

Slutrapport ETTdemoFlis

Johanna Enström, Anders Eriksson, Henrik von Hofsten, Daniel Noreland



Innehåll

Förord.....	3
Nomenklatur	3
Sammanfattning.....	4
Inledning och bakgrund.....	4
Längre och tyngre fordonståg i Sverige – en kort historik	5
Projektgruppen.....	6
Historik kring tillståndsprocessen	6
Försöksbeskrivning	7
Fordonet – konfiguration och funktion	7
Vägar och rutter	9
Referenskörningen som 74-tonnare	9
Vägning med Newtons andra lag	9
Resultat.....	10
Lastvikter och Lassfyllnad	10
Bränsleförbrukning och emissioner	12
Resultat från Fokus-studien.....	16
Resultat från vågstudien.....	21
Ekonomisk analys	21
Diskussion.....	23
Övriga noteringar kring projektet	25
Framtida forskningsupptag	25
Slutsatser	26
Bilaga 1	27
Referenser	28

Förord

Projektet har genomförts av Skogforsk med ekonomiskt stöd från programmet Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, FFI.

En förutsättning för projektets genomförande var även omfattande naturinsatser från de deltagande parterna: Söderenergi AB, Scania CV AB, OP Höglunds AB samt O. Lindqvist Transport AB.

Tillsammans med Skogforsk har dessa företag, ända sedan idén uppkom 2011, uthålligt drivit och praktiskt genomfört visionen om ett längre och tyngre försöksfordon på sträckan mellan Nykvarn och Igelstaverket.

Nomenklatur

I denna rapport används bland annat ett flertal olika viktbegrepp som kan vara förvirrande för den oinsatte. Nedan följer en kort beskrivning av de begrepp som används och som i möjligaste mån överensstämmer med de begrepp som används av trafikmyndigheter och i lagtexter.

Tjänstevikt: Den sammanlagda vikten av fordonskombinationen utan last men med förare, full tank och i övrigt körklart skick. Kallas ofta Taravikt vilket delvis kan vara felaktigt då taravikten kan variera betydligt beroende av exempelvis medförd utrustning såsom snökedjor, sandlådor, bränslenivå, extrautrustning m.m.

Lastvikt: Nyttolastens vikt, i detta fall främst bränsleflis.

Bruttovikt: Den sammanlagda vikten av nyttolasten och tjänstevikten (taravikten) vid varje enskilt tillfälle. Bruttovikten kan således variera mellan lassen beroende på hur mycket man lastar på.

Tillåten bruttovikt: Den maximalt tillåtna bruttovikten ett fordon eller fordonståg får ha – i detta fall 64, 74 respektive 98 ton beroende av vilken kombination som avses.

Totalvikt: Den största vikt som fordonet är konstruerat för. För de två större fordonen i denna studie är Totalvikten lika med tillåten bruttovikt men så behöver inte vara fallet. Trafikmyndigheterna kan begränsa ett fordonstågs tillåtna bruttovikt till exempelvis 64 ton trots att det är konstruerat för betydligt högre vikter. Se exempelvis (von Hofsten och Funck 2015; Anon 2018).

Lastbil: Med lastbil förstås här ett fordon som kan bära viss last själv och som kan ha ett eller flera tillkopplade släpfordon (det ljusblå fordonet i Figur 1).

Dolly: En form av släpfordon som egentligen bara är en axelgrupp som agerar stöd eller mellankoppling till ett annat släpfordon (det gula fordonet i Figur 1).

Link: Har en liknande funktion som dollyn men med den skillnaden att en link har viss egen lastkapacitet (det orange fordonet i Figur 1).

Påhängsvagn: kallas oftast Trailer, är en form av släpfordon som kräver stöd av ett fordon i framkant, exempelvis en dolly eller link (det gröna fordonet i Figur 1).

Se även (von Hofsten 2019) för mer information om hur olika fordonskonfigurationer kan se ut och hur mycket de får lastas.

Sammanfattning

Syftet med projektet har varit att studera konsekvenserna av en 34 m lång och 98 ton tung flisbil med avseende på energieffektivitet, åkarens ekonomi, funktionalitet i aktuell trafikmiljö samt studera vågsystemets noggrannhet.

Efter en utdragen tillståndsprocess för att få trafikera den aktuella sträckan, kunde fordonet tas i drift, först som 74-tonnare 2014 och sedan som 98-tonnare i februari 2020. Ett flertal studier har genomförts avseende bränsleförbrukning och vågteknik. Med utgångspunkt i de studierna har analyser av ekonomiska förutsättningar kunnat göras.

Resultatet visar att ett HCT-fordon med bruttovikter upp emot 98 ton och 34 meters längd inte har några oväntade problem att ta sig fram och fungera även i relativt tät storstadnära trafik.

Det större 98-tonsfordonet framstår som ekonomiskt fördelaktigt förutsatt att det kan lastas till bruttovikter över 80 ton, motsvarande drygt 50 ton lastvikt. I övriga fall framstår det mindre 64-tonsfordonet som mest lönsamt.

Den 74-tonskombination som testades under större delen av projektiden har visat sig vara känslig för lastmängderna och därför inte gett några positiva resultat för bränslebesparing i denna studie.

De metoder för vägning genom fordonets interna system som testades visade på allt för stora osäkerheter i mätningarna för att kunna användas för praktisk viktuppskattning.

Inledning och bakgrund

År 1983 utgjorde bibränslen 15 procent eller 52 TWh av den totala energianvändningen i Sverige. 2018 hade användningen av bibränslen ökat till 141 TWh, vilket motsvarade 38 procent av den totala energianvändningen enligt Energimyndigheten (Anon 2020). Av de 141 TWh bibränslen stod oförädlade träbränslen för drygt 15 TWh motsvarande storleksordningen 5,9 miljoner ton eller drygt 139 000 lastbilslast med konventionella 64-tonsfordon. Om istället större fordonståg med högre lastkapacitet skulle kunna användas, kunde antalet lass minskas med 10 % vid 74 tons bruttovikt eller hela 30 % vid 98 tons bruttovikt. Fördelarna är inte bara att det blir färre lass utan den sammanlagda bränsleförbrukning för att transportera hela denna mängd minskar kraftigt samtidigt som miljöbelastningen minskar i motsvarande grad och det färre antalet transporter innebär minskad olycksrisk i trafiken.

Transporterna av fasta träbränslen från skogliga industrier eller direkt från skogen sker i de flesta fall i form av flis som transporteras i sidotippande flisbilar. Söderenergis kraftvärmeverk Igelstaverket, är ett av Sveriges största bioeldade kraftvärmeverk och förbrukar ca 1,7 TWh, eller 2 miljoner kubikmeter bränsle i form av flis, årligen. Omkring hälften av detta tas in med båt direkt till Igelstaverket. Den andra hälften tas in till ungefär lika stor andel med tåg respektive lastbil. Bränslet som anländer med tåg tas det först in till den närliggande järnvägsterminalen i Nykvarn för att sen transporteras de sista två milen med lastbil då det inte var möjligt att bygga terminalen närmare kraftvärmeverket. Därför går flisbilar dagligen i skytteltrafik denna sträcka.

De frågeställningar som projektet syftar till att besvara är vilka effekter som en 34 m lång och 98 ton tung flisbil får på energieffektivitet, åkarens ekonomi samt fordonets funktionalitet i sin omgivning. I samband med att projektet initierades formulerades följande mål;

- Att aktuell fordonskombination uppfyller Transportstyrelsens krav för både välstabilitet och bakåtförstärkt stabilitet.

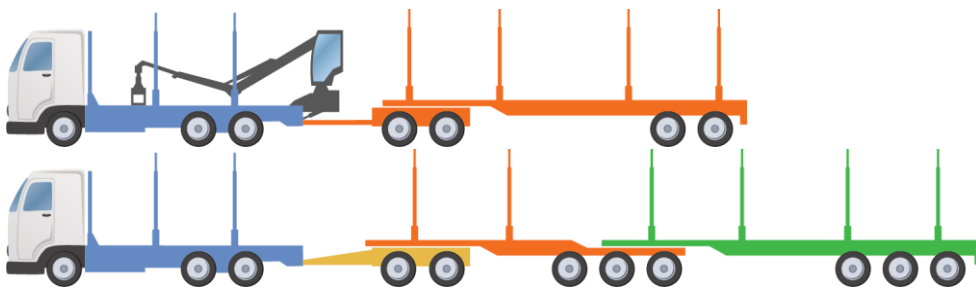
- En minskad energiförbrukning och motsvarande minskning av CO² utsläpp med 20 % jämfört med transporter med en konventionell flisbil (60 ton¹) med samma förutsättningar.
- Sänkt transportkostnad med 15 %, samt hur olika faktorer påverkar lönsamheten.
- En minskning av antalet transporter som krävs för det aktuella transportarbetet med 35%.
- En utveckling av tekniker och metoder för viktuppskattning genom fordonets eget system.
- Projektet väntas också ge teknisk kunskapsuppbyggnad hos medverkande företag.

Längre och tyngre fordonståg i Sverige – en kort historik

Sedan 2006 har Skogforsk aktivt drivit projekt efter hypotesen att längre och tyngre lastbilar ger ökad energieffektivitet och förbättrad ekonomi tack vare att en större lastmängd kan transporteras med mindre resurser. Under åren har detta bekräftats genom studier både inom Sverige och internationellt.

Åren 2009–2019 kördes en rundvirkesbil på 30 meter och 90 ton i försöksdrift mellan Överkalix och Piteå. Ekipaget har studerats inom ETT-projektet (En Trave Till) sedan start vad avser bränsleförbrukning, utsläpp, ekonomi samt trafiksäkerhet. Helt i enlighet med den ursprungliga hypotesen kunde man snart påvisa att fordonet hade en avsevärt lägre bränsleförbrukning jämfört med dåtidens vanliga 60-tonslastbilar, i genomsnitt 15–20%. Det lägre värdet avser den första ETT-bilen som, efter drygt 140 000 mil, pensionerades och byttes mot en ny bil med nya släpfordon vilka var något lättare. Denna nya bil, som nu också pensionerats efter mer än 100 000 mil, har visat sig spara 20 % i bränsleförbrukning och lika mycket i utsläpp jämfört med om samma transportarbete hade skett med 60-tonslastbilar (Löfroth och Svensson 2012; Edlund, Asmoarp m. fl. 2013; Asmoarp, Enström m. fl. 2018; Brunberg och von Hofsten 2018).

En försvårande omständighet vad gäller jämförelser av bränsleförbrukning, är att Trafikverket ändrade den maximalt tillåtna bruttovikten för sjuaxliga fordonståg från 60 till 64 ton under 2015. Även om bruttoviktshöjningen var mycket välkommen ledde det till att cirka fem procentenheter av bränslebesparingen med större fordonståg, så att säga försvann, då basen i jämförelsen blev högre (Asmoarp, Enström m. fl. 2018). Detta bör man hålla i minnet då man studerar bränslebesparingssiffror från tiden närmast efter 2015 eftersom det i vissa studier görs jämförelser med 60-tonsfordon och i andra med 64-tonsfordon.



Figur 1. Jämförelse mellan en 60(64) tons timmerbil på ca 22 meter och det 30 meter långa ETT-fordonet på 90 ton.

Även om längre fordonståg inte är något nytt internationellt, ledde de svenska erfarenheterna till att inspirera trafikmyndigheterna i flera olika europeiska länder till att studera saken närmare. Först ut var Finland där man redan under 2013 öppnade upp för 76 tons bruttovikt, med oförändrade yttermått, över nästan hela vägnätet. Samtidigt inleddes försök med längre fordonståg, upp emot 34,5 meter och 104 tons bruttovikt, se exempelvis (Heinonen 2016). Men även Norge, Danmark och

¹ Vid tiden då detta försök initierades var den maximalt tillåtna bruttovikten i Sverige 60 ton. Den höjdes senare till 64 ton.

Holland är på väg med försök att höja såväl fordonslängd som bruttovikt, om än för svenska mått i blygsammare grad. Från ca 40–50 ton och 18–20 meter till 60 ton och 25,25 meter.

I Sverige öppnades ett begränsat vägnät för 74-tonsfordon den 1 juli 2018 vilket omfattade knappt 20% av det statliga vägnätet för tung trafik – BK1 (belastningsklass 1). Det öppnade vägnätet kom att benämnas BK4, vilket mycket kort innebär att axel- och axelgruppsbelastningar i princip är desamma som för BK1 men den maximalt tillåtna bruttovikten är 74 ton. BK4-vägnätet byggs nu succesivt ut och omfattade i december 2019 knappt 22% av det statligt ägda BK1-vägnätet. Därmed har Trafikverket också slutat att ge undantag för försök med fordonståg med bruttovikter över de tillåtna på respektive vägvagnsnitt. Däremot kan man få tillstånd från Transportstyrelsen, i samarbete med Trafikverket, att köra längre fordonskombinationer och därmed även tyngre (www.EnergiEffektivaTransporter.se).

