



En markprofil i en sandig, väl-dränerad morän, med god bärighet. Vattenhalt och jordart är avgörande för markens bärighet. Foto: Rolf Björheden.

Minska risken för markskador!

Del 1: Markens bärighet, markskador och hur de uppstår

Mekaniserad avverkning medför tung terrängtrafik. Längs basvägar och huvudstråk kan skogsmarken belastas med flera tusen ton under arbetet. Markens bärighet är mycket varierande, även inom ett och samma bestånd. Om skogsmarkens bärighet överskrids uppstår markskador i form av kompaktering och spårbildning. I denna första del presenteras hur markskador uppstår, vilka effekter de har och hur man kan bedöma markens bärighet. I del två redovisas hur risken för skador på marken kan minskas genom skyddsåtgärder och hänsyn till bärighetsförhållandena vid planering och genomförande av avverkningen.

Så påverkas marken av körning med tunga maskiner

En skogsmaskin i rörelse utsätter skogsmarken för vertikal, horisontell och skjuvande belastning. Överskrids markens hållfasthet deformeras den genom kompaktering och spårbildning. Då minskar markens porositet och jordpartiklar flyttas i höjd- och sidled. I ett körspår på mineraljord är kompakteringen påtaglig och undantryckta jordpartiklar orsakar vallar vid sidan av spåret.

Effekterna av markskador kan vara långvariga

Kompaktering och spårbildning är negativa för skogens tillväxt. Kompaktering minskar markens porvolym. Porerna blir både tunnare och kortare. Det försämrar markens gasutbyte och vattentransport, medför längre perioder av blöt mark och ökad risk för försumpning. Kompaktering och överskott av vatten försvårar rotttillväxt och sänker aktiviteten hos aeroba mikroorganismer.

Spårbildning i kuperad terräng ökar risken för erosion och slamavlagring med negativ inverkan på skogens vattenmiljöer. Om syrefria miljöer med nedkört organiskt material uppstår i hjulspåren finns förutsättningar för bildning av metylkvicksilver som lätt tas upp av organismer och kan ackumuleras till giftiga nivåer högre upp i näringskedjan.

Kompakterad skogsmark återhämtar sig i bästa fall inom några få år, men det kan även ta flera decennier. Upprepad genomfuktning och torkning, liksom frysning och upptining, påskyndar markens återhämtning. Biologisk aktivitet från rötter, mykorrhiza och markdjur har en viktig roll i uppluckringen. Ju högre belastning marken utsatts för och ju djupare ner i marken som

den påverkats, desto längre tid tar återhämtningen. Är kompakteringen djupare än 25 cm, tar återhämtningen sannolikt många decennier.

Sammanfattningsvis kan markskador efter skogsfordon påverka skogens tillväxt och vitalitet i mer än 10 år. Effekten av djup markkompaktering (> 25 cm) kan i princip vara bestående. Som tillägg till de negativa effekterna av kompaktering, kan trädens rötter skadas fysiskt vid körning. I gallring och vid blädning kan de skadade trädens vitalitet då sänkas ytterligare och risken för angrepp av till exempel rotröta ökar.

Skogsmarkens hållfasthet bestäms av jordart och fuktighet

Jordart, det vill säga mineraljordens partikelstorlek, och fuktighet är avgörande för markens bärighet. Bedömningen av bärighet ska grundas på kunskap om både jordart och markfukt.

Skogsmarkens ytskikt av organiskt material, vegetation och rötter har betydelse för bärigheten. Hur stor dess inverkan är beror på lagrets tjocklek och sammansättning. Ett tjockare lager, väl genomvävt av rotsystem, har störst skyddande effekt. Spårbildning i det organiska ytskiktet har små skadliga effekter jämfört med kompaktering och spårbildning i mineraljorden. Det ovanliggande organiska lagret (och organogena jordar, oftast torvmark) återhämtar sig snabbt.

