ARBETSRAPPORT 991-2018

Gentle – konceptutvärdering av gummibandskotare

Gentle- Proof of Concept

FOTO:ROLF BJÖRHEDEN/SKOGFORSK

skogforsk

Olle Gelin
Björn Löfgren
Fredrik Henriksen

Summary

Increased productivity is important if Swedish forest products are to be able to compete in an international market. Greater efficiency is required throughout the value chain. For mechanised felling and forest transport, full-body vibrations, ground pressure, and mental strain on the operator must be reduced. The main focus regarding forwarders is on all crane work and driving.

The Skogforsk board has funded a strategic initiative with a strong technology element. The Gentle – Proof of Concept project, which examined the potential of using tracks on a forwarder instead of wheels, is part of this initiative. The project was run in collaboration between Komatsu Forest, BAE Systems, SCA Skog and Skogforsk.

A Komatsu 845 forwarder was converted and equipped with a track system from BAE Systems. Skogforsk evaluated the concept. The objectives were to reduce ground pressure and whole-body vibrations, and increase forest driving speed, while reducing energy consumption.

The aim of the project was to evaluate the concept during forest operations under different conditions. The study did not include production studies because the tracks used in the test have limited load capacity.

The results showed somewhat higher whole-body vibrations at low speeds, and lower vibrations at higher speed for the Gentle compared with a wheeled forwarder. The track forwarder could be driven twice as fast on the Skogforsk vibration track. Rut depth was reduced by 90 percent compared with the wheeled forwarder, and by 70-80 percent compared with the forwarder equipped with a supporting track.

When the machines were driven along a 1000-m forest track with Surface Structure 2, whole body-vibrations were reduced by approximately 37 percent and fuel consumption by approximately 28 percent when the tracked vehicle was used. When driven in deep snow, vibration level was halved and fuel consumption reduced by approximately 58 percent when the Gentle was used. When driven on an iced slope, no difference was found in the capability to ascend the slope or to drive while tilted sideways. When driven on a tightly packed ski slope, the Gentle could be driven without problems over the whole slope, but not the bogie tracked wheeled forwarder. When driven in deep unrutted and rutted snow, the tracked forwarder was far superior in terms of both fuel consumption and operating speed. Gentle was designed for limited conceptual testing, so no tests were carried out in difficult terrain.

Despite these limitations, the Gentle project was successful, and generated understanding of how a track forwarder performs. The project thereby forms a basis for the discussion on how a future forwarder equipped with a track system should be designed.

skogforsk
Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se
©Skogforsk 2018 ISSN 1404-305X

Sammanfattning

Ökad produktivitet är viktig för att svenska skogsprodukter skall kunna kon-kurrera på en internationell marknad. Effektivitet i hela värdekedjan krävs. När det gäller mekaniserad avverkning och terrängtransport är det önskvärt att minska helkroppsvibrationer, marktryck och mental belastning för föraren. När det gäller skotare är det framför allt kranarbete och körning som fokuseras. Skogforsks styrelse har finansierat en strategisk satsning med ett starkt inslag av teknik. Projektet *Gentle Proof of Concept*, som undersökt möjligheterna med banddrift på en skotare i stället för hjul ingår i denna satsning. Projektet har skett i samarbete mellan Komatsu Forest, BAE Systems, SCA Skog och Skogforsk. En skotare Komatsu 845 skotare byggdes om och försågs med ett bandsystem från BAE Systems. Skogforsk utvärderade konceptet. Målet har varit att minska marktrycket, minska helkroppsvibrationerna, kunna öka terrängkörningshastigheten och samtidigt få en minskad energiförbrukning.

Syftet med projektet har varit att utvärdera konceptet under körning i terräng vid olika förhållanden. Inga produktionsstudier har ingått eftersom de bandställ som testats har begränsad lastförmåga.

För bästa möjliga jämförelse mellan hjul och band, har samma skotare använts, med datainsamling före respektive efter ombyggnad. Avsikten var att minska antalet påverkande faktorer. Vid alla fältstudier har dock projektet haft en extra Komatsu 845 skotare som jämförelse. Den extra skotaren har varit en och samma maskin under alla tester vilket har gett god relativ jämförelse mellan testerna. De tester som genomförts är mätning av helkroppsvibrationer på Skogforsks vibrationsbana och en kortare terrängbana, mätning av spårdjup på homogen organogen jord, körning i terräng, körning i snö, stabilitet vid krankörning, simuleringsstudier samt dragkraftsprov.

Resultaten visar på något högre helkroppsvibrationer vid låga hastigheter och lägre vid högre hastighet för Gentle jämfört med en hjulburen skotare. Det var möjligt att köra dubbelt så fort på Skogforsk vibrationsbana med bandställ. Spårdjupen minskar med 90 procent i jämförelse med hjulgående skotare och 70–80 procent vid jämförelse med skotare försedd med bärande band.

Vid körning i en 1 000 meter lång terrängslinga, med Ytstruktur 2, fick man cirka 37 procent lägre helkroppsvibrationer och ca 28 procent mindre bränsleförbrukning med bandställ. Vid körning i djup snö halverades vibrationsnivån och bränsleförbrukningen sänktes ca 58 procent för Gentle. Vid körning i en isad backe noterades ingen skillnad i backtagningsförmåga eller i förmåga att köra i sidolut. Vid körning i en hårt packad slalombacke klarade Gentle hela backen, men inte skotaren försedd med band. Vid körning i djup ospårad och spårad snö var skotaren med bandställ mycket överlägsen både vad gäller bränsleförbrukning och körhastighet. Gentle konstruerades för begränsad konceptuell testning. Därför har inga tester gjorts i besvärlig terräng.

Trots dessa begränsningar har Gentle varit ett lyckat projekt som skapat förståelse för hur en skotare med bandställ fungerar. Projektet har därmed skapat underlag för diskussionen om hur en framtida skotare försedd med bandställ ska vara konstruerad.

Innehåll

Summary....2

Sammanfattning....3

Bakgrund....5
- Begreppet skonsamhet....5
- Skotarkonceptet Gentle....6
- Mål....7
- Syfte....7
- Avgränsningar....7

Delstudier - Material och metoder....7
- Maskinkonfigurationer....8
- Mätning av vibrationer....11
- Mätning av effekt....21
- Dragkraftsmätning....22
- Spårdjupstester....23
- Fälttester....25
- Stabilitet....30

Resultat....31
- Helkroppsvibrationer....31
- Dragkraft....37
- Spårdjup....38
  - Markdata Kompenetrometervärden....42
- Effekt....46
- Effekt....51
- Bränsleförbrukning....54
- Stabiblitet....55

Diskussion....58
- Vibrationer....58
- Spårdjup....59
- Effekt....59
- Dragkraft....59
- Bränsleförbrukning....59
- Terräng....59
- Övrigt....59

Bilaga 1. Föraruppleveler....61

Bilaga 2. Kommentarer från BAE....62

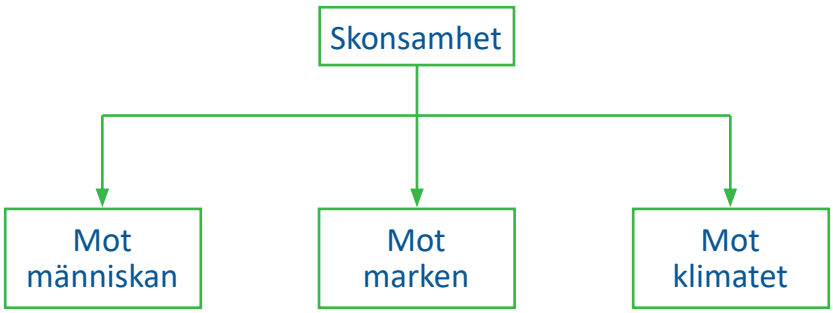
Bilaga 3. Nomenklatur....64

Bakgrund

För att upprätthålla konkurrenskraften på den internationella marknaden för skogsprodukter behöver produktiviteten inom svenskt skogsbruk öka med 2–4 procent/år. Svenskt skogsbruk avverkar årligen över 80 miljoner kubikmeter virke. Storskalig teknik med tunga arbetsmaskiner, såsom skördare och skotare, svarar för den absoluta merparten >80 procent av denna volym. En utmaning för skogsbruket är att minska den markpåverkan som uppstår vid körning med skotare. Både skotare och skördare skapar i sin verksamhet miljöproblem av olika slag. Skogsbruket vill utveckla skonsammare teknik och metoder för att minska negativ miljöpåverkan.

BEGREPPET SKONSAMHET

Begreppet skonsamhet avser människa, mark och klimat, (Figur 1).



Figur 1. Begreppet skonsamhet.

Människan

Skonsamhet mot maskinföraren tar sig uttryck i önskemål om förbättrad fysisk arbetsmiljö, förbättrad man – maskin – interaktion (HMI) och automation av vissa arbetsmoment. (HMI behandlas det inte i detta projekt). I den fysiska arbetsmiljön påverkas maskinoperatörers arbetshälsa av helkroppsvibrationer om de överstiger vissa nivåer. EU:s vibrationsdirektiv reglerar vibrationsnivån i arbetsmaskiner. I direktivet anges ett gränsvärde (1,15 m/s²), vilket inte får överskridas, och ett insatsvärde (0,5 m/s²), vid vilket åtgärder måste sättas in. Värdena gäller daglig exponering normaliserat till 8 timmar (m/s²) enligt ISO 2631–1(1997). Arbetsmiljöverkets föreskrifter AFS 2005:15 – Vibrationer, följer dessa värden och gäller för verksamheter där någon kan utsättas för vibrationer i arbetet.

Skogsbruksmaskiner som kör i besvärlig terräng *Ytstruktur* 2–3 överskrider ofta insatsvärdet, speciellt om maskinen körs i hög hastighet.

Klimatet

Skogsbrukets påverkan på klimatet är främst genom avgaser från motorer. Avgaserna bidrar till växthuseffekten, till försurning och vissa andra problem. Man kan minska avgaserna främst genom att dels följa de avgasnormer som lagstiftats om och dels genom öka skogsmaskinernas energieffektivitet genom förbättrad uppbyggnad av till exempel maskinernas hydraulsystem, drivlina och markkontaktorgan.

Marken
Skonsamhet mot mark avser främst att hålla skadenivån vad gäller spårbildning och kompaktering på en låg nivå.

Markpåverkan
Körning i terräng kan orsaka spårbildning, erosion, markkompaktering och att oljeprodukter tillförs mark och vatten vid eventuella läckage från terrängmaskinerna. Jordens bärighet beror i hög grad på vattenhalten, eftersom vattnet smörjer mellan partiklar, som då lättare flyttas i sidled. Tryckloben under ett däck går då ner i underlaget och tränger undan de ytliga jordpartiklarna. Skogsmark består av tre lager, mineraljord, humusskikt och rötter. Cirka 85 procent av rötterna finns inom översta decimetern i marken. De har ganska hög draghållfasthet men är elastiska. Hög punktbelastning, skarpa stålribbor på band, höga behov av dragkraft samt slirning och skjuvning sliter sönder rötterna. Upp till 50 procent av markens hållfast kan förloras. Ett fordon som inte trasar sönder rotarmeringen ger mycket låga markskador.

Vatten
Vatten är en viktig del av skogsekosystemet och skogens vatten kommer att fokuseras allt mer, som en följd av Sveriges 16 nationella miljökvalitetsmål och EU:s ramdirektiv för vatten (2000/60/EG). Med vatten avses mark- och grundvatten, rinnande vatten och sjöar i skogslandskapet. När man bedömer effekterna av dagens skogsbruk måste man ta hänsyn till att ytvattnet påverkas av många faktorer, bl.a. historisk mark- och vattenanvändning, nutida miljöproblem som försurning och övergödning och naturliga störningar som bränder och vindfällningar. Skogsbruk innefattar ett antal skogsbruksåtgärder som kan ge kemiska, fysiska och biologiska effekter i vatten under varierande tid och i olika grad.

Hur skogsbruksåtgärderna utförs i det enskilda fallet är avgörande för vilka miljöeffekterna blir. Röjning och gallring sker årligen på stora arealer, men kunskapen är liten om hur dessa åtgärder påverkar vatten. Hur slutavverkning påverkar vatten beror bl.a. på hur stor del av avrinningsområdet man avverkar. Kantzoner med och utan träd längs ytvatten, hur terrängkörning utförs, områdets jordart, topografi och bördighet samt de följande årens väder har också betydelse.

Effekterna på ytvatten beror på hur markstörningarna är sammankopplade med varandra och med angränsande ytvatten. Spårbildning kan påtagligt påverka ytvattnens kvalitet främst genom ökad erosion och tillförsel av finkornig mineraljord och organiskt material.

SKOTARKONCEPTET GENTLE
För att minska markpåverkan, helkroppsvibrationer och påverkan på klimatet har en skotare Komatsu 845 försetts med bandställ utvecklade för BAE Systems Hägglunds bandvagn BvS10. Den ombyggda skotaren kallades *Gentle* och projektet att konstruera och testa konceptet fick namnet *Gentle – Proof of Concept*. Projektet påbörjades i januari 2015 och var avslutat i februari 2016. Projektet är ett samarbete mellan Komatsu Forest, BAE Systems Hägglunds, SCA Skog (som representant för svenska skogsbolag) och Skogforsk.

Projektet Gentle bygger på teknik från bandvagnar med ett passivt pendel-armssystem som bär bandet inuti ett bandställ. Pendelramssystemet agerar som en passivfjädring och förväntades reducera helkroppsvibrationerna markant. Då maskinens hastighet är starkt kopplad till såväl prestation som till vibrationsnivå är det av stort intresse att studera

vilka förbättringar den passiva dämpningen erbjuder. Om högre hastighet uppnås kan det direkt översättas till högre produktivitet. Man får även en ökad tillgänglighet till områden utan behov av mellanlagring av virke vilket kan minska påverkan av årstidsvariationen.

MÅL

Målsättningen med projektet var att utveckla en demonstrator av en skotare med bandsystem och att undersöka potentialen för ett sådant system. En slutlig lösning kommer att se annorlunda ut och vara optimerad för skogsbruk. Hypotesen är att en bandgående skotare skall möjliggöra ökad produktivitet i terrängtransport, minskad markpåverkan, lägre energiförbrukning och minskade helkroppsvibrationer.

SYFTE

Syftet med projektet har varit att utvärdera potentialen med BAE Hägglunds bandsystem från bandvagn BvS10 monterade på en skotare Komatsu 845, kallad Gentle, under olika driftsmiljöer och årstider. Syftet har också varit att bestämma skillnader i hastighet, helkroppsvibrationer, framkomlighet, energi-förbrukning och spårdjup mellan skotare med hjul och en skotare försedd med bandsystem.

AVGRÄNSNINGAR

Projektet har inte omfattat produktivitetsstudier då bandsystemet från BvS10 är dimensionerat för maximalt 15 ton. En Komatsu 845 väger cirka 30 ton, fullt lastad.

Delstudier – Material och metoder

För att få en bra jämförelse, mellan hjul och band, vid utvärdering av helkroppsvibrationer på Skogforsks testbana för vibrationsmätningar gjordes tester med skotaren Komatsu 845 både före och efter ombyggnad. Avsikten var att minska antalet påverkande faktorer så mycket som möjligt för att få en bra jämförelse mellan band och hjul. Vid alla fältstudier har projektet haft en extra Komatsu 845 skotare som jämförelsemaskin. Den extra skotaren har varit en och samma maskin under alla tester, vilket har gett en bra relativ jämförelse mellan testerna. Följande studier har genomförts:

- Mätning av helkroppsvibrationer på Skogforsks vibrationsbana och en kortare terrängbana.
- Mätning av spårdjup på homogen organogen jord.
- Körning i terräng.
- Körning i snö.
- Stabilitet vid krankörning.
- Dragkraftsprov.

Vid alla studier har data registrerats för att kunna beräkna helkroppsvibrationer, hastighet och bränsleförbrukning.

MASKINKONFIGURATIONER

I och med att bandsystemet inte kan bära mer än 15 ton har projektet utvärderat olika maskinkonfigurationer. Följande konfigurationer har utvärderats:

1. Komatsu 845.
2. Komatsu 845 utan kran.
3. Komatsu 845 utan kran, med kompensationslast för att få jämnare viktfördelning mellan fram- och bakvagn.
4. Gentle med kran.
5. Gentle utan kran.
6. Gentle utan kran, med kompensationslast för att få jämnare viktfördelning mellan fram och bakvagn.

Testerna utfördes dels med hjulburen skotare, dels med olika band.

Maskinvikt

Maskinvikten bestämdes med en våg under varje hjul på plan mark (Figur 3). Lufttrycket i däcken justerades till det tryck som anges i instruktionsboken, både för framram och bakram. Gentles vikt mättes genom att placera kraftiga plankor på två vågar, mellan främre och bakre bärhjul under varje bandställ på plan mark (Figur 4).

För att kunna göra jämförelser mellan hjul och bandsystem har projektet försökt att uppnå samma vikt före och efter ombyggnad. Vikten bestämdes med Fordonsvågsystem EvoCar (Figur 2 och 3). Varje våg kan väga upp till 10 000 kilo med en noggrannhet på 10 kilo. Alla vågar, 10 stycken, lämnades in för kalibrering innan mätningarna gjordes.

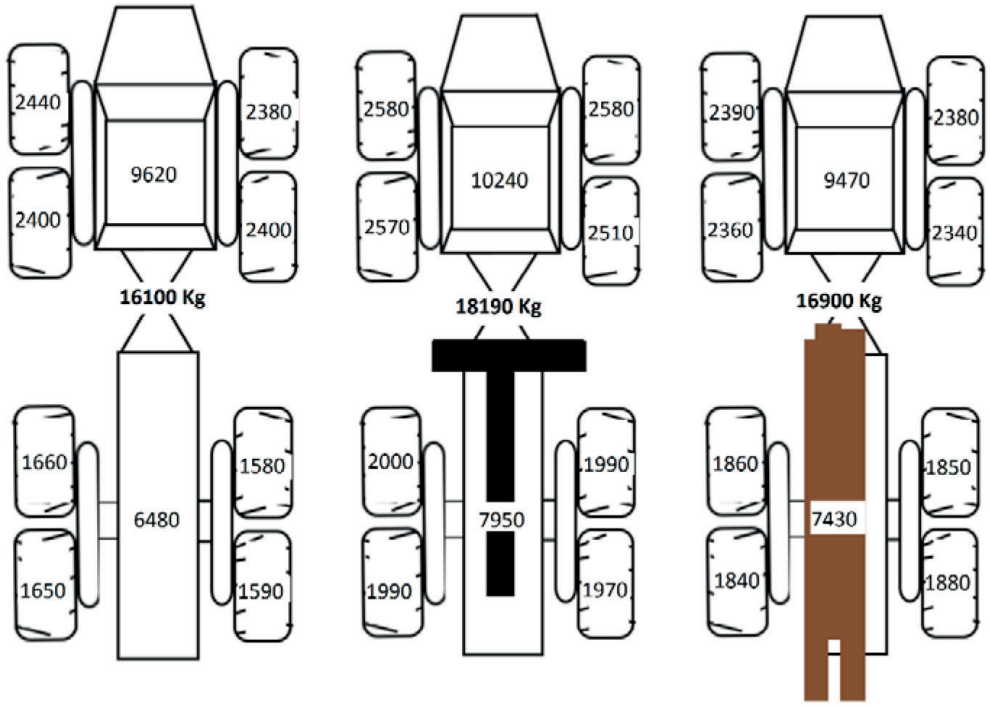
Figur 2. Fordonsvåg EvoCar.
Foto figur 2 och 3: Björn Löfgren

Figur 3. Vägning av skotare med hjul.

Figur 4. Vägning av skotare med bandsystem. Foto: Björn Löfgren.

Vikt Komatsu 845

- Komatsu 845 i standardutförande.
- Komatsu 845 utan kran utan last.
- Komatsu 845 utan kran med last.

