



# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 920–2017

## **Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden**

Validation of the Surfacing Thickness Program  
(STP) in Swedish conditions

Mikael Bergqvist, Allan Bradley, Rolf Björheden och Lars Eliasson

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 920-2017

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

## Titel:

Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden.

Validation of the Surfacing Thickness Program (STP) in Swedish conditions.

## Bildtext:

Spår djupsmätning.  
Fotograf: Allan Bradley.

## Ämnesord:

Skogsbilväg, CTI, överbyggnad, spårbildning, TPC, Surfase thickness, rutting.

## Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2017

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**, skogssingenjör. Arbetar med vägfrågor inklusive verifiering och tillämpning av STP, Surface Thickness Program.



**Allan Bradley**, ingenjör. Registered Professional Forester. Ansvarig för FoU kring skogsbilvägar vid Kanadas skogliga forskningsinstitut FPLInnovations, stationerad i Vancouver.



**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

Reliable access to forest road networks is becoming increasingly important to the forest industry. As mills seek to operate with smaller roundwood inventories, there is a growing need for precisely timed and cost-effective log deliveries. Warming climate, with shorter periods of well frozen winter conditions, and a desire to use "just in time" delivery principles increase the challenge. In order to secure industry's demands at the lowest possible total cost, road construction and maintenance must be organized so that transport accessibility is guaranteed.

In Sweden, the Swedish Forest Agency's Guidelines for Planning and Construction of Road Class 3 & 4 (Skogsstyrelsen, 2011) are used for forest road construction. The surfacing tables in the guidelines are based on:

- The in-situ subgrade material type.
- Road construction type (through cut or raised embankment).
- Intended road accessibility class.

In the United States, the USDA Forest Service Surfacing Thickness Program (STP) is used to calculate the thickness of the surface of forest roads in relation to rut formation and traffic load. STP is based on more parameters in calculating the thickness of the surface than the Swedish surfacing tables.

The aim of this study was to validate the STP rut depth model under actual Swedish field conditions. Three test road loops, each with a different subgrade and a variety of gravel surfacing depths, were built in summer 2015 and used to test the accuracy of STP rutting rate predictions. The trafficking trials, involving a timber transport truck fitted with a CTI system, were carried out in autumn 2015. Rut growth was measured at regular increments during the trafficking of the test loops; trafficking was with normal, highway, tire pressures on one side of the road and with optimized tire pressures on the other side of the road. Measured rutting rate, for each tire inflation condition and subgrade type, was then compared with the rutting predictions from STP.

The mean deviation between STP and the actual rut depth on the three test roads was relatively small (Figure 31). The variation in the difference between predicted and measured rut depth was large compared to the mean difference which means, in most cases, the hypothesis that the actual and the calculated rut depths are different could not be statistically confirmed. In other words, the STP model was capable of predicting the actual rut depth in most cases.

The comparison demonstrated that the STP model works well under Swedish conditions but could, at least for the three test roads, be calibrated to increase precision. The conclusion is that STP can be used to optimize aggregate surfacing thicknesses for forest road surfaces in Sweden, and that a set of tables with standard values for many of the parameters needed for the STP model would considerably facilitate such a use.

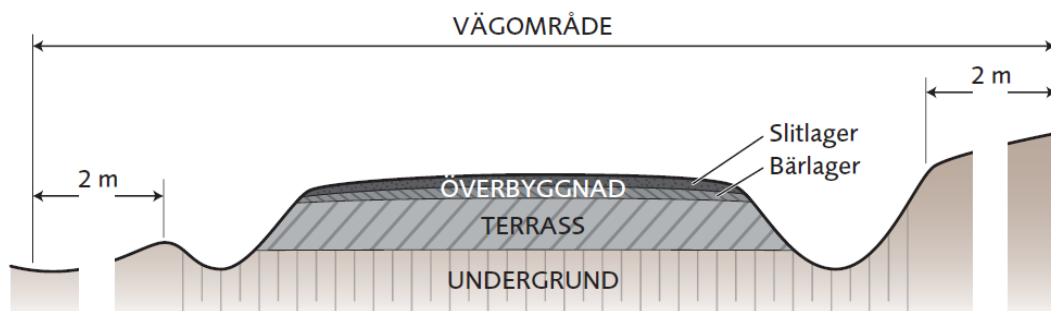


## Ordlista och begreppsförklaring

Här beskrivs väg- och mättekniska termer samt begrepp som sammanhänger med STP-programmet. Dessutom redovisas vilka omvandlingsfaktorer som använts mellan amerikanska enheter och motsvarande SI-enheter.

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) mätinstrument som mäter mekaniskt penetrationsmotstånd i vägmateriäl.
EF	=	Ekvivalensfaktor, beskriver hur många standardaxlar (ESAL) en aktuell axel eller axelgrupp motsvarar.
ESAL	=	(Equivalent Single Axle load) standard-axelbelastning enligt STP (=18 kip/8,16 t axellast och 80 psi/551,72 kPa).
Kip	=	Massa, kilopounds. 1 kip motsvarar 0,453 ton.
Psi	=	Tryck, pound per kvadrattum. 1psi motsvarar 6,896 kPa.
STP	=	(Surfacing Thickness Program) modell för beräkning av överbyggnad.
Terrass	=	se Underbyggnad.
Underbyggnad	=	Vägens undre del, oftast uppbyggd av material från platsen, benämns även som terrass.
Undergrund	=	Den naturliga mark vägen byggs på.
Överbyggnad	=	Påfört material i form av t.ex. grus eller asfalt.

### Vägens delar





# Innehåll

Ordlista och begreppsförklaring .....	1
Förord .....	3
Sammanfattning.....	4
Bakgrund .....	5
Bakgrund om Surface Thickness Program .....	5
Validering av STP i Sverige .....	6
Syfte .....	6
Material och metoder.....	7
Introduktion till STP-modellen .....	7
Spår djupsberäkning .....	7
Ekvivalensfaktor för jämförelse av fordons vägpåverkan .....	8
Vägning .....	10
California Bearing Ratio, CBR.....	11
Dynamisk konpenetrometer, DCP .....	12
Sektionsindelning.....	14
Materialprov .....	15
Grustjocklek .....	16
Spår djupsmätning .....	17
Försöksfordon och mätning av marktryck .....	18
Försöksvägar .....	20
Väg 1.....	21
Väg 2.....	25
Väg 3.....	28
Analys .....	31
Resultat .....	32
Spårbildning.....	32
Statistisk analys, validering av STP.....	34
Diskussion .....	35
CTI.....	35
STP .....	36
Tillämpning av STP-modellen i praktiken .....	37
Referenser.....	38
Bilaga 1 Sektionsvisa medeltal av spårbildning beroende på antal överfarter ...	39

## Förord

Detta försök att validera STP för svenska förhållande möjliggjordes via ett nära samarbete mellan FPInnovation i Kanada och Skogforsk. SCA var markvärd för studien och har genomgående visat stort intresse och engagemang för försöket. Ett stort tack till SCA:s personal, och till åkerier och entreprenörer som hjälpte oss att utföra försöket!

Namn	Företag
Magnus Bergman	SCA Skog AB
Kjell Elfen	Elfvens Schakt AB
Magnus Elfen	Elfvens Schakt AB
Gustav Friberg	Skogforsk
Oscar Gustavsson	SCA Skog AB
Anna Henkel	SCA Skog AB
Henrik von Hofsten	Skogforsk
Malin Johansson	Åkeri Centralen I Östavall
Tomas Johansson	SCA Skog AB
Mikael Kullström	SCA Skog AB
Hans Owen	Owens Buss AB
Maria Petré	Petre Consulting
Rolf Sandström	Torpshammars Transport AB
Rudolf Sundström	Grofälls gård
Evy Skåle	Owens Buss AB
Henrik Strömbäck	JS Frakt AB i Sundsvall
Kjell Vallblom	Fjell Vallblom firma
Daniel Yring	SCA Skog AB
Östavall Svets och Maskin AB	
NCC-Laboratoriet i Sundsvall	

Uppsala 2016-12-19

Mikael Bergqvist

## Sammanfattning

Vägnätets tillgänglighet får allt större betydelse för skogsnäringen. Detta är en följd av ökade krav på precision i leveranser samtidigt som kravet på kostnads-effektivitet har ökat och lagernivåerna för rundvirke sänks. Ett varmare klimat med längre förfallsperioder och en önskan att införa lägre lagernivåer ökar utmaningen. För att säkerställa industrins virkesbehov till lägsta möjliga total-kostnad är det viktigt att vägnätet är tillgängligt för transporter, vilket innebär att vägbyggnad och underhåll måste anpassas på ett sådant sätt att tillgängligheten garanteras.

I Sverige används Skogsstyrelsens Anvisningar för projektering & byggande av *Vägklass 3 och 4* (Skogsstyrelsen, 2011) för skogsbilsvägbyggnad. Överbyggnadstabellerna i anvisningarna bygger på.

- Undergrundens materialtyp.
- Vägbyggnadstyp (skärning eller bank).
- Avsedd tillgänglighetsklass.

I Nordamerika används US Forest Service Surfacing Thickness Program (STP) för att beräkna överbyggnaden på skogsbilvägar relaterat till spårdjupsbildning och trafikbelastning. STP bygger på fler parametrar i beräkningen av överbyggnadens tjocklek än de svenska överbyggnadstabellerna.

Denna studie genomfördes för att i fält validera och utvärdera spårdjupsmodellen STP för svenska förhållanden. Tre provvägar med olika undergrund byggdes i fält under sommaren 2015 och modellerades i STP. Testkörning med lastbil utrustad med CTI-system utfördes under hösten 2015. Verkligt spårdjup inmättes efter testkörning med normalt däcktryck och med CTI. Detta jämfördes med det genom STP beräknade spårdjupet. Jämförelsen visar att STP-modellen fungerar för svenska förhållanden, men att den bör nivåjusteras för att öka precisionen. Slutsatsen blir att STP kan användas för beräkning av lämplig dimensionering av överbyggnad i Sverige, och att tabellverk med standardvärden för flera av de för STP-modellen nödvändiga parametrarna väsentligt skulle underlätta en sådan användning.



## Bakgrund

Vägnätets tillgänglighet får allt större betydelse som en följd av ökade krav på precision i leveranser och ett varmare klimat med längre förfallsperioder, samtidigt som kravet på kostnadseffektivitet har ökat och lagernivåerna för rundvirke sänks. För att säkerställa industrins virkesbehov till lägsta möjliga totalkostnad är det viktigt att vägnätet är tillgängligt för transporter, vilket innebär att dimensionera vägbyggnad och underhåll måste anpassas på ett sådant sätt att tillgängligheten garanteras.

I Sverige används Skogsstyrelsens Anvisningar för projektering och byggande av vägklass 3 och 4 (Skogsstyrelsen, 2011) för skogsbilsvägbyggnad. Överbyggnadstabellerna i anvisningarna bygger på

- Undergrundens materialtyp.
- Skärning eller bankbyggnad.
- Önskad tillgänglighetsklass.

Tabellerna tar ingen hänsyn till trafikmängd eller däcktryck och baseras på ett enkel-axeltryck på 10 ton och ett boggietryck på 18 ton. Inom skogsbruket följer man inte alltid rekommendationerna i tabellverken. I vissa fall klarar man sig med mindre överbyggnad, men accepterar spårbildning. Samtidigt utgör väghållningskostnaderna en allt högre andel av skogsbrukskostnaden. Ur kostnads- och transportsäkerhetssynpunkt blir det därmed allt viktigare att korrekt dimensionera överbyggnaden på vägarna. CTI kan ge möjligheter att sänka väghållningskostnaden, men hur påverkar CTI-utrustning utformningen av överbyggnad?

### **BAKGRUND OM SURFACE THICKNESS PROGRAM**

Pionjärer i användningen av CBR-värden för att designa vägar med tunnare beläggningar var California Division of Highways. (CBR förklaras närmare i ett separat avsnitt nedan). Underlaget användes t.ex. av US Army Corps of Engineers (COE) under andra världskriget vid design av flygfält. En uppgradering av CBR-värden för design av överbyggnader gjordes av American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), baserat på fler variabler, jämfört med första studien.

