

# ARBETSRAPPORT



FRÅN SKOGFORSK NR 736 2011

## Spårdjup och vibrationer för banddrivna skotare Lightlogg C och ProSilva

Björn Löfgren, Martin Englund, Niklas Fogdestam, Petrus Jönsson,  
Hagos Lundström och Iwan Wästerlund, SLU

Ämnesord: Spårdjup, vibrationer, ProSilva, Lightlogg C

---

## **SKOGFORSK**

### **– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut**

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

## **FORSKNING OCH UTVECKLING**

### **Två forskningsområden:**

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

## **UPPDRAG**

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

## **KUNSKAPSFÖRMEDLING**

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

# Innehåll

Sammanfattning.....	2
Inledning.....	3
Syfte.....	3
Genomförande .....	3
Mätning av fordonsvikt, spårdjup och markegenskaper .....	3
Mätning av vibrationer .....	5
Resultat .....	9
Spårdjup .....	9
Vägning.....	9
Rak bana .....	10
Slalomkörning.....	11
Körning i kurva .....	12
Markdata .....	13
Konpenetrometervärden.....	13
Fuktkvot .....	16
Vibrationer.....	16
Skogforsks standardiserade bana .....	17
Terrängbana .....	20
Grus.....	23
RMS – hälsa .....	26
RMS – komfort .....	27
Diskussion .....	28
Spårdjup .....	28
Rakt fram.....	28
Slalomkörning.....	28
Körning i kurva .....	28
Markdata .....	28
Vibrationer.....	29
Hälsa.....	29
Komfort.....	30
Frekvenser.....	31

## Sammanfattning

Det blir allt viktigare att minska markskadorna i terrängen. För det ändamålet har ProSilva och Timbear tagit fram två skotarmodeller försedda med band istället för hjul. För att få en bild av hur dessa skotare påverkar marken och spårbildningen har Skogforsk mätt spårdjup och kompaktering som uppstår vid körning på en homogen åkermark. Då skotarna är avsedda främst för mjukare marker men även vanlig skogsmark har också vibrationerna hos skotarna mätts i ojämn terräng. Vibrationerna mättes på Skogforsks standardiserade 28 m långa hinderbana och på en 250 m lång terrängbana. Som referensskotare användes en Valmet 860.3.

Proven genomfördes under tre dagar i september 2010. Proven gjordes på en åker med organogen jord ca 7 km sydost om Tierp. Skotarna kördes med samma bestämda hastighet 10 gånger över en 30 m lång raksträcka. Därefter kördes skotaren i slalombana med 7 och 10 m portavstånd för att efterlikna en krokig stickväg. Sist kördes skotarna med fullt styrutslag 10 varv. Proven genomfördes både utan last och med 75 % av full last.

Resultaten visade att ProSilva och Lightlogg C gjorde mindre spårdjup än Valmet 860.3 vid körning rakt fram, vid slalomkörning och vid körning med fullt styrutslag. Minskningen i spårdjup i jämförelse med Valmet 860.3 blev ca 50–60 % reducering efter 10 överfarter av spårdjupet vid körning olastad och ca 70 % reducering efter 10 överfarter av spårdjupet vid körning lastad. I båda fallen gjorde ProSilva mindre spårdjup trots att den är mycket tyngre men samtidigt har en mycket större kontaktyta. ProSilva och Lightlogg C hade mycket mindre spårdjup än Valmet 860.3 vid slalomkörning. Det blev ca 50 % reducering efter 10 överfarter av spårdjupet vid körning olastad och ca 60 % reducering av spårdjupet efter 8 överfarter vid körning lastad. ProSilva och Lightlogg C gjorde mycket mindre spårdjup än Valmet 860.3 vid körning i kurva. Det blev ca 55–65 % reducering efter 10 överfarter av spårdjupet vid körning olastad och ca 80 % reducering av spårdjupet efter 5 överfarter vid körning lastad.

Mätning av fuktkvot visade att förhållandena i marken var desamma under de tre studiedagarna. Mätning av konmotstånd visade att ProSilva inte gjorde någon packning alls i marken eller att en eventuell jordpackning är så liten att skillnaden inte går att urskilja. Valmet 860.3 olastad gjorde en viss jordpackning och lastad gjorde den en viss packning första överfarten och därefter bildades en bogvåg framför däckets och som luckrade upp marken särskilt mot djupet. Lightlogg C gjorde konstigt nog större signifikant packning olastad än lastad. Jordpackningen ökade med antal överfarter.

Skotarna ProSilva och Lightlogg C är anpassade för mjuka marker och i stenig terräng orsakade de högre vibrationer än referensskotaren Valmet 860.3. ProSilva hade högre värden än gränsvärdet  $1,1 \text{ m/s}^2$  som anges i AFS 2005:15 vibrationsdirektiv, vilket innebär att man måste åtgärda problemet direkt. Lightlogg C hade värden som låg mellan insatsvärdet  $0,5 \text{ m/s}^2$  och gränsvärdet  $1,1 \text{ m/s}^2$ . Valmet 860.3 hade ett högre värde än insatsvärdet  $0,5 \text{ m/s}^2$  endast vid standardbanan.

## Inledning

Timbear och ProSilva har utvecklat skotare försedda med banddrift avsedda för mjuka marker. För att få en bild av hur dessa skotare påverkar spårbildningen och marken har Skogforsk mätt de spårdjup och den kompaktering som uppstår vid körning på en homogen åkermark. För att få en koppling till tidigare mätresultat på samma åkermark mättes även markens konmotstånd och fukthalt samt jämfördes med referensmaskinen Valmet 860.3. Vidare har vibrationerna hos skotarna mätts på Skogforsks standardiserade 28 m långa hinderbana och på en 250 m lång terrängbana.

## Syfte

Syftet med proven var att:

- Bestämma spårdjupen och kompakteringen för skotare Lightlogg C och ProSilva. Skotarna kördes både lastade och olastade.
- Bestämma helkroppsvibrationerna för olastade skotare Lightlogg C och ProSilva på en standardiserad provbana och på en terrängbana.

## Genomförande

Proven genomfördes under fyra dagar i september 2010. Spårdjupsproven genomfördes på en åker med organogen jord (jord som huvudsakligen består av organiskt material, d.v.s. nedbrutna rester av växter och djur), belägen ca 7 km sydost om Tierp. Skotaren Lightlogg C kördes av Daniel Koch och skotaren ProSilva kördes av Lasse Karilainen.

Vibrationsmätningarna genomfördes vid Jälla skogsbruksskola strax utanför Uppsala. Dag 1 och 2 utfördes mätningar av spårdjup och markegenskaper för Lightlogg C och Valmet 860.3, medan ProSilva studerades avseende vibrationer. Under dag 3 och 4 skiftade maskinerna plats med varandra.

### Mätning av fordonsvikt, spårdjup och markegenskaper

Maskinvikten bestämdes med fordonsvågar. Först mättes spårdjupen på en rak bana. Skotaren kördes med en hastighet av 3–4 km/tim 10 gånger över en 30 m lång raksträcka. Spårdjupen noterades efter varje passage i båda spåren med 2 m avstånd mellan punkterna.

Därefter kördes skotaren i slalombana med 7 och 10 m portavstånd och ingen förskjutning i sidled för att efterlikna en krokig stickväg. Spårdjupen noterades med hjälp av stort skjutmått, se figur 1, efter varje passage under de fem första passagerna och därefter efter passage 8 och 10, i båda spåren med 2 m avstånd mellan punkterna, se Figur 1.

Slutligen kördes provet med fullt styrutslag 10 varv. Spårdjupen noterades, efter passage 1, passage 5 och efter passage 10, i båda spåren på 9 punkter utefter en halv cirkel eftersom maskinen måste stå kvar i spåret under mätningarna. Alla band var drivna på skotaren.

Proven genomfördes både utan last och med 75 % av full last.

Mätning av markens konmotstånd och fukthalt genomfördes. Konmotståndet mättes med en Eijelkamp registrerande penetrologger med en standard ASAE kona, d.v.s. en 30° kona med basen 2,1 cm i diameter och penetreringshastighet ca 3 cm per sekund. Konmotståndet mättes på varannan mätpunkt för spår- djup i båda spåren, d.v.s. 8 värden per överfart ner till ett djup där motståndet översteg ca 1,5 MPa. Fukthalten mättes i jorden på 10 cm djup genom att torka jordprovet i 100° C till torrhet i ugn.



Figur 1.  
Mätning av spårdjup och konmotstånd.



Figur 2.  
Mätning av konmotstånd med hjälp konpenetrometer.



Figur 3.  
Körning rakt fram med Lightlogg C.

### Mätning av vibrationer

För att få en uppfattning av bandens bidrag på Lightlogg C och ProSilva till vibrationerna har mätningen vid vibrationsbanan delats upp i två delar. En del består av den plana körsträcka man har till förfogande för att uppnå rätt hastighet och en del som består av själva hindren. När det gäller vibrationerna redovisas 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. Vi bedömer att ett komfortvärde är mer intressant då beräkningarna även tar hänsyn till rollrörelsens bidrag till vibrationerna. Kranrörelsernas bidrag till vibrationerna är små, vilket tester har visat, i förhållande till vibrationerna som uppstår vid själva körningen och därför har de utelämnats.

Skotaren försågs med accelerationsgivare och vinkelhastighetsgivare på golvet vid förarstolen. Skotaren kördes fem gånger över den standardiserade testbanan och fem gånger över terrängbanan. ProSilva är försedd med ett fjäderingssystem som går att koppla i och ur. Testerna gjordes både med och utan fjädring på den standardiserade banan. Lightlogg C är försedd med ett förlängningssystem som gör det möjligt att köra med en kort eller lång skotare. Testerna gjordes både med och utan förlängning på den standardiserade banan. Skotarna kördes olastade.



Figur 4.  
Körning på Skogforsks standardiserad testbana, ProSilva.

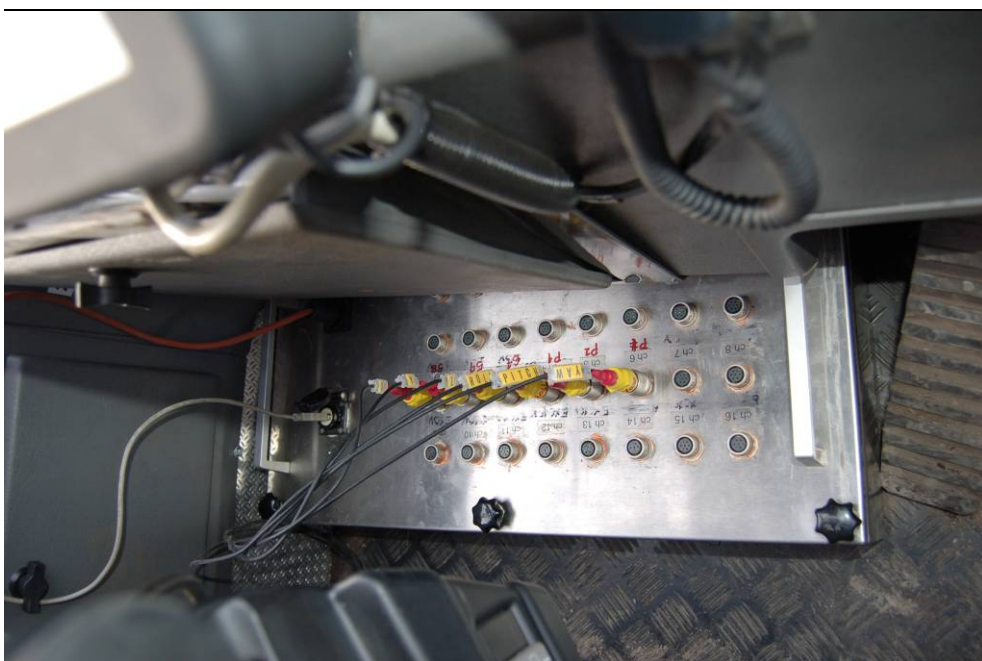


Figur 5.  
Körning på terrängbana, ProSilva.





