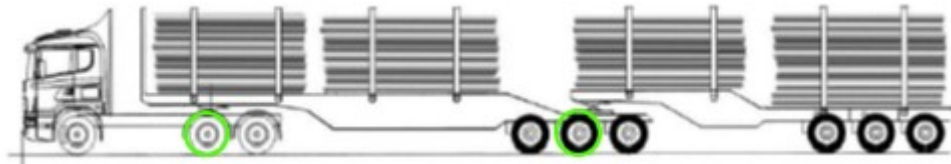


ETTpush

Projektrapport



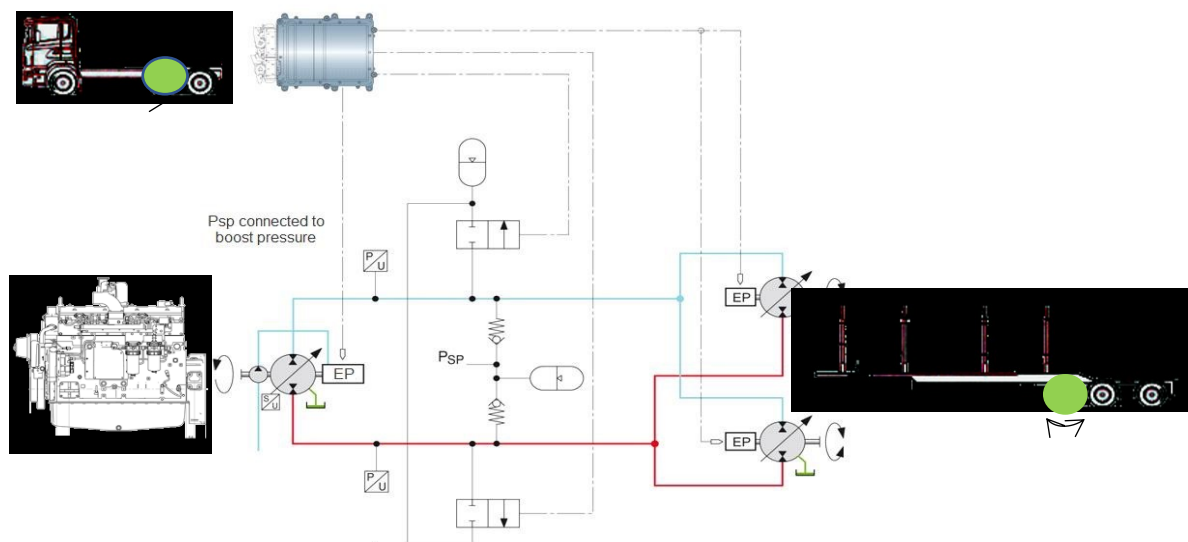
Bakgrund

En teknisk lösning som medger transport ”på rull” med något effektsvagare motorer, men ändå ger tillgång till ökat effektuttag och dragkraft vid det kritiska ögonblicket då ekipaget ska starta, skulle kunna medföra betydligt lägre drivmedelsbehov för transporten som helhet. Tillämpning av elektrisk eller hydraulisk hybriddrift med möjlig ackumulering av bromsenergi öppnar för en sådan utveckling (Figur 1). Ett sätt att ytterligare effektivisera energianvändningen är att gå från dagens system som i regel bygger på 6X4 (dvs 4 av 6 hjul på bilen är drivande) till 6X2 vilket minskar förlusterna i transmissionen med 3 %. Slutligen finns möjligheten att minska luftmotståndet inom ramen för dagens bestämmelser för maximal fordonslängd (25,25 m) genom att lasta fyra lägre virkestravar istället för de normala tre, men något högre travarna.

Genomförande

Fordonstesterna omfattar två konfigurationer, av dragbil, link och trailer, för tre respektive fyra travar med en totallängd av 22,2 respektive 25,25 m och med bruttovikten 74 ton.

Förstudier



Figur 1. Systembeskrivning av Push-funktionen i konceptfas: energioverföring från bil till linkens hjälpdraft. Drivande hjul grönmarkerade.

Bränsleuppföljning

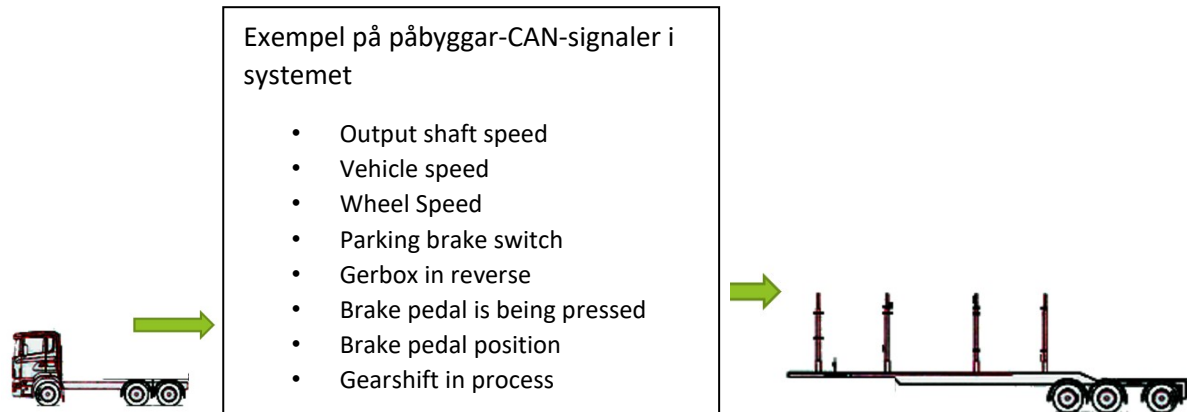
Pushfordonet och ett referensfordon med ”identisk” dragbil, har följts noggrant genom Skogforsks bränsleuppföljningsrutin Kubel, där även övriga skogliga HCT-fordon ingår. För närvarande pågår slutlig sammanställning av detta material. Det innebär att bränsleuppföljningen av Pushfordonet kommer att analyseras grundligt och jämföras med alla övriga fordonstyper som testats. Slutrapporten från Kubel beräknas vara klar kring årsskiftet 2017–2018. Det bör noteras att eventuella skillnader i bränsleförbrukning i denna del av testet inte kan härledas till Pushfunktionen utan beror på att ETTPush körts med fyra travar, som då kan hållas lägre istället för de normala tre, högre travarna. Mellanrummet mellan travarna blir också kortare, då en bil lastas med fyra jämfört med tre travar. Detta medför sänkt luftmotstånd och bör även göra det enklare att hålla full lastvikt.

