

Kunskapssammanställning

Helmer Belbo

Martin Bråten

Tomas Johannesson

*Skoglig
anpassning*
FÖR ETT ÄNDRAT KLIMAT

Afton i skogen

Längtande från dagens strider
att en stund få njuta ro,
vandrar jag, när afton lider,
ut till skogens gömda bo.

Sakta aftonvinden susar,
trasten högt i furan slår,
ack, den storm, i världen brusar,
skogens djupa frid ej når.

Stilla genom skogens salar
svepa skuggor träden in,
och den djupa tystna'n talar
sällsamt sakta till mitt sinn'.

Gröna skog, du tysta gömma,
tillflykt fjärran världens brus,
än en gång, o, låt mig drömma
vid ditt ljuva, tysta sus!

Dikt av Axel Häggbom (1900)



SKOGLIG ANPASSNING FÖR ETT ÄNDRAT KLIMAT
Kunskapssammanställning

UTGIVNING
2022

FÖRFATTARE
Helmer Belbo (Nibio.no)
Martin Bråten (Skogkurs.no)
Tomas Johannesson (Skogforsk.se)

LAYOUT OG TRYCK
Allkopi Netprint

OMSLAGSBILD
Adobe Stock

Innehåll

1	Bakgrund och Inledning.....	6
2	Terrängtransport.....	8
2.1	Grunderna för skadefri terrängtransport.....	8
	Lastkapacitet och marktryck	8
	Friktion och dragkraft	10
2.2	Planering för terrängtransporter	11
	Samspel inom avverkningslag och beställare – gemensam målbild	11
	Avlägget	12
	Digitala verktyg för terrängklassning och underlag för beslutsstöd.....	12
	Digitala verktyg för beslutsstöd för optimerad terrängtransport	13
	Fältbesök – bedömning av bärighet	14
2.3	Avverkning och transport på marker med dålig bärighet.....	16
	Ökat fokus på körskador	16
	Arbetsmetoder	18
	Överfarter över sträckor med dålig bärighet	18
	Överfarter över vattendrag.....	20
	Specialmaskiner (Bandskotare, 10-hjulingar, lätta maskiner).....	20
2.4	Avverkning och transport i brant terräng	22
	Skördare och skotare.....	22
	Grävmaskinstrakter	22
	Vinschning av skogsmaskiner	24
	Linbanedrift	25
3	Vägtransport	28
3.1	Skogsbilvägar i ett förändrat klimat.....	28
	Ju sämre väder desto viktigare blir vägen.....	28
	Skogsvägnätets tillstånd	29
	Bärförmåga och klassificering av bärförmåga	30
3.2	Etablering och underhåll av skogsbilvägar	32
	Vägplanläggaren.....	32
	Etablering av skogsvägar	32
	Finansiering av skogsbilväg.....	33
	Organisering av vägföreningar	35
	Vägunderhåll	35
3.3	Vägstandarder, vägnormer, byggteknik	36
	Vägstandarder och vägnormer.....	36
	Utformning av vägen.....	38
	Vattenhantering.....	38
	Komprimering.....	41
3.4	Utveckling - metoder och tekniker inom vägbygge, väganvändning och vägunderhåll	44
	Framtidens behov av bärighet.....	44
	Realtidsövervakning av vägens bärighet	45
	STP (Surfacing Thickness Program)	46
	Road-doctor	46
	TPC(S) (Tyre Pressure Control System) & CTI(S) (Central Tyre Inflation System).....	46
4	Kurs och kompetensutveckling.....	48
5	Grundfaktorer för skogsbruk i Trøndelag och Jämtland/Västernorrland	50
6	Litteratur	54

kapitel 1

Bakgrund och Inledning

Representanter från Fylkesmannen i Nord-Trøndelag och i Sør-Trøndelag besökte Skogsstyrelsen i Järpen i februari 2016 för att få en inblick i den svenska skogsförvaltningen och diskutera gemensamma utmaningar. Detta möte blev starten på ett samarbete som har pågått fram till idag. Efter detta möte diskuterades möjliga samarbetsprojekt. Utmaningarna förknippade med klimatanpassning inom skogsbruk och skogsbilvägar var gemensamma för båda länderna och stack ut som ett naturligt tema att samarbeta kring.

Skogsstyrelsen i Jämtland och Västernorrland samt Fylkesmannen i Nord-Trøndelag och i Sør-Trøndelag etablerade därför 2017 ett förprojekt och samlade i detta sammanhang ett antal aktörer från skogsbruket på båda sidor om gränsen till en workshop i Åre i mars 2017. Deltagarna gav ett tydligt mandat att fortsätta arbeta mot ett huvudprojekt delfinansierat genom Interreg. Huvudprojektets finansiering söktes sommaren 2017 och startade i januari 2018.

Huvudprojektet har haft tre fokusområden för klimatanpassning: Skogsbruk i brant terräng, mark med dålig bärighet samt skogsbilvägar. Ambitionen har varit att fokusera på åtgärder och anpassningar som det operativa skogsbruket i regionen behöver göra för att anpassa sig till ett varmare och blötare klimat.

Projektet har inte varit ett forskningsprojekt med målet att utveckla ny kunskap. Fokus har däremot varit att öka utbytet av befintlig kunskap som olika aktörer redan besitter. Kunskapsutbyte både över gränsen mellan Sverige och Norge, men även mellan skogsaktörer och organisationer i Sverige och i Norge. Detta har skett genom skogs dagar i fält, seminarier och andra sammankomster i båda länderna, mestadels med deltagande från båda nationerna.

Utifrån målet om kunskapsutbyte var det önskvärt att initiera en sammanställning av befintlig och tillgänglig relevant kunskap - verktyg och metoder i både Norge och

Norska partners i projektet	Svenska partners i projektet
Allskog	Trafikkverket
SB Skog	Gällö Skog
Nortømmer	Rödins trä
Woodworks!/Skognæringa i Trøndelag	Fria skog
Maskinentreprenørenes forbund	SCA
Statskog	Skogforsk
Skogkurs	
NiBIO	
Trøndelag fylkeskommune	



Sverige - som kan vara praktiskt användbara för det operativa skogsbruket i vår region. Denna rapport sammanfattar kunskapsfronten kring de drifttekniska utmaningar som är förknippade med transport av virke i terräng och på skogsvägar i ett varmare och blötare klimat. Väl fungerande och kostnadseffektiva skogsvägar kommer att vara en stöttepelare i båda ländernas skogsindustri, varför rapporten även fokuserar en hel del på vägfrågor. Rapporten har utarbetats i ett samarbete mellan Skogsstyrelsen i Jämtland/Västernorrland, Skogforsk (Sverige), Statsförvaltaren i Trøndelag, Skogskursinstituttet (Norge), och Norsk Bioekonomisk Institutt.

Mildare och kortare vintrar gör att man snart kan tvingas bortse från «vinterdrivning» för att undvika körskadorna. Mer nederbörd och ökat vatteninnehåll i lösmaterialen försvagar både skogsmarkens bärighet och framkomligheten i brant terräng. Det blir därför både svårare att undvika spårskador och markpackning, och större risk för erosion och översvämningsskador till följd av spårskador. Skogsbilvägarnas bärighet försvagas under längre perioder än tidigare, vilket ökar risken för körskadorna på vägarna. Större mängder vatten i diken och vattendrag ökar risken för att skogsbilvägar kan utlösa erosion och skred.

Samtidigt ökar kraven på att skogsbruket ska bedrivas på ett miljövänligt och skonsamt sätt för natur och vattendrag. Skogens betydelse som skydd mot olika naturskador på infrastruktur och bebyggelse har också fått ökad uppmärksamhet de senaste åren. Skogsägarens ansvar att värna om miljövärden finns både i den norska skogsbrukslagen och den norska PEFC-skogsstandarden, likväl som i Sverige. Dessa frågor är välkända och många tidigare projekt och

initiativ har fokuserat på möjligheter att använda ny teknik, nya maskinkonstruktioner och nya arbetssätt för att möta utmaningarna. Denna rapport tar upp nuvarande kunskapsläge samt tipsar om kurser och annan kompetenshöjning som finns kring detta.

Kapitel ett sätter perspektivet och ramar in rapportens innehåll.

Det andra kapitlet fokuserar på arbetssätt, åtgärder och teknologier för skonsam drift under olika driftförhållanden. Nya lösningar har gett maskiner med ett marktryck ner till ¼ av vad som tidigare var vanligt för skogsmaskiner. Digitalt beslutsstöd och bra arbetssätt ger betydligt mindre terrängtransporter på svaga marker. Goda rutiner hjälper till att undvika nedslamning av vatten och bäckar i samband med skogsbruk. Nya metoder och ny teknik för drift i brant terräng har flyttat «gränsen» för hjulförsedda maskiner från 30-35% lutning till 70-90% lutning.

Det tredje kapitlet fokuserar på skogsbilvägar. Även om nya lösningar gör terrängtransporter skonsammare är det nästan alltid dyrare än transport på väg. Vägsystemets utformning och skick kommer sannolikt att få ännu större betydelse för skogens tillgänglighet, ekonomi och miljöavtryck under de kommande åren.

I det fjärde kapitlet tipsar vi om relevanta kurser och utbildningserbjudanden från aktörer inom skogsbranschen.

Det femte kapitlet fokuserar mer på bakomliggande klimatprognoser som tvingar fram nya lösningar för skogsbruket.

kapitel 2

Terräng-transport

2.1 Grunderna för skadefri terrängtransport

En terrängmaskins manövrerbarhet, och körskadorna efter terrängtransport, bestäms av markens bärförmåga, fordonets marktryck och friktionen mellan maskinen och marken.

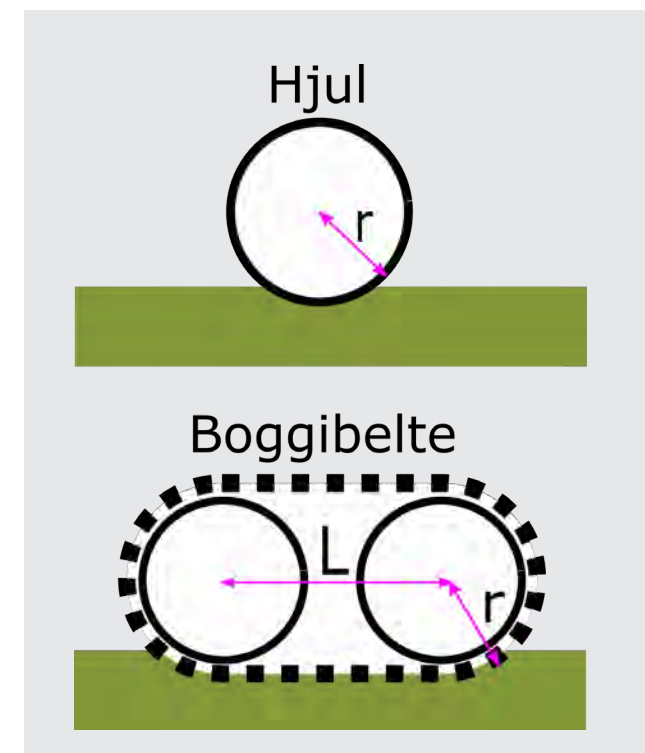
Lastkapacitet och marktryck

Lastkapacitet är en parameter för terräng (och vägar) och indikerar underlagets förmåga att motstå belastningar utan större deformationer och spår (Pirnazarov et al., 2012; Saarilahti, 2002b). Även om definitionen verkar enkel är det inte lätt att specificera en bärighet för en given plats på moder jord. Ju större deformationer som accepteras, desto större är bärförmågan på ett sätt. Ju fuktigare jorden är, desto lägre bärighet. Ju fler överfarter, desto djupare körspår; bärförmågan kan vara tillräcklig för en överfart men inte för flera. Vilka deformationer ska accepteras? Vilken markfuktighet ska bärförmågan anges för? Hur många överfarter?

Bärförmågan bestäms av markens struktur (jordtyp, kornfördelning), armering (stenar, rötter) och markfuktighet. Även om kopplingarna är välkända i både teori och praktik har ingen ännu kommit på ett enkelt sätt att "beräkna" bärförmåga. För en som vill fördjupa sig i modellering av markstyrka, bärförmåga och körskador finns åtskilliga rapporter att läsa. Rapporten «Soil interaction model» av Saarilahti (2002b) sammanfattar 8 rapporter och tre mjukvarumanualer som tagits fram i ett stort finskt projekt för att minska körskador i utsatta områden. Pirnazarov et al., (2012) jämförde 20 modeller för marktryck och 8 modeller för spårdjupsutveckling med mätresultat för en skotare, och

kom fram till att det skulle behövas mer data och mätningar för att kunna landa på vilka modeller och parametrar som skulle vara mest lämpliga. Pohjankukka et al., (2016) testade användning av maskininlärning för att förutsäga bärförmågan och jordens penetrationsmotstånd. Metoden fungerade för att förutsäga dessa egenskaper om det gjordes mätningar inom en radie av 40 meter, vilket var lite nedslående med tanke på all data tillgänglig för modellering. Här drogs också slutsatsen att mer och bättre data, framför allt en bra och kontrollerad referensmark/yta att kalibrera modellen mot, förmodligen skulle kunna göra metoden bättre.

Eftersom bärförmågan är så svår att förutse är det vanligare med fältbesiktningar där bärförmågan anges i klasser, som anger antingen hur "bra" bärförmågan är eller vilken trafik som tåls utan oacceptabla körskador. I det svenska systemet för terrängklassificering (S. Berg, 1992) anges grundförutsättningarna i fem klasser, där klass 1 är mycket bra och 5 är mycket dålig bärighet. I Norge används delvis ett schema med tre klasser där klass 1 lämpar sig för åretrunddrift (dvs stor bärighet oavsett förhållanden), klass 2 lämpar sig för "normal sommarkdrift" men lämpar sig dåligt för tunga regn. Klass 3 har dålig bärighet och är endast lämplig för vinterdrift på frusen mark (Fønhus et al., 2017). Skogskurs har visat metoden i en egen video.



Marktryck är vikten av en maskin fördelad på kontaktytan mellan maskin och mark. Eftersom spårdjup i marken kommer att variera kommer marktrycket också att variera. Därför används nominellt marktryck som en maskinegenskap (i linje med vikt, effekt, etc.) för att indikera hur mycket tryck maskinen kommer att utöva på underlaget (Malmberg, 1981; Saarilahti, 2002a).

Nominellt marktryck (NGP) är ett enkelt (och optimistiskt) uttryck för marktrycket och beräknas enligt följande:

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



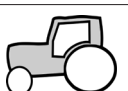



$$NGP_{belte} = \frac{W}{b \times (1.25r + L)} \quad (2)$$

När:
NGP är nominellt marktryck (kPa),
W är hjulbelastningen (kN, dvs ton per hjul * 9,8), r är hjulets radie (m).
b är bredden på hjulet eller bandet (m)
L är hjulbasen mellan hjulen i bandet (m).

Formlerna för NGP (1 och 2) förutsätter ett spårdjup på 13 % av hjulens radie, och för band dessutom att trycket är jämnt fördelat över hela kontaktytan. För skogsmaskiner innebär detta ett spårdjup på ca. 5 - 10 cm. NGP är alltså en egenskap hos maskinen, och används för att jämföra olika maskiner och effekten av olika val av hjul och band. Det finns även ett antal andra formler för att beräkna marktrycket på en maskin, gemensamt för dem är att de generellt kommer fram till högre marktryck än NGP och att de kräver fler parametrar i beräkningarna. (Saarilahti, 2002b). Nominellt marktryck för viss utrustning visas i tabell 1. En

Figur 1.
Nominellt marktryck beräknas från hjulbelastningen (w, ej utritad), radie (r), hjulbas i boggi (L) och hjulets eller bandets bredd (b, ej utritad)

fullastad skotare med standard hjuluppsättning kommer att ha ett nominellt marktryck under bakaxeln på ca. 100 kPa (Nordfjell et al., 2019). Band på den bakre boggin minskar NGP med 30-40 %, till 60 - 70 kPa (McEwan et al., 2013, s. 37). Skotare i Norden bär normalt band på bakvagnen. Ponsse's 10-hjuliga skotarkoncept utvecklades 2007 med sikte på skogsbruk i våtmarker (Ponsse, u.å.). Med breda band hade denna ett nominellt marktryck på 23 kPa på bakvagnen med full last, medan motsvarande 8-hjuliga lastbärare (även med breda band) hade ett NGP på 35 kPa (Ala-Ilomäki et al., 2011). Med breda band och extra axlar kan NGP därmed minskas med 45 - 65% jämfört med dagens normala uppsättning.

