



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LASSE NYKÄNEN  
TIEKULJETUSALAN ENERGIA TEHOKKUUDEN JA HIILIDIOKSI-  
DIPÄÄSTÖJEN KANSAINVÄLINEN VERTAILU  
Diplomityö

Tarkastajat: professori Jarkko Rantala ja diplomi-insinööri Heikki Liimatainen  
Tarkastajat ja aihe hyväksytty Rakennetun ympäristön tiedekunta-neuvoston kokouksessa 5. syyskuuta 2012

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**NYKÄNEN, LASSE:** Tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen kansainvälinen vertailu

Diplomityö, 99 sivua, 2 liitettä (3 liitesivua)

Joulukuu 2012

Pääaine: Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät

Tarkastajat: professori Jarkko Rantala ja diplomi-insinööri Heikki Liimatainen

Avainsanat: Energiatehokkuus, CO<sub>2</sub>-päästöt, tiekuljetusala, Pohjoismaat

Tiekuljetukset ovat elinehto nykyiselle kaupankäynnille ja tavaroiden liikkumiselle. Samaan aikaan tiekuljetukset aiheuttavat merkittävän osan ympäristölle haitallisista hiilidioksidipäästöistä ja kuluttaa hälyttävän paljon väheneviä fossiilisia polttoainevarantoja. Tässä työssä tutkitaan Norjan, Ruotsin, Suomen ja Tanskan tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen kehitystä vuosina 2000–2010. Työn tavoitteena on löytää mahdolliset yhtenevyydet ja eroavaisuudet maiden tiekuljetusalan historiallisessa kehityksessä ja etsiä niille mahdolliset selitykset.

Työ jakaantuu kahteen osaan: Kirjallisuustutkimusosassa selvitetään mitkä tekijät vaikuttavat tiekuljetusalan energiatehokkuuteen ja hiilidioksidipäästöihin. Samalla pyritään arvioimaan myös tekijöiden mahdollinen vaikuttavuus energiankulutukseen ja päästöihin. Tilastoanalyysiosassa tarkastellaan tutkimusmaiden tiekuljetusalan ympäristövaikutusten kehitystä kansallisella tasolla sekä toimialatasolla vuosina 2000–2010. Tilastoanalyysin taustana toimivat maiden kuljetustilastot, joiden avulla tiekuljetusten muuttujien kehitystä voidaan tarkastella. Maiden kuljetustilastoista tehdyt havainnot, kansantalouden kehitys ja kirjallisuuskatsauksessa toteutettu teoriaosuus yhdistetään, ja näin tutkimuksessa pyritään tarjoamaan kattava kuvaus siitä, miten 2000-luvun alussa tutkimusmaiden tiekuljetusten energiatehokkuus ja CO<sub>2</sub>-päästöt ovat kehittyneet suhteessa liikennesuoritteen ja kansantalouden kehitykseen.

Työn tuloksena on kattava kuvaus tutkimusmaiden tiekuljetusten energiatehokkuuden ja CO<sub>2</sub>-päästöjen kehityksestä vuosina 2000–2010. Tutkimus osoittaa, että kansallisella tasolla tutkimusmaiden energiatehokkuutta ei ole pystytty merkittävästi parantamaan, sillä ainoastaan Tanskassa tiekuljetusten energiatehokkuudessa on havaittavissa lievää kasvua. Tutkimuksessa havaittiin myös, että tiekuljetusten CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys mukailee liikennesuoritteen kehitystä, mikä ilmenee etenkin toimialatasolla, jossa hiilidioksidipäästöiltään puhtaimmat toimialat ovat myös liikennesuoritteeltaan pienimpiä ja toisin päin. Tutkimuksessa toteutettu toimialatason tarkastelu osoitti myös, että kaikissa maissa sama toimiala on tiekuljetuksissa energiatehokkain ja vastaavasti maissa samat toimialat ovat energiatehokkuudeltaan heikoimpia.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

**NYKÄNEN, LASSE:** International evaluation of the road freight transport energy efficiency and carbon dioxide emissions

Master of Science Thesis, 99 pages, 2 Appendixes (3 appendix pages)

December 2012

Major: Transportation systems

Examiners: Professor Jarkko Rantala and Master of Science Heikki Liimatainen

Keywords: Energy efficiency, CO<sub>2</sub> emissions, road freight transport,

Road freight transport is vital for the current trade and the movement of goods. At the same time road freight transport causes, however, a significant amount of carbon dioxides which are harmful to the environment. Road freight transport consumes an alarming amount of the decreasing reserves of fossil fuels. This thesis examines the development of energy efficiency and carbon dioxide emissions of road freight transport in Norway, Sweden, Finland and Denmark over the period of 2000-2010. The main goal is to find possible similarities and differences in the historical development of the road freight industry of the target countries and to find explanations for them.

The thesis is divided into two parts. The literature study part explains what factors affect the energy efficiency and carbon dioxide emissions of road freight transport. This first part includes also the impact assessment for the different factors. The data analysis part focuses on the development of the environmental impacts of the countries' road freight industries. The development is examined at the national level and at the sectoral level over the period of 2000–2010. The statistical analysis is based on the road freight statistics of the target countries, which permit to investigate the development of the different variables of road freight. At the end of this study, observations from the statistical analysis, economics and the theory are combined to offer a comprehensive description of the development of the countries' road freight energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions in relation to the development of economics and road mileage.

The result of the study is a comprehensive description, which describes how the energy efficiency and the CO<sub>2</sub> emissions of the road freight industry have been developed in target countries from 2000 to 2010. As Denmark is the only country where a small improvement in the energy efficiency of the road freight transport can be seen, the study indicates that in the national level countries have not been able to enhance significantly the energy efficiency of the road freight transport. The study also relieved that the development of countries' CO<sub>2</sub> emissions adapt countries' total road mileage. On the sectoral level the coupling is even stronger because the sectors which generate the least road mileage generate also the least carbon dioxide emissions and vice versa. The sectoral analysis also pointed out that in the target countries the road mileage defines the amount of CO<sub>2</sub> emissions of the sector.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Tiedonhallinnan ja logistiikan laitokselle. Yliopisto-opintojen alussa diplomityö tuntui pelottavalta ja ehkä jopa mahdottomalta, mutta nyt se kahden kannen välissä. Koko tutkimusprosessi eteni hyvin järjestelmällisesti omien suunnitelmieni mukaan. Osaltaan siinä auttoi se, että työssä käsiteltävä aihepiiri oli minulle jo entuudestaan tuttu muun muassa kandidaatintyöstäni. Jo työtä aloittaessani tiesin aiheen olevan mielenkiintoinen ja ihmisiä paljon puhutteleva. Työprosessin edetessä mielenkiinto aiheeseen on lisääntynyt entisestään ja olen löytänyt minulle uusia näkökulmia aiheen tarkastelemisessa.

Yksin en olisi tässä työssä onnistunut vaan minua on auttanut asiantunteva Liikenteen tutkimuskeskus Vernen henkilökunta. Erityiskiitokset työni ohjaajalle Heikki Liimataiselle sekä prof. Jarkko Rantalalle. Työprosessin aikana saadut neuvot ja kommentit ovat auttaneet minua kehittämään niin tätä diplomityötä kuin omaa itseänikin. Haluan myös kiittää Nordenia tutkimuksen rahoittamisesta sekä yhteistyötahoja tarjoamastaan panoksesta maakohtaisten tilastojen keräämisessä.

Tärkein tuki minulle on tullut kotoa. Elämäkumppani Niina on auttanut ja tukenut minua läpi koko yliopisto-opintojeni ja hänen antamansa tuki ja apu ovat olleet minulle elintärkeitä. Suuri kiitos kuuluu myös vanhemmilleni Liisalle ja Teuville sekä siskolleni Elisalle ja hänen miehelleen Visalle. Ilman perheen muodostamaa tukea en tähän olisi pystynyt. Kiitos kuuluu myös mahtaville kavereilleni, jotka ovat auttaneet irrottautumaan arjesta ja samalla myös tarjonneet mahdollisuuden syvällisiin keskusteluihin erinäisistä aiheista. Nyt teidän avullanne yksi vaihe elämässä on saavutettu ja on aika aloittaa matka kohti seuraavaa.

*”Huominen on aina tulevaisuutta.” (Matti Nykänen)*

Tampereella 11.12.2012

Lasse Nykänen

## SISÄLLYS

Tiivistelmä .....	ii
Abstract .....	iii
Termit ja niiden määritelmät .....	vii
1 Johdanto .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta .....	2
1.2 Tutkimuksen rajaus ja tutkimusongelma .....	4
1.3 Tutkimusmenetelmät ja -tavoitteet.....	5
1.4 Tutkimuksen rakenne .....	7
2 Tiekuljetusalan energiatehokkuus ja hiilidioksidipäästöt .....	9
2.1 Tiekuljetusten arviointikehikko .....	11
2.2 Ilmastonmuutos ja tiekuljetusten CO <sub>2</sub> -päästöt .....	12
2.3 Mittaaminen .....	14
2.4 Talouden vaikutus tiekuljetuksiin .....	17
2.4.1 Arvotiheys.....	19
2.4.2 Kuljetusmuotojakauma .....	20
2.4.3 Keskimatka .....	21
2.4.4 Keskikuorma.....	23
2.5 Tiekuljetusten ja CO <sub>2</sub> -päästöjen yhteys.....	24
2.5.1 Polttoaineen CO <sub>2</sub> -sisältö .....	26
2.5.2 Keskikulutus .....	29
2.5.3 Keskikuorman vaikutus polttoainekulutukseen .....	35
2.5.4 Tyhjänäajo .....	38
3 Tutkimusmaiden esittely .....	41
3.1 Taustaa .....	41
3.2 Tutkimusmaiden strategiat tiekuljetusalan kestävään kehitykseen.....	43
3.3 Kohdemaiden talous ja toimialarakenne .....	45
3.4 Kohdemaiden tiekuljetukset ja niiden ominaispiirteet.....	49
4 Tilastoanalyysin tausta .....	54
4.1 Tietolähteet.....	54
4.2 Maiden tilastojen yhdistettävyyys.....	55
4.3 Tilastojen luotettavuus .....	57
5 Tulosten analysointi .....	60
5.1 Kansallisen tason tarkastelu .....	60
5.1.1 Kuljetusintensiivisyys .....	61
5.1.2 Energiatehokkuus.....	66
5.1.3 CO <sub>2</sub> -päästöt .....	73
5.2 Toimialatason tarkastelu .....	75
5.2.1 Energiatehokkuus.....	81
5.2.2 CO <sub>2</sub> -päästöt .....	83
6 Yhteenveto ja päätelmät .....	86

6.1 Tulosten analysointi ja pohdinta .....	86
6.2 Jatkotutkimus mahdollisuudet.....	91
Lähteet.....	93
Liite 1: NST/R- ja NST2007-tavaralajiluokitus .....	100
Liite 2: Maakohtaiset tiekuljetusten toimialatarkastelut .....	101

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Bruttoarvonlisäys	Bruttoarvolisäys (BKTA) on tuotteiden perushinta, josta vähennetään tuotteiden valmistukseen käytettyjen välituotteiden ostohinta. Perushinta on tuotteesta saatavat tulot ostajalta tuottajalle, josta vähennetään mahdolliset tuoteverot ja lisätään mahdolliset tuotetukipalkkiot. (European Commission 2012a)
EU-15 valtiot	Alankomaat, Belgia, Espanja, Irlanti, Italia, Itävalta, Kreikka, Luxemburg, Portugali, Ranska, Ruotsi, Saksa, Suomi, Tanska ja Yhdistynyt kuningaskunta (1.1.1995–30.4.2004) (European Commission 2012a).
EU-27 valtiot	EU-15 + Bulgaria, Kypros, Latvia, Liettua, Malta, Puola, Romania, Slovakia, Slovenia, Tšekin tasavalta, Unkari ja Viro (1.1.2007-) (European Commission 2012a).
Fossiiliset polttoaineet	Uusiutumattomia energiavaroja, jotka ovat muodostuneet miljoonien vuosien aikana kasvien ja eläinten jäänteistä. Fossiilisia polttoaineita ovat: hiili, maakaasu ja raakaöljy. (Environmental literacy council 2008)
Intermodaalikuljetus	Kuljetusmuoto, jossa käytetään vähintään kahta eri kuljetusmuotoa ja kuljetettava tavara kuljetetaan kokoajan yhdessä kuljetusyksikössä. (Piecyk 2010)
OECD	Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö (Organisation for Economic Cooperation and Development). Perustettu vuonna 1961. Norja, Ruotsi ja Tanska kuuluvat perustajajäsenmaihin ja Suomi liittyi vuonna 1969.

# 1 JOHDANTO

Kasvihuoneilmiö ja ilmanlaadun saastuminen ovat globaaleita ilmiöitä, joiden ehkäisemiseksi pyritään jatkuvasti kehittämään uusia ratkaisuja. Hiilidioksidipäästöjä pidetään yhtenä pääsyynä ilmastonmuutokselle, ja siksi maat ja erilaiset kansainväliset yhteisöt ovat lakien ja erilaisten päästötasovelvoitteiden avulla yrittäneet saada hiilidioksidipäästöt vähenemään. Ongelmana päästöjen vähentämiselle on kuitenkin ollut jatkuva päivittäistavarakulutuksen kasvu ja energiankulutuksen kasvu. Ihminen on omalla toiminnallaan ja välinpitämättömyydellään aiheuttanut sen, että ilmastonmuutokselta on jo mahdollonta välttyä täysin, mutta sen seurauksiin pystytään vaikuttamaan. Energian loppukäytön tehostaminen ja uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen ovat mahdollisuuksia ilmastonmuutoksen pienentämiseen ja sen seurauksien lieventämiseen.

Liikenteellä on merkittävä osa ihmiskunnan kehityksessä. Liikennettä pidetään kaupan käynnin elinehtona. Euroopan komission liikenteen valkoisessa kirjassa todetaan muun muassa, että ”liikenne mahdollistaa talouskasvun ja työpaikkojen luomisen, ja sen on oltava kestävää kohtaamiemme uusien haasteiden valossa” (KOM/2011/144). Liikennejärjestelmä on siis olennainen osa nykymaailman päivittäistä elämää, mutta toisaalta liikennesektorin kuormittaa runsaasti ympäristöä. Liikennesektorin riippuvuus fossiilista polttoaineista tekee siitä todella merkittävän ja edelleen kasvavan yksittäisen kasvihuonekaasupäästöjä tuottavan talouden sektorin. Fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia energiavaroja, joiden käytöstä aiheutuu runsaasti ympäristölle haitallisia kaasuja.

Yleisesti on myös tiedossa, että fossiilisten polttoaineiden varannot ovat vähenemässä, ja niiden saatavuus tulee hankaloitumaan. Vaikeutunut raaka-aineen saanti on jo nyt näkynyt selvänä polttoaineiden hinnan nousuna, ja tulevaisuudessa hinta tulee entisestään kasvamaan, ellei vaihtoehtoisia menetelmiä kehitetä. Ympäristön huomioon ottaminen sekä taloudelliset haasteet ovat vaikuttaneet siihen, että liikennesektoria pyritään jatkuvasti kehittämään ympäristöystävällisemmäksi ja vähemmän resursseja kuluttavaksi. Tähän pyritään kehittyneen teknologian avulla sekä vähentämällä liikennesuoritetta.

Tässä diplomityössä keskitytään yhteen liikennesektorin osa-alueeseen, tiekuljetuksiin. Tiekuljetuksille on tyypillistä se, että ne ovat hallitseva kuljetusmuoto tavarankuljetuksessa, ja että kaluston pääasiallisena energialähteenä on runsaasti saastuttava dieselöljy. Tiekuljetukset aiheuttavat merkittävän osan maapallon hiilidioksidipäästöistä, ja tiekuljetusten suurien hiilidioksidipäästömäärien koetaankin vähentävän muilla talouden sek-



toreilla saavutettujen päästövähennysten merkitystä (European Commission 2012a). Tiekuljetuksia on yritetty korvata ympäristöystävällisemmällä kuljetusmuodoilla ja yhdistelmäkuljetuksilla, mutta nykyisellä liikenneverkolla tiekuljetusten täydellistä korvaajaa on mahdotonta löytää.

Ilmanlaadun heikkenemisen aiheuttamat riskit ja öljyvarantojen väheneminen ovat pakottaneet valtiot toimimaan ympäristöystävällisyyden puolesta. Valtiot ja kansainväliset yhteisöt ovat asettaneet maa- ja aluekohtaisia säästötavoitteita sekä tarkempia yksittäisiä säästötavoitteita koskien vain jotain tiettyä talouden sektoria, kuten liikennesektoria. Parannustoimille asetetut tavoitteet ovat todella kovia, sillä muun muassa Euroopan komission Valkoisessa kirjassa liikennealan tavoitteeksi asetetaan kasvihuonepäästöjen vähentäminen noin 20 prosentilla vuoden 2008 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Energiatohokkuuden parantamisen EU on ottanut huomioon asettamalla energiankulutuksen vähennystavoitteeksi 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. Mikäli tähän tavoitteeseen päästäisiin, se tarkoittaisi lähes 800 miljoonan tonnin vuosivähennyksiä päästöissä EU-alueella. (KOM/2008/30; KOM/2011/144)

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Liikenteen kasvu ja sen seuraukset ovat aiheuttaneet paljon haasteita ihmisten ja tavaran liikkuvuuden varmistamiseksi. Ongelmat, kuten saasteet ja öljyvarojen väheneminen ovat pakottaneet päättäjiä kehittämään entistä kilpailukykyisempää ja kestävämpää liikennejärjestelmää. Kansallisilla ja kansainvälisillä tavoitteilla on pyritty siihen, että liikennejärjestelmän ympäristövaikutukset vähenisivät. Merkittävimpänä kansainvälisenä sopimuksena voidaan pitää Kioton ympäristösopimusta, jonka hyväksymällä maat lupautuvat vähentämään kasvihuonepäästöjään ja parantamaan energiatohokkuuttaan (United Nations 1998).

Euroopan sisällä EU on asettanut omia tavoitteitaan, jotka koskevat EU:n jäsenmaita. EU:n tavoite on vähentää ympäristön kuormitusta kestävän kehityksen periaattein. Muun muassa Euroopan yhteisöjen komission asettama tavoite vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20 % vuoteen 2020 mennessä ja lisätä uusiutuvien energialähteiden osuus EU:n energiankulutuksesta 20 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä on hyvin merkittävä, sillä tavoitteisiin pääsy vähentäisi merkittävästi ympäristön kuormittamista. Liikennesektorin kannalta merkittävimmät Eurooppaa koskevat tavoitteet on asetettu liikenteen Valkoisessa kirjassa. Valkoisessa kirjassa esitetään strategia, jonka avulla Euroopan liikennejärjestelmä pyritään kehittämään ympäristöystävällisemmäksi ja kilpailukykyisemmäksi. (KOM/2008/30; KOM/2011/144)

Mikäli kaikki valtakunnalliset ja kansainväliset tavoitteet kyetään saavuttamaan, on selvää, että saavutetaan merkittäviä parannuksia ympäristöystävällisyydessä. Kasuvat liikennemäärät asettavat kuitenkin omat haasteensa tavoitteiden saavuttamiselle, ja siksi

onkin kyseenalaista pystytäänkö tavoitteet saavuttamaan. Erinäisissä kansallisissa tutkimuksissa on tutkittu tavoitteiden täyttymistä niin sektorikohtaisesti kuin yleiselläkin tasolla. Tässä tutkimuksessa keskitytään pelkästään tiekuljetuksiin ja siihen, miten alan energiatehokkuus ja hiilidioksidipäästöt ovat kehittyneet Pohjois-Euroopassa suhteessa tavoitteisiin. Tämä tutkimus toimii jatkotutkimuksena Tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen tulevaisuus -tutkimukselle. Alkuperäisessä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten Suomen tiekuljetukset ovat pystyneet vastaamaan energiatehokkuussopimuksen ja ilmastopoliittisen ohjelman niille asettamiin tavoitteisiin ja ovatko tulevaisuuden tavoitteet toteutettavissa. Tutkimuksessa kehitettiin uusi hiilidioksidipäästöjen ja energiatehokkuuden arviointimalli, jota tässä työssä sovelletaan kansainvälisesti. (Liimatainen et al. 2012)

Tässä työssä tehtävän kansainvälisen vertailun avulla tullaan toteuttamaan tulevaisuuden arviointi, jonka avulla voidaan arvioida pääsevätkö tutkimuksen kohdemaat tavoitteisiinsa. Tilastotiedon lisäksi tulevaisuuden arvioinnissa tullaan käyttämään apuna myös kansainvälistä kyselyä, jonka avulla täydennetään tilastotietoja. Tutkimus toteutetaan yhteistyössä norjalaisen Institute of Transport Economics, ruotsalaisen University of Gothenburg ja tanskalaisen Technical University of Denmark kanssa. Tutkimuksen rahoittajana toimii Nordic Energy Research.

Kansallisia tiekuljetusalan energiatehokkuustutkimuksia on tehty muutamia, mutta kansainvälisistä vertailuista on puutetta. Pohjoismaiden tasolla tämä tiekuljetuksiin keskittyvä tutkimus on ainutlaatuinen ja tarjoaa mahdollisuuden kansainväliseen vertailuun Norjan, Ruotsin, Suomen ja Tanskan välillä.

Alan aikaisemmissa tutkimuksissa muun muassa Ruzzenenti and Basosi (2009) tarkastelevat Euroopan tiekuljetusalan energiatehokkuutta vuosina 1970–2000. Tutkimuksessa arvioidaan energiatehokkuus-mittareiden luotettavuutta ja pyritään määrittämään trendi energiatehokkuuden historialliselle kehitykselle. Tutkimuksen mukaan energiatehokkuuteen liittyvissä tutkimuksissa ei ole käytetty kovin luotettavia mittareita ja siksi tulokset ovat harhaanjohtavia. Tutkimuksen mukaan Euroopan tiekuljetusalan energiatehokkuus on parantunut tutkimusajanjaksona. Eom et al. (2012) analysoi kansainvälisessä vertailussa yhdentoista IEA-maan tavaraliikenteen CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitystä vuosina 1970–2010. Tutkimuksessa havaittiin, että tutkimusmaissa kytkenä kuljetussuoritteiden ja taloudellisen kasvun välillä on vahvistunut. Eom et al. mukaan kuorma-autoliikenteen energiantensiteetti on tutkimusmaissa jakautunut niin laajalle, että selvää trendiä on hankala määrittää. Tästä johtuen myös kuljetuksista aiheutuvien CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen on haasteellista.

## 1.2 Tutkimuksen rajaus ja tutkimusongelma

Tässä diplomityössä tarkastellaan tiekuljetusten energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen kehitystä. Tilastotietoihin perustuva tarkastelu tehdään kansainvälisesti vertailumalla Pohjoismaita, lukuun ottamatta Islantia. Islanti on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle, sillä sen tiekuljetusalan katsotaan poikkeavan merkittävästi muiden Pohjoismaiden tiekuljetusten luonteesta.

Tarkasteluajanjaksoksi on valittu vuodet 2000–2010, sillä tuolta ajanjaksolta on mahdollista saada vertailukelpoisia tilastotietoja tutkimusmaiden kansallisista tilastoista. Vaikka tämä diplomityö on jatkotutkimus Liimatainen et al. (2012) tekemälle tutkimukselle, jossa tarkasteltiin Suomen tiekuljetusten energiatehokkuutta ja hiilidioksidipäästöjä vuosilta 1995–2010, sekä tehtiin ennuste vuoteen 2016, niin alkuperäisestä tutkimuksesta poiketen, tässä tutkimuksessa tarkasteluajanjakso rajattiin Suomen osalta vuosiin 2000–2010. Suomen tilastotietojen rajoittaminen samaan ajanjaksoon muiden tutkimusmaiden kanssa tehtiin, jotta kansainvälinen vertailu olisi selkeämmin toteutettavissa. Yhtenevällä ajanjaksolla vältetään myös mahdollinen aikasarjojen harhaanjohtavuus, mitä saattaisi muodostua, jos Suomen tilastoja tarkasteltaisiin muita tutkimusmaita pidemmältä ajanjaksolta, ja toisaalta tässä työssä käytettävä toimialajako poikkeaa alkuperäisestä tutkimuksesta.

Tässä tutkimuksessa keskitytään vain tiekuljetusten toiseen pääluokkaan tavarankuljetuksiin, ja henkilökuljetukset on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle. Tieliikenteen tavarankuljetustilastoissa tilastomateriaali on rajattu kansalliseen kuorma-autolla tai kuorma-auton ja perävaunun yhdistelmällä tehtyihin kuljetuksiin. Käytetyn ajoneuvon tulee myös olla rekisteröitynä kyseiseen tutkimusmaahan, ja ajoneuvon kokonaispainon tulee olla yli 3500 kg. Näin ollen pakettiautoilla tehdyt kuljetukset rajataan tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Tuloksia tarkasteltaessa tämä rajaus on huomioitava, sillä nykyään pakettiautoja käytetään enenevässä määrin tietyntyyppisissä tiekuljetuksissa. Rajaus on tehty tavarankuljetustilastojen rajauksiin perustuen.

Kuten jo luvussa yksi on esitetty, tutkimuksessa tarkastellaan tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen historiallista kehitystä Pohjoismaissa, lukuun ottamatta Islantia. Tutkimusongelman analysointiin käytetään alla mainittuja apukysymyksiä.

- Mitkä tekijät vaikuttavat energiatehokkuuteen ja CO<sub>2</sub>-päästöihin tiekuljetuksissa?
- Mitä keinoja maat ovat käyttäneet parantaakseen tiekuljetusten energiatehokkuutta ja vähentääkseen päästöjä?
- Mitä keinoja mailla on parantaa niiden energiatehokkuuttaan ja vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä?

- Miten tutkimusmaiden energiatehokkuus ja CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys eroavat toisistaan?
- Mikä tutkimusmaista on edelläkävijä ja millä maalla on eniten tehtävää?

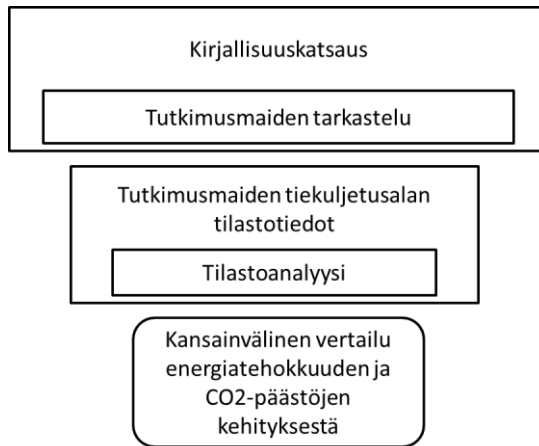
Tutkimuksen apukysymysten avulla pyritään löytämään päätutkimusongelmaa kuvaavaa ja täydentävää tietoa. Apukysymysten avulla pyritään myös varmistamaan, että tutkimusongelmaa tarkastellaan mahdollisimman laajasti.

### **1.3 Tutkimusmenetelmät ja -tavoitteet**

Tutkimuksessa toteutettu kirjallisuuskatsaus muodostaa pohjan tutkimukselle. Tutkimuksessa käytetty kirjallisuus on pääasiassa tiekuljetusalaan ja kestävään kehitykseen liittyviä tieteellisiä julkaisuja. Tieteellisten julkaisuiden lisäksi kirjallisuuskatsauksessa huomioitiin kansainvälisesti merkittävien tahojen tekemiä julkaisuja. Tämän tutkimuksen merkittävimpinä yksittäisiä kirjallisuuslähteitä ovat: Liimatainen et al. (2012), Sorrell et al. (2012), Piecyk (2010), International Energy Agency (2009) ja McKinnon et al. (2010).

Kirjallisuuskatsauksen lisäksi tutkimukseen kuuluu tutkimusmaiden tilastotietoihin perustuva kvantitatiivinen osa. Tutkimuksessa mukana olleet yhteistyötahot Norjasta, Ruotsista ja Tanskasta keräävät ja muokkaavat tarvittavat tilastot niin, että ne ovat verrattavissa keskenään ja jo olemassa olevan suomalaisen tilastokannan kanssa. Tilastotiedot kootaan yhteen ja niitä tarkastellaan kvantitatiivisesti. Tilastoanalyysin avulla toteutetaan kansainvälinen vertailu, jossa tutkimusmaiden historiallista kehitystä verrataan toisiinsa.

Kuvassa 1.1 on esitetty miten kirjallisuuskatsaus ja tilastoanalyysi muodostavat kokonaisuuden, jolla pyritään selittämään tutkimusmaiden tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen kehitystä. Kirjallisuuskatsauksella pyritään kokoamaan niin tieteellinen tieto tiekuljetusten energiatehokkuudesta ja CO<sub>2</sub>-päästöistä kuin tieto tutkimusmaistakin. Ilman kirjallisuuskatsauksessa toteutettavaa tutkimusmaiden tarkastelua on tilastotietojen analysointi riittämätöntä, sillä muun muassa tutkimusmaiden talousrakenteen ja liikennejärjestelmän luovat alustaa tiekuljetuksille.



*Kuva 1.1. Tutkimusprosessin vaiheet.*

Tutkimusmaiden kuljetustilastojen analysointi kytketään olemassa olevaan kirjallisuuteen ja näin pyritään muodostamaan kattava kansainvälinen vertailu. Laajuudeltaan kirjallisuuskatsaus on asiallisesti laajin, sillä siinä pyritään löytämään aiheeseen vaikuttavia tekijöitä ympäri maapalloa, Eurooppaa painottaen. Tilastoanalyysi puolestaan kohdistuu ainoastaan tutkimusmaiden tilastoihin, eikä siinä pyritä huomioimaan muista maista aiheutuvia seurauksia tutkimusmaiden tiekuljetuksiin. Yhdistämällä tilastoanalyysi- ja kirjallisuuskatsausosuus pyritään muodostamaan kokonaisuus, joka vastaa tutkimusongelmaan. Kokonaisuuden muodostama maiden välinen vertailu kuvaa tutkimusmaiden tiekuljetusten kestävästä kehityksestä huomioiden siihen vaikuttavat kansalliset ja kansainväliset tekijät.

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa Pohjoismaiden tiekuljetusten energiatehokkuudesta ja CO<sub>2</sub>-päästöistä vertailukelpoisia tilastotietoja, joilla voidaan korjata tämänhetkinen tilastotietojen puuttuminen. Tavoitteena on myös löytää syyt maiden energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen kehitykselle. Maiden välillä tehtävän tarkastelun avulla pyritään selvittämään, mitä yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia maiden kehityksessä on ollut. Samalla pyritään selvittämään, voiko joku tutkimusmaiden käytäntö olla hyödyksi muille maille.

Tämä diplomityö toimii esitutkimuksena tutkimukselle, jossa tullaan tekemään tulevaisuuden ennuste tutkimusmaiden tiekuljetusten energiatehokkuudelle ja hiilidioksidipäästöille. Täten tutkimuksen päätavoitteena voidaan pitää sitä, että tutkimuksessa toteutettava tilastoanalyysi tarjoaa mahdollisimman hyvät lähtökohdat tulevaisuuden ennustukselle.

Tavoitteet täyttämällä uskotaan muodostuvan kattava kuvaus tutkimusmaiden tiekuljetusalan kestävästä kehityksestä. Samalla muodostetaan vastaus tutkimuksen päätutkimusongelmaan, joka on:

*Millainen on tutkimusmaiden tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen kehitys?*

## 1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus voidaan jakaa kahteen selkeästi erilliseen osaan. Tutkimuksen alkuosa pohjautuu vahvasti olemassa olevaan kirjallisuuteen. Kirjallisuuden avulla tarkastellaan energiatehokkuuteen ja CO<sub>2</sub>-päästöihin vaikuttavia tekijöitä ja arvioidaan niiden vaikutavuutta tiekuljetuksiin. Kirjallisuuskatsauksella pyritään myös löytämään taustatietoa tutkimusmaiden ympäristövaikutusten kehitykselle, jota tilastoanalyysiosiossa voidaan hyödyntää tulosten arvioinnissa. Työn jälkimmäisessä osiossa - tulostenanalysointiosiossa - syvennyttään käytettävään tilastomateriaaliin ja pyritään sen avulla muodostamaan maakohtaiset vertailut. Yhdistämällä kirjallisuuskatsaus- ja tilastoanalyysiosio pyritään löytämään mahdollisia syitä maiden energiatehokkuuden ja CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitykselle.

Työ alkaa yleiskatsauksella liikenteestä ja sen ympäristövaikutuksista. Yleiskatsauksessa työn aihepiiriä pyritään tarkastelemaan riittävän laajasti, jotta lukija saa hyvän käsityksen siitä, mitkä asiat vaikuttavat tiekuljetuksiin ja niiden ympäristövaikutuksiin. Yleiskatsaus auttaa myös ymmärtämään työssä käytettävää arviointikehikkoa ja sitä, miten arviointikehikon eri muuttujat ovat kytköksissä toisiinsa.

Työn teoriaosassa tiekuljetusten energiankäyttöä tarkastellaan työssä käytettävän arviointikehikon avulla. Teoriaosa jakaantuu neljään alalukuun, joissa jokaisessa tarkastellaan aihetta eri näkökulmaa painottaen. Työn teoriaosuudella pyritään vastaamaan siihen, mitkä tekijät vaikuttavat tiekuljetusalan energiatehokkuuteen ja CO<sub>2</sub>-päästöihin sekä siihen, millaisia keinoja mailla on vähentää päästöjä ja parantaa energiatehokkuutta. Tarkoitus on myös löytää keinoja, joita maat ovat käyttäneet kansallisella tasolla energiatehokkuuden parantamiseksi ja päästöjen vähentämiseksi.

Teoriaosuuden jälkeen työssä syvennyttään tilastojen analysointiin. Tulosten käsittely aloitetaan tarkastelemalla tilastojen alkuperää ja luotettavuutta. Ennen varsinaista tulosten analysointia tarkastellaan vielä menettelyä, jolla tutkimusmaiden tilastot on yhdistetty ja muokattu vertailukelpoisiksi.

Varsinainen tilastojen analysointi jakaantuu kahteen osaan. Analysointi aloitetaan tarkastelemalla kohdemaiden tilastoja kansallisella tasolla ja tekemällä maakohtainen vertailu. Maakohtaisella vertailulla pyritään selvittämään, minkä tutkimusmaan tiekuljetusala on energiatehokkain ja puhtain ja missä energiaa kulutetaan eniten. Tulosten analysoinnin toisessa osassa tarkastellaan maiden eroja ja yhtäläisyyksiä toimialatasolla. Toimialatason tarkastelun avulla pystytään vertaamaan maiden toimialojen energiatehokkuutta ja selvittämään, mitkä toimialat ovat tiekuljetusten kannalta ympäristöystä-

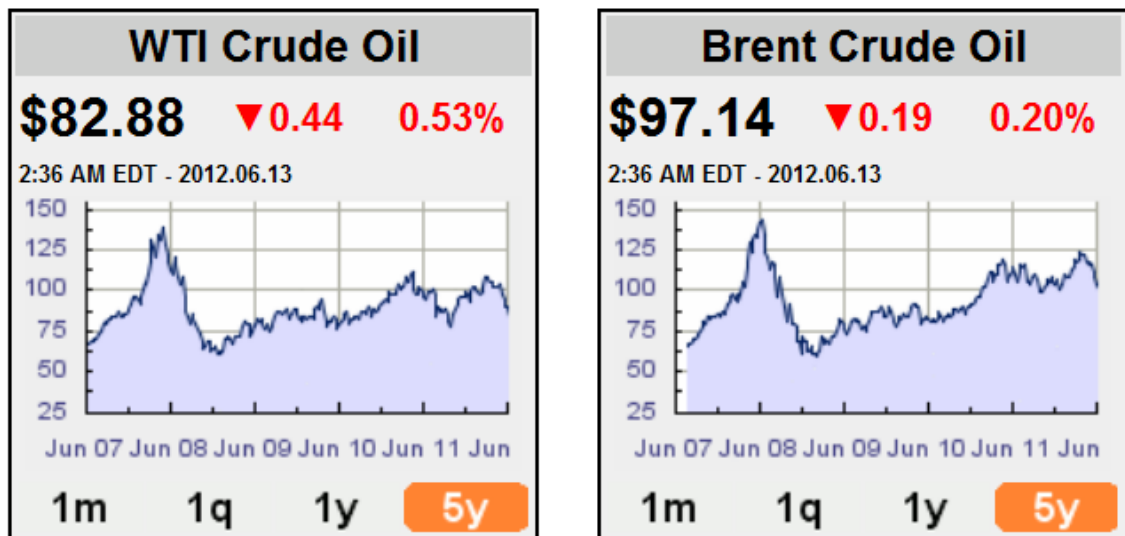
vällisimmät. Toimialatarkastelulla pyritään myös selvittämään onko toimialojen ympäristövaikutuksissa eroja maakohtaisesti.

Tilastoanalyysin avulla pyritään vastaamaan siihen, miten tutkimusmaiden energiatehokkuuden ja CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys eroaa toisistaan ja siihen, minkä maan tiekuljetusala on ympäristöä vähiten kuormittava. Tilastoanalyysin lopuksi tilastoista ilmenneet tulokset ja kirjallisuuskatsaus yhdistetään kokoamalla yhteen työn apukysymysten vastaukset. Tutkimuksen apukysymysten kautta pyritään muodostamaan kattava kokonaisuus, joka vastaa tutkimuksen pääkysymykseen asianmukaisella tarkkuudella.

Tutkimuksen viimeisessä luvussa koko työ kootaan yhteen ja tarkastellaan työssä saavutettuja tuloksia. Tuloksia arvioidaan sen perusteella, miten niillä on onnistuttu vastaamaan tutkimuskysymyksiin ja ratkomaan tarkasteltua tutkimusongelmaa. Viimeisessä kappaleessa pohditaan myös tutkimuksen aihepiiriin liittyviä ongelmia, jotka voisivat tarjota mahdollisuuden jatkotutkimuksiin. Mahdollisiksi jatkotutkimuksiksi esitetään työn aikana havaitut puutteet tiedossa ja tutkimuksen aiheet, jotka tämän työn perusteella vaativat syventäviä tutkimuksia.

## 2 TIEKULJETUSALAN ENERGIATEHOKKUUS JA HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT

Liikenteellä on hyvin merkittävä osa maailman talouden kehityksessä. Ilman tavaroiden liikkuvuutta olisi mahdotonta käydä kauppaa. Tavaroiden liikkuvuus järjestetään erilaisien kansallisin tai kansainvälisin kuljetusjärjestelmien avulla. Tässä työssä tarkastelu-kohteena on tieliikenne ja sen alahaara, tiekuljetukset. Tiekuljetusten ominaispiirre on se, että pääasiallisena energialähteenä toimivat fossiiliset polttoaineet, joista jalostetaan bensiiniä ja dieselöljyä. Fossiilisten polttoaineiden ongelmana ovat niiden saatavuus sekä niiden vaikutukset ympäristöön. Maapallon öljyvarannot ovat vähentyneet, ja samalla öljyn saatavuus on vaikeutunut. Öljytuotannon haasteet ovat vaikuttaneet öljyn hinnan nousuun (ks. kuva 2.1). Öljyn hinnan trendi on ollut kasvava, mikä on pakottanut kuljetusalan yritykset keskittymään polttoainekulutukseen ja sen tehostamiseen. (KOM/2011/144)



**Kuva 2.1.** Raakaöljyn hinnan kehitys USA dollaria/ barrel (usd/bbl) ajalta kesäkuu 2007 — kesäkuu 2011 (Oil-price.net 2012).

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä (2006/32/EY) energiatehokkuus määritellään lauseella ”suoritteen, palvelun, tavarain tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välinen suhde”. Liikenteessä tämä tarkoittaa kuljetussuoritteen ja energialähteen eli polttoainekulutuksen välistä suhdetta. Tieliikenteessä kuljetettavana on joko ihmisiä tai tavaraa, minkä vuoksi kuljetussuorite ilmoitetaan joko henkilö- tai tonnikilometreinä (hkm tai tkm). Yleisesti energiankulutusta kuvataan kilowattitunteina (kWh), ja täten



liikenteen energiatehokkuus voidaan esittää henkilö- tai tonnikilometrejä kilowattituntia kohden (hkm/kWh tai tkm/kWh). Asia voidaan myös esittää päinvastaisesti tarkastelemalla kuinka paljon kilowattitunteja kuluu kuljetussuoritetta kohden (kWh/tkm), mitä kutsutaan termillä energiantensiteetti. (Liimatainen 2010)

Euroopan komission energiatehokkuus-toimintasuunnitelman (KOM/2006/545) mukaan heikko energiatehokkuus on yksi osasy syy ympäristöä saastuttaviin vaikutuksiin. Toimintasuunnitelman mukaan Euroopassa tuhlataan 20 prosenttia käytettävästä energiasta tehottomuuden vuoksi. Euroopan komission arvioiden mukaan tehottomuudesta aiheutuvat kustannukset ovat yli 100 miljardia euroa vuoteen 2020 mennessä. Välittömien kustannusten lisäksi energiankäytön tehottomuuden korjaamisella pystyttäisiin vähentämään hiilidioksidipäästöjä.

Tieliikenteestä aiheutuvat päästöt johtuvat kuljetuskalustossa energialähteenä käytettävistä fossiilisista polttoaineista. Muodostuvat pakokaasut sisältävät useita ihmiselle ja ympäristölle haitallisia kaasuja, kuten hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>). Viime vuosikymmeninä Euroopan tieliikenteen hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet runsaasti. Kuljetussuoritteiden kasvu on ollut niin suuri, että saavutetut energiatehokkuustoimien parannuskeinot tiekuljetusalalla eivät ole pystyneet rajoittamaan CO<sub>2</sub>-päästöjen kasvua. Tiekuljetuksista aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen kasvun katsotaan myös huomattavasti vähentävän muiden alojen, kuten teollisuuden ja energiatuotannon, aikaansaamaa kehitystä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. (Baumgartner 2010)

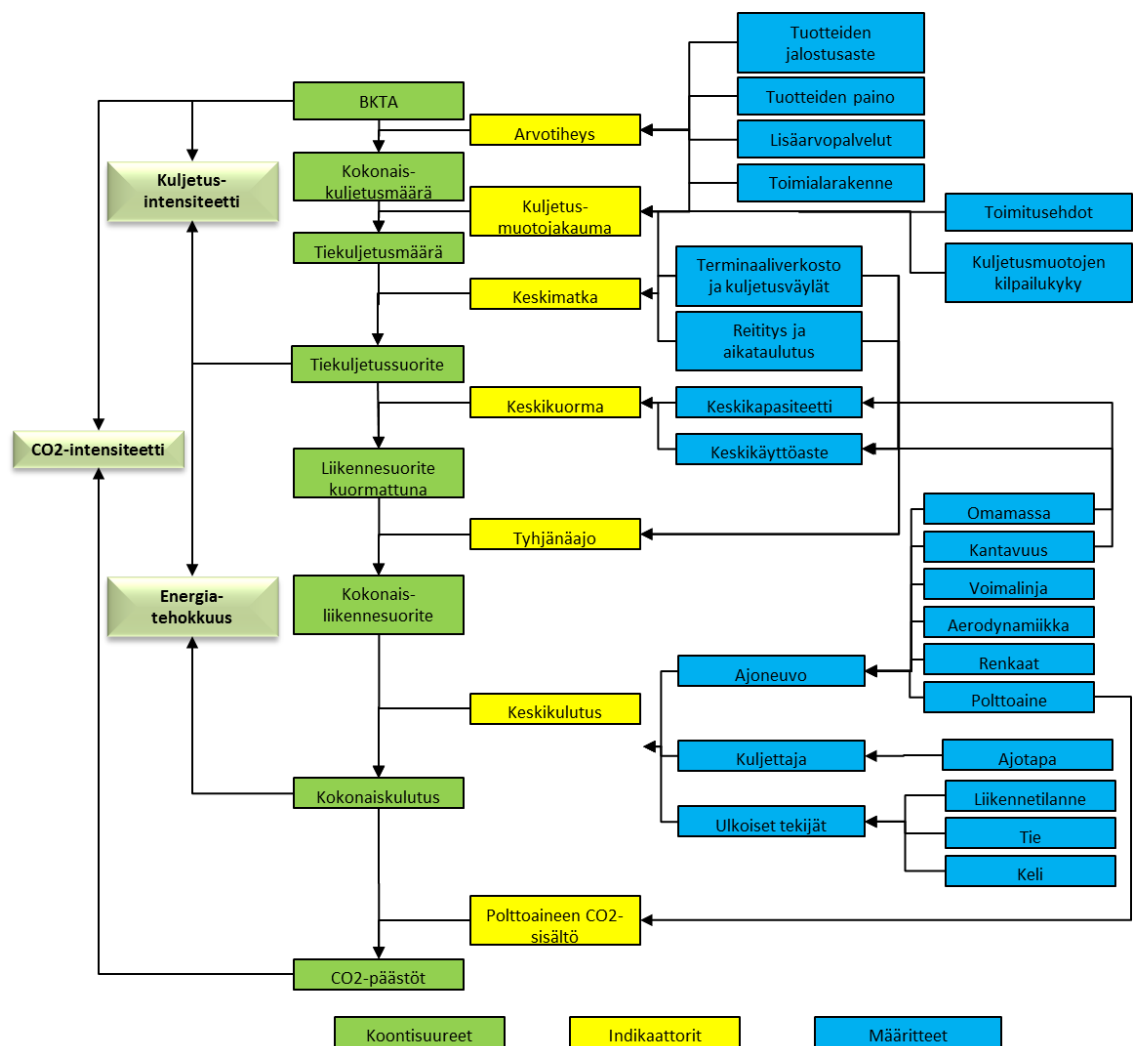
Tiekuljetusalan suurimmat ongelmat aiheutuvat fossiilista polttoaineista ja niistä aiheutuvista haittavaikutuksista niin ympäristölle kuin ihmisillekin. Vähentämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä energialähteenä tiekuljetusten ongelmia pystyttäisiin merkittävästi lieventämään.

Vaihtoehtoiset polttoaineet eivät ole vielä pystyneet korvaamaan dieselöljyn käyttöä tiekuljetuksissa muun muassa korkean hinnan, puuttuvan infrastruktuurin ja epävarman käyttövarmuuden vuoksi. Polttoaineen kulutuksen pienentäminen kuljetussuoritetta kohden onkin täten tehokkain keino parantaa tiekuljetusten energiatehokkuutta sekä vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia.

Ruzzenenti and Basosi (2009) mukaan vähentääkseen polttoaineenkulutusta kuljetusalan toimijoiden tulee huomioida kaikki kuljetussuoritteeseen ja energiankulutukseen vaikuttavat tekijät. Toisaalta polttoaineenkulutus voidaan yksinkertaisesti ilmoittaa muodossa litraa per kuljetetut kilometrit (l/km), mutta tiekuljetusalan kannalta polttoaineenkulutus on riippuvainen monesta eri tekijästä ja niiden yhteisvaikutuksista. Polttoaineenkulutukseen ja täten myös energiankulutukseen vaikuttavat muun muassa: moottorin koko ja teho, kaluston muoto ja paino, kuljetettava tavara ja sen paino, keli, renkaat, tie ja kuljettaja.