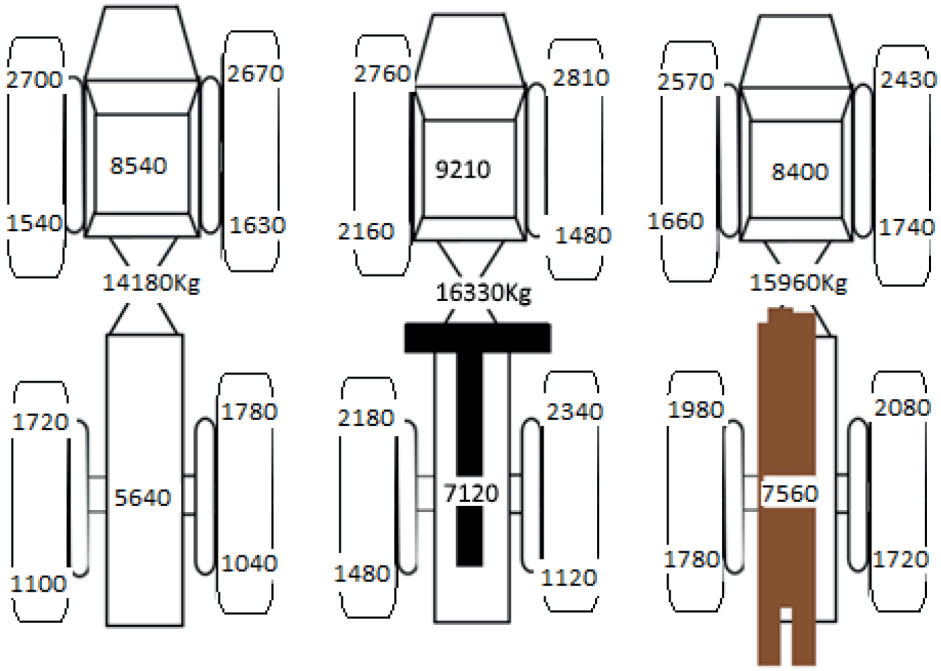


Figur 5. Viktfördelningen vid de tre konfigurationerna för Komatsu 845.

Totalvikt Komatsu 845 olastad utan kran:	16 100 kilo.
Totalvikt Komatsu 845 komplett:	18 190 kilo.
Totalvikt Komatsu 845 utan kran, med kompensationslast:	16 900 kilo.

Avsikten med kompensationslasten var för att få samma maximala last på bakvagnen för skotare med hjul och skotare med bandsystem. Lasten placerades så långt bak som möjligt för att minska belastningen på framvagnen.

Vikt Gentle

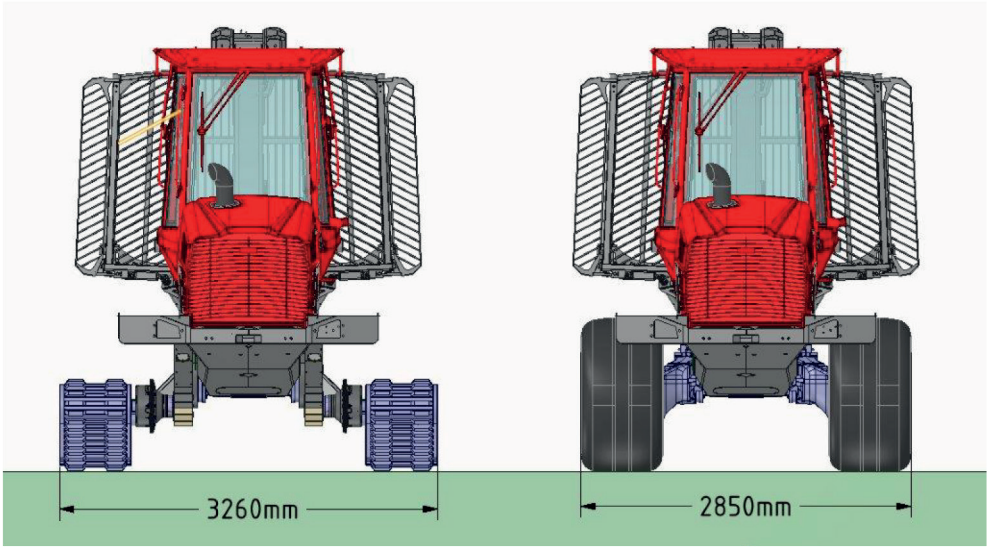


Figur 6. Viktfördelningen vid de tre konfigurationerna för Gentle. Illustration:

Totalvikt Gentle olastad utan kran:	14 180 Kilo
Totalvikt Gentle olastad med kran:	16 330 Kilo
Totalvikt Gentle utan kran, med kompensationslast:	15 960 Kilo

På grund av begränsat utrymme vid framramen fick bandställen en förskjuten infästningspunkt, vilket gav högre belastning på de främre bärhjulen än vad de är konstruerade för (Figur 6).

Maskinmått
Då skotaren Komatsu 845 utrustades med bandsystemet blev den 410 millimeter bredare, (Figur 7).



Figur 7. Skotarens breddmått med hjul och bandsystem. Illustration: Komatsu Forest

MÄTNING AV VIBRATIONER

Mätningar av vibrationer genomfördes vid två tillfällen dels före ombyggnad, med hjul, och dels efter ombyggnad till bandsystem. Proven gjordes vid två olika tillfällen, vid första tillfället, i april 2015, testades Komatsu 845. Vid andra tillfället, september-oktober 2015, testades Gentle.

Bandsystemet från BvS10 har en maximal fjädringsväg på 200 millimeter, vid en belastning av 3 750 kilo/bandställ, d.v.s. en maximal vikt på 15 ton för att erhålla rätt styvhet hos fjädringen. Gentle vägde 14 180 kilo utan kran och 15 960 vid testerna, vilket innebar att med last var fjädringen för mjuk och framför allt, enbart 120 millimeter i främre änden på bandstället på framramen. För att hantera hinder större än 200 millimeter krävs annat utförande med ytterligare fjädringsväg.

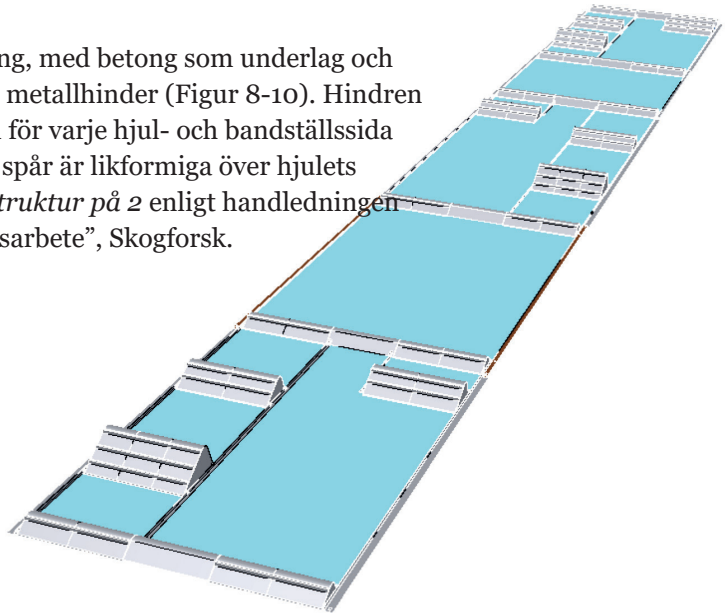
Testprocedur
Komatsu 845 och Gentle kördes upprepade gånger över den standardiserade vibrationsbanan och likaså över terrängbanan. Testerna på vibrationsbanan gjordes med hastigheterna 0,25 m/s, 0,5 m/s och, om möjligt, 1,0 m/s.

Testbanor
Testerna gjordes vid Jälla Naturbruksgymnasium, dels på en standardiserad vibrationsbana, dels på en av skolans terrängbanor för skotare.

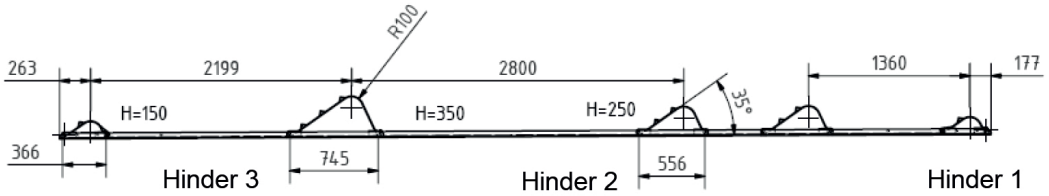
Standardiserad vibrationsbana
Vibrationsbanan består av tre delar, en 5 meter lång plan raksträcka före hindren, en hinderbana och till slut en 5 meter lång plan raksträcka. Den plana sträckan före hindren är till för att uppnå rätt hastighet. De plana sträckorna finns med i själva analysen av

vibrationerna.

Hinderbanan är 28 meter lång, med betong som underlag och med ett antal fastmonterade metallhinder (Figur 8-10). Hindren är grupperade i två rader, en för varje hjul- och bandställssida av skotarna. Hindren i varje spår är likformiga över hjulets bredd. Banan motsvarar *Ytstruktur på 2* enligt handledningen ”Terrängtypschema för skogsarbete”, Skogforsk.



Figur 8. Testbanan som används för vibrationsmätning.



Figur 9. De tre hindertyper som testbanan är uppbyggd av med införda mått för längd och totalhöjd samt med namn. Samtliga mått är i millimeter.

Figur 10. Foto av vibrationsbanan vid Jälla. Foto: Abbos Ismoilov.

Terrängbana

Terrängbanan var cirka 250 meter lång och bestod av en hård mark med hinder av sten. Då banan har använts av Jällaskolan vid utbildning av skogsmaskinförare kan underlaget betraktas som fast och relativt konstant över årstiderna. Det fanns ett cirka 30 meter långt vattenhål på banan (Figur 11 och 12).

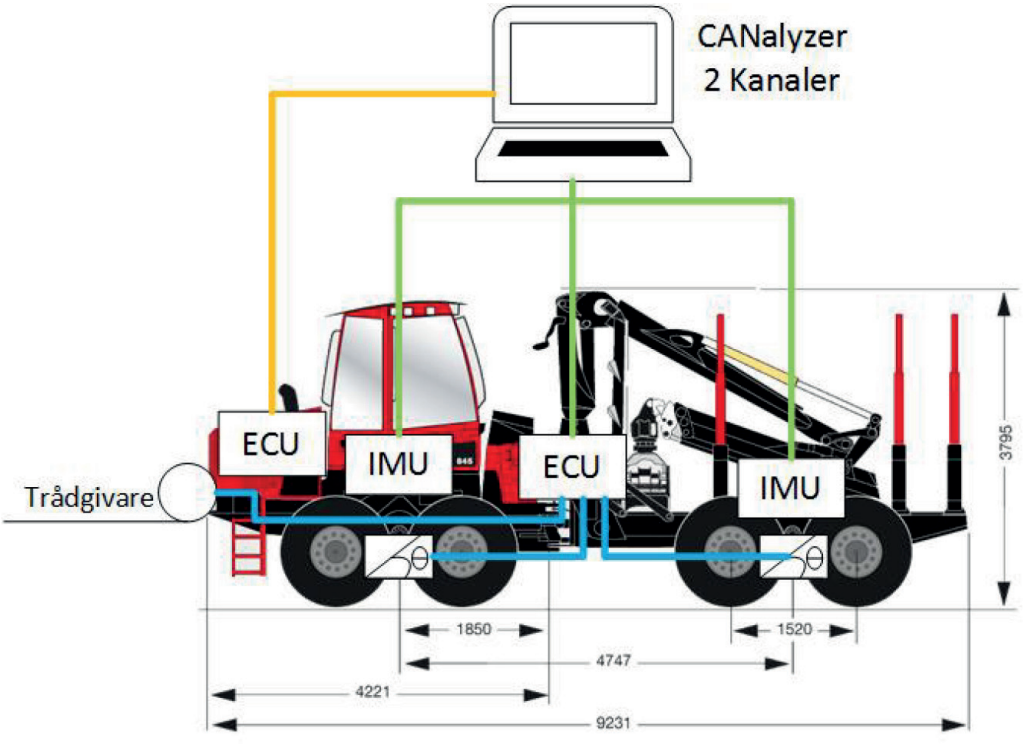
Figur 11. Foto av skotaren med hjul på skotarbanan. Foto: Abbos Ismoilov.

Figur 12. Foto av Gentle i ett vattenhål på skotarbanan. Foto: Olle Gelin, Skogforsk.

Mätutrustning och sensorer
Vinkelsensorer och trådgivare var kopplade till en styrenhet som kommunicerar mätvärden via CAN till mätdatorn. Två *Inertial Measurement Units* (IMU) mätte accelerationer i x-, y-, och z-led samt vinkelhastigheterna roll och pitch. IMU:erna var kopplade på samma CAN-buss, markerad med grön färg i Figur 13. Skotarens egna styrsystem var kopplat via en egen CAN-buss till mätdatorn, gul CAN-buss i Figur 13. Mätdatorn loggade alla signaler med analysprogrammet CAN-alyzer och sparar dem i en gemensam fil som sedan analyseras i Matlab. Mätvärden samlades in med en frekvens av 100 Hz.

Mätutrustning

- CAN-alyzer, Analysverktyg från Vector som är installerat på en PC.
- Beröringsfria vinkelsensorer (ViT) för hjulskotaren och (Kelag KAS901-51).
- 2x IMU Ponsse ECU, mäter accelerationer i x, y, z, roll och pitch.
- Trådgivare 50 meter.
- ECU Fordonsdata via CAN.
- Digitaltvattenpass från Bosch.
- BODAS ECU RC 28-14 30.



Figur 13. Kopplingsschema för mätutrustning.

Sensorer och sensorplacering

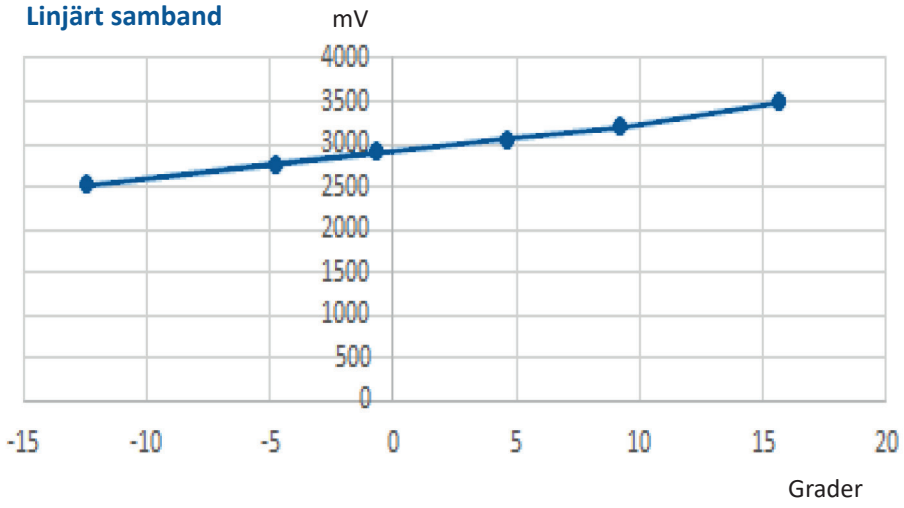
Vinkelgivare på skotare Komatsu 845

För att kunna simulera skotaren Komatsu 845 behövdes information om hur boggilådorna rör sig på vibrationsbanan. För att kunna mäta boggirörelserna användes vinkelgivare placerade utanpå boggilådorna (Figur 14). Efter ombyggnad till Gentle användes vinkelgivare med direkt avläsning.

Figur 14. Placering av vinkelsensor skotaren med hjul. Foto: Abbos Ismoilov.

Kalibrering av vinkelgivare

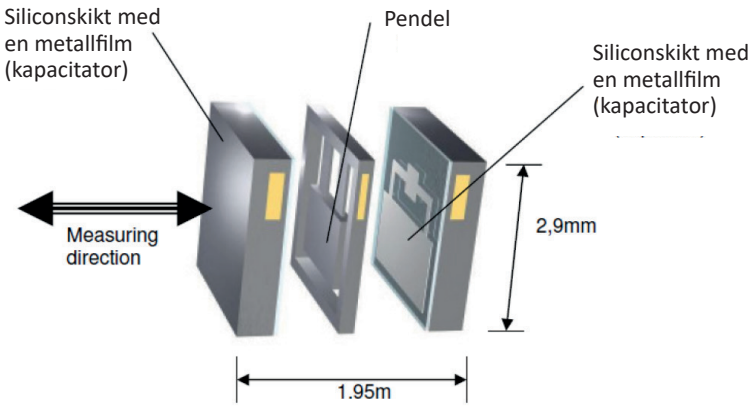
För att kalibrera vinkelgivarna ställdes skotarens 4 boggiarmar i olika vinklar. Sensorvärdet lästes av från mätutrustningen och kopplades mot uppmätt vinkel som mättes med ett digitalt vattenpass. Mätvärdena fördes in i en graf (Figur 15), som visar att givarna följer ett linjärt samband mellan vinkel och spänning.



Figur 15. Det linjära sambandet mellan spänning och grader för vinkelgivare på höger boggi bak.

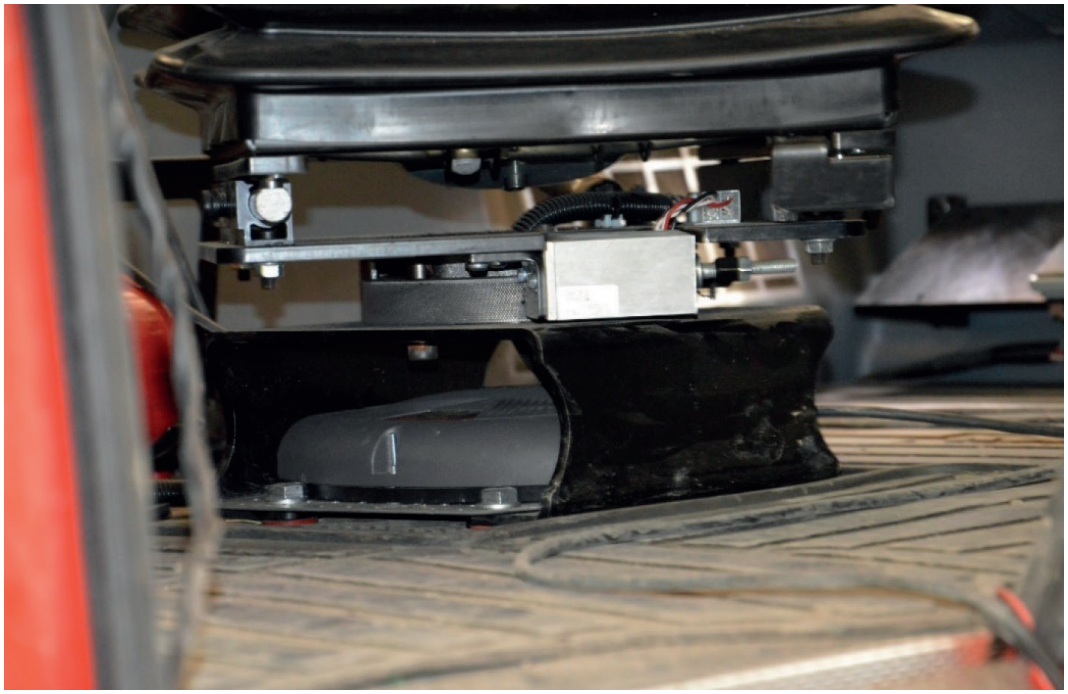
Vinkelgivare på skotare Gentle

Då det inte gick att kalibrera vinkelgivarna på samma sätt som för Komatsu 845 införskaffades vinkelgivare med direkt avläsning av vinkeln. Vinkelgivarna placerades i centrum av utgående axel från boggilådorna. Figur 16 visar uppbyggnaden hos vinkelgivarna på Gentle.



Accelerationer och vinkelhastigheter

För att mäta accelerationer i x-, y- och z-led samt vinkelhastigheterna roll och pitch användes gyron från Ponsse, som använts i tidigare vibrationsprojekt på Skogforsk. Gyrot är framtaget för fältbruk och för styrning av deras egna skogsmaskiner.