Figur 6.  
Mätutrustning i skotaren, Lightlogg C.



Figur 7.  
Mätutrustning i skotaren, Lightlogg C.



Figur 8.  
Mätutrustning och accelerometrar i skotaren, Lightlogg C.



Figur 9.  
Körning på Skogforsks standardiserade testbana, Lightlogg C.



Figur 10.  
Körning runt, ProSilva.

## Resultat

Nedan redovisas resultaten för spårdjup och vibrationer för Lightlogg C, ProSilva och Valmet 860.3.

### SPÅRDJUP

Spårdjupen i nedanstående figurer är medelvärden för vänster och höger spår.

### Vägning

Skotarna vägdes med full tank och föraren i hytten med hjälp av Skogforsks och SLU:s vågar.

Lightlogg C vägde 15 400 kilo. Eftersom skotaren lastar 13 000 kg, fördelat på 6 000 kg på den främre lastbäraren och 7 000 kg på den bakre lastbäraren, lastades den med 9 750 kg, vilket är 75 % av max last. Den totala vikten med last var 25 150 kg.

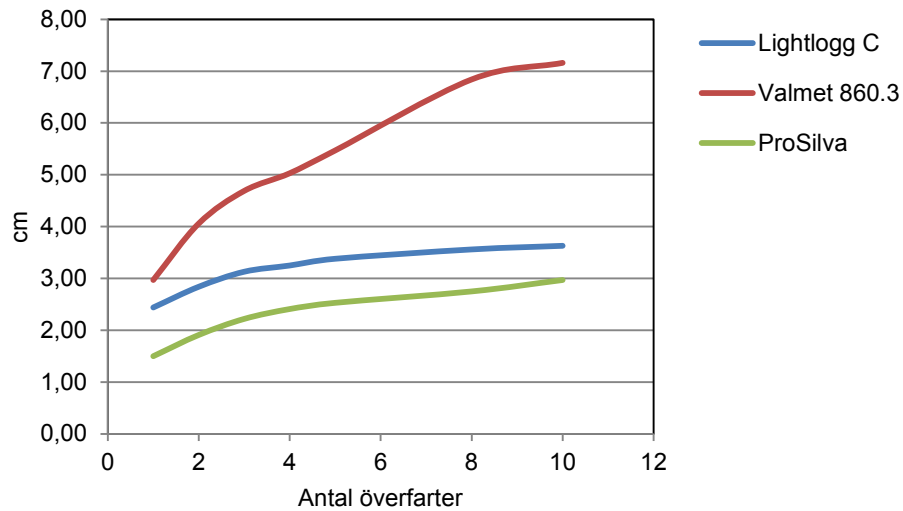
ProSilva vägde 23 120 kilo. Eftersom skotaren lastar 15 000 kg lastades den med 11 250 kg, vilket är 75 % av max last. Den totala vikten med last var 34 370 kg.

Valmet 860.3 vägde 17 410 kilo. Eftersom skotaren lastar 14 000 kg lastades den med 10 500 kg, vilket är 75 % av max last. Den totala vikten med last var 27 910 kg.

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

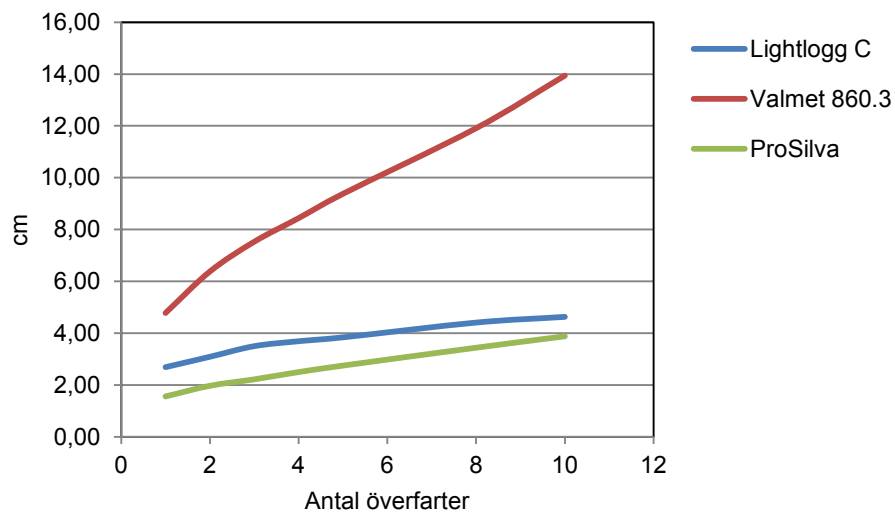
## Rak bana

### Olastad



Figur 10.  
Spårdjup för Lightlogg C, ProSilva och Valmet 860.3 olastade. Körning rakt fram. Medelvärden för höger och vänster spår.

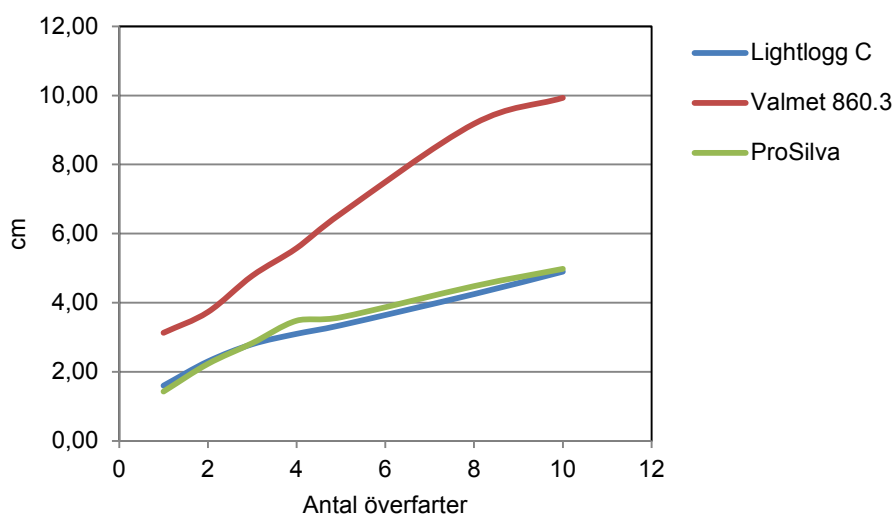
### Lastad



Figur 12.  
Spårdjup för Lightlogg C, ProSilva och Valmet 860.3 lastade. Körning rakt fram, medelvärden för höger och vänster spår.

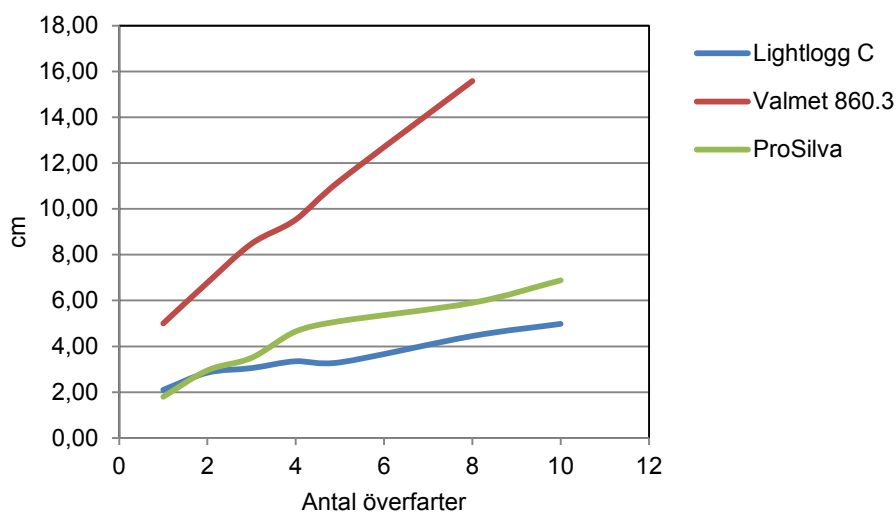
# Slalomkörning

## Olastad



Figur 13.  
Spårdjup för Lightlogg C, ProSilva och Valmet 860.3 olastade. Slalomkörning, medelvärden för höger och vänster spår.

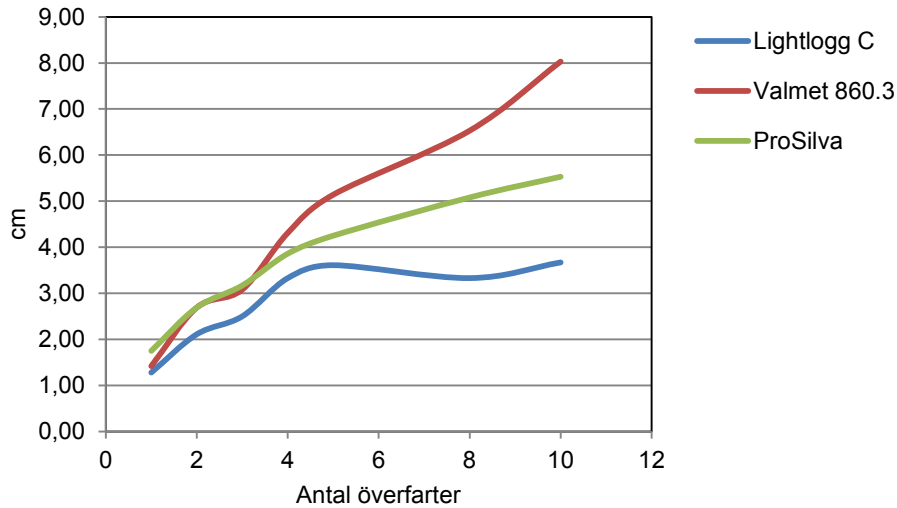
## Lastad



Figur 14.  
Spårdjup för Lightlogg C, ProSilva och Valmet 860.3 lastade. Slalomkörning, medelvärden för höger och vänster spår.

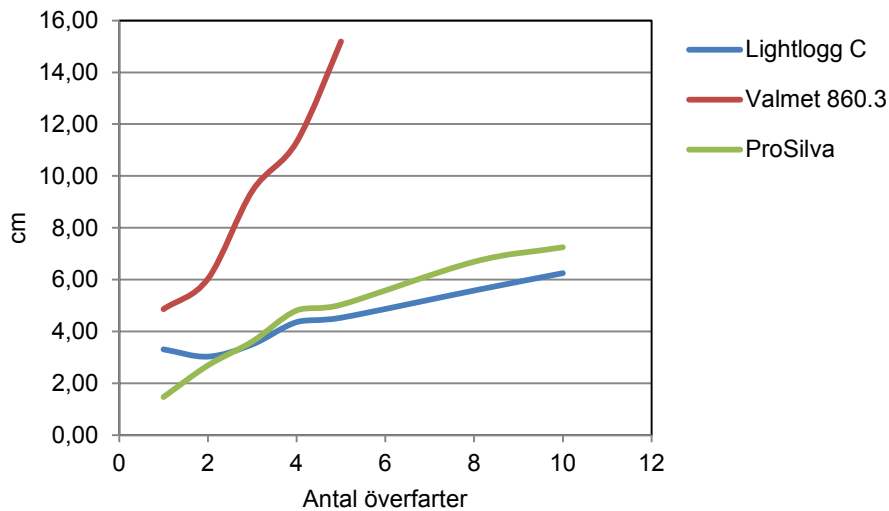
## Körning i kurva

### Olastad



Figur 15.  
Spårdjup för Lightlogg C, ProSilva och Valmet 860.3 olastade. Körning i kurva, medelvärden för höger och vänster spår.

