



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**JÄMFÖRELSE AV LASTBILARS OCH  
TRAKTORERS BRÄNSLEFÖRBRUKNING VID  
LANDSVÄGSTRANSPORT**

Jakob Vidjeskog

KONETEKNIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2019

Ohjaajat: Miro-Tommi Tuutijärvi, Mauri Haataja

# SAMMANDRAG

Jämförelse av lastbilars och traktorers bränsleförbrukning vid landsvägstransport

Jakob Vidjeskog

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidatarbete 2019, 31 s. + 2 bilagor

Kandidathandledare: Miro-Tommi Tuutijärvi, Mauri Haataja

Transporten inom jordbruk behöver bli mera energieffektiv för att spara på miljön och för att minska kostnader för finländska jordbrukare. Målet med detta arbete är att undersöka den inbesparing av drivmedel som eventuellt kan uppnås genom att man utför jordbrukstransporter med lastbil istället för traktor. Ett flertal undersökningar som har tagit upp olika faktorer som påverkar bränsleförbrukningen har studerats och resultaten har sammanfattats. Dessutom har lastbilars och traktorers uppmätta bränsleförbrukning sammanställts för att jämföra den verkliga skillnaden.

En ökning av transportkapacitet har tydliga band till en minskad bränsleförbrukning för fraktade varor, och detta leder till att det är fördelaktigt att använda lastbilar för frakt i Finland, då lastbilar tillåts ha en större last än traktorer. Därför kan ett större jordbruk spara bränsle och dessutom köra färre transportsträckor ifall de använder sig av lastbil i transporten. Detta resultat kan användas som grund för flera finländska jordbruk att ta i bruk lastbilar och långtradare som transportmedel.

*Nyckelord: transport, lastbil, traktor, bränsleförbrukning*

# ABSTRACT

A comparison of trucks and tractors fuel consumption during road transport

Jakob Vidjeskog

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2019, 31 pp. + 2 Appendixes

Supervisor(s) at the university: Miro-Tommi Tuutijärvi, Mauri Haataja

The transport in the agricultural sector must become more efficient in its energy consumption in order to save natural resources and decrease cost for Finnish farmers. The goal of this thesis is to examine the possible fuel savings of a change in agricultural transport from tractors to trucks. Several studies of factors that affect fuel consumption in vehicles have been collected and the findings have been summarized in this paper. A collection of studies of trucks and tractors fuel consumption have been gathered to compare the actual difference.

An increase in the load capacity of a vehicle can be linked to reduced fuel consumption for transported goods, and this leads to a benefit of using trucks for transport in Finland, because trucks are allowed to transport more than tractors. This finding can be applied by larger Finnish farms to make the change from the use of tractors to trucks in transport applications.

*Keywords: transport, truck, tractor, fuel consumption*

# FÖRORD

Detta kandidatarbetes syfte är att utforska den eventuella nyttan för finländska jordbruk att sköta landsvägstransport av jordbruksmaterial med lastbil i stället för traktor. Arbetet inleddes i januari 2019, och har utförts under våren lopp. Arbetet har framskridit enligt planerna även om vissa utmaningar har framkommit gällande tillgänglighet av information om traktorers bränsleförbrukning. Jag vill rikta mitt tack till mina handledare som jag har växlat idéer med under arbetets lopp och även gått igenom arbetet. Jag vill även rikta mitt tack till min familj som har givit mig synpunkter på arbetet.

Oulu, 19.05.2019

Jakob Vidjeskog

# INNEHÅLL

1 Inledning .....	8
2 Teori .....	9
2.1 Dieselmotorn .....	9
2.2 Energiförluster .....	9
2.3 Däck .....	9
2.4 Traktorn .....	10
2.5 Lastbil .....	10
2.6 Bränsleförbrukning .....	11
2.7 Utsläpp .....	12
2.7.1 Tunga fordon i trafik .....	12
2.7.2 Jord och skogsbruksmaskiner .....	12
2.8 Jordbruksmateriel .....	13
2.9 Fyllnadsgrad .....	14
3 Tidigare studier .....	15
3.1 Agricultural Logistics – System comparison of transport concepts in grain logistics .....	15
3.2 Running properties of different trailer tyres .....	15
3.3 Factors influencing the energy consumption of road freight transport .....	16
3.4 HCT- ja normaalialajoneuvojen energiankäyttö, hiilidioksidi- päästöt ja tiekuormitus .....	17
4 Bränsleförbrukning .....	18
4.1 Faktorer som påverkar bränsleförbrukningen .....	18
4.2 Teoretisk bränsleförbrukning .....	18
4.2.1 Rullmotstånd .....	18
4.2.2 Luftmotstånd .....	19
4.2.3 Sluttningsmotstånd .....	20
4.3 Lastbilars bränsleförbrukning .....	21
4.3.1 Metod .....	21
4.3.2 Resultat .....	22
4.4 Traktorers bränsleförbrukning .....	23
5 Resultat .....	26

5.1 Fysikaliska faktorer .....	26
5.2 Logistiska faktorer .....	26
5.3 Resultatens pålitlighet .....	27
6 Diskussion .....	28

## BETECKNINGAR OCH FÖRKORTNINGAR

A	area
C <sub>d</sub>	luftmotståndskoefficient
C <sub>r</sub>	rullmotståndskoefficient
F <sub>luft</sub>	luftmotstånd
F <sub>lutning</sub>	sluttningsmotstånd
F <sub>rull</sub>	rullmotstånd
G	tyngdkraft
m	massa
q	bränsleförbrukning
q <sub>spec</sub>	specifik bränsleförbrukning

$\alpha$	vinkel
$\eta$ <sub>drivlina</sub>	drivlinans verkningsgrad
$\rho$	luftens densitet (kg/m <sup>3</sup> )

# 1 INLEDNING

Kandidatarbetets mål är att jämföra bränsleförbrukningen mellan traktorer och lastbilar vid transport av last på landsvägssträckor, för att undersöka fördelarna för finländska jordbruk att använda lastbil. Genom att optimera transporten av skörden, gödsel och andra jordbruksrelaterade varor mellan gårdarna och åkrarna kan man spara pengar, tid och koldioxidutsläpp.

År 2017 producerade ca 50 000 gårdar i Finland runt 11 miljarder kg växtmaterial, varav de mest producerade produkterna var grönfoder, havre och vete (Luke). All skörd behöver transporteras från åkrarna till förvaring och vidare till konsumenterna. År 2016 förbrukade lantbruken 245 miljoner liter motorbrännolja, varav en del förbrukas vid transport (Luke, 2018). I Tyskland så transporterar jordbruket 25% mera gods än järnvägen vilket illustrerar storleken av logistikens omfattning. (Götz, 2011).

Det vanligaste motivet till att minska bränsleförbrukningen är ekonomiskt. Bränslekostnaderna bidrar till ungefär hälften av de totala driftskostnaderna för den tunga trafiken (Tervonen, Ristikartano, Sorvoja, 2010), och en förminskad bränsleförbrukning leder till inbesparingar för jordbruken.

Lastbilars bränsleförbrukning har varit föremål för omfattande undersökningar tidigare i syftet att granska Finlands transportindustris energiförbrukning och utsläpp och i samband med utvecklingen av så kallade HCT, dvs. högkapacitetsfordonskombinationer. Traktors bränsleförbrukning har någorlunda undersökts i fältförhållanden samt i trafiken för att kunna förbättra jordbrukets energieffektivitet. I enstaka fall har också lastbilars och traktors bränsleförbrukning jämförts, likaså ekonomiska inbesparingar med att använda lastbil i jordbruket.