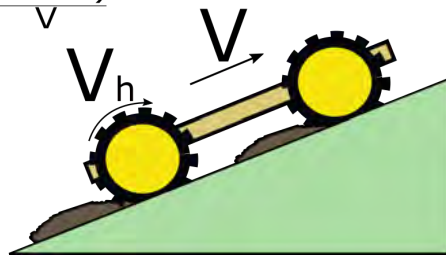
Illustration	Ekipage	Nominellt Marktryck (NGP)
	Fullastad skotare, std hjul	100 kPa
	Hägglund BV 206. 6,3 t fullastad	14 kPa
	4 t bakaxelvikt, hjuldim 650/60R38 (Ø 174 cm)	34 kPa
	Fullastad skotare, standardband	60 - 70 kPa
	Fullastad skotare, breda band	35 - 40 kPa
	Fullastad skotare 10W, breda band	23 kPa

Tabell 1.
Marktryck för olika ekipage

Friktion och dragkraft

Friktion mellan maskin och yta är det som ger dragkraft till en maskin. Friktionstalet multiplicerat med maskinens vikt, indikerar den maximala dragkraft maskinen kan uppnå. För att förstå friktion för en terrängmaskin måste man också förstå slirning (även kallat hjulspinn). Slirning är här den relativa skillnaden mellan hjulspårets hastighet och maskinens hastighet (figur 2). När hjulspåret och maskinen är i samma hastighet är det ingen slirning. Men om maskinen ska dra eller bromsa kommer den att ha en viss skillnad mellan spårhastigheten och maskinhastigheten, så då blir det en viss slirning.

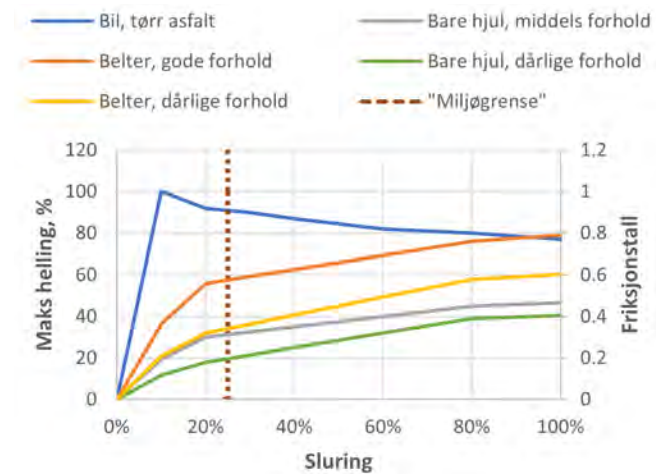
$$\text{Slirning} = \frac{(V_h - V)}{V}$$



Figur 2.

Slirning/slirning är skillnaden mellan hjulspårets hastighet (V_h) och maskinens hastighet V .

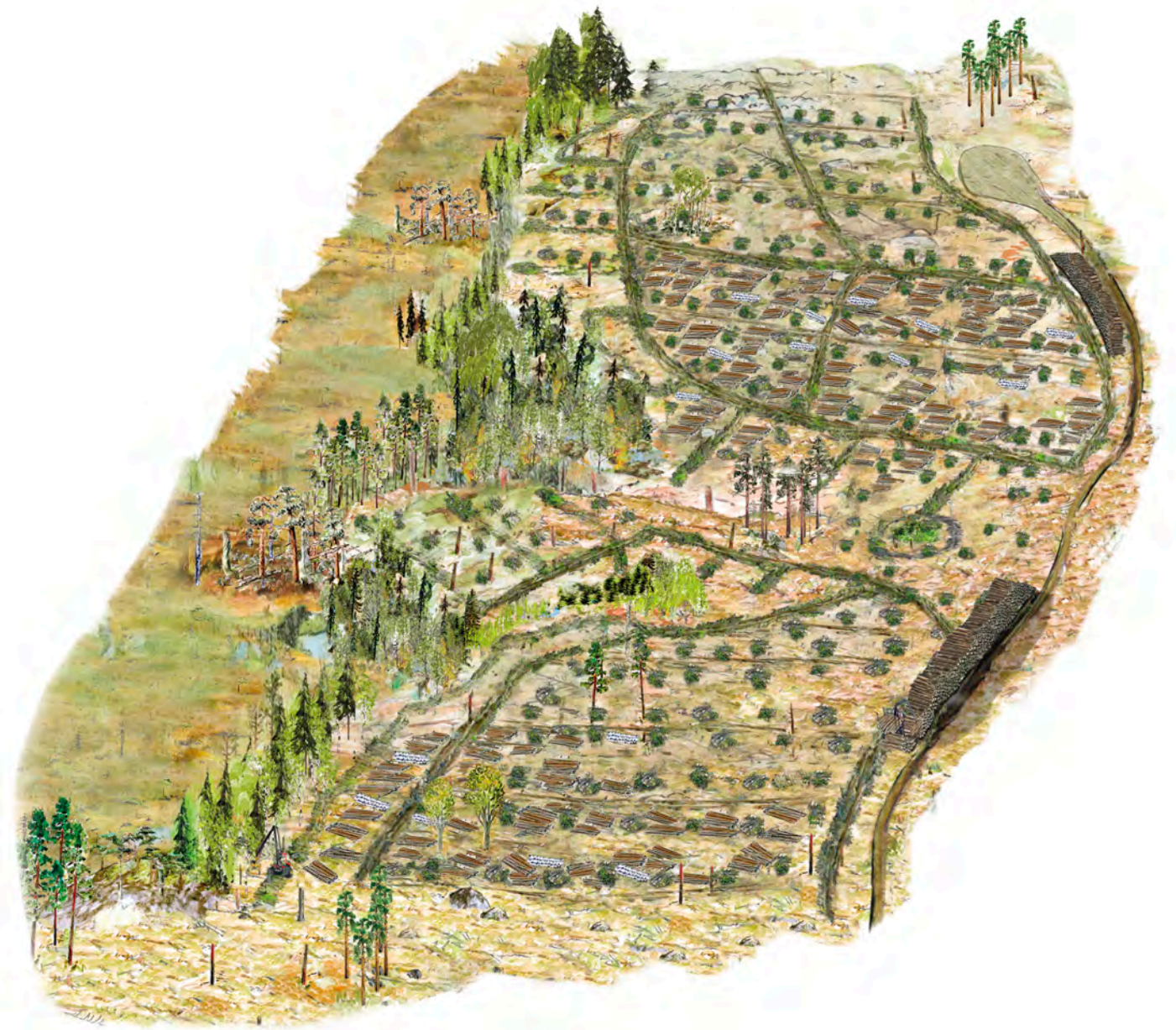
För terrängmaskiner ökar friktionen (och därmed dragkraften) snabbt till ca 50 % av den maximalt uppnåbara dragkraften när slirningen ökar från 0 till ca 20 % (Hittenbeck, 2013). Dragkraften ökar med ökande slirning, men slirning över 100 % ger ingen extra dragkraft. Hittenbeck visar också hur friktionstalet påverkas av driftförhållanden och hjulutrustning. Friktionstalet och den maximala körbara lutningen är två sidor av samma sak (Hittenbeck, 2013). Därför kommer en dragningsmätning att berätta hur brant vi kan klättra, på samma sätt som en mätning av klättermågan ger friktionstalet som svar.



Figur 3.

Figuren visar sambandet mellan slirning/slirning och dragkraft vid olika markförhållanden. Ökad slirning ger ökad friktion och dragkraft, tills du når ca 100% slirning. Friktionssiffror och lutningsgränser är två sidor av samma mynt. Data hämtade från Hittenbeck (2013) og Balkwill (2018)

En slirning på 25 % anses vara en övre acceptabel gräns när det gäller att bevara markstrukturen (Hittenbeck 2013). Under idealiska förhållanden (torr jord med bra friktion) och med bra utrustning (band och kedjor) kan skogsmaskiner med upp till 25 % slirning klättra upp till 60 % lutning. Medan den under dåliga förhållanden, dvs hög markfuktighet, svag markstruktur och endast på hjul, inte kommer att kunna klättra mer än 17 % lutning. I Norge anses terräng med en lutning på mer än 35 - 40% lutning anses vara linbaneter-räng. Maskiner utrustade med band i dåliga markförhållanden med upp till 30 % slirning kan öka lutningen upp till 35 %.



Figur 4.

Illustrationen visar på en anpassad metod där trakten bland annat delas med flera basstråk som rissas extra. GROTen placeras med tanke på kommande skotning.

Källa: Skogsstyrelsen

2.2 Planering för terrängtransporter

Samspel inom avverkningslag och beställare – gemensam målbild

Skogsbruket i Sverige styrs till stor del av skogssektorns gemensamma målbilder för god miljöhänsyn (Skogsstyrelsen, 2021). Målbilderna ska alltid användas anpassat till lokala förutsättningar och gällande lagstiftning.

Tekniska hjälpmedel, god planering och rätt val av utrustning är mycket viktigt för att kunna bedriva arbetet på ett skonsamt och lönsamt sätt. Lika viktigt är personalens

kompetens, vilja och motivation att lyckas. En god och tydlig kommunikation inom arbetslaget kan ofta bidra till att minska risken för markskador. Att ha en gemensam målbild är en viktig förutsättning och de avverkningslag som anses vara duktigast på denna typ av uppgifter kännetecknas vanligen av att beställare, skördarförare och skotarförare har en god dialog, respekt för varandras arbete och att de ofta samverkar kring planeringen av ett objekt.



Avlägget

Avlägget är en viktig knutpunkt som berör både markägare, virkesköpare, planerare, maskinförare och lastbilschaufförer men även övriga trafikanter. Att avläggsplatsen planeras noggrant är viktigt för att säkerställa ett trafiksäkert och rationellt virkesflöde. Goda exempel presenteras i Skogforsk's kunskapsbank och på skogskunskap.se. Om det finns bra kartor för vägar och lutning, samt andra hinder (vattendrag, kraftledning, byggnader ect), finns det metoder för och identifiera platser som kan fungera som avlägg längs vägarna (Friberg & Davidsson, 2018).

Väglagen avgör vilket regelverk som gäller (Trafikverket & Skogforsk, 2000) och detta måste beaktas vid planeringen för både terräng- och vidaretransport. Området närmast avlägget blir ofta tungt trafikerat av skotaren och det är därför särskilt viktigt att säkerställa att marken har tillräcklig bärighet under den period arbetet genomförs. I möjligaste mån försöker man att undvika avläggsplatser som kan störa trafik på allmänna vägar (figur 21).

Digitala verktyg för terrängklassning och underlag för beslutsstöd

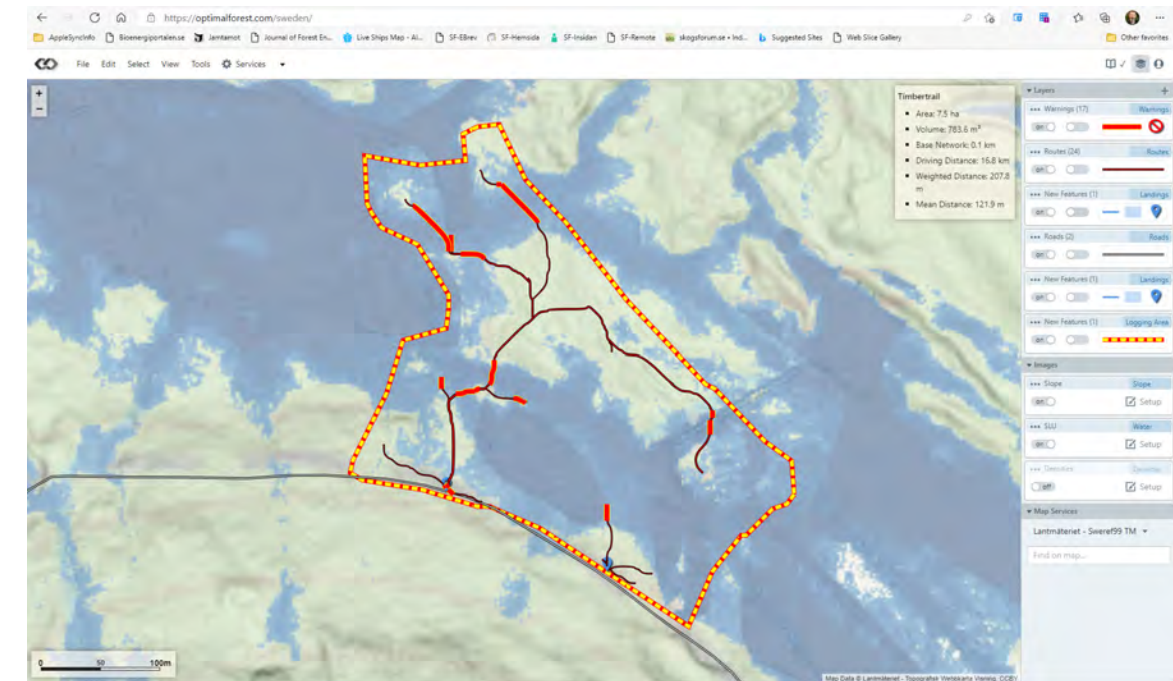
GIS-baserade beslutsstöd för skogsaktiviteter har utvecklats sedan 1980-talet (T. W. Reisinger & C. J. Davis, 1986). Terrängkartor baserade på laserdata har nu en noggrannhet

och tillgänglighet så att verktyg kan utvecklas och göras allmänt tillgängliga för ganska låga kostnader. Nationella laserscanninger har en punkttäthet på 2 eller flera punkter per m² (Kartverket, 2019). Förutom tätare höjddkurvor kan de också nyttjas till att beskriva ytstruktur och microtopografi (Brubaker et al., 2013), och det finns numera flera metoder och beräkna markfuktigheten på terrängen i form av markfuktighetskarta (Lidberg et al., 2020).

Markfuktighetskartor kan ge viktig information om var och hur transportvägarna ska placeras inom ett avverkningsområde. De flesta skogliga aktörerna använder detta idag i någon form. I Sverige finns verktyget bland Skogsstyrelsens kartjänster kring skogliga grunddata. I Norge blev motsvarande gjort tillgängligt i Nibio's kartportal från 2018.

Genom att tillämpa den information som finns i markfuktighetskartorna går det att till stor del undvika mark- och körskador. Vid inventeringar har det framkommit att mer än 60 procent av samtliga inventerade körspår hamnade i de av DTW-indexet markerade fuktiga och blöta områden (Bergkvist et al., 2014; Friberg & Bergkvist, 2016).

Markfuktighetskartorna används med fördel både i förplanering från kontoret inför fältbesök samt i maskinerna på plats men man måste notera att kartorna inte alltid stämmer till fullo. Exempelvis vid väl-dränerade markförhållanden kan kartan ge sken av att marken är fuktigare än



Figur 5.

Visar ett förslag på lämpliga basvägar. Till grund för förslaget ligger terrängmodeller, vattenkarta och virkesförråd. Förslaget kommer från programmet Timbertrail som även markerar vägsträckor med stor risk för markskador i rött på bilden. I programmet man man manuellt lägga till s.k. NoGo-zoner eller egna förslag på överfarter.

vad den i verkligheten är. Det kan även bli motsatt att inom mindre områden finns fuktiga partier som inte framgår av kartan. Kartmaterialet är ofta grundläggande för hur efterkommande arbete planeras och vilka metoder som kommer att användas.

Konkreta exempel där markfuktighetskartan anses göra stor nytta är där:

Fuktiga och potentiellt blöta områden kan upptäckas och körningen med skördare och skotare kan planeras runt om dessa områden för att undvika körskador.

Lämpliga passager över fuktig och blöt mark kan urskiljas relativt enkelt med markfuktighetskartan.

Högre belägna områden i terrängen där lämpliga basvägar kan urskiljas med den digitala terrängmodellen och markfuktighetskartan.

