

ETT-push – virkesbil med fyra travar och hjälpdrift på linken

ETT-push – a four-stack timber truck with auxiliary hydraulic drive



FOTO: HANS MÅRTENSSON, MAGNUS SKOGSTRANSPORTER



FOTO: HENRIK VON HOFSTEN, SKOGFORSK

Summary

In 2014, approximately 72 million tonnes of roundwood and primary forest fuel were transported from forest to mills and heating plants, corresponding to transport work of approximately 6.6 billion tonne-kilometres. In view of the large quantities of wood and relatively long average transport distances (an average of 90 km one way), it is important that every vehicle can be loaded to full capacity to avoid extra journeys and to maintain good transport and fuel economy. Permitted gross weights for truck transports have been raised in recent years, but problems have been experienced relating to the attainment of full payloads within the framework of vehicle dimension regulations.

Another issue generated by the higher gross weights is truck startability. The higher gross weights require extra wheel axles on the rig to prevent excessive loading on the axles and axle groups. This reduces the maximum axle load by almost a tonne on the drive axles, while the weight and starting resistance increase .

In the ETT-Push project, two vehicle rigs for roundwood transports have been studied. One rig was specially built for four stacks and equipped with an extra hydraulically driven axle to improve starting and acceleration at speeds up to 30 km/h. The other was almost identical, but built for three stacks and without the extra hydraulic drive.

The results show that the Push vehicle had a higher average payload and lower fuel consumption per tonne-km than the reference vehicle. Roadholding on slippery road surfaces was also noticeably better. The disadvantages noted can be attributed to some less successful design solutions relating to the hydraulic drive, which can easily be rectified if this concept is to be further developed.

Förord

Initiativet till detta projekt togs från Skogforsks sida av eldsjälén Claes Löfroth 2014, som i Curt Göransson fann en själsfrände med samma utvecklingsoptimism och brinnande intresse för att förbättra skogsbrukets transportteknik. Med dessa starkt drivande krafter är det inte förvånande att projektet fann finansiering och även producerade relevanta och praktiskt betydelsefulla resultat. Claes Löfroth avled oväntat 2017 och kunde inte lotsa projektet hela vägen i hamn. Den beundran vi känt för Claes arbete för sänkt miljöpåverkan av skogsbrukets transporter, där detta projekt utgör en del, har gjort att det känts extra angeläget att slutföra och rapportera projektet.

Projektet har huvudsakligen finansierats av VINNOVA och Skogforsk gemensamt, men med stort stöd i form av dådkraft och energi samt olika naturinsatser från Curt Göranssons Åkeri och Magnus Skogstransporter.

Parator, Holmen Skog, Bosch Rexroth och Timberman har alla på olika sätt varit delaktiga i att projektet kunnat slutföras.

Uppsala i april 2018

Rolf Björheden, Olle Gelin, Fredrik Henriksen & Henrik von Hofsten

Innehåll

Summary	2
Förord	3
Sammanfattning	5
Bakgrund och syfte	6
Material och metoder	7
Push-axelns funktion och uppbyggnad	8
Förstudie	10
Dragkraftsmätningar	11
Framkomlighet	12
Resultat	13
Lastvikt och lastfyllnad	13
Bränsleförbrukning	15
Dragkraftsmätning	16
Ackumulatorer	17
Systemvikt	18
Framkomlighet	18
Diskussion och slutsatser	19
Slutsatser	21
Referenser	22
Bilaga 1. Specifikation av komponenter och systemvikt för Push-systemet	23
Bilaga 2. Hydraulschema för pushfunktionen	24

Sammanfattning

Under 2014 transporterades cirka 72 miljoner ton rundvirke och primärt skogsbränsle från skog till industrier och värmeverk, vilket motsvarar ett transportarbete på omkring 6,6 miljarder tonkilometer. Med tanke på de stora mängderna virke och relativt långa (ca 90 km enkel väg) transportavstånden blir det viktigt att varje lastbil kan lastas till sin fulla kapacitet för att undvika extra körning och för att erhålla en god transport- och bränsleekonomi. I takt med att de tillåtna bruttovikterna på senare år höjts för lastbils-transporter har det under vissa förutsättningar uppstått problem med att uppnå full lastvikt inom ramen för dimensionsbestämmelserna för fordon.

En annan fråga som aktualiserats med de högre bruttovikterna är lastbilarnas startförmåga. De högre bruttovikterna kräver ett par extra hjulaxlar på fordonståget för att inte axel- och axelgruppsbelastningarna ska bli för höga. Detta gör att den maximala axelbelastningen minskar med nästan ett ton på drivaxlarna samtidigt som vikten och startmotståndet ökar.

I projektet ETT-push har två fordonståg för rundvirkestransporter studerats. Det ena (push-fordonet) är specialbyggt för att lasta fyra travar samt försett med en extra hydrauldriven axel som starthjälp i hastigheter upp till 30 km/h. Det andra (referensfordonet) är ett nästan identiskt fordonståg avsett för tre travar och utan den extra hydrauldriften.

Av resultaten framgår bland annat att push-fordonet haft högre genomsnittlig lastvikt och lägre bränsleförbrukning per tonkilometer jämfört med referensfordonet. Även framkomligheten på sliriga underlag var tydligt bättre. De nackdelar som noterats kan hänföras till några mindre lyckade konstruktionslösningar kopplade till hydrauldriften, vilka enkelt kan åtgärdas i händelse av fortsatt utveckling av detta koncept.

Bakgrund och syfte

Under 2014 transporterades cirka 72 miljoner ton rundvirke och primärt skogsbränsle från skog till industrier och värmeverk, vilket motsvarar ett transportarbete på omkring 6,6 miljarder tonkilometer. Under året var medeltransportavståndet enkel väg ca 91 km, regionalt dock omkring 20 km längre i Norrland än i Götaland (Asmoarp & Davidsson, 2016). Med tanke på de stora mängderna virke och relativt långa transportavstånden blir det viktigt att varje lastbil kan lastas till sin fulla kapacitet för att undvika extra körning och erhålla en god transport- och bränsleekonomi. I takt med att de tillåtna bruttovikterna på senare år höjts för lastbilstransporter har det under vissa förutsättningar uppstått problem med att uppnå full lastvikt inom ramen för dimensionsbestämmelserna för fordon (längd och bredd). Detta gäller speciellt för de kommande BK4-vägnätet där lastbils ekipage med en maximal bruttovikt på 74 ton kommer att tillåtas. I försöksdrift har vi sett att dessa fordon kan ha svårt att få plats med full lastvikt (Asmoarp m.fl., 2018).