I detta kandidatarbete undersöks traktors och lastbilars bränsleförbrukning i trafiken genom att granska olika studier samt även teoretiskt. Målsättningen för detta kandidatarbete är att visa på bränsleinbesparingar som uppkommer genom att använda lastbil i stället för traktor för att transportera jordbruksmaterial.



## 2 TEORI

Traktors och lastbilars främsta uppgift är att dra redskap och tunga släp, och därför är de också designade att klara av uppgiften väl. De viktigaste egenskaperna för ett dragfordon är tillräckligt med effekt och en drivlina som effektivt kan förmedla motorns effekt till underlaget, för att uppnå den dragkapacitet som krävs.

### 2.1 Dieselmotorn

Dieselmotorn används som energikälla inom den tunga trafiken och inom jordbruket på grund av dieselmotorns förmåga att producera hög effekt och vridmoment vid låga motorvarv. En annan egenskap som gör dieselmotorn fördelaktig för tunga trafiken är dess låga bränsleförbrukning och koldioxidutsläpp i jämförelse med bensinmotorn. Den största nackdelen hos dieselmotorer är deras höga utsläpp av små partiklar och kväveoxider. (Qianfan, 2011, s. 6)

### 2.2 Energiförluster

Av den energi som frigörs i en förbränningsmotor förlorar man ungefär hälften till förbränningsprocessen. Av den kvarvarande energin förlorar man ännu ca 16% till friktion i motorn, växellådan, samt till att driva oljepumpar, alternatorn och eventuell luftkonditionering. De resterande 34% är de som faktiskt driver fordonet framåt och där går 13,2 % till rullmotståndet, 7,2 % till bromsarna och hela 13,4 % går till luftmotståndet hos den tunga trafiken. Beroende av däcken så kan rullningsmotståndet bidra till 17–52 % av de totala friktionsförlusterna. (Holmberg et al., 2014)

### 2.3 Däck

Lastbilar rör sig så gott som uteslutande på jämna asfalt och grusvägar, därav använder lastbilar hårda däck med jämt däckmönster som förbättrar lastbilarnas vägegenskaper och bränsleekonomi. En fördel med lastbilarnas däck är att man kan kombinera olika däck beroende på däckens placering på fordon-släpkombinationen och därmed förbättra bränsleekonomin och köregenskaperna. (Siltanen, 2010)

För att kunna utföra markbearbetning och bibehålla grepp på leriga åkrar är de flesta traktorer inom jordbruket utrustade med däck som är stora, breda och har ett djupt däckmönster. Denna utrustning gör traktorer utmärkta redskap för jordbrukssysslor, men de påverkar traktors vägegenskaper och bränsleförbrukning negativt på jämna och hårda underlag och i högre hastigheter. Valet av däck har en stor betydelse på traktorns dragkraft, och inom jordbruk används däck med ribbor som skär in i jorden och ger traktorn dess goda grepp. Våt lera håller för tryck mellan 0.5 till 1.5 bar, och traktors däcktryck rör sig ofta mellan 0.8 bar vid åkerarbeten till 1.4 bar vid landsvägsbruk. (Ahokas, 2013)

## 2.4 Traktorn

En traktor är ett motordrivet fordon vars huvudsakliga uppgift är att transportera, dra och använda jordbruksredskap, släpvagnar och övriga redskap avsedda för bl.a. skogsbruk. Traktors största tillåtna hastighet är 40 km/h. Trafiktraktorer är en traktor som är avsedd för transport av gods och är lastbärande eller utrustad med släpvagn med 10 ton eller större kopplingsmassa. Trafiktraktorns största tillåtna hastighet är 50 km/h. (Vägtrafiklagen 14 §)

Inom europeiska ekonomiska samarbetszonen gäller det kopplingsförfordningar för registrerade traktorer. Till en traktor får man koppla en släpvagn vars kopplingsmassa är högst 2 till 3 gånger traktorns egenmassa, beroende på släpvagnens utrustning. Den största tillåtna traktor-släp fordonskombinationslängd är 16.50 meter. Den största tillåtna massa för traktorer med släp är 36 ton för fyraxlade kombinationer medan fem- eller fleraxlade kombinationers största tillåtna massa är 44 ton (Vägtrafiklagen 120§, 121§, 123§ bilaga 6.7)

## 2.5 Lastbil

En lastbil är ett fordon som är avsett för att transportera last från plats A till plats B, och vars högsta tillåtna egenmassa överskrider 3500kg. Inom europeiska ekonomiska samarbetszonen får ett fordons icke drivande axel bära 10 ton, medan en drivande axel får bära 11,5 ton. Boggiaxlar får bära mellan 11–27 ton beroende på boggins utrustning och antal axlar. Med olika kombinationer av dessa är en lastbils eller en lastbil-

släpfordonskombinations högsta tillåtna totalvikt mellan 18 och 76 ton (se tabell 1). (Vägtrafiklagen 122§ bilaga 6.6)

**Tabell 1** Fordonskombinationers tillåtna vikt och längd 2019. (Statsrådets förordning 31/2019)

Fordonskombination	Största tillåtna totalvikt [t]	Största tillåtna längd [m]
Lastbil, 2-axlar	18	12,00
Lastbil, 3-axlar	28	12,00
Lastbil, 4-axlar	35	12,00
Lastbil, 5-axlar	42	12,00
Lastbil och centeraxlat släp	44	20,75
Fordonskombination 4-axlar	36	34,50
Fordonskombination 5-axlar	44	34,50
Fordonskombination 6-axlar	35	34,50
Fordonskombination 7-axlar	60	34,50
Fordonskombination 8-axlar	64	34,50
Fordonskombination 9-axlar	69	34,50
Fordonskombination 9- eller flera axlar	76	34,50

Det är noterbart är att enligt statsrådets förordning 31/2019 som går i kraft 21.1.2019 får en lastbil med påhängsvagn vara upp till 22,5 meter långa medan en lastbil-släpkombination får vara upp till 34,5 meter. Dessa längder är en stor ökning i och med att de största tillåtna fordonslängderna innan var respektive 16,5 och 25,25 meter.

## 2.6 Bränsleförbrukning

Det finns flera olika sätt att mäta och beskriva bränsleförbrukningen hos ett fordon. Bränslets mängd ges i vikt eller volym, och då bränslets mängd vanligtvis mäts i liter kommer också den här studien använda liter (l) som enhet.

I åkerförhållanden och under andra aktiviteter där fordonets framskridna sträcka är av mindre betydelse används enheten liter per timme (l/h). Denna enhet gör uppskattningen av bränsleförbrukningen enkel, men enheten är otillräcklig för att beskriva bränsleförbrukningen under transportaktiviteter.

Bland personbilar och lastbilar definieras fordonets bränsleförbrukning ofta i volym per sträcka körd, ofta i liter per kilometer (l/km) eller liter per 100 km körd sträcka (l/100km). Styrkan i dessa enheter är att man enkelt kan uppskatta bränsleförbrukningen baserad på körsträckan, men de beskriver inte nyttan av transporten.

För att kunna avgöra ett ekipages lönsamhet beskriver man bränsleförbrukningen i förbrukat bränsle över nyttolasten och sträckan körd, det vill säga liter per ton-kilometer (l/t·km). Denna enhet ger en tydlig bild på en transports effektivitet, vilket är nödvändigt för att kunna avgöra transporters ekonomiska lönsamhet.

