

## Lujien teräslaatujaen vaikutus ajoneuvojen hiilijalanjälkeen

BioForeConceptCar

Jani Mäläskä

Tuotantotalouden opinnäytetyö  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Insinööri (AMK)

KEMI 2013

## ALKUSANAT

Haluan kiittää DI Jukka Joutsenvaaraa opinnäytetyön aiheesta ja työn valvomisesta sekä DI Tuomo Palokangasta työn ohjaamisesta. Lisäksi haluan kiittää Ruukki Metals Oy:n Tuotekehitysinsinööri Ari Minkistä hyvistä neuvoista, kommenteista ja ohjeista.

## TIIVISTELMÄ

## KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Koulutusohjelma:	Tuotantotalous
Tekijä:	Jani Mäläskä
Opinnäytetyön nimi:	Lujien teräslaatuksen vaikutus ajoneuvojen hiilijalanjälkeen
Sivuja (+liitteitä):	39
Päiväys:	11.3.2013
Opinnäytetyön ohjaajat:	DI Tuomo Palokangas DI Jukka Joutsenvaara
<p>Tämän työn tarkoituksena oli perehtyä ajoneuvoteollisuudessa käytettävien korkealujuisten monifaasiteräslaatuksen eli AHSS-teräslaatuksen hiilijalanjälkeen vaikuttaviin tekijöihin. Tarkoitus oli myös selvittää, kuinka paljon ajoneuvon hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa valmistamalla yksi ajoneuvon osa lujemmasta teräslaadusta.</p> <p>Kiristyvien päästövaatimusten ja Suomessa voimaan tulleen uuden päästöihin sidotun ajoneuvoverolain myötä ajoneuvojen hiilijalanjälki ja päästöt ovat saaneet enemmän huomiota kuluttajilta. Hiilijalanjälkeä arvioitaessa käytettävissä on useita standardeja ja ohjeistuksia, mutta suurimmassa osassa on puutteita, erityisesti rajauksessa. Kansainvälinen standardisoimisjärjestön ISO/DIS 14067-standardin odotetaan yhtenäistävän hiilijalanjäljen määrittämistä sekä helpottavan hiilijalanjäljen selvittämistä ja tutkimuksen rajausta.</p> <p>Työ tehtiin kirjallisuusselvityksenä keräämällä tietoa kotimaisista ja ulkomaisista lähteistä, joissa on perehdytty hiilijalanjälkeen yleisesti sekä erityisesti ajoneuvojen hiilijalanjälkeen.</p> <p>Erikoislujia teräksiä tutkittaessa huomattiin niiden kiistattomat edut pyrittäessä pienentämään ajoneuvojen hiilijalanjälkeä. Uudenlaisilla muovausmenetelmillä niistä pystytään valmistamaan turvallisuusstandardit ja nykyajan päästövaatimukset täyttäviä komponentteja ajoneuvoihin. Laskutoimitusten jälkeen huomattiin, että jo pienillä muutoksilla ajoneuvon materiaalivalinnoissa voidaan pienentää ajoneuvon hiilijalanjälkeä.</p>	
Asiasanat: hiilijalanjälki, AHSS, teräs, ekologisuus, autoteollisuus.	

## ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Education

Degree programme:	Industrial management
Author:	Jani Mäläskä
Thesis title:	The influence of High Strength Steel Grades on Vehicles carbon footprint.
Pages:	39
Date:	3/11/2013
Thesis instructors:	Tuomo Palokangas, MSc. Jukka Joutsenvaara, MSc.
<p>The purpose of this thesis was to study the effects that the high strength steels used in the car industry have on the carbon footprint of a car. One of the objectives was also to find out how much you can influence the carbon footprint of a car when manufacturing one part of a car by using a stronger steel grade.</p> <p>The ever tightening emission standards and with the newly introduced Finnish emission bound road tax based on vehicles carbon footprint and emissions are having a very important role when competing for consumers' money. When assessing the carbon footprint there are several standards and guidelines available. None of these standards and guidelines are complete and there are some shortages especially in defining. When released, ISO/DIS 14067 standard will hopefully help to define the carbon footprint of products and services.</p> <p>This study was done as a literature review, by collecting information from domestic and international sources of information about carbon footprint and especially carbon footprint of vehicle.</p> <p>When studying high strength steels, it is easy to notice their absolute advantages towards reducing the carbon footprint. With new kind of forming methods it is possible to manufacture vehicle parts that meet the high safety regulations and modern emission regulations.</p>	
Keywords: carbon footprint, AHSS, steel, car industry, environment	

## SISÄLLYS

ALKUSANAT .....	II
TIIVISTELMÄ .....	III
ABSTRACT .....	IV
SISÄLLYS .....	V
1. JOHDANTO .....	1
2. HIILIJALANJÄLKI.....	3
2.1 Kasvihuonekaasut .....	3
2.2. Hiilijalanjälki käsitteenä .....	5
2.3 Hiilijalanjäljen merkitys.....	8
2.4 Ekologinen jalanjälki .....	8
2.5 Elinkaariajattelu .....	9
3. LIIKKUVAN KALUSTON HIILIJALANJÄLKI.....	11
3.1 Hiilijalanjälki ajoneuvoteollisuudessa .....	11
3.2 Ajoneuvojen hiilijalanjäljen pienentäminen .....	12
4. ERIKOISLUJAT TERÄKSET .....	13
4.1 AHSS- ja UHSS-Teräslaadut .....	13
4.2 AHSS-teräslaadut ja niiden ominaisuudet .....	14
4.2.1 Kaksi- ja monifaasiteräokset .....	16
4.2.2 TRIP-teräokset ja martensiittiset teräokset .....	16
4.3 AHSS-teräslaatujen asettamat rajoitteet tuotannossa.....	17
5. AHSS-TERÄSTEN LÄMPÖKÄSITTELYT .....	18
5.1 Booriseosteisten terästen muottiinkarkaisu.....	18
5.2 Muottiinkarkaisuprosessi .....	18
5.2.1 Suora muottiinkarkaisuprosessi .....	19
5.2.2 Epäsuora muottiinkarkaisuprosessi.....	20
6. HIILIJALANJÄLJEN MÄÄRITTÄMINEN.....	21
6.1 PAS 2050 .....	22
6.1.1 PAS 2050 - Rajaus .....	22
6.1.2 PAS 2050 – Tiedon kerääminen .....	23
6.2 Valtion ympäristöhallinnon hiilijalanjälki-laskurit .....	24

6.2.1 Synergia .....	24
6.2.2 Y-Hiilari .....	25
6.3 CcaLC-Laskuri .....	25
6.4 GHG-Protocol .....	25
7. KUUMAMUOVATUN JA PERINTEISEN MONIFAASITERÄKSISEN KOMONENTIN EROT HIILIJALANJÄLJEN KANNALTA .....	26
7.1. Thyssenkrupp InCar-konseptiauto .....	26
7.2 MBW 1500/ MHZ 340 B-pilari .....	27
7.3 Referenssi B-Pilari DP-W600 .....	28
7.4 Valmistuskustannusten vertailu .....	30
7.5 Vastaavuudet Ruukin tuotevalikoimassa .....	30
7.6 Kuljetusvälineistön hiilijalanjälki .....	31
8. OSIEN VALMISTETTAVUUS .....	33
9. YHTEENVETO .....	36
LÄHTEET .....	37

## 1. JOHDANTO

Alati kallistuvat polttoainehinnat, kiristyvät päästörajoitukset ja Suomessa voimaan tullut uusi päästöihin sidottu ajoneuvovero. Nämä ovat niitä syitä, jonka vuoksi usean tavallisen kuluttajankin huomio kiinnittyy ajoneuvoa valittaessa päästöihin ja polttoaineen kulutukseen. Ajoneuvojen hiilijalanjälkeen voidaan pyrkiä vaikuttamaan keventämällä henkilöauton korin rakennetta. Tämän vuoksi keveiden ja lujien monifaasiterästen osuus autojen korirakenteessa kasvaa koko ajan.

Päästöjen mittaamisessa terminä käytetään yleisesti hiilijalanjälkeä, joka on yleisestä käytöstä huolimatta terminä yhä vakiintumaton. Sille on olemassa useita määritelmiä ja standardeja, mutta ei yhtä yleisesti hyväksyttyä. Yleisesti hiilijalanjäljen mielletään tarkoittavan yhden palvelun tai tuotteen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen.

Tämä opinnäytetyö on kirjallisuusselvitys, jossa perehdytään hiilijalanjälkeen yleisesti sekä ajoneuvoteollisuuden näkökulmasta. Työssä perehdytään hiilijalanjäljen käsitteeseen sekä siihen, miten sen laskeminen on ohjeistettu eri lähteissä. Lisäksi selvitetään, kuinka yhden ajoneuvon osan vaihtaminen lujempaan teräslaatuun vaikuttaa ajoneuvon koko elinkaaren aikaiseen hiilijalanjälkeen. Työssä perehdytään eri monifaasiteräslajeihin. Lisäksi selvitetään muottiinkarkaistun teräksen valmistusmenetelmiä sekä mahdollisuuksia autoteollisuudessa.

Yhden komponentin vaihtamisen aiheuttama painonsäästö ja vaikutus hiilijalanjälkeen tutkitaan tutkimusraporttien ja vertailujen pohjalta. Pieni osuus tutkimuksesta perustuu omiin laskelmiin. Lujempaan teräslaatuun vaihtaminen on ekologisempaa ja kustannustehokkaampaa. Samaan aikaan ajoneuvojen hiilijalanjäljen pienentämisessä ja painonsäästöissä on otettava huomioon myös tarkat turvallisuusstandardit. Tämä vaikeuttaa suunnittelijoiden työtä entisestään huomattavasti. Lisäksi ohuiden ja lujien komponenttien muovaamiseen tarvitaan uudenlaisia muovausmenetelmiä, joilla voidaan vähentää komponenttien muovauksen jälkeistä takaisinjousto.

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana BioForeConceptCar-projektia, jossa ovat osallisina mm. Ruukki, Kemi-Tornio Ammattikorkeakoulun tutkimus ja kehitysyksikkö sekä Metropolia AMK.

## 2. HIILIJALANJÄLKI

Hiilijalanjälki on vakiinnuttanut käsitteenä asemansa yritysten, median ja poliitikkojen ympäristöä koskevissa keskusteluissa ja tiedonannoissa. Hiilijalanjäljestä on tullut myös tärkeä mittari mitattaessa yrityksen, yksilön, tuotteen tai palvelun vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Hiilijalanjäljen standardoimattomuus on johtanut kuitenkin siihen, ettei ole olemassa vakiintunutta ja yhtenäistä näkemystä siitä miten hiilijalanjälki pitäisi mitata tai määrittää. Kaikissa hiilijalanjäljen määritelmissä yhteistä on vain lähtökohta, jonka mukaan hiilijalanjälki edustaa tiettyä määrää kasvihuonekaasupäästöjä, jotka johtuvat ihmisen tuotannosta tai kulutuksesta. Mittareita löytyy aina suorista hiilidioksidipäästöistä koko elinkaaren mittaisiin kasvihuonekaasupäästöihin eivätkä edes mittayksiköt ole yhtenäiset. (Wiedmann & Minx 2007, 2.)