En annan fråga som aktualiserats med de högre bruttovikterna är lastbilarnas startförmåga. I och med de högre bruttovikterna (över 64 ton) krävs ett par extra hjulaxlar på fordonståget för att uppfylla kraven i Trafikförordningen 4 kap. 13§ om axel- och axelgruppsbelastningar. Därmed minskar den maximala axelbelastningen med nästan ett ton på drivaxlarna samtidigt som vikten och startmotståndet ökar, vilket ibland inneburit svårigheter att komma igång på sliriga underlag. Under ETT-projektets gång har detta uppmärksamats och några olika lösningar testats utöver att använda tandemdrift (von Hofsten & Funck, 2015). Bland annat har Volvo provat med hydraulisk framhjulsdraft på några försöksbilar. Flera bilar har utrustats med olika former av axellyftar för att tillfälligt omdisponera vikten på lastbilen. I några fall har däcktrycksreglering (CTI, Central Tire Inflation) använts för att öka friktionen och därmed dragförmågan.

Tandemdrift, det vill säga två drivaxlar direkt efter varandra i en boggie, är en väl beprövad standardlösning för lastbilar med stort behov av dragkraft på sliriga underlag. Nackdelen är att lösningen skapar interna spänningar i transmissionen med något ökad bränsleförbrukning som följd. Dessutom är avståndet mellan drivaxlarna bara ca 1,5 meter, vilket medför en stor sannolikhet att bägge axlarna befinner sig på samma halkfläck. En lösning med ytterligare en drivaxel en bit ifrån huvuddrivaxlarna skulle kunna vara en lösning på problemet.

Framhjulsdraft på lastbilen vore ur många synvinklar det bästa, inte bara för dragkraften utan även med tanke på styrförmåga på sliriga underlag, men det har visat sig svårt att få plats med hydraulmotorer och slangdragning i den befintliga framvagnen. Ett alternativ skulle kunna vara att sätta en driven axel som drivs av lastbilsmotorn på släpet på lämpligt sätt.

I detta försök har båda ovansående problemområden studerats i ett och samma ekipage genom att montera en hydrauliskt driven axel på ett av släpfordonen samt bygga fordonskombinationen så att den kan lasta fyra travar virke utan att överskrida gällande måttbestämmelser. Därmed förväntas startförmågan förbättras avsevärt samtidigt som lastfyllnadsgraden ökar och luftmotståndet troligen minskar.

Material och metoder

Försöket omfattade två konfigurationer av dragbil, link och trailer, se framsidesbilder. Försöksfordonet ägdes av Curt Göranssons Åkeri, Färila, och referensfordonet av Magnus Skogstransporter, Kilafors.

Försöksfordonet (push-fordonet) var en Scania R730 LB 6×2 MNB med en treaxlig link och treaxlig trailer, båda byggda av Parator. Linkens första axel kunde drivas hydrauliskt upp till ca 30 km/h (se även funktionsbeskrivning i nästa avsnitt). Denna hydrauliska hjälpdrift kallas fortsättningsvis för push-axel. Fordonets totallängd var 25,25 meter och maximal bruttovikt 74 ton. Tack vare den kortade hytten och den långa linken var det möjligt att lasta fyra travar virke, som då kan hållas lägre jämfört med de normala, tre högre travarna. Mellanrummet mellan travarna blir också kortare när en bil lastas med fyra jämfört med tre travar, vilket bör medföra sänkt luftmotstånd och även göra det enklare att nå full lastvikt.

Referensfordonet var en identisk Scania R730 LB 6×2 MNB med en treaxlig link och treaxlig trailer, båda byggda av Parator. Skillnaden var att för detta fordon var linken kortare och rymde bara en trave samt att push-axeln saknades. Totallängden var i detta fall 22,2 meter och den maximala bruttovikten 74 ton.

Båda fordonen var utrustade med CTI ([Central Tire Inflation](#)) på drivhjulen för optimerad friktion på dåliga underlag samt singelhjul på samtliga axlar utom drivaxeln. Räknat framifrån kunde axlarna 3, 4, 6, 7 och 9 lyftas i samband med tomkörning för att minska rullmotståndet. För försöksfordonet var push-funktionen monterad på fjärde axeln. Ingen av fordonen hade egen kran utan lastades med separatlastare av logistikföretaget Västan i många fall och annars av Curt Göranssons Åkeris separatlastare.

Referensfordonet sattes i drift i maj 2016 medan push-fordonet kom i drift först i november 2016. Fördröjningen för push-fordonet berodde på komplikationer relaterade till push-axeln, vilka fortsatte hela vintern 2016/17. Trots avsaknaden av push-funktionen bestämdes att köra som vanligt för att erhålla data för lastfyllnad, bränsleförbrukning och övrig funktionalitet. Dessa följdes genom rutinen KUBEL, Kontinuerlig Uppföljning av Bränsle, Emissioner och Lastfyllnad (Widinghoff, 2014). I KUBEL sammanställs körd sträcka, lastad sträcka, vikt och i förekommande fall volym och sortiment för varje enskilt lass samt bränsleförbrukning per månad. Vikterna har inhämtats från fordonsvåg vid industri i förekommande fall. I de fall där sådan våg saknats har viktuppgifter från referensfordonets luftfjädring använts, respektive data från separatlastaren för push-fordonet. De båda senare lösningarna är dock behäftade med viss missvisning.

För referensfordonet började datainsamlingen 2016-06-01 och för push-fordonet 2016-11-10. Datainsamlingen avslutades i båda fallen 2017-12-31 även om referensfordonet då stått några veckor på grund av en trasig axel på linken. Sammanlagt finns 1 237 datarader för referensfordonet och 798 för push-fordonet. Båda fordonen har gått i samma geografi, huvudsakligen i Hälsingland, och i stor uträckning på samma avlägg. De var därmed ofta lastade av samma separatlastare.

Data för bränsleförbrukning hämtades från Scantias Fleet Management-system, månadsvis för varje bil. Den sammanlagda bränslemängden användes sedan för beräkning av bränsleförbrukning per tonkilometer, vilket är en vanlig enhet för att beskriva förbrukningen per utfört transportarbete.

$$ml/tonkm = \frac{\Sigma_{bränsle} * 1000}{\Sigma (km_{lastad} * Lastvikt_{ton})} \quad [1]$$

Där;

