

RAPPORT

V12-0038-SLO

PILOTSTUDIE – PROVNING AV SAMMANKOPPLADE BROMSSYSTEM



Ett projekt utfört på uppdrag av Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien
Anslagsnummer V12-0038-SLO

SMP Svensk Maskinprovning AB
September 2014

Pilotstudie - Provning av sammankopplade bromssystem

FÖRORD

Föreliggande rapport avser ett projekt utfört med medel från Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien (SLO-fonden).

Projektet har planerats i Uppsala och genomförts i Alnarp av SMP.

Vi vill framföra ett stort tack till följande återförsäljare av traktorer och vagnar och maskinägare som välvilligt ställt upp med traktorer och vagnar till förfogande:

Lantmännen Maskin, Malmö

MaskinGruppen AB, Staffanstorps

Gunnar Nilsson Maskin AB, Eslöv

Agroma Maskiner Syd AB, Staffanstorps

Alnarps egendom, Alnarp

Lantbrukare Göran och Ola Bengtsson, Remmarlöv

Lantbrukare Martin Persson, Hurva

Vi vill också framföra ett varmt tack till alla som kommit med synpunkter samt till SLO-fonden som ställt medel till förfogande.

Uppsala 2014-09-30
Bengt Zetterström, SMP

SMP Svensk Maskinprovning AB

Uppsala

Box 7035

SE-750 07 Uppsala

Ph: +46 10 516 64 00

Fax: +46 18 12 72 44

Malmö

Box 56

SE-230 53 Alnarp

Ph: +46 10 516 64 00

Fax: +46 40 46 01 13

Umeå

Box 4053

SE-904 03 Umeå

Ph: +46 10 516 64 00

Fax: +46 90 13 65 62

Email/internet

info@smp.sp.se

www.smp.nu

VAT/reg. office

SE5565296836

01

Lomma

SAMMANFATTNING

Traktorernas bromsegenskaper regleras i direktivet 2009/144/EG där också trycknivån i bromsuttaget är reglerad. Flödet i uttaget är inte reglerat. I Sverige ska traktorsläp uppfylla bromskrav enligt VVFS 2003:20 med krav på en högsta tillåten bromssträcka relaterad till hastigheten. Vid 40 km/h ska släpets stoppsträcka vara 19,8 m.

Projektets nio ekipage (tre traktorer och tre vagnar) har bromsats med och utan last på släpet. Som jämförelse har också lastade ekipage bromsats enbart med traktorn. Ekipagens medelbromskraft, beräknad från medelretardation under inbromsningen och bromsad bruttovikt användes som jämförelse.

Hypotesen att vagnarnas bromsar har för långa ansättningstider för att kunna väsentligt bidra till medelbromskraften så att bromssträckan blir kortare, visade sig stämma till viss del. Ansättningstiderna varierade från 0,5 s till 2 s. Stopptiderna varierade från 2,6 s till 6,4 s. En vagn som bromsas efter en så lång ansättningstid som ett par sekunder ger naturligtvis endast små bidrag till en kortare bromssträcka. Ansättningstiden bedöms, utifrån mätningarna, ha berott på tillgängligt flöde och tryck i traktorns bromsuttag, volymen av vagnens bromscylinder, och på cylinderns slag. Cylinderns slag i sin tur bedöms bero på bromsarnas inställning (läge på hävarm och på justeringen av bromsbackar).

Mätningarna visade också att, trots när korta ansättningstider konstaterades, var vagnarnas bidrag till medelbromskraften mindre än väntat. Dubbelt så hög andel av bromskraften kan förväntas med tanke på de bromskrav som ställs på vagnar. Två skäl till det låga bidraget kan tänkas:

- Vagnens bromsar har ställts in så att bromsarna inte låser när vagnen är tom eller lätt lastad. Resultatet av detta blir att bromskraften inte räcker till när vagnen är tungt lastad, och/eller
- Bromsarna var ojusterade

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	1
Sammanfattning	2
1. Inledning	4
1.1 Bakgrund	4
1.2 Hypotes	4
2. Genomförande	5
2.1 Marknadsundersökning	5
2.2 Provningsutrustning	5
3. Resultat	11
3.1 Tryckmätningar i bromsuttag	11
3.2 Maha – pedalkrafter och retardation, maxvärden	12
3.3 Utvärdering av genomförda bromsprov	13
3.4 Resultat i tabell- och stapelform	14
4. Diskussion	23

1. INLEDNING

LAMK-konferensen på Hamra Gård framförde ett aktuellt problem:

Det är numera vanligt med bromsuttag på traktorer vilka är anslutna till traktorns eget bromssystem. Därmed finns möjligheten att bromsa vagnar via detta uttag som trycksätts när traktorns bromspedal påverkas. Problemet består i att vagnens bromsar inte hinner ansättas snabbt nog och därmed kommer den huvudsakliga inbromsningen att tas över av traktorns bromsar. Risker med detta är förlängda bromssträckor, onödigt slitage på traktorns bromsar och ytterst risk för att ekipaget ”knyter sig” och välter. Detta skulle kunna bli en realitet vid en kraftig inbromsning där endast traktorn bromsar samtidigt som släpet trycker på.

En känd olycka av den typen inträffade vid Ultuna för 60 år sedan under en pressvisning, för att visa nyttan med bromsar på släpet.

1.1 Bakgrund

Traktorernas bromsuttag regleras i direktivet 2009/144/EG också trycknivån i uttaget är reglerad. Trycket ska ligga mellan 10 och 15 MPa (100 – 150 bar).

Lantbruksvagnar har sedan lång tid haft hydrauliskt ansatta bromsar. Dessa bromsar är av gängse trum- eller skivtyp. Längre var den enda rådande inkopplings- och manövreringsmetoden att ansluta vagnens bromskrets till ett av traktorns utvändiga hydraulikuttag och sedan manövrera bromsen via handreglage i hytten. Den typen av broms är fortfarande tillåten. Tryck och oljeflöde var högre i dessa uttag än i traktorns bromsuttag. Detta lägre maximala bromstryck kan vara den enkla förklaringen till att befintliga vagnar ger svag och sen bromsverkan när bromskretsen kopplas till en traktors bromsuttag.

En annan förklaring kan vara att trycket i traktorns bromsuttag, inom tillåtet intervall 100 – 150 bar, kan vara för lågt. En tidigare genomförd SLO-rapport SLO-733 visar på spridning inom intervallet, även om 22 av 36 undersökta traktormodeller låg inom 140 – 150 bar.

En annan aspekt på problemställningen kommer från de provmetoder som kan tillämpas när bromsar provas. En metod innebär att vagnen provas med bromsarna ansatta och man bestämmer vilken dragkraft som kan bromsas. En annan metod skulle kunna vara att köra upp vagnen på en bromsprovare, typ bilprovningen. I båda dessa fall kan provningen visa godtagbara resultat utan att samspelet med det dragande fordonet har ingått.

1.2 Hypotes

Projektet syftar till att visa på svagheter i de sammankopplade bromssystem där lantbruksvagnar med hydrauliska system manövreras från traktorns bromssystem, via ett särskilt bromsuttag.

Hypotes: Vagnen börjar bromsa för sent.

2. GENOMFÖRANDE

2.1 Marknadsundersökning

Traktorer

Vi har undersökt bromstryck och flöde i bromskretsen, samt data avseende dragkopplingen. Uppgifter kommer från tekniska data (TD) tillgängliga på internet, från uppgiftslämnare (UL), genom egen kontroll EK).

Traktor, ca 100 kW	Bromstryck, bar	Oljeflöde i bromskrets l/min	Tillåten last på lyftdragkrok		
			Vertikalt, kg	Horisontellt	
				kg	D kN
New Holland (UL)	130	--	--	--	--
Massey-Ferguson (UL)	141	--	3 000	23 500	62,3
John Deere (UL / EK)	140	--	3 000	34 000	--
Valtra N163 (TD / EK)	--	--	3 000	32 200	81,8
Caselh (UL)	130	--	--	--	--

Vagnar

Vi har undersökt maximal bromskraft, motsvarande bromstryck och oljebehov i bromskretsen, samt bromstyp. Uppgifter kommer från tekniska data (TD) tillgängliga på internet eller från uppgiftslämnare (UL).