Även om utvecklingen har kommit långt, kan vi förvänta en ständig förbättring inom digitala beslutsstöd. Markfuktighetskartorna är fortfarande statiska, medan den faktiska markfuktigheten varierar med vädret och årstid. Dynamiska markfuktighetskartor, som kopplar terräng, väderhistorik och väderprognoser för beslutsstöd, är troligt nästa steg framåt. Kopplingar mot kvicklerakartor och andra risk-kartor kan ge bättre beslutsstöd för åtkomlighet och risker vid terrängtransport.

Digitala verktyg för beslutsstöd för optimerad terrängtransport

Terrängmodeller och markfuktighetskartan är ett mycket bra hjälpmedel i planeringen. Dock så tar dessa inte hänsyn till transportavstånd, optimala avläggsplatser eller virkesförrådets fördelning inom den trakt som ska planeras. För att kunna räkna på kostnadsoptimeringar behövs ett mera kraftfullt beslutsstöd som även väger in dessa parametrar. Flera verktyg förekommer och de arbetar i huvudsak med samma indata. Sedan 2015 har Skogforsk utvecklat ett av dessa verktyg som kallas Bestway (Willén et al., 2017).

Bestway genererar ett basvägsförslag utifrån en optimeringsmodell som minimerar det totala köravståndet i beståndet med hänsyn till terräng, beståndsvolym, avläggens placering och tvingande passager. Indata till optimeringsmodellen består av digital terrängmodell, markfuktighetskarta samt virkesvolymsskikt. Informationen kan kompletteras med information om beståndens utbredning, avläggens placering, natur- och kulturhänsyn samt eventuellt tvingande överfarter i terrängen (Willén et al., 2017).

Basvägsförslagen har utvärderats på en mängd avverknings-trakter. Erfarenheterna visar att möjligheten att få förslag på bas- och huvudbasvägar är uppskattat av både planerare och avverkningslag, speciellt förslag på lämplig väg till inre delar av en trakt.

Fältbesök – bedömning av bärighet

Oaktat vilka beslutsstöd och vilken digital information som finns att tillgå så kräver planeringsarbete på svaga marker att man gör en rigorös fältinventering. Detta kan underlättas men inte uteslutas med hjälp av de olika beslutsstöden.

För att kunna göra goda bedömningar i fält krävs kompetens och förståelse både för maskinarbetet, maskinernas prestanda och terrängens förutsättningar. I boken *Klassning av bärighet – optimal tillgänglighet med rätt metod* (Persson, 2019) beskriver författaren mycket sakkunnigt de viktigaste parametrarna att känna till för att kunna avgöra skillnaden mellan just "bärighet" och "tillgänglighet".

Enkelt sammanfattat menar han att bärighet bestäms utifrån:

- Textur, dvs. jordartens sammansättning.
- Jordens armering i form av sten och block.

Dessa parametrar måste senare värderas noggrant för att kunna avgöra en trakts tillgänglighet som avgörs utifrån vägsystemens möjliga bärighet. I detta kan man väga in bärighetshöjande åtgärder t.ex. risning och nyttjande av högre åsar, men man måste samtidigt beakta markens vattenmättnad och variationer i grundvattennivå. Den viktigaste kunskapen ligger i att förstå körunderlaget, dvs jordartens betydelse, för de områden inom trakten där många transporter kommer att ske. Att i samband med avverkningsplaneringen använda jordsond ger ofta en viktig pusselbit i kunskapen om de förhållanden som råder.



Figur 6.
Skotarspår i brant terräng kan snabbt övergå i nya vattendrag. Detta ökar risken för erosion och om vattendragen börjar gräva i löst material kan det även orsaka större skador längre nedströms.
Foto: Johannes Enersen, Romeriks almenningene.



2.3 Avverkning och transport på marker med dålig bärighet

Ökat fokus på körskador

År 2009 tog aktörer i den Svenska skogsbranschen initiativ för att utveckla en branchgemensam satsning mot körskador. I 2010 presenterade arbetsgruppen en rapport på temat (R. Berg et al., 2010) som senare ledde till en branchgemensam policy mot körskador (Branchgemensam Miljöpolicy, 2013).

Med hjälp av god planering kan man i nio fall av tio undvika att köra i eller nära vattendrag och i de fall det finns tvingande överfarter kan de genomföras med olika tekniska och digitala hjälpmedel för att undvika skador. I mars 2017 publicerade Skogforsk filmen "spårlös" och sex tillhörande fördjupningsfilmer samt en engelskspråklig variant av det hela i sin youtubekanal. En av filmerna var så lång (28 minuter) att den senare blev delat upp i 7 delar och publicerat i spel-listan "Spårlös" i Skogskunskap's youtubekanal. Detta var ett så inspirerande initiativ att en liknande serie, "Spårløs kjøring", blev lanserat i Norge på Skogkurs's youtubekanal året efter.

I filmerna blir en rad principer och tekniker för varsam terrängkörning demonstrerade. Filmerna finns på Skogforsk, Skogskunskap och Skogkurs via sina respektive YouTube-kanaler.

Arbetsmetoder

Att i förväg planera och ha en strategi för hur arbetet ska genomföras på en enskild trakt är viktigt. De allra flesta trakter har delområden med varierande skogs- och markförhållanden varför det ofta är viktigt att anpassa och kombinera arbetsmetoderna till de förutsättningar som råder.

Det finns flera varianter och benämningar på olika arbetsmetoder men tre stycken som är vanliga (Friberg & Bergkvist, 2016) kan beskrivas övergripande:

Basstråk

En huvudväg på avverkningsstrakten som maskinerna utgår från under avverkningsarbetet. Denna placeras på stabilt underlag med stor bärförmåga och leder centralt in på trakten så att access till en stor del av virkesförrådet kan fås via den.

Spökslag (figur 7)

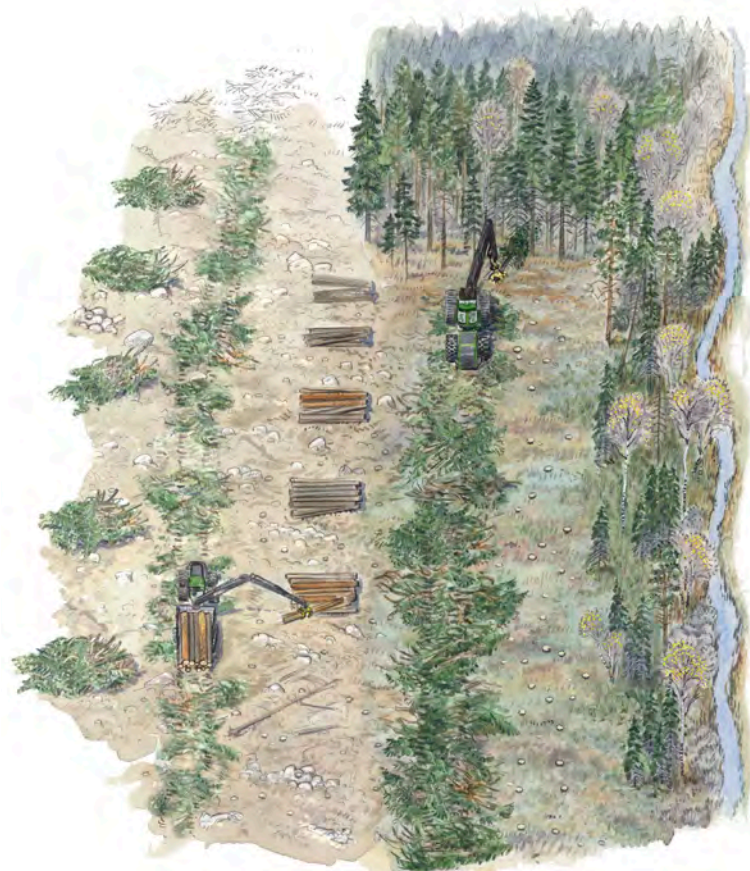
Körvägar i eller intill känsliga områden där endast skördaren tar sig fram. Skördaren arbetar på ett sådant sätt att gagnvirket hamnar åtkomligt för skotaren på intilliggande körväg, belägen längre från det känsliga området. Den känsliga marken blir således inte belastad med tunga skotarlass som riskerar att orsaka körskador. Med spökslag kan virke flyttas ungefär 20 meter mot mer bäriga områden.

Backstråk

En körväg som leder in i eller intill känsliga områden. Skotaren backar sedan in som namnet antyder, längs backstråket utan någon last på lastutrymmet. Väl i det känsliga området har skotaren rak körväg ut och lastar samtidigt med sig gagnvirket. På detta sätt sker inga körningar med full last över känsliga områden, utan maskinen är förhållandevis lätt under inbackningen och blir sedan succesivt tyngre på vägen ut samtidigt som markens bärighet ökar.

Överfarter över sträckor med dålig bärighet

Med en grundlig planering av vägsystemen inom ett avverkningsområde ges också möjlighet att planera hur och var vissa sträckor behöver risas för att öka bärigheten. Hur denna risning kan genomföras avgörs av de skogliga förutsättningarna.



Grundregeln är att alltid risa där man annars riskerar markskador, och ju större risken är desto mer och desto grövre material används för att skona marken. Hur man risar och hur mycket material som används har en tydlig inverkan på effekten (Eliasson & Wästerlund, 2007; Poltorak et al., 2018). Boggieband med stor last har en otrolig förmåga att mala sönder och gräva i svängar, särskild i lutningar. Något som därmed i möjligaste mån bör undvikas.

Att beskriva "best practice" för risning är svårt eftersom man inför varje enskild situation måste ta hänsyn till flera olika parametrar såsom:

- Markens bärighet
- Antalet överfarter
- Maskinernas totala vikt vid passagera
- Tillgängliga risvolym
- Eventuella virkesförluster i form av grövre toppar eller stamved

Man måste även säkerställa att om det trots allt blir en körskada så får inte detta resultera i att eventuella vattenströmmar drar med sig finkornigt material (slam) till närliggande vattendrag.

Figur 7.

Illustrationen visar ett körsätt som bör tillämpas vid avverkning nära vatten. Genom att både skördare och skotare nyttjar hela kranens räckvidd kan skotaren gå långt från den lämnade kantzonen. I det här exemplet kan skotaren gå på fastmark. Därigenom förhindras uppkomsten av körskador.
Källa: Skogsstyrelsen



Figur 8.

På vissa ställen är bärförmågan generellt sett dålig. Det finns ett antal aktuella åtgärder för att förhindra sådana körskador. Här måste spåren återställas efter drivning.
Foto: Johannes Enersen, Romeriks Allmenningene.

Olika metoder där skördaren kan göra markskonande åtgärder:

Lätt risning. Skördaren upparbetar virket vinkelrätt över körstråket så att grenar och toppar bildar en förstärkande matta framför maskinen. Topparna kan med fördel korsläggas en bit framför maskinen och klenare ris läggs ovanpå. Detta ger ett starkare underlag än om topparna läggs vinkelrätt över körstråket. Metoden innebär ingen eller endast en marginell förlust av biomassa.

Förstärkt risning. Skördaren är mera frikostig även med grövre dimensioner och förstärker rismattan med långa toppar. Metoden innebär en viss förlust av rundvedsvolym av de klenare massavedssortimenten.

Kavling i korta sträckor. Skördarföraren lägger rundvirke som en bärande matta i botten och grenar och toppar ovanpå virket. Denna metod fungerar ofta bra även på riktigt fuktiga marker men innebär en intäktsförlust i form av förlorad rundvirkesvolym.

Olika metoder där skotaren kan göra markskonande åtgärder:

Tillförd risning. Metoden används ofta som komplement till den risning som skördaren redan gjort.

Metoden innebär att skotaren transporterar grenar och toppar från närområdet till de sträckor som behöver extra förstärkning. Metoden innebär en merkostnad för det extra arbetet. Arbetet underlättas om skördaren skapar tillgängliga rishögar såsom vi grotanpassad avverkning i närområdet. Dessa högar går då relativt enkelt att förflytta till den plats som behöver förstärkas.

Stockmattor. Det finns flera tillverkare på marknaden som levererar olika typer av portabla stockmattor. Dessa består av sammanfogade träbjälkar och har längd ca 5,5 meter, bredd ca 0,9 m.

Kavling i längre sträckor. Skotarföraren lägger rundvirke som en bärande matta i botten. Virkesmattan kan täckas med ris för att skydda virket. Metoden innebär en merkostnad för arbetet och ett intäktsbortfall för virkesförlusterna men ger samtidigt en mycket bra bärighet över svaga partier.

Alla dessa metoder finns demonstrerade i "spårlos"-videon på YouTube.



Överfarter över vattendrag

I vissa fall är det oundvikligt att passera vattendrag med rörligt vatten. Vid dessa överfarter måste planeringen ske ytterst noggrant och passagerarna måste anordnas utan risk för störningar eller föroreningar av vattendragen.

Tillfälliga broar

Ett effektivt sätt att till en rimlig kostnad passera över vattendrag är att bygga virkesbroar (Fogdestam & Bergkvist, 2012; Persson, 2013). Vid försök har sådana virkesbroar byggts med ett tidsanvändning på ca 25 minuter, och en materialåtgång på ca 2 m³ sågtimmer, 5 m³ massaved och 5 m³ grot. Det finns också portabla broar i flera utföranden. Det kan vara plåtbroar eller träbroar som flyttas av skotaren. Till exempel har Rennebubjelken AS ett koncept för tillfälliga drivningsbroar av ved (Rennebu-Bjelken AS, 2017). Rennebu-Bjelkens portabla bro har en spännvidd på 7-8 meter, väger 5 ton och har en bärförmåga på 60 ton totalvikt. Hultdin hade en prototyp av en stålbro till utvärdering runt 2007 (Mattsson, 2007). En nackdel med de portabla broarna är investeringskostnaden (Rennebu-broen kostar till exempel ca 235000,- NOK), en annan är logistiken som behövs för att skicka rätt bro till rätt avverkningstrakt till rätt tidpunkt. Oftast byggts tillfälliga broar med hjälp av virke på platsen. Samtidigt kan portabla terrängbroar vara lösningen om spännvidden blir för stor för en virkesbro.

Permanent lösningar (trummor, valvbågar)

Om det är ett vattendrag som ska passeras upprepade tillfällen under många år och beröra många avverkningar kan det vara bättre att bygga en väg med en mer permanent valvbåge eller bro som lämnar botten fri (Fogdestam & Bergkvist, 2012).

Specialmaskiner (Bandskotare, 10-hjulingar, lätta maskiner)

Det finns ett antal olika koncept på marknaden för att lösa terrängtransporter på marker med dålig bärighet. Dessa koncept blir nischade för att fungera bra under vissa förhållanden men det upplevs även som en risk att de just därför kan bli hämmade under andra förhållanden, exempelvis vid stenig terräng. Dock visar en analys från Skogforsk att exempelvis OnTrack som är en lovande prototypskotare med larvband av gummi att den skulle fungera gynnsamt på 2/3 av den svenska skogsmarken (Björheden, 2016; Sverker & Björheden, 2018)

Obäriga marker utgör sju procent av skogsmarksarealen. I dessa områden skulle bandskotare kunna minska dagens problem med markskador och bristande tillgänglighet på virke. På ytterligare cirka tolv procent av skogsmarken är skadefri terrängtransport med hjulskotare endast möjlig vid tjäle, medan bandskotare kan arbeta året runt. Det underlättar planeringen och ökar kraftigt virkets

tillgänglighet (Björheden, 2016).

Det finns två olika huvudspår i utvecklingen av maskiner för marker med dålig bärighet. Antingen eftersträvar man att fördela vikten över en stor yta eller så eftersträvar man ett så lätt ekipage som möjligt i förhållande till nyttolasten.

Stor kontaktyta

Utvecklingen har under de senaste åren lett till att de flesta skotarna numera är 8-hjuliga mot tidigare 6-hjuliga samt att de har bredare däckutrustning än sina föregångare. Detta tillsammans med olika typer av breddade bandplattor i slirskydden ger en tydligt förbättrad bärighet. En del maskinproducenter erbjuder också nu en längre boggi under lastutrymmet.