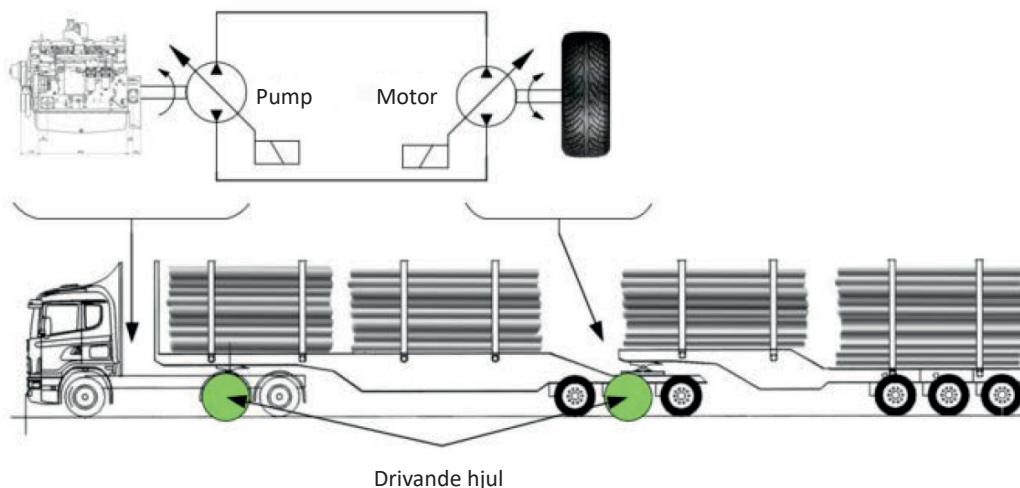
$\Sigma_{bränsle}$ är totala bränsleförbrukningen i liter per månad,

km_{lastad} är den körsträcka för ett enskilt lass (enbart körning lastad)

$Lastvikt_{ton}$ är lastvikten i ton för ett enskilt lass.

Den statistiska analysen av bränsleförbrukningen gjordes genom linjär regression i statistikpaketet SAS. I modellen användes *Bränsleförbrukning* som beroende variabel och *LastbilsID*, *Lastad sträcka* och *Lastfyllnadsgrad* som oberoende variabler.

PUSH-AXELNS FUNKTION OCH UPPBYGGNAD



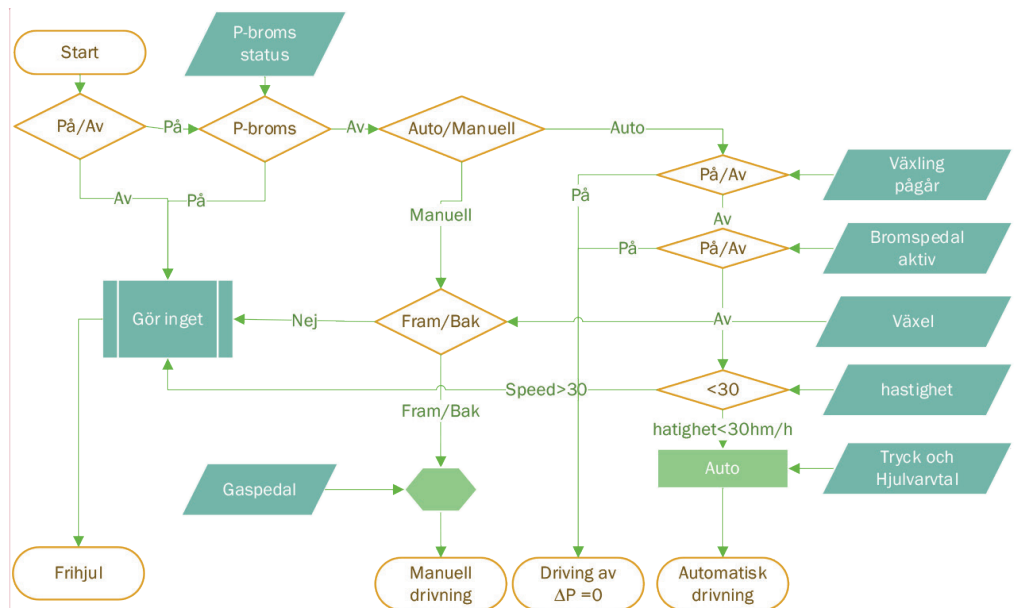
Figur 1. Förenklad systembeskrivning av push-funktionen i konceptfas: energiöverföring från bil till linkens hjälprift. Drivande hjul är grönmärkade.

Funktionen är integrerad med lastbilens befintliga styrsystem. Genom att analysera signaler från lastbilens påbyggars-CAN-bus (den del av CAN-bussystemet som är öppet för påbyggare) erhålls information om hur mycket kraft som ska ges och hastighetsstyrning, vilket säkerställer att linken inte rullar snabbare än bilen (Figur 2).



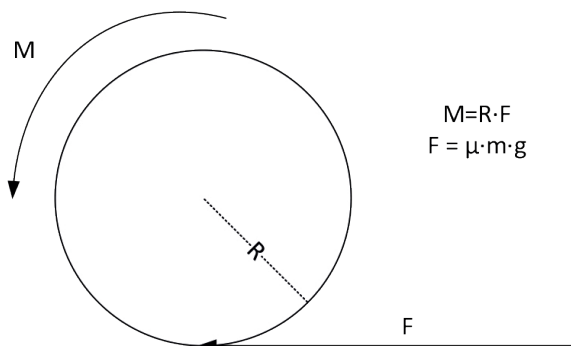
Figur 2. Exempel på CAN-bussignaler som utnyttjas för påbyggnad.

Styrsystemet programmerades enligt det flödesschema som återges i Figur 3.

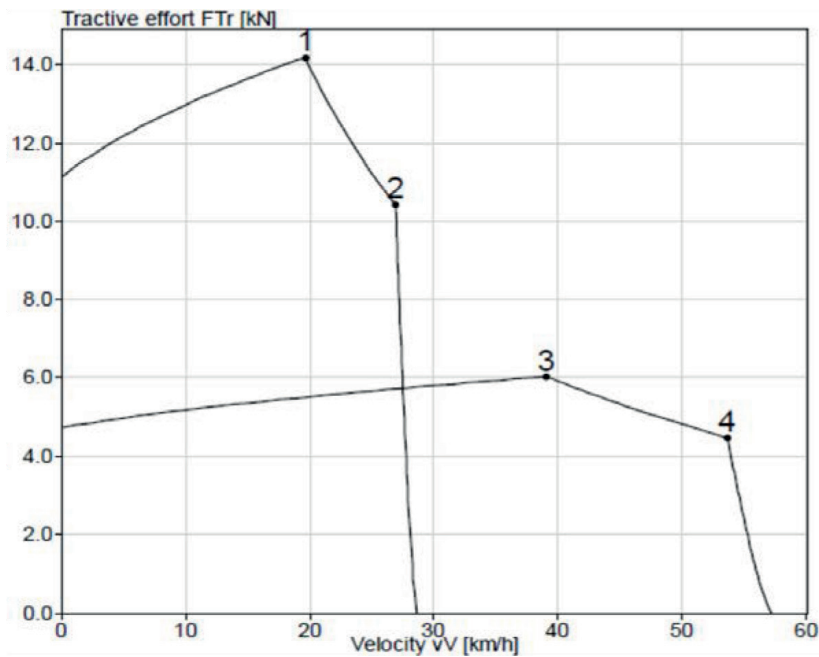


Figur 3 Flödesschema för push-funktionen.