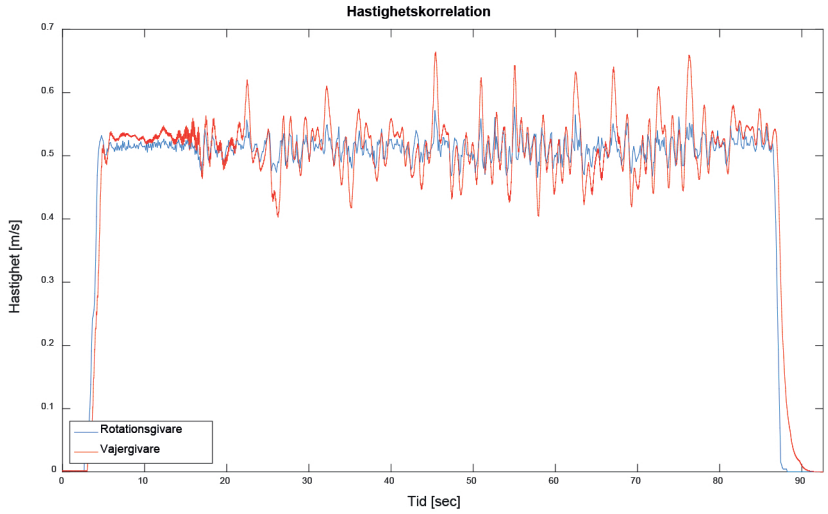
Figur 17. IMU installerad under förarsätet direkt ovan främre boggiaxeln.
Foto: Abbos Ismoilov.

Figur 18. IMU monterad på bakvagnens boggiaxelcentrum och vinkelsensor på boggilådan.
Foto: Abbos Ismoilov.

Hastighet och positionsbestämning

Hastigheten på skotaren erhölls primärts från hastighetsgivaren (visar hastighet och sträcka) som fanns som standard på skotaren. För att kontrollera skotarens hastighetsgivare, och kontrollera om hastigheten ändrades när man monterat på bandsystem, användes en 50 meter lång vajergivare, (Figur 19). Vajergivaren monterades med ena änden i framkant på skotaren och en fast punkt längre fram på testbanan samt anslöts till mätsystemet. Vajergivaren tänktes också som ett komplement till att få den faktiska fordonshastigheten då banlängden är något kortare än vad skotarens hastighetsgivare anger då hjulen rör sig en extra sträcka när de passerar över hindren.

Figur 19. Trådgivare för hastighets- och positionsbestämning.
Foto: Projektgruppen.

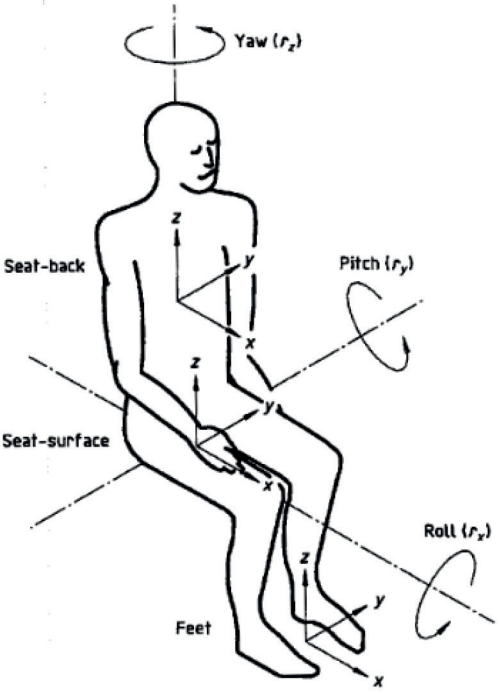


Figur 20. Exempel på hastigheter enligt de två mätsätten.

Genomsnittshastighet maskin:	1,4706 km/h	Genomsnittshastighet trådgivare:	1,4632 km/h

Analys av vibrationer

Vibrationerna kan mätas med två olika RMS-värden, dels hälsa och dels komfort. Båda beräknas enligt ISO 2631 och skillnaden är den att i komfortberäkningarna adderar man till värdena för roll, pitch och yaw. I analyserna har komfortberäkningar använts då ett komfortvärde är mer intressant i och med att det även tar hänsyn till rollrörelsens bidrag till vibrationerna.



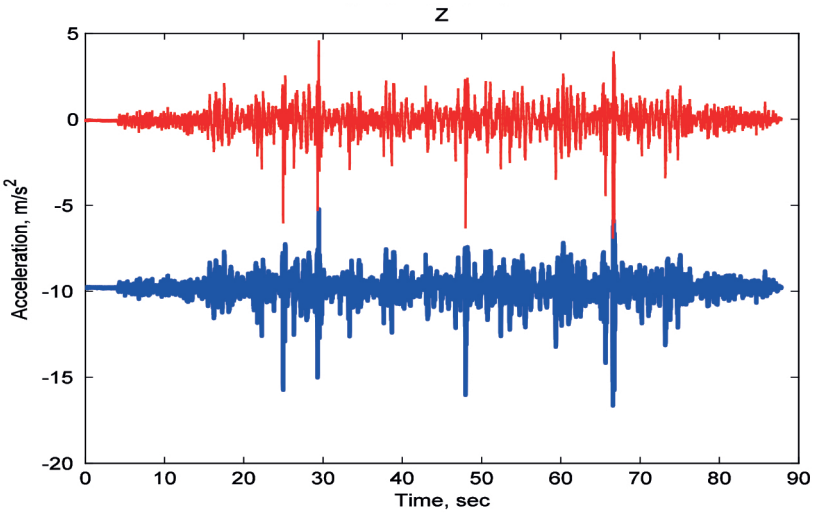
Figur 21. Definition av riktningar i ISO 2631-1.

Mätmetod

Mätningar och analyser följer standarden ISO 2631– 1, ISO 2631– 4 och ISO 8041. Ett undantag från standard är att mätningarna av vibrationerna har gjorts på hyttgolvet och inte på stolen som man normalt gör vid komfortberäkningen. Mätningar på golvet valdes för förarnas vikt och stolens kvalitet och inställning inte ska påverka resultaten då man jämför två olika maskiner. I denna utvärdering är det jämförelsen mellan hjul och bandsystem som är intressant.

Offset kalibrering

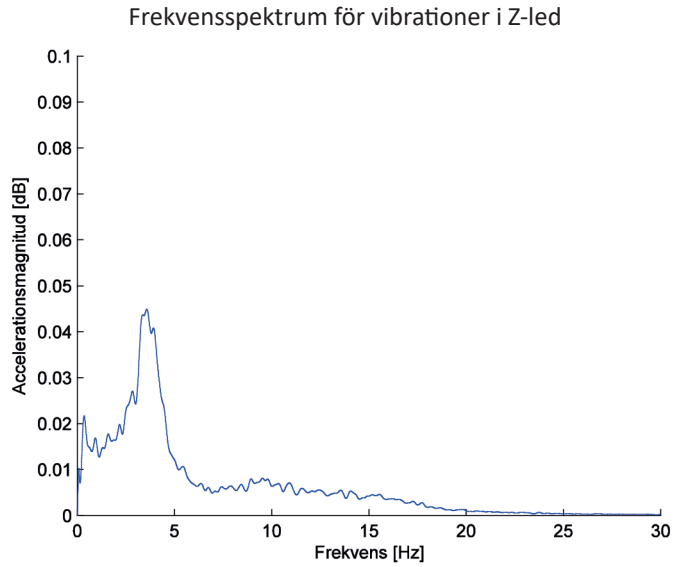
Offseten tas bort från accelerometersignalerna genom att medianamplituden från signalerna subtraheras från varje mätpunkt. Medianamplituden bestäms då underlaget är plant innan hindren, eller när maskinerna står stilla. Det görs för att få värdena före och efter fouriertransformation att sammanfalla vid jämförelse mellan viktad och oviktad signal, (Figur 22).



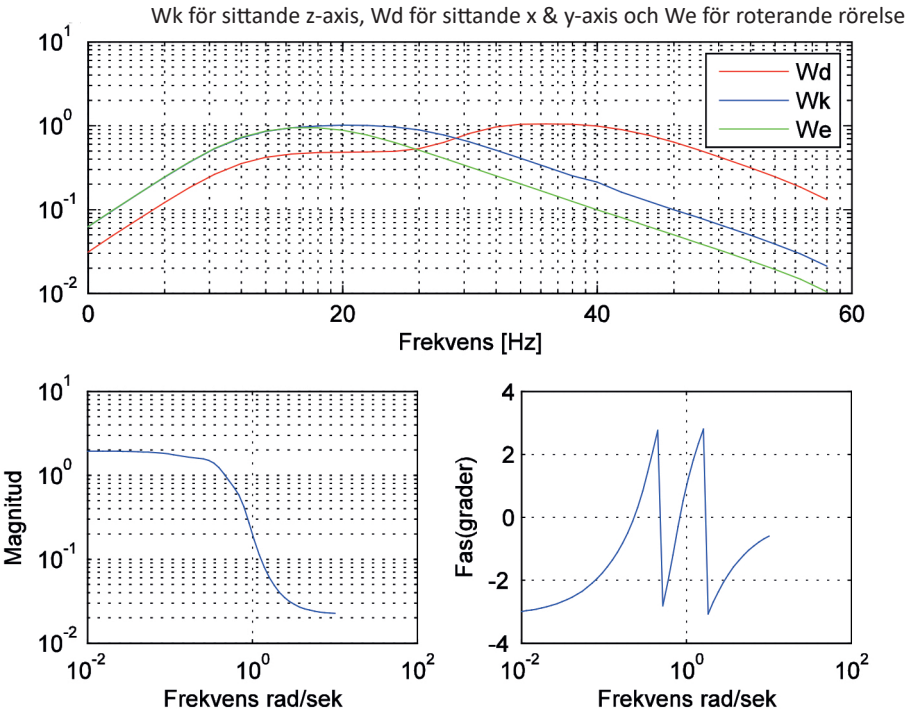
Figur 22. Kalibrering av offset exempel från Gentle körning 3 accelerationer i Z-led.
Blå kurva är ursprunglig data och röd kurva är kalibrerad data.

Viktning av frekvenser

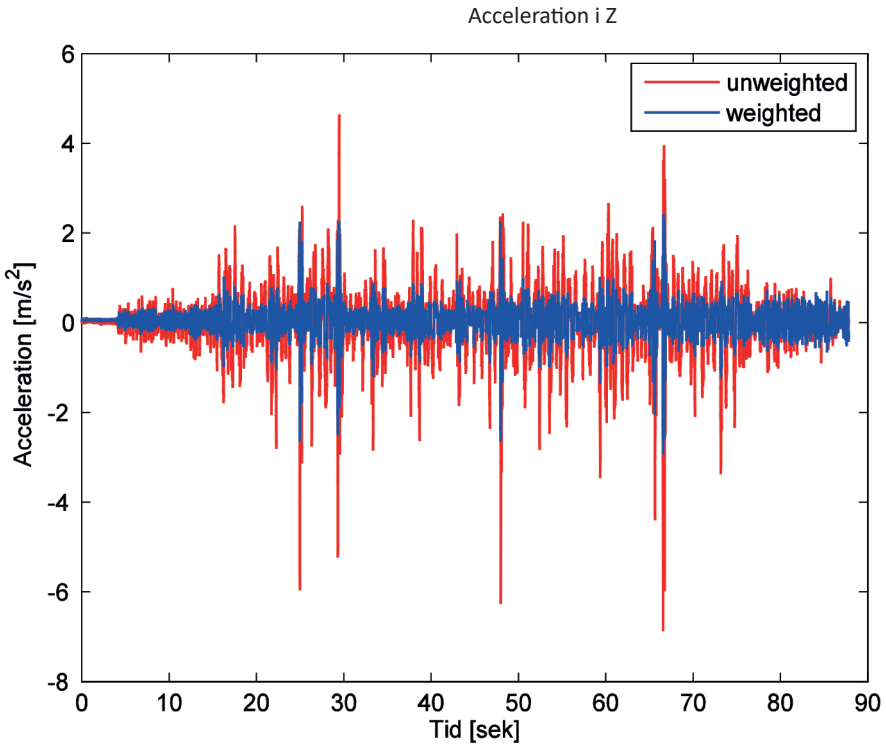
Accelerationerna transformeras från tids- till frekvensdomän, fouriertransformation, för att kunna vikta frekvenserna enligt ISO 2631.



Figur 23. Exempel på frekvensspektrum från mätningar av helkroppsvibrationer.



Figur 24. Viktning av frekvenserna utförs med viktningskurvan ur ISO 2631: Wk för sittande z-led, Wd för sittande x och y-led, We för roterande rörelse pitch.



Figur 25. Röd graf är accelerationerna före viktning, RMS-värdet beräknas på den blå viktade accelerationen.

RMS-värdet, även kallat effektivvärde, viktas enligt ISO 2631 med följande faktorer i de olika riktningarna:

- x – och y – led: 1,4.
- Roll: 0,63.
- Pitch: 0,4.

MÄTNING AV EFFEKT

På skotarna finns möjlighet att läsa pumpflöde och tryck via CAN-bussen och vilket utnyttjats för att kunna bestämma effektåtgång. Eftersom det är en jämförande mätning spelar absolutvärdet inte någon större roll.

Framdrivningssystemet består av en dieselmotor mekaniskt kopplad till en hydrostatisk transmission (hydraulpump kopplad till en hydraulmotor) som i sin tur är mekaniskt kopplad till hjulen via mekaniska differentialer. Det finns inga momentgivare, varken på dieselmotor eller hjulaxlar. Därför har ett alternativt sätt att räkna ut/in-effekterna använts.

Då skotarna har likadana komponenter genomfördes testerna med samma referens-hastigheter, både för fordonshastighet och motorvarvtal, för att skillnaden i hydraulisk verkningsgrad mellan testerna skulle vara så liten som möjligt. Den hydrauliska effekten kan ses som en in-effekt (1.2), eller på hela testförloppet, som in-energi E_{in} (1.3). Ekvation (1.1) beskriver flödet Q_p från pumpen. Ekvation (1.2) beskriver effekten P_{in} från pumpen.

$$Q_p = D_p n_p \varepsilon_p \eta_{vol} \quad (1.1)$$

$$P_{in} = (Q \cdot \Delta p)/\eta_{tot} \quad (1.2)$$

$$E_{in} = P_{in} \cdot \Delta t \quad (1.3)$$

D_p är pumpens maxdeplacement, n_p pumpens rotationshastighet, ε_p pumpens deplacementsställtal, η_{vol} volymetrisk verkningsgrad, Δp tryckskillnad över pumpen, Δt tidsintervall för en mätning och η_{tot} pumpens totala verkningsgrad.

D_p, n_p, ε_p, η_{vol}, η_{tot} ses som konstanter vid denna jämförelse och ersätts med en koefficient. För enkelhets skull anges trycket i bar där koefficienten kom¬pen¬serar för detta och kallas C_{in}:

$$P_{in} = C_{in} \cdot \Delta p \quad (1.4)$$

$$E_{in} = P_{in} \cdot \Delta t \quad (1.5)$$

Ut-energi E_{ut} (1,6) definieras som arbetet för att förflytta en massa en viss sträcka och dess uteffekt P_{ut} (1.7) definieras som arbetet över det specifika tidsförloppet. För att förflytta en massa på ett friktionsfritt golv krävs ingen kraft då en rörelse är initierad, enligt Newtons andra lag. När det gäller det aktuella testfallet finns dock flera motverkande krafter (F_F): rullmotstånd och övrig inre friktion, hinder och de roterande komponenternas tröghetsmoment. De motverkande krafterna är beroende av normalkraften/-massan och då komponenterna och underlaget är densamma vid en jämförande mätning ses detta som en konstant. Denna konstant modifieras så att den innehåller gravitations-koefficienten och uttrycks som C_{ut}, som approximeras som lika i båda fallen helt beroende

på massan. Då hastigheten är konstant behöver transmissionssystemet endast motverka krafter enligt ekvation 1.8, 1,9, 1.10 och 1.11, nedan. Kraften som transmissionssystemet ger benämns som F_d. Detta ger:

$$E_{ut} = W = F_d \cdot s \quad (1.6)$$

$$P_{ut} = F_d \cdot s/\Delta t \quad (1.7)$$

$$F_d - F_F = m \cdot a = 0 \quad (1.8)$$

$$F_d = F_F \quad (1.9)$$

$$FF = m\, g \sum_k \mu_k \quad (1.10)$$

$$F_d = F_F = m\, g \sum_k \mu_k \quad (1.11)$$

$$P_{ut} = C_{ut} \cdot m \cdot v \quad (1.12)$$

W är arbetet, F_d är den drivande kraften, s den förflyttade sträckan, m är massan, a är fordonets acceleration, F_F är de motverkande krafterna, g är gravitationskonstanten, $\sum_k \mu_k$ är summan av de motverkande krafternas koefficient och v är fordonets hastighet.

För att jämföra P_{in} med P_{ut} normaliseras värdena mot Komatsu 845 utan kran som har medianvikten, väldigt nära medelvikten, i testerna på Skogforsks vibrationsbana samt terrängbanan. I övriga fall används Komatsu 845 med kran som normalisering då testerna gjordes med kran.

$$\eta = P_{ut}/P_{in} \quad (1.13)$$

$$\eta_{norm} = \eta/\eta_{ref} \quad (1.14)$$

För att spegla variationerna i datamaterialet skrivs även variationskoefficienten som definieras:

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1.15)$$

där C_v är variationskoefficienten, σ standardavvikelsen och μ medelvärdet.

DRAGKRAFTSMÄTNING

Dragproven genomfördes genom att en skotare fick bromsa den skotare som testades. Mellan de två skotarna monterades en dragkraftsgivare som kan mäta krafter upp till 20 kN med hjälp av två lyftöglor. Vid testen kör den dragande skotaren på maximal hastighet på lägsta växeln och den efterföljande skotaren följer med och håller linorna spända. På en given signal bromsar den efterföljande skotaren sakta ned till 0 kilometer per timme. Under inbromsningen registreras dragkraften. Maximala dragkraften fås då den efterföljande skotaren står stilla, (Figur 26).

Figur 26. Dragprov Borgafjäll. Foto: Björn Hellholm.

SPÅRDJUPSTESTER

Spårdjupstesterna genomfördes med två konfigurationer på Komatsu 845 (med hjul, respektive med stålband) och en konfiguration av Gentle. Referensskotare var en Komatsu 845 med samma tekniska data som Gentle innan den blev ombyggd. Testerna genomfördes i slutet av september 2015 på en åker med mäktig organogen jord (högt humifierad torv), cirka 7 kilometer sydost om Tierp.

Mätning av fordonsvikt, spårdjup, marktryck och markegenskaper

Maskinvikterna bestämdes med fordonsvågar. Först mäts spårdjupen på en rak bana. Skotarna körs med en hastighet av cirka 3–4 kilometer per timme, 10 gånger över en 30 meter lång raksträcka. Spårdjupen noterades efter varje passage i båda spåren med 2 meters avstånd mellan punkterna. Därefter kördes skotarna i slalombana med 7 och 10 meters portavstånd och ingen förskjutning i sidled för att efterlikna en krokig stickväg.

Spårdjupen noterades med hjälp av stort skjutmått (Figur 27), efter varje passage under de fem första passagerna och därefter efter passage 8 och 10, i båda spåren med 2 meters avstånd mellan punkterna. Om medelvärdet av spårdjupet är större än 15 centimeter avbryts testerna även om inte man kört 10 passager över banan.

Komatsu 845 lastades med 75 procent av maximal vikt. Gentle kördes olastad med kran påmonterad.

Mätning av markens konmotstånd och fukthalt genomfördes. Konmotståndet mättes med en Eijelkamp registrerande penetrologger med en standard ASAE 30 graders kona med basen 2,1 centimeter i diameter och en penetreringshastighet på cirka 3 centimeter per sekund, (Figur 28). Konmotståndet mättes på varannan mätpunkt för spårdjup i båda spåren, det vill säga 8 värden per överfart ner till ett djup där motståndet överstiger cirka 1,5 Mpa. Fukthalten mättes i jordprov taget på 10 centimeters djup, genom att torka jordprovet i 100° C till torrhet i ugn.

Figur 27. Mätning av spårdjup och konmotstånd. Foto:Skogforsk.

Figur 28. Mätning av konmotstånd med hjälp konpenetrometer. Foto:Skogforsk.

FÄLTESTER

Fältester utfördes på tre lokaler: Volgsjökullen utanför Bjurholm, Västerbotten, Agnäsbacken i Bjurholm, Västerbotten samt Borgafjäll i Lappland.