Flera modeller utvecklades av COE baserat på dessa nya data, bl.a. utvecklades under 1970-talet en metod som bygger på en linjär regressionsmodell (Barber, 1978). US Forest Service kontrakterade ARE Engineering Consultants för utveckling av en handledning för vägdesign. I detta arbete användes Barbers modell för grusvägar. ARE utvecklade även dataprogrammet ”Surfacing Thickness Program” för att automatisera beräkningar och detta resulterade i Surfacing design guide for low volume roads (Bolander, 1995).

Däcktryckets betydelse för spårbildning utvärderades 1988 av COE Waterways Experiment Station (Grau, 1988) och baserat på denna studie kunde däcktryck införas som variabel i STP. STP-modellen kom till användning i skogsbruket i Kanada genom insatser från FERIC (nuvarande FPInnovations), då de utförde en utvärdering av olika vägdesign för timmerbilar utrustade med CTI (Bradley, 2001). Studien utvärderar US Forest Service Surfacing Thickness

Program (STP), som används för att beräkna överbyggnaden på skogsbilvägar relaterat till spårdjupsbildning och trafikbelastning.

STP bygger på fler parametrar i beräkningen av överbyggnadens tjocklek än svenska överbyggnadstabeller. Ingående parametrar i STP-modellen är:

- Hållfasthet i underbyggnad.
- Hållfasthet i överbyggnad.
- Tjocklek överbyggnad.
- Axellaster.
- Antal axlar.
- Däckstryck.
- Antal passager.
- Accepterat spår djup.

Modellen används för att förutsäga spårbildning. Genom att bestämma ett ”acceptabelt” spår djup efter viss trafikbelastning kan användaren beräkna hur tjock överbyggnad som behövs på den projekterade vägen.

## **VALIDERING AV STP I SVERIGE**

Skogforsk beslutade att söka validera modellen för svenska förhållanden och se om STP även kan användas för överbyggnadsberäkningar och -optimering på svenska skogsbilvägar.

Valideringen av modellen utfördes genom fältförsök av modellen. Värd företag, med ansvar för att iordningställa försöksvägar för valideringen var SCA Skog. Vid användandet av STP beräknas hållfastheten i vägen med konpenetrometer och uttrycks i CBR (California Bearing Ratio). Mätmetoder och värden skiljer sig från vad som är vanligt i Sverige. Det var därför värdefullt att vi, genom benäget bistånd från FPInnovations, kunde säkerställa att alla mätningar genomfördes på samma sätt som i Nordamerika, vilket minskar risken för att metodskillnader påverkar jämförbarheten mellan våra försök och de dataserier som insamlats i Kanada.

## **SYFTE**

Syftet med denna studie är att i fält utvärdera och validera spårdjupsmodellen från STP för svenska förhållanden, dels för normalt lufttryck och dels med optimerat lufttryck. Dessutom utvärderas spårbildning vid trafik med och utan CTI.

# Material och metoder

## INTRODUKTION TILL STP-MODELLEN

US Forest Service Surfacing Thickness Program (STP), används för att beräkna överbyggnad på skogsbilvägar relaterat till accepterad spårdjupsbildning och trafikbelastning. Modellen för beräknat spårdjup tar hänsyn till; Vägens beskaffenhet, tygfordonets utformning och mängden trafik, samt hur dessa faktorer samverkar.

Vägens beskaffenhet beskrivs genom bärigheten i terrassen och överbyggnadens bärighet angivet i CBR och överbyggnadens tjocklek. Ju högre CBR-värde desto högre bärighet. Fordonets utformning består av hur många standardaxlar ett fordon motsvarar. Standardaxeln benämns ESAL och motsvarar en axel med 8,16 ton axeltryck och ett däcktryck 552 kPa. Ju högre axellast och högre däcktryck desto fler standardaxlar motsvarar axeln. Den totala trafikbelastningen anges som antal överfarter multiplicerat med antalet standardaxlar, d.v.s. hur många standardaxlar som belastar vägen.

I samband med mätningar för validering av STP så utfördes kompletterande mätningar med en lätt fallvikt (LWD Light weight deflectometer). Resultatet av dessa mätningar tas inte upp i denna studie.

## SPÅRDJUPSBERÄKNING

Modellen som testats i valideringen avser spårbildning på skogsbilvägar med grusöverbyggnad. Modellen lanserades av Barber, Odom & Patrick (1978). Modellen kompletterades med koefficienter för lufttryck av Grau (1993). Och anpassades slutligen av US Forest Service (Bolander, 1995) för användning av skogsbruket.

$$RD = \frac{3.7852 \times (R_{actual} \times EF_{total})^{0.2418}}{[(\log(t))^{1.567} \times C1^{0.9169} \times C2^{0.0365}]}$$

Där:

RD = Spårdjup, tum.

$R_{actual}$  = Antal passager.

$EF_{total}$  = Ekvivalensfaktor för lastbil och släp, d.v.s. hur många standardaxlar. (Equivalent Single Axle Load, ESAL) ekipaget motsvarar:

$t_{mm}$  = Överbyggnadens tjocklek, tum.

C1 = CBR-värde för överbyggnad.

C2 = CBR-värde för terrass.

För användning i Sverige har modellen anpassades till SI enheter och spårdjupet uttrycks som ett negativt tal. Modellen för spårdjup i millimeter blir därmed enligt följande:

$$Spårdjup = - \left( 25,4 \times \frac{3.7852 \times (R_{actual} \times EF_{total})^{0.2418}}{[(\log(t_{mm}/25,4))^{1.567} \times C1^{0.9169} \times C2^{0.0365}]} \right)$$

Där:

- Spårdjup = Spårdjup, mm.  
 $R_{actual}$  = Antal passager.  
 $EF_{total}$  = Ekvivalensfaktor för lastbil och släp, d.v.s. hur många standardaxlar. (Equivalent Single Axle Load, ESAL) ekipaget motsvarar:  
 $t_{mm}$  = Överbyggnadens tjocklek, millimeter.  
 $C1$  = CBR-värde för överbyggnad.  
 $C2$  = CBR-värde för terrass.

## EKVIVALENSFAKTOR FÖR JÄMFÖRELSE AV FORDONS VÄGPÅVERKAN

En viktig enhet för STP-modellen är ”standardaxellasten”, som benämns ESAL (*Equivalent Single Axle Load*). Standardaxeln belastas med 18 kip (8,16 t) axellast och har ett däcktryck på 80 psi (552 kPa). Lastbilens påverkan i STP-modellen uttrycks genom beräkning av fordonets Ekvivalensfaktor, EF, som beskriver hur många ESAL fordonet motsvarar. EF kan beräknas för en enskild axel, för en axelgrupp eller för hela fordonet. I det senare fallet benämns faktorn  $EF_{total}$ .

För att beräkna EF för olika axlar/axelgrupper utnyttjas formeln (omräknad till SI enheter):

$$EF_{axelgrupp} = \frac{(EF \times (axellast/0,453))^{2,0629} \times (luftryck/6,896)^{2,3329}}{2353167}$$

Där:

- $EF_{axelgrupp}$  = Hur många ESAL axeln/axelgruppen motsvarar.  
 $EF$  = Ekvivalensfaktor beroende av axelgruppens konfiguration se tabell.  
 Axellast = Last för axeln/axelgruppen angivet i ton.  
 Luftryck = Luftryck i däcken angivet i kPa.

För att översätta aktuell axelkonfiguration till ESAL används Ekvivalensfaktor, EF, från AASHTO med värden (Tabell 1) som erhållits från FPIInnovations. För lastbilen i försöket används t.ex. för styraxel EF 0,57 och för boggiaxel EF 0,29.

Tabell 1.  
Ekvivalensfaktorer (EF) för några axelkonfigurationer.

	Enkel axel	Enkel axel	Boggie	Tridem
	Enkelmontage	Dubbelmontage	Dubbelmontage	Dubbelmontage
EF	0,57	0,48	0,29	0,21

$EF_{total}$  är summan av  $EF_{axelgrupp}$  för fordonet och motsvarar detta antal standardaxlar (ESAL);

$$EF_{total} = EF_{axelgrupp1} + EF_{axelgrupp2} + EF_{axelgrupp3} + EF_{axelgrupp4}$$

I Tabell 2 visas hur  $EF_{total}$  beräknats för *Fordon 3* i studien.

Tabell 2.  
Exempel EF för *Fordon 3*.

	Lastbil	Släp			Summa
	Styraxel	Boggie	Boggie	Boggie	$EF_{total}$
EF	0,57	0,29	0,29	0,29	
Däcktryck (kPa)	883	717	841	841	
Axellast (t)	6,84	20,8	17,06	18,00	
$EF_{axelgrupp}$	2,96	4,49	4,33	4,83	16,61

I denna studie passerade lastbilen enbart lastad över provsträckorna. Om lastbilen går tur och retur skall lastade  $EF_{axelgrupper}$  och tomma  $EF_{axelgrupper}$  summeras för att  $EF_{total}$  skall motsvara en passage. I Tabell 3 redovisas de  $EF_{total}$ -värden per passage som användes i studien.

Tabell 3.  
EF per passage.

Fordon/ Väg	1	2	3
Totalvikt	64,22	60,91	62,7
$EF_{total}$ , Normalt lufttryck	17,49	15,98	16,61
$EF_{total}$ , CTI	4,35	4,06	4,11

## VÄGNING



Figur 1.  
Vägning med portabla fordonsvågar.

För att räkna ut lastbilens belastning på vägen i STP så måste även axellast, däcktryck och axelkonfiguration mätas. Däcktrycket registrerades via lastbilens manöverpanel för CTI.

Axellasten mättes på fordonsvåg vid SCA Ortvikens mätstation på fordonsvågarna genom att lastbilen fick köra på vågen med en axel i taget, varvid mätning utfördes och sedan köra av med en axel i taget, varvid mätning utfördes på varje axel. Vägning utfördes även med portabla fordonsvågar för att mäta vikten vid varje hjul, detta för att upptäcka eventuell snedbelastning samt för bestämning av fotavtryck, se nedan. Vid skillnader mellan värden från Ortvikens fordonsvåg och de portabla fordonsvågarna användes värdet från Ortvikens fordonsvåg, som ansågs mera tillförlitlig. Vägning av lastbilen utfördes då spårdjupskörningen för varje enskild väg var över, d.v.s. en vägning efter körning av *Väg 1* och en vägning efter körning av *Väg 2* o.s.v. Under valideringen av STP genom spårdjupskörning får ej lasten ändras eller bytas utan ny inmätning. I studien kördes försöksfordonet genom hela försöket med konstant last.



Figur 2.  
Kontrollpanel för CTI.

## CALIFORNIA BEARING RATIO, CBR

California Bearing Ratio, CBR, är en amerikansk standard för att beskriva ett vägmaterials bärförmåga. Bärförmågan bestäms genom ett penetrationstest som mäter kraften per ytenhet för att föra ned en standardiserad cylinder i ett material i en standardiserad hastighet (den kraft som krävs för att pressa en cylinder med diameter 50 millimeter i en hastighet av 1,25 millimeter per minut ned i materialet). Måttet uttrycks i procent gentemot värdet från ett standardmaterial (krossad kalifornisk kalksten) och beräknas enligt formeln:

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

Där:

P1 = kraft/ytenhet, N/mm<sup>2</sup> i aktuellt material.

P2 = kraft/ytenhet, N/mm<sup>2</sup> i standardmaterialet.



Det ursprungliga standardmaterialet är krossad kalifornisk kalksten, numera standardiserat via ASTM och AASTHO. CBR tas normalt fram i laboratoriemiljö, där man pressar ned en standardiserad stålcylder under mätning av tryck och nedsjunkningshastighet. Standarden beskrivs i ASTM (1999).