Valet av hydraulmotor och pumpstorlek baserades på beräkningar av dragkraftsbehovet. För beräkningarna antogs en axelvikt på 4 ton och ett friktionstal på 0,5 vilket får anses som goda förhållanden. Detta ger ett maximalt moment vid hjulet på 6 kN (Figur 4). Pumpens designkriterier har valts utifrån valet av motor och den topphastighet push-funktionen ska kunna erbjuda. Efter konsultation med Scania har projektet valt att inte eftersträva drivande moment i högre hastigheter än 25 km/h på grund av befarade kurs-stabilitetsproblem. Detta innebär att en pump som levererar 150 l/min bör ha tillräcklig kapacitet. Figur 5 illustrerar beräkning av dragkraft i kN, beroende av hastighet. Systemet har möjlighet att växla ner motordeplacementet till hälften, vilket medför att hastigheten dubblas vid samma hydraulflöde (jämför de båda kurvorna i Figur 5).



Figur 4. Skiss som visar principen för beräkning av maximalt uttagbart moment. M = moment [Nm], R =radie[m], F =kraft [N], μ = friktionstal, m = massa [kg] och g = gravitationstal ($9,82 \text{ m/s}^2$).



Figur 5. Beräkningar på dragkraften för vald hydraulmotor. Vid punkt 1 & 3 vinklar pumpen ut och vid punkt 2 & 4 saturerar pumpen flödet. Ingående parametrar i beräkningen: Motordeplacement 820 cm³/varv, pumpdeplacement 125 cm³/varv och ingående axelvarvtal till pumpen är 1 800 varv/min.

Simuleringar och beräkningar har även gjorts på axlar och motorer med avseende på hållfasthet och livslängd. Systemets hydraulschema återfinns i bilaga 2.

FÖRSTUDIE

I ett examensarbete vid KTH utreddes potentialen för ett hydrauliskt ackumulatorsystem. Frågor som analyserades var ackumulatorstorlek, systemvikt och bränslebesparingspotential (Li 2016).

Den teoretiska analysen bygger primärt på energibalansen vid acceleration respektive inbromsning av fordonet, som kan beräknas med hjälp av formeln [2]:

$$1/2 \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2) = W_a + W_r + W_p + E$$

Där;

V_1 och V_2 = start och sluthastighet

W_a = luftmotstånd

W_r = rullmotstånd

W_p = hydraulikförluster i ackumulatorn

E = övriga energiförluster i systemet

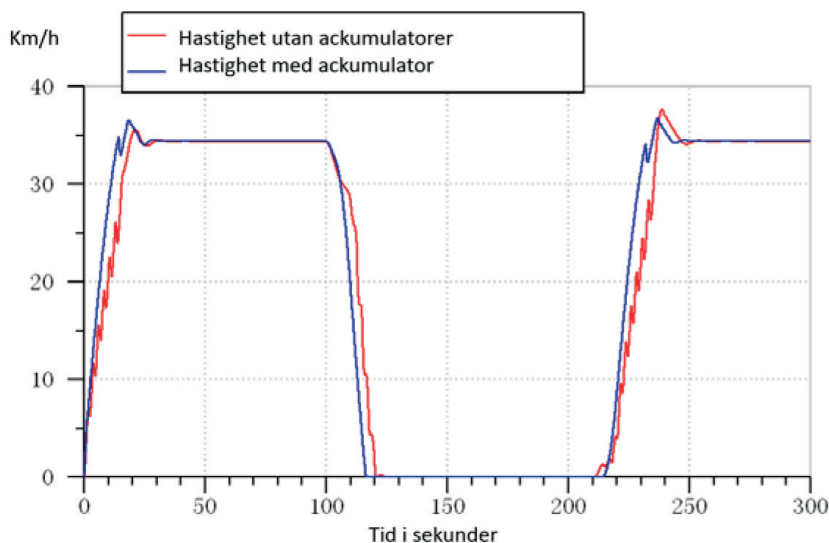
Konstruktionen av push-funktionen bygger på en balansering av förhållandet mellan komponentvikt och förmågan att lagra/leverera energi. Det är viktigt att hålla systemvikten låg, men ändå kunna tillföra erforderlig effekt. En tumregel är att förladdningsstrycket i ackumulatorn är 90 procent av lägsta systemtrycket. Arbetstrycket är uppskattat till 225 bar, så ett förladdningstryck på 200 bar är att rekommendera.

Modellen skapades i AMESim software som är en del av Siemens PLM mjukvara Sim-center, liknande Matlabs Simulink. En likadan modell, men utan ackumulatorer, skapades för jämförelse.

Tabell 1. Parametersättning i simuleringsmodellen:

Max pumpdisplacement	125 cm ³ /varv
Max motordisplacement	820 cm ³ /varv
Akkumulatorkapacitet	57 l
Förladdningstryck ackumulator	200 bar
Fordonsvikt lastad	40 000 kg
Fordonsvikt tom	20 000 kg
Längd hydraulrör	32 m
Övertrycksventil	500 bar

Simuleringen fokuserade på hastigheter upp till 30 km/h, vilket är det hastighetsspann systemet är optimerat för och där det tillför mest nytta för ökad framkomlighet.



Figur 6. Simulering av accelerations- och inbromsningsförlopp.

DRAGKRAFTSMÄTNINGAR

För att kvantifiera effekten av push-axeln utfördes dragkraftsprover på push-fordonet. En 20 kN dragkraftsgivare monterades mellan push-fordonet och en hjullastare. Dragkraftsgivaren var kopplad till en dator som registrerade krafterna med en upplösning på 100 Hz. Proven genomfördes genom att hjullastaren stod stilla med låsta bromsar medan push-fordonet drog. Så snart något hjul på push-fordonet började slira avbröts försöket.

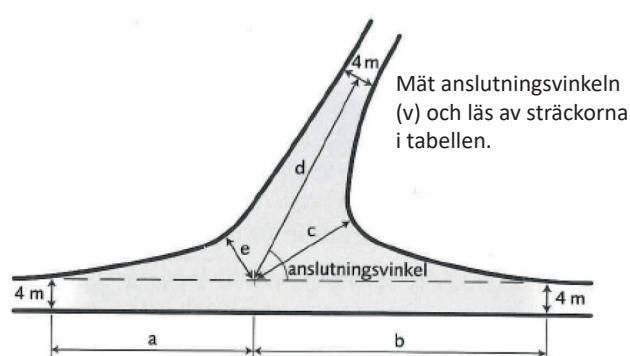
Därefter flyttades push-fordonet och lastaren en meter så att alla hjul kom ur eventuella gropar innan ett nytt försök gjordes. Sammanlagt utfördes 43 försök varav 15 på grus, 10 på asfalt och 18 på en blöt blandning av bark, spån och jord i anslutning till ett virkesupplag. Dragkraftstester gjordes både med och utan push-funktionen inkopplad och i samtliga fall var huvuddrivhjulens CTI-system ställda för normal landsvägskörning.