Vagn, modell	Slag av broms	Data för bromskretsen		Uppgiven bromsmoment, kNm
		Oljevolym broms-cylinder, l	Arbets-/maxtryck, bar	
Metsjövagnen (UL/TD)	Trumtyp	--	/ 110 / 130	50 %, Enligt VVFS
Palmse (PL)	Trum, 4 st	--	160 / 200	38,6

2.2 Provningsutrustning

Traktorer och vagnar kunde lånas av återförsäljare och lantbrukare.

Befintlig utrustning för bromsmätning, d.v.s. måttband, tidtagarur, färgmarkör för startpunkt, pedalkraft- och retardationsmätare kompletterades med en dragsprint för avkänning av drag- och tryckkrafter i kopplingspunkten. Vagnarna måste därför av montageskäl kopplas till traktorernas lantbruksdrag med dragbommen inskjuten i innersta läge för bästa stabilitet, och med kopplingspunkten individuellt inpassad med adaptrar.

Under 2014 kopplades vagnarna i traktorens lyftdragkrok, utan dragkraftgivare. Mäthjul, lägesgivare, kamera, tryckgivare kopplades till en mätförstärkare.

Utrustning använd 2013

Traktorer:

- John Deere 6630, 99 kW, Vikt inklusive frontvikter 6500 kg, fjädrad framaxel, årtal 2008. Mätarställning 3160 timmar
- New Holland T5.115, 84 kW, 5200 kg, frontlastare. Mätarställning 58 timmar
- Valtra N111, 99 kW, 5450 kg. Mätarställning 448 timmar.

Vagnar:

- Gisebo 12654, begagnad, 2-axlad, totalvikt vid prov ca 14 000 kg
- Richard Western M19, ny, boggiaxel, totalvikt vid prov ca 10 500 kg
- Kverneland, boggiaxel

Mätutrustning:

- SMP dragsprint (trådtöjningsgivare)
- SMP markörpistol, "Måzen"
- Tryckgivare för bromsuttag
- Retardations- och pedalkraftmätare Maha
- Stålmåttband 30 m
- Tidtagarur
- Fordonsvåg, 13 ton
- Mätdataprogram

Bild 1. Inledningsvis hade vi förhoppningen att med mätning av påskjutande kraft i dragpunkten kunna visa när och hur mycket vagnens bromsar bidrar i en inbromsning.

Bilden visar montage av lastkännande sprint.

Fastsättning av kraftmätdonet förutsatte koppling via lantbruksdraget vilket av hållfasthets- och säkerhetsskäl kom att begränsa möjligheten till realistiska provningar.

Ett 50-tal bromsprov utfördes på detta sätt.

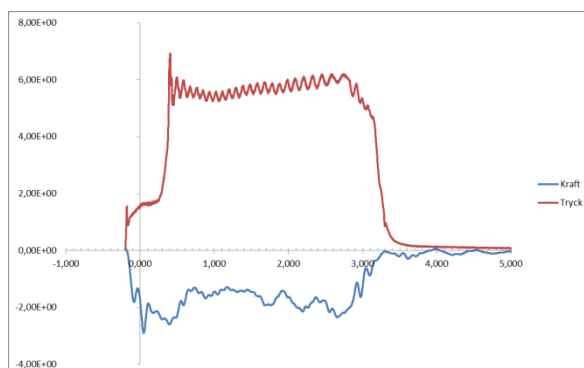


Bild 2. Bromsprov från 40 km/h. Kurvorna är utspänning från bromstryckgivare, röd kurva, och från kraftgivare i drag, blå kurva.

Signalen från kraftgivaren ger indikation om påskjutande kraft omgående när traktorn börjar bromsa. Kurvan ger viss indikation om minskad påskjutande kraft efter ungefär 1 sekund.

Utrustning använd 2014

Traktorer:

- Massey Ferguson 6270, 87 kW, tjänstevikt 5300 kg, år 2000, mätarställning 5137 timmar
- John Deere 6630, som ovan
- Valtra N163, 117 kW, tjänstevikt 5600 kg, fjädrad framaxel och hytt, år 2013

Vagnar:

- Bigab 10-14, lastväxlarvagn med dumperflak, ny, boggiaxel. Totalvikter vid prov ca 12,0 – 12,8 ton.
- Håkantorp, begagnad, boggiaxel. Totalvikter vid prov 10,8 – 13,2 ton
- Palmse 114, lastväxlarvagn med dumperflak, ny, boggiaxel. Totalvikter vid prov 11,8 – 13,3 ton.

Ekipagens vikt vid bromsproven:

Traktor	Vagn A		Vagn B		Vagn C	
	Utan last kg	Med last kg	Utan last kg	Med last kg	Utan last kg	Med last kg
Traktor 1	10 600	18 900	11 360	18 950	10 000	18 500
Traktor 2	10 530	17 400	10 800	18 400	10 200	18 530
Traktor 3	10 000	17 910	9 740	17 730	9 470	17 770

Vi har valt att i rapporten i övrigt oidentifiera ingående fordon eftersom syftet med arbetet inte är bedömning av enskilda produkter.

Provningar utförda 2013

Statiska prov utfördes på de tre traktorerna för att bestämma samband med pedaltryck och bromstryck i bromsuttaget. Resultaten redovisas nedan tillsammans med 2014 års mätningar.

Ett 50-tal bromsprovningar utfördes.

Under våren 2013 fick vi problem med stabilitet i draganordningen vilket medförde att lasten måste placeras längre bak än normalt. Många prov kördes också vid lägre hastighet än möjliga 40 km/h med tanke på stabilitet i inbromsningen. Provningen måste alltså i viss mån anpassas till vald metod för kraftmätning. Vår förhoppning att i kraftmätningen se vagnen skjuta på mera i början och tydligt mindre i slutet av inbromsningen fungerade i ett tiotal prov. Vi fann att kraftens storlek var svår att utvärdera, dels på grund av signalstörningar och dels på grund av vinkelfel i draglinjen. Vinkelfelen hade sin grund bl.a i fjädrande framaxlar och vertikal last i dragpunkten.

Under hösten 2013 gjordes ytterligare ett försök att utvärdera användningen av kraftgivaren genom att använda en fyrhjulsvagn samt en traktor. Denna uppställning ger ett enklare lastfall då ingen viktöverföring sker mellan traktor och vagn via draget. Resultatet var fortsatt svårtolkat vilket föranledde ett beslut att under våren 2014 genomföra nya prov med förändrad utrustning.

Se bilderna 1 och 2.

Traktorer och vagnar utrustades enligt Bild 3, och provningarna genomfördes enligt följande matris. Olastat ekipage ingick för att belysa problematik med samma bromsansättning oavsett last – risker för låsning. Lastat ekipage bara bromsat av traktorn ingick som jämförelseled i bedömningen av vagnarnas bromsar.

Provningsmatris		Traktor och vagn bromsar		Traktor bromsar
		Olastat ekipage	Lastat ekipage	Lastat ekipage
Traktor 1	Vagn A	Prov 1, 2, 3	Prov 4, 5, 6	Prov 7, 8
	Vagn B	Prov 9, 10	Prov 11, 12	Prov 13, 14
	Vagn C	Prov 15, 16	Prov 17, 18	Prov 19, 20
Traktor 2	Vagn A	Prov 21, 22	Prov 23, 24	Prov 25, 26
	Vagn B	Prov 27, 28	Prov 29, 30, 30b	Prov 31, 32
	Vagn C	Prov 33, 34	Prov 35, 36, 36b	Prov 37, 38
Traktor 3	Vagn A	Prov 45, 46	Prov 47, 48	Prov 49, 50
	Vagn B	Prov 39, 40	Prov 41, 42	Prov 43, 44
	Vagn C	Prov 51, 52	Prov 53, 54	Prov 55, 56, 57

Ekipagen har körts i 38 - 41 km/h före inbromsningen. När föraren trampar på pedalkraftgivaren / listen på bromspedalen (bild 4) startar mätningen, och när pedalen släpps stoppas mätningen. Hastighetspulser från mätthjul (bild 7), bromstryck från givare (bild 6), läge på broms-

