



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 917–2016

Kompakteringseffekter på skogsbilvägar

Effect of compaction on forest roads

Mikael Bergqvist, Rolf Björheden och Lars Eliasson

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 917-2016

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

Titel:

Kompakteringseffekter
på skogsbilvägar.

Effect of compaction
on forest roads.

Bildtext:

Vältning med
bogserad vält.

Ämnesord:

Skogsbilväg, Packning,
CTI, Grus.

Forest road, Packing,
CTI, Gravel.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2016

ISSN 1404-305X



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Mikael Bergqvist, skogsingenjör. Arbetar med vägfrågor inklusive verifiering och tillämpning av STP, Surface Thickness Program.



Rolf Björheden, professor. Chef för FoU-programmet Teknik och Virke. Rolf har främst arbetat med metod- och systemutveckling för drivning och transport samt med försörjningssystem för skogsbränsle.



Lars Eliasson, docent. Arbetar på Skogforsk med teknik- och metodutveckling inom skogsbränsleområdet.

Abstract

The planning horizon in forestry is shortening, so wood is now commonly transported on newly-built roads. The subbase of these roads has often not had time to settle over a thawing period, so their bearing capacity is relatively low. To increase bearing capacity, more surface material must be used, which increases the cost of the road. One possible method for reducing the amount of surface material needed is to compact both the surface and subbase with a single drum vibratory roller during construction.

This study compares the bearing capacity of road sections before and after compaction with a roller and use by a loaded timber truck. Bearing capacity, expressed as California Bearing Ratio (CBR) values, was measured in the field with a dynamic cone penetrometer. Rut formation was measured after the road had been used by fully-loaded timber trucks, which either had normal or low tyre pressure.

In road sections where the surface layers had been compacted, the observed CBR in the aggregate layer was 17.3, which is 16 percent higher than for the uncompacted sections, where the CBR was 14.9. The compaction of the surface layers also increased the CBR in the subgrade with 17.5 percent compared to the uncompacted sections. The CBR in the subgrade increased from a lowest value where the subgrade had not been packed, through an interim value for compacted subgrade, to a highest value where both surface layers and subgrade had been packed.

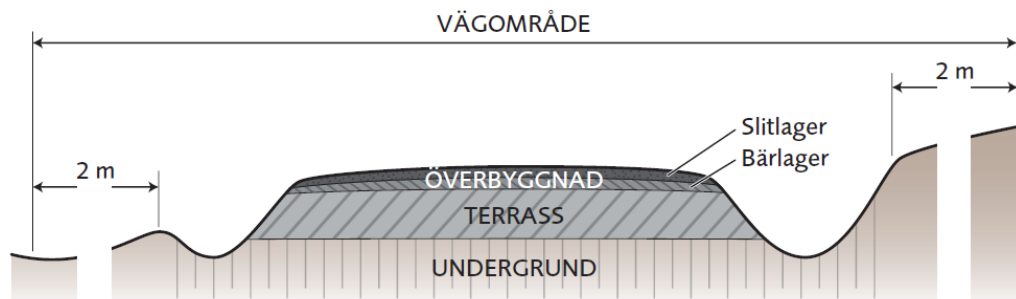
Surface compaction with a roller after gravel had been laid had no noticeable effect on rut formation when the road was used by a loaded timber truck with normal tyre pressure compared with the unpacked reference road. However, rut formation was considerably less when the surface-compacted road was used by a timber truck with low tyre pressure. Low tyre pressure also reduced rut formation on the uncompacted reference road, but not as much.

Ordlista och begreppsförklaring

Här beskrivs väg- och mättekniska termer samt begrepp som sammanhänger med rapporten.

CBR	=	California Bearing Ratio, ett värde som beskriver det mekaniska motståndet i vägmaterialet.
CTI	=	Central Tire Inflation, system för styrning och reglering av däcktryck.
DCP	=	Dynamic Cone Penetrometer. En dynamisk konpenetrometer är ett mätinstrument som mäter det mekaniska penetrationsmotståndet i vägmaterialet.
STP	=	Surfacing Thickness Program, en modell för beräkning av överbyggnadens tjocklek.
Terrass	=	se Underbyggnad.
Underbyggnad	=	Vägens undre del, oftast uppbyggd av material från platsen, benämns även Terrass.
Undergrund	=	Den naturliga mark vägen byggs på
Överbyggnad	=	Påfört material i form av grus asfalt etc. Består ofta av ett grövre bärlager täckt av ett finare slitlager.

Vägens delar



Innehåll

Ordlista och begreppsförklaring	1
Sammanfattning.....	3
Bakgrund	4
Material och metoder.....	5
Dynamisk konpenetrometer, DCP	5
Sektionsindelning.....	6
Materialprov	8
Grustjocklek	8
Spårdjupsmätning	9
Försöksfordon och mätning av marktryck	10
Vält.....	12
Testväg.....	12
Resultat	15
Spårbildning vid trafik.....	17
Diskussion	19
Bärighet	19
Spårbildning.....	20
Slutsatser	21
Referenser.....	21
Bilaga 1 Spårdjupsmätningar – Diagram.....	23

Sammanfattning

Planeringshorisonten inom skogsbruket har blivit kortare. Detta innebär att det blivit vanligare att virkestransporter utförs på nybyggda terrasser. Dessa nybyggda terrasser tenderar att ha en lägre bärighet än de terrasser som har fått en naturlig kompaktering genom tjällossning. Detta åtgärdas med en ökad överbyggnad för att kompensera för en utebliven tjällossning, vilket leder till ökade kostnader. En möjlig metod för att minska användningen av överbyggnadsmaterial är att packa både över- och underbyggnaden med en vält vid vägbyggnationen.

Denna studie jämför bärigheten för vägsektioner före och efter kompaktering med vält och trafikbelastning. Bärigheten, uttryckt i form av CBR-värden, har mätts i fält med en DCP. Dessutom har spårbildningen mätts allt eftersom vägen trafikerats med fullastade virkesfordon, som antingen haft ett normalt eller lågt däckstryck.

Sektionerna där överbyggnaden kompakterats, hade ett observerat CBR-värde för överbyggnaden på 17,3 procent, vilket är 16 procent högre än för de okompakterade sektionerna där CBR-värdet var 14,9 procent. Den extra kompakteringen har också medfört att CBR-värdet i undergrunden är 17,5 procent högre för de sektioner där överbyggnaden kompakterats.

CBR-värdet i undergrunden ökade från ett lägsta värde för den kompakterade terrassen, via ett mellanläge för en kompakterad terrass och var som högst efter påförelse av överbyggnad.

Kompaktering med valsvält efter grusning hade ingen märkbar inverkan på spårbildningen, då vägen trafikerades av ett lastat virkesfordon med normalt däckstryck, jämfört med den okompakterade referensvägen. Däremot minskade spårbildningen tydligt, då den kompakterade vägen trafikerades av ett virkesfordon med lågt däckstryck (CTI). Lågt däckstryck minskade även spårbildningen på den okompakterade referensvägen, om än inte i samma utsträckning.

Bakgrund

Skogsbilvägarna utgör ungefär 21 000 mil av de 57 000 mil vägar som finns i Sverige. Många av dessa vägar är byggda för länge sedan och inte anpassade till dagens lastbilar och ligger inte på rätt plats i terrängen för att kunna utnyttjas för virkestransporter under hela året. Tidigare underlättades framkörningen av virket, oavsett om det skedde med häst eller skotare, av att vägen låg belägen längst ner i slutningen. I dagsläget då avverkningsarbetet sker kontinuerligt under hela året så är en vägdragning på stadigare mark i högre terräng att föredra, eftersom det minskar risken för markskador vid utskotningen av virket. Detta medför att det finns ett behov att bygga nya vägar både för att komplettera det befintliga vägnätet men också för att ersätta äldre vägar med mer ändamålsriktiga vägar. Det senare är en internationell trend och sker på många håll i Europa (Heinimann, 2015).

Det finns goda skäl att investera i en väg om vägen ska betjäna stora områden med virkesrika bestånd som går att avverka under sommar och höst. För områden med goda förhållanden för avverkning på våren behöver man investera i vägar som kan trafikeras hela året. En nybyggnad av en väg ställer krav på både projektering och vägbyggnad för att minimera framtida underhållskostnader.

På grund av att planeringshorisonten inom skogsbruket blivit kortare så har det blivit vanligare att virkestransporter utförs redan på den nybyggda terrassen. I och med att denna inte hunnit sätta sig under en tjällossning så leder detta till att vägens bärighet är förhållandevis låg. För att öka bärigheten måste mer överbyggnadsmaterial användas med följd att kostnaden för vägen ökar. En möjlig metod för att minska användningen av överbyggnadsmaterial är att packa både över- och underbyggnaden med en vält vid vägbyggnationen.