### Dynamisk konpenetrometer, DCP

I denna studie användes dynamisk konpenetrometer (DCP) för att avläsa vägens CBR-värde, eftersom laboratorietest av CBR-värde inte är tillgängligt i Sverige. DCP är också den lämpligaste metoden för CBR-uppskattning i fält. DCP är lätt att använda och internationellt vedertagen för mätning av CBR i fält, om ej lika noggrann som laboratorietest.

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 konans nedsjunkning får man ett penetrationsindex (DPI) i millimeter per slag, vilket används för att kunna beräkna CBR-värdet via formeln:

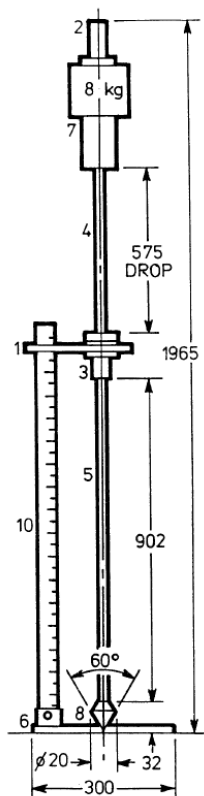
$$CBR = 10^{(2,46 - 1,12 \log DPI)}$$

Där:

DPI = mm per slag.

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 viktigt att ha med extra konspetsar vid mätning. Vid mätningarna användes kon med 60 graders spets.

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



Figur 3.  
DCP i fält, samt ritning med DCP'ns måttuppgifter.

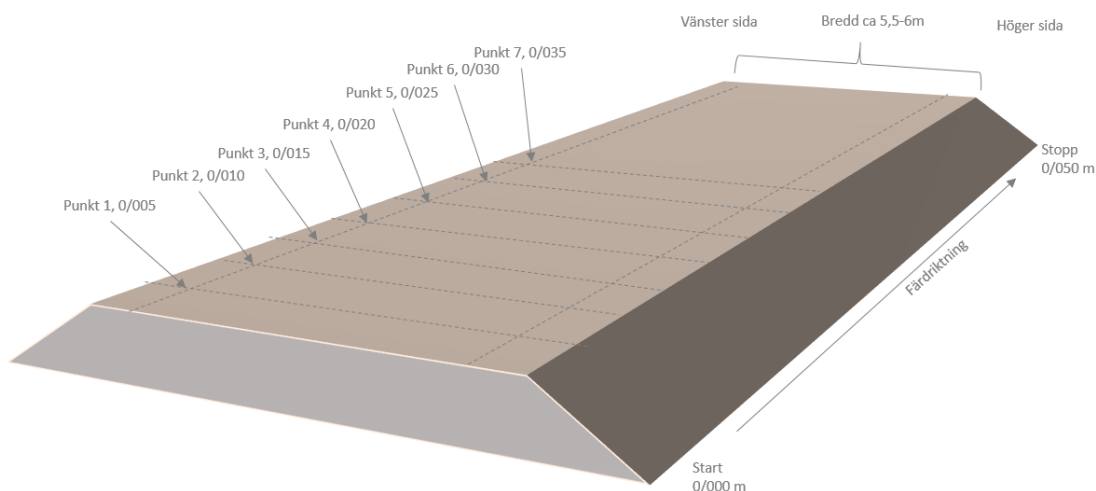
## SEKTIONSINDELNING

Försöken genomfördes på tre separata försöksvägar, särskilt konstruerade för försöket. Varje försöksväg hade olika material i vägterrassen beroende på olika grundförhållanden. *Väg 1* byggdes på ett finjordsrikt sediment, *Väg 2* på ”normal”, sandig-moig morän och *Väg 3* på ett sandigt-grusigt sediment.

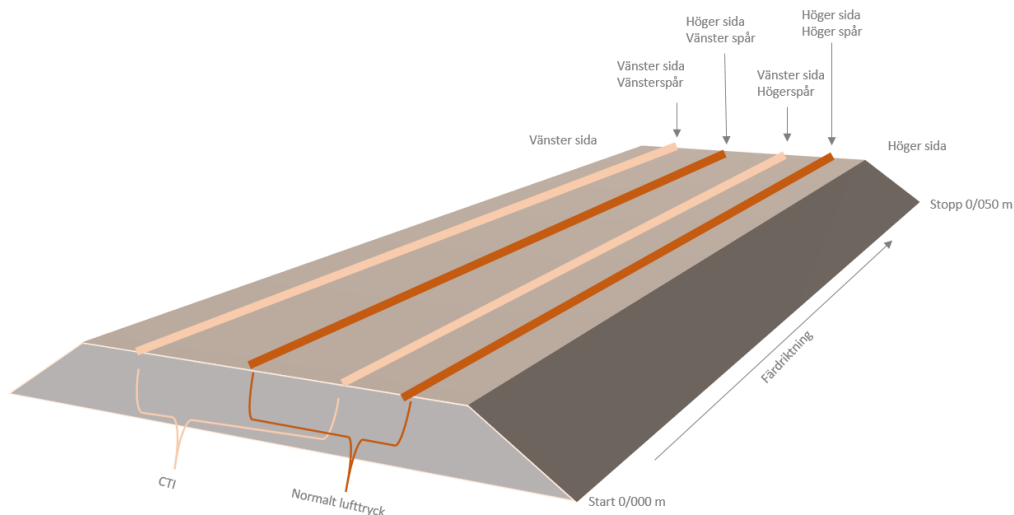
Varje försöksväg uppdelades i sex 50 meter långa sektioner, som numrerades löpande från 1–6 med *Sektion 1* i starten för färdriktningen. En transportsträcka av något varierande längd finns mellan *Sektion 3 och 4*. Inga mätningar utfördes på transportsträckan. Då en passage avslutats körde försöksfordonet från *Sektion 6* till startpunkten före *Sektion 1* på befintlig skogsbilväg, där inga mätningar utförs.

Alla mätningar skedde på 14 mätpunkter för varje vägsektion, 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 benämns som *Punkt 1–7 Högersida*, respektive *Punkt 1–7 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. Vid spårdjupsmätning skildes på höger och vänster spår för varje punkt och vid valideringen av STP-modellen kopplades spårdjupsvärdet för höger spår till de högra mätpunkterna och för vänster spår till de vänstra mätpunkterna.



Figur 4.  
Sektionens indelning.



Figur 5.  
Körspår.

## MATERIALPROV

Från varje vägsektion har ett jordprov av underbyggnaden tagits d.v.s. sex prover per väg. Dessa prover lämnades in på NCC:s materiallaboratorium i Sundsvall för siktning enligt SS-EN 933-1 (Kornstorleksfördelning). Överbyggnaden som påförts vägarna har varit bergkrossfraktion 0–40 på alla vägar men från olika täkter. Två prover av överbyggnad är tagna per väg från *Sektion 2 och 4*. Även dessa prover lämnades in för siktning och analys av kornstorleksfördelning enligt SS-EN 933-1.



Figur 6.  
Insamling av materialprov från underbyggnad (Väg 2 sektion 4).



## GRUSTJOCKLEK

Bärlagrets tjocklek mättes med rätskiva och mätsticka. För att undvika påverkan på spårdjupsbildningen så mättes grustjockleken 1,5 meter i längdsled från respektive mätpunkt för spårbildningen. En provgrop grävdes för att mäta avståndet från vägytan till terrassens yta. Målsättningen var att varje väg skulle ha två sektioner med grustjocklek 5 centimeter, två med 10 centimeter och två med 15 centimeter grus. Vilka sektioner som skulle ha viss tjocklek lottades. Vid kontrollmätning visade det sig att detta mål inte kunnat uppnås. Modellen med sektionvisa skillnader i grustjocklek övergavs och i stället mättes grustjockleken vid varje provpunkt. Dessa värden är en ingående faktor för beräkningen i STP.



Figur 7.  
Mätning av grustjocklek.

## SPÅRDJUPSMÄTNING

Spårdjupsmätning utfördes med rätskiva och aluminiumlinjal. Avståndet som mättes var från toppen på vallen till botten på spåret, enligt den instruktion som gäller för STP-modellen.

Spårdjupet anges som negativt värde och anger skillnaden mellan spårets djupaste punkt och vallenens högsta punkt. Att även mäta vallen beskriver bättre det motstånd som lastbilen möter i vägytan. Spårdjup mäts efter en passage, fem, tio o.s.v. Om vägbanan på en provpunkt gick till brott d.v.s. att det blir för djupa spår som antingen äventyrar framkomlighet eller säkerhet så avbröts mätningen på den aktuella punkten och spåret skottades igen innan testen fortsatte för övriga punkter.



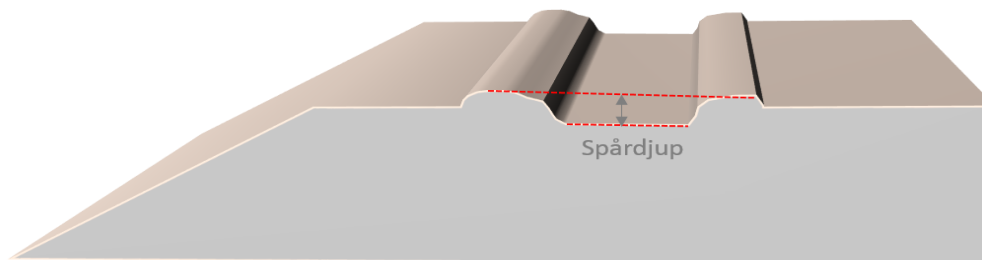
Figur 8.  
Mätpunkt på Väg 1 har gått till brott. Spåret skottas igen och mätning för aktuell punkt avslutas.

Vid valideringstestet har lastbilen sökt hålla samma spår hela tiden. Detta innebär att spårbildning ”provoceras” jämfört med ”normal körning”, men är en förutsättning för validering av STP. I vissa fall missades spåret t.ex. genom att vagnen genar. I sådana fall kan däcken trampa till vallen, vilket kan resultera i att spårdjupet minskar trots att man har flera passager. Detta påverkar resultaten särskilt under de första passagerna, eftersom det är i början av försöket som det var svårast för lastbilsföraren att träffa exakt samma hjulspår. I vissa fall användes stömlinjer med sprayfärg, främst vid torr och solig väderlek, för att underlätta för föraren att träffa spåret. CII kördes på vägens vänstra sida och mätning skedde i vänster spår medan normalt lufttryck har mätts på höger sida i högerspår.





Figur 9  
Mätning av spårdjup på Väg 3.



Figur 10.  
Princip för mätning av spårdjup.

## FÖRSÖKSFORDON OCH MÄTNING AV MARKTRYCK

Samma fordon, en 3-axlig Mercedes Actro med 4-axligt släp utrustad med Tireboss CTI-system, användes för studien på alla tre vägar och samma förare körde bilen i alla tester. Bilen ägs av JS Frakt AB i Sundsvall och kör normalt åt SCA. I studien användes två inställningar för däcktrycket: normalt lufttryck och ett optimerat lågt lufttryck CTI, definierat som vårprogram 3, enligt CTI-programmet.

Tabell 4  
Lufttryck.

	Normalt lufttryck (kPa)	CTI vårprogram nr 3 (kPa)
Styraxel	883	600
Drivaxlar (boggie)	717	338
Släpvagnsaxlar (boggie)	841	450





Figur 11.  
Lastbilen som användes i studien, under test på Väg 2.

Det studerade fordonets ”fotavtryck” mättes för att undersöka hur mycket däcken ökar sin kontaktyta mot vägen vid optimerat lufttryck. 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 ej var färgad representerade kontaktytan, vilken mättes in varefter arean beräknades i  $\text{cm}^2$ . Processen upprepades med optimerat lufttryck och med samma last. Skillnaden i kontaktyta för de olika däcken och däcktrycken redovisas i Tabell 5 nedan.

Tabell 5.  
Viktfördelning, kontaktyta och marktryck för det studerade fordonet.