Figur 7. Dragkraftsgivaren monterad mellan push-fordonet och en hjullastare.
Foto: Henrik von Hofsten, Skogforsk

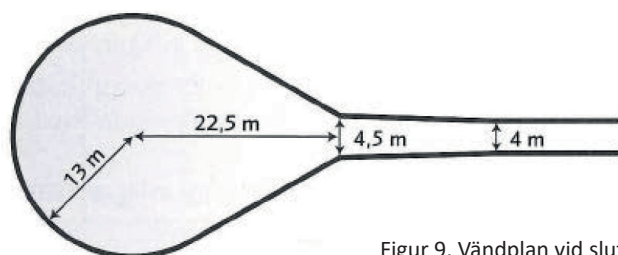
FRAMKOMLIGHET

För att säkerställa att push-fordonet uppfyllde de krav som Transportstyrelsen och Trafikverket ställer på en fordonkombinations "smidighet" genomfördes ett enkelt framkomlighetstest. Koner placerades ut på en stor plan för att simulera vanligt förekommande situationer på svenska skogsbilvägar. Kurvradier, vägbredder md mera var i enlighet med rekommenderade vinklar och mått enligt Löfroth (2014).



	Anslutningsvinkel Nygrader, gon			
	70 ^g	80 ^g	90 ^g	100 ^g
a	25,5	27	28	29,5
b	36,5	34	31,5	29,5
c	13	11	10	8
d	37	34,5	32	30
e	5,5	6	7	8

Figur 8. Anslutning till annan väg.



Figur 9. Vändplan vid slutet av en skogsbilväg.

Resultat

LASTVIKT OCH LASTFYLLENAD

En viktig anledning till försöken med fyra travar var att se om det därigenom skulle gå att nå en högre lastfyllnadsgrad jämfört med en vanlig tretravarsbil. Av tabell 2 framgår att push-fordonet har haft högre lastfyllnadsgrad men lägre genomsnittlig lastvikt. Orsaken är att tjänstevikten på push-fordonet är 20,9 ton mot 19,7 ton för referensfordonet. Skillnaden på 800 kg beror främst på push-axeln med tillhörande ackumulatortank och hydraulpump samt på det faktum att linken är drygt tre meter längre än referensfordonets link.

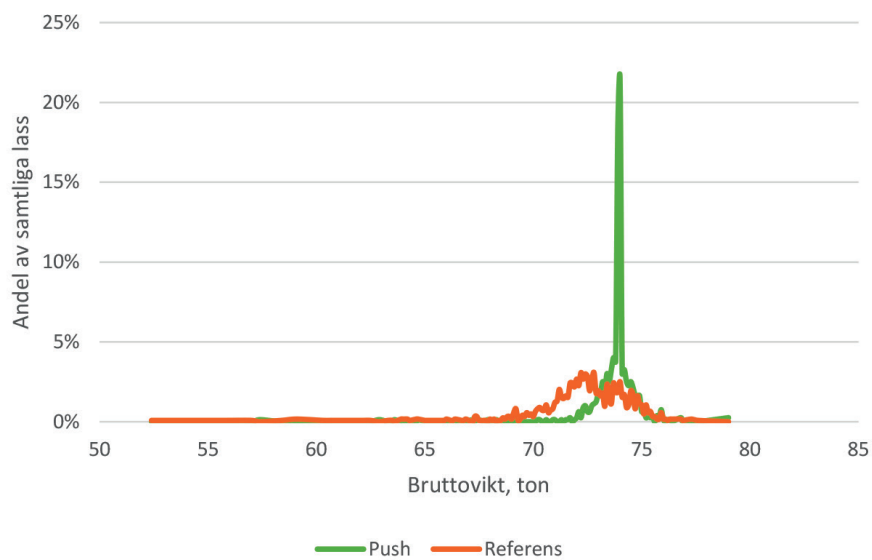
Tabell 2. Sammanställning av de huvudsakliga resultaten från KUBEL-datat.

	Push-fordonet	Referensfordonet
Antal lass	798	1237
Genomsnittlig bruttovikt, ton	73,79	72,25
Σ transporterad mängd, ton	42 274	65 891
Medellassvikt, ton*	52,97±1,4	53,2±3,4
Lassfyllnadsgrad, procent	99,7	97,6
Total sträcka, mil	13 180	28 534
Genomsnittlig lastkörningssträcka, mil	8,1±4,2	11,6±5,7
Genomsnittlig tomkörningssträcka, mil	8,4±4,4	11,5±7,7
Lastkörningsgrad, procent	49,2	50,3

*medel ± standardavvikelse

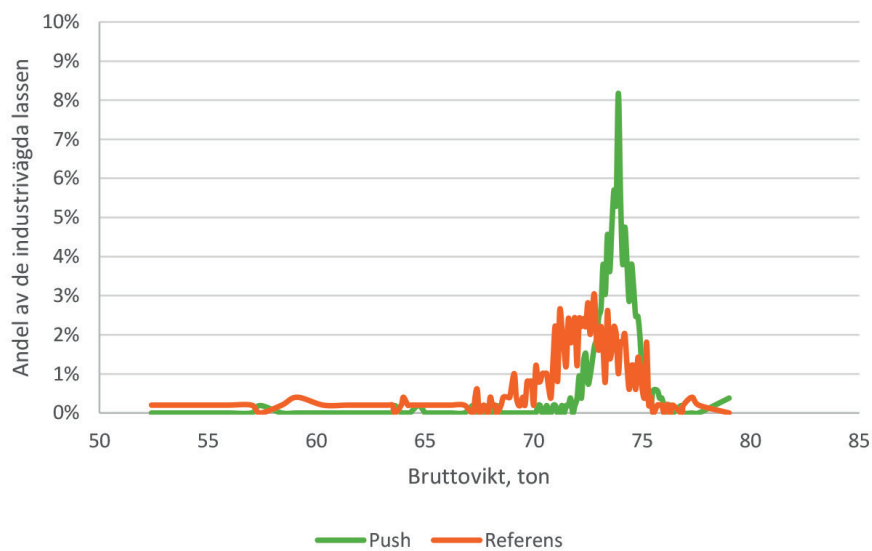
Båda fordonen har haft viss spridning i lastvikt, sannolikt beroende på flera olika orsaker förutom variationer i virkets volymvikt. Det är väl känt sedan tidigare att vägning i samband med lastning (kranspetsvåg) respektive genom att avläsa trycket i luftfjädringen kan vara behäftade med stora fel (von Hofsten, 2015a; von Hofsten, 2015b; Björklund & Fryk, 2014). I synnerhet i början av försöksperioden var inte luftfjädringsvågarna väl kalibrerade på referensfordonet, vilket ledde till en del höga vikter. För push-fordonet gick det inte att göra en bra kalibrering på grund av push-axeln. I stället har separatlastarens kranvåg använts för att få rätt lastmängd.