Trafiksäkerhetsstudierna inom det tidigare ETT-projektet har gjorts av VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) och har inte kunnat visa på några ökade risker med längre och tyngre fordon, även om man teoretiskt bedömer att det borde finnas en ökad risk i omkörningsmomentet. Det faktum att färre fordon krävs för att utföra samma transportarbete talar dock för att de sammanvägda riskerna i trafiken troligen minskar eller inte påverkas av längre och tyngre fordon (Sandin och Hjort 2012). En metaanalys över skillnader i olycksrisker mellan långa och korta fordonskombinationer gjordes 2008. Studien visade att olycksrisken för längre fordon generellt var något lägre jämfört med kortare fordon. Dock kunde längre fordon innebära en ökad risk i vissa trafikmiljöer såsom städer (af Whålberg 2008). Å andra sidan är det inte aktuellt att köra denna typ av transporter i stadstrafik även om delar av försökssträckan kan klassas som tätortsnära.

Som ett led i tillståndsprocessen för föreliggande försök gjorde Trafikverket beräkningar för att säkerställa att det fanns tillräcklig bärigheten hos broarna på den aktuella sträckan. I samband med detta uppmärksammades en risk som gällde påkörning av räcket på Södertälje-bron. Bron är en mycket viktig och känslig länk för infrastrukturen i regionen, vilket en tidigare incident med en mindre lastbil hade tydliggjort. Efter omfattande beräkningar av hållfastheten m.m. beslutade Trafikverket att tillstyrka vårt försök med villkoret att hastigheten över bron, med lastat fordon (över 64 ton), begränsades till 65 km/h. Detta för att säkerställa att konsekvenserna vid en eventuell olycka inte skulle bli värre än med de standardfordon som trafikerar sträckan.

Projektgruppen

Projektgruppens medlemmar har varierat något under åren innan projektet kunde dras igång på allvar. Sedan projektstart har följande personer och organisationer deltagit.

Johanna Enström och Henrik von Hofsten, Skogforsk. Projektledning, uppföljning och administration.
Jan Gustafsson, OP Höglunds. Påbyggnader och design med mera.
Gunnar Strandell och Maria Papp, Scania. Ansvariga för en del fordonstekniska studier.
Olle Ankarling, Söderenergi. Transportköpare och ansvarig för fordonslastningen.
Ove Lindkvist. Åkare och fordonsgämare.

Historik kring tillståndsprocessen

Processen för att kunna bedriva försöksdriften av det längre och tyngre fordonståg som föreliggande studie bygger på visade sig vara ett större problem än vad som först antagits. Under 2015 beviljades projektets ansökan om forskningsfinansiering från FFI. En förutsättning för att bedriva denna försöksverksamhet var då att Transportstyrelsen skulle meddela nödvändiga föreskrifter. Denna process innebar mycket byråkrati och krävde omfattande insatser av myndighetens tjänstemän och jurister samt att samtliga berörda väghållare behövde ge sitt godkännande.

Eftersom en föreskrift gäller för alla och envar innebar detta att även andra än de sökande har möjlighet att trafikera föreskriven sträcka eller del av sträckan utan krav på att pröva ny teknik eller nya konstruktioner. Myndigheten bedömde därför att föreskrifter var ett mindre ändamålsenligt instrument för att möjliggöra försöksverksamheter med längre och tyngre fordonståg. Det gjordes även en bedömning att det fanns en uppenbar risk att de meddelade föreskrifterna skulle kunna nyttjas av andra utan att det prövades ny teknik eller nya konstruktioner, vilket i förlängningen skulle kunna påverka konkurrensförhållandena inom transportmarknaden i en negativ mening. 2015 gjorde därför Transportstyrelsen en framställan till regeringen om att implementera delar av EU-direktivet 96/53/EG i Trafikförordningen. Därmed skulle en ändamålsenlig tillståndsgivning för tekniska försök och teknisk prövning för långa fordon kunna tillämpas och därmed även ett enklare handlägningsförfarande. I väntan på regeringsbeslutet av denna framställan pausade Transportstyrelsen alla föreskriftsarbeten enligt det tidigare protokollet i trygg förvisning om att regeringen snabbt skulle ta nödvändiga beslut – det tog dock två år! Under den tiden frystes alla föreskriftsansökningar utan möjlighet att komma vidare. Styrgruppen för projekt ETTdemoFlis valde då att, som ett första steg, smygstarta genom att driftsätta ett mindre fordonståg om 74 ton, se under avsnittet Fordonet – konfiguration och funktion nedan.

Först den 30 november 2017 beslutade regeringen om en ändring i trafikförordningen (SFS 2018:1284). Denna ändring innebar att från och med 1 februari 2018 fick Transportstyrelsen med stöd av bemyndigande i 4 kap. 17 d § meddela tillstånd för längre och tyngre fordonståg om det behövs för att pröva ny teknik eller nya konstruktioner. Detta innebar en avsevärt enklare och mer funktionell process för att möjliggöra forskning kring längre och tyngre fordon och fordonståg. Projektet ansökte då på nytt hos Transportstyrelsen och beviljades i juli 2018 tillstånd för försöksverksamhet på den aktuella sträckan. Tidpunkten sammanföll olyckligt med att avtalet mellan transportören och befraktaren var på väg att löpa ut. En offentlig upphandling om transporten var därför tvungen att genomföras, vilket gjorde att fordonet kunde beställas först i april 2019 efter att upphandlingen var klar. Därefter tillstötte ytterligare en del problem då tillverkare av chassi och påbyggnad hade fullt i verkstäderna vilket medförde att driftsättningen inte kunde göras förrän i februari 2020.

Försöksbeskrivning

Fordonet – konfiguration och funktion

Som tidigare nämnts stötte projektet på problem i samband med att sättet för tillståndsgivningen för fordonskombinationer större än normalt förändrades. För att inte totalt tappa framdrift i projektet beslutades att i stället satsa på en mindre fordonskombination där yttermåttarna inte överskred normalt tillåtna på någon punkt men där den maximala bruttovikten var 14 ton större än den då högsta tillåtna. Fordonet konfigurerades då enligt, Figur 2. Försöksfordonet i nioaxligt utförande med en tillåten bruttovikt om 74 ton nederst i jämförelse med ett sjuaxligt 60(64)-tonsfordon överst. Figur 2. Fördelen med ett sådant förfarande var att tillstånd för en fordonskombination som inte överskrider gällande yttermått kunde ges av Trafikverket enbart baserat på deras beräkningar av hållfasthet på aktuella broar och vägavsnitt. Den processen var förhållandevis snabb och möjliggjorde en projektstart redan i slutet av 2014.





Figur 2. Försöksfordonet i nioaxligt utförande med en tillåten bruttovikt om 74 ton nederst i jämförelse med ett sjuaxligt 60(64)-tonsfordon överst.



De avgörande skillnaderna mellan fordonen i Figur 2 är antalet axlar samt totallängden. Det övre, 64-tonsfordonet är 24 meter långt vilket innebär att EU's modulsystem medger att man använder en vagn. För detta fordon räcker fordonslängden för att man i huvudsak ska få plats att lasta upp till 64 tons bruttovikt. Det nedre fordonet mäter 25,25 meters längd, vilket är så långt EU's modulsystem sträcker sig, men då krävs att man använder dolly och påhängsvagn (Trailer). Den extra volymen som erhålls tack vare längden behövs för att få plats att lasta till 74 tons bruttovikt. Se även (von Hofsten 2019).

När tillståndet väl erhöles för det längre fordonståget kunde linken (den orange fordonsdelen nedan) inköpas och i övrigt användes de tidigare släpfordonen från 74 tonnaren, Figur 3.



Figur 3. Försöksfordonet i tolvaxligt utförande med en tillåten bruttovikt om 98 ton.

I samband med att 98-tonsfordonet driftsattes i februari 2020, inköptes också släpfordonen (dolly + trailer) från det 74-tonsekipage som tidigare gått i Götaland, där lastbilen utranterats, för att ha som backup. De aktuella släpfordonen var identiska med de som redan fanns och kunde därmed nyttjas vid de tillfällen då lastbilen inte kunde köras som 98-tonnare men väl 74-tonnare. De två fordonskombinationerna som denna studie huvudsakligen bygger på framgår av Tabell 1 nedan. Observera att det är samma lastbil i bägge kombinationerna.

	 74 ton brutto	 98 ton brutto
Fabrikat och modell	Scania R730 8x4*4	
Årsmodell	2014	
Motor och växellåda	Euro 5, 16 350 cm ³ , Opticruise	
Effekt, hk	730	
Antar axlar (varav lyftbara)	9 (3)	12 (5)
Tjänstevikt, ton	24,9	31,9
Max lastvikt, ton	49,1	66,1
Max volym, m ³ (struket mått)	147	198
Lastindex ²	1,97	2,07

² Lastindex beräknas som max lastvikt dividerat med fordonets tjänstevikt. Ett högt lastindex innebär hög andel nyttolast.

Tabell 1. Grunddata för de två fordonskombinationer som använts i denna studie. Observera att det är samma lastbil i bägge kombinationerna.

Chassina till samtliga släpfordon är byggda av Parator industri medan påbyggnaderna (skåpen) till 98-tonsekipaget är byggda av OP-system och påbyggnaden till den senare inköpta påhängsvagnen av Eksjö Maskin och Truck. I det senare fallet efter samma ritning som OP-system använde.

Samtliga fordon i denna studie har ägts och driftsatts av Ove Lindqvists åkeri.

Vägar och rutter

De vägar man haft tillstånd till att köra på har hela tiden varit sträckan från Nykvarnsterminalen i Mörby industriområde till Igelstaverket i Södertälje, en sträcka på lite drygt 20 km varav ca 15 km är motorväg. Övriga vägar är belagda tätortsnära vägar med begränsad hastighet och ett flertal cirkulationsplatser. Terminalområdet i Nykvarn är helt plant och erbjuder inga särskilda utmaningar medan Igelstaverket ligger i en brant slänt där bränsleplanen ligger högt med en brant och krokig körning upp. Periodvis har man även kört upp material från hamnen nedanför Igelstaverket till Nykvarn. Särskilt infarten till hamnen kan vara utmanande då grindarna står alldeles i vägkanten där man ska svänga höger in mellan dem. Med de mindre fordonen går det bra men med 98-tonnaren är man tvungen att göra en extra krok för att ta ut svängen och komma mer rakt in mellan grindarna.

Referenskörningen som 74-tonnare

Under perioden december 2014 till och med juli 2017 kördes fordonet i princip som ursprungligen planerat, men med lägre bruttovikter. Mycket av de studier som var planerade för ett 98-tonsfordon fick då göras på det mindre, 74-tonsfordonet. Bland annat genomfördes uppföljningar av bränsleförbrukning via KUBEL (Kontinuerlig Uppföljning av Bränsle, Emissioner och Lassfyllnad) och studier av om det går att uppskatta ett fordonets vikt med hjälp av Newtons andra lag.

KUBEL-systemet användes allmänt inom ETT-projektet för att följa, främst de olika virkesbilarna men även de två andra 74-tonns flisbilarna som fanns, dels i Småland, dels i Dalarna. Resultaten från dessa finns publicerat i bland annat (Brunberg och von Hofsten 2018). Under senare delen av 2017 avslutades projekten knutna till KUBEL dels då det bedömdes att inga nya erfarenheter kunde inhämtas den vägen, dels eftersom KUBEL-uppföljningen krävde en viss insats från chaufförerna, en insats som ofta haltade betänkligt.

Istället fortsattes uppföljningarna inom det så kallade SamDemo-projektet vilket initierats och finansieras av Trafikverket. I SamDemo ingår nästan samtliga HCT-fordon i Sverige, även icke skogliga. Uppföljningen sker kvartalsvis istället för per lass där åkerierna skickar in data till Skogforsk om lastmängder, körda kilometer samt använd bränslemängd. Resultaten från SamDemo blir naturligtvis inte lika precisa men ställer heller inte samma krav på förarna att notera vägmätarställningar, start- och stoppunkter m.m. för varje lass.

Vägning med Newtons andra lag

I arbetet med längre och tyngre fordon diskuterades 2015, både i Sverige och i EU, hur man ska säkerställa att tunga fordonståg hålls inom de gränser som satts upp för axel-, axelgrupps- och bruttovikter. En lösning som diskuterades var att fordonet kontinuerligt skulle kunna ge föraren denna information. Dessutom diskuterades att införa ett system som loggar position, hastighet och vikt hos tunga fordonskombinationer och som skickar dessa data vidare för efterkontroll och eventuella sanktioner. I ett förslag från EU (25 november 2014) om att förändra mått- och viktdirektivet 96/53/EG, fanns ett krav på att föraren och omgivningen alltid skulle ha tillgång till fordonsgenererad bruttovikt. Att utveckla tillräckligt tillförlitlig teknik för att kunna användas juridiskt

var därför en utmaning och ett steg i riktning mot acceptans för längre och tyngre fordonskombinationer.