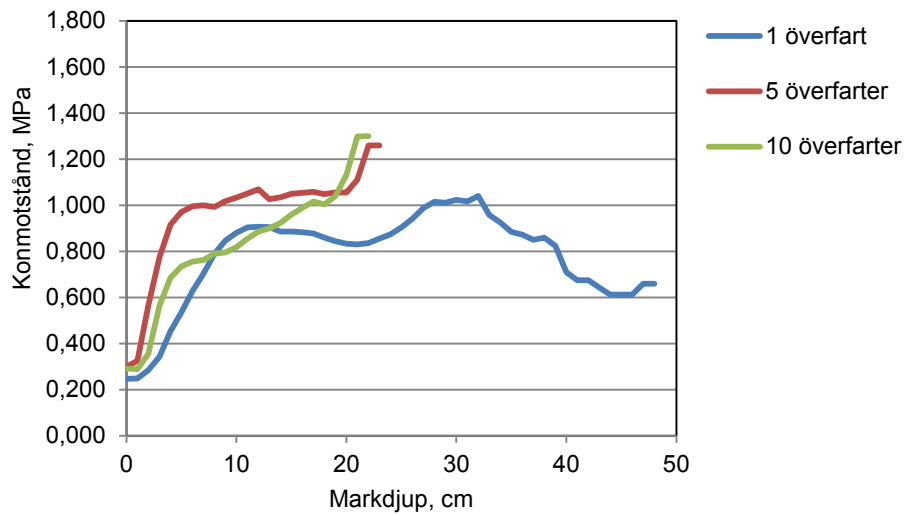
### Lastad



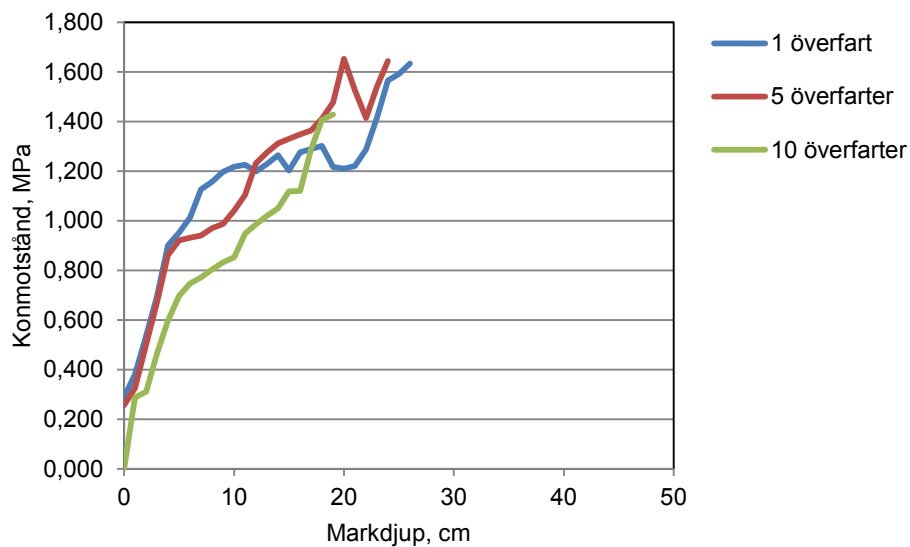
Figur 16.  
Spårdjup för Lightlogg C, ProSilva och Valmet 860.3 lastade. Körning i kurva, medelvärden för höger och vänster spår. Provet avbröts efter 5 överfarter med skotare Valmet 860.3.

## MARKDATA

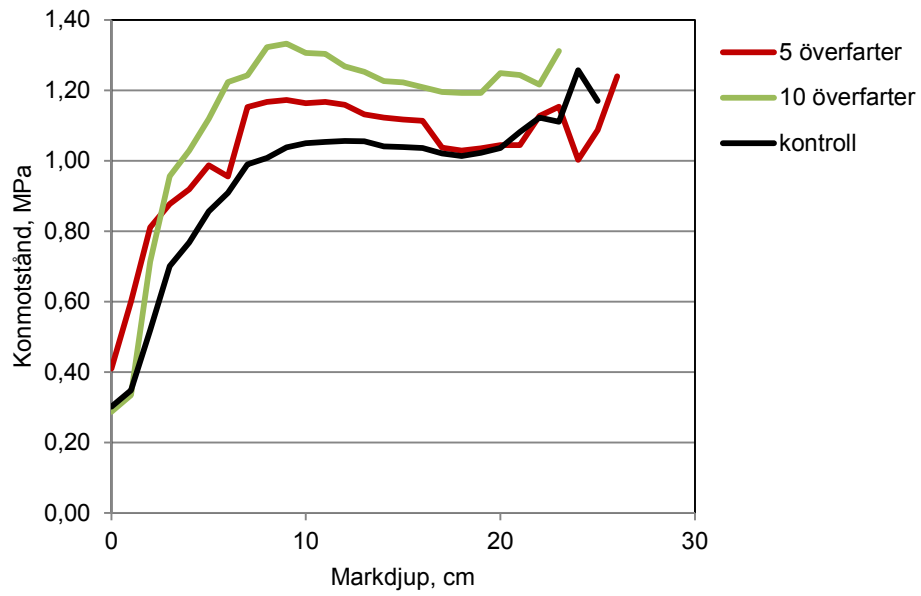
### Konpenetrometervärden



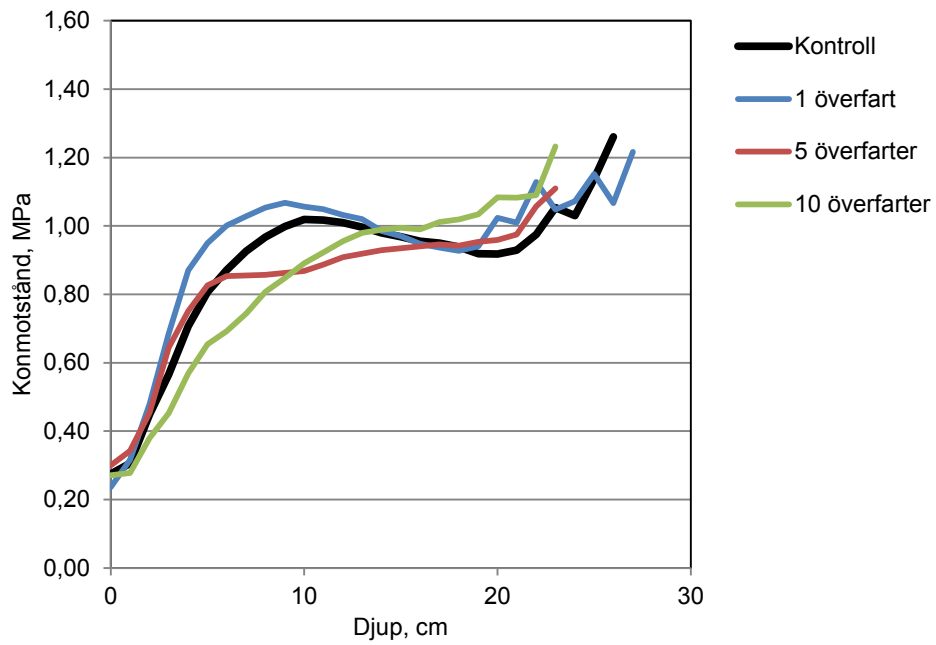
Figur 17.  
Konmotstånd i spåren efter Valmet 860.3, rak bana olastad.



Figur 18.  
Konmotstånd i spåren efter Valmet 860.3, rak bana lastad.

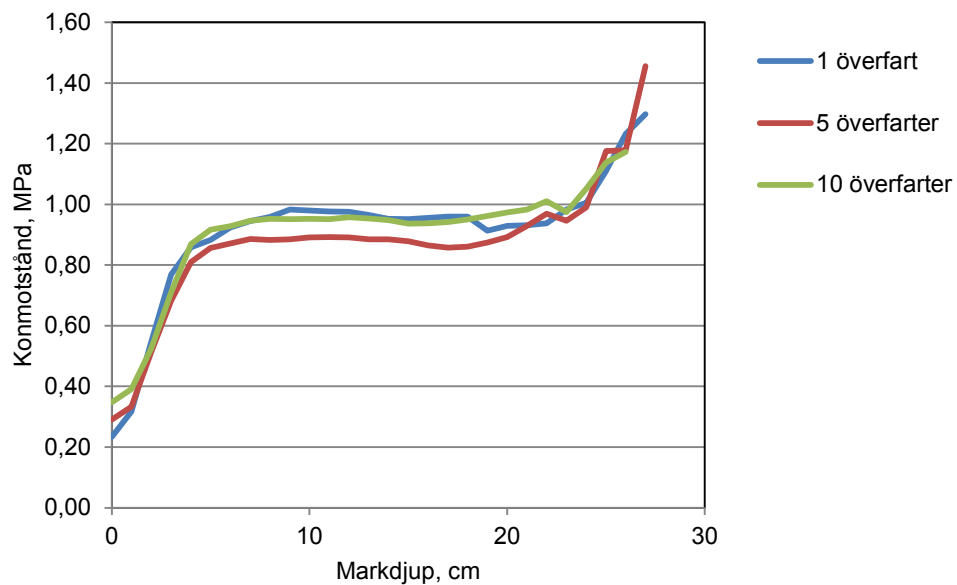


Figur 19.  
Kommotstånd i spåren efter Lightlogg C, rak bana olastad.

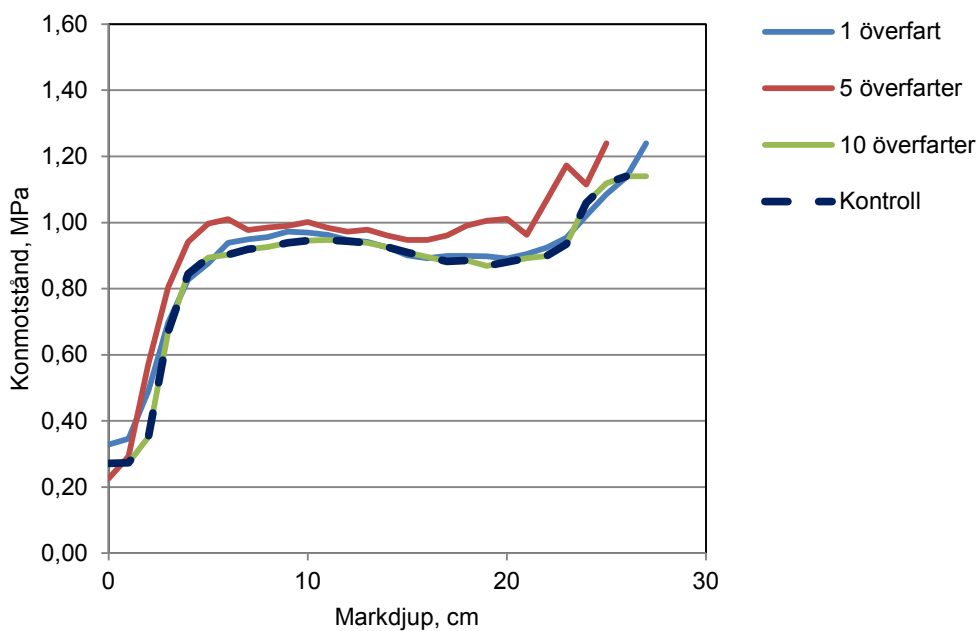


Figur 20.  
Kommotstånd i spåren efter Lightlogg C, rak bana olastad.





Figur 21.  
Konmotstånd i spåren efter ProSilva, rak bana olastad.



Figur 22.  
Konmotstånd i spåren efter ProSilva, rak bana lastad.

