



# Reducering av markskador vid GROT – skotning

*Reducing ground damage during slash – forwarding*



John Bjarnert

**Arbetsrapport 279 2010**  
**Examensarbete 30hp D**  
**Jägmästarprogrammet**

**Handledare:**  
**Iwan Wästerlund**

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
901 83 UMEÅ  
[www.srh.slu.se](http://www.srh.slu.se)  
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR-279-SE



# **Reducering av markskador vid GROT – skotning**

*Reducing ground damage during slash – forwarding*

John Bjarnert

Examensarbete i skogshushållning med inriktning mot skogsteknik, 30hp  
EX0492

Handledare: Iwan Wästerlund, Institutionen för Skoglig Resurshushållning, teknologi

Examinator: Ola Lindroos, Institutionen för Skoglig Resurshushållning, teknologi

## **Förord**

Denna studie har genomförts som ett examensarbete omfattande 30 högskolepoäng inom ämnet skogshushållning med inriktning mot skogsteknologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Värdföretaget för examensarbete var Efokus som en del inom EU-projektet GROT II.

Jag skulle vilja tacka min handledare på Efokus Tomas Widenfalk samt min handledare på SLU professor Iwan Wästerlund. Utan er hjälp under fältförsöket såväl som rapportskrivningen skulle inte detta examensarbete vara genomförbart.

Jag skulle även vilja tacka maskingruppen Kogsta Skogsentreprenad AB som var mycket entusiastiska och hjälpsamma under fältförsöket. Samt alla andra som hjälp till på olika sätt.

Umeå, 2010-04-22

John Bjarnert

## **Sammanfattning**

Sveriges energipolitik har som mål att öka uttaget av energi från förnyelsebara källor samt att detta ska ske på ett tryggt, miljövänligt och uthålligt sätt. Enligt Energimyndigheten ökade biobränsleanvändningen med 73 % mellan åren 1990-2006. Ett stort sortiment inom biobränsle är GROT(grenar och toppar). Trakter med hög andel GROT återfinns vanligtvis på fuktiga marker med hög produktivitet där bärigheten är dålig. Med ökat uttag ökar även transporterna i skogen vilket leder till ökad markpåverkan. För att minska risken med körskador vid skotning av GROT bör marken skyddas. I dagsläget används GROT som markskydd vid skotning vilket leder till att materialet inte kan användas som bränsle på grund av att det förorenas. Målet med studien var att undersöka möjliga alternativ till att använda sig av GROT som markskydd samt att undersöka spårutvecklingen på oskyddat underlag. Fyra olika förutsättningar studerades under ett fältförsök som genomfördes utanför Bräcke i Jämtlands län. Försöket bestod av tre olika markskydd: risbädd ca 20 cm, geonät med tunt ristäcke, rustbädd samt oskyddat underlag. Variabler som samlades in under fältförsöket var spårdjup, markpackning, skador och tidsåtgång. Utifrån dessa variabler värderades de olika markskydden. Tydliga spårdjup och förändring i markpackning visade sig under försöket. Samtliga markskydd visade på reducerad påverkan av underlaget men med vissa skillnader. Ett klart samband visades sig mellan överfart 2-6 och spårdjup med en näst intill linjär utveckling. Kostnaden för de olika markskydden varierade ganska kraftigt. Sammanfattningsvis kan man säga att samtliga markskydd fyllde sin funktion. Den största skillnaden mellan dem var kostnaden.

Nyckelord: Konmotstånd, Markskydd, Körskador, Geonät

## Summary

Swedish energy policy aims to increase the use of energy from renewable sources and this should be done in a safe, environmentally and sustainable manner. According to the Energy Agency the use bio-fuel increased by 73% between 1990 - 2006. Stands with high share of slash are often located on areas with high productivity which often are located on soils with poor bearing capacity. This will increase traffic on susceptible soil leading to increased ground damage. To reduce the risk of ground damage at slash-forwarding, ground protection is needed. Presently some slash is used as ground protection at slash-forwarding, causing contamination of the bio-fuel and makes it useless.

The aim of this study was to examine possible alternatives to the use of slash as ground protection and investigate wheel-rut development at unprotected ground. Four different treatments were studied on a silty till soil on a clear-cut area outside Bräcke; slash layer about 20 cm, geonet with a thin slash layer, bed of pulpwood and unprotected ground. Variables that were collected during the field study were wheel-rut, soil compaction, time measurement and cost calculation. The ground protective measures were evaluated based on these values. Severe wheel-rut development and change in soil compaction was found during the study. The wheel ruts increased near-linearly between the 2<sup>nd</sup> and 6<sup>nd</sup> passage on the unprotected area. All protective measures preserved the ground better than unprotected ground, with some differences in efficiency between measures, but the cost of the different ground protections varied quite strongly.

Keywords: Cone resistance, ground protection, wheel-ruts, geonet, slash layer.

## Innehåll

Förord .....	2
Sammanfattning.....	3
Summary.....	4
Bakgrund .....	6
Mål .....	7
Material och metod.....	8
Fältförsök .....	8
Resultat .....	13
Fältförsök .....	13
Rustbädd.....	13
Ristäcke .....	14
Geonät .....	15
Oskyddad.....	17
Diskussion .....	22
Referenser.....	27

## Bakgrund

De svenska energipolitiska målen poängterar vikten av att öka andelen energi från förnybara källor. Målen betonar också att energiförsörjningen ska vara trygg, miljövänlig och att energin ska tillhandahållas till rimliga priser. Bioenergin berör och är av betydelse för flera av dessa mål. Inom bioenergi finns träbränslen och under träbränslen finns bl.a. GROT (grenar och toppar). Träbränsle är en av de förnyelsebara energikällor som används mest. Under perioden 1990-2006 ökade biobränsleanvändningen med 73 %. Den största ökningen skedde inom området träbränsle som under perioden ökade med 88 % (Anon. 2008).

Med ett ständigt ökande uttag av biobränsle ur de svenska skogarna ökar även transporten i skogen, vilket leder till ökad markpåverkan. Det är framförallt tre typer av skador som man talar om vid maskinanvändning, dessa skador är kompaktering, markbrott och hjulspår (Froehlich, 1989).

Det finns även ett bevisat samband mellan avverkning och fukthalt i marken, där avverkning leder till en förhöjd grundvattennivå. Den största ökningen av vatten i marken visade sig vara i den översta delen av marken på ett djup av 10 -20 cm (Haglund, 2009).

De högproduktiva granobjekten som finns i Sverige är ofta lokaliserade på fuktiga och finkornsrika jordar, där risken för markskador och framtida produktionsförluster är stora (Eliasson & Wästerlund, 2007).

Med milda vintrar ökar problemet ytterligare genom att marken inte fryser till och vattenhalten i underlaget är hög, vilket medför problem med framkomligheten. Markpåverkan kan reduceras med hjälp av risning av blötare partier med GROT. GROT är en av de viktigaste faktorerna för att skydda marken från körskador vid skotning. I studien om riståktens betydelse för markskador visades att bästa skyddet för marken är kvistar grövre än 10 mm eller toppar samt att riståcke med minst 20 cm tjocklek gav bästa resultat. Försöket visade även på att markpackningen ökade med antalet överfarter (Eliasson & Wästerlund, 2004).

GROT som används som markskydd riskerar att bli förorenat av jordpartiklar och stenar. Dessa föroreningar kan leda till ökad andel aska vid förbränning samt slitage av sönderdelningsutrustning vilket är något som man vill undvika. Studier inom området markskydd är något begränsat. Det har gjorts studier med minskat ringtryck på skotare vilket inte visade på någon större förbättring vad det gäller hjulspår djupet. Ett annat fenomen som dokumenterades vid studien var att antalet överfarter hade stor betydelse för skadebilden. Lägre ringtryck kan ge en lägre skadefrekvens men endast på ställen där antalet överfarter är ett fåtal (Eliasson, 2005).

För att kunna bibehålla den nivå av GROT - uttag som görs i dagsläget, samt för att kunna öka uttaget på ett miljövänligt och effektivt sätt, bör man försöka hitta ett bättre alternativ till att skydda marken. GROT har även ett ekonomiskt värde som går förlorat om den används som markskydd pga. föroreningar i form av jordpartiklar eller förlust av material.



### ***Mål***

Målet med detta examensarbete var att utvärdera om det finns alternativ till att använda sig av GROT för att minska spårbildning och markpackning samt att undersöka spårutvecklingen på oskyddad mark. Aspekter som togs hänsyn till var kostnad för material, arbetstid för hantering samt skadebild.

## Material och metod

### *Fältförsök*

Fältförsöket genomfördes på ett ca 10 hektar stort hygge vid Galtberget fyra mil väster om Bräcke i Jämtlands län. Trakten var en vintertrakt som avverkades av Norrskog under december 2008. Tidpunkten för fältförsöket blev fjärde veckan i september 2009 i samband med ordinarie tidpunkt för GROT – skotningen.