## 2.7 Utsläpp

En biprodukt av förbränningsprocessen i en dieselmotor är en mängd olika partiklar samt koldioxid (CO<sub>2</sub>). De partiklar som uppmäts enligt europeiska kommissionens förordning (2011) är kolmonoxid, olika kolväteföreningar, kväveoxider, ammoniak, samt mängden utsläppta partiklar. Den utsläppsklass som för tillfället är i bruk, Euro 6, har inga gränser på CO<sub>2</sub> utsläppen hos varken lätta eller tunga fordon, men det är möjligt att nästa generation av utsläppskrav även begränsar CO<sub>2</sub> utsläppen.

### 2.7.1 Tunga fordon i trafik

Under 1990-talet så införde europeiska unionen utsläppsstandarderna Euro-I samt Euro-II (88/77/EEG). Dessa standarder baserades på stationära avgasprov. År 2000 infördes Euro-III klassen i och med Europaparlamentets direktiv (1999/96/EC). Samma direktiv lade även grunden för klasserna Euro-IV och V. Klasserna III, IV och V baseras på både stationära samt transienta test. Från och med 1 januari 2013 blev utsläppsklass 6 obligatorisk för alla tunga fordon som produceras. Nytt med klass 6 förutom skärpta utsläppskrav är att även partikelutsläpp regleras för första gången (EU 2011/582). Från och med 1 januari 2019 bör tillverkarna för tunga fordon meddela fordonens bränsleförbrukning och koldioxidutsläpp som ska fastställas med ett simuleringsverktyg framställt åt den europeiska unionen (Europeiska kommissionen, 2018).

### 2.7.2 Jord och skogsbruksmaskiner

Jord och skogsbruksmaskiners utsläpp har reglerats på liknande sätt som tunga fordons utsläpp. En skillnad är att utsläppsklasserna för de mobila maskiner som inte är avsedda

för transporter på väg har kommit i kraft drygt tio år senare än de för den tunga transporten. Den senaste klassen Euro V trädde i kraft 1 januari 2019 och för maskiner med motorstyrkan 56 kW till 130 kW träder den först i kraft 1 januari 2020 (EU 2016/1628)

## 2.8 Jordbruksmateriel

Inom jordbruk transporteras många olika sorters lantbruksprodukter, gödsel och jordmassor. Densiteten på olika gods varierar mycket, vilket bör beaktas för att effektivt kunna transportera godset.

**Tabell 2** Exempel på typiska lantbruksprodukters densitet. (ProAgria, 2019)

Last	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
Ensilage, färskt	200–300
Grönfodersäd	450–600
Hö	50–150
Fastgödsel	700
Flytgödsel	> 950
Korn	650
Flis, torr	200–300
Flis, våt	300–350
Björkved	400–500
Släckt kalk	550–600
Grus	1700
Mulljord	800

Transporten av last är mest effektiv när en fordonskombinations nyttomassa och volymetriska kapacitet utnyttjas till fullo. Denna optimala kapacitet kan räknas genom att dela lastutrymmets volym med den största tillåtna nyttolastens massa.

### Exempel.

För att transportera 30 ton färskt ensilage krävs ett lastutrymme på:

$$30\,000\text{ kg} / 300\text{ kg/m}^3 = 100\text{ m}^3$$

Det kan ändå vara svårt att uppnå optimal lastkapacitet, och ofta så begränsar endera vikten eller volymen lastens storlek.

## 2.9 Fyllnadsgrad

Ett transportfordon kör sällan med full last hela tiden. Detta leder till att fordonets lastkapacitet inte utnyttjas så effektivt som möjligt. Ett fordons lastkapacitet är den maximala volym eller massa last som ett fordon kan transportera.

$$k = \text{nyttolast} / \text{lastkapacitet} \quad (1)$$

$k$  Lastkapacitetens utnyttjandegrad

Hur effektivt fordonet utnyttjas kan beskrivas med fordonets fyllnadsgrad, vilket är beroende på hur stor den av lastkapaciteten är utnyttjad och sträckan körd med lasten.

$$\eta_f = \frac{k_1 s_1 + k_2 s_2 + \dots + k_n s_n}{s_1 + s_2 + \dots + s_n} \quad (2)$$

$\eta_f$  Fyllnadsgrad

$s$  Körd sträcka

## **3 TIDIGARE STUDIER**

### **3.1 Agricultural Logistics – System comparison of transport concepts in grain logistics**

I en studie gjord av Götz et al., publicerad i Landtechnik (2011), jämfördes olika dragfordon och släpkombinationer. Dragfordonen som jämfördes var en traktor, trafiktraktor, en Unimog och två lastbilar, varav en var äldre och tillhörde utsläppsklass Euro 3 medan den andra var nyare och hörde till utsläppsklass Euro 5. Släpen som användes i undersökningen var traditionella traktorsläp och en påhängsvagn i kombination med en dolly, medan lastbilarna drog en påhängsvagn. I försöket så körde de en 36,6 km lång bana i varierande miljö med de olika fordonskombinationerna vars totala massa var 40 000 kg.

Det noterbara av resultatet var att trafiktraktorn hade högst bränsleförbrukning både olastad och fullt lastad, vilket förklarades med traktorns höga egenmassa. Olastade var bränsleförbrukningen inte överraskande, traktorn förbrukade mera bränsle än Unimogen och lastbilarna, vilket berodde på att traktorn hade terrängdäck, medan de övriga hade däck avsedda för landsvägar. De intressantaste resultaten uppnåddes med full last, då skillnaderna jämnades ut. Den äldre lastbilens bränsleförbrukning var nästan lika hög som traktorns, medan Unimogens förbrukning var i samma storleksklass som den nyare lastbilen.

I studien konstateras det att mindre jordbruk med kortare transportsträckor mycket väl kan använda samma traktor för jordbruket som för vägtransporter. Det konstaterades också att främst stora jordbruk och entreprenörer kan göra ekonomisk nytta utav att sköta landsvägstransporten med lastbil. En annan iakttagelse är att lastbilar sällan kan utnyttja sina höga hastigheter i tätorter, utan nyttan märks först på landsväg.

### **3.2 Running properties of different trailer tyres**

I en studie gjord av Seufert et al. publicerad i tidningen Landtechnik 2002, jämfördes så kallade lågtrycksdäck och högtrycksdäck monterade på släp både i väg och fältförhållanden. Undersökningen utfördes genom att dra ett tvåaxlat släp efter en traktor i fält och landsvägsförhållanden, där traktorns bränsleförbrukning och den kraft som

krävdes för att dra släpet mättes. Högtrycksdäcken i undersökningen var av dimensionen 385/65 R22,5 och däcktrycket var 9 bar, medan lågtrycksdäckens dimension var 550/45-22,5 16PR och deras tryck var 3,8 bar. De viktigaste resultaten i undersökningen är att i fältförhållanden så var fordonskombinationen med lågtrycksdäckens bränsleförbrukning 17,6 % lägre än högtrycksdäckens, medan lågtrycksdäcken ledde till 6,6 % högre bränsleförbrukning i vägförhållanden. Av detta kan man dra slutsatsen att valet av däck beror i högsta grad av vilka förhållanden de används i och att valet av däck påverkar bränsleförbrukningen märkbart vid landsvägstransport i och med en förändring av rullmotståndet.

### **3.3 Factors influencing the energy consumption of road freight transport**

I tidskriften *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* (2010) publicerades en studie gjord av Odhams et al. där olika faktorer som påverkar energiförbrukningen vid transport av varor utforskas med hjälp av datasimulationer av olika fordonskombinationer. I studien jämförs en lastbil med två lastbilar med påhängsvagn samt två fullstora långtradarkombinationer. Simuleringen utfördes genom olika simulerade körrutter med stopp och accelerationer och man simulerade körcykler mellan 1 och 10 km i hastigheterna 45km/h och 90km/h.