Axelgrupp	Axellast, kg	Normalt däcktryck			Optimerat däcktryck		
		Däcktryck, kPa	Kontaktyta, $\text{cm}^2$	Marktryck, kPa	Däcktryck, kPa	Kontaktyta, $\text{cm}^2$	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



Figur 12.  
Bedömning av fordonets fotavtryck

Fordonets totala kontaktyta vid normalt lufttryck var 13 574 cm<sup>2</sup> med ett marktryck av 472 kPa och vid optimerat lufttryck var kontaktytan 16 616 cm<sup>2</sup> med ett marktryck av 387 kPa. Med optimerat tryck ökade kontaktytan med 22 procent och marktrycket minskade med 18 procent jämfört med normalt lufttryck.

## Försöksvägar



Figur 13.  
Vägarnas lokalisering.



## VÄG 1

*Försöksväg 1* är belägen i närheten av Munksjötorp med en terrass bestående av finjordsrikt sediment. Överbyggnaden bestod av bärlager 0–40 från närbelägen bergtäkt. Försöksvägen byggdes parallellt med och med anslutningar till befintlig skogsbilväg.

Vägen byggdes med en bredd av 5,5 – 6,0 meter bred utan tvärfall. Terrasseringsarbetet startade i juni 2015, med en del problem på grund av en regnig försommar i området. Vid provtagning av terrassens material under juli månad var terrassen inte framkomlig ens med stövlar.

Terrassen torkade upp under augusti och kunde därefter justeras. När terrassen var justerad, komprimerades den med en bogserad Dynapac CH47 envalsvalt. Vältningen skedde med sex överfarter. Den 25 augusti påbörjades utläggning av grus med två CTI-utrustade grusbilar och mottagningen av gruset gjordes med grävmaskin med justerbalk.



Figur 14.

Bild av *Försöksväg 1* i juli månad 2015, illustrerar problemet med ihållande regn under försommaren.



Figur 15.  
Justering av överbyggnad med justerbalk.

Grusutläggningen påverkades av de nämnda bärighetsproblemen för terrassen. Lastbilarna fick köra på CTI:s våprogram och en stor mängd 0–80 material fick användas vid anslutningarna till befintlig väg. Dessa låg utanför de sektioner där mätningar genomfördes, och påverkar inte resultaten. Mätningar med DCP utfördes på terrassen och när vägen var färdigbyggd, liksom mätning av grustjocklek.



Figur 16.  
Mätning av grustjocklek.



Den 22 september 2015 utfördes spårbildningstestet. Vägen var svag och vi fick snabbt kraftig spårbildning på vissa punkter, både med normalt och optimerat däckstryck.

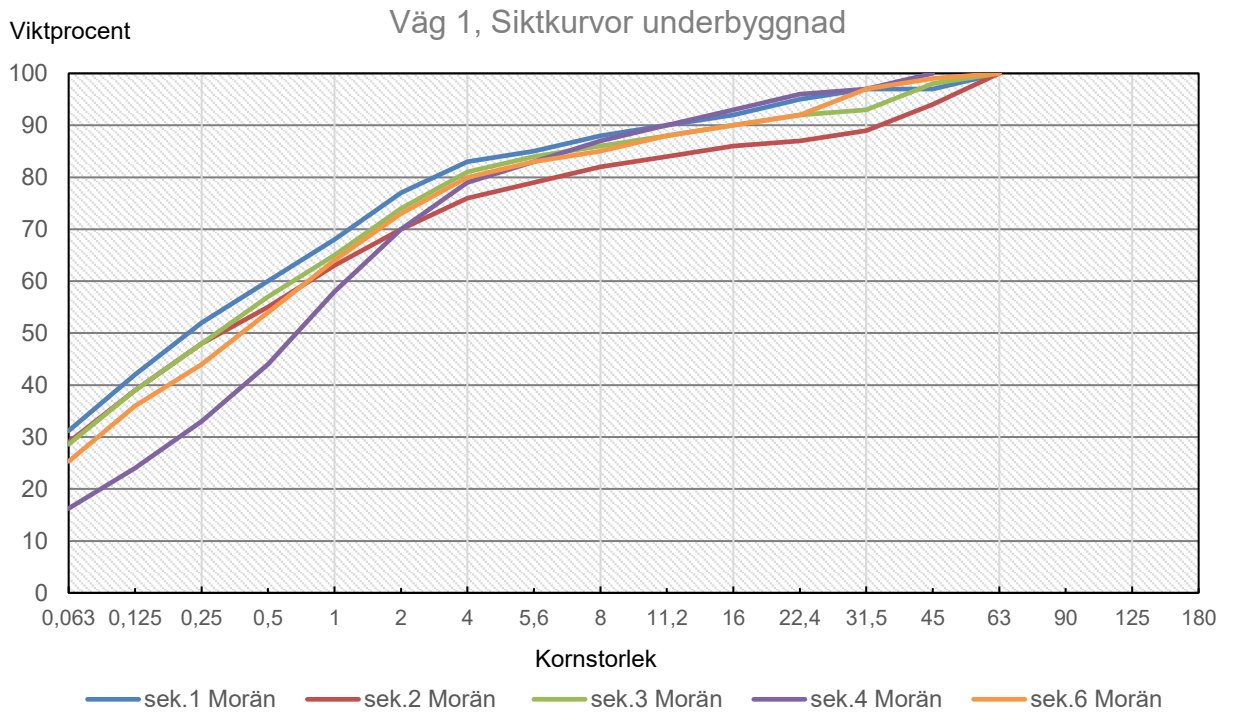
Observationer som gjordes under försöket förutom spårdjupsmätningarna, var att vägen tydligt satte sig när den gick till brott. En annan observation, som gjordes på övriga försöksvägar, var att vägen vid körning med normalt lufttryck, tenderade att bli vågig, med en antydning till att överbyggnaden skjuvades i längdled, i färdriktningen på vägen.

Vid sista körningarna med normalt lufttryck gick punkter på *Sektion 5* till brott och lastbilen var nära att välta. I det läget beslöts att avsluta körningarna. Det fanns då kraftig spårbildning på flera ställen.

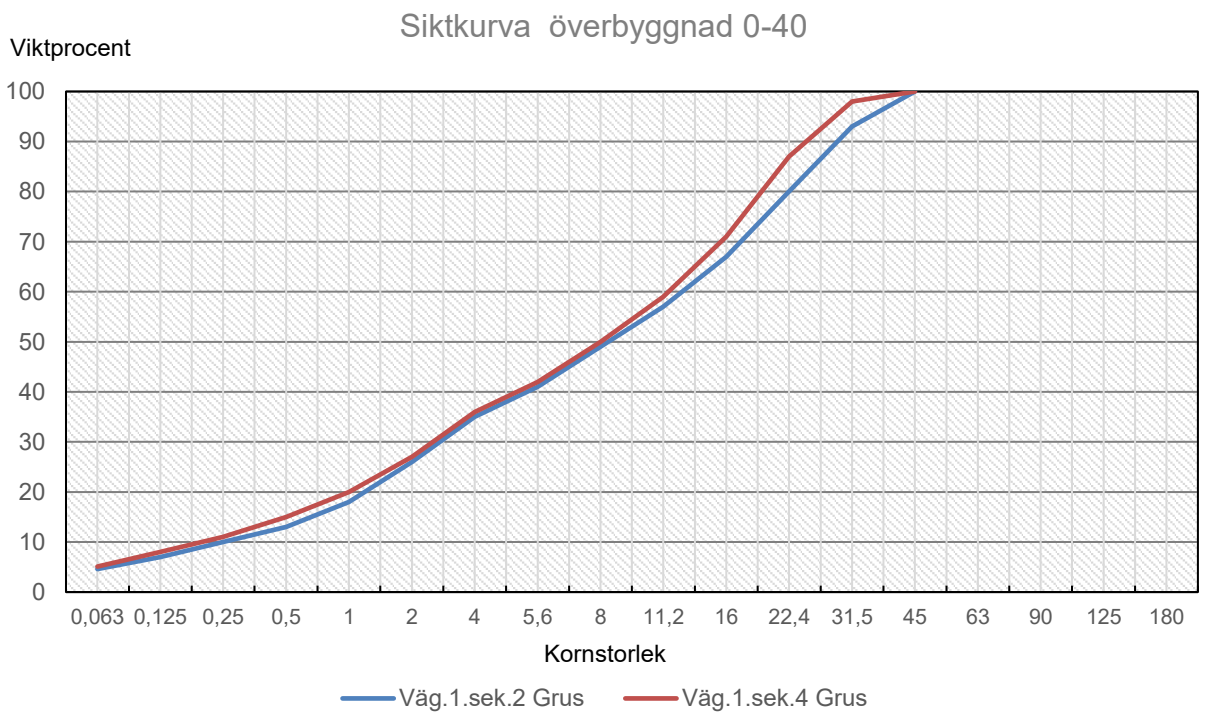


Figur 17.  
Haveri av provpunkt. Vägmaterial flyttas i sidled.

Efter körning togs två siktprover av överbyggnaden i mitten av vägen där vägen var opåverkad. Proverna togs från *Sektion 2 och 4*. Därefter utfördes vägning av lastbil och fotavtrycksmätning.



Figur 18.  
Siktkurva – Underbyggnad Väg 1.



Figur 19.  
Siktkurva – Överbyggnad Väg 1.

Tabell 6.  
CBR-medelvärden per sektion Väg 1.

Väg 1	CBR	CBR	CBR	CBR
	Överbyggnad	Överbyggnad	Underbyggnad	Underbyggnad
	Höger sida Normalt lufttryck	Vänster sida CTI	Högersida Normalt lufttryck	Vänster sida CTI
Sektion 1	9,30	10,68	22,07	25,59
Sektion 2	11,32	10,88	22,38	14,84
Sektion 3	8,28	9,02	25,86	17,67
Sektion 4	13,73	10,75	28,10	24,39
Sektion 5	15,42	19,70	19,06	30,80
Sektion 6	15,61	16,50	19,25	25,80

## VÄG 2

*Försöksväg 2* är belägen i närheten av Storhullsjön norr om Stöde. Terrassen bestod av normal, sandig-moig morän och är byggd som en hästsko mot befintlig. Vid *Sektion 4 till 5* var det grunt jorddjup på vägens högra sida och berg i dagen i diket på höger sida. Vägbredden även här 5,5 – 6,0 meter och terrassering påbörjades under juli månad.

Mätningar med DCP utfördes på opackad terrass, packad terrass samt färdig väg. Mätningen på färdig väg används för valideringen. DCP-mätningar för färdig väg utfördes den 12 till 13 augusti. Efter terrassens justering kompakterades vägen med en envälsvalt, Dynapac CH47 genom sex överfarter.

LWD-mätning utfördes på färdig väg. Gruset spreds den 12 augusti av två grusbilar med släp, utrustade med CTI och hyvelblad. För mottagning av grus användes även hjullastare. Materialet som spreds var bärlager 0–40 från en bergtäkt i området.

Denna väg var den första av försöksvägarna att bli färdigställd och spårdjupstestad, vissa mätningar skiljer sig från de som utfördes på de två andra vägarna. För *Sektion 1 till 3* är DCP-mätning endast utförd på högersida, och för *Sektion 4 till 6* är DCP-mätning utförd endast på vänstersida. Tanken var att man skulle kunna använda dessa DCP-värden även för den andra vägsidan, men preliminära analyser visar att detta inte är lämpligt. Därför beskrivs enbart spårbildning etc. i anslutning till de faktiskt mätta punkterna.