Uppföljningens omfattning

Eftersom den första påbyggnaden av Pushtillsatsen havererade då den kördes efter oljeläckage så blev uppföljningsperioden, då både ETTPush och referensfordonet kunde köras i jämförbara förhållanden endast 10 månader. Under perioden transporterades drygt 138 000 ton brutto varav med Pushbilen 57 000 ton (765 lass) och 81 000 ton med referensfordonet (1 124 lass).

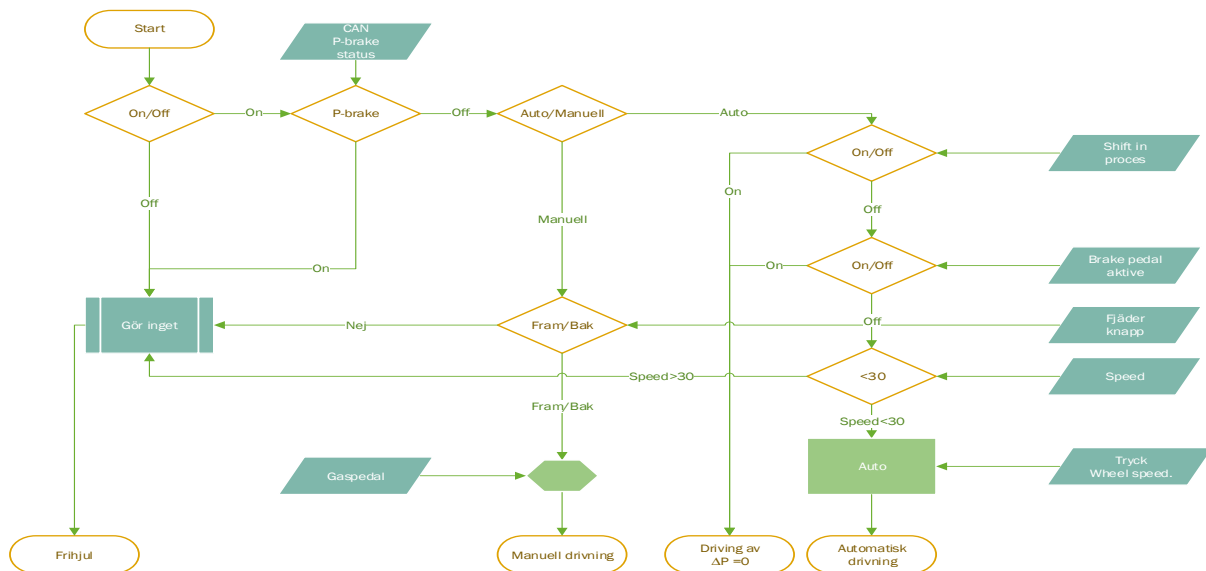
Funktion

Funktionen är integrerad med lastbilens befintliga styrsystem. Genom att lyssna på lastbilens påbyggar-CAN-bus (Figur 2) erhålls information om hur mycket kraft som ska ges och hastighetsstyrning vilket säkerställer att linken inte går snabbare än bilen.



Figur 2. Exempel på CAN-buss signaler som utnyttjas för påbyggnad

Programmeringen av styrsystemet utgick från nedanstående flödesschema (Figur 3).



Figur 3 Flödesschema för ETTPushfunktionen

Systembeskrivning och arkitektur

Valet av motor och pumpstorlek har räknats fram rekursivt baserat på behovet av dragkraft. För beräkningarna har antagits en axelvikt på 4 ton och en friktion på 0,5, vilket får anses som goda förhållanden på underlaget, vilket ger ett maximt moment vid hjulet på 6 kN (Figur 4). Pumpens designkriterier har valts utifrån valet av motor och vilken topphastighet Pushfunktionen ska kunna

erbjuda. Efter konsultation med Scania har projektet valt att inte eftersträva drivande moment i högre hastigheter än 25km/h på grund av möjliga stabilitetsproblem. Detta innebär att en pump som levererar 150 l/min bör ha tillräcklig kapacitet. Figur 4 visar utförande av beräkning av dragkraft i kN, beroende av hastighet. Systemet har möjlighet att växla ner motordeplacementet till hälften vilket medför att hastigheten dubblas vid samma hydraulväskeflöde (jämför de båda kurvorna i Figur 5).