Hiilijalanjäljen määrittämisen toivotaan yhtenäistyvän ja helpottuvan, kun kansainvälinen standardisoimisjärjestö julkaisee hiilijalanjäljen mittaamista ja siitä tiedottamista koskevan standardinsa ISO/DIS 14067. (Suomen standardisoimisliitto SFS www-sivut 2012, hakupäivä 14.5.2012)

### 2.1 Kasvihuonekaasut

Kasvihuonekaasu tulee terminä usein vastaan tutustuesssa hiilijalanjälkeen ja ihmisen toiminnan vaikutuksiin ilmaston lämpenemisessä. On siis syytä käydä läpi, mitä kasvihuonekaasut ovat ja miten ne liittyvät ilmaston lämpenemiseen.

Kasvihuonekaasu on mikä tahansa kaasun muodossa oleva aines, joka vangitsee lämpöä atmosfääriin kasvihuoneilmiön muodossa. Monet kasvihuonekaasut esiintyvät luonnossa ilman ihmisen toimintaakin, jotkut kasvihuonekaasut taas ovat synteettisiä, eikä niitä esiinny luonnossa muuten kuin ihmisen toiminnan seurauksena. Teollisen vallankumouksen jälkeen kaikkien kasvihuonekaasujen pitoisuudet atmosfäärissä ovat olleet nousussa. (Walser 2012, hakupäivä 14.5.2012)

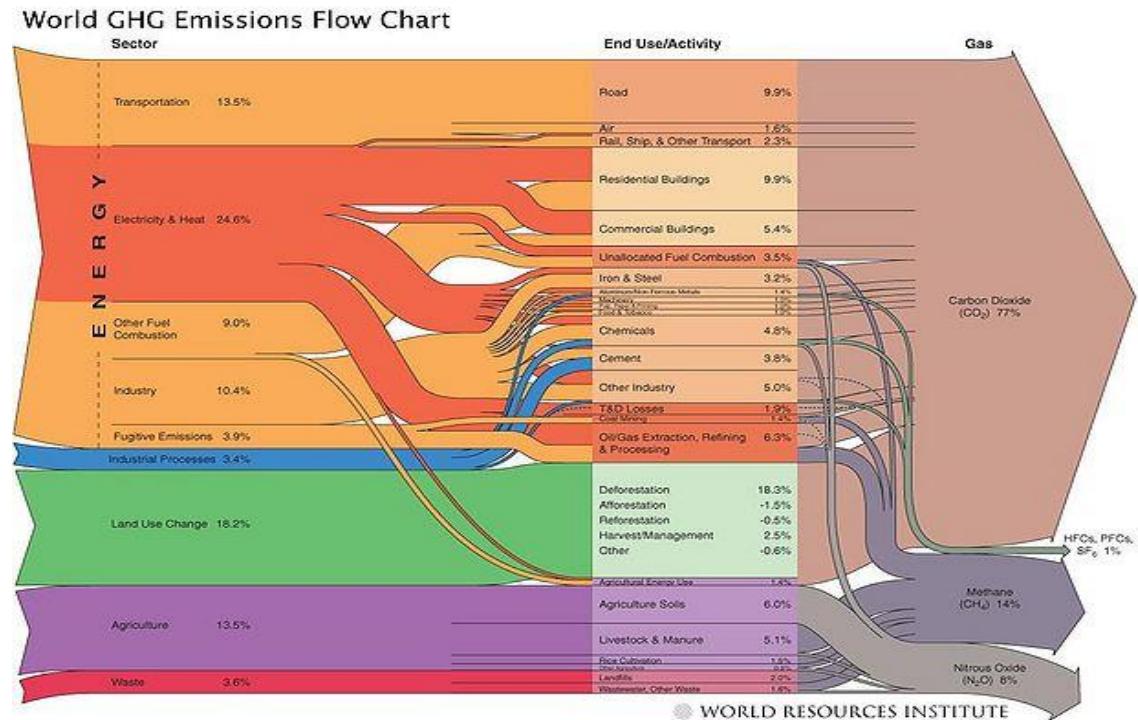
Taulukossa 1 esitellään tärkeimmät kasvihuonekaasut, niiden elinaika ilmakehässä ja suhteellinen vaarallisuus hiilidioksidiin verrattuna. Kaasujen vertailussa käytetään

yksikkönä GWP:tä eli Global warming potentialia. Sillä mitataan kaasun aiheuttamaa lämmitysvaikutusta massayksikköä kohti 20 tai 100 vuoden aikana, hiilidioksidiin verrattuna.

**Taulukko 1. Yleisimmät kasvihuonekaasut, niiden elinikä ja ilmastonlämmityspotentiaali. (Ilmastositut, hakupäivä 14.5.2012)**

Kaasu	Elinaika (v)	GWP 20v	GWP 100v
Hiilidioksidi	50-200	1	1
Metaani	12	72	25
Dityppioksidi	114	310	298
HFC:t	1,4-270	437-12 000	124-14 800
PFC:t	2600-50000	5210-8630	7390-12200
SF6	3200	16300	22800
CFC:t	45-1700	5310-11000	4750-14400
HCFC:t	1,3-17,9	273-5490	77-2310
Halonit	16-65	3680-8480	1640-7140

Kuvassa 1 esitellään ihmisen tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen jakauma. Kaaviossa tämän työn kannalta huomioitavaa on ylimpänä mainitut kuljetusalan päästöt, jotka ovat n. 13,5 % kokonaispäästöjästä. Tästä kumipyöräkuljetusten osuus on 9,9 %.



**Kuva 1. Maailman kasvihuonekaasupäästöjen jakauma vuonna 2000 (World resources institute 2000, hakupäivä 14.5.2012)**

## 2.2. Hiilijalanjälki käsitteenä

Hiilijalanjäljelle löytyy useita määritelmiä. Taulukossa 2 on listattu erilaisia määritelmiä hiilijalanjäljelle. Taulukko löytyy teoksista A definition of carbon footprint (Wiedmann & Minx 2007, 3), Tuotteen hiilijalanjälki ja sen laskenta (Meiseri 2010, 3) ja Ruostumattoman teräksen hiilijalanjälkeen vaikuttavat tekijät (Norman 2012, 2 - 4). Taulukkoa on täydennetty PAS 2050-spesifikaation hiilijalanjälkimääritelmällä.

**Taulukko 2. Hiilijalanjälki -termin määritelmiä (Wiedmann & Minx 2007, 3; Meiseri 2010, 3; Norman 2012, 2 - 4)**

Lähde	Määritelmä
BP 2007	Hiilijalanjälki on se hiilidioksidin määrä, jonka tuotat päivittäisissä aktiviteeteissa, aina pyykinpesusta lasten koulukyyteihin asti.
British sky broadcasting (SKY) (Patel 2006)	Hiilijalanjälki on määritetty laskemalla hiilidioksidi-ekvivalentti päästöt yhtiön omistamien tilojen, koneiden, liikematkojen ja kaatopaikkakäsittelyn osalta.
Carbon trust (2007)	<p>“... metodologia, jota käytetään arvioimaan kasvihuonekaasupäästöt hiilidioksidi-ekvivalenttia kohden tuotteen elinkaaren ajalta, aina raaka-aineen tuotannosta käytetyn tuotteen loppukäsittelyyn asti. (poislukien käytön aikaiset päästöt)”</p> <p>”...tekniikka, jolla tunnistetaan ja mitataan yksittäisten aktiviteettien kasvihuonekaasupäästöt tuotantoketjun jokaiselle osalle ja tuotetulle tuotteelle”</p> <p>(CarbonTrust 2007, p.4)</p>
Energetics (2007)	”...yrityksen tuottamien suorien ja epäsuorien hiilidioksidipäästöjen kokonaismäärä”
ETAP (2007)	”...hiilijalanjälki on mittari, jolla mitataan ihmisen toiminnan ympäristölle aiheuttamaa kuormitusta kasvihuonekaasupäästöjen muodossa, mittayksikkönä käytetään

	hiilidioksiditonnetta.”
Global footprint network (2007)	”...määrä biokapasiteettia, joka vaaditaan eristämään (fotosynteesin avulla) fossiilisten polttoaineiden avulla tuotettu hiilidioksidimäärä.”
Grup & Ellis (2007)	”Hiilijalanjälki on mittari fossiilisten polttoaineiden aiheuttamien päästöjen tuottamalle määrälle hiilidioksidia. Yrityksen ollessa kyseessä, se tarkoittaa hiilidioksidia, jonka yritys tuottaa joko suoraan tai epäsuorasti jokapäiväisessä toiminnassaan. Se saattaa myös viitata määrään fossiilista energiaa, joka on käytetty markkinoille tulevan tuotteen tai palvelun valmistuksessa.”
Parliamentary Office of Science and Technology (POST 2006)	”Hiilijalanjälki on hiilidioksidi- ja kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärä tuotteen tai palvelun koko elinkaaren ajalta. Se ilmoitetaan grammoina hiilidioksidiekvivalenttia per kilowattitunti tuotantoa (gCO <sub>2</sub> eq/kWh), mikä kattaa erilaiset ilmastonlämpenemisvaikutukset myös muista kasvihuonekaasuista.”
PAS 2050 (2008)	”Tietyn tapahtuman tai kokonaisuuden aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen määrä koko elinkaaren aikana.”