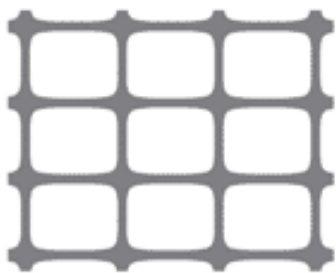
Under försöket användes en John Deere 1510e av årsmodell 2008 som var anpassad för GROT- skotning med ankstjärt och sidobalkar för ökad lastförmåga. Skotaren var under försöket försedd med däck Nokia Forest King F i dimensionen 710/45-26,5 runt om och det bakre hjulparen var försedda med band (ECO-OF). Kontaktytan mot hårt underlag mättes genom att spreja mot marken och därefter mäta upp kontaktytan. Skotare inklusive band och utrustning för GROT- skotning vägde 18440 kg och under försöket var skotaren lastad med 10 ton GROT vilket gav en total vikt av 28440 kg.

Beräkning av marktrycket gjorde med antagen viktsfördelningen hos lastat ekipaget med 60 % av vikten på bakaxeln och 40 % på framaxeln (Wästerlund, pers medd 2009). Detta som en effekt av att lasten hamnar långt bak på skotaren och tyngdpunkten hamnar bakom bakaxeln. Beräkning av marktrycket genomfördes sedan utifrån marktrycksformler från boken terrängmaskinen del:2 (Malmberg, 1981). Vilket gav marktryck på framhjulen på 75,4 kPa och ett marktryck på det bakre hjulparet med band på 56,3 kPa.

Fyra olika behandlingar testades under fältförsöket. Först oskyddad sträcka, andra sträckan med rustbädd, tredje sträckan med ristäcke ca 20 cm tjockt och fjärde sträckan geonät med tunt ristäcke.

Definition av rustbädd är enligt nationalencyklopedin en äldre typ av grundläggningskonstruktion som används för att sprida ut laster på svaga underlag (Anon. 1995). Under försöket användes kvarlämnad massaved för att konstruera en rustbädd. Stockarna som användes till rustbädden hade en medeldiameter av 13 cm mätt i rotändan. Stockarna placerades tvärs körriktningen.

Enligt Byggros hemsida är geonätet Tensar RN 2530, vilket användes under fältförsöket, ett planstyvt mekaniskt stabiliserande element tillverkat av polypropen. Tensar RN 2530 har ett rutmönster med kvadratiska rutöppningar på 39x39 mm, se figur 1 (Anon. 2009 a). Till geonätet användes RN – klammer som är speciellt framtagna för att förankra geonätet i marken.



**Figur 1.** Geonät RN 2530  
*Figure 1.* Geonet RN 2530

Väl på plats ute vid försöksområdet visade det sig att det endast var möjligt att lägga ut sju försökssträckor. Detta medförde att en av de tänkta behandlingarna inte kom att kunna genomföras med upprepning. Efter en kortare diskussion med handledaren beslutades att inte upprepa försöket med rustbädden av flera anledningar, bl.a. på grund av dess mycket tidskrävande del i försöket. De sju sträckorna lades ut på så likartade förhållanden som var möjligt. Sträckorna markerades ut med stakkäppar för att underlätta tidsmätning och orientering för skotarföraren vid körning samt utläggning av material. Behandling på respektive sträcka lottades ut.

Innan utläggning av markskydd kunde genomföras, markerades mätpunkter ut var femte meter för att kunna mäta motståndet i marken på samma plats före och efter körning på samtliga försökssträckor. Efter detta mättes motståndet i marken med hjälp av en registrerande konpenetrometer på samtliga försökssträckor på dessa fem mätpunkter, där varje mätpunkt bestod av tre nedstick. När mätningarna med konpenetrometern var genomförda lades markskydden ut. Samtliga försökssträckor hade en längd av 25 meter bortsett från rustbädden där sträckan fick kortas ner till 20 meter.

Utläggning av markskydd och förberedelser genomfördes enligt följande:

- Rustbädden genomfördes av skotarföraren vartefter han hittade kvarlämnad massaved. Tillgången på kvarlämnad massaved var ganska begränsad vilket medförde att försökssträckan fick kortas ner till 20 m.
- Geonätet rullades ut för hand och förankrades i marken med RN-klammer på samtliga sidor varannan meter. Geonätet risades med ett tunt rislager. Stubbar kapades så nära marken som möjligt före utläggning av geonätet.
- Riståcke: ca 20 cm tjockt lades ut av skotarföraren.
- Oskyddad mark: flyttning av eventuella GROT – högar och trädstammar.

Tidsmätning vid utläggning av rustbädd blev inte genomförd pga. tidsbrist.

Tidsmätning vid risning startades när skotarföraren började röra kranen för att risa försökssträckan och slutade när han lade kranen tillrätta. GROT - lasten vägdes före och efter för att mäta åtgången av GROT. Vägningen gjordes med hjälp av de inbyggda hydraulkolvarna i ALS-systemen på skotaren.

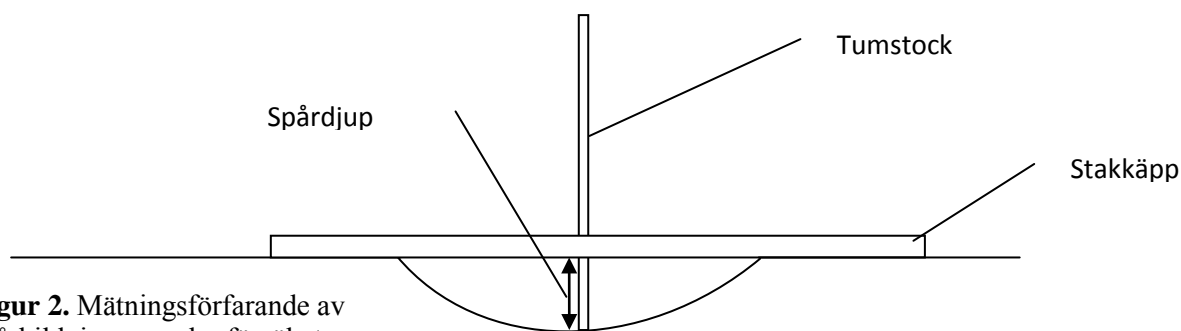
Tidsmätning och vägning av ris vid utläggning av geonät med ris gjordes i två delar. Momentet ett startade när föraren började med utläggning av nätet samt förankring med klammer och avslutades när han var åter i hytten. Moment två startade när skotarföraren

började röra kranen för att risa försökssträckan och slutade när han lade kranen tillrätta. GROT - lasten vägdes före och efter för att mäta åtgången.

När samtliga försökssträckor var preparerade påbörjades körningen över försökssträckorna enligt körinstruktion. Körmönstret var tvunget att anpassas till de förutsättningar som rådde på försöksobjektet, dvs. för att minimera risken att köra fast skotaren vid vändning efter överfart. Beslutet att ändra körinstruktion togs efter noggrant övervägande när aktuella förutsättningar på plats hade studerats. Körinstruktionen ändrades från att bara köra från ett håll, till att backa ner över försökssträckan och sedan köra framåt i samma spår utan att vända på skotaren. Körhastigheten fick föraren anpassa efter rådande förhållanden, men målet var att hålla samma hastighet i den mån det var möjligt.

På samtliga försökssträckor mättes tidsåtgången vid passage. Tidtagningen började när det bakre hjulparet passerade stakkäpparna i början av försökssträckorna och stoppades när hjulparet passerade stakkäpparna i andra ändan av försökssträckan. På samtliga försökssträckor gjordes dessa tidtagningar vid både backning och körning framåt, totalt sex mätningar per yta.

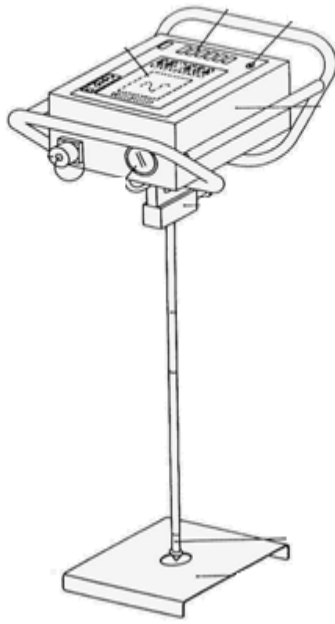
På de oskyddade försökssträckorna mättes spårdjupet vid 2, 4 och 6 överfarter enligt följande mätningförfarande. Mätning gjordes med en tvärliggande stakkäpp och en vertikal mätsticka (tumstock) se figur 2. En stakkäpp placerades över hjulspåret i markplanet. Spårdjupet angavs som avståndet från stakkäppens underkant ner till det djupaste stället i spåret. Vallar som uppstod vid sidan av spåret plattades till med exempelvis foten vid behov. Som marknivå räknades den nivå som erhålls under skosulan när man trampar på marken. Som marknivå räknades ej stenar eller andra uppstickande föremål (Eriksson 1981).