Fukthalten uttrycks ofta som volymetrisk vattenhalt, VWC¹, vilket anger volymandel vatten i ett jordprov. Om VWC är högre än 40 procent är markens bärighet oftast dålig. Höga värden, med VWC >40 procent

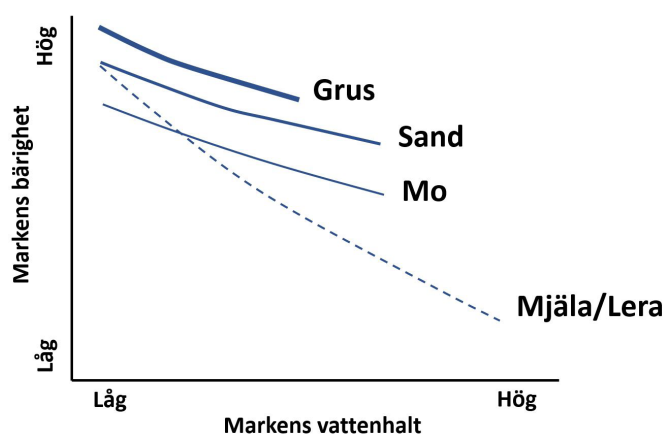
1. VWC, Volumetric Water Content anger volymprocent vatten i ett jordprov med känd totalvolym.

förekommer oftast under senhöst, vinter, tidig vår och efter ihållande regnperioder under sommaren. Efter ett ihållande sommarregn tar det oftast 2–3 dagar för marken att torka ner under 40 procent VWC. Grovkorniga marker, med stort djup till grundvatten, kan normalt inte ha högre VWC än cirka 40 procent, eftersom de är så genomsläppliga och väl-dränerade.

Jordarten avgörs av markpartiklarnas storlek. Det är mängden fina partiklar, under 0,06 mm, som ställer till besvär ur bärighetssynpunkt då marken är blöt. Sedimentära jordarter består av partiklar med enhetlig storlek (grus, sand, mo, mjäla eller lera). Morän, som är den vanligaste jordartstypen i svensk skog, består av en blandning av partiklar av olika storlek. Mark med låg andel finpartiklar, dominerade av sand, grus och sten har god bärighet även om vattenhalten är hög.

Bärigheten på *fin*korniga jordarter² (partiklar <0,06 mm utgör mer än 40 procent av den torra vikten) är särskilt starkt beroende av vattenhalten. Även på marker med något lägre viktandel finpartiklar påverkas bärigheten av fukthalten, men inte alls i samma grad.

På *sediment*jordar beror bärigheten på kraftspelet (förhållandet mellan kohesion och friktion) mellan jordpartiklar med likartad storlek. För de finare sedimenten (mo, mjäla, lera) minskar friktionen starkt vid ökad vattenhalt och bärigheten minskar.



Figur 1. Sedimentjordars bärighet vid olika vattenhalt (efter Østby-Berntsen & Fjeld 2018)

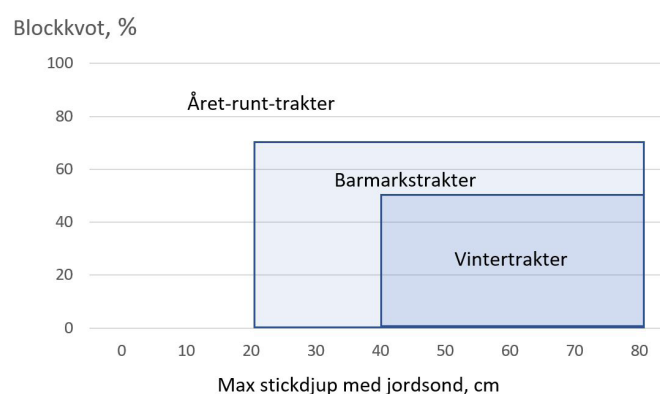
För moräner blir förhållandet mera komplicerat. Stenar och block kan, om de är tillräckligt många, bilda ett bärande stenskelett vid belastning. Men även steniga moränmarker kompakteras vid upprepade överfarter, så att markens vattenledningsförmåga reduceras. Moräner med hög andel finpartiklar kan, då de är vattenmättade, ha låg bärighet trots att de också har gott om grövre partiklar, sten och block.