Hiilijalanjälki voidaan jakaa primääriseen ja sekundääriseen hiilijalanjälkeen. Primäärisellä tarkoitetaan fossiilisten polttoaineiden, energian kulutuksen ja logistiikan

tuottamien suorien kasvihuonekaasupäästöjen summaa. Esimerkiksi vähemmän polttoainetta kuluttavalla autolla on pienempi hiilijalanjälki. Sekundäärinen hiilijalanjälki tarkoittaa epäsuorien kasvihuonekaasupäästöjen summaa tuotteen elinkaaren ajalta. Yleensä sellaiset tuotteet, jotka on pakattu useaan kertaan tuottavat enemmän sekundääristä hiilijalanjälkeä kuin yksinkertaisesti pakatut. (Walser 2012, hakupäivä 14.5.2012)

Tässä työssä hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteen koko elinkaaren aikana synnyttämien kasvihuonekaasupäästöjen määrää esitettynä hiilidioksidiekvivalenttina eli käytännössä PAS 2050-spesifikaation määritelmän mukaan. (Guide for PAS 2050, hakupäivä 16.7.2012)

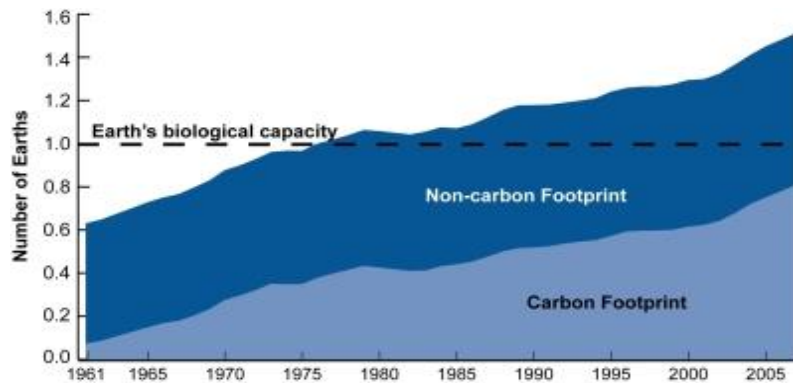
### 2.3 Hiilijalanjäljen merkitys

Ihmiskunnan hiilijalanjälki on kasvanut huimaa vauhtia 1960-luvulta lähtien. Se on jo jopa 11-kertainen noihin aikoihin verrattuna. Tällä hetkellä ihmisten tärkeimpiä pyrkimyksiä kaikessa kehityksessä on hiilijalanjäljen pienentäminen, jotta voisimme elää planeettamme biologisen kapasiteetin rajoissa. Tämä onkin näkynyt suurten yritysten politiikassa, jossa on alettu painottamaan ympäristöystävällisyyttä. Siitä on tullut tärkeä osa monien suuryritysten imagoa. Uusien teknologioiden kehittämisessä tärkeää on tutkia sitä, mitkä ovat sen vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin ja selvittää kaikki keinot, joilla niitä voitaisiin kunkin tuotteen tai palvelun kehittämisessä vähentää. (Global Footprint Network 2012, hakupäivä 15.5.2012)

### 2.4 Ekologinen jalanjälki

Ekologisen jalanjäljen hiilikomponentti eroaa hieman hiilijalanjäljestä. Hiilijalanjäljessä määritetään yksilön tai yrityksen tuottamaa hiilidioksidimäärää tonneissa. Ekologisen jalanjäljen hiilikomponentissa tuo hiilidioksidin määrä muunnetaan sellaisen metsä- tai meri-alueen alaksi, joka tarvitaan poistamaan aiheutetut hiilidioksidipäästöt. Hiilijalanjälki on n. 54% ekologisesta jalanjäljestä, ja se on ekologisen jalanjäljen nopeimmin kasvava komponentti. Ihmisen ekologisen jalanjäljen kehitys vuodesta 1961 tähän päivään on johtanut siihen, että tällä hetkellä ekologinen jalanjälkemme on n. 1,6

maapallon kokoinen. Elämme siis reilusti yli luonnonvarojen sietokyvyn. Tämä kehitys voidaan havaita kuvasta 2. (Global Footprint Network 2012, hakupäivä 15.5.2012)



**Kuva 2. Ihmisen ekologinen jalanjälki (Global Footprint Network 2012, hakupäivä 15.5.2012)**

## 2.5 Elinkaariajattelu

Elinkaariajattelun mukaisesti yrityksillä on tuotteistaan elinkaarivastuu. Tämä tarkoittaa, että yritys on vastuussa tuotteensa ympäristövaikutuksista aina raaka-aineiden hankinnasta valmiiksi tuotteeksi ja edelleen jäte- ja kierrätysvaiheeseen asti. (Linnanen & Boström & Miettinen 1994, 18)

Tuotteen tai palvelun ilmastovaikutuksia arvioitaessa tulee siis ottaa huomioon kaikkien aiheuttamat päästöt koko elinkaaren ajalta. Näin ollen hiilijalanjäljen määrittäminen on voimakkaasti sidoksissa elinkaariarviointiin. (Kontiokorpi 2011, 35)

Elinkaariarvioinnin suunnitteluvaiheessa on parhaat mahdollisuudet puuttua tuotteen tai palvelun aiheuttamaan ympäristökuormitukseen. Tämä tapahtuu tunnistamalla ne elinkaaren vaiheet, jotka aiheuttavat eniten hiilidioksidipäästöjä ja keskittyä niiden vaiheiden parannuksiin. Elinkaariajatteluun kuuluu myös kasvihuonekaasuinventaario, joka on yritykselle tehokas mittari ympäristökuorman ja hiilijalanjäljen selvittämisessä. (Linnanen & Boström & Miettinen 1994, 149; Kontiokorpi 2011, 35)

Nykyaikana ympäristötietoisuudesta on tullut vahva osa monien yritysten imagoa. Monille kuluttajille ja sijoittajille ympäristöystävällisyys ja hiilijalanjälki voi olla tärkeä mittari ostopäätöksiä tehtäessä. Markkinoille on ilmaantunut yrityksiä, joiden päätoiminen tehtävä on elinkaariarvioiden, hiilijalanjäljen ja muiden ympäristömittareiden selvittäminen muille yrityksille.

### 3. LIIKKUVAN KALUSTON HIILIJALANJÄLKI

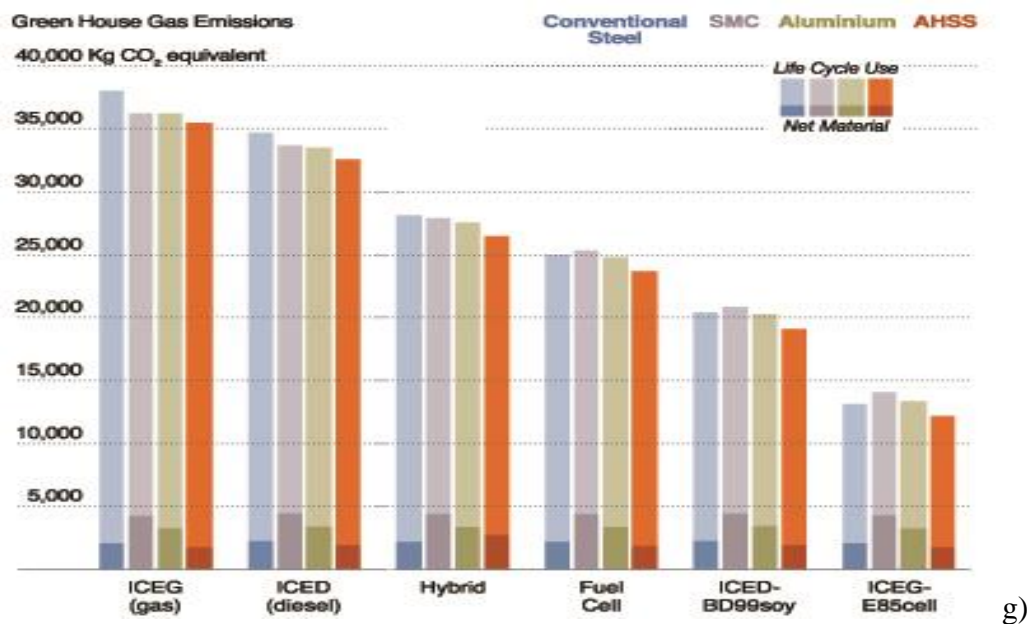
Kuten kuvassa 1 todettiin, kuljetusvälineistön tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen osuus kokonaispäästöistä on n.13,8 %, josta tiekuljetusten osuus on 9,9 %. Autolla ajo tuottaa Suomessa n. 15 % yksityisten kotitalouksien 9 hiilidioksiditonin hiilijalanjäljestä. Nykyisten bensiini- ja dieselautojen käytön aikaiset päästöt, kun autolla ajetaan 200 000 km, ovat noin 80 - 90 % autojen koko elinkaaren aikaisista päästöistä. Osuus kasvaa, kun autolla ajetaan enemmän. (Seppälä 2010, hakupäivä 16.5.2012)

#### 3.1 Hiilijalanjälki ajoneuvoteollisuudessa

Ajoneuvoteollisuudessa hiilijalanjäljen määrittäminen keskittyy pääasiallisesti pakokaasupäästöjen määrittämiseen, eli käytön aikaisien päästöjen vertailuun. Tämä ei tietenkään anna koko elinkaaren ajalta kuvaa ajoneuvon hiilijalanjäljestä. Keskittyminen pelkkiin käytön aikaisiin päästöihin saattaa jopa tahattomasti johtaa valmistuksen tai hävittämisen aikaisien päästöjen kasvamiseen, ja näin ollen koko elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen kasvamiseen. Tämän vuoksi ainoa oikea tapa arvioida ajoneuvojen hiilijalanjälkeä on käyttää elinkaarianalyysiä. Tällä varmistutaan siitä, ettei vaihtoehtoisten materiaalien käyttö vaikuta haitallisesti ajoneuvon koko elinkaaren aikaiseen hiilijalanjälkeen. (WorldAutoSteel 2012, hakupäivä 16.5.2012)

Tähänastisissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että suurin merkitys hiilijalanjäljen kannalta on nimenomaan käytön aikaisissa päästöissä. Materiaalivalinnoilla ei yksistään pystytä vaikuttamaan merkittävästi kasvihuonekaasupäästöihin ja hiilijalanjälkeen. Tämä selviää myös kuvassa 3 olevasta kaaviosta. Se on WorldAutoSteelin teettämästä tutkimuksesta, jossa vertailtiin eri materiaalivalintojen vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin. Kaaviossa on lisäksi otettu huomioon eri polttoainevalintojen ja eri voimansiirtomenetelmien vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Kaaviossa sinisellä on perinteinen teräs, violetilla SMC-komposiitti, vihreällä alumiini ja punaisella AHSS-teräs. Vaaka-akselilla on eri polttoainevalinnat, eli hybridi, bensiini, diesel ja eri biopolttoaineet ja pystyakselilla kasvihuonekaasupäästöt kiloina hiilidioksidiekvivalenttia. (WorldAutoSteel 2012,

hakupäivä 16.5.2012)



**Kuva 3. Materiaali- ja polttoainevalintojen merkitys ajoneuvon kasvihuonekaasupäästöjen kannalta (WorldAutoSteel 2012, hakupäivä 16.5.2012)**

### 3.2 Ajoneuvojen hiilijalanjäljen pienentäminen

Kuvan 3 kaavion mukaan AHSS-teräksen käyttö ajoneuvoissa auttaa pienentämään kasvihuonekaasupäästöjä. Muutos perinteisen teräksen käyttöön nähden ei ole merkittävä, mutta yhdistettynä oikeisiin käyttövoima- ja voimansiirtomenetelmien valintoihin saadaan aikaan huomattavasti pienempiä päästöjä. Puhutaan jopa useasta kymmenestä tonnista hiilidioksidiekvivalenttia. (WorldAutoSteel 2012, hakupäivä 16.5.2012)