**Figur 2.** Mätningförfarande av spårbildningen under försöket.

**Figure 2.** Measuring depth of wheel-rut

För att kunna mäta spårdjupet på de preparerade sträckorna var det nödvändigt att plocka bort markskydden för att få fram markytan. När dessa markskydd plockades bort noterades eventuella skador på markskydden och underlaget som uppstått under försöket. Mätningen av spårdjup gjordes med fyra mätpunkter per spår vilket gav åtta mätpunkter på de preparerade sträckorna. Efter den sista överfarten mättes motståndet i marken på samma platser som före körning.



**Figur 3.** Konpenetrometer.

*Figure 3.* Eijkelkamp cone penetrometer.

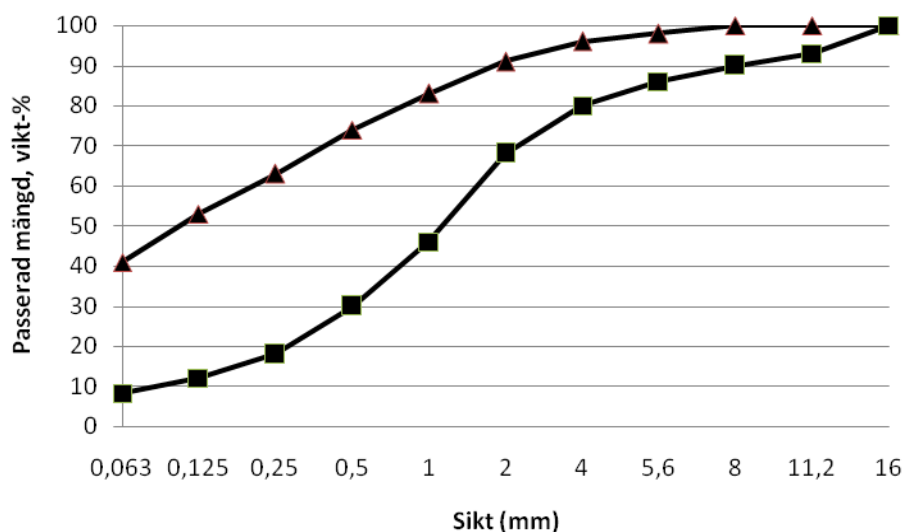
Den registrerande konpenetrometern var försedd med en ca en meter lång metallstav som i sin tur var försedd med en metallkona med  $3.33 \text{ cm}^2$  basarea med en vinkel på  $30^\circ$ , se figur 3. Enligt samma modell som Eliasson (2005) använde, gjordes det på varje mätpunkt minst tre nedstick varpå konpenetrometern registrerade ett värde för varje cm penetreringsdjup. Målet var att penetrera marken så djupt som möjligt med en hastighet av ca  $3 \text{ cm/s}$ . Vid nedstick där konpenetrometern träffade en sten eller annat problem uppstod, gjordes ett nytt försök inom provytan i den mån det gick (Eliasson, 2005).

Motståndet i marken mättes med konpenetrometern på samtliga försökssträckor på 15 punkter före överfart och efter sex överfarter. Efter datainsamling med den registrerande konpenetrometern konverterades data så det blev möjligt att bearbeta i Excel.

För att se sambandet mellan antalet överfarter och spår djup gjordes en variansanalys på data från de oprepurerade sträckorna.

På samtliga försökssträckor mättes 25 meter upp och med hjälp av en höjdmätare mättes höjdskillnaden över försökssträckorna för att kunna beräkna lutningen. Mätningarna visade på små skillnader i lutning på försökssträckorna och lutningen låg mellan 4 och 7 grader. Lutningen på försökssträckorna följde korrigeringen framåt för skotaren. Jordprov togs på objektet för att bestämma fukthalt i underlaget samt bestämning av kornstorlek. Prov för att mäta fukthalten och kornstorleken togs dels i de översta 10 cm och dels två prov på ca 20 cm. Mätning av fukthalten genomfördes genom vägning och torkning. Fukthalten i det översta 10 cm beräknades till 55 % och de två andra proverna visade bägge på en fukthalt mellan 9 och 10 %.

Analys av jordprover genomfördes av Svevias väglaboratorium i Umeå. Utfallet av dessa jordprover återges i figur 4. Under provtagning påträffades även större stenar som ej skickades med på analys.



**Figur 4.** Siktcurvor för de två jordproven från ca 20 cm djup.

*Figure 4.* Particle size for soil samples distribution from ca. 20 cm depth.

Kostnaden för utläggningen av geonät med tunt ristäcke beräknades enligt följande:

Kostnad/meter = (åtgången av GROT \* kostnaden för GROTEN) + (åtgången av geonät och klammer \* kostnad för geonät och klammer) + (tidsåtgång \* timkostnaden för skotaren) / (försökssträckans längd)

Kostnaden för utläggningen av ristäcke beräknades enligt följande:

Kostnad/meter = (åtgången av GROT \* kostnaden för GROTEN) + (tidsåtgång \* timkostnaden för skotaren) / (försökssträckans längd)

Beräkning av kostnad vid överfart:

Kostnaden/meter = (timkostnaden för skotaren \* tidsåtgången) / (försökssträckans längd)

Enligt prisuppgifter från Widenfalk (2009, pers medd) var kostnaden för skotaren 900 kr/h, kostnaden för GROT 260 kr/m<sup>3</sup>f (fastkubikmeter) samt kostnaden för geonät var 35 kr/m<sup>2</sup> och kostnaden RN-klammer 15 kr/st.

Åtgången av GROT under försöket dokumenterades i ton och kostnaden för GROTEN beräknas i kr/m<sup>3</sup>f. Omräkning från ton till m<sup>3</sup>f genomfördes med hjälp av WEclac som är ett program framtaget på SLU för omvandling av bränslesortimentsenheter. Följande parametrar fördes in för omvandling: sortiment (GROT), behandling (obearbetad), egenskap (lagrat), region (norra) samt befintlig enhet och önskad. Omräkningstalet för den aktuella körningen från ton till m<sup>3</sup>f blev 1 till 1,15 (Anon. 2009 b).

## Resultat

### Fältförsök

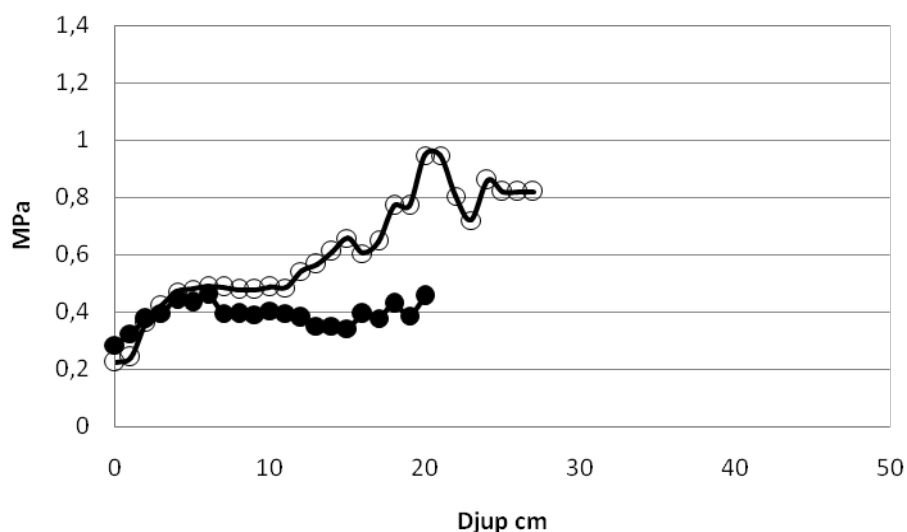
Tabell 1 visar tidsåtgången vid utläggning av de olika marsskydden. Även åtgången av GROT på de olika försökssträckorna samt vilken medeltjocklek det skyddande GROT lagret fick, återges i tabellen. Samt medeldiametern hos massaveden som användes under försöket.

**Tabell 1.** Åtgång av GROT och tid för preparering  
*Table 1. Amount of slash and time used for the preparation*

Behandling	Upprepning	Åtgång		
		TID (sek)	GROT (ton)	Medeltjocklek GROT (cm)
Ris	1	624	6,3	22
	2	619	6,7	25
Geonät	1	1597	2,9	17
	2	828	2,2	10
Rustbädd	1	?	Medeltjocklek stockända 13 cm	

### Rustbädd

Redan under första överfarten på rustbädden började stockar att spricka vilket ledde till att dessa gick av vid nästa överfart. Medelspårdjupet efter sex överfarter uppmättes till 9 cm. Förändring i markpackning efter sex överfarter redovisas i figur 5.