De viktigaste resultaten i studien är att optimering av fordonskombinationer i form av förminskat luftmotstånd, förbättring av motorns effekt, minskat rullmotstånd och förminskad egenmassa ger relativt små förbättringar av bränsleekonomin (1 - 10 %) i jämförelse av optimering av logistiska helheten, körrutter och valet av fordon. Den största enskilda faktorn som påverkar bränsleförbrukningen negativt är trafiken i urbana förhållanden, vilket kan leda till fördubblad bränsleförbrukning. En betydande faktor som kan leda till ökad bränsleförbrukning per fraktad nyttolast (l/t·km) är hur stor del av den körda sträckan är med full last. Att köra halva tiden med last kan leda till 70% högre bränsleförbrukning per fraktad nyttolast än om fordonskombinationen är fullastad konstant. Den sista viktiga slutsatsen är att större fordonskombinationer är mera energieffektiva än mindre, då ett stort ekipage kan transportera samma last som två mindre. Under simuleringarna uppmättes inbesparingar upp till en femtedel. Den sista slutsatsen är också den som är mest tillämplig inom transporter på landsbygden, genom



att minska på antalet varv man kör vid frakt av gods, kan man göra betydande inbesparingar.

### **3.4 HCT- ja normaaliajoneuvojen energiankäyttö, hiilidioksidipäästöt ja tiekuormitus**

Företaget Vemosim Ab utförde en jämförelse av HCT- och normalfordon på uppdrag av Trafikverket (från och med 2019: trafikledsverket). I projektets slutrapport sammanställt av Sauna-Aho et al. (2018), beskrivs hur man har undersökt så kallade högkapacitetsfordonskombinationers (HCT) och normallångtradares bränsleförbrukning, CO<sub>2</sub> utsläpp samt fordonens vägbelastning med hjälp av simulationer baserade på uppmätta körmotstånd hos fordonen.

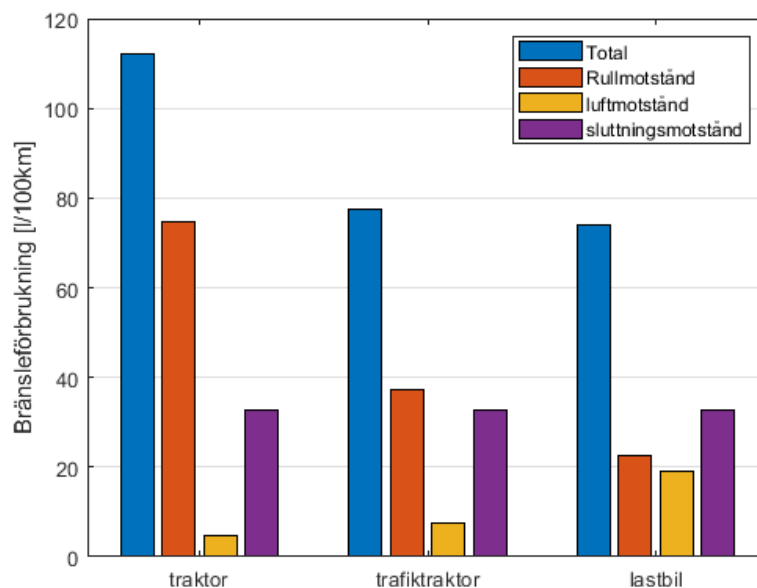
I undersökningen testades totalt 7 olika fordonskombinationer, 3 normala och 4 HCT-kombinationer, varav fordonskombinationerna var utrustade med container-, virkes- eller skåplastutrymme. I bilaga (1) finns fordonens tekniska uppgifter listade.

I rapporten konstateras det att HCT-fordonskombinationer förbrukar 10–25 % mindre bränsle än motsvarande normalfordonskombinationer ifall bådas lastutrymme eller kapacitet utnyttjas till sin fullo. HCT-fordonens större lastkapacitet kan också leda till att transporterarnas mängd kan i bästa fall halveras, vilket leder till mindre arbetstid för samma transporterad last. Sista slutsatsen är att vägbelastningen minskar för samma mängd transporterat material ifall man transporterar med HCT-kombinationer.

## 4 BRÄNSLEFÖRBRUKNING

### 4.1 Faktorer som påverkar bränsleförbrukningen

Ett fordonens bränsleförbrukning påverkas av en mängd olika faktorer. De yttre faktorer som påverkar bränsleförbrukningen främst är rullmotstånd, luftmotstånd och vägens lutning. I bild 1 ser man exempel på de yttre faktorernas inverkan på bränsleförbrukningen uträknat enligt formel (6).



**Bild 1** Exempel på de yttre faktorernas inverkan på bränsleförbrukningen. Fordonens totala massa är alla 40 ton

### 4.2 Teoretisk bränsleförbrukning

#### 4.2.1 Rullmotstånd

Rullmotståndet är relaterat till fordonets eller fordonskombinationens massa och är beroende av fordonets däck och underlaget, på vilket fordonet kör. Rullmotståndet räknas enligt formel (3) och i tabell 3 så listas olika rullmotståndskoefficienter som är hämtade från tidigare studier.

$$F_{rull} = C_r G \quad (3)$$

$F_{rull}$  rullmotstånd

$C_r$  rullmotståndskoefficient

$G$  fordonets vikt,  $G = mg$

Rullmotståndskoefficienten avgörs genom att utföra mätningar med en dynamometer i laboratorium, mäta motståndet med hjälp av släp utrustade för ändamålet eller genom frirullningsmätningar på vägar. Den tredje metoden är främst tillämplig på större och tyngre fordon, som inte ryms in i laboratorium. I tabell (3) framställs olika typiska rullmotståndskoefficienter som är uppmätta med den tredje metoden. (Karlsson et al, 2011)

**Tabell 3** Olika fordons rullmotståndskoefficienter (Ahokas, 2013; Odhams, 2010).

Fordon och underlag	Rullmotståndskoefficient, $C_r$
Lastbil, asfalt	0,008
Traktor, asfalt	0,02
Traktor, grusväg	0,04
Traktor, åker	0,08
Traktor, mjuk åker	0,1

#### 4.2.2 Luftmotstånd

Luftmotståndet ökar potentiellt i förhållande till fordonets hastighet, och därför beaktas luftmotståndet som faktor inte alls i den grad hos traktorer som hos lastbilar. Luftmotståndet räknas enligt formel (4). I bild (2) så framställs luftmotståndet i funktion av fordonets hastighet.