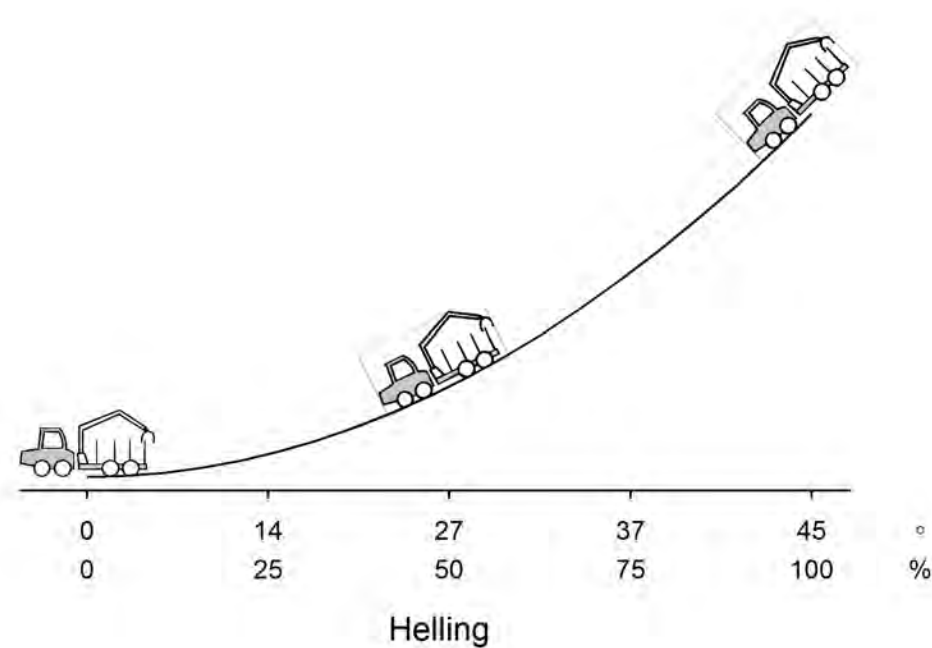
Ett ytterligare alternativ är att utrusta skotarna med ytterligare en hjulaxel och därmed ge möjlighet till 10-hjuliga maskiner med mycket stor kontaktyta. Ponsse har sedan 2007 haft 10-hjuliga maskiner i sortimentet. En Ponsse Buffalo har en lastförmåga på 15 ton, bakvagnen kan ha standard boggi med cc 150 cm, long boggi med cc 189cm och 10 hjulig boggi med cc 300 cm. Om denna går på 710 mm breda däck vil boggi för denna skotaren ha en standard bredd på 70-85 cm, men den kan också utrustas med band med bredd på upp till 107 cm. Long boggi sänker marktrycket med 14 %, medan de bredare banden sänker det med ytterligare 25 % jämfört med konventionell boggi

och band. Med trippelboggi kan marktrycket sänks till 1/3 av marktrycket med standard hjul och boggi. Ett par med 95 cm breda flytband till lång boggi har ett listpris på 110000 SEK (EcoTrack prislista 2019). En extra axel på Ponsse 10w skotare kostar ungefär 230000 NOK och boggi och boggi till denna kr 150000 SEK (EcoTrack prislista 2019).

Men utvecklingen stannar inte i dag. Utvecklingsprojektet Forwarder2020 har bland annat som syfte att utveckla en boggi-axel med tre drivna hjul. Olika koncept där man ersätter skotarnas hjul med bandstäl och stål- eller larvband, s.k. bandskotare, finns också på marknaden. Den maskin som senast utvärderats är OnTrack som jämförts med 8 respektive 10-hjuliga konkurrenter. I testerna framkommer att OnTrack som har en större kontaktyta mot marken även ger färre eller grundare spår djup på mjuka marker.

Lätta ekipage

Det finns ett stort antal olika maskiner i de mindre viktclasserna. Gemensamt kan sägas att de har en fördel i jämförelse med de större och tyngre maskinerna avseende spår djup men en nackdel sett till prestation och bränsleförbrukning räknat per transporterad volym vilket ofta leder en dyrare kostnadsbild (Gustavsson, 2017). Trots att de mindre maskinerna medför en ökad kostnad så finns ett stort intresse hos många skogsägare att använda dessa just för den minskade risken för mark och körskador.



Figur 9.
Lutning/helling anges i procent och grader, illustrerad med lastbärare.

2.4 Avverkning och transport i brant terräng

Skördare och skotare

Skördare med nivellerande kran och hytt eller förarsäte och 8-hjuls chassi kan normalt arbeta i upp till 45 % lutning uppför och 35 % lutning nedför. (Cavalli & Amishev, 2019, s. 2; McEwan et al., 2013, s. 114).

Skotare med 8-hjuligt chassi kan normalt arbeta i upp till 35 % lutningar. Utan bra band och kedjor kommer detta att minska till cirka 25 procent lutning (McEwan et al., 2013). Skördare på bandchassi ("grävmaskinschassi") och med tilt på svängringen kan arbeta effektivt i sluttningar på upp till 60 %, men fungerar mycket sämre i ojämn terräng än maskiner med hjul och boggikombinationer (McEwan et al., 2013; Stampfer & Steinmüller, 2001). Konventionella skördare speciellt anpassade för brant terräng finns också.

Silvatec Sleipner var en lång och lågbyggd 8wd basmaskin, och med vätskefyllda hjul var den effektiv i terräng med upp till 50 % lutning (McEwan et al., 2013). Valmet 911 «snake» var en skördare med speciella band som fungerade bra i upp till 70 % lutningar (Stampfer & Steinmüller, 2001). Utmaningen är att dessa maskiner går brantare än vad skotaren klarar av.

Så länge terrängen tillåter användning av vanliga skogsmaskiner och driftsätt verkar driften i brant och kuperad terräng resultera i måttliga ökning av tidsåtgång och driftkostnader. (Brunberg, 2004, 2007; Eriksson

& Lindroos, 2014). I terräng med mer än ca 35 % lutning kommer det att behövas extra åtgärder i form av manuell avverkning, grävmaskin eller maskinvinsch för att skotaren ska kunna transportera virke som är upparbetat.

Man kunde förvänta sig att se en positiv effekt av att använda stora maskiner i svår terräng, men det gick inte att hitta rapporter där detta samband har undersökts.

Grävmaskinstrakter

Grävmaskindrivning är ett system som har blivit tämligen utbrett i brant terräng i Norge. Metoden går ut på att bygga enkla drivningsvägar för skördare och skotaren med grävmaskiner under skogsdrivning. (Lileng, 2009). Maskinerna byter plats då det behövs mer grävning eller det finns möjlighet till mer avverkning. Horisontella drivningsvägar anläggs med ett avstånd av ca 20 m, så att skördaren når hela området mellan drivningsvägarna. Det är ofta aktuellt att öka detta avstånd och såga ner de träd som är kvar med motorsåg. Lederna kan byggas tvärs eller diagonalt i lutningsriktningen med upp till 35 % lutning. Risken för erosion ökar dock snabbt med lutningen och längden på vägavsnitten.

Drivningsvägarna kan byggas i terräng med upp till 75 % lutning (Lileng, 2009), och sluttningen bör mest bestå av löst material att gräva i. Vägtätheten blir ca 450 - 600 meter per hektar (B. E. Talbot, 2013).



Figur 10.
Avverkning i brant terräng med hjälp av en grävmaskin. Foto: Martin Bråthen, Skogkurs.



Figur 11.
Drift i brant terräng. Här har en grävmaskin iordningställt driftvägar för att ge skogsmaskinerna tillgång till virket på ett säkert sätt. Foto: Martin Bråthen, Skogkurs.

Metoden innebär mycket väntetid. I Lilengs studie fick skördaren vänta 43 % av arbetstiden på grävmaskinen. Grävmaskinen ägnade 60 % av sin arbetstid åt att gräva rutter och resten på att vänta eller flytta. Skotaren ägnade mindre tid åt att vänta på de andra.

Bearbetning av förfällda träd tar något längre tid än rotade träd, men det blir kortare väntetid för en skördare och mindre grävarbete för en grävmaskin på detta sätt. Lilengs studie visade en prestation på ca. 150 m³ per arbetspass och ca 50 - 60% högre kostnader än konventionell drift. Jämfört med linbanedrivning är produktionen 2-3 gånger högre per skift och kostnaden cirka 40 % lägre (B. E. Talbot, 2013).

Uppföljningsstudier på tidigare avverkningar tyder på att växtligheten snabbt etablerar sig i stråken efter grävning, men att det även finns en potential för bättre utformning av drivningsvägnätet med hänsyn till erosionsrisk. (B. E. Talbot, 2013). Speciellt höga skärningar som rasar ut, och förgreningspunkter (vägkorsningar) kan dämna upp ytvatten som sedan rinner över och tar med sig löst material.

Långa branta vägsträckor kommer också att ge vattnet hög energi och stor erosionsförmåga. Goda kunskaper om erosion är därför viktigt om man ska satsa på denna avverkningsform, tillsammans med en vilja att utföra efterarbetet på ett bra sätt.

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



Vinschning av skogsmaskiner

Det är grepp och friktion mellan maskinen och underlaget som begränsar i hur brant lutning skogsmaskiner kan arbeta (Cavalli & Amishev, 2019). En studie av en skotare kopplad till vinschen på en dragmaskin för alpina backar visade att de kunde arbeta säkert i sluttningar upp till 85 % (Bombosch et al., 2003) Metoden har fått stor uppmärksamhet och kommersiell utveckling de senaste åren (Cavalli & Amishev, 2019; Ghaffariyan et al., 2012; Sessions et al., 2017).

Terminologin för olika lösningar för vinschning av skogsmaskiner är ännu inte fastställd, men vi försöker definiera begreppen här. En typ är vinschar monterade i chassit under lastutrymmet på bakvagnen på en skotare, eller på baksidan av en skördare. Vinschen får sin energiförsörjning från skogsmaskinens hydraulsystem. Stållinan är kopplad till förankringen (träd, bergbult eller annan maskin) längst upp i sluttningen och vinschen styrs direkt från skogsmaskinen. Detta koncept kommer vidare att kallas integrerad maskinvinsch eller skogsmaskinintegrerad maskinvinsch. Många skogsmaskinstillverkare har nu integrerade maskinvinschar i tillbehörssortimentet.

En annan typ är vinschar som står på ett separat chassi som en autonom vinschenhet. Vinschen kan monteras i bommen på en grävmaskin, eller på ett skogsmaskinsschassi eller annat chassi. Vinschen styrs med fjärrkontroll från den anslutna skogsmaskinen. Vinschaggregatet kommer att vara på toppen av backen, medan skördaren och lastbäraren kopplas till den när de arbetar nedanför i avverkningsområdet. Detta är inte en autonom maskin i ordets rätta bemärkelse, men i avsaknad av en bättre term kommer konceptet att kallas för en autonom vinsch. Fjärrvinsch kan vara ett bra namn.

För båda systemen kommer skogsmaskinföraren att bestämma dragkraften från vinschen, medan inmatningen och matningen kommer att styras av skogsmaskinens rörelser. En fördel med en skogsmaskinintegrerad vinsch är att vajern "står stilla" i förhållande till terrängen. Nackdelen är att man inte automatiskt kan koppla bort skogsmaskinen från vajern förutom när man är precis vid ankarpunkten. Autonoma vinschar har fördelen att de kan arbeta med flera maskiner, och att vajern kan kopplas bort från skogsmaskinen.

Mologni et al., (2018) har undersökt krafterna som verkar i ett sådant vinschsystem, i terräng och med maskiner som är relevanta för nordiska förhållanden. Vinschen var monterad på en 22 tons skotare med en lastkapacitet på 19 ton. Vinschen hade en dragkraft på 90 kN (dvs kan lyfta en vikt på 9 ton), vajern var 14 mm med en brottlast på 211 kN (21 ton). Studien varade i 15 (effektiva) timmar och i en lutning på upp till 55 %. Dragkrafterna varierade uppenbarligen mycket, men låg under 85 kN (8,6 ton) under hela studien och var störst vid uppförskörning. Ändfästet, vare sig det består av träd och stubbar eller andra tunga maskiner, ska stå emot sådana krafter och med en viss säkerhetsmarginal. För att säkerställa säkerheten sågs det från vissa håll att man bör hålla sig inom backar där maskinen kan stanna även om den tappar greppet från vinschen. (Mologni et al., 2018, s. 195).

Vinschning av skogsmaskiner på plan terräng kan också vara aktuellt för att minska körskadorna. I ett nyligen genomfört experiment var marken för torr, dvs bärförmågan var för stor, för att ge en märkbar skillnad i körskador vid användning av vinsch (Schönauer et al., 2020). Vi känner inte till att detta har prövats på grund av dålig bärförmåga.

Följande leverantörer erbjuder lösningar för vinschning av skogsmaskiner. Ecoforst (Australien) producerar «T-winch», som är autonoma vinschar på ett radiostyrt bälteschassi. Timberbax (Kanada) erbjuder även ett koncept med en autonom vinsch, men där vinschen monteras på och drivs av en grävmaskin. Herzog (Schweiz) tillverkar vinschar (Synchrowinch) både för montering på skogsmaskiner (främst Ponsse) och för montering som autonoma ankar-maskiner. Haas (Tyskland) tillverkar vinschar för integrerad montering främst på JohnDeere skogsmaskiner. Komatsu erbjuder egna vinschar till sina skogsmaskiner. HSM Forest erbjuder vinschar under varumärket «Force Synchro Drive» för integrering på sina skogsmaskiner.

Linbanedrift

Grävning och maskinvinschar möjliggör skogsbruk med hjulförsedda maskiner i terräng med upp till 70 - 90 % lutning. Men dessa system har också sina förutsättningar och begränsningar; grävmaskiner behöver löst material och

kan orsaka olyckliga ingrepp i lösmaterialet, medan maskinvinschar kräver att maskinerna tar sig till och från relevanta förankringspunkter. I terräng med inslag av sluttningar och stenar, eller där lutningen är över 70-90%, eller där skogen ligger bortom en djup ravin/dalgång, kan detta vara omöjligt. För riktigt brant och kuperad terräng blir linbanedrift till fots därför aktuell.

Linbanedrivning är mest rationell om den kan genomföras med en landningsplats på en skogsväg. De största systemen i drift i Norge idag har en räckvidd på upp till 800 m. Långa spännvidder ger dock höga driftskostnader (Holmli, 2014; Samset, 1983; B. Talbot et al., 2014), och spännvidder med mer än 350 meter vinschlängd hör därför till undantagen. Skogsvägnätet är nyckeln och en förutsättning för skogens tillgänglighet för drivning med sådan utrustning (Johnsrud, 2007), och det finns inga tekniska förändringar i sikte som kommer att förändra detta. Det sker dock ständiga förbättringar av teknik och metoder som förenklar arbetet för personalen på backen. Det stora bemanningsbehovet per producerad m3 gör ändå att driftformen har betydligt högre kostnader än andra driftformer. Enligt statistiken i skogsfonds-databasen för 2017 - 2020 är driftskostnaden för linbanedrift i genomsnitt 312 +/- 40 NOK per m3.



kapitel 3

Väg-transport

3.1 Skogsbilvägar i ett förändrat klimat

Ju sämre väder desto viktigare blir vägen

Virkestransporter med lastbil på skogsväg beräknas vara 30-40 gånger mer produktiva än med skotare i terrängen. Traktorvägar ger, jämfört med terrängtransport, 2-3 gånger ökad transporthastighet med skotare (Brunberg, 2004). Anläggning av skogsväg eller traktorväg kommer ofta också att vara den enda möjligheten att ta sig förbi hinder som myrar, vattendrag, klippor och sluttningar om tjäle och snö inte möjliggör detta. Ett väl fungerande skogsvägnät blir därför viktigare för att kunna ta tillvara skogsresurserna och säkerställa en jämn virkesförsörjning under hela året.

Sämre vintrar och ökande nederbörd ställer också större krav på byggnadskvalitet och underhåll för att bibehålla god bärförmåga i vägarna (Hallgren, u.å.). Rapporten Klimatanpassad Vägbyggnadsteknik för Skogsbilvägar (Hallgren, u.å.) tar upp flera frågor i syfte att säkra vägarna i ett nytt klimat.

Större nederbördsmängder ökar risken för att skogsvägar anlagda i brant terräng orsakar erosion och skred. Detta kan förstas förstöra själva skogsvägen, men det kan också orsaka stora skred och få stora konsekvenser (Fergus et al., 2011). Norska vägnormer för skogsbilvägar (først fra 1997, reviderat 2013) ger en rad krav på utformningen av väg- och avloppssystemet. Upprepade avvikelse från normernas krav är vanliga där skogsbruket har utlöst jordskred (Fergus et al., 2011). En separat vägledning om skogsvägar och

skredfara har också tagits fram som ger kunskap om rasrisk och förebyggande av skred i samband med bygge av skogsbilvägar. (Fergus et al., 2011).