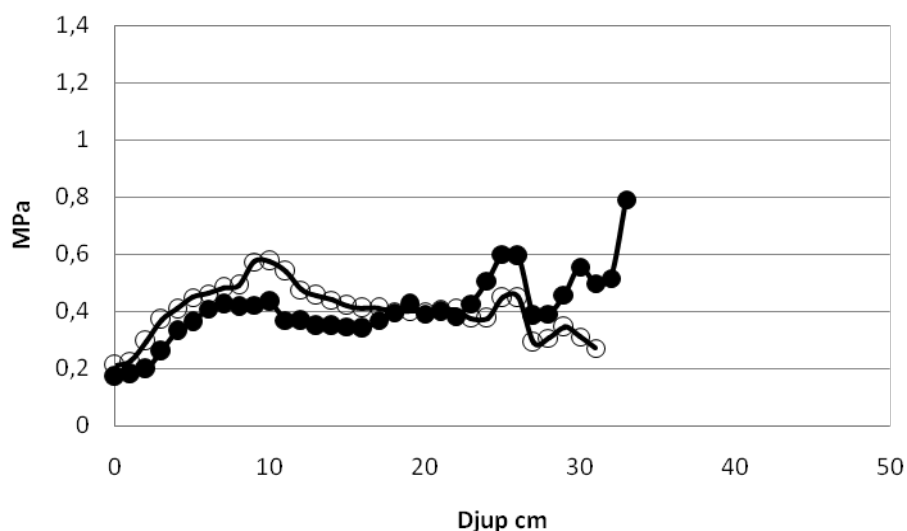


**Figur 5.** Motståndet i marken före körning (ofyllda ringar) samt efter (fyllda ringar) sex överfarter på rustbädd. Varje punkt är ett medelvärde av 15 observationer.

*Figure 5.* Cone resistance in the ground before passage and after sex passages with a bed of pulpwood.

### Ristäcke

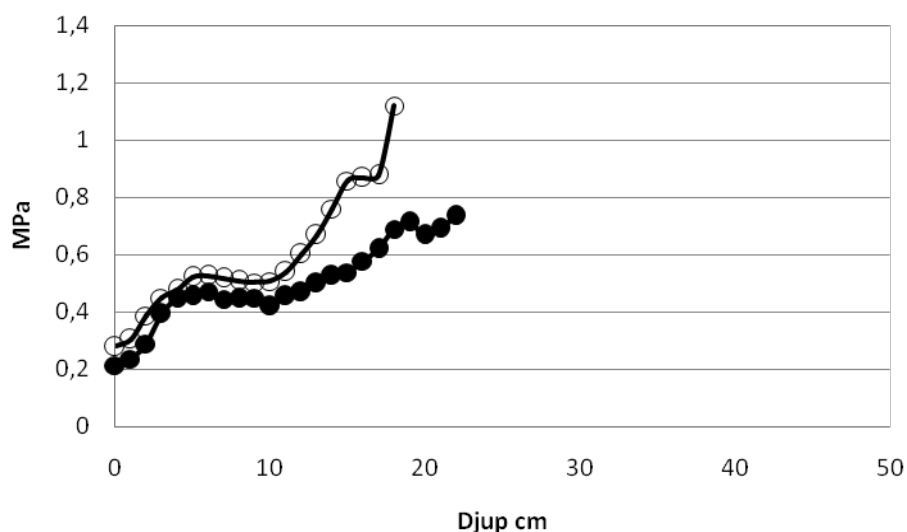
På bägge ytor med ett ristäcke om ca 20 cm kunde man se antydning till spårbildning först vid de sista överfarterna. Medelspår djupet på första upprepningen var 5 cm och 7 cm vid andra upprepningen. Förändring i markpackning efter sex överfarter för bägge upprepningarna redovisas i figur 6 och 7. En viss uppluckring av marken i de övre 20 cm förekom vid de bägge upprepningar.



**Figur 6.** Motståndet i marken före körning (ofyllda ringar) samt efter (fyllda ringar) sex överfarter på ett ca 22 cm tjockt ristäcke. Varje punkt är ett medelvärde av 15 observationer.

*Figure 6.* Cone resistance in the ground before passage and after sex passages on thick slash layer.



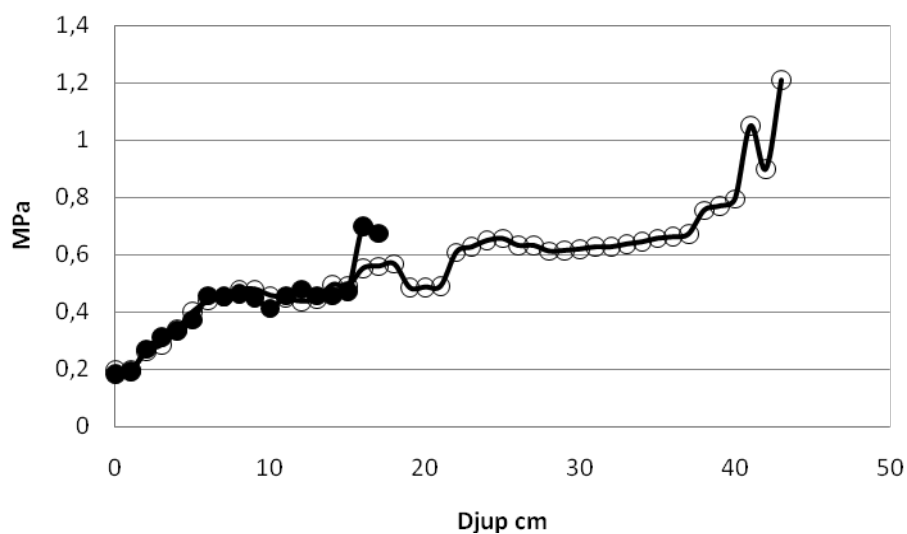


**Figur 7.** Motståndet i marken före körning (ofyllda ringar) samt efter (fyllda ringar) sex överfarter med ett ca 25 cm tjockt ristäcke. Varje punkt är ett medelvärde av 15 observationer.

*Figure 7. Cone resistance in the ground before passage and after sex passages on thick slash layer.*

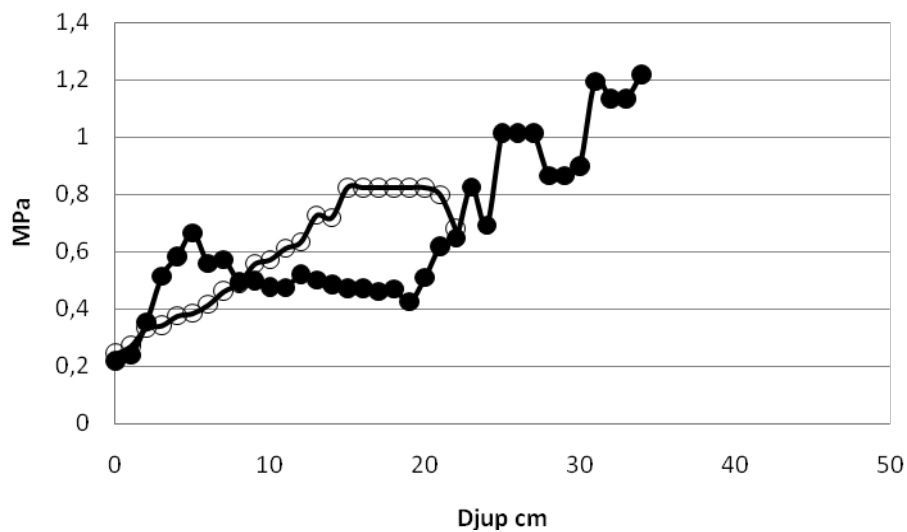
### Geonät

Första upprepningen med geonät och tunt ristäcke såg bra ut fram till tredje överfarten, då sprack geonätet på ett ställe där det uppstod punktbelastning mot en uppstickande stubbe. Vid fjärde överfarten uppstod samma problem på flera ställen och på de ställen där nätet gått sönder började skotaren gå igenom underlaget och bilda spår. Stora delar av geonätet höll dock ihop bra och markytan under nätet visade där inga som helst tecken på spårbildning. Medelspår djupet efter sex överfarter visade sig vara endast 6 cm. Ingen förändring i markpackning kunde registreras efter sex överfarter i de översta 15 cm i jorden vilket redovisas i figur 8. Vid andra upprepningen av försöksupplägget uppstod skador redan vid andra överfarten, även där var det uppstickande föremål som genom punktbelastning fick nätet att spricka. Skadorna fortsatte att uppstå då geonätet sprack på flertalet ställen vid upprepade körningar och några RN-klammer gick sönder. På de ställen där nätet spruckit, började det bildas hjulspår. På de delar av nätet som inte var skadat var spår djupet näst intill obefintlig. Medelspår djup efter sex överfarter visade sig vara hela 19 cm vilket kan vara en möjlig konsekvens av att nätet sprack tidigt. Viss luckring i markpackning efter sex överfarter framgår av figur 9, vilket tyder på att markpåverkan har uppstått.