I Skogsstyrelsens anvisningar för projektering och byggande av Vägklass 3 och 4 rekommenderas följande vid packning av skogsbilvägar: ”Som packningsredskap ska minst 6 tons vibrationsvält användas eller annat redskap som ger minst motsvarande effekt. Packning med vält är godtagbar efter 3 överfarter”. Enligt Bradley (2002), har en maskinell kompaktering svårt att ge samma kompakteringseffekt på djupet som en tjällossning ger i terrassen. Mekanisk kompaktering av skogsvägsterrasser har troligen minskat i omfattning under de senaste åren, som en följd av förenklingar av byggtekniken som gjorts ur ett kostnads- och rationaliseringsperspektiv.

Bärigheten i en vägkropp kan mätas med en amerikansk standard, ”California Bearing Ratio” (CBR), som tagits fram för att beskriva olika vägmateriels bärformåga. Ju högre CBR-värde vägkroppen har desto stadigare är den. Bärförmågan bestäms genom ett penetrationstest där man mäter kraften per ytenhet som krävs, för att trycka ned en standardiserad cylinder i materialet med en förutbestämd hastighet. I standarden preciseras, att cylindern ska ha 50 millimeter diameter och att hastigheten ska vara 1,25 millimeter per minut. CBR-värdet beräknas därefter som det relativa tryck, i procent, som krävs jämfört med trycket som krävs för att trycka ner cylindern i ett standardmaterial (krossad kalifornisk kalksten), d.v.s.:

$$CBR = \frac{p_1}{p_2} \times 100$$

Där:

$P1 = \text{kraft/ytenhet, N/mm}^2$ i aktuellt material.

$P2 = \text{kraft/ytenhet, N/mm}^2$ i standardmaterialet.

CBR-värdet bestäms normalt i laboratoriemiljö och provet beskrivs utförligare i ASTM Designation D 1883-99.

I fältstudier kan man använda en dynamisk konpenetrometer (DCP) för att mäta vägens CBR-värde. DCP-metoden är lätt att använda och internationellt vedertagen för mätning av CBR i fält, även om den inte är lika noggrann som laboratorietesten.

För att kvantifiera effekten av kompaktering med vält, gjordes ett fältförsök i samband med validering av STP för svenska förhållande, som utfördes år 2015/2016. Syftet med studien var att utvärdera kompakteringseffekten på CBR-värdet i under- och överbyggnaden, samt att mäta skillnader i spårbildning vid trafik med lastade virkesbilar, med och utan CTI på vägsektioner med kompakterad och okompakterad överbyggnad.

Material och metoder

Denna studie jämför bärigheten för vägsektioner, före och efter kompaktering med vält och trafikbelastning. Bärigheten, uttryckt i form av CBR-värden, har mätts i fält med en DCP. Dessutom har spårbildningen mätts allt eftersom vägen trafikerats med fullastade virkesfordon, som antingen haft ett normalt eller lågt däckstryck.

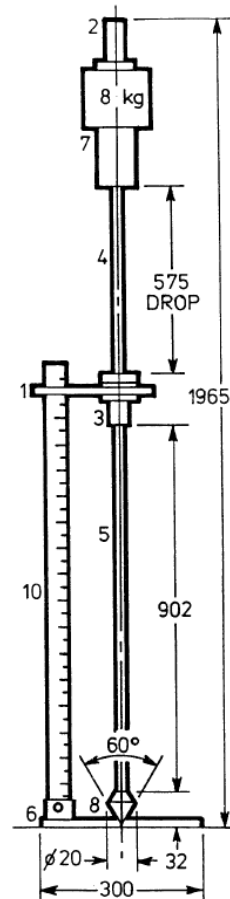
Dynamisk konpenetrometer, DCP

I denna studie användes en DCP för att mäta vägens CBR-värde. Den dynamiska konpenetrometern är en enkel konstruktion, bestående av en standardiserad kon som slås ner i vägen via slagkraft från en 8-kilosvikt som faller fritt längs en 575 millimeter lång vertikalgejder. Genom att mäta konens nedsjunkning får man ett penetrationsindex (DPI) i millimeter per slag, vilket används för att kunna beräkna CBR-värdet enligt:

$$CBR = 10^{(2,46 - 1,12 \log DPI)}$$

Vid användning av DCP i stenigt material nöts konen fort. En nötning på maximalt 10 procent av ursprungsdiametern accepteras, d.v.s. när en 20 millimeters kon har nötts ned till 18 millimeter skall den ersättas. Det är därför nödvändigt att ha med extra konspetsar vid mätning. Vid mätningarna användes en 20 millimeter kon med 60 graders spets.

Målsättningen är att i varje provpunkt, mäta ned till 60 centimeter djup från vägytan. Om en stenträff omöjliggör detta så skall provpunkten flyttas. Som stenträff räknas då om nedsjunkningen är mindre än 3 millimeter per slag under tre upprepade slag.



Figur 1.
DCP i fält, samt ritning med DCP'ns måttuppgifter.

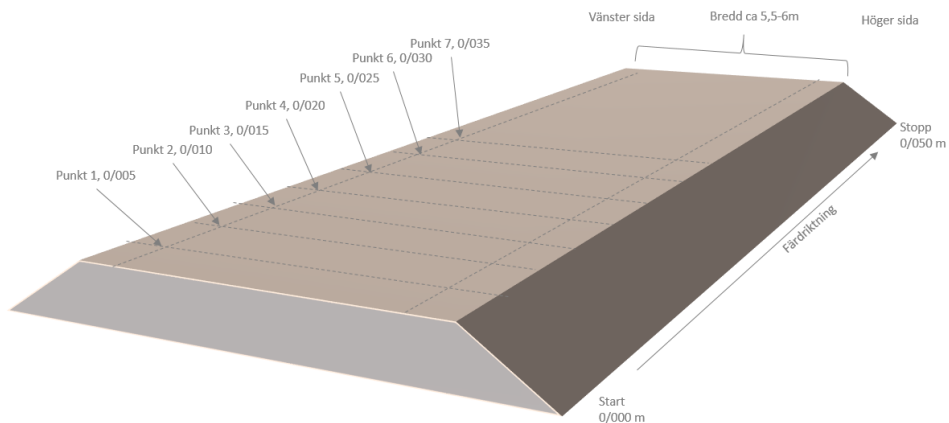
SEKTIONSINDELNING

Försöken genomfördes på en av de tre försöksvägar som byggts i samband med valideringen av STP för svenska förhållanden (Bergqvist m.fl., 2016). Varje försöksväg hade olika material i terrassen, beroende på olika grundförhållanden. För kompakteringsförsöket användes *Väg 3*, som byggts på ett sandigt-grusigt sediment.

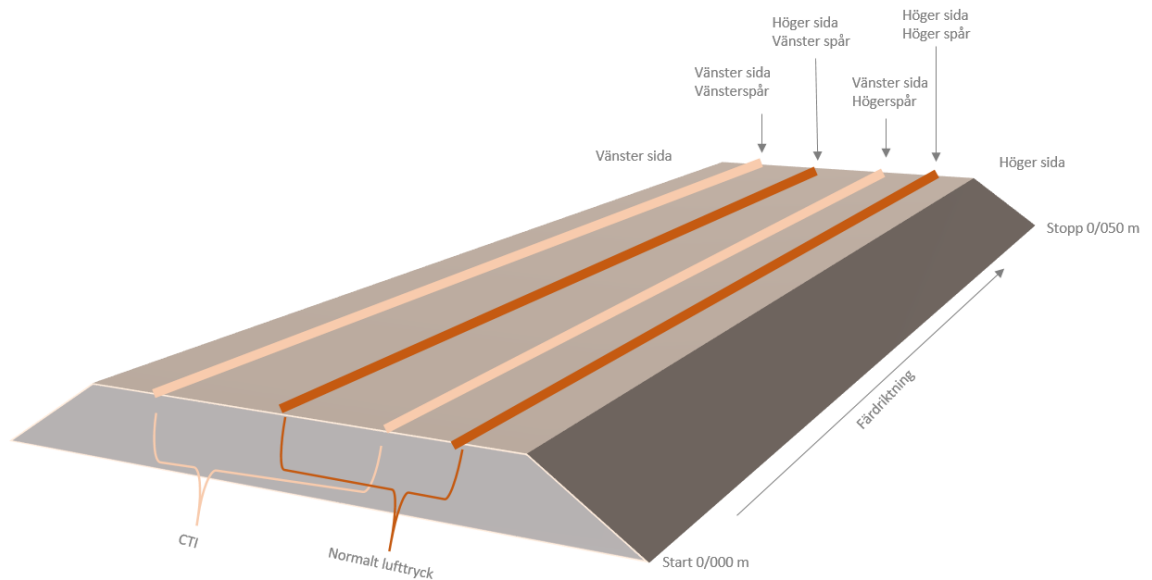
Försöksvägen uppdelades i sex 50 meter långa sektioner som numrerades löpande från 1–6 med *Sektion 1* i starten för färdriktningen. En transportsträcka finns mellan *Sektion 3 och 4*. Inga mätningar utfördes på transportsträckan. Då en passage avslutats körde försöksfordonet från *Sektion 6* längs en befintlig skogsbilväg tillbaka till startpunkten före *Sektion 1*. Inga mätningar utfördes längs den befintliga skogsbilvägen.