## 2.1 Tiekuljetusten arviointikehikko

Arviointikehikko kansantalouden, tiekuljetusten ja niiden ympäristövaikutusten arviointiin kehitettiin alun perin McKinnonin & Woodburnin (1996) toimesta. Arviointikehikkoa on sittemmin muokattu ja kehitetty eri tutkimuksissa. Tässä tutkimuksessa käytetään Liimataisen et al. (2012) tutkimusraportissa esittämää mallia, joka on esitetty kuvassa 2.2. Käytettävä arviointikehikko on muokattu aikaisemmista malleista, ja lisäämällä uusia määritteitä mallista on pyritty kehittämään entistä yksityiskohtaisempi, jolloin se huomioisi entisiä arviointikehikkoja paremmin tiekuljetusten ominaispiirteet. Arviointikehikossa korostuvat tiekuljetusten vaikutukset ympäristöön, mutta myös kansantalouden vaikutukset tiekuljetuksiin on otettu huomioon.



**Kuva 2.2.** Kansantalouden, tiekuljetusten ja niiden ympäristövaikutusten arviointikehikko (Liimatainen et al. 2012).

Arviointikehikossa käytetään seitsemää eri indikaattoria, joilla pyritään selittämään kansantalouden, tiekuljetusten sekä niiden ympäristövaikutusten yhteyksiä. Arviointikehi-

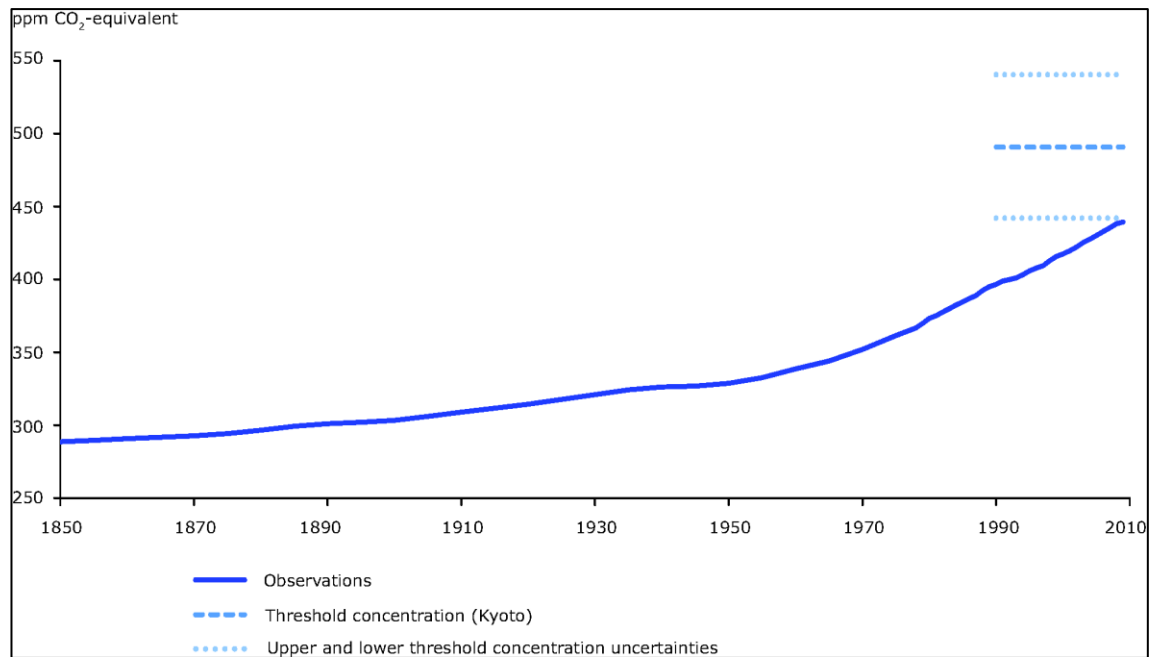
kolla on kuitenkin mahdoton selittää kaikkia kyseisten asioiden välisiin yhteyksiin vaikuttavia tekijöitä, ja siksi on ymmärrettävä että kyseessä on yksinkertaistettu malli.

Tässä työssä pyritään arviointikehikon avulla löytämään Suomen, Ruotsin, Norjan ja Tanskan väliset erot kehikon koontisuureille ja indikaattoreille sekä mahdolliset syyt löytyneille eroavaisuuksille. Määritteiden tasolla on paljon yritysten sisäistä tietoa sekä täysin tilastoimatonta tietoa, ja siksi tässä tutkimuksessa määritetasosta pyritään selvittämään ainoastaan päätrendit ja niiden vaikutus kehikon indikaattoreihin. Seuraavissa kappalaeissa syvennytään yksityiskohtaisemmin arviointikehikon eri osa-alueisiin ja niihin vaikuttaviin tekijöihin.

## **2.2 Ilmastonmuutos ja tiekuljetusten CO<sub>2</sub>-päästöt**

Ilmastonmuutos on kaikkia ihmisiä koskeva ongelma, jonka torjumiseksi vaaditaan kaikkien yhteistyötä. Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan maapallon keskilämpötilojen kasvamista, vuosisadantojen vaihtelua, merenpinnan kohoamista sekä jäätiköiden ja lumien sulamista. Ihminen on omalla toiminnallaan ja välinpitämättömyydellään ympäristöä kohtaan päästänyt tilanteen niin vakavaksi kuin se nykyään on. Ilman järeitä vastatoimia ilmastonmuutoksen estämiseksi muutokset luonnossa tulevat jatkumaan. Ilmastonmuutoksen myötä on myös ennustettu, että poikkeukselliset luonnonilmiöt, kuten maanjäristykset, tulvat, kuivuus ja tsunamit tulevat lisääntymään ja niiden vaikuttavuus tulee kasvamaan. (European Environment Agency 2012)

European Environment Agencyn (2012) mukaan maapallon keskilämpötila on kasvanut 0,8 °C viimeisten 150 vuoden aikana, ja lämpötilan on edelleen arvioitu jatkavan kasvuaan. Kahden celsius-asteen kasvua keskilämpötiloissa pidetään kriittisenä rajana ihmisille ja ympäristölle. Kasvihuonekaasuja, joihin kuuluvat muun muassa CO<sub>2</sub>-kaasut, pidetään yhtenä pääsyynä jatkuvaan ilmaston lämpenemiseen. Kuvassa 2.3 on esitetty useimpien Euroopan maiden kasvihuonekaasupitoisuuksien kehitys ilmastossa. European Environment Agencyn (EEA) on muuttanut kasvihuonekaasut hiilidioksidiekvivalenteiksi, jotta kaikkien eri kasvihuonekaasupäästöjen yhteisvaikutus on pystytty arvioimaan. Kuvassa on myös esitetty Kioton ympäristösopimuksen mukaiset raja-arvot kasvihuonekaasupitoisuuksille.



**Kuva 2.3.** Kasvihuonekaasupäästöpitaisuuksien kehitys EU25, EU27, EU12, EU15, EFTA4 ja EEA32 maissa vuosilta 1850–2010 (European Environment Agency 2012).

Ilmastomuutoksen torjumiseksi ja lämpötilannousun pitämiseksi alle kahden celsiusasteen, kasvihuonekaasupäästöt tulisi puolittaa vuoden 1990 arvoista vuoteen 2050 mennessä. EEA:n mukaan kehittyneillä mailla on kasvihuonekaasujen vähentämisessä suurin rooli. EEA:n mukaan kehittyneiden valtioiden tulisi vähentää kasvihuonepäästöjään jopa 80–95 prosenttia. Liikenteen osalta suuret kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset vaativat merkittäviä vähennyksiä fossiilisten polttoaineiden käyttämisessä, sillä fossiilisten polttoaineiden polttamisessa syntyy sivutuotteena hiilidioksidia, jota pidetään yhtenä merkittävimpänä kasvihuonekaasuna. (European Environment Agency 2012)

Kansainvälisillä laeilla ja tavoitteilla päättäjät ovat pyrkineet saamaan ilmastonmuutoksen kuriin. Kioton ympäristösopimus (1997) on yksi merkittävimmistä tämän alan kansainvälisistä sopimuksista. Sopimuksen ratifioinnilla maat sitoutuvat vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään. Sopimuksen on ratifioinut suurin osa maapallon maista. Yhdysvallat ei kuitenkaan ole vielä ratifioinut sopimusta, vaikka se onkin allekirjoittanut sopimuksen. Täten pöytäkirja ei sido Yhdysvaltoja. Huomioitava on myös se, että osalla suurista kasvihuonekaasupäästömaista kuten Kiinalla ei ole tiettyä vähennystavoitetta Kioton protokollan alaisuudessa. Kioton sopimuksen jatkeeksi Yhdistyneiden kansakuntien vuoden 2010 ilmastokonferenssissa tehtiin Cancún:in sopimus, jossa jäsenmaille annettiin muun muassa kattava taloudellinen ja tekninen tukipaketti, jolla maat pysyisivät torjumaan ilmastonmuutosta. (European Environment Agency 2012; United Nations 1998)

Euroopan Unioni on direktiiveillään asettanut kovat tavoitteet ilmastonmuutoksen ehkäisylle. EU on muun muassa asettanut tavoitteen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20 prosenttia vuoden 1990 arvoista vuoteen 2020 mennessä. Raportissa mainitaan myös, että tavoite voidaan nostaa 30 prosenttiin, mikäli yhteistyössä muiden kehittyneiden maiden kanssa saadaan aikaan kansainvälinen sopimus päästöjen vähentämiseksi. EU:n tavoitteena on myös kehittää päästökauppajärjestelmää siten, että se ehkäisisi entistä tehokkaammin ilmastonmuutosta. Päästökauppajärjestön ulkopuolisille sektoreille, johon kuuluu muun muassa liikenne, EU on asettanut tavoitteen vähentää päästöjä 10 prosenttia vuoden 2005 tasosta. (KOM/2008/30)

Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät voimakkaimmin arktisilla alueilla, joissa jäätiköt sulavat ja nostavat siten merenpinnan tasoa. Arktinen alue ympäröi maapallon pohjoisnapaa ja on samalla myös osa Pohjoismaita. Pohjoismaiden maantieteellinen sijainti onkin osaltaan vaikuttanut siihen, että Pohjoismaissa ollaan hyvin kiinnostuneita ympäristöystävällisyyden kehittämisestä. Pohjoismailla on ympäristöystävällinen maine, ja usein Pohjoismaita pidetään ympäristöystävällisyyden pioneereina. Pohjoismaat ovat mukana myös monikansallisissa toimissa, sillä Ruotsille, Suomelle ja Tanskalle on asetettu tavoitteet ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi EU:n toimesta. Euroopan Unioniin kuulumattomat Norja ja Islanti ovat sitoutuneet EEA mukaiseen ympäristötyöhön. Pohjoismaiden sisällä maat pyrkivät jatkuvasti kehittämään uusia poliittisia menetelmiä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Osa Pohjoismaiden strategiaa on myös perustaa erilaisia työryhmiä ja verkostoja, joiden avulla ympäristöystävällisyyttä pystyttäisiin edistämään. (Norden 2008)

## 2.3 Mittaaminen

Tiekuljetusten energiatehokkuuden ja päästöjen mittaamisessa voidaan käyttää monia eri muuttujia riippuen siitä, minkä suhteen saatuja tuloksia halutaan analysoida. Tiekuljetusalalla käytetyt mittarit perustuvat pääsääntöisesti pituuden, painon ja rahan tai niiden erilaisten yhdistelmien kuvaamiin suureisiin. Yhdistelemällä eri muuttujia voidaan selvittää myös kahden tai useamman eri muuttujan välisiä suhteita. Muuttujien valinnassa pyritään käyttämään niitä muuttujia, jotka parhaiten kuvaavat haluttua asiaa. Ilmiötä parhaiten kuvaavat muuttujat pystytään usein tunnistamaan purkamalla tarkasteltava muuttuja siihen vaikuttavien eri tekijöiden mukaan osiin. (Liimatainen 2010) Tässä työssä tämä on huomioitu kuvassa 2.2 esitettyjen arviointikehikon indikaattoreita selittävien määritteiden avulla. Tiekuljetusalan muuttujien moniulotteisuuden lisäksi muuttujille on tyypillistä, että muuttujia kuten ajetut kilometrit, ajoaika ja kuljetetut tonnit voidaan tarkastella useilla eri tasoilla. Tasoina voivat olla esimerkiksi kansallinen tai kansainvälinen, organisaation tai yksittäisen ajoneuvon taso.

Baumgartner (2010) esittää väitöskirjassaan, että operatiivinen tehokkuus voidaan jaotella neljälle eri tasolle, logistiseen tehokkuuteen, ajoneuvon tehokkuuteen, kuljettajan

tehokkuuteen ja reitin tehokkuuteen. Logistinen tehokkuus Baumgartnerin väitöskirjassa kuvataan kuorman maksimoinniksi valitsemalla oikea kuljetuskalusto oikeanlaisiin kuljetuksiin. Ajoneuvon tehokkuudella tarkoitetaan liikettä vastustavan kitkan minimointia parantamalla ajoneuvon tekniikkaa ja aerodynamiikkaa. Kuljettajan tehokkuudessa Baumgartner korostaa koulutusta ja ajamisen apulaitteiden käyttöä. Reitin tehokkuudella tutkimuksessa tarkoitetaan teiden ja liikenteen vilkkauden huomioimista reitityksessä. Kokonaistehokkuutta mitattaessa tulee pystyä mittaamaan kaikkien näiden neljän tason yhteisvaikutus. Täten ei siis riitä, että pystytään tarkasti mittaamaan polttoaineen kuluusta vaan samalla tulee myös huomioida esimerkiksi kuorman paino ja koko sekä mahdollisten muiden kuljetusvirtojen yhdistettävyyden kykyyn kuljetukseen.

McKinnon et al. (2010) esittävät kirjassaan neljä erilaista indikaattoria ajoneuvokaluston käyttöasteelle. Ajoneuvon vuosittaiset tonnikilometrit McKinnon et al. mukaan on hyvin yleinen kaluston tehokkuutta kuvaava indikaattori, vaikka se ei oikeasti kuvaa kaluston käyttökapasiteettia. Syynä kasvaneille tonnikilometreille pidetään ajoneuvojen lisääntynyttä ajoaikaa sekä kaluston omapainon kasvua. Painoon perustuva kuormausaste-indikaattori kuvaa, kuinka monta tonnikilometriä rahtia on kuljetettu suhteessa ajoneuvon maksimi-tonnikilometreihin.

McKinnon et al. mukaan rahdin painoon perustuva indikaattori antaa täysin erilaisen kuvan ajoneuvon käyttöasteen kehityksestä kuin ajoneuvon vuosittaiset tonnikilometrit. Ajoneuvon vuosittaisten tonnikilometriä perusteella Iso-Britannian kuorma-autojen käyttöaste olisi parantunut, kun taas rahdin painoon perustuva kuormausasteen mukaan kuorma-autojen käyttöasteessa olisi ollut selvää laskua.

Rahdin kokoa mitattaessa käytetään yleensä rahdin painoa. Painon siasta voitaisiin täyttöaste ilmaista myös mittaamalla tilavuutta tai pinta-alaa. Tilavuutta tai pinta-alaa mitattaessa kuormatilan täyttöasteen arvioiminen perustuu lähinnä standardoitujen kuljetusyksikköjen mittoihin, kuten kuormalavojen ja rullakoiden ulkomittoihin. Tiedot kuljetetuista tilavuuksista ja/tai pinta-aloista ovat kuitenkin hyvin puutteelliset ja siksi tarkastellut ajoneuvojen käyttöasteesta onkin tehtävä pääosin rahdin painoon perustuen. (McKinnon et al. 2010)

Neljäs kaluston käyttöastetta kuvaava indikaattori McKinnon et al. (2010) kirjassa on tyhjänäajo, joka EU-maissa on noin 27 prosenttia. Tyhjänäajo on pakollinen osa lähestulkoon kaikissa kuljetuksissa, sillä aina ei ole mahdollista löytää paluukuljetusta kaikille kuljetusväleille. Tyhjänäajo tulisi kuitenkin pystyä minimoimaan, jotta kaluston käyttöaste pystyttäisiin maksimoimaan. Jokainen tyhjänä ajettu kilometri kuluttaa turhaan niin taloudellisia kuin luonnonkin resursseja.

Kuvassa 2.2 esitetty arviointikehikko tiekuljetuksille ja niiden ympäristövaikutuksille pyrkii huomioimaan kaikki edellä mainitut eri indikaattorit tiekuljetusalan tehokkuudel-

le. Perinteisten tehokkuusindikaattorien lisäksi arviointikehikkoon on lisätty ekonomista näkökulmaa lisäämällä tehokkuustarkasteluun bruttoarvonlisäys (BKTA) sekä arvotiheys. Arviointikehikossa arvotiheys on määritetty kansantalouden tasolla BKTA:n ja kuljetusmäärän suhteena ja toimialatasolla arvonlisäyksen ja tiekuljetusmäärän suhteena (€/t). (Liimatainen et al. 2012)

Kuljetusmuotojakauma arviointikehikossa kuvaa tiekuljetusten prosentuaalista osuutta kaikkiin kuljetusmuotoihin verrattuna. Kuljetusmuotojakaumaa tarkastellessa käytetään suoraan tiekuljetusten osuutta, sillä arviointikehikon parametrit on muokattu juuri tiekuljetuksille sopiviksi. Tiettyjä parametrejä muuttamalla arviointikehikkoa voitaisiin käyttää myös muille kuljetusmuodoille.

Keskimatka kuvaa yhden kuljetusmatkan keskimääräistä pituutta kilometreinä. Keskimatkojen avulla kuljetetut tonnit voidaan muuttaa tonnikipometreiksi. Kuljetettujen tonnien osalta arviointikehikossa käytetään keskikuorma-indikaattoria, joka lasketaan jakamalla kuljetettujen tonnien määrä kuljetusten lukumäärällä. Toisaalta keskikuorma ei kerro todellista ajosuorituksen keskikuormaa, sillä se ei ota huomioon rahdin painon vaihtelua kuljetun reitin varrella, vaan ilmoittaa lastattujen matkojen maksimikuorman keskiarvon.

Tyhjänäajo on ilman kuormaa ajettujen kilometrien prosenttiosuus kokonaisajosuoritteesta. Indikaattorina tyhjänäajo on hyvin merkittävä tarkasteltaessa kuljetuksen energiatehokkuutta ja hiilidioksidipäästöjä, sillä tyhjänä ajettaessa muodostuu turhaa resursien kulutusta.

Keskikulutus on energiatehokkuuden kannalta yleisimmin tunnettu indikaattori tiekuljetusten arviointikehikossa, sillä keskikulutus määritetään samalla tavalla kuin tavallisille henkilöautoillekin, tarvitun polttoainemäärään suhteena kuljettuihin kilometreihin. Yksikkönä keskikulutukselle käytetään l/100km.

Polttoaineen keskikulutuksen tiedetään olevan verrannollinen rahdinpainoon, ajoneuvotyyppiin, kuljettajan ajotapaan ja reitin luonteeseen. Tässä tutkimuksessa polttoaineen kulutukseen vaikuttavia tekijöitä on huomioitu LIPASTO (2012) järjestelmässä tehtyjen eri EURO-luokkiin pohjautuvien kulutustietojen perusteella. Järjestelmässä on arvioitu keskimääräiset polttoaineenkulutukset EURO-luokittain erilaisille kuorma-auto-, reitti- ja kuormausasteyhdistelmille. Tuloksia arvioitaessa on kuitenkin huomioitava, että LIPASTO järjestelmässä ei ole pystytty huomioimaan eri ajoneuvojen aerodynaamisia ominaisuuksia eikä kuljettajan ajotavan vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Arviointikehikossa keskikulutus on täten yksinkertaistettu arvio polttoaineenkulutuksesta erilaisille kuljetuksille.

Ympäristövaikutusten kannalta polttoaineen CO<sub>2</sub>-sisältö on arviointikehikon kuvaavin indikaattori, sillä sen avulla energiatehokkuus ja kuljetusintensiiteetti voidaan suoraan muuttaa hiilidioksidi-intensiiteetiksi. Polttoaineen CO<sub>2</sub>-sisältönä tässä työssä käytetään dieselöljyn CO<sub>2</sub>-sisältöä, sillä dieselöljy on pääsääntöinen kuorma-autojen käyttämä polttoaine. LIPASTO (2012) järjestelmän LIISA 2011 pakokaasujen laskentajärjestelmä ilmoittaa dieselöljyn hiilidioksidipitoisuudeksi 2,66 kg/l, jota käytetään myös tässä työssä polttoaineen CO<sub>2</sub>-sisältönä. Vaihtoehtoisten polttoaineiden osuus tiekuljetuksissa on niin pieni, että niitä ei huomioida tilastotarkastelussa, ja täten kaikkien tarkasteltavien tiekuljetusten CO<sub>2</sub>-sisältönä käytetään 2,66 kg CO<sub>2</sub>/l.

## 2.4 Talouden vaikutus tiekuljetuksiin

Talouden ja liikenteen välillä on tiivis yhteys, sillä ilman tavaroiden ja palveluiden liikuvuutta kaupankäynti olisi mahdotonta. Liikemaailmassa todetaankin usein, että tehokas liikenneverkko on elintärkeä vahvapohjaiselle taloudelle niin paikallisesti, alueellisesti kuin kansallisesti. Talous taas puolestaan lisää liikenteen kysyntää, sillä talouden kasvaessa ja yritysten myynnin lisääntyessä rahdin määrä kasvaa, ja näin ollen myös kuljetusmäärät kasvavat. Toisaalta talouden ja liikenteen välillä on myös nähtävä niiden mahdolliset negatiiviset vaikutukset toisiinsa. SACTRA (1999) korostaa loppuraportissaan, miten parannukset liikennejärjestelmässä eivät yksiselitteisesti tuota taloudellisia hyötyjä, vaan osa liikenteen parannushankkeista saattaa osittain jopa tyrehtyttää taloudellisen kehityksen tietyillä alueilla.

Tiekuljetusten kannalta talouden ja liikenteen välistä yhteyttä voidaan selittää kuljetusintensiiteetin avulla. Kuljetusintensiiteetti lasketaan kuljetussuoritteen (tkm) ja arvonlisäyksen (€) suhteena, ja se esitetään muodossa tkm/€. Vaikka kuljetusintensiiteetti voidaan esittää hyvin yksinkertaisessa muodossa, on huomioitava, että siihen vaikuttavat monet eri tekijät. Jo pelkästään kuljetussuoritteeseen vaikuttavat muun muassa arvotiheys, keskimatka ja kuljetusmuotojakauma. Tässä työssä keskitytään tiekuljetuksiin, joten kuljetusmuotojakaumaa käytetään rajaavana tekijänä tutkimuksessa. Kuljetusmuotojakautaman avulla saadaan selville kuinka suuri osa kuljetuksista on tapahtunut tiekuljetuksina, ja näin ollen voidaan laskea pelkästään tiekuljetuksia koskeva tiekuljetusintensiiteetti. (Liimatainen et al. 2012)

Tapio (2005) esittää artikkelissaan mallin BKT:n ja liikennesuoritteiden välisille vaikutuksille. Artikkelissa Tapio tutkii BKT:n ja liikennesuoritteiden välisiä vaikutuksia niissä tapahtuneiden muutosten avulla. Tapio kuvaa muutosta liikennesuoritteiden ( $\Delta Vol$ ) BKT-joustopuolella ( $\Delta BKT$ ), joka lasketaan kaavalla yksi.

$$\text{liikennesuoritteiden BKT - jousto} = \frac{\% \Delta Vol}{\% \Delta BKT} \quad (1)$$



Tapion (2005) esittämän mallin avulla voidaan BKT:n ja liikennesuoritteiden välillä todeta olevan joko kytkentä tai irtikytkentä. Kytkenällä tarkoitetaan tilannetta, jossa sekä BKT ja liikennesuorite kasvavat tai pienenevät samassa suhteessa. Tilanteessa, jossa liikennesuoritteiden ja BKT:n välillä on kytkentä liikennesuoritteiden BKT-jousto saa arvoja 0,8–1,2. Irtikytkennän osalta erilaiset tapaukset voidaan jakaa kahteen alaluokkaan: toivottuun irtikytkentään ja negatiiviseen irtikytkentään. Artikkelissaan Tapio jakaa myös toivotun irtikytkennän ja negatiivisen irtikytkennän alempiin kategorioihin.

Toivottu irtikytkentä tarkoittaa tilannetta, jossa liikennesuorite pienenee vaikka BKT jatkaa kasvuaan tai tilannetta, jossa sekä BKT ja liikennesuorite pienenevät, kuitenkin siten, että BKT pienenee reilusti hitaammin (liikennesuoritteiden BKT-jousto  $> 1,2$ ). Toivottu irtikytkentä voidaan jakaa kolmeen alakategoriaan: heikkoon irtikytkentään, vahvaan irtikytkentään tai regressiiviseen irtikytkentään. Heikossa irtikytkennässä molemmat BKT sekä liikennesuorite kasvavat, mutta liikennesuoritteiden kasvu on BKT:n kasvua hitaampaa ( $0 < \text{liikennesuoritteiden BKT-jousto} < 0,8$ ). Vahvassa irtikytkennässä BKT kasvaa ja liikennesuorite pienenee (liikennesuoritteiden BKT-jousto  $< 0$ ). Regressiivisessä irtikytkennässä liikennesuorite pienenee BKT laskua nopeammin ja liikennesuoritteiden BKT-jousto on yli 1,2. (Tapio 2005)

Negatiivinen irtikytkentä tarkoittaa tilannetta, jossa liikennesuorite kasvaa, vaikka BKT pienenee tai tilannetta, jossa molemmat sekä liikennesuorite että BKT pienenevät, mutta BKT:n pieneneminen on liikennesuoritetta nopeampaa. Tapio jakaa myös negatiivisen irtikytkennän kolmeen alakategoriaan: kasvavaan negatiiviseen irtikytkentään, vahvaan negatiiviseen irtikytkentään sekä heikkoon negatiiviseen irtikytkentään. Kasvavassa negatiivisessa irtikytkennässä BKT ja liikennesuorite kasvavat, mutta liikennesuoritteiden kasvu on BKT:n kasvua nopeampaa (liikennesuoritteiden BKT-jousto  $> 1,2$ ). Vahvassa negatiivisessa irtikytkennässä BKT laskee ja liikennesuorite kasvaa (liikenteen BKT-jousto  $< 0$ ). Kestävän kehityksen kannalta vahva negatiivinen irtikytkentä on epämieluisin tilanne, sillä se kuormittaisi lisää ympäristöä ja samalla talous heikkenisi. Heikon negatiivisen irtikytkennän tilanteessa molemmat sekä BKT että liikennesuorite laskevat ja liikennesuoritteiden BKT-jousto saa arvoja väliltä 0–0,8. (Tapio 2005)

Tässä työssä Tapion (2005) esittämää mallia liikennesuoritteiden ja BKT:n välisille vaikutuksille sovelletaan kuljetusintensiteetin (tkm/€), CO<sub>2</sub>-intensiteetin (gCO<sub>2</sub>/€) ja energiatehokkuuden tarkastelussa (tkm/kWh). BKT korvataan tässä työssä toimialakohtaisella arvonlisäyksellä ja liikennesuoritteiden sijasta käytetään kuljetussuoritetta ja hiilidioksidipäästöjä. Tällä tavoin pystytään tarkastelemaan Tapion mallin avulla hiilidioksidipäästöjen, kuljetussuoritteiden ja arvonlisäyksen välistä kytkettävyyttä. Energiatehokkuuden arvioinnissa Tapion mallia sovelletaan siten, että BKT korvataan kuljetussuoritteella ja liikennesuorite korvataan energiankulutuksella. Näin pystytään tarkastelemaan kuljetussuoritteiden ja energiankulutuksen yhteen kytkettävyyttä.

Analysoitaessa talouden vaikutuksia tiekuljetuksiin kaikkia tekijöitä on hyvin vaikea ottaa huomioon, sillä osa vaikutuksista ei ole suoria vaikutuksia vaan ne saattavat vaikuttaa vasta useiden vuosien kuluttua epäsuorasti. SACTRA (1999) muun muassa korostaa loppuraportissaan sitä, ettei BKT kuvaa yksiselitteisesti koko taloutta ja sen vaikutuksia. SACTRA mainitsee loppuraportissaan, että erityisesti liikennesektorilla BKT ei selitä kaikkia talouden vaikutuksia, sillä monet liikenneverkon parannustoimet, kuten onnettomuuksien vähentäminen ja aikasäästöt eivät näy BKT:ssa. Samalla SACTRA toteaa loppuraportissaan, että selvää kytkeä kuljetusintensiteetin ja maiden taloudellisen tilanteen välillä ei ole todettu. SACTRA:n mukaan ei ole olemassa todisteita siitä, että tietynlaisen taloudellisen tilanteen omaavilla mailla olisi yksiselitteisesti joko korkea tai matala tai kasvava tai laskeva kuljetusintensiteetti. Tulosten analysoinnissa on ymmärrettävä, että talouden ja tiekuljetusten välillä ei ole aina yksiselitteistä syyseuraus-suhdetta, vaan kyseessä on moniulotteinen kompleksisuus.

### 2.4.1 Arvotiheys

Arviointikehikossa (ks. kuva 2.2) käytettävä arvotiheysindikaattori kuvaa tuotteen arvon ja painon välistä suhdetta (€/t). Korkea arvotiheys tarkoittaa sitä, että arvokasta materiaalia kuljetetaan suhteessa pieni määrä, kun matalan arvotiheyden kuljetuksessa vähemmän arvokasta materiaalia kuljetetaan runsaasti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että arvotiheyden pienentyessä kuljetusmäärien tulisi kasvaa, jotta valtion talous pysyisi muuttumattomana. Ympäristön kuormittamisen kannalta kuljetusmäärien kasvu ei kuitenkaan ole positiivinen kehityssuunta, ja täten arvotiheys tulisikin saada kasvamaan. Toisaalta kuljetusintensiteetin kannalta pieni arvotiheys on kuljetuspalvelun ostajan kannalta edullisempi, sillä kuljetettavan matkan ollessa vakio pienellä arvotiheydellä voidaan tuottaa enemmän tonnakilometrejä euroa kohden. (Sorrell et al. 2012)

International Energy Agencyn (2009) mukaan suurimman osan OECD maista BKT on kasvanut materiaalin kulutusta nopeammin ja siksi maiden keskiarvoarvotiheys olisi kasvanut. International Energy Agencyn (IEA) julkaisun mukaan kuluttajien varallisuus on kasvanut ja kuluttajat ovat alkaneet ostaa entistä arvokkaampia ja ei niin olennaisia tavaroita, jotka IEA:n mukaan ovat yleensä laadukkaampia vuoksi halvempia tavaroita kevyempiä.

Piecyk (2010) käsittelee väitöskirjassaan kuljetusjärjestelmien ja CO<sub>2</sub>-päästöjen vaikutuksia liiketoimintaan. Piecyk korostaa rahdin merkitystä koko tuotteen hinnassa, etenkin matalan arvotiheyden tuotteilla. Hänen mukaan etenkin bulkki-tavaralla rahdin osuus kokonaiskustannuksista saattaa olla hyvin merkittävä. Samalla hän toteaa, että korkean arvotiheyden tuotteilla rahdin osuus kokonaishinnasta ei ole niin merkittävä, ja rahdin hinnan osuus saattaa jäädä vain muutamiin prosentteihin. Piecyk nostaa väitöskirjassaan esiin myös nykyajan trendin, jossa tuotteiden hinnat ovat alkaneet nousta ja kuluttajat ovat alkaneet ostaa laadukkaampia ja kalliimpia tuotteita. Korkeamman arvotiheyden tuotteiden yleistymisen tarkoittaa tiekuljetuksissa sitä, että kuljetusten hinnan

osuus kokonaishinnasta pienenee, mikä saattaa rohkaista yrityksiä keskittämään toimintaansa ja panostamaan suurempiin keskusvarastoihin. Ympäristön kannalta yritysten toiminnan keskittäminen koetaan uhkana, sillä se kasvattaa kuljetusmatkoja ja lisää näin kuljetussuoritetta.

Arvotiheys kuvaa tuotteen arvon ja sen painon suhdetta, joten arvotiheyteen voidaan vaikuttaa muuttamalla jompaa kumpaa näistä kahdesta muuttujasta. Mikäli arvotiheyttä halutaan kasvattaa, tulee tuotteista tehdä kevyempiä ja arvokkaampia. Tuotesuunnittelun ja -kehityksen avulla tuotteista voidaan saada kevyempiä. Tuotteiden keventäminen voi olla seurausta joko entistä kevyemmistä tuotteen valmistusmateriaaleista tai tuotteen fyysisen koon pienentämisestä. Tuotteiden keventämisen lisäksi arvotiheyteen voidaan vaikuttaa muuttamalla kaupankäynnin mallia. Muutos tarkoittaisi siirtymistä fyysisten tuotteiden myynnistä kokonaisten palveluiden myyntiin, sillä yleensä palvelut tuottavat vähemmän tiekuljetussuoritetta suhteutettuna myynnin tuottoon kuin pelkkien yksittäisten tuotteiden myynti. (Piecyk 2010)

#### **2.4.2 Kuljetusmuotojakauma**

Kuljetusmuotojakauma tarkoittaa eri kuljetusmuotojen osuutta kokonaiskuljetussuoritteesta. Talouden kannalta kuljetusmuotojakauma kertoo, millä kuljetusmuodolla tavara-  
virrat kulkevat. Tässä työssä tarkastellaan vain tiekuljetuksia, joten kuljetusmuotojen välistä vertailua ei tehdä. Keskittymällä vain yhteen kuljetusmuotoon eri kuljetusmuotojen vaikutuksia kuljetusintensiiteettiin ei voida arvioida, vaan tarkastelu kohdistuu kyseessä olevaan kuljetusmuotoon.

Tiekuljetukset ovat hallitseva kuljetusmuoto ympäri maapalloa ja samalla myös runsaasti CO<sub>2</sub>-päästöjä tuottava kuljetusmuoto. Ainoastaan lentorahti on tiekuljetuksia hiilidioksidipäästö-intensiivisempi. Kuljetusten siirtäminen ympäristöystävällisempiin kuljetusmuotoihin, kuten raide- ja vesiliikenteeseen on ympäristön kannalta edullinen ratkaisu, sillä tiekuljetuksiin verrattuna raide- ja vesiliikenne tuottavat merkittäviä säästöjä niin energiakulutuksessa kuin haitallisten päästöjen määrässäkin. Euroopan komissio on asettanut kuljetusmuotojakauman muutokselle tavoitteeksi, että vuonna 2030 30 prosenttia yli 300 kilometrin tiekuljetuksista siirrettäisiin rautatie- ja vesiliikenteeseen ja vuoteen 2050 osuus nostettaisiin jo yli 50 prosentin. (KOM/2011/144; Piecyk 2010)

Kuljetusmuodon valintaan vaikuttaa merkittävästi kuljetuksen hinta. Yleensä kuljetusmuodon valinnassa valitaan kuljetusmuoto, joka tuottaa vähiten kustannuksia jotta tuotto kuljetuksesta saadaan mahdollisimman suureksi. Taloudellisten tekijöiden ollessa näin suuressa roolissa kuljetusmuodon valinnassa ympäristöaatteet jäävät ainakin vielä vähälle huomiolle. (Piecyk 2010)

Piecyk (2010) esittää väitöskirjassaan, että kuljetusmuodon valintaan rahdin lähettäjän kannalta vaikuttavat kuljetuksen hinta verrattuna muihin kuljetusmuotoihin, lähettäjän

ennakkokäsitykset eri kuljetusmuotoja kohtaan sekä kokonaiskuljetuskustannus verrattuna tuotteen arvoon. Samassa yhteydessä Piecyk esittää myös viisi useimmin kuljetusstrategiakirjallisuudessa esiintyvää termiä, jotka vastaavat hyvin lähettäjän valintaan vaikuttavia tekijöitä. Piecyk:n väitöskirjan mukaan nämä viisi termiä ovat: hinta, nopeus, kuljetusajan luotettavuus, kuljetettavan tavarantyyppi sekä palvelu. Nopeuden, kuljetusajan luotettavuuden ja palvelun voidaan katsoa sisältyvän lähettäjän ennakkokäsityksiin eri kuljetusmuodoista. Kuljetettavan tavarantyyppi sekä hinta puolestaan kuvaavat tuotteen arvoa ja sen ominaisuuksia, joten niiden voidaan katsoa määrittävän kokonaiskuljetuskustannusten suhteen tuotteen arvoon nähden.

Piecyk (2010) mukaan kuljetusmuodon valintaan liittyen on julkaistu paljon kirjallisuutta, mutta tehdyt toimet ympäristöystävällisempien kuljetusmuotojen valinnan edistämiseksi ovat olleet vähäisiä. International Energy Agency (2009) esittää julkaisussaan kuusi syytä, miksi tiekuljetukset ovat niin suosittu kuljetusmuoto verrattuna ympäristöystävällisempiin kuljetusmuotoihin.

- Tieverkkoon investoidaan rataverkkoa enemmän
- Tiekuljetukset ovat rautatiekuljetuksia vapaampia
- Kuorma-autojen entistä suurempi koko ja kantavuus
- Muutokset elinkeinorakenteessa, siirtyminen alkutuotannosta valmistamiseen
- Muutokset ensisijaisessa energiantuotannossa
- Trendi juostavampiin kuljetuksiin, esimerkiksi jut-in-time toimitukset

IEA:n mukaan tiekuljetusten suosiota lisää myös se, että yritykset sijoittavat toimintansa usein melko kauas rataverkosta, ja näin tiekuljetukset ovat ainoa vaihtoehto kuljetuksille. IEA esittää kuitenkin intermodaalikuljetuksia ratkaisuksi sellaisille kuljetuksille, joissa tiekuljetusten on oltava yksi osa kuljetusketjua. IEA:n mukaan kuljetuksista saadaan sitä energiatehokkaampia ja ympäristöystävällisempiä mitä enemmän kuljetuksia voidaan siirtää raiteille. Myös Piecyk (2010) esittää, etteivät kuljetusmuotojakauman parannukset ole toteutettavissa ainoastaan siirtymällä kuljetusmuodosta toiseen, vaan yhdistämällä eri kuljetusmuotojen parhaita ominaisuuksia ja täten käyttämällä intermodaalikuljetuksia. Piecyk toteaa intermodaalikuljetusten olevan vain noin 5 prosenttia koko Euroopan tavarankuljetuksista. Viittä prosenttia voidaan pitää vähäisenä, kun ajatellaan intermodaalikuljetusten tarjoamia säästöjä niin energiankulutuksessa kuin päästöissäkin. (International Energy Agency 2009)

### 2.4.3 Keskimatka

Keskimatka käsitteenä voi tarkoittaa tiekuljetuksissa kahta eri laskentamallia, keskimääräistä kuorma-autojen kokonaisajokilometrimäärää tai vain lastattujen kuljetuskilometrien määrää. Erona näillä kahdella on se, että kokonaiskilometrimäärässä mukaan lasketaan myös tyhjänäajo, ja lastatuissa kuljetuskilometreissä tyhjänäajoa ei huomioida ajo-

suoritteeksi. Mittareina edellä mainitut ovat hyvin lähellä toisiaan, sillä erotuksella, että keskimatka lastatuilla matkoilla kuvaa paremmin lastin kuljetusta kuin yksittäisen ajoneuvon käyttöä. Lastattujen matkojen keskimääräiset matkanpituuden muuttuvat keskimääräisiä kokonaiskilometrejä hitaammin, sillä kuorma-autojen kokonaiskilometrit ovat hyvin herkkiä tyhjänäajon osuuden muutoksille. Tässä työssä tiekuljetusten keskimatkan analysoinnissa käytetään lastattujen matkojen keskimatkaa. (Sorrell et al. 2012)

McKinnonin (1999) mukaan EU maiden vuosittaiset kuorma-autojen kokonaiskilometrit kasvoivat noin 50 prosenttia vuosina 1985–1995. Kuorma-autojen ajokilometrien runsas kasvu selittääkin sen, miksi keskimatkan pituuden kasvua pidetään yhtenä merkittävimmistä syistä liikennesuoritteiden kasvulle. Samalla Sorrell et al. (2012) mukaan lastattujen matkojen keskipituus on kasvanut kuormattua tavaramäärää nopeammin. Yhdistämällä keskipituuksien runsaan kasvun sekä keskimatkan ja lastatun tavaran muutosten välisen suhteen voidaan todeta, että keskimatkan kasvu on merkittävästi vaikuttanut tiekuljetussuoritteiden kasvuun, joka Euroopan yhteisöjen komission mukaan oli 35 prosenttia vuosina 1995–2004 (KOM/2006/314).

Energiankulutuksen ja päästöjen suhde keskimatkan pituuteen on hyvin yksiselitteinen nykyajan tiekuljetuksissa. Mikäli keskimatka pitenee, myös energiankulutus ja päästöjen määrä kasvavat. Tämä johtuu siitä, että tiekuljetuksissa energiaa kuluu pääasiassa ajoneuvon etenemiseen, ja pääsääntöisenä energialähteenä käytetään dieselöljyä, jota polttaessa vapautuu ilmaan erilaisia haitallisia päästöjä, kuten CO<sub>2</sub>-päästöjä. (Sorrell et al. 2012)

Sorrell et al. (2012) SACTRA (1999) sekä McKinnonin (1999) pitävät pääsyynä keskimatkan pituuden kasvulle talouden keskittymistä. Talouden keskittymisellä he tarkoittavat tuotannon ja varastojen alueellista keskittymistä. Talouden keskittyminen on ollut kasvava trendi, mutta Sorrell et al. (2012) uskoo, että talouden keskittymiselle on olemassa joku raja, jolloin keskittymisen seuraukset alkavat merkittävästi haitata keskittymisen hyötyjä, ja keskittyminen tulee vähentymään. Esimerkkinä tällaisille seurauksille Sorrell et al. pitää teiden ruuhkautumista keskittymien läheisyydessä.

Talouden keskittymistä pidetään merkittävämpänä syynä keskimatkojen kasvulle, mutta McKinnon (1999) korostaa myös markkina-alueiden laajentumisen sekä hub-satelliittijärjestelmien merkitystä keskimatkan kasvulle. Markkina-alueiden kasvaessa myös kuljetusmatkat ovat pidentyneet. SACTRAN loppuraportin (1999) mukaan myös toimitusketjun uudelleen järjestäminen on osaltaan vaikuttanut keskimatkan pituuden kasvuun. Toimitusketjun uudelleen järjestämisellä SACTRA tarkoittaa tuotannon vertikaalista hajottamista, jossa toimitusketjun eri osat jaetaan eri toimijoiden kesken. Näin ollen toimitusketjun eri osat aiheuttavat monia erillisiä kuljetussuoritteita muodostaessaan tuotteen lopullisen kokonaisuuden.

#### 2.4.4 Keskikuorma

IEA:n (2009) mukaan kuorma-autojen hyötykuormankeskiarvo kuormatuilla matkoilla on EU:ssa 10 tonnia ja sen vaihteluväli eri jäsenvaltioiden välillä on 7–16 tonnia. IEA ei ole kuitenkaan löytänyt yksiselitteistä selitystä eri maiden välisille vaihteluille keski kuorman koossa, mutta IEA uskoo, että keskikuorma heijastaa elinkeinorakenteen, kauppakäytännön, ajoneuvojen koko- ja painosäännösten sekä tukku- ja vähittäiskauppioiden jakeluketjujen roolin mukaan. IEA:n mukaan 24 keskikuorman kokotilastoa pitäneistä valtioista neljässätoista keskikuorma kasvoi viisi prosenttia vuosina 2004–2007.

Toisaalta kappaleessa 2.3.1 jo aikaisemmin esitetty Piecykin (2010) mukainen nykytrendi, jossa arvokkaampia tuotteita tehdään laadukkaammasta ja kevyemmästä materiaalista, tulee vaikuttamaan keskikuorman kokoon pienentämällä keskikuormaa. Myös IEA (2009) puoltaa julkaisussaan sitä, että monissa kehittyneissä valtioissa tuotteiden tiheys on viime vuosina pienentynyt. Tiheyden pienentyminen on seurausta siitä, että kuluttajien varallisuus on kasvanut, ja ihmiset ovat valmiita maksamaan tuotteista enemmän. Tuotteiden valmistajille tämä on mahdollistanut laadukkaampien ja kevyempien materiaalien käyttämisen. IEA:n julkaisun mukaan tuotteiden kevenemisen myötä tuotteiden paino ei ole enää rajoittava tekijä kuljetuksissa vaan tuotteiden vaativa tilantarve rajoittaa monia kuljetuksia ja näin ollen on selvää, että mikäli kuljetuksia ei voida suorittaa suurilla hyötykuormilla, keskikuorma tulee laskemaan.

IEA (2009) esittää julkaisussaan, että nykytrendin muokatessa kuljetettavia tavaroita entistä arvokkaammiksi ja samalla kevyemmiksi, tuotteiden arvo olisi kuorman painoa parempi mittari keskikuormalle. Julkaisussaan IEA perustelee tuotteiden arvon käyttöä sillä, että se kuvastaisi painoa paremmin yhteiskunnan tarpeita. IEA toteaa kuitenkin, että kuorman arvon käyttöä keskikuorman mittarina vaikeuttaa tilastotietojen puuttuminen ja siksi myös tässä työssä käytetään keskikuorman mittarina kuorman painoa.