Klimatförändringarna kommer sannolikt också att leda till fler och större skogsbränder (Reed, 2018). Flera studier pekar på att det är svårare att bekämpa skogsbränder i områden utan vägnät. Skogsvägar ger lättare framkomlighet för brandbilar och personal och vägen är en brandbarriär i sig (Hosseini et al., 2016; Narayanaraj & Wimberly, 2011). Vägtätheten i Sverige uppgavs vid senaste beräkningen (ca 1990) till 16 m väg per hektar skogsmark. Ännu mer intressant är att 68 % av skogsarealen ligger mindre än 500 m från vägen och 85 % inom 1 000 m från väg. (Axelsson et al., 2018; Siffror om vägar, 2019). Om bygg- och underhållstakten är högre än försämringen så finns sannolikt ännu mer skog tillgänglig inom dessa transportavstånd nu. I Norge har vi 2 till 11 meter skogsväg per hektar produktiv skog, med den högsta tätheten i östra Norge, längst vid kusten och långt norrut. (Rundtom, 2019). Men notera här att skillnader i definitioner gör det svårt att jämföra siffror; för de svenska siffrorna vet vi inte om det gäller all skogsmark eller bara produktiv skogsmark i nämnaren, och i Norge finns bara skogsvägar (och inte allmänna vägar) i täljaren.

Det finns rikligt med information som täcker de flesta frågor rörande planering, byggande, skötsel och organisation av



Figur 13.
En skogsbilväg som har rasat ut.
Foto: Frode Sandersen

skogsvägar i både Norge och Sverige. Webbplatserna www.skogsvei.no och www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/ har det mesta som behövs i ämnet. Ett antal användbara rapporter och manualer finns också tillgängliga i nätbiblioteket hos Statens vegvesen.

Skogsvägnätets tillstånd

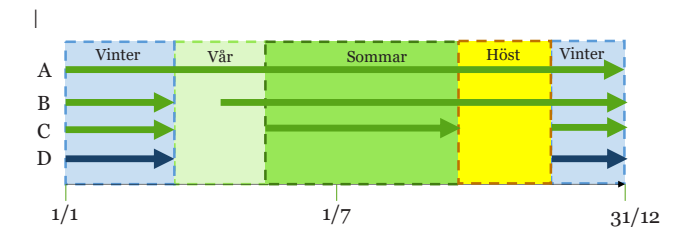
I Norge har skogsvägnätets tillstånd undersökts i länen Akershus (Bråthen, 2017; Løvenskiold, 2014), Hedmark (Holaker & Uthushagen, 2016) och Oppland (Gjerstadberge & Sanness, 2014). I Akershus och Oppland Resultaten var ungefär desamma och visade att cirka 50 % av vägarna behövde rustas upp för att uppfylla gällande krav för sin vägklass, 40 % behövde lättare upprustning och 10 % hade god standard. I Hedmark var läget betydligt bättre; 35 % av vägnätet var i gott skick och 65 % behövde enklare eller mer omfattande upprustning. Situationen i Mellannorge har inte kartlagts på samma sätt, men det finns goda skäl att anta ett betydande behov av rustning även här.

I Sverige pågår en systematisk kartläggning i Götaland där vägarna klassificeras efter tillgänglighet och framkomlighet för lastbilstransporter. Tillgänglighet handlar om väggeometri – om vägen är tillräckligt rymlig för större fordon. Tillgänglighet handlar även om vägens bärförmåga, det vill säga i vilka väder- och klimatförhållanden vägen kan användas för tunga transporter. Metoden beskrivs i en separat guide från Biometria AB (Biometria, 2019). Slutsatsen är preliminär att 1/6 av skogsvägarna var framkomliga med timmerbil med släp, 1/6 var olämpliga för virkestransporter och 2/3 hade begränsad framkomlighet med timmerbil och släp. Vägarna klassificerades även i fyra olika tillgänglighetsklasser enligt figuren nedan. Vägarna fördelade sig med



Figur 15.
En god planering, både när det gäller byggande av driftvägar och skogsvägar, krävs för att säkerställa en god logistik i timmerskogen. Foto: Martin Bråthen, Skogkurs.

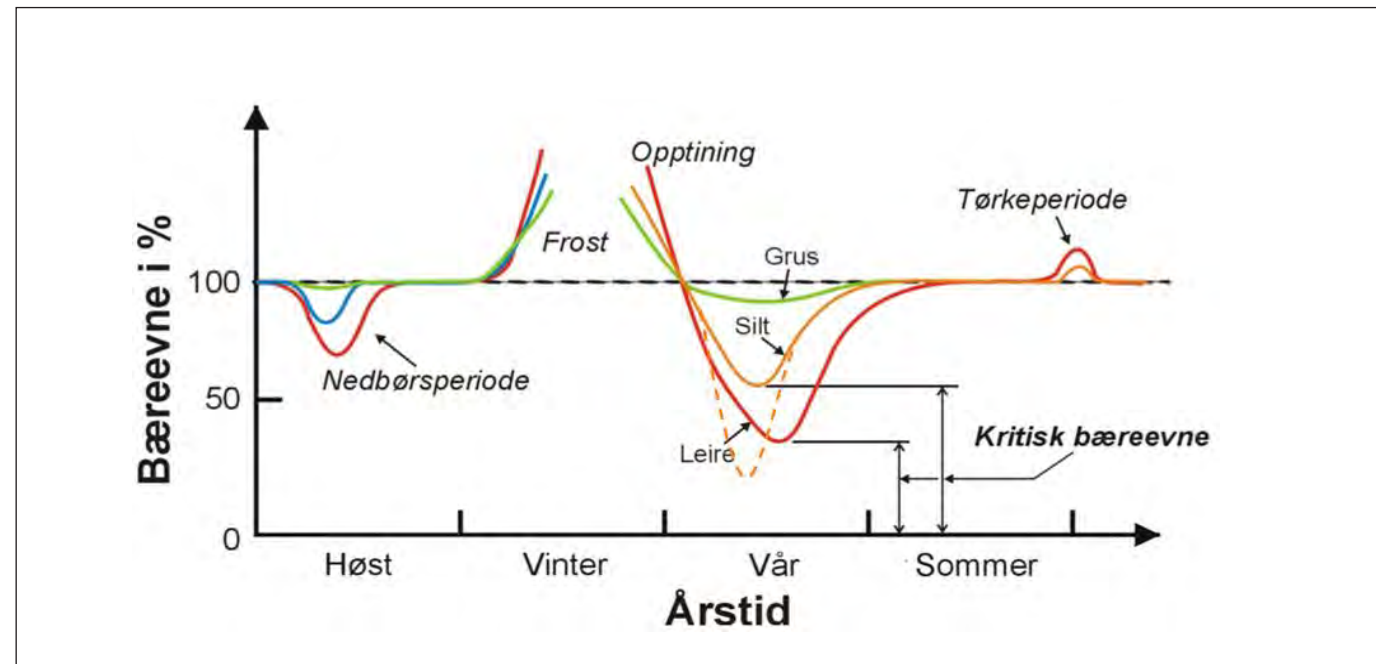
mindre än en promille i klass A, ½ av vägarna i klass B, något under ½ av vägarna i C och 7,5% i klass D. Se presentationen till Skogforsk v/Aron Davidsson om Väginventering (2020). Vägsituationen i Jämtland och Västernorrland är inte kartlagd på samma sätt, men situationen är troligen ganska likartad.



Figur 14.
När på året är vägarna körbara? I Sverige är användningstiden indelad i fyra klasser A-D.

Broar är en annan aspekt som kan behöva mer fokus i både Sverige och Norge. De flesta broarna i skogsvägnätet är över 30 år gamla och har många gånger nått sin avsedda livslängd. Äldre broar kan också ha byggts med lägre belastningskrav (Johnsrud, 2012). Skogforsk har nyligen avslutat ett projekt om broar på det privata vägnät (Enström et al., 2019), vilket har resulterat i en serie vägledningshäften om anläggning, administration respektive besiktning av privata broar. (Maxstadh, 2018a, 2018c, 2018b). Skogkurs har även ett häfte om inspektion av broar på skogsvägar (Johnsrud, 2012). Det finns ingen bra översikt över privata broars läge och skick i Norge. I Sverige har Skogforsk tagit fram ett par verktyg för att lokalisera broar.

Läs mer här: **Broar identifieras med nya metoder.**



Figur 16.

Bärförmågan varierar under året och med nederbörd och torra. Källa: (Aurstad et al., 2016)

Bärförmåga och klassificering av bärförmåga

Vägens bärförmåga är ett uttryck för hur mycket axellast som kan användas utan att vägen deformeras. Bärförmåga för väg anges vanligtvis i ton axellast. När belastningen är över vägens faktiska bärighet kommer vägen att deformeras. Detta får flera konsekvenser; det blir stående vatten på vägen, vägkroppen blir blötare och bärförmågan försvagas och vägen blir mer utsatt för erosion. Dåliga massor från djupare lager kan tryckas upp i vägkroppen och bärförmågan försvagas ytterligare. Statens vegvesen använder fallviktsmätningar för att mäta hur mycket vägen deformeras vid olika belastningar, och utifrån sådana mätningar beräknas vägarnas bärförmåga. (Statens vegvesen, 2018b).

Vägnormerna föreskriver att alla vägar ska klara 10 tons axeltryck, men de olika vägklasserna har olika krav på vilka årstider och väderförhållanden detta ska gälla. I Norge pågår just nu (2018-2021) ett bärighetsklassningsprojekt där både Norges Skogägarförbund, Norskog, Skogkurs och NIBIO är involverade. Syftet är att utveckla såväl metoder för bärighetsklassificering som prognosmodeller för vägslitage till följd av virkestransporter. Detta i kombination med vattenmättnadskartor kommer att möjliggöra "levande" kartor för körbarhet.

I en våt vägkropp kommer vattnet att minska kontaktytan mellan partiklarna i vägen och bärförmågan minskar avsevärt. God dränering av vägkroppen och rätt användning

av olika typer av massor är därför avgörande för vägens bärförmåga och underhållsbehov. Fiberduk och geonät används för att förhindra att bra och dåliga massor blandas, det senare kommer också att öka bärförmågan genom att fördela belastningen över en större yta. Kompression av massorna kommer att förbättra bärförmågan ytterligare. Det finns också olika tillsatser som kan öka vägens bärförmåga. Inblandning av 20 - 30 % flygaska i ett lager i vägens bärande lager har i försök visat en signifikant ökning av bärigheten (Noreland et al., 2020; Vestin et al., 2016). Dustex är en biprodukt från cellulosabehandling som binder gruspartiklar, medan Ecoroads är en enzymprodukt som ska binda lösmaterial som innehåller lera och silt, och därmed öka vägkroppens bärförmåga.

Mycket av arbetet med att säkerställa bärförmågan görs vid planering av skogsvägen. Genom att söka upp bra massor eller säkra bra massor vid sprängning, undvik blöta och svagt bärande ytor, placera ut tillräckligt med trummor i tillfredsställande diameter och lagom dimensionerade diken. Geologiska kartor över lösmaterial/berggrund i vägsträckningen kommer att vara till nytta. Det finns geologiska kartor både i Norge (NGU's løsmassekart) og i Sverige (SGU's Jordarter) som bör användas vid planering av en väg. Skogkurs har samlat kunskaper om geologi, och användningen av olika typer av krossat berg och naturliga lösmaterial i (skogsvägbyggen i en separat vägledning (Bråthen et al., 2020).

Tidigare i denna rapport diskuteras markfuktighetskartor, se kapitel «Digitala verktyg för terrängklassificering och under-



lag för beslutsstöd». Det här verktyget är användbart för att undvika våta områden vid planering av en väg och inte minst få en indikation på var trummor ska placeras.

Byggmaterialets styrka mäts ofta med den så kallade California Bearing Ratio (CBR). CBR går ut på att hitta de krafter som behövs för att trycka in en cylinder med en diameter på 50 mm några millimeter i vägen (eller i prover av materialet som vägen är byggd av) med en hastighet av 1,25 mm per minut. Den kraften jämförs med kraften som krävs för att trycka in samma cylinder med samma hastighet i ett standardiserat material av krossat grus från kalksten, och anges i procent. Krossgrus av hög kvalitet har vanligtvis en CBR över 80, medan de flesta andra lösmaterial har en mycket lägre CBR. CBR kan även mätas med en så kallad dynamisk penetrometer (Noreland et al., 2020). Vägens bärförmåga mäts med fallmått; det är instrument

med en vikt som släpps mot vägen från en viss höjd, och förhållandet mellan påfört tryck och nedböjningen i vägen både under och runt fallvikten registreras. Utifrån sådana mätningar kan man karakterisera vägens totala bärighet, och även ta reda på vilka lager i vägbygget som är svaga (Dahlen, 2015). Tunga fallvikter (släpvagnsmonterad) är mer exakta än lätta handhållna fallvikter, men båda ger användbar information om vägens skick (Tvensberg, 2016). Bärighetsmätningar är ett bra verktyg för att hitta vilka delar av skogsvägarna som behöver förstärkas, så att man inte behöver förstärka delar som redan har bra bärförmåga. I vissa områden i Trøndelag finns krav på bärighetsmätningar vid ombyggnad av vägar. Skogselskapet genomförde bärighetsmätningar på fyra skogsvägar i Selbu under 2015. Rapporten illustrerar väl hur metoden visar och indikerar de delar som har god och dålig bärighet samt de delar som har svag underbyggnad (Faksdal, 2015).

3.2 Etablering och underhåll av skogsbilvägar

Vägplanläggaren

Skogsväg är en av skogsägarens största investeringar och dålig planering kan ge betydande merkostnader både under byggtiden och senare. Användningen av professionella vägplanerare säkerställer förutsägbar projektkonometri och en väl fungerande väg på lång sikt. En skicklig vägplanerare måste behärska många ämnesområden och arbetssätt, bl a anläggningsteknik, hydrologi, geologi, ekonomi, juridiska frågor och driftteknik. Det är också en fördel om vägplaneraren behärskar relevant programvara och kan utnyttja terrängmodeller och markfuktighetskartor för vägplanering. I Norge finns en specifik utbildning för vägplanerare arrangerad av Skogkurs. Aktiva vägplanläggare träffas också regelbundet för kompetensutbyte och kalibrering.

Mycket av en vägplanerares uppgift är att optimera vägens placering så att den ger en så bra totalekonomi som möjligt. Det gör att vägen ger största möjliga besparingar vid terrängtransport av virke, och att den är så prisvärd som möjligt att bygga och underhålla. Gärna båda samtidigt. Skogforsk.se och SCA har tittat på möjligheten att använda planeringsverktyg för skogsproduktion (Heureka) och ett optimeringsverktyg för vägupprustning (Vägrust) för detta. Med sådana tillvägagångssätt kan man få bra beslutsstöd för att hitta den mest optimala (dvs kostnadseffektiva) väglösningen.

Etablering av skogsvägar

I Norge krävs skriftligt tillstånd från kommunen innan en skogsväg kan byggas (Landbruksveiforskriften, 2015). Det innebär att vägen ska byggas för en viss vägklass och att den ska byggas enligt Normer för jordbruksvägar som fastställts av Livsmedels- och jordbruksdepartementet. För att få offentligt stöd till vägen gäller samma krav (Forskrift om miljötilltak mv. i skogbruket, 2004).