## Fuktkvot

Tabell 1.

Fukthalten och fuktkvot i jorden vid mätningarna för rak bana. Prover tagna den 20 september.

Beteckning	Fuktkvot	Fukthalt
Spår 1 start	120,3	54,6
Spår 1 slut	103,7	50,9
Spår 2 start	101,4	50,3
Spår 2 slut	112,5	52,9
Medel	109,5	52,2

Tabell 2. Fukthalten och fuktkvot i jorden vid mätningarna för slalombana.

Prover tagna den 20 september.

Beteckning	Fuktkvot	Fukthalt
Spår 1 start	198,3	66,5
Spår 1 slut	180,2	64,3
Spår 2 start	198,3	66,5
Medel	192,3	65,8

Tabell 3.

Fukthalten och fuktkvot i jorden vid mätningarna för rak bana. Prover tagna den 22 september.

Beteckning	Fuktkvot	Fukthalt
Spår 1 start	122,9	55,1
Spår 1 slut	112,2	52,9
Spår 2 start	133,9	57,3
Spår 2 slut	125,1	55,6
Medel	123,5	55,2

Tabell 4.

Fukthalten och fuktkvot i jorden vid mätningarna för slalombana. Prover tagna den 22 september.

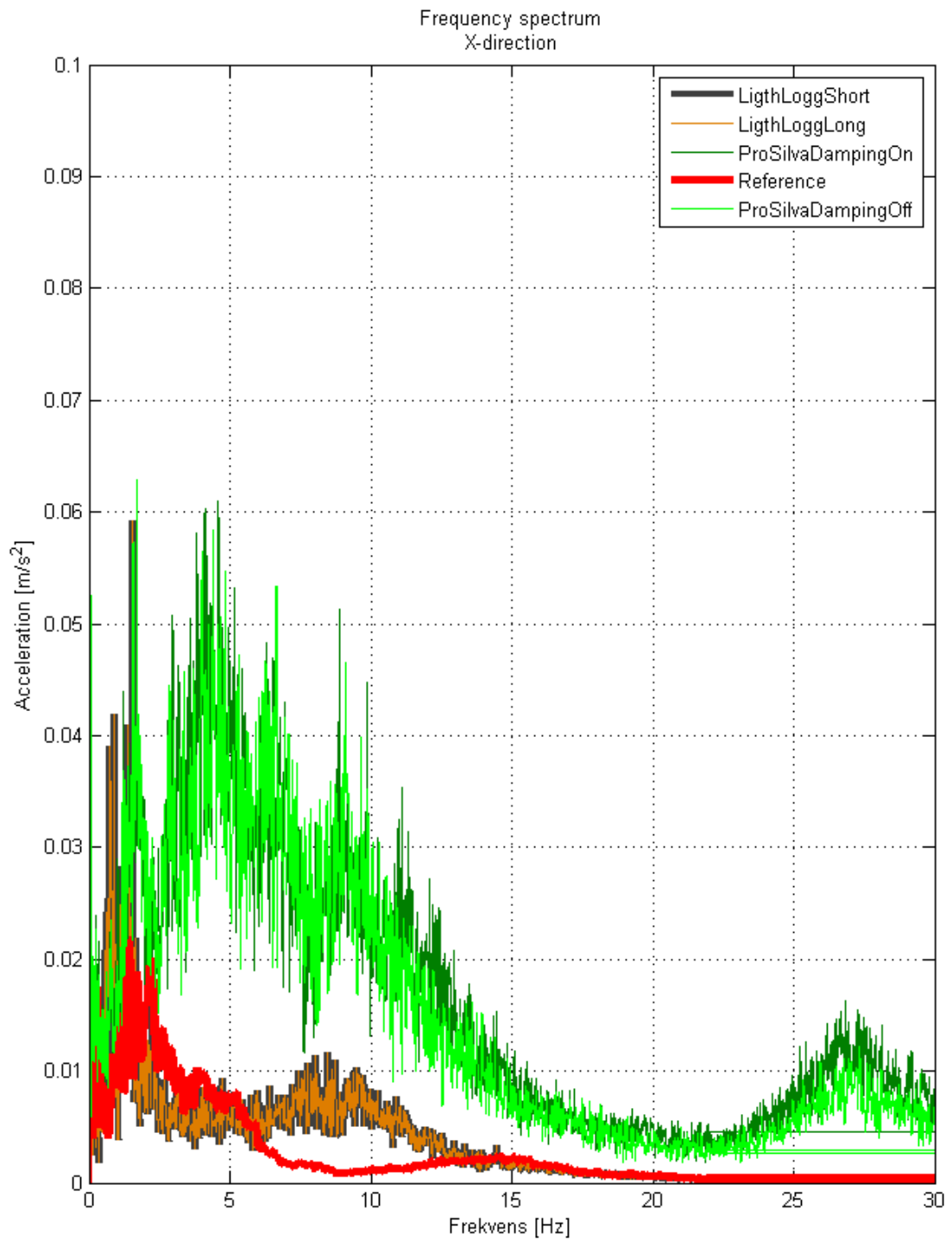
Beteckning	Fuktkvot	Fukthalt
Spår 1 start	191,6	65,7
Spår 1 slut	197,3	66,4
Medel	194,5	66,0

Fuktkvoten är beräknad på torrvikten och fukthalten på våtvikten, d.v.s. samma vatteninnehåll beräknad på två olika sätt. Värdena i tabell 1 och 3 visar att fukthalten var densamma mellan dag 1 och dag 3 och ganska små variationer mellan banans start och slut. Däremot visade det sig att området för slalombanan var betydligt blötare än området för det raka spåret. Det har ingen större betydelse vid jämförelse mellan maskiner såvida de jämförs på samma område.

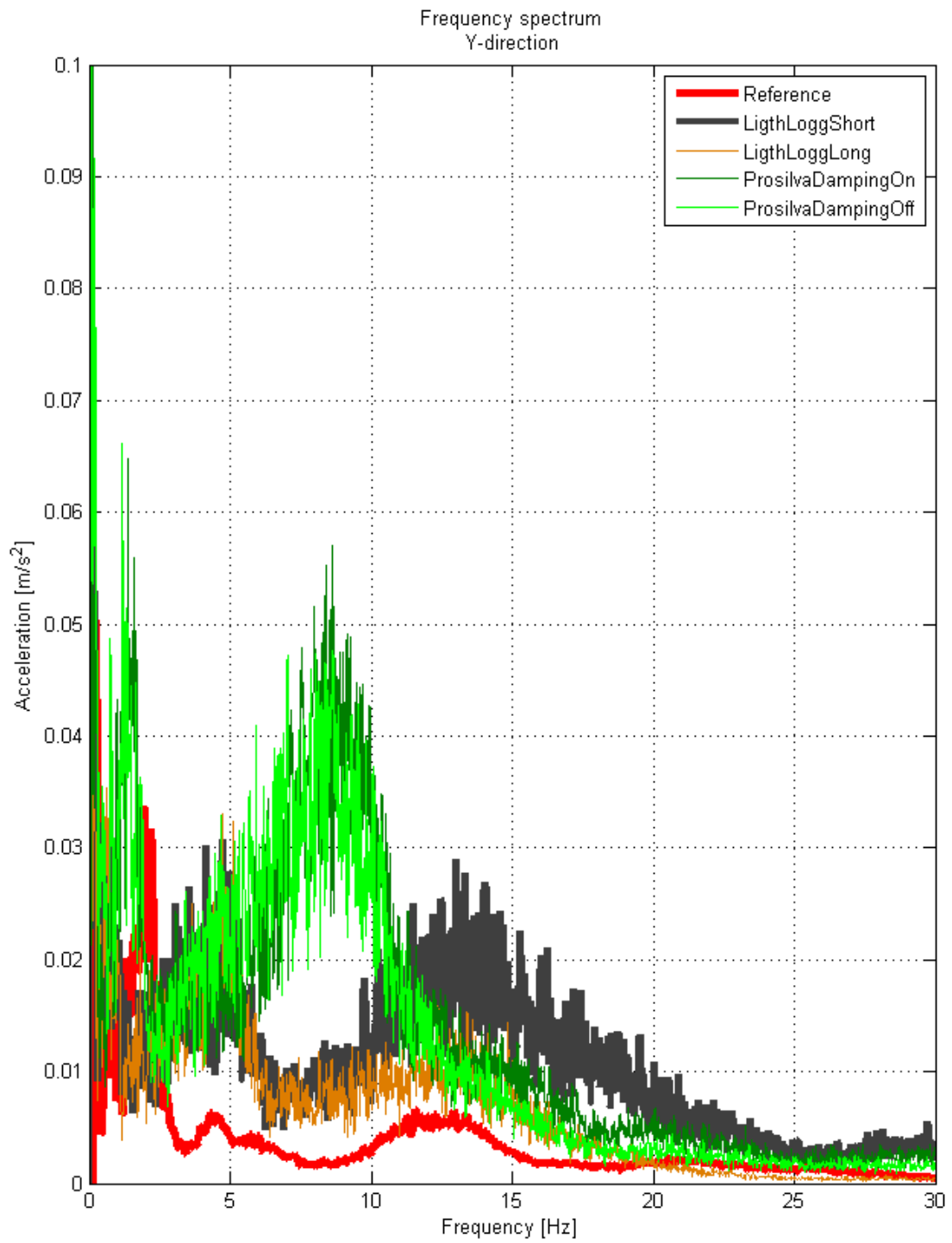
## VIBRATIONER

De tre skotarna visas i samma figurer för att man enklare ska kunna se skillnaderna mellan dem avseende riktning och accelerationen som funktion av frekvensen. Som referens för en åttahjulig skotare används Valmet 860.3 som också har körts på samma sträckor.