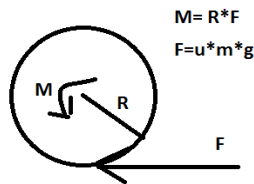
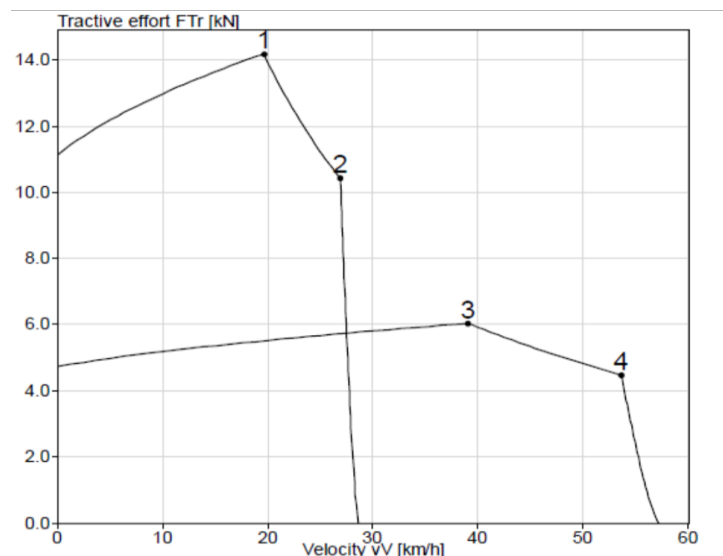


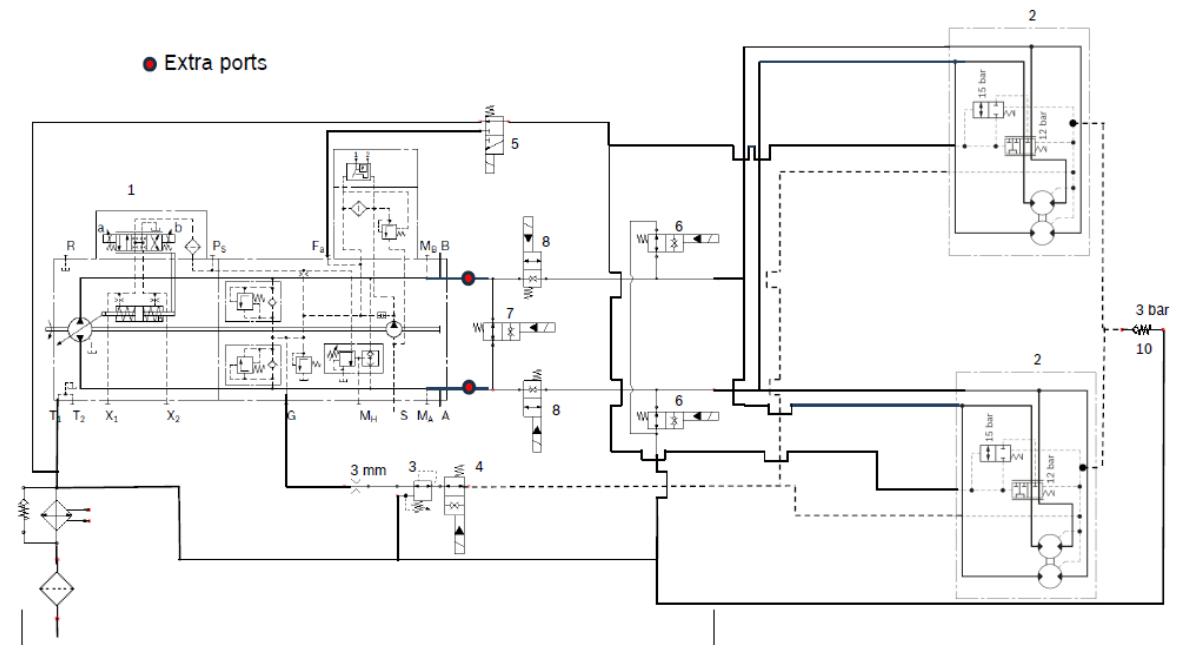
Fig 4. Skiss som visar principen för beräkning av maximalt uttagbart moment.



Figur 5. Beräkningar på dragkraften för vald hydraulmotor, även behov av tryck och flöde för pumpen kan utläsas av diagrammet.

Simuleringar och beräkningar har även gjorts på axlar och motorer avseende hållfasthet och livslängd.

Figur 6 visar systemets hydraulschema. Installationen har förberetts med uttag för att koppla in ackumulatorer för energioptimering.



Figur 6: Hydraulschema för ETTpush hjälpdrift: 1 pump, 2 motor, 3 tryckreducerare, 4 frihjul, 5 hög-/lägväxel, 6 matartryck A till tank 7 matartryck B till tank, 7 koppling, 8 blockering av matartrycket (pkt 6 eller 7).

Förstudie

Ett examensarbete utfördes i samarbete med KTH [MMK 2016_178 MKN 168] för att utreda potentialen med ett hydrauliskt ackumulatorsystem. Frågor som analyserades var ackumulatorstorlek, systemvikt, bränslebesparingspotential.