$$F_{luft} = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A \quad (4)$$

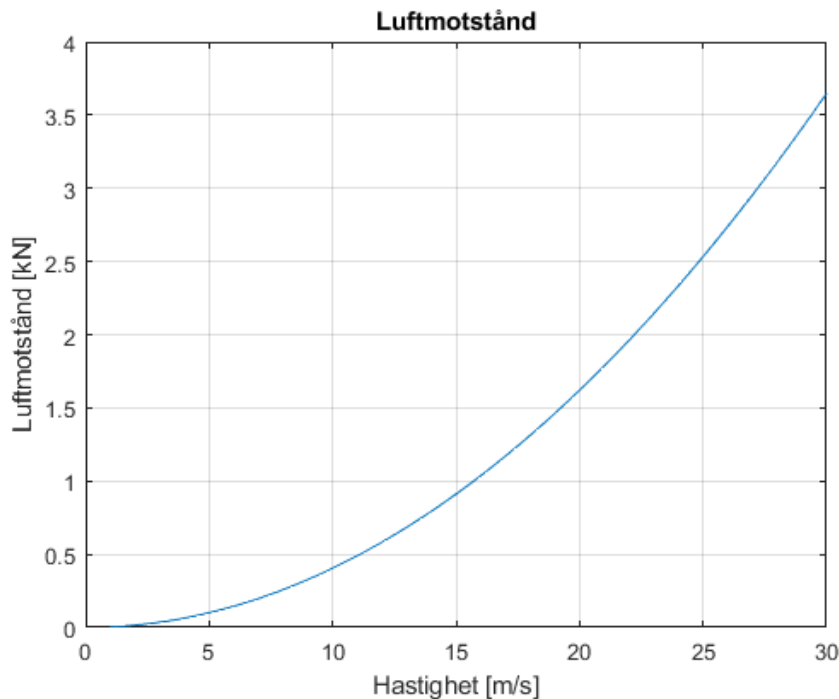
$F_{luft}$  luftmotstånd

$\rho$  luftens densitet ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_d A$  ytans luftmotståndskoefficient ( $\text{m}^2$ )

Luftmotståndet är beroende av fordonets luftmotståndskoefficient samt fordonets tvärsnittsytan och fordonets hastighet kvadratisk. Dessa faktorer kan mätas individuellt, men då faktorer är fordonsspecifika kan man också framställa dessa som en enhet, ytans luftmotståndskoefficient. Luftmotståndet kan mätas på tre olika sätt: Experiment med

miniatyrmodeller i en vindtunnel, simulering av fordonets geometri med hjälp av ett simuleringsprogram, eller rullningsprov på vägar. (Nyholm, 2006)



**Bild 2** Luftmotstånd i funktion av hastigheten.

#### 4.2.3 Sluttningsmotstånd

I uppförsbackar så belastar gravitationen fordonet direkt, därmed bör också vägens stigning tagas i beaktning. I formel (5) redogörs det hur körmotståndet som påverkar fordonet beräknas.

$$F_{lutning} = G \sin \alpha \quad (5)$$

$F_{lutning}$  sluttningsmotstånd

$\alpha$  vinkeln för vägens stigning

När man känner till de olika krafterna som påverkar ett fordon i rörelse kan man beräkna bränsleförbrukningen enligt formel (6). Den specifika bränsleförbrukningen är individuell för varje motor och beroende på motorns varvtal och belastning. Drivlinans verkningsgrad är beroende på växellådans typ men är i normala fall kring 0.95 (Holmberg, 2014).

$$q = (F_{rull} + F_{luft} + F_{lutning}) \eta_{drivlina} q_{spec} / 3600 \quad (6)$$

$q$  bränsleförbrukning (l/km eller g/km)

$\eta_{drivlina}$  drivlinans verkningsgrad

$q_{spec}$  specifik bränsleförbrukning (l/kWh eller kg/kWh)

**Exempel:** En traktor drar en släpvagn. Fordonskombinationens totala massa är 40 ton. Traktorn kör i en uppförsbacke vars lutning är  $1^\circ$  i hastigheten 40 km/h. Traktorns motståndskoefficienter är följande:  $C_r = 0,02$ ,  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_d A = 6,62 \text{ m}^2$ . Traktorns specifika bränsleförbrukning under denna belastning är 0.36 l/kWh och drivlinans verkningsgrad är 95 %.

Från början räknar man ut krafterna som traktorn motverkar:

$$F_{rull} = C_r m g = 0,02 * 40\,000 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 7848 \text{ N}$$

$$F_{luft} = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A = \frac{1}{2} * 1,225 \text{ kg/m}^3 * (40 \text{ m/3,6s})^2 * 6,62 \text{ m}^2 = 501 \text{ N}$$

$$F_{lutning} = m g \sin \alpha = 40\,000 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * \sin(1^\circ) = 6848 \text{ N}$$

Sedan kan man räkna ut bränsleförbrukningen:

$$q = (F_{rull} + F_{luft} + F_{lutning}) \eta_{drivlina} q_{spec} / 3600$$

$$q = (7848 \text{ N} + 501 \text{ N} + 6848 \text{ N}) * 0,95 * 0,36 \text{ l/kWh} / 3600 = 1,4437 \text{ l/km}$$

## 4.3 Lastbilars bränsleförbrukning

Fyra finländska undersökningar och en svensk, har undersökt olika lastbilars bränsleförbrukning under åren 2002 till 2018. En av undersökningarna granskade fyra lastbilar som är tillverkade före Euro 3 klassen togs i bruk, medan de övriga har granskat lastbilar i Euro-klasserna 3 till 5. Resultaten av bränsleförbrukningen har sammanställts och jämförts med lastbilarnas nyttolastkapacitet. I bilaga (1) finns de granskade lastbilarnas bränsleförbrukning och tekniska data listade.

### 4.3.1 Metod

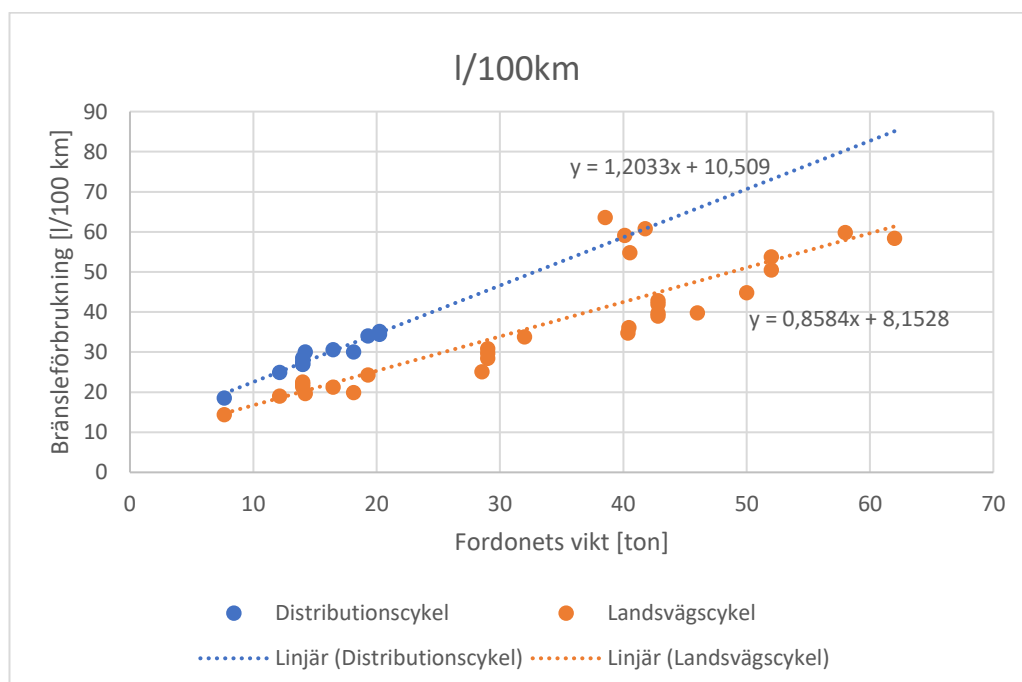
Från de undersökningar som har granskats (Forsberg, 2002; Nylund, Erkkilä, Söderström, 2005; Erkkilä, 2010; Laine, 2014; Sauna-Aho, 2018) har totalt 29 fordonskombinationer

undersökts, varav 12 i viktklasserna 9–26 ton under distributionscykler och 26 inom viktklasserna 9–90 ton under landsvägscyklar. Den uppmätta bränsleförbrukningen har uppmätts vid halv lastkapacitet för att simulera en utnyttjandegrad på nära 50 %, vilket borde vara nära den utnyttjandegrad av lastbilar som används inom jordbruk. Ett undantag är i undersökningen gjord av Forsberg, där vikterna är uppvägda med hjälp av utnyttjandegraden för respektive fordon.