Så kan markens bärighet mätas

Markens hållfasthet kan mätas med en *konpenetrometer*. En standardiserad kona trycks ner i marken med konstant hastighet samtidigt som man mäter penetrationsmotståndet. Metoden fungerar väl för torvjordar och för fina sedimentmarker, men sämre på sand och grövre sediment. Moränmarker är mycket svåra att mäta. Om konpenetrometern stöter på en större sten innan man nått avsett djup, måste mätvärdet förkastas och ett nytt nedstick görs.

Moränsens andel av sten och block har stor betydelse för markens hållfasthet och beskrivs genom ett mått som kallas *blockkvot*. För att ange blockkvoten görs nedstick med en jordsond och man jämför hur många gånger som jordsonden stannar mot en sten före 20 cm djup med hur ofta man inte stöter på sten. Djupet räknas från mineraljordens övre horisont (inte humuslagret). Om jordsonden till exempel i 60 procent av fallen träffar sten på ett djup mindre än 20 cm är blockkvoten 60 procent.

Maximalt stickdjup, det vill säga det djupaste en jordsond kan tryckas ner med normal kraft då den inte stöter på sten kan också användas för bärighetsklassificering. Normalt kan jordsonden tryckas ner djupare ju fuktigare marken är. Figur 3 visar sambandet mellan blockkvot och maximalt stickdjup (trakterna har klassificerats för att undvika spårbildning djupare än 25 cm).



Figur 2. Traktklassificering baserad på block-kvot och maximalt stickdjup med jordsond (efter Fjeld m fl. 2018).

2. Jordar med högre lerhalt än 10 procent och övriga finpartiklar mindre än sandkorn (<0,06 mm) högre än 30 procent.

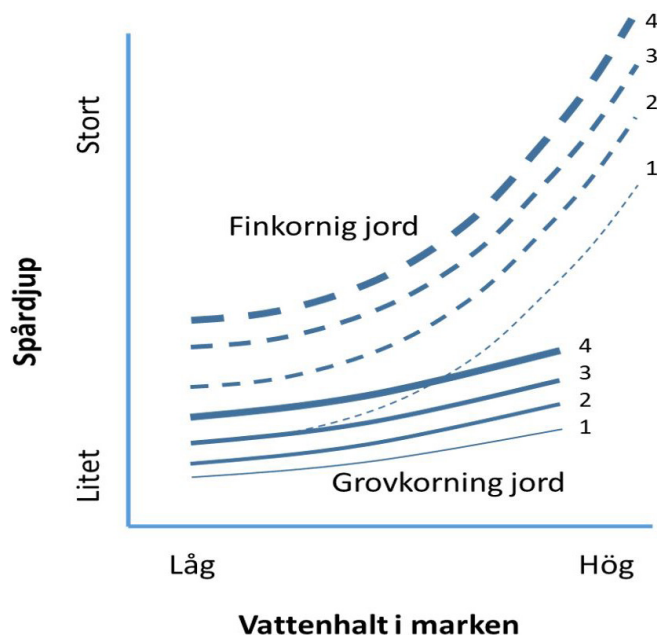
Uppskattning av markens bärighet i praktiken

Gemensamt för de metoder som kan användas för att mäta markens bärighet är att de är mycket arbetskrävande. De studier som utförts har ett stort värde, men vid normal drivningsplanering kan man knappast genomföra verkliga mätningar av bärigheten. Den får i stället uppskattas med hjälp av Kunskap om hur fältskikt, vattenhalt och jordart påverkar bärigheten (se Figur 1 och 2).

- Lokal erfarenhet där observationer av topografi och fältskiktets flora har ett särskilt värde.
- Vattenkartor, (se Del 2) som indikerar markfuktighet i olika delar av trakten.
- Jordsond, för kontroll av jordart och fuktighet i svårbedömda terrängavsnitt.