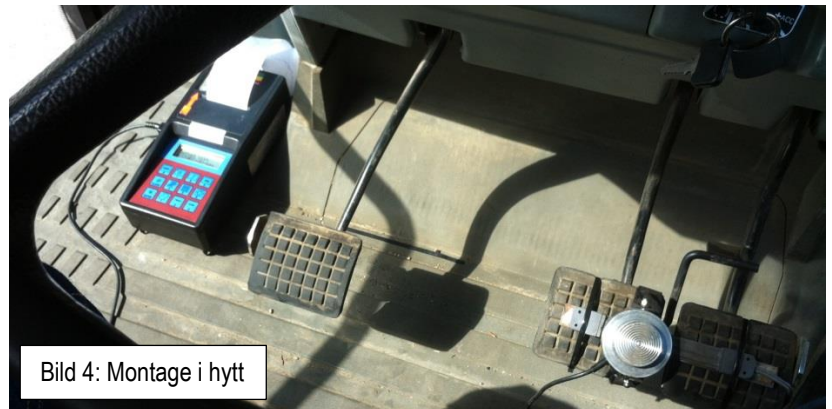


Bild 4: Montage i hytt

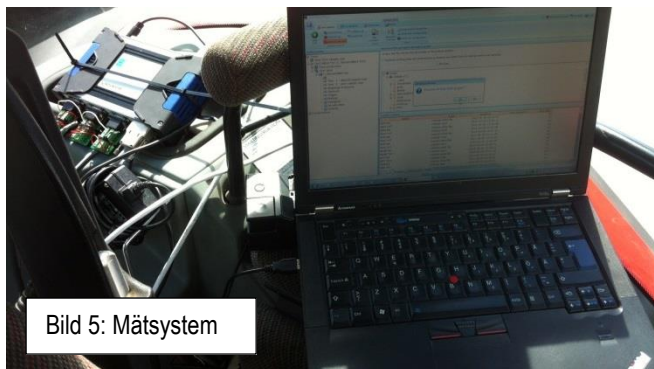


Bild 5: Mätsystem

arm tas in i mätförstärkare / mätdator (bild 5). Behandlade signaler visas i graf (bild 17 och 19).

Pedalkrafts- och retardationskurvor från separat mätton (bild 4) skrivs ut på remsa (bild 17).

Alla vagnarna kopplas till traktorernas lyftdragkrokar (bild 6).

Vagnars bromsar är vanligen hydrauliskt ansatta och i detta projekt ansluts vagnens bromskrets till ett bromsuttag baktill på traktorn, anslutet till traktorns bromssystem. Sedan minst 15 år finns sådana uttag på traktorer. Det innebär att vagnens bromsar ansätts via traktorns bromspedal. Vi har anslutit mätsystemets tryckgivare till detta bromsuttag (bild 6). Detta bromstryck ska ligga inom 100 – 150 bar. Bromstrycket har mätts statiskt och under proven.

Av bild 6 skimtar också en webb-kamera riktad mot draget, monterad i syfte att dokumentera rörelser i kopplingspunkten under inbromsningen.

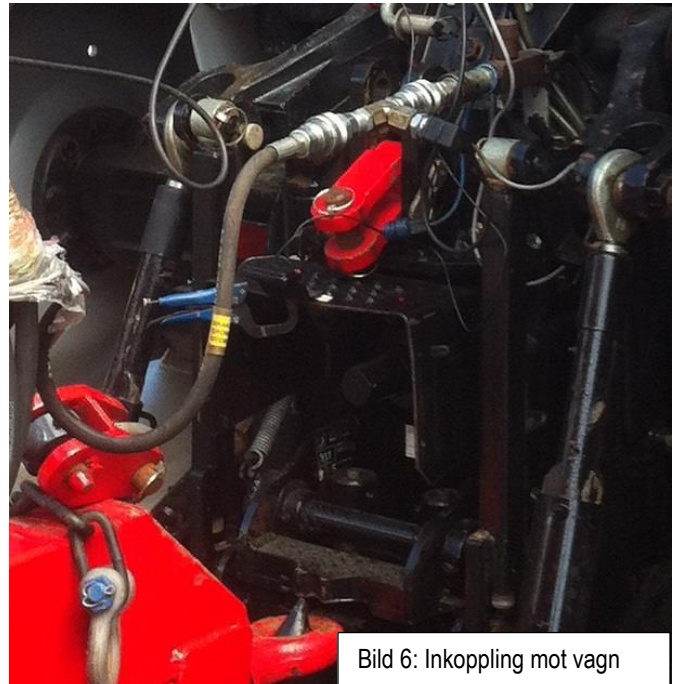


Bild 6: Inkoppling mot vagn



Bild 7: Mätjul



Bild 8: Bromsarmens rörelse

Vagnarnas bromssystem bestod här av en hydraulkrets med bromscylinder, en hävarm som överför rörelse, och bromsande komponenter. Alla vagnarna hade trumbromsar.

Vi mäter rörelsen på bromsarmen (bild 8 och bilderna 18 och 19) för att kunna avgöra hur snabbt vagnarnas bromssystem reagerar. Bromsarmarnas rörelse har mätts både stationärt och vid bromsproven.

Bilderna 9 – 14 visar de traktorer och vagnar som ingick. Vi har valt att i rapporten i övrigt identifiera ingående fordon eftersom syftet med arbetet inte är bedömning av enskilda produkter.



Bild 9: John Deere 6630



Bild 10: Massey Ferguson 6270



Bild 11: Valtra N 163



Bild 12: Palmse 114



Bild 13: Bigab 10-14



Bild 14: Håkantorps vgnfabrik

Vagnarna lastades till en totalvikt på mellan 10,8 och 13,3 ton. Lasten, som var stålvikter, fixerades på flaken i sådan position att traktornas dragkrok belastades med ca 1,5 ton.

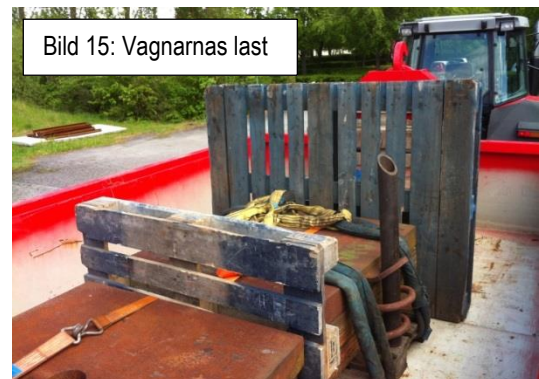


Bild 15: Vagnarnas last

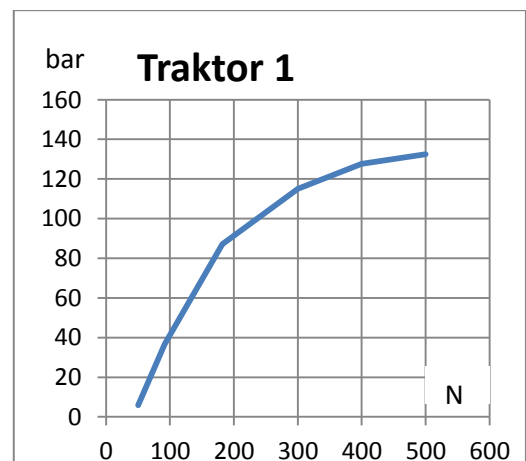
3. RESULTAT

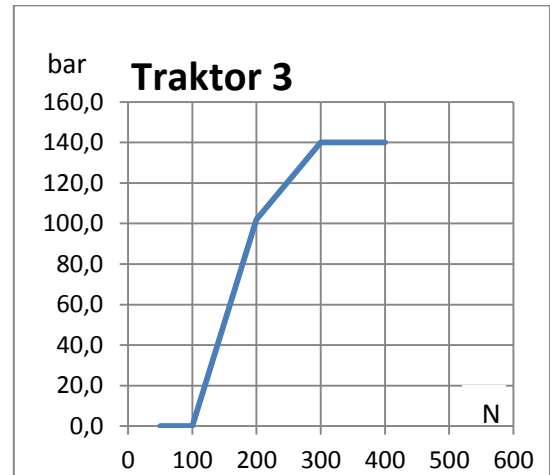
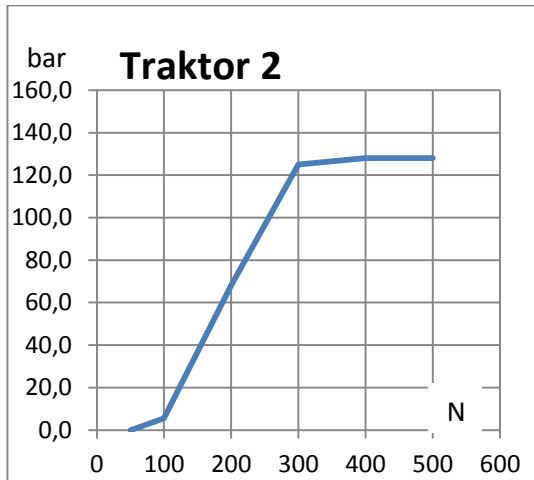
3.1 Tryckmätningar i bromsuttag