#### 4.3.2 Resultat

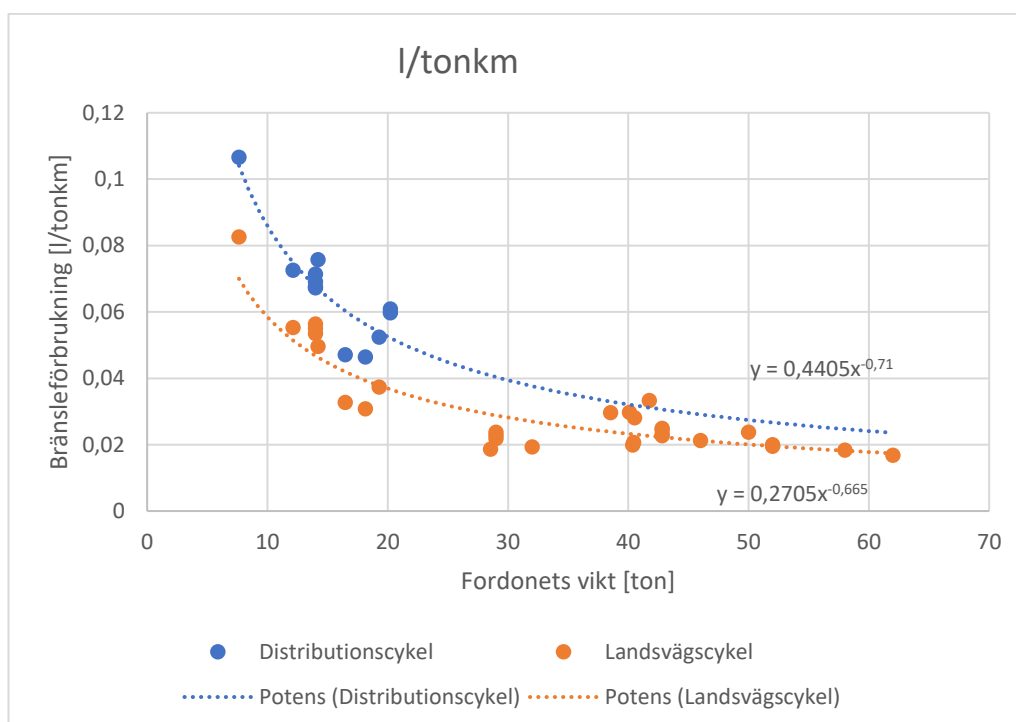
I allmänhet så förbrukar fordon i stadstrafik mera bränsle än på landsvägen, detta faktum är också tydligt när man granskar bild 3, där lastbilar i distributionscykel drar i medeltal 42 % mera bränsle än motsvarande under landsvägscykel. Denna ökning beror på att lastbilar är tvungna att accelerera och bromsa betydligt oftare under distribution än på landsvägen.

Bränsleförbrukningen stiger linjärt i förhållande till fordonets vikt i enighet med teorin. De fyra lastbilarna som inte uppfyller Euro 3 klassens utsläppskrav har också betydligt högre bränsleförbrukning än motsvarande fordon i de övriga undersökningarna.



**Bild 3** Bränsleförbrukning hos lastbilar under distributions och landsvägscyklar

När man jämför bränsleförbrukningen med nyttolastens vikt (bild 4), så kan det konstateras att transporten blir mera energieffektiv när fordonens lastkapacitet ökar, men att den procentuella minskningen av bränsleförbrukningen avtar då totalvikten ökar.

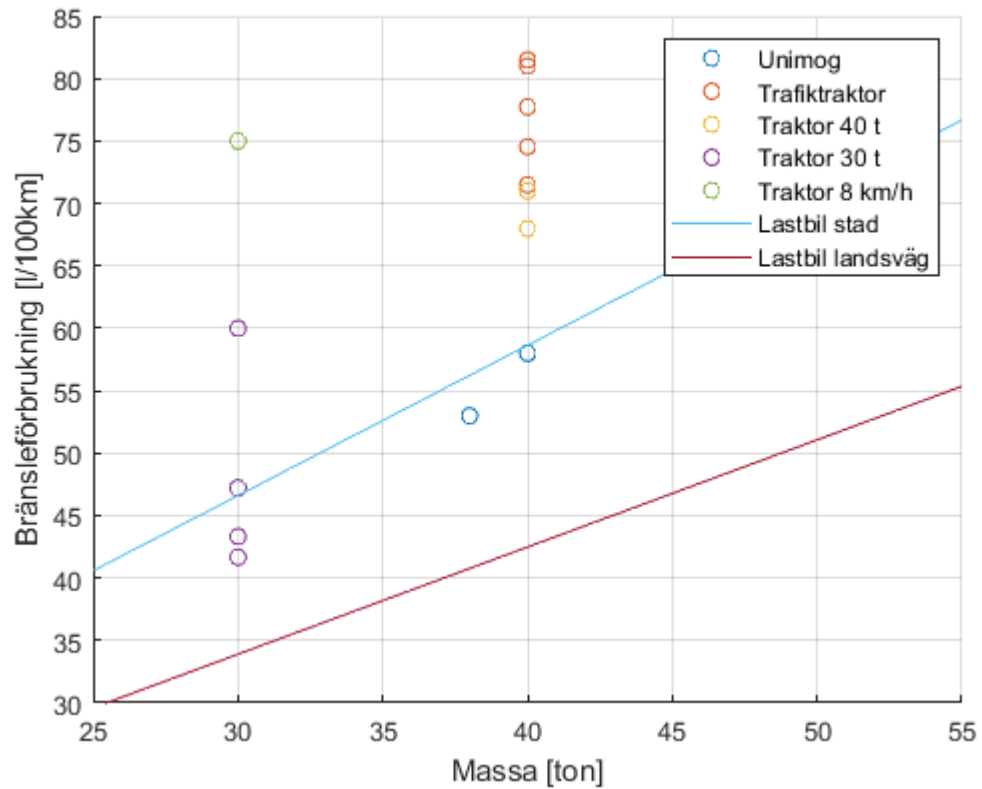


**Bild 4** Bränsleförbrukning hos lastbilar i förhållande till nyttolastens massa

#### 4.4 Traktorers bränsleförbrukning

I tre studier har traktorers bränsleförbrukning vid dragande av släp på landsväg uppmätts, och i dessa studier har tre olika fordonstyper granskats. Traktorerna i studierna är uppdelade i tre kategorier: Trafiktraktorer, som hade en högsta hastighet av 50–60 km/h i studierna och deras totala massa med släpvagnarna var 40 ton. Traktorer med topphastigheten 40 km/h och släpvagnar, och totala massan 30 eller 40 ton. I en av studierna granskades även en Mercedes Benz Unimogs bränsleförbrukning, som är en terränglastbil vars högsta tillåtna hastighet är 80 km/h men har terrängdäck, och är därför mera jämförelsebar med en traktor än en lastbil. I bilaga (2) finns de använda värden listade. (Moitzi, 2008; Götz, 2011; Medeira, 2015)