För varje vägsektion utfördes mätningar på 14 mätpunkter, fördelade med sju på vardera sidan av vägen. Varje passage påbörjas vid *Sektion 1, Punkt 1* och avslutas då *Sektion 6, Punkt 7* passerats. Punkterna benämndes som *punkt 1-7H* (högersida) respektive *Punkt 1-7V* (vänstersida).

Punkt 1V och 1H är placerad 5 meter in på sektionen, därefter kommer *Punkterna 2–7H respektive V* var femte meter, d.v.s. *Punkt 7V och 7H* är placerad 35 meter in på sektionen. De kvarvarande 15 metrarna av sektionen är transportsträcka, för att undvika att sektionerna påverkar varandra. Vid spårdjupsmätning skildes på höger och vänster spår för varje punkt. Spårdjupsvärdet i höger spår kopplades till de högra mätpunkterna och spårdjupsvärdet i vänster spår till de vänstra mätpunkterna. (Figur 2 och 3).



Figur 2.
Sektionens indelning.



Figur 3.
Körspår.

MATERIALPROV

Från varje vägsektion har ett jordprov av underbyggnaden tagits, d.v.s. 6 prover per väg. Dessa prover lämnades in på NCC:s materiallaboratorium i Sundsvall för siktning enligt SS-EN 933-1 (Kornstorleksfördelning). Överbyggnaden som påförts vägen, har varit bergkross i fraktion 0–40. Två prover av överbyggnaden togs från *Vägsektion 2 och 4* och lämnades in för siktning och analys av kornstorleksfördelning enligt SS-EN 933-1.

GRUSTJOCKLEK

Bärlagrets tjocklek mättes med rätskiva och mätsticka (Figur 4). För att undvika påverkan på spårdjupsbildningen så mättes grustjockleken i provgropar +1,5 meter efter respektive mätpunkt. Målsättningen var att skapa två sektioner med grustjocklek 5 centimeter, två med 10 centimeter och två med 15 centimeter grus. Vilka sektioner som skulle ha en bestämd tjocklek lottades fram. Vid kontrollmätning visade det sig att detta mål inte kunnat uppnås. Modellen med sektionsvisa skillnader i grustjocklek övergavs och i stället mättes tjockleken vid varje provpunkt individuellt.



Figur 4.
Mätning av grustjocklek.

SPÅRDJUPSMÄTNING

Spårdjupsmätning utfördes med rätskiva och aluminiumlinjal (Figur 6). Avståndet som mättes var från toppen på vallen till botten på spåret (Figur 7). Spårdjupet anges som ett negativt värde som anger skillnaden mellan vallens högsta punkt och spårets djupaste punkt. Att även mäta vallen beskriver bättre det motstånd som lastbilen möter i vägytan. Spårdjupet mättes efter en passage, fem, tio o.s.v. Om vägbanan på en provpunkt gick till brott, d.v.s. att det blev så djupa spår att antingen framkomligheten eller säkerheten äventyrades, så avbröts mätningen på den aktuella punkten och spåret skottades igen innan testerna fortsatte för övriga punkter.



Figur 5.
Pågående testkörning.

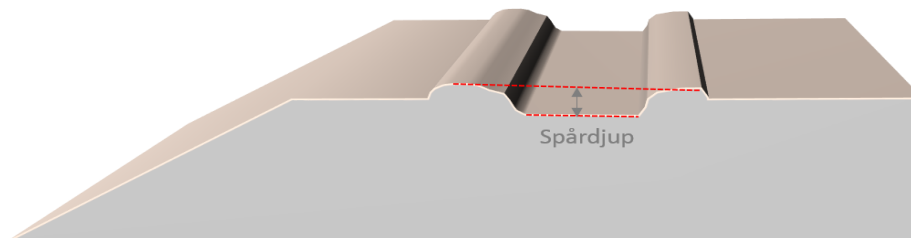
Vid detta försök har lastbilen sökt hålla samma spår hela tiden (Figur 5). Detta innebär att spårbildning provoceras jämfört med om föraren har möjlighet att byta spår mellan passagerna. I vissa fall missades spåret t.ex. genom att vagnen genade. Det kan då hända att däcken trampade till vallen, vilket resulterade i att spårdjupet minskade trots att antalet passager ökade. Detta kan påverka resultaten under främst de första passagerna. Det är också i början av försöket som det var svårast för lastbilsföraren att träffa samma hjulspår. I vissa fall användes stödlinjer målade med sprayfärg för att underlätta för föraren att träffa spåret, främst då det var torr och solig väderlek. Lågt lufttryck (CTI) kördes på vägens vänstra sida och mätning sker i vänster spår medan normalt lufttryck mäts på höger sida i högerspår.



Figur 6.
Mätning av spårdjup.

FÖRSÖKSFORDON OCH MÄTNING AV MARKTRYCK

Försöksfordonet som användes för studien, var en 3-axlig Mercedes Actro med 4-axligt släp utrustad med Tireboss TPC-system (CTI). Bilen ägs av JS Frakt AB i Sundsvall och kör normalt åt SCA. I studien användes två inställningar för däcktrycket, normalt lufttryck och lågt lufttryck definierat som *Vårprogram 3* enligt CTI-programmet. (Tabell 1).



Figur 7.
Princip för mätning av spårdjup.

Tabell 1.
Luftryck.

	Normalt luftryck (kPa)	CTI vårprogram nr 3 (kPa)
Styraxel	883	600
Drivaxlar (boggie)	717	338
Släp axlar (boggie)	841	450



Figur 8.
Lastbilen som användes i studien, under pågående test på väg 2 från STP valideringen.

Det studerade fordonets markkontaktyta (fotavtryck) mättes för att undersöka hur mycket däcken ökar sin kontaktyta mot vägen vid optimerat lufttryck (Figur 9). För att mäta hur kontaktytan mellan däck och väg påverkas av olika däcktryck så mättes kontaktytan för varje däck. Lastbilen fick köra upp på skyddspapper, varefter man sprayade med svart färg runt däckens kontaktyta mot pappret. När färgningen var klar fick lastbilen rulla av pappret. Den del av pappret som inte var färgad representerade kontaktytan, vilken mättes in varefter arean beräknades i cm^2 . Processen upprepades med lågt lufttryck och med samma last. Skillnaden i kontaktyta för de olika däcken och däcktrycken redovisas i Tabell 2.



Figur 9.
Bedömning av fordonets kontaktyta.

Tabell 2
Viktfordelning, kontaktyta och marktryck för det studerade fordonet.

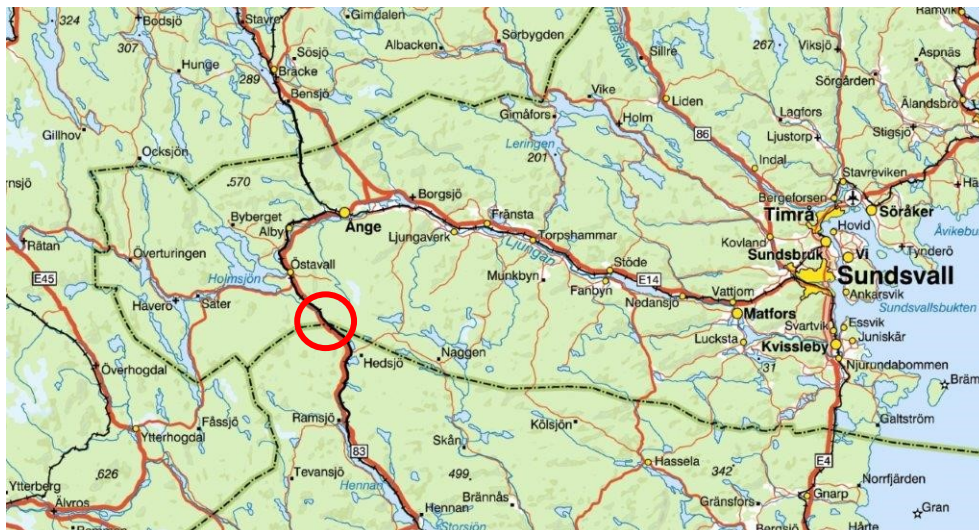
Axelgrupp	Axellast, kg	Normalt däcktryck			Lågt däcktryck		
		Däcktryck, kPa	Kontaktyta, cm ²	Marktryck, kPa	Däcktryck, kPa	Kontaktyta, cm ²	Marktryck, kPa
Styraxel	7 004	883	1 433	479	600	1 691	406
1:a drivaxel	10 497	717	2 524	408	338	3 060	336
2:a drivaxel	10 418	717	2 499	409	338	3 187	321
1:a Släpvagnsaxel	8 672	841	1 742	488	450	2 142	397
2:a Släpvagnsaxel	8 888	841	1 805	483	450	2 058	424
3:e Släpvagnsaxel	9 418	841	1 828	505	450	2 210	418
4:e Släpvagnsaxel	9 339	841	1 743	525	450	2 268	404

Fordonets totala kontaktyta vid normalt lufttryck var 13 574 cm² med ett marktryck av 472 kPa och vid det lägre lufttrycket var kontaktytan 16 616 cm² med ett marktryck av 387 kPa. Med lågt tryck ökade kontaktytan med 22 procent och marktrycket minskade med 18 procent jämfört med normalt lufttryck.