Samalla kun uusien biopolttoaineiden ja hybridi-autojen sukupolvet parantavat ajoneujomme ympäristötehokkuutta, on entistä tärkeämpää keskittyä myös materiaalivalinnoissa ekologisiin ja ympäristöä mahdollisimman vähän kuormittaviin materiaaleihin, jotta saadaan ajoneuvojen elinkaarenaikaiset hiilidioksidipäästöt mahdollisimman pieniksi. (WorldAutoSteel 2012, hakupäivä 16.5.2012)

#### 4. ERIKOISLUJAT TERÄKSET

Kasvavien polttoaineen hintojen sekä ympäristövaatimusten myötä autonvalmistajien keskuudessa on kasvavaa kysyntää keinoille, joilla voidaan laskea ajoneuvojen painoa ja näin ollen pienentää polttoaineen kulutusta sekä hiilijalanjälkeä. Ajoneuvojen painon laskiessa rakenteellinen suorituskyky ja turvallisuus tulee kuitenkin säilyttää. Näin ollen tarvitaan lujempia teräslaatuja, jotta ohuempien ja kevyempien teräslevyjen käyttö mahdollistuisi. (Gan, Babu, Kapustka & Wagoner 2006)

Erikoislujat hitsattavat rakenneteräkset eli HSLA (High Strength Low Alloy) -teräkset ovat matalahiilisiä teräksiä. Niiden lujuus, korroosionkestävyys sekä sitkeys ovat usein parempia tavanomaisiin rakenneteräksiin verrattuna. HSLA-teräksiin kuuluu rakenteeltaan ferriittis-perliittisiä, bainiittisiä, asikulaaris ferriittisiä tai ferriittis-martensiittisiä teräksiä. Kaksifaasiteräksiin näistä luetaan teräkset, jotka ovat rakenteeltaan ferriittis-martensiittisiä tai ferriittis-bainiittisiä. Kaksi- tai monifaasiteräksiä nimitetään AHSS (Advanced High Strength Steel) -teräslaaduiksi. Kun erikoislujan teräslaadun myötöraja ylittää 550 MPa, ne luetaan UHSS (Ultra High Strength Steel) -teräksiin, eli ultalujiin teräksiin. (Lindroos & Sulonen & Veistinen. 1986. Kivivuori & Härkönen 2004)

##### 4.1 AHSS- ja UHSS-Teräslaadut

Tällä hetkellä noin 30-40% monien uusien autojen osista valmistetaan jo AHSS-laaduista. Autonvalmistajat toivovat saavansa AHSS-laaduista ainakin seuraavia etuja verrattuna perinteisiin teräksiin:

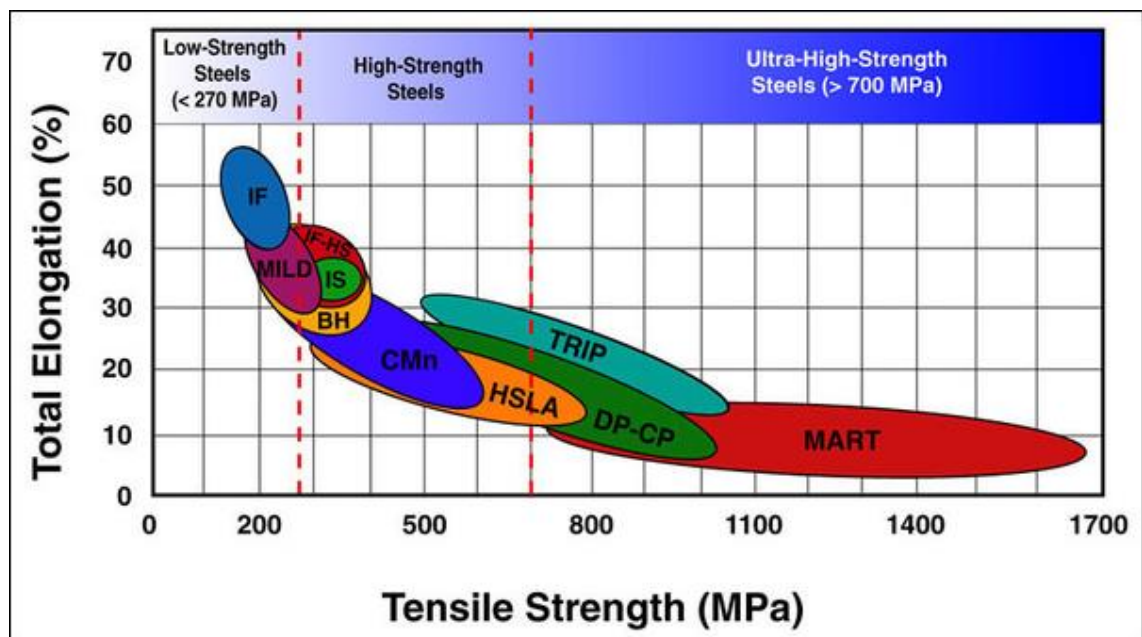
- pienempi massa
- pienempi polttoaineen kulutus
- laadukkaammat ja lujemmat komponentit
- paremmin ennakoitavissa oleva suorituskyky.

Muihin keveisiin materiaaleihin esim. alumiiniin tai komposiitteihin verrattuna teräksen valmistuskustannukset ovat alhaisemmat. (SSAB 2012, hakupäivä 16.7.2012; Gan, Babu, Kapustka & Wagoner 2006; Shape corp. www-sivut 2012, hakupäivä 16.7.2012)

Perinteisiin HSLA-teräksiin verrattuna AHSS-terästen lujuuden ja muovattavuuden yhdistelmä on parempi ajoneuvoteollisuuden näkökulmasta katsottuna. AHSS-teräslaatuojen käyttö on lisääntynyt ajoneuvoteollisuudessa merkittävästi viimeisen vuosikymmenen aikana. Tämä johtuu teräslaatuojen ominaisuuksista. Ne ovat lujia ja korkean myötölujuuden ansiosta niistä tehdyt rakenteet ovat keveitä. (Machinedesign www-sivut, hakupäivä 17.7.2012; Gan, Babu, Kapustka & Wagoner 2006; Kivivuori & Härkönen 2004)

#### 4.2 AHSS-teräslaadut ja niiden ominaisuudet

AHSS-teräslaatuuihin kuuluvat kaksifaasi- (Dual Phase, DP), monifaasi- (Complex Phase, CP tai Partially Martensitic, PM), martensiitti-, TRIP - (Transformation Induced Plasticity) ja bainiittiteräkset. Näiden teräslaatuojen mekaanisia ominaisuuksia ja käyttökohteita ajoneuvoteollisuudessa on esitelty taulukossa 3. HSLA-, AHSS- ja UHSS-teräslaatuojen vetolujuuksia on vertailtu lisäksi kuvassa 4. (Kivivuori 2011, 29)



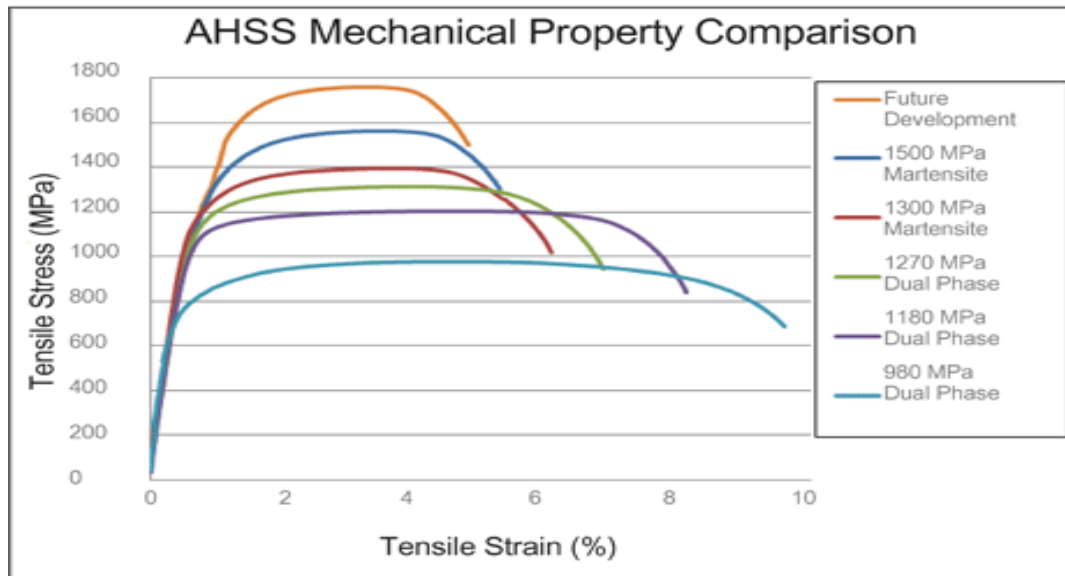
Kuva 4 HSLA-, AHSS- ja UHSS-teräslaatuojen vetolujuuksien vertailu (Edgar 2008, hakupäivä 9.1.2013)

**Taulukko 3. AHSS-teräslaatuojen mekaanisia ominaisuuksia sekä käyttökohteita ajoneuvoteollisuudessa (Kivivuori 2011, 30)**

Teräslaji	Myötölujuus (MPa)	Murtolujuus (MPa)	Murtovenymä A 80 (%)	n-arvo (5-15%)	r-arvo	Käyttökohde
Mild 140/270	140	270	38-44	0.23	1,8	A, C, FF
BH 260/370	260	370	29-34	0.13	1,6	BB
HSLA 350/450	350	450	23-27	0.22	1,0	A, B, SS
DP 350/600	350	600	24-30	0.14	1,1	A, B, C, W, SS
TRIP 450/800	450	800	26-32	0.24	0,9	A, BB
CP 700/800	700	800	10-15	0.13	1,0	BB
Mart 950/1200	950	1200	5-7	0.07	0,9	A, BB
Mart 1250/1520	1250	1520	4-6	0.07	0,9	AA

Käyttökohde: A=Liitännäisosat, B=korirakene, C=ovet ja luukut, F=polttoainetankki, S=jousirakenteet, W=pyörät

Kuvassa 5. on esitelty eri AHSS -laatuojen jännitys-venymäkäyriä. Kuvassa pystyakselilla on jännitys ja vaaka-akselilla venymä. Kuva on Shape corporation -nimisen yrityksen Internet-sivuilta. Oranssilla käyrällä kuvataan tulevaisuuden tavoitetta AHSS-laatuojen kehittämisessä. Tällä hetkellä AHSS laatuojen jännitykset ovat n. 900-1500 MPa ja venymät n. 6-10%. Tulevaisuuden tavoitteena AHSS laatuojen kehityksessä näyttäisi olevan n.5% venymä jopa n. 1800 MPa jännityksellä. (Shape corp. www-sivut, hakupäivä 16.7.2012)



**Kuva 5. AHSS-laatujuen jännitys-venymäkäyriä (Shape corp. www-sivut, hakupäivä 16.7.2012)**

#### 4.2.1 Kaksi- ja monifaasiteräkset

Kaksifaasiterästen koostumus on ferriittia ja n.10-30% martensiittia. Kaksifaasiterästen murtovenymä on suuri ja ne ovat voimakkaasti muokkauslujittuvia. Perinteisiin vastaavan myötölujuuden omaaviin teräksiin nähden niiden murtolujuus on suurempi. Monifaasiteräkset taas koostuvat hienojakoisesta ferriitistä sekä martensiitista, bainiitista ja jäännösausteniitista. Lujuustasoa nostetaan yleensä erkautuslujituksella. (Kivivuori & Härkönen 2004)

#### 4.2.2 TRIP-teräkset ja martensiittiset teräkset

TRIP-teräkset koostuvat ferriitistä, jäännösausteniitista ja bainiitista. Mikrorakenteessa voi olla myös vähän martensiittia. TRIP-terästen tunnusomainen piirre on muokkausasteen kasvaessa jäännösausteniitin muuttuminen vähitellen martensiitiksi. Tämä mahdollistaa muokkauslujittumisen ylläpitämisen myös suuremmilla venymillä.