**Figur 8.** Motståndet i marken före körning (ofyllda ringar) samt efter (fyllda ringar) sex överfarer med geonät som är försett med ca 17 cm ristäcke. Varje punkt är ett medelvärde av 15 observationer.

*Figure 8. Cone resistance in the ground before passage and after six passages on slash and geonet.*

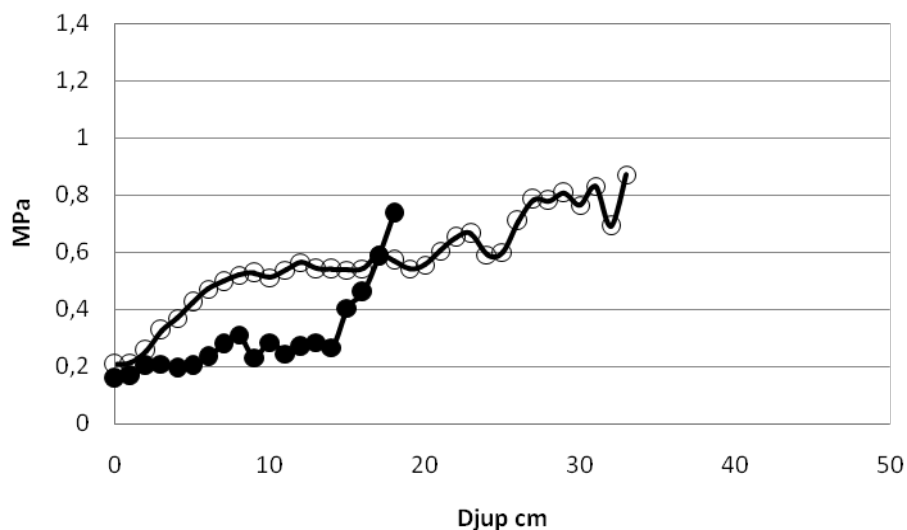


**Figur 9.** Motståndet i marken före körning (ofyllda ringar) samt efter (fyllda ringar) sex överfarer med geonät som är försett med ca 10 cm ristäcke. Varje punkt är ett medelvärde av 15 observationer.

*Figure 9. Cone resistance in the ground before passage and after six passages on slash and geonet.*

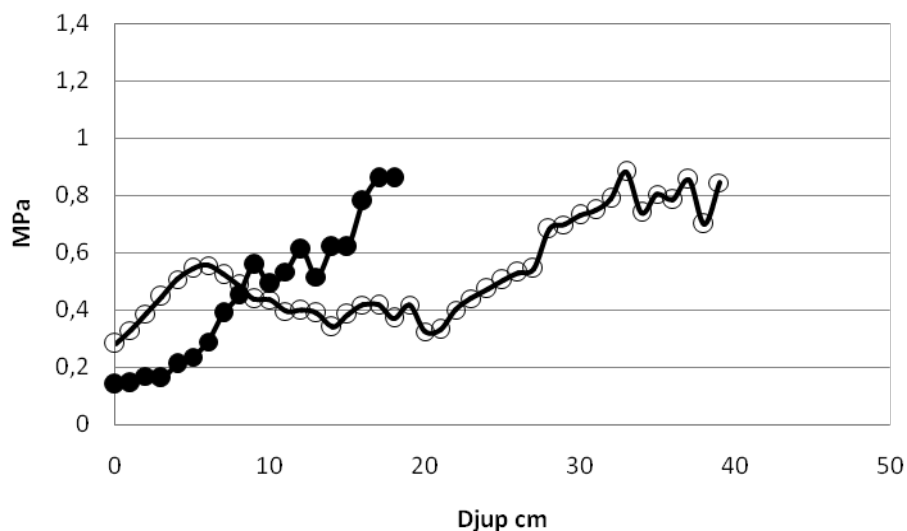
## Oskyddad

Redan under första överfaren på sträckorna med oskyddad mark så uppstod tydliga spår i underlaget. För varje överfart som genomfördes så ökade spårdjupet markant. Medelspår djupet efter sex överfarter var för första upprepningen 37 cm och för andra upprepningen 50 cm. En tydlig förändring i marken kunde dokumenteras vid upprepning ett och två. I det översta markskicket har en luckring uppstått för att sedan övergå till en packning av marken ner på djupet se figur 10 och 11.



**Figur 10.** Motståndet i marken före körning (ofyllda ringar) samt efter (fyllda ringar) sex överfarter på oskyddad mark. Varje punkt är ett medelvärde av 15 observationer.

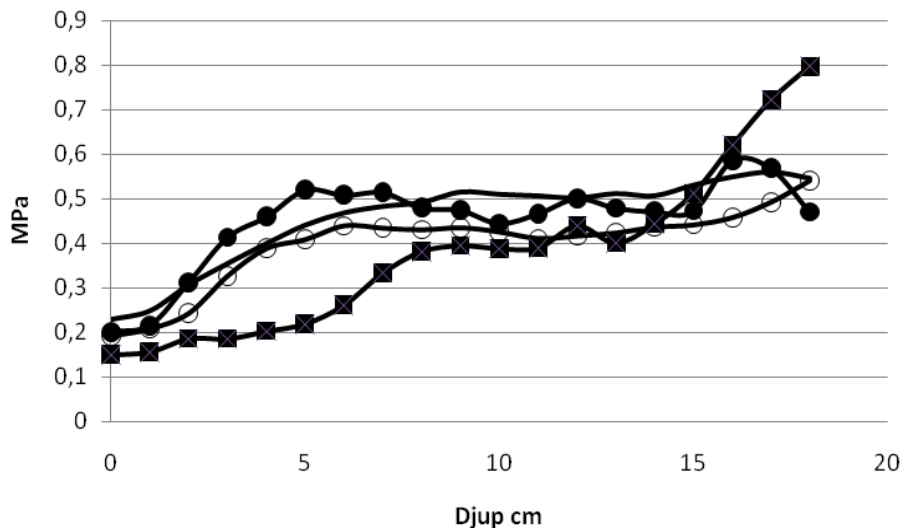
*Figure 10. Cone resistance in the ground before passage and after six passages on unprotected ground.*



**Figur 11.** Motståndet i marken före körning (ofyllda ringar) samt efter (fyllda ringar) sex överfarter på oskyddad mark. Varje punkt är ett medelvärde av 15 observationer.

*Figure 11. Cone resistance in the ground before passage and after six passages on unprotected ground.*

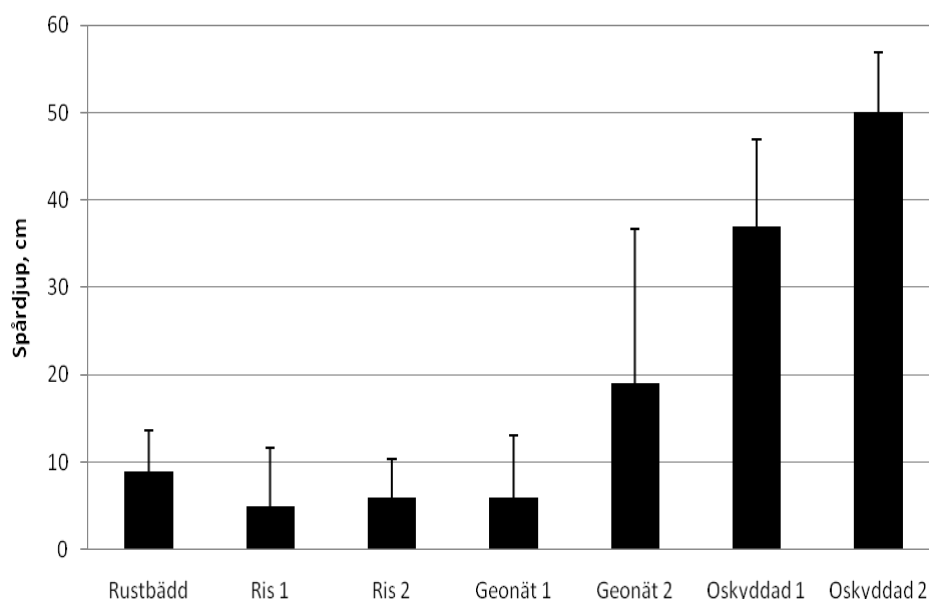
I figur 12 ges en sammanställning av konmotståndet i marken på försökssträckorna med upprepning. Standardavvikelsen för mätningarna innan överfart var mellan 0,09 och 0,23 MPa per punkt och djup i figur 12 ( $n = 105$  per cm) i intervallet 1 till 15 cm. Standardavvikelsen för mätningarna efter sex överfarter var mellan 0,09 och 0,28 MPa per punkt och djup i figur 12 ( $n = 25 - 30$ ) i intervallet 1-15 cm. Framförallt syns en tydlig förändring i markpackningen i det översta 10 cm på de oskyddade försökssträckorna. Även här vänder förändringen hos de opreparerade försökssträckorna vid ca 15 cm och visar därefter på en ökning i packning.