VÄLT

Välten som användes vid försöket var en Dynapac CH 47 vibrerande slätvält med en statisk linjelast på 31 kg per centimeter, vals vikt på 5,9 ton och en vibrationsamplitud på 1,5 millimeter. Välten bogserades av en Valtra jordbrukstraktor (Figur 12). Terrassen kompakterades med 6 överfarer för alla sektioner. Kompaktering av överbyggnaden skedde med 6 överfarer för *Sektion 1–3*.

Testväg



Figur 10.
Testvägens placering.

Vägen är belägen i närheten av Mellansjö söder om Ånge. Terrassen består av sandigt-grusigt sediment. Materialtypen varierar kraftigt i området som utgörs av ett torrlagt utströmningsområde. Materialet är skiktat och starkt varierande, (Figur 11) men med låg finjordsandel. *Sektionerna 1 och 6* har hög andel sand i terrassmaterialet.



Figur 11.
Stor variation av materialet undergrunden.

Försöksvägen byggdes 5,5 – 6,0 meter bred och terrassen rensades på stenar större än 200 millimeter till 20 centimeters djup med sorteringsskopa. Stor sten lades i dike eller i bakslänt. Detta utfördes för att möjliggöra mätning med DCP. Mätningar med DCP utfördes på okompakterad terrass, kompakterad terrass samt färdig väg. Vägen var väldigt stabil utom på *Sektion 1 och 6* där man hade hög andel sand. Den höga andelen sten i terrassen medförde att arbetet med DCP-mätningarna blev tidskrävande. Terrassering utfördes under september månad. Vägen kompakterades därefter med en valsält.



Figur 12.
Kompaktering av terrass, Försöksväg 3.

Vägen grusades den 1 oktober (2015) med lastbil och släp. För att ta emot och justera gruset användes en grävmaskin med justerbalk. Målsättningen med grusningen var att skapa sektioner med 50, 100 respektive 150 millimeter grustjocklek. Det verkliga utfallet avvek dock från målsättningen (Tabell 3). Genomslag i sand inträffade vid anslutning till befintlig väg vid *Sektion 6* dock utanför det område där mätningar skulle utföras. Vid alla punkter mättes grustjocklek.

Tabell 3.

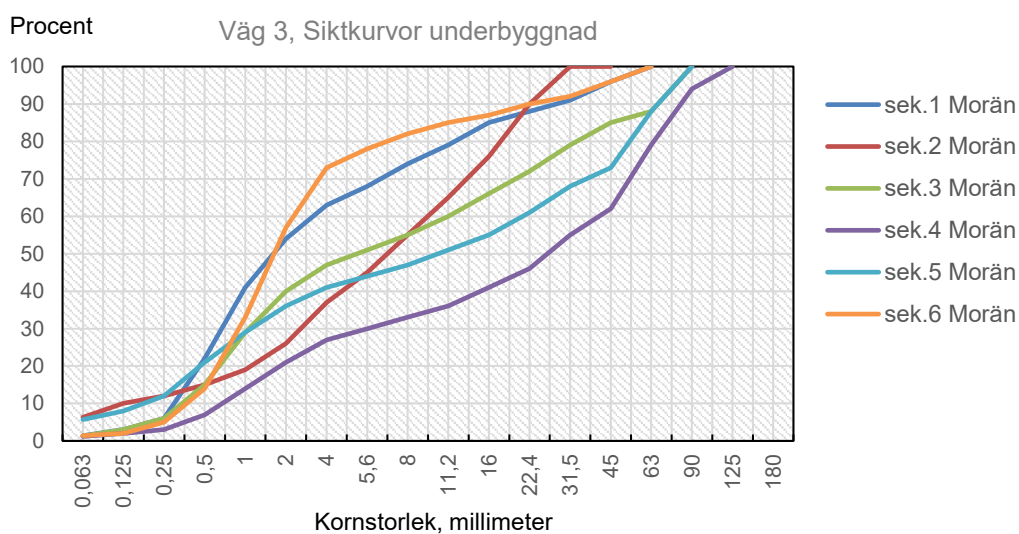
Mål för grustjockleken per sektion och faktiskt utfall inklusive 95 procent konfidensintervall för att belysa variationen i grustjocklek.

Sektion	Måltjocklek (mm)	Faktisk grustjocklek (mm)
1	100	179 ±13
2	50	174 ±14
3	150	267 ±30
4	50	118 ±15
5	100	140 ±12
6	150	189 ±21

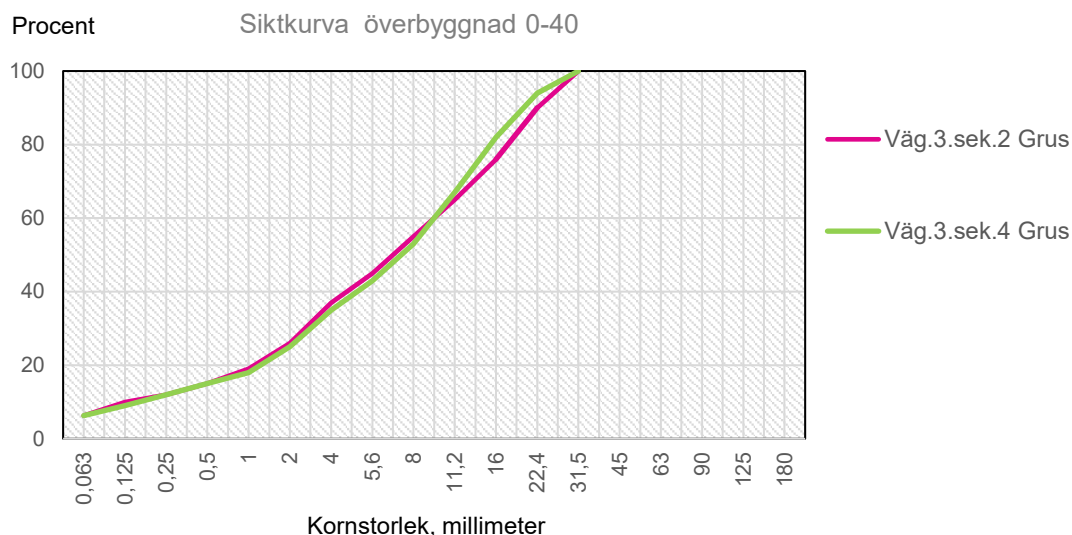
För *Sektion 1–3* kompakterades överbyggnaden, medan *Sektion 4–6* hade okompakterad överbyggnad. Detta upplägg valdes för att utvärdera vilken effekt kompaktering har på vägens bärighet och spårbildning. Kompakteringen genomfördes före mätning med DCP och fallvikt.

Spårdjupstestet startade den 13 oktober 2015 med lågt lufttryck (CTI). En grusbil fick tillkallas för att justera gruset vid anslutningen vid *Sektion 6*, men detta påverkade inte det område där mätningarna utfördes. Den 14 oktober fortsatte spårdjupstestet med normalt lufttryck. På grund av frost startades mätningarna klockan 11.00, då ytan hade tinat upp.

Materialprov lämnades in på laboratorium på morgonen den 15 oktober 2015 och samma dag vägdes lastbilen på Ortvikens vågbrygga samt med portabla fordonsvågar.



Figur 13.
Siktcurva underbyggnad. Notera att x-axeln inte börjar på 0.



Figur 14.
Siktkurva överbyggnad. Notera att x-axeln inte börjar på 0.