Martensiittisten terästen murtolujuudet ovat yleensä hyvin suuria. Osien valmistuksessa hyödynnetään joskus jälkilämpökäsittelyä sitkeyden parantamiseksi. Martensiittisten terästen hitsattavuus on yleensä huono. (Kivivuori&Härkönen 2004)

### 4.3 AHSS-teräslaatuojen asettamat rajoitteet tuotannossa

AHSS-teräslaatuojen ongelmat ajoneuvoteollisuudessa kohdistuvat hitsaus- ja muovausprosesseihin. Hitsauksen aiheuttama kuumeneminen aiheuttaa muutoksia teräksen mikrorakenteessa hitsauksen lämpömuutosvyöhykkeellä (HAZ, Heat-affected zone). AHSS-teräs vaatii normaalia enemmän voimaa, jotta se saadaan muovattua puristimessa. Suurempaa pidätysvoimaa vaaditaan rypyttymisen estämiseksi, jotta kappaleeseen saadaan tarpeeksi korkea vetojännitys, joten AHSS-teräksen muovaaminen vaatii enemmän voimaa. Merkittävä huomioon otettava tekijä AHSS-terästen muovauksessa on muovatun kappaleen takaisinjousto. AHSS-teräksillä takaisinjousto on suurempaa kuin perinteisillä matalalujuisilla muovattavilla teräksillä. Takaisinjousto syntyy elastisen myötymän palautuessa muovausvoiman poistuessa ja sen takia kappaleen muoto poikkeaa työkalun muodosta, mikä aiheuttaa ongelmia kokoonpanovaiheen työssä. (Gan, Babu, Kapustka & Wagoner 2006)

## 5. AHSS-TERÄSTEN LÄMPÖKÄSITTELYT

Monimutkaisten osien, kuten ovi- eli B-pilarien, valmistaminen ultralujista teräslaaduista kylmämuovauksella, kuten esimerkiksi syvävetämällä ei ole mahdollista. Tämä johtuu kylmävalssatun ultralujan teräksen suuresta takaisinjoustopista ja rajallisesta muovattavuudesta. Nykyajan turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi sekä auton keveyden ja taloudellisuuden säilyttämiseksi ratkaisua on haettava vaihtoehtoisista teräksen muovausmenetelmistä, kuten muottiinkarkaisusta. (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)

### 5.1 Booriseosteisten terästen muottiinkarkaisu

Booriseosteisten terästen muottiinkarkaisu (hot-stamping) kehitettiin 1990-luvun loppupuolella yksinkertaisten autosien kuten ovipalkkien valmistukseen. Esimerkiksi 22MnB5-teräslaadun muottiinkarkaisulla voidaan tuottaa autoihin mittatarkkoja ja törmäyskestäviä keveitä osia kontrolloimalla muottiinkarkaisun jälkeistä jäähtymisnopeutta. Booriterästen murtolujuus voi olla jopa 1600 MPa, joka on paljon suurempi kuin tavanomaisten kylmävalssattujen ultralujien terästen murtolujuus. Tämä selviää myös kuvassa 5. esitetyssä kaaviossa, jossa on esitelty tavanomaisten autoteollisuudessa käytettävien terästen vetolujuudet. (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)

### 5.2 Muottiinkarkaisuprosessi

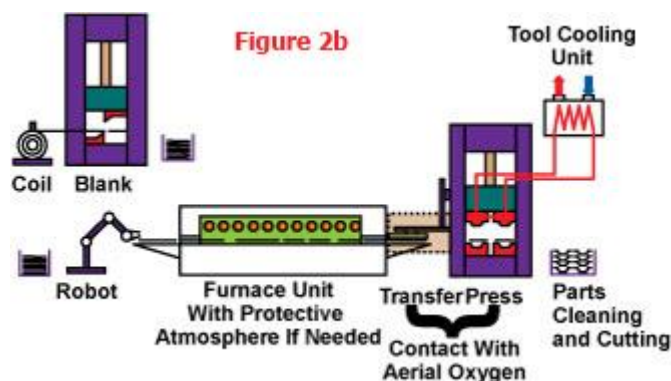
Muottiinkarkaisussa muovaus ja lujittaminen suoritetaan yhdellä toimenpiteellä. Käytössä on kaksi valmistusprosessia, suora ja epäsuora. Ne on esitelty seuraavissa kappaleissa sekä kuvissa 6 ja 7 esiintyvissä prosessikaavioissa. (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)

### 5.2.1 Suora muottiinkarkaisuprosessi

Suorassa muottiinkarkaisuprosessissa teräsaihiot austenisoidaan 900-950 °C lämpötilassa jatkuvasyöttöisessä uunissa. Tämän jälkeen aihiot siirretään siirtoyksikön välityksellä jäähdytysvesikanavilla varustettuun muottiin. Korkean, noin 650-800 °C lämpötilan vuoksi teräs on erinomaisen muovautuvaa. (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)

Muovausvaiheen jälkeen työkalu pidetään suljettuna, jolloin kappale jäähtyy nopeasti ja karkenee. Tämä jäähdytys tapahtuu suljetussa vesijäähdytteisessä muotissa. Jäähdytysnopeus on n. 50-100°C/s. (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)

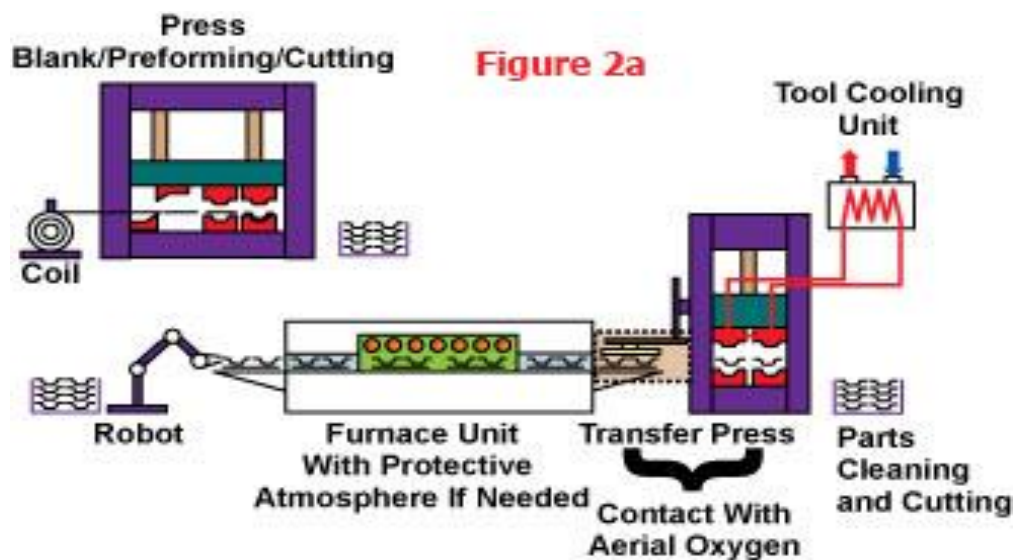
Tahtiaika siirrolle, muovaukselle ja muottijäähdytykselle on n. 15-25 sekuntia. Teräsosa lähtee muottiinkarkaisulinjalta n. 150 °C lämpöisenä. Sillä on hyvät mekaaniset ominaisuudet: n. 1400-1600 MPa vetolujuus sekä n. 1000-1200 MPa myötölujuus. Suoran muottiinkarkaisu prosessin prosessikaavio on esitelty kuvassa 6. (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)



**Kuva 6. Suoran muottiinkarkaisun prosessikaavio (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)**

### 5.2.2 Epäsuora muottiinkarkaisuprosessi

Epäsuorassa muottiinkarkaisuprosessissa osat muovataan n. 90-95% lopullisesta muodostaan ilman lämpökäsittelyä perinteisessä muotissa. Tämän jälkeen ne siirretään lämpökäsittelylinjalle ja austenisoidaan sekä jäähdytetään suoran menetelmän kaltaisesti. Näin kylmävalssattuihin osiin voidaan tehdä monimutkaisiakin muotoja lämpökäsittelyn avulla. Epäsuoran muottiinkarkaisuprosessin prosessikaavio vastaa pitkälti suoran muottiinkarkaisuprosessin prosessikaaviota. Epäsuora kaavio on esitelty kuvassa 7. (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)



**Kuva 7. Epäsuora muottiinkarkaisuprosessi (Schaeffler 2005, hakupäivä 17.7.2012.)**

## 6. HIILIJALANJÄLJEN MÄÄRITTÄMINEN

Standardoidun menetelmän puuttuessa luotettavaa ja yhdenmukaista menetelmää hiilijalanjäljen määrittämiseen ei ole. On olemassa kuitenkin useita ei-standardoituja menetelmiä, joiden eroavuudet ovat lähinnä tutkimuksen rajauksessa. Näistä menetelmistä on siis valittava jokaiseen tutkimukseen erikseen kulloinkin sopiva vaihtoehto. Tämä johtaa siihen, että tutkimuksia ja niiden tuloksia voi olla vaikea vertailla keskenään.