Scania genomförde försök med försöksfordonet i 74-tonsförande vintern 2015–16 där man loggade tre olika datamängder för att sedan jämföra dem och analysera om de kunde användas enskilt eller tillsammans för att uppnå de eftersökta vikterna med tillräcklig noggrannhet (Strandell, 2016). De vägningsystem som testades var:

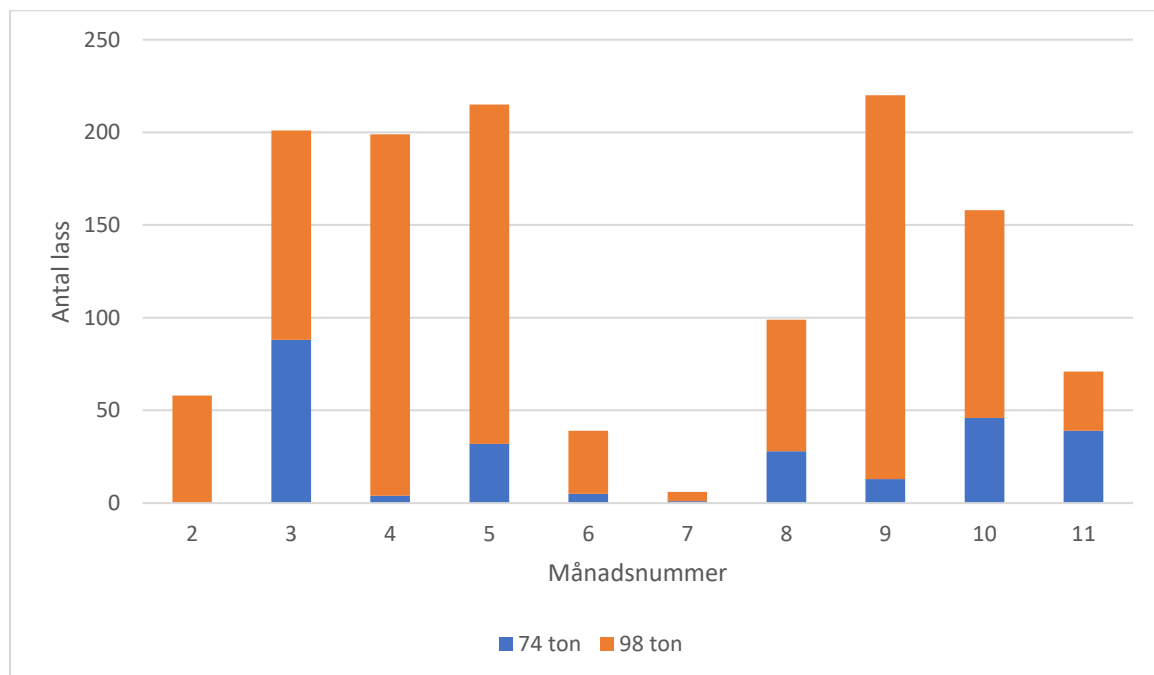
- Lufttrycket i fjädringen, vilket registreras per axel eller axelgrupp.
- Newtons andra lag, $F=m \cdot a$. Acceleration och retardation före, under och efter en växling ger ekvationer med konstant massa (m) och olika värden på kraft (F) och acceleration (a).
- Accelerationsförändringar som använder ett tidsderivat av accelerationen under korta perioder för att eliminera påverkan av konstanta faktorer i väglutning och rullmotstånd.
- Som jämförelse vägdes fordonet före och efter varje lass på en vågbrygga.

Resultat

Först i februari 2020 kunde 98-tonsfordonet tas i bruk på allvar och i samband med det återstartades en noggrannare uppföljning av fordonet med vikter för varje lass och bränsleförbrukning per vecka. Om inget annat sägs baserar sig resultaten i denna rapport på data från och med vecka 8, 2020 till och med vecka 49, 2020.

Lastvikter och Lassfyllnad

Redan första månaden levererades totalt 58 lass med en genomsnittlig lastvikt på knappt 64 ton motsvarande 97,4% av max tillåten lastvikt om 66,1 ton. Körningarna kunde sedan fortsätta under våren och försommaren med huvudsakligen 98-tonslast även om man vissa veckor fick köra med det mindre släpet (max 74 ton) bland annat för att infarten till hamnområdet vid Igelstaverket är för trång för den långa kombinationen. Antal lass per bruttovikt och månad framgår av Figur 4.



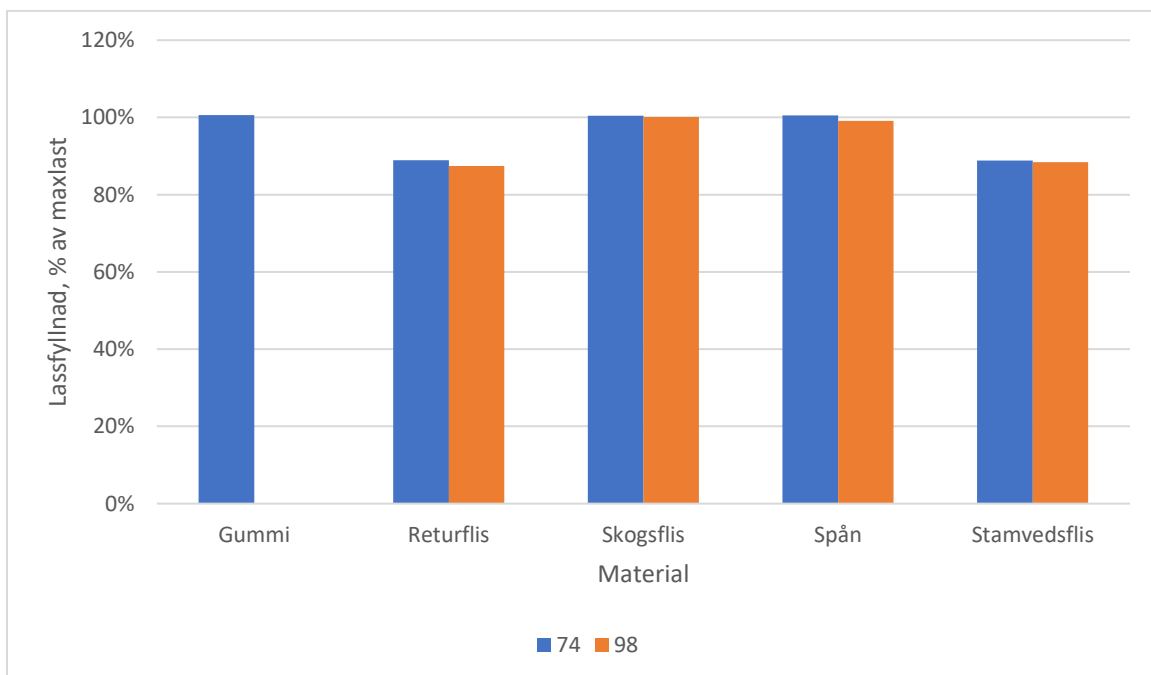
Figur 4. Antal lass per bruttovikt och månad för de två kombinationerna.

Periodvis har det varit svårt att få önskvärd mängd körning beroende på det varma vädret hösten 2020. Att antalet lass varit lågt under sommarmånaderna är fullt normalt men från och med oktober

brukar det vara full fart på inkörningen. Fordonet har dock använts något mer än vad som framgår av Figur 4 för transporter av annat gods än trädränslen, då som 74-tonnare. Dessa lass är varken medräknade här eller senare i denna rapport då närmare information om lassens beskaffenhet såsom viktdata saknas.

Avgörande för att få ekonomi på lastbilstransporter är inte bara att ha hög utnyttjandegrad – antal timmar på dygnet som lastbilen utnyttjas. Minst lika viktigt är att lastkörningsgraden och lassfyllnaden hålls höga. Lastkörningsgraden är den procentuella andelen av total körsträcka som lastbilen går med last. I detta fall är lastkörningsgraden ca 48% som ett genomsnitt över försöksperioden. Vissa veckor har man kunnat köra lastade åt båda håll genom att köra en typ av material till värmeverket och en annan typ från hamnen nedanför värmeverket till Nykvarn, men det är ovanligt. Att lastkörningsgraden blir mindre än 50% beror på att det alltid förekommer en viss mängd körning som inte är direkt relaterad till transporten såsom verkstadsbesök, och den sker alltid med olastat fordon.

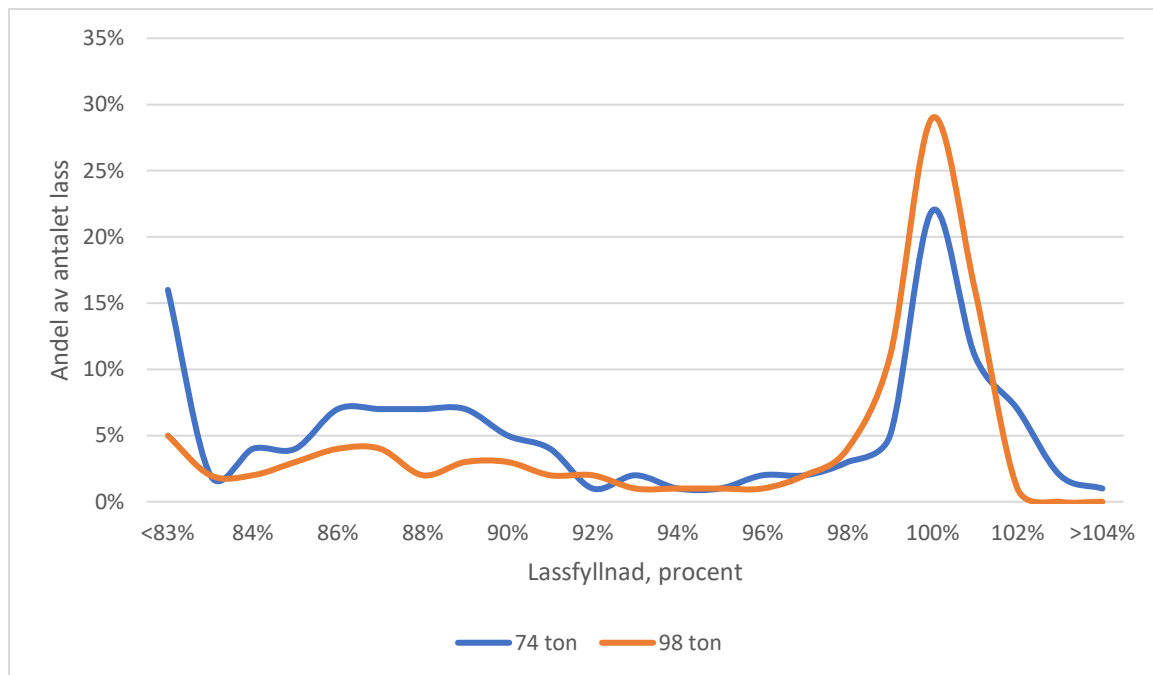
Transportersättningen sker i de flesta fall som ett pris per tonkilometer varför lassfyllnadsgraden är väsentlig för ekonomin. Lassfyllnadsgraden beräknas som lastad mängd gods i relation till maximalt tillåten lastvikt. Beroende av materialets egenskaper och volymvikt är det inte ovanligt att materialet är så lätt att full lastvikt inte är möjlig att uppnå. Lassfyllnadsgraden blir då under 100%. Under försöksperioden har ett flertal olika trädränslen transporterats samt 47 lass med gummikross vilket används som "turbo boost" i pannan i vissa fall, Figur 5. En genomsnittlig lastfyllnadsgrad över 100% är i praktiken inte önskvärd då det innebär att fordonet regelmässigt är överlastat. Däremot är det önskvärt att ligga nära 100%.



Figur 5. Genomsnittlig lassfyllnadsgrad beroende av fordonskombination och transporterat material.

Sågspån och skogsflis (GROT-flis) är de material som ger bäst lassfyllnad och också varierar minst i volymvikt. Returflis är oftast gammalt rivningsvirke som är mycket tørt och lätt medan stamvedsflis oftast har sitt ursprung i rötved, klena stammar och barkborreskadat virke. Även stamvedsflis har oftast torkat så pass att volymvikten är att jämföra med returflis. Figur 6 ger en bild av hur vikterna för de enskilda lasserna varierar där X-axeln visar lassfyllnaden för respektive fordonskombination och Y-axeln visar andelen lass per fordonskombination som kunnat lastas till respektive lassfyllnad. Som

synes är det en ganska bra topp kring 100% lassfyllnad men det är ändå bara 20–30% av lassen som når dit. Sedan är det ett stort antal lass som är lättare samt några som blivit tyngre. Form och höjd på kurvorna i Figur 6 stämmer väl med vad som observerats i tidigare studier av såväl rundvirkes- som flisfordon (Enström och von Hofsten 2015; Björheden, Gelin m. fl. 2018).