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

$$1/2 \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2) = W_a + W_r + W_p + E, \text{ där}$$

v_1 och v_2 start och sluthastighet

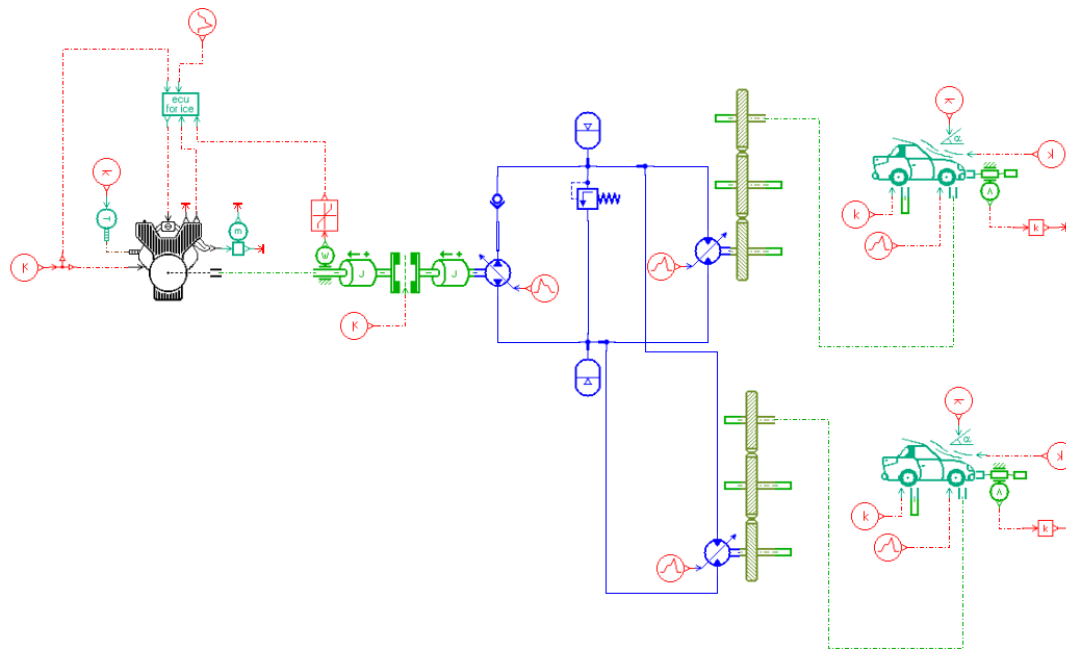
W_a luftmotstånd

W_r rullmotstånd

W_p hydraulikförluster i ackumulatorn

E övriga energiförluster i systemet

Bygget av Pushfunktionen bygger på en optimering av förhållandet komponentvikt och förmåga att lagra/leverera energi. Det är viktigt att hålla systemets storlek på så låg nivå som möjligt för att inte systemvikten ska bli för stor men ändå tillföra så mycket nytta som möjligt. En tumregel är att förladdningstrycket i ackumulatorn är 90 % av lägsta systemtrycket. Arbetstrycket är uppskattat till 225 bar så ett förladdningstryck på 200 bar är att rekommendera.



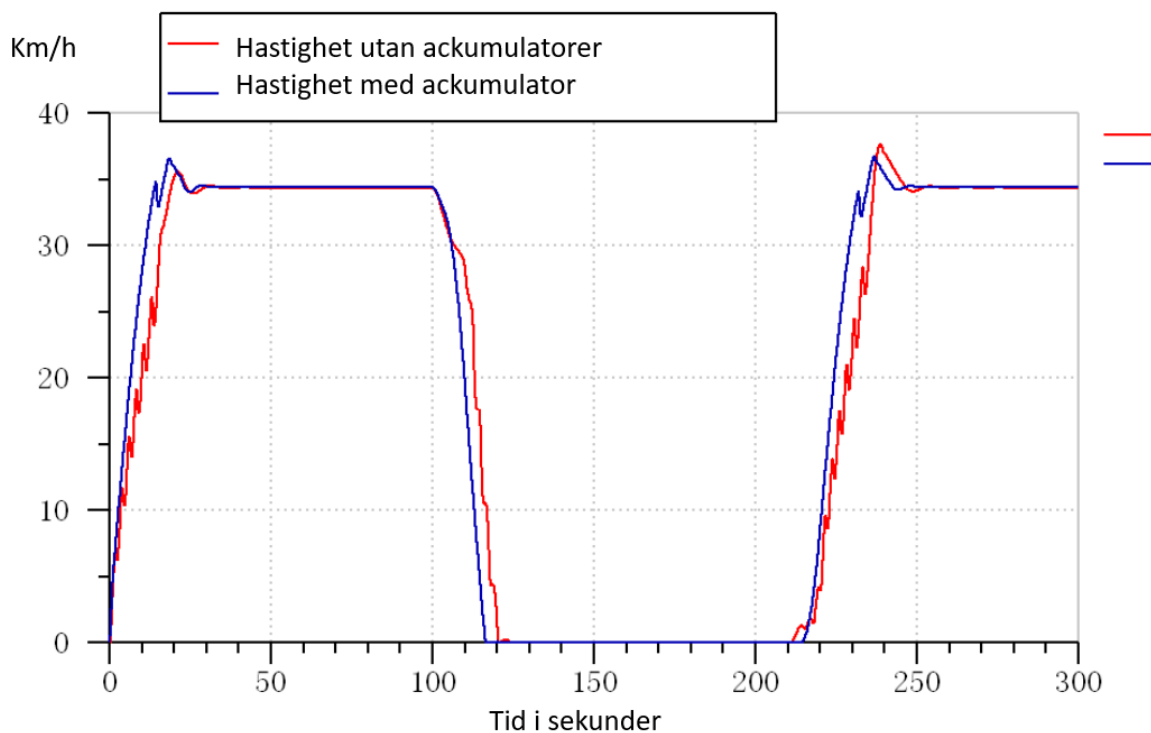
Figur 7. Modell för simulering av hydraulsystemet.