Resultat

Sektionerna där överbyggnaden kompakterats hade ett observerat CBR-värde för överbyggnaden på 17,3, vilket är 16 procent högre än för de okompakterade sektionerna, där CBR-värdet var 14,9. Den extra kompakteringen har också medfört, att CBR-värdet i undergrunden, är 17,5 procent högre för de sektioner där överbyggnaden kompakterats. CBR-värdet i undergrunden ökade från ett lägsta värde för den okompakterade terrassen via ett mellanläge, för en kompakterad terrass och var som högst efter påförel av överbyggnad (Tabell 4, Figur 15).

Tabell 4.
Medeltal för CBR-värdet i undergrunden för de olika stadierna i vägbyggnationen beroende på om överbyggnaden packats.

Åtgärd	Terrass	Kompakterad terrass (Terrasserad + kompaktering)	Färdig väg (Terrasserad + kompaktering + grustrafik + kompaktering överbyggnad).
Ej packning av överbyggnad	27,1	38,4	49,6
Packad överbyggnad	26,9	33,8	58,4



Figur 15.
Medelvärde CBR per åtgärd, Terrass + kompaktering + grustransport för *Sektion 1–3* finns även en extrakompaktering av överbyggnaden.

Ökningen av CBR-värdena mellan de tre vägbyggnadsstadierna (terrass, kompakterad terrass, och färdig väg), är signifikant både för sektionerna med och utan kompaktering av överbyggnaden. Däremot finns ingen signifikant säkerställd skillnad i CBR-värde för undergrunden i den färdiga vägen, mellan den väg där överbyggnaden packats och kontrollvägen (Figur 16), även om det är troligt enligt analysen ($p = 0,112$).

Det var stor variation i CBR-värde för okompakterad terrass mellan de olika sektionerna, beroende på det mycket heterogena material terrasserna var konstruerade av (Figur 15). För sektionerna med 30–50 procent finfraktion, är ökningen i CBR-värde mellan varje stadium av vägbyggnaden säkerställd. För vägen med lägre finfraktionsandel, är ökningen av CBR-värde bara statistiskt säkerställd mellan kompakterad terrass och färdig väg. Mellan sektionerna med <30 procent och 30–50 procent finfraktion, finns inga skillnader i CBR-värde, vare sig för den kompakterade terrassen eller för den färdiga vägen. De finfraktionsrika sektionerna har ett signifikant lägre CBR-värde än de övriga oavsett vägbyggnadsstadium och skillnaden i CBR-värde, mellan den kompakterade terrassen och den färdiga vägen, är inte säkerställd för de finkornsrika sektionerna.

Vid en jämförelse av de färdiga vägarna där man tar hänsyn till materialet i terrassen, så visar det sig att kompakteringen av ytan ökar CBR-värdet i undergrunden (Tabell 6). Denna effekt ökade dessutom ju finkornsrikare terrassen var. Anledningen till att ökningen i terrassens CBR-värde inte gick att säkerställa för de finkornsrikaste sektionerna, är att den bara ökat för den sektion

som det kompakterats för den andra har inte grustrafiken påverkat terrassen över huvud taget.

Det finns ingen säkerställd påverkan på CBR-värdet i överbyggnaden av kompaktering av densamma. Däremot är CBR-värdet i överbyggnaden beroende av CBR-värdet i terrassen och gruslagrets tjocklek.

Tabell 5.
Medeltal för CBR-värdet i de olika stadierna i vägbyggnationen beroende på andelen finfraktion i terrassen.

Finfraktionsandel i terrassen, %	Terrass	Kompakterad terrass	Färdig väg
<30	35,2	40,9	62,6
30–50	26,7	40,3	65,5
>50	19,1	27,2	34,0

Tabell 6.
CBR-värde i de olika stadierna i vägbyggnationen beroende på andelen finfraktion i terrassen.

Finfraktionsandel i terrassen, %	CBR Undergrund		CBR Överbyggnad	
	Obehandlad	Kompakterad	Obehandlad	Kompakterad
<30	63,2	62,0	14,1	20,6
30–50	60,1	70,8	18,6	20,7
>50	25,6	42,4	12,1	10,6

SPÅRBILDNING VID TRAFIK

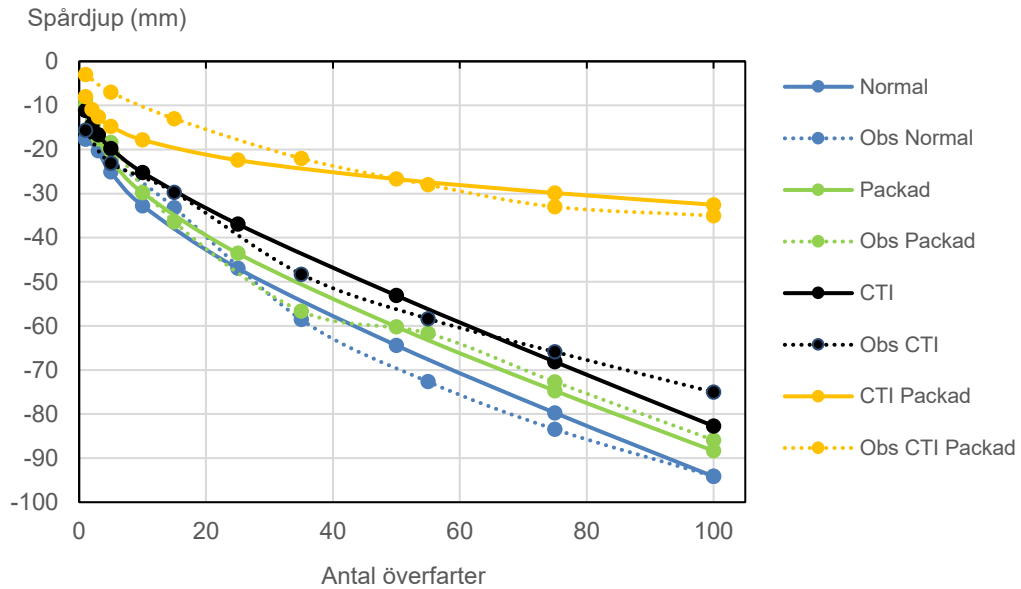
När testvägen trafikerades med det lastade testfordonet var spårbildningen generellt sett lägre då CTI användes. Det fanns ingen skillnad mellan de kompakterade och okompakterade sektionerna, då de trafikerades med ett fordon med normalt lufttryck i däcken. Däremot blev spårbildningen signifikant lägre för CTI-fordonet på de kompakterade sektionerna, jämfört med de okompakterade sektionerna (Figur 16). Spårbildningen (d) i överbyggnaden beror på terrassens CBR-värde. Antalet överfarter med lastbilen och om lastbilen använder CTI-systemet beskrivs av följande modell:

$$d = -25,4 + 0,298CBR_u + (17,2 - 8,0CTI) \log\left(\frac{1}{P}\right) - 0,49P \times a_1 - 0,54P \times a_2 - 0,46P \times a_3 - 0,06P \times a_4$$

Där:

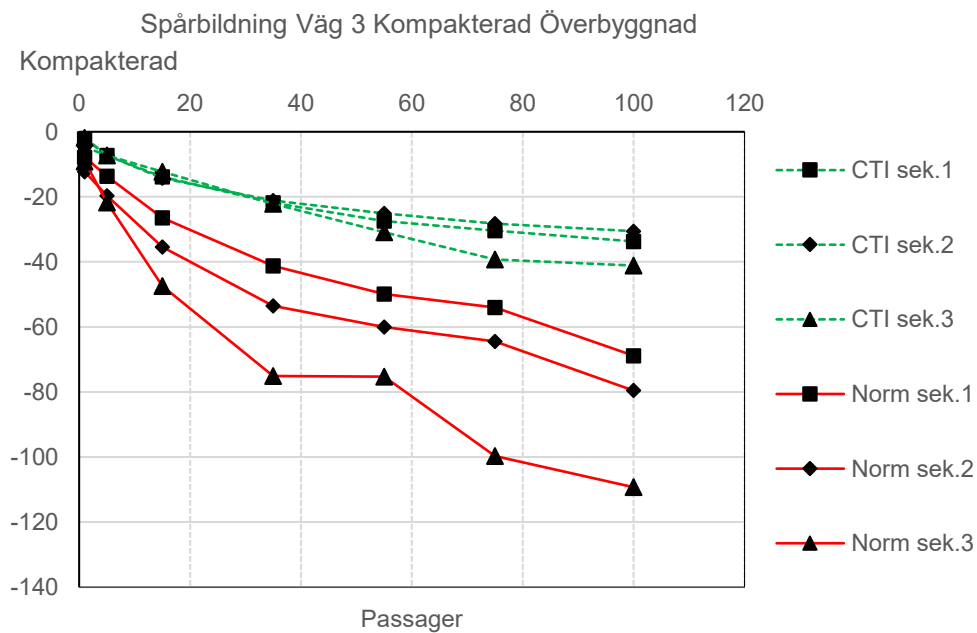
1) CBR_u = CBR undergrund, 2) $CTI = 1$ om CTI används, 3) $a_1 = 1$ om överbyggnaden är okompakterad och normalt däckstryck används, 4) $a_2 = 1$ om överbyggnaden är okompakterad och CTI används, 5) $a_3 = 1$ om överbyggnaden är kompakterad och normalt däckstryck används, och 6) $a_4 = 1$ om överbyggnaden är kompakterad och CTI används. I de fall en fix parameter inte uppfyller kravet för att vara lika med 1 så antar den värdet 0.