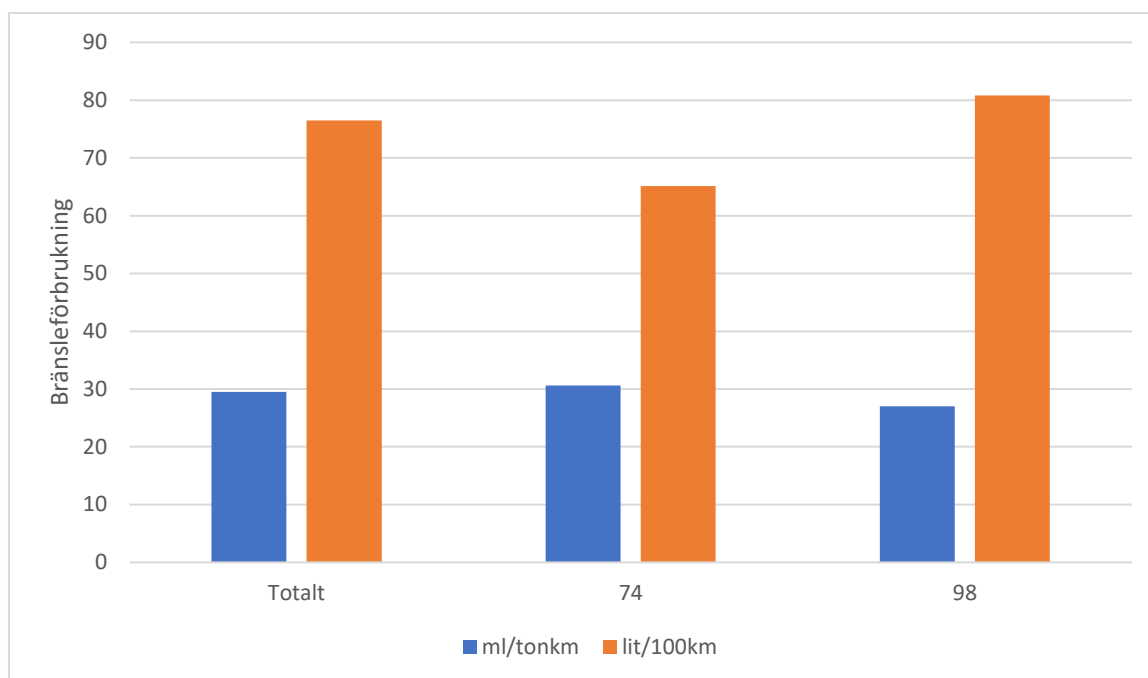
Figur 6. Andel lass per lassfyllnadsgrad för de bägge fordonskombinationerna. Den topp som bildats kring <83% lassfyllnad beror på att en del lass gått med mycket lätta material.

Särskilt för 74-tonskombinationen är det många lass som blivit lättare än 83% lassfyllnad, motsvarande 60 ton bruttovikt. En del av de lassen är returflis som körts på vägar som inte medger 74 tons bruttovikt. Men även spannet mellan 84 och 90% lassfyllnad är till mycket stor del retur- eller stamvedsflis som är så lätt att fulla lastvikter inte kunnat nås.

Bränsleförbrukning och emissioner

Bränsleförbrukningen loggas automatiskt av Scantias Fleet Managementsystem och lagras i en speciell portal som Skogforsk fått tillgång till. Även om systemet läser av förbrukningen med mycket hög upplösning lagras den i aggregerad form men det går att ta ut data per timme eller längre tidsperioder. Vad gäller mätprecisionen i Fleet Management-data har vi sett en viss felvisning som visserligen påverkar nivån på bränsleförbrukningen en del men inte förhållandena mellan fordonskombinationerna, se mer under Fokus-studier nedan.

Då man diskuterar bränsleförbrukning för lastbilar används normalt två enheter. Dels förbrukning per 100 km, dels förbrukning per tonkilometer (lastvikt multiplicerat transporterad sträcka) det vill säga transportarbetet. Det senare värdet är det som kommer att diskuteras mest i fortsättningen eftersom det medger god jämförelse mellan olika fordonskombinationer oavsett vikt och storlek.



Figur 7. Bränsleförbrukning per tonkm respektive 100 km beroende av fordonsstorlek. Totalt är fordonskombinationerna tillsammans.

Den genomsnittliga bränsleförbrukningen för de bägge kombinationerna samt totalt, framgår av Figur 7. Som väntat drar den mindre kombinationen mindre bränsle per 100 km men mer per tonkilometer eftersom den tar mindre last. Skillnaden per tonkilometer är ca 13% vilket är i nivå med vad man kunnat förvänta sig med tanke på resultaten från liknande studier av rundvirkesfordon (Asmoarp och Jonsson 2014).

En kovariansanalys av materialet aggregerat per vecka, med ml/tonkm som beroende variabel samt lassfyllnadsgraden och max bruttovikt som oberoende, ger ingen tydlig statistisk effekt. Därtill är spridningen i lassfyllnad för stor. Möjligen skulle det gå bättre om analysen gjordes per lass men tillförlitligt dataunderlag för det saknas i denna studie, dessutom är lassfyllnaden väldigt skev (Figur 6) vilket försvårar tolkningen av resultaten. Alternativt hade man kunnat analysera med lastad volym som beroende variabel men det saknas mått på den. Enligt utsago från chaufförerna är det dock så att om materialet är lätt lastar man med betydande råge för att få med så mycket som möjligt medan tungt material ibland inte kan lastas ens till struket mått.

Tyvärr har Söderenergi inte haft någon mindre flisbil på 60–64 ton, som gått i reguljär trafik på den aktuella teststräckan (en sådan sattes endast in under en kort period för att genomföra fokusstudien). Därav följer att något riktigt bra jämförelsematerial med längre mätningar inte finns att tillgå. I en studie från 2016 gjordes en analys av skogliga virkesbilars bränsleförbrukning under två olika veckor, vår och höst 2016 (Brunberg, Löfroth m. fl. 2017). I rapporten sårhölls inte de 27 flisbilar som ingick i materialet, men data finns kvar och har studerats i efterhand för att kunna ge jämförelsevärden till denna analys, Tabell 2.

Max Bruttovikt	Antal fordon	Medellastvikt	Lastfyllnad, %	Bränsleförbrukning	
				lit/100 km	ml/tonkm
60	1	30,70	74,8	57,00	29,22
62	7	33,03	81,7	49,14	24,55
64	19	36,61	88,9	53,37	25,37

Medelvärden		35,46	86,5	52,41	25,30
-------------	--	-------	------	-------	-------

Tabell 2. Bränsleförbrukningsdata för flisfordonen i en studie 2016 av skogsfordon (Brunberg, Löfroth m. fl. 2017).

Eftersom det är så få fordon i klasserna 60–62 ton har medelvärdena från alla tre fordonsstolekarna använts vid jämförelsen.

Max Bruttovikt	Lastvikt, ton	Bränsleförbrukning	
		lit/100 km	ml/tonkm
≤ 64 ton	35,46	52,41	25,3
74 ton	43,68	65,10	30,55
98 ton	60,69	80,78	27,00

Tabell 3. Lastvikt och bränsleförbrukning från (Brunberg, Löfroth m. fl. 2017) respektive från de två fordonskombinationerna i denna studie.




Utifrån resultaten i Tabell 3 har bränsleförbrukningen snarare ökat än minskat i och med införandet av större fordonskombinationer. För 74-tonnaren med hela 20% jämfört med de mindre fordonskombinationerna och för 98-tonnaren med 6,7 %, allt räknat på förbrukningen per tonkilometer. Varför det blivit så, tvärt emot hypotesen om kraftigt minskad bränsleförbrukning, är svårt att ha någon säker uppfattning om. Troligt är dock att fordonen i Brunbergs studie haft helt annorlunda topografi och transportuppdrag jämfört med de två större fordonskombinationerna i denna studie. Exempelvis var det genomsnittliga transportavståndet i Brunbergs studie drygt 85 km jämfört med 20 km för de stora fordonskombinationerna i denna studie. Det är välkänt att när transportavståndet ökar, ökar också andelen bra vägar, vilket sänker bränsleförbrukningen (Ranta och Rinne 2006).

Fokus-studie

Fokusstudien är ett sätt att studera bränsleförbrukning som, till skillnad från driftuppföljningen tidigare, följer de studerade fordonen under en kort men intensiv tidsrymd, längs samma vägsträcka och där de transporterar samma typ av material. Allt för att minska risken för ovidkommande skillnader i resultaten.

Fokusstudien hade i detta fall två ambitioner. Den första var att inbördes jämföra tre olika fordonskombinationer (tabell 4) under körförhållanden som var så lika som möjligt. Resultatet av jämförelsen, som alltså gäller den specifika fallstudien, presenteras i aggregerad form i termer av genomsnitt för lassfyllnadsgrader och energiekonomi. Den andra ambitionen var att ta fram mer generaliserbar information, som kan användas för att analysera en godtycklig körning med avseende på ekonomi och energianvändning. Detta gjordes genom att koppla CanBusens detaljupplösta data till geografisk information från Lantmäteriet.

De nyttjade fordonen var den stora lastbilen i föreliggande studie med endera det mindre släpet (74 ton) eller de större (98 ton). Som referens användes en vanlig treaxlig flisbil med ett för den väl anpassat släp (64 ton). Tabell 1 kan således utökas med ytterligare ett fordon.

	 64 ton brutto	 74 ton brutto	 98 ton brutto
Fabrikat och modell	Scania R560 6x2*4	Scania R730 8x4*4	
Årsmodell	2011	2014	
Motor och växellåda	Euro 5. 15,6 lit. Opticruise	Euro 5. 16,4 lit. Opticruise	
Effekt, hk	560	730	
Antar axlar (varav lyftbara)	7 (1)	9 (3)	12 (5)
Tjänstevikt, ton	21,7	24,9	31,9
Max lastvikt, ton	42,3	49,1	66,1
Max volym, m ³ struket mått	140	147	198

Lastindex	1,95	1,97	2,07
-----------	------	------	------

Tabell 4. Grunddata för de tre fordonskombinationer som användes i Fokus-studien.

Huruvida de två lastbilarna är fullt ut jämförbara kan alltid diskuteras och har så gjorts ett flertal gånger då Fokus-studier genomförts under ETT-projektets gång. Ska man jämföra lastbilar som är så lika som möjligt, endast med olika storlek på släp, eller ska man jämföra fordonskombinationer som är så väl anpassade som möjligt för sin respektive viktklass och transportuppgift? Kombinationer med lägre maximal bruttovikt kan då ofta drivas av mindre motorer och utan tandemdrift. Författarna till denna rapport anser att det senare ger en mer rättvis jämförelse av effekten av tillåten bruttovikt. I slutändan är det dock oftast en fråga om vad som finns att tillgå för den praktiska studien. Den större motorn krävs helt klart för ett 98-tonsekipage och även för ett 74-tonsekipage med tanke på de motlut som förekommer inne på värmeverket. Inom ETT-projektet har de flesta 74-tonnare haft 730–750 hästkrafter men några mindre har förekommit, då vanligen i lättare topografier. Referensbilen i denna studie var betydligt mindre och dessutom tvåhjuldriven, vilket gör att den rullar lättare. Med den vikten och den aktuella topografin behövs inte mer för arbetsuppgiften.

Skillnaden i volym mellan 64-tonnaren och 74-tonnaren är 7 m³ eller 7 ton i lastvikt. Att volymskillnaden inte är större beror på att 74-tonnaren är begränsad dels av högsta tillåtna tåglängd om 25,25 meter, dels av att den därmed är tvungen att rätta sig efter EU's modulsystem vilket gör att maximal bredd är 2,55 meter jämfört med 64-tonnarens tillåtna 2,60 meter, se även (von Hofsten och Funck 2015; Anon 2018).

Fokus-studien lades upp enligt ABba-metoden där bägge fordonen körde samma sträcka mellan punkt A och B med last, och från punkt b till a utan last (ABba). Punkterna i denna studie var Nykvarnsterminalen där fordonen lastades och Igelsta kraftvärmeverk där de lastades av, en sträcka på ca 20 km enkel väg. ABba-metoden har tidigare använts i flera liknande studier på såväl rundvirkes- som flisfordon (Edlund, Asmoarp m. fl. 2013; Asmoarp och Jonsson 2014; Asmoarp, Jonsson m. fl. 2015). Här bör dock påpekas att dessa studier gjordes precis i övergången från 60 till 64 ton vilket gör att jämförelser med denna studie måste göras med försiktighet.

Denna Fokus-studie genomfördes veckorna 38 till och med 43, 2020. Innan studien påbörjades installerades en särskild CanBus-logger i vardera lastbilen som via en induktiv givare avlyssnar CanBus-aktiviteten i fordonet. På så vis kan signaler såsom fart, momentan bränsleförbrukning, motorvarvtal osv spelas in med en upplösning på 10 Hz. Dataloggern innehåller även en GNSS-mottagare, som på sekundnivå registrerar fordonets position. De inspelade dataströmmarna skickas via mobildatanätet till en server för vidare bearbetning. Fördelen med dataloggern är att den ger en mycket högre detaljskärpa än vad som är möjligt via Fleet Managementsystemet.