**Figur 12.** Motståndet i marken före överfart samt motstånd efter sex överfarter på försökssträckorna med upprepning. Linje med ■ oskyddad yta, linje med ● yta med geonät, linje med ○ yta med ristäcke och linje utan punkter är före överfart.

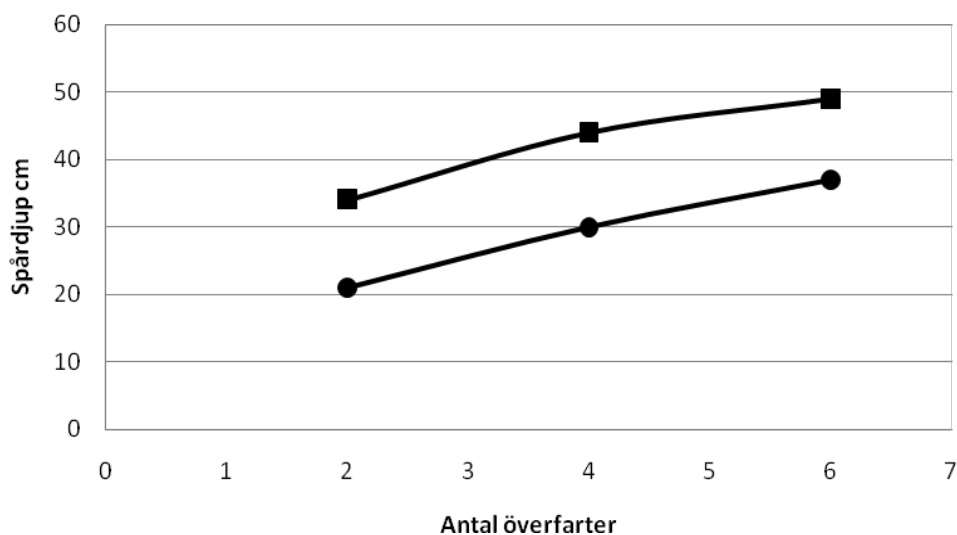
*Figure 12.* Cone resistance in the ground before passage and after six passage on plots with repetition.

I figur 13 redovisas spårdjupet på samtliga försökssträckor efter sex överfarter. En tydlig skillnad i spårdjup mellan de oskyddade sträckorna och de skyddade sträckorna visar sig. Det finns dock en sträcka med markskydd som sticker ut från de övriga med djupare spårdjup och på denna sträcka är standardavvikelsen stor. Anledningen till detta är att geonätet sprack under försöket då både djupa och grunda spår uppstod.



**Figur 13.** Medelspårdjupet på samtliga försökssträckor efter sex överfarter.  
*Figure 13.* Average wheel-rut for all plots after six passages.

En sammanställning av spårutvecklingen på de oskyddade sträckorna visas i figur 14. Ett medelvärde av de åtta mätpunkterna har räknats fram för överfart 2, 4 och 6. Av dessa värden gjordes en variansanalys i Minitab med resultatet att skillnaden mellan 2-6 överfarter kan beskrivas med en rät linje. Den linjära trenden förklarar 97,5% av skillnaden mellan 2-6 överfarter.



**Figur 14.** Spårutvecklingen på de oskyddade sträckornarna för överfart 2, 4 och 6. Linje med kvadrater medelspårdjup upprepning 1 och linjen med cirklar upprepning 2.  
*Figure 14.* Wheel-rut development with increasing number of passages on not protected plots.

**Tabell 2.** Tidsåtgång i sekunder vid överfart på (25 m) försökssträckorna, jämn siffra körning framåt udda siffra bakåt

*Table 2. Amount of time at crossing the plots*

Behandling	Upprepning	Överfart					
		1 (b)	2	3(b)	4	5(b)	6
Rustbädd		64	48	44	45	38	46
Ris	1	49	44	33	33	31	33
	2	71	49	51	46	48	45
Geonät	1	55	50	45	49	54	50
	2	59	44	43	44	44	40
Oskyddad	1	42	38	61	56	70	100
	2	127	61	62	58	84	58

Tabell 2 visar en sammanställning av de tidsmätningarna som genomfördes under fältförsöket. På samtliga försökssträckor visade det sig att visst problem uppstod vid första överfarten innan det fanns ett körspår att följa. Två värden sticker ut från mängden, där det första värdet på 100 sekunder beror på fastkörning på oskyddad mark. Andra värdet som sticker ut berodde på en uppstickande stubbe som ställde till med problem (Oskyddad).

**Tabell 3.** Kostnadsberäkning (kr/100 meter markskydd) för geonät med tunt ristäck och ca 20 cm tjockt ristäck

*Table 3. Cost calculation for (sek) 100 meters ground cover*

Kostnadslag	Ris		Geonät	
	Upprepning 1	Upprepning 2	Upprepning 1	Upprepning 2
Maskin	624	558	1397	833
Geonät	0	0	15 725	15 725
GROT	7414	7885	3413	2589
Totalt	8038	8443	20535	19147

Kostnad för maskin är den uppmäta tidsåtgången vid utläggningen av markskyddet multiplicerat med kostnaden för skotaren. Kostnad för geonätet är beräknat utifrån åtgången av geonät och RN-klammer på en 100 m sträcka. Kostnad för GROT är beräknat utifrån åtgången av GROT på respektive sträcka och sedan uppräknat för 100 meter . På sista raden redovisas den totala kostnaden för de olika markskydden. Den största kostnaden ligger i geonätet men även kostnaden för GROT är en stor post.

**Tabell 4.** Medelkostnad beräknad för överfarter på samtliga sträckor i kr per 100 m, dessa kostnader beräknade på tidsåtgång och maskinkostnaden

*Table 4. Average cost calculation for crossing the different 100 meters blocks*

	Yta			
	Rustbädd	Geonät	Ris	Oskyddat
Kr/100 m	46	47	42	62

Det finns en viss skillnad i kostnad för att förflytta sig över de olika försökssträckorna. Den största skillnaden yttrade sig på de försökssträckor där marken var oskyddad där tidsåtgången blev hög som följd av att maskinen höll på att fastna. Tiden som användes för beräkningen av kostnaden är medeltiden för de tre passager som gått framåt, ej tider från tiderna vid backning.

## Diskussion

Möjligheten att kunna statistiskt säkerställa data från försöket är något begränsad vilket beror på få upprepningar. Tyvärr var det inte möjligt att lägga ut flera ytor med likartade förhållanden samt ha ostörda markegenskaper. Valet att använda sig av konpenetrometern för att dokumentera förändring av markförhållanden i form av jordpackning eller luckring är kanske inte det optimala. Det finns en mängd faktorer som påverkar mätningar med konpenetrometern och marken är ytterst sällan homogen i skogen, vilket innebär att stenar och rötter kommer att ge avvikande värden. Å andra sidan finns det inte många andra alternativ till mätutrustning som fungerar i sådan miljö och den har använts vid ett antal olika studier för att visa på markförändringar efter överfart av ett fordon (t.ex. Jansson & Johansson 1998; Eliasson & Wästerlund 2007; Andersson 2010). Efter beräkning av standardavvikelsen på konmotståndet visade det sig att det var tämligen liten spridning på mätvärdena. Konmotståndet förväntades visa ökade värden efter överfart av en maskin, men hjulen kan även trycka in vatten i spåret och på så sätt luckra upp marken för konmotståndet, medan det för marken kan vara en kraftig förslutning av porer och således kan det till synes luckrade tillståndet innebära en markförsämring (Jfr Jansson och Johansson 1998).

Samtliga beräkningar som redovisas i tabell 3 är beräknade utifrån prisuppgifter som kommer från uppdragsgivaren. Dessa prisuppgifter kan säkerligen variera mellan olika platser i landet och olika företag. Även i vägningen av GROTEN finns en liten felfaktor på samtliga försökssträckor med en noggrannhet på plus/minus 300 kg (Zetterlund, pers medd 2009) vilket inte påverkar slutresultatet speciellt mycket. För att få en exaktare viktfordelning hos den lastade skotaren skulle den ha vägts med last.

På samtliga försökssträckor kunde förändringar av konmotstånd mätas efter överfart. På sträckan med rustbädd uppmättes dock ingen ökning av konmotståndet, men på ett djup av ca 5 cm tycks motståndet i marken avta vilket kan bero på att vatten trycks in i underlaget. Utan upprepning är det dock svårt att kunna säga om utfallet är generaliserbart.