Figur 10 visar antalet lass vid respektive bruttovikt för de bägge fordonens samtliga lass oavsett hur de har vägts.



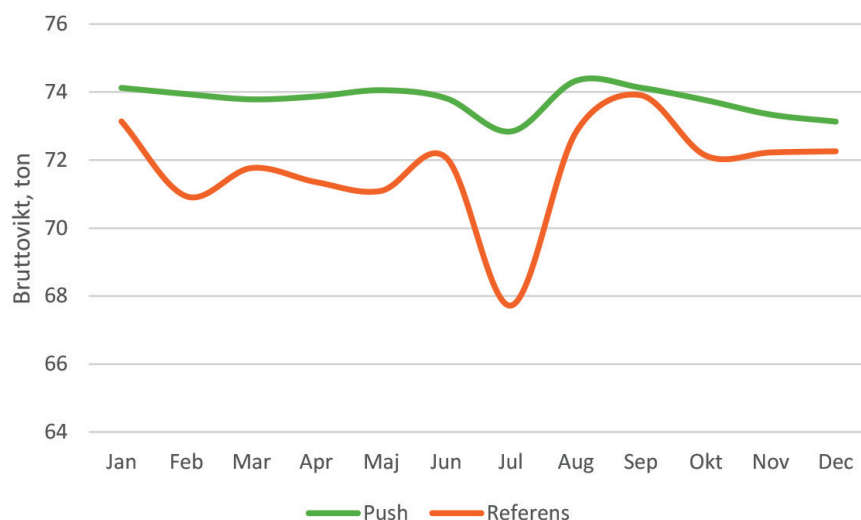
Figur 10. Andel (procent) av alla lass fördelat på aktuell bruttovikt och fordon. Observera att X-axeln börjar vid 40 ton.

För push-fordonet är det en väldigt tydlig pik vid exakt 74 ton av oklara skäl. På grund av denna pik reducerades data till enbart de lass som vägts på industrivåg, figur 11.



Figur 11. Andel (procent) av de lass som vägts in vid industri fördelat på bruttovikt och fordon. Observera att X-axeln börjar vid 40 ton.

För push-fordonet är det fortfarande en kraftig topp vid 74 ton men framför allt är skillnaden i spridning mellan bilarna betydande. Push-fordonet har en väsentligt mindre spridning i lastvikt, vilket indikerar att möjligheten till fyra travar innebär högre sannolikhet för fullt lass, se även tabell 2. Referensfordonet har med sina tre travar en lägre och flackare topp, vilket antyder att det många gånger varit svårt att få plats med vikt- mässigt helt fulla lass. Från tidigare studier och erfarenheter vet vi att virket oftast är lättare under sommarmånaderna (Wilhelmsson & Moberg, 2004), vilket borde innebära att referensfordonet då haft svårast att få fullt lass. Detta framgår också av figur 12.



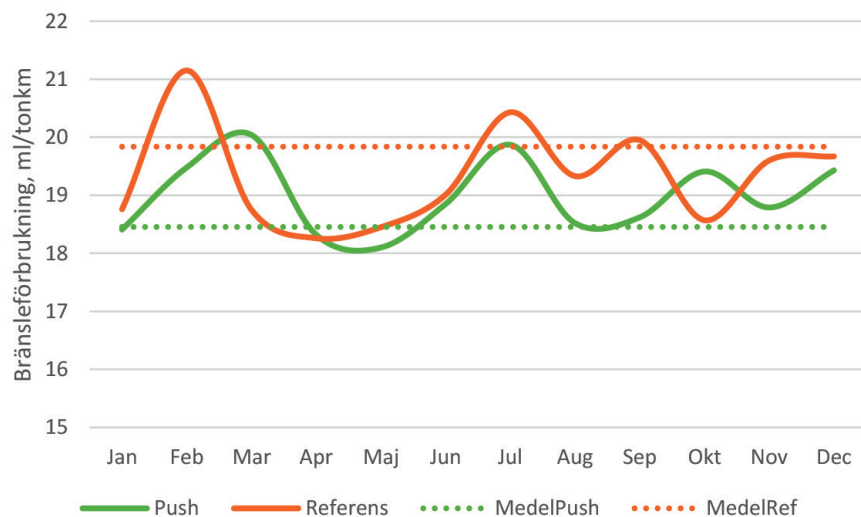
Figur 12. Genomsnittlig bruttovikt per månad för de bägge fordonen. Endast industrivägda lass.

Hela orsaken till den kraftiga ”dippen” i juli för referensfordonet kan troligen inte bara tillskrivas lättare virke utan även det faktum att man tycks ha haft en större andel lövlass än andra månader. Eftersom lövet ofta är krokigt och därmed svårlastat blir den travade volymvikten förhållandevis låg. Push-fordonet har inte kört lika mycket löv under juli och det man kört har kunnat lastas till högre vikter – mest sannolikt beroende på den extra virkestraven. Tyvärr innehåller inte de data som insamlats information om vem som lastat enskilda lass, så det går inte att hitta orsakssamband där.

BRÄNSLEFÖRBRUKNING

Den aritmetiska medelförbrukningen för push-fordonet var under försöksperioden 19,0 ml/tonkm medan den för referensfordonet var 19,4 ml/tonkm. Men eftersom referensfordonet haft nästan 30 km längre körsträckor enkel väg måste resultaten nivåläggas för samma körsträcka. Detta kan göras med en linjär regressionsmodell där bränsleförbrukningen är beroendevariabel och lastkörningssträcka, lastfyllnadsgrad och fordon är oberoende variabler. Modellen visar att push-fordonet hade ca 1,4 ml/tonkm (knapp 7 procent) lägre bränsleförbrukning. Denna skillnad är statistiskt signifikant ($p < 0,03$).