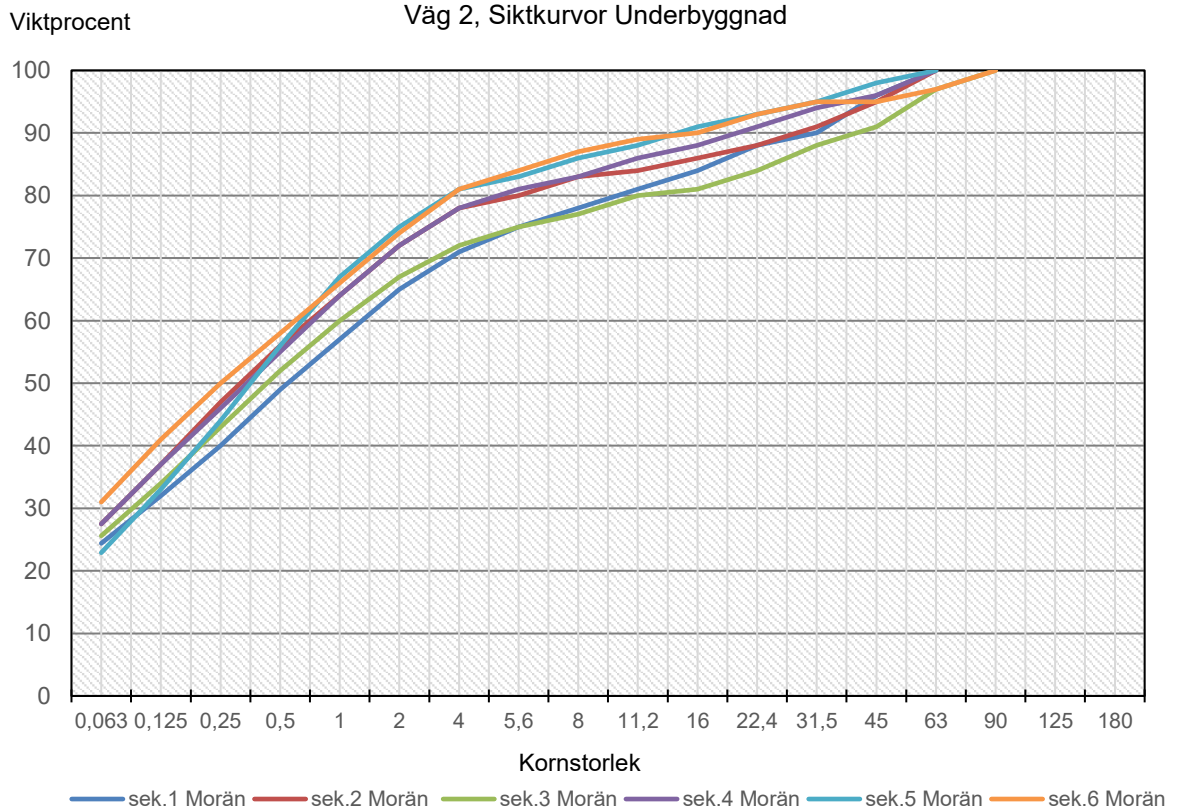
Spårdjupstestet startade den 18 augusti med optimerat lufttryck. Totalt genomfördes 100 passager, 40 passager den 18 augusti och de resterande den 19 augusti. Under natten till den 19 augusti togs en hjullastare in för att justera punkter som gått till brott. Då hjullastaren reparerat de ställen som gått till brott utfördes en extra mätning för att undersöka om hjullastaren hade påverkat fortfarande aktiva mätpunkter. Det visade sig att den inte skadat övriga punkter. På morgonen den 19 augusti fick lastbilen åka in på verkstad för reparation av ett fjäderben. När det var klart vägdes bilen vid Ortvikens, och därefter slutfördes de 60 sista passagera på optimerat tryck, och utföra testserien med normaltryck.



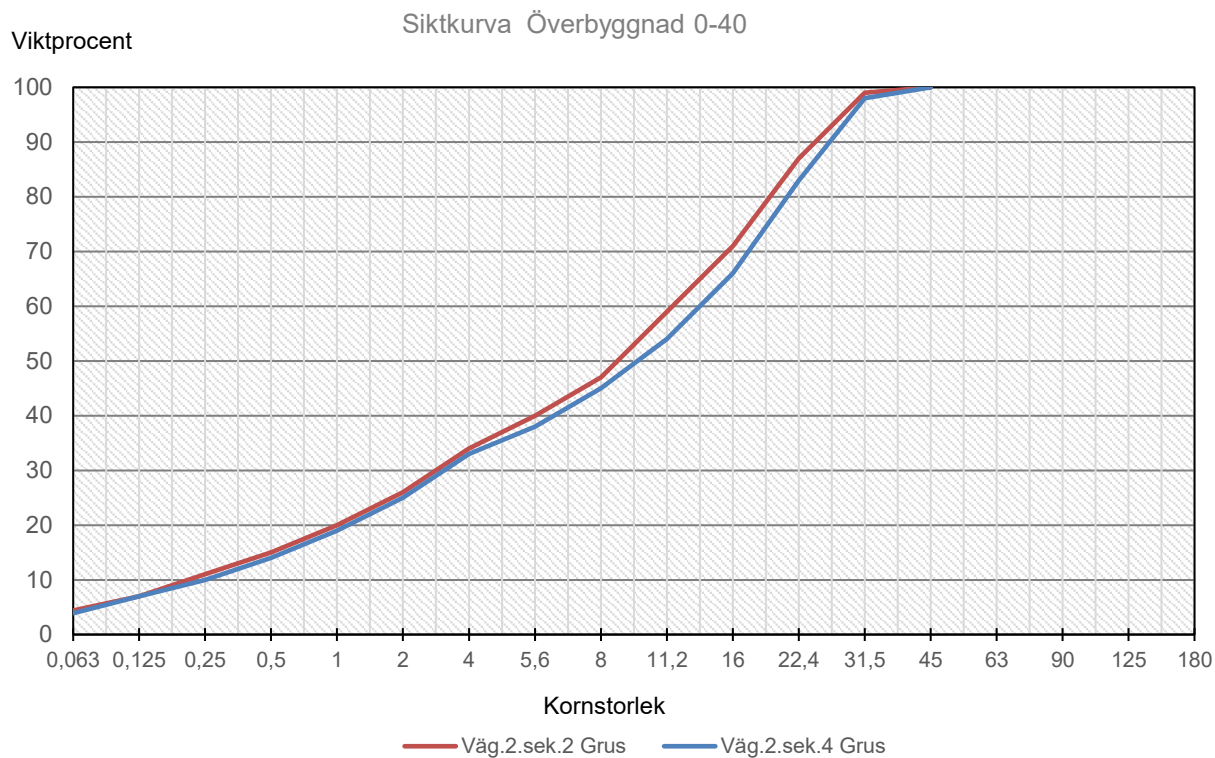


Figur 20.  
Påförsel av överbyggnad med CTI-utrustad grusbil.

Problem förekom med bärighet vid anslutningarna, men inte inom det område där mätningarna utfördes. Liknande observationer skede på denna väg som med *Väg 1*, Dessutom noterades att när spårdjupet översteg motsvarade grustjockleken och nådde ner till terrassen, så accelererade spårbildningen som framgår av spårbildningskurvorna i resultatdelen.



Figur 21.  
Siktcurva – Underbyggnad väg.



Figur 22  
Siktkurva – Överbyggnad Väg 2.

Tabell 7.  
CBR-medelvärden per sektion Väg 2.

Väg 2	CBR Överbyggnad	CBR Överbyggnad	CBR Underbyggnad	CBR Underbyggnad
	Höger sida Normalt Lufttryck	Vänster sida CTI	Högersida Normalt Lufttryck	Vänster sida CTI
Sektion 1	15,62		23,61	
Sektion 2	13,51		21,92	
Sektion 3	19,62		25,73	
Sektion 4		16,19		20,91
Sektion 5		10,32		20,02
Sektion 6		13,83		21,00

### VÄG 3

Väg 3 är belägen i närheten av Mellansjö. Terrassen består av sandigt-grusigt sediment. Materialtypen varierar kraftigt i området som består av ett torrlagt utströmningsområde. Materialet är skiktat och starkt varierande, men med låg finjordsandel. *Sektionerna 1 och 6* har hög andel sand.



Figur 23.  
Stor variation av materialet undergrunden.

Även denna försöksväg är byggd cirka 5,5 – 6,0 meters bredd, terrassen rensad på grov sten (>200 millimeter) till 20 centimeters djup med sorteringskopa. Stor sten lades i dike eller i bakslänt. Detta utfördes för att möjliggöra mätning med DCP. Mätningar med DCP utfördes på opackad terrass, packad terrass samt färdig väg, den senare ligger till grund för valideringen. Vägen var mycket stabil utom på *Sektion 1 och 6* där man hade hög andel sand. En hög andel sten i terrassen medförde att arbetet med DCP blev tidskrävande. Terrassering utfördes under september månad. Vägen kompakterades med en envälsvält, Dynapac CH47 genom sex överfarer.





Figur 24.  
Packning av terrass – Försöksväg 3.

Grus påfördes den 1 oktober av lastbil med släp. Som mottagning användes grävmaskin med justerbalk. Genomslag i sand inträffade vid anslutning till befintlig väg vid *Sektion 6* dock ej inom det område där mätningar utfördes. Vid alla punkter mättes grustjocklek och LWD.

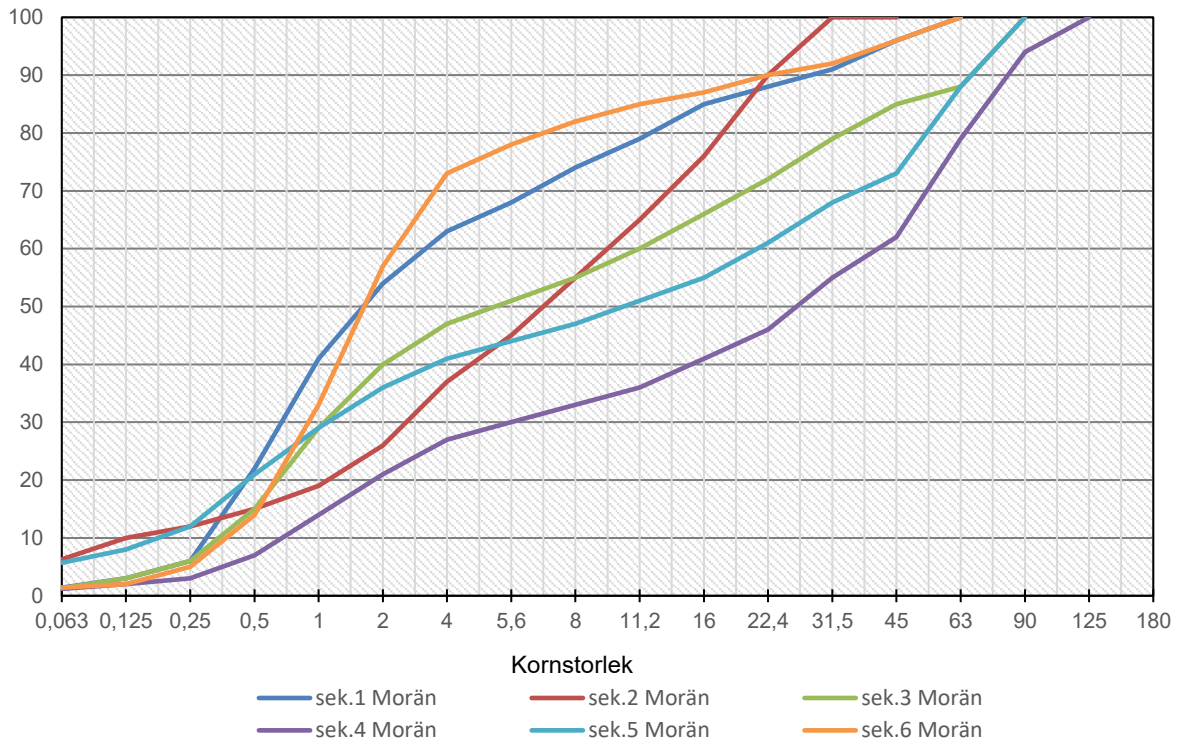
För *Sektion 1–3* packades överbyggnaden medan *Sektion 4–6* hade opackad överbyggnad. Detta upplägg valdes för att utvärdera packningens effekt på spårbildningen. Packningen gjordes före mätning med DCP och fallvikt (LWD).