I Sverige är skogsvägbyggen normalt tillåten om skogsägaren har skickat en avverkningsanmälan till svenska Skogsstyrelsen senast sex veckor innan åtgärden påbörjas. I renbetesområden, fjällnära skogar och i de fall vägen påverkar vattendrag, särskilda naturvärden eller kulturmiljöer gäller vissa ytterligare krav och restriktioner. Det finns i övrigt inga offentliga krav på konstruktion eller kvalitet vid byggande av skogsvägar. I Sverige är relevanta lagar och regler välorganiserade och dokumenterade både på Skogsstyrelsen och på Skogskunskap

Vägprojekt berör ofta många fastigheter. Det innebär att man helst bör hitta en byggplan och finansieringsmodell som alla berörda ägare är överens om. Detta krav innebär en uppenbar risk för att enskilda skogsägare kan blockera vägprojekt. I Norge har jordskifterätterna befogenhet att förhindra en sådan blockad. Jordskiftningsrätterna kan således besluta om byggande och bestämma fördelningen av andelar och bolagsordning för framtida ägande och

Figur 17.
En professionell vägplanerare måste ta hänsyn till många faktorer i sin planering. Målet är en väg som serverar skogen på bästa möjliga sätt till lägsta möjliga pris utan att kompromissa med kvalitet och livslängd.
Foto: Martin Bråthen, Skogkurs.





drift av en skogsväg. I Sverige har Lantmäteriet samma roll, och kan på begäran genomföra ett förfarande som kallas "vägförrättning".

Att ha en väg över fastigheten medför skyldigheter och ansvar. I Norge stadgar vägagen (1964) att ägare till en väg utgör en vägförening och har skyldighet att hålla vägen i brukbart skick. Det finns lite rättspraxis att hänvisa till när det gäller att pröva vägägares ansvar vid åsidosättande av sådana skyldigheter samt ansvar vid olyckor där vägens skick har bidragit till olyckan. Men det finns en anteckning som beskriver ansvar kring privata skogsbilvägar (Kjøllestad, 2015). I Sverige kan ägare av skogsvägar finna stöd hos REV – riksförbundet för enskilda vägar.

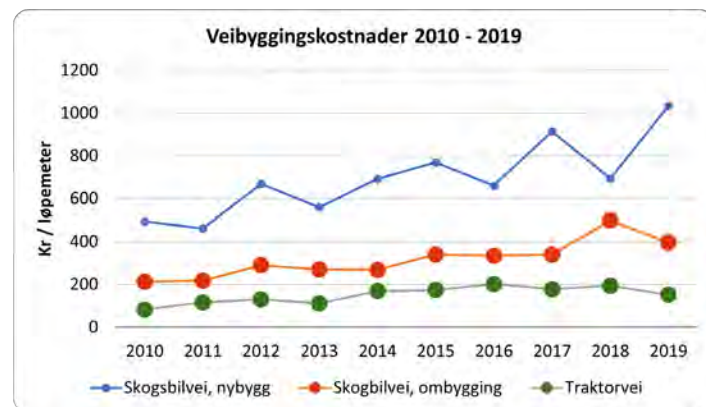
Finansiering av skogsbilväg

Ett skogsvägbygge blir lönsamt för skogsägarna om nuvärdet av tillgängligt skogsvirke och minskade terrängtransportkostnader är större än investeringen. I Norge har skogsägare två typer av stödsystem, som båda bidrar till att minska skogsägarnas kostnader för att bygga skogsväg. Vägbyggnadsprojekt kan beviljas investeringsbidrag (Forskrift om miljøtiltak mv. i skogbruket, 2004), och skogsägare har också möjlighet att använda sin skogsfond för vägbyggen och vägunderhåll (Forskrift om skogsfond o.a., 2006).

Investeringsstödet varierar något mellan olika län i Norge, men ligger vanligtvis i intervallet 40 - 50 % av byggkostnaderna. Detaljer om skogsfondsordningen och vilken effekt

Figur 18.
En väg blir till.
Foto: Øyvind Juliussen, Skogkurs.

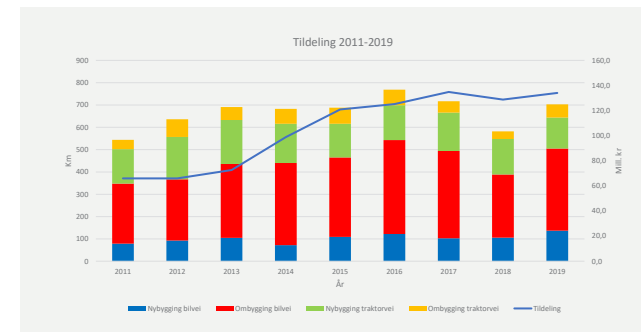
detta har på användningen av skogsmedel för åtgärder som skogsvägar finns väl beskrivet i Skogkurs senaste guide i ämnet (Bjørnstad & Fønhus, 2019). Sammanlagt kommer bidrag och skogsfonder att täcka 60 - 80 % av investeringskostnaderna för en skogsväg. Stödet beräknas utifrån ett godkänt byggprojekt och detta förfarande innebär att vi har aktuell och tillförlitlig statistik för byggkostnaderna. Kostnaderna är nu i genomsnitt ca. 700-1000 NOK / m för nybyggnation, 4 - 500 NOK / m för uppgradering och mindre än 200 NOK / m för traktorväg. Vestlandet har högre kostnader än Østlandet och Trøndelag.



Figur 19.
Kostnadsutveckling för skogsvägar i Norge. Kostnaderna för skogsvägar har ökat med cirka 100 % under samma period. Källa: Landbruksdirektoratets skogstatistikk

Kostnaderna för nybyggnation har ungefär fördubblats under perioden 2010 - 2020 (Figur 19). SSB's byggkostnadsindex (tabell 08662) visar att byggkostnaderna för vägbyggen har ökat med 32 % under samma period. Ett antagande är att denna skillnad beror på ökat fokus kring efterlevnad av kraven i vägnormerna. Dessa krav gör att vägarna behöver fler bärlager, fler och större trummor etc. Trots goda möjligheter till stöd är det en relativt låg aktivitet inom nybyggnation och upprustning i Norge. (Figur 20).

Sverige finns inga ekonomiska stöd för skogsvägar. Kostnaden för nybyggnation 2012 var ca. 190 kr/m (Skogskunskap - siffror om vägar). Eftersom det inte ges offentligt stöd är kostnadssiffrorna därmed också äldre och mer osäkra än i Norge. Men avståndet till den kostnadsnivå som nu råder i Norge är fortfarande betydande.



Figur 20.
Antal km nybyggd eller ombyggd skogsväg och total tilldelning från norska myndigheter. Hit hör även vägar byggda utan bidrag. Det är också så att ett antal medel avsätts från skogsvägsramen till verksamhet i svår terräng. I genomsnitt för perioden har knappt 12 miljoner betalats ut årligen till verksamhet i svår terräng (källa: Landbruksdirektoratet).

Prisskillnaderna har förmodligen flera orsaker. En är att kostnadsnivån generellt är högre i Norge. Skillnader i markförhållanden där vägar byggs kan också förklara en del. Olika markförhållanden och terrängförhållanden kommer att ge varierande behov av sprängning, stenkrossning, masstransport, geosyntes, kulvertar och planering av sträckningen. Summan av dessa kan ge stora kostnadsvariationer från anläggning till anläggning. Bidragsordningar ger också myndigheterna goda möjligheter att ställa villkor för hur vägen byggs och följa upp dessa.

En skogsväg är, som mycket annat inom skogsbruket, en långsiktig investering. Lönsamheten för utbyggnaden kan ganska enkelt beräknas utifrån sparade kostnader för terrängtransporter, nettovärdet av virke som ställts till förfogande, minus nettokostnaden för själva väginvesteringen. Det finns beräkningsstöd för beslutsstöd kring detta. I Norge har Skogkurs en kalkylator som ska hjälpa skogsägare att bedöma en vägs lönsamhet i förhållande till terrängtransporter. NIBIO har också ett verktyg som beräknar fördelning av kostnad mellan olika delägare. I Sverige finns ett beräkningsverktyg på www.skogskunskap.se som heter «Vägbåtnad».

Organisering av vägföreningar

De flesta skogsbilvägar berör flera markägare. I Norge kommer flera ägare av en väg att utgöra en vägförening (oavsett om de vill eller inte, jfr § 55 i Veglagen), och medle-

mmarna är alla skyldiga att underhålla vägen och bidra med sin proportionella del till detta. Ändå finns det många sätt att organisera väglag. Webbplatsen Skogsvei.no har ett mycket läsvärt avsnitt om uppläggning av skogsvägar och vägföreningar. Här finns även förslag till andelsfördelning. Rekommendationerna är i övrigt att väglag helst ska etableras och drivas som ett företag. Landskilmässodmestolen i Norge har också utarbetat en vägledning för bruksordningen för vägar, som behandlar juridiska aspekter av att äga gemensamma vägar. (Domstoladministrasjonen, 2019).

REV – Riksförbundet för Enskilda Vägar är en organisation där enskilda väghållare i Sverige kan bli medlemmar. De har en hemsida där mycket kunskap om ansvar, vägorganisation, mätning, underhåll mm finns samlad. Som medlem får du tillgång till flera publikationer om ämnen som är relevanta för vägägare.

Trots att lagstiftning, riktlinjer och beräkningsverktyg underlättar samverkan är bristen på samverkan vid planering av skogsvägar fortfarande en stor utmaning. För att motivera samarbetspartnerna i exempelvis ett vägprojekt måste kostnadsfördelningen stå i proportion till nyttan den enskilde deltagaren har. Detta kan vara svårt nog att beräkna för vägar där virkestransport är det enda syftet. Ännu mer komplicerat kan det bli när andra bruksvärden ska ingå i bedömningarna, men som tur är finns det handledningar och erfarenhet att ta hjälp av även för detta (Holth et al., 2019).

Vägunderhåll

Vägunderhåll bör i större utsträckning än tidigare utföras med rekommenderade intervaller. Se förslag på underhållsuppgifter, intervaller och norska priser i kapitel 5 (från s. 35.) i Tilstandsregistrering skogsbilveger Hedmark 2015.

Långsiktiga mål bör vara att reparera och förstärka vägar och vägvägar så att vägarna kan användas under stora delar av året (alla behöver dock inte kunna användas vid tjällossning och vid kraftiga regn - anpassas till olika typer av väder och förväntad användning). Skogsägare bör ha en överblick över potentiellt svaga partier och skador på vägen. Svaga punkter finns ofta i områden där massorna är finkorniga, i kuperade landskap och där vägen går i sluttningar.

Figur 21.
Avverkning på plan och blöt mark. Enkel lastplats byggd åt lastbilen, för att undvika att stå på allmän väg där farliga situationer lätt kan uppstå. Bild: Romeriks Allmenningene v/ Johannes Enersen.



3.3 Vägstandarder, vägnormer, byggt teknik

Vägstandarder och vägnormer

Information om etablering och drift av skogsvägar finns som guider, instruktioner och/eller webbsidor på olika webbportaler som t.ex. Skogskunskap, Skogsstyrelsen och hos virkesmätningen. I Sverige är skogsvägarna indelade i fyra tillgänglighetsklasser (A-D) som anger när på året vägen är tillgänglig, och i fyra geometriska standarder (1-4) som anger vilken hastighet man kan köra på vägen. (Skogskunskap, 2016). De nuvarande riktlinjerna för utformning och byggande av skogsvägar i klass 3 och 4, tillgänglighetsklass A - D, har tagits fram av den svenska Skogsstyrelsen i samarbete med de stora aktörerna inom svensk skogsindustri. (Gunnarson et al., 2010). Dessa riktlinjer anger dimensionering av fordon 24 meter långa, körbanor med 4 meter bredd, 60 ton bruttovikt samt att broar ska dimensioneras för 14 tons axellast.

I Svensk Nationella Vägdatabas (NVDB) ges vägarna en funktionell väglklass (0 - 9) utifrån deras betydelse i transportnätet, där 0 är de viktigaste vägarna, medan 9 är de minst viktiga. (Vägverket, 2006). Skogsvägar får klass 7 -9, där 7 är huvudvägar, 8 är normala vägar och 9 är nollvägar (Biometria, u.å.). Biometria (tidigare SDC) tillhandahåller data om skogsvägar egenskaper till Trafikverket och den svenska vägdatabasen. Egenskaper som beskrivs är väglklass, bärighet, vändplatser, vägbredder, broar, hinder/barriärer samt status på slitlag. (Biometria, u.å.).

Tabell 2. I Sverige skogsvägar klassificeras i fyra tillgänglighetsklasser och fyra geometriska standarder (Skogskunskap, 2016).

Tillgänglighet	Geometrisk standard framkomlighet för 24 meters lastfordon			
	Dimensionerande hastighet km/h			
	60	40	30	20
Last- och personbilstrafik hela året	1A	2A	3A	
Lastbilstrafik hela året utom vid svår tjällossning. Personbilstrafik hela året.	1B	2B	3B	
Lastbilstrafik hela året utom under tjällossning- och ihållande regnperioder. Personbilstrafik hela året utom under tjällossningen.		2C	3C	4C
Lastbilstrafik i huvudsak vintertid. Personbilstrafik även sommartid..				4D

I Norge finns allmänna krav på vägplanering och utförande för allmän väg i de så kallade vägnormerna hos Statens vegvesen (Statens vegvesen, 2019). För skogsvägar är kraven på planering och vägbygge beskrivna av landbruksveiforskriften (2015) i handboken «Normaler for landbruksveier»(2016).

Tabell 2. Hållbarhetsklasser för det allmänna vägnätet i Sverige.

Bärighetsklasse	BK1	BK2	BK3	BK4
Axel som inte är drivande	10 ton	10 ton	8 ton	10 ton
Drivande axel	11,5 ton	10 ton	8 ton	11,5 ton
Største tillatte bruttovekt	64	51,4	37	74

Alla allmänna vägprojekt ska dimensioneras för en axellast på 10 ton (Statens vegvesen, 2018a). Befintliga allmänna vägar är (bland annat) klassade med så kallade användningsklasser som finns i väglistor (Vegliste riksveger, 2019), och anger maximala laster och dimensioner för timmerbilar. För att se vilken användningsklass vägarna i ett område har tillhandahåller Statens vegvesen i Norge webblapplikationen Vegkart. Skriv «Bruksklasse» i sökfältet, och vägarna blir kategoriserade efter användningsklass i menyen.

Normer för skogsvägar definierar åtta väglklasser. Dimensionerat axeltryck för sju av väglklasserna är 10 ton på väg och 13 ton för broar. Den senare, väglklass 8, gäller lättare fordon och är knappast aktuell för timmertransporter.

Väglklass 1 och 2: Året runt vägar med hög eller mycket hög standard som kan köras med last året runt. Motsvarar Sveriges tillgänglighetsklass A. Vägbredd 4,5 m, lutning <8%.

Väglklass 3 og 4: Skogsväg för året-runt-bruk (3) och endast sommartid (4). De ska kunna användas under hela året, förutom tjällossningsperioder. Helårsvägen kan ha lutningar på upp till 10 % i lastriktningen och sommarbilsvägen (väglklass 4) kan ha en motsvarande lutning på upp till 12 %. Dessa vägar motsvarar Sveriges tillgänglighetsklass B eller C.

Väglklass 5: Sommarväg för timmerbil utan släp. Detta kan ha en lutning på upp till 18 % i lastriktningen. Detta motsvarar även tillgänglighetsklass B eller C i det svenska systemet.

Väglklass 6: Vinterväg. Kan användas där det är stabil vinter, långa transportsträckor och jämn terräng. Motsvarar tillgänglighetsklass D i det svenska systemet.

Väglklass 7: Traktorväg för lastning av traktor. Kan ha en lutning med upp till 20 %. Bredd > 3,5m och kan ha en mer ojämn yta. I övrigt samma krav på dränering, vägtrummor, axellast och bärformåga som övriga väglklasser.

Väglklass 8: Enkel traktorväg - för lättare traktorer. Minsta bredd 2,5 m, max lutning 15 %.

Utformning av vägen

Byggmetoderna är förstås ganska lika mellan länderna; trädtas bort från torv och humus, sträckan planeras och vattenflöde ordnas och till slut byggs vägkropp och slitlager. Det finns dock skillnader i byggsätt och inte minst stora skillnader i genomsnittliga byggkostnader.

Kraven för norsk skogsväg klass 3 jämförs med rekommendationerna för svenska skogsvägar i vägklass 3c i tabellen nedan.