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.

Parametersättning i simuleringsmodellen

Max pumpdeplacement	125 cm ³ /varv
Max motordeplacement	820 cm ³ /varv
Akkumulatorkapacitet	57 l
Förladdningstryck ackumulator	200 bar
Fordonsvikt lastad	40000 kg
Fordonsvikt tom	20000 kg
Längd hydraulrör	32 m
Övertrycksventil	500 bar

Simuleringen fokuserar på hastigheter upp till 0-30 km/h, vilket är det hastighetsspann för vilket systemet är optimerat och där det tillför mest nytta för ökad framkomlighet.



Figur 8. Simulering av accelerations och bromsförlopp

Dragkraftsmätningar

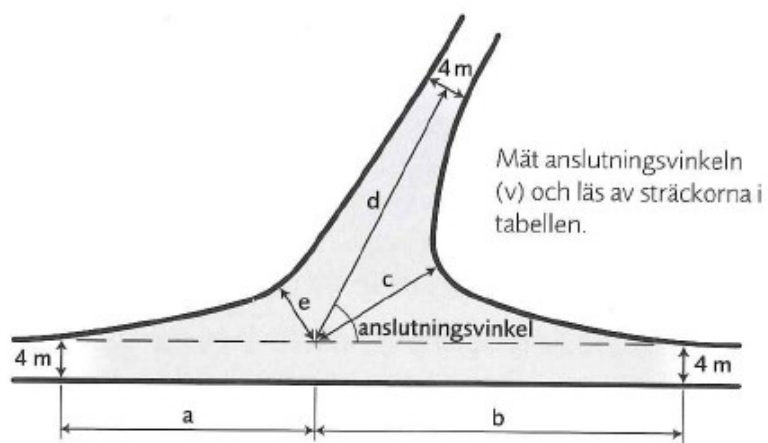
Dragkraftsproven genomfördes genom att en hjullastare fick bromsa ETTpush-bilen. Mellan fordonen monterades en dragkraftsgivare upp mellan två lyftöglor, som kan mäta krafter på upp till 20 kN.



Figur 9. Dragkraftsgivare mellan två lyftöglor som monterats mellan försöksfordonet och en hjullastare.

Framkomlighet

Ett framkomlighetstest för försöksfordonet utfördes genom testkörning på skogsbilvägar med rekommenderade vinklar och mått enligt "Skogsbilvägar service, underhåll och upprustning" (Figur 10, 11 och 17).

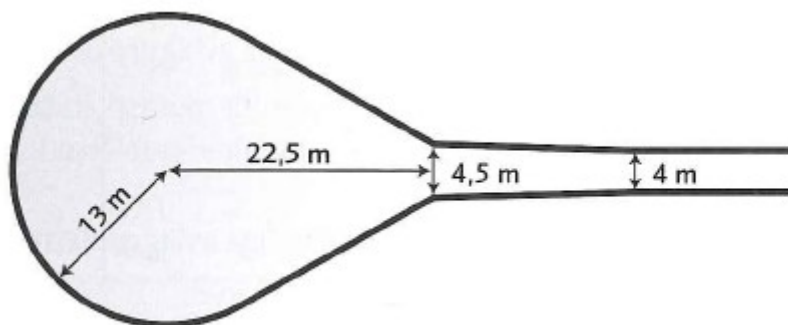


Mät anslutningsvinkeln (v) och läs av sträckorna i tabellen.

Rekommenderade sträckor i meter.

	Anslutningsvinkel, Nygrader, gon			
	70°	80°	90°	100°
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 10. Anslutning till annan väg.



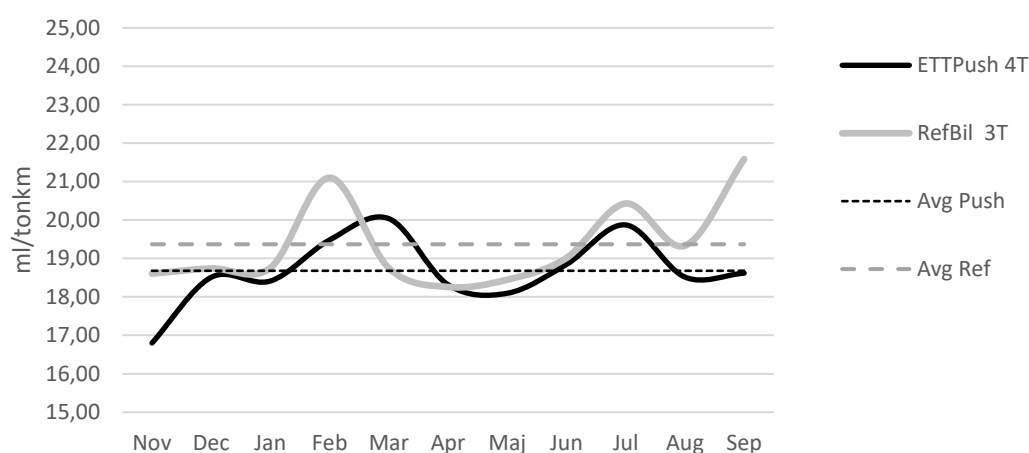
Figur 11. Vändplan vid slutet v en skogsbilväg

Resultat

Bränsleförbrukning

Den genomsnittliga bränsleförbrukningen för Pushfordonet var under denna period 18,68 ml/tonkm medan den för referensfordonet, som kördes under så likartade förhållanden som möjligt var 19,37 ml/tonkm. Skillnaden som uppmättes under de 10 månaderna då båda bilarna rullade var alltså 0,69 ml/tonkm. I Figur 12 redovisas resultatet över tid samt som genomsnitt under den period där jämförbara mätningar kunnat utföras. Emissionerna, som följer bränsleförbrukningen i stort, har då motsvarande sänkning.