Spårdjupstestet startade den 13 oktober med optimerat lufttryck (CTI). Lastbil fick tillkallas för att justera grus vid anslutningen vid *Sektion 6*, men detta påverkar ej 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 och samma dag mättes lastbilen in vid Ortviken och med portabla fordonsvägar. Samma observationer gjordes som för övriga vägar.

Viktprocent

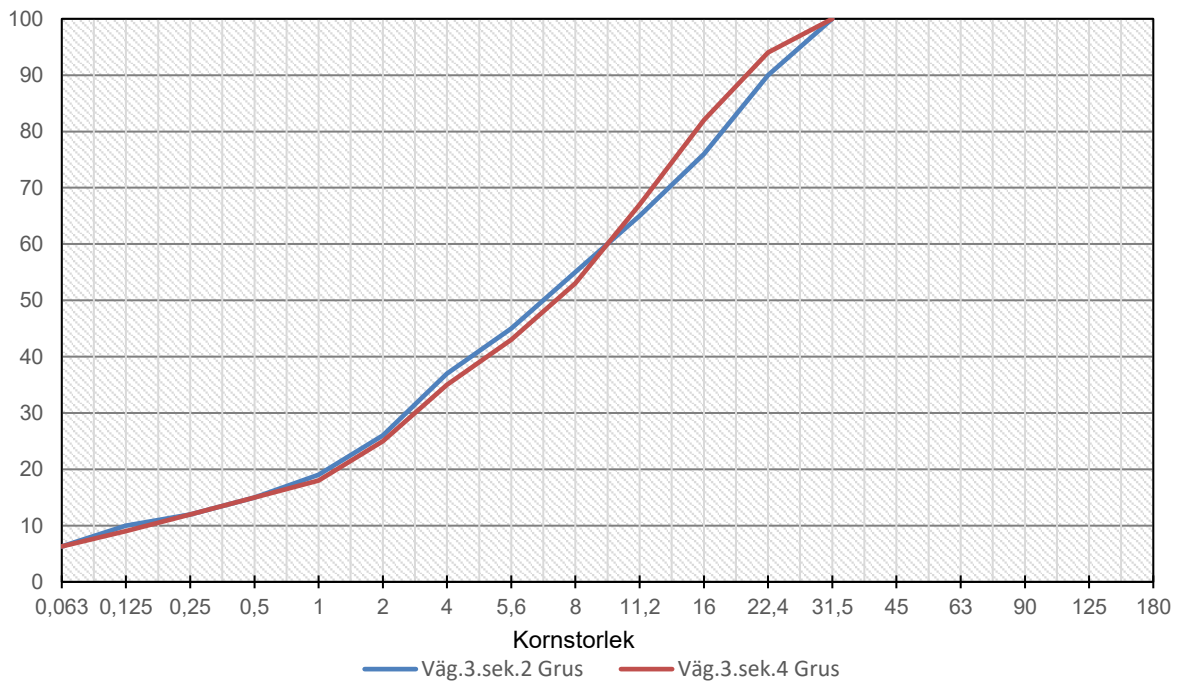
### Väg 3, Siktcurvor Underbyggnad



Figur 25.  
Siktcurva – Underbyggnad Väg 3.

Viktprocent

### Siktcurva Överbyggnad 0-40



Figur 26.  
Siktcurva – Överbyggnad Väg 3.

Tabell 8.  
CBR-medelvärden per sektion Väg 3.

Väg 3	CBR Överbyggnad Höger sida Normalt Lufttryck	CBR Överbyggnad Vänster sida CTI	CBR Underbyggnad Högersida Normalt Lufttryck	CBR Underbyggnad Vänster sida CTI
Sektion 1	10,04	11,07	40,21	44,68
Sektion 2	17,05	24,19	73,78	50,18
Sektion 3	15,43	25,91	70,62	71,01
Sektion 4	10,45	17,74	57,41	68,94
Sektion 5	14,69	22,53	44,14	76,09
Sektion 6	7,50	16,62	25,40	25,90

## ANALYS

Spårbildningen presenteras som medelspårdjup vid mättillfällena.

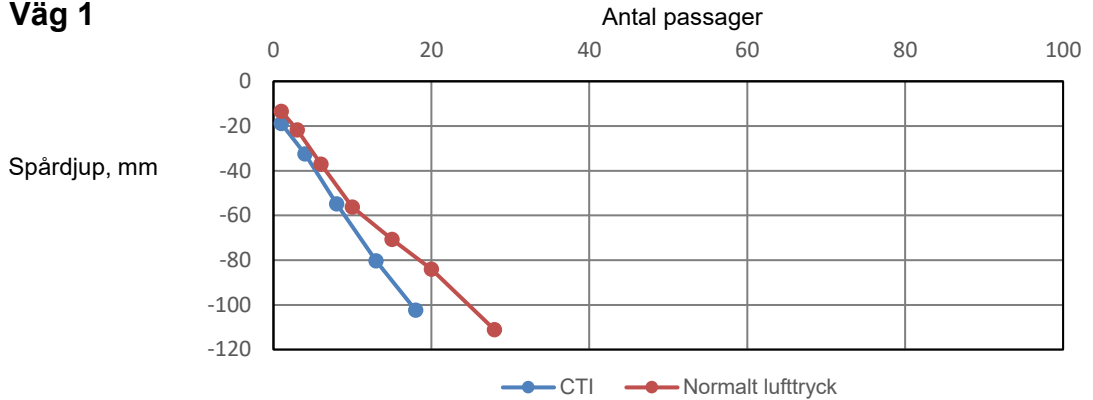
Vid de statistiska analyserna av STP-modellen, togs alla punkter med gruslager  $\leq 70$  millimeter bort från jämförelsen, då STP konstruerats för minst 4 tums (101,6 millimeter) överbyggnad och då modellen inte fungerar som tänkt vid interpoleringar med tunnare överbyggnader. Eftersom den kompakterade delen av Väg 3 har andra egenskaper än de övriga vägarna, togs även dessa tre sektioner bort innan analys. I analysen har de påverkande variabelernas effekt på skillnaden mellan faktiskt spårdjup och beräknat spårdjup analyserats med en kovariansanalys. Alla statistiska beräkningar utfördes i SAS.

# Resultat

## SPÅRBILDNING

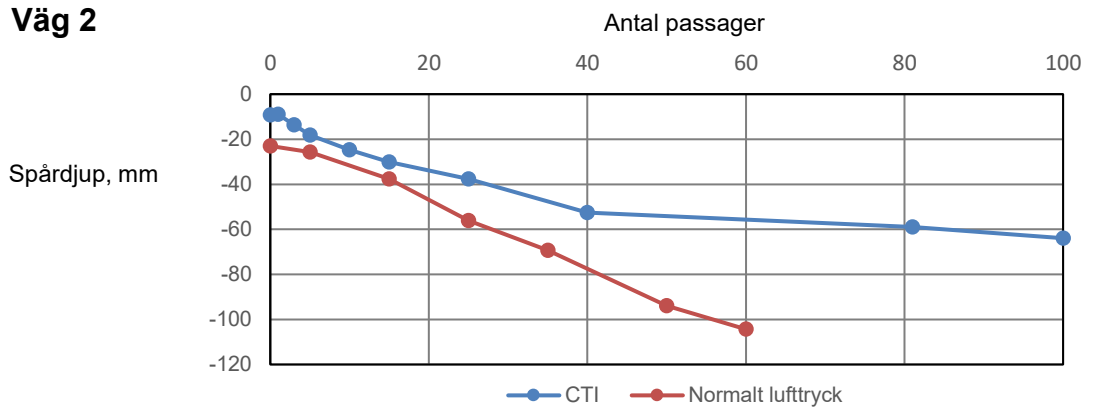
Inledningsvis ges en grafisk översikt av de resultat som erhölls vid spårdjups-mätningen på de konstruerade provvägarna (Figur 7–9). I Figur 10 redovisas även en jämförelse av spårbildningsförloppet vid kompakterad respektive okompakterad överbyggnad.

### Väg 1



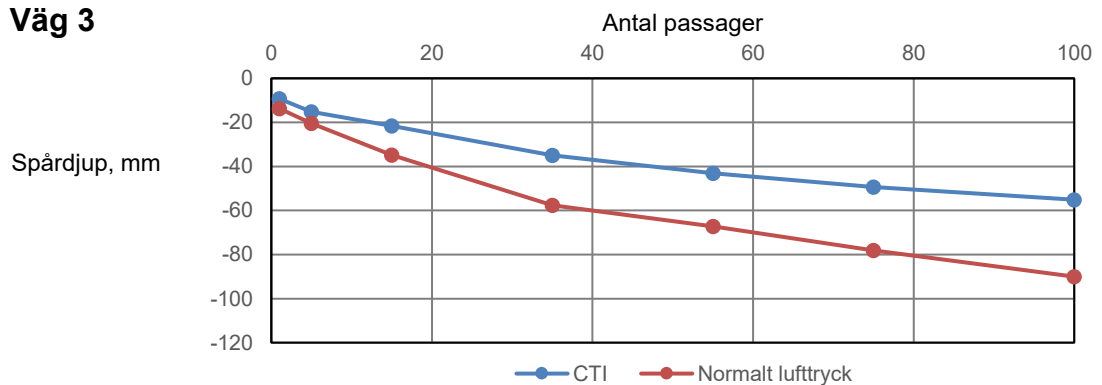
Figur 27.  
Genomsnittlig spårbildning för samtliga sex vägsektioner på Väg 1 beroende på antal överfarer.

### Väg 2



Figur 28  
Genomsnittlig spårbildning för samtliga sex vägsektioner på Väg 2, beroende på antal överfarer.

### Väg 3



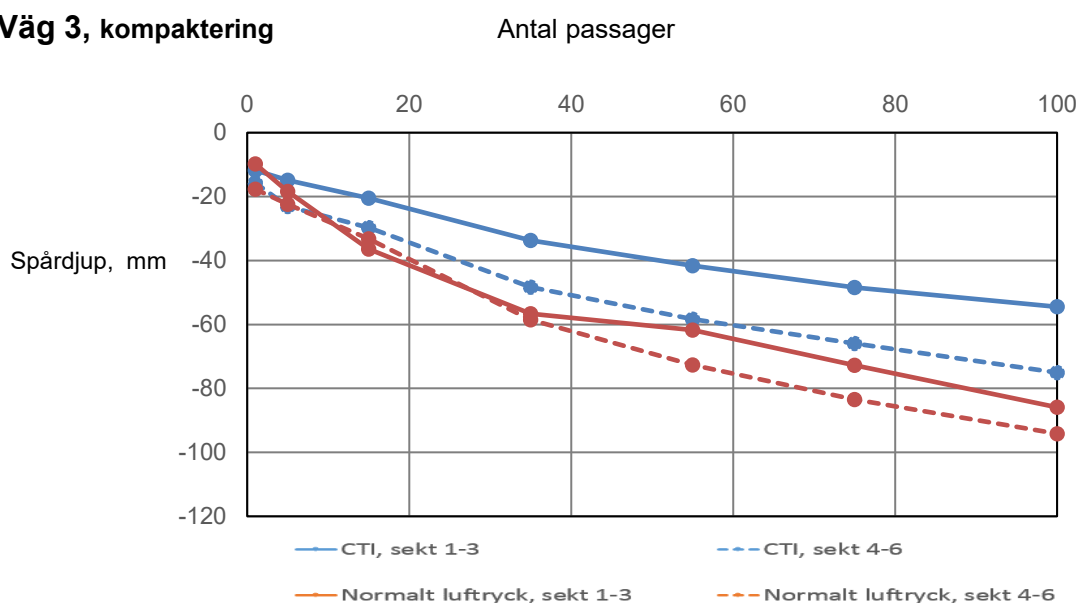
Figur 29.  
Genomsnittlig spårbildning för samtliga sex vägsektioner på Väg 3, beroende på antal överfarer.