Sambandet mellan jordart, markfukt och spårddjup

Spårddjupet påverkas till stor del av samma variabler som kompaktering. På en finkornig jordart med hög vattenhalt blir spårddjupet större än på en grov, torr jordart. Spårddjupet ökar också med antalet överfarter (Figur 3). Förutom detta variabler så har markens skrymdensitet inverkan på finkorniga jordarter. En kompakt jord, med hög skrymdensitet, får mindre spårddjup än en mer porös mark.



Figur 3. Principiell bild över spårddjupets utveckling på skogsmark som funktion av vattenhalt, jordart och antal överfarter (1-4) med en tung skogsmaskin i samma körspår. (Efter Uusitalo m. fl. 2018).

Maskinens vikt, markkontaktyta, däck och band och allmänna konstruktion spelar stor roll för risken för kompaktering och spårdbildning. Detta behandlas mer utförligt i Del 2.

Bärighetsbedömningen bygger på kunskap om jordart och fuktighet. En klassificering av boreal skogsmarks bärighet för en typisk skotare, utförd med ledning av dessa två variabler presenteras i tabell 1.

Jordart	Markfuktighet					
	Mycket torr	Torr	Medel	Ganska våt	Mycket våt	Vattenmättad
Morän med hög andel grovkornigt material	Året-runttrakt God bärighet				Inga observationer	
Morän med hög andel finkornigt material					Mark med dålig bärighet	
Sanddominerade sediment					Mark med ganska god bärighet	
Finkorniga sediment med tunt humuslager					Vintertrakt Mycket dålig bärighet	
Finkorniga sediment med tjockt humuslager						
Torvmark						

Tabell 1. Klassificering av boreal skogsmarks bärighet för en typisk 8-hjulig skotare med 30 tons totalvikt, med boggiband på bakvagnen och två hjulkedjor på framvagnen (efter Uusitalo m.fl. 2018).

Jordart (volymsandel)	Markfuktighet ¹			
	Torr	Medel	Våt	Vattenmättad
Stendominerad (>50%)	Året-runttrakt med god bärighet			Mycket mjuk mark extremt dålig bärighet
Sanddominerad (>70%)				
Lerdominerad	Mjuk mark med dålig bärighet			
Mo- och mjäladominerad				

Tabell 2. Klassificering av tempererad skogsmarks bärighet för virkestransporterande maskiner generellt. (efter Uusitalo m.fl. 2018). 1) Avser genomsnittlig markfuktighet till 50 cm djup.

En motsvarande klassificering för tempererad skogsmark i Frankrike presenteras i Tabell 2. Den kan vara till ledning vid planering av drivning på marker i södra Sverige där förhållandena kan påminna om Frankrike, dvs marken saknar ett tjockt humuslager och har

oftast en hög andel av lera och andra finfraktioner vilket innebär att den är mycket känslig för hög vattenhalt. När marken är vattenmättad bör tunga skogsmaskiner inte användas alls och när marken är våt bör man iakttäta stor försiktighet.

Källor:

Fjeld, D., Bjerketvedt, J. & Fønhus, M. 2018. Nye muligheter for klassifisering av bæreevne. Norsk Skogbruk nr 4, 2018.

Uusitalo, J., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J. & Lindeman, H. 2018. Empirical machine-dependent models to predict soil deformations. In: EFFORTE project deliverable D1.2. – Database and models for soil type specific trafficability.

Østby-Berntsen, Ø & Fjeld, D. 2018. Mulighetsstudie: Skånsomme lassbærere for bæresvak mark. Norskog-rapport 2018-3.

TSGs syfte med publikationen **Minska risken för markskador!** är att öka kunskapen om markskador och visa hur god planering och aktiva åtgärder kan minska risken för skador.

Del 1 sammanfattar hur markskador uppstår vid mekaniserad avverkning, vilka effekter de har och hur man kan bedöma skogsmarkens bärighet.

Del 2 presenterar hur man kan minska risken för omfattande markskador på känsliga terrängavsnitt.