Tabell 3. Jämförelse av riktlinjerna för norsk skogsväg klass 3 (året runt väg exklusive tjällossning (Normaler for landbruksveier, 2016)) med vägklass 3C (året runt exklusive tjällossning, < 30kmh) (Gunnarson et al., 2010)

	Norge	Sverige
Bredd	3,5 ^m	4 m
Stigning lastriktning	10%	7-8 %
Stigning kortare sträckor, lastriktning	12%	12 %
Min kurvradie (horisontal)	10 m	25 m
Mötesplatser	500 m	500 m
Bärlager, tjocklek*	25 - 70 cm	10-50 cm
Slitlager, tjocklek*	10 cm	5 cm
Grävdjup (under terrass)	20 cm	20 cm
Tvärfall	5%	5%

* Siffrorna gäller substrat och underkonstruktioner (terrass) bestående av moräner med lite finmaterial (telegrupp T2, svenska tjälfarlighetsgrupp II), bärlager av obearbetat naturgrus och slitlager av sorterat naturgrus.

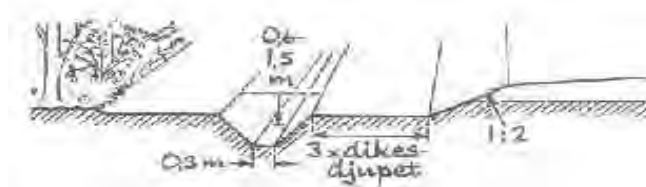
Av byggnadsbeskrivningarna finns även andra faktorer som är värda att påpeka:

Skillnaden mellan underbyggnad och överbyggnad heter «planum» i Norge och «terrassen» i Sverige (Gunnarson et al., 2010, s. 2; Normaler for landbruksveier, 2016, s. 38). Speciellt för Sverige rekommenderas att terrassen är packad, normalt med minst 6 ton vält och minst tre överfarter (Gunnarson et al., 2010, s. 12).

I Sverige kan täckmassor (stubbar, humus och matjord) lämnas orörda i underbyggnaden, förutsatt att den inte kommer närmare körbanan än 30 cm. Dessa material kan även läggas i deponi om de är täckta med 60 cm mineraljord (Gunnarson et al., 2010, s. 11). I Norge kan täckmassor finnas i underbyggnad och vallar om överbyggnaden är minst 50 cm (Normaler for landbruksveier, 2016, s. 38).

De norska byggnadsbeskrivningarna säger att fiberduk ska användas som filterskikt (mellan under- och överbyggnad) på jordar med mycket finmaterial. I Trøndelag innebär det att fiberduk kommer att användas på nästan hela vägsträckan på alla skogsvägar, förutsatt att de inte byggs på kal eller sprängd sten eller flodavlagringar.

I Sverige rekommenderas att vägar på plan mark byggs med en plan yta mellan överbyggnad och vägdike. Denna plana yta bör ha en bredd på 2-3 m. I Norge verkar det som om denna praxis endast gäller när man bygger på myrar (Normaler for landbruksveier, 2016, s. 40).



Figur 22. Illustration av Markbankett mellan vägen och diket. Illustration: Ulla Carne, Skogskunksap.se

Jämförelsen tyder på att den norska varianten kräver ett tjockare basskikt och accepterar större lutningar och brantare kurvor än den svenska (Tabell 3).

Vattenhantering

Sönderkörning av vägar förekommer nästan inte så länge vägkroppen är fri från fritt vatten. Berntsen & Saarenketo (2005) är en mycket läsvärd genomgång av frågor kring dräneringen av lågtrafikerade vägar i vårt klimat. Författarna hävdar att livslängden på en väg kan förlängas med minst 2,2-2,6 gånger bara genom att säkerställa god dränering (Berntsen & Saarenketo, 2005). Omvänt kan en skadad dränering omedelbart ödelägga vägen.

Figur 23.
Dikesrensning är nödvändig med jämna mellanrum för att säkerställa god dränering och uttorkning av vägkroppen. Dikesgrävning bör alltid göras 1-2 år innan andra bärighetsstärkande åtgärder genomförs.
Bild: Martin Bråthen, Skogkurs.



Vägnormerna för skogsvägar säger att dikesdjupet ska vara 20 cm under terrassen och 30 cm brett. Detta är att betrakta som en minimirekommendation, dikesdjup på 0,5 - 1 meter under terrassen kommer att bidra till ännu bättre uttorkning av vägen. För större underhållsprojekt rekommenderas att dräneringen görs 1-2 år innan andra åtgärder genomförs (Berntsen & Saarenketo, 2005).

Utformning av dräneringssystem

Dräneringssystem på skogsvägar ska dimensioneras för att klara översvämningar som förväntas inträffa inom 25 till 50 år, 200 år på broar (Normaler for landbruksveier, 2016) och 50 till 200 år på allmänna vägar (Avvattningsteknisk dimensionering och utformning - MB 310, 2017, s. 22; Statens vegvesen, 2018a). Det handlar bland annat om att beräkna översvämningens vattenflöde och tillhörande kapacitetskrav för de platser där vattnet ska passera vägkroppen (broar, kulvertar, trummor). Sedan ska åtgärderna planeras och dimensioneras så att de uppnår denna kapacitet.

För att leda ytvatten som samlas i vägdikena genom vägen används vanligtvis trummor med fritt utlopp på undersidan. Trummor ska ha en minsta innerdiameter på 30 cm för skogsvägar (Gunnarson et al., 2010; Normaler for landbruksveier, 2016), och 60 cm för allmän väg (Statens vegvesen, 2018a). När vägen läggs snett i slutningar ska trummor finnas med jämna mellanrum, var 50-100:e m. (Normaler for landbruksveier, 2016, s. 40).

Vid passage av befintliga vattendrag rekommenderas i Sverige i prioritetsordning användning av bro, valvbågar eller



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

försänkta trummor. Syftet är att åtgärden inte ska utgöra ett vandringshinder för vattenlevande organismer (Avvattningsteknisk dimensionering och utformning - MB 310, 2017, s. 30; Gunnarson et al., 2010, s. 11). I Norge ges liknande riktlinjer för fiskförande vattendrag (Direktoratet for naturforvaltning, 2002). Skogkurs har skapat en separat guide för hur skogsvägar kan passera fiskförande bäckar. Vid användning av rör sänks dessa ner i bäcken, så att rörets botten fylls med sediment (Avvattningsteknisk dimensionering och utformning - MB 310, 2017, s. 30). Användningen av valvbåge är inte så utbredd i dagsläget i Norge. Metoden beskrivs av Vägverket (Konradsson, 2008) och erbjuds i Norge av bl.a Veiteknikk AS, ViaCon och Geosyntia.



Beräkning av vattenmängder och tillhörande kapacitetskrav

Metoder för att beräkna översvämningsflödet i Norge är väl beskrivna i Vassdragshåndboka (Fergus et al., 2010), i en separat guide för översvämningsberäkning i små (<50km²) avrinningsområden (Stenius et al., 2015) samt i en separat NVE-rapport om skogsvägar och skredrisk (Fergus et al., 2011). I Sverige har Trafikverket en handbok för detta (Avvattningsteknisk dimensionering och utformning - MB 310, 2017, s. 24), där metoder för översvämningsberäkning finns tillgängliga för avrinningsområden <60 km². För mycket små avrinningsområden (<0,5 km²) används ofta den så kallade rationella formeln som uppskattar vattenflödet utifrån avrinningsområdets yta, avrinningsfaktor, dimensionerande nederbördsintensitet och klimatfaktor för den aktuella nederbörden fält. Dimensionerande nederbörd och rekommendationer gällande val av klimatfaktorer i norsk geografi finns på Norsk Klimaservicesenter (2019).

De senaste åren har lättillgängliga webbaserade stödverktyg utvecklats för att beräkna avrinningsområden och översvämningsflöde för varje tänkbar punkt i både svensk och norsk geografi. I Sverige är fastlandet indelat i 17 313 avrinningsområden, och på hemsidan «vattenwebb» kan man (bland mycket annat) hitta översvämningsvattenflöde (Q50) för alla dessa (SMHI, 2019). Norges Vassdrags och Energidirektorat har hemsidan NEVINA som visar samma sak i Norge. Men för att kunna använda dessa hjälpmedel krävs dock en viss kompetens och ansträngning.

Figur 25.
Fiberduk används för att separera befintliga massor med ditkörda massor. Blandning av massorna minskar bärigheten.
Bild: Romeriks allmenningene v/ Johannes Enersen.

Dimensionering av kulvertar och hängrännor

Flera rörtillverkare, till exempel Pipelife og Basal, erbjuder verktyg på sina hemsidor som beräknar kapaciteten på trummor utifrån rördiameter och lutning. Dessa gör det enkelt att beräkna vilka rördimensioner som behövs för ett givet kapacitetsbehov. Men man måste tänka på att de kräver en trumma med så kallad inloppskontroll, dvs att vattnet har fritt utlopp (fritt fall) från trumman.

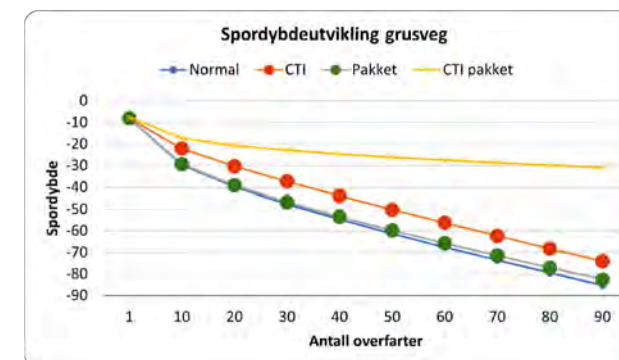
För andra förhållanden (sänkt utlopp, halvbågar, broar) behövs mer omfattande beräkningar och programvara (Norem et al., 2018). Ett analysprogram som heter "Hy-8" finns hos Federal Highway Administration (i USA) på deras webbplatser och rekommenderas för användning av det norska Vägverket. Sådana verktyg används dock sannolikt i mycket liten utsträckning för rördimensionering och skogsvägar. En mer använd metod är förmodligen en sorts ögonmått där man ser hur högt och brett bäcken breder ut sig vid högt vattenflöde, och lägger rör eller broar med tillräckligt med bredd och djup för detta.



Figur 26.
Vägtrummor är oerhört viktiga. Både vad gäller dimensionering, antal och placering. Tilltäppta eller trasiga rör kan få enorma konsekvenser för de områden dit vattnet tar vägen. Detta är ett exempel på dåligt utfört arbete vid läggning av trumman.
Bild: Martin Bråthen, Skogkurs.

Komprimering

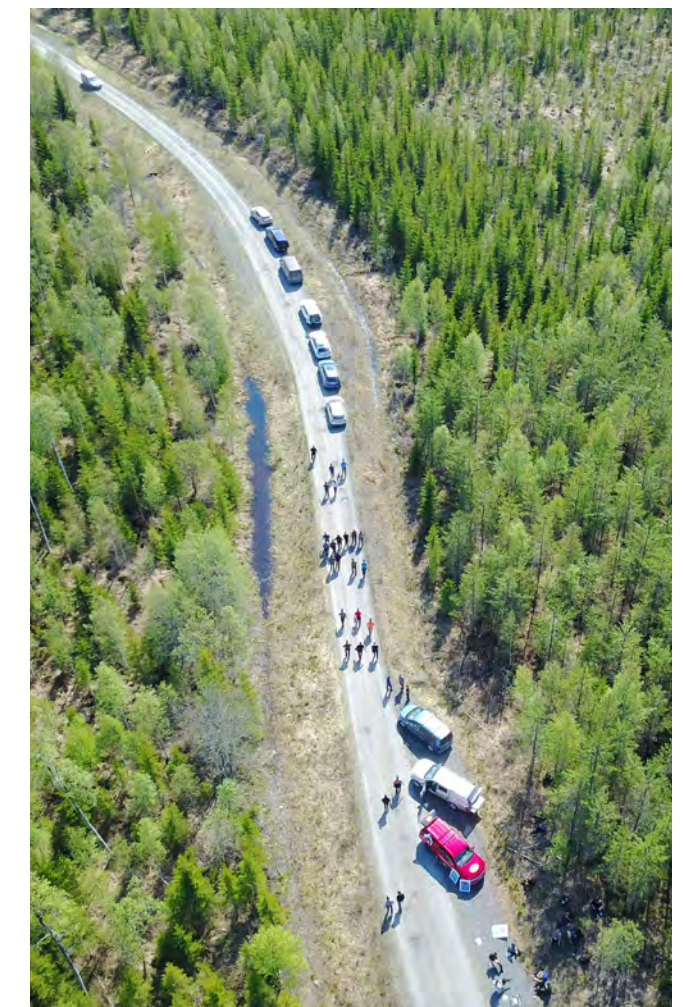
I svenska bygganvisningar för skogsvägar rekommenderas packning av terrassen före applicering av bärlager. Kompression av massorna och de olika lagren leder till ökad bärförmåga. Kompression i kombination med CTI (Central Tyre Inflation) ger avsevärt minskade spårskador och längre livslängd på väg utan specifikt behov av bärighetsunderhåll.



Figur 27.
Förväntad spårutveckling till följd av packning av terrass och användning av CTI (Bergqvist et al., 2016). Vid bruk av CTI halverades däcktrycket.

Genom komprimering ökar bärförmågan med ca. 16 %. I kombination med CTI, kommer livslängden (antal överfarter till ett visst spår djup) att öka kraftigt. Även utan packning kommer CTI att öka livslängden med ca. 50 %. En annan studie av Bergqvist, Björheden & Eliasson (2016) fann att packning av vägen bör ske först efter det att vägen stått

stilla under en tjällossningsperiod. Tjällossningen medför ökad packning i terrassen. Vägen ska med andra ord få "sätta sig".







*Figur 28.
Att transportera virke vid fel
tidpunkt kan orsaka betydande
skador. Få vägar i Skandinavien
har tillräckligt bra standard för
att kunna användas året runt.
Bild: Romeriks allmenningene v/
Johannes Enersen*

3.4 Utveckling - metoder och tekniker inom vägbygge, väganvändning och vägunderhåll

Framtidens behov av bärighet

Skogsvägar byggs för att underlätta virkestransporter och därmed spara pengar. I Sverige tillåts för närvarande 74 ton, i Norge 60 tons timmerbilar. I båda länderna strävar man efter att öka totalvikten, till 90 ton i Sverige respektive 74 ton i Norge. Ökade fordonskortvikter ger generellt lägre transportkostnader och lägre bränsleförbrukning per transporterat ton.

Effekten av axeltryck, antal axlar, däcktyper och däcktryck beskrivs av (Varin & Saarenketo, 2014). Dessa förhållanden

säger mycket om slitage, deformationer och spårbildning på vägnätet. Ökad totalvikt fördelat på flera axlar kan ge ökat slitage per tur, även om axelbelastningen är lägre. Detta beror på tre olika mekanismer; 1) Porvattentrycket i vägkroppen och undergrunden ökar för varje hjulpassering och med många passager i snabb följd blir det så småningom mycket vatten i vägkroppen. Vattnet "masseras upp" i vägkroppen. 2) Vägen fjädrar lite när den passerar ett belastat hjul. Om det är många hjul i snabb följd hinner inte vägen gå tillbaka mellan varje passage och i slutändan resulterar det i en permanent deformation som ökar med antalet hjulpassager. 3) långa lastbilar ger många hjulpas-

sager i exakt samma spår, detta fungerar på samma sätt som punkt 2. Däcktryck och däckkonfiguration har också stor påverkan på vägslitaget (Varin & Saarenketo, 2014). Ökad laststorlek ställer större krav på vägen.

Utifrån ovanstående bör en väg ha lite «vila» mellan transportererna, gruppkörning bör undvikas, speciellt när den är mjuk eller under tjällossning. Idag körs mer volym ut på kortare tid, vilket gör att vägen i många fall inte får "sätta sig" mellan varje tur. De allt större timmerbilarna är i stor utsträckning anpassade utifrån det allmänna vägnätet eftersom endast +/- 3 % av transportererna sker på skogsvägnätet (källa: Allskog). Det innebär att skogsvägnätet måste anpassas till allt större timmerbilsutrustning.

Realtidsövervakning av vägens bärighet

Trafikverket har en hemsida där de publicerar tjäldjup. Det finns resultat från mätningar av tjäldjup runt om i landet på allmänna vägar. Information härifrån kommer under samma förutsättningar som referensvägen att kunna ge värdefull information om när man får köra ut timmer och inte. Till exempel har strategin för att transportera virke under tjällossningsperioder ändrats till följd av resultaten härifrån. Det var vanligt att man körde ut virke i all hast på kvällen/natten när frosten lagt sig. Det visade sig dock att tjältjockleken i vägen är som tjockast tidigt på morgonen (efter klockan 03 och fram tills solen går upp), så risken för körskador är minst under denna tid.