Försökssträckorna med geonät och tunt ristäcke gav något olika resultat. Mätningarna på den första av de två sträckor med geonät visade inte på någon större skillnad i jordpackning före och efter försöket körning sex gånger men en viss jordpackning förekom vid ca 16 cm djup. Mätningarna på andra försökssträckan med geonät visade på viss jordpackning i det översta jordlagret ner till ett djup av ca 10 cm och där planar jordpackningen ut och minskar något för att sedan öka igen. Det finns ett flertal faktorer som möjligen har bidraget till skillnaden mellan dessa två försökssträckor. Under utläggning av den första försökssträckan blev åtgången av GROT något hög med en medeltjocklek på 17,6 cm medan på den andra försökssträckan eftersträvades viss sparsamhet på material för att hålla ett tunt ristäcke. Andra försökssträckan fick ett täcke på ca 10 cm som var den ursprungliga tanken. Dock kom nätet att hänga i luften på flera på flera stubbar vilket bidrog till att nätet sprack och viss spårbildning uppstod där. På bägge försökssträckorna med drygt 20 cm risbädd har en liten minskning i konmotståndet kunna dokumenteras, på likande sätt som med rustbädden. Tydligt påverkades marken på liknade sätt med viss intryckning av fukt ner i marken. De försökssträckorna med oskyddad mark visade på stora förändringar i konmotstånd i marken, där den översta delen av marken uppvisade ett minskat konmotstånd för att sedan öka kraftigt. Detta stärker tolkningen att mjålan påverkas först med en luckring när vatten trycks in i jorden för att sedan på djupet packas.



I figur 12 jämförs medelvärden av konmotståndet i marken före körning med medelvärdet efter sex överfarter för de olika markskydden där upprepning var möjligt. Både försökssträckorna med geonät och de med ristäcke ligger nära det konmotstånd som mättes innan försöket. Dessa markskydd har således fungerat väl och inte påverkat underlaget speciellt mycket. Om man nu ska skilja dessa åt så tenderar geonätet med ett tunt ristäcke att sprida ut belastningen så pass bra att förändringen i marken blir extremt liten. Men tittar man på försökssträckorna med oskyddad mark så ser man en tydlig minskning i konmotstånd ner till ett djup av ca 10 cm. Trenden tycks plana ut och konmotståndet tenderar att öka hastigt och vid ett djup av ca 15 cm är konmotståndet liknande ursprungsläget och fortsätter sen att öka. Således är det ingen påtaglig förändring av konmotståndet där markskydd har använts. Men på de försökssträckor där inget markskydd har använts kan tydliga förändringar av konmotståndet i marken konstateras.

I figur 13 redovisas medelspår djupet för samtliga försökssträckor efter sex överfarter. Samtliga markskydd leder till reducerade spår djup jämfört med de opreparerade försökssträckorna. För rustbädden var medelspår djupet 9 cm och dessa spår uppstod till största del av att stockar sprack samt att de trycktes undan vid körning. De stockar som sprack berodde förmodligen på det dåliga skicket på materialet. De två sträckor som preparerades med drygt 20 cm ristäcke visade sig ge det bästa markskyddet med hänseende på spår djup. Medelspår djupet på dessa sträckor låg på 5 respektive 6 cm vilket får anses som ett mycket bra resultat. Ser man på sträckorna med geonät och ristäcke finns en ganska stor skillnad mellan de två sträckorna. En av de faktorer som skulle kunna förklara dessa olikheter är att första sträckan fick ett ristäcke som blev något tjockare än på den andra försökssträckan som nämnts tidigare. En annan faktor som möjligen kan ha påverkat var att underlaget var något jämnare på den första försökssträckan. Dessa två faktorer bör ha spelat stor roll för hållbarheten hos geonätet och dess förmåga att sprida ut lasten. På de två försökssträckorna utan någon form av markskydd orsakade skotaren ordentliga hjulspår som sticker ut ordentligt från de andra försökssträckorna. Sammanfattningsvis kan man säga att samtliga markskydd har fyllt sin funktion vad det gäller att reducera spår djupet under försöket men med något skilda resultat.

Det geonät som användes var ett planstyvt medelstarkt geonät och användes med avsikt att prova om det höll för lasten och ribborna på skotarbanden. Dock blev ristbädden lite för tjock för att verkligen prova nätets hållfasthet. Det finns betydligt kraftigare geonät på marknaden, men då ökar priset avsevärt. Vanligen används dessa geonät vid vägbyggen för att förstärka bärlagret genom förkilning av sprängsten i rutnätet.

Spårutvecklingen på de oskyddade försökssträckorna tenderar att ha en nästintill linjär trend mellan spårutvecklingen och 2a-6e överfarten. Variansanalysen visade på ett tydligt samband mellan antalet överfarter och spår djuputvecklingen. I figur 14 finns det antydningar till att kurvorna tenderar att plana ut. Anledning till detta kan vara flera, men under försöket började skotaren nå en ”botten” med ett betydligt fastare underlag som gjorde att skotaren inte orsakade så mycket djupare spår. Under sista överfarten på en av försökssträckorna uppstod problem med framkomligheten och skotaren hade svårt att ta sig fram med tendenser till fastkörning. Det finns säkerligen mängder med faktorer som inverkar på spårutvecklingen men vid en viss punkt når skotaren det läget där fastkörningen är ett faktum och då slutar spårutvecklingen.

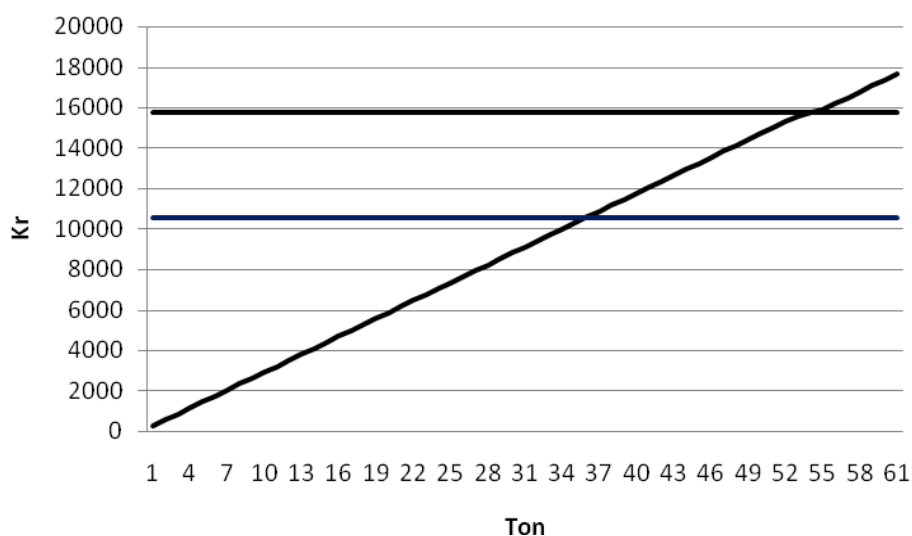
Flertalet tidsmätningar genomfördes under fältförsöket för att kunna göra en ungefärlig kostnadsberäkning av de olika delmomenten under försöket. För att anpassa försöksupplägget till försökstrakten fick körmönstret justeras vilket innebar att föraren fick både backa och köra framåt över sträckorna. Något förvånande var att tidsåtgången inte skiljde speciellt mycket mellan körning framåt eller bakåt bortsett från första överfarten som tog lite längre tid än senare överfarter.

I tabell 4 redovisas en schablonkostnad över hur de olika markskydden påverkar tidsåtgången för körning som i sin tur påverkar kostnaden för maskinen. Körhastigheten varierade lite och därför blir det mycket liten skillnad i kr per 100 meter. Ser man till den procentuella skillnaden mellan de olika markskydden, är differensen mycket stor, vilket i sig kan vara intressant men kanske marginellt för just GROT- skotningen. Även tidsmätning för utläggning geonät och ris genomfördes för att kunna beräkna kostnaden för arbetsinsatsen. I tabell 3 redovisas kostnaderna för de olika markskydden utifrån material och tidsåtgång.

För att geonät ska kunna konkurrera med GROT som markskydd måste inköpspriset bli betydligt lägre. Utifrån den insamlade data från försöket har beräkningar genomförts för att ge en schablonmässig bild av vilket pris per kvadratmeter nätet bör ligga på för att anses konkurrenskraftig. Om man skulle använda sig av samma upplägg med RN-klammer och tunt ristäcke så måste kostnaden ner till ca  $7 \text{ kr/m}^2$ . Men skulle man avstå från att använda RN-klammer så kan nätet få kosta ca  $11 \text{ kr/m}^2$ .

I dagsläget finns det ett geonät med bättre specifikation i draghållfasthet och som dessutom är betydligt billigare (Minsér, pers medd 2010). Tensars TriAx nät har en draghållfasthet på  $47 \text{ kN/m}$  och kostar bara  $22 \text{ kr/m}^2$ , vilket innebär att kostnaden för geonät sjunker till  $10\,500 \text{ kr}$  per 100 meter. Skillnaden mot använt RN 30 nät är att den är tillverkad med ny metod med utstansning av triangelrutor vilket ger en betydligt mindre materialåtgång och därför kan göras billigare.