Under alla fälttester var kranen på Gentle bortmonterad. Därför kördes Gentle med kompensationslast.

Volgsjökullen

I Volgsjökullen utanför Bjurholm genomfördes tester i terräng. Dels kördes en cirka 1 000 meter lång slinga, *Ytstruktur 2*, med olika mark- och terrängförhållanden (Figur 29), dels testades skotarnas förmåga att köra uppför en brant backe, (Figur 30 och 31). Inga tester kördes i mer besvärlig terräng, då man vid inledande tester fick bandkrängning.

Figur 29. Terrängbana i Volgsjökullen, Bjurholm. Foto: Björn Hellholm.

Figur 30. Körning i backe i Volgsjökullen. Komatsu 845. Foto: Björn Hellholm.

Figur 31. Körning i backe i Volgsjökullen. Gentle. Foto: Björn Hellholm.

Agnäsbacken

I Agnäsbackens slalombacke, genomfördes tester på hårt packad snö och uppför samt i sidled en isbacke. I Agnäsbacken gjordes inga mätningar av energi eller vibrationer utan fokus låg på framkomlighet under olika förhållanden, körning i isbacke rakt uppför (Figur 32), körning på hårt packad snö, (Figur 33) och körning i sidolut i isbacke, (Figur 34).

Figur 32. Komatsu 845 i isbacken. Foto: Björn Hellholm.

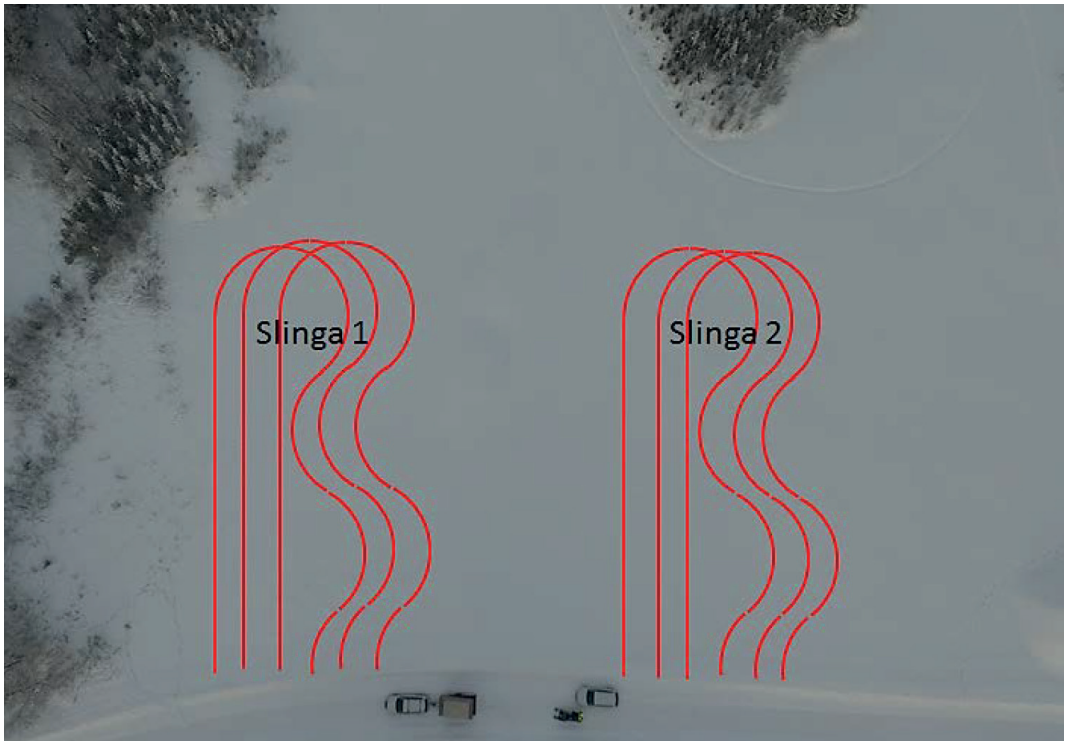
Figur 33. Gentle i slalombacken med hårt packad snö. Foto: Björn Hellholm.

Figur 34. Gentle vid körning i sida i isbacken. Foto: Björn Hellholm.

Borgafjäll

I Borgafjäll genomfördes tester i djup snö. Snödjupet var cirka 0,8 – 1 meter djupt. Tre testbanor användes, *Slinga 1*, *Slinga 2* och en lång körslinga, (Figur 35 och 36). I *Slinga 1* där kördes en test i obanad djup snö. Dag två, när spåren fått frysa under natten, kördes två vändor i samma spår. I *Slinga 2* kördes dels i obanad djup snö och dels ytterligare två vändor i samma slinga. Dag två, när spåren fått frysa under natten, kördes ytterligare två vändor i samma spår. Sedan kördes en lång slinga i obanad djup snö. Dag två, när spåren fått frysa under natten, kördes en vända i samma spår. Skotaren Komatsu 845 lastades med 75 procent last av maximal last (9 ton). Skotaren Gentle försågs med en kompensationslast på 1 800 kilo för at få samma vikt som Komatsu 845 utan kran. Ytterligare en test genomfördes och det var körning i backe i obanad djup snö. Som en sista test av Gentle, innan bandsystemet skulle monteras bort, lastades den så att man erhöll samma vikt som Komatsu 845 olastad. En extra vikt om 6 ton lades till på Gentle förutom kompensationslast. Man erhöll då en vikt på Gentle på cirka 22 ton (Figur 37).

Figur 35. Långa körslingan i Borgafjäll. Foto: Björn Hellholm.



Figur 36. Testslingor. Foto: Björn Hellholm.

Figur 37. Skotare Gentle lastad med extra 6 ton. Foto: Björn Hellholm.

STABILITET

För att undersöka skillnaden i stabilitet mellan Komatsu 845 och Gentle genomfördes två olika tester med kranen. Det första testtillfället gjordes i Borgafjäll då endast Komatsu 845 hade kran på skotaren. Gentle testades hos Komatsu Forest i Umeå vid ett senare tillfälle då kranen var monterad på skotaren. Två tester genomfördes där den första var att göra en avlastningscykel, som repeterades 10 gånger, med 1 ton i gripen (Figur 38). Det andra testet var att med 600 kilo i gripen sträcka ut kranen på maximal räckvidd och därefter släppa lasten för att provocera fram maximala dynamiska krafter vid kranarbetet (Figur 39).

Figur 38. Mätning av stabilitet vid krankörning för Komatsu 845. Foto: Olle Gelin, Skogforsk.

Figur 39. Mätning av stabilitet vid krankörning för Komatsu 845. Foto: Olle Gelin, Skogforsk.

Resultat

HELKROPPSVIBRATIONER

Här presenteras resultat från körning på Skogforsks vibrationsbana, terrängbana i Jälla, Volgsjökullen och Borgafjäll. Inga vibrationsmätningar genomfördes i Agnäsbacken. Ingen av de två skotarna hade ett värde som överskrider insatsvärdet 0,5 m/s² i någon av x, y, z – led vare sig det var tester på Skogforsk vibrationsbana eller under fältstudierna.

Skogforsks vibrationsbana

Effektivvärden för vibrationer beräknades vid körning på vibrationsbana med Komatsu 845 och Gentle i samma referenshastighet (1,8 kilometer per timme). Resultaten presenteras som procentuell skillnad mellan de två testade konfigurationerna, baserat på Komatsu 845 olastad som referens. Positiva värden anger därmed att Gentle har ett högre värde på vibrationer. Vid testerna kördes Komatsu 845 endast med hjul.

Tabell 1. Skillnaden mellan Komatsu 845 och Gentle utan kran på Skogforsks vibrationsbana. För Gentle var vibrationerna mest dominanta i X-led och för Komatsu 845 i Y-led.

	Medelhastighet	X	Y	Z	Hälsa	Komfort
Skillnad [%]	4	53	-13	11	7	12

Tabell 2. Skillnaden mellan Komatsu 845 och Gentle med kran på Skogforsks vibrationsbana. För Gentle var vibrationerna mest dominanta i X-led och för Komatsu 845 i Y-led.

	Medelhastighet	X	Y	Z	Hälsa	Komfort
Skillnad [%]	5	55	-18	16	0	11

Tabell 3. Skillnaden mellan Komatsu 845 och Gentle utan kran med kompensationslast på Skogforsks vibrationsbana. För Gentle var vibrationerna mest dominanta i X-led och för Komatsu 845 i Y-led.

	Medelhastighet	X	Y	Z	Hälsa	Komfort
Skillnad [%]	6	67,4	-5,1	27,8	18	5

Terrängbana i Jälla

Effektivvärden för vibrationer vid körning på terrängbana med Komatsu 845 och Gentle med samma referenshastighet (1,8 km/tim). Resultaten presenteras som skillnad i procent mellan de två olika maskin-koncepten. Skillnaden i procent är baseras på Komatsu 845 olastad som referens. Det innebär att positiva värden betyder att Gentle har ett högre värde. Vid testerna kördes Komatsu 845 utan band. Jämförelsen mellan Gentle och Komatsu 845 på terrängbanan bör göras med åtanke på Gentles begränsade markfrigång, som fick gå mer på hindren, medan 845 gränslade dem.

Tabell 4. Skillnaden mellan Komatsu 845 och Gentle utan kran på terrängbana.

	Medelhastighet	X	Y	Z
Skillnad [%]	3,8	62	30,8	33,9

Tabell 5. Skillnaden mellan Komatsu 845 och Gentle med kran på terrängbana.

	Medelhastighet	X	Y	Z
Skillnad [%]	-0,5	72,4	36,9	34,7

Tabell 6. Skillnaden mellan Komatsu 845 och Gentle utan kran med kompensationslast på terrängbana.

	Medelhastighet	X	Y	Z
Skillnad [%]	2,7	45,6	19,7	17,4

Volgsjökullen

Effektivvärden för vibrationer vid körning på terrängbana med Komatsu 845 och Gentle. Skotarna kördes i referenshastighet 5 kilometer per timme. Resultaten presenteras som skillnad i procent mellan de två olika maskinkoncepten. Skillnaden i procent är baseras på Komatsu 845 olastad som referens. Det innebär att positiva värden betyder att Gentle har ett högre värde. *Comfort ride* innebär att Komatsu Forests hyttdämpningssystem är inkopplad och det gäller bara för Komatsu 845. Transport innebär att hyttdämpningssystemet är låst. På Gentle sitter hytten fast mot ramen med gummibussningar. Vid testerna kördes Komatsu 845 med dragande band fram och bärande band bak.

Tabell 7. Skillnaden i procent mellan Komatsu 845 med last och Gentle med kompensationslast.

	Medelhastighet	X	Y	Z	Hälsa	Komfort
Comfort ride	3,7	1,1	-48,8	16,3	-43%	-18%
Transport	5,9	-20,8	-51,4	-34,9	-46%	-38%

Tabell 8. Skillnaden i procent mellan Komatsu 845 utan last och Gentle med kompensationslast.

	Medelhastighet	X	Y	Z	Hälsa	Komfort
Comfort ride	3,2	-8,5	-58,6	14,5	-54%	-29%
Transport	2,6	-20,2	-50,2	-34,6	-45%	-37%

Borgafjäll

Effektivvärden för vibrationer vid körning i djup snö med Komatsu 845 och Gentle. Skotarna har körts med den hastighet som var möjlig att uppnå med de begränsningar som respektive skotare har. För att få en jämförelse kördes båda skotarna också med hastigheten 2 kilometer per timme. Hyttdämpningssystemet Comfort ride var inkopplad hela tiden för Komatsu 845. På Gentle sitter hytten fast mot ramen med gummibussningar. Se Figur 36 för slingornas utseende. Vid testerna kördes Komatsu 845 med dragande band både fram och bak.

Slinga 1 – *Ospårad snö*

Tabell 9. Effektivvärden på vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i djup snö.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Komatsu 845 tom	3,68	0,11	0,16	0,27
Gentle	5,52	0,21	0,17	0,30
Komatsu 845 9t	2,98	0,19	0,15	0,31

Nedväxlad skotare till 2 kilometer per timme och arbetsvarvtal. Körning bredvid *Slinga 1*. Vid denna hastighet lastades Gentle med en last av 6 750 kilo för att uppnå samma vikt som Komatsu 845 med utan last.

Tabell 10. Effektivvärden på vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i djup snö. Nedväxlade till 2 kilometer per timme och arbetsvarvtal.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Gentle lastad	2,23	0,08	0,07	0,10
Komatsu 845 tom	1,77	0,12	0,19	0,25

Frysta spår

I *Slinga 1* kördes spåren endast en gång. Därefter fick spåren frysa till under natten. Gentle kördes med kompensationslast.

Tabell 11. Effektivvärden för vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i frysta spår.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Komatsu 845 9 ton, varv 1	3,59	0,25	0,25	0,38
Komatsu 845 9 ton, varv 2	3,97	0,33	0,28	0,63
Komatsu 845 tom, varv 1	4,71	0,20	0,29	0,63
Komatsu 845 tom, varv 2	5,01	0,16	0,25	0,69
Gentle, varv 1	6,66	0,49	0,27	0,22
Gentle, varv 2	7,09	0,43	0,27	0,23

Nedväxlad skotare till 2 kilometer per timme och arbetsvarvtal. Körning bredvid *Slinga 1*. Vid denna hastighet lastades Gentle med en last av 6 750 kilo för att uppnå samma vikt som Komatsu 845 tom.

Tabell 12. Effektivvärden för vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i frysta spår.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Komatsu 845 9 ton	1,96	0,28	0,35	0,55
Komatsu 845 tom	2,04	0,11	0,21	0,38
Gentle 6 ton	2,23	0,07	0,09	0,10

Slinga 2 – *Ospårad snö*

Tabell 13. Effektivvärden för vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i djup snö, slinga 2.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Komatsu 845 tom	3,96	0,16	0,19	0,35
Gentle tom	7,09	0,27	0,20	0,22
Komatsu 845 lastad	3,07	0,17	0,17	0,31

Tabell 14. Effektivvärden för vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i spårad snö. Varv 2 och 3.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Komatsu 845 tom, spår 1, varv 2	4,77	0,17	0,24	0,62
Komatsu 845 tom, spår 2, varv 3	5,15	0,23	0,28	0,68
Gentle tom, spår 1, varv 2	7,62	0,25	0,22	0,23
Gentle tom, spår 2, varv 3	7,95	0,37	0,25	0,22
Komatsu 845 9 ton, spår 1, varv 2	3,86	0,30	0,26	0,61
Komatsu 845 9 ton, spår 2, varv 3	4,33	0,30	0,26	0,69

Frysta spår

I *Slinga 2* kördes skotarna 3 gånger i samma spår innan spåren fick frysa till under natten. Gentle kördes med kompensationslast.

Tabell 15. Effektivvärden för vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i frysta spår.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Komatsu 845 9 ton, varv 1, slinga 2	4,65	0,26	0,30	0,52
Komatsu 845 9 ton, varv 2, slinga 2	4,67	0,24	0,23	0,61
Komatsu 845 tom, varv 1, slinga 2	5,64	0,20	0,27	0,54
Komatsu 845 tom, varv 2, slinga 2	5,76	0,14	0,22	0,54
Gentle, varv 1, slinga 2	8,30	0,38	0,29	0,24
Gentle, varv 2, slinga 2	8,21	0,36	0,31	0,20

Lång bana – *Ospårad snö*

Tabell 16. Effektivvärden på vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i djup snö.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Gentle	7,87	0,11	0,14	0,13
Komatsu 845 9 ton	3,06	0,17	0,16	0,30
Komatsu 845	4,15	0,13	0,18	0,43
Gentle, hög växel	8,95	0,11	0,15	0,12

Frysta spår

Tabell 17. Effektivvärden på vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i frysta spår.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Komatsu 845	5,04	0,13	0,24	0,51
Komatsu 845 lastad	3,83	0,27	0,23	0,79
Gentle	8,86	0,19	0,24	0,16
Gentle, hög växel	11,43	0,22	0,31	0,18
Gentle, lastad	7,71	0,13	0,16	0,13

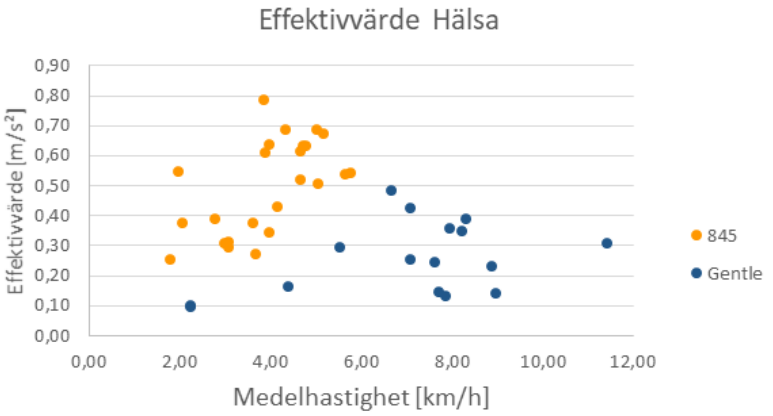
Backe

Skotarna testades i en backe med en lutning på cirka 10 grader och i ospårad snö. Vid körning i backen lastades Gentle med en last av 6 750 kilo för att uppnå samma vikt som Komatsu 845 olastad.

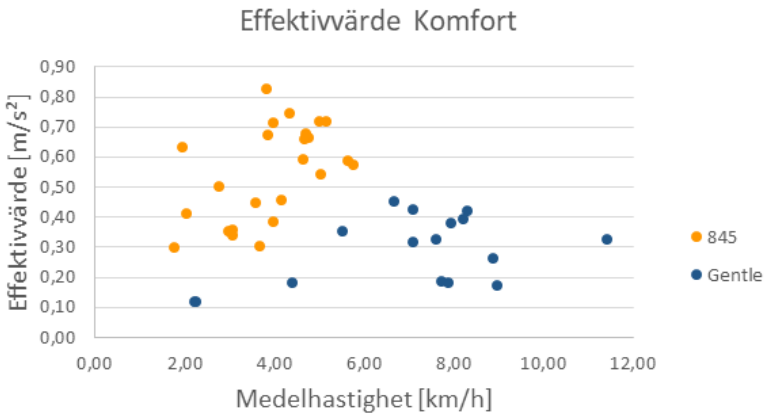
Tabell 18. Effektivvärden på vibrationer för Komatsu 845 och Gentle i backe med djup snö.

		Effektivvärde [m/s^2]		
Körning	**Medelhastighet [km/h]**	**X**	**Y**	**Z**
Komatsu 845 olastad	2,76	0,35	0,29	0,39
Gentle, lastad	4,39	0,13	0,09	0,17

Det är svårt att göra en jämförelse när hastighetsdifferensen mellan skotarna är så stor. En översikt hur de båda maskinerna presterade presenteras i två jämförande plottar på Hälso- och Komforteffektivvärdena mot medelhastigheten för alla körningar i figur 40 och 41.



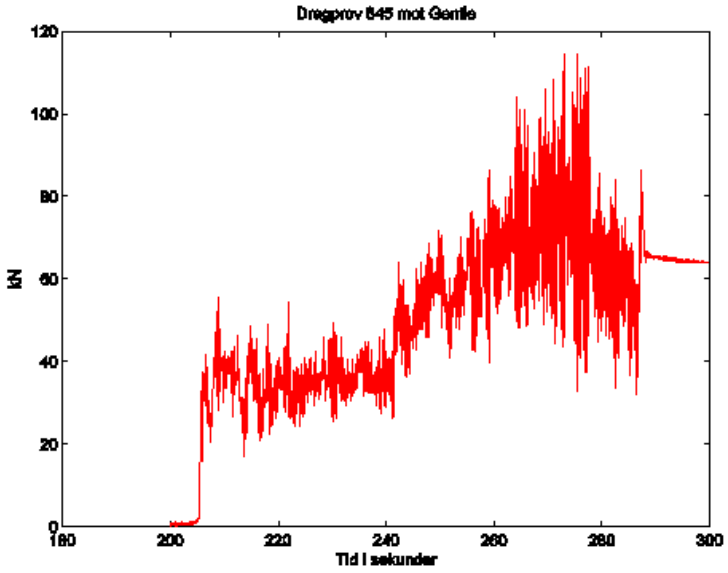
Figur 40. Hälsovärdets för helkroppsvibrationer enligt ISO 2631 på Komatsu 845 och Gentle i snö beroende av medelhastighet.



