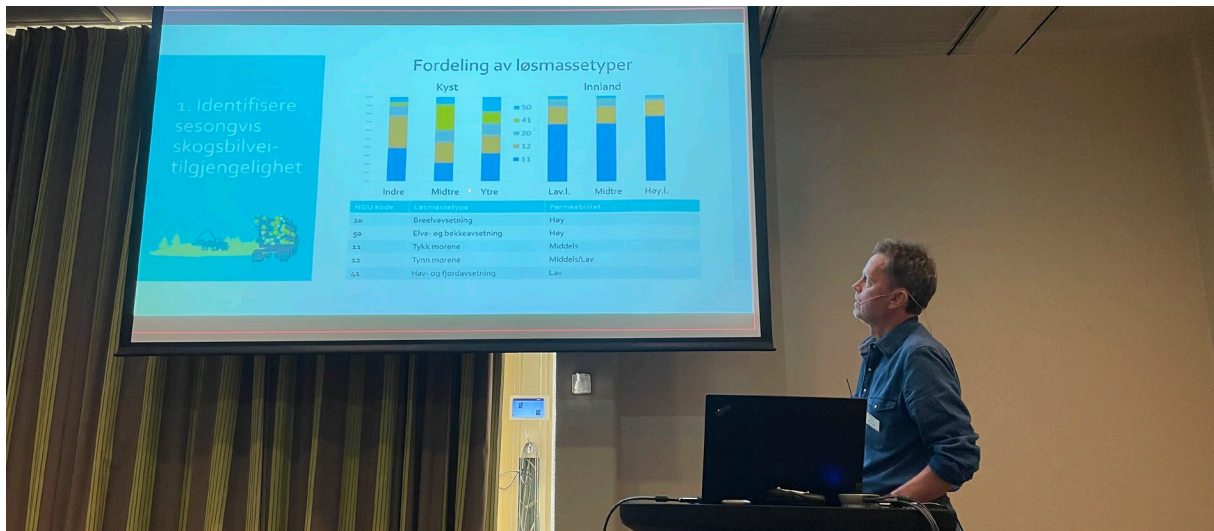
- 11-12 sept. 2018 (Oslo): [NB Nord Workshop on Timber transport and forest roads: Cost modelling approaches and latest news from the front](#). Presentert av Martin Bråthen.
- 22-24 sept. 2020 (København, Virtual). [NB Nord 2020, Forest operations for the future](#). Presentert av Dag Fjeld.
- 27-30 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".



Bilde 11: Demonstrasjon av bæreevne måling under Fagsamling vei 2021, for ca. 60 deltagere. 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

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.