Keskikuorman koko vaihtelee kaupankäynnin luonteen ja vilkkauten mukaan. Myynnin huippuaikana keskikuorman koko saattaa kasvaa merkittävästi normaalin tai heikon myynnin keskikuormiin verrattuna. Tämän vuoksi yritysten on tarkkaan suunniteltava, kuinka paljon ja millaista kuljetuskalusto ne varaavat kuljetuksiinsa, jotta kuljetuskaluston resurssit tulisivat hyvin hyödynnettyä. Resurssien hyödyntämistä vaikeuttaa myös epäluotettavuus toimitusaikatauluissa, sillä kuljetusyriyten on mahdotonta varautua kaikkiin viivästyksiin ja rahtikoon muutoksiin etenkin jakeluliikenteessä. (International Energy Agency 2009)

Toisaalta myös kaupankäynnin luonteen muuttuminen hektisemmäksi ja varastokokojen pienentyminen on asettanut omat haasteensa keskikuorman koolle. Yleistyneet just-in-time-kuljetukset (JIT) ovat pakottaneet kuljetusyriyten joustamaan tehokkuudesta ja

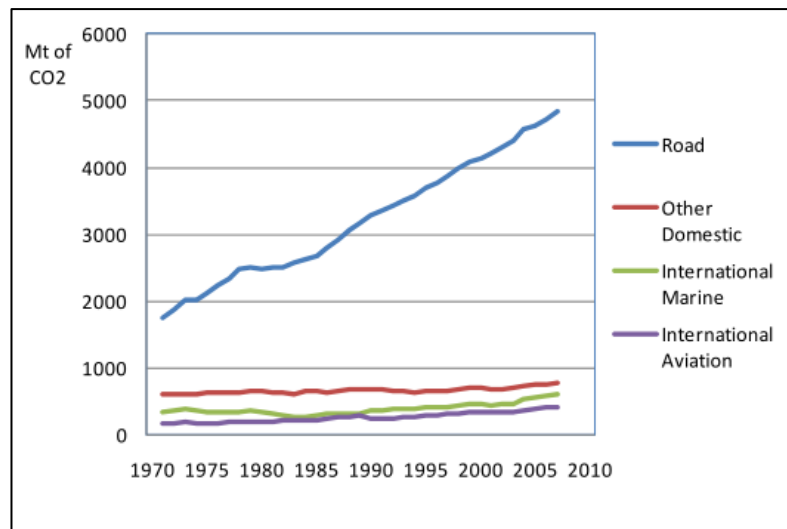
ajamaan kuljetuksia pienemmillä kuormilla. IEA:n (2009) mukaan myös kauppojen ja etenkin supermarkettien tavaran käsittelyvaatimukset ovat kasvaneet. Kaupat vaativat kuljetuksilta entistä nopeampia kuormaus- ja purkuaikoja. Vaatimusten vuoksi kuljetuksissa joudutaan luopumaan kuormatilan käyttöasteesta, jotta kuorma olisi mahdollisimman nopeasti purettavissa ja uudelleen kuormattavissa. Näin ollen on selvää, että kuormakokoja joudutaan pienentämään.

International Energy Agency (2009) mukaan kuljetusten hinnat tulevat tulevaisuudessa olemaan niin merkittäviä, että kuormakokojen maksimointiin joudutaan kiinnittämään entistä enemmän huomiota. IEA:n mukaan web-pohjaiset hankintajärjestelmät, älykkäiden liikennejärjestelmien käyttö, avoin tiedon jakaminen sekä yhteistyö valmistajien ja kuljetusyritysten välillä tulevat parantamaan kaluston käyttöastetta. IEA uskoo, että älykkäiden liikennejärjestelmien ja web-pohjaisten sovellusten käyttäminen parantaa reaaliaikaisen tiedon saatavuutta ja mahdollistaa tehokkaamman kuljetusten suunnittelun, jolla keskikuormien kokoa pystytään kasvattamaan. Reaaliaikaisen tiedonsiirron ja entistä avoimemman tiedon ansiosta myös lähettäjän, kuljettajan ja ostajan välinen tiedonsiirto helpottuu ja mahdollistaa lähettäjän ja ostajan tehokkaamman kuljetussuorituksen hyödyntämisen. On kuitenkin huomioitava, että vaikka uudet järjestelmät tarjoavatkin mahdollisuuden uusille toimintatavoille kuormien optimoinnissa, niin silti järjestelmien käyttäjät loppujen lopuksi päättävät, haluavatko he hyödyntää uusia mahdollisuuksia.

## 2.5 Tiekuljetusten ja CO<sub>2</sub>-päästöjen yhteys

CO<sub>2</sub>-päästöjä pidetään merkittävimpänä ihmisen aiheuttamana kasvihuonekaasuna, ja samalla fossiilisten polttoaineiden polttaminen on merkittävin CO<sub>2</sub>-lähde (Finel & Tapio 2012). Tiekuljetusten ja etenkin koko liikennesektorin kannalta tämä on hyvin hälyttävää, sillä liikennesektorin pääasiallisena energialähteenä ovat fossiiliset polttoaineet. International Energy Agency (2009) mukaan noin 25 % maailman CO<sub>2</sub>-päästöistä aiheutuu liikenteestä, ja tieliikenteen osuus niistä on maailmanlaajuisesti 75 %.

Finel & Tapio (2012) tutkimusraportissa esitetään eri liikennemuotojen väliset erot maailmanlaajuisesti (ks. kuva 2.4). Tutkimuksen mukaan tieliikenne erottuu muista sektoreista selvästi ja on ainut sektori, joka on tasaisesti jatkanut kasvuaan. Tieliikenteen CO<sub>2</sub>-päästöt ovat moninkertaiset muihin liikennemuotoihin verrattuna. Tieliikenteessä CO<sub>2</sub>-päästöt voidaan jakaa kahteen tieliikenteen pääluokkaa raskaaseen ja kevyeen liikenteeseen. Euroopan komission tekemien tutkimusten mukaan raskaan liikenteen osuus on noin neljännes tieliikenteen CO<sub>2</sub>-päästöistä EU:ssa (European Commission 2012b). Näin ollen on hyvin tärkeä käsittää tiekuljetusten vaikutus maailman hiilidioksidipäästöihin.



**Kuva 2.4.** Kuljetusmuotojen CO<sub>2</sub>-päästöt vuosilta 1970–2007 (Finel & Tapio 2012).

International Energy Agency (2009) julkaisun mukaan tiekuljetuksissa käytettyjen ajoneuvojen koolla on selvä merkitys kuljetusten tehokkuuteen. IEA:n mukaan isot ajoneuvot vaativat pienempiä enemmän energiaa kilometriä kohden, mutta vähemmän energiaa tonnikipometriä kohden. Näin ollen tiekuljetuksissa, joissa tarkoituksena on kuljettaa tavaraa, tonnikipometrejä voidaan pitää parempana mittarina tehokkuudelle.

International Energy Agency (2009) esittää, että ajoneuvon tehokkuudella on suuri vaikutus energiankulutukseen ja vapautuviin CO<sub>2</sub>-päästöihin. Allen & Browne (2010) esittävät saman asian liittämällä suurimman osan tiekuljetusten negatiivisista vaikutuksista ajettuihin kilometreihin. Negatiivisina vaikutuksina he esittävät muun muassa polttoaineenkulutuksen, CO<sub>2</sub>-päästöt ja onnettomuudet. Samassa julkaisussa Allen & Browne esittävät kaksi tiekuljetuksille ominaista CO<sub>2</sub>-mittaria: CO<sub>2</sub>-tehokkuus sekä CO<sub>2</sub>-intensiteetti, jotka kuvaavat tiekuljetusten ja CO<sub>2</sub>-päästöjen välistä yhteyttä. CO<sub>2</sub>-tehokkuudella Allen & Browne kuvaavat hiilidioksidin määrää kiloina tonnikipometriä kohden (kg CO<sub>2</sub>/tkm). CO<sub>2</sub>-intensiteetti puolestaan kuvaa hiilidioksidin määrää kiloina kuorman painoa kohden (kg CO<sub>2</sub>/t). Näillä mittareilla pystytään hyvin arvioimaan kuljetusten ja CO<sub>2</sub>-päästöjen välistä yhteyttä, sillä kuljetussuoritteet, rahdin painot ja polttoaineen kulutukset löytyvät erilaisista tilastoista. Polttoaineenkulutuksen myötä saatavat hiilidioksidipäästöt voidaan puolestaan laskea polttotyypin ominaisten hiilidioksidipitoisuuksien avulla.

Haasteina tiekuljetusten hiilidioksidipäästöille voidaan pitää tiekuljetusten liikennesuoritteen kasvua. Liikennesuoritteen kasvu on ominaista koko tieliikenteelle, ja International Energy Agency (2009) esittääkin, että liikenteen energian kulutus saattaa kaksinkertaistua vuoteen 2050 mennessä. Liikennesuoritteen kasvusta aiheutuu merkittävästi lisää CO<sub>2</sub>-päästöjä, ellei kuljetuskalustosta kyetä tekemään merkittävästi vähemmän hiilidioksidia aiheuttavaa. IEA:n mukaan kehitystyö vaatii paljon tekniikalta sekä maiden väliseltä yhteistyöltä uusien innovaatioiden kehittämisessä.



### 2.5.1 Polttoaineen CO<sub>2</sub>-sisältö

Polttoaineiden polttaminen aiheuttaa energiantuoton sivutuotteena ilmansaasteita, kuten CO<sub>2</sub>-päästöjä. International Energy Agency (2011) mukaan vuonna 2009 hiilen poltto energianlähteenä aiheutti polttoaineista runsaimmat CO<sub>2</sub>-päästöt. Hiilen poltto aiheutti 43 prosenttia kaikista polttoaineiden polttamisesta syntyvistä hiilidioksidipäästö, ja toiseksi eniten päästöjä aiheutti liikennesektorin kannalta olennainen öljy (37 %). Kaasun osuus hiilidioksidipäästöistä oli 20 %. IEA:n mukaan öljynkäytön aiheuttamat CO<sub>2</sub>-päästöt vuonna 2009 vastasivat 10600 miljoonaa tonnia. IEA:n julkaisussa on esitetty myös World Energy Outlookin vuonna 2010 tekemä arvio öljynkäytöstä aiheutuville päästöille, joka on 12600 miljoonaa tonnia hiilidioksidia vuonna 2035.

Taulukossa 2.1 on esitetty koko Euroopan sekä tämän tutkimuksen kohdemaiden hiilidioksidipäästöt polttoaineiden polttamisesta miljoonina tonneina. Suurin vähennys maista on ollut Ruotsissa, jossa on pystytty vähentämään 20,9 prosenttia polttoaineen käytöstä aiheutuvia CO<sub>2</sub>-päästöjä vuosina 1990–2009. Ruotsin aikaansaama vähennys on ollut hyvin merkittävä, sillä Kioto-protokollan tavoitteeksi Ruotsille on asetettu neljän prosentin kasvu CO<sub>2</sub>-päästöissä. Norjassa puolestaan polttoaineiden polttamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet prosentuaalisesti runsaimmin verrattuna muihin tutkimusmaihin. On kuitenkin huomattava, että vaikka Norjan CO<sub>2</sub>-päästöt ovat kasvaneet runsaasti, niin silti polttoaineen poltto Norjassa aiheutti tutkimusmaista vähiten CO<sub>2</sub>-päästöjä vuonna 2009. (International Energy Agency 2011)

*Taulukko 2.1. Tutkimusmaiden ja koko Euroopan CO<sub>2</sub>-päästöt polttoaineen polttamisesta (International Energy Agency 2011).*

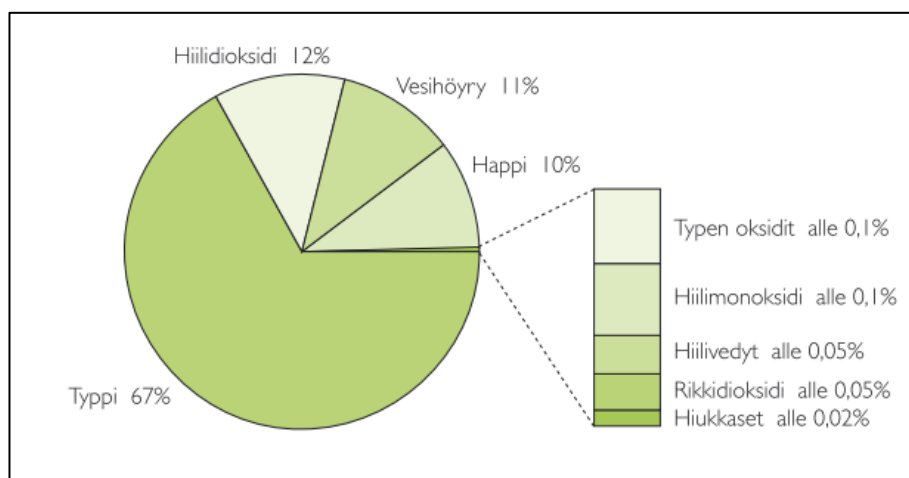
	1990 [Mt CO <sub>2</sub> ]	2009 [Mt CO <sub>2</sub> ]	90-09 muutos [%]	Kioto tavoite [%]
Eurooppa	3154,2	3001,2	-4,9 %	-
Norja	28,3	37,3	31,9 %	1 %
Ruotsi	52,8	41,7	-20,9 %	4 %
Suomi	54,4	55,0	1,1 %	0 %
Tanska	50,4	46,8	-7,2 %	-21 %

Liikennesektorin kannalta energiantuotannon kehitys näyttää hyvin huolestuttavalta, sillä CO<sub>2</sub>-päästöjen uskotaan kasvavan, ja samalla nykyisten maailmalla tunnettujen öljyvarojen on arvioitu riittävän ainoastaan 40–100 vuotta (Motiva 2011). Ratkaisuksi öljynkäytölle on esitetty vaihtoehtoisia polttoaineita, mutta niiden osuus polttoaineista on vielä hyvin pieni. Myös EU on tavoitteillaan pyrkinyt nostamaan vaihtoehtoisten energialähteiden osuutta, ja onkin asettanut tavoitteeksi, että vuonna 2020 uusiutuvien energialähteiden osuus energiankulutuksesta on 20 %. (International Energy Agency 2009; KOM/2008/30)

Tieliikenteessä pääasiallisina polttoaineina toimivat öljystä jalostettavat bensiini ja dieselöljy, joista dieselöljy toimii pääsääntöisenä polttoaineena tiekuljetuksille. Motivan (2011) mukaan EU:ssa käytetään enemmän dieseliä kuin bensiiniä liikenteen polttoaineena. Motivan julkaisun mukaan dieselin etu bensiiniin nähden on sen energiasisältö litraa kohden (1 l dieseliä = 10 kWh; 1 l bensiiniä = 9 kWh). Toisaalta dieselin CO<sub>2</sub>-päästöt ovat bensiiniä suuremmat, mutta paremman energiasisällön ansiosta dieselmoottorin hyötysuhde on bensiinimoottoria parempi. Ja näin ollen, paremman hyötysuhteen ansiosta dieselmoottori on bensiinimoottoria edullisempi, sillä dieselmoottori kuluttaa bensiinimoottoria vähemmän ja aiheuttaa siksi bensiinimoottoria vähemmän haitallisia hiilidioksidipäästöjä. Itseasiassa dieselin hyötysuhde on paras kaikista fossiilisista polttoaineista yhdessä maakaasun kanssa, sillä dieselin valmistuksessa pystytään säästämään jopa 88 prosenttia raakaöljyn energiasta.

Diesel- ja bensiiniautojen pakokaasut ovat pääosin seurausta polttoaineen epätäydellisestä palamisesta moottorissa. Mikäli polttoaineen palamisreaktio olisi täydellinen kaikki polttoaineen sisältämä vety muuttuisi vedeksi ja kaikki hiili muuttuisi hiilidioksidiksi. Täydellistä palamisreaktiota on kuitenkin mahdoton toteuttaa, ja näin ollen dieselmoottorin palamisreaktiossa aiheutuu päästöjä, kuten typen oksideja, hiilimonoksidia, hiilivetyjä ja hiukkasia. (McKinnon et al. 2010; Motiva 2011)

Dieselmoottorin päästöjakauma täydellä kuormituksella on esitetty kuvassa 2.5. Päästöjakauman avulla voidaan todeta, että dieselmoottorin päästöistä vain murto-osa on saasteiksi luokiteltavia päästöjä, sillä yli 99 prosenttia päästöistä on normaaleja ilmakehässä esiintyviä kaasuja. Suurin osa dieselmoottorin palamisreaktiossa aiheutuvista päästöistä on typpeä (67 %). Kaksi muuta runsaampaa palamistuotetta ovat hiilidioksidi (12 %) ja vesihöyry (11 %). Palamisreaktiossa vaadittavaa happea dieselmoottorin pakokaasuissa on 10 prosenttia. (Neste Oil 2007)



**Kuva 2.5.** Dieselmoottorin päästöjakauma täydellä kuormituksella (Neste Oil 2007).

Dieselöljyn polttamisesta aiheutuvien saasteiden väheneminen on seurasta kehittyneestä moottori- ja puhdistustekniikasta. Vaikka saasteet on pystytty vähentämään vain prosentin kymmenysoosiin kaikista dieselmoottorin päästöistä, niin edelleen niitä pyritään jatkuvasti vähentämään entisestään. Saasteiden vähentämisen kannalta moottoreille asetetut päästömääräykset ovat olleet merkittävässä roolissa, sillä niillä on pakotettu puhtaampien ajoneuvojen kehittäminen. Taulukossa 2.2 on esitetty Euro-standardit isoille dieselmoottoreille. Euro-päästörajoitukset ovat EU:n keino vähentää ajoneuvojen haitallisia päästöjä, kuten typen oksideja ja hiilivetyä. Ensimmäinen Euro-päästörajoitus, Euro I -standardi tuli voimaan 1992 uusille. Sen jälkeen päästörajoituksia on tiukennettu, ja nykyään on voimassa Euro V -standardi. Vuonna 2013 isoille dieselmoottoreille voimaan tuleva Euro VI tulee entisestään tiukentamaan päästörajoituksia ja näin takaamaan entistä puhtaampien ajoneuvojen valmistamisen. Nykyiseen Euro V -standardiin verrattuna uusi Euro VI tulee laskemaan etenkin typen oksidien ja hiilivetyjen sallittua määrää. Ilmastonmuutoksen kannalta on kuitenkin huomioitava, että merkittävämpänä kasvihuonekaasuna pidettyä hiilidioksidia, ei ole rajoitettu Euro-päästörajoituksilla mitenkään. (Dieselnet 2009; Motiva 2011; Neste Oil 2007)

**Taulukko 2.2.** EURO päästörajoitukset uusille isoille dieselmoottoreille, g/kWh (Dieselnet 2009).

Tier	Date	Test	CO	HC	NOx	PM	Smoke
Euro I	1992, < 85 kW	<a href="#">ECE R-49</a>	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25	
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	1999.10, <i>EEVs only</i>	<a href="#">ESC &amp; ELR</a>	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	2000.10	<a href="#">ESC &amp; ELR</a>	2.1	0.66	5.0	0.10 0.13 <sup>a</sup>	0.8
Euro IV	2005.10		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
Euro VI	2013.01		1.5	0.13	0.4	0.01	

a - for engines of less than 0.75 dm<sup>3</sup> swept volume per cylinder and a rated power speed of more than 3000 min<sup>-1</sup>

Vaihtoehtoiset polttoaineet on yksi keino vähentää tiekuljetusten hiilidioksidipäästöjä. Yhdysvaltalaisen Environmental Protection Agencyn (2012) mukaan vaihtoehtoiset polttoaineet on tuotettu uusiutuvista, ei raakaöljypohjaisista energiavaroista kuten kasveista, eläinjätteistä tai yhdyskuntajätteistä. Heidän mukaan vaihtoehtoisilla polttoaineilla voidaan saavuttaa merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin, ja samalla vaihtoehtoisilla polttoaineilla voidaan vähentää riippuvuutta raakaöljyyn.

International Energy Agency (2009) esittää vaihtoehtoisiksi polttoaineiksi nestemäiset synteettiset polttoaineet, biodieselin, etanolin, tislepolttoaineet, tiivistetyn maakaasun,

sähkön ja vedyn. IEA:n mukaan raakaöljyyn perustuviin polttoaineisiin verrattuna vaihtoehtoisten polttoaineiden yleistymisen ongelmana on ollut heikompi energiasisältö, hinta, varastointi ja käsittely sekä dieselin ja bensiinin vakiintunut vahva kysyntä liikenne sektorilla. Dieselin ja bensiinin kysyntään on vaikuttanut niiden suhteellisen matala hinta. Vaikka IEA uskookin öljyn hinnan nousevan tulevaisuudessa öljyn haastavamman saannin vuoksi, IEA ei pidä hinnannousua parhaana keinona siirtyä käyttämään enemmän vaihtoehtoisia polttoaineita. IEA uskoo, että vaihtoehtoisiin polttoaineisiin siirtymisen sijaan yritykset alkavat panostaa energiatehokkuuteen.

Mikäli vaihtoehtoiset polttoaineet eivät pysty korvaamaan dieselöljyä tiekuljetuksissa, joudutaan polttoaineesta aiheutuvia päästöjä vähentämään muilla keinoilla. Mahdollisia tiekuljetusten päästöjen vähennyskeinoja voidaan arvioida joko pelkän moottorin toiminnan tai kuljetussuorituksen kannalta. Moottorin toiminnan kannalta olennaisinta ovat polttoaineiden tekniset ominaisuudet, kuten polttoaineiden päästösäällöt ja moottorista vapautuvien pakokaasujen mahdolliset puhdistuslaitteet, kuten katalysaattorit ja hiukkassuodattimet. (Neste Oil 2007)

Neste Oil (2007) toteaa dieselpolttoaineoppaassaan, että kun tarkastellaan päästöjen määrää kuljetussuoritetta kohden, ratkaisevia tekijöitä ovat polttoaineen kulutus ja tehontarve. Oppaan mukaan näitä pystytään vähentämään taloudellisella ajotavalla ja pienentämällä vierinvastusta, ilmanvastusta ja voimansiirron hävikkiä. Seuraavissa kappaleissa näihin asioihin syvennytään tarkemmin ja pyritään löytämään ratkaisuja energiatehokkuuden parantamiseksi.

## 2.5.2 Keskikulutus

Tiekuljetuksissa kuljetusten kustannukset ja ympäristövaikutukset ovat hyvin tiiviisti sidoksissa polttoaineen kulutukseen. Niin päästöjen vähentämisen kuin taloudenkin kannalta keskikulutuksen minimointi on hyvin olennaista. Polttoaineen kulutusta tutkittaessa pitää huomioida se, että kaikki polttoaineesta saatu energia ei suinkaan ole käytettävissä ajoneuvon liikuttamiseen. U.S. Department of Energy (2010) mukaan jopa 70 prosenttia polttoaineen energiasta voi mennä moottorissa hukkaan. Energiahukkaa tuottavat pääosin moottorissa syntyvä lämpö ja moottorin sisäiset kitkavoimat. (McKinnon et al. 2010; Piecyk 2010)

Kuljetuskaluston polttoainetehtokkuus on parantunut jatkuvasti viimeisten 40 vuoden aikana keskimäärin 0,8–1 % vuodessa. Energiatehokkuuden kehitys oli nopeinta 1970- ja 1980-luvuilla, mutta 1990-luvulla lähtien kehitys on alkanut hidastua. Haasteina polttoaineenkulutuksen vähentämiselle ovat olleet tiukentuneet päästömääräykset. Laittevalmistajien joutuessa keskittymään runsaisiin päästövähennyksiin he ovat joutuneet luopumaan polttoaineenkulutuksesta. Sorrell et al. (2012) tuo julkaisussaan esiin myös tulevaisuudessa lisääntyvien ruuhkien vaikutuksen polttoaineenkulutukseen. He toteaa-

vat, että yleistyvät ruuhkat saattavat lisätä turhien pysähdysten ja kiihdytysten määrää, joka lisää polttoaineenkulutusta. (International Energy Agency 2009; Piecyk 2010)

Polttoaineen hinnan noustessa polttoaineenkulutuksen ja kuljetusyriyten talouden yhteys tiivistyy, sillä polttoainekustannusten osuus kuljetusyriyten vuosikustannuksista on hyvin merkittävä. Piecyk (2010) esittää väitöskirjassaan, että Yhdistyneessä kuningaskunnassa polttoainekustannukset ovat 32 prosenttia vuosittaisista ajoneuvon käyttökustannuksista, ja kasvava öljyn hinta voi nostaa sen jopa 35 prosenttiin. Vaikka öljyn hinta on jatkuvasti ollut kasvussa, Piecyk uskoo, että vain todella suuri öljyn hinnan kasvu voi ratkaisevasti muuttaa nykyistä kuljetusverkostoa. Hän uskookin, että raakaöljyn kallistuminen tulee vain entisestään tehostamaan kuljetusten polttoaineenkulutusta.

Tiekuljetusten polttoaineenkulutusta mitattaessa voidaan käyttää kahta eri tyyliä. Kulutusta voidaan verrata joko kuljettuun matkaan (km/l) tai kuljetussuoritteeseen (tkm/l) (McKinnon et al. 2010). Mittaustavoista kuljettuun matkaan (km/l tai MPG, miles per gallon) perustuva mittaustapa on tiekuljetusalalla enemmän käytetty menetelmä. Syynä tähän saattaa olla tiedon helpompi saatavuus, sillä tieto on laskettavissa aina tankkausten yhteydessä, kun taas kuljetettujen tonniin huomioiminen vaatii enemmän tietoa koko kuljetussuoritteesta. Polttoaineenkulutusta tarkasteltaessa käytetään myös km/l yksikön käänteistä yksikköä, joka esitetään usein muodossa l/100km. Yksikön käyttö on vakiintunut niin kuorma-autoliikenteessä kuin henkilöautoliikenteessäkin. Syy yksikön l/100km käyttöön on se, että se kertoo suoraan miten paljon polttoainetta ajoneuvo tarvitsee, jotta se pystyy kulkemaan tietyn matkan.

McKinnon et al. (2010) ja Piecyk (2010) Tiekuljetusten kannalta kuljetussuoritteeseen perustuva mittaustapa on parempi kuin pelkkään matkaan perustuva mittaustapa, koska polttoaineenkulutusta on tiiviisti sidoksissa painoon, joka sisältää sekä kaluston omamassan että kuorman painon. Näin ollen tiekuljetusalalla korostetaan usein sitä, että alan asianomaiset eivät keskittyisi liikaa pelkkään matkaan vaadittuun polttoainemäärään, vaan tarkastelisivat ensisijaisesti kuljetussuoritteen tehokkuutta.

Polttoaineenkulutuksen tehostamistoimet jaetaan usein kahteen luokkaan, voimansiirtolinjaan vaikuttaviin ja muihin polttoaineenkulutusta vähentäviin toimiin. Voimansiirtolinjaan vaikuttavia energiatehokkuustoimenpiteitä ovat muun muassa turbo, käyttövoima (hybridi), vaihteisto ja laadukkaat voiteluaineet. Ei-voimansiirtolinjaan vaikuttavista toimista merkittävimpiä ovat taloudellinen ajotapa, aerodynamiikka ja kevytrakenteiset ajoneuvot. McKinnon et al. (2010) esittää kirjassaan, että US Department for Energyyn mukaan kaksi kolmasosaa tulevaisuuden polttoainetehokkuusparannuksista tulee moottoreiden ja pakokaasujärjestelmien kehityksestä. Toisaalta yleisesti on tiedostettu, että ajotapa on merkittävin yksittäinen polttoaineenkulutukseen vaikuttava tekijä, sillä se vaikuttaa sekä voimansiirtolinjaan että koko ajoneuvon käyttöön. Kuljetusyriytukset ovat

huomioineet ajotavan merkityksen alkamalla palkita kuljettajiaan pienimmän keskikulutuksen perusteella. (International Energy Agency 2009; Piecyk 2010)

Polttoaineenkulutuksen vähentämiseksi on olemassa monia erilaisia keinoja. Vähennyskeinojen vaikuttavuutta on tutkittu runsaasti ympäri maailmaa, ja nykyään kuljetusyri-tysten onkin helppo löytää erilaisia toimenpidelistoja polttoaineenkulutuksen vähentämiseksi. Taulukkoon 2.3 on kerätty kolmesta eri lähteestä yleisimpiä tiekuljetuksille ominaisia polttoaineenkulutuksen tehostamistoimia. Toimenpiteiden vaikutus on taulukossa esitetty prosentteina. Freight Transport Association (FTA, 2012) ilmoittamat arvot ovat heidän määrittämiään tyypillisiä keskiarvoja toimille, kun taas McKinnon et al. (2010) ja International Energy Agency (IEA, 2009) ilmoittavat tyypilliset vaihteluvälit toimenpiteiden vaikuttavuudelle tai maksimiarvon toimenpiteiden havaituille vaikutuksille.

Taulukossa 2.3 esitetyt arviot polttoaineenkulutuksen tehostamistoimien vaikuttavuudesta eroavat hieman toisistaan, mutta pääsääntöisesti arviot vaikuttavuudesta ovat lähellä toisiaan. Eroa arviointeihin tekee osaltaan se, että eri lähteissä mainituissa toimenpiteissä on pieniä eroavaisuuksia. Osa lähteistä on yhdistellyt eri toimenpiteitä isommiksi kokonaisuuksiksi, esimerkiksi IEA (2009) on yhdistänyt aerodynamiikan parantamisen yhdeksi kokonaisuudeksi ja näin se ei ole maininnut erilaisten tuulenohjainten yksittäisiä vaikutuksia raportissaan.

**Taulukko 2.3.** *Energiätehoikkustoimien prosentuaalinen vaikutus polttoaineenkulutukseen* (Freight Transport Association 2012; International Energy Agency 2009; McKinnon et al. 2010).

Energiätehoikkustoimenpide	McKinnon et al. 2010	FTA	IEA
Oikeanlaisen kaluston valinta	X		5 - 15
Turbo	X		2,5 - 5
Automatisoitu manuaalivaihteisto	X	2	
Nopeusrajoitin	7 - 8	0,4	X
Laadukkaat voiteluaineet	< 4	0,5	
Tyhjäkäynnin välttäminen	5 - 6	3	X
Siirtyminen liikkuvista tasoista kiinteisiin tasoihin (kaksikerroksiset kuormatilat)	X	3	
Kevytrakenteiset autot	1 - 2	1	0,5 /450 kg
Tuulenhjain ohjaamon päälle	X	4	
Tuulenhjaimet sivuille	X	1	
Perävaunun kalteva nokka	10	5	
Kaarevakattoinen puoliperävaunu	10	6	10
Matalammat ajoneuvot		3	
Rengaspaineiden säännöllinen seuranta	X	1	X
Alhaisen vierinvastuksen renkaat	3,5 - 8	2	3,5 - 8
Paripyörien korvaaminen yhdellä leveällä renkaalla	2 - 3	2	X
Rengaspaineiden automaattinen säätö	< 1	3	X
Hybridiautot	50 (jakelu)	0	5 - 7 (pitkä matka) 25 - 30 (jakelu)
Taloudellisen ajotavan koulutus	8 - 10	6	15
Taloudellisen ajotavan seuranta		4	X
Reitityksen ja aikataulutuksen optimointiohjelmisto	X	3	5 - 8
Huolto	X		X
X = maininta polttoaineenkulutuksen vähentämisestä			

Kuljetuskaluston valinta kuljetustehtävän mukaan on hyvin olennainen osa energiätehokkaassa kuljettamisessa. Kuljetusyriyten tulisi tarkkaan harkita, minkälaiseen tehtävään ne kalustoa tulisivat käyttämään, sillä ajoneuvon liian iso tai liian pieni koko ja liian tehokas tai alimitoitettu moottori kuluttavat turhaan energiaa. Kalustoa hankittaessa tulisikin löytää paras vaihtoehto eri ajoneuvovalmistajien välillä, jossa niin kantavuus, koko, voima, varustelu ja hinta olisivat kuljetustehtävälle optimaaliset.

IEA (2009) mukaan onnistuneella kaluston valinnalla voidaan saavuttaa jopa 15 prosentin säästöjä polttoaineenkulutuksessa. Myös McKinnon et al. (2010) korostaa onnistu-

neen kalustonhankinnan merkitystä. Kirjan mukaan polttoainekustannusten tulisi olla päätekijä uutta kuljetuskalustoa hankittaessa, mutta se ei saisi olla ainoana kriteerinä hankinnalle. McKinnon et al. mukaan kuljetusyritysten tulisi huomioida koko hankinnan elinkaari mahdollisine jälleenmyyntiarvoineen, joita ajoneuvon varustelu yleensä nostaa. Oikeanlaisen kaluston hankinnasta ei ole mainintaa Freight Transport Association (2012) mallissa, sillä se keskittyy enemmän teknisiin ratkaisuihin kuin operatiivisen tason toimiin.

Ajoneuvojen suunnittelussa hyvän aerodynamiikan merkitys on noussut hyvin olennaiseksi. Aerodynamiikan merkitystä polttoaineenkulutukseen pidetäänkin erittäin merkittävänä, ja sen vuoksi erilaisia aerodynamiikkaan vaikuttavia ratkaisuja pyritään jatkuvasti kehittämään. Baker et al. (2009) mukaan 22 prosentin vähennys ilmanvastuksessa voi tuottaa jopa 8,7 prosentin parannuksen polttoaineenkulutuksessa. Piecykin (2010) väitöskirjan mukaan oikeanlaisilla aerodynamiikkaa parantavilla lisävarusteilla, kuten tuulenohjaimilla, voidaan parantaa polttoaineenkulutusta 6–12 %. Tuulenohjainten etuna on myös niiden edullinen jälkiasennettavuus ja kustannustehokkuus. IEA (2009) ilmoittaa aerodynamiikan avulla saavutettaviksi polttoaineenkulutussäästöiksi jopa 10–20 prosenttia. IEA:n mukaan suurimmat aerodynamiikan avulla saatavat hyödyt saadaan keskittymällä perävaunun muotoiluun, sillä IEA:n mukaan jopa 85 % aerodynamiikan mahdollisuuksista liittyy perävaunun muotoiluun.

Perävaunun aerodynamiikka nousee merkitykselliseksi etenkin kovemmissa nopeuksilla, missä perävaunun ja vetoauton välille jäävään tyhjäan tilaan samoin kuin koko yhdistelmän perään muodostuu liikettä vastustavia pyörteitä. Taulukossa 2.3 esitetyistä polttoaineenkulutuksen tehostamistoimista kalteva nokka ja pisaran muodon jäljittely ovat tehokkaimmiksi todetut keinot vähentää polttoaineenkulutusta. IEA:n (2009) mukaan kaarevakattoisten puoliperävaunujen vaikutus on niin suuri, että esimerkiksi Yhdistyneessä kuningaskunnassa jopa 50 prosenttia ei-voimansiirtoon vaikuttavista CO<sub>2</sub>-säästöistä voisi tulla pelkästään kaarevakattoisista puoliperävaunuista. Ongelmaksi erikoisten muotojen käytössä saattaa kuitenkin tulla tavaratilan täyttö ja yhdistelmille asetetut kokorajoitukset. (International Energy Agency 2009; McKinnon et al. 2010)

Tiekuljetuksissa renkaat muodostavat ajoneuvon ja tien välisen kontaktipinnan. Moottorista välittyvän mekaanisenenergian avulla renkaat pyrkivät pyörimään, ja renkaiden ja tien välille muodostuu kitkavoimaa, joka mahdollistaa ajoneuvon liikkumisen. Samalla kuitenkin liikettä hidastava voima, vierinvastus jarruttaa ajoneuvon liikettä. Vierinvastukseen pystytään vaikuttamaan erilaisilla rengastyypeillä ja rengaspaineilla. Vierinvastuksen vaikutusta ajoneuvon liikkeeseen voidaan pitää hyvin merkittävänä, sillä tutkimusten mukaan 10 % vähennys vierinvastuksessa voi parantaa 5,5 % polttoaineenkulutusta (Baker et al. 2009).



Tiekuljetusalalla renkaiden merkitystä polttoaineenkulutukseen on tutkittu paljon, ja vaikuttavuus renkaiden ja polttoaineenkulutuksen välillä on tiedostettu. Sen osoittaa myös se, että taulukossa 2.3 olevista energiatehokkuustoimenpiteistä renkaisiin liittyvät toimet on hyvin huomioitu kaikissa kolmessa käytetyssä lähteessä, ja arviot niiden vaikutuksista ovat hyvin samansuuruisia. Myös DTL:n (2009) energiatehokkuuden parantamisopas yhtyy taulukossa käytettyihin lähteisiin ja mainitsee alhaisen vierinvastuksen renkaiden avulla saavutettavan 3–6 prosentin parannukset polttoaineen kulutukseen.

DTL (2009) korostaa oppaassaan sitä, että mahdolliset polttoaineen kulutuksen säästöt eivät ole itsestäänselvyyksiä vaan valitun renkaan pitää soveltua kuljetustehtävään ja ajoneuvon ja rengaspaineiden tulee olla oikeanlaiset. Mikäli edellä mainitut vaatimukset täyttyvät, DTL uskoo kuljetusyritysten saavan välittömiä säästöjä energiatehokkaiden renkaiden käytöstä.

Rengaspaineiden merkitys on hyvin suuri niin renkaiden kulumiseen kuin vierinvastukseenkin. Rengaspaineiden tarkastamisen tulisi olla säännöllistä, ja ilmanpaineiden valinnassa tulisi huomioida myös kuorma. Automaattinen rengaspaineiden säätö on yksi parhaista keinoista varmistaa oikeat rengaspaineet ja säätää niitä tarpeen mukaan. Taulukossa 2.3 käytetyistä lähteistä FTA arvioi automaattisen rengaspaineiden säädön mahdollistamat säästöt korkeimmaksi (3 %). DTL (2009) ei tarjoa energiatehokkuusoppaassaan lukuarvoa automaattijärjestelmän tarjoamille hyödyille, mutta sen mukaan automaattinen rengaspaineiden säätöjärjestelmä mahdollistaa merkittävät polttoaineen kuluussäästöt ja pidentää renkaiden käyttöikä. DTK:n arvion mukaan automaattijärjestelmän takaisinmaksuaika on noin 8 kuukautta.

Hybridiajoneuvot eivät ole vielä yleistyneet tiekuljetusalalla, mutta niiden uskotaan mahdollistavan todella runsaita vähennyksiä etenkin fossiilisten polttoaineiden kulutukseen. Tiekuljetuksissa hybridiajoneuvojen tarjoamat hyödyt ovat riippuvaisia kuljetuksen luonteesta, sillä jakelu ja keräily sopivat hybridiajoneuvoille merkittävästi paremmin kuin pitkän matkan rahtiliikenne. Nykyiset sähköhybridiajoneuvot ovat hyvin riippuvaisia jarrutusten ja kiihdytysten määrästä, sillä niiden aikana ne pystyvät lataamaan akkujaan. Jakelu- ja keräilyliikenne suoritetaan usein taajama-alueella, jossa jarrutusten ja kiihdytysten lukumäärät ovat maatielikennettä selvästi suuremmat. Ilman jarrutuksia ja kiihdytyksiä hybridimoottorin hyödyt jäävät melko vähäisiksi, sillä pääasiallisena energialähteenä käytetään dieselöljyä. Kuljetuksen luonteesta riippuen hybridimoottorin tarjoamiksi polttoaineenkulutuksen säästöiksi arvioidaan jakeluliikenteessä 25–30 % ja pitkän matkan liikenteessä 5–7 prosenttia. (International Energy Agency 2009)

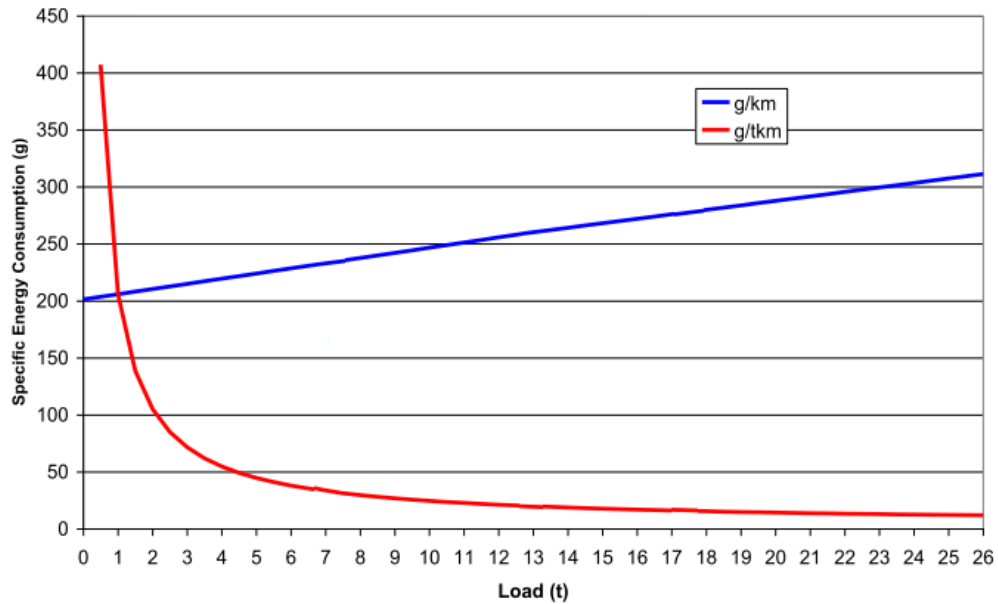
Yhdistettäessä eri energiatehokkuustoimia ja arvioitaessa niiden yhteisvaikutusta on huomioitava, että eri toimet saattavat heikentää toistensa vaikutuksia. Esimerkiksi ajoneuvon aerodynamiikkaa parantavat ilmanohjaimet lisäävät ajoneuvon omapainoa, ja aerodynamiikkaa mitattaessa parhaat hyödyt saadaan kovilla nopeuksilla, joita puoles-

taan pyritään rajoittamaan vakionopeudensäätimillä ja nopeusrajoittimilla. Energiatehokkuustoimien vaikuttavuutta on täten mahdotonta laskea kumulatiivisesti. Kuljetusyritysten tulisikin löytää kustannustehokkaimmat energiatehokkuustoimenpiteiden yhdistelmät, jotka sopivat parhaiten juuri niiden käyttöön. Kuljetusyritysten etsiessä parhaita ratkaisuita energiatehokkuuden parantamiseksi taulukossa 2.3 esitettyjen vaikuttavuustaulukkojen kaltaiset listat ovat hyvä apuväline ratkaisujen löytämiseen. (McKinnon et al. 2010)

### 2.5.3 Keskikuorman vaikutus polttoaineenkulutukseen

Yleisesti on tiedostettu, että isot ja raskaat ajoneuvot kuluttavat enemmän polttoainetta kuin pienet ajoneuvot. Tämä johtuu osaltaan siitä, että energiantarve on suurempi liikuttaessa suurempia massoja. Energiantarve kasvaa painon lisääntyessä, sillä liikettä vastustavat voimat, kuten vierinvastus ja kitka ovat riippuvaisia kappaleen painosta. Osaltaan myös liikenneverkon ominaisuudet lisäävät ajoneuvon painon merkitystä polttoaineen kulutukseen ja täten myös päästöjen määrään. Ylimääräisten jarrutusten ja kiihdytysten vuoksi raskaat ajoneuvot kuluttavat paljon polttoainetta verrattuna tasaisella nopeudella suoritettuun kuljetukseen. Tällaisia ylimääräisiä nopeudenvaihteluita aiheuttavia liikenneverkon ominaisuuksia ovat muun muassa reittien mäkisyys ja ruuhkaisuus sekä liittymien määrä. (International Energy Agency 2009; McKinnon et al. 2010)

Kuten edellä kappaleessa 2.4.2 esitettiin, tiekuljetuksissa energiankulutusta on parempi verrata kuljetussuoritteeseen kuin kuljettuun matkaan. Mitattaessa energiankulutuksen ja kuorman painon välistä suhdetta saadaan paremmin selville tiekuljetusten tehokkuus. Kuva 2.6 esittää graafisesti, miten nämä kaksi erilaista mittaustapaa eroavat toisistaan. Kuvassa 2.6 lineaarinen viiva (g/km) kuvastaa sitä, miten kuorman painon kasvaessa myös energiankulutus kasvaa. Exponentiaalisesti laskeva käyrä (g/tkm) osoittaa, miten merkittävästi energiankulutus laskee suhteessa kuorman painoon, kun paino kasvaa. Vaikka 10 tonnia suuremmilla kuormilla hyöty alkaa laskea, niin silti esimerkiksi 25 tonnin kuorma vaatii vain puolet 10 tonnin kuorman vaatimasta energiasta. (International Energy Agency 2009)



**Kuva 2.6.** Ajoneuvoyhdistelmän (enimmäispaino 40 tonnia, EURO III, mäkinen moottoritie) energiankulutus suhteessa kuorman painoon (EcoTransit World 2011).

Vaikka kuvan 2.6 mukaan keskikuorman koon kasvatuksella voidaan tiekuljetusten energiatehokkuutta parantaa, niin jossain on raja kuorman painolle. Rajan jälkeen suuren kuormakoon tarjoamat hyödyt alkavat merkittävästi vähentyä. Kuvan 2.6 mukaan 5-akselisen ajoneuvoyhdistelmän, jonka maksimipaino on 40 tonnia ja joka kuuluu EURO III –luokkaan, rajana voidaan pitää 20 tonnia, sillä sitä suuremmilla kuormilla energiankulutuksen ja kuorman painon välinen suhde muuttuu enää hyvin vähän. International Energy Agency (2009) kuitenkin uskoo, että keskikuormien koko tulee tulevaisuudessa kasvamaan ja täten parantamaan tiekuljetusten energiatehokkuutta.

Keskikuorman koon kasvattaminen ei aina ole mahdollista, sillä osassa kuljetuksia tuotteiden vaatima tila tulee rajoittavaksi tekijäksi ennen tuotteiden painoa. Sorrell et al. (2012) esittää muun muassa, että bulkkitavaran keskikuormat ovat kaksi kertaa niin suuria kuin sekatavaran keskikuormat. Painon käyttö keskikuorman mittarina ei siis ole yksiselitteinen, mutta sen käyttö on vakiintunut, sillä painon seuranta on tilavuuksien seuranta helpompaa.

Ajoneuvojen painorajoituksissa huomioidaan kuorman painon lisäksi myös ajoneuvon omapaino. Omapainoa vähentämällä voidaan hyötykuormaa kasvattaa ja näin ollen parantaa kaluston tehokkuutta. McKinnon et al. (2009) mukaan kaluston omapainon vähentäminen tuottaa suurimmat hyödyt sellaisissa kuljetuksissa, joissa painorajat asettavat rajoitukset kuljetuksille. Omapainon vähentämistä pidetään nykyään melko helppona ja sen uskotaan tuottavan parannuksia polttoaineen kulutukseen. International Energy Agencyn (2009) mukaan 450 kilogramman vähennys omapainossa tuottaa 0,5 % säästöjä polttoaineen kulutuksessa (ks. taulukko 2.3). IEA:n tutkimusta tukee myös Suomessa

toteutettu Rastu-projekti, jossa havaittiin, että 1000 kg vähennys ajoneuvon omapainossa vähentää runsaan prosentin polttoaineenkulutusta (Kytö et al. 2009).

Jopa 500 kilon vähennys kuljetuskaluston omapainossa ei pitäisi olla mahdoton. Muun muassa McKinnon et al. (2009) mukaan eräs suuri kuorma-autojen valmistaja on ilmoittanut, että yli puolen tonnin vähennys omapainossa on helppo toteuttaa siten, ettei se vaikuta merkittävästi ajoneuvon ominaisuuksiin. Myös Léonardi & Baumgartner (2004) todistavat tutkimuksessaan, että kaluston omapainon vähentämisessä on paljon mahdollisuuksia. Heidän mukaan saksalainen kuorma-auto, jonka kantokyky oli 40 tonnia, painoi minimissään 11 tonnia vuonna 2003, kun taas heidän tutkimuksessaan mukana olleiden ajoneuvojen keskipainoksi saatiin 14 tonnia. Kolmen tonnin ero minimipainon ja keskipainon välillä kuvaa hyvin sitä mahdollisuutta, jota tiekuljetuskaluston omapainon vähentämisessä on.