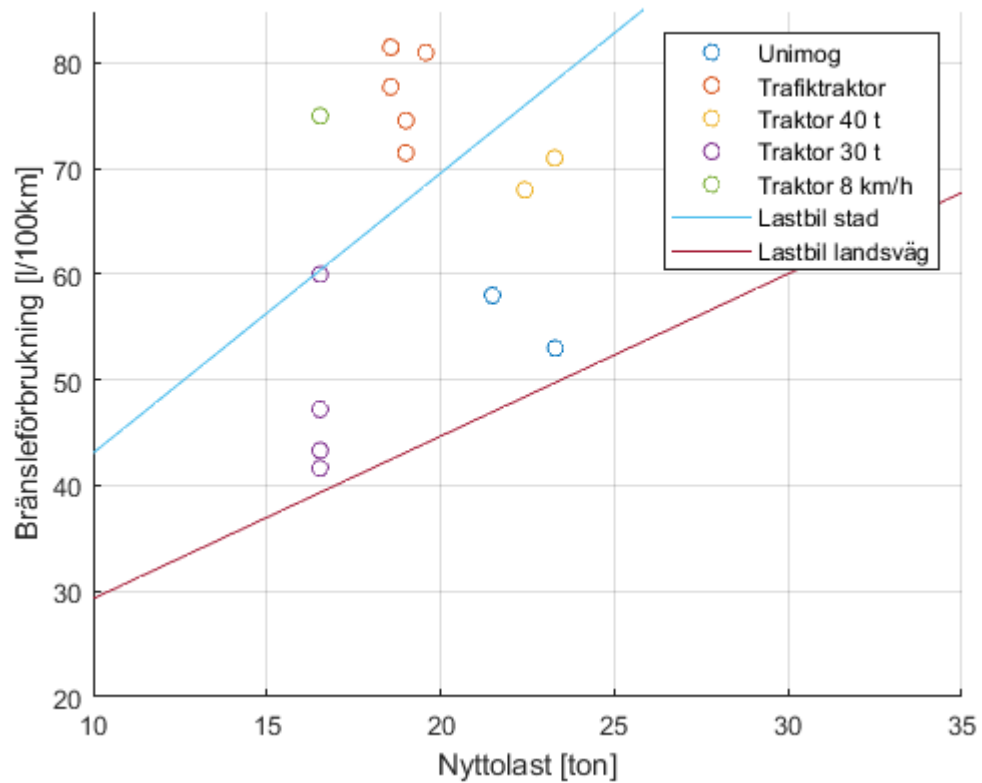
I bild (5) jämförs de olika traktorernas bränsleförbrukning i förhållande med fordonskombinationens massa med lastbilars bränsleförbrukning i stad och på landsväg.



**Bild 5** Bränsleförbrukning i förhållande till fordonens totala massa

I bild (6) jämförs samma fordons bränsleförbrukning men denna gång i förhållande till nyttolastens massa. I denna bild är det värt att notera att traktorernas bränsleförbrukning är uppmätt med högsta tillåtna lastkapacitet, medan lastbilarnas bränsleförbrukning är uppmätta med halv lastkapacitet, och är i verkligheten något lägre än vad den är i bilden.





**Bild 6** Bränsleförbrukning i förhållande till fordonens nyttolast

Till skillnad från lastbilar, så har traktorers bränsleförbrukning på landsvägar inte studerats särskilt mycket, vilket också leder till att det inte går att dra några större slutsatser utifrån den insamlade data.

## 5 RESULTAT

Faktorer som påverkar bränsleförbrukningen hos transportfordon går att dela upp i fysikaliska faktorer samt logistiska faktorer. De fysikaliska faktorerna består av faktorer som direkt är beroende av fordonens fysiska egenskaper, såsom till exempel rullmotstånd eller luftmotstånd. De logistiska faktorerna består av materialet som skall transporteras, transportsträckorna samt fordonens lastkapacitet.

### 5.1 Fysikaliska faktorer

Den energi som går åt att driva ett fordon framåt på platt mark under konstant hastighet går åt att övervinna rullmotståndet mellan däcken och marken samt luftmotståndet. Detta leder till att ett fordons bränsleförbrukning går att minska genom att förminska rullmotståndet eller luftmotståndet. Eftersom rullmotståndet är direkt i proportion med fordonets vikt, leder en högre egenmassa hos ett fordon till högre bränsleförbrukning. Jordbrukstraktorers däck har även märkbart större rullmotstånd än lastbilar, delvis på grund av däckmönster och delvis på grund av mycket lägre däcktryck.

Luftmotståndet ökar märkbart i förhållande till hastigheten, vilket leder till att lastbilar upplever märkbart större luftmotstånd än traktorer. Trots detta så är lastbilars luftmotstånd relativt litet jämfört med traktorers rullmotstånd.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att däcken är den största fysikaliska faktorn som påverkar en traktors bränsleförbrukning, och att lastbilars bränsleförbrukning påverkas i mycket högre grad av luftmotståndet än traktorers.

### 5.2 Logistiska faktorer

Logistiken påverkar bränsleförbrukningen för transporterat gods märkbart, och bränsleförbrukningen förminskas enklast genom att göra förändringar i logistiken. Det energieffektivaste sättet att transportera gods är med största möjliga last, för då är fordonets egenmassa som minst i förhållande till nyttolastens massa.

Insamlade data om bränsleförbrukningen hos lastbilar visar på en förminskad bränsleförbrukning i förhållande till nyttolasten när lastbilarnas lastkapacitet ökas, men

nyttan med att öka lastkapaciteten minskar även vid en ökning av fordonens lastkapacitet. Även HCT fordon har samma fördelar, större lastkapacitet leder till en effektivare transport. Större fordonskombinationer är i allmänhet mera energieffektiva då fordonets egenmassa minskar i förhållande till lastens massa då den totala lastkapaciteten ökar.

### **5.3 Resultatens pålitlighet**

Sammanställningen av insamlade data om bränsleförbrukningen hos olika lastbilars bränsleförbrukning i stads och landsvägstrafik påvisar att bränsleförbrukningen minskar i förhållande till lastens vikt när lastkapaciteten i en lastbil ökar. Denna slutsats görs också i studier av Nylund, Erkkilä och Söderström (2005) samt Sauna-Aho et al. (2018). Resultaten borde därmed vara någorlunda pålitliga.

Studien av traktorers bränsleförbrukning under landsvägstransport med släp kan påvisa en viss trend i att traktorer har högre bränsleförbrukning än lastbilar i samma viktklass, men antalet testade traktor-släpkombinationer är för få för att kunna dra några större slutsatser.

## 6 DISSKUSSION

Det finns tydliga fördelar att transportera gods med lastbilar framför traktorer, såsom minskad bränsleförbrukning och minskad mängd transportsträckor på grund av att lastbilar har högre lastkapacitet än traktorer. Trots det så kan det konstateras att lastbilar inte är lämpliga i alla situationer, och att nackdelarna kan ibland även utväga fördelarna. Investeringskostnader för nya maskiner är alltid höga, och traktorer kan utföra arbete på åkrar till skillnad från lastbilar. Därför kan tröskeln för att övergå till lastbilstransport vara hög hos mindre jordbruk.

Behovet med att öka energieffektiviteten inom alla transportsektorer kommer att fortsätta att öka inom de kommande åren, även inom jordbruket. Detta leder till att traktorers bränsleförbrukning bör studeras mera än vad det görs i dagsläget. I framtiden finns det även behov av mera transparens från tillverkarna angående traktorers bränsleförbrukning. Det finns en klar ekonomisk nytta för finska jordbruk ifall man kan uppskatta transportkostnaderna för olika fordonskombinationer, och därmed lättare fatta investeringsbeslut, även sådana som minskar miljöbelastningen.