Det finns antydningar i materialet att grustjockleken i kombination med packningen har en signifikant inverkan på spårbildningen. Med tanke på den låga spridningen i medelgrustjocklek mellan de olika sektionerna har det ansetts för osäkert att inkludera denna interaktion i den statistiska analysen.

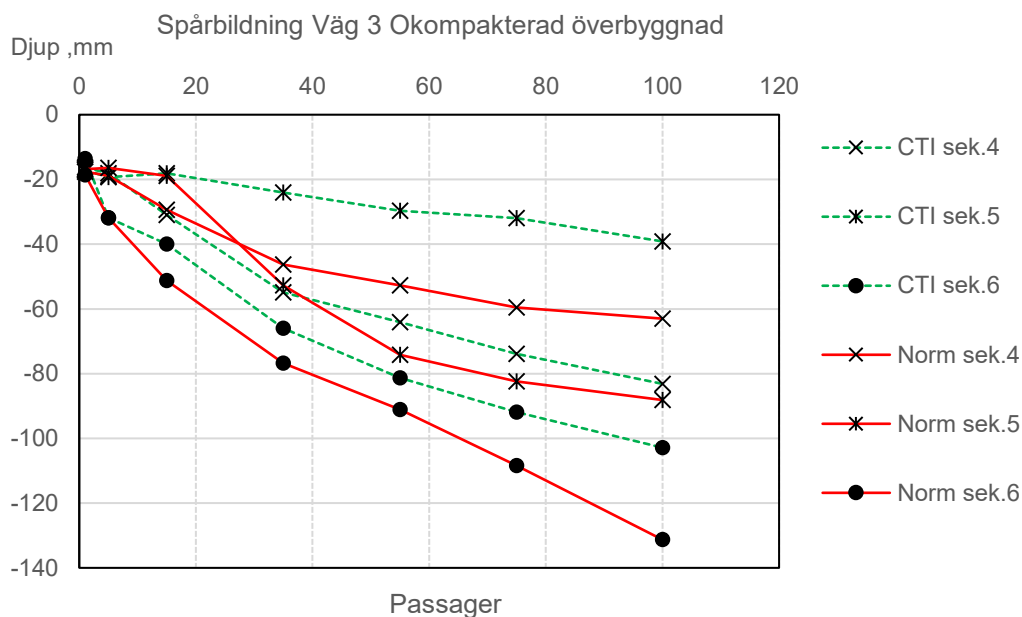


Figur 16.
Spårbildning beroende på behandling. Streckad linje är observerade värden. Heldragen linje predikerade värden enligt modellen.

Den observerade spårbildningen för de olika teststräckorna varierar (Figur 17 och 18), huvudsakligen som en följd av skillnader i terrassens CBR-värde och fordonets däckstryck.



Figur 17.
Spårbildning kompakterad yta.



Figur 18.
Spårbildning kompakterad yta.

Diskussion

Det var tänkt att även effekten av mängden grus skulle ha utvärderats i denna studie. Det visade sig vara svårare än tänkt att kontrollera grustjockleken vid spridningen, vilket gav en liten variation i grustjocklek mellan sektionerna. Detta medför, att även om det finns antydningar i materialet att grustjockleken i kombination med packningen har en inverkan på spårbildningen, så går det inte att dra några entydiga slutsatser av grusmängdens inverkan.

BÄRIGHET

Andelen finmaterial i terrassen har stor inverkan på bärigheten i den nyanlagda terrassen, men också på hur mycket man kan öka bärigheten under vägbyggnadsarbetet. Kompaktering av terrassen och även den efterföljande trafiken då vägen grusas ökar terrassens bärighet, vilket avspeglas genom högre CBR-värde. Även om effekten är tydligare ju högre andelen finmaterialet är i terrassen, kan inte kompakteringen fullt ut kompensera för den lägre bärigheten hos det finare materialet. Kompaktering efter grusning kan öka bärigheten ytterligare, men det beror på materialet i terrassen och sannolikt även på gruslagrets tjocklek. Även mängden fukt i materialet påverkar erfarenhetsmässigt att resultatet av kompakteringen (Bradley, 2002). Vältens kompakterings förmåga beror på dess linjelast, samt antal överfarter. Ju högre linjelast, desto djupare går kompakteringen i terrassen.

En finkornsrik morän (>50 procent sand eller finare partiklar) ger inte en lika stadig terrass som en mindre finkornsrik terrass. Till viss del, men inte fullt ut, kan detta kompenseras genom mekanisk kompaktering med vält.

De studerade terrasserna var anlagda samma år som studien utfördes. Enligt Bradley (2002) kan man förvänta sig att tjällossning medför, ökad kompakteringsgrad på större djup i terrassen än vad en vält kan åstadkomma. Å andra sidan, så medför tjällossningen att man får en ytuppmjukning av vägen. Vägens bärighet ökar alltså då den får ligga över vintern, men risken för ytspår ökar. Vill man uppnå hög bärighet, d.v.s. en hög kompaktering av terrassen, kombinerat med låg risk för spårbildning, bör terrassen ligga över en tjällossning, varefter man kompakterar ytan med vält.

Den kompaktering som genomfördes med valsvälten efter grusning påverkade i första hand bärigheten i terrassen, men det finns en antydning om att även CBR-värdet i överbyggnaden påverkades. CBR-värdet i överbyggnaden är positivt korrelerat med det i terrassen. Detta innebär att då bärigheten i terrassen ökar, ökar även bärigheten i överbyggnaden. Även grusets tjocklek bör påverka överbyggnadens bärighet, men detta låter sig inte utredas med det insamlade materialet. I och med att grustjockleken varierar kraftigt mellan och inom sektionerna samtidigt som grustjockleken mätts i spåren efter att vägen färdigstälts går det inte att säga i vilken mån grustjockleken påverkats av valsvälten.

SPÅRBILDNING

Kompaktering med valsvält efter grusning hade ingen märkbar inverkan på spårbildningen då vägen trafikerades av ett lastat virkesfordon med normalt däckstryck, jämfört med den okompakterade referensvägen. Däremot minskade spårbildningen betydligt, då den ytkompakterade vägen trafikerades av ett virkesfordon med lågt däckstryck (CTI). Lågt däckstryck minskade även spårbildningen på den okompakterade referensvägen, om än inte i samma utsträckning.

Det är viktigt att notera att under försöket använde CTI-bilen ett lågt lufttryck, avsett för lastad bil på sämre grusväg under vårlika förhållanden. Denna studie visar att lågt lufttryck minskar risken för spårbildning. I och med att nivån på däckstrycket kan varieras i en CTI-utrustad lastbil, så kan inte den absoluta nivån i de uppmätta resultaten antas gälla alla bilar som använder CTI-utrustning. Den förväntade spårbildningen måste korrigeras utifrån STP-modellen, om andra fordonskonfigurationer, däckstryck och däckdimensioner används (Bergqvist m.fl. 2016).

Då bärigheten i terrass- och vägyta ökats genom kompaktering och CTI-utrustning används på virkesfordonen, så kan man köra ut mer virke innan spårbildningen når en kritisk nivå, jämfört med om man kör med normalt lufttryck på ej kompakterad yta. Hur mycket större transportarbete som kan utföras, beror givetvis på hur stort spårdjup som kan accepteras på terrass- och överbyggnadens tillstånd och egenskaper, fordonstyp, trafikintensitet etc.

Vid försöket gjordes även observationen att gruset ”bröts loss” från ytan mer vid normalt lufttryck och tenderade att skjivas i färdriktningen av fordonet. Dessa effekter observerades inte vid användande av CTI.

SLUTSATSER

Genom att öka bärigheten i terrassen genom kompaktering och använda CTI, kan man köra ut mer virke innan spåren i vägen blir lika djupa, som om man kör med normalt lufttryck på ej kompakterad yta. Som ett illustrerande exempel kan nämnas att om kritiskt spår djup sätts till 50 millimeter, så ökar antalet möjliga överfarter under de förhållanden som gällde i denna studie från 30–45, d.v.s. med cirka 50 procent, då CTI används på okompakterad väg. Medan den stiger från 35 överfarter till i stort sett obegränsad trafikerbarhet då CTI används i kombination med kompaktering.