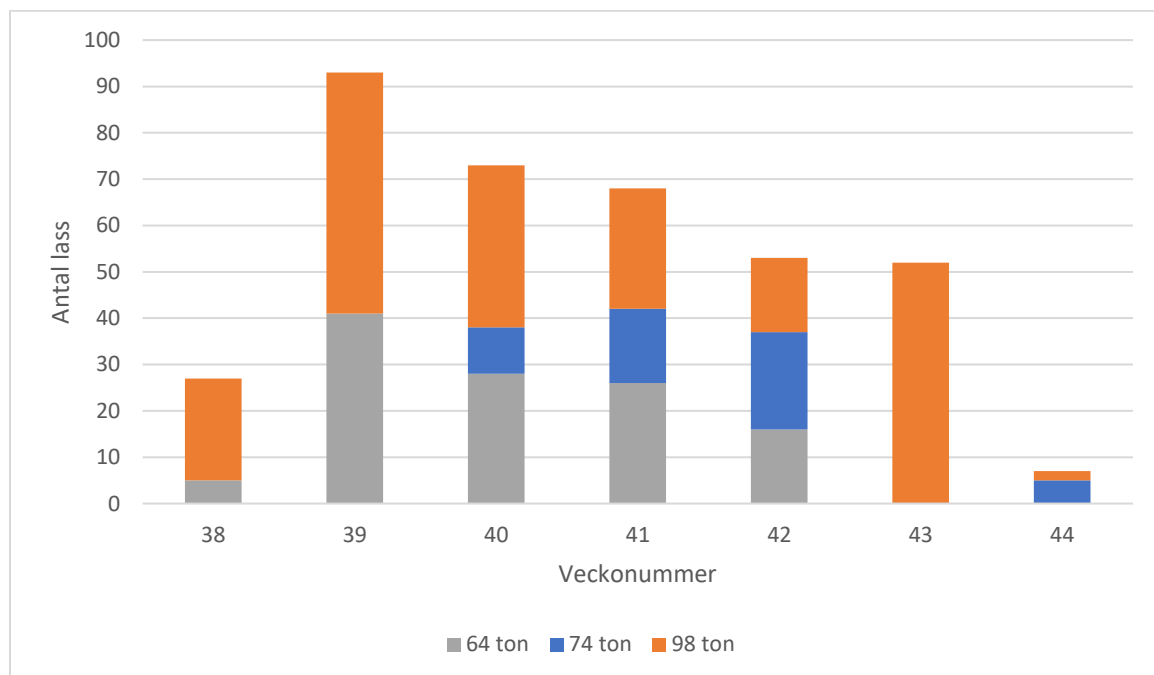
Eftersom referensfordonet inte var uppkopplat mot Fleet Management kunde inte detaljerade bränsleförbrukningssiffror hämtas den vägen. I stället monterades ett extra räkneverk på slangen till tankningsutrustningen som båda fordonen använde (fortsättningsvis kallad "Slangmätaren"). Chaufförerna uppmanades att notera datum, bränslemängd och vägmätarställning för varje tankning, vilket alltid skedde i samband med skiftslut på eftermiddagen. För den större lastbilen noterades även huruvida den kört som 74- eller 98-tonnare. I samband med att försöket avslutades kontrollerades mätnoggrannheten för slangmätaren genom att en dunk fylldes till ett femtontal olika nivåer mellan 8–15 liter, varefter dunken vägdes. Utifrån vätskans densitet kunde sedan den faktiskt tankade volymen beräknas, och därmed även en korrektionsfaktor för slangmätaren. Densiteten bestämdes med pyknometer och analysvåg utifrån bränsleprovet taget från åkeriets tank. Även om densiteten varierar något med temperaturen var den variationen så liten under fokusstudien att det inte påverkar resultaten av fokusstudien signifikant.

Åkeriet kör sina fordon uteslutande på HVO100, som tankas ur en egen tank på terminalen i Nykvarn.

Resultat från Fokus-studien

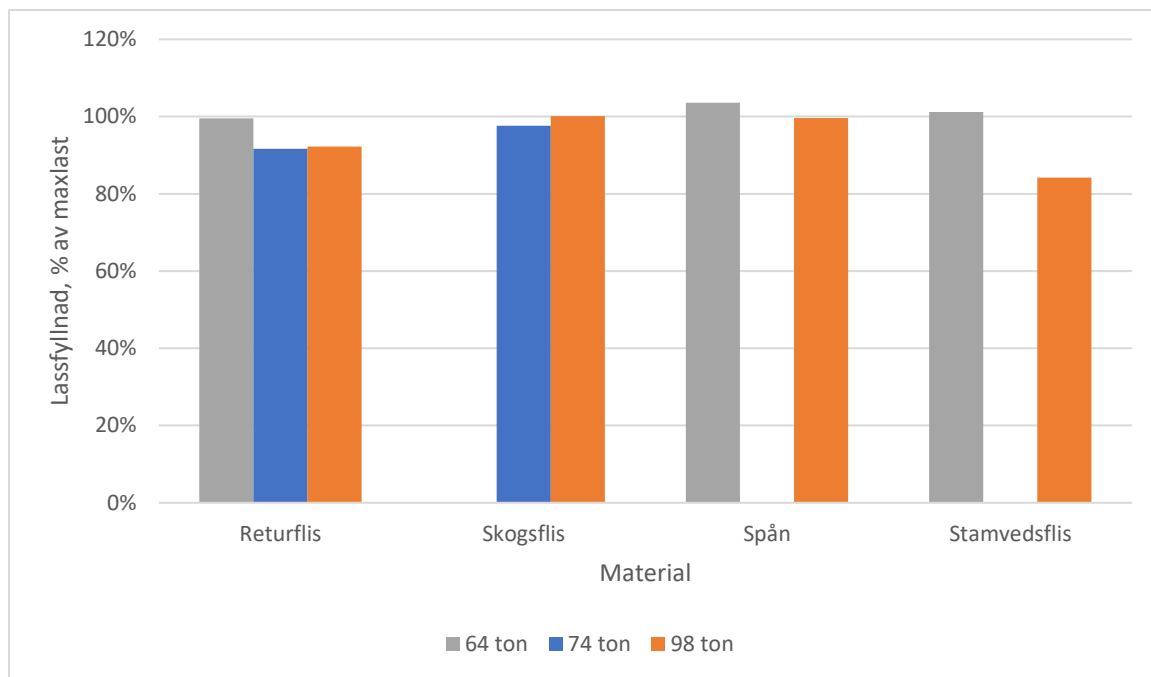
Sedan tidigare är det väl känt att Fleet Management ofta har en felvisning på 5–10% (Asmoarp, Jonsson m. fl. 2015). När bränslesiffrorna för den större lastbilens Fleet Management-data jämfördes med slangmätaren konstaterades en felvisning på -9,9%, det vill säga Fleet Management visar en för låg bränsleförbrukning i förhållande till slangmätaren, som i sin tur uppvisade en felvisning på +1,6% i förhållande till vägningen. Eftersom Fleet Management-data grundas på samma information som den CanBus-loggern registrerar är det nödvändigt att beräkna en korrektionsfaktor för varje fordon's interna bränsleförbrukningsmätning. Detta kan enkelt göras genom att jämföra data från Fleet Management-systemet (eller CanBus-data i fallet med den lilla bilen, som inte var ansluten till Fleet Management) med värdena från chaufförernas tankningsprotokoll. Den översiktliga bearbetningen av Fokus-studien har gjorts utifrån viktdata från Söderenergi samt bränsledata från slangmätaren för båda bilarna. Därmed har vi undanröjt skillnader i mätnoggrannhet mellan de bägge bilarnas CanBus-data.

Av Figur 8 framgår fördelningen av antalet lass med respektive fordonskombination. Loggningsutrustningen monterades i början av vecka 38 vilket medförde att hela den veckan inte är representerad, därav det låga antalet lass. Därtill uppstod ett haveri på släpet till den mindre lastbilen vecka 39, vilket medförde att den fick köras med det släp som annars skulle använts för 74-tonnaren. Den varma hösten gjorde också att behovet av bränsle till pannorna var extremt lågt vilket ledde till få transporter, särskilt mot slutet av studietiden, så att den mindre bilen till slut fick ställas undan helt.



Figur 8. Antal lass för respektive fordonskombination under fokus-studien

Lastvikterna och därmed lassfyllnaden var genomgående god för alla tre fordonskombinationerna. Till saken hör att Nykvarnsterminalen drabbades av en omfattande brand i en av flisstackarna tidigare under sommaren. Mycket av det halvbrunna, men släckta, materialet transporterades till värmeverket under dessa veckor och var då extremt blött och tungt. Dessa transporter skedde nästan uteslutande med den lilla bilen vilket gjort att den fått mycket högre lassfyllnad jämfört med de större bilarna, Figur 9.

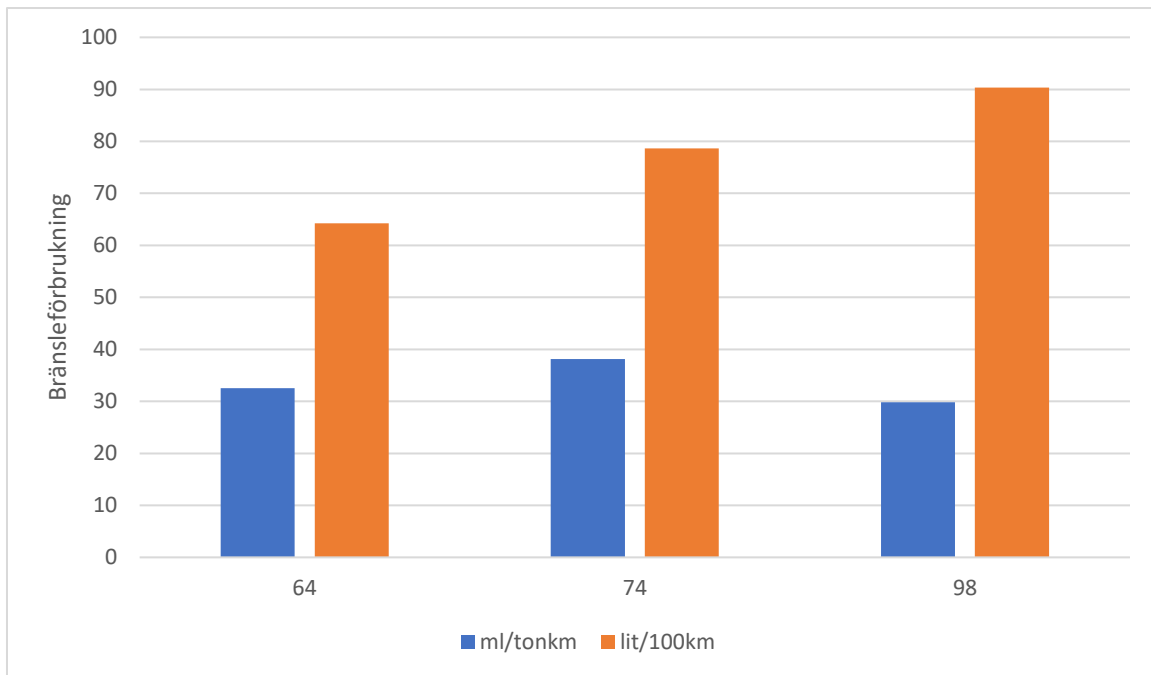


Figur 9. Genomsnittlig lassfyllnadsgrad beroende av fordonskombination och transporterat material. Det mindre 64-tonsfordonet har till stor del kört blöt flis, därav den höga lassfyllnaden.

Den höga lassfyllnaden har också inneburit att 64-tonnaren fått en förhållandevis låg bränsleförbrukning per tonkilometer jämfört med de större kombinationerna, Tabell 5 och Figur 10.

Max Bruttovikt	Lastvikt, ton	Lassfyllnad, %	Bränsleförbrukning	
			lit/100 km	ml/tonkm
64 ton	41,88	100	64,23	32,53
74 ton	42,98	91,9	78,65	38,14
98 ton	60,95	94,8	90,37	29,84

Tabell 5. Lastvikt och bränsleförbrukning från de fem veckorna då Fokus-studien pågick.

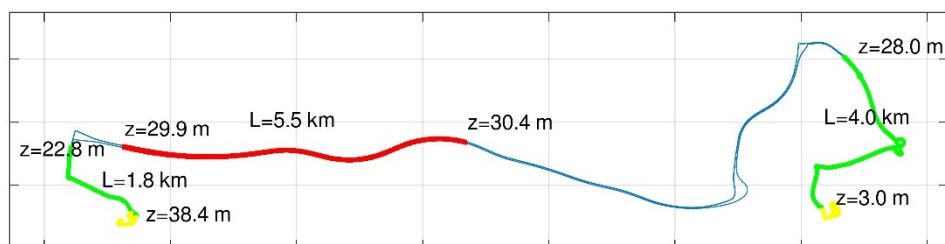


Figur 6. Andel lass per lassfyllnadsgrad för de bägge fordonskombinationerna. Den topp som bildats kring <83% lassfyllnad beror på att en del lass gått med mycket lätta material.

Figur 10. Bränsleförbrukning per tonkm respektive 100 km beroende av fordonsstorlek.

För 74-tonnaren har förbrukningen blivit 17 % högre räknat på förbrukningen per tonkilometer, jämfört med referensfordonet. Däremot har förbrukningen blivit drygt 8 % lägre för 98 tonnaren jämfört med 64-tonnaren och 22 % lägre än 74-tonnaren. Hur stor del av dessa skillnader som beror på de olika lassfyllnadsgraderna kan inte analyseras med detta data men ska förhoppningsvis så ske när CanBus-data analyserats mer ingående.

En något mer generaliserbar information än den direkt observerade redovisad ovan, har dock tagits fram utifrån en uppdelning av transportrutten i tre kategorier markerade i kartan, Figur 11. Den använda rutten från Nykvarn (gult, till vänster) till Igelstaverket i Södertälje (gult till höger). Grönt är tätortsvägar, rött är motorväg och blått ej analyserade delsträckor. Figur 11.