Trycket i bromsuttagen vid varierande pedaltryck har mätts under statiska förhållanden vid motorvarvtalet ca 1000 r/min. Resultatet av dessa mätningar framgår av diagrammen intill. Y-axeln anger trycket i enheten Bar. X-axeln anger pedaltrycket i enheten N.

Enligt traktorkrav ska detta tryck, som är dimensionerande för bromssystemtillverkare, ligga mellan 100 – 150 bar.

Tryckstegringen är tämligen lika i traktorerna. Tryckmätningarna vid bromsproven visade också tryckstegringen över tid. Se bilderna 18 och 19.





3.2 Maha – pedalkrafter och retardation, maxvärden

I alla prov har en pedalkraftsgivare varit ansluten till bromspedalen. Givaren anslöts till en kraft- och retardationsmätare med plotter (Maha). Förarens instruktion i projektet har varit att bromsa bestämt med jämnt pedaltryck tills ekipaget stannar. I exemplet i bild 17 är ansättningen något långsam men jämnheten är god. Instrumentet skriver ut tidpunkt, en tidsaxel, kurvor för retardation och pedalkraft, maximal retardation och maximal pedalkraft.

I genomförda prov har följande värden kunnat läsas av:

- Maximal pedalkraft: 748 N; (medeltal / stdavv.: 469 N / 141)
- Maximal retardation: 7,26 m/s² (medeltal / stdavv.: 4,40 m/s² / 1,29)

Vi har konstaterat att individuella maximala pedalkraftvärden knappast haft något samband med de stopptider och medelretardationer som sedan beräknats. Troligaste skäl till oväntat låga värden är att föraren trampat något snett på den avkännare som placerats på pedalen.

Vi har också konstaterat att individuella maximala retardationsvärden knappast har något samband med faktisk stoppsträcka. Retardationstoppar ger snarare gungningar i traktorn som stör inbromsningen.

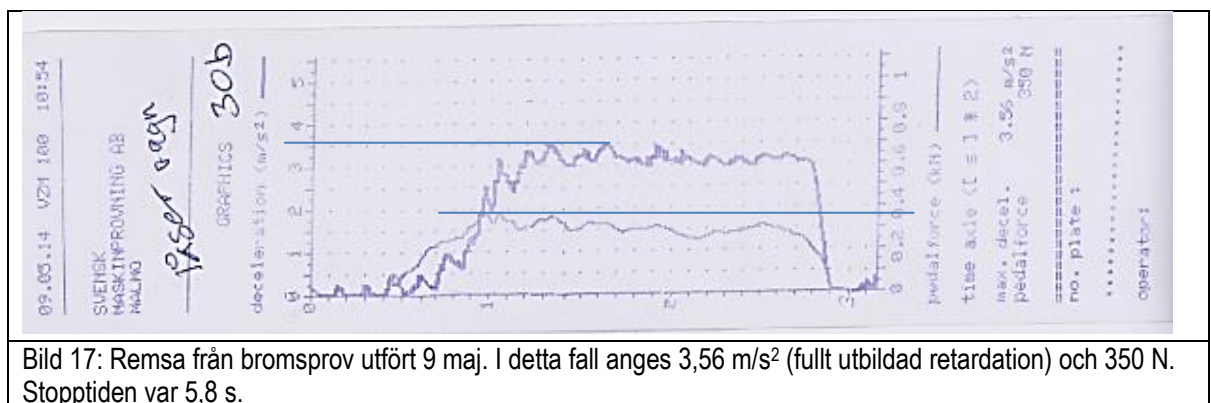
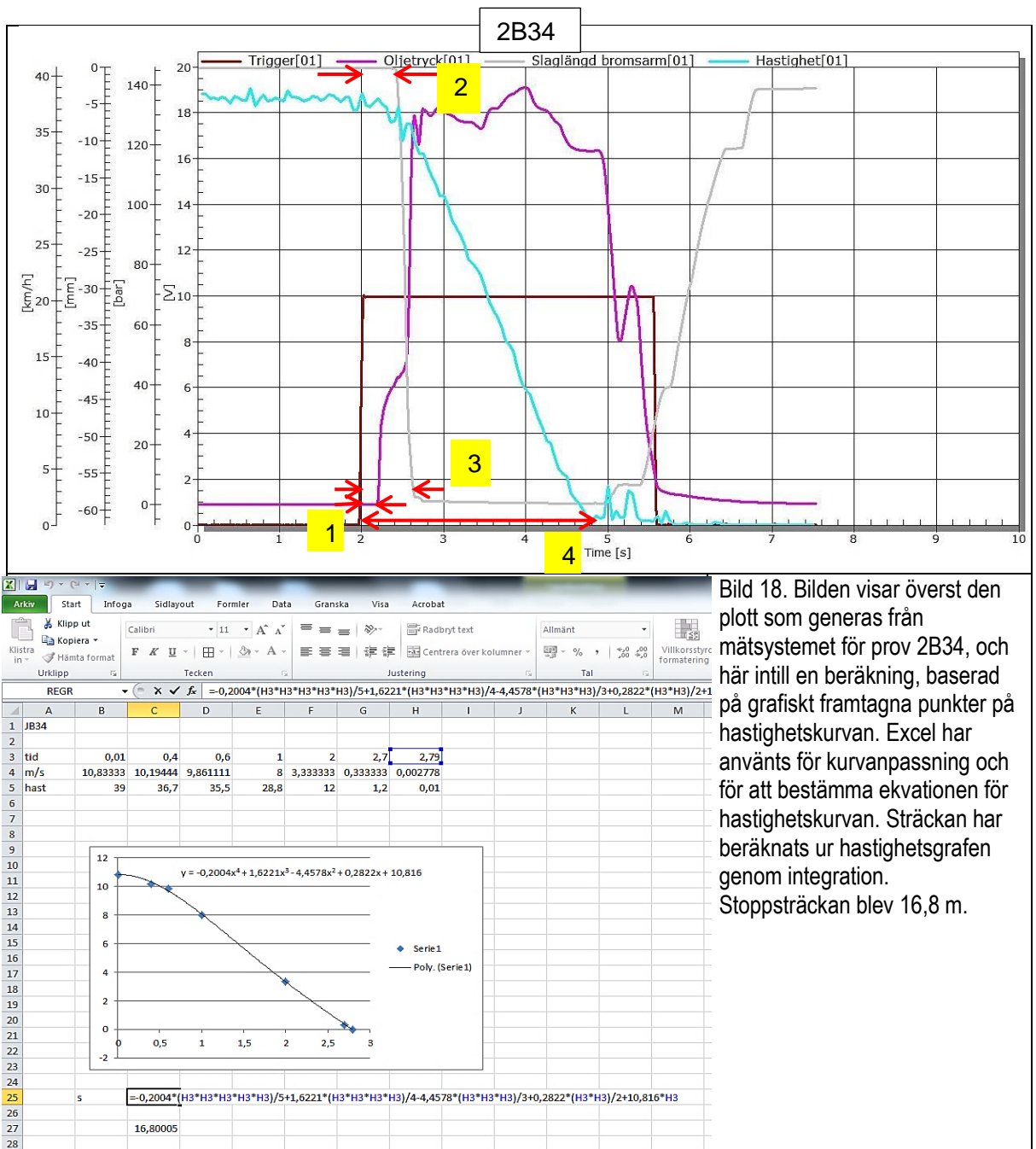