McKinnon et al. (2010) mukaan kuorma-autojen ja perävaunujen omapainon pienentäminen on mahdollista kevyempien rakennemateriaalien avulla. Tällaisia kevyempiä materiaaleja voisivat olla muun muassa hiilikuitu ja alumiini. Omapainoa voitaisiin myös vähentää pienentämällä polttoaine-, voiteluaine- ja muiden säiliöiden kokoa. McKinnon et al. (2010) mukaan omapainon vähentäminen on kuitenkin ristiriidassa nykyajan trendin kanssa, jossa pyritään parantamaan kuljettajan mukavuutta suuremmilla ohjaamoilla ja kasvattamalla polttoainetankin kokoa. Myös pyrkimys vähentää päästöjä on asettanut omat haasteensa kaluston omapainon vähentämiselle, sillä polttoaineeseen lisäävät päästöjä vähentävät liuokset, kuten esimerkiksi AdBlue vaativat omat säiliönensä ja lisäävät täten kaluston omapainoa.

Keskikuorman kasvattamiseksi on tiekuljetuksissa otettu käyttöön kaksikerroksisia tavaratiloja. Toinen kerros mahdollistaa suurempia kuormia, etenkin niissä kuljetuksissa, joissa tavaraa ei voida kuormata päällekkäin ja tavarankoko rajoittaa kuormakokoa. Kaksikerroksisten kuormatilojen arvioidaan lisäävän polttoaineen kulutusta kasvaneen painon vuoksi 20–30 prosenttia, mutta samalla se mahdollistaa parhaimmillaan 100 % kuorman lisäämisen yhteen ajoneuvoon (DTL 2009). Vaikka polttoaineen kulutus kasvaa runsaasti, niin silti kaksikerroksista kalustoa voidaan pitää tehokkaana, sillä se mahdollistaa suuren kuormakoon kasvun ja tehostaa täten kaluston käyttöä mitattaessa polttoaineen kulutuksen ja kuljetussuorituksen suhdetta. Kaluston omapainoa ajatellen kaksikerroksessa kalustossa voidaan säästää asentamalla toisen kerroksen vaatimat nosturit lastaus- ja purkupaikoille ajoneuvoon asennettavien laitteiden sijaan (ks. taulukko 2.3).

Kuormakoon kasvattamiseksi on kehitetty normaali tiekuljetusyhdistelmiä suurempia moduuliyhdistelmiä, jotka ovat pituudeltaan 25,25 metriä ja joiden maksimi kantokyky on 60 tonnia. EU:ssa moduuliyhdistelmät ovat sallittuja erikoisluvalla, jossa määritetään, että jäsenvaltiot voivat sallia normaalimitoista poikkeavia ajoneuvoja tai ajoneuvoyhdistelmiä, jotka liikkuvat jäsenvaltion alueella ja eivät merkittävästi vaikuta kan-

sainväliseen kilpailuun kuljetusalalla (Neuvoston direktiivi 96/53/EY). Tutkimusmaista Ruotsi ja Suomi ovat erikoisluvan turvin sallineet moduuliyhdistelmien käytön, ja Norjassa ja Tanskassa moduuliyhdistelmiä on kokeiltu. Moduuliyhdistelmien käyttö on kuitenkin jakanut mielipiteet niiden hyödyllisyydestä maiden kesken. Muun muassa Yhdistynyt kuningaskunta ja Saksa ovat kieltäytyneet hyväksymästä moduuliyhdistelmiä, vedoten moduuliyhdistelmien vaatimaan suureen tilantarpeeseen ja mahdollisiin liikenneturvallisuutta heikentäviin ominaisuuksiin. (International Energy Agency 2009)

Moduuliyhdistelmien uskotaan parantavan tiekuljetusten tehokkuutta kasvaneen tavaratilan avulla. DTL (2009) mukaan kaksi moduuliyhdistelmää voi kuljettaa kolmen normaalin yhdistelmän verran tavaraa, ja näin ollen polttoainesäästöjä saadaan 15–30 prosenttia. DTL:n arvioiden mukaan moduuliyhdistelmien takaisinmaksuaika on noin vuosi jos terminaaleihin ei tarvitse tehdä muutoksia. Myös International Energy Agency (2009) raportoi, että moduuliyhdistelmillä voidaan saavuttaa jopa 15 prosentin säästöt polttoaineenkulutuksessa tonnikilometriä kohden verrattuna 16,5-metriseen (40 tonnia) yhdistelmään. On kuitenkin huomioitava, että moduuliyhdistelmien hyöty on suoraan verrannollinen käyttöasteesta, ja mikäli suurta tavaratilaa ei hyödynnetä niin moduuliyhdistelmät kuluttavat enemmän polttoainetta kuin pienemmät yhdistelmät.

Tanska aloitti moduuliyhdistelmien kokeilun vuonna 2008 ja sen oli tarkoitus loppua vuonna 2011. Kokeilua kuitenkin jatkettiin viidellä vuodella ja nykyisen suunnitelman mukaan se päättyy 2016. Koeaika on osoittanut, että moduuliyhdistelmien käyttöaste on muuta kuljetuskalustoa parempi ja että kaksi moduuliyhdistelmää voi korvata kolme tavallista yhdistelmää. Moduuliyhdistelmien koekäytön suoriksi vaikutuksiksi ilmoitetaan esimerkiksi 3,21 Tanskan kruunun säästöjä ajettua kilometriä kohti tavarankuljetuskustannuksissa ja positiivinen, mutta rajoitettu vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöihin. (Tetraplan & Grontmij 2011)

#### **2.5.4 Tyhjänäajo**

Tyhjänäajo tarkoittaa sitä osaa ajoneuvon kuljetuista kilometreistä, joka ajetaan ilman kuormaa. Tavarankuljettamisen kannalta tyhjänäajo on hukkaa jossa kulutetaan turhaan energiaa ja aiheutetaan ympäristöä kuormittavia päästöjä. Polttoaineen kulutuksen ja siten myös ilmansaasteiden kannalta tyhjänäajoa tulisi välttää. Toisaalta on kuitenkin huomattava, että tyhjänäajo on väistämätön seuraus yksisuuntaisille kuljetuksille, ja usein myös jakelu- ja keräilyliikenteessä reitin ensimmäinen tai viimeinen väli ajetaan tyhjänä. (McKinnon et al. 2010)

International Energy Agencyn (2009) mukaan Euroopassa noin 25 % kuorma-autojen kilometreistä ajetaan tyhjänä. Euroopan eri maiden maakohtaiset keskiarvot puolestaan vaihtelevat välillä 15–35 %. Tyhjänäajon määrään vaikuttaa monet eri tekijät, mutta yhtenä merkittävimpänä syynä voidaan pitää maan kokoa, koska tyhjänäajon on todettu olevan kääntäen verrannollinen matkan pituuteen. Matkan pituuden kasvaessa paluu-

kuorman löytäminen on kuljetusyriyksille helpompaa, koska kuljetusvaihtoehtojen määrä kasvaa (IEA 2009; McKinnon et al. 2010; Piecyk 2010). Esimerkiksi Yhdistyneessä kuningaskunnassa keskimatkan pituus oli vuonna 2007 101 kilometriä ja tyhjänäajon osuus oli 27 % kun vastaavat luvut olivat Yhdysvalloissa 832 km ja tyhjänäajoa 12 % (IEA 2009).

Piecyk (2010) mukaan tyhjänäajo on tyypillistä juuri tavarankuljetukselle, sillä ihmiset palaavat yleensä lähtöpisteeseensä toisin kuin tavara, joka kulkee yleensä vain yhteen suuntaan lähtien valmistuksesta kohti kuluttajaa. Sorrell et al. (2012) mukaan kuljetusalan yrittäjillä on vahva taloudellinen innostus minimoida tyhjänäajo, mutta samaan aikaan tavarankuljetuksen uudet trendit saattavat lisätä tyhjänäajoa. Esimerkiksi JIT-kuljetukset saattavat lisätä tyhjänäajon osuutta, sillä kuljetusyriykset joutuvat kuljettamaan entistä tarkempia eräkokoja. JIT-kuljetuksille on myös ominaista, että tilaus pitää toimittaa nopealla aikataululla ja näin ollen paluukuljetusten järjestäminen on hankalaa. Piecyk (2010) mukaan erilaiset kuljetusketjustrategioiden vaikutukset näkyvät myös siinä, että tyhjänäajon osuus ei vaihtelee pelkästään eri maiden välillä vaan myös eri tuotannonalojen välillä. Piecyk mainitsee väitöskirjassaan, että suurimmat tyhjänäajoosuudet vuonna 2008 Yhdistyneessä kuningaskunnassa olivat energian ja veden jakelussa sekä rakentamisen, maanviljelyn, metsän ja kalastamisen aloilla.

Piecyk (2010) mukaan tyhjänäajon kehityssuunta Euroopassa on kuitenkin ollut hyvä, sillä vuosina 2004–2007 tyhjänäajon keskiarvo tippui 18 maassa ympäri Eurooppa 27,6 prosentista 27,1 prosenttiin. Syynä tyhjänäajon laskuun voidaan pitää etenkin sitä, että ihmiset ovat ymmärtäneet sen merkityksen polttoaineenkulutuksessa. Piecyk (2010) mukaan tyhjänäajon minimoinnin tulisikin olla itsestäänselvyys jokaisessa suoritetussa kuljetuksessa. Tyhjänäajon minimoinnin tärkeys näkyy myös siinä, että tyhjänäajon minimointi on yhtenä pääteemana Yhdistyneen kuningaskunnan hallituksen kestävän jakelun strategiassa (McKinnon et al. 2010).

IEA (2009) mukaan tyhjänäajon vähenemiseen ovat vaikuttaneet muun muassa kehittyneet kuormanhallintaohjelmat, kuljetusten ulkoistaminen kolmansille osapuolille ja lisääntyneet paluukuljetukset. IEA:n mukaan paluukuljetukset ovat yleistyneet, koska ihmisten mielenkiinto kierrätykseen on kasvanut, ja samalla jälleenmyyjät ja valmistajat ovat panostaneet paluukuljetuksiin. Myös Piecyk (2010) korostaa paluukuljetusten merkitystä tyhjänäajon vähentämisessä. Piecyk esittää väitöskirjassaan viisi tekijää jotka ovat vaikuttaneet tyhjänäajon kehitykseen. Näistä viidestä tekijästä neljä perustuu paluukuljetusten tehostamiseen.

- Keskimatkojen piteneminen
- Kuormanhallintaohjelmien yleistyminen
- Paluu-logistiikka
- Johtoa koskevat aloitteet tehostaa paluukuljetuksia

- Muutos kuljetusten rakenteessa

Kuten edellä jo mainittiin, keskimatkojen piteneminen on kääntäen verrannollinen tyhjänäajoon. Kuljetusmatkan pidentyessä paluukuljetusten mahdollisuudet kasvavat ja näin ollen yritysten on helpompi löytää paluukuljetuksia, joilla turhaa ilman kuormaa ajettavaa osuutta voidaan ainakin osittain välttää. Piecyk (2010) mukaan kuormanhallintaohjelmien käyttö on puolestaan mahdollistanut entistä ajantasaisemman ja laajemman tiedon saannin. Ohjelmien avulla yritykset pystyvät etsimään paremmin sopivia paluukuljetuksia omille kuljetusreiteilleen nopeallakin varoitusaajalla. Paluu-logistiikalla Piecyk tarkoittaa tavaravirran suuntautumista takaisin valmistajille uudelleen käsittelyyn uusiutuneiden pakkausmateriaalien ja tavarankäsittelyn vuoksi. Johtoa koskeviksi aloitteiksi tehostaa paluukuljetuksia Piecyk esittää eri toimittajien kuljetusten yhdistämistä ja tehtaiden porttimaksuja.

Piecyk (2010) mukaan ainut tyhjänäajoon vaikuttavasta viidestä tekijästä, joka ei suoraan vaikuta paluukuljetuksiin on muutos kuljetusten rakenteessa. Piecyk esittää väitöskirjassaan, että yleensä jakelu- ja keräilykuljetuksissa kohteiden lukumäärän kasvaminen vähentää tyhjänäajon osuutta. Tyhjänäajo vähenee sillä yleensä jakelu- ja keräilykuljetuksissa joko reitin ensimmäinen tai viimeinen osuus ajetaan tyhjänä. Kohteita lisäämällä yritysten on helpompi organisoida reitti niin, että tyhjänäajon osuus on mahdollisimman pieni.

### 3 TUTKIMUSMAIDEN ESITELY

Luvussa 3 pyritään kuvaamaan tutkimusmaat tälle tutkimukselle olennaisia näkökulmia painottaen. Tutkimusmaiden kuvauksen ei ole tarkoitus olla yksityiskohtiin syventyvä vaan tarkoituksena on etsiä maiden eroavaisuuksia ja yhtenevyyksiä, jotka myöhemmin voidaan yhdistää maiden tiekuljetustilastotietoihin. Maiden esittelyllä pyritään tarjoamaan pohja maiden tiekuljetustilastojen analysointiin ja vertailuun.

Kappaleessa 3.1 tarkastellaan tutkimusmaita valtion tasolla ja annetaan yleiskuvaus maista, minkä jälkeen syvennytään tiekuljetusalaan ja sen infrastruktuuriin. Kappaleessa tutkimusmaita tarkastellaan niin ryhmänä kuin yksittäisinä valtioinakin. Tarkoitus on antaa yleiskuva tutkimusmaista ja niiden tiekuljetuksista, joita myöhemmin täsmennetään ja kytketään yhteen kappaleissa 3.2–3.4.

Kappaleessa 3.2 tullaan tarkastelemaan tutkimusmaiden liikennejärjestelmää ja tiekuljetusalaan ympäristövaikutuksia painottaen. Tarkastelemalla maiden ympäristöstrategioiden ja liikenteen kehittämistä pyritään löytämään maiden väliset eroavaisuudet ja yhtenevyydet. Kappaleessa 3.3 maiden välisiä eroavaisuuksia ja yhtenevyyksiä tarkastellaan maiden talouden ja toimialarakenteen näkökulmasta. Kappaleen lopussa talous ja toimialarakenne kytketään kuljetusalaan tarkastelemalla maiden tuonti- ja vientivirtoja. Kappaleessa 3.4 syvennytään tiekuljetusalaan ja sen ominaispiirteisiin ja tarkastellaan, mitkä tekijät yhdistävät tutkimusmaita ja mitkä tekijät erottavat maat toisistaan.

#### 3.1 Taustaa

Kaikille tämän tutkimuksen kohdemaille on yhteistä se, että ne kaikki kuuluvat Pohjoismaihin. Pohjoismaista vain Islanti on jätetty tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Maailmalla Pohjoismaat tunnetaan korkeasta elintasosta, koskemattomasta luonnosta, korkeasta syntyvyydestä ja ihmisten hyvinvoinnista. Pohjoismaille on ominaista kaupungistuminen ja syrjäseutujen autioituminen. Vaikka Pohjoismaat ovat kaupungistumassa, niin ne ovat kuitenkin vielä hyvin harvaan asuttuja, lukuun ottamatta Tanskaa, jossa asuu 127 asukasta neliökilometrillä, kun muissa asuu vain 15–22 asukasta neliökilometriä kohden. Tutkimukseen valituilla mailla voidaan todeta olevan paljon yhtäläisyyksiä, mutta jokaisen maan ominaispiirteet muokkaavat maiden tiekuljetukset ainutlaatuisiksi. (Norden 2012)

Maiden ulkopoliitikassakin on paljon yhtäläisyyksiä, mutta myös eroja. Tutkimusmaita ja niiden kauppasäännöksiä yhdistää se, että ne kaikki kuuluvat Yhdistyneisiin kansa-



kuntiin, Maailman kauppajärjestöön (WTO) ja taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestöön (OECD). Yksi merkittävimmistä eroista maiden välisissä ulkopoliittisissa ratkaisuissa on suhtautuminen Euroopan unioniin. Tanska oli tutkimusmaista ensimmäinen, joka kuului Euroopan unioniin ja vuonna 1995 myös Ruotsi ja Suomi liittyivät unioniin. Tutkimusmaista ainoastaan Norja ei ole liittynyt Euroopan unioniin, mutta vuonna 1994 se liittyi kuitenkin Euroopan talousalueeseen Etaan. (Norden 2012)

Taulukkoon 3.1 on kerätty yleisiä tunnuslukuja tutkimusmaista sekä muutamia tiekuljetuksille ominaisia lukuarvoja. Tutkimusmaista Ruotsi on suurin niin pinta-alaltaan kuin väestömäärältäänkin. Ruotsin väestö on lähes kaksinkertainen muihin tutkimusmaihin verrattuna. Väestömäärältään muut tutkimusmaat ovat melko samansuuruisia, kuitenkin siten, että Norja on väestömäärältään pienin. Pinta-alaa tarkasteltaessa Tanska erottuu muista maista selvästi, sillä se on pinta-alaltaan selvästi muita tutkimusmaita pienempi. (Haagensen & Hjulgaard 2011)

**Taulukko 3.1.** Tutkimusmaiden tunnuslukuja (European Commission 2012a; Haagensen & Hjulgaard 2011; Statistics Denmark 2012; Statistics Norway 2012; Statistics Sweden 2012; Tilastokeskus 2012; Trafikanalys 2012;).

Maa	Pinta-ala (2011) [km <sup>2</sup> ]	Väestö (2011)	BKT (2011) [Milj. €]	Tiestö (2008) [km]	Moottori- tiet (2008) [km]	Kuljetus- yritykset (2010, DK 2009)	Kuorma- autot (2010, DK 2009)	KA/yritys
Norja	323 787	4 920 305	300 697	93 247	253	9 434	53 471	5,7
Ruotsi	450 295	9 415 570	362 893	139 467	1 855	14 172	43 524	3,1
Suomi	338 440	5 372 276	183 697	104 768	739	10 923	38 757	3,5
Tanska	43 561	5 560 628	237 421	72 203	1 128	6 388	34 629	5,4

Tutkimusmaista Ruotsilla on korkein bruttokansantuote (ks. taulukko 3.1). Ruotsin BKT on selvästi muita maita korkeampi, ja esimerkiksi pienimmän BKT omaavaan Suomeen verrattuna Ruotsin BKT on noin kaksinkertainen. Vertaamalla Norjaa, Suomea ja Tanskaa, joiden väestömäärät ovat samaa suuruusluokkaa, havaitaan että Norjan BKT on selvästi korkeampi kuin Suomen ja Tanskan. Norjan korkeaan bruttokansantuotteeseen ovat auttaneet Norjan runsaat öljyesiintymät Pohjanmerellä. Neljästä tutkimusmaasta Suomella on matalin BKT. (European Commission 2012a; Norden 2012)

Tarkasteltaessa taulukossa 3.1 olevia tieverkkoa kuvaavia tunnuslukuja havaitaan, että Ruotsissa on tutkimusmaiden laajin tieverkko. Maiden pinta-alaan suhteutettuna Norjan, Ruotsin ja Suomen tieverkot ovat samansuuruisia, mutta Tanskan tieverkko on paljon kattavampi verrattuna Tanskan pinta-alaan. Tanskassa on myös moottoriteitä paljon verrattuna koko tieverkkoon, mutta Ruotsiin verrattuna moottoriteiden osuus koko tieverkosta on melko samansuuruinen. Norjassa puolestaan on tutkimusmaista vähiten niin

moottoritie-kilometrejä kuin moottoritietä verrattuna koko tieverkkoon. (European Commission 2012a)

Taulukossa 3.1 olevat kuljetusyritysten lukumäärät on kerätty maiden kansallisista tilastoista. Norjan, Ruotsin ja Suomen kuljetusyritysten tiedot perustuvat nelinumerotasoluokitteluun, ja täten lukumäärässä esitetään ainoastaan tiekuljetusalan yritysten lukumäärä. Tanskan kansallinen tilastokeskus ei tarjoa nelinumerotason luokittelua, joten Tanskan kuljetusyritysten lukumäärä kattaa niin tiekuljetusalan yritysten lukumäärän kuin putkijohtokuljetusyrityksetkin. Maiden vertailussa on siis huomioitava pienet eroavaisuudet yritysten luokittelussa. Tutkimusmaista Ruotsissa on eniten tiekuljetusalan yrityksiä ja Tanskassa vähiten. Ero Ruotsin ja Tanskan kuljetusalan yritysten välillä on hyvin suuri, sillä Ruotsissa on yli kaksi kertaa enemmän tiekuljetusalan yrityksiä. Vertaamalla maiden tiekuljetusyritysten lukumäärää luvanvaraiseen liikenteeseen rekisteröityjen kuorma-autojen lukumäärään huomataan, että Norjassa ja Tanskassa on suhteessa Ruotsia ja Suomea enemmän kuorma-autoja. Norjassa ja Tanskassa on noin kaksi kuorma-autoa yritystä kohden enemmän kuin Ruotsissa ja Suomessa. Tutkimusmaista eniten kuorma-autoja on Norjassa. (Statistics Denmark 2012; Statistics Norway 2012; Statistics Sweden 2012; Tilastokeskus 2012; Trafikanalys 2012)

### **3.2 Tutkimusmaiden strategiat tiekuljetusalan kestäväan kehitykseen**

Ympäristön huomioon ottaminen on jo pitkään ollut Pohjoismaissa erityisen tärkeää. Pohjoismaat haluavat olla edelläkävijöitä uusien entistä puhtaampien ja vähäsaasteisten tuotteiden ja palvelujen kehittämisessä huomioimalla tuotteiden koko elinkaaren. Tavoitteisiin päästäkseen Pohjoismaat tekevät kansainvälistä yhteistyötä niin Pohjoismaiden välillä kuin maailmanlaajuisestikin. Pohjoismaat ovat tehneet myös aloitteita säännösten ja EU-direktiivien tiukentamiseksi, jotta muun muassa liikennesektorin päästöjen raja-arvoja saataisiin tiukennettua entistä ympäristöystävällisemmiksi. (Norden 2012)

Ruotsin, Suomen ja Tanskan ympäristöstrategioissa näkyvät vahvasti EU:n asettamat tavoitteet ja ohjeet, jotka on esitetty muun muassa Valkoisessa kirjassa ja kaksi kertaa 20 vuonna 2020 tiedonannossa (ks. KOM/2008/30 ja KOM/2011/144). Tutkimusmaista Norja on ainoa maa, joka ei kuulu Euroopan unioniin, joten EU ei ohjaa Norjan ympäristöstrategiaa. Toisaalta kaikki tutkimusmaat ovat sitoutuneet Kioton ympäristösopimukseen, ja näin ollen kaikkien tutkimusmaiden ympäristöstrategioiden päätavoitteena on lieventää ilmastomuutosta. Ympäristöstrategiassaan Norja ilmoittaa pyrkivänsä vähentämään liikenteestä aiheutuvia päästöjä 2,5–4 miljoonaa CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonnia vuoteen 2020 mennessä. Tämä Norjan tavoite vastaa hyvin muun muassa Suomen liikennettä koskevaa tavoitetta, jossa tavoitteena on vähentää liikenteen CO<sub>2</sub>-päästöjä vuoden 2009 tasosta kaksi miljoonaa ja perusuran vuoden 2020 tasoon verrattuna kolme miljoonaa CO<sub>2</sub>-tonnia. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009; Ministry of the Environment

and Ministry of Enterprise, Energy and Communications 2009; Norwegian Ministry of Transport and Communications 2009; The Danish Government 2011)

Taloudelliset ohjaukeinot, kuten verot, maksut ja tuet ovat merkittävässä roolissa maiden ympäristöstrategioissa. Poliittisten ratkaisuiden kannalta liikenteen hinnoittelua voidaankin pitää yhtenä merkittävimpänä hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinona. Kaikki tutkimusmaat käyttävät liikenteen hinnoittelua ympäristöstrategioissaan ja etenkin verotus on hyvin merkittävä maiden ympäristötoimissa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009, Lindhjem et al. 2009)

Kaikissa tutkimusmaissa on polttoaineille energiavero, joka on riippuvainen polttoaineen CO<sub>2</sub>-päästöistä. Kuorma-autojen verotuksessa tutkimusmailla on käytössä erilaisia verotusmuotoja, ja verotuksesta riippuen maat tukevat eritavalla puhtaampien ajoneuvojen käyttöä. Tanskassa yli neljätonniset kuorma-autot eivät joudu maksamaan ajoneuvon rekisteröintiveroa, eivätkä ajoneuvon käyttöveroa. Suomessa kuorma-autoja verotetaan vuosittain, ja vero riippuu ajoneuvon painosta, akselien lukumäärästä ja telin tyypistä. (Lindhjem et al. 2009)

Norjan ja Ruotsin verojärjestelmät ovat hieman Suomen ja Tanskan käyttämiä järjestelmiä kehittyneempiä, kun asiaa tarkastellaan ympäristöystävällisyyden kannalta. Norjan ja Ruotsin käyttämät verojärjestelmät muodostuvat kahdesta tekijästä, ajoneuvon koosta ja ympäristötekijästä. Ruotsissa tätä kahteen tekijään perustuvaa mallia käytetään tiemaksuissa, jotka peritään vuosittain ajoneuvoveron lisäksi. Norjassa mallia käytetään vuotuisena verona yli 7,5 tonnisille ajoneuvoille. Verotuksen kokoteijä määräytyy painon ja akselien lukumäärän mukaan, ja ympäristötekijä pohjautuu EURO-päästörajoituksiin. (Lindhjem et al. 2009)

Maiden strategioista käy kuitenkin ilmi, että tiekuljetuksien kestävä kehitys ei ole tällä hetkellä maiden pääteemana. Joukkoliikenteen sekä pyöräilyn ja jalankulun kehittäminen sen sijaan tuntuu olevan maiden strategioissa paremmin huomioituna. Tiekuljetusten ympäristövaikutuksia halutaan vähentää, mutta itse keinoista maat eivät anna tarkkaa kuvausta. Tyypillisesti tiekuljetusalaa koskevista kehitystoimista tutkimusmaat mainitsevat vain muutamia erityistoimia, joilla ne pyrkivät parantamaan tiekuljetusjärjestelmäänsä. Tämän vuoksi maiden strategioita ei voida pitää tarkkoina. Strategiat toimivat suuntaa antavina ja jättävät tiekuljetusalaa koskevien tavoitteiden täyttymisen paljon alan ammatinharjoittajien vastuulle. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009, Ministry of Transport 2011; Norwegian Ministry of Transport and Communications 2009; Lindhjem et al. 2009; Swedish Energy Agency 2011)

Tutkimusmaiden kestävä kehityksen strategioista käy ilmi, että rahtiliikenteen siirtäminen teiltä mahdollisuuksien mukaan raiteille on yksi merkittävimmistä toimista vähentää tiekuljetusten ympäristövaikutuksia. Tätä edesauttavat myös maiden kasvaneet

investoinnit raideliikenteeseen. Toinen tiekuljetusalan kannalta hyvin merkittävä strateginen toimi on moduuliyhdistelmien käyttö kaikissa tämän tutkimuksen kohdemaissa. Myös taloudellisen ajotavan koulutuksen tarjoama potentiaali on huomioitu tutkimuksissa. Maat järjestävät taloudellisen ajotavan koulutusta kurssiluonteisena sekä osana heidän omaa ajokorttijärjestelmäänsä. Hyvä esimerkki hallitusten taloudellisen ajotavan koulutusohjelmista on tanskalainen Drive green – ohjelma. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009; Ministry of Transport 2011; Norwegian Ministry of Transport and Communications 2009; Swedish Energy Agency 2011)

Biopolttoaineiden tai muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden osuus tiekuljetusalalla on vielä hyvin vähäistä, mutta silti Ruotsissa käytössä oleva malli, joka velvoittaa kaikkia isoja polttoaineasemia tarjoamaan ainakin yhtä uusiutuvaa polttoainetta vuodesta 2006 alkaen, on hyvä tienavaaja uusiutuvien polttoaineiden sektorilla. Ruotsissa on lahjoitettu avustuksia 70 miljoonaa Ruotsin kruunua vuoteen 2008 mennessä kaiken kaikkiaan 71 asemalle. Tukia voidaan pitää hyvin merkittävinä, sillä niillä Ruotsi on taannut uusiutuvien polttoaineiden tarjonnan. Uusiutuvien polttoaineiden tarjonnan takaaminen Ruotsissa on esimerkki Pohjoismaiden halusta kehittää ympäristöystävällisyyttä. (Lindhjem et al. 2009)

### **3.3 Kohdemaiden talous ja toimialarakenne**

Pohjoismaita pidetään nykyään maailman kilpailukykyisimpinä maina, vaikka Pohjoismaiden teollistuminen tapahtui melko myöhään. Pohjoismaissa rakennemuutos maatalousvaltaisista maista moderneiksi teollistuneiksi maiksi tapahtui kuitenkin nopeasti. Maiden luonnonvarat ovat mahdollistaneet sen, että kaikki tutkimusmaat ovat nykyään kehittyneitä teollisuusvaltioita. Suomessa ja Ruotsissa metsäteollisuus on mahdollistanut vahvan viennin. Ruotsissa metsäteollisuuden lisäksi myös maan malmiesiintymät ovat vahvistaneet Ruotsin asemaa ulkomaankaupassa. Norjassa puolestaan vesivoimateknologia ja öljyesiintymät ovat vahvistaneet Norjan talouden. Muista tutkimusmaista poiketen Tanska on ainut, jonka talouskasvu on rakentunut pitkälti maatalouden varaan. Tanskassa ravinteikas maaperä on mahdollistanut sen, että maatalous ja elintarviketeollisuus ovat edelleenkin merkittäviä maan taloudelle. (Norden 2012)

Kaikki tämän tutkimuksen kohdemaat ovat nykyään hyvin menestyviä kehittyneitä valtioita. Tutkimusmaat ovat myös maapallon kilpailukykyisimpiä valtioita, mikä käy ilmi muun muassa World Economic Forumin toteuttamasta kilpailukykyvertailusta. Vertailun mukaan kaikki tutkimusmaat sijoittuvat 15 kilpailukykyisimmän valtion joukkoon (Suomi 3., Ruotsi 4., Tanska 12. ja Norja 15.). Vertailussa kilpailukyky kuvataan muodostuvan instituutioista, politiikasta ja muista tekijöistä, jotka määrittelevät maiden tuottavuuden. Vertailu perustuu 12 eri tekijään, johon kuuluvat muun muassa rahoitusmarkkinoiden kehitys, työvoimamarkkinoiden tehokkuus, koulutus ja tavaramarkkinoiden tehokkuus. (Schawab 2012)

Kaikissa tutkimusmaissa verotaso on korkea. Maiden hallitukset käyttävät korkeaa verotasoja taloudellisena ohjauksena, jolla ne pystyvät tarjoamaan edellisessä kappaleessa mainitun maiden kilpailukyvyn ja hyvinvoinnin. Euroopan komission julkaisemien tilastojen mukaan vuonna 2010 Tanskassa verot olivat 47,6 prosenttia BKT:sta, Suomessa 42,1, Ruotsissa 45,8 ja Norjassa vastaava luku oli 42,9. Mikäli tutkimusmaiden prosenttiosuuksia verrataan EU-27 valtion aritmeettiseen keskiarvoon, joka oli vuonna 2010 35,6 prosenttia, voidaan todeta, että tutkimusmaiden verotaso on korkea verrattuna pelkästään EU tasolla. (European Commission 2012c)

Taulukkoon 3.2 on kerätty tutkimusmaiden ympäristöverotukseen liittyviä arvoja vuodelta 2008. Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa kaikki ympäristöverot kattavat lähes yhtä paljon bruttokansantuotteesta, mutta Tanskassa ympäristöverojen osuus on yli kaksinkertaisen muihin tutkimusmaihin verrattuna. Energian verotuksessa Ruotsi erottuu selvästi muista tutkimusmaista, sillä Ruotsissa energiaverot kattavat noin 80 % kaikista ympäristöveroista. Ruotsin suuren energiaverotuksen prosenttiosuuden vuoksi Ruotsi erottuu muista maista myös liikenteen verottamisessa. Ruotsissa liikenteen verotus kattaa vain noin viidenneksen kaikista ympäristöveroista, kun Tanskassa ja Suomessa vastaava arvo on noin kolmannes ja Norjassa jopa 43,4 %. Saasteiden ja resurssien verotuksen kannalta Norja ja etenkin Tanska eroavat selvästi Ruotsista ja Suomesta. Suomessa ja Ruotsissa saasteiden verotus muodostaa vain murto-osan kaikista ympäristöveroista, kun Tanskassa vastaava luku on jopa 30,7 %. (Eurostat 2010)

**Taulukko 3.2. Tutkimusmaiden ympäristöverot vuonna 2008 (Eurostat 2010).**

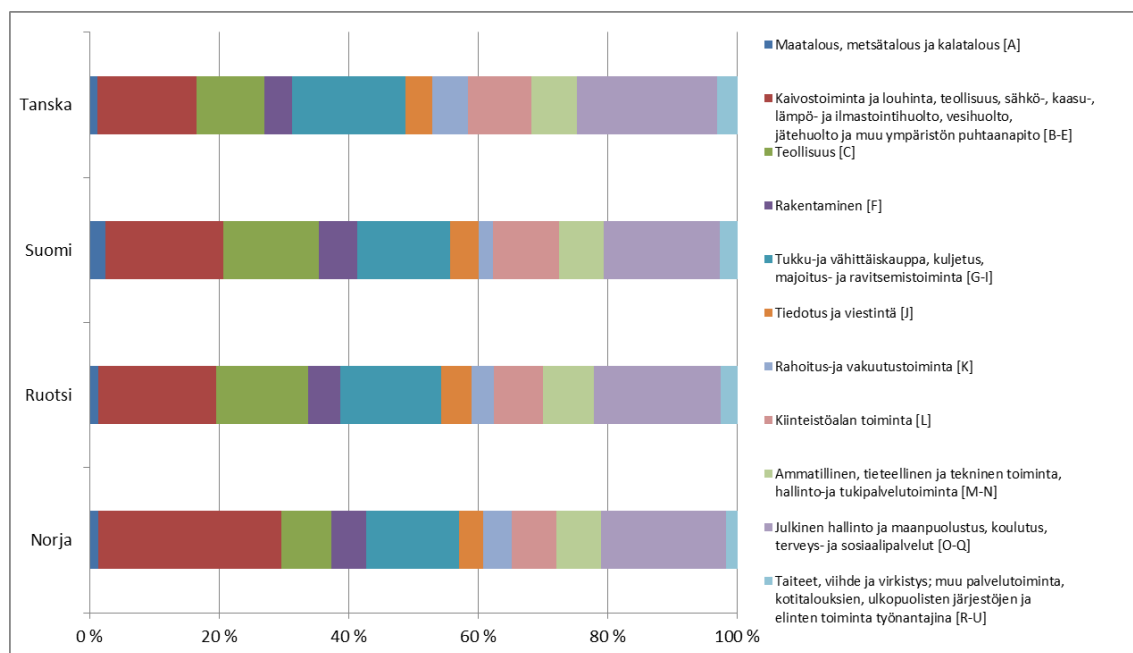
Maa	Ympäristöverot yhteensä, % BKT:sta	% kaikista ympäristöveroista		
		Energiaverot	Liikenteen verot	saaste-/ resurssiverot
Norja	2,66	46,2	43,4	10,4
Ruotsi	2,72	80,4	18,7	0,9
Suomi	2,73	64,8	33,2	2,0
Tanska	5,72	36,9	32,4	30,7

Tutkimusmaiden käyttämä valuuttapolitiikka tekee eroja maiden välille, sillä kaikki maat käyttävät eri valuuttoja. Suomi on ainoa maista, joka siirtyi Euroopan yhteisvaluutta euroon. Muut maat puolestaan pitivät oman vanhan rahayksikkönsä kruunun. Norjan ja Ruotsin kruunut eroavat Tanskan kruunusta siinä, että Tanskan kruunu on lähestulkoon kiinteä euron kurssiin nähden, kun taas Norjan ja Ruotsin kruunut muuttuvat vapaasti muihin valuuttoihin nähden. (Norden 2012)

Kuvassa 3.1 on esitetty Eurostatin tarjoamista tilastotiedoista kootut tutkimusmaiden toimialarakenteet bruttoarvonlisäyksenä. Bruttoarvonlisäyksen arvona on käytetty vuoden 2010 miljoonaa euroa. Eurostatin käyttämä toimialaluokittelu on tehty EU:n NACE

Rev2. -luokittelun mukaan. Kaikilla neljällä tutkimusmaalla neljä suurinta toimialaa kattavat yli 50 prosenttia maiden bruttoarvonlisäyksestä. Arvollisesti suurin kokonaisbruttoarvonlisäys vuonna 2011 oli Ruotsissa (n. 370 000 Milj. €). (European Commission 2012a)

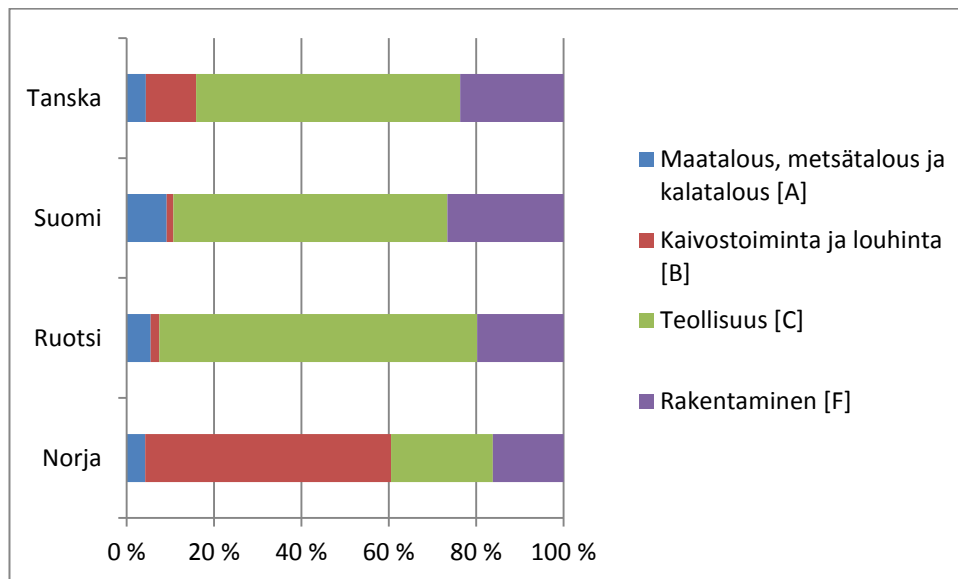
Toimialarakenteeltaan Suomi, Tanska ja Ruotsi ovat hyvin yhteneviä. Norja erottuu muista tutkimusmaista merkittävimmin kaivostoiminnan ja louhinnan, teollisuuden, sähkö-, kaasu-, lämpö- ja ilmastointihuollon, vesihuollon, jätehuollon ja muu ympäristön puhtaanapidon toimialaryhmän suuren prosentuaalisen osuuden vuoksi (28,2 %). Samalla teollisuuden osuus Norjan bruttoarvon lisäyksestä on prosentuaalisesti selvästi pienempi kuin muilla tutkimusmailla. Toisaalta Norjan loput yhdeksän toimialaa ovat prosentuaalisesti hyvin yhteneviä muiden tutkimusmaiden kanssa ja näin ollen voidaan todeta, että bruttoarvonlisäyksen perusteella tehdyn prosentuaalisen toimialarakenteen mukaan tutkimusmaat ovat hyvin verrattavissa toisiinsa. (European Commission 2012a)



**Kuva 3.1.** Tutkimusmaiden toimialarakenteen bruttoarvonlisäyksen suhteen (Milj. €, 2010 rahassa) NACE Rev.2 – luokittelulla vuonna 2011 (European Commission 2012a).

Kuvassa 3.2 on kaikista toimialoista eriteltyä tiekuljetusten kannalta merkittävimmät toimialat. Erottelun avulla havaitaan paremmin edellä mainittu Norjan toimialarakenteen eroavaisuus muista tutkimusmaista. European Commission (2012a) tilastojen mukaan Norjassa kaivostoiminta ja louhinta kattaa yli puolet tiekuljetusten kannalta merkittävimpien toimialojen prosentuaalisesta bruttoarvonlisäyksestä. Norjan tavoin myös Tanska eroaa Suomesta ja Ruotsista korkeamman kaivostoiminnan ja louhinnan prosentuaalisen osuuden vuoksi. Suomi ja Ruotsi ovat toimialarakenteen perusteella hyvin yhteneviä, kuitenkin sillä erolla, että Ruotsissa teollisuuden osuus on Suomea suurempi,

kun taas Suomessa kaivostoiminnan ja louhinnan osuus on noin 5 prosenttia Ruotsia suurempi.



**Kuva 3.2.** Tiekuljetusten kannalta merkittävimpien toimialojen toimialarakenne bruttoarvonlisäyksen suhteen (Milj. €, 2009 rahassa) NACE Rev.2 – luokittelulla vuonna 2010 (European Commission 2012a).

Taulukossa 3.3 on esitetty tutkimusmaiden vienti ja tuonti Pohjoismaissa ja EU-15 valtioihin prosentteina kokonaisviennistä ja -tuonnista vuonna 2010. EU-15 maiden tuonnissa ja viennissä ei ole kuitenkaan huomioitu Ruotsia, Suomea ja Tanskaa. Kaikilla tutkimusmailla EU-15 valtioiden ja Pohjoismaiden tuonti ja vienti muodostavat yli 50 prosenttia maiden ulkomaankaupasta. Suomen tuonti ja vienti edellä mainittuihin maihin on tutkimusmaista vähäisin (vienti 50,2 % ja tuonti 58,9 %). Suomen ulkomaankauppaan vaikuttaa merkittävästi Suomen ja Venäjän välinen kauppa, jossa etenkin tuonti Venäjältä kattaa suuren osan Suomen tuonnista. Vuonna 2010 Venäjän tuonti muodosti jopa 17,6 prosenttia Suomen kokonaistuonnista. (Haagensen & Hjulgaard 2011)

**Taulukko 3.3.** Tutkimusmaiden tuonnin ja viennin prosentuaaliset osuudet kokonaisviennistä ja -tuonnista vuonna 2010 (Haagensen & Hjulgaard 2011).

Maa	Vienti Pohjoismaat	Tuonti Pohjoismaat	Vienti EU-15	Tuonti EU-15
Norja	11,8	23,2	66,3	33,7
Ruotsi	23,0	22,2	38,4	45,5
Suomi	16,2	19,4	34,0	39,5
Tanska	23,1	21,8	44,2	48,4

\*EU-15 maissa ei ole mukana Ruotsia, Suomea ja Tanskaa

Tutkimusmaista Norjan vienti on eniten keskittynyt Pohjoismaihin sekä EU-15 maihin. Norjan vienti Pohjoismaihin ja EU-15 maihin kattoi vuonna 2010 jopa noin 80 prosenttia Norjan kokonaisviennistä. Toisaalta tarkastelemalla sekä tuontia että vientiä voidaan todeta, että tutkimusmaista Tanska on riippuvaisin muista Pohjoismaista ja EU-15 maista. Tanskalla sekä tuonti että vienti kyseisiin maihin kattaa noin 70 % Tanskan kokonaistuonnista ja -viennistä. Vertaamalla Pohjoismaiden ja EU-15 maiden osuutta Tanskan ulkomaankaupassa voidaan todeta, että EU-15 maat ovat selvästi merkittävämpi kauppasuunta Tanskalle. Tanskan tuonti EU-15 maista on tutkimusmaista suurin ja kattaa noin puolet Tanskan tuonnista (48,4 %). (Haagensen & Hjulgaard 2011)

Tutkimusmaiden vientituotteita ovat muun muassa elektroniikka, paperi, viestintälaitteet, autot, kalatalous, metallituotteet, kaasu ja öljy. Tutkimusmaista Norja vie eniten öljyä ja kaasua ja on maailman toiseksi suurin kaasun nettotuottaja ja kuudenneksi suurin öljyntuottaja. Muita merkittäviä vientituotteita Norjalle on muun muassa kalatalous, joka kuuluu myös Tanskan tärkeimpiin vientituotteisiin. Ruotsissa ja Suomessa puolestaan paperiteollisuudentuotteet ovat maille tärkeitä vientituotteita. Ruotsia ja Suomea yhdistää myös televiestintälaitteiden vienti. Yritykset kuten Nokia ja Sony Ericsson ovat jo pitkään olleet maailman merkittävimpien matkapuhelinvalmistajien joukossa ja ovat osaltaan kehittäneet Ruotsin ja Suomen ulkomaankauppaa. Ruotsissa myös autoteollisuus on merkittävä maan viennille. Ruotsin autoteollisuus kattaa niin henkilöautot kuin kuorma-autotkin. (Euroopan unioni 2012; Norja.fi 2012)

### **3.4 Kohdemaiden tiekuljetukset ja niiden ominaispiirteet**

Kuten aiemmin kappaleessa kolme jo todettiin (ks. taulukko 3.1), tutkimusmaista Ruotsissa on eniten kuljetusalan yrityksiä ja Tanskassa vähiten. Maakohtaisten tilastojen mukaan Tanskassa on yritysten lisäksi myös vähiten kuorma-autoja. Toisaalta jos tarkastellaan kuorma-autojen ja kuljetusalan yritysten lukumäärän välistä suhdetta, Tanskassa on tutkimusmaista toiseksi eniten kuorma-autoja.