Ur ett bärighetsperspektiv bör man undvika att bygga terrassen med moränmaterial med hög finkornsandel. I praktiken är detta inte alltid så lätt att tillämpa. Denna studie ger ytterligare tyngd åt tidigare studier som visar att bärigheten hos terrassen förbättras om man har möjlighet att låta vägen vila en tjällossning samt att därefter kompaktera terrassen med en vält med hög linjelast.

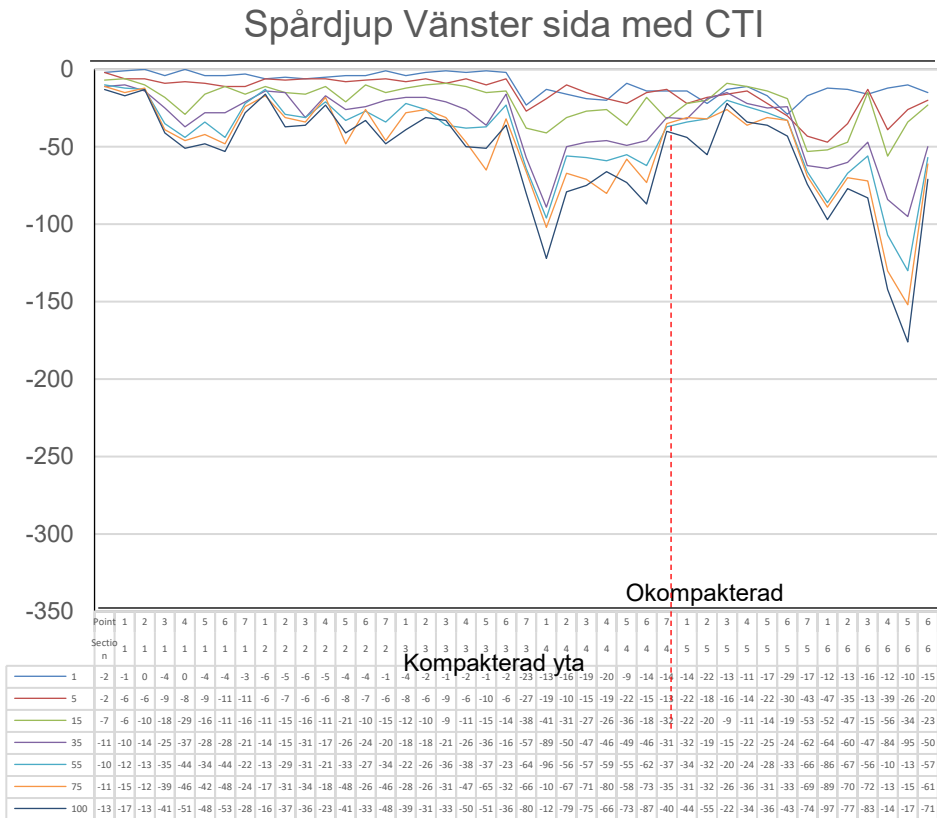
Referenser

- Skogsstyrelsen 2011, Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilväg klass 3 och 4.
- Bergqvist, M. & Björheden, R. 2016. Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden. – Validation of the Surfacing Thickness Program (STP) in Swedish conditions. 41 s.
- Bradley, A. 2001. Evaluation of forest access road design for use with CTI equipped logging trucks. FERIC Vol 2, No 53, October 2001.
- Bradley, A., 2002. Comparing green and seasoned forest access roads in northern Alberta FERIC Vol 3, No 27, June 2002. Bolander, P. 1995. Earth and Aggregate Surfacing Design Guide for Low Volume Roads, USDA Forest Service 1995.
- Heinimann, H.R. 2015. Forest Road Network and Pavement Engineering Revisited. FORMEC 2015, 48th International Symposium on Forestry Mechanization: "Forest engineering: Making a positive contribution". October 4–8, 2015 Linz, Austria.

Litteratur

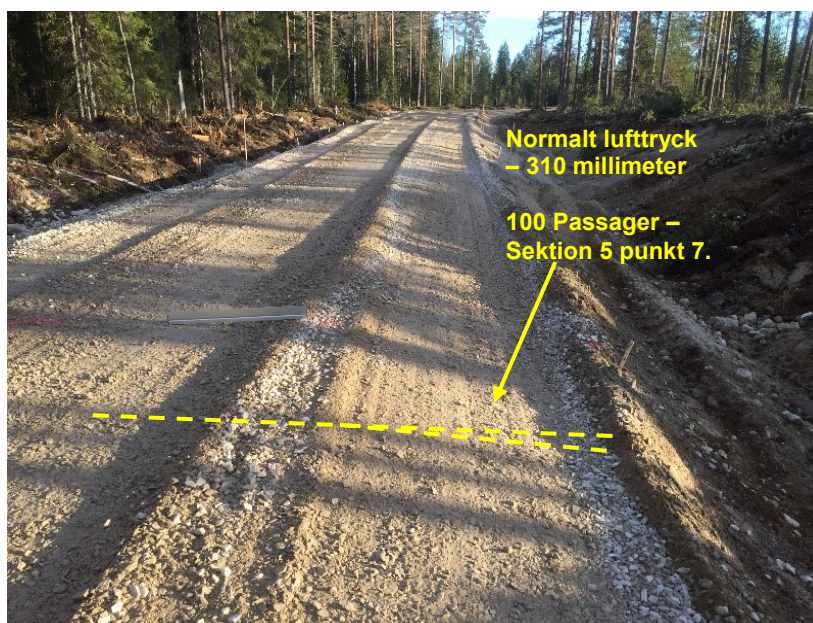
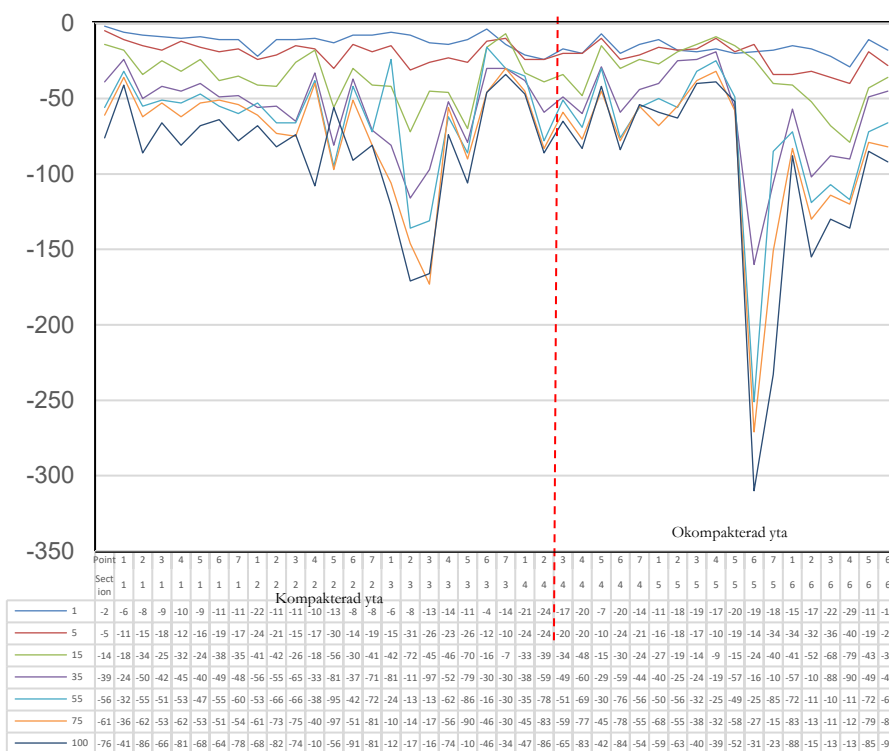
- Office of Minnesota Road Research. User guide to the dynamic cone penetrometer.
- ASTM, (*American Society for Testing and Materials Designation*): D 1883-99 Standard Test Method for CBR of Laboratory-Compacted Soils.

Spårdjupsmätningar – Diagram



Figur 19.
Spårdjupsmätningar, vänster sida.