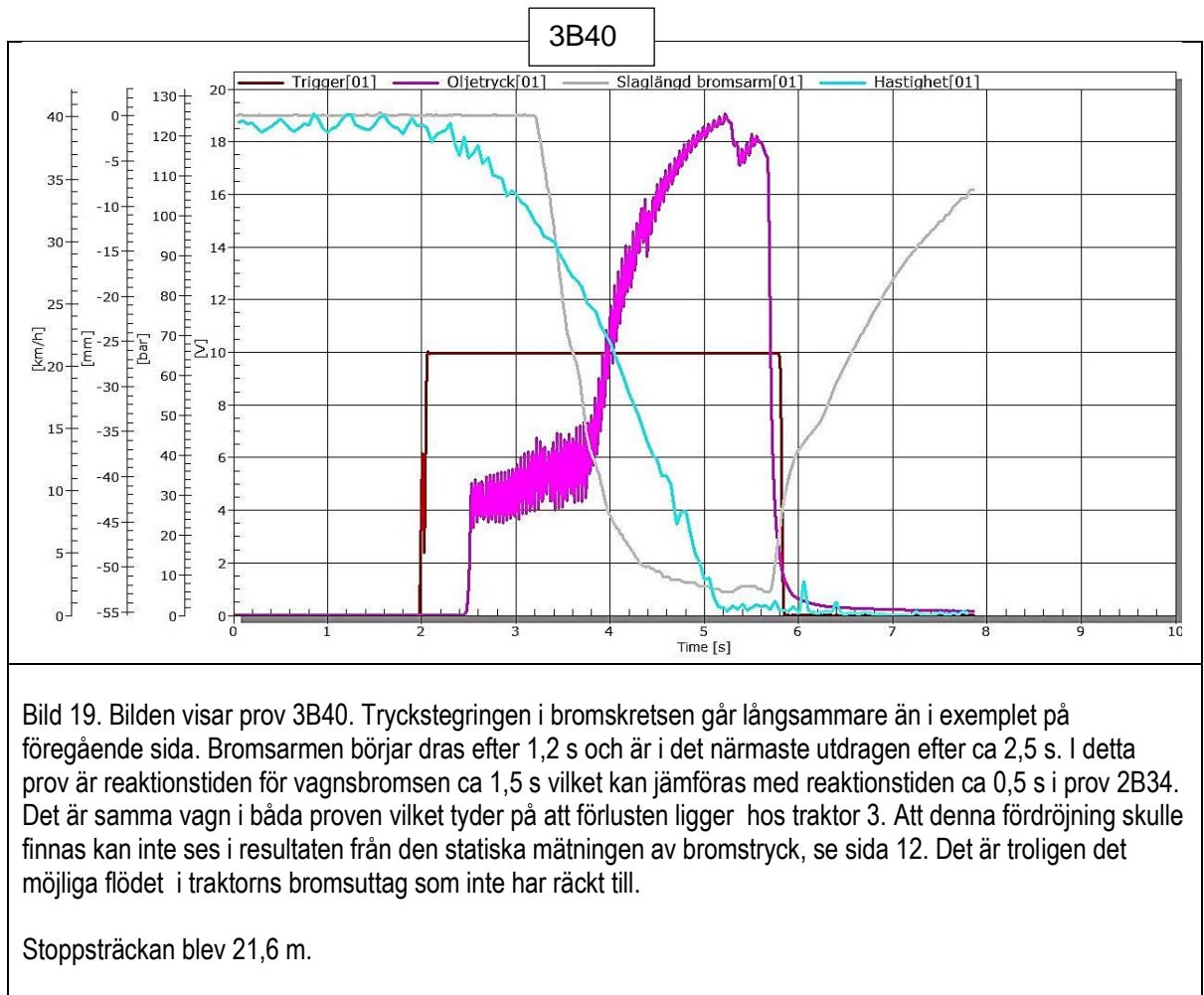
Bild 17: Remsa från bromsprov utfört 9 maj. I detta fall anges 3,56 m/s² (fullt utbildad retardation) och 350 N. Stopptiden var 5,8 s.

3.3 Utvärdering av genomförda bromsprov

Varje bromsprov har utvärderats så som framgår av bild 18. Mätssystemet är inställt så att värden 2 s innan startsignal kommer med på utskriften, som totalt visar 10 s. I detta prov är utgångshastigheten 39 km/h. Blå kurva visar hastigheten, lila kurva visar bromstryck och grå kurva visar bromsarmens (på vagnen) slag. Röd vertikal linje visar startpunkt för bromsningen.

- 1) Efter 0,2 s börjar trycket i bromsuttaget att stiga.
- 2) Efter 0,4 s är trycket så pass högt att bromsarmens slag börjar.
- 3) Efter 0,6 s är bromsarmens slag i det närmaste klart, ca 57 mm.
- 4) Hela bromsförloppet till stopp tar 2,8 s, här markerat med gul pil, från tidpunkten 2 s, där föraren trycker på bromsen och systemet triggas igång till 4,8 s där ekipaget bromsats till stopp.





3.4 Resultat i tabell- och stapelform

På följande tre sidor visas sammanställningar av provningsresultaten enligt provningsmatris visad på sidan 9. Redovisat värde kan vara baserat på en, två eller tre körningar. Uppenbart misslyckade prov ingår inte i beräkningarna.

Följande ingångsvärden redovisas:

- Bruttovikt i ton
- Utgångshastighet i km/h

Följande uppmätta, och beräknade värden redovisas:

- Tid till stopp i sekunder
- Medelretardation i m/s^2 (utgångshastighet / stopptid)
- Stoppsträcka i meter (integrerad ur hastighetkurva)
- Bromstryck i bar
- Tid i sekunder för bromsarm att dras tills utplaning börjar
- Motsvarande slaglängd i mm
- Full slaglängd i mm
- Medelbromskraft i kN (bruttovikt x medelretardation)

TR	Vagn	Resultat	Traktor och vagn bromsaas		Traktor bromsaas Med last	Differens traktor+vagn / traktor + / - %	Bromssystem med lastat ekipage		Slag % av slutvärde
			Utan last	Med last			Systemtryck % av 150	Ansättning % av stopptid	
1	A	Bruttovikt, ton	10,6	18,9	18,9				
		Utgångshastighet, km/h	41,1	40,8	40,9				
		Stopptid, s	3,0	3,7	4,0				
		Medelretardation, m/s ²	3,7	3,1	2,8				
		Stoppsträcka, m	20,0	23,7	25,3				
		Bromstryck, bar	70,0	–			47		
		Tid för bromsarm, s	0,4	–				14	
		Motiv slaglängd, mm	68,0	–					
		Slag, fullt mm	72,0	–					94
		Medelbromskraft kN		58,0	53,7	93	4,3		
	B	Bruttovikt, ton	11,4	19,0	19,0				
		Utgångshastighet, km/h	40,8	41,0	41,2				
		Stopptid, s	2,6	3,6	4,5				
		Medelretardation, m/s ²	4,4	3,2	2,7				
		Stoppsträcka, m	17,1	23,0	28,6				
		Bromstryck, bar	130,0	128,0			86		
		Tid för bromsarm, s	0,9	0,8				27	
		Motiv slaglängd, mm	13,2	14,0					
		Slag, fullt mm	19,9	14,5					79
		Medelbromskraft kN		60,4	50,7	84	9,7		
	C	Bruttovikt, ton	10,0	18,5	18,5				
		Utgångshastighet, km/h	41,1	41,0	41,2				
		Stopptid, s	2,6	3,6	4,3				
		Medelretardation, m/s ²	4,3	3,2	2,7				
		Stoppsträcka, m	18,1	23,0	27,6				
		Bromstryck, bar	132,0	133,0			88		
		Tid för bromsarm, s	0,8	0,8				26	
		Motiv slaglängd, mm	53,0	56,0					
		Slag, fullt mm	57,0	59,0					94
		Medelbromskraft kN		58,8	49,4	84	9,4		
						%			
		Meter bromssträcka	23,2		27,2	86	3,9	74	89
		Medelbromskraft kN	59,1		51,3	87	7,8		
						%			
		Alla, meter bromssträcka	22,8		29,6	77	6,7	68	93
		Alla, Medelbromskraft kN	53,4		39,9	134	6,7	28	93 Alla

Bild 20, del 1: Sammanställda resultat för ekipage med traktor 1 som dragare.