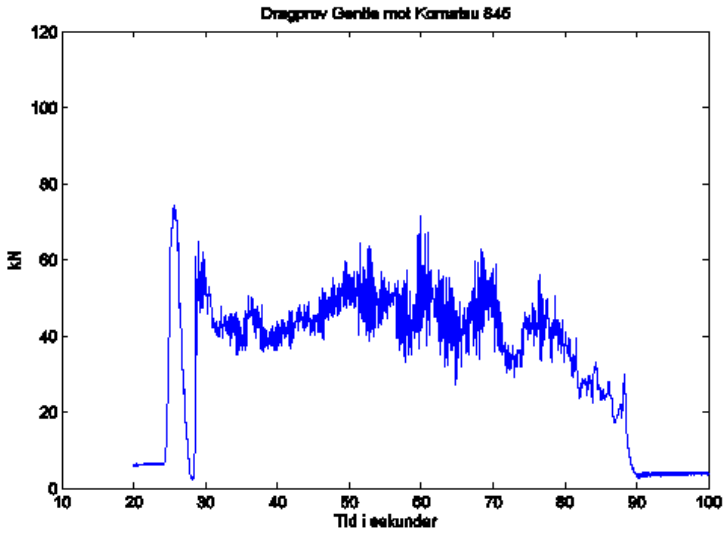
Figur 41. Komfortvärdets för helkroppsvibrationer enligt ISO 2631 på Komatsu 845 och Gentle i snö beroende av medelhastighet.

DRAGKRAFT

Normalt när man mäter dragkraft gör man det på torrt underlag. I detta fall gjordes det på en isbelagd väg, vilket innebar att dragkraften begränsades av den bromsande lasten.



Figur 42. Mätning av dragkraft på Komatsu 845 med Gentle som bromsande skotare.



Figur 43. Mätning av dragkraft på Gentle med Komatsu 845 som bromsande skotare.

SPÅRDJUP

Nedan redovisas resultaten för spårdjup för Komatsu 845 och Gentle. Komatsu 845 var försedda med däck Trelleborg 710/45-26,5 och banden var Olofsfors Eco-Track och Clark Terra-TXL.

Vägning

Skotarna kontrollvägdes ytterligare en gång efter det att de vägts i Jälla med full tank och med föraren i hytten med hjälp av Skogforsks vågar.

Anledningen till att skotarna lastades med 75 procent av maximal last är för att få en bättre viktfördelning mellan fram och bakaxel och för att man ska kunna jämföra med gamla tester som är utförda på samma åkermark.

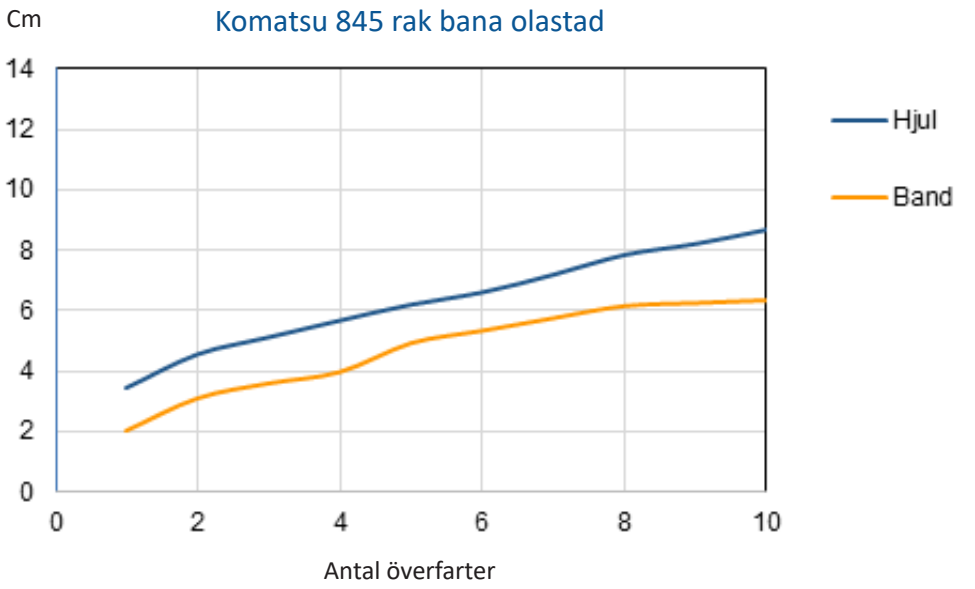
Lufttryck

Följande lufttryck användes vid körning med och utan band:

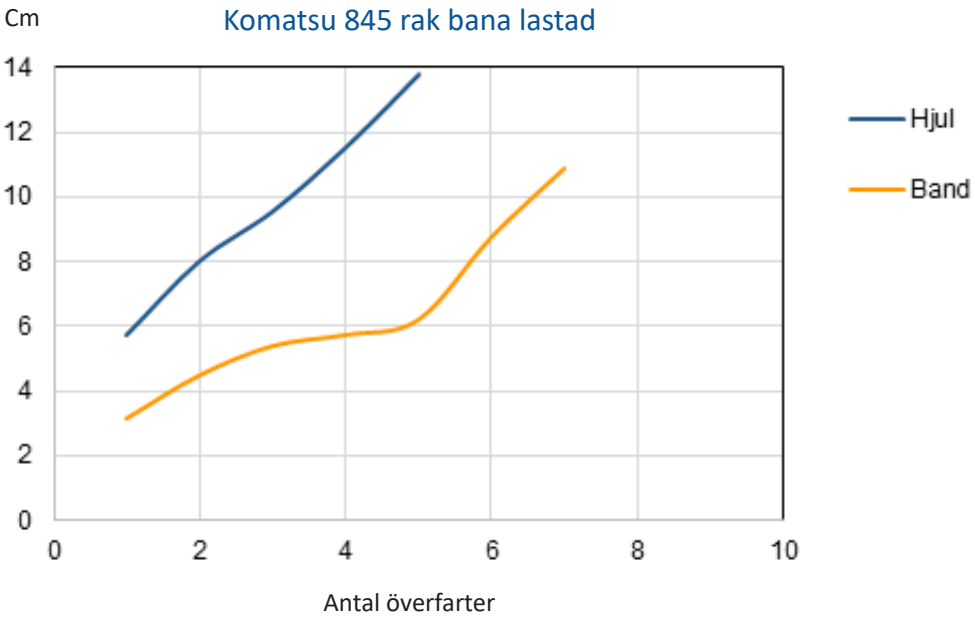
Tabell 19. Lyftrycket för däcken i främre boggi och bakre boggi.

	Tryck, bar
Främre boggi	3,5
Bakre boggi	4,5

Rak bana – *Olastad*

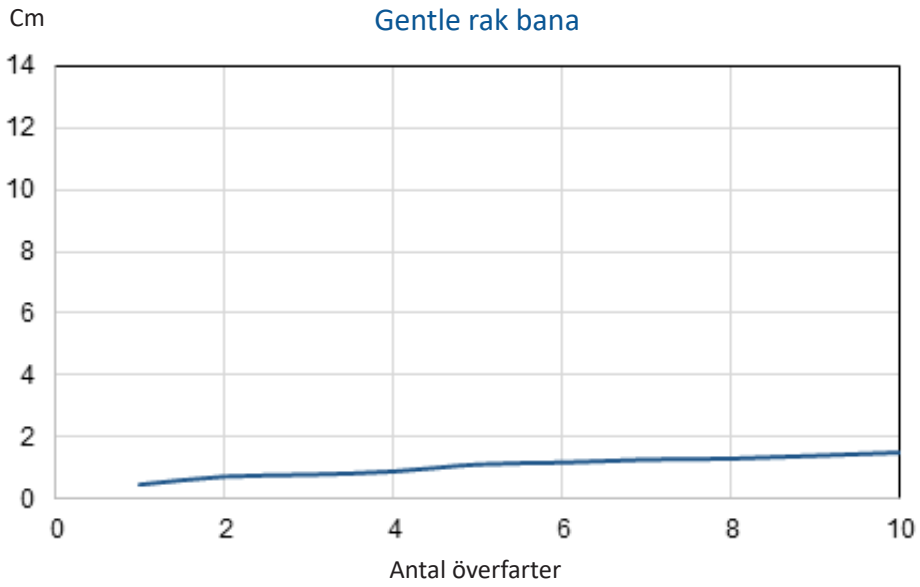


Figur 44. Spårdjup Komatsu 845 utan och med band olastad. Körning rakt fram, medelvärden för höger och vänster spår.



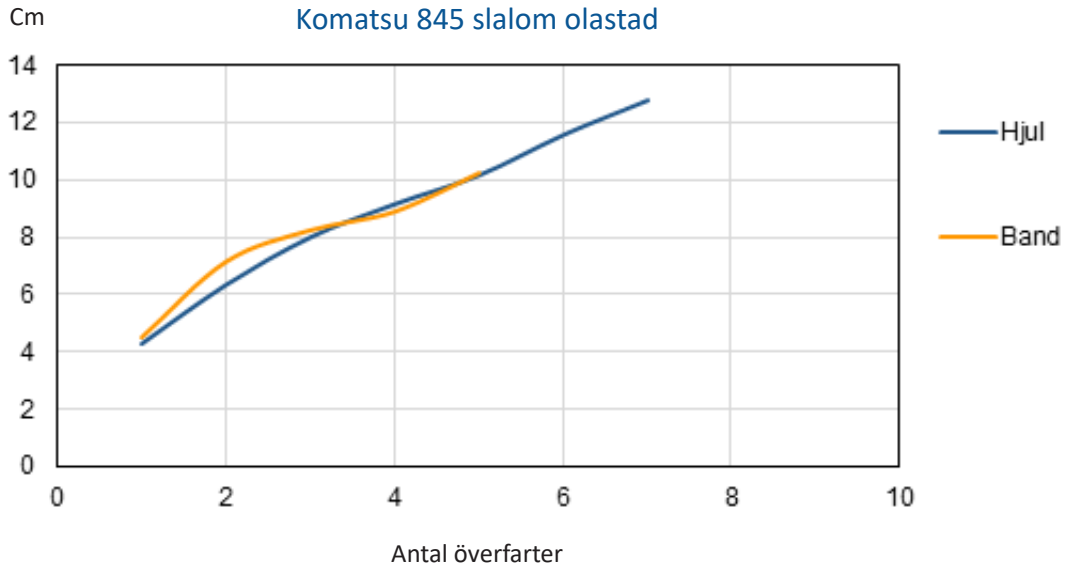
Figur 45. Spårdjup Komatsu 845 utan och med band olastad. Körning rakt fram, medelvärden för höger och vänster spår.

Rak bana – *Olastad*

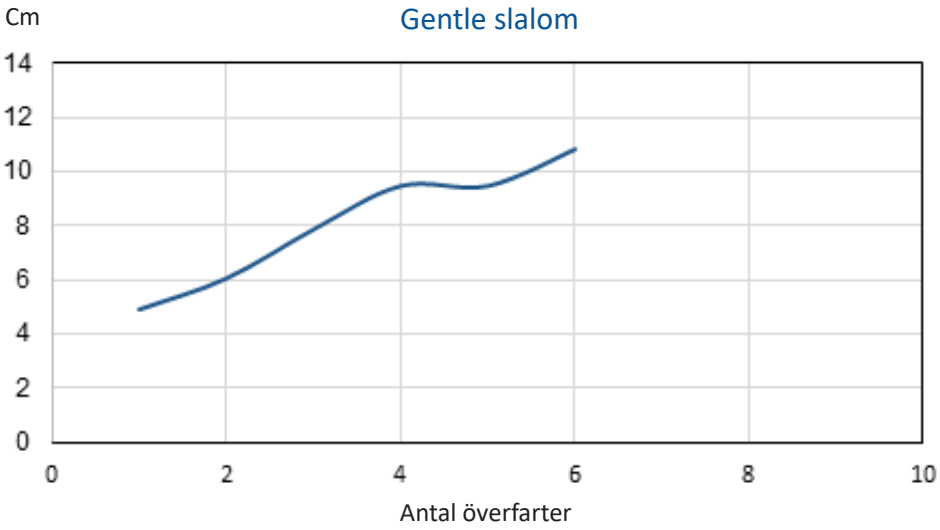


Figur 46. Spårdjup Gentle olastad. Körning rakt fram, medelvärden för höger och vänster spår.

Slalomkörning – *Olastad*

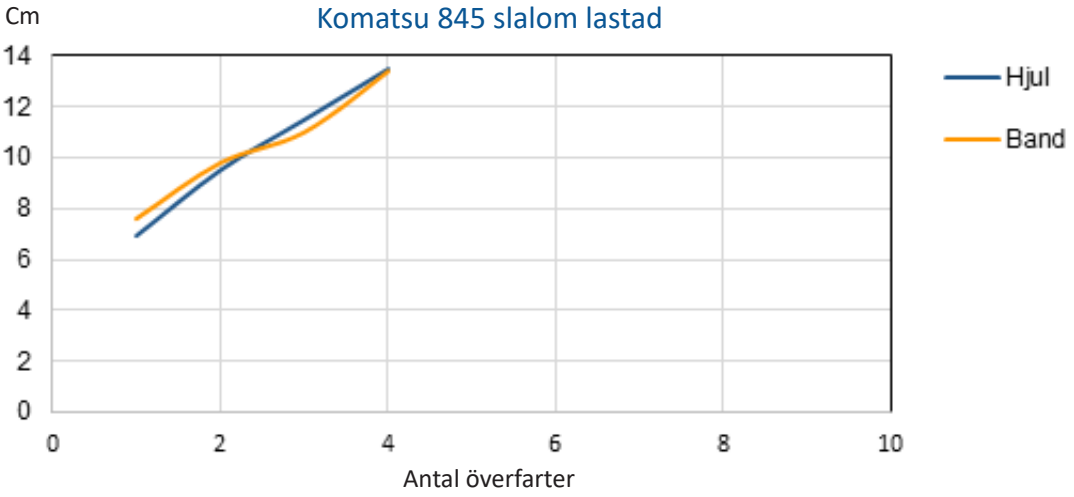


Figur 47. Spårdjup för Komatsu 845 utan och med band olastad. Slalomkörning, medelvärden för höger och vänster spår.



Figur 48. Spårdjup för Gentle olastad. Slalomkörning, medelvärden för höger och vänster spår.

Lastad



Figur 49. Spårdjup för Komatsu 845 utan och med band lastad. Slalomkörning, medelvärden för höger och vänster spår.

Markdata

Konpenetrometervärden

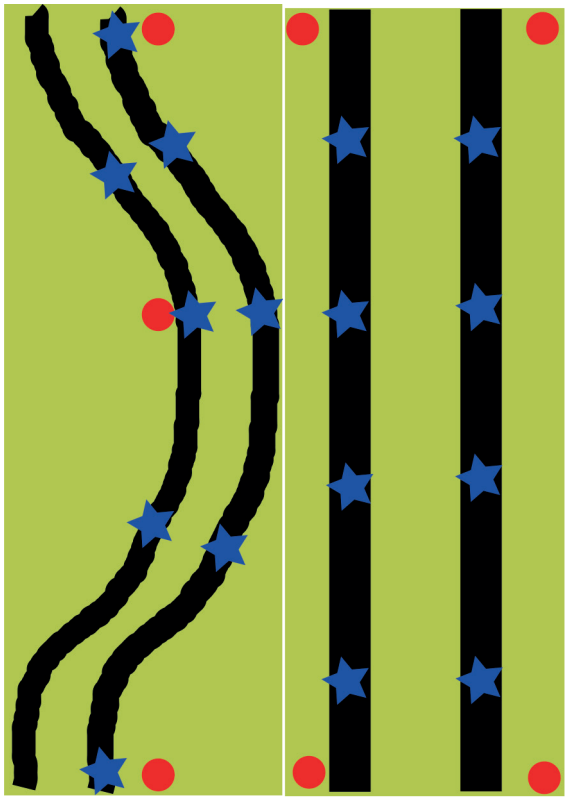
Konmotståndet mättes i skotarnas spår med 2 meters mellanrum efter varje körning. Konpenetrometervärden innan testerna.

Tabell 20. Medeltryck [MPa] i de olika djupnivåerna för rak bana.

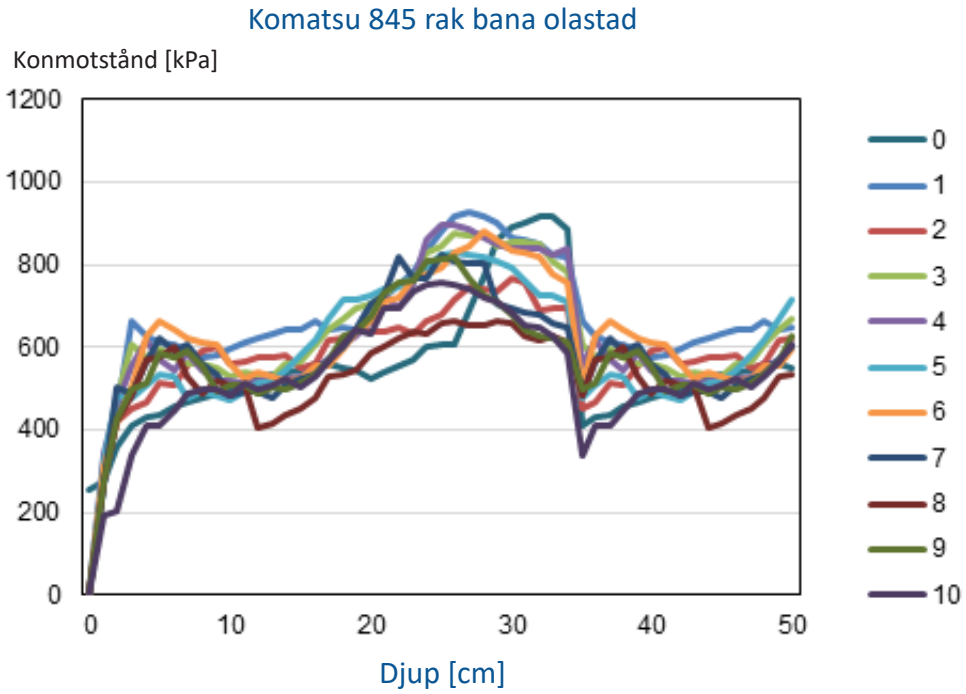
Rak bana		11-20 cm	21-30 cm	31-40 cm
	Spår 1	0,514	0,732	0,914
845-Hjul-Lastad	Spår 2	0,517	0,698	0,770
845-Band-Lastad	Spår 3	0,575	0,738	0,905
	Spår 4	0,666	0,810	0,881
	Spår 5	0,665	0,815	0,866
845-hjul-Tom	Spår 6	0,514	0,723	0,874
	Spår 7	0,535	0,780	0,915
Gentle	Spår 8	0,582	0,812	1,022
845-Band-Tom	Spår 9	0,635	0,809	1,096
	Spår 10	0,671	1,009	1,490
	Medel	0,587	0,793	0,973
	Standardavvikelse	0,063	0,083	0,192
Skillnad i %		10,8	10,5	19,7

Tabell 21. Medeltryck[MPa] i de olika djupnivåerna för slalombana.