Spårdjup Höger sida med Normalt lufftryck



Figur 20.
Spårdjup, höäger sida.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistiklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddeklar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.
- Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. 56 s.
- Nr 858 Frisk, M., Rönnqvist, M. & Flisberg, P. 2015. Vägrust – Projektrapport. 2015. – Vägrust – Project Report. 48 s.
- Nr 859 Asmoarp, V. & Jonsson, R. 2015. Fokusveckor 2014. Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2. – Monitoring fuel consumption of three rigs in the ETT project: ST-RME, ETT1 and ETT2 42 s.
- Nr 860 Johannesson, T. 2015. Ny teknik för askåterföring i skogsmark. – New technology for ash recycling on forest floor. 14 s.
- Nr 861 Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymer? – En fallstudie inom projektet "Skogsbrukets digitala kedja". – Are roadside stock volumes correct? – A case study in the Digital Chains in Forestry project. 17 s.
- Nr 862 Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. – Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning 38 s.
- Nr 863 Jonsson, R. 2015. Prestation och kvalitet i blädning med skördare och skotare. – Performance and costs in selective harvesting with harvester and forwarder. 27 s.
- Nr 864 Englund, M., Adolfsson, Niklas, Mörk, A., & Jönsson, P. 2015. Distribuerad arbetsbelysning – LED öppnar nya möjligheter för belysning hos arbetsmaskiner. – Distributed work lighting – LED lamps improve lighting on forest and agricultural machines. 20 s.
- Nr 865 Hofsten von, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s.
- Nr 866 Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltsmätare PREDIKTOR Spektron Biomass. – Evaluation of the Prediktor Spektron Biomass moisture content analyser. 10 s.
- Nr 867 Fridh, L. & Öhgren, J. 2015. Förstudie Automatisk skäppmätning av flis med laser. 20 s.
- Nr 868 Eriksson, A., Hofsten von, H. & Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. – System costs, logistics and quality aspects relating to seven supply chains for stump fuel. 29 s.
- Nr 869 Englund, M., Lundström, H., Brunberg T. och Löfgren, B. Utvärdering av Head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s.
- Nr 870 Löfroth, C. 2015. ETTaero – En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. – A pilot study of aerodynamic design of forest vehicles 32 s.
- Nr 871 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. – Damage after early thinning. 14 s.

- Nr 872 Fogdestam, N. & Löfroth, C. 2015 ETTdemo, demonstration av ETT- och ST-fordon. – ETTdemo, demonstration of ETT- and ST-vehicles. 34 s.
- Nr 873 Fridh, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. – Förslag till indelning, struktur och definitioner. – Forest fuel product characteristics- proposal for categories, structure and definitions. 46 s.
- Nr 874 Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. – Possibilities for coastal maritime transport of forest fuel in Sweden. 22 s.
- Nr 875 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av låg skärmar av björk. – Harvest of forest fuel when birch shelterwoods are removed. 15 s.
- Nr 876 Jacobson, S. 2015. Lågskärm av björk på granmark – Modellering av beståndsutveckling och ekonomisk analys. – The use of birch as a shelter in young Norway spruce stands – Modelling stand development and economic outcome. 39 s.
- Nr 877 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring en arbetmetod för täta kläna gallringar. – Thinning in Sections – a work method for small-tree harvest. 17 s.
- Nr 878 Eliasson, L. & Nilsson, B. 2015. Skotning av GROT direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring. – Forwarding of logging residue immediately after felling or after stor age on the clear-cut. – Effects on nutrient extraction, needle shedding, and moisture content. 10 s.
- Nr 879 Eriksson, B., Widinghoff, J., Norinm K. & Eliasson, L. 2015. Processkartläggning – Ett verktyg för att förbättra försörjningskedjor. – Process mapping – a tool for improving supply chains. 46 s.
- Nr 880 Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015. Förbättrade utbytesprognoser. – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. – Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. 14 s.
- Nr 881 von Hofsten, H. 2015. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. – Payload weighing using onboard scales connected to the air suspension of trucks. 10 s.
- Nr 882 Rosvall, O., Kroon, J. & Mullin, T.J. 2015. Optimized breeding strategies at equivalent levels of population diversity. 61 s.
- Nr 883 Högbom, L. & Rytter, R.-M. 2015. Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag - Etapp 2. – Slutrapport till Energimyndigheten 2015. – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2. – Final report to The Swedish Energy Agency 2015. 17 s.
- Nr 884 Hannrup, B., Andersson, M., Henriksen, F., Högdahl, A., Jönsson, P. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor. – Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits. 32 s.
- Nr 885 Willén E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering. En jämförelse mellan sju skogsföretag – A comparison of seven forest companies 2015. 31 s. + Bilaga 2-8.
- Nr 886 Johansson, F. 2015. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon 2014. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT and ST vehicles 21 s.
- Nr 887 Högberg, K.A. 2015. Selektionseffekter vid förökning av gran med somatisk embryogenes. – Selection effects of somatic embryogenesis in propagation of Norway spruce. 11 s.

- Nr 888 Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
- Nr 889 Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybridal.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for inscreased biomass production för energy in Sweden. 28 s.
- Nr 888 Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
- Nr 889 Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybridal.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for inscreased biomass production för energy in Sweden. 28 s.
- Nr 890 Asmoarp, V. & Enströöm, J. 2015. Fokusveckor 2015-Bränsleuppföljning för ETT 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. – Focus Weeks 2015 Monitoring fuel consumption of a 74-tonne chip truck in the ETT project. 25 s.
- Nr 891 Johannesson, T., Enström J. & Ohls, J. 2015. Test av paraffinolja för att motverka fastfrysning av flis i containrar. – Test of paraffin oil to prevent wood chips freezing onto surfaces in steel containers. 5 s.

År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materias. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.

- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning-stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient.. 47 s.
- Nr 900 Pettersson, F. 2016. Effects of type of thinning and strip road distance on timber production and economy in the Scots pine field experiment at Kolfallet. Results after two thinnings and a 20-year study period.
- Nr 901 Eliasson, L., Mohtasami, S. & Eriksson, A. 2016. Analys av ett högproduktivt flissystem – Analysis of factors affecting a high productive chip supply system. 20 s.
- Nr 902 Enström, J., Asmomarp, V., Davidsson, A., Johansson, F., Jönsson, P. & Mohtashami, S. 2016. Transportsystemet Inlandsbanan – The Inlandsbanan transport system. 50 s.
- Nr 903 Klingberg, A., Persson, T. & Sundblad, L.G. 2016. Projektrapport – Fröskörd från tallfröplantage T2 Alvik – Effekt av inkorsning på planteringsresultatet i fält (projekt nr 244). – Project report Harvests from the T2 Alvik orchard – Effect of cross-pollination on operational planting outcome.
- Nr 904 Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskadorna i skogsbruket – How operational procedures and depth-to-water maps can reduce damage on soil and water and rutting in the Swedish forestry 28 s.
- Nr 905 Berlin, M. & Friberg, G. 2016. Proveniensval av Svartgran i Mellansverige. – Provenance choice of black spruce in central Sweden.. 22 s.
- Nr 906 Grönlund, Ö. 2016. Kontrollmätningens utformning vid chaufförers travmätning. – Quality control procedure for stack measurement by truck drivers. 16 s.
- Nr 907 Björheden, R. 2016. Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie. – Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study. 26 s.
- Nr 908 Bhuiyan, N., Hannrup, B., Nordström, M. & Larsolle, A. 2016. Beslutsstöd för stubbskörd.– Utveckling av ett prototypprogram för snabbare implementering i skogsbruket. – Decision-support tool for stump harvest. – Development of prototype software for faster implementation in forestry. 22 s.
- Nr 909 Möller, J.J., Siljebo, W., Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2016. Modul för beräkning av skogsbränsle baserat på skördardata. – hprCM version 1.0 – Harvested Production Calculation Module baserad på StanForD 2010 version 3.2.
- Nr 910 von Hofsten, H., Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2016. Prestation och bränsleförbrukning för två stora trumhuggar avsedda för flisning på terminaler. – Production and fuel consumption for two large drum chippers. 14 s.
- Nr 911 Jonsson, R., Jönsson, H. & Lundström 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 harwarder med snabbfäste. – Performance and cost in final felling for Komatsu X19. Harwarder with quick hitch. 40 s.

- Nr 912 Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Manner J. Prestation och kostnader för rivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning – Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in heavy-timber final felling. 38 s.
- Nr 913 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, P., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. – Cutting capacity of saw chains – a comparative study. 38 s.
- Nr 914 Skutin, S.G. & Bergqvist, M. 2016. Slutrapport – Rapport Bergtäkt. – Potentialer till kortare ledtider i miljöprövningen. – Final report of the 'Rock Quarry' project. Potential to shorten lead times in environmental assessment. 44 s.
- Nr 915 Ottosson, P., Andersson, D. & Fridh, L. 2016. Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie. – Radar technology for measuring moisture content – a preliminary study. 23 s.
- Nr 916 Löfgren, B., Gelin, O. & Henriksen, F. 2016. Gentle – Proof of Concept. 63 s.
- Nr 917 Bergqvist, M., Björheden, R. & Eliasson, L. 2016. Kompakteringseffekter på skogsbilvägar. – Effect of compaction on forest roads. 24 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 917–2016



www.skogforsk.se