TR	Vagn	Resultat	Traktor och vagn bromsas		Traktor bromsas		Differens traktor+vagn / traktor		Bromssystem med lastat ekipage		
			Utan last	Med last	Med last	Med last	+ / - %	Skilnad	Systemtryck % av 150	Ansättning % av stopptid	Slag % av slutvärde
2	A	Bruttovikt, ton	10,5	17,4	17,4						
		Utgångshastighet, km/h	39,1	39,1	39,3						
		Stopptid, s	2,8	4,2	5,4						
		Medelretardation, m/s ²	3,8	2,6	2,1						
		Stoppträcka, m	17,1	24,1	28,1				57	13	
		Bromstryck, bar	77,5	92,5							
		Tid för för bromsarm, s	0,5	0,5							
		Motiv slaglängd, mm	66,0	66,0							
		Slag, fullt mm	70,0	70,0							94
		Medelbromskraft kN		44,4	35,8	81	8,5				
2	B	Bruttovikt, ton	10,8	18,4	18,4						
		Utgångshastighet, km/h	39,0	39,0	39,0						
		Stopptid, s	2,9	4,2	6,4						
		Medelretardation, m/s ²	3,8	2,6	1,8						
		Stoppträcka, m	16,2	23,2	33,8			10,7	88	21	
		Bromstryck, bar	132,5	130,0							
		Tid för för bromsarm, s	0,7	0,8							
		Motiv slaglängd, mm	51,5	52,0							
		Slag, fullt mm	54,5	55,0							95
		Medelbromskraft kN		47,9	32,2	67	15,7				
2	C	Bruttovikt, ton	10,2	18,5	18,5						
		Utgångshastighet, km/h	39,0	39,0	38,3						
		Stopptid, s	3,0	3,2	5,2						
		Medelretardation, m/s ²	3,6	3,1	2,1						
		Stoppträcka, m	17,3	19,3	29,2			9,9	82	19	
		Bromstryck, bar	130,0	115,0							
		Tid för för bromsarm, s	0,6	0,6							
		Motiv slaglängd, mm	56,0	57,0							
		Slag, fullt mm	59,0	60,0							95
		Medelbromskraft kN		57,7	37,9	66	19,8				
						%					
		Meter bromssträcka	22,2	30,4	8,2	73	8,2		75	18	95
		Medelbromskraft kN	50,0	35,3	14,7	71	14,7				
						%					
		Alla, meter bromssträcka	22,8	29,6	6,7	77	6,7		68	28	93
		Alla, Medelbromskraft kN	53,4	39,9	13,5	134	13,5				93

Bild 20, del 2: Sammanställda resultat för ekipage med traktor 2 som dragare.

TR	Vagn	Resultat	Traktor och vagn bromsas		Traktor bromsas	Differens traktor+vagn / traktor		Bromssystem med lastat ekipage			
			Utan last	Med last		Med last	+ / - %	Skilnad	Systemtryck % av 150	Ansättning % av stopptid	Slag % av slutvärde
3	A	Bruttovikt, ton	10,0	17,9	17,9	17,9					
		Utgångshastighet, km/h	39,0	–	38,3	38,3					
		Stopptid, s	2,6	–	5,6	5,6					
		Medelretardation, m/s2	4,2	–	1,9	1,9					
		Stoppsträcka, m	14,8	–	29,2	29,2					
		Bromstryck, bar	65,0					43			
		Tid för för bromsarm, s	0,7						27		
		Motstv slaglängd, mm	69,0	–							
		Slag, fullt mm	72,0	–							96
		Medelbromskraft kN		–		34,2	–	–			
	B	Bruttovikt, ton	9,7	17,7	17,7	17,7					
		Utgångshastighet, km/h	39,0	39,0	39,0	39,0					
		Stopptid, s	3,4	3,6	6,2	6,2					
		Medelretardation, m/s2	3,2	3,0	1,8	1,8					
		Stoppsträcka, m	21,7	23,2	34,4	34,4		11,2			
		Bromstryck, bar	96,0	102,0					66		
		Tid för för bromsarm, s	2,4	2,0						62	
		Motstv slaglängd, mm	50,0	51,0							
		Slag, fullt mm	53,0	54,0							94
		Medelbromskraft kN		53,3	31,9	31,9	60	21,4			
	C	Bruttovikt, ton	9,5	17,8	17,8	17,8					
		Utgångshastighet, km/h	39,0	39,0	38,5	38,5					
		Stopptid, s	3,0	3,9	5,8	5,8					
		Medelretardation, m/s2	3,7	2,8	1,9	1,9					
		Stoppsträcka, m	17,9	23,0	30,0	30,0		7,0			
		Bromstryck, bar	85,0	85,0					57		
		Tid för för bromsarm, s	1,4	1,6						44	
		Motstv slaglängd, mm	54,0	54,5							
		Slag, fullt mm	58,5	58,5							93
		Medelbromskraft kN		49,1	33,1	33,1	67	16,0			
							%				
Meter bromssträcka			23,1	31,2	31,2	74	8,1	55	44	94	
Medelbromskraft kN			51,2	33,1	33,1	65	18,2				
							%				
Alla, meter bromssträcka			22,8	29,6	29,6	77	6,7	68	28	93	Alla
Alla, Medelbromskraft kN			53,4	39,9	39,9	134	13,5				

Bild 20, del 3: Sammanställda resultat för ekipage med traktor 3 som dragare.

Vagn TR		Resultat		Traktor och vagn bromsas		Traktor bromsas		Differens traktor+vagn / traktor		Bronssystem med lastat ekipage			
		Utan last		Med last		Med last		+ / - %		Systemtryck		Ansättning	
										% av 160		% av stopptid	

Bild 21, del 1: Sammanställda resultat för ekipage där vagn A ingår.

Vagn TR		Resultat		Traktor och vagn bromsas		Traktor bromsas		Differens traktor+vagn / traktor		Bromssystem med lastat ekipage			
				Utan last	Med last	Med last	Med last	+ / - %	Skillnad	% av 150	Systemtryck	Ansättning	Slag
												% av stopptid	% av slutvärde
1	Bruttovikt, ton	11,4	19,0		19,0								
	Utgångshastighet, km/h	40,8	41,0		41,2								
	Stopptid, s	2,6	3,6		4,5								
	Medelretardation, m/s²	4,4	3,2		2,7								
	Stoppträcka, m	17,1	23,0		28,6	80	5,6			86			
	Bromstryck, bar	130,0	128,0									27	
	Tid för för bromsarm, s	0,9	0,8										
	Motsv slaglängd, mm	13,2	14,0										
	Slag, fullt mm	19,9	14,5										79
	Medelbromskraft kN		60,4		50,7	119	9,7						
2	Bruttovikt, ton	10,8	18,4		18,4								
	Utgångshastighet, km/h	39,0	39,0		39,0								
	Stopptid, s	2,9	4,2		6,4							21	
	Medelretardation, m/s²	3,8	2,6		1,8								
	Stoppträcka, m	16,2	23,2		33,8	68	10,7			88			
	Bromstryck, bar	132,5	130,0										
	Tid för för bromsarm, s	0,7	0,8										
	Motsv slaglängd, mm	51,5	52,0										
	Slag, fullt mm	54,5	55,0										95
	Medelbromskraft kN		47,9		32,2	149	15,7						
3	Bruttovikt, ton	9,7	17,7		17,7								
	Utgångshastighet, km/h	39,0	39,0		39,0								
	Stopptid, s	3,4	3,6		6,2								
	Medelretardation, m/s²	3,2	3,0		1,8								
	Stoppträcka, m	21,7	23,2		34,4	67	11,2						
	Bromstryck, bar	96,0	102,0							66		62	
	Tid för för bromsarm, s	2,4	2,0										
	Motsv slaglängd, mm	50,0	51,0										
	Slag, fullt mm	53,0	54,0										94
	Medelbromskraft kN		53,3		31,9	167	21,4						
					%								
	Meter bromssträcka	23,1		32,3	72	9,2	80	37				89	
	Medelbromskraft kN	53,9		38,3	141	15,6							
					%								
	Alla, meter bromssträcka	22,9		29,6	78	6,6	68	28				93	Alla
	Alla, Medelbromskraft kN	53,4		39,9	134	13,5							

Bild 21, del 2: Sammanställda resultat för ekipage där vagn B ingår.