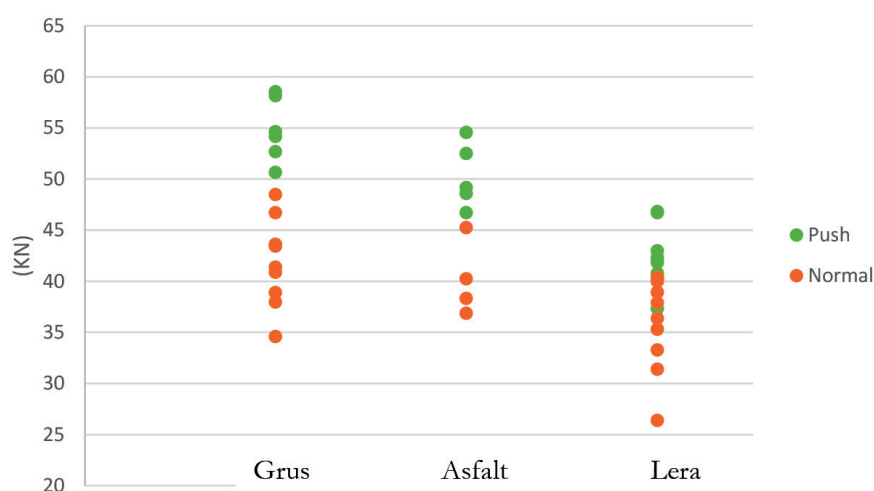
I Figur 13 redovisas den genomsnittliga förbrukningen per månad (heldraget) samt respektive fordon's korregerade medelförbrukning (Least Squares Means) under försöksperioden.



Figur 13. Genomsnittlig bränsleförbrukning per månad för de bägge fordonen samt respektive fordon's medelförbrukning över hela försöksperioden korregerad för variationen i körsträckor (LsMeans). Observera att Y-axeln börjar vid 15 ml/tonkm.

Inom projektet ETT-demo, där ett tjugotal rundvirkesfordon följts upp under flera år, har man noterat ett genomsnittligt transportarbete på ca 2,3 miljoner tonkilometer per fordon och år. Antaget en sänkning av bränsleförbrukningen i enlighet med resultaten ovan, skulle det innebära en sammanlagd besparing på 3 100 liter diesel per år och fordon motsvarande nio ton CO₂.

DRAGKRAFTSMÄTNING



Figur 14. Dragkraft för huvuddrivhjulen tillsammans med push-funktionen vid 300 bar (Push), jämfört med enbart huvuddrivhjulen (Normal). Notera att Y-axeln börjar vid 20 kN.

De teoretiska beräkningarna pekade på att ett tryck på 250 bar skulle ge en kraft på 10,6 kN (beroende på verkningsgrad). De praktiska testerna visade att trycknivåer på 239, 258 respektive 270 bar, ger en tillförd dragkraft på 9, 10 respektive 14 kN vilket överensstämmer med de teoretiska beräkningarna. Den ökade tillgängliga dragkraften ger ökad trygghet för föraren och minskar risken att köra fast vid halt och dåligt underlag, vilket tidigare varit ett problem för denna typ av fordonskombination.

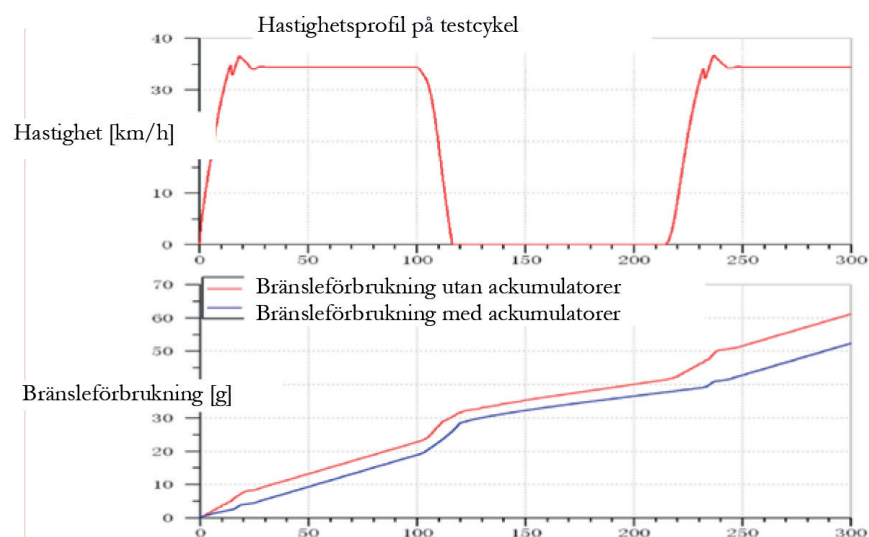
Resultatet av dragkraftsmätningarna redovisas i Figur 14 och den genomsnittligt uppmätta effekten av push-funktionen framgår av tabell 3.

Tabell 3. Resultaten av dragkraftsmätningarna på tre olika underlag.

	Grus	Asfalt	Lera
kN dragkraft utan push	42,46	40,14	34,83
kN dragkraft med push	57,10	50,29	43,81
Procentuell förändring av dragkraft	+34%	+25%	+26%

ACKUMULATORER

I projekteringsstadiet utredes möjligheten att utrusta push-systemet med hydrauliska ackumulatorer. Utförda simuleringar visade en potentiell bränslebesparing på 14 procent vid mycket låga hastigheter under en start-stoppcykel. Men, då bara ca 5 procent av transportererna sker i detta hastighetsintervall och fordonsvikten ökar på grund av ackumulatortankarna (vilket minskar den möjliga nyttolasten), blir slutsatsen att det inte är ekonomiskt försvarbart att installera ackumulatorsystem på virkesfordon för vilka start-stoppcykeln utgör en så begränsad del av transporttiden.



Figur 15. Simulering av testcykelns hastighetsprofil och simulerad bränsleförbrukning med och utan ackumulatorer.

SYSTEMVIKT

Då systemvikten bör hållas så låg som möjligt användes målvikter från alternativa system på hjälpdrift med tandemdrift, vilket ger drift på dragbilens bägge bakaxlar. Tandemdriften väger runt 300 kg. Därför var systemets målvikt satt till 300 kg. Vissa säkerhetsfunktioner för utvecklingsfas och omkonstruktion till ett annat kraftuttag än tänkt gjorde att systemvikten hamnade på 800 kg utan ackumulatorer. Den ökade vikten har en negativ inverkan på slutresultatet vid beräkning av bränsleförbrukning per tonkilometer nyttolast.

FRAMKOMLIGHET

En viktig komponent för alla fordon i trafik är att de kan manövreras i alla de situationer som kan tänkas uppstå. Från myndighetshåll och på allmänna vägar regleras detta i trafikförordningen. För det privata vägnätet, dit de flesta skogsvägar räknas, finns inget officiellt regelverk men väl en dokumenterad praxis (Löfroth, 2014).