Hiilijalanjäljen määrittämisessä yleisesti huomioon otettavat kaasut on määritelty Kioton pöytäkirjassa. Tuotteen hiilijalanjälkeä määriteltäessä tulisi ottaa huomioon kaikkien näiden kaasujen päästömäärät tuotteen koko elinkaaren ajalta. Joissakin laskureissa ja määritelmässä vähäisimmät kaasut on jätetty pois laskuista. (Meiseri 2010, 6)

Yleisimmät kasvihuonekaasut on lueteltu tässä työssä taulukossa 1. Joissakin menetelmissä ja laskureissa taas otetaan huomioon vain hiilidioksidipäästöt. Hiilijalanjälki ilmoitetaan yleensä hiilidioksidiekvivalenttina ( $\text{CO}_2\text{-ekv}$ ,  $\text{CO}_2\text{-e}$ ), joissakin malleissa se kuitenkin ilmoitetaan vain hiilidioksidin määränä per tonni valmista tuotetta. Tuotteen kokonaiskasvihuonekaasujen määrä saadaan kertomalla kasvihuonekaasun määrä, kunkin kaasun GWP- kertoimella. (Meiseri 2010, 8)

GWP- kertoimet ilmaisevat kasvihuonekaasujen voimakkuuden suhteessa hiilidioksidiin. GWP-kertoimia käytetään ilmaisemaan kaasun kykyä vangita lämpöä ilmakehään. Vertailtaessa kasvihuonekaasujen voimakkuuksia toisiin kasvihuonekaasuihin, GWP-kertoimet ovat hyviä työkaluja. Taulukossa 1 on esitelty yleisimpien kasvihuonekaasujen GWP-kertoimet. Kaasujen voimakkuus on riippuvainen ilmakehässä jo olevien kaasujen määrästä, joten kertoimet muuttuvat ajan myötä. Eri kaasuilla on myös erimittaiset elinkaaret, joten tarkasteluajanjaksolla on merkitystä. Yleensä hiilijalanjäljen määrittämisessä käytetään 100 vuoden ajanjaksolle

määritettyä GWP-kerrointa. (Solomon & Qin & Manning & Chen & Marquis & Averyt & Tignor & Miller 2007; Global-greenhouse-warming 2012, hakupäivä 22.8.2012)

## 6.1 PAS 2050

PAS 2050 on brittiläisen standardiorganisaatio BSI:n vuonna 2008 julkaisema spesifikaatio tuotteen tai palvelun hiilijalanjäljen määrittämiseen, siitä on julkaistu päivitetty versio vuonna 2011. PAS 2050 spesifikaatio tarjoaa neliportaisen järjestelmän tuotteen kasvihuonekaasupäästöjen määrittämiseen. Portaat ovat seuraavanlaiset:

Porras 1- Rajaus

Porras 2- Tiedon kerääminen

Porras 3- Jalanjäljen laskeminen

Porras 4- Jalanjälkitulosten tulkinta ja vähennysten suorittaminen

Spesifikaatio käy tarkoin läpi jokaisen portaan ja antaa ohjeita hiilijalanjäljen laskijalle. Tällä hetkellä, ennen yhteisen standardin luomista, PAS 2050 lienee tarkin ohjeistus hiilijalanjäljen määrittämiseen. (Guide for PAS 2050: 2011; PAS 2050:2011, hakupäivä 16.7.2012)

### 6.1.1 PAS 2050 - Rajaus

PAS 2050 spesifikaation ensimmäisessä portaassa rajataan hiilijalanjäljen määrittämistä. Ensimmäisessä rajauksen vaiheessa määritellään tuote, jolle hiilijalanjälki lasketaan. Tämän jälkeen valitaan toiminnalliset yksiköt. Toiminnallisella yksiköllä kuvataan sitä määrää tuotetta, joka saadaan loppukäyttäjälle eli asiakkaalle käyttöön. Spesifikaatiossa esimerkkinä on käytetty appelsiinimehua, jonka toiminnallinen yksikkö olisi 1 litra juotavaa appelsiinimehua. Se ei ole sama asia kuin 1 litra tuotettua appelsiinimehua, koska tietty osa tuotannosta menee hukkaan kuljetuksen, myymättä jäämisen ym. takia. Hiilijalanjäljen määrittelyssä on siis otettava huomioon kaikki materiaalit ja prosessit, jotka vaaditaan siihen että saadaan 1 litra

appelsiinimehua kuluttajan käytettäväksi. Hiilijalanjälki ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenteina. (Guide for PAS 2050: 2011, 5 – 6, hakupäivä 16.7.2012)

Seuraavassa rajauksen vaiheessa määritellään tuotteen elinkaaren vaikuttavat materiaalit, toiminnot ja prosessit. Tämä tehdään piirtämällä prosessi- ja virtauskaaviot tuotteelle. (Guide for PAS 2050, 6, hakupäivä 16.7.2012)

Rajauksen kolmannessa vaiheessa määritellään järjestelmän laajuus. Tässä vaiheessa tulee määritellä kaikki tutkimukseen mukaan luetut elinkaaren vaiheet ja listata niiden sisältämät toiminnot ja prosessit. Lisäksi tulee listata kaikki tutkimuksen ulkopuolelle jäävät prosessit ja vaiheet sekä syyt niiden poisjättämiseen. (Guide for PAS 2050:2011, 7, hakupäivä 16.7.2012)

#### 6.1.2 PAS 2050 – Tiedon kerääminen

Kerättävän tiedon on sisällettävä kaikki kasvihuonekaasupäästöt ja poistot määritellyn järjestelmän laajuuden sisällä. Lisäksi kerättävän tiedon on täytettävä tietyt laatuvaatimukset. PAS 2050- periaatteiden mukaan tiedon tulee olla relevanttia, täydellistä, johdonmukaista, tarkennettua ja läpinäkyvää. (Guide for PAS 2050:2011, 19, hakupäivä 16.7.2012)

Kerättävän tiedon tulee olla pääosiltaan ensisijaista tietoa, jota voidaan tarvittaessa täydentää toissijaisella tiedolla. Ensisijainen tieto on tarkkoja mitattuja tietoja tuotteesta. Toissijaisella tiedolla tarkoitetaan esim. samankaltaisten prosessien tiedoista arvioimalla saatua mittaamatonta tietoa. (PAS 2050:2011, 18, hakupäivä 16.7.2012)

### 6.1.3 PAS 2050 – Hiilijalanjäljen laskeminen

Hiilijalanjäljen laskeminen tulee PAS 2050-spesifikaation mukaan suorittaa laskemalla valitun järjestelmän laajuuden sisällä jokaiselle toiminnolle kasvihuonekaasujen päästömäärä toiminnallista yksikköä kohden. Tämän jälkeen määritetään jokaisen kasvihuonekaasun päästöjen summa laskemalla päästöt ja poistot yhteen niin, että päästöt saavat positiivisen ja poistot negatiivisen arvon. Seuraavaksi jokaisen kasvihuonekaasun päästöjen ja poistojen summa muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi kertomalla ne kasvihuonekaasun GWP-kertoimella. Laskemalla hiilidioksidiekvivalentit yhteen saadaan tuotteen kokonaishiilidioksidiekvivalentti eli tuotteen hiilijalanjälki. (Guide for PAS 2050:2011, 24, hakupäivä 16.7.2012; PAS 2050:2011, 24, hakupäivä 16.7.2012)

## 6.2 Valtion ympäristöhallinnon hiilijalanjälki-laskurit

Suomen ympäristöhallinnon verkkosivuilta löytyy muutamia maksuttomia työkaluja hiilijalanjäljen määrittämiseen. Työkalut ovat Excel-pohjaisia. Ympäristökeskuksen sivuille on kehitteillä vielä muutama uusikin laskuri, joiden tarkoitus on tarjota apua kuntien hiilijalanjäljen selvittämiseen. (Suomen ympäristökeskus www-sivut, hakupäivä 19.7.2012)

### 6.2.1 Synergia

SYNERGIA -työkalu on Suomen ympäristöhallinnon verkkosivuilta löytyvä maksuton hiilijalanjäljen määrittämisessä avustava työkalu. Se on toteutettu yhteistyössä TEKES:n kanssa. SYNERGIA-työkalua voidaan käyttää rakennusten päärakenteiden ja päämateriaalien hiilijalanjäljen määrittämiseen. (Kontiokorpi 2011)

### 6.2.2 Y-Hiilari

Y-HIILARI on Anniina Kontiokorven ympäristökeskukselle osana diplomityötään: ”Energia ja ilmastotoimenpiteiden käynnistäminen pk-yrityksissä”, luoma verkkotyökalu. Y-HIILARI laskurin tarkoitus on auttaa yritystä tunnistamaan merkittävimmät kasvihuonekaasupäästölähteensä. Laskuri perustuu GHG-protokollan Corporate Accounting and Reporting-standardiin. Kasvihuonekaasuista laskurissa on huomioitu Kioton sopimuksen mukaiset kasvihuonekaasut. (Suomen ympäristökeskus www-sivut 2012, hakupäivä 19.7.2012; Kontiokorpi 2011)

### 6.3 CcaLC-Laskuri

CCaLC-laskuri on Manchesterin yliopistossa kehitetty ISO 14044- ja PAS2050-standardeihin perustuva hiilijalanjälki-laskuri. Se on helppo työkalu hiilijalanjäljen selvittämiseen ”kehdosta hautaan”-mallisen elinkaariajattelun pohjalta. CCaLC-laskurilla on mahdollista selvittää myös yrityksen vesijalanjälki sekä muut ympäristövaikutukset ja nähdä kuinka yrityksen hiilijalanjäljen muutokset vaikuttavat ympäristöön. Lisäksi työkalu helpottaa hiilijalanjäljen optimoimista ilmoittamalla halvimman ja vähäpäästöisimmän vaihtoehdon käyttäjälleen. CCaLC-laskurin voi ladata ilmaiseksi sen omilta internet-sivuilta. (CcaLC 2012, hakupäivä 11.7.2012)

### 6.4 GHG-Protocol

GHG-Protocol on World Business Council for sustainable developmentin (WBCSD) ja World Resource Institutin (WRI) kehittämä protokolla hiilijalanjäljen määrittämiseen. Se on maailman laajimmin käytetty työkalu hiilijalanjäljen määrittämiseen. GHG-Protocol tarjoaa useita laskentatyökaluja useille eri teollisuuden aloille. (GHG-protocol 2011, hakupäivä 11.7.2012)

## 7. KUUMAMUOVATUN JA PERINTEISEN MONIFAASITERÄKSISEN KOMPONENTIN EROT HIILIJALANJÄLJEN KANNALTA

Työn tarkoituksena on vertailla muottiinkarkaistun ja perinteisillä menetelmillä muovatun komponentin vaikutuksia ajoneuvon elinkaaren aikaisiin päästöihin. Lähtöoletta on, että suurimmat erot näiden kahden komponentin vaikutuksissa syntyvät komponentin valmistuksessa sekä ajoneuvon käytönaikaisissa päästöissä.