Vagn TR	Resultat	Traktor och vagn bromsas		Traktor	Differens traktor+vagn / traktor		Bromssystem med lastat ekipage		
		Utan last	Med last	Med last	+ / - %	Skillnad	Systemtryck % av 150	Ansättning % av stopptid	Slag % av slutvärde
1	Bruttovikt, ton	10,0	18,5	18,5					
	Utgångshastighet, km/h	41,1	41,0	41,2					
	Stopptid, s	2,6	3,6	4,3					
	Medelretardation, m/s ²	4,3	3,2	2,7					
	Stoppsträcka, m	18,1	23,0	27,6	83	4,6			
	Bromstryck, bar	132,0	133,0				88		
	Tid för för bromsarm, s	0,8	0,8					26	
	Motsv slaglängd, mm	53,0	56,0						
	Slag, fullt mm	57,0	59,0						94
	Medelbromskraft kN		58,8	49,4	119	9,4			
	Bruttovikt, ton	10,2	18,5	18,5					
	Utgångshastighet, km/h	39,0	39,0	38,3					
2	Stopptid, s	3,0	3,2	5,2					
	Medelretardation, m/s ²	3,6	3,1	2,1					
	Stoppsträcka, m	17,3	19,3	29,2	66	9,9			
	Bromstryck, bar	130,0	115,0				82		
	Tid för för bromsarm, s	0,6	0,6					19	
	Motsv slaglängd, mm	56,0	57,0						
	Slag, fullt mm	59,0	60,0						95
	Medelbromskraft kN		57,7	37,9	152	19,8			
	Bruttovikt, ton	9,5	17,8	17,8					
	Utgångshastighet, km/h	39,0	39,0	38,5					
	Stopptid, s	3,0	3,9	5,8					
	Medelretardation, m/s ²	3,7	2,8	1,9					
3	Stoppsträcka, m	17,9	23,0	30,0	77	7,0		57	
	Bromstryck, bar	85,0	85,0						
	Tid för för bromsarm, s	1,4	1,6					44	
	Motsv slaglängd, mm	54,0	54,5						
	Slag, fullt mm	58,5	58,5						93
	Medelbromskraft kN		49,1	33,1	148	16,0			
					%				
	Meter bromssträcka	21,8	28,9		75	7,2	76	30	94
	Medelbromskraft kN	55,2	40,1		138	15,1			
					%				
	Alla, meter bromssträcka	22,9	29,6		78	6,6	68	28	93
	Alla, Medelbromskraft kN	53,4	39,9		134	13,5			Alla

Bild 21, del 3: Sammanställda resultat för ekipage där vagn C ingår.

Nere på sidan finns medeltal för de värden som anges. Allra längst ner finns motsvarande medeltal för de tre resultatsidorna som jämförelse. På bildernas högra halva anges skillnader mellan när lastat ekipage bromsas med båda fordonen, eller bara med traktorn:

- Traktorns andel av medelbromskraft (bruttovikt x medelretardation)
- Skillnader i bromssträcka i meter
- Bromstrycksnivå satt i relation till tillåten nivå 150 bar, i procent
- Vagnsbromsarnas ansättningstid satt i relation till hela inbromsningstiden, i procent
- Bromsarmens slag vid tiden för ansättning satt i relation till hela slaget, i procent

Mätresultaten är svåra att tyda. Ser man "traktorvis", som på sidorna 15 – 17 ovan, eller "vagnsvis" som på sidorna 18 - 20, på t.ex stoppsträcka med ekipagen lastade och olastade, kommer alla traktorerna, och alla vagnarna att ingå i kombination där stoppsträckan, med flera meter, antingen är kortare eller längre, eller både och, än i övriga kombinationer.

- *Traktor 1* har två fall med kortare och ett med längre sträcka
- *Traktor 2* har ett fall med kortare och ett med längre sträcka
- *Traktor 3* har ett fall med kortare och två med längre sträcka
- *Vagn A* har två fall med kortare och en med längre sträcka
- *Vagn B* har tre fall med längre sträcka
- *Vagn C* har två fall med kortare sträcka

Samma jämförelsesätt har gjorts för vagnsbromsens ansättningstid i förhållande till ekipagets stopptid. Medeltalet för detta förhållande var att efter 27 procent av stopptiden var vagnens bromsar ansatta.

- *Traktor 1* har inga fall med kortare eller längre ansättningstid
- *Traktor 2* har ett fall med kortare ansättningstid
- *Traktor 3* har två fall med längre ansättningstid
- *Vagn A* har ett fall med kortare ansättningstid
- *Vagn B* har ett fall med längre ansättningstid
- *Vagn C* har ett fall med längre ansättningstid

"Bromskraft" är ett begrepp som vanligen används vid bromsprovningar, och då avses *fullt utbildad retardation x bromsad bruttovikt*. På tabellsidorna beräknas i stället en ekvivalent medelbromskraft (=bruttovikt x medelretardation) som visas i stapelform i Bild 22.

Varje stapelpar i bilden avser lastat ekipage där blå stapel är medelbromskraft när både traktorn och vagnen bromsar. Röd stapel visar medelbromskraft när endast traktorn bromsas. Blå stapel är högst i alla stapelpar vilket är helt i sin ordning, men de olika ekipagen uppvisar olika stora skillnader mellan staplarna, i faktiska tal skillnader från 4,3 kN (traktor 1+vagn A) till 21,3 kN (traktor 3+vagn B). Dessa skillnader är vagnarnas bidrag till medelbromskraften.

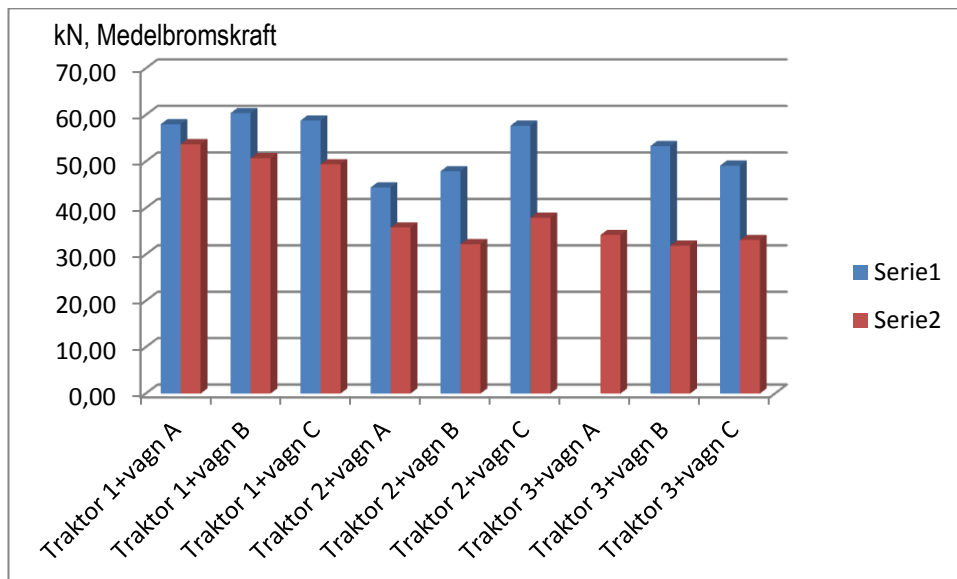


Bild 22: Stapelpar som visar medelbromskraft. Blå stapel visar retardation när traktor och vagn bromsar. Röd stapel visar retardation när traktor bromsar.