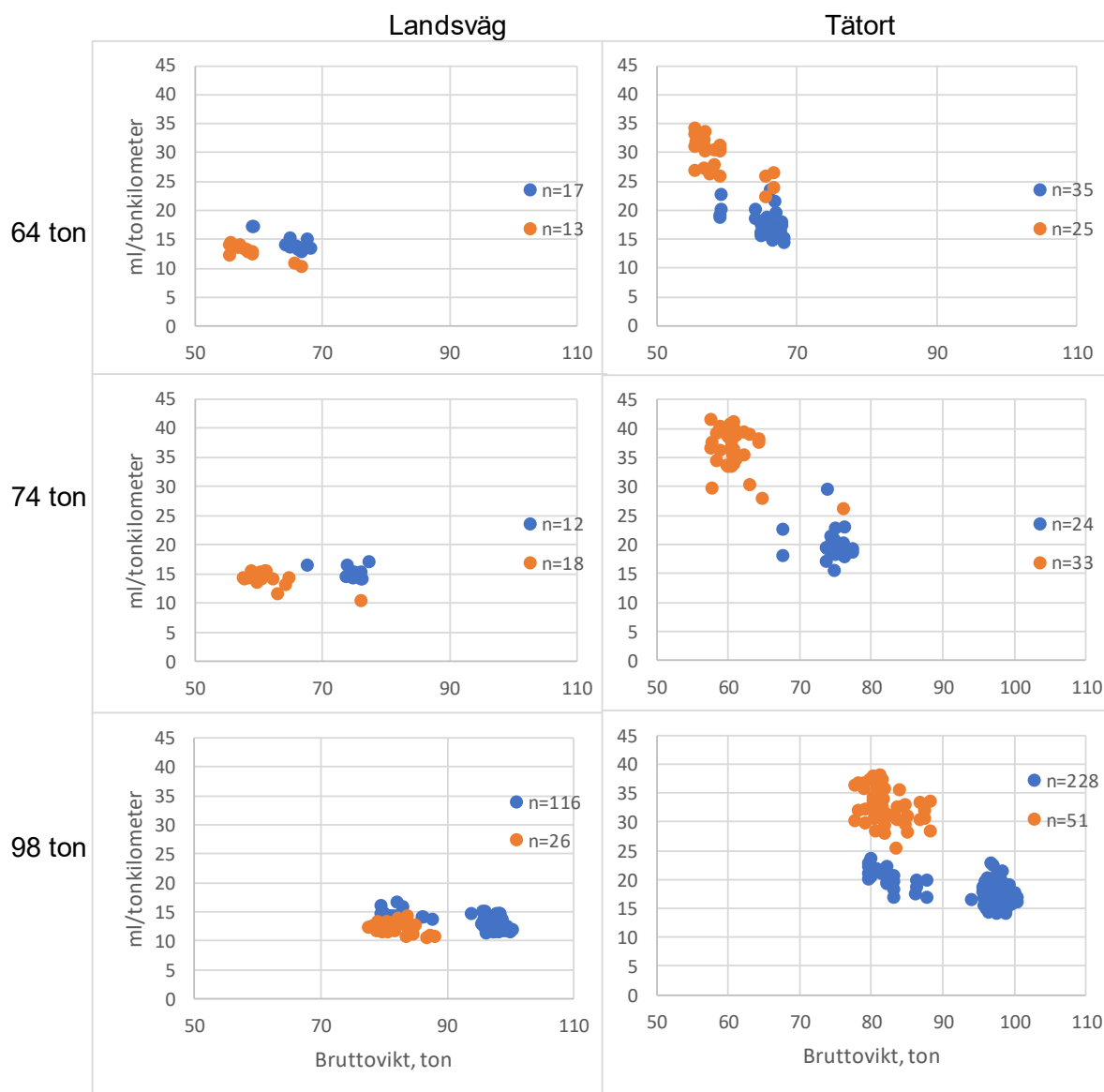
Figur 11. Den använda rutten från Nykvarn (gult, till vänster) till Igelstaverket i Södertälje (gult till höger). Grönt är tätortsvägar, rött är motorväg och blått ej analyserade delsträckor.

I kartan framgår, utöver själva rutten och de tre vägkategorierna, dels höjden över havet (Z-värdena), dels respektive delsträckas längd. Den tunna blå linjen är delsträckor som inte använts i analysen då de är kuperade vilket leder till väldigt variabel bränsleförbrukning. Bearbetningen av resultaten från denna del av Fokus-studien har gjorts baserat på CanBusens bränsleflödessignal korrigerat med uppgifter från tankningsprotokollen (slangmätaren) för båda bilarna.

Analysen bygger på att data från de respektive vägkategorierna ska kunna användas för att uppskatta tids- och bränsleåtgång vid körning längs en godtycklig rutt. Sträckorna valdes ut för att vara så representativa som möjligt även när man sätter samman dem till en längre rutt. För motorvägskörning valdes en 5,5 km lång sträcka ut där höjdarbetet är så litet som möjligt, samtidigt som farten är konstant ca 80 km/h. Terminalen i Nykvarn ligger ca 40 m över havet. Rutten till Igelstaverket innebär i genomsnitt en nedförsbacke, som i stort avverkas på väg till och från motorvägen. För körning i tätort var det därför inte möjligt att identifiera avsnitt med litet höjdarbete i förhållande till längden. Dock skedde transport av gods i båda riktningar, vilket i viss mån kompenseras för höjdskillnaden. Genom att presentera statistik uppdelad på körriktning har vi försökt ge en kvalitativ bild av variationen beroende på höjdarbetet (och naturligtvis andra riktningsberoende faktorer).

Effekten av höjdarbete kan uppskattas grovt utifrån fysikaliska principer. För ett fullastat 98-tonsfordon kräver varje meters stigning ca 75 ml drivmedel, om man antar ett energiinnehåll i bränslet på 35 MJ/l och en verkningsgrad i drivlinan på 37 procent. Denna merförbrukning kompenseras i förekommande fall vid körning i utförsbacke, men bara om lutningen är så svag att föraren inte behöver bromsa bort energi på ett eller annat sätt.

Diagrammen i Figur 12 visar hur drivmedelsförbrukning och energiekonomi beror av bruttovikt och körriktning, för körning på motorväg respektive i tätort. Varje punkt i diagrammen motsvarar passage av en av typsträckorna. Loggningen drabbas emellanåt av avbrott, vilket gör att antalet punkter inte överensstämmer med antalet genomförda vändor under fokusstudien.



Figur 12. Bränsleförbrukning uttryckt som ml/tonkilometer för de tre fordonskombinationerna. Blått innebär transport mot Igelstaverket med i huvudsak nedför, orange är transport upp mot Nykvarn. Diagrammen i den vänstra kolumnen är landsvägskörning och de i den högra kolumnen är tätortskörning. (n=antalet datapunkter per serie/färg).

Bruttovikterna för körningar med last uppträder i två kluster, till stor del (åtminstone för 64-tonnaren) sammanfallande med körriktningen. Förklaringen är den tidigare nämnda skillnaden i material med vattenbegjuten flis från Nykvarn och torr returflis från Igelstaverket. Denna asymmetri gör att den aggregerade statistiken för körning blir behäftad med en viss bias, som inte helt jämnas ut trots att last körs i båda riktningar. Fortsatt analys av data med ännu mera detaljerade mekanistiska modeller är tänkta att hantera problematiken i kommande studier.

Energiekonomin räknad i ml/tonkm uppvisar ungefär samma mönster som förbrukningssiffrorna i l/100 km, med hänsyn till uppnådd bruttovikt och körriktning. Värdena för körning mot Igelsta underskattar sannolikt bränsleåtgången, jämfört med vad som vore att vänta för körning av varierande transportuppdrag över längre tid. Det motsatta gäller för körning från Igelsta mot Nykvarn.

Max bruttovikt		Landsväg			Tätort		
		l/100 km	ml/tkm	Medelhast, km/h	l/100 km	ml/tkm	Medelhast, km/h
64 ton	tom	3,7	-	85,2	5,3	-	30,4
	lastad	5,6	13,6	83,2	8,9	21,7	38,1
74 ton	tom	3,9	-	83,6	5,4	-	42,2
	lastad	6,1	14,6	85,2	11,7	28,0	38,7
98 ton	tom	3,9	-	79,6	7,8	-	42,6
	lastad <90 t	6,6	13,3	76,7	14,3	28,7	35,3
	lastad ≥ 90 t	8,5	13,0		11,1	16,9	

Tabell 6. Bränsleförbrukning per 100 kilometer respektive per tonkilometer för de tre fordonskombinationerna, fördelat på vägtyp och lastat/olastat.

Tabell 6 redovisar värden för medelförbrukning, energiekonomi och medelhastighet utan hänsyn till körriktning. Utifrån dessa värden kan uppskattningar av tids- och bränsleåtgång göras för en godtycklig körning. Det verkliga utfallet kommer sedan att variera på grund av faktorer som inte fanns representerade i underlaget från fokusstudien. Fortsatt arbete kommer att behandla hur inverkan av uppdragsspecifika variationer såsom topografi eller korsningar påverkar det specifika uppdraget.

Som förväntat är förbrukningen, mätt som liter per 100 km, avsevärt lägre för det olastade fordonet än för det lastade – oavsett körriktning, vilket understryker rullmotståndets stora betydelse för energiförlusterna. För körning på motorväg är förbrukningen för motsvarande bruttovikt något större i riktning mot Igelsta än tvärt om. Alltså föreligger en liten asymmetri i valet av motorvägssträcka, men det är inte känt vad den beror på. Betraktar vi tätortskörningen syns ett större körriktningensberoende, vilket som nämnts beror på att körning mot Igelstaverket sker i utförsbacke (se även bilaga 1).

Studier som beskriver bränsleförbrukningen för av- och pålastning har inte gjorts på senare tid men den högupplösta data som kan erhållas från CanBus har nu medgett en sådan analys. Tabell 7 visar hur lång tid samt hur mycket bränsle som användes innanför grindarna på terminalen i Nykvarn respektive Igelstaverket. Energin går här åt till att driva hydraulpumpen i samband med avlastning, förflyttningar av fordonet samt i liten omfattning ren tomgångskörning.

Lastning/lossning	Nykvarn			Igelsta		
	bränsle, l	tid, min	l/timme	bränsle, l	tid, min	l/timme
64 ton	1,3	23	3,34	1,7	16	6,31
74 ton	1,9	22	5,26	1,9	20	5,70
98 ton	2,5	35	4,29	3	18	9,82

Tabell 7. Bränsleförbrukning för den del av transport, lastning och avlastning som sker innanför grindarna på sändande och mottagande terminal.

En jämförelse av resultaten från de tre fordonskombinationerna visar några ganska klara trender. Som väntat är lassfyllnadsgraden avgörande för transportekonomin. Varje outnyttjat ton av den maximalt tillåtna bruttovikten medför en sänkning av effektiviteten både ekonomiskt och energimässigt. Visserligen minskar rullmotståndet vid lägre lastvikt, men inte i så hög grad att det kompenserar för prestationsbortfallet. Referensfordonet är över lag energieffektivare än 74-tonsfordonet. Sannolika förklaringar är referensfordonets minde motor samt avsaknaden av tandemdrift, vilket leder till lägre friktionsförluster i hela drivlinan. Dock tycks 74-tonsfordonet kunna hålla en högre genomsnittshastighet i tätort, sannolikt beroende på sin högre motoreffekt och

därmed större accelerationsförmåga. Förarberoende faktorer kan dock inte uteslutas på den punkten. När det gäller medelhastigheten på landsväg styrs den framför allt av lagkrav. Vid långa och branta motlut är det dock inte säkert att det går att hålla 80 km/h, om motoreffekten är otillräcklig. Går vi så över till 98-tonsekipaget ser vi att energiekonomin övertrumfar det två andra fordonen, förutsatt att bruttovikten kan utnyttjas. Vid körning av lätt returflis väger fordonet in på strax över 80 ton, och energieffektiviteten blir då lägre än för referensfordonet.

Sammanfattningsvis kan konstateras att några av de största energitjuvarna i systemet, rullmotståndet och att sätta fordonet i rörelse, på systemnivå styrs av fordonets lastindex. För energieffektiv transport är det avgörande att hålla detta index så högt som möjligt.

Resultat från vågstudien

Den viktinformation som erhöles från de tre olika mätmetoderna visade sig inte hålla önskad precision. Såväl viktangivelsen som spridningen i resultaten var för stor, upp emot $\pm 30\%$. Luftfjädringen var den som uppvisade minst spridning när fordonet var lastat men den olastade vikten var inte korrekt, och med kraftig variation såväl uppåt som nedåt.

I april 2015 beslutade dock EU att uppföljning av fordonsvikter inte får innebära ett påtvingat ombord-system för utländska ekipage, detta av konkurrensskäl (96/53/EG av den 29 april 2015 artikel 10d). Detta ledde till att Transportstyrelsen och Trafikverket i ett gemensamt regeringsuppdrag 2019 förordade att Sverige istället skulle uppfylla direktivet med hjälp av vågar i infrastrukturen. Därmed föll behovet av ombordvägning.

En utförlig beskrivning av vågstudien och resultatet av de olika metoderna finns dokumenterat i rapporten GTW Estimation in Towing Truck (Strandell 2018).