Diagrammen redovisar spårbildning, vid varierande antal överfarter, som ett medelvärde för samtliga provsektioner på respektive provväg. *Väg 1* var delvis mycket vattenbemängd (jfr. Figur 13), d.v.s. terrassen hade inte hunnit dräneras efter konstruktion och man ser att överbyggnaden gått till brott efter ett begränsat antal överfarter. Försöken på denna väg avbröts efter maximalt 28 överfarter.

På *Väg 3* har *Sektion 1 till 3* kompakterad överbyggnad, medan *Sektion 4–6*, liksom samtliga sektioner på de övriga vägarna, har okompakterad överbyggnad. Skillnaden i spårbildning beroende på om överbyggnaden kompakterats eller ej redovisas grafiskt i Figur 10. Betydelsen av kompaktering analyseras mera utförligt i en separat rapport. Kompakteringen hade en tydlig, positiv inverkan på vägens hållbarhet, i detta försök ungefär motsvarande skillnaden mellan att köra med normalt eller med optimerat däcktryck (CTI).

### Väg 3, kompaktering

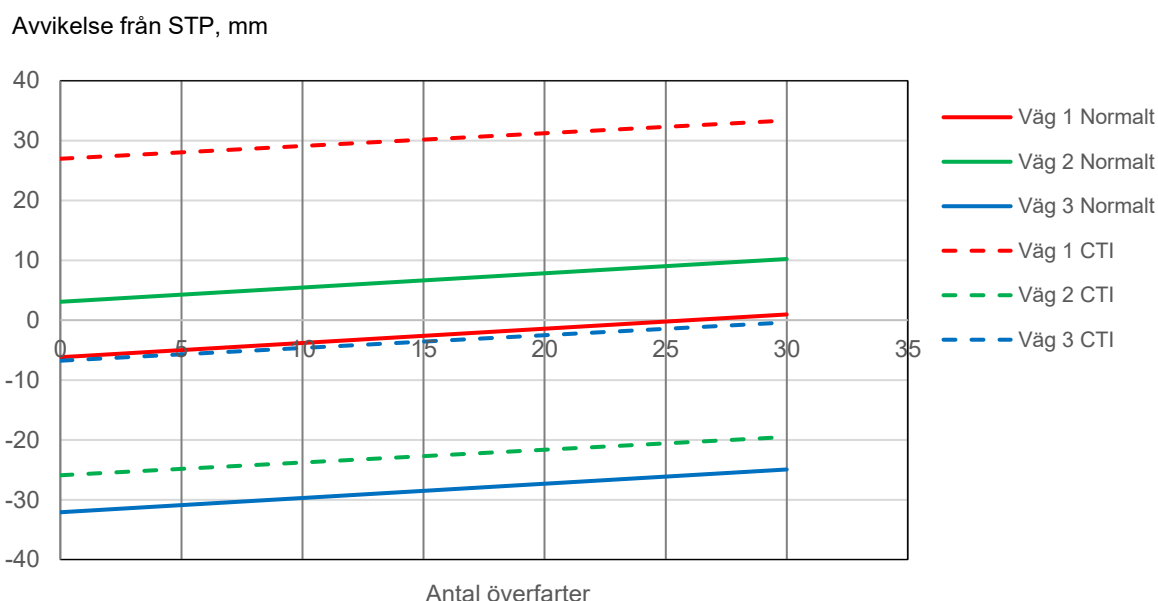


Figur 30. Genomsnittlig spårbildning för kompakterad överbyggnad (Sektion 1–3) och okompakterad överbyggnad (Sektion 4–6) på *Väg 3*, beroende på antal överfarter.

Spårbildning är resultatet av en komplex process som bl.a. beror på grustjocklek, CBR-värde, last och däcktryck. Inom varje testsektion finns en variation mellan höger sida (körd med normalt luftryck) och vänster sida (körd med CTI). Det finns även ett beroende då spårdjupet på en mätpunkt inte kan antas vara oberoende från den spårbildning som uppstått i angränsande mätpunkter. Variationen beror på samband och variabler som endast delvis kunnat mätas in och kontrolleras i detta försök.

## STATISTISK ANALYS, VALIDERING AV STP

Medelavvikelse mellan STP och det verkliga spår djupet på de tre studerade vägarna är förhållandevis liten (Figur 11). Spridningen kring linjerna är stor och för vägsektionerna som trafikerats med normalt däcktryck varierar standardavvikelsen för differensen mellan 38 och 82 millimeter, medan den varierar mellan 22 och 54 millimeter för CTI-fordonen. Detta gör att differensen mellan den faktiska och den beräknade spår bildningen i de flesta fall inte är statistiskt säkerställt skild från 0.



Figur 31.

Avvikelse av uppmätt spår djup jämfört med STP. Positiva värden innebär att modellen underskattar spår djupet medan negativa värden innebär att modellen överskattar spår djup, (d.v.s. det blir mindre spår djup än beräknat)

Den statistiska analysen visar att ett flertal parametrar påverkar differensen mellan STP:s skattning och det verkliga spår djupet (Tabell 9). Förutom blockfaktorn väg påverkas differensen även av om fordonet har CTI, av hur många passager som görs, samt av de beskrivande vägfaktorerna Grustjocklek,  $CBR_{\text{underbyggnad}}$  och  $CBR_{\text{överbyggnad}}$ . Den statistiska modellen förklarar 35 procent av variationen i materialet.

Tabell 9.

Statistiskt signifikanta parametrar som förklarar skillnaden mellan STP:s skattade spår djup och under försöket inmätt spår djup.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Passager*CTI	2	30426.2960	15213.1480	6.63	0.0014
Grustjocklek	1	389747.2966	389747.2966	169.85	<.0001
Väg	2	97534.3569	48767.1785	21.25	<.0001
CTI*Väg	3	83464.3015	27821.4338	12.12	<.0001
Underbyggnad CBR	1	17987.8760	17987.8760	7.84	0.0052
Överbyggnad CBR	1	157915.5743	157915.5743	68.82	<.0001

En alternativ modell baserad på de variabel-kombinationer som finns i STP-modellen förklarar 34,8 procent av variationen mellan de predikterade och verkliga spår djupen för de tre testvägarna. Denna modell, som innehåller variablerna ESAL, Grustjocklek, CBR<sub>underbyggnad</sub> och CBR<sub>överbyggnad</sub> samt den kontinuerliga variabeln antal passager, redovisas i Tabell 10. Denna modell ger möjligheten att korrigera STP:s skattade spår djup så att det bättre beskriver det faktiska spår djupet i denna studie. Funktionen som beskriver spår djupet i millimeter blir då:

$$\begin{aligned} \text{Spår djup} = & \text{Spår djup}_{STP} - 96,7 + 0,0112 * \text{ESAL} * \text{passage} + 1,76 \\ & * \text{CBR}_{\text{överbygg}} - 0,32 * \text{CBR}_{\text{Underbyggnad}} + 0,55 \\ & * \text{Grustjocklek} \end{aligned}$$

Tabell 10.

Statistiskt signifikanta parametrar som, baserat på STP:s variabeluppsättning, förklarar skillnaden mellan STP:s skattade spår djup och under försöket inmätt spår djup.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ESAL*Passager	1	14049.3508	14049.3508	8.80	0.0031
Överbyggnad_CBR	1	156946.0443	156946.0443	98.29	<.0001
Underbyggnad_CBR	1	37828.9018	37828.9018	23.69	<.0001
Grustjocklek	1	519186.3460	519186.3460	325.16	<.0001

## Diskussion

### CTI

Att däcktrycket har stor betydelse för spårbildningen framgår tydligt då man jämför resultaten för *Provväg 2 och 3*, med och utan användning av CTI (Figur 8, 9), vilket är helt i linje med tidigare studier (Grau, 1993; Bradley, 2001). Att denna skillnad inte syns i *Provväg 1* (Figur 7) beror på att väggroppen var mycket fuktig och i princip inte trafikerbar. Fordonet sjönk mycket snabbt igenom överbyggnaden och försöket fick avbrytas redan efter ett begränsat antal överfarter (18, respektive 28). Väggroppens bärighet var så låg att däcktrycket inte hade någon större betydelse för spårbildningen.

Under försöken på alla tre testvägar observerades tendenser till vågighet i överbyggnaden samt att materialet skjuvades i längsled (i körriktningen) vid normalt lufttryck. Dessa typer av vägslitage fångades dock inte upp vid spår djupsmätning. Det är känt att däckkonfigurationen inverkar på slitage och spårbildning (NFV, 2008), men dessa effekter har inte utvärderats i denna studie.

I den försöksserie som redovisas i denna rapport blir inverkan av däcktrycket tydligt eftersom samma lastbil använts genomgående i försökets alla led. I praktisk drift är det sannolikt att ESAL<sub>Total</sub> kommer att få en tyngre inverkan, eftersom däcktrycket bara är en av flera ingående variabler för bestämning av ESAL<sub>Total</sub>. Det förefaller dock rimligt att anta att de samband som tagits fram i Nordamerika även har sin giltighet i Sverige.

## STP

Analyserna av de mätvärden som insamlats under försöken visade att spårbildningen främst påverkas av antal passager, fordonsvikt och däcktryck, CBR-värde i under- respektive överbyggnad samt av gruslagrets tjocklek. Detta stödjer antagandet att STP-modellen kan utnyttjas även i Sverige, eftersom det utgör en lista över de variabler som ingår i modellen. Spårbildningsförloppet visar sig således, i dessa försök, följa samma generella mönster och vara beroende av samma variabler som i Nordamerika. STP-modellen kan därmed anses vara validerad och giltig även i Sverige.

Den statistiska bearbetningen av mätvärdena visar att STP-modellen fungerar väl, men kan nivåanpassas för att ge bättre resultat vid beräkningar för svenska förhållanden. Orsakerna till de skillnader som noterats är inte klarlagd men det kan bero på principiella skillnader i vägbyggnadsteknik, på överrepresentation av för svenska förhållanden ovanliga typer av undergrund i det nordamerikanska materialet o.s.v. De provvägar som användes var också helt nyanlagda och det faktum att vägkropparna inte fått sätta sig och dräneringen inte har nått full effekt kan ha påverkat resultaten, men detta är svårbedömt.

Den nordamerikanska STP-modellen får problem att uppskatta hur spårbildningen utvecklas vid överbyggnader tunnare än 70. Detta beror på modellens matematiska uppbyggnad, där uttrycket  $\log(t/25,4)^{1,567}$  i täljaren snabbt går mot 0 då för tunna gruslager. Detta leder till en överskattning av det skattade spår djupet.

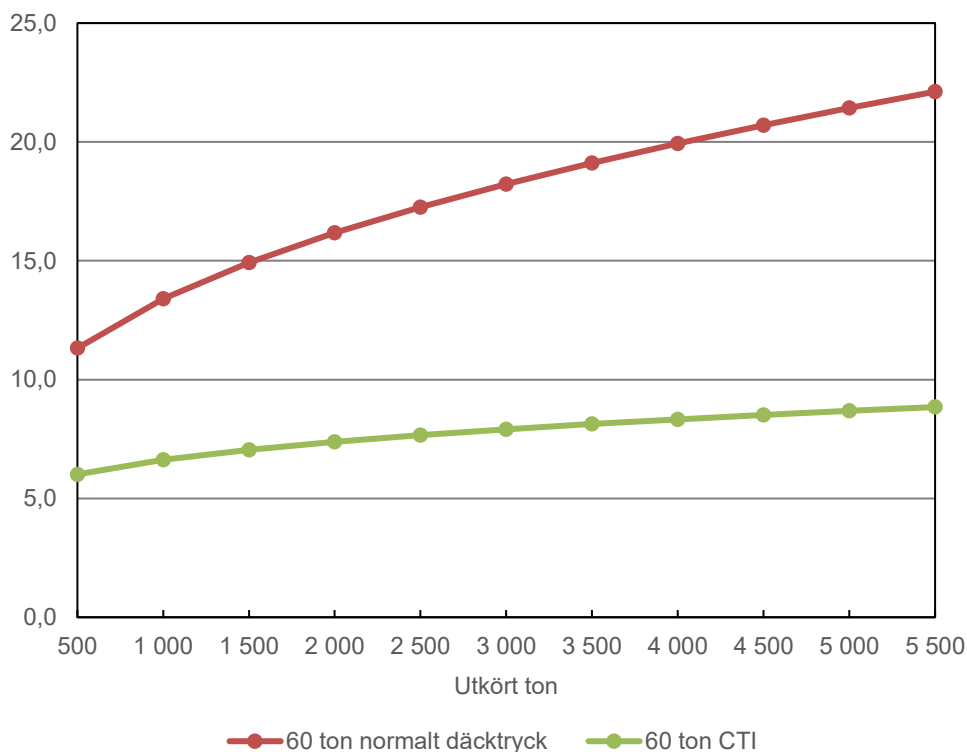
I och med att STP-modellen i sig förklarar stor del av spårbildningen är det ett gott betyg att så mycket som 35 procent av den kvarstående variationen kan förklaras genom den statistiska modellen i Tabell 10.