Tarkastelemalla tutkimusmaiden kokonaistiekuljetussuoritemääriä voidaan todeta, että Ruotsissa kuljetetaan selvästi eniten tavaraa tiekuljetuksilla. Taulukon 3.4 luvuissa on mukana kansalliset, kansainväliset ja maan sisällä ulkomaalaisella kalustolla tapahtuvat tiekuljetukset vuosilta 2000–2010. Toiseksi suurimmat tiekuljetus suoritteet on Suomella ja sen jälkeen tulevat Norja ja Tanska. Ruotsiin ja Suomeen verrattuna Norjan ja Tanskan tiekuljetussuoritteet ovat vähäisiä. Muun muassa vuonna 2010 Suomen tiekuljetussuorite oli noin kaksi kertaa suurempi kuin Tanskan. (European Commission 2012a)



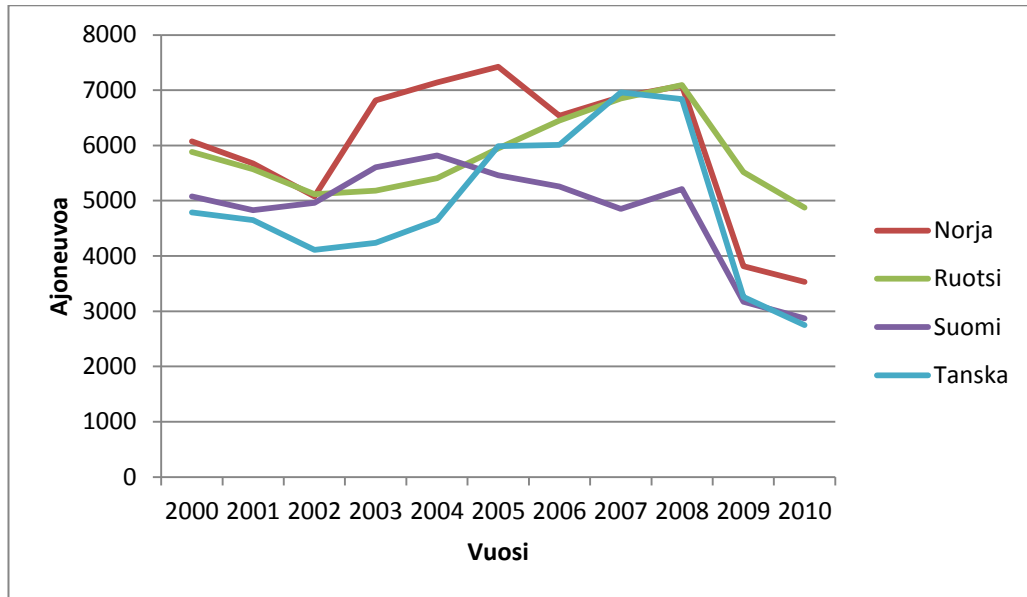
**Taulukko 3.4.** Tutkimusmaiden kokonaistiekuljetussuoritteet vuosilta 2000–2010, milj. tkm (European Commission 2012a).

Maa	Vuosi										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Norja	15,132	15,179	15,426	16,59	17,46	18,247	19,387	19,375	20,595	18,447	19,751
Ruotsi	35,621	34,158	36,652	36,638	36,949	38,575	39,918	40,54	42,37	35,047	36,268
Suomi	31,975	30,478	31,967	30,926	32,29	31,857	29,715	29,819	31,036	27,805	29,532
Tanska	24,021	22,156	22,516	23,009	23,114	23,299	21,254	20,96	19,48	16,876	15,018

European Commission (2012a) virallisten tilastojen mukaan vuosina 2000–2010 Tanskan tiekuljetussuoritteet ovat muuttuneet tutkimusmaista eniten. Tanskassa kuljetussuoritteet ovat vähentyneet vuodesta 2000 vuoteen 2010 noin 9 miljoonaa tonnikilometriä. Norjassa kehityssuunta on puolestaan ollut päinvastainen ja tiekuljetussuoritteet ovat kasvaneet vuodesta 2000 vuoteen 2010 noin 4,5 miljoonalla tonnikilometrillä. Tutkimusmaista Suomessa tiekuljetussuoritteen kehitys vuodesta 2000 vuoteen 2010 on ollut tasaisinta tiekuljetussuoritteen pysyessä noin 30 miljoonassa tonnikilometrissä. Ruotsissa muutos vuodesta 2000 vuoteen 2010 on vähäinen, mutta Ruotsissa vuosina 2005–2008 tapahtui tiekuljetussuoritteiden runsas kasvu. Vuonna 2009 Ruotsin kuljetussuorite kuitenkin palasi vuoden 2000 tasolle, jossa se pysyi myös vuonna 2010.

Tutkimusmaiden kuorma-autojen ensirekisteröintien lukumäärä heijastelee osittain tiekuljetussuoritteen muutoksia, sillä kasvaneet kuljetussuoritteet rohkaisevat alalla toimivia tahoja hankkimaan uutta kalustoa, jotta lisääntyneeseen kuljetussuoritteeseen pystyttäisiin vastaamaan. Kuvassa 3.3 on esitetty tutkimusmaiden kuorma-autojen ensirekisteröinnit vuosina 2000–2010. Tarkastelemalla taulukossa 3.4 esitettyjä tiekuljetussuoritearvoja ja kuvassa 3.2 esitettyjä ensirekisteröintien lukumääriä voidaan todeta, että tutkimusmailla on kytkentä näiden kahden muuttujan välillä.

Suomessa jossa tiekuljetussuoritteiden muutokset vuosina 2000–2010 olivat tutkimusmaista vähäisimmät, myös muutokset ensirekisteröintien lukumäärässä oli maista vähäisintä (ks. kuva 3.3 ja taulukko 3.4). Norjassa, Ruotsissa ja Tanskassa kuorma-autojen ensirekisteröintien lukumäärän trendin kehitys vuodesta 2002 vuoteen 2008 asti oli kasvava, mutta vuonna 2008 maiden ensirekisteröintien lukumäärät vähenivät merkittävästi. 2000-luvun alussa myös Norjan, Ruotsin ja Tanskan tiekuljetussuoritteet lähtivät kasvamaan. Norjassa ja Ruotsissa kasvu jatkui aina vuoteen 2008, mutta Tanskassa se loppui jo vuonna 2005. Toisaalta Tanskan tiekuljetussuoritteiden hetkellinen lasku vuosina 2000–2002 on havaittavissa myös kuorma-autojen ensirekisteröintien lukumäärässä. Vuosien 2006–2008 aikana Tanskan tiekuljetussuoritteiden ja kuorma-autojen ensirekisteröintien välillä ei ole yhtenevyyttä, mutta vuoden 2008 jälkeen alkanut merkittävä väheneminen tiekuljetussuoritteissa näkyy myös ensirekisteröinnissä. (Bil Sweden 2010; European Commission 2012a; Statistics Denmark 2012; Statistics Norway 2012; Tilastokeskus 2012)



**Kuva 3.3.** Tutkimusmaiden kuorma-autojen ensirekisteröinnit vuosina 2000–2010 (Bil Sweden 2010; Statistics Denmark 2012; Statistics Norway 2012; Tilastokeskus 2012).

Tutkimusmaiden kuorma-autojen ensirekisteröinnissä on merkittävä lasku vuonna 2009. Samana vuonna kaikkien tutkimusmaiden kuljetussuoritteet lähtivät laskuun. Merkittäv in syy laskuun on maailmalla vuonna 2009 vaikuttanut talouskriisi, joka pakotti yritykset vähentämään menojaan. Toisaalta vuonna 2009 myös Euro V -standardi tuli voimaan uusille kuorma-autoille. Uusien Euro-päästörajoitusten tiedetään nostavan uusien ajoneuvojen hintaa, sillä uusi tekniikka vaatii kehitystyötä ja uuden teknologian käyttöönottoa. Ajoneuvon hinnan lisäksi myös polttoaineen kulutus kuorma-autoilla on lisääntynyt tiukentuneiden päästörajoitusten seurauksena (Piecyk 2010). Näin ollen vuonna 2009 voimaan tullut Euro V -standardi on saattanut osaltaan vaikuttaa ensirekisteröintien merkittävään laskuun vuonna 2009, sillä yritykset ovat halunneet halvempia ja vähäkulutuksellisempia kuorma-autoja.

Taulukossa 3.4 on esitetty tutkimusmaiden tiekuljetusten prosentuaaliset osuudet sisämaan tavaraliikenteestä. Kaikille tutkimusmaille on yhteistä se, että tiekuljetusten prosenttiosuus on pysynyt melko muuttumattomana ja tiekuljetukset ovat hallitseva kuljetusmuoto tavaraliikenteessä. Tutkimusmaista Tanskalla on ollut koko 2000-luvun suurin tiekuljetusten prosenttiosuus ja se on kattanut noin 90 prosenttia sisämaan kuljetuksista. Norjassa tiekuljetusten osuus on ollut noin 85 %, Suomessa noin 75 % ja Ruotsissa 60–65 %. (European Commission 2012a)

**Taulukko 3.5.** Tutkimusmaiden tiekuljetusten prosentuaalinen osuus sisämaan kuljetussuoritteesta (tkm) vuosilta 2000–2010 (European Commission 2012a).

Maa	Vuosi										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Norja	83,5	84,0	85,1	86,3	86,0	85,2	85,3	84,7	85,0	84,0	85,0
Ruotsi	64,7	63,6	65,6	64,5	63,9	64,0	64,2	63,6	64,9	63,2	60,7
Suomi	75,8	75,4	76,6	75,3	76,0	76,5	72,8	73,9	74,1	75,7	75,0
Tanska	92,1	91,8	92,1	92,1	90,9	92,2	91,8	92,2	91,3	90,8	87,0

Tutkimusmaiden prosentuaalisissa tiekuljetusosuuksissa Ruotsi eroaa selvästi muista maista. Vuonna 2010 Ruotsin tiekuljetusten prosenttiosuus oli noin 15 prosenttia pienempi kuin Suomen ja noin 25 prosenttia pienempi kuin Norjan ja Tanskan. Eurostatsin tilastojen mukaan Norjan, Ruotsin ja Tanskan kuljetukset jakaantuvat vain kahteen kuljetusmuotoon, tiekuljetuksiin ja raidekuljetuksiin. Näin ollen Ruotsin raidekuljetusten prosentuaalinen osuus (39,3) kuljetussuoritteesta on tutkimusmaiden suurin. Suomi eroaa muista tutkimusmaista kuljetussuoritteen jakautumisessa siten, että Suomessa myös sisämaan vesiliikenne kattaa pienen osan kokonaiskuljetussuoritteesta. Tosin sisämaan vesiliikenteen osuus oli vuonna 2010 vain 0,2 %. (European Commission 2012a)

Moduuliyhdistelmien käyttö on yksi merkittävä tutkimusmaiden tiekuljetusaloja yhdistävä tekijä. Suomi ja Ruotsi ovat toimineet moduuliyhdistelmien edelläkävijöinä jo pitkään, sillä Ruotsissa ja Suomessa suuret ajoneuvoyhdistelmät ovat olleet käytössä jo ennen EU:n moduuliyhdistelmiä koskevaa direktiiviä, joka annettiin heinäkuussa 1996. Norja ja Tanska seurasivat Suomea ja Ruotsia ja aloittivat moduuliyhdistelmien koekäytön. Norjassa kokeilu alkoi kesäkuussa 2008 ja Tanskassa marraskuussa 2008. Molempien maiden kokeilua on jatkettu, ja näin ollen kaikissa tutkimusmaissa on tällä hetkellä moduuliyhdistelmät käytössä. Tutkimusmaita voidaankin pitää moduuliyhdistelmien esimerkkimaina, sillä muissa maissa kiinnostus moduuliyhdistelmiä kohtaa on lisääntynyt, mutta niiden käyttö on vielä vähäistä. Tutkimusmaiden lisäksi EU-maista ainoastaan Alankomaat ja Saksa ovat kokeilleet moduuliyhdistelmiä. (Neuvoston direktiivi 96/53/EY; Tetraplan & Grontmij 2011; The Norwegian Public Roads Administration 2012a; Vierth et al. 2008)

Tutkimusmaiden yhteneväinen suhtautuminen moduuliyhdistelmiin käyttöön mahdollistaa moduuliyhdistelmien käytön, myös tutkimusmaiden välisessä liikenteessä. Maan rajat ylittävä moduuliyhdistelmäliikenne voi tarjota tutkimusmaiden välisiä kuljetusketjuja ja mahdollistaa uusien kuljetusverkostojen syntymistä. EU:n lainsäädäntö moduuliyhdistelmien kansainvälisen liikennöinnin suhteen on kuitenkin epäselvästi määritelty ja se jättää maille mahdollisuuden erilaisiin tulkintoihin. Suomen Kuljetus ja Logistiikka (SKAL) ry:n lausunnon ja kannanoton mukaan moduuliyhdistelmien käyttö on sallittua maarajan yli Ruotsiin ja Norjaa ja Suomesta suoralla laivalla Tanskaan, mutta mo-

duuliyhdistelmien käyttö ei ole sallittua operoitaessa Suomesta Ruotsin kautta Norjaan tai Tanskaan (Lehtonen & Backlund 2012).

Tiemaksujen suhteen Suomi eroaa muista tutkimusmaista, sillä Suomessa ei ole käytössä tiemaksuja. Muut tutkimusmaat puolestaan käyttävät tiemaksuja kuorma-autoille. Ruotsissa ja Tanskassa on käytössä Eurovignette-järjestelmä, jota käytetään yli 12 tonnisille kuorma-autoille. Eurovignette-järjestelmässä tiemaksun hinta määräytyy ajoneuvon akselien lukumäärän ja Euro-luokan perusteella (Eurovignette 2012). Norja käyttää Norjan tiehallinnon mukaan omaa tiemaksumalliaan, joka on kehitetty yli 70 vuoden aikana, ja joka on nykyään hyvin merkittävä osa Norjan tiehankkeiden rahoituksessa. Mallissa tiemaksuja peritään kuorma-auton painon ja pituuden mukaan ja kullekin tiemaksujen piiriin kuuluvalla tieosuudella on omat hintansa. (The Norwegian Public Roads Administration 2012b.) Vaikka tiemaksut eivät ole vielä Suomessa käytössä niin kiinnostus niitä kohtaan on Suomessa kasvanut.

## 4 TILASTOANALYYSIN TAUSTA

Luvun neljä tarkoitus on tarkentaa ja kuvata käytössä ollutta tilastomateriaalia ja kertoa menetelmistä, joilla maiden tilastoja on muokattu toistensa kanssa yhteneviksi. Alkuperäiset tilastotiedot on kerännyt tutkimuksen ulkopuoliset tahot, mutta maakohtaiset tilastot on koottu yhteen ja muokattu vertailtaviksi tutkimuksessa mukana olleiden yhteistyötahojen avustuksella. Näin ollen tilastojen keräämiseen ja siihen liittyviin ongelmiin ei tässä työssä puututa, vaan tarkastelu kohdistuu yhteen koottujen tilastojen vertailuun ja tilastoissa ilmenneiden asioiden analysointiin.

Kappaleessa 4.1 esitellään tilastojen alkuperää ja pohjustetaan sitä, miten tavarankuljetustilastoista on muodostettu energiatehokkuus- ja hiilidioksidipäästötilastoja. Kappaleessa 4.2 tarkastellaan keinoja, joilla eri maiden tilastot on saatu vertailukelpoisiksi. Kappaleen lopussa käydään läpi myös tilastoista ilmenneet rajoitteet tilastojen vertailulle. Kappaleessa 4.3 pohditaan käytettävien tilastojen paikkansapitävyyttä ja arvioidaan mahdollisia tilastojen virhetekijöitä.

### 4.1 Tietolähteet

Tutkimuksessa käytetty tilastomateriaali on kerätty tutkimusmaiden kansantalouden tilinpitoa kuvaavista tilastoista sekä jatkuvaluonteisista tavarankuljetustilastoista, jotka toteutetaan kaikissa tutkimusmaissa kansallisten tilastokeskusten toimesta. Eurostatista saatujen tutkimusmaiden kansantaloudellisten tilinpitotojen avulla on saatu selville maiden bruttoarvonlisäys sekä toimialakohtainen arvonlisäys koko tutkimusajanjaksolle (European Commission 2012a).

Tavarankuljetustilastojen avulla on selvitetty maakohtaiset tonni-, tiekuljetussuorite- ja liikennesuoritemäärät, joita on käytetty kuljetusintensiteetin, energiatehokkuuden ja hiilidioksidi-intensiteetin laskentaan. Tiekuljetusten osuus maiden kokonaistavaraliikenteestä on saatu tarkastelemalla eri kuljetusmuotojen tavarankuljetustilastoja ja yhdistämällä niistä saatuja tietoja.

Tavarankuljetustilastot ja kansantaloudelliset tilinpidot on pystytty yhdistämään suoraan muun muassa arvotiheyksiä ja kuljetusintensiteettejä määrittäessä, mutta ympäristötekijöiden huomioimiseksi tilastoja ei pystytä käyttämään suoraan. Ympäristövaikutusten huomioimiseksi edellä mainittuihin tilastoihin on yhdistetty tietoa ajoneuvojen kulutuksesta, polttoaineen energiasisällöstä ja CO<sub>2</sub>-päästömääristä.

Tiedot tiekuljetusten ympäristövaikutuksista on saatu LIPASTO 2010 ja NTM 2008 - laskentajärjestelmistä. NTM on vuonna 1993 perustettu voittoa tavoittelematon organisaatio. NTM-laskentajärjestelmä tarjoaa mallin ympäristövaikutusten arviointiin eri kuljetusmuodoille. Malli on suunniteltu pääasiallisesti kuljetuspalveluja ostaville ja tarjoaville. LIPASTO on VTT:n toteuttama laskentajärjestelmä Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiakulutuksen laskemiseksi. Laskentajärjestelmän teko on aloitettu vuonna 1988, ja uusin versio on LIPASTO 2011. Järjestelmää päivitetään vuosittain aina keväisin edellisen vuoden tiedoilla.

NTM ja LIPASTO tarjoavat mallin päästöjen laskemiseen eri kuljetusmuodoille ja erikokoisille tiekuljetusajoneuvoille yksikköpäästö- ja energiankulutuskertoimien avulla. Tässä työssä ei selitä tarkasti sitä, miten päästö- ja kulutustiedot on yhdistetty tavarankuljetustilastoihin ja kansantaloudelliseen tilinpittoon, mutta tarkempi kuvaus on löydettävissä Liimatainen ja Pöllänen (2010) artikkelista. Artikkelissa he esittävät tarkan kuvauksen siitä, miten käytetyllä laskentamallilla saadaan laskentajärjestelmien tiedot, tavarankuljetustilastot sekä kansantaloudelliset tilinpidot yhdistettyä. Yhdistämällä tiedot on saatu muodostettua kytkentä tavarankuljetusten, talouden ja ympäristövaikutusten välille. Kehitetty laskentamalli huomioi muun muassa kuljetukseen käytetyn ajoneuvojen koon, EURO-luokan, kuorman ja kuljetustyypin.

Tutkimuksessa mukana olleet tutkimusmaiden yhteistyötahot ovat koonneet käytettävät tilastot ja muokanneet ne Suomen mallin mukaisiksi. Yhteistyötahot ovat myös tehneet eri tilastojen yhdistämisen, joten ne ovat vastanneet Suomessa kehitetyn laskentamallin soveltamisesta, ja siksi itse laskentamallin soveltamiseen ei tässä työssä perehdytä kovin syvästi, vaan painopiste pidetään saatujen tilastojen analysoinnissa. Käyttämällä Suomessa jo aikaisemmin toteutettua mallia esimerkkinä on varmistettu se, että laskentatavat ovat yhteneviä, ja ainoat erot voivat johtua maakohtaisista tilastoinneista.

## 4.2 Maiden tilastojen yhdistettävyys

Tutkimusmaiden tilastojen tarkastelussa käytetyt rahamäärät on muutettu vuoden 2005 euroiksi Eurostatin tilastojen avulla (European Commission 2012a). Yhteiseksi valuutaksi tutkimuksessa valittiin euro, sillä kaikki maat käyttävät eri valuuttoja, ja eurojen uskottiin soveltuvan parhaiten vertailtavaksi muihin tutkimuksiin. Vuosi 2005 valittiin tutkimuksessa muunnosvuodeksi, sillä se on tutkimusajanjakson puolestavälistä ja kuvaa näin hyvin koko tutkimusajanjaksoa.

Tutkimuksessa toteutettava tutkimusmaiden toimialatarkastelu perustuu NST/R- ja NST2007-luokitteluun. NST2007-luokittelu vahvistettiin Euroopan komission asetuksessa N:o 1304/2007 ainoaksi käytettäväksi tavaraluokitukseksi EU:ssa. NST2007 tuli voimaan vuonna 2008 ja korvasi edeltävän NST/R-luokituksen. NST2007-luokituksessa otettiin käyttöön uusia tavaralajeja, mutta periaatteeltaan se on aikaisemman NST/R-

luokituksen kaltainen. Komission asetus koskee kaikkia EU-jäsenvaltioita, mutta myös Norja käyttää mukailleen kyseisiä tavaralajiluokituksia. (European Commission 2012a)

NST2007-luokittelu jakaa tavaralajit 20 eri luokkaan, mutta kansallisissa tilastoissa tutkimusmaat ovat jakaneet tavaralajit useampiin luokkiin, jotta luokittelu vastaisi paremmin maiden tavaralajeja. Jotta maiden välinen vertailu olisi mahdollista toteuttaa, jouduttiin tässä tutkimuksessa luokittelemaan tavaralajit uudelleen kuuteen luokkaan. Uudelleen luokittelu tehtiin siten, että se perustuu NST/R- ja NST2007-luokitteluun. Tutkimuksessa käytettävät luokat koodinumeroineen on esitetty taulukossa 4.1. Tarkemmat kuvaukset tavaralajiluokituksista on esitetty liitteessä 1.

**Taulukko 4.1. Tavaralajiluokittelu**

Toimiala	NST/R 2000- 2007	NST2007 2008- 2010
Maa- ja metsätalous	0	1
Kaivosala ja rakentaminen	4, 6	3, 9
Elintarviketeollisuus	1	4
Puu- ja paperiteollisuus	-	6
Kemianteollisuus	2, 3, 7, 8	2, 7, 8
Teknolohiateollisuus	5, 9	5, 10-20

NST/R-luokittelua käytetään tutkimuksessa vuosille 2000–2007 ja NST2007-luokittelua vuosille 2008–2010. NST2007-luokittelussa otetaan käyttöön uusi tavaralajiluokka puu- ja paperiteollisuuden tuotteille, ja näin ollen puu- ja paperiteollisuus on tutkimuksessa omana luokkana vain vuosina 2008–2010. Tuloksia analysoitaessa puu- ja paperiteollisuuden esiintymien omana toimialanaan pitää huomioida, sillä vuosina 200–2007 se on laskettu osaksi muita toimialasektoreita, ja näin ollen puu- ja paperiteollisuuden laskeminen omaksi sektorikseen muokkaa merkittävästi myös muita toimialoja.

Tilastojen yhtenevyyden vuoksi öljy- ja kaasuteollisuus on jätetty huomioimatta maiden bruttoarvonlisäyksissä, sillä etenkin Norjassa öljy- ja kaasuteollisuus muodostaa hyvin suuren osan maan bruttoarvonlisäyksestä eikä se toisaalta vaikuta merkittävästi tiekuljetusmäärissä. Esimerkiksi vuonna 2010 tarkasteltavien kuuden toimialan yhteenlaskettu BKTA kattoi vain 76 % kyseisen vuoden öljy- ja kaasuteollisuuden BKTA:sta. Ruotsissa ja Tanskassa öljy- ja kaasuteollisuuden osuudet eivät ole niin suuria kuin Norjassa, mutta tilastojen yhdistettävyyden vuoksi myös Ruotsin ja Tanskan öljy- ja kaasuteollisuus jätettiin tilastoissa huomioimatta. Suomen osalta tätä ei tarvittu, sillä Suomessa ei ole käytössä öljy- ja kaasuvarantoja.

Vaikka tutkimusmaiden tilastoinnissa käytetään samoja menetelmiä ja luokitteluperusteita niin silti maiden tilastoissa on pieniä eroavaisuuksia. Työssä käytetty malli on kehitetty Suomessa, joten tutkimuksen aikana ilmenneet rajoitteet mallin soveltamiselle

johtuivat Norjasta, Ruotsista ja Tanskasta. Rajoitteita aiheutti tiedon puute ajoneuvojen omapainoista, kuljetusten luonteesta ja toimialakohtaisista tyhjänäajon osuuksista. Norjassa ja Ruotsissa osasta kuljetuksista puuttui tieto ajoneuvojen omapainosta. Tämä aiheutti sen, että Ruotsissa osassa kuljetuksista oli yli 100-prosenttinen käyttöaste, mikä korjattiin lisäämällä näihin kuljetuksiin ajoneuvon omapainoon keskiverto perävaunun paino (7 tonnia). Norjan tilastoissa puutteellisia tietoja korjattiin olettamalla ajoneuvon omapainon olevan 1/3 kokonaispainosta ja puolet ajoneuvon hyötykuormasta.

Tanskan tilastotiedot eivät mahdollistaneet tyhjänäajon tarkastelua toimialatasolla, vaan käytössä oli vain tyhjänäajon kansallinen osuus. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa ei pystytty tarkastelemaan maiden tyhjänäajoa toimialatasolla, vaikka se kuului alkuperäiseen tutkimussuunnitelmaan. Tanskassa ja Ruotsissa kaupunkiajo-osuuksien tilastointi eroaa Suomessa ja Norjassa käytössä olevasta menetelmästä. Ruotsissa kyseiset tiedot puuttuvat täysin tavarankuljetustilastoista, minkä vuoksi Ruotsissa kaikki alle 24 kilometrin kuljetukset on laskettu kaupunkiajoksi tässä tutkimuksessa. Tanskassa ongelmana on se, että maa on jaettu vain 11 alueeseen ja näin ollen kaupunkialueilla tapahtuvia kuljetuksia on hankala erottaa muista kuljetuksista. Itse asiassa tämä tarkoittaa sitä, että Kööpenhamina on ainoa kaupunki, jonka alueelta voidaan tunnistaa kaupunkiajo-osuuksia Tanskan tavarankuljetustilastoista.

### 4.3 Tilastojen luotettavuus

Tutkimuksessa käytettävä tilastomateriaali on pääasiallisesti koottu tutkimusmaiden kansallisista tilastoista, jotka ovat maiden virallisia tilastoja. Käyttämällä maiden virallisia tilastoja tutkimusmateriaalin lähteenä voidaan tutkimuksessa käytettyjä tilastotietoja pitää hyvin luotettavina. Kansallisten tilastojen luotettavuus perustuu siihen, että niiden kokoamisessa maiden tilastokeskuksilla on käytössään valtakunnallisella tasolla kattavin tilastomateriaali. Maiden kansallisia tilastoja pidetäänkin yleensä vertailukohtana tutkimuksissa, joissa tilastomateriaali on hankittu kansallisten tilastojen ulkopuolelta.

Vaikka käytettävät tilastot on koottu maiden kansallisista tilastoista, niin silti tutkimuksen tuloksia analysoitaessa tulee huomioida tuloksia mahdollisesti muokkaavat virhetehtäjät. Mahdollisina virhetehtäjinä voidaan pitää itse tilastoissa olevia virheitä, tilastojen koonnissa tapahtuneita virheitä, tilastojen yksinkertaistamisesta johtuvia virheitä ja tilastojen analysoinnissa tapahtuvia virheitä.

Tutkimuksessa käytettävät tilastotiedot kattavat aikasarjana tilastotietoja vuosilta 2000–2010. Poikkeuksen tähän tekee kuitenkin Ruotsi, jonka tilastoissa tiedetään olevan virhe vuoden 2004 osalta. Virhe johtuu siitä, että osaa Ruotsin kuljetuksista ei ole rekisteröity alkuperäisiin tilastoihin, ja näin ollen vuoden 2004 osalta maan kuljetetut tonnimäärät ja liikennesuoritteet eivät vastaa todellisia arvoja. Tutkimuksen kannalta virheen merkitys kasvaa siksi, että työssä tonni- ja kilometrimäärät ovat lähtötietoina tarkastelluille koon-



tisuureille ja indikaattoreille. Syytä tilastojen virheellisyyteen ei ole pystytty selvittämään, ja siksi virhettä ei ole pystytty korjaamaan. Tiedostettu virhe vääristää tonnimääriä ja kilometrejä kansallisella tasolla arviolta noin kolmanneksella, ja tämän vuoksi Ruotsin osalta vuoden 2004 tiekuljetusten tilastotietoja ei ole tässä tutkimuksessa huomioitu.

Käytettävät tilastot eivät ole täysin absoluuttisia, sillä jokaista kuljetusta on mahdotonta käsitellä yksityiskohtaisesti. Osa tilastollisista muuttujista korvataan keskiarvoilla ja painotetuilla keskiarvoilla. Tässä tutkimuksessa käytettyjä keskiarvoja voidaan pitää luonnollisina vaihtoehtoina, sillä tarkasteltava perusjoukko on hyvin laaja ja vaihteleva. On muistettava, että jokainen perusjoukon havainto on tapauskohtainen, sillä jokaisesta kuljetuksesta tekevät yksilöllisen muun muassa kuljetusolosuhteet, ajoneuvon liikettä vastustavien voimien suuruus, kuorman paino ja kuljettajan ajotyyli. Työssä käytettäviä keskiarvoja on kuitenkin pyritty tarkentamaan mahdollisilla painotuskertoimilla. Esimerkiksi toimialakohtaisia polttoaineenkulutuksia on lisätty painotuskertoimilla niillä toimialoilla, joissa ajetaan usein hankalissa olosuhteissa tai ajoneuvon moottoria pidetään tyypillisesti pitkään päällä tavaran kuormausten ja purkujen yhteydessä.

Toisaalta työssä käytettäviä tilastoja on jouduttu yksinkertaistamaan, jotta kuljetusten ympäristövaikutuksia pystytään tarkastelemaan. Tilastotietoja on yksinkertaistettu muun muassa käyttämällä samaa polttoaineen hiilidioksidipitoisuuskerrointa kaikille kuljetuksille, vaikka todellisuudessa käytettävissä polttoaineissa on eroavaisuuksia CO<sub>2</sub>-pitoisuuksissa. Maakohtaisten tilastojen puutteellisuuden vuoksi Norjan ja Ruotsin tilastoissa ajoneuvokaluston omapainoja on jouduttu yksinkertaistamaan olettamalla, että puutteelliset tiedot pystytään korvaamaan ajoneuvokaluston keskimääräisillä painoilla.

Työn tulosten kannalta merkittävin yksinkertaistus tilastotiedoissa on keskiarvomaksimikuorman käyttö koko kuljetuksen kuorman painona. Tämä yksinkertaistus jouduttiin tekemään tilastoille, sillä tilastotiedot eivät ole tarpeeksi tarkkoja jotta kaikki kuorman muutokset kuljetuksien aikana pystyttäisiin huomioimaan. Keskiarvomaksimikuorman käyttö kuorman painona vaikuttaa tilastoihin virhetekijänä, sillä se muokkaa kulutetun energian määrää. Kulutetun energian määrä voi todellisuudessa olla suurempi tai pienempi, kuin mitä työssä käytettävällä menetelmällä arvioidaan. Kulutuksen kasvu tai pienentyminen riippuu siitä, miten paljon kuorman koko muuttuu kuljetuksen aikana ja kuinka suuri osa kuljetuksesta ajetaan keskiarvosta poikkeavalla kuormalla. Vaikutukset polttoaineenkulutukseen ovat suoria, sillä kuorman kulutus on riippuvainen kuorman painosta. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava tilastoille tehdyt yksinkertaistamiset ja niiden vaikutukset lopullisiin tuloksiin.

Tulosten analysoinnissa toimialaryhmien erot vuosina 2000–2007 ja 2008–2010 saattavat aiheuttaa mahdollisia tilastojen tulkintavirheitä. Virheet saattavat johtua siitä, että aikasarjoissa vuodesta 2008–2010 puu- ja paperiteollisuus lasketaan omaksi toimialak-

seen ja näin ollen se laskee teknologiateollisuuden arvoa, johon se on vuosina 2000–2007 yhdistetty. Tulosten käsittelyssä puu- ja paperiteollisuuden osalta onkin muistettava, että se kattaa omana toimialanaan tässä tutkimuksessa vain vuodet 2008–2010.

Tulosten kannalta yksi merkittävimmistä mahdollisista virhetekijöistä on se, että käytettävät tilastot ovat peräisin eri lähteistä ja ne on koottu eri tahojen toimesta. Monen eri tahon työn yhdistäminen sisältää aina mahdollisuuden eri tahojen inhimillisille virheille, menetelmävirheille ja tilastomateriaalivirheille. Virheiden välttämiseksi käytettävä tilastomateriaali on kuitenkin pyritty yksiselitteisesti rajoittamaan kotimaan tiekuljetuksiin, jotka on tehty yli 3500 kg kalustolla. Inhimillisten virheiden välttämiseksi tilastojen kokoamisessa on käytetty ennalta käytettyä mallia. Maakohtaiset tilastot on myös tarkastettu tutkimuksen aikana järjestetyissä tapaamisissa yhdessä koko tutkimuksessa mukana olleen työryhmän kanssa. Tilastojen koonnissa yhteistyötahoilla oli myös käytettävänä tarkastustyökalu, jonka avulla oikeat tilastojen laskentamenetelmät pystyttiin tarkastamaan.

Tutkimuksen tulosten tulkintavirheissä suurin riski liittyy talouden ja tiekuljetusten väliin kytkentään. Talouden kytkeminen tiekuljetuksiin ja sen ympäristövaikutuksiin on haasteellista, sillä ei ole olemassa yksiselitteistä mittaria, jolla kytkentä pystyttäisiin tekemään. Työssä käytetyillä mittareilla, kuten kuljetusintensiteetti ja CO<sub>2</sub>-intensiteetti pystytään kytkentää tarkastelemaan tietyistä näkökulmista, mutta kokonaiskuvan muodostamiseksi on arvioita mahdollisimman monia näkökulmia. Kaikkien mahdollisten näkökulmien huomiointi on kuitenkin mahdotonta, joten tuloksia analysoitaessa on huomioitava, että tässä työssä keskityttiin tiekuljetusten ympäristövaikutuksiin ja näin myös kytkentä talouteen on tehty tiekuljetusten ympäristövaikutuksia painottaen.

Kaiken kaikkiaan työssä käytettäviä tilastotietoja ja niiden avulla toteutettuja kansainvälisiä vertailuja voidaan pitää luotettavina, kun otetaan huomioon tutkittavan perusjoukon monimuotoisuus. Tutkimusmateriaalin luotettavuutta tukee erityisesti se, että käytettävät tilastot ovat pääosin peräisin tutkimusmaiden kansallisista tilastoista, ja maakohtaisten tilastojen yhdistämisessä on käytetty mallina jo aikaisemmin Suomessa toteutettua ja testattua menetelmää. Tutkimuksessa käytettyjä tutkimusmenetelmiä on mahdollisuuksien mukaan käytetty kaikkien niiden tutkimusmaiden tilastotiedoille, joilla tilastot on saatu yhdenmukaistettua. Saatuja tuloksia voidaankin pitää Norjan, Ruotsin, Suomen ja Tanskan osalta hyvin keskenään verrattavissa olevina.

## 5 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tässä kappaleessa keskitytään tilastojen analysointiin ja tutkimusmaiden tiekuljetusten ympäristövaikutusten kehitykseen. Kokoamalla tutkimusmaiden tilastot yhteen ja analysoimalla niitä pystytään muodostamaan vertailu maiden välillä niin kansallisella tasolla kuin toimialatasollakin. Tulosten tarkastelu aloitetaan kansalliselta tasolta tarkastelemalla maiden tiekuljetusten kehitystä kansantalouteen ja ympäristövaikutuksiin liittyvien koontisuureiden ja indikaattorien avulla. Kansallisen tason tarkastelu jakaantuu kolmeen alalukuun 5.1.1–5.1.3, joissa painotetaan kuljetusintensiiteettiä, energiatehokkuutta ja CO<sub>2</sub>-päästöjä.

Kansallisen tason tarkastelu kappaleessa 5.1 aloitetaan kuljetusintensiiteetin ja siihen vaikuttavien koontisuureiden ja indikaattorien historiallisen kehityksen tarkastelulla. Kansallisen tason toisessa osassa keskitytään maiden energiatehokkuuden ja siihen liittyvien koontisuureiden ja indikaattoreiden kehitykseen. Energiatehokkuustarkastelu aloitetaan analysoimalla maiden energiankulutusta, minkä jälkeen maita vertaillaan energiatehokkuuden mukaan. Kansallisen tason viimeisessä osassa tarkastellaan maiden hiilidioksidipäästöjen kehitystä ja vertaillaan, mikä maista tuottaa eniten CO<sub>2</sub>-päästöjä.

Kappaleessa 5.2 siirrytään kansallista tasoa tarkemmalle tasolle ja tarkastellaan maiden toimialoja tiekuljetusten näkökulmasta. Toimialatarkastelussa vertaillaan toimialojen kehitystä maiden välillä ja pyritään löytämään ne toimialat, jotka tutkimusmaissa ovat vähiten ympäristöä kuormittavia ja myös ne, jotka rasittavat eniten ympäristöä. Toisin kuin kansallisen tason tarkastelussa niin toimialatason tarkastelussa ei tilastojen rajoitavuuden takia pystytä tarkastelemaan maiden tyhjänäajo-osuuksia. Tyhjänäajon tarkastelu jää tässä työssä pelkästään kansalliselle tasolle, mutta sen uskotaan kuvaavan riittävästi sitä, kuinka paljon tyhjänäajossa kulutetaan energiaa.

### 5.1 Kansallisen tason tarkastelu

Kansallisella tasolla vertailtaessa maiden tiekuljetusalan kehitystä vertailu perustuu muuttujien vuotuisiin keskiarvoihin ja kokonaismääriin. Maiden vertailu toteutetaan sekä suhteellisten muutosten avulla että määrällisenä. Työn tavoitteena on toteuttaa maiden välinen vertailu, mitä pyritään helpottamaan sillä, että maiden kehityksen määrittämiseksi muuttujien kehitys on kuvattu kuvaajissa maittain. Kuvaamalla koontisuureiden ja indikaattorien kehitys maittain pyritään siihen, että kokonaisuuksien hahmottaminen tutkimusmaiden välillä olisi helpompaa.

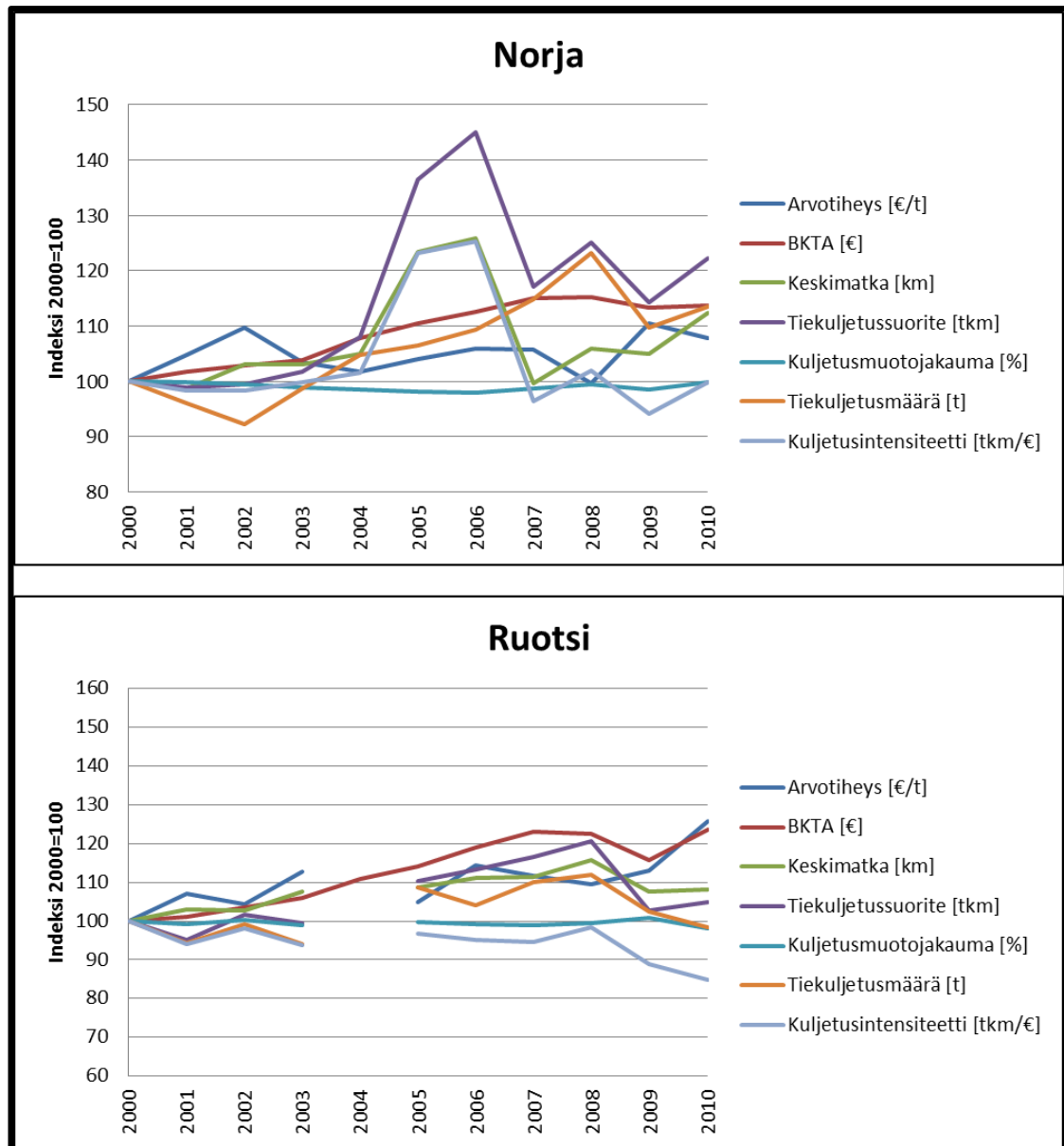
Maakohtaisia kuvaajia tarkasteltaessa on huomioitava, että kuvaajien Y-akselilla olevat arvot on indeksoitu vuoteen 2000. Maiden välistä vertailua tehdessä on myös huomioitava, että kuvaajien Y-akselin arvot eivät ala nolasta. Kuvaajien Y-akseli on muokattu, jotta maiden väliset yhtäläisyydet ja eroavaisuudet tulisivat paremmin esille.

### **5.1.1 Kuljetusintensiteetti**

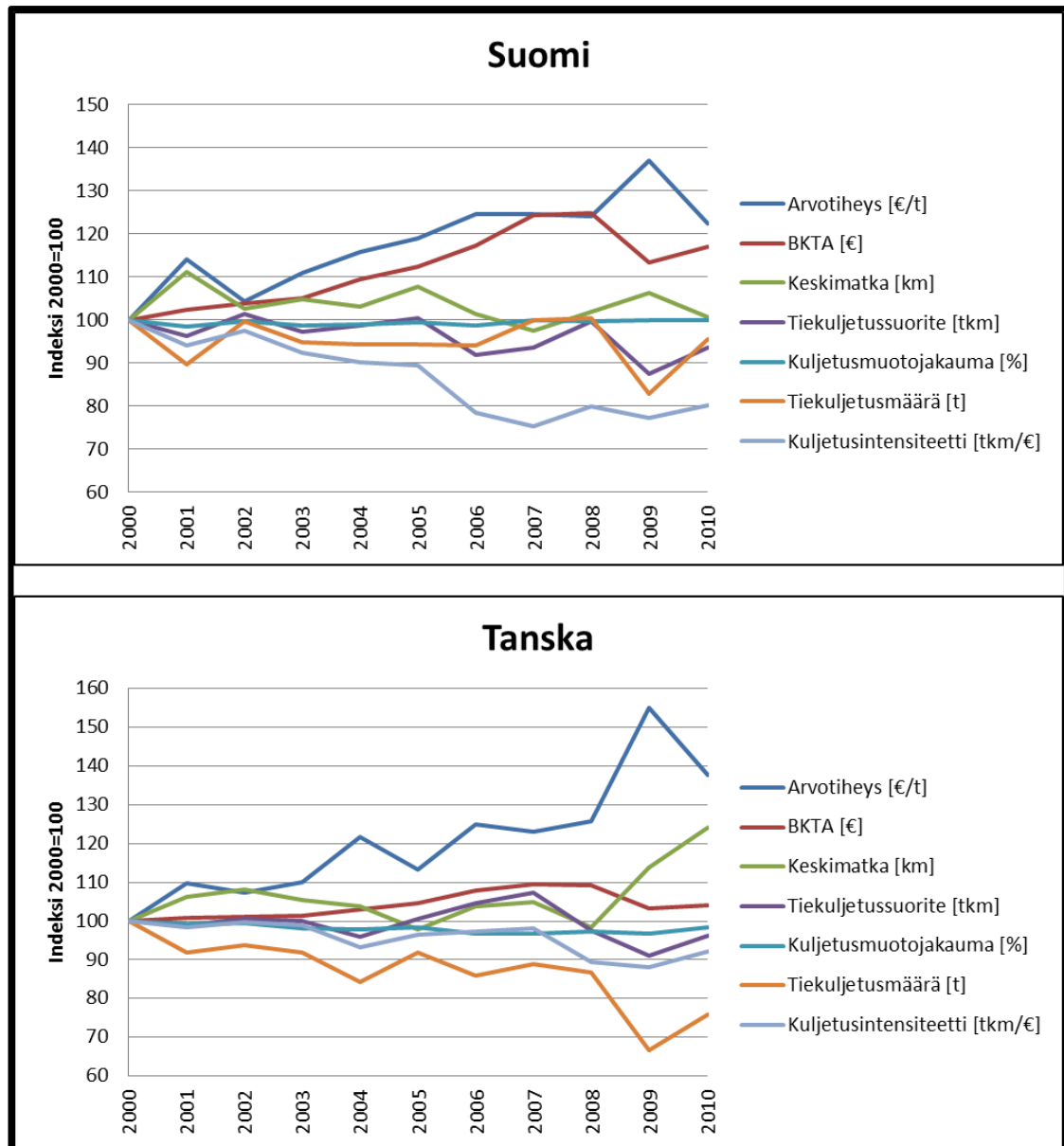
Tutkimusmaiden kuljetusintensiteettiin liittyvien indikaattorien ja koontisuureiden kehitys on esitetty maittain kuvissa 5.1 ja 5.2. Maiden välisen vertailun helpottamiseksi molemmissa edellä mainituissa kuvissa koontisuureita ja indikaattoreita kuvaavien käyrien värit ovat samat.

Tässä työssä kuljetusintensiteetti määritetään kuljetussuoritteen ja arvonlisäyksen suhteeksi (tkm/€). Tutkimusmaista Norjan tiekuljetusten indeksoitu kuljetusintensiteetti on yksittäisenä vuotena muuttunut eniten laskien vuoden 2006 arvosta vuoteen 2007 mennessä takaisin lähes vuoden 2000 arvoon. Ruotsissa ja Tanskassa kuljetusintensiteetin kehitys on pysynyt tutkimusajanjaksolla hyvin tasaisena. Toisaalta Ruotsin kuljetusintensiteetti on lähtenyt laskuun tutkimusajanjakson viimeisinä vuosina. Suomen kuljetusintensiteetin kehitys on koko tutkimusajanjaksolla ollut laskeva.

Tarkastelemalla maiden kuljetusintensiteettien lukuarvoja voidaan todeta, että Suomi on tutkimusmaista kuljetusintensiteetiltään heikoin. Vuonna 2000 Suomen kuljetusintensiteetin arvo oli 0,23 tkm/€ ja vuonna 2010 0,18 tkm/€, kun Tanskassa vastaavat arvot olivat 0,07 tkm/€ ja 0,06 tkm/€. Norjassa kuljetusintensiteetin arvo oli vuonna 2000 sama kuin se oli vuonna 2010 ollen hieman Tanskan arvoa korkeampi 0,09 tkm/€. Ruotsi on puolestaan kuljetusintensiteetiltään paljon Suomea lähempänä kuin Norja ja Tanska, mutta Ruotsinkin arvot jäävät paljon Suomen korkeita arvoja pienemmiksi ollen vuonna 2000 0,14 tkm/€ ja vuonna 2010 0,12 tkm/€.