Ekonomisk analys

Den ekonomiska jämförelsen mellan flisekipagen på 64, 74 samt 98 ton är gjord med hjälp av ett kalkylverktyg framtaget av Skogforsk för analys av tyngre fordon (Johansson och von Hofsten 2017). Kalkylen är anpassad till åkaren Ove Lindkvists vardag med flistransporter mellan terminalen i Nykvarn och Igelstaverket i Södertälje. Indata till kalkylen kommer från driftuppföljningsdata, från CanBus-loggrarna på fordonen, åkarens egna uppgifter, uppgifter från tillverkare samt säljare av flisekipagen.

Fordonen har under fokusstudieperioden transporterat en rad olika sortiment av olika kvalité vilket har gett indata till kalkylerna. Kalkylen utgår från hur fordonen är tänkta att användas under året. Alla fordonen körs i enkelskift men med två förare kan fordonen hållas igång med sjudagarsveckor under höglastperioder och femdagarsveckor under perioder med lägre last hos värmeverket. De två större ekipagen, 74 och 98 ton, arbetar dock sjudagarsveckor under en större del av året vilket resulterar i fler utnyttjade dagar totalt sett under året, se sammanställning i Tabell 8.

Syftet med analysen har varit att jämföra de olika flisbils ekipagen för att kunna ge vägledning kring hur valet av fordonskombination påverkar de ekonomiska förutsättningarna. En sammanställning av de viktigaste nyckeltalen för prestationer och kostnader som ligger till grund för beräkningarna återfinns i Tabell 8. Där finns också skillnaden i ekonomi mellan de tre olika flisbils ekipagen.

För åkaren är kostnaden per transporterat ton vanligen intressantast eftersom ersättning utgår från transporterad vikt, så även i denna fallstudie, vilket innebär att en övergång från 64 till 74 ton inte ger några ekonomiska fördelar i termer av kr/ton. Att däremot gå upp till 98 ton är ekonomiskt fördelaktigt för åkaren. Notera att detta resonemang bygger på att lastvikterna och bränsleförbrukningsdata som förekom under fokusstudien är representativa för hela året. Från Tabell

8 framgår att den ökade bränsleförbrukningen, redovisad för hela vändan inklusive lastning och avlastning, hos 74 tonsekipaget jämfört med 64 tonsfordonet förklarar en stor del av den kostnadsökningen som inte fullt ut vägs upp av ökad prestation i form transporterat material. Det bör dock noteras att vilket material som transporteras med vilken bil under året är avgörande för det ekonomiska utfallet då ett flisfordon både kan vara volyms- respektive viktsbegränsat beroende lastens egenskaper.

Tabell 8. Sammanställning av den ekonomiska kalkylen för de olika flisekipagen (64, 74 samt 98 ton) som trafikerat sträckan Nykvarn-Igelsta.

	64 ton	74 ton	98 ton
Förutsättningar			
Investering	3 500 000	3 915 000	5 315 000
Årsarbetsdagar	270	310	310
Körsträcka/år, mil	8 504	9 100	7 868
Fasta kostnader, kr/år			
Fast avskrivning	358 400	427 200	505 600
Ränta	178 000	197 920	265 120
Skatt och Försäkring	78 500	78 500	78 500
Övrigt	95 000	95 000	95 000
Summa fastakostnader	709 900	798 620	944 220
Rörliga kostnader, kr/mil			
Rörlig avskrivning	8,3	9,3	12,8
Däck	12,7	15,5	17,8
Drivmedel	104,6	128,3	147,2
Service och reparationer	19,3	19,3	24,1
Summa rörliga kostnader	144,9	172,4	201,8
Rörliga kostnader, kr/år			
Rörlig årskostnad fordon	1 232 431	1 568 728	1 587 988
Lönekostnader			
Lön	833 082	956 406	956 406
Resultat			
Total årskostnad, kr	2 775 413	3 323 754	3 488 614
ton/år	89 037	97 780	119 889
Kr/mil	326	365	443
Kr/ton	31,2	34,0	29,1

Eftersom det är ett flisfordon så är mängden transporterad energi uttryckt som MWh per lass, också ett intressant mått på hur väl ett flisekipage fungerar. I den här fokusstudien inkluderades dock inte den parametern.

Tabell 9 visar en analys kring ekonomiska konsekvenser av potentialen i att antingen kunna nyttja maximalt tillåten lastvikt eller maximalt möjlig lastvolym (från tabell 4). För många torra till medeltorra sönderdelade bränslen är ofta lasten volymsbegränsad tillskillnad från lite fuktigare bränslen som oftare är viktsbegränsade. För att eliminera effekten av hur bilarna schemaläggs under året så antogs alla tre fordon arbeta 310 årsdagar i dessa teoretiska jämförelser. Övriga förutsättningar och prestanda från de tidigare analyserna antogs fortfarande vara giltiga. Under dessa förutsättningar ger båda de större bilalternativen ett ekonomiskt bättre utfall om man hittar material där hela den tillåtna lastvikten kan nyttjas. Hanteras däremot bara bränslen som är

volym begränsande så blir 74-tonsekipaget sämst ur ett ekonomiskt perspektiv. 64 och 98-tonsalternativen är snarlika i det avseendet.

Tabell 9. Kostnader beräknade utefter antagandet att fordonen alltid kan lasta till full volym alternativt till full vikt.

Max bruttovikt	64	74	98
Antal vändor/år	2 441	2 275	1 967
kr/vända	1 275	1 461	1 774
Kr/ton	30,1	29,8	26,8
kr/m ³	9,1	9,9	9,0

Diskussion

Det övergripande syftet med projektet var att studera effekterna av en 34 m lång och 98 ton tung flisbil med avseende på energieffektivitet, åkarens ekonomi, funktionalitet i omgivningen samt studera noggrannheten i inbyggda vågssystem. Detta är viktig information för beslutsfattare, åkare och fordonstillverkare. Utveckling av tillförlitlig viktuppskattning är också ett steg mot ökad acceptans för stora fordon. För åkare och tillverkare är det viktigt att öka kunskapen kring under vilka förutsättningar som längre och tyngre lastbilar är lönsamma. Den ekonomiska lönsamheten är en förutsättning för att den förväntade utsläppsminskningen om 20 % ska kunna realiseras.

De projektmål som formulerades 2014 var följande, med några ord om huruvida projektet kunnat uppfylla dem eller ej.

Att aktuell fordonskombination uppfyller Transportstyrelsens krav för både välstabilitet och bakåtförstärkt stabilitet. Scania genomförde en analys av vält- och bakåtförstärkt stabilitet³ 2012 där man kunde påvisa viss instabilitet beroende av vilken konfiguration som testades, men inget som inte kunde hanteras med elektroniska stabilitetssystem, vilket Transportstyrelsen senare satte in som ett krav för tillståndet. Enligt uppgift från chaufförerna har man inte upplevt några problem med varken 74-tonsutförandet eller 98-tonsutförandet. Man har inte varit i någon situation som krävt undanmanöver eller häftiga inbromsningar men man upplever heller inte att det borde vara något problem.

En minskad energiförbrukning och motsvarande minskning av CO₂-utsläpp med 20 % jämfört med transporter med en konventionell flisbil (60 ton) under samma förutsättningar.

Då 64-tonsfordon numera är standard har jämförelsen istället gjorts mot ett sådant referensfordon, vilket naturligtvis inneburit en sänkt potential. Det är svårt att bedöma hur stor denna påverkan är men något förenklat kan man säga att hela ökningen från 60 till 64 ton, har kunnat påföras som extra last då många sjuaxlade fordon inte behövde någon anpassning i denna övergång. Det innebär att referensfordonet ökat sin lastvikt med ca 10 %. Tidigare studier har visat på en sänkningen av bränsleförbrukningen per tonkm med ca 5 % vid övergången från 60 till 64 ton (Asmoarp, Enström m. fl. 2018).

Det kan ändå sägas att bränsleförbrukningen inte har minskat i den omfattning som antogs då försöket inleddes 2014. Någon bränslebesparing har inte kunnat ses för 74-tonsfordonet jämfört med 64-tonsfordon i vare sig fokusstudien eller KUBEL-mätningarna, tvärt om visade sig förbrukningen

³ Bakåtförstärkt stabilitet är ett mått på hur de sista axlarna i ett fordonståg beter sig vid en häftig kursändring. Om bakändan kastar ut utanför linjen där framhjulen gick är det inte bra (lågt värde på bakåtförstärkning), bättre att de följer innanför framhjulen spår (hög värde på bakåtförstärkning).

vara högre. Det finns starka påverkansfaktorer i båda studierna som medeltransportavstånd och lassfyllnadsgrad vilka missgynnat 74-tonsfordonet i jämförelserna varför det är svårt att dra generella slutsatser.

För 98-tonsfordonet ser vi en sänkning av förbrukningen med 8 % jämfört med 64-tonsfordonet från fokusstudien. Denna siffra kan ses som en minimipotential då vi jämfört fordonet med ett 64-tonsfordon som är mycket väl optimerat för transportuppgiften och som haft hundraprocentig lassfyllnad jämfört med 98-tonsfordonets 94,8 %.

Tack vare det omfattande datamaterial som samlats in under fokus-studien med hjälp av CanBus-loggrar finns goda möjligheter att göra utökade analyser som kan ge en skarpare bild av vad som påverkar bränsleförbrukningen och hur. Ett sådant arbete har inletts och resultaten därifrån kommer att publiceras vetenskapligt.

I flera tidiga kalkyler över HCT-fordon utgick man ifrån att fordonen i princip alltid kunde lasta till full bruttovikt. Så är inte fallet för 74-tonnaren men i högre grad för 64-tonnaren i denna studie. För samtliga fordonskombinationer gäller dock att det inte är realistiskt att räkna med hundraprocentig lassfyllnad i snitt över en längre period. Ett sådant förfarande innebär att man faktiskt kalkylerar med ett visst antal överlass, det vill säga olaglig körning. Dessutom har såväl 74-tonnaren som 98-tonnaren körts med särskild dispens vilket bland annat innebär en betydligt strängare syn på överlass från Polisens sida vilket lett till att man varit extra försiktig.

Det är viktigt att komma ihåg att det också är en volym som ska fraktas, oavsett om den är tung eller ej. Det hade varit intressant att ha tillgång till fraktad volym för de tre fordonskombinationerna och kunna beräkna en bränsleförbrukning per volymskilometer i stället för tonkilometer. Troligen hade utfallet då blivit ett annat.

-Sänkt transportkostnad med 15%, samt analys av hur olika faktorer påverkar lönsamheten. Även detta mål var satt i relation till dåvarande standard med 60-tonsekipage. Studien visade på en kostnadssänkning med 9% för 98-tonnaren jämfört med 64-tonnaren. Detta får anses ligga i paritet med målsättningen om 15% kostnadssänkning i förhållande till ett 60-tonsekipage, även om det är svårt att exakt fastslå. Den lägre lastfyllnadsgraden för 98-tonnaren gör att den teoretiska potentialen är ytterligare några procentenheter högre än vad som uppmättes.

74-tonsekipaget visade på en kostnadsökning med 9% istället. Om 74-tonnaren transporterat tyngre material så att lastfyllnaden närmade sig 100% hade den kostnadsmässigt presterat i paritet med 64-tonnaren. Om dessutom en mindre och snålare motor används på 74-tonnaren istället för att använda samma som för 98-tonnaren, så är det möjligt att kostnadsbesparingar skulle kunna uppstå genom minskade bränslekostnader.

En minskning av antalet transporter som krävs för det aktuella transportarbetet med 35%. Den stora 98-tonnaren, som projektet ursprungligen riggades för, lastar drygt 40% mer volym än referensfordonet på 64 ton, och nästan 60% mer vikt, Tabell 4. En minskning med 35% i antal enskilda transporter kan i princip anses uppnått eller på gränsen till uppnått, beroende på materialets volymvikt då 40% ökning i volym per lass ger en 29-procentig minskning av antalet lass, förutsatt att volymen är begränsande.

En fördel med ett minskat antal transporter är inte bara miljömässiga utifrån perspektivet bränsleförbrukning och emissioner, utan även trafikmiljömässiga då det blir färre stora fordon på vägarna.

En utveckling av tekniker och metoder för viktuppskattning genom fordonets eget system. Inom projektet gjordes ett försök på 74-tons fordonet att uppskatta fordonsvikten utifrån bland annat Newtons andra lag. Resultaten visade att samtliga metoder var för volatila för att kunna användas. Studierna gav således ett kvitto på hur stor teknisk utmaning det skulle innebära att klara dessa mätningar med fordonets interna system. Myndigheterna valde också en annan väg att uppfylla EU-direktivet 96/53 EG artikel 10d. Det är oklart i vilken mån fordonstillverkarnas svårigheter att uppfylla kraven med hjälp av egen utrustning påverkade beslutet.

Tanken på att uppskatta ett fordons vikt utifrån någon form av sensorer inbyggda i fordonet (ombord-vägning) har funnits i många år men precisionen har genomgående varit otillräcklig. Den lösning som vanligen används är att mäta trycket i luftfjädringen vilket ger ett hyggligt närmevärde på vikten. Problemet med denna metod är att det är svårt att kalibrera och visar ofta stora avvikelser innan fordonet körts en bit (dvs när möjligheten finns att rätta till felaktigheter). Detta på grund av spänningar i fjädringssystemet som släpper när fjädringen får jobba lite (von Hofsten 2018).