En intressant aspekt är hur mycket GROT kan man få till det priset som geonätet kostar för 100 meter se figur 15. I figuren ligger brytpunkten vid ca 53,5 ton GROT. Skulle man räkna om detta till tjocklek hos ristäcket skulle det ge ett skyddande rislager av ca 48 cm. Jämför man med det billigare geonätet ( $22 \text{ kr/m}^2$ ) med GROT så kommer man förflytta brytpunkten till 36 ton vilket skulle ge ett ristäcke med en tjocklek av ca 32 cm. Kostnaden för skotaren kommer troligen att fördubblas när man ökar tjockleken på ristäcket till det dubbla. Som man kan se i tabell 2 så är kostnaden för att lägga ut geonät med ristäcke nästan dubbelt så hög som vid utläggning av enbart GROT, vilket bör innebära att dessa kommer att hamna på samma nivå om tjockleken skulle fördubblas.



**Figur 15.** Brytpunkt där kostnaden för 100 meter geonät 1 med förankring, 100 meter geonät 2 med förankring är lika stor som mängden GROT.

*Figure 15.* Breakpoint where the costs for 100 m geonet 1 with anchors, 100 m geonet 2 with anchors are equal to the amount of slash.

Funktionen hos geonätet försämras kraftigt när skador uppstår på nätet och dessa skador uppkom i kontakten mellan markkontaktorganen, geonätet och uppstickande föremål i marken (exempelvis stubbar). När geonäten plockades bort för att dokumentera skador samt för att genomföra mätningar framträdde en tydlig skillnad på de platser där nätet höll och där skada uppstått. På de platser nätet skadats och givet vika uppstod tydlig spårbildning i marken. Men på de platser där nätet inte skadats och bibehållit sin förmåga att sprida ut lasten visade marken inga som helst tecken på skador. Tanken att kunna återanvända sig av nätet på ojämn mark är ytterst tveksamt av flera anledningar. De skador som uppstod på nätet minskade nätets förmåga att sprida lasten samt att nätet blev ytterst jobbigt att handskas med efter användning. Skulle nätet hålla för att återanvändas ett par gånger skulle bilden säkerligen ändras en del, men problem med hanteringen av det använda nätet kommer förmodligen att kvarstå. För att geonätet ska gå att återanvända krävs en mycket jämn ytstruktur där uppstickande föremål är sparsamt förekommande. Geonätet skulle fungera ypperligt på en myr eller likande underlag. Kostnaden för skotaren blir högre vid användning av geonät eftersom den står stilla vid utläggningen, men det påverkar totalkostnaden mycket lite. Samma sak gäller kostnaden för åtgången av GROT på de olika försökssträckorna, dvs. totalkostnaden påverkas ganska lite medan kostnadsskillnaden mellan geonät samt klammer och inte geonät är ganska stor. Ett annat perspektiv är frågan om kostnaden för GROTEN använt till markskydd är en kostnad överhuvudtaget eller anses som gratis.

I en tidigare studie från 1998 där man studerade förändringar i marken efter överfart med hjul utan band på en 20 tons skotare på mark med siltjord. I resultatet i denna rapport visa man på att spår djupet ökar med antalet överfarter med ett 20 tons hjulfordon (Jansson & Johansson, 1998). Vilket även har kunnat påvisas i denna studie, att spår djupet ökar med antalet överfarter. Ett annat fenomen som nämns i den studien är att densiteten har minskat efter överfart i de övre 5 cm av markskiktet. Detta anser författaren bero på att mineraljord och organiskt material blandats samman vid slirning och detta fenomen ökar med antalet överfarter (Jansson & Johansson, 1998). Även detta fenomen har yttrat sig under denna

studie då konmotståndet minskade i övre delen av marken framförallt på den oskyddade marken.

Samtliga testade markskydd under försöket har gett en reduktion av markskadorna i samtliga uppmätta parametrar, dock med viss variation. Kostnaden är som alltid en viktig aspekt och det är svårt att komma ifrån att samtliga markskydd kostar pengar i form av material och tid. Av de olika testade markskydden under försöket verkar det inte finnas något bra och billigt alternativ till GROT att använda sig av. Tittar man på geonätet som markskydd så tycks den ha en bra förmåga att breda ut lasten över en större yta men nätet är känsligt för punktbelastning vilket är näst intill omöjligt att undvika på ett hygge. Tankbart är att använda geonätet som förstärkning vid passage över en myr eller likande. Tankarna att testa andra markskydd har under arbetets gång ventilerats med handledare samt möjliga leverantörer. På försöksstadiet var försvarets fordonsmatta 2 önskvärt att testas, då den används av försvaret för att ta sig över blötare partier med stridsvagnar. Idén fick förkastas av den enkla anledningen att ansvarsbiten blev ett problem när det var försvarets materiel. Nästa idé var att testa om sprängmattor kanske var ett möjligt alternativ. Efter kontakt med en producent av sprängmattor förkastades även denna idé och anledningen är att bredden hos sprängmattorna är 3,1 meter vilket skulle vara för smalt för en skotare.

Som det ser ut i dagsläget finns inget som säger vad som är acceptabla körskador utan att föranleda åtgärdande av dessa. Så länge det inte kostar pengar att köra sönder i skogen kan det nog vara svårt att motivera dyra markskydd. Den enda kostnaden som har rapporterats beträffande körskador är i en studentuppsats där man kan läsa i bilaga 2 att reparation av körskador med grävmaskin medförde en kostnad av ca 4000 kr (Jansson, 2002). Ett annat perspektiv på detta problem är att om det nu är så att objektet ska markberedas efter skotning, hur kommer då markskadorna att påverkas av detta?

### **Slutsatser**

- Det finns alternativ till att använda sig av GROT för att reducera markskador vid skotning, men till relativt höga kostnader.
- Geonät passade inte riktigt det ojämna hygget, men kanske kan användas över myrpartier.
- Så länge inga böter eller likande delas ut för körskador kommer inte heller någon lägga pengar på dyra markskydd.
- Sambandet mellan 2-6 överfarter och spårdjup var nästintill linjärt på oskyddad mark med dålig bärighet.

## Referenser

Anon. 1995. Nationalencyklopedin sextonde bandet, Höganäs, Bokförlaget Bra Böcker AB. ISBN 91-7024-619-x

Anon. 2008. Energiindikator 2008. Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål. ET 2008:8 | Juli 2008 | 2000 ex | Produktion: Svensk Information | Tryck: Edita Västra Aros

Anon. 2009 a. Byggros AB, Hemsida. [Online 2009-12-08] Tillgänglig: <http://se.byggros.com/forside> [2009-12-08]

Anon. 2009 b. SLU- Sveriges Lantbruksuniversitet. Hemsida. [online] (2009-12-05). Tillgänglig: <http://biofuelcalc.sites.djangoeuropa.com/> [2009-12-11]

Eliasson, L. 2005. Effects of Tyre Pressure on Rut Formation and Soil Compaction. *Silva Fenn.* 39 (4): 549 – 557

Eliasson, L & Wästerlund, I. 2004. Riståktens betydelse för markskador - Etapp1. SLU Inst f. Skogsskötsel, Umeå. Stencil.

Eliasson, L. & Wästerlund, I. 2007. Effects of slash reinforcement of strip roads on rutting and soil compaction on moist fine-grained soil. *Forest Ecology and management* vol 252: 118-123.

Eriksson, L. 1981. Stickvägar och körskador i gallringsbestånd. Resultat från Riksskogstaxerings inventering åren 1978-79. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik, Garpenberg. Rapport nr 137.

Froehlich, H.A. 1989. Soil damage, Tree growth, and mechanization of forest operations. *Proceedings of the seminar on the impact of mechanization of forest operations to the soil.* Louvain-la-Neuve, Belgium. P 77-82

Haglund, C. 2009. Skogsavverkningens påverkan på vattnets strömningsvägar i jorden. Uppsala, Institutionen för vatten och miljö Serienummer: UPTEC W 1401-5765 ; 09 033

Jansson, K-J. & Johansson, J. 1998. Soil changes after traffic with a tracked and a wheeled forest machine: a case study on a silt loam in Sweden. *Forestry* 71 (1): 57-66

Jansson, H. 2002. Avverkning under tjällossningsperioden. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå, Skogsteknologi, studentrapport nr 54

Malmberg, C-E. 1981. Terrängmaskinen del:2 Oskarshamn: Primo

## Personliga meddelanden

Zetterlund, P. 2009. Kogsta skogsentreprenad.

Minsér, A. 2010. Byggros AS.

Widenfalk, T. 2009. Efokus, Sundsvall. Mail kontakt

Wästerlund, I. 2009. Professor vid institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå,