



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Skoglig tilpasning til et endret klima

Kunnskapssammenstilling om driftsteknikk i et våtere og mildere klima

NIBIO RAPPORT | VOL. 8 | NR. 101 | 2022



Helmer Belbo¹, Martin Bråten² og Tomas Johannesson³

Divisjon for skog og utmark¹, Skogkurs², Skogforsk³

TITTEL/TITLE

Skoglig tilpasning til et endret klima

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Helmer Belbo (NIBIO), Martin Bråten (Skogkurs), Tomas Johannesson (Skogforsk)

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
04.07.2022	8/101/2022	Åpen	51329	22/00895
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03114-7	2464-1162	53		

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Statsforvalteren i Trøndelag

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Helmer Belbo

STIKKORD/KEYWORDS:

Driftsteknikk, skogsdrift, klimatilpassing

Forest operations, timber transport, adaption to climate changes

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Driftsteknikk og virkestransport

Forest operations, wood transportation

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Denne rapporten er et produkt av Interreg-prosjektet «Skoglig anpassning for ett ändrat klimat» som pågikk i perioden 2018 - 2022. Rapporten sammenfatter kunnskapsfronten for de driftstekniske utfordringene knyttet til transport av virke i terrenget og på skogsvei i et varmere og våtere klima. Velfungerende og kostnadseffektive skogsveier vil være en bærebjelke i begge lands skognæring, så rapporten fokuserer også på byggeskikk, metoder og rammefaktorer for dette.

This report is a product of the Interreg-project "Adapting forest operations for a changed climate" that has been running in the period 2018 – 2022. The report is a state of the art on the challenges faced in forest operations when the winter season get shorter and soil and forest roads are getting more humid and softer. The main topics covered are forest operations on soft ground and in steep terrain, as well as road construction and maintenance.

LAND/COUNTRY:

Norge

GODKJENT /APPROVED

Bjørn Håvard Evjen

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Helmer Belbo

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Denne rapporten er utarbeidet gjennom Interreg-prosjektet «Skoglig anpassning til et ändrat klimat».

Representanter fra Fylkesmann i hhv Sør- og Nord-Trøndelag (nå Statsforvalteren i Trøndelag) besøkte Skogsstyrelsen i Järpen i februar 2016 for å få et innblikk i den svenske skogforvaltninga og diskutere felles utfordringer. Utfordringene knyttet til klimatilpassing ved skogdrift og skogsveger var felles for begge land og pekte seg ut som et naturlig tema og jobbe sammen om. Initiativtakerne etablerte derfor et forprosjekt i 2017 og et hovedprosjekt i 2018. Både forprosjektet og hovedprosjektet samlet en rekke aktører fra skognæringa på begge sider av grensen.

Norske partnere i prosjektet	Svenske partnere i prosjektet
Statsforvalteren i Nord- og Sør-trøndelag	Skogsstyrelsen i Jämtland og Västernorrland
Allskog	Trafikkverket
SB Skog	Gällö Skog
Nortømmer	Rödins trä
Woodworks!/Skognæringa i Trøndelag	Fria skog
Maskinentreprenørenes forbund	SCA
Statskog	Skogforsk
Skogkurs	
NiBIO	
Trøndelag fylkeskommune	

Hovedprosjektet har hatt tre fokusområder hvor et mildere klima vil kreve klimatilpassing: Skogsdrift i bratt terreng, skogsdrift på bæresvak mark og skogsbilveger. Målsettingen var å løfte fram tiltak og tilpassinger som det utøvende skogbruket i regionen må eller kan gjøre for å tilpasse seg et varmere og våtere klima. En like viktig målsetting var å øke utveksling av eksisterende kunnskap som aktørene sitter på. Kunnskapsutveksling skulle skje over grensen, samt mellom skogsaktører og organisasjoner i Sverige og i Norge. Dette har skjedd gjennom fagdager, seminarer og andre samlinger i begge land dels med deltakelse fra begge nasjoner.

Med bakgrunn i målet om kunnskapsutveksling var det naturlig å initiere en kunnskaps-sammenstilling som gir et overblikk over relevant kunnskap, verktøy og metoder både i Norge og Sverige, og som vil være praktisk nyttig for det utøvende skogbruket. Denne rapporten sammenfatter kunnskapsfronten for de driftstekniske utfordringene knyttet til transport av virke i terrenget og på skogsvei i et varmere og våtere klima.

Rapporten er utarbeidet av medarbeidere i NIBIO, Skogforsk og Skogkurs, i samarbeid med Skogsstyrelsen i Jämtland / Västernorrland og Statsforvalteren i Trøndelag.

Steinkjer, 04.07.22

Helmer Belbo

Innhold

1	Innledning.....	6
2	Terrengtransport	7
2.1	Grunnpilarene for skadefri terrengtransport	7
2.1.1	Bæreevne og marktrykk	7
2.1.2	Friksjon og trekkevne	9
2.2	Planlegging av terrengtransport.....	10
2.2.1	Samhandling mellom hogstlag og oppdragsgiver – felles mål	10
2.2.2	Velteplassen	11
2.2.3	Digitale verktøy for terrengklassifisering og som grunnlag for beslutninger	12
2.2.4	Digitale verktøy som beslutningsstøtte for optimalisert terrengtransport	12
2.2.5	Feltbefaring– vurdering av bæreevne	13
2.3	Avvirkning og transport på bæresvak mark.....	14
2.3.1	Økte kjøreskader	14
2.3.2	Arbeidsmetoder	15
2.3.3	Kryssing av partier med dårlig bæreevne.....	16
2.3.4	Kryssing av vassdrag.....	18
2.3.5	Spesialmaskiner (Beltmaskiner, 10-hjulinger, lett maskiner, ..).....	18
2.4	Hogst og transport i bratt terreng	19
2.4.1	Hogstmaskin og lassbærer	19
2.4.2	Gravedrifter	20
2.4.3	Vinsjing av skogsmaskiner.....	21
2.4.4	Taubanedrift.....	23
3	Veitransport.....	24
3.1	Skogsveier i et skogbruk i et endret klima	24
3.1.1	Dess verre vær dess viktigere med vei	24
3.1.2	Tilstanden på skogsveinettet	25
3.1.3	Bæreevne og bæreevneklassifisering.....	26
3.2	Etablering og vedlikehold av skogsveier	28
3.2.1	Veiplanleggeren	28
3.2.2	Etablering av skogsveier	29
3.2.3	Finansiering av skogsvei	29
3.2.4	Organisering av veilag	31
3.2.5	Veivedlikehold	32
3.3	Veistandarder, veinormaler, byggeskikk	32
3.3.1	Veistandarder og veinormaler	32
3.3.2	Utforming av veien.....	34
3.3.3	Vannhåndtering	35
3.3.4	Komprimering	39
3.4	Utviklingstrekk – metoder og teknologier innen veibyggning, veibruk og veivedlikehold	40
3.4.1	Fremtidens behov for bæreevne.....	40
3.4.2	Sanntids monitorering av veienes bæreevne.....	41
3.4.3	STP (Surfacing Thickness Program)	41
3.4.4	Road-doctor	42

3.4.5 Dekktrykkregulering	42
4 Kurs og kompetanseutvikling	44
5 Klimaprognoser og driftsforholdene for skogbruket i Trøndelag, Jämtland og Västernorrland	45
Litteratur	46

1 Innledning

Mildere og kortere vintre gjør at man snart nesten kan se bort fra «vinterdrift» for å unngå kjøreskader i skogbruket. Mer nedbør og økt vanninnhold i løsmassene svekker både bæreevnen i skogbunnen og fremkommeligheten i bratt terreng. Det blir derfor både vanskeligere å unngå sporskader og jordpakking, og større risiko for erosjon som følge av disse sporskadene. Bæreevnen i skogsbilveiene svekkes i lengre perioder enn før, noe som øker risikoen for kjøreskader i veiene. Større vannmengder i grøfter og bekker øker risikoen for at skogsveiene kan utløse erosjon og ras.

Samtidig øker kravene til at skogbruk skal utøves miljøvennlig og skånsomt for natur og vassdrag. Skogens betydning som vern mot ulike naturskader for infrastruktur og bebyggelse har også fått økt oppmerksomhet de senere år. Skogeiers ansvar for å ivareta miljøverdiene er nedfelt både i den Norske Skogbruksloven og i skogstandardene (PEFC og FSC).

Disse problemstillingene er godt kjent, og mange prosjekter og initiativer har utforsket muligheter for bruk av ny teknologi, maskindesign og nye arbeidsmetoder for å imøtekomme en ny arbeidshverdag. Denne rapporten tar for seg både kunnskapsfronten for ulike tema samt kurs og kompetansehevende tilbud som finnes rundt dette.

Kapittel én (dette kapitlet) setter perspektivet og berammer innholdet i rapporten.

Andre kapittel omhandler arbeidsmetoder, tiltak og teknologier for skånsom drift under forskjellige driftsforhold. Nye løsninger har gitt maskiner med et marktrykk ned mot 1/4 av hva som tidligere var standard for skogsmaskiner. Digital beslutningsstøtte og smarte arbeidsmetoder gir vesentlig mindre terrengtransport på bæresvake partier. Gode rutiner bidrar også til at man kan unngå tilslamming av vann og bekker i forbindelse med skogsdrift. Nye metoder og ny teknologi for drift i bratt terreng har flyttet «grensen» for hjulgående maskiner fra 30-35 % helling til 70-90 % helling.

Tredje kapittel omhandler skogsveier. Selv om nye løsninger gjør terrengtransport mer skånsomt, blir det også ofte enda mer kostbart. Layout og tilstand på veisystemet vil trolig derfor ha enda større betydning for skogens tilgjengelighet, økonomi og miljøfotavtrykk i årene som kommer.

I fjerde kapittel viser vi til relevante kurs og utdanningstilbud for aktører i skognæringa.

Femte kapittel fokuserer mer på bakenforliggende klimaprognooser som tvinger fram nye løsninger for skognæringa.

2 Terrengtransport

2.1 Grunnpilarene for skadefri terrengtransport

Frømmeligheten til en terrengmaskin, og kjøreskadene etter terrengtransport, bestemmes av underlagets bæreevne, kjøretøyets marktrykk og friksjonen mellom maskin og underlag.

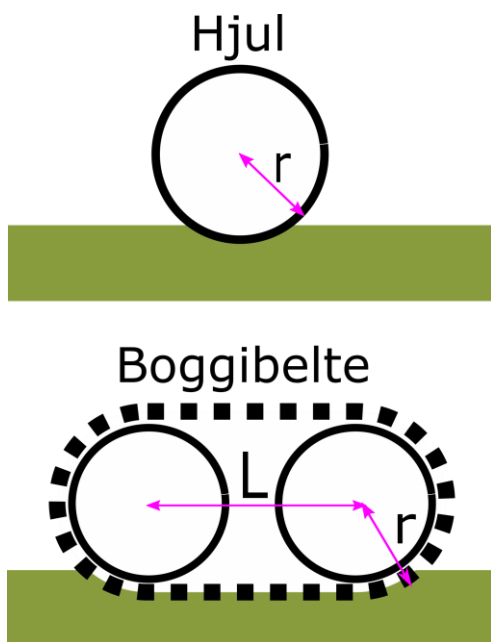
2.1.1 Bæreevne og marktrykk

Bæreevne er en karakteristikk av terreng (og veier), og angir underlagets evne til å tåle belastning uten at det blir store deformasjoner og kjørespor (Pirnazarov et al., 2012; Saarilahti, 2002b). Selv om definisjonen fremstår enkel er det ikke lett å angi en bæreevne for en gitt flekk på moder jord. Jo større deformasjoner man aksepterer, jo større blir på en måte bæreevnen. Jo fuktigere jorden er, jo lavere blir bæreevnen. Jo flere overfarter, jo dypere kjørespor; bæreevnen kan være tilstrekkelig for en overfart, men ikke for flere. Hvilke deformasjoner skal aksepteres? Hvilken jordfuktighet skal man angi bæreevnen for? Hvor mange overfarter?

Bæreevnen bestemmes av jordens tekstur (jordart, kornfordeling), armering (steiner, røtter) og jordfuktighet. Selv om sammenhengene er godt kjent i både teori og praksis, er det fortsatt ingen som har kommet fram til en enkel måte å «regne ut» bæreevne. Den som vil fordype seg i modellering av jordstyrke, bæreevne og kjøreskader kan lese seg skakk. Rapporten «Soil interaction model» av Saarilahti (2002b) summerer opp 8 rapporter og tre programvaremanualer utarbeidet i et større Finsk prosjekt for å minske kjøreskadene i sårbare områder. Pirnazarov et al (2012) sammenlignet 20 modeller for marktrykk og 8 modeller for spordybdeutvikling med målte resultater for en lassbærer, og konkluderte med at mer data og målinger ville behøves for å kunne lande på hvilke modeller og parametere som vil være best egnet. Pohjankukka et al (2016) testet bruk av maskinlæring for å predikere bæreevne og jordens penetrasjonsmotstand. Metoden fungerte for å predikere disse egenskapene om det foreligger målinger innen en radius på 40 meter, noe som var litt skuffende tatt i betraktning alle data som var tilgjengelige for modellering. Her var også konklusjonen at mer og bedre data, og at en bedre bakkefasit for å kalibrere modellen trolig ville kunne gjøre metoden bedre.

Siden bæreevne er så vanskelig å spå er det vanligere med feltbefaringer hvor bæreevne angis i klasser, som indikerer enten hvor «god» bæreevnen er eller hvilken trafikk som tåles uten uakseptable kjøreskader. I det svenske systemet for terrengklassifisering (S. Berg, 1992) angis grunnforholdene i fem klasser, hvor klasse 1 er meget bra og 5 er meget dårlig bæreevne. I Norge benyttes delvis et opplegg med tre klasser, hvor klasse 1 er egnet til helårs drift (dvs høy bæreevne året rundt). Klasse 2 er egnet til «vanlig sommerdrift» men er dårlig egnet ved mye nedbør. Klasse 3 har dårlig bæreevne, og er egnet kun til vinterdrift på frossen mark (Fønhus et al., 2017). Skogkurs har demonstrert metoden i denne [videoen](#).

Marktrykk er vekten av en maskin fordelt på kontaktarealet mellom maskin og grunn. Siden både dekktrykk, vekt og nedsynking vil variere for en maskin, vil også marktrykket variere. Derfor benyttes **nominelt marktrykk** som en maskinkarakteristikk (på linje med vekt, effekt, osv.) for å indikere hvor stort trykk maskinen vil utøve på underlaget (Malmberg, 1981; Saarilahti, 2002a).



Figur 1. Nominelt marktrykk beregnes ut fra hjullasten (w , ikke tegnet inn), radius (r), akselavstand i boggi (L) og bredden på hjul eller belte (b , ikke tegnet inn)

Nominelt marktrykk (NGP) er et enkelt (og optimistisk) uttrykk for marktrykk og beregnes som følger:

$$NGP_{hjul} = \frac{W}{(b \times r)} \quad (1)$$

$$NGP_{belte} = \frac{W}{b \times (1.25r + L)} \quad (2)$$

Hvor:

NGP er nominelt marktrykk (kPa),

W er hjullasten (kN, dvs tonn per hjul * 9.8),

r er hjulets radius (m)



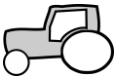



b er bredden på hjul eller belte (m)

L er akselavstanden mellom hjulene i beltet (m).

Formlene for NGP (1 og 2) forutsetter en nedsynkning på 13 % av hjulenes radius (6% av diameter), og for belter i tillegg at trykket er jevnt fordelt på hele kontaktflaten. For skogsmaskiner innebærer dette en nedsynkning på ca. 5 - 10 cm. NGP er altså en egenskap til maskinen, og brukes for å sammenligne ulike maskiner og effekten av ulike valg av hjul og belter. Det finnes også en rekke andre formler for å beregne marktrykket av en maskin, felles for dem er at de stort sett kommer fram til høyere marktrykk enn NGP og at de krever flere parametere i beregningene (Saarilahti, 2002b).

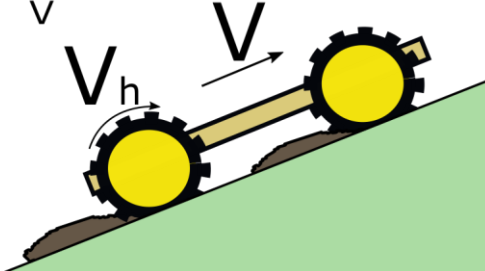
Nominelt marktrykk for en del kjøretøy er vist i tabell 1. En fullastet lassbærer på standard hjuloppsett vil ha et nominelt marktrykk under bakakselen på ca. 100 kPa (Nordfjell et al., 2019). Belter på bakboggien reduserer NGP med 30-40 %, til 60 – 70 kPa (McEwan et al., 2013, s. 37). Lassbærere i Norden går normalt med belter på bakvogna. Ponsse's 10 hjuls lassbærerkonsept ble utviklet i 2007 med tanke på skogsdrift i myrområder (Ponsse, u.å.). Med flytebelter hadde denne et nominelt marktrykk på 23 kPa på bakvogna med fullt lass, mens tilsvarende 8 hjuls lassbærer (også med flytebelter) hadde NGP på 35 kPa (Ala-Ilomäki et al., 2011). Med flytebelter og ekstra aksling kan dermed NGP reduseres med 45 – 65 % i forhold til dagens normaloppsett.

Tabell 1. Marktrykk av forskjellige doninger

Illustrasjon	Ekvipasje	Nominelt Marktrykk (NGP)
	Lassbærer fullastet, std hjul	100 kPa
	Hågglund BV 206. 6,3 t fullastet	14 kPa
	4 t bakakselvekt, hjuldim 650/60R38 (Ø 174 cm)	34 kPa
	Lassbærer fullastet, standard belter	60 – 70 kPa
	Lassbærer fullastet, flytebelter	35 - 40 kPa
	Lassbærer 10W, flytebelter	23 kPa

2.1.2 Friksjon og trekkevne

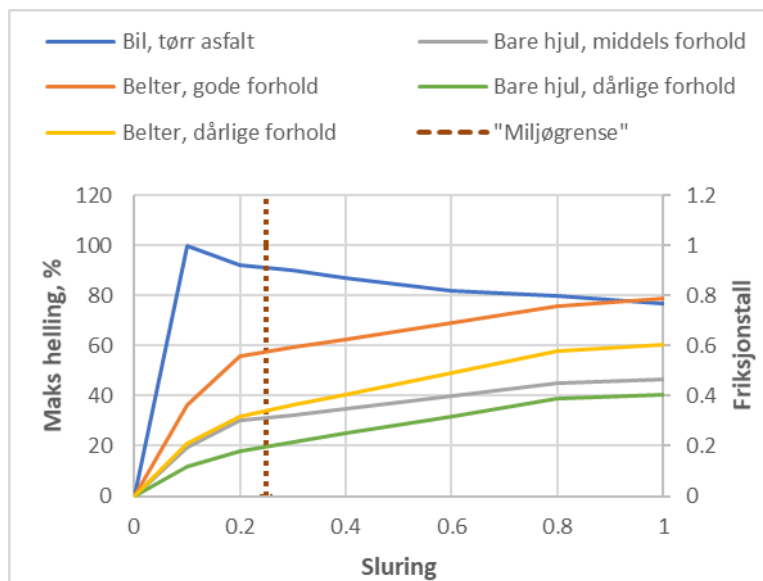
Friksjon mellom maskin og underlag er det som gir trekkevne til en maskin. Friksjonstallet, multiplisert med tyngden til maskinen, angir den maksimale trekkeeffekten maskinen kan oppnå. For å forstå friksjon for en terrengmaskin må man også forstå sluring (også kalt slipp og hjulspinn). Sluring er den relative forskjellen mellom hjulbanens hastighet og maskinens hastighet (figur 2). Når hjulbanen og maskinen har samme hastighet er det ingen sluring. Men om maskinen skal trekke eller bremse så vil den ha en viss forskjell mellom hjulbanehastighet og maskinhastighet, så da er det altså en viss sluring.

$$\text{Sluring} = \frac{(V_h - V)}{V}$$


Figur 2. Slipp er forskjellen mellom hjulbanens hastighet (V_h) og maskinens hastighet V .

Figur 3 viser hvordan friksjonstallet påvirkes av driftsforhold og hjulutrustning. For terrengmaskiner øker friksjonen (og dermed trekkeeffekten) raskt til ca 50% av maks oppnåelig trekkeeffekt når sluringen øker fra 0 til ca 20% (se figur 3). (Hittenbeck, 2013). Trekkeeffekten øker med økende sluring, men sluring utover 100% gir ingen ekstra trekkeeffekt. Friksjonstallet og den maksimalt kjørbare helling er to sider av

samme sak (Hittenbeck, 2013). Derfor vil en trekkevne-måling fortelle hvor bratt vi kan klive, på samme vis som en «klatre-evne-måling» vil gi friksjonstallet til svar.



Figur 3. Figuren viser forholdet mellom sluring og trekke-kraft ved forskjellige grunnforhold. Økt sluring gir økt friksjon og trekke-kraft, inntil en når ca 100% sluring. Friksjonstall og hellingsgrense er to sider av samme sak. Data hentet fra Hittenbeck (2013) og Balkwill (2018)

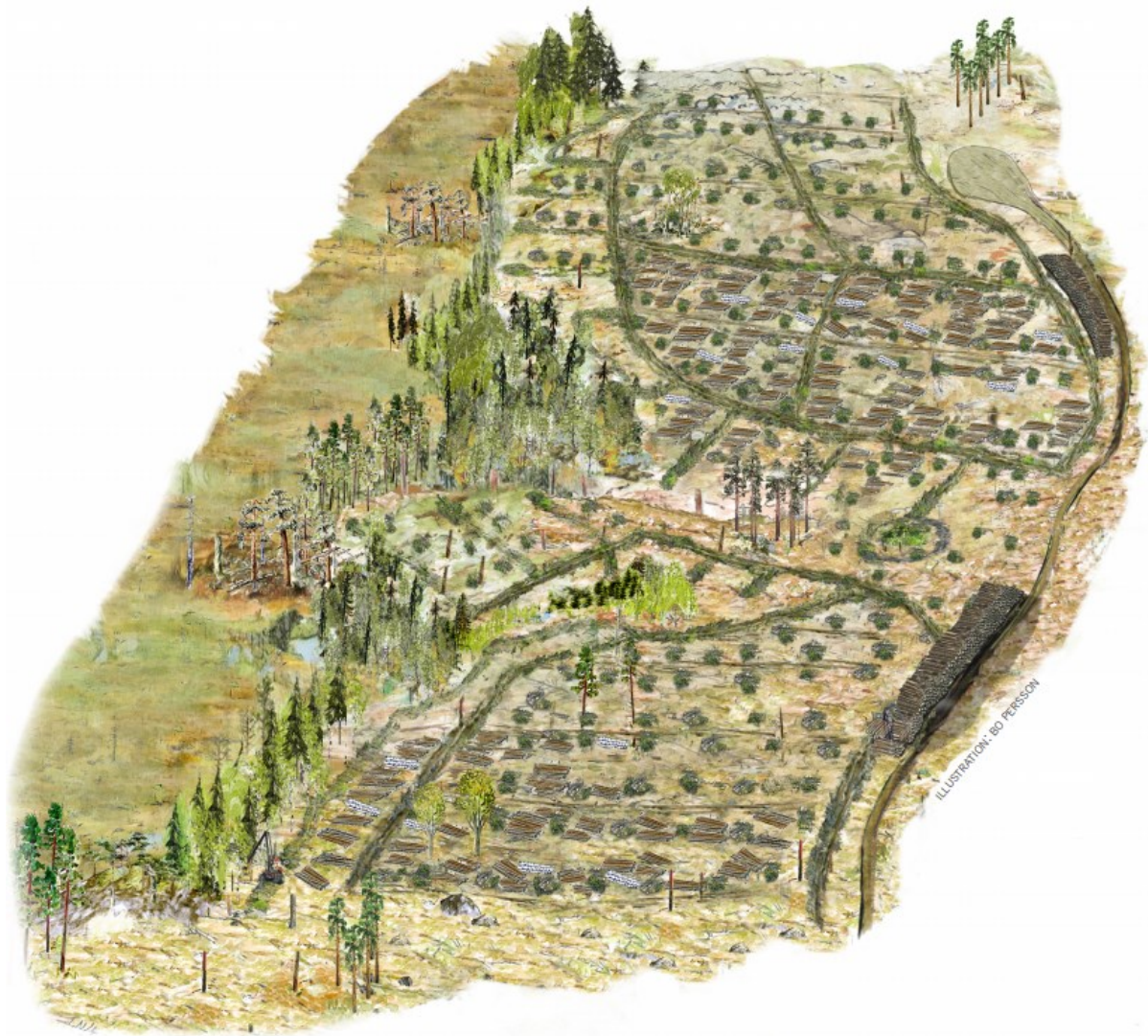
En sluring på 25% er ansett som en øvre akseptabel grense med tanke på å bevare jordstrukturen (Hittenbek 2013). Ved ideelle forhold (tørr jord med god friksjon) og med bra belter eller kjettinger kan skogsmaskiner med inntil 25% sluring klive i opptil 60% helling (Figur 3). Mens ved dårlige forhold, dvs. høy jordfuktighet, svak jordstruktur og på bare hjul vil den ikke kunne klive mer enn 17% helling. I Norge blir terreng med helling over 35 – 40 % helling ansett som taubaneterreng, og figur 3 illustrerer godt grunnen for det. Maskiner påmontert belter på dårlige grunnforhold med inntil 30 % sluring kan klive i opptil 35 % helling.

2.2 Planlegging av terrengtransport

2.2.1 Samhandling mellom hogstlag og oppdragsgiver – felles mål

I den Svenske skogsektoren utarbeides felles målsettinger for miljøhensyn av en egen «Samarbeidsgruppe for forvaltning av målbilder for gode miljøhensyn» (Skogsstyrelsen, 2021). Målbildene utvikles stadig, og tilpasses lokale forhold og gjeldende lovverk.

Tekniske hjelpemidler, god planlegging og riktig valg av utstyr er svært viktig for å kunne utføre arbeidet på en skånsom og lønnsom måte. Like viktig er personalets ferdigheter, vilje og motivasjon til å lykkes. God og tydelig kommunikasjon innad i arbeidslaget kan ofte bidra til å redusere risikoen for terrengskader. Å ha et felles mål er en viktig forutsetning og hogstlagene som anses å være best på denne type oppgaver kjennetegnes som regel av at oppdragsgivere, hogstmaskiner og lassbærere har en god dialog, respekt for hverandres arbeid og at de ofte planlegger hogstene sammen.



Figur 4. Illustrasjonen viser en tilpasset metode hvor arealet blant annet er oppdelt med flere basveger som barlegges ekstra. GROTen plasseres med tanke på den kommende utkjøringen. Kilde: Skogsstyrelsen

2.2.2 Velteplassen

Velteplassen er et viktig knutepunkt som berører grunneiere, tømmerkjøpere, planleggere, maskinførere og lastebilsjåførere, men også andre trafikanter. Nøye planlegging av velteplassen er viktig for å sikre en trafiksikker og rasjonell virkesflyt. Gode eksempler presenteres i Skogforsks [kunnskapsbank](#) og på [skogskunnskap.se](#). Dersom det finnes gode kart for veier og helling, samt andre hindringer (vassdrag, kraftledninger, bygninger), finnes det metoder for å identifisere steder som kan fungere som velteplass langs veiene (Friberg & Davidsson, 2018). Vegklassen bestemmer hvilke bestemmelser som gjelder (Trafikverket & Skogforsk, 2000) og dette må hensyntas ved planlegging av både terreng- og veitransport. Området nærmest velteplassen er ofte sterkt trafikkert av lastbæreren og det er derfor spesielt viktig å sørge for at grunnen har tilstrekkelig bæreevne i den perioden arbeidet utføres. Så langt det er mulig forsøkes det å unngå velteplasser som kan forstyrre trafikken på offentlig vei (se for eksempel figur 21).

2.2.3 Digitale verktøy for terrengklassifisering og som grunnlag for beslutninger

GIS-basert beslutningsstøtte for aktiviteter i skogbruket har blitt utviklet siden 1980-tallet (T. W. Reisinger & C. J. Davis, 1986). Terrengkart basert på laserdata har nå en nøyaktighet og tilgjengelighet som gjør at verktøy kan utvikles og gjøres allment tilgjengelig til ganske lave kostnader. Nasjonale laserskanninger har en punktetthet på 2 eller flere punkter per m² (Kartverket, 2019). I tillegg til tettere høydekurver kan de også brukes til å beskrive overflatestruktur og mikrotopografi (Brubaker et al., 2013), og det finnes nå flere metoder for å beregne markfuktighet i form av markfuktighetskart (Lidberg et al., 2020).

Markfuktighetskart kan gi viktig informasjon om hvor og hvordan traseene bør ligge innenfor et hogstområde. De fleste skogaktører i dag bruker dette i en eller annen form. I Sverige finnes verktøyet blant Skogsstyrelsens karttjenester for grunnleggende skogdata. I Norge er tilsvarende tilgjengelig i Nibios kartportal «Kilden».

Informasjonen som ligger i markfuktighetskartene gjør det lettere å unngå eller forutse en god del kjøreskader. Karlegginger viser at over 60 prosent av alle registrerte kjørespor ligger i de fuktige og våte områdene i markfuktighetskartene (Bergkvist et al., 2014; Friberg & Bergkvist, 2016; Heppelmann et al., 2022). Markfuktighetskartene brukes med fordel både i planlegging før feltbefaring og i maskinene på stedet, men det understrekes at kartene ikke alltid er helt nøyaktige. Under gode drenerte jordforhold, kan kartet gi inntrykk av at jorden er fuktigere enn den egentlig er. Det kan også være motsatt og at det finnes fuktige områder som ikke vises på kartet. Kartmaterialet er ofte grunnleggende for hvordan hogst og kjøring planlegges og hvilke metoder som skal brukes.

Markfuktighetskart er nyttige ved at

- Fuktige områder kan oppdages og terrengtransport kan planlegges utenom disse områdene for å unngå kjøreskader.
- Egnede passasjer over fuktig mark kan relativt enkelt påvises med markfuktighetskartet.
- Høyreliggende områder i terrenget hvor man kan legge basveier kan påvises med digitale terrengmodeller og markfuktighetskart.

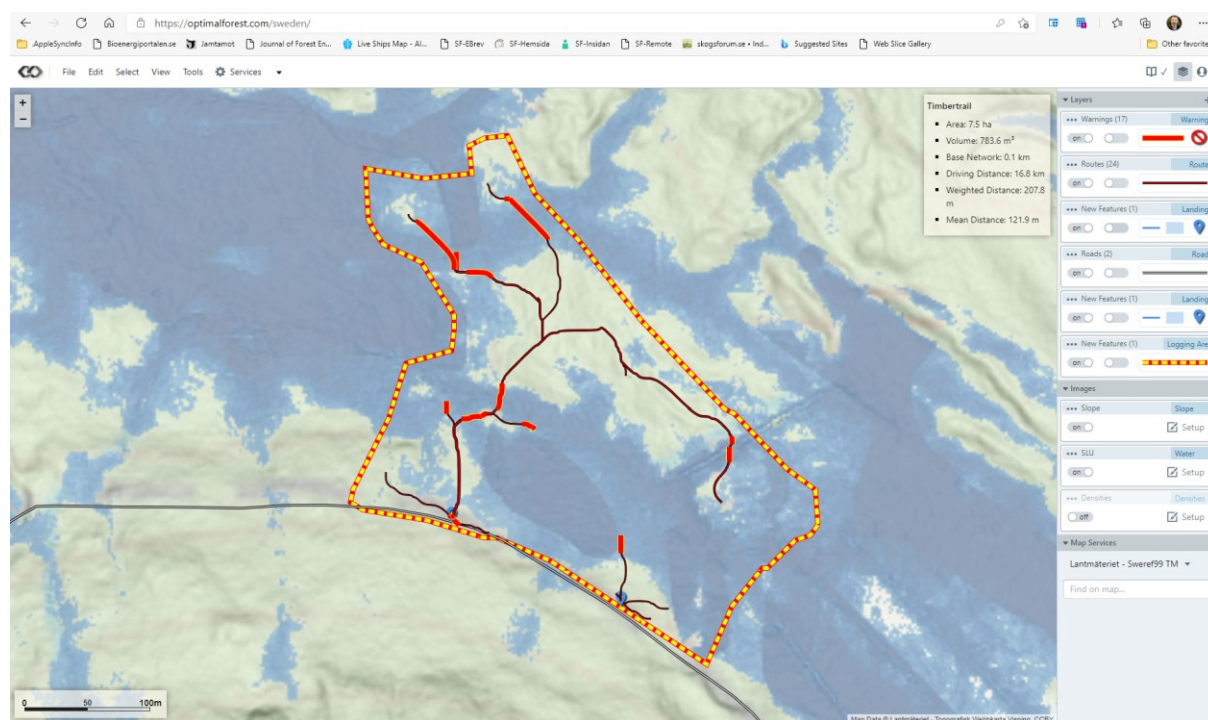
Selv om utviklingen har kommet langt, kan vi fortsatt forvente en kontinuerlig forbedring av digital beslutningsstøtte. Markfuktighetskart er fortsatt statiske, mens faktisk jordfuktighet varierer med vær og årstid. Dynamiske markfuktighetskart, som kobler terreng, værhistorikk og værmeldinger for beslutningsstøtte, er sannsynligvis neste utviklingstrinn. Koblinger til kvikkleirekart og andre risikokart kan gi bedre beslutningsstøtte for fremkommelighet og risiko ved terrengtransport.

2.2.4 Digitale verktøy som beslutningsstøtte for optimalisert terrengtransport

Terrengmodeller og markfuktighetskart er gode hjelpemiddel i planleggingen, og kan brukes i algoritmer / verktøy som foreslår kjøretraseer i terrenget. For å finne optimale løsninger må slike verktøy ta hensyn til transportavstander, mulige velteplasser og variasjon i bestokning innen et område. Det finnes flere verktøy og de fungerer i prinsippet med samme inndata. Siden 2015 har Skogforsk utviklet et av disse verktøyene kalt Bestway (Willén et al., 2017).

Bestway genererer et basvegforslag basert på en optimaliseringsmodell som minimerer total kjøreavstand i bestandet og hensyntar terreng, bestokning, velteplass og andre eventuelle krav eller hinder. Inndata for optimaliseringsmodellen består av digital terrengmodell, markfuktighetskart og volumkart. Informasjonen kan suppleres med informasjon om fordeling av bestandene, natur- og kulturhensyn og eventuelle obligatoriske kryssinger i terrenget (Willén et al., 2017).

Basvegforslagene fra Bestway er evaluert på en rekke hogstflater. Erfaring viser at forslag til basveger verdsettes av både planleggere og hogstlag. Spesielt gjelder dette forslag til veger til de innerste delene av et hogstområde.



Figur 5. viser forslag til egnede basveger. Forslaget er basert på terrengmodeller, markfuktighetskart og bestokning. Forslaget kommer fra programmet Timbertrail, som også markerer vegstrekninger med høy risiko for terrengskader med rødt i bildet. I programmet kan du manuelt legge til såkalte NoGo-soner eller egne forslag til kryssinger. Skjermdump: Thomas Johannesson, Skogforsk.

2.2.5 Feltbefaring– vurdering av bæreevne

Uavhengig av hvilken beslutningsstøtte og hvilken digital informasjon som er tilgjengelig, krever planleggingsarbeid på bæresvak mark en skikkelig feltbefaring. Beslutningsstøtte gjør denne jobben lettere, men erstatter den ikke.

For å kunne gjøre gode vurderinger i felt kreves det kompetanse og forståelse for både maskinarbeidet, maskinenes ytelse og terrengforholdene. I boken *Klassning av bærighet – optimal tilgjengelighet med rätt metode* (Persson, 2019) beskriver forfatteren de viktigste parameterne man må kjenne til for å kunne bestemme forskjellen mellom "bæreevne" og "tilgjengelighet". Enkelt sagt mener han at bæreevnen bestemmes ut fra:

- Tekstur, dvs. jordsammensetning.
- Jordarmering i form av steiner og blokker.

Disse parameterne må senere vurderes nøye for å kunne fastslå tilgjengeligheten av et område som er bestemt ut fra kjørevegens mulige bæreevne. Man må vurdere bæreevneøkende tiltak som f.eks. barlegging og utnyttelse av høydedrag, men samtidig må det tas hensyn til jordas vannmetning og variasjoner i grunnvannstand. Bruk av jordspyd i forbindelse med hogstplanlegging er viktig for å få kunnskapen om de rådende forhold.

2.3 Avvirkning og transport på bæresvak mark.

2.3.1 Økte kjøreskader



Figur 6. Lassbærerspor i bratt terreng kan fort bli til nye vannveier. Dette øker risikoen for erosjon, og om vannveiene begynner å grave i løsmasser kan det også gi større ødeleggelser lengre nedstrøms. Foto: Johannes Enersen, Romeriks almenningene.

I 2009 tok aktører i den svenske skogsindustrien et bredt initiativ for å minske kjøreskader. I 2010 la arbeidsgruppen fram en rapport om temaet (R. Berg et al., 2010) som senere førte til en bransjedekkende policy mot kjøreskader (*Branchgemensam Miljöpolicy*, 2013).

Ved hjelp av god planlegging kan man i ni tilfeller av ti unngå å kjøre i eller ved vassdrag, og i tilfeller hvor det er påkrevde kryssinger kan disse skje uten skade ved hjelp av ulike tekniske og digitale hjelpemidler. I mars 2017 publiserte Skogforsk filmen «Sporløs» og seks tilhørende fordypningsfilmer samt en engelskspråklig versjon i sin YouTube-kanal. Én film var såpass lang (28 minutter) at den ble delt opp i 7 deler og publisert i spillelisten "Spårlös" i Skogskunnskap's youtubekanal. Dette var et så inspirerende tiltak at en lignende serie, «Sporløs kjøring», ble lansert i Norge på Skogkurs sin youtube-kanal året etter. I filmene demonstreres en rekke prinsipper og teknikker for skånsom terrengkjøring. Filmene er tilgjengelige på følgende lenker for hhv [Skogforsk](#), [Skogskunnskap](#) og [Skogkurs](#)

2.3.2 Arbeidsmetoder

Det er viktig å planlegge på forhånd og ha en strategi for hvordan arbeidet skal utføres. De aller fleste områder har delområder med varierende skog- og jordforhold, derfor er det ofte viktig å tilpasse og kombinere arbeidsmetodene til de rådende forhold.

Det finnes flere varianter og navn for ulike arbeidsmetoder, men tre er felles (Friberg & Bergkvist, 2016) kan beskrives som følger:

- Basveg – kjøretrasé i hogstområdet som maskinene starter fra under hogstarbeidet. Denne plasseres på et stabilt underlag med stor bæreevne og leder sentralt inn i området slik at man kan få tilgang til en stor del av virke via denne.
- Spøkslag (figur 7) – kjøretrasé i eller langs bæresvake områder hvor kun hogstmaskinen kan nå. Hogstmaskinen jobber slik at tømmeret legges tilgjengelig for lassbæreren fra nærliggende kjøretrasé, som ligger lengre unna det bæresvake området. Den bæresvake marka blir dermed ikke belastet med tunge lass. Med spøkslag kan virke flyttes ca 20 meter mot fastmark.



Figur 7. Illustrasjonen viser en kjøretrasé som bør brukes ved felling i nærheten av vann. Fordi både hogst og lassbærer bruker hele kranens rekkevidde, kan lassbæreren gå langt fra den våte kantsonen. I dette eksemplet kan lassbæreren kjøre på fastmark. Dette forhindrer kjøreskader. Kilde: Skogsstyrelsen

- Ryggeskår - en kjøretrasé som fører inn til bæresvake områder. Lassbæreren rygger langs baksporet uten last i lasterommet. Vel fremme i det utsatte området har lassbæreren rett utkjøring og laster på veg ut. På denne måten foregår det ingen kjøring med full last over utsatte områder. Maskinen er relativt lett ved rygging og blir så gradvis tyngre på vei ut samtidig som markas bæreevne øker.

2.3.3 Kryssing av partier med dårlig bæreevne

Med en grundig planlegging av vegsystemene innenfor et hogstområde er det også mulig å planlegge hvordan og hvor enkelte strekninger må barlegges for å øke bæreevnen. Hvordan dette kan gjennomføres er bestemt av skogforholdene. Grunnregelen er å alltid barlegge hvor man uten barlegging vil risikere kjøreskader. Jo større risiko, jo mer og grovve materiale må brukes for å beskytte marka. Hvordan barlegging skjer og hvor mye materiale som brukes har en klar innvirkning på effekten (Eliasson & Wästerlund, 2007; Poltorak et al., 2018). Boggiebelter med stort lass har også en utrolig evne til å grave i svinger, spesielt i bakker. Et prinsipp er derfor å unngå svinger, spesielt med full last i eller nedenfor hellinger.

Å beskrive "best practice" for barlegging er vanskelig fordi man må ta hensyn til flere ulike faktorer:

- Markas bæreevne
- Antall passeringer
- Maskinenens totalvekt ved passering
- Tillgjengelig bar, greiner og topper.
- Eventuell tilgang på grovere virke

Selv om man har gjort tiltak for å øke bæreevnen må man forsikre seg mot at vann ikke drar med seg finkornet materiale (slam) til nærliggende vassdrag dersom det allikevel oppstår en kjøreskade.



Figur 8. Noen steder er det generelt dårlig bæreevne. Det finnes en rekke aktuelle tiltak for å hindre slike kjøreskader. Her må traseen restaureres etter endt drift. Foto: Johannes Enersen, *Romeriks Allmenningene*.

Ulike metoder hvor hogstmaskinen kan gjøre tiltak:

- Lett barlegging. Hogstmaskinen opparbeider virke vinkelrett foran seg slik at greiner og topper danner en armeringsmatte foran maskinen. Toppene kan med fordel krysses litt foran maskinen og bar legges oppå. Dette gir et sterkere underlag enn om toppene legges vinkelrett på kjørefeltet. Metoden innebærer ingen eller kun et marginalt tap av virke.
- Forsterket barleggingen. Hogstmaskinen bruker grovere dimensjoner og forsterker barmatten med lange topper. Metoden innebærer et visst tap av rundvirke i massevirkesortimentene.
- Kavellegging over korte avstander. Hogstmaskinen legger rundvirke som bærematte i bunnen og greiner og topper oppå tømmeret. Denne metoden fungerer ofte bra selv på veldig fuktig jord, men innebærer et inntektstap i form av tappt volum av rundvirke.

Ulike metoder hvor lassbæreren kan gjøre tiltak:

- Tilkjøring av greiner bar og topper. Metoden brukes som et supplement til barlegging som hogstmaskinen allerede har gjort. Metoden innebærer tilkjøring av greiner og topper fra nærområdet til de partiene som trenger ekstra forsterkning. Metoden innebærer ekstraarbeid og en merkostnad. Arbeidet tilrettelegges ved at hogstmaskinen legger opp barhauger i nærområdet. Disse haugene kan da relativt enkelt flyttes til stedet som skal forsterkes.
- Stokkmatter. Det er flere produsenter på markedet som leverer ulike typer transportable matter. Disse består av sammenføyde trebjelker og har en lengde på ca 5,5 meter, en bredde på ca 0,9 m.
- Kavling over lengre strekninger. Kavlet dekkes med bar for å beskytte virke. Metoden innebærer en merkostnad for arbeidet og noe tap av virke, men gir god bæreevne over svake partier.

- Alle disse metodene er demonstrert i ”spårlös”- filmene på youtube.

2.3.4 Kryssing av vassdrag

I noen tilfeller er det uunngåelig å krysse bekker. Ved disse kryssingene må det planlegges svært nøye og kryssningene skal tilrettelegges uten fare for å forstyrre eller forurene vassdragene.

En effektiv måte å krysse vassdrag til en rimelig pris er å bygge bruer av tømmer (Fodgestam & Bergkvist, 2012; Persson, 2013). I forsøk er slike bruer bygd på ca 25 minutter, og et materialforbruk på ca 2 m³ sagtømmer, 5 m³ massevirke og 5 m³ bar. Det finnes også flyttbare bruer i flere utførelser. Det kan være stålbruer eller trebruer som flyttes av lassbæreren. For eksempel har Rennebubjelken AS et konsept for broer i tre (Rennebu-Bjelken AS, 2017). Rennebu-Bjelkens flyttbare bro har en spennvidde på 7-8 meter, veier 5 ton og tåler 60 tonn totalvekt. Hultdin hadde en prototyp av en stålbru for testing rundt 2007 (Mattsson, 2007). En ulempe med de flyttbare bruene er investeringskostnaden (Rennebu-broen koster ca 235000,- NOK), en annen er logistikken med å transportere riktig bro til riktig avvikning til rett tid. Midlertidige broer bygges vanligvis ved hjelp av tømmer på stedet. Samtidig kan flyttbare bruer være løsningen dersom spennet blir for stort for en tømmerbru.

Dersom det er et vassdrag som skal krysses gjentatte ganger i flere år kan det være bedre å bygge en vei med en permanent kulvert eller bru som lar bunnen være fri (Fodgestam & Bergkvist, 2012).

2.3.5 Spesialmaskiner (Beltemaskiner, 10-hjulinger, lett maskiner, ..)

Det finnes en rekke ulike konsepter på markedet for å løse terrengtransport på bæresvak mark. Disse konseptene kan fungere godt under noen forhold, men kan ha ulemper under andre forhold, for eksempel blokkmark og bratt terreng. En analyse fra Skogforsk viser imidlertid at for eksempel OnTrack, som var en prototype lassbærer på gummibelter, vil fungere godt på 2/3 av den svenske skogsmarken (Björheden, 2016; Sverker & Björheden, 2018).

Det er to hovedspor i utviklingen av maskiner for bæresvak mark. Enten etterstreber man å redusere marktrykket med større / flere hjul, eller så etterstrebes lavest mulig totalvekt.

Stor kontaktflate

Lassbærerne har flere og bredere hjul nå enn før. Dette sammen med ulike typer brede belter gir en forbedret bæreevne. Noen maskinprodusenter tilbyr nå også en lengre bak-boggi. En Ponsse Buffalo lassbærer har for eksempel en lastekapasitet på 15 tonn. Bakvogna kan ha en standard boggi med 150 cm akselavstand eller lang boggi med ca 189 cm akselavstand. Kjører denne på 710 mm brede dekk vil boggibeltene til denne lassbæreren ha en standardbredde på 70-85 cm, men den kan også utstyres med belter med en bredde på opptil 107 cm. Lang boggi senker marktrykket med 14 %, mens de bredere beltene senker det med ytterligere 25 % sammenlignet med konvensjonell boggi og belte.

Et alternativ er å utstyre lassbærerne med en ekstra hjulaksel. Siden 2007 har Ponsse hatt 10-hjuls maskiner i sitt sortiment. Med trippelboggi og flytebelter kan marktrykket reduseres til 1/3 av marktrykket med standard hjul og boggibelte. Et par med 95 cm brede flytebelter for lang boggi har en listepriis på 110 000 SEK (EcoTrack prisliste 2019). En ekstra aksel på Ponsse 10w lassbærere koster ca 230 000 NOK og boggibelte for denne 150 000 SEK (EcoTrack prisliste 2019).

Utviklingen stopper ikke i dag. Utviklingsprosjektet [Forwarder2020](#) har blant annet som mål å utvikle en boggiaksel med tre drivhjul (som kontrast til ponsse's ekstrahjul som ikke har drift). Ulike konsepter hvor man bytter ut boggi med stål- eller gummibelte («gravemaskinunderstell»), såkalte beltegående maskiner, er også tilgjengelig på markedet. Den tidligere omtalte OnTrack ble sammenlignet med 8- og 10-hjuls konkurrenter. Testene viser at OnTrack, som har større kontaktflate med underlaget, også gir færre eller grunnere spordybder på bæresvak mark.

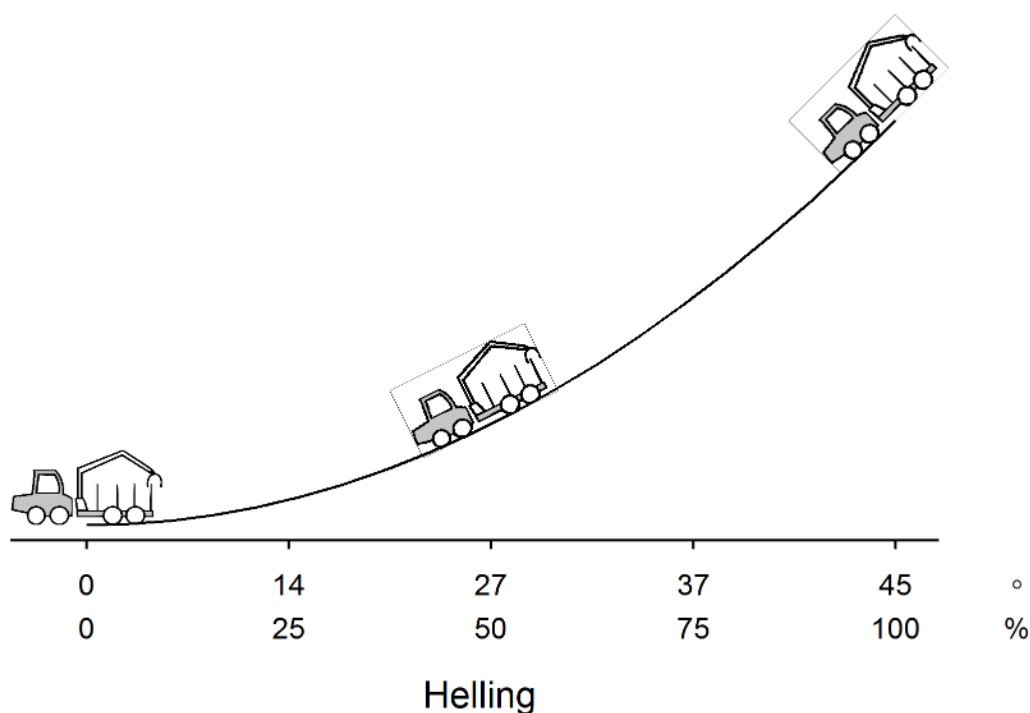
Lette ekvipasjer

Det finnes et stort antall ulike maskiner i de mindre vektclassene. De har en fordel i forhold til de større og tynge maskinene når det gjelder kjøreskader, men gir høyere driftskostnader (Gustavsson, 2017). Til tross for dette, er det en viss interesse særlig blant egenaktive skogeiere for å bruke disse nettopp for å redusere kjøreskadene.

2.4 Hogst og transport i bratt terreng

2.4.1 Hogstmaskin og lassbærer

Hogstmaskiner med nivellerende kran og hytte eller førerstol og 8 hjuls chassis kan normalt operere i inntil 45% helling i motbakke og 35% helling i unnabakke (Cavalli & Amishev, 2019, s. 2; McEwan et al., 2013, s. 114). Hogstmaskiner på beltechassis («gravemaskinunderstell») og med tilt på svingkransen kan operere effektivt i helling opp til 60 %, men fungerer langt dårligere i ujevnt terreng enn maskiner med hjul og boggi kombinasjoner (McEwan et al., 2013; Stampfer & Steinmüller, 2001). Konvensjonelle hogstmaskiner spesielt tilpasset bratt terreng finnes også. Silvatec Sleipner var en lang og lavbygget 8wd basismaskin, og med væskefylte hjul var den effektiv i terreng med opptil 50% helling (McEwan et al., 2013). Valmet 911 «snake» var en hogstmaskin med et litt spesielt beltekitt som fungerte godt i opptil 70% helling (Stampfer & Steinmüller, 2001). Utfordringen med alle disse er at lassbæreren ikke klarer å operere i samme helling som disse hogstmaskinene. Lassbærere med 8 hjuls chassis kan normalt operere i inntil 35 % helling. Uten gode belter og kjettinger vil dette reduseres til om lag 25 prosent helling (McEwan et al., 2013).



Figur 9. Helling angitt i prosent og grader, illustrert med lassbærer.

Så lenge terrenget tillater bruk av vanlige skogsmaskiner og driftsmetoder ser det ut til at drift i bratt og kupert terreng gir moderate økninger i tidsforbruk og driftskostnader (Brunberg, 2004, 2007; Eriksson & Lindroos, 2014). I terreng med over ca 35% helling blir det behov for ekstra tiltak i form av manuell felling, gravemaskin eller maskinvinsj for at lassbæreren skal kunne få fram virke som er hogd. Man kunne kanskje forvente å se positiv effekt av å bruke store maskiner i vanskelig terreng, men det var ikke råd å finne litteratur hvor denne sammenhengen har blitt undersøkt.

2.4.2 Gravedrifter

Gravedrift er et driftssystem som har fått en viss utbredelse i bratt terreng i Norge. Metoden innebærer at det bygges enkle driftsveier med gravemaskin underveis i skogsdriften (Lileng, 2009). Maskinene bytter plass etter som det behøves mer graving eller er anledning til mer hogst. Horisontale driftsveier anlegges med en avstand på ca 20 m, slik at hogstmaskin når hele arealet mellom driftsveiene. Ofte er det aktuelt å øke denne avstanden og felle trærne som blir stående igjen med motorsag. Traseene kan bygges på tvers eller diagonalt på li-retningen med inntil 35% stigning. Erosjonsrisikoen øker imidlertid raskt med helling og lengde på vei-segmentene. Driftsveiene kan anlegges i terreng med opptil 75 % helling (Lileng, 2009), og lia må selvsagt ha løsmasser å grave i. Driftsveitettheten blir om lag 450 – 600 meter per hektar (Talbot, 2013).

Metoden innebærer en del venting. I studien til Lileng måtte hogstmaskin vente 43% av arbeidstiden på gravemaskinen. Gravemaskinen brukte 60% av arbeidstiden på graving av traseer og resten på venting eller flytting. Lassbæreren brukte lite tid til venting på de øvrige. Opparbeiding av forhåndsfelte trær tar noe lengre tid enn rotfaste trær, men det blir til gjengjeld mindre ventetid for hogstmaskin og mindre gravearbeid for gravemaskin på dette viset. Lileng's studie viste en prestasjon på ca. 150 m³ per arbeidsskift og ca 50 – 60 % høyere kostnader enn konvensjonell drift. Sammenlignet med taubanedrifter er produksjonen 2-3 ganger høyere per skift og kostnadene ca 40 % lavere (Talbot, 2013).

Oppfølgingsstudier av tidligere drifter indikerer at vegetasjonen etablerer seg raskt i traseene etter gravedrift, men at det også er et potensiale for bedre utforming av driftsveinettet med hensyn til erosjonsfare (Talbot, 2013). Spesielt vil høye skjæringer kunne rase ut, og forgreningspunkter (veikryss) vil kunne demme overflatevann som så renner over krysset og graver med seg løsmasser. Lange bratte veipartier vil også gi vannet høy energi og stor erosjonsevne. God kunnskap om erosjon er derfor viktig om en skal satse på denne driftsformen, sammen med vilje til å utføre etterarbeidene på en god måte.



Figur 10. Drift i bratt terreng med assistanse av gravemaskin. Foto: Martin Bråten, Skogkurs.



Figur 11. Drift i bratt terreng. Her har en graver utarbeidet driftsveier for å gi skogsmaskinene tilgang til tømmeret på en sikker måte. Foto: Martin Bråthen, Skogkurs.

2.4.3 Vinsjing av skogsmaskiner

Det er grep og friksjon mellom maskin og underlag som begrenser hvor bratt skogsmaskiner kan operere (Cavalli & Amishev, 2019). Etter en studie av en lassbærer koblet til vinsjen på en tråkkemaskin for alpinbakker viste at de kunne operere sikkert i hellinger opp til 85% (Bombosch et al., 2003) har metoden fått betydelig oppmerksomhet og kommersiell utvikling de senere år (Cavalli & Amishev, 2019; Ghaffariyan et al., 2012; Sessions et al., 2017).

Terminologien for ulike løsninger for vinsjing av skogsmaskiner er enda ikke satt. Én løsning er vinsjer montert i chassiset under lasterommet på lassbæreren, eller på bakenden av hogstmaskinen. Vinsjen får sin energiforsyning fra skogsmaskinens hydraulikksystem. Ståltauet kobles til et ankerfeste (trær, fjellbolt eller annen maskin) i toppen av lia, og vinsjen styres direkte fra skogsmaskinen. Dette konseptet kan kalles *integreert maskinvinsj*. Mange skogsmaskinprodusenter har nå integreert maskinvinsj i tilbehørssortimentet.



Figur 12. T-winch i Moldetrakten. Foto: Joachim Heppelman, Nibio, oktober 2020

En annen type er vinsjer som står på eget chassis og som kan fjernstyres fra den skogsmaskinen som er koblet til ståltauet. Vinsjenheten vil stå i toppen av lia, mens hogstmaskin og lassbærer kobles til denne når de jobber nedenfor i avvirkningsområdet. Dette konseptet omtales videre som en *autonom vinsj*.

For begge systemene vil skogsmaskinføreren bestemme trekkraften fra vinsjen, mens ut- og innmating styres av skogsmaskinens bevegelser. En fordel med skogsmaskinintegreert vinsj er at wiren «står i ro» i forhold til terrenget. Ulempen er at man må være ved ankerpunktet for å koble fra skogsmaskinen. Autonome vinsjer har den fordelen at de kan jobbe med flere maskiner, og at wiren kan kobles fra skogsmaskinen når som helst.

Mologni et al (2018) undersøkte kreftene som virker i et sånt vinsj-system, i terreng og med maskiner relevant for Nordiske forhold. Vinsjen var montert på en 22 tonns lassbærer med 19 tonn lasteevne. Vinsjen hadde trekk- evne på 90 kN (dvs kan løfte et lodd på drøyt 9 tonn), wiren var 14mm med bruddlast på 211 kN (21 tonn). Studiet varte i 15 (effektive) timer, og i helling opptil 55%. Trekk- kreftene varierte selvsagt mye, men holdt seg under 85 kN (8,6 tonn) gjennom hele studiet og var størst ved kjøring i motbakke (både med og uten lass). Endefestet, om det består av trær og stubber eller andre tunge maskiner, må tåle slike krefter og med en viss sikkerhetsfaktor. For å ivareta sikkerheten heter det fra enkelte hold at en bør holde seg innenfor hellinger hvor maskinen kan stoppe selv om den mister draget fra vinsjen (Mologni et al., 2018, s. 195).

Vinsjing av skogsmaskiner på flatt terreng kan også være aktuelt for å minske kjøreskadene. I et nylig forsøk var bakken for tørr, dvs bæreevnen var for stor, til å gi merkbar forskjell i kjøreskader ved bruk av vinsj (Schönauer et al., 2020). Vi kjenner ikke til at dette er prøvd på grunn med dårlig bæreevne.

Følgende leverandører tilbyr løsninger for vinsjing av skogsmaskiner. [Ecoforst](#) (Australia) produserer «T-winch», som er autonome vinsjer på et radiostyrt beltechassis. [Timberbax](#) (Canada) tilbyr også et konsept med autonom vinsj, men hvor vinsjen monteres på og drives av gravemaskin. [Herzog](#) (Sveits) produserer vinsjer (Synchrowinch) både for montering på skogsmaskiner (først og fremst Ponsse) og for montering som autonome ankermaskiner. [Haas](#) (Tyskland) produserer vinsjer for integrert montering først og fremst på JohnDeere skogsmaskiner. [Komatsu](#) tilbyr egne vinsjer for sine skogsmaskiner. [HSM Forest](#) tilbyr vinsjer under merkevaren «Force Synchro Drive» for integrering på deres skogsmaskiner.

2.4.4 Taubanedrift

Gravedrifter og maskinvinsjer muliggjør skogsdrift med hjulgående maskiner i terreng med opptil 70 - 90 % helling. Men disse systemene har også sine begrensninger; gravemaskiner behøver løsmasser og kan gi uønskede inngrep, mens maskinvinsjer krever at maskinene kommer seg til og fra aktuelle ankerpunk. I terreng med skrenter og berghyller, eller hvor hellingen er over 70-90%, eller hvor skogen står bortenfor hinder (vann, kløfter, skrenter eller lignende), kan dette bli umulig. For skikkelig bratt og kupert terreng vil derfor taubanedrift fortsatt være eneste aktuelle driftsform.

Taubanedrifter er mest rasjonelle om de kan drives med landingsplass på skogsvei. De største banene som er i drift i Norge i dag har en rekkevidde på inntil 800 m. Lange spenn gir imidlertid høye driftskostnader (Holmli, 2014; Samset, 1983; Talbot et al., 2014), og oppsett med mer enn 350 meter vinsjelengde hører derfor til unntakene. Skogsveinettet er derfor nøkkelen og en forutsetning for skogens tilgjengelighet for drift med slikt utstyr (Johnsrud, 2007), og det er ingen teknologiendringer i sikte som vil endre på dette. Det er stadig forbedringer av teknologi og metoder som forenkler hverdagen for taubanelagene. Stort bemanningsbehov per produserte m³ gjør likevel at driftsformen har vesentlig høyere kostnader enn andre driftsformer. Ifølge statistikken i skogfondsdata-basen for 2017 - 2020 så ligger driftskostnaden for taubanedrift i snitt på 312 +/- 40 NOK per m³.

3 Veitransport

3.1 Skogsveier i et skogbruk i et endret klima

3.1.1 Dess verre vær dess viktigere med vei

Tømmertransport med bil på skogsbilvei er anslagsvis 30-40 ganger mer effektivt enn med lassbærer i terrenget. Traktorveier gir, sammenlignet med terrengtransport, 2-3 ganger økt transporthastighet med lassbærer (Brunberg, 2004). Bygging av skogsvei eller traktorvei vil ofte også være eneste mulighet for å komme seg forbi hindringer som myr, vassdrag, berg og skrenter slik at skogressursene blir tilgjengelige. Et velfungerende skogsveinett vil derfor få økt betydning for å kunne nyttiggjøre skogressursene og sikre jevn tømmerforsyning gjennom året.

Dårligere vintre og økende nedbør gir også større krav til byggekvalitet og vedlikehold for å opprettholde god bæreevne i veiene (Hallgren, u.å.). Rapporten [Klimatanpassad vägbyggnadsteknik för skogsbilvägar](#) (Hallgren, u.å.) tar opp momenter som er viktige for å sikre veiene i et nytt klima.

Større nedbørmengder gir økt risiko for at skogsveier anlagt i bratt terreng forårsaker erosjon og løsmasseskred. Dette kan selvsagt ødelegge selve skogsveien, men det kan også forårsake større skred og få store konsekvenser (Fergus et al., 2011). Veinormalene for landbruksveier (først fra 1997, revidert 2013) gir en rekke krav til veiens og dreneringssystemets utforming. Avvik fra veinormalenes krav går igjen der skoglig aktivitet har utløst løsmasseskred (Fergus et al., 2011). Det er også utarbeidet en egen veileder om skogsveier og skredfare, som gir kunnskap om faren for løsmasseskred og forebygging av dette i forbindelse med skogsveier (Fergus et al., 2011).



Figur 13: En skogsbilvei som har rast ut. Foto: Frode Sandersen

Klimaendringene vil trolig også medføre flere og større skogbranner (Reed, 2018). Flere studier påpeker at det er vanskeligere å bekjempe skogbrann i områder uten veinett. Skogsveier gir lettere adkomst for brannbiler og mannskap, samt at veien er et brannhinder i seg selv (Hosseini et al., 2016; Narayanaraj & Wimberly, 2011).

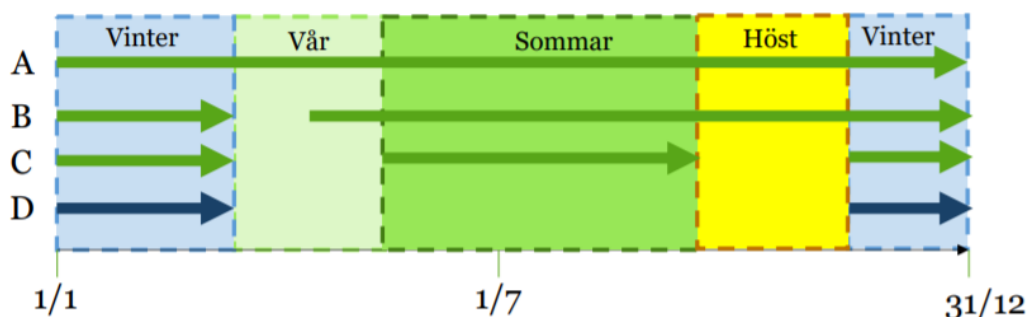
Veitettheten i Sverige var ved siste opptelling (ca 1990) oppgitt til 16 m vei per hektar skogsmark. Enda mer interessant er at 68% av skogarealet ligger under 500 m fra vei, og 85 % innenfor 1000 m fra vei (Axelsson et al., 2018; *Siffror om vägar*, 2019). Om byggetakt og vedlikeholdstakt er større enn forringelsen så er trolig enda mer skog tilgjengelig innenfor disse transportavstandene nå. I Norge har vi 2 til 11 meter skogsbilvei per hektar produktiv skog, med høyest veitetthet på Østlandet og lavest på kysten og langt nord (Rundtom, 2019). Men merk her at forskjell i definisjonene gjør det vanskelig å sammenligne tallene; for de svenske tallene vet vi ikke om det er all skogsmark eller kun produktiv skogsmark i nevneren, og i Norge er det kun skogsbilveier (og ikke offentlige veier) som står i telleren.

Det finnes godt organisert fagstoff som dekker de aller fleste problemstillinger vedrørende planlegging, bygging, skjøtsel og organisering av skogsvei både i Norge og Sverige. Nettstedene www.skogsvei.no og www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/ dekker mye fagstoff om temaet. En rekke nyttige rapporter og håndbøker er også tilgjengelig i [nettbiblioteket til Statens vegvesen](#).

3.1.2 Tilstanden på skogsveinettet

I Norge har tilstanden på skogsbilveinettet blitt undersøkt i fylkene Akershus (Bråthen, 2017; Løvenskiold, 2014), Hedmark (Holaker & Uthushagen, 2016) og Oppland (Gjerstadberge & Sanness, 2014). I Akershus og Oppland var resultatene noenlunde like og viste at ca 50 % av veiene måtte rustes opp for å tilfredsstillere dagens krav til sin veiklasse, 40 % behøvde lettere opprusting og 10 % hadde god standard. I Hedmark var situasjonen betydelig bedre; 35 % av veinettet var i god stand og 65 % behøvde lettere eller tyngre opprusting. Situasjonen i Midt-Norge er ikke kartlagt på samme vis, men det er vel god grunn til å anta et betydelig opprustingsbehov også her.

I Sverige pågår en systematisk kartlegging i Götaland der veiene blir klassifisert etter fremkommelighet og tilgjengelighet for lastebiltransport. Fremkommelighet handler om veigeometrien – om vegen er romslig nok for større kjøretøy. Tilgjengelighet handler om vegens bæreevne, det vil si hvilke vær og klimaforhold vegen kan brukes til tungtransport. Metoden er beskrevet i en egen veileder fra Biometria AB (Biometria, 2019). Konklusjonen er foreløpig at 1/6 av skogsveiene var fremkommelig med tømmerbil med henger, 1/6 var uegnet for tømmertransport, og 2/3 hadde begrenset fremkommelighet med tømmerbil og henger. Veiene ble også klassifisert i fire ulike tilgjengelighetsklasser i henhold til figuren nedenfor. Veiene fordelte seg med under en promille i klasse A, 1/2 av vegene i klasse B, litt under 1/2 av vegene i C og 7,5 % i klasse D. Se presentasjonen til Skogforsk v/Aron Davidsson om [Väginventering](#) (2020). Vegtilstanden i Jämtland og Härjedalen er ikke kartlagt på samme viset, men situasjonen er trolig nokså lik lengre nord også.



Figur 14. Når på året er veiene kjørbare med tømmerbil? I Sverige deles bruksperioden inn i fire klasser A-D (Biometria, 2019).

Broer er et annet moment som kanskje vil behøve mer fokus både i Sverige og Norge. De fleste broene på skogsveinettet er over 30 år og har langt på vei nådd sin tiltenkte levetid. Eldre broer kan også ha blitt anlagt med lavere krav til laster (Johnsrud, 2012). Skogforsk har nylig avsluttet et [prosjekt om broer på det private veinettet](#) (Enström et al., 2019), som har resultert i en serie med veiledningshefter om henholdsvis Upphandling, Förvaltning og Inspeksjon av private broer (Maxstadh, 2018a, 2018c, 2018b). Skogkurs har også et hefte om inspeksjon av broer på landbruksveier (Johnsrud, 2012). Det finnes ingen god oversikt over posisjon og tilstand over private broer i Norge. I Sverige har Skogforsk utviklet et par verktøy for å lokalisere bruer (Davidsson & Bergqvist, 2018).

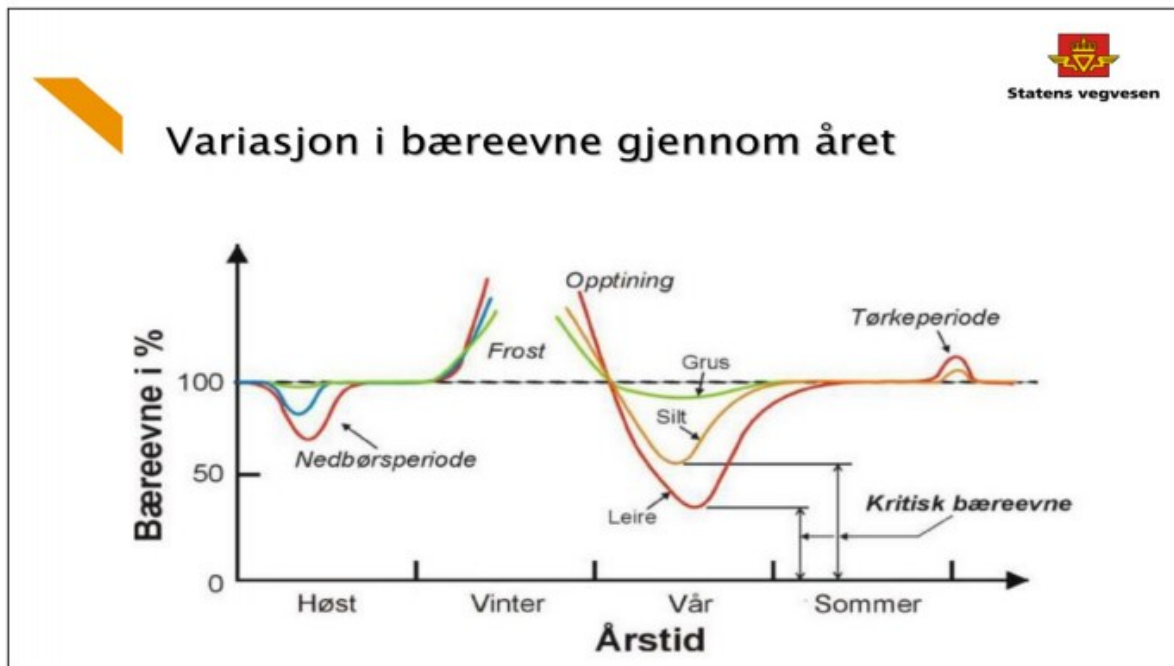


Figur 15. God planlegging både med tanke på anleggelse av driftsveier og skogsbilveier kreves for å sikre god logistikk i tømmer skogen. Foto: Martin Bråthen, Skogkurs.

3.1.3 Bæreevne og bæreevneklassifisering

Veiens bæreevne er et uttrykk for hvor stor aksellast som kan benyttes uten at veien blir deformert. Bæreevne for vei angis vanligvis i tonn aksellast. Ved belastning over veiens reelle bæreevne vil veien bli deformert. Dette får flere konsekvenser; det vil bli stående vannspeil på veien, veikroppen blir våtere og får svekket bæreevnen, og veien blir mer utsatt for erosjon. Dårlige masser fra dypere lag kan trykkes opp i veikroppen, og bæreevnen svekkes ytterligere. Statens vegvesen i Norge bruker fallodsmålinger for å måle hvor mye veien blir deformert ved ulike belastninger, og fra slike målinger beregnes bæreevnen på veiene (Statens vegvesen, 2018b).

Veinormalene tilsier at alle veier skal tåle 10 tonns aksellast, men de ulike veiklasser har forskjellige krav til hvilke årstider og værforhold dette skal gjelde. I Norge pågår det nå (2018-2021) et bæreevneklassifiseringsprosjekt hvor både Skogeierforbundet, Norskog, Skogkurs og NIBIO er involvert. Målsettingen er å utvikle både metoder for bæreevneklassifisering, og prognosemodeller for veislitasje som følge av tømmertransport. Dette kombinert med vannmetningskart vil muliggjøre «levende»-kart for kjørlighet.



Figur 16. Bæreevnen varierer gjennom året og med nedbørsmengde og tørke. Kilde: (Aurstad et al., 2016)

I en våt veikropp vil vannet redusere kontaktflaten mellom partiklene i veien og bæreevnen går vesentlig ned. God drenering av veikroppen og riktig bruk av ulike massetyper er derfor avgjørende for veiens bæreevne og vedlikeholdsbehov. Fiberduk og geonett benyttes for å hindre at gode og dårlige masser blandes, sistnevnte vil dessuten øke bæreevnen ved at lasten fordeler seg over et større areal. Komprimering av massene vil forbedre bæreevnen ytterligere. Det finnes også forskjellige tilsetninger til som øker veiens bæreevne. Innblanding av 20 – 30 % flyveaske i et sjikt i veiens bærelag har i forsøk vist betydelig økning i bæreevnen (Noreland et al., 2020; Vestin et al., 2016). [Dustex](#) er et biprodukt fra celluloseforedling som binder gruspartikler, mens [Ecoroads](#) er et enzymprodukt som skal binde løsmasser som inneholder leire og silt, og dermed øke bæreevnen i veikroppen.

Mye av jobben med å sikre bæreevne gjøres ved planleggingen av skogsbilveien. Ved å oppsøke gode masser eller å sikre gode masser ved fjellsprenning, unngå våte og bæresvake områder og planlegg inn nok stikkrenner med tilfredsstillende diameter og grøfter dimensjonert stort nok. Geologiske kart over løsmasser/berggrunn i veitraseen vil være til god nytte. Det finnes geologiske kart både i Norge ([NGU's løsmassekart](#)) og i [Sverige \(SGU's Jordarter\)](#) som bør benyttes i planleggingen av en vei. Skogkurs har samlet kunnskap om geologi, og bruken av ulike typer knuste bergarter og naturlige løsmasser i (skog-)veibyggning i en egen [veileder](#) (Bråthen et al., 2020).

Tidligere i denne rapporten er markfuktighetskart omtalt (kapittel 2.2.3). Dette verktøyet er nyttig for å unngå våte partier ved plassering av vei og ikke minst få en indikasjon om hvor stikkrenner bør plasseres.

Byggematerialets styrke måles ofte med den såkalte California Bearing Ratio (CBR). CBR går ut på å finne kreftene som må til for å presse en sylinder med 50mm diameter noen millimeter ned i veien (eller i prøver av materialet som veien er bygd av) med en hastighet på 1,25 mm per minutt. Den kraften sammenlignes med den kraften som må til for å presse samme sylinder med samme fart ned i et standardisert materiale av knustgrus fra kalkstein, og angis i prosent. Knustgrus av høy kvalitet har vanligvis CBR over 80, mens de fleste andre løsmasser vil ha langt lavere CBR. CBR kan også måles ved hjelp av en såkalt dynamisk kon-penetrometer (Noreland et al., 2020).

Veiens bæreevne måles med falloddsmålinger; dette er instrumenter med et lodd som slippes ned på veien fra en bestemt høyde, og forholdet mellom trykket som påføres og nedbøyningen i vegen både under og rundt falloddet blir registrert. Fra slike målinger kan man karakterisere veiens totale bæreevne, og også finne ut hvilke lag i veikonstruksjonen som er svake (Dahlen, 2015). Tunge fallodd (hengermonterte) er mer treffsikre enn lette håndholdte fallodd, men begge gir nyttig info om vegens tilstand (Tvensberg, 2016). Bæreevne målinger er et godt verktøy for å finne hvilke partier av skogsvegene som trenger forsterkning, slik at man slipper å forsterke partier som allerede har god bæreevne. I noen områder i Trøndelag er det krav om bæreevne målinger ved ombygging av vei. Skogselskapet fikk utført bæreevne måling på fire skogsveger i Selbu i 2015. Rapporten illustrerer godt hvordan metoden påviser og angir de partier som har god og dårlig bæreevne, og de partier som har svak undergrunn (Faksdal, 2015).

3.2 Etablering og vedlikehold av skogsveier

3.2.1 Veiplanleggeren

Skogsvei er en av skogeierens største investeringer, og dårlig planlegging eller prosjektering kan gi betydelige merkostnader både i anleggsperioden og senere. Bruk av profesjonelle vegplanleggere sikrer forutsigbar prosjektøkonomi og en velfungerende vei i lang framtid. En dyktig vegplanlegger skal beherske mange fag, tema og arbeidsmetoder, blant annet anleggsteknikk, hydrologi, geologi, økonomi, juridiske problemstillinger og driftsteknikk. Det er også en fordel om vegplanleggeren behersker relevant programvare og kan utnytte terrengmodeller og markfuktighetskart for planlegging av veger. I Norge finnes det en egen utdanning for vegplanleggere på [Skogkurs](#). Vegplanleggerne samles også jevnlig for kompetanseutveksling og faglig påfyll på [fagsamlinger](#).



Figur 17. En profesjonell veiplanlegger skal hensynta mange forhold i sin planlegging. Målet er en vei som betjener skogen best mulig til lavest mulig pris uten at det går ut over kvalitet og levetid. Foto: Martin Bråthen, Skogkurs.

Mye av jobben til en veiplanlegger er å optimalisere plasseringen av veien slik at den gir så god totaløkonomi som mulig. Det vil si at veien gir størst mulig innsparing i terrengtransport av tømmer, og at den er så rimelig som mulig å bygge og vedlikeholde. Helst begge deler samtidig. Skogforsk.se og SCA har sett på muligheten for å bruke planleggingsverktøy for skogproduksjon (Heureka) og et optimeringsverktøy for vurdering av vei-investeringer (Vägrust) for dette. Med sånne tilnærminger kan man få god beslutningsstøtte i å finne den mest optimale (dsv kostnadseffektive) veiløsningen.

3.2.2 Etablering av skogsveier

I Norge kreves det skriftlig tillatelse fra kommunen før man kan bygge skogsvei (Landbruksveiforskriften, 2015). Det innebærer at veien skal bygges til en bestemt veiklasse og at den skal bygges i samsvar med Normaler for landbruksveier fastsatt av Mat- og Landbruksdepartementet. For å kunne motta offentlig støtte til veien gjelder de samme kravene (Forskrift om miljøtiltak mv. i skogbruket, 2004).

I Sverige tillates normalt skogsveibygging om skogeier har sendt en hogstmelding til skogsstyrelsen senest seks uker før tiltaket påbegynnes. I reinbeiteområder, fjellskog, og i tilfeller hvor veien berører vassdrag, spesielle naturverdier eller kulturmiljøer gjelder noen ytterligere krav og restriksjoner. Det er eller ingen offentlige krav til utførelse eller kvalitet ved bygging av skogsveier. I Sverige er relevante lover og forskrifter godt organisert og dokumentert både hos [skogsstyrelsen](#) og i [skogskunnskap-portal](#)en.

Veiprosjekter berører ofte mange eiendommer. Dette innebærer at man må finne byggeplan og finansieringsmodell som alle berørte eiere blir enige om. Dette kravet innebærer en åpenbar risiko for at enkeltskogeiere kan blokkere for veiprosjekter. I Norge har jordskiftedomstolene myndighet til å hindre en slik blokkering. Jordskiftedomstolene kan dermed vedta utbygging og fastsette andelsfordeling og vedtekter for fremtidig eierskap og drift av en skogsvei. I Sverige har Lantmäteriet samme rolle, og kan på forespørsel gjennomføre en prosedyre som heter «vägförrättning».

Å ha en vei over eiendommen medfører plikter og ansvar. I Norge fastslås det i veglova (1964) at eierne av en vei utgjør et veilag og har plikt til å holde veien i brukenes stand. Det er lite rettspraksis å henvise til når det kommer til å prøve veieieres ansvar ved mislighold av slike plikter, samt ansvar ved eventuelle ulykker hvor veiens tilstand har medvirket til ulykken. Men det finnes et notat som beskriver [ansvarsforholdene rundt private skogsbilveier](#) (Kjøllesdal, 2015). I Sverige kan eiere av skogsveier støtte seg til [REV – riksförbundet för enskilda vägar](#).

3.2.3 Finansiering av skogsvei

En skogsveiutbygging vil være lønnsom for skogeier hvis nåverdien av tilgjengeliggjort skogsvirke og reduserte terrengtransportkostnader er større enn investeringen. Høye byggekostnader vil ofte hindre utbygging eller stimulere til enkle og kortsiktige løsninger på vei-behov.

I Norge har skogeiere to slags støtteordninger som begge bidrar til å redusere skogeiers kostnader ved bygging av skogsvei. Veibyggingprosjekter kan ytes investeringstilskudd (Forskrift om miljøtiltak mv. i skogbruket, 2004), og skogeier har også anledning til å bruke av sitt skogfond til veibygging og veivedlikehold (Forskrift om skogfond o.a., 2006).

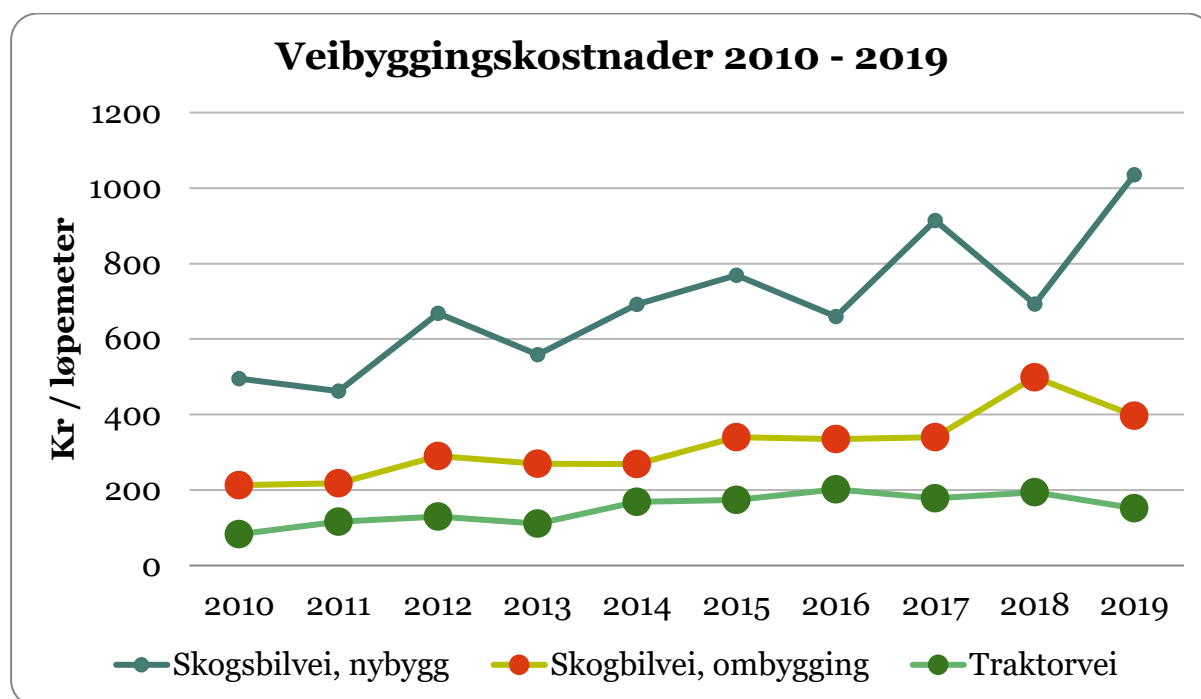
Investeringstilskuddet varierer litt mellom ulike fylker i Norge, men ligger vanligvis i intervallet 40 – 50 % av byggekostnadene. Detaljer rundt skogfondsordningen og hvilken effekt dette har ved bruk av [skogfond til tiltak som skogsbilvei](#) er godt beskrevet i Skogkurs sin seneste veileder om temaet



Figur 18. En vei blir til. Foto: Øyvind Juliussen, Skogkurs.

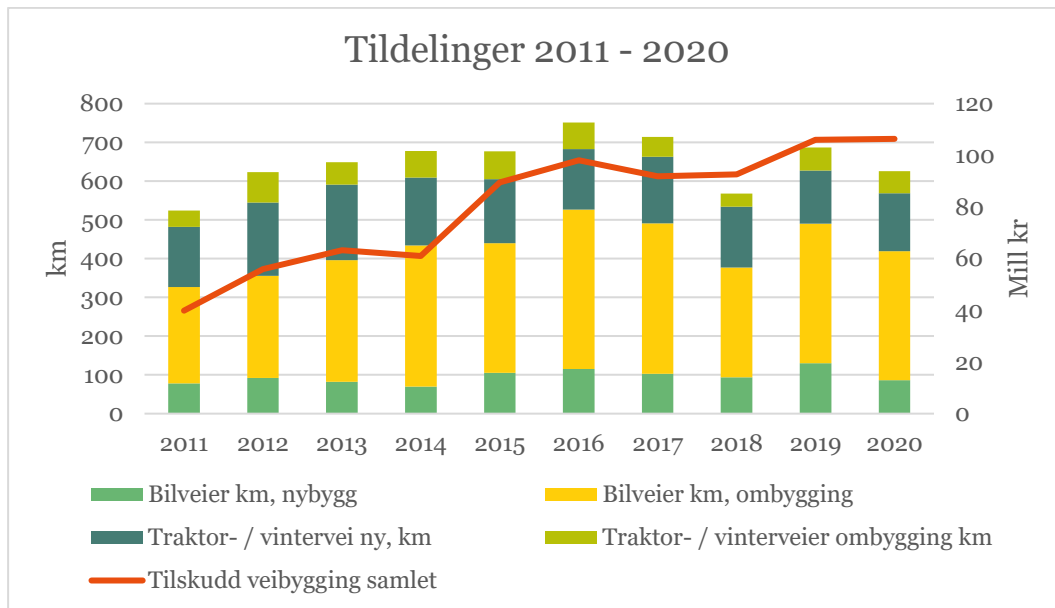
(Bjørnstad & Fønhus, 2019). Samlet vil tilskudd og skogfond dekke 60 – 80 % av investeringskostnadene for en skogbilvei.

Støtten beregnes ut fra et godkjent byggeregnskap, og dette regimet sørger for at vi har oppdatert og pålitelig statistikk for byggekostnadene. Kostnadene er nå i gjennomsnitt ca. 700-1000 kr/lm for nybygging, 4 – 500 kr/lm for opprusting og oppunder 200 kr/lm for traktorvei. Vestlandet har høyere anleggs- og opprustingskostander en Østlandet og Trøndelag.



Figur 19. Kostnadsutvikling for skogsveier i Norge. Kostnadene for skogsveier har økt med omtrent 100% i samme periode. Kilde: Landbruksdirektoratets skogstatistikk.

Kostnadene for nybygging har omtrent doblet seg i perioden 2010 – 2020 (Figur 19). SSB's byggekostnadsindeks (tabell o8662) viser at byggekostnadene for veianlegg har økt med 32% i samme periode. En antagelse i fagmiljøene i Norge er at forskjellen mellom disse to skyldes økt fokus på at kravene i veistandardene etterfølges. Det vil si at veiene påkostes mer bærelag, flere og større stikkrenner, osv. Til tross for gode støtteordninger er det et forholdsvis lavt aktivitetsnivå i nybygging og opprusting (Figur 20).



Figur 20. Antall km nybygd eller ombygd skogsvei, og samlet tildeling fra Norske myndigheter. Dette inkluderer også veier bygget uten tilskudd. Det er også slik at det tildeles en del midler av skogsvei-rammen til drifter i vanskelig terreng. I snitt for perioden er det utbetalt i underkant av 12 mill. årlig til drifter i vanskelig terreng (kilde: SSB / Landbruksdirektoratet).

I Sverige er det ikke støtteordninger for bygging av skogsvei. Kostnaden for nybygging var i 2012 på ca. 190 kr/lm (www.skogskunnskap.se - siffror om vägar). Ettersom det ikke gis like mye offentlig støtte, så er kostnadstallene eldre og mer usikre enn i Norge. Men avstanden til det kostnadsnivået som nå er i Norge er likevel betydelig.

Prisforskjellene har nok flere årsaker. En er at kostnadsnivået generelt er høyere i Norge. Forskjeller i grunnforhold hvor veiene bygges kan kanskje også forklare en del. Ulike grunnforhold og terrengforhold vil gi varierende behov for sprenging, fjellknusing, massetransport, geosynteser, stikkrenner og planlegging av traseen. Summen av disse kan gi store kostnadsvariasjoner fra anlegg til anlegg. Tilskuddsordninger gir også myndighetene en god anledning til å sette vilkår til planlegging og byggeskikk og følge opp disse.

En skogsvei er som mye annet i skogbruket en langsiktig investering. Lønnsomheten i utbyggingen kan nokså enkelt beregnes ut fra innsparte kostnader for terrengtransport og nettoverdien av virke som blir gjort tilgjengelig med veien, fratrukket kostnaden for vei-investeringen. Det finnes kalkulatorer for beslutningsstøtte rundt dette. I Norge har Skogkurs en [ny kalkulator](#) som skal hjelpe skogeiere å vurdere lønnsomheten av en vei i forhold til terrengtransport. I Sverige finnes et tilsvarende regneverktøy på www.skogskunnskap.se som heter «Vägbåtnad». NIBIO har et verktøy som også [beregner kostnadsfordeling mellom de ulike vei-eierne](#).

3.2.4 Organisering av veilag

De fleste skogsveier berører flere grunneiere. I Norge vil flere eiere av en vei utgjøre et veilag (enten de vil eller ikke, jmfør Veilovens §55), og medlemmene er alle forpliktet til å holde veien i stand og yte sin forholdsmessige andel til dette. Likevel er det mange måter å organisere veilag på. Nettstedet Skogsvei.no har en meget leseverdig avdeling om organisering av skogsveier og veilag. Her ligger også forslag til vedtekter og opplegg for andelsfordeling. Anbefalingene går ellers ut på at veilag helst bør etableres og driftes som et foretak. Jordskifteretten i Norge har også utarbeidet en veileder for bruksordning for vei, som tar for seg juridiske aspekter ved det å eie felles veier (Domstoladministrasjonen, 2019).

[REV – riksförbundet för enskilda vägar](#) er en medlemsorganisasjon for vegforeninger i Sverige. De har en nettside der mye kunnskap rundt ansvar, veiorganisering, vedlikehold m.m. Som medlem får man tilgang til flere publikasjoner på tema relevant for vei-eiere.

På tross av at lovverk, veiledere og kalkyleverktøy legger godt til rette for samarbeid, er manglende samhandling ved planlegging av skogsveier fortsatt en stor utfordring. For å holde motivasjonen blant samarbeidspartnerne oppe i et veiprojekt, må for eksempel kostnadsfordelingen stå i forhold til den nytten den enkelte deltaker har. Dette kan være greit nok å beregne for veier hvor virkestransport er eneste formålet. Enda mer komplisert kan det bli når andre nytteverdier skal inkluderes i vurderingene, men heldigvis finnes det også veiledere og erfaring å støtte seg til for dette (Holth et al., 2019).

3.2.5 Veivedlikehold

Vedlikeholdsoppgavene må i større grad en tidligere gjennomføres til anbefalte intervaller. Langsiktige mål bør være å reparere og forsterke veier og partier av veier slik at veiene kan brukes store deler av året. Svake punkter er ofte i områder der massene er finkornet, i kupert landskap og der veien ligger i lisdere. Forslag og eksempler på vedlikeholdsoppgaver, intervaller og norske priser finnes for eksempel i kapittel 5 i rapporten «[tilstandsregistrering skogsbilveger Hedmark - 2015](#)» (Holaker & Uthushagen, 2016).

3.3 Veistandarder, veinormaler, byggeskikk

3.3.1 Veistandarder og veinormaler



Figur 21. Drifter på flatt og bløtt område. Rising. Legg merke til at det er anlagt en enkel veltplass for lastebilen for å slippe å stå på offentlig vei der det lett kan oppstå farlige situasjoner. Bilde: Romeriks Allmenningene v/ Johannes Enersen.

Informasjon om etablering og drift av skogsveier er tilgjengelig som veiledere, anvisninger og / eller websider på ulike web-portaler som [skogskunnskap](#), [skogsstyrelsen](#) og hos [virkesmätningen](#). I Sverige deles skogsveiene inn i fire tilgjengelighetsklasser (A-D) som angir når på året veien er tilgjengelig, og i fire geometriske standarder (1-4) som angir hvilken hastighet man kan kjøre på veien (Skogskunnskap,

2016). Gjeldende retningslinjer for prosjektering og bygging av skogsbilveier i klasse 3 og 4, tilgjengelighetsklasse A – D, er utarbeidet av skogsstyrelsen i samarbeid med de større aktørene i den svenske skognæringen (Gunnarson et al., 2010). Disse retningslinjene angir dimensjonerende kjøretøy 24 meter lengde, kjørebane med 4 meter bredde, 60 tonn bruttovekt og at broer skal dimensjoneres for 14 tonns akseltrykk.

Tabell 2. I Sverige klassifiseres skogsveiene i fire tilgjengelighetsklasser og fire geometriske standarder (Skogskunskap, 2016).

Tilgjengelighet	Geometrisk standard framkommelighet for 24 meters lastebil			
	60	40	30	20
Laste- og personbiltrafikk hele året	1A	2A	3A	
Lastebiltrafikk hele året utenom teleløsning. Personbiltrafikk hele året.	1B	2B	3B	
Lastebiltrafikk hele året utenom teleløsning – og i regnperioder. Personbiltrafikk hele året utenom teleløsning.		2C	3C	4C
Lastebiltrafikk i hovedsak vinterstid. Personbiltrafikk også sommertid.				4D

I den svenske nasjonale veidatabasen blir veiene gitt en funksjonell veiklasse (0 – 9) ut fra deres betydning som transportåre, hvor 0 er de viktigste veiene, mens 9 er de minst viktige (Vägverket, 2006). Skogsveier får klasse 7 -9, hvor 7 er hovedveier, 8 er normalveier og 9 er nullveier (Biometria, u.å.). Biometria (tidligere SDC) leverer data om egenskapene til skogsveiene til Trafikverket og den Svenske nasjonale veidatabasen. Egenskapene dekker tema som veiklasse, bæreevne, snuplasser, veibredder, broer, hinder / bommer, og status for slitelag (Biometria, u.å.).

Det offentlige veinettet i Sverige er også delt inn i fire bæreevneklasser. BK1 og BK4 er de som tillater størst last og totalvekt.

Tabell 2. Bruksklassene for det offentlige veinettet i Sverige.

Bruksklasse	BK1	BK2	BK3	BK4
Aksel som ikke er drivende	10 ton	10 ton	8 ton	10 ton
Drivaksel	11,5 ton	10 ton	8 ton	11,5 ton
Største tillatte bruttovekt	64	51,4	37	74

I Norge er generelle krav til veiplanlegging og utførelse for offentlige veier gitt i de såkalte vegnormalene hos Statens vegvesen (Statens vegvesen, 2019). For landbruksveier (herunder skogsbilveier) er kravene til planlegging og veibygging gitt gjennom landbruksveiforskriften (2015) i håndboken «Normaler for landbruksveier» (2016).

Alle offentlige veiprojekter skal dimensjoneres for en aksellast på 10 tonn (Statens vegvesen, 2018a). Eksisterende offentlige veier er blant annet klassifisert med såkalte bruksklasser som en finner i veglistene (Vegliste riksveger, 2019), og som angir maksimale laster og dimensjoner for tømmervogntog. For å se hvilken bruksklasse veiene i et område har, har statens vegvesen utviklet en portal som heter [Vegkart](#) som innsynsløsning. Skriv «Bruksklasse» i søkefeltet, og kategoriser veiene etter ulike typer bruksklasser i menyen, så ser man hvordan det ligger an.

Normaler for landbruksveier definerer åtte veiklasse. Dimensjonerende aksellast for sju av veiklassene er 10 tonn på veien og 13 tonn for bruer. Den siste, veiklasse 8, gjelder lettere kjøretøy og er neppe relevant for tømmertransporterende kjøretøy.

- Veiklasse 1 og 2: Helårs bilveier med meget høy og høy standard som skal kunne trafikkeres med lass hele året. Tilsvarende Sveriges tilgjengelighetsklasse A. Veibredde 4,5m, stigning <8%.
- Veiklasse 3 og 4 – Landbruksbilvei for helårs bruk (3) og kun sommerstid (4). De skal kunne trafikkeres hele året bortsett fra teleløsningsperioder. Helårsveien kan ha stigninger på inntil 10% i lassretningen og sommerbilveien (veiklasse 4) kan ha tilsvarende stigning på inntil 12%. Disse veiene tilsvarende Sveriges tilgjengelighetsklasse B eller C.
- Veiklasse 5 – Sommerbilvei for tømmerbil uten henger. Denne kan ha stigning på inntil 18% i lassretningen. Denne tilsvarende også tilgjengelighetsklasse B eller C i det Svenske systemet.
- Veiklasse 6 – Vinterbilvei. Kan brukes hvor det er stabil vinter, lange transportavstander og slakt terreng. Tilsvarende tilgjengelighetsklasse D i det svenske systemet.
- Veiklasse 7 – Traktorvei for lastetraktor. Kan ha stigning inntil 20%. Bredde > 3,5m og kan ha mer ujevn overflate. Ellers samme krav til drenering, stikkrenner, aksellast og bæreevne som andre veiklasser.

3.3.2 Utforming av veien

Byggemetodene er selvsagt nokså like mellom landene; man fjerner trær torv og humus, planerer traseen og ordner vannføring, og bygger bærelag og slitelag til slutt. Det er likevel forskjeller i byggemetode og ikke minst store forskjeller gjennomsnittlige byggekostnader.

Kravene til norsk landbruksvei klasse 3 er sammenlignet med anbefalingene til svenske skogsveier i vägklass 3c i tabellen under.

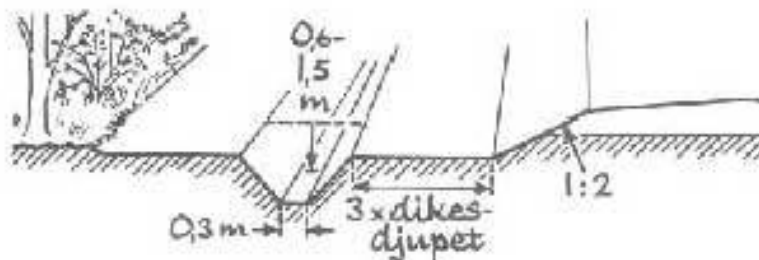
Tabell 3. Sammenligning av retningslinjene for norsk landbruksvei klasse 3 (helårs vei utenom teleløsning (Normaler for landbruksveier, 2016)) med vägklass 3C (helårs utenom teleløsning, < 30kmh) (Gunnarson et al., 2010)

	Norge	Sverige
Kjørebanebredde	3,5m	4 m
Stigning lassretning	10%	7-8 %
Stigning kort rett strekk i lassretning	12%	12 %
Min kurveradius (horisontal)	10 m	25 m
Møteplasser hver	500 m	500 m
Bærelagtykkelse*	25 - 70 cm	10-50 cm
Slitelagtykkelse*	10 cm	5 cm
Grøftedyp (under planum / terrass)	20 cm	20 cm
Tverrfall	5%	5%

* Tallene gjelder ved underlag og underbygning (under planum / terrass) bestående av morene med lite finstoff (telegruppe T2, Svensk tjälfalighetsgrupp II), bærelag av uforedlet naturgrus og slitelag av sortert naturgrus.

Fra byggebeskrivelsene er det også andre momenter det er verdt å påpeke:

- Skillet mellom underbygningen og overbygning heter «planum» i Norge og «terassen» i Sverige (Gunnarson et al., 2010, s. 2; *Normaler for landbruksveier*, 2016, s. 38). Spesielt for Sverige anbefales det at terrassen pakkes, normalt med minst 6 tonns valse og minst tre overfarer (Gunnarson et al., 2010, s. 12).
- I Sverige kan avdekkingsmasser (stubber, humus og matjord) ligge urørt i underbygningen, såfremt det ikke kommer nærmere kjørebanelen enn 30 cm. Disse materilane kan også benyttes i fylling om de overdekkes med 60 cm mineraljord (Gunnarson et al., 2010, s. 11). I Norge kan avdekkingsmasser ligge i underbygning og fyllinger såfremt overbygningen er minst 50 cm (*Normaler for landbruksveier*, 2016, s. 38).
- I de norske byggebeskrivelsene heter det at fiberduk bør benyttes som filterlag (mellom planum og overbygning) på grunnmasser med mye finstoff. I Trøndelag betyr dette at det vil benyttes fiberduk på stort sett hele veistrekningen på alle skogsveier såfremt de ikke er anlagt på bart eller sprengt fjell eller elveavsetninger.
- I Sverige anbefales det at vei på plan jord bygges med en markbankett mellom overbygningen og veigrøfta. Denne banketten skal ha en bredde på 2-3 m. I Norge ser det ut som at denne praksisen kun gjelder ved bygging på myr (*Normaler for landbruksveier*, 2016, s. 40).



Figur 22. Illustrasjon av markbankett mellom veien og grøfta. Illustrasjon: Ulla Carne, Skogskunnsap.se

Sammenligningen antyder at den norske varianten krever et tykkere bærelag og aksepterer større stigning og krappere kurver enn den svenske (Tabell 3).

3.3.3 Vannhåndtering

Sunnkjøring av veier forekommer nesten ikke så lenge veikroppen er fri for fritt vann. Berntsen & Saarenketo (2005) er en meget leseverdig gjennomgang av problemstillinger rundt drenering av lavtrafikkveier i vårt klima. Forfatterne hevder at levetiden på en vei kan forlenges med minst 2.2-2.6 ganger kun ved å sikre god drenering (Berntsen & Saarenketo, 2005). En ødelagt drenering kan imidlertid avslutte vegens levetid umiddelbart.

I veinormalene for landbruksveier heter det at grøftedybden skal være 20 cm under planum og 30 cm bred. Dette er å anse som minimumsanbefalinger, grøftedybder på 0,5 – 1 meter under planum vil bidra til enda bedre opptørking av veien. Ved større vedlikeholdsprosjekter anbefales det å gjøre dreneringen 1-2 år før andre tiltak vurderes iverksatt (Berntsen & Saarenketo, 2005).



Figur 23. Grøfterensk er nødvendig med jevne mellomrom for å sikre god drenering og opptørking av veikroppen. Grøfting bør alltid gjøres 1-2 år før andre bæreevne-forsterkende tiltak iverksettes. Bilde: Martin Bråthen, Skogkurs.

Utforming av dreneringssystemet

Dreneringssystemet på landbruksveier skal dimensjoneres for å takle flom med gjentaksintervall 25 til 50 år, og 200 år på bruer (*Normaler for landbruksveier*, 2016) og 50 til 200 år på offentlige veier (*Avvattningsteknisk dimensjonering och utforming - MB 310*, 2017, s. 22; Statens vegvesen, 2018a). Dette innebærer blant annet å beregne flomvannsføring og tilhørende kapasitetsbehov for de steder vannet skal gjennom veikroppen (broer, kulverter, stikkrenner). Deretter må tiltakene planlegges og dimensjoneres slik at de oppnår denne kapasiteten.

For å lede overflatevann som samles i veigrøftene igjennom veien benyttes vanligvis stikkrenner med fritt utløp på nedsiden. Stikkrenner skal ha en minste indre diameter på 30 cm for skogsveier (Gunnarson et al., 2010; *Normaler for landbruksveier*, 2016), og 60 cm for offentlige veier (Statens vegvesen, 2018a). Når veien legges skrått i lisisider skal stikkrenner legges med jevne mellomrom, hver 50-100 m. (*Normaler for landbruksveier*, 2016, s. 40).



Figur 24. Stikkrenne. Foto: Martin Bråthen, Skogkurs.

Ved kryssing av eksisterende vassdrag anbefales i Sverige i prioritert rekkefølge bruk av bro, 'valvbåger' (hvelvbue, halvrør) eller forsenkede rør. Hensikten er at tiltaket ikke skal utgjøre et vandringshinder for vannlevende organismer (*Avvattningsteknisk dimensionering og utformning - MB 310*, 2017, s. 30; Gunnarson et al., 2010, s. 11). I Norge gis tilsvarende retningslinjer for fiskeførende bekker (Direktoratet for naturforvaltning, 2002). Skogkurs har laget en egen veileder for hvordan skogsveier kan [krysse fiskeførende bekker](#). Ved bruk av rør legges disse nedsenket i bekken, slik at rørets bunn vil fylles med sedimenter (*Avvattningsteknisk dimensionering og utformning - MB 310*, 2017, s. 30). Bruk av halvbue er ikke så utbredt foreløpig, metoden er beskrevet av vägverket (Konradsson, 2008) og tilbys i Norge av blant annet [Veiteknikk AS](#), [ViaCon](#) og [Geosyntia](#).



Figur 25. Fiberduk benyttes for å skille eksisterende masser med tilkjørte masser. Blanding av massene gir redusert bæreevne. Bilde Romeriks allmenningene v/ Johannes Enersen.

Beregning av vannmengder og tilhørende kapasitetsbehov

Metoder for beregning av flomvannsføring i Norge er godt beskrevet i Vassdragshåndboka (Fergus et al., 2010), samt i en egen veileder for flomberegning i små (<50km²) nedbørsfelt (Stenius et al., 2015) og i en egen NVE-rapport om skogsveier og skredfare (Fergus et al., 2011). I Sverige har trafikverket en håndbok for dette (*Avvattningsteknisk dimensionering och utformning - MB 310, 2017, s. 24*), hvor metoder for flomberegning finnes for nedbørsfelt < 60 km². For svært små nedbørsfelt (< 0,5 km²) benyttes ofte den såkalte rasjonelle formel, som estimerer vannføringen ut fra areal på nedbørsfeltet, avrenningsfaktor, dimensjonerende nedbørintensitet og klimafaktor for det aktuelle nedbørsfeltet. Dimensjonerende nedbør og anbefalinger rundt valg av klimafaktorer i norsk geografi finnes tilgjengelig hos Norsk Klimaservicesenter (2019).

De senere år har det blitt utviklet lett tilgjengelige nettbaserte støtteverktøy for å beregne nedbørsfelt og flomvannsføring for ethvert tenkelig punkt i både Svensk og Norsk geografi. I Sverige er fastlandet delt inn i 17313 avrenningsområder (nedbørsfelt), og på websiden «[vattenwebb](#)» kan finne flomvannsføring (Q₅₀) for alle disse (SMHI, 2019). Norges Vassdrags og Energidirektorat har nettstedet [NEVINA](#) som gjør samme nytten i Norge.

Dimensjonering av kulverter og stikkrenner

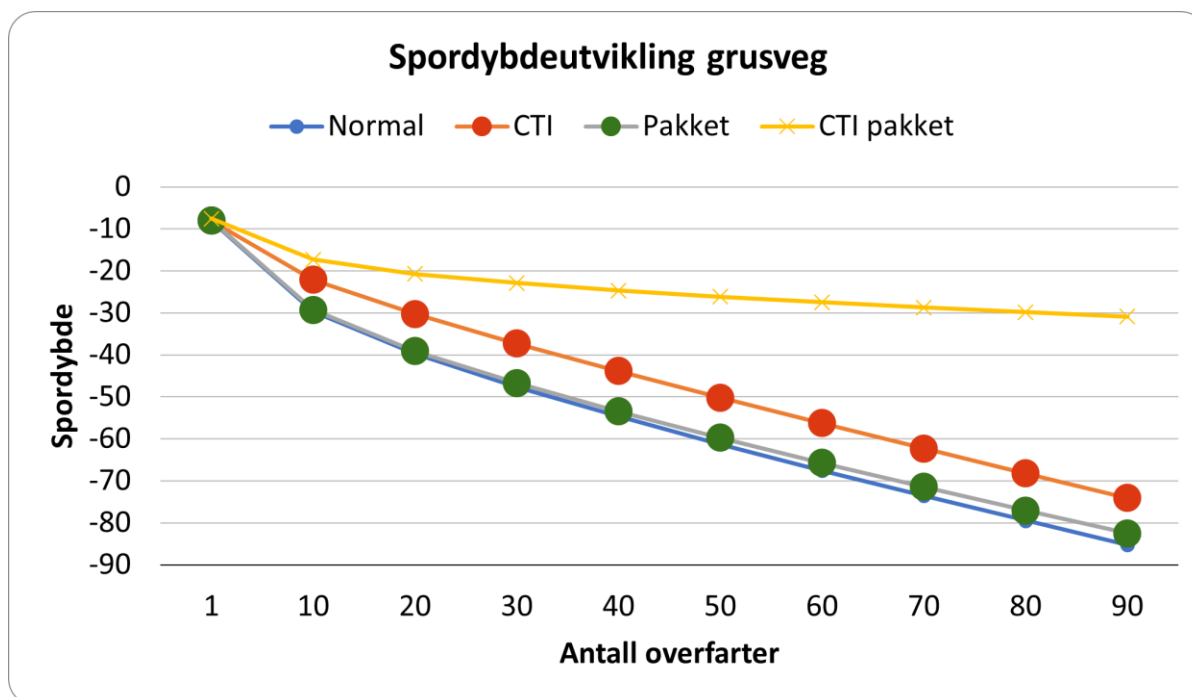
Flere rørprodusenter, for eksempel [Pipelife](#) og [Basal](#), tilbyr verktøy / kalkulatorer på sine hjemmesider som beregner kapasiteten til stikkrenner ut fra rørdiameter og fall. Disse gjør det lett å beregne hvilke rørdimensjoner som behøves for et gitt kapasitetsbehov. Men man skal huske på at de forutsetter stikkrenne med såkalt innløpskontroll, det vil si at vannet har fritt utløp (fritt fall) ut fra stikkrenna. For andre forhold (senket utløp, halvbuer, broer) må man til med mer omfattende kalkyler og programvare (Norem et al., 2018). Et analyseprogram som heter «Hy-8» er tilgjengelig hos [Federal Highway Administration](#) (i USA) på deres hjemmesider og anbefales brukt av vegvesenet i Norge. Men slike verktøy brukes trolig i veldig liten grad for rørdimensjonering for skogsveiprosjekter. En mer brukt metode er antagelig en slags øyemålm metode hvor man ser an hvor høyt og bredt bekken brer seg ved stor vannføring, og legger rør eller bro med bredde og dybde nok til dette.



Figur 26. Stikkrenner er ekstremt viktig. Både med tanke på dimensjonering, antall og plassering. Tette eller defekte rør kan få enorme konsekvenser for områdene der vannet tar veien. Dette er et eksempel på dårlig utført arbeid ved legging av stikkrenna. Bilde: Martin Bråthen, Skogkurs.

3.3.4 Komprimering

I svenske byggeanvisninger for skogsveier anbefales komprimering av planum før påføring av bærelag. Komprimering av massene og de ulike lagene medfører økt bæreevne. Komprimering i kombinasjon med dekktrykktilpassing (for eksempel Central Tyre Inflation (CTI)) gir vesentlig reduserte sporskader og lenger levetid på veien uten behov for bæreevne-vedlikehold.



Figur 27. Forventet sporutvikling som følge av pakking av planum / terrassen og bruk av dekktrykkregulering (CTI) (Bergqvist et al., 2016). Ved bruk av CTI ble dekktrykket redusert til det halve.

Ved å komprimere øker bæreevnen med ca. 16%. I kombinasjon med CTI vil levetiden (antall passeringer til en viss dybde på kjøresporene) øke voldsomt. En annen undersøkelse av Bergqvist, Björheden & Eliasson (2016) fant ut at komprimering av veien først bør skje etter at veien har ligget i ro igjennom en teleløsningsperiode. Teleløsningsen medfører økt komprimering i terrassen (forsterkningslag av stedegent materiale). Veien kan med andre ord godt få lov til å «sette» seg før påføring av bærelag og slitelag.

3.4 Utviklingstrekk – metoder og teknologier innen veibygging, veibruk og veivedlikehold

3.4.1 Fremtidens behov for bæreevne

Skogsbilveiene anlegges for å lette tømmertransporten og dermed spare penger. I Sverige er det i dag tillatt med 74-tonn, i Norge 60-tonn tømmervogntog. I begge land jobbes det med å øke totalvekten, henholdsvis til 90-tonn i Sverige og 74-tonn i Norge. Økte vogntogvekter gir generelt lavere transportkostnader og lavere drivstofforbruk pr. transportert tonn.

Effekten av aksellast, antall aksler, dekktyper og dekktrykk er godt beskrevet av Varin & Saarenketo (2014). Disse forholdene har mye å si på slitasje, deformasjoner og spordannelse på veinettet. Økt totalvekt fordelt på flere aksler kan gi økt slitasje per tur, selv om aksellasten er lavere. Dette skyldes tre forskjellige mekanismer; 1) Porevanntrykket i veikroppen og undergrunn øker for hver hjulpassering, og med mange passeringer i rask rekkefølge vil vannet «masseres opp» i veikroppen og gi svekket bæreevne. 2) Veien fjærer litt når det passerer et belastet hjul. Om det kommer mange hjul i rask rekkefølge rekker ikke veien å gå tilbake mellom hver passering, og til slutt gir dette en permanent deformasjon som øker med antall hjulpasseringer. 3) lange vogntog gir mange hjulpasseringer i nøyaktig samme spor, dette virker på samme måte som punkt 2. Dekktrykk og dekk-konfigurasjon har

også svært mye å si for veislitasjen (Varin & Saarenketo, 2014). Større vogntog gir derfor større krav til veien, selv om aksellasten ikke økes.

Av dette bør en vei få ro imellom transporter, gruppekjøring bør unngås, spesielt når det er bløtt eller i tele-løsningsperioder. I dag blir mer volum kjørt ut på kortere tid noe som fører til at veien i mange tilfeller ikke får «satt seg» mellom hver tur. De stadig større tømmervogntogene tilpasses i størst grad det offentlige veinettet siden kun +/-3% av transporten skjer på skogsbilveinettet (kilde: Allskog). Det betyr at skogsbilveinettet må tilpasse seg de stadig større tømmerbil-ekvipasjene.

3.4.2 Sanntids monitorering av veienes bæreevne

Trafikverket i Sverige har en nettside der de publiserer [tjälldiup](#). Det er resultater fra målinger av teledybde rundt omkring i landet på offentlige veier. Informasjon herfra vil, ved like forhold som referanseveien, kunne gi verdifull informasjon om når man kan kjøre ut tømmer og ikke. Teleforholdene kan variere fra time til time, og ved riktig bruk av døgnets timer kan kjøreskadene reduseres i sårbare perioder.