**Kuva 5.1.** Norjan ja Ruotsin tiekuljetusten kuljetusintensiiviteettiin vaikuttavien koontisuu-  
reiden ja indikaattorien kehitys vuosina 2000–2010.



*Kuva 5.2. Suomen ja Tanskan tiekuljetusten kuljetusintensiteettiin vaikuttavien koontisuureiden ja indikaattorien kehitys vuosina 2000–2010.*

Kuljetusintensiteetin kehityksen analysoinnissa on myös huomioitava siihen vaikuttavien koontisuureiden ja indikaattorien kehitys. Kuten aikaisemmin kappaleessa 2.3 esitettiin, niin jo pelkästään kuljetussuoritteeseen vaikuttavat muun muassa arvotiheys, keskimatka ja kuljetusmuotojakauma.

Kuljetusmuotojakaumassa mailla ei ole tonnimäärinä mitattuna merkittävää vaihtelua. Voidaankin todeta, että kuljetussuoritteiden kehityksen kannalta kuljetusmuotojakaumalla ei ole tutkimusmaissa suurta merkitystä. Kaikissa maissa tiekuljetusten osuus kaikista kuljetuksista tonnimäärissä mitattuna on noin 90 % ja kattaa näin selvästi suurimman osan maiden kotimaan kuljetuksista.

Tiekuljetussuoritteiden kehitys on Suomessa ja Tanskassa ollut koko tutkimusajanjaksolla melko tasaista, mutta Ruotsissa ja etenkin Norjassa tiekuljetussuoritteet ovat vuosittain vaihdelleet runsaasti. Ruotsissa kehitys on ollut kasvavaa vuoteen 2008, minkä jälkeen tiekuljetussuoritteissa on alkanut selvä lasku. Norjassa tiekuljetussuoritteiden suhteellinen kasvu oli todella runsasta vuodesta 2000 vuoteen 2006, minkä jälkeen vuonna 2007 kuljetussuorite laski merkittävästi jääden kuitenkin selvästi vuoden 2000 tasoa suuremmaksi.

Tiekuljetussuoritteiltaan Ruotsi ja Suomi ovat selvästi Norjaa ja Tanskaa suurempia, sillä Ruotsin keskiarvo tutkimusajanjaksolla on noin 33,2 miljardia tkm ja Suomen 26,7 miljardia tkm, kun Norjan on 15,4 miljardia tkm ja Tanskan vain 10,9 miljardia tkm. Eroja maiden välisissä tonnakilometrimäärissä voidaan pitää hyvin merkittävinä kuljetusintensiteetin kannalta, sillä esimerkiksi Ruotsin kuljetussuoritteet ovat yli kolme kertaa suuremmat kuin Tanskan ja yli kaksi kertaa suuremmat kuin Norjan.

Tiekuljetusmääriä tarkastellessa maiden suuruusjärjestys muuttuu, sillä tonneissa mitattuna Suomessa kuljetetaan selvästi Ruotsia enemmän tavaraa. Samalla myös Suomen ja Ruotsin ero Norjaan ja Tanskaan pienenee. Tutkimusajanjakson maakohtaiset keskiarvot ovat Suomella noin 395,0 Mt, Ruotsilla 328,3 Mt, Norjalla 244,1 Mt ja Tanskalla 180,0 Mt. Tonnimäärien kehityksessä vuodesta 2000 vuoteen 2010 maiden välillä on eroavaisuutta. Norjassa kehitys on ollut selvästi kasvavaa, kun Tanskassa tonnimäärät ovat vähentyneet selvästi. Ruotsissa ja Suomessa tonnimäärien kehitys on ollut Norjaa ja Tanskaa huomattavasti tasaisempaa. Ruotsissa ja Suomessa onkin vuonna 2010 palattu lähes vuoden 2000 tonnimäärien tasolle.

Tonnimäärien lisäksi kuljetussuoritteeseen vaikuttavat matkojen pituudet. Kuvissa 5.1 ja 5.2 esitetään kohdemaiden kuormattujen matkojen keskipituuksien kehitys. Suurin vaihtelu keskimatkojen pituuksissa on ollut Norjassa, jossa keskimatkojen pituuksien keskiarvo kasvoi vuodesta 2004 (56,9 km) vuoteen 2005 (67,0 km) noin kymmenellä kilometrillä. Vuonna 2007 Norjan keskimatkojen pituus kuitenkin laski takaisin vuoden 2000 tasolle ja on siitä lähtien ollut taas kasvussa. Norjan tapaan myös Tanskan matkojen keskipituudet ovat merkittävästi kasvaneet tutkimusajanjakson loppuosassa. Norjaan ja Tanskaan verrattuna Ruotsin ja Suomen keskipituuksien kehitys on ollut tasaisempaa. Toisaalta on kuitenkin huomattava, että Suomessa ollaan vuonna 2010 hyvin lähellä vuoden 2000 tasoa, kun Ruotsissa keskipituuksien kehityksessä on pientä kasvua.

Arvonlisäyksenä kansallisella tasolla tässä työssä käytettiin bruttoarvonlisäystä (BKTA), joka kaikilla mailla on tutkimusajanjaksolla ollut kasvava. Tanskassa BKTA on muuttunut suhteessa vähiten, ja Ruotsissa suhteellinen kasvu on ollut runsainta (ks. kuvat 5.1 ja 5.2). Euroissa mitattuna Suomen BKTA on tutkimusmaista selvästi pienin. Se on vaihdellut vuosina 2000–2010 vain noin 120 miljardin euron ja 150 miljardin euron välillä, kun Ruotsissa ajanjakson minimi on noin 230 mrd. € ja maksimi 280 mrd.

€. Tanskan BKTA:n vuotuisista arvoisista laskettu keskiarvo on noin 170 mrd. € ja Norjan 210 mrd. €.

Arvonlisäyksen ja tavaratonnimäärien suhteena määritettävän arvotiheyden kehitystä tarkasteltaessa havaitaan, että lukuun ottamatta Norjaa maiden arvotiheyden kehitys on ollut käänteinen kuljetusintensiteetin kehityksen kanssa. Näin ollen voidaan todeta, että Norjassa arvotiheydellä on tutkimusmaista vähäisin kytkeä kuljetusintensiteettiin. Tanskassa kuljetusintensiteetin ja arvotiheyden kytkeä on Norjaa selvempi, mutta Tanskassakaan kytkeä ei ole niin selvä kuin Ruotsissa ja Suomessa, joissa arvotiheyden muutokset vastaavat lähes täysin kuljetusintensiteetin muutoksia. Tutkimusajanjakson keskiarvojen perusteella Suomen arvotiheys (345,4 €/t) on pienin ja Tanskan (986,1 €/t) suurin. Suomen arvotiheys on selvästi tutkimusmaiden pienin, sillä Norjan tutkimusajanjakson keskiarvo on 667,6 €/t ja Ruotsin 786,5 €/t. Ero Ruotsin ja Tanskan välillä on kuitenkin pienentymässä, sillä Ruotsi on maista ainoa, jossa arvotiheyden kehitys on tarkkailuajanjakson lopussa lähtenyt kasvuun, ja samalla Tanskassa arvotiheyden kehitys on vuodesta 2009 lähtenyt selvään laskuun.

Tarkasteltaessa maittain kuljetusintensiteetin kehitystä sen määrittävien koontisuureiden ja indikaattorien kannalta voidaan todeta, että maiden välillä on merkittäviä eroavaisuuksia. Norjassa matkojen keskipituuksien pidentyminen selittää Norjan kuljetusintensiteetin kasvun, sillä Norjassa BKTN:n ja tonnimäärien kasvu on ollut samalla tasolla, ja näin matkojen keskipituuksien kasvu on aiheuttanut kuljetusintensiteetin kasvun (ks. kuva 5.1). Ilmiön merkitys korostuu vuonna 2004 ja tarkasteluajanjakson loppuosassa.

Ruotsissa kuljetusintensiteetissä on havaittavissa lievää laskua, mikä kiihtyy vuodesta 2008 alkaen (ks. kuva 5.1). Tämä selittyy siten, että Ruotsissa BKTA:n kasvu on ollut tonnimäärien ja keskipituuksien kasvua runsaampaa. Kuljetusintensiteetin pienentymisen kiihtyessä Ruotsin tiekuljetusten tonnimäärät ja matkojen keskipituuudet ovat lähteneet selvään laskuun ja samaan aikaan BKTA on alkanut kasvaa. Tonnimäärien vähentyminen ja BKTA:n kasvaminen näkyy myös arvotiheyden kasvuna, joka osaltaan selittää kuljetusintensiteetin kehitystä.

Suomen tiekuljetusintensiteetin kehityksessä on havaittavissa sama kuin Ruotsin kehityksessä (ks. kuvat 5.1 ja 5.2). Suomessa BKTA:n kasvu on kuitenkin ollut selvästi matkojen keskipituuksia ja tonnimäärien kasvua suurempaa ja näin ollen kuljetusintensiteetti on tutkimusajanjaksolla laskenut merkittävästi.

Tanskassa BKTA:n ja matkojen keskipituuksien suhteellinen kasvu on ollut vain lievää, ja tonnimäärät ovat olleet selvässä laskussa (ks. kuva 5.2). Tonnimäärien vähentyminen kumoaakin kuljetusmatkojen lievän pidentymisen, ja toisaalta BKTA:n samalla lievästi kasvaessa Tanskan kuljetusintensiteetti on laskenut vähän.



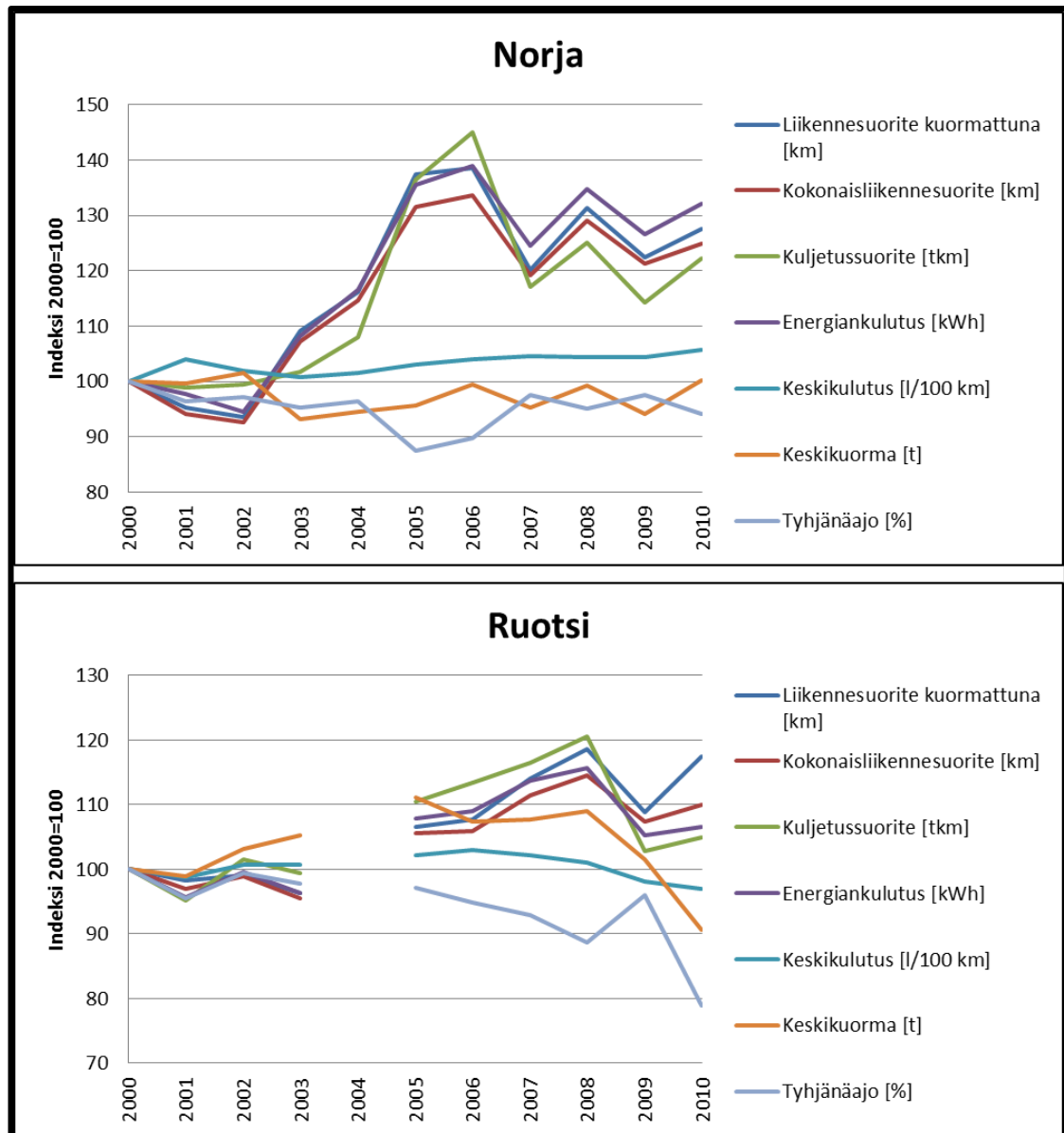
### 5.1.2 Energiatehokkuus

Kuljetusintensiteetin kuvatessa tiekuljetusten ja talouden välistä suhdetta energiatehokkuus kuvaa kuljetussuoritteiden ja energiankäytön suhdetta. Maiden energiatehokkuuteen vaikuttavien koontisuureiden ja indikaattorien kehitys on esitetty maittain kuvissa 5.3 ja 5.4. Kuljetusintensiteetin tavoin myös energiatehokkuuden osalta koontisuureet ja indikaattorit on indeksoitu vuoteen 2000.

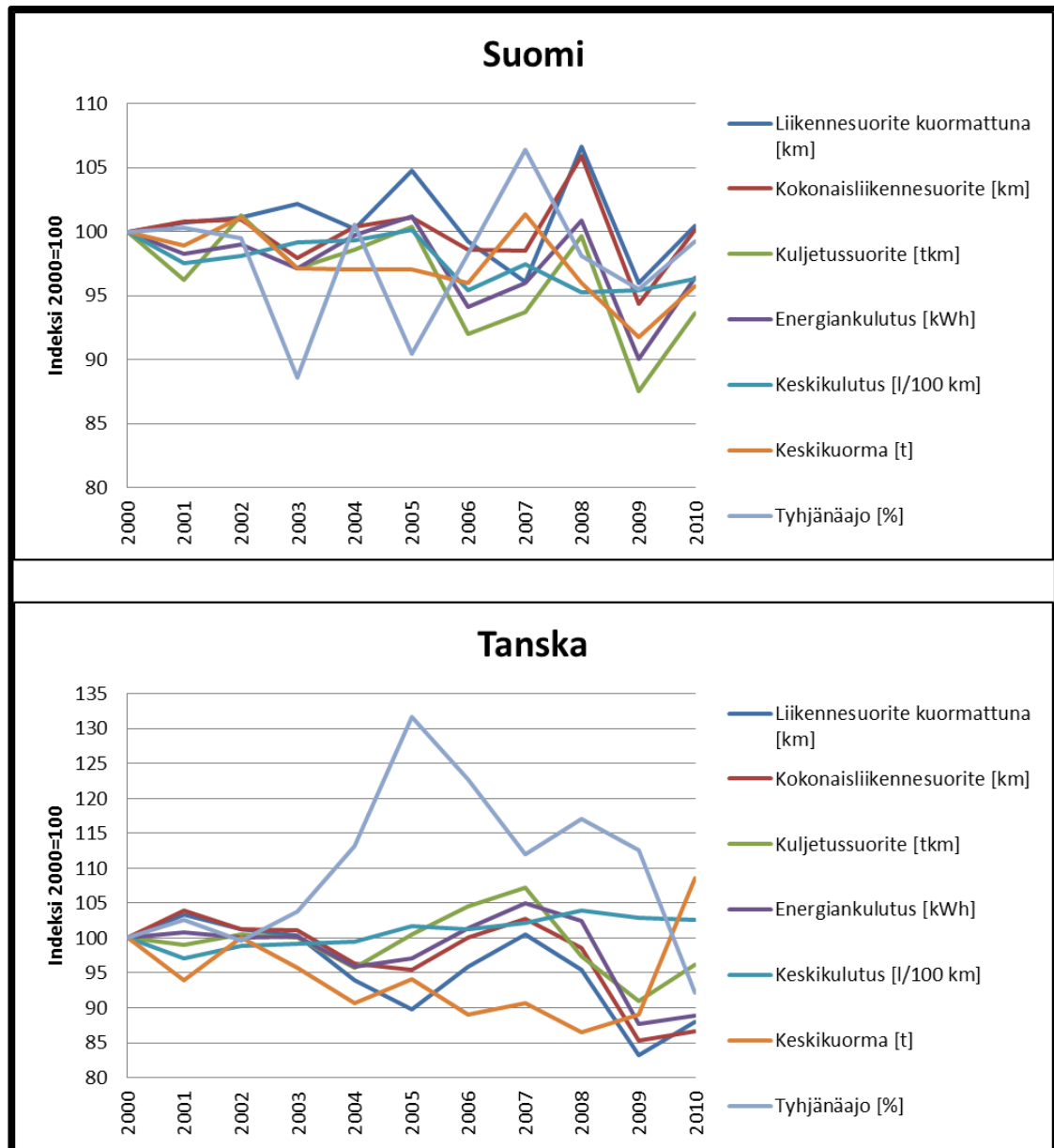
Kuvassa 5.3 on esitetty Norjan ja Ruotsin tiekuljetusten energiatehokkuuteen vaikuttavien koontisuureiden ja indikaattorien kehitys vuosina 2000–2010. Norjassa liikennesuoritteet ja kuljetussuorite ovat tiivistä kytköksissä maan tiekuljetusten energiankulutukseen. Sama ilmiö on havaittavissa myös Ruotsissa ja Tanskassa (ks. kuvat 5.3 ja 5.4). Tosin Ruotsi ja Tanska eroavat Norjasta siinä, että niiden suhteelliset muutokset ovat merkittävästi Norjaa pienempiä. Suomessa vastaavanlaista kytköstä ei pystytä selvästi havaitsemaan, sillä koontisuureiden suhteelliset muutokset ovat tutkimusajanjaksolla olleet vähäisiä, ja muutoksia voidaan pitää vain vuotuisena vaihteluna (ks. kuva 5.4).

Kuten työssä jo aikaisemmin kappaleessa 5.1.1 mainittiin niin Ruotsin ja Suomen kuljetussuoritteet ovat selvästi Norjaa ja Tanskaa suurempia. Kuljetussuoritteiden ollessa selvästi kytköksissä energian kulutukseen voidaan olettaa, että kuljetussuoritteiden tapaan Ruotsissa ja Suomessa tiekuljetuksissa kulutetaan selvästi Norjaa ja Tanskaa enemmän energiaa. Tilastojen perusteella energiankulutus seuraa kuljetussuoritetta, sillä Ruotsissa ja Suomessa tiekuljetuksissa kulutetaan tarkasteluajanjakson keskiarvon mukaan noin 8,5 miljardia kWh vuodessa, kun Norjassa kulutetaan 5,4 miljardia kWh ja Tanskassa vain 4,8 miljardia kWh.

Energiankulutus vastaa tutkimuksessa polttoaineenkulutusta, sillä energiakulutuksen määrittämiseksi tiekuljetusten polttoainelitramäärät on kerrottu kertoimella 10,1 ja näin ollen polttoainelitrat on saatu muunnettua kilowattitunneiksi. Energiankulutuksen avulla voidaan arvioida myös hiilidioksidipäästöjen määrää, sillä CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys vastaa energiankulutuksen kehitystä.



*Kuva 5.3. Norjan ja Ruotsin tiekuljetusten energiatehokkuuteen liittyvien koontisuureiden ja indikaattorien kehitys vuosina 2000–2010.*



**Kuva 5.4.** Suomen ja Tanskan tiekuljetusten energiatehokkuuteen liittyvien koontisuurteiden ja indikaattorien kehitys vuosina 2000–2010.

Norjassa energiankulutuksen kasvu on ollut tutkimusmaista runsainta, kasvaen vuoden 2000 arvosta lähes kolmanneksella vuoteen 2010 (ks. kuva 5.3). Vuoden 2005 jälkeen Norjan energiakulutuksen kasvu on tasaantunut, ja vaihtelua voidaan pitää normaalina vuotuisena vaihteluna. Samoin kuin Norjassa myös Ruotsissa energiakulutus on tutkimusajanjaksolla kasvanut. Ruotsissa kasvu on ollut melko tasaista vuoteen 2008 asti, minkä jälkeen energiakulutus on kuitenkin laskenut vain hieman vuoden 2000 tasoa suuremmaksi (ks. kuva 5.3). Suomessa tiekuljetusten energiankulutuksen kehityksessä on havaittavissa pientä laskua, mutta Suomessa vuotuiset vaihtelut ovat pitäneet energiakulutuksen koko tutkimusajanjaksolla lähellä vuoden 2000 tasoa (ks. kuva 5.4). Tanskassa energiakulutus on Suomen tavoin pysynyt hyvin tasaisena aina vuoteen 2008

asti, minkä jälkeen Tanskan tiekuljetusten energiakulutus on laskenut selvästi (ks. kuva 5.4).

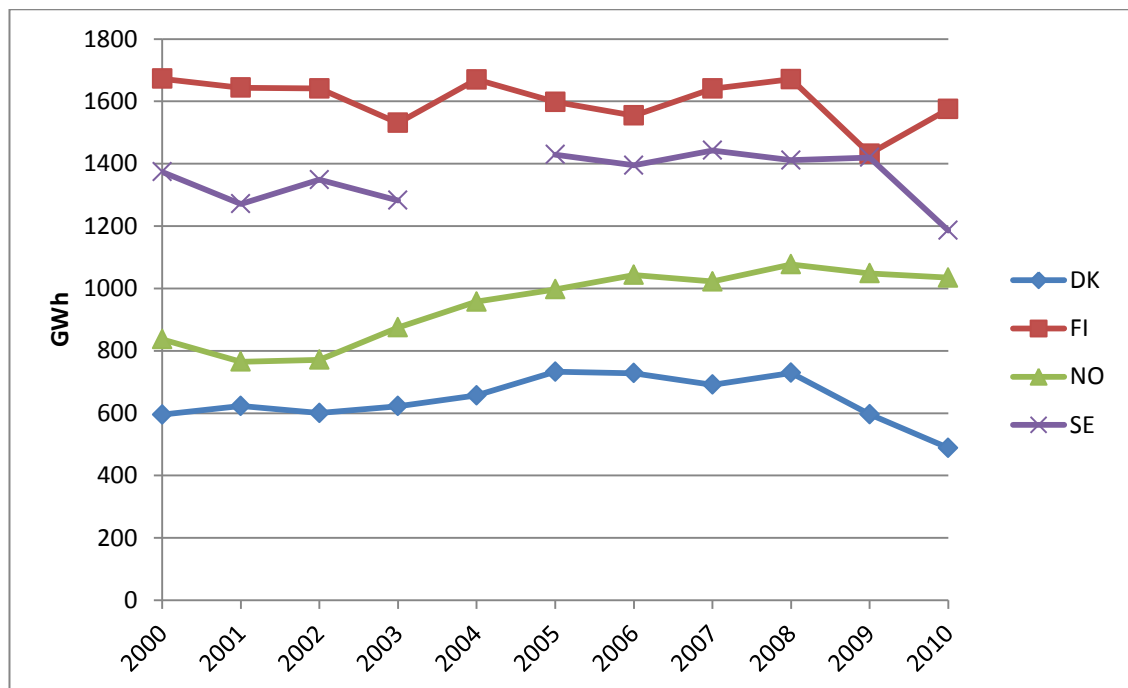
Kun tarkastellaan maiden polttoaineenkulutuksen suhdetta energiakulutukseen voidaan todeta, ettei keskikulutuksella ole suurta merkitystä maiden energiankulutukseen (ks. kuvat 5.3 ja 5.4). Tutkimusmaista Suomessa keskikulutus on tutkimusajanjaksolla laskenut suhteellisesti eniten. Suomen lisäksi ainoastaan Ruotsissa keskikulutusta on pysytty vähentämään siten, että vuonna 2010 keskikulutuksen arvo on laskenut vuoden 2000 tasoa pienemmäksi. Muutos vuodesta 2000 vuoteen 2010 on kuitenkin pieni, sillä aina vuoteen 2006 asti keskikulutus on ollut kasvussa Ruotsissa ja vasta vuodesta 2006 alkaen tiekuljetusten keskikulutus on alkanut laskea Ruotsissa. Toisaalta Norjassa ja Tanskassa keskikulutus on tutkittujen kymmen vuoden aikana kasvanut vain vähän. Norjan, Ruotsin ja Tanskan osalta keskikulutuksen ja energiankulutuksen muutosten välillä ei ole havaittavissa minkäänlaista kytkentää, mutta Suomessa lievä kytkentä on havaittavissa. Toisaalta vuodesta 2007 Suomen liikennesuoritteet ovat lähteneet kasvuun, mikä näkyy selvästi myös energiankulutuksessa. Näin ollen keskikulutuksen vaikutukset kulutettuun energiaan ovat vähentyneet.

Tutkimusmaista Ruotsi on ainoa maa, jossa keskikuorma on suurimman osan tarkasteluajanjaksosta ollut kasvussa (ks. kuva 5.3). On kuitenkin huomattava, että vuodesta 2008 alkaen myös Ruotsin keskikuorman koko on alkanut laskea merkittävästi, ja vuonna 2010 keskikuorma on jo vuoden 2000 tasoa pienempi. Norjassa ja Suomessa keskikuorman koko on pysynyt tarkasteluajanjaksolla melko samana, ja vaihtelu on ollut lähinnä vuotuista vaihtelua. Tanskassa keskikuorman koossa on havaittavissa selvää laskua aina vuoteen 2009 asti. Sen jälkeen Tanskan keskikuorma on kasvanut merkittävästi. Vaikka kuormanpainon tiedetään vaikuttavan kuljetusten keskikulutukseen, niin tilastojen perusteella kansallisella tasolla selvää kytkentää ei ole havaittavissa keskikuorman ja keskikulutuksen välillä. Tilastojen mukaan maiden keskikulutus on ajoittain vastannut keskikuorman muutoksiin, mutta välillä keskikulutus on muuttunut täysin vastakkaiseen suuntaan kuin mitä keskikuorman muutoksella voitaisiin olettaa.

Tyhjänäajoa tarkasteltaessa havaitaan, että Tanska eroaa muista maista merkittävästi. Tanskassa tyhjänäajon osuus kasvoi selvästi vuodesta 2000 vuoteen 2005, minkä jälkeen tyhjänäajo on alkanut laskea. Vuonna 2010 se oli jo vuoden 2000 tasoa alempana. Suomessa tyhjänäajon osuus on vuosittain vaihdellut paljon ja näin ollen Suomen tyhjänäajon kehityksen trendiä ei pystytä määrittämään. Norjassa ja Ruotsissa tyhjänäajon osuudet ovat selvästi olleet laskussa, kuitenkin siten että, Ruotsissa suhteellinen lasku on ollut runsaampaa. Tyhjänäajon liikennesuoritteissa on maiden välillä suuria eroja, ja tutkimusajanjakson keskiarvon mukaan Suomessa ajettiin eniten tyhjänä. Tyhjänäajon keskiarvo Suomessa vuosina 2000–2010 on noin 625 miljoonaa kilometriä (27,0 % kokonaisliikennesuoritteesta), kun Tanskassa ajettiin keskiarvon mukaan vain 252 miljoonaa kilometriä.

naa kilometriä (17,3 %). Norjassa tyhjänäajon keskiarvo on noin 421 miljoonaa kilometriä (25,1 %) ja Ruotsissa 538 miljoonaa kilometriä (22,9 %).

Kuvassa 5.5 on esitetty tutkimusmaiden tyhjänäajossa kulutetun energian määrä vuosina 2000–2010. Tutkimusmaiden tyhjänäajoon kulutettu energian määrä on kaikilla tutkimusmailla pysynyt melko samana ja ainoastaan Norjan kehitystä voidaan pitää trendiltään kasvavana. Tutkimusmaista Suomessa kulutetaan eniten energiaa kuorma-autojen tyhjänäajossa ja Tanskassa vähiten. Ero Suomen ja Tanskan välillä on hyvin suuri, sillä vuonna 2010 Tanskassa kulutettiin vain 31% Suomessa tyhjänäajoon kulutetusta määrästä. Tilastojen perusteella Ruotsissa kulutetaan vähemmän energiaa tyhjänäajoon kuin Suomessa, vaikka vuodesta 2005 alkaen kokonaisliikennesuorite on Ruotsissa ollut suurempi kuin Suomessa.

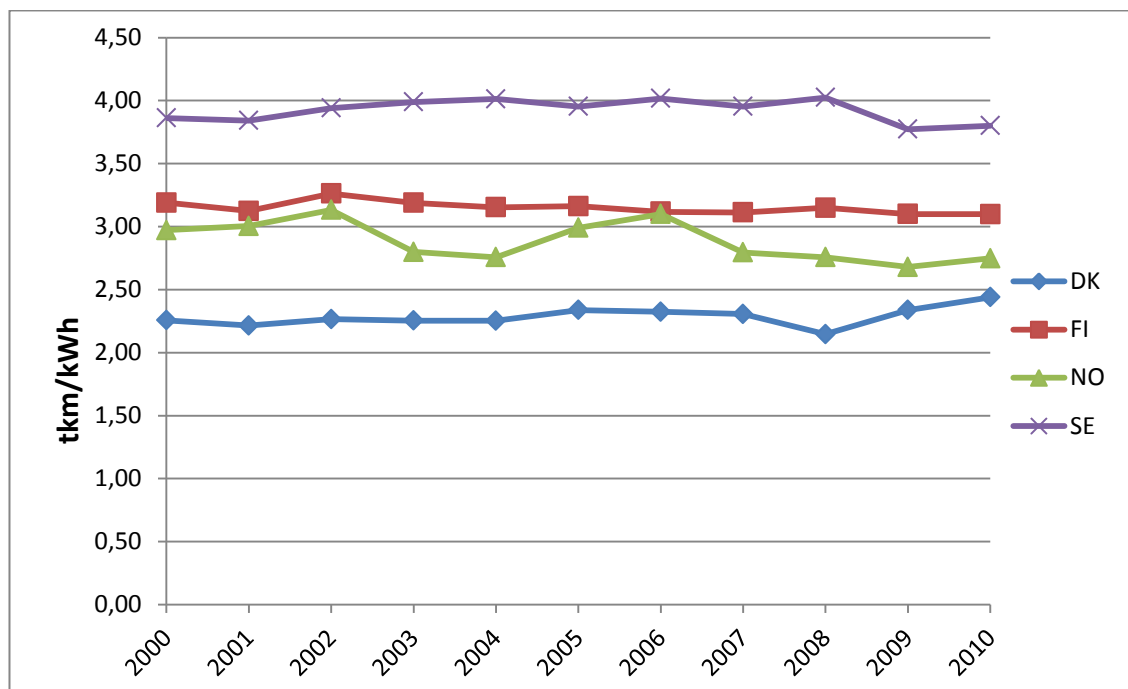


**Kuva 5.5.** Tutkimusmaiden tiekuljetuksissa tyhjänäajoon kulutettu energia vuosina 2000–2010.

Kuljetusmatkojen pituus saattaa osaltaan vaikuttaa siihen, että Ruotsissa kulutetaan vähemmän energiaa tyhjänäajossa kuin Suomessa. Kyseistä ilmiötä, jonka muun muassa Piecyk (2010) nostaa väitöskirjassaan esille, käsiteltiin tässä työssä jo aikaisemmin kapaleessa 2.4.4. Tutkimusten mukaan kuljetusmatkan pidentyessä tyhjänäajon oletetaan vähentyvän, sillä paluukuorman löytämisen todennäköisyys kasvaa. Tutkimusmaiden osalta tämä on havaittavissa, sillä Tanskassa ja Ruotsissa kuormattujen matkojen keskipituudet ovat pidempiä kuin Norjassa ja Suomessa. Tyhjänäajon osuuden analysointia ei kuitenkaan voida tehdä suoraan matkojen keskipituuksien perusteella, vaan on myös huomioitava kokonaisliikennesuorite, sillä tyhjänäajo on väistämätön osa eräissä tiekuljetuksissa. Maiden kokonaisliikennesuoritteen tarkastelu selittää sen, miksi Norjassa ja

Tanskassa kulutetaan selvästi Ruotsia ja Suomea vähemmän energiaa tyhjänäajossa. Esimerkiksi vuonna 2010 Tanskassa tiekuljetusten kokonaisliikennesuorite oli noin 1296 miljoonaa kilometriä, Norjassa 1822 milj. km, Ruotsissa 2481 milj. km ja Suomessa 2322 milj. km.

Tutkimuksessa on määritetty tiekuljetusten energiatehokkuus koko tutkimusajanjaksolle ottamalla huomioon maiden tiekuljetusten energiatehokkuuteen vaikuttavien koontisuurteiden ja indikaattorien kehitys. Kuvassa 5.6 on esitetty tutkimusmaiden tiekuljetusten energiatehokkuus vuosina 2000–2010. Kaikkien tutkimusmaiden energiatehokkuus on pysynyt melko vakaana koko tutkimusajanjaksona, kuitenkin siten, että Norjassa energiatehokkuuden arvojen vaihtelu on vuosittain ollut tutkimusmaista runsainta. Vuotuinen vaihtelu on kuitenkin ollut niin vähäistä, että maiden luokittelu energiatehokkuuden mukaan on koko ajanjaksolla pysynyt muuttumattomana.



**Kuva 5.6.** Tutkimusmaiden tiekuljetusten energiatehokkuuden kehitys vuosina 2000–2010.

Tutkimusmaista Ruotsin tiekuljetusala on selvästi energiatehokkain. Ruotsin energiatehokkuus on koko tutkimusajanjakson pysynyt noin neljässä tonnikilometrissä kilowattituntia kohden. Suomen arvot ovat vaihdelleet 3,10 ja 3,26 tkm/kWh välillä, kun Norjan arvot ovat vaihdelleet 3,0 tkm/kWh molemmiin puolin. Tanska on tutkimusmaista heikoin energiatehokkuudeltaan, sillä sen arvot vaihtelevat vain 2,15 ja 2,44 tkm/kWh välillä. Maiden energiatehokkuuden kehitystä arvioitaessa voidaan todeta, että tutkimusajanjakson loppuosan perusteella Tanskan kehityssuunta näyttää positiivisimmalta. Tanskan energiatehokkuus on kasvanut vuodesta 2008 lähtien ja se on päässyt lähelle Norjan tasoa. Toisaalta Norjan energiatehokkuuden historiallinen kehitys on tutkimus-

ajanjaksolla ollut syklinen, minkä perusteella myös Norjan energiatehokkuus olisi kasvamassa.

Tarkasteltaessa maiden energiatehokkuuden kehitystä analyttisemmin pitää tarkastella energiatehokkuuden määrittävien indikaattoreiden kehitystä. Tässä työssä tiekuljetusten energiatehokkuutta mitataan kuljetussuoritteen (tkm) ja kulutetun energian suhteena (kWh), joten on selvää että arviointikehikossa (ks. kuva 2.2) esitetyistä indikaattoreista keskiuorma, keskimatka ja keskikulutus ovat merkittäviä energiatehokkuuden kannalta. Näiden kolmen indikaattorin lisäksi myös tyhjänäajon osuus on hyvin merkittävä tiekuljetusten energiatehokkuuden kannalta, sillä tyhjänäajossa ei muodostu lainkaan kuljetussuoritetta, ja näin ollen energiaa kulutetaan turhaan. Toisaalta näiden indikaattorien välillä on kytkentä, sillä kuorman paino vaikuttaa keskikulutukseen, ja yleensä keskimatkan pituuden muuttuessa myös keskikulutus muuttuu. Keskimatkan pituuden vaikutus polttoaineenkulutukseen johtuu siitä, että pidemmällä matkoilla pystytään tavallisesti ajamaan tasaisemmalla ajonopeudella, mikä pienentää keskimääräistä polttoaineenkulutusta.

Kuormattujen matkojen keskipituuksia tarkastellessa havaitaan, että Ruotsissa kuormattujen matkojen keskipituudet kansallisella tasolla ovat selvästi muiden maiden keskipituuksia pidempiä. Vuotuisista kuormattujen matkojen keskipituuksista on laskettu maiden keskiarvot, ja niiden perusteella Ruotsissa vuosina 2000–2010 kuormattujen matkojen keskipituudet ovat noin 81 km, Tanskassa 69 km, Suomessa 61 km ja Norjassa 58 km. Näin ollen Ruotsin osalta pitkät kuljetusmatkat tukevat maan korkeaa energiatehokkuutta, mutta toisaalta Tanskassa kuormattujen matkojen keskipituudet ovat tutkimusmaista toiseksi pisimmät ja energiatehokkuus heikoin. Täten matkojen keskipituuksilla ei pystytä yksiselitteisesti selittämään maiden energiatehokkuuksia. Toisaalta maiden vuotuisissa keskiarvoissakin on havaittavissa runsasta vuotuista vaihtelua.

Kansallisen tason vuotuisten keskikulutusten perusteella Norjassa kuluu polttoainetta vähiten kilometriä kohden. Vuotuisista keskikulutuksista laskettujen keskiarvojen perusteella Tanskassa keskikulutus on 32,55 l/100km, joka on litra enemmän kuin Norjassa. Ruotsissa vastaava kulutus on 35,61 l/100km ja Suomessa 36,23 l/100km. Siten Suomen arvo on tutkimusmaista korkein. Koska Ruotsin ja Suomen energiatehokkuus on parempi kuin Norjan ja Tanskan, vaikka maiden polttoaineenkulutukset ovat päinvastaiset, merkitsee se sitä, että kuormausasteella on hyvin merkittävä vaikutus maiden energiatehokkuuteen.

Kuten aikaisemmin jo todettiin Ruotsissa ja Suomessa ajetaan Norjaa ja Tanskaa enemmän tyhjänä. Vuotuisia tyhjänäajon prosentuaalisia osuuksia tarkastellessa havaitaan, että Tanskassa tyhjänäajon osuus on tutkimusmaista selvästi pienin, ollen tutkimusajanjakson keskiarvoltaan vain 17 %. Norjassa vuotuisten tyhjänäajon osuuksien mukaan laskettu keskiarvo on 25 %, Ruotsissa 23 % ja Suomessa 27 %.

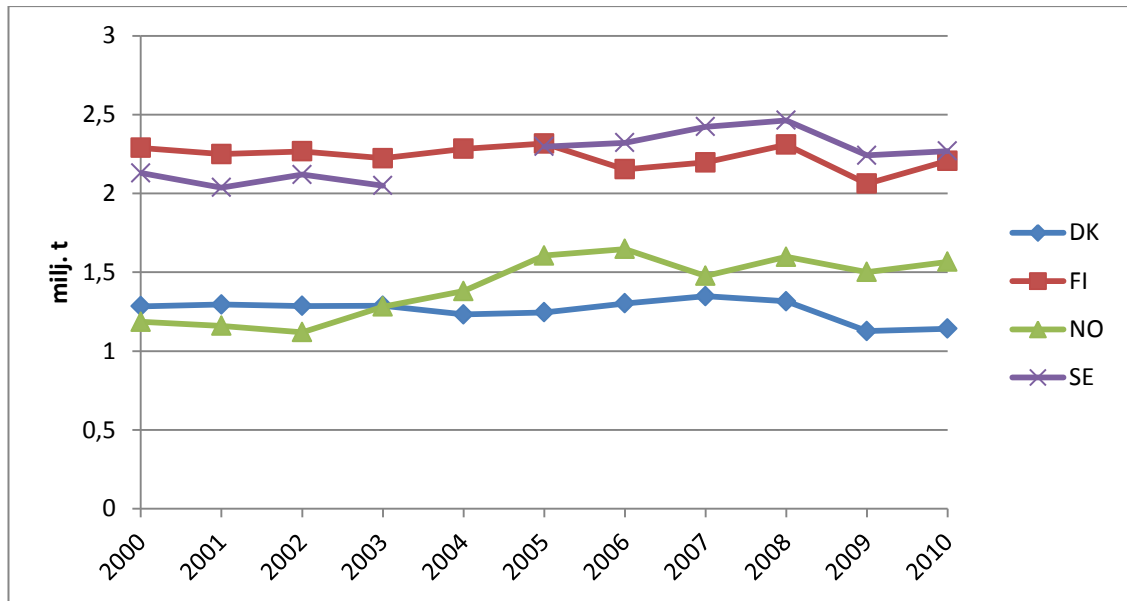
Keskikuormien painossa Ruotsi ja Suomi ovat paljon Norjaa ja etenkin Tanskaa edellä, sillä vuotuisten kuormien keskipainojen mukaan laskettu keskiarvo tarkasteluajanjaksolla on Ruotsissa 14,7 tonnia, Suomessa 14,2 tonnia, Norjassa 11,3 tonnia ja Tanskassa vain 8,5 tonnia. Erojen ollessa näin merkittäviä on selvää, että Ruotsissa ja Suomessa tiekuljetussuorite karttuu selvästi Norjaa ja Tanskaa nopeammin, mikä näkyy myös maiden energiatehokkuuksissa.

Tilastotietojen mukaan Ruotsin korkea energiatehokkuus on seurausta Ruotsin pitkistä kuljetusmatkoista, raskaista kuormista ja melko vähäisestä tyhjänäajon osuudesta. Keskimääräisessä polttoaineenkulutuksessa Ruotsi ei ole Norjan ja Tanskan tasolla, mutta Ruotsin suuri tiekuljetussuoritteen määrä tekee Ruotsin tiekuljetusalasta selvästi muita tutkimusmaita energiatehokkaamman. Suomen tiekuljetusala on maista toiseksi energiatehokkain, mutta energiatehokkuudeltaan Suomen tiekuljetusala on selvästi lähempänä Norjan ja Tanskan tasoa kuin Ruotsin tiekuljetukset. Selitys siihen, että energiatehokkuudeltaan Suomi on lähempänä Norjaa ja Tanskaa kuin Ruotsi on se, että keskikuormaa lukuun ottamatta Suomen tiekuljetusala on energiatehokkuuteen vaikuttavilla indikaattoreilla mitattuna tutkimusmaiden heikoimpia.

### **5.1.3 CO<sub>2</sub>-päästöt**

Maiden tiekuljetuksista muodostuneiden CO<sub>2</sub>-päästöjen määrät ovat selvässä linjassa maiden kokonaisliikennesuoritteen kanssa. Kuvassa 5.7 on esitetty kohdemaiden CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys vuosina 2000–2010 miljoonina tonneina. Ruotsin ja Suomen osalta tiekuljetusalan hiilidioksidipäästöt ovat vuosina 2000–2010 vuosittain vaihdelleet 2–2,5 miljoonan tonnin välillä, kun Norjan vuotuisten hiilidioksidipäästöjen keskiarvo tarkasteluajanjaksolla on 1,4 miljoonaa tonnia ja Tanskan 1,3 miljoonaa tonnia. CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitykseltä Norjan päästömäärät ovat kasvaneet tutkimusajanjaksolla tutkimusmaista eniten, kasvaen vuodesta 2000 vuoteen 2010 noin 1,2 miljoonasta tonnista 1,6 miljoonaan tonniin. Muiden maiden osalta hiilidioksidipäästöjen kehitys on ollut hyvin vakaata.





**Kuva 5.7.** Tutkimusmaiden tiekuljetusten hiilidioksidipäästöjen kehitys vuosina 2000–2010.

Polttoaineen CO<sub>2</sub>-pitoisuutena käytettiin kaikille maille samaa arvoa (2,66 kg CO<sub>2</sub>/l), ja näin CO<sub>2</sub>-päästöt ovat suoraan verrannollisia kulutetun polttoaineen määrään. Maiden keskikulutusten ollessa suhteellisen lähellä toisiaan on kokonaisliikennesuoritteella suurin merkitys kulutetun polttoaineen määrään. Tulosten kannalta on yllättävää, että vain Norjan hiilidioksidipäästöt ovat tutkimusajanjaksolla huomattavasti kasvaneet, sillä sekä Norjan että Ruotsin kokonaisliikennesuoritteet ovat kasvaneet vuosina 2000–2010 (ks. kuva 5.3). Tosin on huomioitava, että Norjassa kasvu on ollut suhteellisesti selvästi suurempaa. Toisaalta Tanskan kokonaisliikennesuorite on vuodesta 2007 alkaen ollut lievässä laskussa, mikä on havaittavissa myös Tanskan CO<sub>2</sub>-päästöjen lievänä laskuna (ks. kuva 5.4)

Kaikkien tutkimusmaiden CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys vuosina 2000–2010 on ollut negatiivinen ympäristövaikutusten kannalta, sillä tutkimusajanjaksolla päästöjen määrää ei ole pystytty vähentämään merkittävästi. Liikennesuoritteen kasvun ohessa myös ajoneuvojen CO<sub>2</sub>-päästöjen rajoittamattomuus vaikuttaa siihen, että hiilidioksidipäästöjä ei ole pystytty vähentämään tarkasteluajanjaksolla. Hiilidioksidi ei kuulu EURO-luokituksessa rajoitettuihin päästöihin, ja sen vuoksi esimerkiksi LIPASTO:n (2012) tilastojen mukaan hiilidioksidipäästöjen määrä ajettua kilometriä kohti on kasvanut uusien EURO-luokkien myötä. LIPASTO:n mukaan varsinaisella perävaunulla varustettujen yhdistelmien täydellä kuormalla ajettun maantieajon CO<sub>2</sub>-päästäkerroin on EURO I-luokassa 1217 g/km ja EURO V -luokassa 1236 g/km.

Kansallisten kasvihuonekaasupäästötavoitteiden kannalta tutkimusmaiden tiekuljetusalan CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys vaikuttaa neutraalilta. Maiden päästömäärissä ei ole ollut suurta laskua eikä kasvua, vaikka liikennesuoritteen muutokset ovat vaihdelleet mait-

tain. Voidaan olettaa, etteivät liikennesuoritteet lähitulevaisuudessakaan ole laskemassa merkittävästi ja näin uuden teknologian ja puhtaampien polttoaineiden merkitys CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisessä korostuu. VTT:n (2012) tutkimuksen mukaan tiekuljetuksissa ei kuitenkaan pystytä lähitulevaisuudessa siirtymään täysin pois dieselin käytöstä dieselin hankalan korvattavuuden vuoksi. VTT uskookin, että vaihtoehtoisia polttoaineita tullaan kehittämään biopolttoainepohjaisiksi, jotka ovat CO<sub>2</sub>-sisällöltään perinteistä dieselpolttoainetta puhtaampia. Dieselin säilyminen tiekuljetusten pääasiallisena polttoaineena ja liikennesuoritteiden kasvaessa kansainvälisiin päästötavoitteisiin pääsy tarkoittaa sitä, että ajoneuvotekniikan ja sitä myötä ajoneuvojen energiatehokkuuden kehityksen tarve tulee kasvamaan tulevaisuudessa.