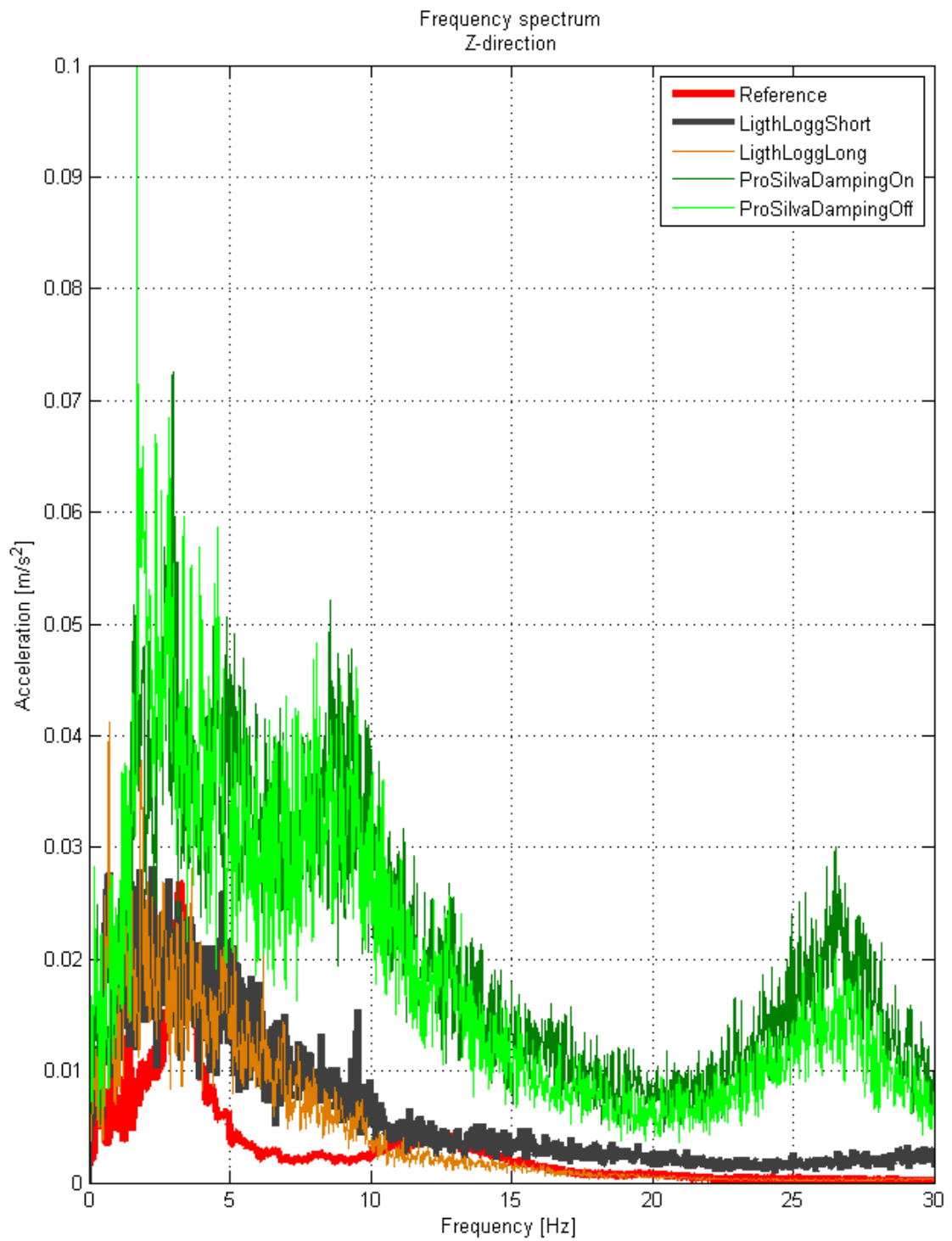
## Skogforsks standardiserade bana



Figur 23.  
Frekvensanalys av x-riktningen på golvet.

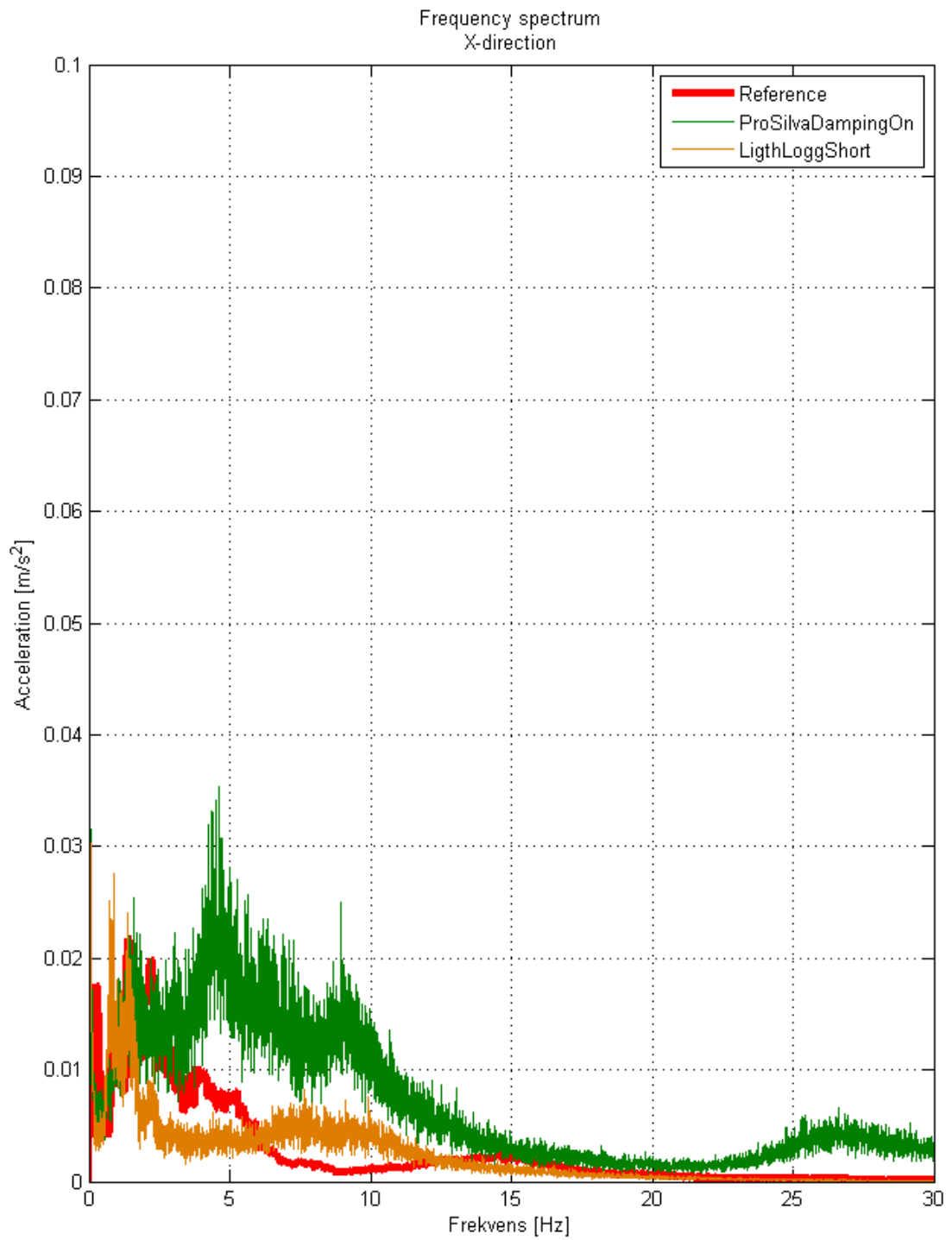


Figur 24.  
 Frekvensanalys av y-riktningen på golvet.

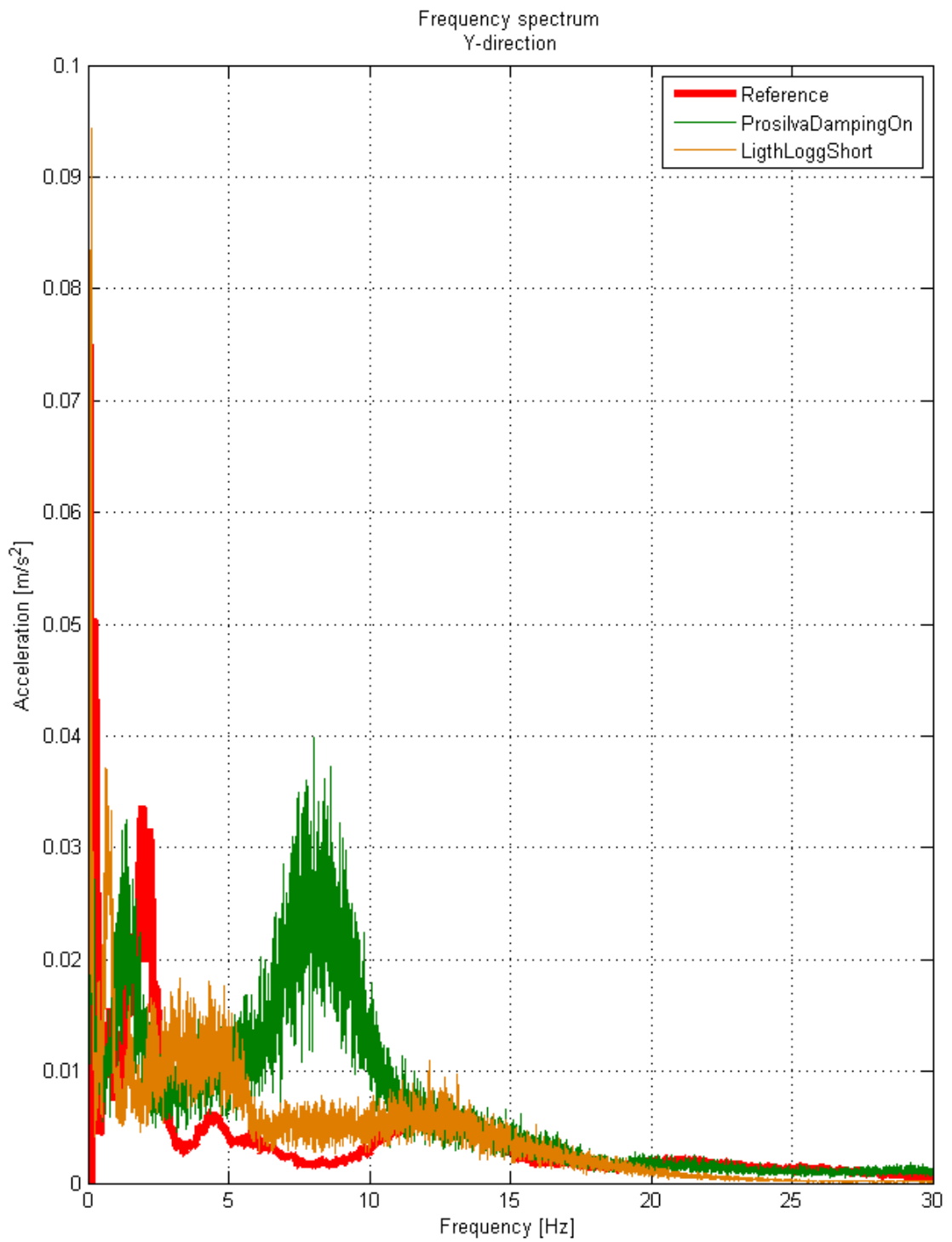


Figur 25.  
Frekvensanalys av z-riktningen på golvet.

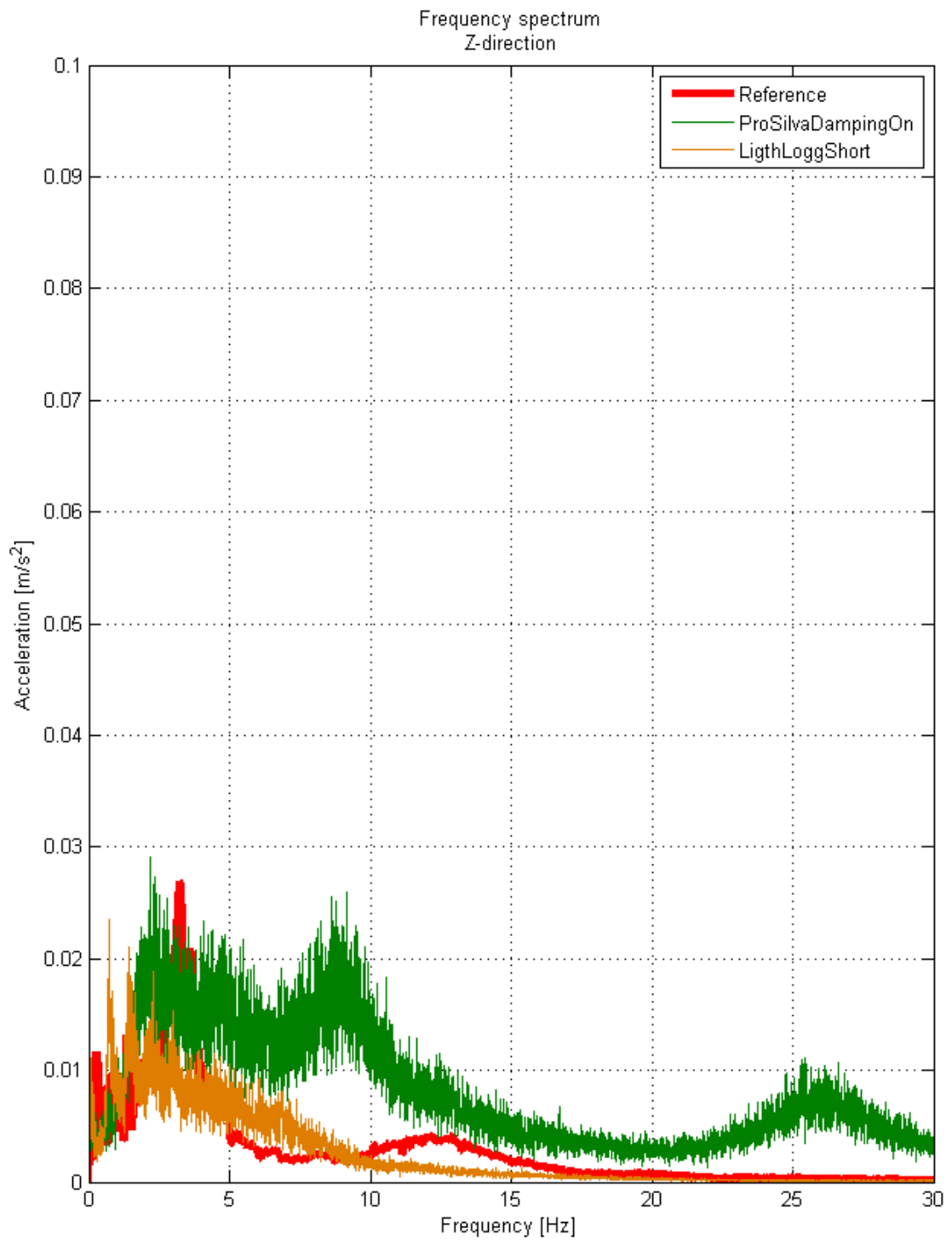
## Terrängbana



Figur 26.  
Frekvensanalys av x-riktningen på golvet.