Eftersom en normalprestation för en virkesbil kan ligga i storleksordningen 700-750 000 tonkm virke/år så motsvarar den uppmätta minskningen av drivmedelsbehov i detta projekt nära 1 kubikmeter bränsle per år.

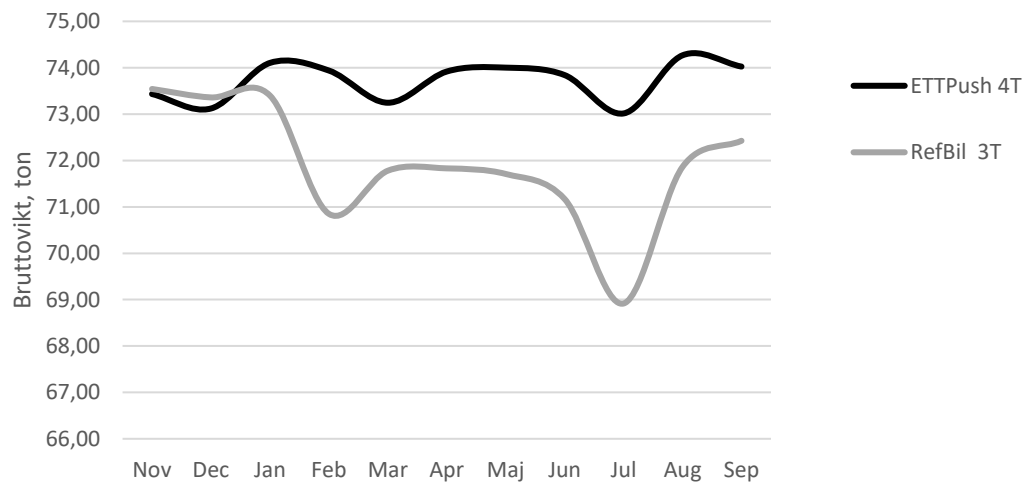


Figur 12. Bränsleförbrukning per månad, samt i genomsnitt som ml/tonkilometer brutto, för de båda testade fordonen.

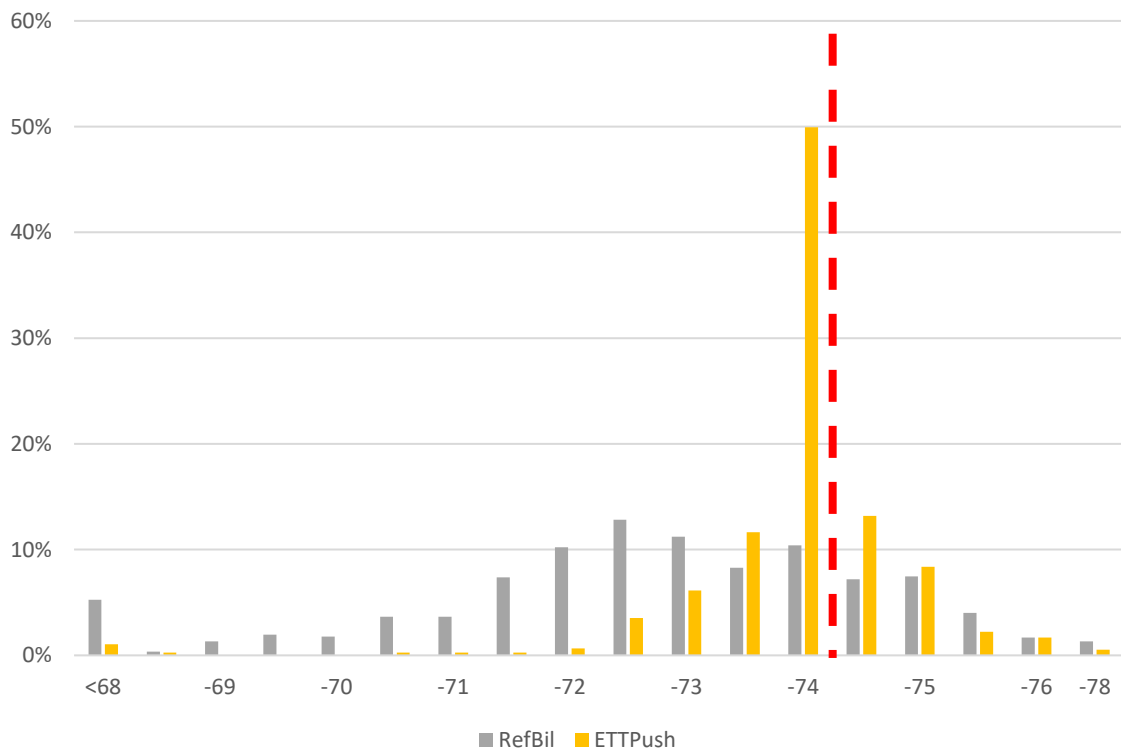
Lastfyllnad

Lastfyllnaden är av största vikt för erhållande av en god transport- och bränsleekonomi. Då 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, höjd och bredd). Detta försök visar att ett fordon som lastar fyra travar inom fordonslängden 25,25 m har betydligt lättare att uppnå full lastvikt än ett motsvarande fordon som lastas med 3 travar. Under de tio månader som ETTPush och referensfordonet jämfördes så snittade ETTPush en bruttovikt på 73,95 ton medan referensfordonet nådde genomsnittsvikten 72,72 ton (Figur 13). Man bör här komma ihåg att möjlig maximal lastvikt hos ETTPushfordonet sänks till följd av vikten på Push-systemet minus tandemdrift, ca 500 kg.