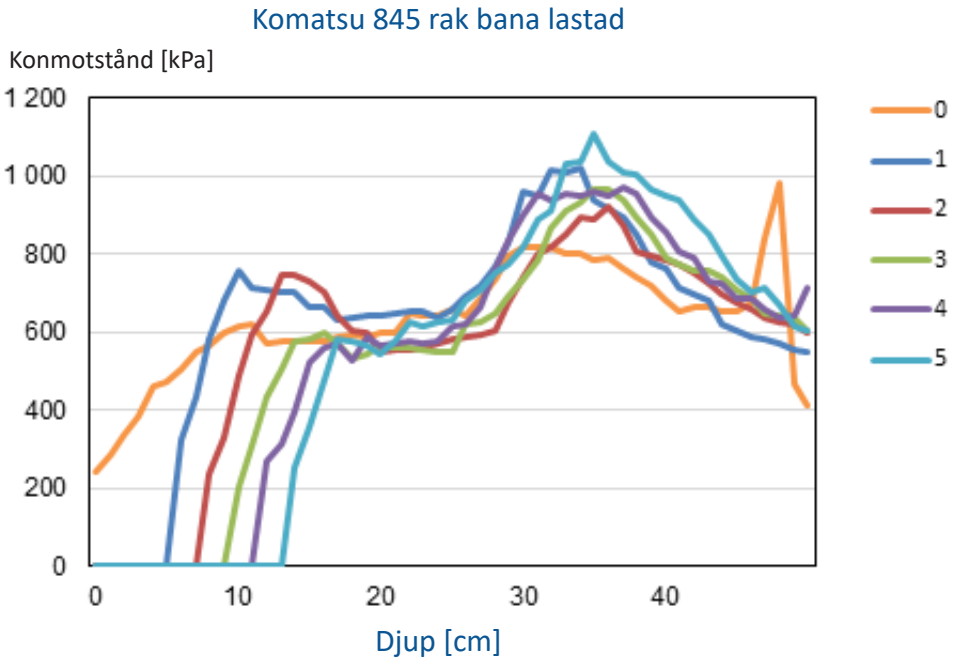
Slalombana		11-20 cm	21-30 cm	31-40 cm
	Yta 1	0,561	0,661	0,824
845-Hjul-Lastad	Yta 2	0,546	0,700	0,759
845-Band-Lastad	Yta 3	0,527	0,697	0,877
	Yta 4	0,584	0,676	0,770
	Yta 5	0,587	0,687	0,771
845-hjul-Tom	Yta 6	0,540	0,668	0,837
Gentle	Yta 7	0,559	0,746	0,799
845-Band-Tom	Yta 8	0,573	0,691	0,918
	Yta 9	0,573	0,685	0,808
	Yta 10	0,562	0,645	0,730
	Medel	0,561	0,686	0,809
	Standardavvikelse	0,018	0,026	0,054
Skillnad i %		3,3	3,8	6,7



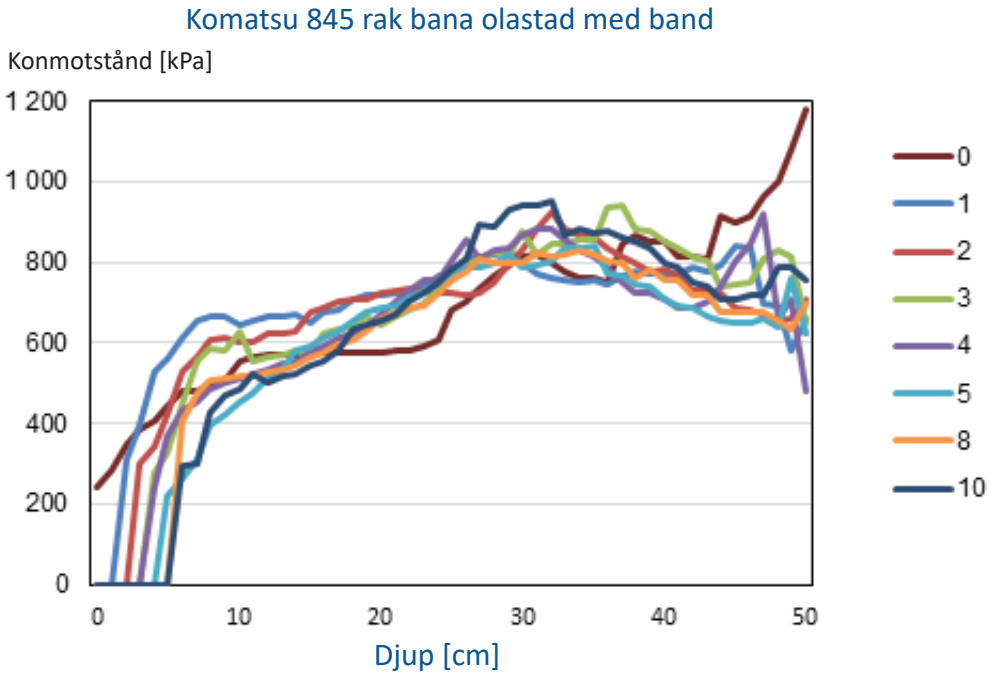
Figur 50. Beskrivning av var konpenetrometervärdena mättes i spåren, två meter mellan mätpunkter markerade med blå stjärnor.



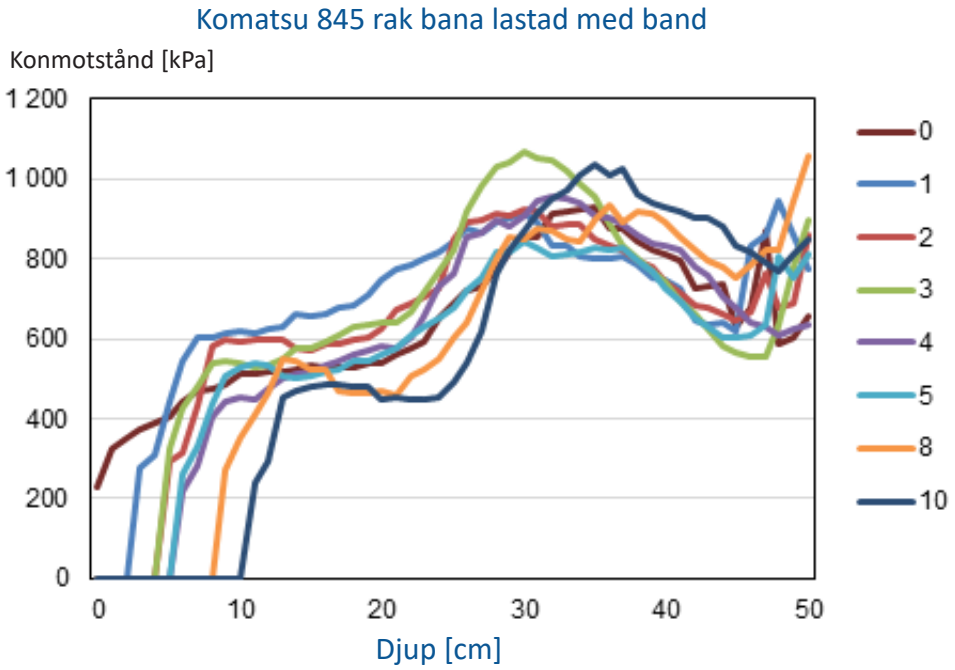
Figur 51. Konmotstånd i spåren efter Komatsu 845 vid rak bana och olastad.



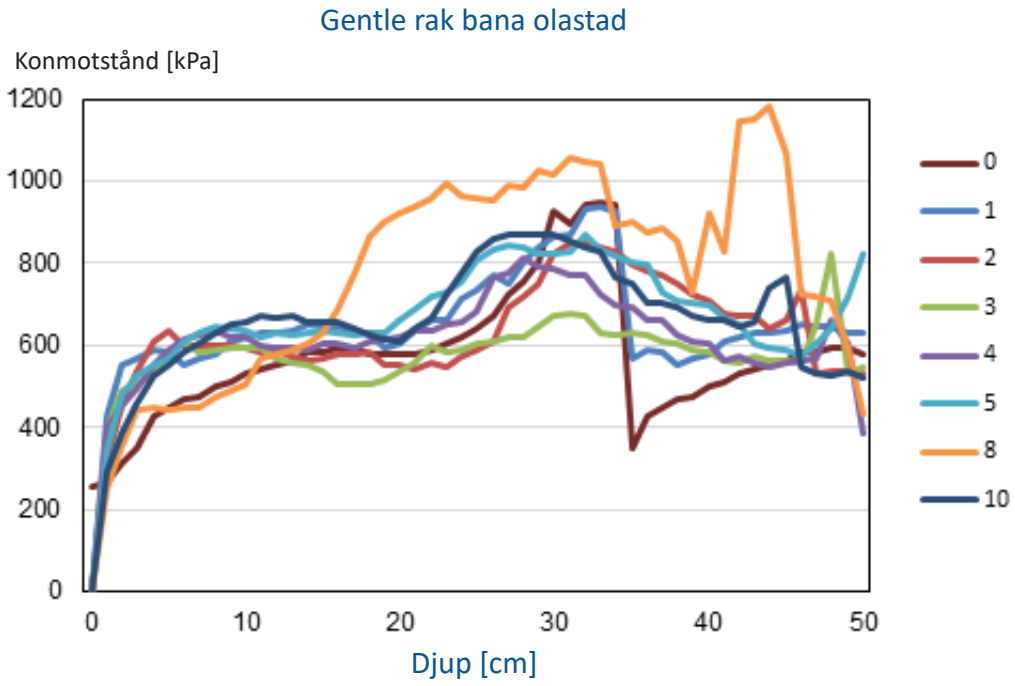
Figur 52. Konmotstånd i spåren efter Komatsu 845 vid rak bana lastad.



Figur 53. Konmotstånd i spåren efter Komatsu 845 med band vid rak bana olastad.



Figur 54. Konmotstånd i spåren efter Komatsu 845 med band vid rak bana lastad.



Figur 55. Konmotstånd i spåren efter Gentle vid rak bana olastad.

Tabell 22. Fukthalten och fuktkvot i jorden vid mätningarna för rak bana.

Beteckning	Fuktkvot	Fukthalt
Spår 1	100,6	50,1
Spår 2	96,4	49,1
Spår 4	90,9	47,6
Spår 6	137,1	57,8
Spår 8	141,7	58,6
Medel 10	113,3	52,7

Fuktkvoten är beräknad på torrvikt och fukthalten på våtvikt, d.v.s. samma vatteninnehåll beräknad på två olika sätt. Värdena (Tabell 22) visar att fukthalten var nära densamma mellan dag 1 och dag 3, med små variationer mellan banans start och slut.

EFFEKT

Vibrationsbana

Följande benämningar används vid resultatredovisningen:

Gentle Mk – Gentle med kran.

Gentle Uk – Gentle utan kran.

Gentle UkL – Gentle utan kran med kompensationslast.

Komatsu 845 Mk – 845 i normalt utförande med kran.

Komatsu 845 Uk – 845 i normalt utförande utan kran.

Komatsu 845 UkL – 845 i normalt utförande utan kran kompensationslast.

Testfall

I Tabell 23, anges det antal körningar som gjordes på Skogforsks hinderbana vid de testfallen.

Tabell 23. Antal testfall för de olika konfigurationerna vid de olika hastigheterna.

Maskinkombination	0,9 [km/h]	1,8 [km/h]	3,6 [km/h]
Gentle Mk	5	5	–
Gentle Uk	5	5	–
Gentle UkL	3	3	3
Komatsu 845 Mk	–	6	–
Komatsu 845 Uk	1	4	–
Komatsu 845 UkL	–	3	–

Testfallen var inte jämt fördelade utan koncentreras för 845 kring 1,8 kilometer per timme med endast ett testfall vid 0,9 kilometer per timme och inga för 3,6 kilometer per timme. Gentles tester var mer jämt fördelade över de olika konfigurationerna med färre tester i fallet Gentle UkL, som kompenserats med de enda försöken i den högre hastigheten.

Tabell 24 visar medelhastigheten och medelvariationskoefficienten för alla de olika testfallen. Det vill säga hur konstant hastigheten har varit under testerna. De små hastighetsvariationerna innebär att antagandet om nollacceleration kan anses gällande.

Tabell 24. Medelhastighet och variationskoefficient av testfallen.

	Medelhastighet [km/h]	Medelvariationskoefficient [%]
Gentle [0,9 km/h]	0,81	5
Gentle [1,8 km/h]	1,85	4
Gentle [3,6 km/h]	3,51	5
Komatsu 845 Mk [0,9 km/h]	0,94	6
Komatsu 845 Uk [1,8 km/h]	1,83	5

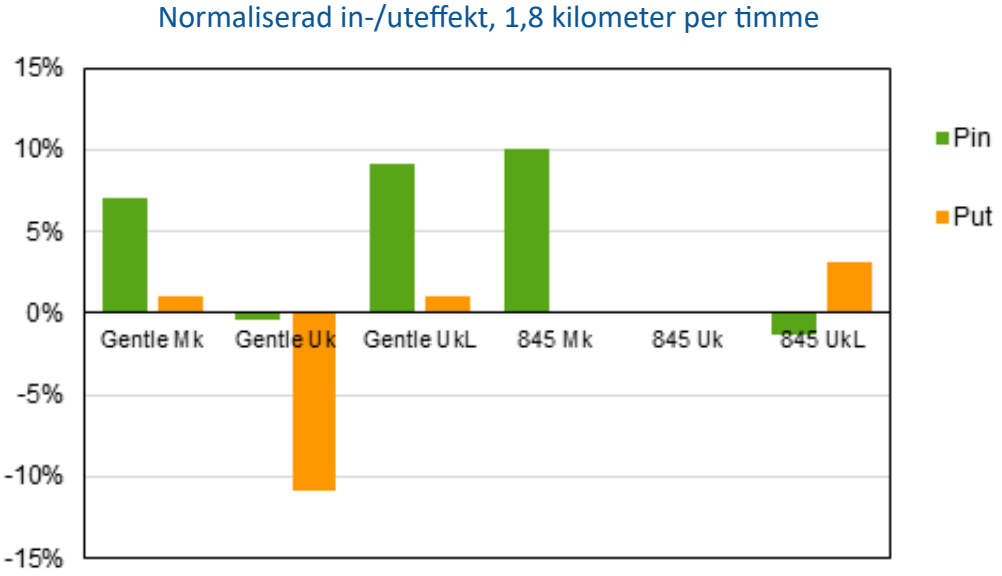
Tabell 25. Data från hinderbanan för de olika testfallen med referenshastigheten 0.5, 0,25 samt 1 m/s.

V_{ref} = **1.8**	Konfiguration	$V\,med$	C_V, V_{med} [%]	η_{norm_1} [%]
Gentle	Kran	1,85	1	-8
	Ingen kran	1,85	0	-13
	Ingen kran + last	1,86	1	-10
Komatsu 845	Kran	1,86	2	2
	Ingen kran	1,82	2	0
	Ingen kran + last	1,82	8	5

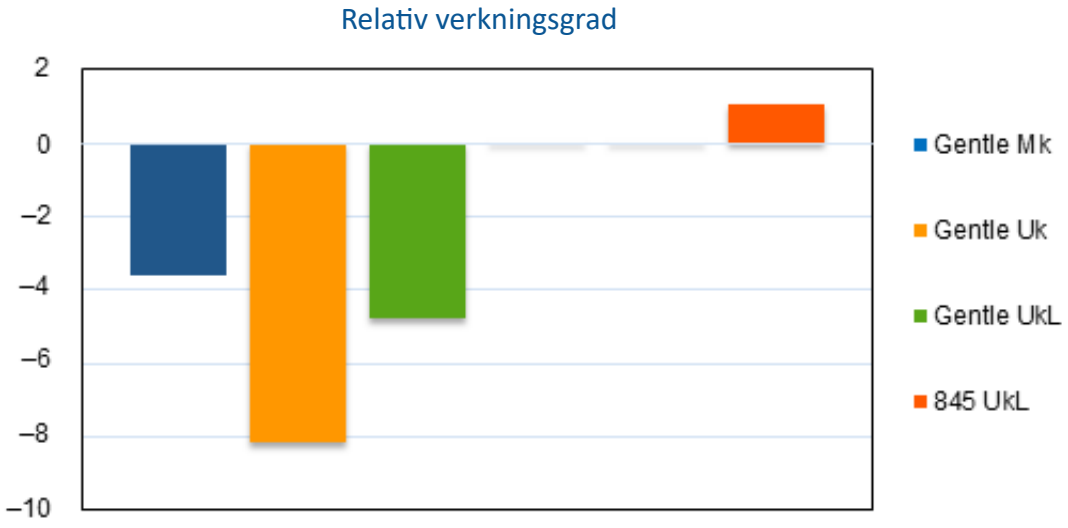
V_{ref} = **1.8**	Konfiguration	$V\,med$	C_V, V_{med} [%]	η_{norm_1} [%]
Gentle	Kran	0,87	11	-18
	Ingen kran	0,76	10	-31
	Ingen kran + last	0,79	4	-26
Komatsu 845	Kran			
	Ingen kran	0,94	0	0
	Ingen kran + last			

Enligt Tabell 25 i fallen 1,8 kilometer per timme har den faktiska hastigheten följt referensen med maximalt ca tre procents avvikelse. Avvikelsen mellan de olika körningarnas medelhastigheter har legat stabilt mellan 0–2 procent från konfigurationens medelvärde förutom i fallet 1,8 kilometer per timme, Komatsu 845 utan kran med kompensationslast, där avvikelsen var åtta procent. Vid den lägre hastigheten avvek hastigheterna mer, upp mot 18 procent från referensen och där medelvärdet avvek med upp till 11 procent i konfigurationen.

Ser man på den normaliserade ut/in-effekten i fallet 1,8 kilometer per timme, (figur 56), kan man se att Gentle får ut cirka 10 procent mindre effekt för samma instoppade arbete. I fallet 0,9 kilometer per timme är resultatet mindre tillförlitligt men indikerar en likartad skillnad, det vill säga att insatt energi ger sämre utfall uppemot – 31 procent. Ökas däremot lasten indikerar resultaten vid fallet 1,8 kilometer per timme att en något bättre utväxling av insatt arbete erhålls.



Figur 56. Normaliserad effekt vid körning på Skogforsks vibrationsbana.



Figur 57. Relativ verkningsgrad vid körning på Skogforsks vibrationsbana.

Terrängbana i Jälla

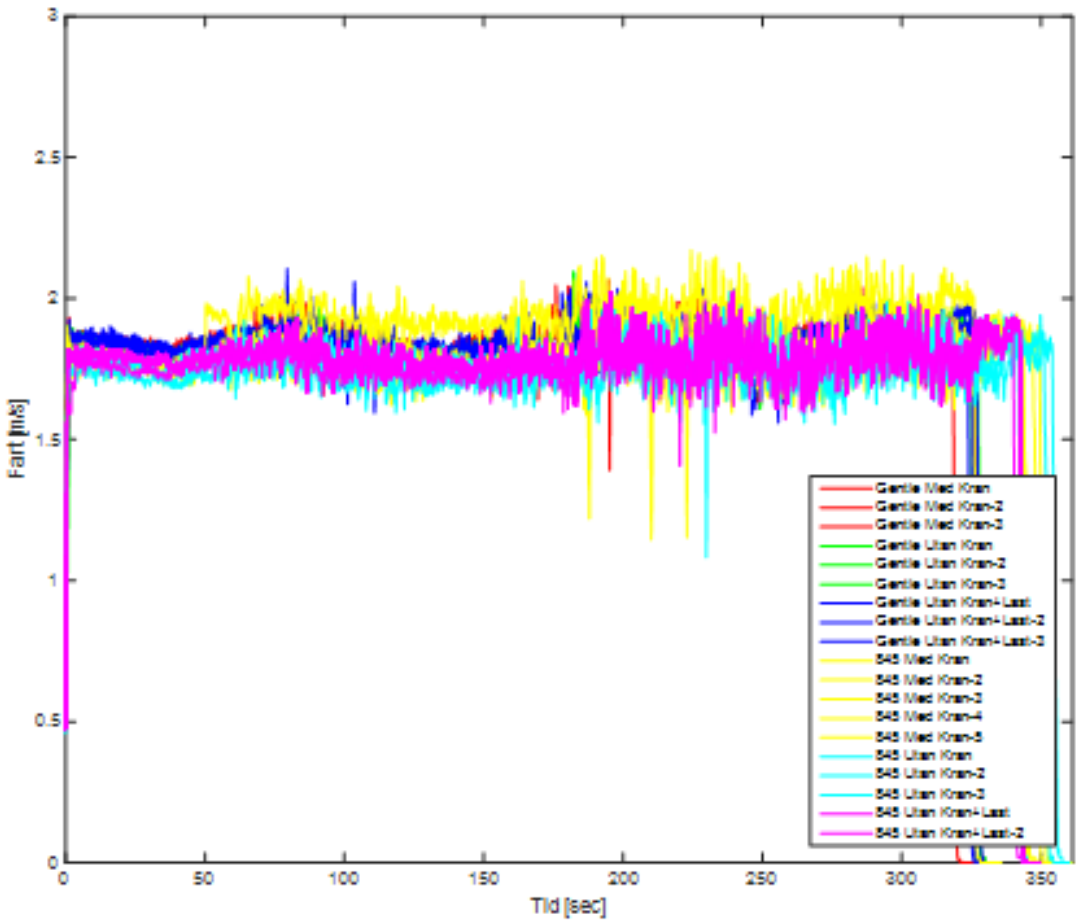
Tabell 26. Antal testfall för de olika konfigurationerna.