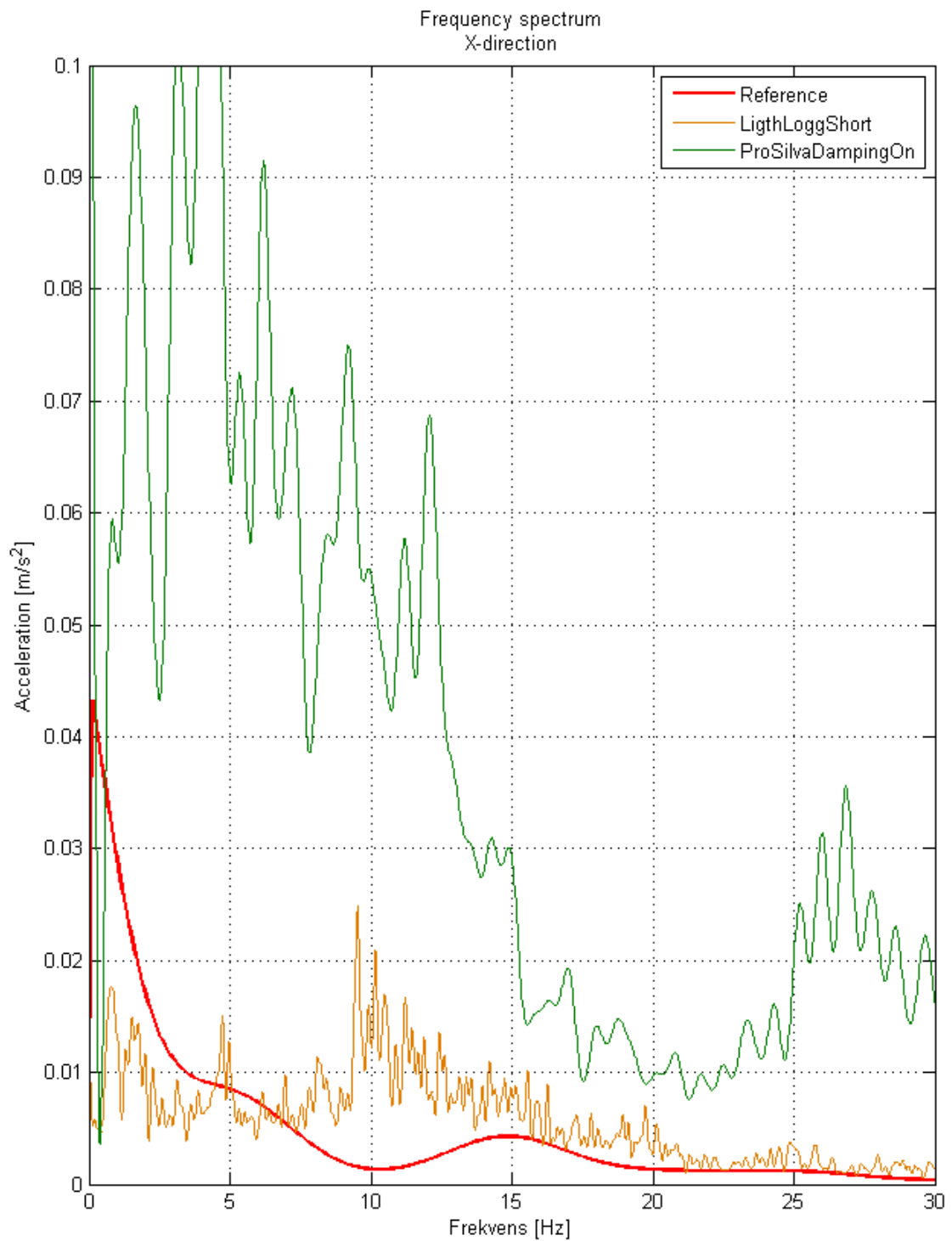
Figur 27.  
Frekvensanalys av y-riktningen på golvet.



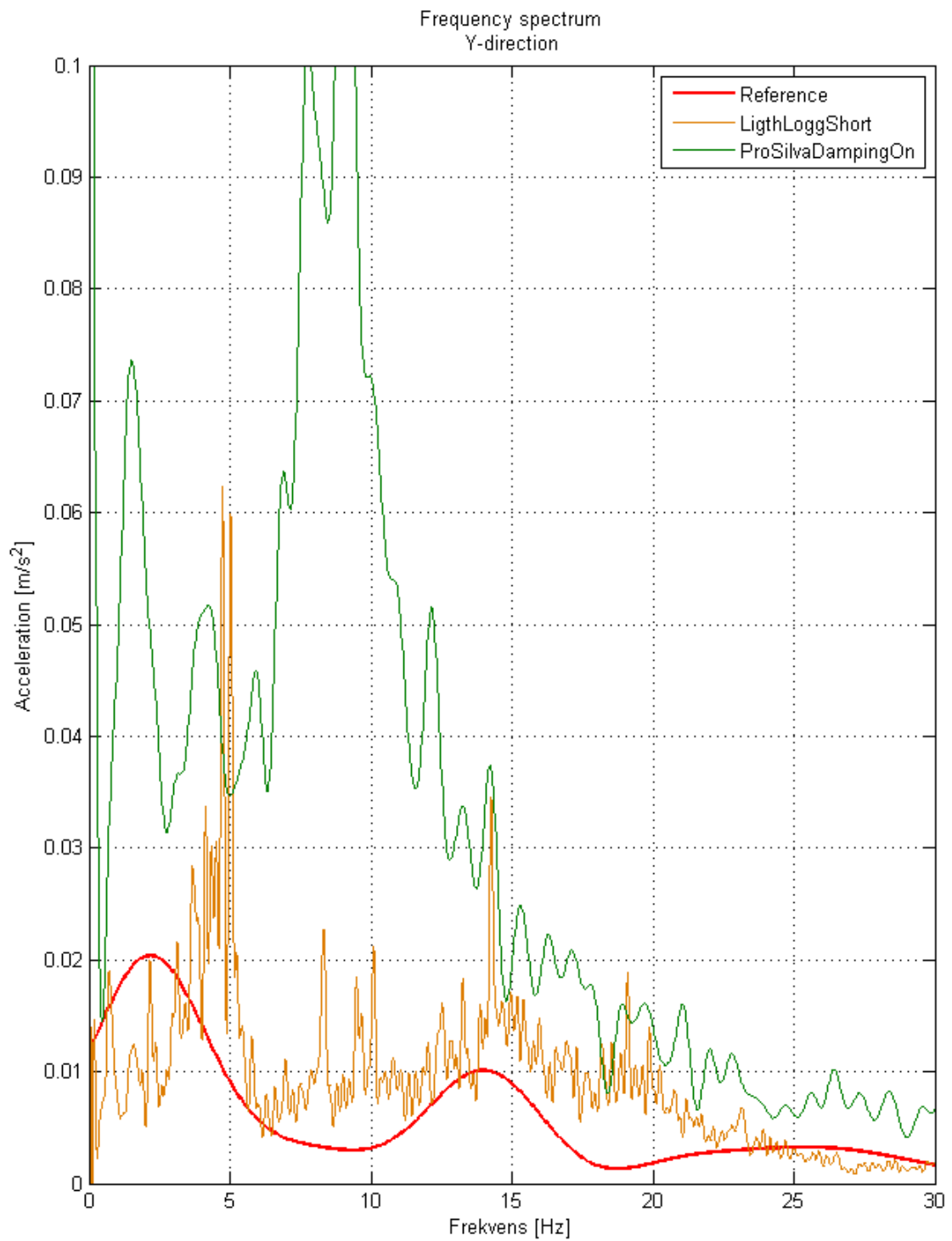
Figur 28.  
 Frekvensanalys av z-riktningen på golvet.



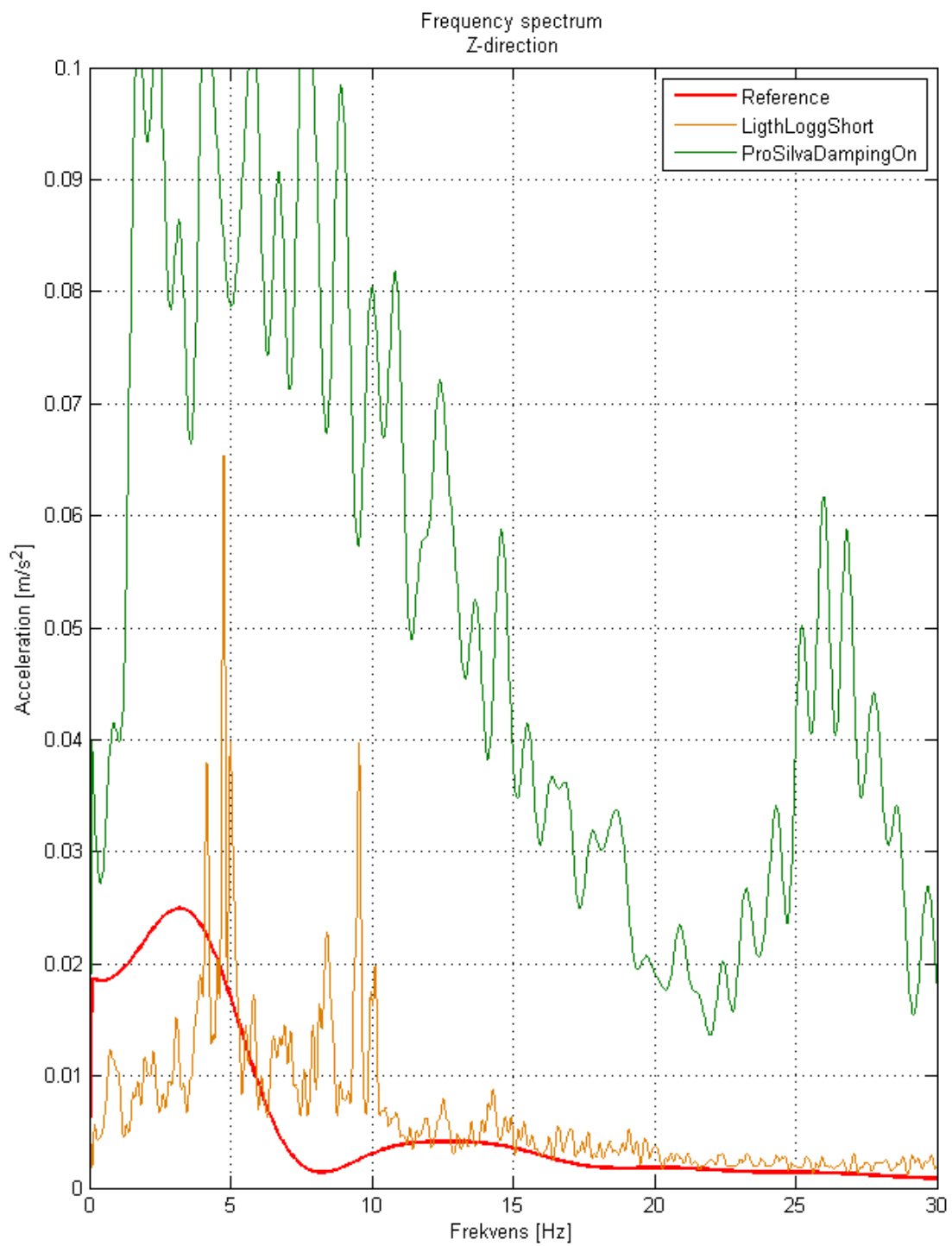
## Grus



Figur 29.  
Frekvensanalys av x-riktningen på golvet.