Projektet väntas också ge teknisk kunskapsuppbyggnad hos medverkande företag. Detta projekt, såväl som många andra inom det skogliga ETT-projektet och det nationella HCT-projektet, har lett till stora framgångar inom kunskapsuppbyggnaden. Varje fordon som sätts på hjulen är resultatet av de erfarenheter som dragits från de tidigare. Framför allt gäller det aspekter inom konstruktion och materialval där man succesivt lärt sig hur fordonståg av denna storlek bör byggas. Detta projekts 98-tonnare har inte gått tillräckligt länge för att man ska kunna dra några slutsatser av den ökade viktens inverkan, men lastbilen har gått i sex år och 62 000 mil som 74-tonnare och uppvisar inga oväntade förslitningsskador. Mycket beror naturligtvis på att vikterna på de enskilda fordonsdelarna inte är större än vad som tidigare var tillåtet, med undantag för släpvagnskopplingarna som får ta större belastningar än tidigare. Å andra sidan är de väl dimensionerade för uppgiften och så vitt känt har det aldrig rapporterats något exceptionellt slitage från något av det hundratal HCT-fordon som testats sedan det nationella HCT-projektet initierades 2012.

Övriga noteringar kring projektet

Vid ett flertal tillfällen har förarna av såväl 74-tonnaren som 98-tonnaren intervjuats med avseende på körupplevelsen med de bägge fordonskombinationerna. Inte i något fall har man upplevt det otrevligt att framföra dessa fordon, tvärt om. Under projektidens gång har ett tiotal olika chaufförer varit inblandade i varierande grad, framför allt på 74-tonnaren, men alla har genomgående varit nöjda vilket överensstämmer väl med chaufförsintervjuer som gjorts med andra ETT-fordons förare. I 98-tonsutförande finns inte lika stor erfarenhet ännu, men de signaler som kommit från åkeriet pekar inte mot att det varit några oväntade problem. Under vissa vinterförhållanden, med tung och blöt snö, kan det vara problematiskt att komma igång när ekipaget är tomt. Orsaken ligger i att det då är låg vikt på drivhjulen samtidigt som det är en ganska stor vikt som ska dras igång. Problemet finns även med 74-tonnaren och är välkänt från andra HCT-fordon. När lastbilen är lastad är det mycket sällan några problem.

Framtida forskningsupptag

Som nämnts tidigare har Skogforsk för avsikt att genomföra en betydligt djupare analys av det CanBus-data som samlats in under Fokus-studien. Men stöd av det samt en avancerad mjukvara för dynamisk simulering hoppas vi kunna skapa generaliserbara resultat för hur, när och var en viss fordonstyp lämpar sig bäst med avseende på bränsleekonomi, effektivitet och ekonomi. Resultaten väntas ge en betydligt större förståelse för hur vägstandard, fordonsvikt, lastmängder och hastigheter påverkar slutresultatet. Därmed kan också simuleringar göras av tänkta transportupplägg

med olika fordonskonfigurationer med avseende på transportekonomi med mera. Publicering av dessa resultat väntas kunna ske i lämplig vetenskaplig journal under 2022.

Under andra kvartalet 2022 kommer den nuvarande lastbilen att bytas mot en ny med det senaste från Scania gällande motorteknik och drivlina. Den nya motorn är bland annat 50 hästkrafter starkare än den tidigare motorn med väsentligt högre vridmoment och drivlinan förbättrad på många punkter. Det nya ekipaget kommer att studeras av Skogforsk på samma sätt som den tidigare bilen vilket gör att mot slutet av 2021 bör tillräckliga data finnas för att kunna göra en uppföljning av de resultaten.

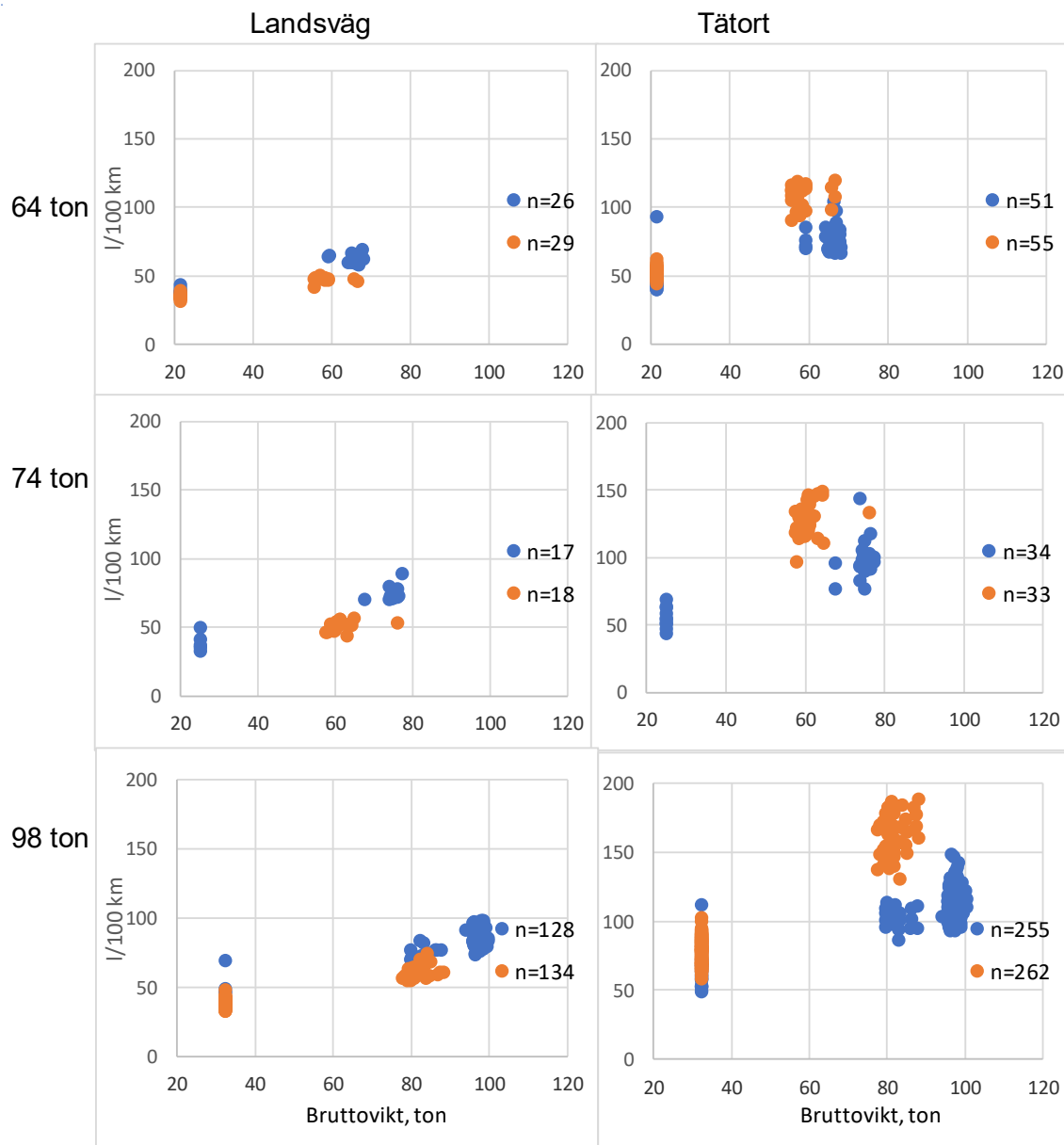
Sedan denna studie påbörjades 2014 har lastbilen körts på lite olika bränslen. Initialt kördes den uteslutande på Rapsmetylester (RME) vilket gick bra men tillgången på RME var tidvis begränsad. Efter att ha körts en tid på olika former av diesel med miljöblandningar körs den nu uteslutande på HVO100 sedan ett par år. Men trenden går mot andra drivkällor, inte bara vätskeformiga utan även olika former av El, elhybrid, gas och vätgas/bränsleceller. Eftersom ingenting egentligen säger att inte ett HCT-fordon skulle kunna drivas med något sådant bränsle vore det intressant att få tillfälle att pröva det i en relativt snar framtid. Den korta körsträckan och goda möjligheter till påfyllning av energibärare vid respektive terminal gör att rena funktionstester skulle kunna göras på ett smidigt sätt utan att behöva riskera att bli stående långt ut på landsbygden.

Slutsatser

- Ett HCT-fordon med bruttovikter upp emot 98 ton och 34 meters längd har inga oväntade problem att ta sig fram och fungera även i relativt tät tätortsnära trafik. Chaufförerna upplever att fordonet går lugnt och stabilt i alla lägen.
- Det större 98-tonsfordonet framstår som ekonomiskt fördelaktigt förutsatt att det kan lastas till bruttovikter över 80 ton, motsvarande drygt 50 ton lastvikt. I övriga fall framstår det mindre 64-tonsfordonet som mest lönsamt.
- Den 74-tonskombination som testades under större delen av projektiden har visat sig vara känslig för lastmängderna. Om den inte kan lastas till vikter mycket nära de maximala 50 ton lastvikt, tappar den snabbt i lönsamhet. Detta är en risk då det lätt leder till att den överlastas på grund av svårigheter att väga lastmängden korrekt samtidigt som man är angelägen om att lasta den fullt.

Bilaga 1

Bränsleförbrukning uttryckt som liter/100 kilometer för de tre fordonskombinationerna. Blått innebär transport mot Igelstaverket med i huvudsak nedför, orange är transport upp mot Nykvarn. Diagrammen i den vänstra kolumnen är landsvägskörning och de i den högra kolumnen är tätortskörning. (n=antalet datapunkter per serie/färg).



Den lodräta ansamlingen av punkter till vänster i de olika diagrammen är tomkörningen för respektive fordonskombination och körriktning. Man ser att förbrukningen vid tomkörning varierar förvånansvärt lite mellan fordonen trots att tjänstevikterna skiljer 10 ton mellan det största och minsta fordonet.

Referenser

- af Whålberg, A. E. 2008. Meta-analysis of the difference in accident risk between long and short truck configurations. *Journal of Risk Research* 11
- Anon. 2018. Lasta lagligt - Vikt- och dimensionsbestämmelser för tunga fordon. Transportstyrelsen
- Anon. 2020. Energiläget 2020. Statens Energimyndighet maj
- Asmoarp, V., Enström, J., Bergqvist, M. och von Hofsten, H. 2018. Effektivare transporter på väg Slutrapport för projekt ETT 2014–2016. Skogforsk, Arbetsrapport 962
- Asmoarp, V. och Jonsson, R. 2014. Fokusveckor 2014 - Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2 Skogforsk, Arbetsrapport 859
- Asmoarp, V., Jonsson, R. och Funck, J. 2015. Fokusveckor 2015 Bränsleuppföljning för ett 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. Skogforsk, Arbetsrapport 890
- Björheden, R., Gelin, O., Henriksen, F. och von Hofsten, H. 2018. ETT-push – virkesbil med fyra travar och hjälprift på linkan Skogforsk, Arbetsrapport 980
- Brunberg, B. och von Hofsten, H. 2018. Dieselförbrukning för skogslastbilar med bruttovikt på 74 och 90 ton Skogforsk, Arbetsrapport 978
- Brunberg, T., Löfroth, C. och Johansson, F. 2017. Dieselförbrukningen hos virkesfordon under 2016. Skogforsk, Arbetsrapport 941
- Edlund, J., Asmoarp, V. och Jonsson, R. 2013. Fokusveckor 2013 - Bränsleuppföljning för två fordon inom ETTdemo-projektet, ST-kran och ST-grupp. Skogforsk, Arbetsrapport 803
- Enström, J. och von Hofsten, H. 2015. ETT-Flis 74 ton - En projektrapport över drifttagande och ett års uppföljning av tre 74-tons flisfordon. Skogforsk, Arbetsrapport 888
- Heinonen, T. 2016. The effect of High Capacity Transport vehicles on the traffic flow. Master Thesis.
- Johansson, F. och von Hofsten, H. 2017. HCT-kalkyl –en interaktiv kalkylmodell för att jämföra lastbilsstorlekar. Skogforsk, Arbetsrapport 950
- Löfroth, C. och Svensson, G. 2012. ETT - Modulsystem för skogstransporter. Skogforsk, Arbetsrapport 758
- Ranta, T. och Rinne, S. 2006. The profitability of transporting uncomminuted raw materials in Finland. *Biomass and Bioenergy* 30
- Sandin, J. och Hjort, M. 2012. Trafiksäkerhetseffekter vid införande av längre och tyngre fordon. VTI Rapport 17
- Strandell, G. 2018. GTW estimation in towing truck. Internrapport Scania
- von Hofsten, H. 2018. Vägning av hela fordonsklass - möjligheter och felkällor. Skogforsk, Arbetsrapport 974
- von Hofsten, H. 2019. Nya transport- och lastfordon i skogsbruket. Skogforsk. Arbetsrapport 1003
- von Hofsten, H. och Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. Skogforsk. Arbetsrapport 865