	1,8 km/h
Gentle Mk	3
Gentle Uk	3
Gentle UkL	3
Komatsu 845 Mk	5
Komatsu 845 Uk	3
Komatsu 845 UkL	2

Tabell 27. Medel av testfallens hastighet och variationskoefficient.

	Medelhastighet [km/h]	Medelvariationskoefficient [%]
Gentle Mk	1,82	4
Gentle Uk	1,82	4
Gentle UkL	1,83	4
Komatsu 845 Mk	1,81	5
Komatsu 845 Uk	1,76	4
Komatsu 845 UkL	1,78	4

I Tabell 27 kan man se att hastigheten varit likartad i alla fall med endast två procent avvikelse mot referenshastigheten, 1,8 kilometer per timme. Hastighetsvariationen under körning var också likartad med marginellt större avvikelse för Komatsu 845 med kran på 5 procent mot de andra fallens 4 procent. Av resultaten att döma har maskinerna i princip kört med samma hattighet och en jämförelse av energiåtgång mellan de två koncepten kan anses vara tillförlitlig.



Figur 58. Testfallens hastighetsvariation.

I Figur 56 och i (Tabell 27) kan man se att hastigheten varit väldigt likartad i alla fall, med endast två procent avvikelse i medelhastighet mellan Gentle och Komatsu 845. Dess variation var också likartad, men för Gentles var standardavvikelsen 6 procent lägre än för Komatsu 845.

Hastighetsmätningar

Tabell 28.

Terrängbana i Jälla	Fartskillnad [%]	Tidsskillnad [%]	Längdskillnad [%]	Längdskillnad [m]
Gentle/Komatsu 845	102,11	94,43	96,43	22

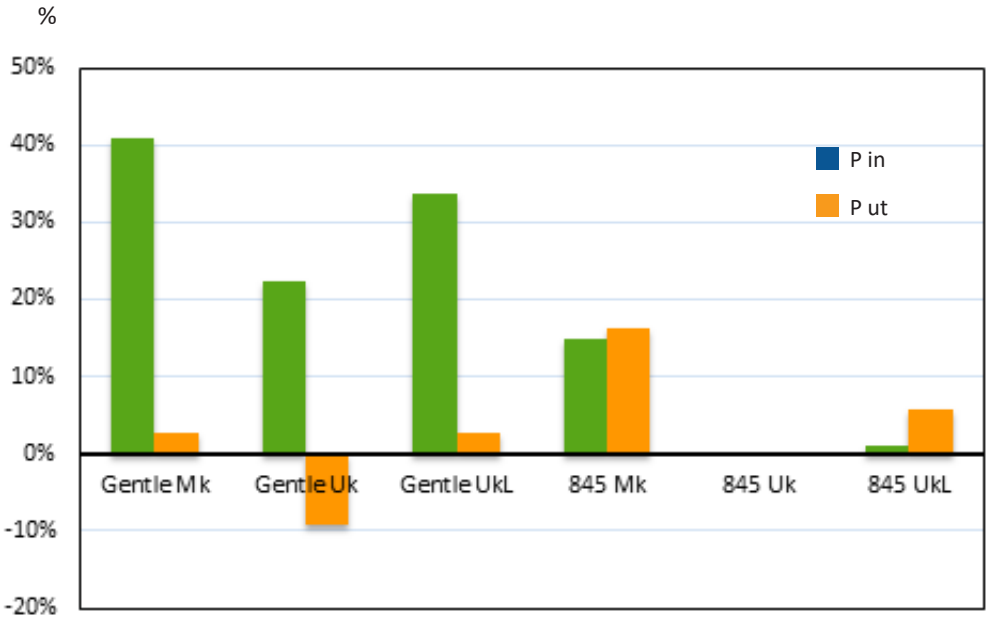
Tabell 29. Jämförelse effekt och energi med 845 utan kran som referens.

Terrängbana i Jälla	P in [%]	P ut [%]	E in [%]	E ut [%]	Ut/in
Gentle Med Kran/ Komatsu 845uK	41	3	31	-5	-27
Gentle Utan Kran/ Komatsu 845uK	22	-9	14	-15	-26
Gentle Utan Kran + Last/ Komatsu 845uK	34	3	24	-4	-23
Komatsu 845 Med Kran/ Komatsu 845uK	15	16	12	14	1
Komatsu 845 Utan Kran/ Komatsu 845uK	0	0	0	0	0
Komatsu 845 Utan Kran + Last/ Komatsu 845uK	1	6	-1	3	5

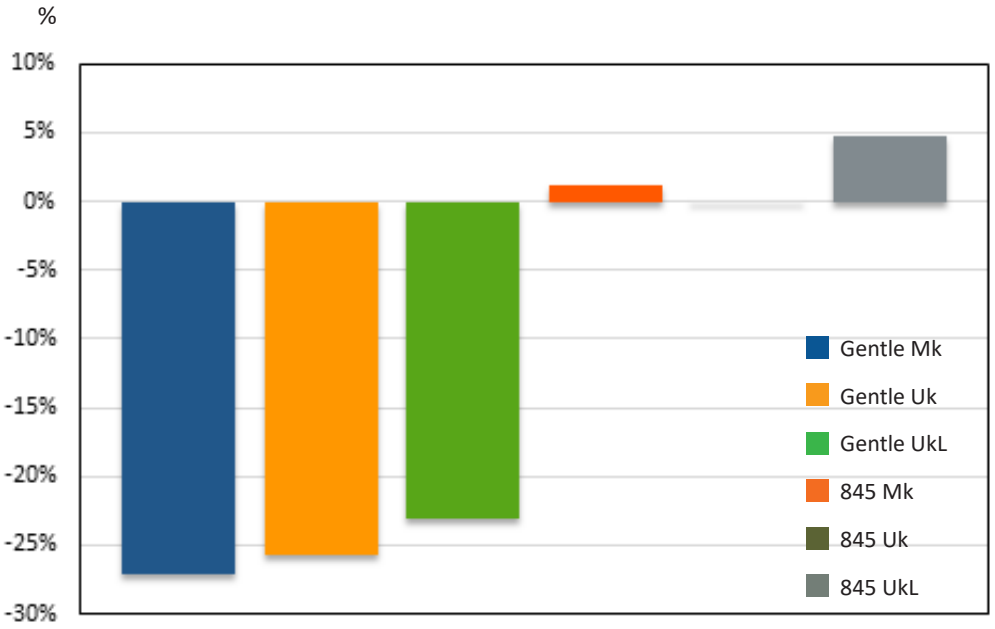
EFFEKT

Vibrationsbana

Gentle med band drar cirka 30 procent mer energi jämfört med hjul för samma vikt, (figur 59).



Figur 59. Normaliserad effekt vid körning på terrängbanan i Jälla.



Figur 60. Relativ verkningsgrad vid körning på terrängbanan i Jälla.

Volgsjökullen

Vid testerna i Volgsjökullen kördes Komatsu 845 med dragande band i fram och bärande band i bak.

Testfall

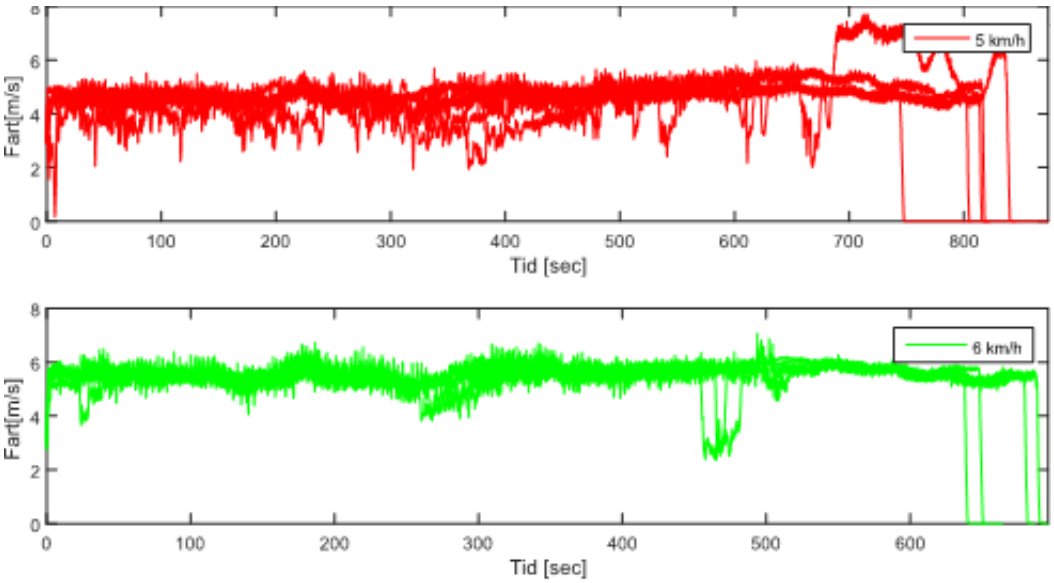
Tabell 30. Antal testfall för de olika konfigurationerna vid de olika hastigheterna.

	5 km/h	6 km/h
Gentle	2	2
Komatsu 845 - tom	1	2
Komatsu 845 - last	3	-

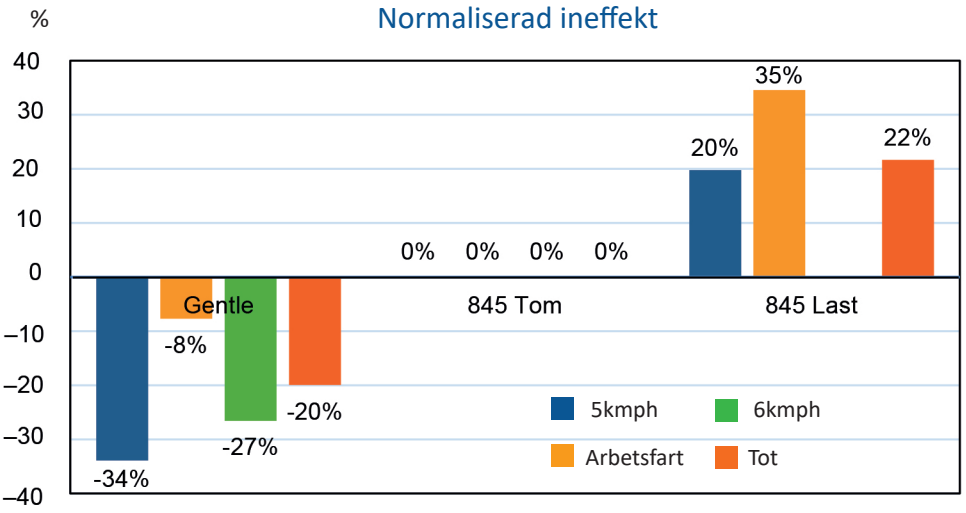
I tabell 31 nedan ses de olika testfallens medelhastigheter samt avvikelsen fråm medelvärdet i procent. Fallen med konstant referens har en mindre avvikelse än de övriga, ca 10 procent mot över 25 procent. I figur 61 visas en grafisk representation av de olika fallen.

Tabell 30. Antal testfall för de olika konfigurationerna vid de olika hastigheterna.

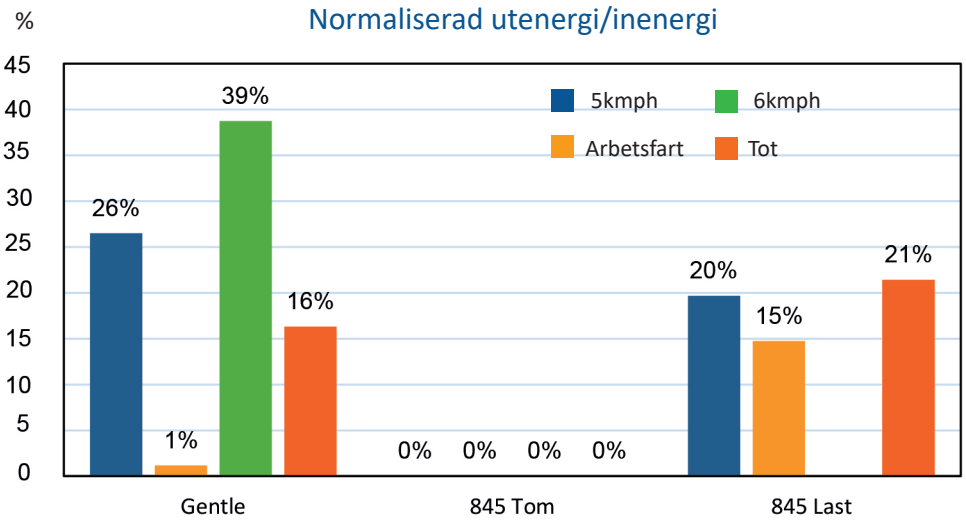
Testfall	Medelhastighet [km]	Medelavvikelse [%]
Gentle referens 5 km/h	4,74	8
Komatsu 845 referens 5 km/h	4,57	13
Gentle referens 6 km/h	5,56	9
Komatsu 845 referens 6 km/h	5,46	8



Figur 61. Skotarnas hastighetsvariation under körningarna



Figur 62. Normaliserad Effekt in för Gentle och Komatsu 845 lastad mot Komatsu 845 tom vid körning på terrängbana i Volgsjökullen.



Figur 63. Normaliserad relativ verkningsgrad för Gentle och Komatsu 845 lastad mot fallet Komatsu 845 tom vid körning på terrängbana i Volgsjökullen.

Figur 63 visar att den sämsta utväxlingen mot insatt effekt är att köra en tom Komatsu 845. Lastas Komatsu 845 ökar den behövliga ineffekt men dock inte uteffekten, vilket ger en bättre utväxling. Oavsett lastvikt går Gentle lättare i terrängen. Jämförelserna baseras på hastigheterna 5 och 6 kilometer per timme, då övriga körfall varierar kraftigt.

Kontroll av hastighet och banlängd

För att avgöra ifall hastighetssensorerna är likvärdiga i de två maskinerna integreras hastigheten över tiden för att ge en uppskattad sträcka, (1.16). Då maskinernas start och stoppunkt varit samma och testerna har överlappat varandra var den faktiska sträckan konstant.

$$s = \int V dt \tag{1.16}$$

Tabell 32. Uppskattad banlängd.

	Fordon	Uppskattad banlängd [m]
Medellängd	Komatsu 845	1 038
Medellängd	Gentle	1 092

Av Tabell 32 framgår att hastighetsmätaren på Komatsu 845 skiljer med 5 procent från den hos Gentle. Denna avvikelse är liten, relativt övriga skillnader i energi och effekt i jämförelsen.

Då banan är så pass lång, runt 1 000 meter och då start och stopp varit ±1 meter kan längdskillnaden omöjligt varit 22 meter. Därför är fartavvikelsen endast en följd av bandsystemets funktion.

BRÄNSLEFÖRBRUKNING

Den framräknade procentuella avvikelsen baseras på Komatsu 845 som referensmaskin, det vill säga positiva värden betyder att Gentle har en högre bränsleförbrukning.

Volgsjökullen

Tabell 33. Skillnaden mellan Gentles bränsleförbrukning mot Komatsu 845 på hyggeskörning.

Gentle	- 28 %	Komatsu 845 tom
Gentle	- 41 %	Komatsu 845 9ton last

Borgafjäll

Tabell 34. Skillnaden mellan Gentles bränsleförbrukning mot Komatsu 845 lång slinga.

Gentle	Skillnad , %	Komatsu 845
Gentle långslinga djupsnö	-61 %	Komatsu 845 långslinga djupsnö
Gentle långslinga djupsnö	-73 %	Komatsu 845 9t långslinga djupsnö
Gentle långslinga djupsnö djupsnö högväxel	-67 %	Komatsu 845 långslinga djupsnö
Gentle långslinga djupsnö djupsnö högväxel	-77 %	Komatsu 845 9t långslinga djupsnö
Gentle långslinga frysta spår	-57 %	Komatsu 845 långslinga i frysta spår
Gentle långslinga frysta spår	-67 %	Komatsu 845 9t lång i frysta spår
Gentle 6t långslinga djupsnö i frysta spår	-51 %	Komatsu 845 långslinga i frysta spår
Gentle 6t långslinga djupsnö i frysta spår	-62 %	Komatsu 845 9t lång i frysta spår
Gentle långslinga i frysta spår högväxel	-66 %	Komatsu 845 långslinga i frysta spår
Gentle långslinga i frysta spår högväxel	-74 %	Komatsu 845 9t lång i frysta spår

Tabell 35. Skillnaden mellan Gentles bränsleförbrukning mot Komatsu 845 kortslinga.

Gentle	Skillnad , %	Komatsu 845
Gentle djup snö slinga 1	-63 %	Komatsu 845 tom djup snö slinga 1
Gentle djup snö slinga 1	-72 %	Komatsu 845 9ton djup snö slinga 1
Gentle djup snö slinga 2	-63 %	Komatsu 845 tom djup snö slinga 2
Gentle djup snö slinga 2	-70 %	Komatsu 845 9ton djup snö slinga 2
Gentle spår 1 slinga 2	-52 %	Komatsu 845 tom i spår 1 slinga 2
Gentle spår 1 slinga 2	-61 %	Komatsu 845 9ton i spår 1 slinga 2
Gentle spår 2 slinga 2	-55 %	Komatsu 845 tom i spår 2 slinga 2
Gentle spår 2 slinga 2	-61 %	Komatsu 845 9ton i spår 2 slinga 2

Tabell 36. Skillnaden mellan Gentles bränsleförbrukning mot Komatsu 845 i en backe på cirka 10 grader.

Gentle 6 ton i backe djupsnö	**57 %**	**Komatsu 845 tom i backe på djup snö**

STABILITET

Följande resultat erhölls vid undersökning av stabilitet vid krankörning för Komatsu 845 och Gentle. Två olika tester gjordes. En där man lastar på och av med 1 000 kilo i gripen 10 gånger. En där man släpper 600 kilo på full kranräckvidd.

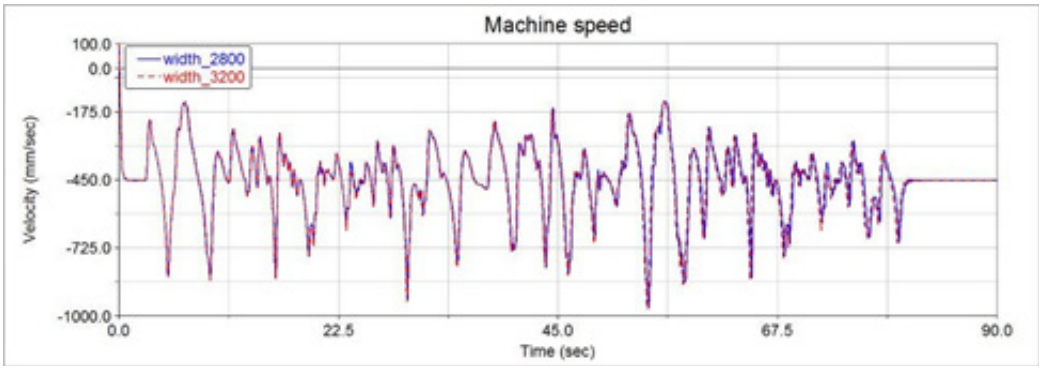
Tabell 37. Skillnaden i stabilitet uttryckt som effektivvärde.