### 7.1. Thyssenkrupp InCar-konseptiauto

Thyssenkrupp on toteuttanut InCar-projektin, jossa on testattu tämän hetken parhaita menetelmiä auton keventämiseksi. Materiaaleilla ja valmistusteknisillä menetelmillä on pyritty vaikuttamaan ainakin auton korin, alustan ja voimansiirron painoon. Konseptiauto tarjoaa useita tuotantoon valmiita ratkaisuita autonvalmistajille. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)

Tässä työssä vertaillaan kahden eri teräksestä valmistetun B-pilarin aikaansaamaa painonsäästöä ja vaikutusta päästöjen vähentämiseen. Vertailtavaksi on valittu MBW 1500/ MHZ 340 –teräksistä räätälöimällä ja kuumamuovaamalla valmistettu B-pilari sekä DP-W 600 -teräksestä räätälöity ja kylmävalssaamalla valmistettu B-pilari. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)

Vertailupohjana käytetään Thyssenkruppin InCar-projektissa tehtyjä laskelmia. Laskelmissa on vertailtu seitsemän eri teräslaadusta valmistetun B-pilarin paino- sekä kustannussäästöjä. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)

B-pilarit on testattu toimiviksi aidoissa olosuhteissa luomalla prototyyppejä ja tekemällä lukuisia testejä. Testeissä saavutettiin jopa 22% eli 4,15kg painonsäästö raskaimman ja keveimmän verrokki B-pilarin välillä. Se tarkoittaisi n. 0,34g CO<sub>2</sub>/km säästöä päästöissä. Elinkaaren aikaiset päästöt saataisiin alenemaan jopa 122 kg hiilidioksidiekvivalenttia.

Nämä säästöt voidaan saavuttaa jo korvaamalla yksi osa autosta keveämmällä materiaalilla. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)

## 7.2 MBW 1500/ MHZ 340 B-pilari

Autoille säädetyt turvallisuusvaatimukset vaativat B-pilarilta kykyä kestää tietynasteisia muodonmuutoksia. Siksi InCar-projektissa on käytetty B-pilarin valmistukseen räätälöityä teräsaihiota. Tämä tarkoittaa, että teräsaihiossa on käytetty kahta eri teräslaatua. B-pilarin yläosa on valmistettu MBW 1500 +AS ja alaosa MHZ 340 + AS laaduista. Tämän jälkeen muovaaminen on tapahtunut kuumamuovausprosessissa. Tällaisilla metodeilla saadaan B-pilarin yläosaan suuren lujuuden omaava teräslaatu ja alaosaan turvallisuusvaatimukset täyttävä, pitkän venymän ja keskikovan lujuuden omaava teräslaatu. Räätälöidyn MBW 1500/MHZ 340 -B-pilarin rakenne on esitelty kuvassa 8. Kuvasta 8 ilmenee myös kyseisen B-pilarin paksuus eri kohdissa. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)



**Kuva 8. MBW 1500/ MHZ 340 B-pilarin rakenne ja paksuus**  
([incar.thyssenkrupp.com](http://incar.thyssenkrupp.com) – hakupäivä 13.9.2012)

Näillä metodeilla valmistetussa B-pilarissa ulompi B-pilari painaa 5,45 kg ja sisempi B-pilarin vahvike painaa 2,48 kg. Pilarin yhteispainoksi saadaan siis 5,45 kg + 2,48kg =

7,93 kg. Se on  $9,34 - 7,93\text{kg} = 1,41\text{ kg}$  keveämpi kuin verrokkipilarin paino eli painonsäästö on  $1,41\text{kg} / 9,34\text{ kg} = 0,1509 = 15\%$

### 7.3 Referenssi B-Pilari DP-W600

Samoin kuin MBW 1500/ MHZ 340 B-pilarissa myös DP-W600 B-pilarissa pilari on valmistettu räätälöidystä teräsaihiosta. Aihiossa on käytetty yläosana DP-W600 + ZE – laatua 2,2 mm paksuudella ja alaosaan samaa teräslaatua, mutta vain 2,0 mm paksuudella. B-pilarin vahvike on valmistettu samasta MBW 1500 -teräslaadusta, jota käytettiin myös toisessa vertailukappaleessa. Vahvike on paksuudeltaan 2,50 mm. Tämä on tehty törmäystilanteessa tapahtuvien nurjahdusten välttämiseksi. DP-W600 B-pilarin rakenne on esitelty kuvassa 9. Kuvasta ilmenee myös B-pilarin paksuus eri kohdissa. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)

Referenssi B-pilarin ulompi osa painaa 6,27 kg ja vahvike painaa 3,07 kg. Tällöin yhteispainoksi tulee  $6,27\text{ kg} + 3,07\text{ kg} = 9,34\text{ kg}$ .



**Kuva 9 DP-W600 B-pilarin rakenne ja paksuus. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)**

Kun tiedetään tutkimuksessa olleiden B-pilareiden maksimaalisen painonsäästön olleen 22% ja tällä saavutetun hiilidioksidipäästöjen pienenemisen elinkaaren aikana olevan 122 kg hiilidioksidiekvivalenttia. Voidaan selvittää paljonko elinkaaren aikainen kasvihuonekaasupäästöjen pieneneminen on valitsemallamme B-pilarilla varustetussa ajoneuvossa. Asia voidaan selvittää yhtälöparein.

$$\begin{cases} 0,22 = 0,34gCO_2/km \\ 0,15 = X \end{cases}$$

$$0,22X = 0,051gCO_2/km$$

$$X = 0, \frac{0,051gCO_2}{km} \div 0,22$$

$$X = \frac{0,23gCO_2}{km}$$

Tämän jälkeen tällä X:n arvolla muodostetaan toinen yhtälöpari, josta lopputulokseksi saadaan 82,53 kg CO<sub>2</sub>e. Eli muottiinkarkaistu räätälöity MBW 1500/ MHZ 340 B-pilari säästää 82,53 kg hiilidioksidiekvivalenttia verrattuna referenssi B-pilariin ajoneuvon hiilijalanjäljessä koko elinkaaren aikana.

$$\begin{cases} 0,34gCO_2/km = 122kgCo_2e \\ 0,23gCO_2/km = X \end{cases}$$

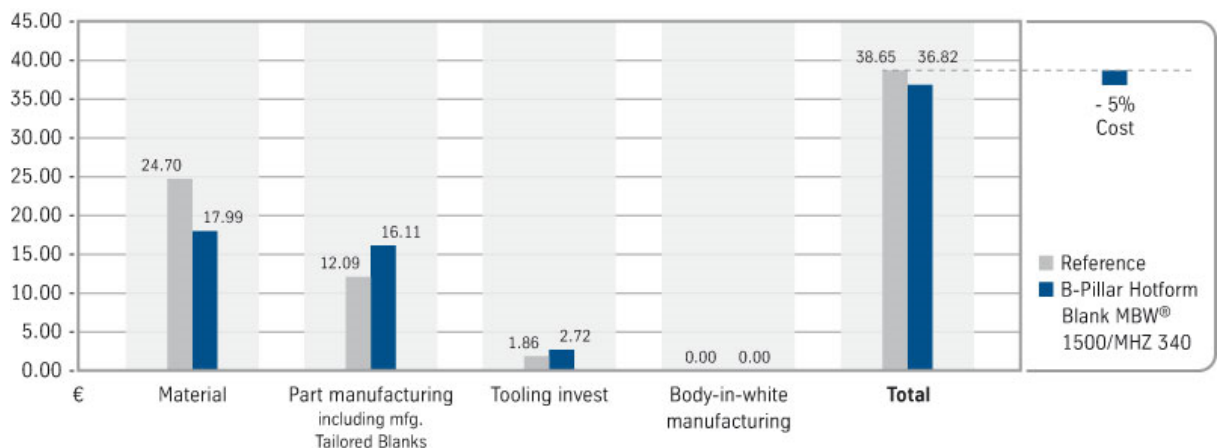
$$0,34gCO_2/km \times X = 0,23gCO_2/km \times 122kgCo_2e$$

$$X = 0,23gCO_2/km \times 122kgCo_2e \div 0,34gCO_2/km$$

$$X = 82,53kgCo_2e$$

#### 7.4 Valmistuskustannusten vertailu

MBW 1500/ MHZ 340 on referenssipilaria edullisempi vaihtoehto myös valmistuskustannuksiltaan eli se on niukasti n. 5 % edullisempi valmistaa. Tämä käy ilmi kuvasta 10, jossa on käyty läpi sekä MBW 1500/ MHZ 340 – laadun että referenssinä olleen DP-W 600-laadun valmistuskustannukset. Kaaviossa on lueteltu vasemmalta oikealle materiaalikustannukset, osan valmistus (mukaan luettuna räätälöidyt aihiot), koneistusinvestoinnit ja yhteenlasketut kustannukset.



**Kuva 10. MBW 1500/ MHZ 340 ja DP-W 600 laatujen valmistuskustannusten vertailu. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)**

#### 7.5 Vastaavuudet Ruukin tuotevalikoimassa

B-pilareiden valmistuksessa käytetyt teräslaadut voidaan korvata Ruukin valikoimista löytyvillä teräksillä. Referenssi B-pilarin DP-W600 terästä vastaava laatu Ruukin valikoimissa on Litec 600. MBW 1500- terästä vastaa Ruukin laaduista 22MnB5, jonka myötölujuus täysin karkaistuna on 1000 MPa ja murtolujuus 1500 Mpa. Ruukin valikoimassa kylmävalssattu HC340LA –teräslaatu vastaa ominaisuuksiltaan täysin laskuesimerkissä käytettyä thyssenkruppian MHZ 340 -terästä. (Ruukki www-sivut, hakupäivä 29.10.2012; ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 17.9.2012)

## 7.6 Kuljetusvälineistön hiilijalanjälki

Ilmastonmuutoksen hillitsemisessä tärkeä osa on kumipyöräkuljetusten hiilijalanjäljen pienentämisellä. Keventämällä autojen ja työkoneiden rakenteita, voidaan lisätä autojen hyötykuormaa sekä pienentää polttoaineen kulutusta ja hiilijalanjälkeä.