## 5.2 Toimialatason tarkastelu

Toimialatarkastelussa keskitytään talouden, kuljetussuoritteen ja ympäristövaikutusten välisiin kytkentöihin. Taulukkoon 5.1 on koottu tutkimusmaiden toimialojen kehitys vuosina 2000–2010, lukuun ottamatta puu- ja metsäteollisuutta, mikä kattaa vain vuodet 2008–2010. Toimialojen vertailu toteutetaan hiilidioksidi-intensiteetin, kuljetusintensiteetin ja energiatehokkuuden avulla. Tarkempi kuvaus toimialojen kehityksestä on esitetty liitteessä 2. Taulukossa 5.1 esitettyä toimialojen kehitystä on korostettu väreillä siten, että tumman vihreä väri edustaa kestäväen kehityksen kannalta toivotuinta kehityssuuntaa ja punainen vähiten toivottua kehitystä. Talouden, kuljetussuoritteen ja polttoaineenkulutuksen välisten kytkentöjen määrittämisessä on käytetty työssä aikaisemmin kappaleessa 2.3 esitettyä Tapion (2005) mukaista mallia. Taulukossa olevat prosentuaaliset arvot kuvaavat muutosta vuodesta 2000 vuoteen 2010. CO<sub>2</sub>-intensiteettiä, kuljetusintensiteettiä ja energiatehokkuutta kuvaavat arvot ovat vuosien 2000 sekä 2010 arvoja.

**Taulukko 5.1. Tutkimusmaiden CO<sub>2</sub>-intensiteetin, kuljetusintensiteetin ja energiatehokkuuden irtikytkentä toimialoittain vuosien 2000–2010.**

2000-2010 (puu- ja paperiteollisuus 2008-2010)		Maa- ja metsätalous	Elintarviketeollisuus	Kemianteollisuus	Kaivosala ja rakentaminen	Teknologiateollisuus	Puu- ja paperiteollisuus	Yhteensä (ilman palvelusektoria)
Norja	Arvonlisäyksen muutos	48 %	1 %	-1 %	6 %	24 %	-11 %	21 %
	Kuljetussuorituksen muutos	13 %	21 %	14 %	33 %	4 %	-20 %	22 %
	Energia kulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen muutos	41 %	46 %	31 %	-8 %	31 %	-20 %	32 %
	CO <sub>2</sub> -intensiteetti [gCO <sub>2</sub> /€]	35,8 → 34,2 Kasvava kytkentä	49,0 → 70,3 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	22,0 → 29,1 Vahva negatiivinen irtikytkentä	22,4 → 19,5 Vahva irtikytkentä	40,1 → 42,3 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	52,2 → 47,1 Regressiivinen irtikytkentä	40,4 → 44,1 Kasvava negatiivinen irtikytkentä
	Kuljetusintensiteetti [tkm/€]	0,5 → 0,4 Heikko irtikytkentä	0,8 → 1,0 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	0,5 → 0,6 Vahva negatiivinen irtikytkentä	0,2 → 0,2 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	0,6 → 0,5 Heikko irtikytkentä	0,7 → 0,6 Regressiivinen irtikytkentä	0,5 → 0,5 Kasvava kytkentä
	Energiatehokkuus [tkm/kWh]	3,9 → 3,2 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	4,4 → 3,6 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	5,8 → 5,0 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	2,3 → 3,3 Vahva irtikytkentä	3,7 → 3,0 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	3,4 → 3,4 Regressiivinen kytkentä	3,0 → 2,8 Kasvava negatiivinen irtikytkentä
Ruotsi	Arvonlisäyksen muutos	17 %	18 %	74 %	10 %	11 %	3 %	30 %
	Kuljetussuorituksen muutos	-27 %	18 %	-33 %	1 %	5 %	-31 %	5 %
	Energia kulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen muutos	-28 %	25 %	-30 %	3 %	17 %	-28 %	7 %
	CO <sub>2</sub> -intensiteetti [gCO <sub>2</sub> /€]	145,0 → 88,9 Vahva irtikytkentä	63,8 → 67,4 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	30,0 → 12,0 Vahva irtikytkentä	17,3 → 16,2 Heikko irtikytkentä	24,1 → 25,4 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	29,9 → 20,8 Vahva irtikytkentä	38,2 → 31,3 Heikko irtikytkentä
	Kuljetusintensiteetti [tkm/€]	2,7 → 1,7 Vahva irtikytkentä	1,2 → 1,2 Kasvava kytkentä	0,7 → 0,3 Vahva irtikytkentä	0,3 → 0,3 Heikko irtikytkentä	0,4 → 0,4 Heikko irtikytkentä	0,7 → 0,5 Vahva irtikytkentä	0,6 → 0,5 Heikko irtikytkentä
	Energiatehokkuus [tkm/kWh]	5,0 → 5,0 Regressiivinen kytkentä	4,8 → 4,5 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	6,0 → 5,8 Regressiivinen kytkentä	4,3 → 4,2 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	4,3 → 3,8 Kasvava negatiivinen irtikytkentä	6,0 → 5,7 Regressiivinen kytkentä	3,9 → 3,8 Kasvava negatiivinen irtikytkentä
Suomi	Arvonlisäyksen muutos	13 %	28 %	36 %	17 %	-8 %	-17 %	17 %
	Kuljetussuorituksen muutos	-34 %	-4 %	-28 %	2 %	-9 %	-5 %	-6 %
	Energia kulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen muutos	-30 %	-6 %	-30 %	-5 %	7 %	-13 %	-4 %
	CO <sub>2</sub> -intensiteetti [gCO <sub>2</sub> /€]	120,4 → 75,4 Vahva irtikytkentä	159,6 → 117,1 Vahva irtikytkentä	86,2 → 44,5 Vahva irtikytkentä	37,1 → 30,0 Vahva irtikytkentä	27,7 → 32,4 Vahva negatiivinen irtikytkentä	25,2 → 26,6 Heikko negatiivinen irtikytkentä	60,6 → 49,9 Vahva irtikytkentä
	Kuljetusintensiteetti [tkm/€]	2,1 → 1,2 Vahva irtikytkentä	1,9 → 1,4 Vahva irtikytkentä	1,7 → 0,9 Vahva irtikytkentä	0,6 → 0,5 Heikko irtikytkentä	0,3 → 0,3 Regressiivinen kytkentä	0,5 → 0,6 Heikko negatiivinen irtikytkentä	0,7 → 0,6 Vahva irtikytkentä
	Energiatehokkuus [tkm/kWh]	4,6 → 4,3 Regressiivinen kytkentä	3,2 → 3,3 Regressiivinen irtikytkentä	5,2 → 5,3 Regressiivinen kytkentä	4,2 → 4,5 Vahva irtikytkentä	3,3 → 2,8 Vahva negatiivinen irtikytkentä	5,2 → 5,6 Regressiivinen irtikytkentä	3,2 → 3,1 Heikko negatiivinen irtikytkentä
Tanska	Arvonlisäyksen muutos	-20 %	-26 %	29 %	-15 %	-20 %	-24 %	-24 %
	Kuljetussuorituksen muutos	17 %	-23 %	-35 %	-30 %	34 %	-10 %	-4 %
	Energia kulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen muutos	-5 %	-30 %	-39 %	-29 %	12 %	-12 %	-11 %
	CO <sub>2</sub> -intensiteetti [gCO <sub>2</sub> /€]	63,5 → 78,3 Heikko negatiivinen irtikytkentä	53,2 → 54,3 Regressiivinen kytkentä	28,1 → 13,7 Vahva irtikytkentä	16,5 → 14,5 Regressiivinen irtikytkentä	20,8 → 27,7 Vahva negatiivinen irtikytkentä	30,9 → 32,2 Heikko negatiivinen irtikytkentä	34,6 → 30,9 Heikko negatiivinen irtikytkentä
	Kuljetusintensiteetti [tkm/€]	0,5 → 0,8 Vahva negatiivinen irtikytkentä	0,6 → 0,6 Regressiivinen kytkentä	0,4 → 0,2 Vahva irtikytkentä	0,2 → 0,2 Regressiivinen irtikytkentä	0,2 → 0,2 Vahva negatiivinen irtikytkentä	0,3 → 0,3 Heikko negatiivinen irtikytkentä	0,3 → 0,3 Heikko negatiivinen irtikytkentä
	Energiatehokkuus [tkm/kWh]	2,2 → 2,8 Vahva irtikytkentä	2,8 → 3,1 Regressiivinen irtikytkentä	3,4 → 3,6 Regressiivinen kytkentä	3,1 → 3,1 Regressiivinen kytkentä	1,9 → 2,3 Heikko irtikytkentä	2,7 → 2,7 Regressiivinen irtikytkentä	2,3 → 2,4 Regressiivinen irtikytkentä

Toimialakohtaista vertailua tehtäessä on huomioitava, että toimialojen koot vaihtelevat. Tässä työssä toimialojen kokoja tarkastellaan tiekuljetussuoritteiden avulla. Liitteessä kaksi on esitetty maiden toimialojen vuotuisista (2000–2010) kuljetussuoritteiden prosentuaalisista osuuksista lasketut keskiarvot, joiden perusteella toimialat voidaan luokitella suuruusjärjestykseen.

Kuljetussuoritteiden prosentuaalisten keskiarvojen perusteella teknologiateollisuus on kaikissa tutkimusmaissa selvästi suurin toimiala tutkimusajanjaksolla. Vuosien 2000–2010 keskiarvon mukaan teknologiateollisuus kattaa noin 40 prosenttia Norjan ja Ruotsin tiekuljetuksista. Suomessa ja Tanskassa teknologiateollisuus ei ole yhtä hallitseva kuin Norjassa ja Ruotsissa, mutta myös Suomessa (27 %) ja Tanskassa (29 %) teknologiateollisuuden arvot ovat huomattavasti muita toimialoja suurempia.

Kuljetussuoritteiden prosentiosuuksien mukaan pienimpiä toimialoja tutkimusmaissa ovat kemianteollisuus sekä puu- ja paperiteollisuus. Toisaalta Ruotsissa myös kaivosalan ja rakentamisen toimiala kuuluu pienien toimialojen joukkoon, samoin kuin Suomessa elintarviketeollisuus, joka prosentuaalisten osuuksien keskiarvon mukaan on Suomessa hieman kemianteollisuutta pienempi.

Maa- ja metsätalouden toimiala on Ruotsissa ja Suomessa toiseksi suurin toimiala tiekuljetussuoritteiden vuotuisten prosentiosuuksien mukaan, mutta Norjassa ja Tanskassa se kuuluu pienimpien toimialojen joukkoon. Tutkimusmaista Norja on ainoa, jossa maa- ja metsäteollisuuden kaikki taulukossa 5.1 esitetyt koontisuuret ovat kasvaneet vuodesta 2000 vuoteen 2010. Ruotsissa ja Suomessa kehitys on ollut kestävän kehityksen mukaista, sillä niissä kuljetussuorite ja ympäristövaikutukset ovat laskeneet vaikka samalla arvonlisäys on kasvanut. Tanskassa maa- ja metsäteollisuuden arvonlisäyksen merkittävä lasku on aiheuttanut sen, että toimialan tiekuljetusten CO<sub>2</sub>-intensiteetti ja kuljetusintensiteetti ovat kasvaneet ja kehittyneet vuosina 2000–2010 epätoivottuun suuntaan. Energiatehokkuudeltaan Tanskan maa- ja metsäteollisuus on kuitenkin parantunut, sillä energiankulutus on laskenut vaikka samanaikaisesti toimialan kuljetussuorite on kasvanut.

Maa- ja metsäteollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetin ja kuljetusintensiteetin maakohtaisia arvoja verrattaessa havaitaan, että Norjassa intensiteettien arvot ovat muita maita pienempiä ja Ruotsissa intensiteettien arvot ovat suurimmat. Ero Norjan ja Ruotsin välillä on suuri, sillä esimerkiksi vuonna 2010 CO<sub>2</sub>-intensiteetin arvo oli Ruotsissa yli kaksinkertainen Norjan vastaavaan arvoon verrattuna. Tanskan maa- ja metsäteollisuuden negatiivinen kehitys on vaikuttanut siten, että vuonna 2010 Tanskassa CO<sub>2</sub>-intensiteetin arvo on kasvanut Suomea suuremmaksi vaikka vuonna 2000 se oli vain noin puolet Suomen arvosta.

Elintarviketeollisuuden toimialaa tarkasteltaessa havaitaan, että Tanskassa kyseinen toimiala on pienentynyt merkittävästi. Tanskassa kaikki taulukossa 5.1 esitetyt koon-tisuureet ovat laskeneet vuodesta 2000 vuoteen 2010 yli viidenneksellä. Norjan ja Ruot-sin elintarviketeollisuuden kehitys on Tanskaan nähden ollut päinvastainen. Norjan osalta on kuitenkin huomioitava, että arvonlisäyksen kasvu on ollut vain hyvin vähäinen vuodesta 2000 vuoteen 2010 (1 %). Hälyttävää Norjan ja Ruotsin osalta on se, että elin-tarviketeollisuuden polttoaineenkulutus on kasvanut suhteessa enemmän kuin kuljetus-suorite.

Tutkimusmaita verrattaessa on selvää, että Suomen elintarviketeollisuuden kehitys on ollut tiekuljetusten kannalta ympäristöystävällisintä. Suomessa elintarviketeollisuuden kuljetussuorite on laskenut arvonlisäyksen runsaasta kasvusta huolimatta ja samalla polttoaineenkulutus on laskenut jopa suhteessa enemmän kuin kuljetussuorite.

CO<sub>2</sub>-intensiteetiltään Suomen elintarviketeollisuus on maista heikoin ja Tanskassa in-tensiteetti on pienin. Vuonna 2010 Norjan ja Ruotsin elintarviketeollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetit olivat hyvin lähellä toisiaan ollen noin 70 gCO<sub>2</sub>/€. On kuitenkin huomioi-tava, että Ruotsin kehitys on ollut tarkasteltujen kymmenvuoden ajan lähes muuttuma-ton, kun Norjassa CO<sub>2</sub>-intensiteetti on kasvanut noin 43 prosenttia vuodesta 2000 vuo-teen 2010. Maiden elintarviketeollisuuden kuljetusintensiteetin arvot mukailevat CO<sub>2</sub>-intensiteetin kehitystä. Merkittävämpänä erona maiden kuljetusintensiteetin ja CO<sub>2</sub>-intensiteetin arvojen välillä on se, että Norjassa kuljetusintensiteetin kasvu ei ole ollut niin runsasta kuin hiilidioksidi-intensiteetin kasvu, ja näin Norjan kuljetusintensiteetti on pysynyt tarkasteluajanjaksolla Ruotsin arvoa pienempänä.

Kaikissa tutkimusmaissa kemianteollisuus lukeutuu pienimpien toimialojen joukkoon tiekuljetussuoritteena mitattuna. Norjan kemianteollisuuden kehitys on tarkasteltujen koontisuureiden kannalta ollut täysin päinvastainen kuin muiden tutkimusmaiden. Nor-jassa arvonlisäys on laskenut ja samalla kuljetussuorite ja energiankulutus ovat kasva-neet. Norjan kemianteollisuuden negatiivista kehitystä korostaa se, että energiankulutus on kasvanut suhteessa enemmän kuin kuljetussuorite, kun muissa maissa kuljetussuorite ja energiankulutus ovat laskeneet suhteessa yhtä paljon.

Ruotsissa, Suomessa ja Tanskassa kemianteollisuuden kehitys on ollut positiivista ja toiminut kestäväen kehityksen mukaisesti. Tämä näkyy myös kemianteollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetin ja kuljetusintensiteetin arvoissa. Vuonna 2000 Norjan kemianteollisuudella oli maista pienin CO<sub>2</sub>-intensiteetti ja toiseksi pienin kuljetusintensiteetin arvon. Vuonna 2010 Norjan kuljetus- ja CO<sub>2</sub>-intensiteettien arvot olivat maista jo toiseksi suurimmat, sillä vain Suomessa kemianteollisuuden intensiteettien arvot olivat Norjaa korkeammat.

Kaivosalan ja rakentamisen toimiala kattaa Ruotsissa muihin maihin verrattuna poikke-uksellisen pienen osuuden tiekuljetussuoritteesta. Toisaalta Tanskassa kaivosala ja ra-

kentaminen on tarkasteluajanjaksolla pienentynyt arvonlisäyksen mukaan 15 % ja kuljetussuoritteiden perusteella jopa 30 %. Norjassa kehitys on ollut päinvastainen kuin Tanskassa, sillä kaivosala ja rakentaminen on kasvanut arvonlisäykseltään 6 % ja kuljetussuoritteeltaan 33 %. Yllättävää Norjan tilastoissa on se, että vaikka kuljetussuorite on kasvanut runsaasti, niin silti polttoaineenkulutusta on pystytty vähentämään jopa 8 %. Ruotsin ja Suomen kaivosalan ja rakentamisen kehitys on ollut melko samanlainen, kuitenkin sillä erotuksella, että Suomessa arvonlisäys on kasvanut Ruotsia enemmän. Suomessa on myös pystytty vähentämään energiakulutusta pienestä kuljetussuoritteiden kasvusta huolimatta.

Kaivosalan ja rakentamisen kuljetusintensiteettien kehitys on ollut kaikissa maissa vakaata. Maiden arvoja tarkastellessa havaitaan myös, että maiden kuljetusintensiteettien arvot eivät eroa maiden välillä niin paljoa kuin mitä aikaisemmin tarkastelluissa toimialoissa on havaittu. CO<sub>2</sub>-intensiteettien osalta maiden väliset erot kuitenkin kasvavat, sillä Suomessa CO<sub>2</sub>-intensiteetti on selvästi muita maita suurempi. Norjan, Ruotsin ja Tanskan kaivosalan ja rakentamisen CO<sub>2</sub>-intensiteetit ovat lähellä toisiaan, kuitenkin siten, että Tanskan arvo on maista pienin ollen vain noin puolet Suomen arvosta. Ympäristön kannalta on kuitenkin positiivista, että kaikissa maissa hiilidioksidi-intensiteetti on laskenut.

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, tutkimusmaissa teknologiateollisuus on toimialoista selvästi suurin kuljetussuoritteesta mitattuna. Näin ollen sen vaikutukset koko tiekuljetusalaan korostuvat. Huomioiden teknologiateollisuuden osuuden tiekuljetussuoritteesta voidaan todeta, että teknologiateollisuuden kehitys on kaikissa maissa ollut hyvin epäsuotuisa ympäristön näkökulmasta. Kaikissa tutkimusmaissa energiakulutus on tutkimusajanjaksolla kasvanut.

Suomessa teknologiateollisuuden kehitys on ollut kaikkein negatiivisinta, sillä Suomessa kuljetussuorite on laskenut noin 9 %, mutta samalla energiankulutus on kasvanut 7 %. Suomen tavoin myös Norjan ja Ruotsin teknologiateollisuuden energiankulutuksen kehitystä voidaan pitää hälyttävänä. Niissä energiankulutus on kasvanut suhteellisesti merkittävästi enemmän kuin kuljetussuorite. Tanskassa kyseiset koantisuureet ovat kasvaneet päinvastaisesti Norjan ja Ruotsin kanssa, kuljetussuoritteiden kasvaessa suhteessa enemmän kuin energiankulutuksen. Arvonlisäyksen kehityksen perusteella kaikkien maiden teknologiateollisuus eroaa toisistaan. Norjassa kasvu on ollut runsasta ja Ruotsissa melko vähäistä, kun Suomessa ja Tanskassa arvonlisäys on tarkasteluajanjaksolla laskenut, kuitenkin siten, että Suomessa lasku on ollut noin 8 % ja Tanskassa 20 %.

Kuljetusintensiteetti-arvoissa teknologiateollisuus poikkeaa muista toimialoista siinä, että Norjassa on huonoin kuljetusintensiteetti, kun muilla toimialoilla Suomi on maista heikoin. Kaivosalan ja rakentamisen tavoin myös teknologiateollisuuden kuljetusintensiteettien arvot ovat kaikissa maissa pysyneet vakaina. Samoin kuin kuljetusintensiteettien

arvoissa myös CO<sub>2</sub>-intensiteetiltään Norja on maista heikoin. Norjaa lukuun ottamatta maiden CO<sub>2</sub>-intensiteetti arvot ovat melko lähellä toisiaan. Kehitykseltään Tanskan teknologiateollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetti on tutkimusmaista negatiivisin, sillä se on kasvanut vuosina 2000–2010 noin 33 prosenttia.

Puu- ja paperiteollisuus kattaa tutkimuksessa omana toimialanaan vain vuodet 2008–2010, ja näin ollen sen kehitystä ei pystytä tarkastelemaan yhtä luotettavasti kuin muiden toimialojen. Tutkimusmaista Ruotsi on ainoa, jossa puu- ja paperiteollisuuden arvonlisäys on kasvanut. Ruotsissa kasvua on tapahtunut vain vähän, mutta verrattuna muihin maihin kasvua voidaan pitää merkittävänä, sillä muissa maissa arvonlisäys puu- ja paperiteollisuudessa on laskenut 11–24 prosenttia. Yhteistä kaikille maille on se, että puu- ja paperiteollisuuden energiankulutus ja kuljetussuoritteet ovat vähentyneet kolmen vuoden aikana. Ruotsissa ja Norjassa lasku on ollut Suomea ja Tanskaa runsaampaa, mutta ilmansaasteiden kannalta kehitystä voidaan pitää kaikkien maiden osalta positiivisena.

CO<sub>2</sub>-intensiteetiltään Ruotsin puu- ja paperiteollisuus on maista paras, sillä sen CO<sub>2</sub>-intensiteetin arvo on pienin ja samalla Ruotsissa arvo on laskenut noin 30 prosenttia vuosina 2008–2010. Ruotsin tavoin myös Norjassa CO<sub>2</sub>-intensiteetti on laskenut, mutta kehitys ei ole ollut suhteessa yhtä runsasta. Suomessa ja Tanskassa puu- ja paperiteollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetin kehitys on ollut negatiivista, koska niissä intensiteetin arvo on kasvanut.

Puu- ja paperiteollisuuden kuljetusintensiteetin kannalta Tanska on maista paras, mutta toisaalta Ruotsissa kuljetusintensiteetin arvo on laskenut eniten. Norjan, Ruotsin ja Suomen puu- ja paperiteollisuuden kuljetusintensiteetin arvot ovat tiivistyneet toisiinsa nähden. Ruotsissa ja Norjassa kuljetusintensiteetti on vuosina 2008–2010 laskenut, ja samalla Suomessa intensiteetin arvo on kasvanut.

Toimialojen tarkastelun perusteella kaivosalaa ja rakentamista voidaan pitää tutkimusmaissa tiekuljetusten CO<sub>2</sub>-intensiteetin perusteella parhaana, sillä lukuun ottamatta Suomea kaivosalan ja rakentamisen CO<sub>2</sub>-intensiteetti on toimialoista alhaisin. Samalla myös Suomessa toimialan kehitys on ollut positiivinen. Tutkimusmaiden heikoimpina toimialoina CO<sub>2</sub>-intensiteetin kannalta voidaan pitää maa- ja metsäteollisuutta sekä elintarviketeollisuutta, sillä Norjaa lukuun ottamatta näiden toimialojen CO<sub>2</sub>-intensiteetti on selvästi toimialojen korkein. Norjassa näin ei ole, sillä Norjassa maa- ja metsätalouden arvonlisäyksen todella suuri kasvu on pitänyt maa- ja metsäteollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetin teknologiateollisuuden sekä puu- ja paperiteollisuuden intensiteettiä pienempänä.

CO<sub>2</sub>-intensiteetiltään huonoimpien toimialojen kehityksessä on kuitenkin suuria eroja maiden välillä. Suomessa sekä maa- ja metsätalouden että elintarviketeollisuuden CO<sub>2</sub>-

intensiteetit ovat laskeneet merkittävästi, kun taas Norjassa elintarviketeollisuuden ja Tanskassa maa- ja metsäteollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetin arvot ovat kasvaneet huomattavasti tarkasteluajanjakson aikana. Ruotsissa heikoimpien toimialojen kehitys jakaantuu kahtia, sillä maa- ja metsäteollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetin arvo on laskenut jyrkästi vuodesta 2000 vuoteen 2010 ja toisaalta elintarviketeollisuuden CO<sub>2</sub>-intensiteetti on lievästi kasvanut tarkasteltujen vuosien aikana.

Samoin kuin CO<sub>2</sub>-intensiteetin tarkastelussa niin myös kuljetusintensiteetin perusteella kaivosalaa ja rakentamista voidaan pitää parhaana toimialana tutkimusmaissa. Kaivosalan ja rakentamisen lisäksi myös teknologiateollisuutta voidaan pitää maissa tiekuljetusintensiteetiltään poikkeuksellisen hyvänä. Kuljetusintensiteetin kehityksen perusteella nämä toimialat eivät kuitenkaan ole parhaita, sillä lukuun ottamatta Norjaa tutkimusmaiden kemianteollisuuden kuljetusintensiteetit ovat laskeneet huomattavasti tutkimusajanjaksolla.

Kuljetusintensiteetiltään tutkimusmaiden heikoimpina toimialoina voidaan pitää samoja toimialoja, jotka ovat heikoimpia myös CO<sub>2</sub>-intensiteetiltään. On kuitenkin huomioitava se, että maa- ja metsäteollisuus on Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa kehittynyt selvästi positiivisemmaksi kuljetusintensiteetiltään. Sama ei päde Tanskan maa- ja metsäteollisuuteen, sillä Tanskassa toimialan kuljetusintensiteetti on kasvanut arvonlisäyksen runsaan laskun vuoksi. Elintarviketeollisuuden osalta maiden kehitys ei ole niin myönteinen kuin maa- ja metsäteollisuuden kehitys, sillä tutkimusmaista Suomi on ainoa, jossa elintarviketeollisuuden kuljetusintensiteetti on laskenut. Muissa maissa elintarviketeollisuus on kuljetusintensiteetiltään pysynyt muuttumattomana tai kasvanut vähän.

### 5.2.1 Energiatehokkuus

Taulukossa 5.2 on esitetty maiden tiekuljetusten energiatehokkuus toimialoittain vuosien 2000–2010 keskiarvojen perusteella (puu- ja metsäteollisuus 2008–2010). Tutkimusajanjakson keskiarvojen lisäksi taulukossa on esitetty toimialojen prosentuaalinen kehitys vuodesta 2000 vuoteen 2010. Taulukossa maiden energiatehokkaimpien toimialojen arvot ovat värjätty vihreällä ja heikoimpien punaisella.

Energiatehokkuudeltaan kemianteollisuus on kaikissa tutkimusmaissa paras toimiala. Ruotsissa ja Suomessa ainoastaan puu- ja paperiteollisuus yltää lähelle kemianteollisuuden energiatehokkuudenarvoja. Vertaamalla maiden välisiä eroja kemianteollisuuden energiatehokkuuden keskiarvojen perusteella voidaan todeta, että Norjan (5,0 tkm/kWh) ja Suomen (5,4 tkm/kWh) arvot ovat samalla tasolla. Ruotsin kemianteollisuus on maista selvästi tehokkain, sillä sen energiatehokkuuden keskiarvo on jopa 6,1 tkm/kWh. Tanskassa kemianteollisuuden energiatehokkuus (3,3 tkm/kWh) jää selvästi muiden maiden tason alapuolelle. Toisaalta Tanskassa kaikki toimialat ovat muihin maihin verrattuna heikoimpia energiatehokkuudeltaan.



**Taulukko 5.2.** Tutkimusmaiden tiekuljetusten energiatehokkuuden kehitys (tkm/kW) toimialoittain vuosina 2000–2010.

	Maa- ja metsätalous	Elintarvikeallisuus	Kemianteollisuus	Kaivosala ja rakentaminen	Teknoliateollisuus	Puu- ja paperiteollisuus	Yhteensä (ilman palvelusektoria)
Norja	3,5 -20 %	3,8 -17 %	5,0 -13 %	3,3 44 %	3,3 -20 %	3,5 0 %	2,9 -7 %
Ruotsi	5,0 1 %	4,8 -6 %	6,1 -3 %	4,4 -2 %	4,2 -11 %	5,9 -4 %	3,9 -2 %
Suomi	4,5 -6 %	3,3 2 %	5,4 2 %	4,3 7 %	3,1 -16 %	5,3 9 %	3,2 -3 %
Tanska	2,4 23 %	3,0 11 %	3,3 7 %	3,1 -2 %	2,0 19 %	2,7 3 %	2,3 8 %

Historialliselta kehitykseltään kemianteollisuus ei kuitenkaan ole toimialoista paras, koska Suomessa ja Tanskassa sen energiatehokkuus on kasvanut vain vähän ja toisaalta Norjassa ja Ruotsissa kemianteollisuuden energiatehokkuus on tarkasteluajanjaksolla laskenut. Energiatehokkuuden kehitykseltään esimerkiksi kaivosala ja rakentaminen on ollut selvästi kemianteollisuutta positiivisempi, koska Ruotsissa ja Tanskassa kaivosalan ja rakentamisen tiekuljetusten energiatehokkuus on laskenut vain vähän, kun Norjassa energiatehokkuus on kasvanut jopa 44 % ja Suomessa 7%.

Energiatehokkuuden kehitykseltään Norjan parhaimpana toimialana voidaan pitää kaivosalaa ja rakentamista, mutta yhdessä teknoliateollisuuden kanssa ne ovat maan heikoimpia toimialoja energiatehokkuudeltaan. Teknoliateollisuus on heikoin energiatehokkuudeltaan myös muissa maissa kuin Norjassa. Kappaleessa 5.1.2 tarkasteltuja maiden kansainvälisen tason eroja tiekuljetusten energiatehokkuudessa kuvaa se, että Ruotsin energiatehokkuudeltaan heikoin toimiala on huomattavasti tehokkaampi kuin Tanskan energiatehokkuudeltaan paras toimiala.

Tutkimusmaiden teknoliateollisuuden heikkoa energiatehokkuutta korostaa se, että Tanskaa lukuun ottamatta teknoliateollisuuden energiatehokkuus on selvästi laskenut tarkasteluajanjaksolla. Tanskassa teknoliateollisuuden energiatehokkuus on parantunut prosentuaalisesti runsaasti, mutta Tanskan osalta on huomioitava, että Tanskan teknoliateollisuuden energiatehokkuuden keskiarvo tarkasteluajanjaksolla on vain 2,0 tkm/kWh.

Tarkasteluajanjakson keskiarvojen perusteella Ruotsi on kaikilla toimialoilla energiatehokkain, mikä ei ole yllätys sillä kuten aikaisemmin työssä jo todettiin, Ruotsi on selvästi muita tutkimusmaita edellä energiatehokkuudessa. Ruotsin toimialojen energiatehokkuuden kehitys on kuitenkin ollut negatiivinen viidessä tarkastellusta kuudesta toimialasta. Ja toisaalta ainoa Ruotsissa energiatehokkuudeltaan parantunut toimiala, maa- ja metsätalous on parantunut tarkasteluajanjaksolla vain prosenttia. Tanskassa tarkasteltujen toimialojen energiatehokkuuden kehitys on ollut täysin päinvastainen kuin Ruotsissa. Tanskassa viisi kuudesta toimialasta on parantunut energiatehokkuudeltaan tilastojen mukaan. Tanskassa kehitys on ollut hyvin positiivista, sillä esimerkiksi maa- ja metsäteollisuuden sekä teknologiateollisuuden energiatehokkuus on parantunut noin 20 prosenttia.

Vaikka Tanskassa toimialojen energiatehokkuus on kasvanut, niin silti Tanskan toimialat ovat tutkimusmaiden heikoimpia energiatehokkuudeltaan. Tanskan toimialojen heikko energiatehokkuus selittää sen, miksi Tanska on myös kansallisella tasolla selvästi heikoin energiatehokkuudeltaan. Toisaalta Tanskan toimialojen energiatehokkuuden parantuminen on supistanut kansallisella tasolla Tanskan ja Norjan tiekuljetusten energiatehokkuuden välistä eroa.

### **5.2.2 CO<sub>2</sub>-päästöt**

Vastaavasti kuin toimialojen energiatehokkuuden analysoinnissa niin myös toimialojen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen vertailussa käytettiin tarkasteluajanjakson keskiarvoja, jotka on koottu taulukkoon 5.3. Keskiarvojen lisäksi taulukossa on esitetty toimialojen prosentuaalinen kehitys vuosina 2000–2010. Toimialaluokittelun vuoksi myös CO<sub>2</sub>-päästömäärät kattavat puu- ja paperiteollisuuden omana toimialanaan ainoastaan vuosilta 2008–2010. Toimialojen hiilidioksidipäästöjen lisäksi taulukkoon on lisätty kaikkien toimialojen yhteenlasketusta tyhjänääjosta muodostuneet CO<sub>2</sub>-päästöt. Vastaavasti kuin taulukossa 5.2 vihreällä on merkattu maan puhtain toimiala ja punaisella saastuttavin toimiala.

**Taulukko 5.3.** Tutkimusmaiden tiekuljetusten CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys (milj. kg) toimialoittain vuosina 2000–2010.

	Maa- ja metsätalous	Elintarviketeollisuus	Kemianteollisuus	Kaivosala ja rakentaminen	Teknoliateollisuus	Puu- ja paperiteollisuus	Tyhjänääjo	Yhteensä (ilman palvelusektoria)
Norja	120,3 41 %	261,2 46 %	72,1 31 %	199,1 -8 %	484,8 31 %	88,1 -20 %	249,7 24 %	1411,2 32 %
Ruotsi	382,2 -28 %	268,6 25 %	136,8 -30 %	227,9 3 %	809,7 17 %	176,0 -28 %	357,1 -14 %	2235,1 7 %
Suomi	380,8 -30 %	275,4 -6 %	183,7 -30 %	310,6 -5 %	624,2 7 %	129,1 -13 %	422,1 -6 %	2232,0 -4 %
Tanska	160,5 -5 %	243,1 -30 %	80,6 -39 %	225,8 -29 %	368,5 12 %	46,4 -12 %	169,1 -18 %	1260,3 -11 %

CO<sub>2</sub>-päästöjen perusteella kemianteollisuus ja puu- ja paperiteollisuus ovat tutkimusmaiden puhtaimmat toimialat. Tulos ei ole yllättävä, sillä kyseiset toimialat kuuluvat tiekuljetussuoritteessa mitattuna pienimpien toimialojen joukkoon. Norjassa ja Ruotsissa tutkimusajanjakson keskiarvon mukaan kemianteollisuus on tuottanut vähiten päästöjä vuodessa. Ero Norjan ja Ruotsin kemianteollisuuden päästömäärissä on suuri, sillä Norjan päästöt (72,1 milj. kg) ovat vain noin puolet Ruotsin päästöistä (136,8 milj. kg). Maiden välisen eron oletetaan kuitenkin kaventuva, sillä kehitykseltään maiden kemianteollisuudet ovat olleet täysin päinvastaiset. Norjassa kemianteollisuuden CO<sub>2</sub>-päästöt ovat kasvaneet 30 prosentilla vuodesta 2000 vuoteen 2010 ja samaan aikaan Ruotsissa päästöt ovat vähentyneet 30 %.

Suomessa ja Tanskassa hiilidioksidipäästöiltään vähäpäästöisin toimiala on puu- ja paperiteollisuus. Vastaavasti kuin Ruotsissa myös Suomessa ja Tanskassa vähäpäästöisimmän toimialan päästöt ovat tarkasteluajanjaksolla vähentyneet. Puu- ja paperiteollisuuden kehitys ei kuitenkaan ole suoraan verrattavissa muihin toimialoihin, sillä se huomioi vain 3 vuotta. Kehityksen kannalta toivotuin kehitys on ollut kemianteollisuudella, sillä Norjaa lukuun ottamatta sen CO<sub>2</sub>-päästöjen määrä on laskenut kaikissa maissa huomattavasti (Ruotsi ja Suomi -30 % ja Tanska -39 %).

Tarkasteltavista toimialoista teknoliateollisuus tuottaa keskiarvon mukaan selvästi eniten CO<sub>2</sub>-päästöjä vuodessa. Suuret päästömäärät ovat seuraus maiden teknoliateollisuuden suurista liikennesuoritemääristä. CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentymisen kannalta maiden teknoliateollisuuden päästöjen kehitys on tutkimusajanjaksolla ollut negatiivinen, sillä kaikissa maissa teknoliateollisuuden hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet vuodesta 2000 vuoteen 2010. Teknoliateollisuus on myös ainoa tarkasteltu toimiala, jossa hii-

lidioksidipäästöt ovat kasvaneet kaikissa maissa. Suurinta kasvu on ollut Norjassa, jossa teknologiateollisuuden päästöt ovat kasvaneet jopa 31 %. 31 prosentin kasvu on hälyttävä, sillä samaan aikaan Norjan teknologiateollisuuden tiekuljetussuorite on kasvanut vain 4 prosenttia.

Ruotsissa teknologiateollisuuden kuljetuksista aiheutuu tutkimusajanjakson keskiarvon mukaan noin 810 miljoonaa kiloa CO<sub>2</sub>-päästöjä. Vertaamalla sitä esimerkiksi Tanskan toimialoihin, jotka ovat tutkimusmaiden vähäpäästöisimpiä, havaitaan, että Ruotsin teknologiateollisuuden kuljetukset aiheuttavat keskiarvon mukaan enemmän päästöjä kuin Tanskan viisi vähäpäästöisintä toimialaa yhteensä.

Vertaamalla taulukossa 5.3 esitettyjä tyhjänäajon ja toimialojen hiilidioksidipäästöjä voidaan todeta, että suhteessa toimialojen päästömääriin tyhjänäajon päästöt ovat suuret. Ruotsia lukuun ottamatta, maiden tyhjänäajon päästöt olisivat toimialatasolla toiseksi suurimmat. Tyhjänäajosta aiheutuvat päästömäärät ovat niin suuret, että tutkimusajanjakson keskiarvon perusteella maiden tyhjänäajon CO<sub>2</sub>-päästöt ovat suuremmat kuin kahden vähiten hiilidioksidipäästöjä aiheuttavan toimialan päästöt yhteensä.

CO<sub>2</sub>-päästömäärien kehityksen kannalta Suomen ja Tanskan toimialojen kehitys on positiivisempi kuin Norjan ja Ruotsin. Suomessa ja Tanskassa ainoastaan teknologiateollisuuden hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet tutkittujen vuosien aikana, kun Ruotsissa kolmen ja Norjassa neljän toimialan päästöt ovat kasvaneet. Norjassa toimialojen CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys on tutkimusmaista heikointa, sillä Norjassa niiden neljän toimiala, minkä päästömäärät ovat kasvaneet, kasvu on ollut yli 30 prosenttia. Norjan toimialojen kasvua voidaan pitää suhteellisesti suurena, sillä esimerkiksi Suomessa ja Tanskassa, joissa ainoastaan teknologiateollisuuden CO<sub>2</sub>-päästöt ovat kasvaneet, kasvu on ollut vain noin 10 prosenttia. Norjan toimialojen ja tyhjänäajon hiilidioksidipäästömäärien kasvu selittää sen, miksi kansallisella tasolla Norjan tiekuljetusten CO<sub>2</sub>-päästöt ovat tutkimusajanjaksolla kasvaneet (ks. kuva 5.7).

## 6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tässä diplomityössä tutkittiin Norjan, Ruotsin, Suomen ja Tanskan tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitystä vuosina 2000–2010. Tutkimusmaita yhdistää se, että ne ovat kaikki hyvin kehittyneitä valtioita ja kansainvälisesti mitattuna ne kuuluvat maailman kilpailukykyisimpien maiden ryhmään. Tutkimusmaat ovat kansainväliseltä maineeltaan vihreiden arvojen maita ja usein niitä pidetään kestävän kehityksen pioneereina. Tutkimuksen mukaan myös maiden oma asenne ja kiinnostus ympäristövastuullisuuteen on kasvanut ja maiden tavoitteena onkin olla maailman edelläkävijöitä kestävässä kehityksessä (Norden 2012).

Työn teema on hyvin ajankohtainen ja se on saanut paljon ihmisten huomiota, sillä 2000-luvulla ihmisten kiinnostus kestäväan kehitykseen on kasvanut yhdessä ympäristötietoisuuden parantumisen kanssa. Päättäjät ovat vastanneet tähän kehittämällä uusia päästö- ja energiasäädöksiä. Säädöksiä tukemaan on asetettu kansainvälisiä ja kansallisia tavoitteita, minkä avulla saastuttamista pyritään vähentämään. Tässä työssä päästöjä tarkasteltiin painottaen CO<sub>2</sub>-päästöjä, sillä niiden vaikutukset yhdessä muiden kasvihuonekaasujen kanssa ovat hyvin riskialttiita maapallon ekosysteemille. Ja samalla liikenne on yksi merkittävistä CO<sub>2</sub>-päästöjen aiheuttajista. Toinen tiekuljetusten kannalta kriittinen globaali ongelma on fossiilisten polttoainevarantojen vähenemine, johon pyritään vastaamaan vaihtoehtoisilla polttoaineilla ja energiatehokkuuden parantamisella. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että suurta kehitystä tutkimusmaiden tiekuljetusalan ympäristövaikutusten vähentämiseksi ei ole vielä pystytty saavuttamaan. Tulosten perusteella voidaankin todeta, että mailla on vielä paljon tehtävää tiekuljetusalalla, jotta päästötavoitteet saavutettaisiin.

### 6.1 Tulosten analysointi ja pohdinta

Työssä tiekuljetusten energiatehokkuutta ja CO<sub>2</sub>-päästöjä arvioitiin kuvassa 2.2 esitetyn arviointikehikon avulla. Arviointikehikon koontisuureiden ja indikaattoreiden avulla tiekuljetusala on paloiteltu osiin siten, että eri muuttujien vaikutukset kuljetusten energiankulutukseen pystyttäisiin huomioimaan. Energiatehokkuuteen ja CO<sub>2</sub>-päästöihin suoraan vaikuttavien koontisuureiden ja indikaattoreiden lisäksi työssä tarkasteltiin talouden vaikutuksia tiekuljetuksiin. Talousasiat otettiin mukaan tutkimukseen, sillä ilman talouden huomiointia tiekuljetusalan tarkastelu jää vain hyvin pinnalliseksi. Talouden huomioinnin avulla tutkimuksessa pystyttiin muun muassa analysoimaan toimialojen kuljetusintensiteetin ja CO<sub>2</sub>-intensiteetin kehitystä.

Tutkimus aloitettiin tarkastelemalla arviointikehikossa esitettyjä määritteitä. Määritteitä tarkasteltiin olemassa olevan kirjallisuuden avulla, ja näin pyrittiin vastaamaan tutkimuksen ensimmäiseen apukysymykseen. Lähdekirjallisuuden avulla työssä arvioitiin eri energiatehokkuustoimien vaikuttavuutta. Arvioinnin perusteella voidaan todeta, että kuljetusten tarjoajan kannalta olennaisimpia toimia ajoneuvon energiatehokkuuden parantamiseksi ovat oikeanlaisen kaluston valinta, taloudellisen ajotavan koulutus, aerodynamiikan parantaminen, renkaiden valinta, kaluston keventäminen ja ajoneuvon huolto. Kuljetussuoritteen energiatehokkuuden kannalta tehokkainta on kuljettaa mahdollisimman paljon tavaraa mahdollisimman pienellä energiankulutuksella. Ja siksi kuljetusten reittien suunnittelu ja kuorma-asteen optimointi ovat tiekuljetussuoritteen energiatehokkuuden kannalta olennaisia.

Kansallisella tasolla yksittäisten kuljetusten tehostaminen ei ole mahdollista, vaan kansallisella tasolla kestävä kehitys voidaan edesauttaa ohjaamalla ihmisiä ympäristöystävällisempiin valintoihin. Tutkimuksen mukaan maiden tavoitteet ja päämäärät ympäristövaikutusten huomioimiseksi ovat hyvin yhteneviä. Osaltaan se, että Ruotsi, Suomi ja Tanska kuuluvat EU:hun yhdistää maiden linjauksia, mutta myös Norja, joka ei kuulu EU:hun on kansallisilta tavoitteiltaan hyvin yhtenevä muiden tutkimusmaiden ympäristöpoliittisen linjan kanssa.

Tutkimuksessa tarkasteltujen maiden ympäristö- ja liikennestrategioiden mukaan kaikilla mailla on selvä halu kehittää tiekuljetuksiaan, mutta tutkimusmaissa tiekuljetukset jäävät muun liikenteen kehittämisen varjoon. Kansallisen tason energiatehokkuustoimissa maita yhdistää korkea liikenteen ja energian verotus, millä pyritään rohkaisemaan ihmisiä valitsemaan puhtaampia arvoja. Verotuksessa Norja ja Ruotsi ovat kuitenkin Suomea ja Tanskaa edellä, sillä Norjan ja Ruotsin käyttämä verotusmalli huomioi ympäristövaikutukset Suomen ja Tanskan mallia tarkemmin. Toinen kaikkien tutkimusmaiden tiekuljetuksia yhdistävä ja tiekuljetusten energiatehokkuuden kannalta merkittävä tekijä on moduuli-yhdistelmien salliminen kansallisessa liikenteessä. Tiemaksujen käytössä Suomi eroaa muista maista, sillä muissa maissa kuin Suomessa tiemaksujen käytöllä pyritään kehottamaan kuljetusyriä tehostamaan kuljetusten suunnitteluaan.

Vaikka maiden ympäristötavoitteet ovat hyvin samankaltaiset, on maiden välistä vertailua tehdessä huomioitava maiden väliset eroavaisuudet. Tutkimusmaista Ruotsi on selvästi suurin, sillä se on suurin niin pinta-altaan, bruttokansantuotteeltaan ja väestöltään. Väestön perusteella Norja, Suomi ja Tanska ovat lähellä toisiaan, mutta pinta-alan perusteella Tanska on maista selväsi pienin ja Suomi on puolestaan pienin jos maat luokitellaan BKT:n mukaan. Tulosten analysoinnissa maiden kokoerot huomioitiin siten, että vaikka työssä keskityttiin suhteellisen kehityksen tutkimiseen, niin silti tilastoja tarkasteltiin myös määrällisinä. Sillä on itsestään selvää, että maiden kokoerojen ollessa huomattavia, myös maiden tiekuljetussuoritteet ja arvonlisäykset eroavat toisistaan.