Körning	Effektivvärdet [m/s²]		
	X	Y	Z
Lastar 1000 kg med Komatsu 845	0,10	0,14	0,16
Lastar 1000 kg med Gentle	0,23	0,22	0,16
Kran ut 600 kg med Komatsu 845	0,05	0,15	0,06
Kran ut 600 kg med Gentle	0,16	0,26	0,09

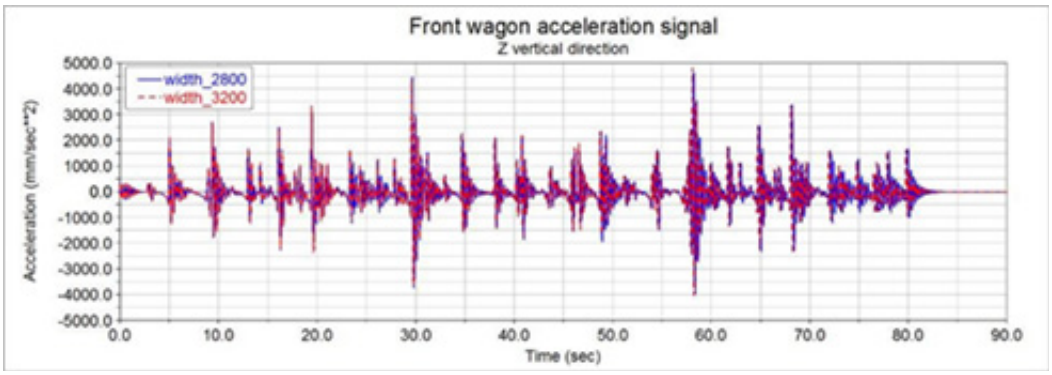
MASKINBREDDENS INVERKAN PÅ VIBRATIONERNA

Mätningarna på den standardiserade vibrationsbanan låg också till grund för en simuleringsmodell av Komatsu 845 i ADAMS. ADAMS är dynamiskt simuleringsprogram för simulering av stela kroppar och ur programmet kan man få svar på krafter, accelerationer, vinkelhastigheter etc. på olika delar av skotaren.

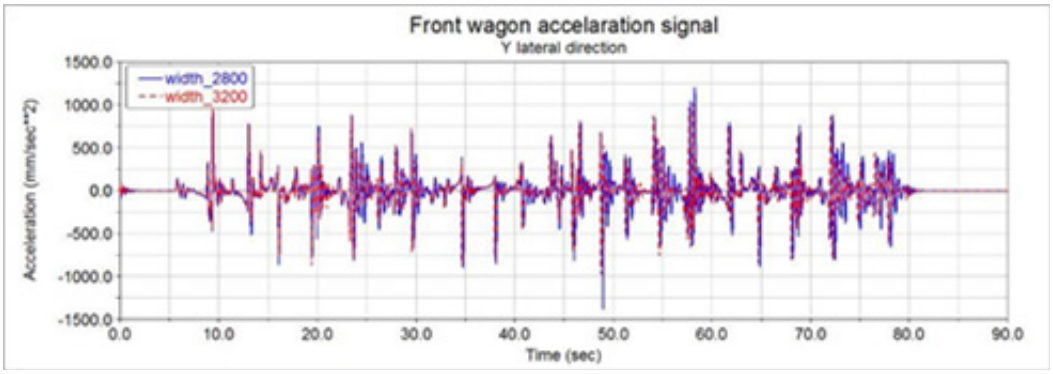
Eftersom det inte på ett enkelt sätt går att bygga om den hjulgående skotaren så har simuleringar gjorts genom att bredda skotaren 40 centimeter, för att få samma bredd, och sedan har jämförelser med simuleringar av en standard Komatsu 845 gjorts.



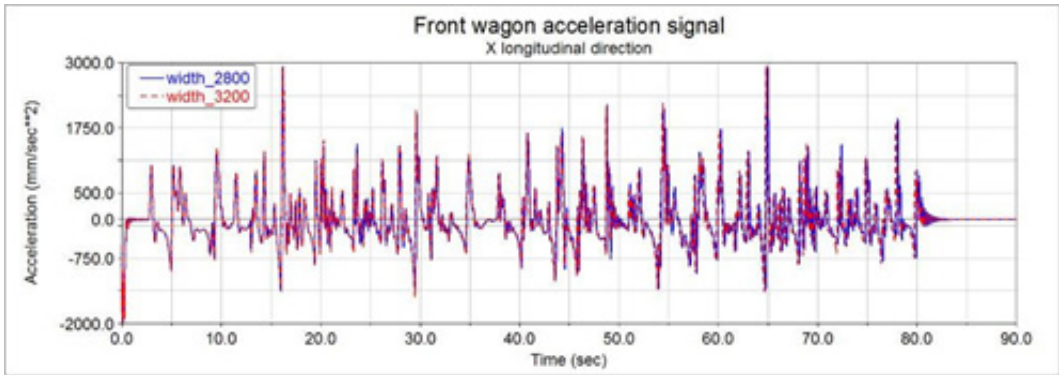
Figur 62. Jämförelse av hastigheten för Komatsu 845 med de två olika bredderna 2,8 meter och 3,2 meter.



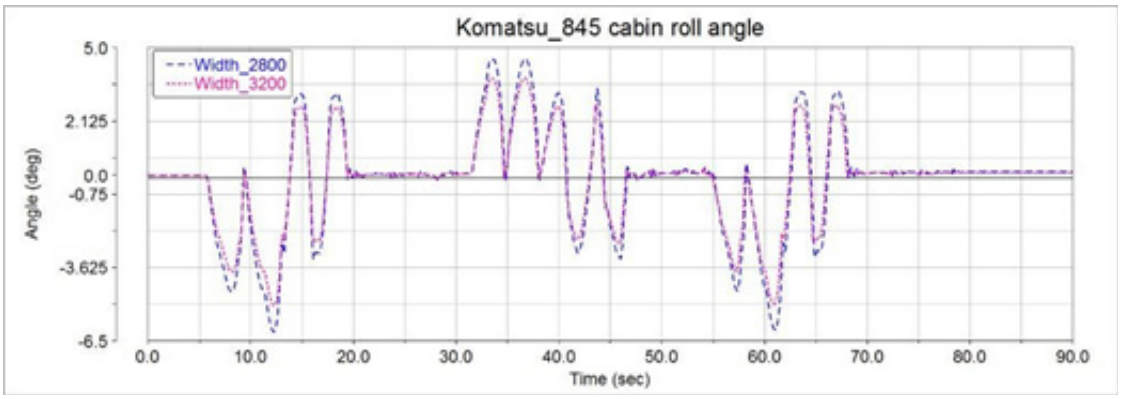
Figur 63. Jämförelse av accelerationerna i z-led för framramen på Komatsu 845 med de två olika bredderna 2,8 meter och 3,2 meter.



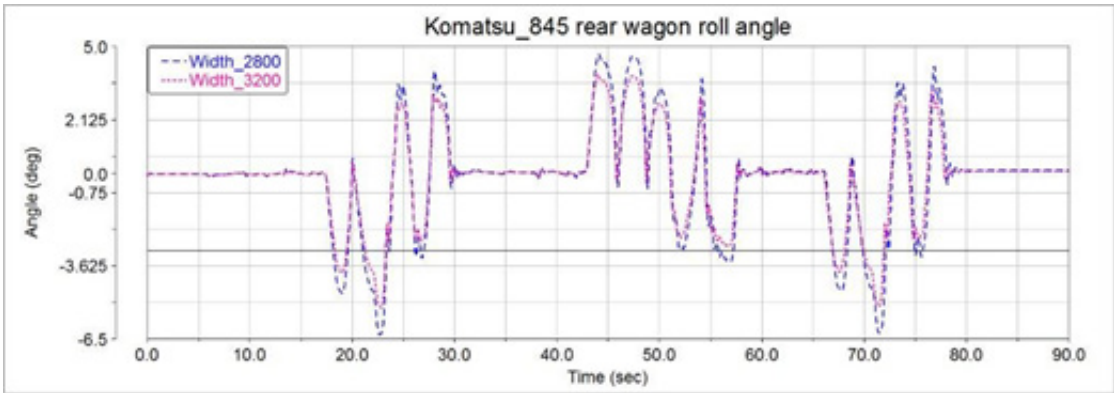
Figur 64. Jämförelse av accelerationerna i y-led för framramen på Komatsu 845 med de två olika bredderna 2,8 meter och 3,2 meter.



Figur 65. Jämförelse av accelerationerna i x-led för framramen på Komatsu 845 med de två olika bredderna 2,8 meter och 3,2 meter.



Figur 66. Rollrörelsen för framramen på Komatsu 845 med de två olika bredderna 2,8 meter och 3,2 meter.



Figur 67. Rollrörelsen för bakramen på Komatsu 845 med de två olika bredderna 2,8 meter och 3,2 meter.

Ur Figurerna 62–67 kan man se att genom att öka bredden på skotare Komatsu 845 från 2,8 meter till 3,2 meter minskar rollrörelsen med 17 procent, (Tabell 38).

Tabell 38. Jämförelse av rollrörelsen med Komatsu 845 med två olika bredder.

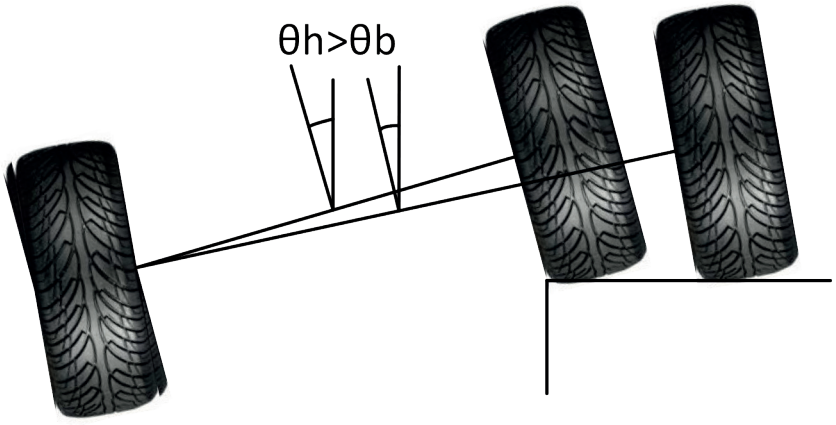
	Bredd 2,8 m	Bredd 3,2 m	Bredd 3,2 m/Bredd 2,8 m
Framram	6,14	5,12	0,83
Bakram	6,33	5,26	0,83

Diskussion

Gentle är ett koncept, inte en färdig skogsmaskin. Vid testerna fick man använda sig av den utrustning och skotare som fanns tillgänglig, för att hålla nere kostnaderna för testerna. Sannolikt kommer en skogsmaskin med bandsystem att vara konstruerad annorlunda mot dagens skotare. Bandsystemet som utnyttjats för testerna är inte är utvecklat för att bära tung last. Bandsystemet är vad skulle kunna kalla ett generellt band för hög hastighet (80 kilometer per timme) och med god terrängtagningsförmåga, även på mjuk mark. Ett bandsystem för skogsmaskiner kommer att vara både bredare och längre och får därmed större kontaktyta, ha större dämpningsförmåga och lastkapacitet.

VIBRATIONER

En diskussion som uppstod vid testerna på Skogforsks vibrationsbana var att bredden på skotarna skilde cirka 40 centimeter och hur det skulle påverka jämförelsen mellan de båda skotarna. Blir det någon skillnad? Skillnaden i bredden mellan hjul och band påverkar både rollrörelsen och rörelsen i sidled till bandskotarens fördel enligt resonemang i Figur 68. Simuleringar i resultatet maskinbreddens inverkan på vibrationerna bekräftade resonemanget.



Figur 68. Skillnad i hjulbas påverkar maskinens dynamik.

SPÅRDJUP

Vid körning på raka banan minskade spårdjupen med 90 procent i relation till en hjulgående skotare och med cirka 70–80 procent i jämförelse med en skotare med bärande band i bak. Det är mycket bra resultat. Vid körning på slalombana hade man inga större skillnader eftersom den stora påverkan på marken är skjuvningen av både boggi och band mot marken.

EFFEKT

Mätningarna av effekt visar tydligt att Gentle har lägre energiförbrukning vid körning i terräng och högre vi körning på hård mark än Komatsu 845. Testerna visar att hjul rullar bättre än band på hård mark. Detta hade man också förväntat sig.

DRAGKRAFT

Att göra dragkraftsmätningar på en snötäckt väg är inte det lämpligaste eftersom, beroende på is och snö, lasten är den begränsande faktorn. Komatsu 845 med dragande band både fram och bak, hade inga begräsningar eftersom greppet var så bra att man kunde dra hela Gentle. Gentle kunde inte dra hela Komatsu 845 utan började slira. Nu ska man inte dra för stora slutsatser av denna test dock kommer att banden behöva någon form av dubbar eller broddar för att få tillräckligt med dragkraft för att kunna köra i isig terräng.

TERRÄNG

Resultaten från Volgsjökullen visar på att Gentle hade både lägre vibrationer och bränsleförbrukning vid körning i skogsterräng. Backtagningsförmågan var bra på Gentle. I Agnäsbacken som är en slalombacke, körde Gentle upp och vände i backen medan Komatsu 845 kom cirka 25 meter oavsett med eller utan last. Underlaget i Agnäsbacken var hårt packad snö. Vid körning uppför eller i sidolut blev det ingen skillnad i mätresultat. I isbacken var det en för tvär övergång mellan den plana och lutande ytan vilket medförde att när den bakre boggin eller banden kom in på lutande ytan så stannade båda skotarna. En bättre test hade varit en backe med successivt ökande lutning. När det gäller körning i backen med hårt packad snö var Gentle i en klass för sig. Tester i djup snö, både ospårad och spårad visade bandsystemet sin styrka. Det gick klart mycket bättre att köra med Gentle än Komatsu 845 försedd med dragande band och man fick en kraftigt reducerad bränsleförbrukning.

ÖVRIGT

Trots de begränsningar som funnits i projektet avseende konstruktion och bandsystemet förmåga att bära last har det varit ett mycket lyckat projekt. Resultaten från testerna visar på att en bandskotares möjlighet att påverka markskadorna i en positiv riktning, minska bränsleförbrukningen och därmed klimatet samt minska helkoppsvibrationerna. Resultaten är så pass positiva att det borde ge underlag för både BAE Systems Hägglunds och

Komatsu Forest att gå vidare i en vidareutveckling till ett färdigt koncept. Dock är det några frågor som detta projekt inte kunnat svara på och som det finns osäkerheter kring. Exempel på frågor som är obesvarade:

1. Körning i besvärlig och stenig terräng.
2. Hur påverkas produktiviteten och drivningskostnaderna?
3. Livslängden på banden i terräng.
4. Dragkraft med band.
5. Dynamiska egenskaper vid ett färdigt fordon.
6. Rullmotstånd med band.
7. En banskotares vikt och bredd.
8. Dragkraft i snö.

Förhoppningsvis kommer man att få svar dessa frågor i ett nytt maskinkoncept.

BILAGA 1.

Föraruppleverelser

Vid alla tester har en och samma förare används för att möjliggöra en jämförelse av körupplevelse. Föraren var en inhyrd entreprenör, Michael Karlsson, med flera års erfarenhet av skotarkörning.

Första körningen
Första dagen i Bjurholm, så var Gentle avlastad på fel plats. Den såg aningen suspekt ut där den står nere i diket, men efter varmkörning så körde jag Gentle till rätta testplatsen. Första känslan så upplevs Gentle rulla lätt. Tar inte i särskilt mycket vid gaspådrag.

Gentle var inte alls stötig på frusen skogsväg, om jag jämför med vanlig sko-tare. Gentle var en bekväm och behaglig maskin att framföra på vägen. Första dagen fick jag en liten bandkrängning, men det gick snabbt och smidigt att släppa sträckningen, för att sedan backa på bandet igen.

Lärde mig snabbt, att med Gentle måste man vara bestämd i körsättet. Släppa gasen och tveka, skapade ofta hög risk för krängningar. I terrängen upplever jag Gentle som ett steg i rätt riktning. Inte alls så kastig, utan går fint över hinder. Stora som små. Gjorde även ett test i brant uppförsbacke. Där jag tycker resultatet var otroligt bra.

Övriga tester
Gentle gick med full gas uppför, ingen differential, utan problem. Inga otrev-liga upplevelser vare sig uppför eller utför.

Körning på isig brant backe, upplever jag inte Gentle vara mycket sämre än en vanlig maskin. Även om jag önskat mig en rejälare brodd i banden, för att öka säkerheten och framkomlighet.

Djupsnökörningstestet i Borgafjäll tycker jag, var det bästa och roligaste upp-levelsen med hela testet. Snödjupet var cirka 1 meter, och Gentle tuffade på i ospårad snö. Testade även att köra ospårad på högväxel. Mycket väl godkänd tycker jag.

Enda negativa med just denna konstruktion var sisa testet på Komatsu:s testplan i Umeå. Kranen var åter monterad. Gentle blev skakig och gungig. Svårt att pricka när man lastar från marken.

BILAGA 2.

Kommentarer från BAE

VIBRATIONER

Gentle har överlastat bandställ, speciellt främre delen av främre bandstället, fjädringsvägen endast 120 mm fram. Se lastfördelning i Figur xx (Under rubrik "Vikt Gentle"). Detta innebär att fjädringsvägen inte räcker till vid körning på ojämnt underlag, bandet trycks mot skidbalken och skapar en hög acceleration i z-led samt hög pitchacceleration varje gång fordonet passerar en ojämnhet större än fjädringsvägen. Dessutom är det hög friktion mellan band(gummi) och skidbalk(stål), vilket medför att fordonet bromsas och det ger förhöjd acceleration i x-led och bidrar även att ytterligare höja accelerationen i z-led samt pitchaccelerationen.

Om hindren inte är lika höga vid vänster och höger band, alltså genomslag endast på en sida eller hårdare islag på en sida, blir även rollaccelerationen högre pga. den för låga fjädringsvägen.

För att undvika dessa problem bör fjädringsvägen vara i samma storleksordning som hinderhöjden, 400 mm.

Gentle maskinens bredare bredd än 845 referensmaskinen har troligtvis en minskande effekt i sidled och rollvibrationer enligt figur 68.

SPÅRDJUP

Slalombana

Den höga bärhjulslasten på främre delen av bandställen innebär att bandet skär ner mer än vid en jämnare belastning över hela bandanläggningslängden. Anledningen till den höga belastningen fram är att bandstället placerats något för långt bak i förhållande till boggicentrum, pga den befintliga maskinens placering av avledare och batterilådor med mera. Detta gjordes framförallt för att undvika ihopslag mellan främre del av bandställ och framram vid boggirörelser. Normalt anpassas bärhjulsbelastningen så att mer av fordonets vikt bärs i mitten och mindre av bärhjulen fram och bak. Interferensen mellan bandstället och framram/bakram kan konstrueras bort i nästa steg, så att bandstället kan få en optimal placering och därmed en optimal fördelning av bärhjulslasterna.

EFFEKT

Den låga fjädringsvägen höjer även effektbehovet på ojämnt underlag när bandställets fjädringsväg bottnar. Varje gång fjädringsvägen inte räcker till, bandet trycks mot skidbalken, skapas en bromsande kraft. Vid terräng eller bana med många hinder som är högre än fjädringsvägen blir resultaten på effekt och verkningsgrad missvisande.

TERRÄNG

Konstruktionen på infästningen av BAE:s skidbalk var sådan att bandets styrtungor låg nära mot den bärande konstruktionen pga begränsat utrymme och kunde i vissa fall kollidera med konstruktionen. Det har medfört att styrtungor på insidan av bandet slitets bort.

Volgsjökullen
845 utförde alla sina tester innan Gentle kunde köra. Detta innebar att toppskiktet var borta och stenar var blankslitna. Banan var lokalt mycket brant. Det innebar även att banan i lokala delar blev mycket branta. I vissa positioner upp till 44 grader i direkt anslutning till en sten som var hal. Trots detta kom Gentle upp och inte referensskotaren.

Agnäsbacken
Här körde Gentle upp och vände i backen medan 845 kom ca 25 m oavsett med eller utan last. 845 referensmaskinen hade här drivande band fram och bärande band bak, vilket troligtvis begränsade referensmaskinens prestanda gällande backtagningsförmåga.

BILAGA 3.

Nomenklatur

ISO International Standard Organization.

ECU Electronic Control Unit.

CAN Communication Area Network.

IMU Inertial Measurement Unit.

A8 Arbetstid 8 timmar.

KTH Kungliga Tekniska Högskolan.