Fortsatta studier av lastbilars och traktorers bränsleförbrukning kan underlättas av att mera data blir tillgängligt i och med EU:s krav av lastbilstillverkare att meddela nya lastbilars bränsleförbrukning som trädde i kraft i januari 2019. Det är mycket möjligt att detta krav också även kommer att gälla tillverkare av fordon som inte är avsedda för vägtransport inom en nära framtid.

## KÄLLFÖRTECKNING

Ahokas J, 2013. Polttoaineen kulutus peltotöissä [internetdokument]. Helsinki: Maataloustieteiden laitos. [hämtad 30.1.2019]

Erkkilä K et al., 2010. Energiätehokas ja älykäs raskas ajoneuvo – HDENIQ - Vuosiraportti 2010. VTT 87 s.

Europaparlamentet, 1999. Direktiv 1999/96/EC

Europeiska gemenskapernas råd, 1987. Direktiv 88/77/EEG

Europeiska kommissionen, 2011. Förordning 2011/582

Europeiska kommissionen, 2016. Förordning 2016/1628

Europeiska kommissionen, 2018. New determination of CO2 emissions and fuel consumption of trucks from 1 January 2019 [internetdokument] Tillgänglig: [https://ec.europa.eu/growth/content/new-determination-co2-emissions-and-fuel-consumption-trucks-1-january-2019\\_en](https://ec.europa.eu/growth/content/new-determination-co2-emissions-and-fuel-consumption-trucks-1-january-2019_en) [hämtad 16.4.2019]

Forsberg M, 2002. Transmit - Driftstatistik och vägstandardens påverkan på bränsleförbrukningen [internetdokument]. Uppsala: Skogforsk. 32 s. [hämtad 30.1.2019]

Götz S et al., 2011. Agricultural Logistics – System comparison of transport concepts in grain logistics. Landtechnik, 66 (5), s.381-386.

Holmberg K et al., 2014. Global energy consumption due to friction in trucks and buses. Tribology International, 78 (Oktober 2014), s.94-114.

Karlsson R et al., 2011. Road surface influence on rolling resistance Coastdown measurements for a car and an HGV [internetdokument]. Linköping: VTI. 64 s.

Laine P et al., 2014. Vuoden 2014 TransSmart ajoneuvotutkimus Trafille. 40 s.

Luke, Naturresursinstitutet, 2018. Jordbrukets och trädgårdsodlingens energiförbrukning 2016 [internetdokument]. Tillgänglig: <https://stat.luke.fi/sv/jordbrukets-och-tradgardsodlingens-energiforbrukning>. [hämtad 4.2.2019]

Luke, Naturresursinstitutet. Tilastotietokanta, maataloustilastokanta. Tillgänglig: [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_\\_02%20Maatalous\\_\\_04%20Tuota nto/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuota nto/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db). [hämtad 4.2.2019]

Mederle M et al., 2015. Optimization potential of a standard tractor in road transportation. *Landtechnik*, 70 (5), s.194-202.

Moitzi G et al., 2008. Fuel consumption in agricultural transport activities. *Landtechnik*, 63 (5), s. 284-285.

Nyholm N, 2006. Raskaan kaluston aerodynamiikan kehittäminen. Esbo: Tekniska högskolan.

Nylund N, Erkkilä K, Söderström C, 2005. RAKETRUCK 2004: Euro 3 kuorma-autokaluston polttoaineen kulutus ja pakokaasupäästöt. VTT [hämtad 30.1.2019]

Odhams A M C et al., 2010. Factors influencing the energy consumption of road freight transport. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C, Journal of mechanical engineering science*, 224 (9), s.1995-2010.

Pro Agria, 2019. Lantbrukskalender 2019. Svenska lantbrukssällskapens förbund, 275. ISSN 0785-9937.

Qianfan, X., 2011. Diesel Engine System Design. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1088 s. ISBN 978-0-85709-083-6 .

Sauna-Aho J et al., 2018. HCT- ja normaaliajoneuvojen energiankäyttö, hiilidioksidipäästöt ja tiekuormitus, Loppuraportti. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 51/2018. 65+67 s.

Seufert H et al., 2002. Running properties of different trailer tyres. *Landtechnik* 57 (6), s 356-357.

Siltanen T, 2010. Truck Tyre Rolling Resistance and Fuel Economy & Safety. [internetdokument]. Nokian Tyres. Tillgänglig: [hämtad 4.2.2019]

Statsrådets förordning 31/2019

Tervonen J, Ristikartano J, Sorvoja S, 2010. Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvojen määrittäminen, Taustaraportti 2010, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 33/2010 [Internetdokument] Helsinki: Liikennevirasto. [hämtad 30.1.2019]

Vägtrafiklag 729/2018

## Bilaga 1

Granskade lastbilarnas tekniska uppgifter och uppmätta bränsleförbrukning

Studie	Högsta tillåtna massa [ton]	Fordonets uppmätta massa i studien [ton]	Egen massa [ton]	Nyttolast [ton]	Bränsleförbrukning stad [l/100km]	Bränsleförbrukning landsväg [l/100km]
Forsberg, 2002	60	40,1	20,2	19,9		59,1
	60	41,8	23,5	18,3		60,8
	60	40,6	21,1	19,5		54,8
	60	38,5	17	21,5		63,6
Nylund, Erkkilä, Söderström, 2005	18	14	10	4	27,01	
	26	20,2	14,5	5,7	35,14	
	26	20,2	14,5	5,7	34,45	
	42	29	16	13		28,42
	42	29	16	13		29,69
	42	29	16	13		30,85
	60	42,8	25,6	17,2		38,98
	60	42,8	25,6	17,2		39,72
	60	42,8	25,6	17,2		41,95
Erkkilä et al., 2010	18	14	10	4	26,92	21,37
	18	14	10	4	27,64	22
	18	14	10	4	28,56	22,53
Laine et al., 2014	9	7,6	5,9	1,7	18,58	14,39
	16	12,1	8,7	3,4	24,95	19,02
	18	14,2	10,2	4	30,02	19,64
	26	16,5	10	6,5	30,57	21,26
	26	18,1	11,7	6,4	30,01	19,88
	26	19,3	12,8	6,5	34,04	24,27
	42	28,5	15,1	13,4		25,13
	60	40,4	22,9	17,5		34,75
	60	40,4	21	17,4		36,13
Sauna-Aho et al. 2018	48	32	14,5	17,5		33,79
	64	46	27,3	18,7		39,78
	68	50	31,1	18,9		44,84
	76	52	26,8	25,2		50,44
	80	52	24,4	27,6		53,73
	90	58	25,3	32,7		59,85
	96	62	27,2	34,8		58,37



## Bilaga 2

Granskade traktorernas tekniska uppgifter och uppmätta bränsleförbrukning

Studie	Fordons-kombinationens massa [ton]	Egenmassa [ton]	Nyttolast [ton]	Hastighet [km/h]	Bränsleförbrukning [l/100 km]
Moitzi et al., 2008	30	13,53	16,53	40	60
	30	13,53	16,53	36	47,222222
	30	13,53	16,53	30	43,333333
	30	13,53	16,53	24	41,666667
	30	13,53	16,53	8	75
Götz et al., 2011	38	14,7	23,3	80	53
	40	18,51	21,49	80	58
	40	20,431	19,569	60	81
	40	17,58	22,42	40	68
	40	16,721	23,279	40	71
Medeire et al., 2015	40	21	19	60	74,55
	40	21,44	18,56	60	81,49
	40	21	19	50	71,4868
	40	21,44	18,56	50	77,7295