Figur 30.  
 Frekvensanalys av y-riktningen på golvet.



Figur 31.  
 Frekvensanalys av z-riktningen på golvet.

## RMS – hälsa

Tabell 5.

RMS-medelvärden för accelerationerna,  $m/s^2$ , i samtliga riktningar för beräkning av hälsa enligt ISO 2631.

Riktning	Standardbana				
	Lightlogg C		ProSilva		Valmet 860
	Kort	Lång	Dämpad	Odämpad	
RMS i x-led på hyttgolv	0,56	0,56	1,09	1,02	0,59
RMS i y-led på hyttgolv	0,54	0,56	0,86	0,90	0,60
RMS i z-led på hyttgolv	0,54	0,56	1,45	1,43	0,55

Tabell 6.

RMS-medelvärden för accelerationerna,  $m/s^2$ , i samtliga riktningar för beräkning av hälsa enligt ISO 2631.

Riktning	Terrängbana		
	Lightlogg C	ProSilva	Valmet 860
	Kort	Dämpad	
RMS i x-led på hyttgolv	0,60	0,99	0,24
RMS i y-led på hyttgolv	0,82	0,93	0,28
RMS i z-led på hyttgolv	0,49	1,26	0,11

Tabell 7.

RMS-medelvärden för accelerationerna,  $m/s^2$ , i samtliga riktningar för beräkning av hälsa enligt ISO 2631.

Riktning	Grusbana				
	Lightlogg C		ProSilva		Valmet 860
	Kort	Lång	Dämpad	Odämpad	
RMS i x-led på hyttgolv	0,30	0,31	0,73	0,68	0,32
RMS i y-led på hyttgolv	0,20	0,21	0,57	0,63	0,14
RMS i z-led på hyttgolv	0,31	0,30	1,00	1,00	0,14

## RMS – komfort

Tabell 8.

RMS-medelvärden för accelerationerna,  $m/s^2$ , i samtliga riktningar för beräkning av komfort enligt ISO 2631.

	Standardbana			
	Lightlogg C		ProSilva	
	Kort	Lång	Dämpad	Odämpad
Komfortvärde	0,95	0,97	2,01	1,97

Tabell 9.

RMS-medelvärden för accelerationerna,  $m/s^2$ , i samtliga riktningar för beräkning av komfort enligt ISO 2631.

	Terrängbana	
	Lightlogg C	ProSilva
	Kort	Dämpad
Komfortvärde	1,13	1,85

Tabell 10.

RMS-medelvärden för accelerationerna,  $m/s^2$ , i samtliga riktningar för beräkning av komfort enligt ISO 2631.

Riktning	Grusbana				Valmet 860
	Lightlogg C		ProSilva		
	Kort	Lång	Dämpad	Odämpad	
Komfortvärde	0,48	0,48	1,36	1,37	0,38

## Diskussion

Nedan kommenteras skillnaderna mellan de tre skotarkoncepten.

### SPÅRDJUP

De siffror som redovisas för spårdjupen är medelvärden och det kan finnas resultat inom samma överfart som är både högre och lägre.

#### Rakt fram

I figur 11 och figur 12 kan man klart se att ProSilva och Lightlogg C har mycket mindre spårdjup än Valmet 860.3. Man har ca 50–60 % reduktion efter 10 överfarter av spårdjupet vid körning olastad och ca 70 % reduktion efter 10 överfarter av spårdjupet vid körning lastad. I båda fallen har ProSilva mindre spårdjup trots att den är mycket tyngre men samtidigt har en mycket större kontaktyta. Den stora skillnaden mellan däck och band är att däcken ”skjuter jorden” framför sig medan banden går ovanpå jorden.

#### Slalomkörning

Enligt figur 13 och figur 14 kan man se att ProSilva och Lightlogg C har mycket mindre spårdjup än Valmet 860.3. Studien var tvungen att avbrytas efter 8 överfarter med Valmet 860.3 lastad då spårdjupen blev större än 15 cm. Man har ca 50 % reduktion efter 10 överfarter av spårdjupet vid körning olastad och ca 60 % reduktion av spårdjupet efter 8 överfarter vid körning lastad. Förklaringen till att skotare med boggi får så stora spårdjup är att den skjugar jorden då den svänger samtidigt som däcken ”skjuter” jorden framför sig. I båda fallen hade Lightlogg C lägre spårdjup.

#### Körning i kurva

Enligt figur 15 och figur 16 kan man se att ProSilva och Lightlogg C har mycket mindre spårdjup än Valmet 860.3. Studien var även här tvungen att avbrytas efter 5 överfarter med Valmet 860.3 lastad då spårdjupen blev större än 15 cm. Man har ca 55–65 % reduktion efter 10 överfarter av spårdjupet vid körning olastad och ca 80 % reduktion av spårdjupet efter 5 överfarter vid körning lastad. Förklaringen till att skotare med boggi får så stora spårdjup är att den skjugar jorden då den svänger samtidigt som däcken ”skjuter” jorden framför sig. I båda fallen hade Lightlogg C mindre spårdjup.

### MARKDATA

Proven avbröts en dag, mellan dag 1 och dag 3, då det regnade kraftigt hela dagen. Provtagning av markens fuktkvot (baseras på torrvikten) eller fukthalt (baseras på våtvikten) visade en ganska liten variation i fuktinnehåll ca 3 %, d.v.s. förhållandena var jämförbara mellan de dagar maskinerna provades (tabell 1-4). Det förelåg endast en mindre variation även längsled på provfältet med något torrare på ytorna för rakt fram körning jämfört med slalomkörning.

Eftersom jorden är en organogen jord, är den elastisk och inte så lätt att packa. Det innebär att den är tämligen rättvis för bedömning av spårdjup, medan mer svår för bedömning av jordpackning. Vidare måste jordpackningen även bedömas jämfört med kontrollmätning utanför spår eftersom packningen av jor-

dens tyngd ökar med djupet. Sammanlagt gjordes 8 mätningar per mätsträcka efter en, fem och 10 överfarter för att få ett relativt gott medelvärde, och dessutom gjordes separata mätningar mellan banor som var kontroll. I samtliga övriga fall gjordes mätningarna i spåren efter avslutad körning.

Mest intressant är att betrakta konmotstånden vid körning rakt fram eftersom här är underlaget huvudsakligen påverkat av hur lasten fördelas på underlaget. Olastad skotare gav motstånd som inte skiljde sig nämnvärt från kontrollen.

Enligt figur 21 och 22 åstadkom ProSilva ingen packning alls eller att en eventuell jordpackning är så liten att skillnaden inte går att urskilja. Valmet 860.3 olastad, hade en viss jordpackning och lastad hade den en viss packning första överfarten och därefter bildades en bogvåg framför däckets och det syntes klart vid körning på den raka banan. Torvmark har generellt låg konduktivitet, dvs pga. av lite grova porer hinner vattnet inte rinna undan sidledes, utan beter sig som en hydraulslang och fjädrar tillbaka. Däremot kan en del vatten tryckas neråt och därigenom bidra till en viss luckring nedåt i marken. Detta uppstår när marken har viss fukthalt och lasten lagom stor. Överstiger lasten och fukthalten den nivån tvingas vattnet ut, marken går sönder och det blir geggigt, samt stora spårdjup. Detta händer främst på torvmarker och inte i normalfuktig mineraljord där porerna hinner forsla bort vatten och det blir i stället en jordpackning. Lightlogg C uppvisade konstigt nog större packning olastad än lastad och jordpackningen ökade med antal resor.

## VIBRATIONER

Efter ett EU-direktiv införde Arbetsmiljöverket en lag (AFS 2005:15 Vibrationer) som reglerar den mängd vibrationer som en förare av en skogsmaskin får utsättas för under en arbetsdag. AFS 2005:15 Vibrationer säger att när en förare utsätts för vibrationer över  $0,5 \text{ m/s}^2$ , insatsvärdet, i någon av de tre riktningarna i x-, y- och z-led måste han eller hon åtgärda vibrationsnivån för att få fortsätta arbeta. Detta värde kallas för insatsvärdet. Vidare säger AFS 2005:15 Vibrationer att om vibrationerna överstiger  $1,1 \text{ m/s}^2$ , gränsvärdet, i någon av de tre riktningarna i x-, y- och z-led måste föraren omedelbart avbryta arbetet. Standarden SS-ISO 2631-1 är en vägledning för bedömning av helkroppsvibrationers inverkan på människan. I ISO 2631 specificeras metoder för att ange mätvärden för att kunna bedöma helkroppsvibrationer med avseende på hälsa, komfort och åksjuka. Standarden anger bland annat att vid utvärdering med avseende på komfort hos sittande personer så kan komforten ibland påverkas av rotationsvibrationer kring koordinataxlarna i stolsitsen samt vibrationer i fötternas stödyta. Frekvensområdet för hälsa och komfort ligger mellan 0,5-80 Hz medan frekvensområdet för åksjuka ligger mellan 0,1-0,5 Hz. Vi redovisar frekvenserna 0–30 Hz eftersom de har störst betydelse.

## Hälsa

### Standardbana

I tabell 5 kan man se att vibrationerna i ProSilva hade det största RMS-värdet,  $1,43\text{--}1,45 \text{ m/s}^2$ , i z-riktningen och att det överstiger gränsvärdet. Det blev ingen skillnad mellan dämpat och odämpat chassi. Att vibrationerna är störst i z-led är, i jämförelse med hjulburna skotare, ovanligt. Hjulburna skotare har sitt största RMS-värde i y-led och det beror på den rollrörelse som uppstår vid

körning i terräng. Denna rollrörelse uppstår inte på samma sätt för ProSilva. För Lightlogg C och Valmet 860.3 hamnade båda skotarna ett värde på  $0,56 - 0,60 \text{ m/s}^2$  i y-led, vilket är strax över insatsvärdet  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Det innebär att man får antingen sänkt hastigheten (minskad produktion) eller minska antalet timmar i maskinen för föraren. Det mest troliga är de tre skotarnas konstruktioner behöver åtgärdas för att klara EU-direktivet.