Att en bil med fyra travar ger goda möjligheter att med precision nå full lastvikt visas även genom den avsevärt lägre spridningen kring ”ideala värdet” som redovisas i Figur 14.

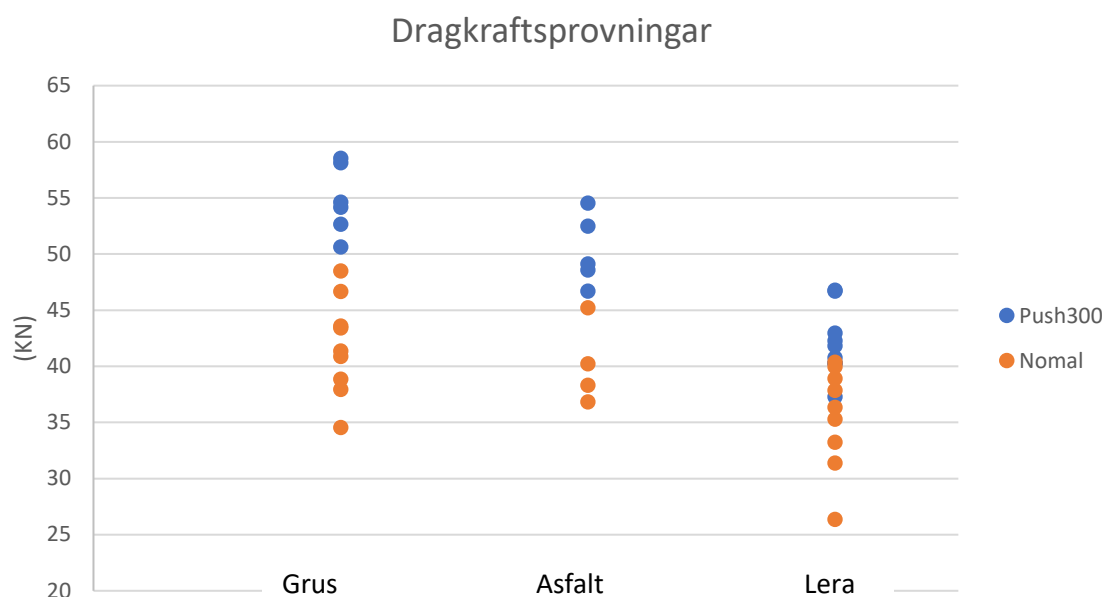


Figur 13. Genomsnittlig bruttovikt per månad i ton för de båda fordonen



Figur 14. Antal lass per bruttoviktsklass för de båda fordonen. Den streckade linjen visar tillåten maxlast. ETTPush har färre lass över tillåten maximal vikt, men ändå betydligt högre lastfyllnadsgrad och liten spridning kring idealvärdet 74 ton.

Dragkraftsmätning



Figur 15. Dragkraften hos pushfunktionen vid 300 bar jämfört med referensbilen.

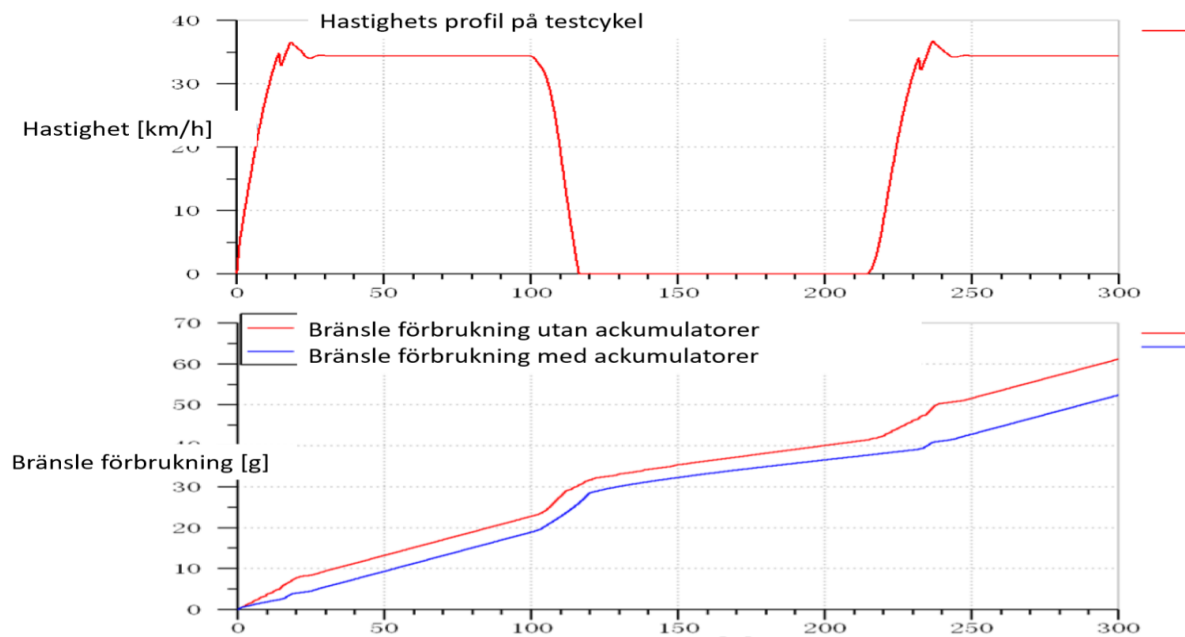
De teoretiska beräkningarna med ett tryck på 250 bar ger en kraft på 10,6 kN (beroende på verkningsgrad). De praktiska testerna visade vid trycknivåer på 239, 258 och 270 bar att funktionen ger en tillförd dragkraft på 9, 10 respektive 14 kN. Detta överensstämmer med de teoretiska beräkningarna. Den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