Varje stapelpar i bild 23 avser lastat ekipage där blå stapel är pedalkraft när både traktorn och vagnen bromsar. Röd stapel visar pedalkraft när endast traktorn bromsas. Röd stapel är högst i fyra fall, ungefär lika höga i tre fall. I ett fall är blå stapel högre. Röd stapel borde vara högst i alla dessa kombinationer där endast traktorn bromsar.

Staplarna baseras på högsta angivna pedalkrafter från bromsremсор, se bild 17. En medelpedalkraft vore ett bättre mått, särskilt i fall där pedalkraften varierat under inbromsningen.

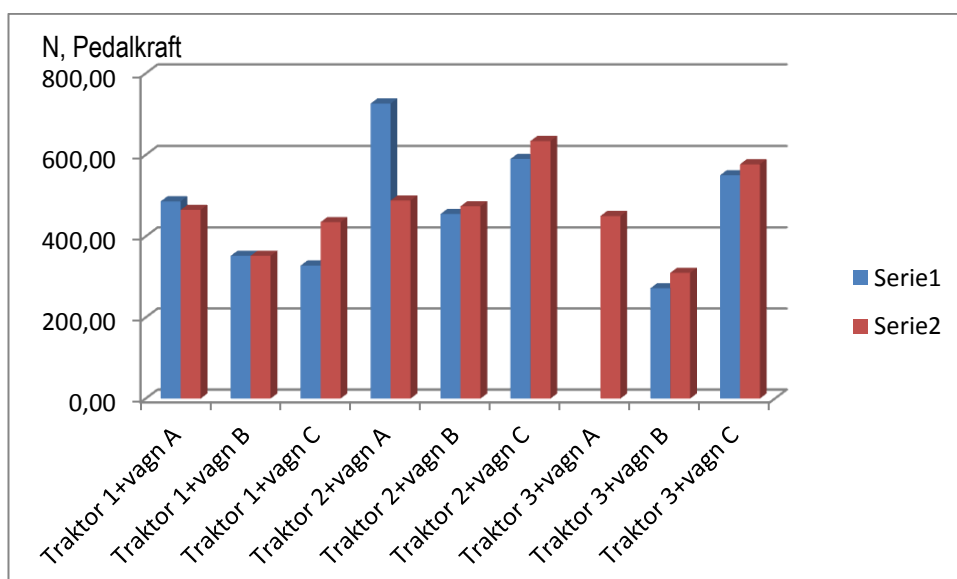


Bild 23: Stapelpar som visar pedalkrafter. Blå stapel visar pedalkraft när traktor och vagn bromsar. Röd stapel visar pedalkraft när traktor bromsar.

4. DISKUSSION

Följande frågeställningar behöver kommenteras:

Vagnen börjar bromsa för sent (vår hypotes)

Hypotesen håller till viss del, följande observationer finns;

- Reaktionstidens, eller bromsansättningens andel av stopptiden varierar från 0,5 till 2 s, eller som uttryckt i procenttal från 21 till 62 %, med medeltal 28 %. En reaktionstid på två sekunder innebär naturligtvis att ekipaget i det närmaste hinner stanna genom traktorns bromsar innan vagnens bromsar bidrar.
- Bromstrycket, efter ansättningen av vagnens bromsar, har ökat till från 43 till 88 % med medel 68 % av tillåtet 150 bar
- Bromsarmens slag, efter ansättningen av vagnens bromsar, har stigit till 79 till 96 % av fullt slag, med medeltal 93 %.

Traktorernas specifikationer av ett högsta bromstryck nära 150 bar och oljeflöde tillräckligt för att snabbt fylla vagnens bromskrets är väsentligt. Vi har inte mätt oljeflödet men effekten av lågt oljeflöde framgår av bild 19. Uppgift om oljeflöde är svår att få fram från leverantörerna.

Vi har tydligt visat på skillnader i vagnsbromsarnas ansättningstider och detta har i viss mån också slagit igenom som lägre medelbromskrafter.

Den traktor (traktor 2) som ger kortast ansättningstid bland ekipaget har också tydligast bidrag från vagnens (vagn C) bromsar i medelbromskraften. Vår bedömning är att detta bidrag för flera av ekipagen är anmärkningsvärt lågt.

Effektivitet hos vagnarnas bromsar

Vi har kört bromsprov med tomma vagnar. Vagn C med tydligast bidrag till medelbromskraften, visade tendens till hjullåsning vid detta prov. Tillverkarna av vagnar har ett kompromiss mellan risk för hjullåsning när vagnen körs tom å ena sidan och dålig bromsverkan med last å andra sidan. Här tycks två av tillverkarna valt att undvika låsning. Möjlighet att på teknisk väg anpassa bromstrycket till lasten finns sedan länge på tryckluftsbromsar. Tekniken med lastkännande ventil är dåligt spridd på hydrauliska bromssystem.

I praktiken, med begagnade vagnar, är det troligt att slitna och/eller ojusterade bromsar ger långa reaktionstider och sen inbromsning, i linje med vår hypotes.

Enligt svenska krav ska bromssträckan vara högst: $s = v^2/116 + 0,15 \cdot v$
Vid hastigheten 40 km/h blir denna längsta bromssträcka 19,8 m.

Om vagnarna i detta projekt hade bromsar som gav en medelretardation på 3 m/s^2 , vilket är i paritet med lagkravet, hade respektive släps bidrag till ekipagets medelretardation ökat med upp mot det dubbla och blivit:

Släpets bruttovikt \times medelretardationen \times andel bromstid efter ansättning, dvs i medeltal $12\,500 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 \times 0,68 = 25,5 \text{ kN}$ medelbromskraft i bidrag.

Bidraget från vagnsbromsarna i detta projekt blev en medelbromskraft på 13,5 kN.

- *Not: Projektets syfte har inte varit att bestämma maximala bromskrafter.*

Allmänt om bromsprov

Mätresultaten har varit svåra att tyda. Huvuddelen av detta ligger i de svårigheter traktorföraren har i att bromsa bestämt, med rätt pedalkraft och att hålla jämnt pedaltryck till stopp. Sedan ska följande ekipage bromsas på samma sätt för att få jämförelse.

Dessutom är bromsförloppen tämligen korta, 2,5 – 5 sekunder, hytt och traktor fjädrar framåt, hög pedalkraft kan behövas och bromspedalen är försedd med mätutrustning som föraren måste träffa rätt med foten.

Traktortåg och tågvikter

Vagnarna i projektet var inte lastade upp till maxlast, vilket har gjort bromsprovningarna något mindre utslagsgivande. Ett skäl till att inte lasta maximalt var att vi ville undvika att skada bromsarna på de traktorer vi fick låna.

Enligt upprinnelsen till detta projekt medför traktortransporter med höga tågvikter risk för överbelastning av traktorns bromsar om vagnarna i tåget har slitna bromsar och / eller system med långa ansättningstider. Denna typ av transporter och maskinskaderisker bedöms vara vanligare i Sydsverige än längre upp i landet, vilket också bekräftats genom kontakt med försäkringsbolag i Uppsala.

Drag på traktorer ska vara typgodkända. I och med det lägger traktortillverkarna gränser för tillåten vertikal och horisontell belastning. Dessa tillåtna laster ska enligt lagkrav framgå av traktorns tillverkningsskylt, se exempel i bild 24.



Höjning av tillåten hastighet

Från och med nästa år kommer det att vara möjligt att helfordonsgodkänna traktorer som kan köras fortare än 40 km/h och även vagnar och dragna redskap till dessa, eller avsedda för traktorer som kan köras i max 40 km/h. Helfordonsgodkännande av släp och dragna redskap kan underlätta för svenska tillverkare. Arbete pågår ännu hösten 2014 med att skriva detaljkrav.

Dessa nya fordonsklasser kommer att få hårdare krav, bl.a. avseende bromsar och drag, och detta innefattar med stor säkerhet krav på tryckluftsbromsar på vagnar och andra efterfordon avsedda att kunna köras fortare än 40. Anpassning av svensk vägtrafiklagstiftning pågår, bl.a. avseende körkortskrav, hastighetskrav, plats på väg, återkommande besiktning, överlastsanktion.

SMP Svensk Maskinprovning AB

SMP Certifiering, Uppsala och
SMP Provning, Malmö