### Terräng

I tabell 6 kan man se att vibrationerna i ProSilva hade det största RMS - värdet,  $1,26 \text{ m/s}^2$  i z-riktningen och att det överstiger gränsvärdet. På terrängbanan kördes det enbart med dämpat chassi. Att vibrationerna är störst i z-led är, i jämförelse med hjulburna skotare, ovanligt. Lightlogg C hade ett RMS-värde på  $0,82 \text{ m/s}^2$  i y-riktningen vilket är över insatsvärdet  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Valmet 860.3 hade ett RMS-värde på  $0,28 \text{ m/s}^2$  vilket är under insatsvärdet  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Det innebär att de bandförsedda skotarna är mindre lämpliga för stenig terräng och att deras konstruktioner behöver åtgärdas för att klara EU-direktivet om man ska kunna köra i terräng med bibehållen hastighet och längd på arbetspass.

### Grus

För att se bandens bidrag till vibrationerna som uppstår på terrängbanan och standardbanan analyserades även vibrationerna på den del av standardbanan som bestod av enbart grus. I tabell 7 kan man se att vibrationerna i ProSilva hade det största RMS - värdet,  $1,0$ , i z-riktningen och att det överstiger insatsvärdet och är nästan lika stort som gränsvärdet. Det blev ingen skillnad mellan dämpat och odämpat chassi. För Lightlogg C och Valmet 860.3 hamnade båda skotarna ett värde på  $0,30 - 0,32 \text{ m/s}^2$  i x-led vilket är under insatsvärdet  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Bandens konstruktion på ProSilva, oavsett dämpat eller odämpat utförande, bidrar starkt till vibrationerna.

### Komfort

Komfortvärdet är ett mått som beskriver förarens upplevelse av vibrationerna. Komfortvärdet tar även hänsyn till rotationerna kring x -, y- och z-led.

### Standardbana

I tabell 8 kan man se att vibrationerna i ProSilva hade det största RMS - värdet,  $1,97 - 2,01 \text{ m/s}^2$  och att det överstiger gränsvärdet. Det blev en liten skillnad mellan dämpat och odämpat chassi. Lightlogg C hade ett värde på  $0,95 - 0,97 \text{ m/s}^2$ . Inga värden finns för Valmet 860.3 då rotationsgivarna inte fungerade vid mätningarna.

### Terräng

I tabell 9 kan man se att vibrationerna i ProSilva hade det största RMS - värdet,  $1,85 \text{ m/s}^2$  och att det överstiger gränsvärdet. På terrängbanan kördes det enbart med dämpat chassi. Lightlogg C hade ett värde på  $1,13 \text{ m/s}^2$ . Inga värden finns för Valmet 860.3 då rotationsgivarna var trasiga vid mätningarna.

### Grus

I tabell 10 kan man se att vibrationerna i ProSilva hade det största RMS-värdet,  $1,36 - 1,37$  och att det överstiger gränsvärdet. Det blev ingen skillnad mellan dämpat och odämpat chassi. Lightlogg C hade ett värde på  $0,48 \text{ m/s}^2$  vilket är



under insatsvärdet  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Valmet 860.3 hade ett RMS-värde på  $0,28 \text{ m/s}^2$ , vilket är under insatsvärdet  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

## Frekvenser

Det är stor skillnad på frekvensspektrat mellan en hjulförsedd skotare och de bandförsedda skotarna Lightlogg C och ProSilva. För en hjulskotare har man normalt en topp på accelerationerna vid frekvensen  $1,5 - 2,5 \text{ Hz}$  och att accelerationerna klingar av ganska snabbt upp till  $5 \text{ Hz}$  för att därefter minska upp till ca  $25 \text{ Hz}$ .

Enligt figur 23–31 har man ett bredare frekvensspektra och inte någon klar topp för både Lightlogg C och ProSilva.

ProSilva har en liten topp för accelerationerna, i x- och z-led, vid  $1,5 - 2,5 \text{ Hz}$  samtidigt som accelerationerna inte minskar så snabbt och att det finns en ytterligare topp vid  $8-10 \text{ Hz}$  samt en topp vid  $25-30 \text{ Hz}$ . I y-led har man två toppar en vid  $1,5 \text{ Hz}$  och en topp vid  $8-10 \text{ Hz}$ .

Lightlogg C har en liten topp för accelerationerna, i x- och z-led, vid  $1,5 - 2,5 \text{ Hz}$  samtidigt som accelerationerna inte minskar så snabbt och att det finns en ytterligare topp vid  $8-10 \text{ Hz}$ . I y-led har man två toppar en vid  $1,5 \text{ Hz}$  och en topp vid  $13-14 \text{ Hz}$ .

Enligt SIS 2631 väger man accelerationerna vid olika frekvenser. Det innebär att när frekvensspektrat är bredare, inte enbart topp, vägs fler frekvenser in i RMS-värdet.



## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2010

2010	
Nr 700	Hannerz, M. & Cedergren, J. 2010. Attityder och kunskapsbehov – förädlat skogsodlingsmaterial. 56 s.
Nr 701	Rytter, R.M. 2010. Detektion av röta i bokved – resultat av måthöjd, riktning och tidpunkt. 10 s.
NR 702	Rosvall, O. & Lundström, A. 2010. Förädlingseffekter i Sveriges skogar - kompletterande scenarier till SKA-VB 08. 31 s.
Nr 703	von Hofsten, H. 2010. Skörd av stubbar – nuläge och utvecklingsbehov. 18 s.
Nr 704	Karlsson, O. & Nisserud, F. 2010. Utveckling av en dynamisk helfordonsmodell för skotare. 73 s.
Nr 705	Eliasson, L. & Johannesson, T. 2010. Förröjningens påverkan på grotskotning – En studie av produktivitet, ekonomi, grotkvalitet hos SCA skog. 9 s.
Nr 706	Rytter, L. & Stener L.G. 2010. Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2010 för Energimyndighetens projekt 30346. 23 s.
Nr 707	Bergkvist, I. 2010. Utvärdering av radförbandsförsök anlagda mellan 1982-1984. 16 s.
Nr 708	Hannrup, B. & Jönsson, P. 2010. Utvärdering av sågmotorn F11-iP med avseende på uppkomsten av kapsprickor – en jämförande studie. 28 s.
Nr 709	Iwarsson Wide, M., Belbo, H. 2010. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag i mycket klen skog Skogsbränsleuttag med Naarva-Gripen 1500-40E och Log Max 4000, Mellanskog, Simeå 28 s.
Nr 710	Englund, M., Löfroth, C. & Jönsson, P. 2010. Inblandning av rött ljus i LED-lampor – Laboratoriestudier av hur människor uppfattar tre olika ljusblandningar. 7 s.
Nr 711	Mullin, T.J., Hallander, J., Rosvall, O. & Andersson, B. 2010. Using simulation to optimise tree breeding programmes in Europe: an introduction to POPSIM™. 28 s.
Nr 712	Jönsson, P. 2010. Hydrauliskt dämpad hytt – ett lyft för arbetsmiljön? 14 s.
Nr 713	Eriksson, B. & Sonesson, J. 2010. Tredje generationen skogsbruksplaner – Slutrapport DElproj 4 – Arbetsgång vid planläggning. 23 s.
Nr 714	Sonesson, J. 2010. Nya arbetssätt i skogsbruksplanläggning. 20 s.
Nr 715	Eliasson, L. 2010. Huggbilar med lastväxarsystem. 13 s.
Nr 716	Eliasson, L. & Granlund P. 2010. Krossning av skogsbränsle med en stor kross – En studie av CBI 8400 hos Skellefteå Kraft. 6 s.
Nr 717	Stener, L.G. 2010. Tillskott, vitalitet och densitet för kloner av hybridasp och poppel i sydsvenska försök. 46 s.
N 718	Palmquist, C. & Sandberg, J. & Vibrationskomfort och ergonomi på förarstolar i skotare. 100 s.
Nr 719	Thor, M. 2010. Avverkning och hantering av virke och avverkningsrester vid angrepp av tallvedsnematoder i svensk skog. 42 s.
Nr 720	Fogdestam, N. 2010. Studier av Biotassu Griptilt S35 i gallring. 11 s.
Nr 721	Brunberg, T. 2010. Bränsleförbrukningen i skogsbruket. 12 s.
Nr 722	Brunberg, T. 2010. Rätt begrepp. 25 s.
Nr 723	Löfroth, C. & Svenson, G. 2010. ETT – modulsystem för skogstransporter – Delrapport för de två första åren. 130 s.
Nr 724	Rytter, L. & Lundmark, T. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens projekt 30658. Trädslagsförsök med inriktning på massproduktion. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 24 s.
Nr 725	Rytter, R.M. & Högbom, L. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens Projekt 30659. Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsinriktade bestånd med snabbväxande trädslag – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species. 64 s.

Nr 726	Brunberg, T., Eliasson, L. & Lundström, H. 2010. Skotning av färsk och hyggestorkad grot. 15 s.
Nr 727	Enström, J. 2010. Inlandsbanans potential i Sveriges skogsbränsleförsörjning. 34 s.
Nr 728	Häggström, C. & Thor, M. 2010. Human factors in forest harvester operation. 25 s.
Nr 729	Westlund, K. 2010. WP-5100 Alternative logistics concepts fitting different wood supply situations and markets. 50 s.
Nr 730	von Hofsten, H. Jämförelse mellan CeDe stubbrytare och Pallari 140. 9 s.
Nr 731	Berg, R., Bergkvist, I., Lindén, M., Lomander, A., Ring, E. & Simonsson, P. Förslag till en gemensam policy angående körskador på skogsmark för svenskt skogsbruk 18 s.
Nr 732	Jönsson, P. 2010. Stolar och armstöd – Ergonomisk granskning enligt European ergonomic and safety guidelines for forest machines. 37 s.
<b>2011</b>	
Nr 733	Rytter, L., Johansson, T., Karačić, A., Weih, M. m.fl. 2011. Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel. 210 s.
Nr 734	Hannerz, M. & Fries, C. 2011. Användningen av webbtjänsterna Kunskap Direkt och Skogsskötselserien. – En enkätundersökning bland skogsbrukets fältpersonal. 48 s.
Nr 735	Andersson, M. & Berglund, A. 2011. Test av pekskärmsmobiler. 22 s.
Nr 736	Löfgren, B., Englund, M., Fogdestam, N., Jönsson, P., Lundström, L. & Wästerlund, I. 2011. Spår djup och vibrationer för banddrivna skotare Lightlogg C och ProSilva. 32 s.
Nr 737	Brunberg, T. 2011. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470D hos SCA Skog hösten 2010.
Nr 738	Fogdestam, N. & Lundström, H. 2011. Studier av Offset Crane Concept, OCC hos Kjellbergs Logistik & Teknik i Hällefors. 15. S.
Nr 739	Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller J.J. 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymbestämning och stamräkning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. 30 s.
Nr 740	Iwarsson Wide, M. & Fogdestam, N. 2011. Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring. – Energived- och massavedsuttag med LOG MAX 4000B, Stora Enso Skog, Dalarna. 45 s.
Nr 741	Brunberg, T. 2011. Uppföljning av utbildningseffekten hos maskinlag hos SCA Skog AB 2010. 8 s.
Nr 742	Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J., Skog, J. 2011. Vinnova_Slutrapport_P34138-1_101221. – Slutrapport för projekt ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö”. 84 s.
Nr 743	Åström, Hannes. 2011. Förbättring av arbetsförhållande i skördare. 126 s.
Nr 744	Cheng, C. 2011. Modeling the Ride Comfort of a Forwarder. Modellering av åkkomforten i en skotare. 93 s.
Nr 745	Jonsson, J. 2011. Dynamisk däckmodellering och markinteraktion för skogsmaskiner. Dynamic tire modeling and soil interaction regarding forestry machines. 52 s.
Nr 746	Grönqvist, D. 2011. Konzeptutveckling av hybriddrivlina för skogsmaskiner. Concept development of a hybrid powertrain for forest machines. 180 s.