Resultatet av dragkraftsmätningarna redovisas i Figur 15. Igenom snitt gav Pushfunktionen de öknings i dragkraft som framgår av följande uppställning.

	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 %

Akkumulatorer

Simuleringar visar på en potentiell bränslebesparing på 14 % vid låga hastigheter vid en start- och stoppcykel. Då bara ca 5% av transportererna sker i detta hastighetsområde och fordonsvikten ökar p.g.a. ackumulatorerna (vilket minskar den möjliga nyttolasten) så är det inte ekonomiskt försvarbart att installera ackumulatorsystem på testfordonet.



Figur 2: Simulering av testcykelns hastighetsprofil och simulerad bränsleförbrukning med och utan ackumulatorer

Systemvikt

Systemvikten bör hållas så låg som möjligt. Alternativet till hjälpdrift på efterfordon är tandemdrift vilket ger drift på stödhjulet bakom det primära drivhjulet. 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 som mäter bränsle per tonkilometer nyttolast.

Framkomlighet



Figur 3. Konceptbilen ETTPush genomför svängradietest för att kunna klara framkomligheten på svenska skogsbilvägar

En viktig komponent är framkomligheten, tester enligt skogsbrukets rekommendationer för skogsbilvägar genomfördes med godkänt utfall i samtliga kategorier. Även föraren av fordonet har beskrivit framkomligheten för fordonskombinationen som god med avseende på svängradie, kurvtagning samt stabilitet.



Figur 4. ETTPush-bilen 9 september 2016 provlastning av 4 travar till bruttovikt 74 ton.

Diskussion

Projektet har visat på stor potential för ökad framkomlighet med hjälpdrift. Dragkraften som fås på bra underlag utan hjälpdrift (40–43 kN) fås även ut på lerig mark när Push är på dvs 44 kN.

Dragkraftsökningen har gett fordonet stor fördel vid körning på väg med dåligt eller halt underlag. Att kunna fördela drivande markkontakten på flera hjul fördelat över ett större område ger fördelar vid fläckvis halka.

Det hade på flera sätt varit fördelaktigt att göra detta system elektriskt, men projektets storlek och budget gjorde att den mer välkända och enklare teknik med hydraulik användes. Ett av de främsta skälen att inte välja elektriskt system var säkerhetsmässigt, då ett sådant system skulle behöva en spänning på mellan 400 – 800 Volt för de effekter som en hjälpdrift skulle behöva.

Projektet visar potentialen med distribuerad hjuldrift och anvisar även möjligheter för el-lastbilar att sammankoppla längre fordonståg med el från väg. Fordonstågets längd och vikt skulle inte begränsas av dragbilens motorstyrka och dragkraft med distribuerad krafttillförsel från varje efterfordon (Figur 5).



Figur 5 Dragbil med flera efterfordon med separata framdrivningssystem, drivande hjul grönmarkerade.

Projektet har också visat vikten av att utnyttja maximal fordonslängd. Bränslebesparingen baseras främst på att lastbilens lasthöjd har sänkts och fördelats ut på längden. Detta har även visats i vindtunnelförsök med skalmodeller av rundvirkesfordon i tidigare studier. Vindtunnelförsöken visade även att luftspalter mellan lastenheterna gav ett ansevärt bidrag till luftmotståndet. Dessa luftspalter minskar då en extra virkestrave placeras på lastbilen.



Figur 20. Lägre lasthöjd och mindre mellanrum mellan lastdelarna ger ett lägre luftmotstånd.

Praktiska erfarenheter som framkommit genom intervjuer med användaren av Push-bilen i konceptutförande är

Fördelar:

- Högre framkomlighet

- Lättare att få fullt lass

Nackdelar:

- Elkontakter vid hjulen känsliga för oxidation etc – måste miljösäkras!

- Bygget i koncept inkräktade något på lastutrymmet

- Varvtal på pumpdrivning måste justeras, var ej optimerad i konceptutförande

- Navmotorer medför avvikande bultmönster på fälgarna – skapar problem vid hjulbyte.

Bilaga 1. Specifikation av ingående komponenter och systemvikt för ETTPush-systemet

Pump: Bosch Rexroth: A4VG125EP4D

Motor: Bosch Rexroth: MCR5W820F

Komponenter	antal	vikt (kg)
Akkumulatorer	2	138*2
Hydraul pump	1	80
Hydraul motor	2	46*2
Rör	28 m	1.7*28
Hydraulvätska	30 L	27
Säkerhets block	1	16
Ventiler	5	20
Kardanaxel	1	10
Hållare och konsoler		50
Övrigt		80
Summa		700