Figur 28. 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. Bilde: Romeriks allmenningene v/ Johannes Enersen

3.4.3 STP (Surfacing Thickness Program)

I Svenske og Norske veinormaler angis kravet til bærelagstykkelse ut fra karakteristikkene på undergrunn og bærelagsmasser. Skogforsk i Sverige har sett på muligheten for å bygge veier med tynnere bærelag ved hjelp av en modell som heter [Surface Thickness Programme](#), forkortet til STP (Bergqvist et al., 2017). Modellen beregner i utgangspunktet hvor mye spordannelse det blir på veien ved en viss belastning og ved en gitt bæreevne i både veikropp og undergrunn. Med denne metoden kan derfor minste bærelagstykkelse beregnes ut fra hvor mye spordannelse man aksepterer. STP kan gi billigere veier i og med at man kan redusere bærelagstykkelsen (Bergqvist et al., 2017). Men det bemerkes at metoden bør tilpasses og videreutvikles for å bli et praktisk og anvendelig verktøy. Og den betinget at man kjenner CBR-verdiene for både planum (terrassen) og overbygningen i veien.

3.4.4 Road-doctor

Road-Doctor® (Roadscanners OY) et program / verktøy for å organisere og analysere data fra bæreevne målinger, georadarbil og andre kilder til å vurdere forsterkninger/opprusting av veien. Bruk av denne type teknologi for å skreddersy bæreevneforsterkning i forhold til behovet langs etter en vei kan gi besparelser på 14 – 40% (Christoffersson & Johansson, 2012). Gevinsten realiseres ved at man kun forsterker og oppgraderer de partiene på veien som faktisk trenger det, samt at undersøkelsene som gjøres gir bedre data over hvor mye et parti må forsterkes. På www.roadex.org så ligger flere rapporter ute om denne metoden.

I Trøndelag har flere av veipådriverne testet deler av denne metoden (fallodd) med positive tilbakemeldinger. Detalj-graden vil variere med utstyret. Mest omfattende vil bæreevne målinger utført med tungt fallodd, montert på henger. Det finnes også alternativer som gir gode indikasjoner om bæreevnen som kan benyttes av for eksempel en veiplanlegger under planleggingen av opprusting/nybygging (Tvensberg, 2016).



Bildetekst: Bæreevne måling utført av veiplanlegger Bjørn Arve Øvereng på en nyanlagt vei. En solid og fint utformet vei. Bilde: Martin Bråthen, Skogkurs.

En georadar kan benyttes til å bestemme dybde til berg og dybde til grunnvannspeil. Dette kan være et nyttig grunnlag for masseberegninger og til planlegging av behovet for sprenging og pigging. [Geovista](#) har på sin hjemmeside skrevet en kort informativt om hvordan en georadar fungerer.

3.4.5 Dekktrykkregulering

Kjørt barn har mange navn, systemer for dekktrykkregulering under kjøring har fått minst to. Tyre Pressure Control Systems (TPC | TPCS) og Central Tyre Inflation System (CTI | CTIS) er eksakt samme sak, men ved å bruke benevnelsen TPC vil ikke slangene som stikker utenfor hjulet regnes som en ulovlig breddeutvidelse av kjøretøyet. TPC er et system som regulerer lufttrykket i dekkene til vogntoget under transport. Ved å redusere lufttrykket øker dekkenes kontaktflate med veien med 20-25%. Dette gir redusert marktrykk og dermed lavere slitasje på veidekket samt økt trekkraft i bratte

bakker (Bjerketvedt & Fjeld, 2016; Granlund, 2006b; Mohammad Reza, 2017). På veier med redusert bæreevne eller bruksklasse, som f.eks. mange offentlige veier, gjør effektene av det reduserte marktrykket at lastvekten kan økes. I Sverige har skognæringa fått dispensasjon fra Trafikverket til å øke lastvekten på bæresvake veier ved bruk av TPC.

Man kan også benytte brede singelhjul (i stedet for tvillinghjul) i kombinasjon med TPC på tilhengeren. Svenske studier og erfaringer tilsier mindre drivstofforbruk, mer stabil gange og lengre levetid på dekkene (Röhfors, 2011). Men sporutviklingen på skogsvei med dårlig bæreevne viste seg større om man sammenligner brede singelhjul med tvillingmontasjer (Röhfors, 2011).

Ved riktig bruk vil altså TPC-systemet gi mindre veislitasje, og muliggjøre transport på veier med nedsatt bæreevne (Granlund, 2006a). Økonomiske analyser av systemet har også indikert at om 30% av virkesbilflåten har TPC i områder med mye silt og leire i grunnen, så vil konseptet spare / tilføre om lag 4 SEK/m³ i verdi til verdikjeden (Skutin, 2012). Kalkylene var gjort for Västernorrlands län, som er et område med mye finjord og høy andel veier med redusert bæreevne (BK2 og BK3).



Figur 29. TPC - regulerer lufttrykket i dekkene. Lavere lufttrykk gir større overflate på veien, noe som reduserer marktrykket. Bilde: Martin Bråthen, Skogkurs.

De negative sidene med TPC er at det er en ekstra komponent å installere og vedlikeholde, samt at dekkskift blir mer komplisert. SCA Skog benytter TPC på ca. 20% av lastebilene, og bygger/oppruster mange veier nå med hensyn til de fordelene TPC gir (Asmoarp et al., 2016). I Norge går det så vidt vi vet om bare ett kjøretøy med TPC, og det går i et testopplegg for konseptet i Norge (Bjerketvedt & Fjeld, 2016). I Norge finnes det omtrent bare frittstående tømmertransportører, hvilket betyr at om TPC skal benyttes i Norsk virkestransport må forretningsmodellene gjøre investeringen lønnsom for transportøren. Så lenge transportøren har utgiftene og ulempene, og skogeier / veieier / skogindustrien har inntektene og fordelene, vil vi neppe se noe stortilt investering i dette systemet.

4 Kurs og kompetanseutvikling

Skogforsk (Sverige) tilbyr mange kurs for skogsbransjen, hvorav to med spesiell relevans for temaene her.

- «Bli spårlös» er et kurs eller arrangement som arrangeres som en heldag med foredrag, diskusjoner og befarung i felt, hvor deltakerne får all den oppdaterte kunnskap som finnes om metoder og teknologier som muliggjør skogsdrifter helt uten kjøreskader.
- «Reco» er en sjåførutdanning innen «Rationell Ekonomisk och produktiv avverkning och körning», noe som også innebærer skogsdrift med minst mulig skader på terrenget.
- For andre tema (for eksempel vei) skreddersys kurs når behovet oppstår.

Skogkurs (Norge) tilbyr en rekke kurs med høy relevans til moderate kostnader for mange aktører:

- Innen vei-faglige problemstillinger tilbys en serie med tre dagskurs om veiorganisering, veiøkonomi og veivedlikehold, samt ett todagers entreprenørkurs i bygging av skogsveier. I tillegg organiseres en årlig «fagsamling vei», som er et forum for faglig utvikling i veispørsmål. Målgruppen for disse kursene er veiplanleggere, skogeiere, tømmeroppkjøpere, entreprenører og offentlig forvaltning.
- Innen skogsdriftsfaglige problemstillinger tilbys en rekke kurs innen planlegging av skogsdrift, fagprøvekurs for maskinførere, andre maskinførerkurs, produksjonsplanlegging osv. Skogkurs tilbyr også RECO-utdanningen nevnt over. For alle kursene finnes tilrettelagt faglitteratur. Skogkurs har også lang erfaring i å kjøre skreddersydde kurs for maskinførere og entreprenører som ønsker å videreutvikle egne faglige kvalifikasjoner og ferdigheter.
- Innen skogforvaltningsfaglige problemstillinger tilbys også en del kurs, blant annet et todagers kurs i bruk av skogbruksplanen, samt kurs i praktisk bruk av GIS i skog- og utmarksnæringer.

Nettstedet skogskunnskap.se er en kunnskapsportal hvor man finner oppdatert og praktisk tilrettelagt informasjon om skogproduksjon, skjøtsel, skogsdrift og skogsvei tematisk organisert.

skogkurs.no/kunnskapsskogen er et tilsvarende nettsted i Norge.

Rapporter og vitenskapelige publikasjoner fra prosjekter hvor NIBIO deltar er tilgjengelig på NIBIO's nettsider under fanen Publikasjoner.

5 Klimaprognoser og driftsforholdene for skogbruket i Trøndelag, Jämtland og Västernorrland

Fra midten av det 19de århundre ble teoriene omkring hvordan drivhusgassene bidro til et levelig klima på jorden lansert. Den svenske fysikeren Svante A. Arrhenius beregnet at en 50 % økning i atmosfærisk CO₂ ville øke årstemperaturen med 3,6 – 3,7 °C her på 60° til 70° nordlig breddegrad (Arrhenius, 1896b, 1896a). Siden den gang har CO₂ konsentrasjonen i atmosfæren økt med 30 %, og klimamodellene peker nå mot en sannsynlig økning i gjennomsnittlig temperatur på 3-6 °C innen år 2100 (van Oort et al., 2018). Sammenlignet med referanseårene 1960-1990 har midlere årstemperatur allerede økt med nesten 1°C i Midt-Norge, og endringen er størst om vinteren (Tveito, 2014). Prognosene tilsier at det blir 20 – 40 færre vinterdager med temperatur under 0°C i perioden 2071-2100 i forhold til referanseårene (Tveito, 2014). I Finland er det beregnet at tiden med «godt vinterføre», dvs. 20 cm tele eller 40 cm snø vil reduseres med om lag en måned innen 2050 og 2-3 mnd. innen 2099 (Lehtonen et al., 2018). Foruten varmere vær er det også forventet kraftigere nedbør, flere og større regnflommer og flere jord-, flom- og sørpeskred i Skandinavia i årene som kommer. Og, tross forventningen om mer nedbør, indikerer klimaframskrivningene også hyppigere og kraftigere perioder med sommertørke (van Oort et al., 2018).

Utviklingen har mange åpenbare følger for skogbrukets driftsteknikk her i Norden. Tidligere praksis med bruk av tele og snøpakking for å sikre adkomst og unngå sporskader vil bli en upålitelig metode. Et våtere jordsmonn vil svekke skogbunnens bæreevne og friksjon spesielt vinter, vår og høst. Det medfører økt risiko for stormfelling, økt spordannelse og erosjonsfare, og dårligere fremkommelighet i bratt og mykt terreng. Om vi skal videreutvikle bruken av skogressursene, samt holde en jevn avvirkingstakt gjennom året, er det derfor en forutsetning at skognæringa tilegner seg arbeidsmetoder og teknologi som muliggjør skogsdrift på bæresvak mark og i vanskelig terreng uten hjelp av frost og snø.

Litteratur

- Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T., Lamminen, S., & Sirén, M. (2011). Equipping a Conventional Wheeled Forwarder for Peatland Operations. *International Journal of Forest Engineering*, 22(1), 7–13. <https://doi.org/10.1080/14942119.2011.10702599>
- Arrhenius, S. (1896a). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251), 237–276.
- Arrhenius, S. (1896b). Ueber den Einfluss des atmosphärischen Kohlensäuregehalts auf die Temperatur der Erdoberfläche. *Behandling till Kongliga Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, 22(1), 1–102.
- Asmoarp, V., Bergqvist, M., Frisk, M., Flisberg, P., & Rönnquist, M. (2016). *VägRust på SCA. En analys av vägupprustningsbehov på SCA Skog AB:s tre sydliga förvaltningar* (Nr. 919; Arbetsrapport från Skogforsk). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190114162542/contentassets/8a40d7a14bda45f9b327ce3bb87d6197/vagrust-pa-sca-en-analys-av-vagupprustningsbehov-pa-sca-skog-ab-tre-sydliga-forvaltningar-arbetsrapport-919-2016.pdf
- 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://hdl.handle.net/11250/2673186>
- Avvattningsteknisk dimensionering och utformning—MB 310* (Råd TDOK 2014:0051 Version 3.0; Råd, s. 68). (2017). Trafikverket. <http://trvdokument.trafikverket.se/Versioner.aspx?spid=3583&dokumentId=TDOK%202014%3a0051>
- Axelsson, T., Bengtsson, P., Landström, A., Melin, A., Möller, L., Fries, C., & Holmström, A. (2018). *Infrastruktur-i-skogsbruket-med-betydelse-for-skogsproduktionen—Nulage-och-atgardsforslag.pdf* (Nr. 2018/3; rapport, s. 42). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/publikationer/2018/rapport-20183-infrastruktur-i-skogsbruket-med-betydelse-for-skogsproduktionen---nulage-och-atgardsforslag.pdf>
- Balkwill, J. (2018). *Performance vehicle dynamics: Engineering and applications*. Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier.
- Berg, R., Bergkvist, I., Lindén, M., Lomander, S., Ring, E., & Simonsson, P. (2010). *Förslag till en gemensam policy angående körskador på skogsmark för svenskt skogsbruk* (Nr. 731; Arbetsrapport från Skogforsk, s. 23). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_48e50d/contentassets/fde648c009f548b494c4190bb03583b6/arbeitsrapport-731-2010.pdf
- Berg, S. (1992). *Terrain classification system for forestry work*. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S., & Sonesson, J. (2014). *STIG-projektet 2010–2014* (nr. 818; Arbetsrapport Från Skogforsk, s. 24). Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/contentassets/5a2becd9ed79427f8c4e940765c6b3bf/stig-projektet-2010-2014.pdf>
- Bergqvist, M., Björheden, R., & Eliasson, L. (2016). *Kompakteringseffekter på skogsbilvägar* (nr. 917–2016). Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/contentassets/2a1f59a536e54a2792cod7dc7f46cd46/kompakteringseffekter-pa-skogsbilvagar-arbetsrapport-917-2016.pdf>

- Bergqvist, M., Bradley, A., Björheden, R., & Eliasson, L. (2017). *Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden* (nr. 920-2017; Arbetsrapport från skogforsk nr). Skogforsk.
<https://www.skogforsk.se/contentassets/38dcc7f74e844101aa70c039de9fda2c/validering-av-stp-surfacing-thickness-program--for-svenska-forhallanden-arbetsrapport-920-2017.pdf>
- Berntsen, G., & Saarenketo, T. (2005). *Drainage on low traffic volume roads—Problem description, improvement techniques and life cycle costs*. RoadexII. https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/02/2_6-Drainage_1.pdf
- Biometria. (u.å.). *Klassning av skogsbilvägar*. Hentet 23. desember 2020, fra https://www.biometria.se/wp-content/uploads/2019/11/Klassning-av-skogsbilv%C3%A4gar_fickformat_webb.pdf
- Biometria. (2019). *Klassning av skogsbilvägar* (s. 28). Biometria, Sverige.
https://www.biometria.se/wp-content/uploads/2019/11/Klassning-av-skogsbilv%C3%A4gar_fickformat_webb.pdf
- Bjerketvedt, J., & Fjeld, D. (2016). *Implementation challenges for CTI in Norwegian wood supply*. In «From Theory to proceedings Practice: Challenges for Forest Engineering», *Proceedings of the 49th FORMEC Symposium 2016 September 4–7* (A. Gendek & T. Moskalik, Red.; s. 338). <https://www.formec.org/images/formec2016/proceedings-formec-poland-2016.pdf>
- Björheden, R. (2016). *Stort utrymme för bandskotare i svenskt skogsbruk*. Skogforsk - Kunskapsbanken. <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2016/stort-utrymme-for-bandskotare-i-svenskt-skogsbruk/>
- Bjørnstad, B. H., & Fønhus, M. (2019). *Skogfond Regler og tips for avsetning og smart bruk*. Skogkurs. <https://www.skogkurs.no/userfiles/files/Okonomi-og-skogfond/Veileder%20skogfond.pdf>
- Bombosch, F., Sohns, D., Nollau, R., & Kanzler, H. (2003). Are forest operations on steep terrain (average of 70% slope inclination) with wheel mounted forwarders without slippage possible? *Austria 2003 Proceedings*, 5. <https://www.formec.org/proceedings/34-austria-2003-proceedings.html>
- Branchgemensam Miljöpolicy*. (2013). Svenska skogsbranschen, Skogsindustrierna & LRF Skogsägarna.
https://www.skogskunskap.se/contentassets/6b8dbf61bab74a418e0dd519141c5709/miljopolicy-2013_korskadur.sv.pdf
- Brubaker, K. M., Myers, W. L., Drohan, P. J., Miller, D. A., & Boyer, E. W. (2013). The Use of LiDAR Terrain Data in Characterizing Surface Roughness and Microtopography. *Applied and Environmental Soil Science*, 2013, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/891534>
- Brunberg, T. (2004). *Underlag till produktionsnorm för skotare* (nr 3; Redogörelse). Skogforsk.
- Brunberg, T. (2007). *Underlag för produktionsnormer för extra stora engrepsskördare i slutavverkning* (Redogörelse nr 2). Skogforsk.
<https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2007/Underlag-for-produktionsnormer-for-extra-stora-engrepsskordare-i-slutavverkning/>
- Bråthen, M. (2017). *Registrering av skogsbilveier i Akershus*. Viken skog.
- Bråthen, M., Lyshaug, S., & Nashoug, O. (2020). *Geologi og vegbygging* (Skogkurs Veileder, s. 44). Skogkurs.
<https://www.skogkurs.no/userfiles/files/skogsveier/Veileder%20geologi%20og%20veibyging.pdf>

- Cavalli, R., & Amishev, D. (2019). Steep terrain forest operations – challenges, technology development, current implementation, and future opportunities. *International Journal of Forest Engineering*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/14942119.2019.1603030>
- Christoffersson, P., & Johansson, S. (2012). *REHABILITATION OF THE TIMMERLEDEN FOREST ROAD* (s. 39). The ROAD EX “Implementing Accessibility” Project.
- Dahlen, J. (2015). *Lærebok Drift og vedlikehold av veger: Bd. Nr. 365*. Statens vegvesen. <https://hdl.handle.net/11250/2659628>
- Davidsson, A., & Bergqvist, M. (2018). *Metodik för broidentifikation* (Nr. 975–2018; Arbetsrapport, s. 20). Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2018/metodik-for-broidentifikation/>
- Direktoratet for naturforvaltning. (2002). *Slipp fisken fram! Fiskensvandringsmulighet gjennomkulverter og stikkrenner*. (Nr. 22–2002; Håndbok, s. 56). Direktoratet for naturforvaltning. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/dirnat2/attachment/385/dn-handbok-22-2002.jpg.pdf>
- Domstoladministrasjonen. (2019). *Veileder for bruksordning for veg*. Domstoladministrasjonen. <https://www.domstol.no/globalassets/upload/jordskifte/internett/publikasjoner/bruksordninger-for-veg---endelig-versjon2--kopi.pdf>
- Eliasson, L., & Wästerlund, I. (2007). Effects of slash reinforcement of strip roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil. *Forest Ecology and Management*, 252(1–3), 118–123. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.037>
- Enström, J., Davidsson, A., & Bergqvist, M. (2019). *Projektsammenfatning—Utveklad broinfrastruktur för mer hållbara transporter* (Nr. 1008; Arbetsrapport, s. 24). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_4920f3/contentassets/7b28da7d21654b89932b651dbe2769b4/arbet-srapport-1008-2019.pdf
- Eriksson, M., & Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 25(3), 179–200. <https://doi.org/10.1080/14942119.2014.974309>
- Faksdal, I. (2015). *Bæreevne måling Sørungen, Selbu*. Rambøll infrastruktur og transport.
- Fergus, T., Hoseth, K. A., & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka*. Fagbokforlaget. <http://www.fagbokforlaget.no/Vassdragsh%C3%A5ndboka/I9788251924252>
- Fergus, T., Høydal, Ø. A., Johnsrud, T.-E., Sandersen, F., & Schanche, S. (2011). *Skogsveger og skredfare: Veileder* (NVE Diverse, s. 37). NVE. <http://publikasjoner.nve.no/diverse/2011/skogsveggerskredfare2011.pdf>
- Fodgestam, N., & Bergkvist, I. (2012). *Att bygga broar—Hur man gör och vad det kostar* (Nr. 20; Resultat från Skogforsk, s. 4). Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2012/Att-bygga-broar--hur-man-gor-och-vad-det-kostar/>
- Forskrift om skogfond o.a., Pub. L. No. FOR-2006-07-03-881 (2006). <https://lovdata.no/forskrift/2006-07-03-881>
- Forskrift om tilskudd til nærings- og miljøtiltak i skogbruket, Pub. L. No. FOR-2004-02-04-447 (2004). <https://lovdata.no/forskrift/2004-02-04-447>
- Friberg, G., & Bergkvist, I. (2016). *Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket* (nr. 904; Arbetsrapport Från Skogforsk, s. 36). Skogforsk.