CBR-värdena är centrala i STP-modellen. Men CBR-värden kräver ett specialiserat laboratorietest för att fastställas, alternativt en mycket omfattande insamling av fältdata för att uppskattas. Det skulle därför vara värdefullt, och i hög grad underlätta tillämpningen av STP-modellen, om referensvärden för CBR i undergrunden kunde upprättas för olika jordarter, anpassat till svenska förhållanden. Detsamma gäller givetvis även för olika överbyggnadsmaterial. I ett sådant referensverk bör ingå information om hur CBR-värde varierar vid olika grad av frysning av vägkroppen och vid varierande vattenmättnads- och packningsgrad.

Då STP-modellen skall användas i praktisk vägbyggnads- och vägunderhållsplanering, för att avgöra hur mycket grus som skall påföras, måste man ta ställning till *accepterat spår djup*, d.v.s. hur kraftig spårbildning som tolereras innan en åtgärd sätts in. Accepterat spår djup kommer att bestämmas av vilken funktion vägen har. Om det är en primärväg med omfattande transporter bör acceptansen för spår vara mindre än om det är en tertiär väg som endast används till en enstaka, mindre avverkning. Detta är en fråga för den som förvaltar vägen.



## Överbyggnad, cm



Figur 32.

Diagram över grustjocklek med accepterat spår djup på 50 millimeter, med ett CBR-värde i överbyggnaden på 15 och CBR-värde i terrassen på 22.

I samband med CBR-mätningarna för *Väg 3* mättes CBR-värden före och efter packning av terrassen samt CBR-värde på terrassen efter grusning. Generellt så ökar terrassens CBR-värde med packning. På *Väg 3* utfördes även en studie av effekten av spårbildning före och efter packning av överbyggnaden. Packning har en positiv effekt på väggroppens bärighet och vägens förmåga att tåla trafik ökar. Resultaten av denna delstudie kommer att redovisas i en separat rapport. Tillämpning av STP-modellen i praktiken

Att STP-modellen validerats innebär att den är användbar som ett hjälpmedel vid praktisk vägbyggnad och -underhåll i skogsbruket. För att den skall bli enklare att tillämpa bör dock ett handledande stödpaket med tabellverk upprättas. En del av detta paket bör ge standardvärden för CBR, baserat på information om underbyggnaden beroende på jordart, vattenmättnads- och packningsgrad. För överbyggnaden bör materialtyp och packningsgrad ingå.

Även en tabell som ger ESAL-värden för "standardfordon" bör ingå, med 64, 74 ton och 90 tons maximal bruttovikt, där antal axlar, axellast, axeltyp och däcktryck ingår som variabler.

Slutligen bör en hjälptabell med trafikintensitet ingå i STP-paketet. Denna del svarar på vilken trafikmängd som kommer att kunna trafikera vägen innan underhållsåtgärder bör sättas in. Ingående variabler är här trafikintensitet och fordonstyper samt det acceptabla spår djup man bestämt. Resultatet kan anges i erforderlig grustjocklek.

Ett STP-paket med denna uppbyggnad kan stödja beslutsfattaren i en mängd olika situationer. Exempelvis: om tillgång till grus av god kvalitet är en trång sektor så kan man beräkna hur användning av CTI och kompletterande packning av vägen kan minska denna brist eller om man har 90 tons fordon utan CTI, så kan man bedöma hur mycket grus av en viss kvalitet som behöver påföras vägarna. Denna typ av beräkningsunderlag skulle ge en väsentligt ökad förmåga att optimera underhållsinsatserna på skogsbilvägnätet och därigenom medföra en högre tillgänglighet för detsamma. I princip kan beräkningarna utföras med den presenterade och för svenska förhållanden anpassade STP-modellen tillsammans med fältmätning av de ingående modellparametrarna. Men för att STP-modellen skall kunna få en mer omfattande praktisk tillämpning är det nödvändigt att användningen underlättas med någon form av handledning och stödpaket av det slag som skisserats i föregående stycken. I takt med att erfarenheten av STP-modellen ökar är det sannolikt att dess precision kan förbättras genom erfarenhetsbaserad justering av parametrarna i formeln.

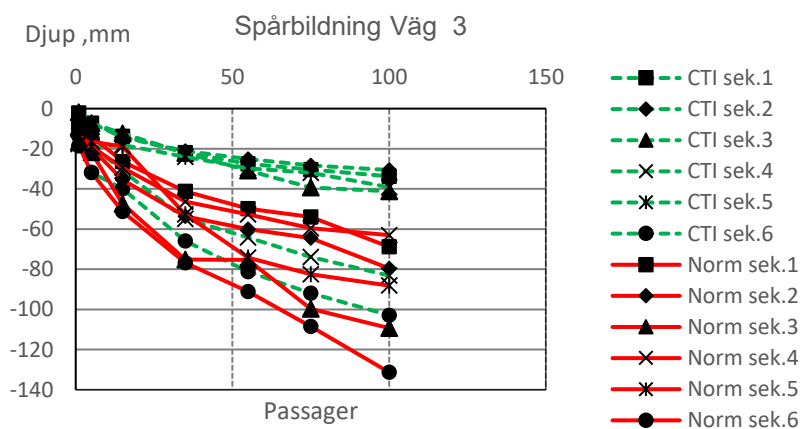
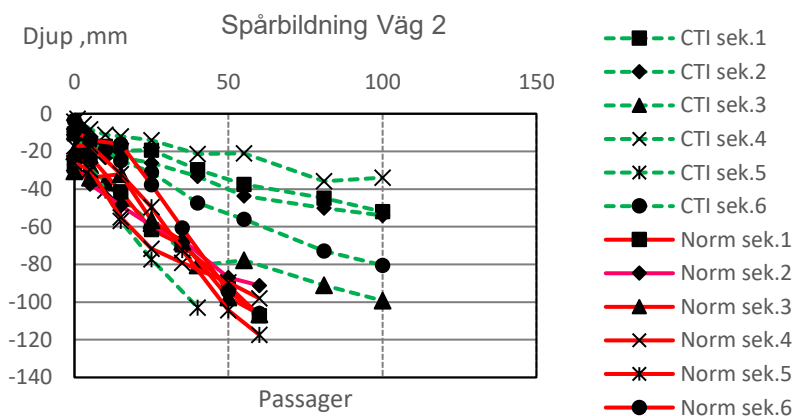
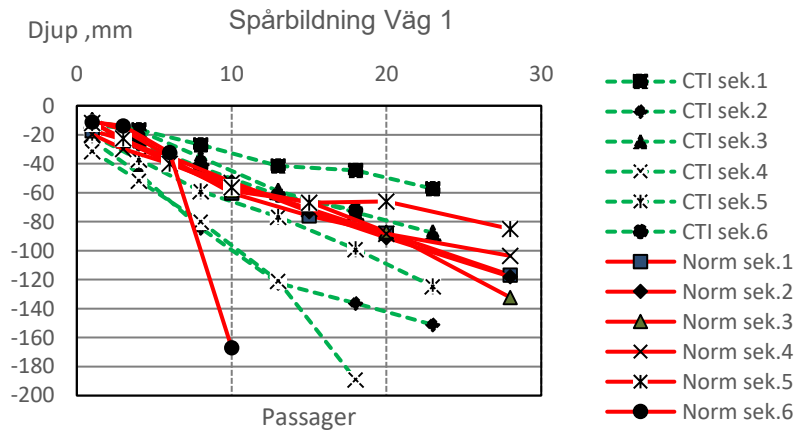
## Referenser

- ASTM. 1999. (American Society for Testing and Materials Designation): D 1883-99 Standard Test Method for CBR of Laboratory-Compacted Soils.
- Barber, V. C., Odom, E. C. & Patrick, R. W., 1978. The determination and reliability of pavements, Technical Report S-78-8, US Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Station, July 1978.
- Bolander, P. 1995. Earth and Aggregate Surfacing Design Guide for Low Volume Roads, USDA Forest Service 1995.
- Bradley, A., 2001. Evaluation of forest access road design for use with CTI equipped logging trucks. FERIC Vol 2, No 53, October 2001.
- Grau, R. W. 1993. Effects of Variable Tire Pressure on Road Surfacing, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station Technical Report GL-93-20.
- NFV. 2008. Road Wear from Heavy Vehicles – an overview, Report nr. 08/2008, NVF committee Vehicles and Transports.
- Skogsstyrelsen. 2011. Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilväg *Klass 3 och 4*.

## Litteratur

- Office of Minnesota Road Research. User guide to the dynamic cone penetrometer.
- Withcomb, G. 1991. Aggregate Surfacing Design Guide, USDA Forest Service 1991.

## Sektionsvisa medeltal av spårbildning beroende på antal överfarter







## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

### År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistklösning 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., Norin 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 increased biomass production for 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 increased biomass production for energy in Sweden. 28 s.
- Nr 890 Asmoarp, V. & Enström, 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., Asmomar, 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 körskador 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 Brunberg, T. & Lundström, H. 2016. Tidsåtgång och bränsleåtgång vid användning av sortimentsgripen 2014. – Evaluation of assortment grapple 2014 in terms of processing time and fuel consumption. 19 s.
- 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, H. 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. 2016. Prestation och kostnader för drivaren 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 Manner, J., Björheden, R., Jonsson, R., Jönsson, P. & Lundström, H. 2016. Prestation och drivningskostnad för drivarprototypen Komatsu X19 jämfört med ett konventionellt tvåmaskinsystem. – Productivity and logging costs of the harwarder prototype Komatsu X19 and a conventional CTL system. 27 s.
- Nr 917 Bergqvist, M., Björheden, R. & Eliasson, L. 2016. Kompakteringseffekter på skogsbilvägar. – Effect of compaction on forest roads. 24 s.
- Nr 918 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, B., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Cutting capacity of saw chains – a comparative study. – Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. Ss. 38.
- Nr 919 Asmoarp, V., Bergqvist, M., Frisk, M., Flisberg, Patrik & Rönnqvist Mikael. VägRust på SCA. En analys av vägupprustningsbehov på SCA Skog AB:s tre sydliga förvaltningar. – Decreased cost of logistics with RoadOpt. An analysis of road upgrading needs on three southern holdings at SCA Skog AB. 35 s.

#### År 2017

- Nr 920 Bergqvist, M., Bradley, A., Björheden, R. & Eliasson, L. 2017. Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden – Validation of the Surfacing Thickness Program (STP) in Swedish conditions. 40 s.
- Nr 921 Eriksson, B. & Sääf, M. 2017. Branschanalys-Ekonomiska prestationer i entreprenadskogsbruket. – Sector analysis: economic performance in contractor forestry. 31 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:

- Förädling
- Skogsskötsel
- Driftsystem
- Värdekedjor

### 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. 920–2017



[www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se)