Bärighetsmätning utförd av vägplanerare Bjørn Arve Øvereng på en nybyggd väg. En gedigen och snyggt utformad väg. Bild: Martin Bråthen, Skogkurs.

STP (Surfacing Thickness Program)

I svensk och norsk vägnorm anges kravet på bärlagertjocklek utifrån egenskaper hos undergrunden och bärlagermassorna i sig. Skogforsk i Sverige har tittat på möjligheten att bygga vägar med tunnare bärlager med hjälp av en modell som kallas Surface Thickness Programme, förkortat STP (Bergqvist et al., 2017).

Modellen beräknar hur mycket spårbildning det blir på vägen vid en viss belastning och vid en given bärighet i både vägkroppen och undergrunden. Med denna metod kan därför minsta bärlagertjocklek beräknas utifrån hur mycket spårbildning som accepteras. STP kan ge billigare vägar genom att man kan minska bärlagrets tjocklek (Bergqvist et al., 2017). Det noteras dock att metoden bör anpassas och vidareutvecklas för att bli ett praktiskt och användbart verktyg. Och det kräver att du känner till CBR-värdena för både terrass och överbyggnad i vägen.

Road-doctor

Road-Doctor® (Roadscaners OY) ett program/verktyg för att organisera och analysera data från bärighetsmätningar, georadar och andra källor för att bedöma förstärkningar/uppgrädering av vägen. Att använda denna typ av teknik för att skraddarsy bärförmågan i förhållande till behovet längs en väg kan ge besparingar på 14 - 40 % (Christoffersson & Johansson, 2012). Vinsten realiserar genom att endast stärka och uppgrädera de partier på vägen som faktiskt behöver det, och att de undersökningar som görs ger bättre

underlag om hur mycket ett parti behöver stärkas. På www.roadex.org ligger flera rapporter om denna metod.

I Trøndelag har flera vägföreningar testat delar av denna metod med positivt resultat. Detaljeringsgraden kommer att variera med utrustningen. Mest omfattande blir bärighetsmätningar utförda med tung fallvikt, monterad på en släpvagn. Det finns även alternativ som ger goda indikationer på bärförmågan som kan användas av exempelvis en vägplanerare vid planering av upprustning/nybyggnation. (Tvensberg, 2016).

En georadar kan användas för att bestämma bergets djup och djupet på grundvattennivåerna. Detta kan vara ett användbart underlag för massberäkningar och för att planera behovet av sprängning och söderhackning. Geovista har på sin hemsida skrivit en kort information om hur en georadar fungerar.

TPC(S) (Tyre Pressure Control System) & CTI(S) (Central Tyre Inflation System)

Kårt barn har många namn, system för däcktrycksreglering under körning har fått minst två. Tyre Pressure Control Systems (TPC | TPCS) och Central Tyre Inflation System (CTI | CTIS) är exakt samma sak, men genom att använda termen TPC kommer slangarna som sticker ut utanför hjulet inte att betraktas som en olaglig breddökning av fordonet. TPC är ett system som reglerar lufttrycket i däck på



TPC - reglerar lufttrycket i däck. Lägre lufttryck ger en större yta på vägen vilket minskar marktrycket. Bild: Martin Bråthen, Skogkurs.

lastbilen under transport. Genom att minska lufttrycket ökar däckens kontaktyta med vägen med 20-25%. Detta ger minskat marktryck och därmed lägre slitage på vägbanan samt ökat grepp i branta sluttningar (Bjerketvedt & Fjeld, 2016; Granlund, 2006b; Mohammad Reza, 2017). På vägar med reducerad lastkapacitet eller användningsklass, som t.ex många allmänna vägar gör effekterna av det minskade marktrycket att lastvikten kan ökas. I Sverige har skogsindustrin fått dispens av Trafikverket för att öka lastvikten på svaga vägar med hjälp av TPC..

Du kan även använda breda enkelhjul (istället för tvillinghjul) i kombination med TPC på släpet. Svenska studier och erfarenheter tyder på mindre bränsleförbrukning, stabilare gång och längre livslängd på däck (Røhfors, 2011). Men spårutvecklingen på skogsvägar med dålig bärighet är något större om man jämför breda enkelhjul med tvillingfästen där båda har TPC.

Rätt använt kommer TPC-systemet därmed att minska slitaget på vägarna och möjliggöra transporter på vägar med minskad bärförmåga (Granlund, 2006a). Ekonomiska analyser av systemet har också visat att om 30% av timmerbilflottan har TPC i områden med mycket silt och lera i marken

så kommer konceptet att spara/tillföra ca 4 kr/m³ i värde till värdekedjan (Skutin, 2012). Beräkningarna gjordes för Västernorrlands län, som är ett område med mycket finjord och hög andel BK2- och BK3-vägar.

Nackdelen med TPC är att det är en extra komponent att installera och underhålla, och att däckbyten blir mer komplicerade. SCA Skog använder TPC på ca. 20 % av lastbilarna 2015, och bygger/uppgräderar många vägar utifrån fördelarna med TPC (Asmoarp et al., 2016). Alla operatörer i Sverige har inte avtal med SCA (eller ägs av SCA) som premierar användningen av TPC. Många operatörer tycker att TPC-investeringen är för dyr och vinsten från denna installation är för liten att bära ensam. I Norge rullar det så långt vi vet om endast ett fordon med TPC, och det i ett testprogram för konceptet i Norge (Bjerketvedt & Fjeld, 2016). I Norge finns i princip bara fristående timmertransportörer, vilket innebär att om TPC ska användas inom norska virkestransporter måste affärsmodellerna med virkestransportörerna på ett eller annat sätt göra investeringen lönsam för transportören. Så länge transportören har kostnaderna och nackdelarna, och skogsägaren/vägägaren/skogsindustrin har intäkterna och fördelarna, kommer vi knappast att se någon storskalig investeringstakt i detta system i Norge.

kapitel 4

Kurser och kompetensutveckling

För den som vill ha ytterligare fördjupning finns det mycket att välja på i båda länderna.

Skogforsk erbjuder många kurser för skogsnäringen, varav två är särskilt relevanta för ämnena här.

«Bli spårlös» är en kurs/koncept som arrangeras som en heldag med föreläsningar, diskussioner och fältövningar, där deltagarna får uppdaterad kunskap kring metoder och tekniker som möjliggör skogsbruk utan körskador..

«Reco» är en förarutbildning inom «Rationell Ekonomisk och produktiv avverkning och körning», vilket också innebär skogsbruk med minsta möjliga skador på terrängen.

Skogsbolagen driver egna kurser för sina maskinförare och avverkningsplanerare.

Inom andra ämnen (t.ex. väg) skräddarsys kurser när behov uppstår, men inga färdiga kurspaket erbjuds för stunden.

Skogkurs lever upp till sitt namn och erbjuder en rad kurser av hög relevans till måttlig kostnad för många aktörer:

Inom vägfrågor erbjuds en rad tredagarskurser om vägorganisation, vägekonomi och väghållning samt en tvådagars entreprenörskurs i byggande av skogsvägar. Dessutom anordnas en årlig «fagsamling vei», som är ett forum för professionell utveckling i vägfrågor. Målgruppen för dessa kurser är vägplanerare, skogsägare, virkesköpare, entreprenörer och offentlig förvaltning.

Inom drivningsområdet erbjuds ett antal kurser inom skogsbruksplanering, kunskapsprov för maskinförare, andra maskinförarkurser, produktionsplanering m.m. Till alla kurser finns även anpassad facklitteratur. Skogkurs har även lång erfarenhet av att driva skräddarsydda kurser för maskinförare och entreprenörer som vill vidareutveckla sina egna yrkeskompetenser och färdigheter.

Inom skogsvårdsfrågor erbjuds ett antal kurser bl.a en tvådagarskurs i användning av skogsbruksplan, samt kurs i praktisk användning av GIS i skogsnäringen.

Utöver ovan nämnda koncept finns det ofta goda initiativ från skogsaktörerna. Skogsägarkooperativ kan arrangera kurser för sina medlemmar, företagen arrangerar företagsinterna kursdagar, ofta med hjälp av ovan nämnda utförare.



kapitel 5

Grundfaktorer för skogsbruk

för skogsbruket i Trøndelag, Jämtland och Västernorrland

Från mitten av 1800-talet lanserades teorier om hur växthusgaser bidrog till ett varmare klimat på jorden. Den svenske fysikern Svante A. Arrhenius beräknade att en 50-procentig ökning av atmosfärisk CO₂ skulle öka årstemperaturen med 3,6 - 3,7 °C här på 60 ° till 70 ° nordlig latitud (Arrhenius, 1896b, 1896a). Sedan dess har CO₂-koncentrationen i atmosfären ökat med 30 % och klimatmodellerna pekar nu på en sannolik ökning av medeltemperaturen med 3-6 °C till år 2100 (van Oort et al., 2018).

Jämfört med referensåren 1960-1990 har den genomsnittliga årstemperaturen redan ökat med nästan 1 °C i Mellan-norge, och förändringen är störst på vintern. (Tveito, 2014). Prognoserna tyder på att det blir 20 - 40 färre vinterdagar med temperaturer under noll 0 °C under perioden 2071-2100 jämfört med referensåren (Tveito, 2014).

I Finland bedömer man att tiden med «gott vinterföre», dvs. 20cm tjäle eller 40cm snö kommer att minska med cirka en månad till 2050 och 2-3 månader till 2099 (Lehtonen et al., 2018). Förutom varmare väder väntas även kraftigare neder-

börd, fler och större regnöversvämningar och fler jordskred i Skandinavien under de kommande åren. Och trots förväntningarna på mer nederbörd indikerar klimatprognoser också tätare och allvarligare perioder av sommartorka (van Oort et al., 2018).

Utvecklingen har många uppenbara konsekvenser för skogsbrukets drivningsteknik på Nordkalotten i allmänhet och mellersta Skandinavien i synnerhet. Tidigare praxis att använda tjäle och snöpackning för att säkerställa åtkomst och undvika spårskador kommer i stort sett vara en värdelös metod. En blötare jord kommer att försvaga skogsbottens bärförmåga och friktion, särskilt vinter, vår och höst. Detta medför ökad risk för stormfällning, ökad spårbildning och risk för erosion samt sämre framkomlighet i brant och mjuk terräng. Om vi ska vidareutveckla användningen av skogsresurserna, samt hålla en jämn avverkningstakt under hela året, är det därför en förutsättning att skogsbruket skaffar sig arbetssätt och teknik som möjliggör brukande/drivning i låglänt och svår terräng utan hjälp av tjäle och snö.





kapitel 6

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., & Rönquist, 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://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/statens+vegvesens+rappporter/_attachment/1431251?ts=155b4b48f60&download=true&fast_title=L%C3%A6rebok%3A+Vegteknologi
- 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., Bergqvist, I., Lindén, M., Lomander, S., Ring, E., & Simonsson, P. (2010). Förslag till en gemensam policy an- gående körskador på skogsmark för svenskt skogsbruk (Nr. 731; Arbetsrapport från Skogforsk, s. 23). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_48e50d/contentassets/fde648c009f548b494c4190bb03583b6/arbetsrapport-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/2a1f59a536e54a2792c0d7dc7f46cd46/kompakteringseffekter-pa-skogsbilvagor-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_I.pdf
- Biometria. (u.å.). *Klassning av skogsbilvägar*. Hentet 23. december 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/Veiledner%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 slip-page possible? Austria 2003 Proceedings, 5. <https://www.formec.org/proceedings/34-austria-2003-proceedings.html>
- Branchgemensam Miljöpolicy. (2013). Svenska skogsbranchen, Skogsindustrierna & LRF Skogsägarna. https://www.skogskunskap.se/contentassets/6b8dbf61bab74a418e0dd519141c5709/miljopolicy-2013_korskador.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 engreppsskordare i slutavverkning (Redogörelse nr 2). Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2007/Underlag-for-produktionsnormer-for-extra-stora-engreppsskordare-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%20>

- geologi%20og%20veibygging.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>
- Direktoratet for naturforvaltning. (2002). Slipp fisken fram! Fiskensvandringmulighet 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/internettpublikasjoner/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). Prosjektmanfatning—Utvecklad broinfrastruktur för mer hållbara transporter (Nr. 1008; Arbetsrapport, s. 24). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_4920f3/contentassets/7b-28da7d21654b89932b651d8e2769b4/arbetsrapport-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/19788251924252>
- 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/skogsvegerskredfare2011.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 berekraftig skogbruk, Pub. L. No. FOR-2006-06-07-593 (2006). <https://lovdata.no/forskrift/2006-06-07-593>
- 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 påvirker arbeidsrutiner og markfuktighetskartor kørskadene i skogsbruket (nr. 904; Arbetsrapport Från Skogforsk, s. 36). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_48e521/contentassets/f70c51e0a98047779c7db9659486d309/sa-paverkar-arbetsrutiner-och-markfuktighetskartor-korskadene-i-skogsbruket-arbetsrapport-904-2016.pdf
- Friberg, G., & Davidsson, A. (2018, februar 5). Ny GIS-modell placerer avlaggen rätt. Kunnskapsbanken. <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/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 skogsbilveier i 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/56552300da244f2f86def440eae3f01/redogorelse-inl-nr-3-06-lowres.pdf
- Granlund, P. (2006b). Fem miljoner 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_20170518.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
- 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 Mouny-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%B8kler%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_net.pdf
- 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/b9rwq1itio498dx/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., Lait-

- ila, 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). Awirkning med hjulgående maskiner i bratt terreng (Oppdragsrapport fra Skog og landskap, s. 12). Norsk institutt for skog og landskap.
- Lov om skogbruk, Pub. L. No. LOV-2005-05-27-31 (2006). <https://lovdata.no/lov/2005-05-27-31>
- 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 brohåndledning. Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_48e646/contentassets/5fa76c46521a4b-2daac59f0e9dd16607/forvaltning---en-overgripande-bro-handledning.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/8912c2189f1d40ef9b9a6df3806bb8e0/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., Dzhamal, A., Rosario, P. A., Cuiseppe, 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.
- Narayanaraj, 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). Lærebok Drenering og håndtering av overvann (Bd. 681). Statens vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/statens+vegvesens+rapporter/_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/veg>

- normaler/
- Norsk Klimaservicesenter. (2019). <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/index.xhtml>
- Norsk Standard Development Ggroup (SDG) for FSC. (2019). FSC-standard for Norge, utkast, versjon 2.0 til høring. https://no.fsc.org/files/page/45/information_sidebar/norsk%20fsc%20standard%20draft%20v%202.0%202019.10.15%20-%20andre%20hring.pdf
- PEFC Norge. (2016). PEFC N 02 Norsk PEFC Skogstandard (s. 21). PEFC Norge. http://www.pefcnorge.org/vedl/PEFC%20N%2002_Norsk%20PEFC%20Skogstandard_Juni%202016_.pdf
- Persson, P.-E. (2013). Arbete i awerkningslag: Arbetsmiljø, kvalitet, produktion. Del 1 Grunndeggende kunskaper (5. utg.). Mora in Europe AB.
- Persson, P.-E. (2019). Klassning av bærighet. 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. <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). Vägklasser 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/content

- tassets/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 småregulerte felt: Bd. nr 7. NVE. http://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf
- Sverker, J., & Björheden, R. (2018). Bandskotare—En del av løsningen? *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. E. (2013). Forprosjekt—Evaluering av gravedrifter. Rapport fra Skog og Landskap, 05(05), 22.
- Talbot, B., Nitteberg, M., & Kyllø, 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.
- Tvengsberg, 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). Långtidsoppfølging av grusveg stabiliserad med bioflygaska – Sörkrångevägen (s. 42). Energiforsk; ISBN 978-91-7673-264-9. <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/19687/langtidsoppfoljning-av-grusvag-energiforskrappport-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-%20F%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. [SKOGLIG ANPASSNING](https://www.skogforsk.se/cd_48e632/contentassets/3d-</p>
</div>
<div data-bbox=)

2cf69fe3194d0598dadbd228dbb31d5/bestway-beslutsstod-for-forslag-till-huvudbasvagar-for-skotare-arbetsrapport-945-2017.pdning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor ver-

dikjedene 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.