- https://www.skogforsk.se/cd_48e521/contentassets/f70c51e0a98047779c7db9659486d309/sa-paverkar-arbetsrutiner-och-markfuktighetskartor-korskador-i-skogsbruket-arbetsrapport-904-2016.pdf
- Friberg, G., & Davidsson, A. (2018, februar 5). *Ny GIS-modell placerar avläggen rätt*. Kunnskapsbanken. <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunnskapsbanken/2018/ny-gis-modell-placerar-avlaggen-ratt/>
- Fønhus, M., Fjeld, D., & Bjerketvedt, J. (2017). *Sluttrapport for Pilotprosjekt for bæreevneklassifisering* (Prosjektnr 2016-25; Skogtiltaksfondet Prosjektrapport, s. 14). Skogkurs. [http://skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2017/2016-25_Pilotprosjekt%20for%20b%C3%A6reevneklassifisering_januar%202017\(1\).pdf](http://skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2017/2016-25_Pilotprosjekt%20for%20b%C3%A6reevneklassifisering_januar%202017(1).pdf)
- Ghaffariyan, M. R., Acuna, M., & Ackerman, P. (2012). *Review of new ground-based logging technologies for steep terrain* (Nr. 21; CRC for Forestry Bulletin).
- Gjerstadberge, E., & Sanness, B. (2014). *Registrering av skogsbilveieri Oppland* (s. 35). <https://www.fylkesmannen.no/globalassets/fm-oppland/dokument-fmop/landbruk/skogbruk/registrering-av-skogsbilveier-i-oppland.pdf>
- Granlund, P. (2006a). *CTI på virkesfordon* (REDOGÖRELSE). https://www.skogforsk.se/cd_20190114161752/contentassets/5655230oda244f2f86fdef440eae3f01/redogorelse-inl-nr-3-06-lowres.pdf
- Granlund, P. (2006b). *Fem millioner kilometer med CTI* (Resultat från Skogforsk, s. 4) [Nr. 10]. https://www.skogforsk.se/cd_20190114161753/contentassets/e8dc2cb53c594bf7aef24e29e25fd7cc/resultat-nr-10-06-lowres.pdf
- Gunnarson, S., Hallgren, P., & Christoffersson, P. (2010). *Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilvägar klass 3 och 4* (s. 50). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/bruka-skog/vagar/projektera-och-bygga-skogsbilvag.pdf>
- Gustavsson, H. (2017). *Tidsstudie och kvalitetsuppföljning vid jämförelse av små och konventionella skördare och skotare i förstagallring* [SLU]. https://stud.epsilon.slu.se/10194/1/___storage-um.slu.se_restricted%24_SBT_Administration%20SBT_Rapporter_Epsilon_Gustavsson_H_2017_0518.pdf
- Hallgren, P. (u.å.). *Klimatanpassad vägbyggnadsteknik för skogsbilvägar* (s. 32). Skogsstyrelsen. https://www.skogskunskap.se/cd_20161108161635/contentassets/9aae67b002d64162a392d200e607a88a/klimat-anpassad-v_gbyggnad-kortversion-slutversion.pdf
- Heppelmann, J. B., Talbot, B., Antón Fernández, C., & Astrup, R. (2022). Depth-to-water maps as predictors of rut severity in fully mechanized harvesting operations. *International Journal of Forest Engineering*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/14942119.2022.2044724>
- Hittenbeck, J. (2013). *Estimation of Trafficable Grades from Traction Performance of a Forwarder*. 34(1), 71–81.
- Holaker, T., & Uthushagen, T. (2016). *Tilstandsregistrering skogsbilveger i Hedmark* (Rapport nr. 4/2016). Fylkesmannen i Hedmark. <https://www.fylkesmannen.no/globalassets/fm-hedmark/dokument-fmhe/06-landbruk-og-mat/skogbruk/tilstandsregistrering-veg-13.10.16.pdf>
- Holmli, H. S. (2014). *Produksjonsanalyse av Mounty-kabelkran* [Bacheloroppgave, Høgskolen i Hedmark]. <https://brage.inn.no/inn-xmlui/bitstream/handle/11250/222337/H%C3%A5kon%20Skjetne%20Holmli.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Holth, Y., Lyshaug, S., & Skjølaas, D. (2019). *Kostnadsfordeling av private veger* (5; Norskog Rapport, s. 40). http://www.skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2019/2017-40_NORSKOG-Rapport%202019-5_Fordelingsn%C3%B8kter%20av%20private%20veger.pdf
- Hosseini, S. A. ollah, Associate Professor of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Tehran, Iran., Esmaeili Sharif, M., Isfahan Research Center for Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran, Amoozad, M., Forest, Range and Watershed Administration, Sari District, Sari, Iran, Shirani, K., Associate Professor at Isfahan Research Center for Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran, Gorgandipour, M., & M.Sc. Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. (2016). The Effect of Forest Road Distance on Forest Fire Severity (Case Study: Fires in the Neka County Forestry). *Ecopersia*, 4(2), 1331–1342. <https://doi.org/10.18869/modares.ecopersia.4.2.1331>
- Johnsrud, T.-E. (2007). *Skogsdrift og veger i bratt terreng – en veileder i planlegging*. https://www.skogkurs.no/userfiles/files/skogsveier/skogsdr_veg_nettpdf
- Johnsrud, T.-E. (2012). *Inspeksjon av bruer på landbruksveger*. https://www.skogkurs.no/userfiles/files/skogsveier/Inspeksjon_brue.pdf
- Kartverket. (2019, mars 20). *Høydedata og terrengmodeller for landområdene*. Kartverket. <https://www.kartverket.no/data/Hoydedata-og-terrengmodeller/>
- Kjøllestad, T. G. (2015). *Private skogsbilveier Ansvarsforhold* (2. utg.). Skogkurs. https://www.dropbox.com/s/b9rwwq1itio498dx/05_publicasjon_private_skogsbilveier_ansvarsforhold.pdf?dl=0
- Konradsson, A. (2008). *Erfarenheter med valvbågar* (Nr. 68; Publikation, s. 24). Vägverket. https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/12033/RelatedFiles/2008_68_erfarenheter_med_valvbagar_.pdf
- Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Asikainen, A., Laitila, J., Anttila, P., & Peltola, H. (2018). Projected decrease in wintertime bearing capacity on different forest and soil types in Finland under a warming climate. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–29. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-727>
- Lidberg, W., Nilsson, M., & Ågren, A. (2020). Using machine learning to generate high-resolution wet area maps for planning forest management: A study in a boreal forest landscape. *Ambio*, 49(2), 475–486. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01196-9>
- Lileng, J. (2009). *Avvirkning med hjulgående maskiner i bratt terreng* (Oppdragsrapport fra Skog og landskap, s. 12). Norsk institutt for skog og landskap.
- Løvenskiold, F. C. (2014). *Rapport om registrering av skogsbilveier i Akershus* (s. 17). Viken Skog. <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/utgatt/fm-oslo-og-akershus/dokument-fmoa/landbruk-og-mat/skogbruk/rapport-skogsbilvei-akershus-2012-og-2013.pdf>
- Malmberg, C. E. (1981). *Terrängmaskinen Del 2* (2. utg.). Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Mattsson, A. (2007). *Utvärdering av Hultdins prototyp för portabel bro (drivningsbro)* [SLU]. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-8752>
- Maxstadh, P. (2018a). *Förvaltning—En övergripande brohandledning*. Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_48e646/contentassets/5fa76c46521a4b2daac59foe9dd16607/forvaltning---en-overgripande-brohandledning.pdf
- Maxstadh, P. (2018b). *Inspektion—En handledning inom broförvaltning*. Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/produkter-och-evenemang/trycksaker/2018/inspektion--en-handledning-om-broforvaltning/>

- Maxstadh, P. (2018c). *Upphandling -En handledning inom broförvaltning*. Skogforsk.
https://www.skogforsk.se/cd_48e645/contentassets/8912c2189fd40ef9b9a6df3806bb8e0/upphandling---en-handledning-inom-broforvaltning.pdf
- McEwan, A., Brink, M., & van Zyl, S. (2013). *Guidelines for difficult terrain ground based harvesting operations in South Africa* (Nr. 02; ICFR Bulletin, s. 149). The Institute for Commercial Forestry Research. <https://www.icfr.ukzn.ac.za/sites/default/files/inline-files/xx-2013DiffTerrain3.pdf>
- Mohammad Reza, G. (2017). Impacts of Central Tire Inflation Systems application on forest transportation – Review. *Journal of Forest Science*, 63(No. 4), 153–160.
<https://doi.org/10.17221/111/2016-JFS>
- Mologni, O., Dyson, P., Dzhamaal, A., Rosario, P. A., Cuissepe, Z., Cavalli, R., & Stefano, G. (2018). Tensile Force Monitoring on Large Winch-Assist Forwarders Operating in British Columbia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(2), 193–204.
- Narayananaraj, G., & Wimberly, M. C. (2011). Influences of forest roads on the spatial pattern of wildfire boundaries. *International Journal of Wildland Fire*, 20(6), 792. <https://doi.org/10.1071/WF10032>
- Nordfjell, T., Öhman, E., Lindroos, O., & Ager, B. (2019). The technical development of forwarders in Sweden between 1962 and 2012 and of sales between 1975 and 2017. *International Journal of Forest Engineering*, 30(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/14942119.2019.1591074>
- Noreland, D., Bergqvist, M., Lundström, H., & Hansson, L. (2020). *Askvägar i skogsbruket: Metod-effekt-kostnad* (Nr. 1036; Arbetsrapport, s. 81). Skogforsk.
https://www.skogforsk.se/cd_20200316125319/contentassets/c672fd9198bb463f980b74548c7dd15b/arbetsrapport-1036-2020.pdf
- Norem, H., Flesjø, K., Sellevold, J., Lund, M. R., & Viréhn, P. L. E. (2018). *Lärebok Drenering og håndtering av overvann* (Bd. 681). Statens vegvesen.
https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/statens+vegvesens+rappporter/_attachment/2162096?_ts=1617a9850d0&download=true&fast_title=L%C3%A6rebok%3A+Drenering+og+h%C3%A5ndtering+av+overvann+%28PDF%2C+9+MB%29
- Normaler for landbruksveier—Med byggebeskrivelse*. (2016). Skogbrukets Kursinstitutt.
<http://www.skogkurs.no/vegnormaler/>
- Norsk Klimaservicesenter*. (2019). <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/index.xhtml>
- Persson, P.-E. (2013). *Arbete i avverkningslag: Arbetsmiljö, kvalitet, produktion. Del 1 Grundläggande kunskaper* (5. utg.). Mora in Europe AB.
- Persson, P.-E. (2019). *Klassning av bärighet*. Mora in Europe AB.
- Pirnazarov, A., Wijekoon, M., Sellgren, U., Andersson, K., & Lofgren, B. (2012). Modeling of the bearing capacity of nordic forest soil. *Proceedings of the 12th European Regional Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems*, 11.
https://www.researchgate.net/publication/235408136_MODELING_OF_THE_BEARING_CAPACITY_OF_NORDIC_FOREST_SOIL
- Pohjankukka, J., Riihimäki, H., Nevalainen, P., Pahikkala, T., Ala-Ilomäki, J., Hyvönen, E., Varjo, J., & Heikkonen, J. (2016). Predictability of boreal forest soil bearing capacity by machine learning. *Journal of Terramechanics*, 68, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2016.09.001>
- Poltorak, B. J., Labelle, E. R., & Jaeger, D. (2018). Soil displacement during ground-based mechanized forest operations using mixed-wood brush mats. *Soil & Tillage Research*, 179, 96–104.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.005>

- Ponsse. (u.å.). *2000s—Ponsse*. Company history. Hentet 12. august 2019, fra <https://www.ponsse.com/company/history/2000s/>
- Reed, E. U. (2018). Klimaendringer og skogbranner: – Det er en sammenheng. *CICERO KLIMA*. <https://www.cicero.oslo.no/no/posts/klima/california-brenner>
- Rennebu-Bjelken AS. (2017, juni 16). *Demonstrasjon av skogsbro på lokasjon*. <https://www.youtube.com/watch?v=hrbN--Wp-A8>
- Rundtom, T. O. (2019, mars 14). *Bygde 16 ganger så mye skogsbilvei for 50 år siden*. ssb.no. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/bygde-16-ganger-sa-mye-skogsbilvei-for-50-ar-siden>
- Röhfors, G. (2011). *Bättre ekonomi och miljö med singelhjul och CTI* (nr. 15; Resultat från Skogforsk). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190114161737/contentassets/47d5f8130f19410794f6f318a14d94cb/resultat_nr15_2011_low.pdf
- Samset, I. (1983). *Skogsdrift i bratt og vanskelig terreng* (Driftsteknisk rapport, s. 53) [No. 24]. Norsk insitutt for skogforskning.
- Schönauer, M., Holzfeind, T., Hoffmann, S., Holzleitner, F., Hinte, B., & Jaeger, D. (2020). Effect of a traction-assist winch on wheel slippage and machine induced soil disturbance in flat terrain. *International Journal of Forest Engineering*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1832816>
- Sessions, J., Leshchinsky, B., Chung, W., Boston, K., & Wimer, J. (2017). Theoretical Stability and Traction of Steep Slope Tethered Feller-Bunchers. *Forest Science*, 63(2), 192–200. <https://doi.org/10.5849/forsci.16-069>
- Siffror om vägar*. (2019). Skogskunskap. <https://www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/om-skogsbilvagar/skogsbilvagar-och-andra-enskilda-vagar/siffror-om-vagar/>
- Skogskunskap. (2016, november 8). *Väglklasser i skogen*. <https://www.skogskunskap.se:443/vagar-i-skogen/om-skogsbilvagar/skogsbilvagar-och-andra-enskilda-vagar/vagklasser-i-skogen/>
- Skogsstyrelsen. (2021). *Målbilder för god miljöhänsyn*. <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/malbilder-for-god-miljohansyn/>
- Skutin, S.-G. (2012). *Lönsamhet för CTI på virkesfordon* (nr. 771; Arbetsrapport från Skogforsk, s. 32). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190114161744/contentassets/5188f77748f644508c1c2c02395a293f/lonsamhet-for-cti-pa-virkesfordon.pdf
- SMHI. (2019, juli 24). *Vattenwebb—Modelldata per område*. <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>
- Stampfer, K., & Steinmüller, T. (2001). *A New Approach To Derive A Productivity Model for the Harvester “Valmet 911 Snake”*. 254–262. <http://depts.washington.edu/sky2001/proceedings/papers/Stampfer.pdf>
- Statens vegvesen. (2018a). *Håndbok N200 Vegbygging* (2018. utg.). Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/om-handbokene/vegnormalene/n200>
- Statens vegvesen. (2018b). *Håndbok R211—Feltundersøkelser*. Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/>
- Statens vegvesen. (2019). *Vegnormalene*. Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/om-handbokene/vegnormalene>

- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K., & Væringstad, T. (2015). *Veileder for flomberegninger i småuregulerte felt: Bd. nr 7*. NVE.
http://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf
- Sverker, J., & Björheden, R. (2018). Bandskotare—En del av lösningen? *Vision*, 12–13.
- Saarilahti, M. (2002a). Soil interaction model, appendix report No 5—Modelling of the wheel and tyre. I R. Haarlaa & J. Salo (Red.), *ECOWOOD studies made at the University of Helsinki*. University of Helsinki. <https://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/mvaro/publications/31/soilinte.html>
- Saarilahti, M. (2002b). *Soil Inteaction Model* (s. 87) [Project report].
<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/mvaro/publications/31/soilinte.pdf>
- T. W. Reisinger & C. J. Davis. (1986). A Map-Based Decision Support System for Evaluating Terrain and Planning Timber Harvests. *Transactions of the ASAE*, 29(5), 1199–1203.
<https://doi.org/10.13031/2013.30294>
- Talbot, B. (2013). Forprosjekt—Evaluering av gravedrifter. *Rapport fra Skog og landskap*, 05(05), 22.
- Talbot, B., Nitteberg, M., & Kyllö, N. O. (2014). *Prestasjonsstudie og systemanalyse på Zöggeler bardunfri taubane* (Nr. 17; Rapport fra Skog og Landskap, s. 28). Norsk institutt for skog og landskap. <http://hdl.handle.net/11250/2440172>
- Trafikverket, & Skogforsk. (2000). *Upplag av virke och skogsbränsle vid allmän och enskild väg*. Trafikverket. https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10658/Ineko.Product.RelatedFiles/100401_Upplag_Av_Virke_DEC_2020_Vers_7.pdf
- Tveito, O. E. (2014). *Klimaendringer og betydning for skogbruket* (Nr. 25; Met report, s. 49). Norwegian Meteorological Institute.
- Tvensberg, H. (2016). *Bæreevne måling av skogsbilveg med håndholdt fallodds måler* [Masters thesis, NMBU]. <http://hdl.handle.net/11250/2403768>
- van Oort, B., Aaheim, H. A., Aamaas, B., Hønsi, T., & Dannevig, H. (2018). *Oppdatering av kunnskap om konsekvenser av klimaendringer i Norge* (Nr. 14; CICERO Report, s. 176).
<http://hdl.handle.net/11250/2582720>
- Varin, P., & Saarenketo, T. (2014). *EFFECT OF AXLE AND TYRE CONFIGURATIONS ON PAVEMENT DURABILITY – A PRESTUDY* (s. 54). https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/10/ROADEX_Axle_Tyre_Prestudy_15102014%20Final.pdf
- Vestin, J., Nordmark, S., Arm, M., Lagerkvist, A., & Lind, B. B. (2016). *Långtidsuppföljning av grusväg stabiliserad med bioflygaska – Sörkrångevägen* (s. 42). Energiforsk; ISBN 978-91-7673-264-9. <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/19687/langtidsuppfoljning-av-grusvag-energiforskrapport-2016-264.pdf>
- Vägverket. (2006). *NVDB - Specifikation av innehåll—Företeelser* (v 5.0). Vägverket.
<http://www.trafrakt.se/1/1.0.1.0/59/NVDB%20-%20Specifikation%20av%20inneh%C3%A5ll%20-%20of%C3%B6reteelser%20v%205%200.pdf>
- Willén, E., Friberg, G., Flisberg, P., Andersson, G., Rönnquist, M., Westlund, K., & Jönsson, P. (2017). *Bestway– Beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar för skotare – Metodrapport* (nr. 945; Arbetsrapport Från Skogforsk, s. 46). Skogforsk.
https://www.skogforsk.se/cd_48e632/contentassets/3d2cf69fe3194d0598dadb228dbb31d5/best-way-beslutsstod-for-forslag-till-huvudbasvagar-for-skotare-arbetsrapport-945-2017.pdf

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.