Vaikka maat ovat kooltaan eroavia niin maiden kuljetuksia yhdistää, se että kaikissa maissa tiekuljetukset ovat selvästi dominoiva kuljetusmuoto kuljetustonnimäärissä mitattuna. Kaikissa maissa tiekuljetusten osuus kuljetusmuotojakaumasta on noin 90 prosenttia. Vaikka maiden tiekuljetusten prosentuaaliset osuudet kaikista kuljetuksista ovat samaa luokkaa, niin määrällisesti Ruotsin tiekuljetusala on tutkimusmaista selvästi suurin. Ruotsissa toimii maista eniten kuljetusalanyrityksiä ja Ruotsissa tiekuljetussuorite on selvästi muita maita suurempi. Maista toiseksi suurimpana tiekuljetusalaltaan voidaan pitää Suomea, minkä jälkeen tulevat Norja ja Tanska. Tiekuljetusalan kannalta Tanskaa voidaan pitää selvästi pienimpänä, sillä Tanska on pienin sekä tiekuljetussuoritteeltaan kuin tiekuljetusten kokonaisliikennesuoritteeltaankin.

Maiden tiekuljetustilastojen perusteella toteutettu maiden energiatehokkuuden tarkastelu osoitti, että vuosina 2000–2010 kaikkien maiden tiekuljetusten energiatehokkuus on pysynyt hyvin vakaana. Tulos ei ole yllättävä, sillä tiekuljetusala on niin olennainen osa elinkeinoelämän toimivuutta, että siinä tapahtuvat suuret muutokset eivät tapahdu nopeasti. Maista suurimmat muutokset tiekuljetusten energiatehokkuudessa kansallisella tasolla on ollut Norjassa, jossa kehitys on ollut negatiivista. Syynä Norjan energiatehokkuuden lievään laskuun on se, että Norjassa energiankulutus on kasvanut kuljetussuoritteen kasvua enemmän. Mikä puolestaan on seurausta sille, että Norjassa kuljetusten keskikulutukset ovat lievästi kasvaneet siitä huolimatta, että kuormien keskikoot ovat tarkasteluajanjaksolla olleet ennemmin pienentyneet kuin kasvaneet, ja toisaalta samaan aikaan Norjan liikennesuorite on kasvanut merkittävästi.

Tiekuljetusten energiatehokkuuden arvojen perusteella Ruotsi on maista selvästi tehokkain ja Tanska puolestaan heikoin. Ruotsin valtion koko vaikuttaa varmasti osaltaan energiatehokkuuteen, sillä suuret tavara- ja ihmismäärät sekä yhdyskuntarakenteen jakaantuminen edesauttavat tehokkaiden kuljetusten kehittämistä. Tämä näkyy myös tutkimusmaiden keskikuormissa, sillä Ruotsissa tutkimusajan keksikuormien keskiarvo on tutkimusmaista suurin. Toisaalta Suomessa tiekuljetuksissa kuljetetaan tutkimusajanjakson keskiarvon mukaan enemmän tavaraa tonneissa kuin Ruotsissa, ja vaikka Suomen keskikuormat ovat lähellä Ruotsin keskikuormien arvoja, niin silti Suomen tiekuljetusten energiatehokkuus on huomattavasti Ruotsin arvoa heikompi. Energiatehokkuuden kannalta merkittävin ero Ruotsin ja Suomen välillä on tyhjänäajon osuudessa, joka Ruotsissa on huomattavasti Suomen arvoja pienempi ja kun kokonaisliikennesuoritteeltaan Ruotsi ja Suomi ovat samansuuruisia, niin on selvää, että Ruotsi on energiatehokkuudeltaan Suomea parempi.

Niin tiekuljetusten kokonaisliikennesuoritteeltaan kuin kuljetussuoritteeltaankin Norja ja Tanska ovat Ruotsia ja Suomea pienempiä ja sama pätee myös tiekuljetusten energiatehokkuudessa. Tanskassa selitys maan tiekuljetusten heikkoon energiatehokkuuden arvoon on pienet kuormakoot. Tanskassa vuotuisten keksikuormien keskiarvo on 8,5 tonnia, mikä on lähes kaksi tonnia vähemmän kuin Norjan vastaa arvo. Tyhjänäajon

kannalta Tanska on kuitenkin selvästi muita maita edellä, sillä esimerkiksi Suomeen verrattuna Tanskan tutkimusajan tyhjänäajo-osuuden keskiarvo on noin kymmenen prosenttia Suomea vähemmän.

Energiatehokkuudeltaan Suomi ja Norja ovat maista lähimpänä toisiaan, vaikka Suomessa keskikuormien koko on selvästi Norjaa suurempi. Norjassa kuitenkin matala keskikulutus ja Suomea pienempi tyhjänäajon osuus parantaa Norjan tiekuljetusten energiatehokkuutta.

Kansallisella tasolla tiekuljetusten CO<sub>2</sub>-päästöjen kehityksen tarkastelu osoitti, että Norjassa ja Ruotsissa päästöt ovat kasvaneet vähän ja Suomessa ja Tanskassa päästöt ovat lievästi vähentyneet. CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys tutkimusmaissa mukaillee kokonaisliikennesuorituksen kehitystä, mikä tarkoittaa sitä, että tarkasteluajanjaksolla tiekuljetuksia ei ole pystytty merkittävästi kehittämään vähäpäästöisemmiksi CO<sub>2</sub>-päästöjen osalta. Toisaalta mikäli tutkimuksessa olisi tarkasteltu muita tiekuljetusten aiheuttamia päästöjä kuin hiilidioksidipäästöjä tulokset olisivat aivan toiset johtuen merkittävästi tiukentuneista ajoneuvojen EURO-päästörajoituksista.

Kansallisella tasolla maiden tiekuljetusalan kehitys talouden näkökulmasta näyttää positiiviselta, koska tutkimusmaissa tiekuljetusintensiteetti on ollut laskussa lukuun ottamatta Norjaa, jossa 2000-luvun puolivälissä kuljetusintensiteetti kasvoi hetkellisesti paljon ja on sen jälkeen tasoittunut takaisin vuoden 2000 tasolle. Kuljetusintensiteetin pienentyessä kuljetetun tavaran arvo kasvaa kuljetussuoritetta suhteessa nopeammin, mikä tarkoittaa muun muassa maiden talouden vahvistumista ympäristön kannalta myönteisesti.

Toimialatasolla työssä käytettiin talouden vaikutusten arviointiin Tapion (2005) kehittelemää mallia, minkä avulla voidaan arvioida talouden ja tarkasteltavan muuttujan välistä kytkeä. Mallin avulla havaittiin, että vaikka Suomi ja Ruotsi ovat kuljetus- ja CO<sub>2</sub>-intensiteeteiltään Norjaa ja Tanskaa heikompia niin niiden intensiteettien kehitys on kuitenkin ollut paljon Norjaa ja Tanskaa myönteisempi.

Mallin avulla saatiin myös selville, että sekä kuljetusintensiteetin että CO<sub>2</sub>-intensiteetin perusteella samat toimialat ovat sekä parhaimpia että huonoimpia. Tutkimusmaiden parhaina toimialoina intensiteettien perusteella voidaan pitää kaivosalaa ja rakentamista sekä teknologiateollisuutta ja heikoimpina maa- ja metsäteollisuutta sekä elintarviketeollisuutta. Suurin syy teknologiateollisuuden ja kaivosalan ja rakentamisen mataliin kuljetusintensiteetin ja CO<sub>2</sub>-intensiteetin arvoihin on toimialojen suuri arvonlisäys, joka etenkin teknologiateollisuudessa on selvästi muita toimialoja korkeampi. Kaivosalan ja rakentamisen -toimialalle on ominaista paikalliset kuljetukset, mikä näkyy muita toimialoja selvästi lyhyempinä kuljetusmatkoina. Lyhyet kuljetusmatkat vähentävät kuljetus-



suoritetta ja energiankokonaiskulutusta, mikä pienentää osaltaan kuljetus- ja CO<sub>2</sub>-intensiteettiä.

Kuljetus- ja CO<sub>2</sub>-intensiteetiltään heikoimpien toimialojen korkeat intensiteettien arvot johtuvat siitä, että maa- ja metsäteollisuuden sekä elintarviketeollisuuden liikennesuoritteet ovat tutkimusmaissa suuria suhteessa toimialojen arvonlisäykseen. Ja kun toimialojen tavaramäärät tonneissa ovat keskiluokkaa niin sekä kuljetusintensiteetin ja CO<sub>2</sub>-intensiteetin arvot ovat toimialojen korkeimmat.

Energiatehokkuuden arvoiltaan paras toimiala tutkimusmaissa on kemianteollisuus ja huonoin on teknologiateollisuus. Kemianteollisuuden suuret kuormakoot ja kohtuullisen pieni keskikulutus tekee siitä energiatehokkuudeltaan parhaan toimiala. Kemianteollisuuden lisäksi tutkimusmaissa maa- ja metsäteollisuudella ja kaivosalalla ja rakentamisessa kuormien keskikoot ovat suuria. Vuosina 2000–2010 ne ovat kuitenkin olleet keskikulutukseltaan heikompia kuin kemianteollisuuden kuljetukset.

Kemianteollisuuden keskikuormat ja keskikulutus ovat tutkimusmaissa hyviä, mikä on seurausta kemianteollisuuden kuljetusten luonteesta. Kemianteollisuuden kuljetuksille on tyypillistä tiheydeltään suurien nesteistä koostuvien tavaraerien kuljettaminen, mikä usein mahdollistaa kuljetuskaluston korkeat kuormitusasteet. Toisaalta kemianteollisuudelle on tyypillistä myös se, että sen tuotantolaitokset ja asiakkaat sijaitsevat hyvien kulkuyhteyksien varrella. Ja täten kemianteollisuuden kuljetusten ominaisuudet muodostavat kokonaisuuden, joka on tiekuljetusten energiatehokkuuden kannalta tehokas.

Syy siihen miksi juuri maa- ja metsäteollisuuden sekä kaivosalan ja rakentamisen -toimialoilla keskikulutukset ovat kohtuullisen suuria verrattuna muihin toimialoihin, johtuu osaltaan suurista kuormista, mutta myös kuljetusolosuhteista. Maa- ja metsäteollisuudelle sekä kaivosalalle ja rakentamiselle on ominaista, että yleensä ainakin kuljetusketjun toinen päätepiste sijaitsee hankalien kulkuyhteyksien päässä. Suurien kuorma-autoyhdistelmien joutuessa ajamaan huonokuntoisia teitä, ajoneuvon polttoaineen kulutus kasvaa huomattavasti tavalliseen maantieajoon verrattuna.

Toisaalta näille maa- ja metsäteollisuuden sekä kaivosalan ja rakentamisen -toimialojen kuljetuksille on tyypillistä myös se, että yleensä kuorma noudetaan tyhjällä kuorma-autolla, mikä myös vaikuttaa energiatehokkuuteen negatiivisesti. Tutkimuksen tilastotiedot eivät kuitenkaan sisällä tietoa toimialojen tyhjänäajo-osuuksista, joten tätä asiaa ei tilastojen avulla pystytty tässä tutkimuksessa tarkastelemaan.

Teknologiateollisuuden kuljetuksissa kuljetetaan usein arvokasta, mutta samalla kohtuullisen kevyttä tavaraa. Tutkimusmaissa tämä näkyy siten, että teknologiateollisuus on kaikissa maissa arvotiheydeltään korkein. Korkean arvotiheyden lisäksi teknologiateollisuuden tuotteille on tyypillistä myös kohtuullisen suuri tilantarve tuotteen painoon

nähdessä, mikä näkyy selvästi myös maiden tilastoissa. Kaikissa maissa teknologiateollisuuden kuorman keskikoot ovat selvästi muita toimialoja pienempiä. Ja vaikka teknologiateollisuuden kuljetukset ovat tutkimusmaissa keksikulutukseltaan pieniä niin pienet kuorman painot tekevät teknologiateollisuuden kuljetuksista energiatehokkuudeltaan heikoimpia.

Toimialojen CO<sub>2</sub>-päästöjen tarkastelu osoitti, että vähiten CO<sub>2</sub>-päästöjä tiekuljetuksista aiheutuu kemianteollisuudesta ja puu- ja paperiteollisuudesta. Eniten hiilidioksidipäästöjä aiheutuu teknologiateollisuuden kuljetuksista. CO<sub>2</sub>-päästöjen ollessa suoraan verrannollinen kulutetun energian määrään toimialojen liikennesuorite ja keskikulutus määrittävät CO<sub>2</sub>-päästöt. Hiilidioksidipäästöjen määrä kuvaa suoraan toimialojen kokonaiskilometrejä, sillä teknologiateollisuus tuottaa kaikissa maissa eniten liikennesuoritetta ja vastaavasti kemianteollisuus sekä puu- ja paperiteollisuus vähiten. Toimialojen väliset erot kokonaisliikennesuoritteissa ovat niin suuria, että toimialojen keskikulutukset eivät vaikuta merkittävästi kuljetusten hiilidioksidipäästöihin.

Yhteenvedonä työn tuloksista voidaan todeta, että Pohjoismaissa Ruotsi on tiekuljetuksissa energiatehokkain, mutta samalla Ruotsin tiekuljetusala aiheutti vuonna 2010 tutkimusmaista eniten hiilidioksidipäästöjä, ja täten ympäristöä ajatellen Ruotsin olisikin syytä panostaa entistä enemmän energiankulutuksen vähentämiseen. Yksi keino tähän olisi tyhjänäajon minimointi, mikä samalla myös parantaisi tiekuljetusten energiatehokkuutta. Toimialatasolla puolestaan suuret kuormakoot yhdistettynä kohtuullisen pieneen keskikulutukseen tekevät kemianteollisuuden tiekuljetuksista muita toimialoja tehokkaamman. Muilla toimialoilla tulisikin pyrkiä paremmin optimoimaan kuormakokojen ja keskikulutuksen välinen suhde.

Kaiken kaikkiaan työtä voidaan pitää onnistuneena, sillä työssä pystyttiin tarjoamaan kattavat kuvaukset kaikkiin työn apukysymyksiin sekä itse tutkimuksen pääongelmaan. Työn merkittävimpinä havaintoina voidaan pitää maiden tiekuljetusten energiatehokkuuden välisten erojen selvittämistä sekä sitä, miten tutkimusmaiden eri toimialojen tiekuljetukset eroavat toisistaan energiatehokkuuden ja CO<sub>2</sub>-päästöjen historiallisessa kehityksessä.

## 6.2 Jatkotutkimus mahdollisuudet

Työn aikana on ilmennyt, että työn aihepiirissä on paljon tarvetta jatkotutkimuksille. Jatkotutkimusaiheina nähdään niin kansallisen kuin toimialatason tutkimuksia. kansallisella tasolla tutkimuksen laajentaminen muihin Euroopan maihin koetaan hyvin potentiaalisena, sillä vertailemalla kaikkia Euroopan maita saataisiin laajemmin tietoa maiden tiekuljetusten kehityksestä. Samalla pystyttäisiin paremmin arvioimaan muun muassa olosuhteiden vaikutuksia tiekuljetuksiin, sillä nyt tutkittujen maiden ilmastot ovat hyvin lähellä toisiaan. Mikäli tutkimus laajennettaisiin maihin, joissa moduuli-yhdistelmät

eivät ole sallittuja pystyttäisiin myös toteuttamaan arviointi niiden vaikutuksista tiekuljetuksiin.

Toimialatasolla jokaisen toimialan kehitystä voitaisiin tutkia syvällisemmin. Toimialataso-  
n syvällisempi tutkiminen kuitenkin edellyttää tarkempia tiekuljetustilastoja. Tilas-  
tojen tulisi sisältää muun muassa tyhjänäajo-osuudet ja kuorman painon vaihtelut kulje-  
tuksen aikana. Tarkempien tilastotietojen avulla toimialojen energiatehokkuuden kehi-  
tystä voitaisiin tutkia huomattavasti tätä tutkimusta syvällisemmin. Toimialatasolla voi-  
taisiin myös tutkia ulkomaan viennin ja tuonnin merkitystä maiden kuljetuksissa, sillä  
kaupankäynnin kansainvälistyessä niiden merkitys kuljetuksissa kasvaa.

Tässä työssä tarkasteltiin tiekuljetusten energiatehokkuutta ja CO<sub>2</sub>-päästöjä kuljetusten  
arviointikehikon avulla. Arviointikehikon uskotaan kuitenkin olevan muokattavissa kai-  
kille kuljetusmuodoille sopivaksi, ja täten tässä tutkimuksessa käytettyä menetelmää  
mukaillen pystyttäisiin tarkastelemaan myös muita kuljetusmuotoja. Menetelmän laa-  
jentaminen muihin kuljetusmuotoihin mahdollistaisi myös eri kuljetusmuotojen energia-  
tehokkuuden ja CO<sub>2</sub>-päästöjen välisen arvioinnin.

## LÄHTEET

Allen, J. & Browne, M. 2010. Road freight transport and sustainability in Britain 1984-2007, Green logistics. Lontoo. University of Westminster. Transport Studies Department. [WWW]. [viitattu 26.07.2012]. Saatavissa: <http://www.greenlogistics.org/themesandoutputs/wm9/downloads/Sustainablefreighttransport-nationalfinal.pdf>

Baker, H., Cornwell, R., Koehler, E. & Patterson, J. 2009. Review of Low Carbon Technologies for Heavy Goods Vehicles. Prepared for Department For Transport. Ricardo. [WWW]. [viitattu 06.08.2012]. Saatavissa: <http://www.lowcvp.org.uk/assets/reports/090715%20Review%20of%20low%20carbon%20technologies%20for%20heavy%20goods%20vehicles.pdf>

Baumgartner, M. 2010. Monitoring and increasing carbon efficiency in road freight transport by today's improved computerized routing and scheduling and vehicle telematics. Väitöskirja. Hampuri. Hampurin yliopisto [WWW]. [viitattu 14.06.2012]. Saatavissa: <http://ediss.sub.uni-hamburg.de/volltexte/2010/4675/pdf/dissertation.pdf>

Bil Sweden. 2010. Nyregistreringar per år. [WWW]. [viitattu 12.09.2012]. Saatavissa: [http://www.bilsweden.se/ny\\_statistik/nyregistreringar\\_per\\_ar](http://www.bilsweden.se/ny_statistik/nyregistreringar_per_ar)

Dieselnet. 2009. Emission Standards. [WWW]. [viitattu 19.06.2012]. Saatavissa: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>

DTL. 2009. The transport sector's plan for a better climate, 49 ways to save fuel. [WWW]. [viitattu 07.08.2012]. Saatavissa: [http://dtl.eu/~media/Files/Aktuel\\_politik/Klima/The%20transport%20sectors%20plan%20for%20a%20better%20climate.ashx](http://dtl.eu/~media/Files/Aktuel_politik/Klima/The%20transport%20sectors%20plan%20for%20a%20better%20climate.ashx)

EcoTransit World. 2011. Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transport. Methodology and Data Update. IFEU Heidelberg, Öko-Institut, IVE / RMCON. [WWW]. [viitattu 07.08.2012]. Saatavissa: [http://www.ecotransit.org/download/ecotransit\\_background\\_report.pdf](http://www.ecotransit.org/download/ecotransit_background_report.pdf)

Environmental literacy council. 2008. Fossil Fuels. [WWW]. [viitattu 31.07.2012]. Saatavissa: <http://www.enviroliteracy.org/subcategory.php/21.html>

Eom, J., Schipper, L. & Thompson, L. 2012. We keep on truckin': Trends in freight energy use and carbon emissions in 11 IEA countries. Energy Policy, Vol. 45, pp. 327-341.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/32/EY. 2006. Energian loppukäytön tehokkuudesta ja energiapalveluista sekä neuvoston direktiivin 93/76/ETY kumoamises-

ta. [WWW]. [viitattu 13.06.2012]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0032:FI:HTML>

European Commission. 2012a. Eurostat. [WWW]. [viitattu 04.07.2012]. Saatavissa: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home>

European Commission. 2012b. Towards a strategy to address CO<sub>2</sub> emission from Heavy-Duty Vehicles. Climate action. [WWW]. [viitattu 26.07.2012]. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/index_en.htm)

European Commission. 2012c. Taxation trends in the European Union, Data for the EU Member States, Iceland and Norway. Eurostat. [WWW]. [viitattu 06.09.2012]. Saatavissa: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-DU-12-001/EN/KS-DU-12-001-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DU-12-001/EN/KS-DU-12-001-EN.PDF)

European Environment Agency. 2012. Climate change. [WWW]. [viitattu 18.06.2012]. Saatavissa: <http://www.eea.europa.eu/themes/climate/intro>

Euroopan unioni. 2012. Jäsenmaat. [WWW]. [viitattu 10.09.2012]. Saatavissa: [http://europa.eu/about-eu/countries/index\\_fi.htm](http://europa.eu/about-eu/countries/index_fi.htm)

Eurostat. 2010. Environmental statistics in Europe, Facts and figures on the environment: from environmental taxes to water resources. [WWW]. [viitattu 06.09.2012]. Saatavissa: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_PUBLIC/8-10122010-BP/EN/8-10122010-BP-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-10122010-BP/EN/8-10122010-BP-EN.PDF)

Eurovignette. 2012. [WWW]. [viitattu 17.09.2012]. Saatavissa: <https://www.eurovignettes.eu/portal/en/welcome?reset=true>

Freight Transport Association. 2012. The carbon intervention modeling tool. [WWW]. [viitattu 03.08.2012]. Saatavissa: [http://www.fta.co.uk/policy\\_and\\_compliance/environment/decarbonisation\\_tool.html](http://www.fta.co.uk/policy_and_compliance/environment/decarbonisation_tool.html)

Finel, N. & Tapio, P. 2012. Decoupling transport CO<sub>2</sub> from GDP. Finland Future Research Centre, University of Turku. FFRC ebook 1/2012. [WWW]. [viitattu 25.07.2012]. Saatavissa: [http://ffrc.utu.fi/julkaisut/e-julkaisuja/eBook\\_2012-1.pdf](http://ffrc.utu.fi/julkaisut/e-julkaisuja/eBook_2012-1.pdf)

Haagensen, K., M. & Hjulgaard, L., L. 2011. Pohjola numeroina 2011. Tanska. Pohjoismaiden ministerineuvos. ANP 2011:721. 32 s.

International Energy Agency. 2009. Transport, energy and CO<sub>2</sub>. Moving Toward Sustainability. Pariisi [WWW]. [viitattu 02.07.2012]. Saatavissa: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/transport2009.pdf>

International Energy Agency. 2011. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, Highlights. [WWW]. [viitattu 27.07.2012]. Saatavissa: <http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>

KOM/2006/314. 2006. Kestävää liikkuvuutta Eurooppaan - Euroopan komission vuoden 2001 liikennepolitiikan valkoisen kirjan väliarviointi. [WWW]. [viitattu 05.07.2012]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0314:FIN:FI:PDF>

KOM/2006/545. 2006. Energiatohokkuuden toimintasuunnitelma: Mahdollisuuksien toteuttaminen. Bryssel. Euroopan komissio. [WWW]. [viitattu 13.06.2012]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0545:FIN:FI:HTML>

KOM/2008/30. 2008. Kaksi kertaa 20 vuonna 2020 – Ilmastonmuutostoimet - mahdollisuus Euroopalle. [WWW]. [viitattu 20.06.2012]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0030:FIN:fi:PDF>

KOM/2011/144. 2011. Valkoinen kirja. Yhtenäistä Euroopan liikennealuetta koskeva etenemissuunnitelma – Kohti kilpailukykyistä ja resurssitehokasta liikennejärjestelmää. Bryssel. Euroopan komissio. [WWW]. [viitattu 13.06.2012]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:FI:PDF>

Kytö, M., Erkkilä, K. & Nylund, N.-O. 2009. Raskas ajoneuvokalusto: Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka ”RASTU”, Yhteenvetovetoraportti 2006–2008. VTT. Projektiraportti, VTT-R\_04084-09. [WWW]. [viitattu 08.10.2012]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/2278/RASTU-loppuraportti\\_2006-2008.pdf](http://www.motiva.fi/files/2278/RASTU-loppuraportti_2006-2008.pdf)

Lehtonen, I. & Backlund, S. 2012. Lausunto raskaiden tavarankuljetusajoneuvojen mitata- ja massastrategian luonnoksesta. SKAL ry. [WWW]. [viitattu 17.09.2012]. Saatavissa: [http://www.skal.fi/ajankohtaista/skal\\_n\\_lausunnot\\_ja\\_kannanotot/lausunto\\_raskaiden\\_tavarankuljetusajoneuvojen\\_mitta-ja\\_massastrategian\\_luonnoksesta.8151.news](http://www.skal.fi/ajankohtaista/skal_n_lausunnot_ja_kannanotot/lausunto_raskaiden_tavarankuljetusajoneuvojen_mitta-ja_massastrategian_luonnoksesta.8151.news)

Léonardi, J. & Baumgartner, M. 2004. CO<sub>2</sub> efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. Transportation Research Part D 9, pp. 451-464.

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2009. Ilmastopoliittinen ohjelma 2009-2020. Ohjelmia ja strategioita 2/2009. [WWW]. [viitattu 05.09.2012]. Saatavissa: [http://www.lvm.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=440554&name=DLFE-8040.pdf&title=Ohjelmia%20ja%20strategioita%202009](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=440554&name=DLFE-8040.pdf&title=Ohjelmia%20ja%20strategioita%202009)

Liimatainen, H. 2010. Kuljetusalan energiatehokkuuden raportointi ja tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arviointi. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos. Tutkimusraportti 77. 42 s.

Liimatainen, H. & Pöllänen, M. 2010. Trends of energy efficiency in Finnish road freight transport 1995–2009 and forecast to 2016. *Energy Policy*, Vol. 38, Issue 12, pp. 7676-7686.

Liimatainen, H., Pöllänen, M., Kallionpää, E., Nykänen, L., Stenholm, P., Tapio, P. & McKinnon, A. 2012. Tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen tulevaisuus. Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 1/2012. [WWW]. [viitattu 15.06.2012]. Saatavissa: [http://www.lvm.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=1986562&name=DLFE-13615.pdf&title=Julkaisuja%201-2012](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1986562&name=DLFE-13615.pdf&title=Julkaisuja%201-2012)

Lindhjem, H., Skjelvik, J., M., Eriksson, A., Fitch, T. & Pade Hansen, LL. 2009. The use of Economic Instruments in Nordic Environmental Policy 2006-2009. Kööpenhamina. Norden. TemaNord 2009:578.

LIPASTO. 2012. Liikenteen päästöt. [WWW]. [viitattu 26.06.2012]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/index.htm>

McKinnon, A. & Woodburn, A. 1996. Logistical restructuring and road freight traffic growth: an empirical assessment. *Transportation*, Vol. 23, pp. 141-161.

McKinnon, A. 1999. A Logistical Perspective on the Fuel Efficiency of Road Freight Transport. Edinburgh. Herio-Watt University. [WWW]. [viitattu 05.07.2012]. Saatavissa: <http://www.google.fi/search?q=citeseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.110.7044%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:en-US:official&client=firefox-a>

McKinnon, A., Cullinane, S., Browne, M. & Whiteing, A. 2010. Green logistics. Lontoo. Iso-Britannia, Kogan page. 372 s.

Ministry of the Environment and Ministry of Enterprise, Energy and Communications. 2009. An integrated climate and energy policy. Information sheet about the government BILLS 2008/09:162 and 163. [WWW]. [viitattu 05.09.2012]. Saatavissa: [http://files.eesi.org/sweden\\_policy\\_030009.pdf](http://files.eesi.org/sweden_policy_030009.pdf)

Ministry of Transport. 2011. A Greener Transport System in Denmark - Environmentally Friendly and Energy Efficient Transport. [WWW]. [viitattu 05.09.2012]. Saatavissa:

<http://www.trm.dk/~media/Files/Publication/English/EUpredcedency%202012/A%20greener%20transport%20system-netversion.pdf>

Motiva. 2011. Dieselöljy. Liikenne, Polttoaineet ja ajoneuvotekniikka, Polttoaineet. [WWW]. [viitattu 30.07.2012]. Saatavissa: [http://motiva.fi/liikenne/polttoaineet\\_ja\\_ajoneuvotekniikka/polttoaineet/dieseloly](http://motiva.fi/liikenne/polttoaineet_ja_ajoneuvotekniikka/polttoaineet/dieseloly)

Neste Oil. 2007. Dieselpolttoaineopas. Espoo. Suomi. Savion Kirjapaino Oy. 46 s.

Neuvoston direktiivi 96/53/EY. 1996. Neuvoston direktiivi 96/53/EY, annettu 25 päivänä heinäkuuta 1996, tiettyjen yhteisössä liikkuvien tieliikenteen ajoneuvojen suurimmista kansallisessa ja kansainvälisessä liikenteessä sallituista mitoista ja suurimmista kansainvälisessä liikenteessä sallituista painoista. [WWW]. [viitattu 09.08.2012]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0053:FI:HTML>

Norden. 2008. Environmental Action Plan 2009-2012. Nordic Council of Ministers. Tanska. [WWW]. [viitattu 20.06.2012]. Saatavissa: [http://www.norden.org/fi/julkaisut/julkaisut/2008-736/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/fi/julkaisut/julkaisut/2008-736/at_download/publicationfile)

Norden. 2012. Tietoa Pohjoismaista. [WWW]. [viitattu 22.08.2012]. Saatavissa: <http://www.norden.org/fi/tietoa-pohjoismaista>

Norja.fi. 2012. Talous ja liike-elämä. Norjan virallinen sivusto Suomessa. [WWW]. [viitattu 10.09.2012]. Saatavissa: [http://www.norja.fi/About\\_Norway/business/](http://www.norja.fi/About_Norway/business/)

Norwegian Ministry of Transport and Communications. 2009. National Transport Plan 2010-2019, English version. [WWW]. [viitattu 04.09.2012]. Saatavissa: [http://www.regjeringen.no/Upload/SD/Vedlegg/NTP/Binder1ntp\\_engNY.pdf](http://www.regjeringen.no/Upload/SD/Vedlegg/NTP/Binder1ntp_engNY.pdf)

NTM. 2008. Environmental data for international cargo transport. Calculation methods and default data – mode specific issues. Road transport Europe. [WWW]. [viitattu 9.11.2012]. Saatavissa: <http://www.ntmcalc.org/index.html>

Oil-price.net. 2012. [WWW]. [viitattu 13.06.2012]. Saatavissa: <http://www.oil-price.net/>

Piecyk, M., I. 2010. Analysis of Long-term Freight Transport, Logistics and Related CO<sub>2</sub> Trends on a Business-as-Usual Basis. Väitöskirja. Heriot-Watt University. [WWW]. [viitattu 03.07.2012]. Saatavissa: [http://www.ros.hw.ac.uk/bitstream/10399/2326/1/PiecykMI\\_0510\\_sml.pdf](http://www.ros.hw.ac.uk/bitstream/10399/2326/1/PiecykMI_0510_sml.pdf)



Ruzzenenti, F. & Basosi, R. 2009. Evaluation of the energy efficiency evolution in the European road freight transport sector. *Energy Policy*, Vol. 37, Issue 10, pp. 4079-4085.

SACTRA. 1999. Transport and the economy: full report. Yhdistynyt kuningaskunta. Department for Transport. [WWW]. [viitattu 28.06.2012]. Saatavissa: [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20050301192906/http://dft.gov.uk/stellent/groups/dft\\_econappr/documents/pdf/dft\\_econappr\\_pdf\\_022512.pdf](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20050301192906/http://dft.gov.uk/stellent/groups/dft_econappr/documents/pdf/dft_econappr_pdf_022512.pdf)

Schwab K. 2012. The Global Competitiveness Report 2012-2013. World Economic Forum. [WWW]. [viitattu 06.09.2012]. Saatavissa: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalCompetitivenessReport\\_2012-13.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2012-13.pdf)

Sorrell, S., Lehtonen, M., Stapleton, L., Pujol, J. & Champion, T. 2012. Decoupling of road freight energy use from economic growth in United Kingdom. *Energy Policy*, Vol. 41, pp. 84-97.

Statistics Denmark. 2012. StatBank Denmark. [WWW]. [viitattu 21.08.2012]. Saatavissa: <http://www.statbank.dk/statbank5a/default.asp?w=1280>

Statistics Norway. 2012. StatBank Norway. [WWW]. [viitattu 21.08.2012]. Saatavissa: [http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default\\_FR.asp?Productid=10.12&PXSid=0&nv1=true&PLanguage=1&tilside=selecttable/MenuSelP.asp&SubjectCode=10](http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default_FR.asp?Productid=10.12&PXSid=0&nv1=true&PLanguage=1&tilside=selecttable/MenuSelP.asp&SubjectCode=10)

Statistics Sweden. 2012. Statistical database. [WWW]. [viitattu 21.08.2012]. Saatavissa: <http://www.ssd.scb.se/databaser/makro/start.asp?lang=2>

Swedish Energy Agency. 2011. Energy in Sweden 2011. CM Gruppen AB. 152 s.

Tapio, P. 2005. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, Vol. 12, Issue 2, pp.137-151.

Tetraplan & Grontmij. 2011. The Danish Road Directorate, Evaluation of Trial with European Modular System, Final report. [WWW]. [viitattu 09.08.2012]. Saatavissa: [http://www.modularsystem.eu/download/evaluation\\_of\\_trial\\_with\\_european\\_modular\\_system\\_final\\_report.pdf](http://www.modularsystem.eu/download/evaluation_of_trial_with_european_modular_system_final_report.pdf)

The Danish Government. 2011. Energy strategy 2050 – from coal, oil and gas to green energy. [WWW]. [viitattu 05.09.2012]. Saatavissa: [http://www.ens.dk/Documents/Netboghandel - publikationer/2011/Energy\\_Strategy\\_2050.pdf](http://www.ens.dk/Documents/Netboghandel-publikationer/2011/Energy_Strategy_2050.pdf)

The Norwegian Public Roads Administration. 2012a. Modulvogntog. [WWW]. [viitattu 14.09.2012]. Saatavissa: <http://www.vegvesen.no/Kjoretoy/Yrkestransport/Veglister+og+dispensasjoner/Modulvogntog>

The Norwegian Public Roads Administration. 2012b. Toll roads in Norway. [WWW]. [viitattu 17.09.2012]. Saatavissa: <http://www.vegvesen.no/en/Roads/Financial/Toll+roads>

Tilastokeskus 2012. Tilastot. [WWW]. [viitattu 21.08.2012]. Saatavissa: <http://tilastokeskus.fi/til/index.html>

Trafikanalys. 2012. Lastbilstrafik 2011, Swedish national and international road goods transport 2011. Statistik 2012:6. [WWW]. [viitattu 20.08.2012]. Saatavissa: [http://trafa.se/PageDocuments/Lastbilstrafik\\_2011.pdf](http://trafa.se/PageDocuments/Lastbilstrafik_2011.pdf)

United Nations. 1998. Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change. [WWW]. [viitattu 20.06.2012]. Saatavissa: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

United States Department of Energy. 2010. Diesel Power: Clean Vehicles for Tomorrow. Energy Efficiency & Renewable Energy, Vehicle technologies program. [WWW]. [viitattu 02.08.2012]. Saatavissa: [http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/diesel\\_technical\\_primer.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/diesel_technical_primer.pdf)

United States Environmental Protection Agency. 2012. Renewable and Alternative Fuels. Transportation & Air Quality, Fuels & Fuel Additives. [WWW]. [viitattu 31.07.2012]. Saatavissa: <http://www.epa.gov/otaq/fuels/alternative-renewablefuels/index.htm>

Vierth, I., Berell, H., McDaniel, J., Haraldsson, M., Hammarström, U., Yahya, M. R., Lindberg, G., Carlsson, A., Ögren, M. & Björketun, U. 2008. The effects of long and heavy trucks on the transport systems. Linköping. VTI. Report on a government assignment. VTI rapport 605A. [WWW]. [viitattu 14.09.2012]. Saatavissa: [http://www.modularsystem.eu/download/facts\\_and\\_figures/long\\_and\\_heavy\\_trucks\\_r605a.pdf](http://www.modularsystem.eu/download/facts_and_figures/long_and_heavy_trucks_r605a.pdf)

VTT. 2012. Low carbon Finland 2050. Suomi. [WWW]. [viitattu 16.11.2012]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2012/V2.pdf>

# LIITE 1: NST/R- JA NST2007- TAVARALAJILUOKITUS

NST/R (2000-2007)	
<b>Pääryhmä:</b>	<b>Kuvaus:</b>
0	Maataloustuotteet ja elävät eläimet
1	Elintarvikkeet ja rehut
2	Kiinteät polttoaineet
3	Öljytuotteet
4	Malmi ja metalliromu
5	Metallituotteet
6	Mineraalit ja rakennusmateriaalit
7	Lannoitteet
8	Kemikaalit
9	Koneet, kuljetusvälineet, erilaiset valmisteet ja sekalaiset tavarat
NST2007 (2008-2010)	
<b>Pääryhmä:</b>	<b>Kuvaus:</b>
1	Maatalous-, riistatalous- ja metsätaloustuotteet; kala ja muut kalastustuotteet
2	Kivihiili ja ruskohiili; raakaöljy ja luonnonkaasu
3	Metallimalmit ja muut kaivostuotteista ja louhinnasta saadut tuotteet; turve; uraani ja torium
4	Elintarvikkeet, juomat ja tupakka
5	Tekstiilit ja tekstiilituotteet; nahka ja nahkatuotteet
6	Puutavara, puu- ja korkkituotteet (ei kuitenkaan huonekalut); olki- ja punontatuotteet; massa, paperi ja paperituotteet; painotuotteet ja tallenteet
7	Koksi ja öljytuotteet
8	Kemikaalit, kemialliset tuotteet ja tekokuidut; kumi- ja muovituotteet; ydinpolttoaine
9	Muut ei-metalliset mineraalituotteet
10	Perusmetallit; metallituotteet, ei kuitenkaan koneet ja laitteet
11	Koneet ja laitteet, muualla luokittelemattomat; toimisto- ja tietokoneet; sähkökoneet ja -laitteet, muualla luokittelemattomat; radio-, televisio- ja tietoliikennevälineet ja -laitteet; lääkintäkojeet, hienomekaaniset kojeet ja optiset instrumentit; kellot
12	Kulkuneuvot
13	Huonekalut; muut tehdasvalmisteet, muualla luokittelemattomat
14	Kierrätysraaka-aineet; yhdyskuntajätteet ja muut jätteet
15	Posti- ja kuriiritoiminta
16	Tavarakuljetuksissa käytettävät välineet ja laitteet
17	Koti- ja toimistomuuttojen yhteydessä siirrettävät tavarat; erillään matkustajista kuljetettavat matkatavarat; korjattavaksi siirrettävät moottoriajoneuvot; muut ei-kaupalliset tavarat, muualla luokittelemattomat
18	Yhdistetyt tavarat: eri tavaryhmien sekoitus, joka kuljetetaan yhteisesti
19	Määrittelemättömät tavarat: tavarat, joita ei jostain syystä voida määrittellä eikä sen vuoksi luokitella ryhmiin 01–16
20	Muut tavarat, muualla luokittelemattomat

## LIITE 2: MAAKOHTAISET TIEKULJETUSTEN TOIMIALATARKASTELUT

Norja							
2000-2010 (puu- ja paperiteollisuus 2008-2010)	Maa- ja metsätalous	Elintarviketeollisuus	Kemianteollisuus	Kaivosala ja rakentaminen	Teknologiaeteollisuus	Puu- ja paperiteollisuus	Yhteensä (ilman palvelusektoria)
Osuus arvonlisäyksestä 2000→2010	9% → 12%	12% → 10%	10% → 8%	35% → 31%	34% → 34%	5% → 5%	
Osuus kuljetussuoritteesta 2000→2010	11% → 10%	22% → 22%	10% → 10%	15% → 16%	42% → 36%	8% → 7%	
Osuus energiasta ja CO <sub>2</sub> -päästöistä 2000→2010	8% → 9%	15% → 17%	5% → 5%	19% → 14%	33% → 33%	7% → 5%	
Arvonlisäyksen muutos	48 %	1 %	-1 %	6 %	24 %	-11 %	21 %
Kuljetussuoritteen muutos	13 %	21 %	14 %	33 %	4 %	-20 %	22 %
Energiakulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen muutos	41 %	46 %	31 %	-8 %	31 %	-20 %	32 %
CO <sub>2</sub> -intensiteetti [gCO <sub>2</sub> /€]	35,8 → 34,2	49,0 → 70,3	22,0 → 29,1	22,4 → 19,5	40,1 → 42,3	52,2 → 47,1	40,4 → 44,1
Kuljetusintensiteetti [tkm/€]	0,5 → 0,4	0,8 → 1,0	0,5 → 0,6	0,2 → 0,2	0,6 → 0,5	0,7 → 0,6	0,5 → 0,5
Energiätehokkuus [tkm/kWh]	3,9 → 3,2	4,4 → 3,6	5,8 → 5,0	2,3 → 3,3	3,7 → 3,0	3,4 → 3,4	3,0 → 2,8
Keskiarvo kuljetussuoritteen vuotuisista prosentuaalisista osuuksista (2000-2010)	10 %	24 %	9 %	16 %	39 %	7 %	

Ruotsi							
2000-2010 (puu- ja paperiteollisuus 2008-2010)	Maa- ja metsätalous	Elintarviketeollisuus	Kemianteollisuus	Kaivosala ja rakentaminen	Teknologiaeteollisuus	Puu- ja paperiteollisuus	Yhteensä (ilman palvelusektoria)
Osuus arvonlisäyksestä 2000→2010	5% → 4%	7% → 6%	9% → 12%	23% → 19%	57% → 48%	10% → 10%	
Osuus kuljetussuoritteesta 2000→2010	24% → 17%	14% → 16%	11% → 7%	12% → 11%	39% → 39%	12% → 10%	
Osuus energiasta ja CO <sub>2</sub> -päästöistä 2000→2010	19% → 13%	11% → 13%	7% → 5%	10% → 10%	36% → 39%	8% → 7%	
Arvonlisäyksen muutos	17 %	18 %	74 %	10 %	11 %	3 %	30 %
Kuljetussuoritteen muutos	-27 %	18 %	-33 %	1 %	5 %	-31 %	5 %
Energiakulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen muutos	-28 %	25 %	-30 %	3 %	17 %	-28 %	7 %
CO <sub>2</sub> -intensiteetti [gCO <sub>2</sub> /€]	145,0 → 88,9	63,8 → 67,4	30,0 → 12,0	17,3 → 16,2	24,1 → 25,4	29,9 → 20,8	38,2 → 31,3
Kuljetusintensiteetti [tkm/€]	2,7 → 1,7	1,2 → 1,2	0,7 → 0,3	0,3 → 0,3	0,4 → 0,4	0,7 → 0,5	0,6 → 0,5
Energiätehokkuus [tkm/kWh]	5,0 → 5,0	4,8 → 4,5	6,0 → 5,8	4,3 → 4,2	4,3 → 3,8	6,0 → 5,7	3,9 → 3,8
Keskiarvo kuljetussuoritteen vuotuisista prosentuaalisista osuuksista (2000-2010)	22 %	15 %	10 %	11 %	39 %	12 %	

Suomi							
2000-2010 (puu- ja paperiteollisuus 2008-2010)	Maa- ja metsätalous	Elintarviketeollisuus	Kemianteollisuus	Kaivosala ja rakentaminen	Teknoliateollisuus	Puu- ja paperiteollisuus	Yhteensä (ilman palvelusektoria)
Osuus arvonlisäyksestä 2000→2010	10% → 10%	5% → 5%	6% → 7%	23% → 23%	56% → 44%	12% → 11%	
Osuus kuljetussuoritteesta 2000→2010	29% → 20%	12% → 12%	14% → 11%	19% → 20%	26% → 26%	11% → 11%	
Osuus energiasta ja CO <sub>2</sub> -päästöistä 2000→2010	20% → 15%	12% → 12%	9% → 6%	14% → 14%	26% → 29%	6% → 6%	
Arvonlisäyksen muutos	13 %	28 %	36 %	17 %	-8 %	-17 %	17 %
Kuljetussuoritteen muutos	-34 %	-4 %	-28 %	2 %	-9 %	-5 %	-6 %
Energiakulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen muutos	-30 %	-6 %	-30 %	-5 %	7 %	-13 %	-4 %
CO <sub>2</sub> -intensiteetti [gCO <sub>2</sub> /€]	120,4 → 75,4	159,6 → 117,1	86,2 → 44,5	37,1 → 30,0	27,7 → 32,4	25,2 → 26,6	60,6 → 49,9
Kuljetusintensiteetti [tkm/€]	2,1 → 1,2	1,9 → 1,4	1,7 → 0,9	0,6 → 0,5	0,3 → 0,3	0,5 → 0,6	0,7 → 0,6
Energiätehokkuus [tkm/kWh]	4,6 → 4,3	3,2 → 3,3	5,2 → 5,3	4,2 → 4,5	3,3 → 2,8	5,2 → 5,6	3,2 → 3,1
Keskiarvo kuljetussuoritteen vuotuisista prosentuaalisista osuuksista (2000-2010)	24 %	13 %	14 %	19 %	27 %	10 %	

Tanska							
2000-2010 (puu- ja paperiteollisuus 2008-2010)	Maa- ja metsätalous	Elintarviketeollisuus	Kemianteollisuus	Kaivosala ja rakentaminen	Teknoliateollisuus	Puu- ja paperiteollisuus	Yhteensä (ilman palvelusektoria)
Osuus arvonlisäyksestä 2000→2010	6% → 6%	11% → 11%	7% → 12%	23% → 25%	39% → 41%	5% → 4%	
Osuus kuljetussuoritteesta 2000→2010	13% → 16%	26% → 21%	10% → 7%	27% → 20%	23% → 32%	5% → 4%	
Osuus energiasta ja CO <sub>2</sub> -päästöistä 2000→2010	13% → 14%	21% → 17%	7% → 5%	19% → 15%	27% → 34%	4% → 4%	
Arvonlisäyksen muutos	-20 %	-26 %	29 %	-15 %	-20 %	-24 %	-24 %
Kuljetussuoritteen muutos	17 %	-23 %	-35 %	-30 %	34 %	-10 %	-4 %
Energiakulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen muutos	-5 %	-30 %	-39 %	-29 %	12 %	-12 %	-11 %
CO <sub>2</sub> -intensiteetti [gCO <sub>2</sub> /€]	66,3 → 78,7	55,2 → 52,2	30,4 → 14,5	25,5 → 21,2	20,4 → 28,7	26,1 → 30,3	34,6 → 30,9
Kuljetusintensiteetti [tkm/€]	0,6 → 0,8	0,6 → 0,6	0,4 → 0,2	0,3 → 0,3	0,2 → 0,3	0,3 → 0,3	0,3 → 0,3
Energiätehokkuus [tkm/kWh]	2,2 → 2,8	2,8 → 3,1	3,4 → 3,6	3,1 → 3,1	1,9 → 2,3	2,7 → 2,7	2,3 → 2,4
Keskiarvo kuljetussuoritteen vuotuisista prosentuaalisista osuuksista (2000-2010)	13 %	19 %	6 %	18 %	29 %	4 %	