Figur 16. Försöksfordonet under svängradietest, för att säkerställa systemets framkomlighet på skogsbilväg.
Foto: Erik Viklund, Skogforsk

För att säkerställa att push-fordonet klarar skogsvägarna gjordes ett test med koner placerade på en stor plan, figur 16. Alla situationer beskrivna av Löfroth (2014) kunde trafikeras utan problem. Även förarna har beskrivit framkomligheten för push-fordonet som god med avseende på svängradie, kurvtagning och stabilitet.



Figur 17. Push-fordonet den 9 september 2016. Provlastning av fyra travar till bruttovikt 74 ton.
Foto: Rolf Björheden, Skogforsk

Diskussion och slutsatser

Ett av projektets två huvudfrågor var att studera eventuella skillnader i bränsleekonomi och därmed minskade emissioner av att kunna lasta samma lastvikt på fyra travar i stället för tre. Av resultaten är det klart att bränsleförbrukningen kan minskas med en fyrtravarsbil. En avgörande anledning är att det är sällsynt att få volymbegränsade lass med fyra travar, vilket är relativt vanligt med tre travar (figur 11 & 12). Tendensen med volymbegränsade lass på tretravarsbilar är även tydlig på andra fordon inom ETTdemo-projektet, i synnerhet om virket fått torka lite (Widinghoff, 2014).



Figur 18. Lägre lasthöjd och mindre mellanrum mellan lastdelarna ger lägre luftmotstånd.
Foton: Rolf Björheden, Skogforsk

Från andra studier, bland annat Löfroth & Brunberg (2014) vet vi också att bara några få extra ton per vända kan sänka bränsleförbrukningen med flera procent räknat per tonkilometer. Push-fordonet i denna studie hade, utöver den större lastmängden, troligen betydligt bättre aerodynamik jämfört med referensfordonet.

Aerodynamikens effekt på den minskade bränsleförbrukningen kan dock inte beläggas, eftersom försökstiden var för kort. Men erfarenheter bland annat från Löfroth & Gelin (2015) säger att minskade avstånd mellan travarna och en lasthöjd som helst inte går över hyttaket leder till minskad bränsleförbrukning (Figur 18).

Projektets andra huvudfråga var om det är möjligt att förbättra virkesfordonens startförmåga på sliriga underlag genom att sätta en driven axel på ett av släpfordonen, vilket också har verifierats. Dragkraften som fås på gott underlag utan hjälpdrift (40–43 kN) kunde erhållas även på lerig mark när push-funktionen användes (44 kN). Detta har gett fordonet fördelar vid körning på vägar med dåligt eller halt underlag. Den stora vinsten torde ligga i att de drivande hjulen fördelas ut längs fordonstågets längd, vilket ökar sannolikheten för att någon axel har fäste.

Det hade på flera sätt varit fördelaktigt att göra detta system elektriskt, men projektets storlek och budget gjorde att den mer välkända och enklare tekniken med hydraulik användes. Ett tungt vägande skäl att inte välja elektriskt system var också säkerheten, då ett elsystem kräver en arbetsspänning på 400–800 Volt för att uppnå de effekter som en hjälpdrift skulle behöva. Men projektet visar tydligt potentialen med distribuerad drift och anvisar även möjligheter för ellastbilar att sammankoppla längre fordonståg med eldrift på en eller flera axlar. Fordonstågets längd och vikt skulle då inte begränsas av dragbilens motorstyrka och dragkraft (figur 18).



Figur 18. Exempel på dragbil med flera efterfordon med separata elektriska framdrivningssystem. De drivande hjulen är grönmarkerade.

SLUTSATSER

Av de praktiska och empiriska erfarenheter som framkommit inom projektet och genom intervjuer av användare och förare av push-fordonet kan följande slutsatser dras.

Fördelar:

- + Högre genomsnittlig lastvikt.
- + Lättare att få fullt lass.
- + Lägre bränsleförbrukning per tonkilometer.
- + Bättre framkomlighet på sliriga underlag.

Nackdelar:

- Elkontakter vid hjulen är känsliga för oxidation – måste miljösäkras.
- Konstruktionen såsom den var i konceptutförande inkräktade onödigt mycket på lastutrymmet.
- Varvtalet på pumpdrivningen var inte optimerat under studien.
- Navmotorerna medför avvikande bultmönster, vilket ger andra följgar. Måste hållas isär vid hjulbyte.
- Lastningen tar längre tid då det är svårare när virkestravarna närmast ska flätas in i varandra. Även svårt att hålla maxlängden inom 25,25 meter.

Referenser

- Asmoarp, V. & Davidsson, A. 2016. Skogsbrukets transporter 2014. Skogforsk, Webbartikel 53.
- Asmoarp, V., Enström, J., Bergqvist, M. & von Hofsten, H. 2018. Effektivare transporter på väg Slutrapport för projekt ETT 2014–2016. Skogforsk, Arbetsrapport 962.
- Björklund, L. & Fryk, H. 2014. Tester av kranspetsvågar på virkesfordon. SDC, Rapport 2014-12-16.
- Löfroth, C. 2014. Skogsbilvägar - service, underhåll och upprustning. Skogforsk,Handledning.
- Löfroth, C. & Brunberg, T. 2014. Bränsleförbrukningen hos rundvirkesfordon 2008 och 2013. Skogforsk, Arbetsrapport 820.
- Löfroth, C. & Gelin, O. 2015. ETTaero - En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. Skogforsk, Arbetsrapport 870.
- Widinghoff, J. 2014. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon. Skogforsk, arbetsrapport 831.
- Wilhelmsson, L. & Moberg, L. 2004. Viktsutredning – Råvolymvikter. Prognos för medelvärden och spridningsmått med hjälp av beräkningsmodeller och vägning vid mätstationer. Skogforsk, Arbetsrapport 569.
- von Hofsten, H. 2015a. Vägning av flis med lastmaskin. Skogforsk. Stencil 2015-12-01.
- von Hofsten, H. 2015b. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. Skogforsk, Arbetsrapport 881.
- von Hofsten, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. Skogforsk. Arbetsrapport 865.

BILAGA 1.

SPECIFIKATION AV KOMPONENTER OCH SYSTEMVIKT FÖR PUSH-SYSTEMET

Pump: Bosch Rexroth: A4VG125EP4D

Motor: Bosch Rexroth: MCR5W82oF

Komponenter	Antal	Vikt (kg)
Ackumulatorer	2	138*2
Hydraulpump	1	80
Hydraulmotor	2	46*2
Rör	28 meter	1.7*28
Hydraulvätska	30 liter	27
Säkerhetsblock	1	16
Ventiler	5	20
Kardanaxel	1	10
Hållare och konsoler		50
Övrigt		80
Summa		700

HYDRAULSCHEMA FÖR PUSHFUNKTIONEN