Ruukin sivuilta löytyvällä energiatehokkuuslaskurilla voi selvittää paljonko esimerkiksi betonisekoittimen valmistaminen lujemmasta Ruukin Raex –teräslaadusta keventää työkoneen painoa, lisää hyötykuorman määrää sekä pienentää polttoaineen kulutusta ja hiilijalanjälkeä. Laskurissa käytettiin esimerkkinä betoninkuljetusautoissa käytettävää betonisekoitinta. (Ruukki www-sivut, hakupäivä 30.10.2012)

Laskuriin syötettiin seuraavat tiedot:

Tuotteen nimi: Betonisekoitin

Tuotteiden määrä yhdessä ajoneuvossa (lkm): 1

Vanha (paino): 3500

Uusi (paino): 2500

Ajoneuvotyyppi: Betoninkuljetusauto

Tuotteen käyttöikä (vuosia): 10

Ajomatka (km/vuosi): 100 000

Kaupunkiajon osuus (%): 80%

Tyhjänä ajon osuus (%): 50%

Biopolttoaineen osuus (%): 0%

Polttoaineen hinta (€/l): 1,33€/l

Polttoainesäästö alemman ilmanvastuksen ansiosta (%): -

Näillä tiedoilla laskuri antoi tärkeimmiksi asiakashyödyiksi elinkaaren aikana seuraavat arvot:

Hyötykuorman lisäys: 5%

Polttoainesäästöt (euro): 5810€

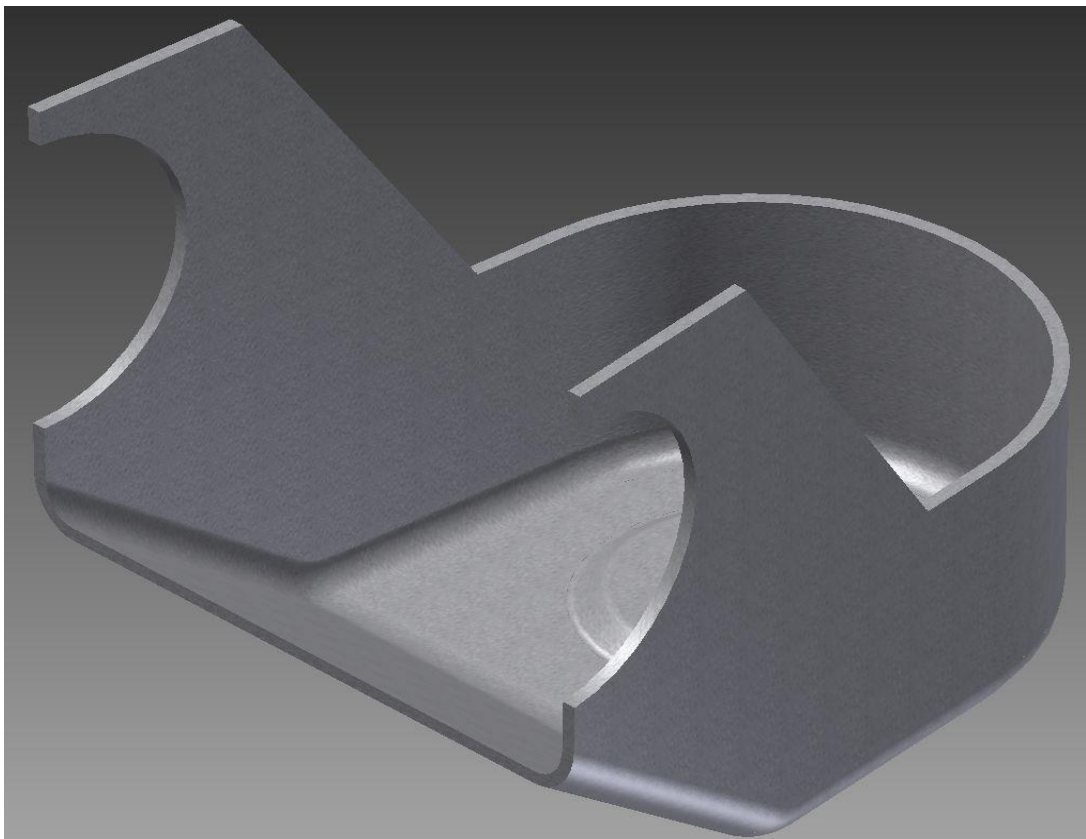
Polttoainesäästöt (litraa): 4368 l

Hiilijalanjalan pieneminen: 13000 kgCO<sub>2</sub>e

Laskurissa ei ikävä kyllä ilmoitettu mistä teräksestä referenssinä käytetty betonisekoitin on valmistettu. Laskurista kuitenkin huomaa, että materiaalin vaihtamisesta saavutetulla tuhannen kilon painonsäästöllä saadaan aikaan merkittäviä säästöjä hiilidioksidipäästöissä. Tämän lisäksi betoniauton hyötykuormaa voidaan kasvattaa 5%:lla. (Ruukki www-sivut, hakupäivä 30.10.2012)

## 8. OSIEN VALMISTETTAVUUS

Projektin aikana testattiin eräiden osien valmistettavuutta. Yhtenä näistä tutkimuskohteista oli auton jousilautanen. Kuvassa 11 on esitelty CAD-luonnos jousilautasesta. Kuvassa 12 puolestaan on kylmävetämällä valmistettuja auton jousilautasia. Materiaalina on käytetty 2,8 mm paksua 420 MPa -lujuusluokan sinkittyä hiiliterästä eli matalaseosteista HX420LAD -teräslaatua. HX420LAD tarjoaa sinkkipinnoitteensa ansiosta katodisen korroosiosuojan. CAD-ohjelman avulla määritettynä jousilautasen paino on n. 0,9 kg ( $V=11500 \text{ mm}^3$ ). Tällaisia jousilautasia on autossa kaksi kappaletta, joten niiden yhteispaino on 1,8 kg. (Ruukki [www-sivut](http://www.ruukki.fi), hakupäivä 30.10.2012; Joutsenvaara, 16.11.2012, sähköpostiviesti)



**Kuva 11. CAD-luonnos projektissa valmistetusta jousilautasesta (Joutsenvaara, 16.11.2012, sähköpostiviesti.)**



**Kuva 12. Projektissa valmistettuja jousilautasia (Joutsenvaara, 16.11.2012, sähköpostiviesti.)**

Thyssenkrupp InCar -projektissa optimoitiin myös jousilautanen. Referenssi jousilautanen oli valmistettu DD13-teräsalaadusta, jonka myötölujuus on enimmillään  $310 \text{ N/mm}^2$  toimitustilaisena. Valmistamalla optimoitu jousilautanen DP-W 700 –teräsalaadusta, jonka myötölujuus on  $700 \text{ N/mm}^2$ , saatiin jousilautasen paksuus laskemaan 2,50 millimetristä 2,0 millimetriin menettämättä lautasen lujuusominaisuuksia. Tällä saavutettu painonsäästö oli  $455\text{g}-359\text{g}=96\text{g}$  eli nostamalla materiaalin myötölujuutta  $390 \text{ N/mm}^2$  saadaan aikaiseksi suhteessa  $96\text{g}\div 455\text{g}=0,21=21\%$  painonsäästö. (ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012, hakupäivä 10.1.2012)

Kasvattamalla projektissa valmistettujen jousilautasten lujuutta  $420\text{N/mm}^2$ :stä  $700\text{N/mm}^2$ :iin, eli  $280\text{N/mm}^2$ :lla saataisiin jousilautasen paino putoamaan teoriassa  $0,21 \times 0,9\text{kg} = 0,189\text{kg}$ ,  $(280\text{N/mm}^2 \div 390\text{N/mm}^2) \times 0,189\text{kg} = 0,136\text{kg}$ ,  $0,9\text{kg} - 0,136\text{kg} = 0,764\text{kg}$ . Eli lujuutta kasvattamalla saataisiin lautasen paino teoriassa pudotettua  $0,764$  kilogrammaan. Koska lautasia on autoissa kaksi, olisi koko auton kannalta painonpudotus  $1,8\text{kg} - (2 \times 0,764\text{kg}) = 1,8\text{kg} - 1,528\text{kg} = 0,272\text{kg}$  eli  $272$  grammaa.

Kappaleen 7.3 laskuesimerkkiin viitaten  $1,41$  kg painonsäästöllä saadaan aikaiseksi auton elinkaaren ajalta  $82,53$  kgCO<sub>2</sub>e säästö hiilijalanjäljessä. Koska  $0,272$  kg  $\div$   $1,41$  kg =  $0,193 \approx 19\%$  voidaan päätellä, että  $0,272$  kg painonsäästöllä saavutetaan ajoneuvon elinkaaren ajalta  $82,53$  kgCO<sub>2</sub>e  $\times$   $0,193 = 15,928 \approx 15,93$  kgCO<sub>2</sub>e säästö hiilijalanjäljessä

## 9. YHTEENVETO

Hiilijalanjäljen määrittämisen yhteiset suuntaviivat ovat vielä vakiintumattomia. Standardeja ja laskentamalleja löytyy useita, ja niiden rajaukset ja niissä huomioidut kaasut eroavat toisistaan. Tällöin myös eri laskentamalleilla saadut tulokset eroavat toisistaan ja tulosten vertailu on hankalaa. ISO/DIS 14067-standardi toivottavasti yhtenäistää ja selkeyttää hiilijalanjäljen määrittämistä, kun se julkaistaan.

Erikoislujien terästen mahdollisuudet ajoneuvojen painonsäästöissä ja ekologisuuden parantamisessa kiinnostavat suunnittelijoita. Käynnissä on jatkuvasti useita projekteja, joissa selvitetään erikoislujien terästen mahdollisuuksia ajoneuvojen komponenttien materiaaleina. Tähän asti ongelmina ovat olleet turvallisuusvaatimukset, jotka vaativat komponenteilta kykyä kestää tietynasteista muodonmuutosta. Käyttämällä räätälöityjä teräsaihiota saadaan aikaiseksi komponentteja, jotka täyttävät asetetut turvallisuusvaatimukset. Lisäksi komponenttien muovaamisvaiheen jälkeinen voimakas takaisinjousto on aiheuttanut päänvaivaa. Muottiinkarkaisulla on pystytty kuitenkin pienentämään komponenttien takaisinjousto.

Tällä hetkellä näyttää siltä, että erikoislujien terästen edut perinteisiin teräslaatuihin nähden ajoneuvoteollisuudessa ovat kiistämättömät. Lujien teräslaatuisten korkea myötölujuus ja hyvä muovattavuus antavat mahdollisuuden tehdä ohuita teräslevyjä, jotka ovat lujuusarvoiltaan samaa luokkaa kuin perinteisistä teräksistä tehdyt paksummat levyt. Tällöin ajoneuvojen päästöt sekä koko elinkaaren aikainen hiilijalanjälki pienenevät. Lisäksi terästen kierrätettävyys on omaa luokkaansa vaihtoehtoisiin materiaaleihin verrattuna. Teräsaihioiden räätälöinti ja muottikarkaisun tuomat edut lisäävät varmasti entisestään ultralujien terästen suosiota ajoneuvoteollisuudessa.

## LÄHTEET

- Asgari, S.A. & Hodgson, P.D. & Yang C. & Rolfe, B.F. 2008. Modeling of advanced high strength steels with realistic microstructure-strength relationships.<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927025608005211>>
- CcaLC, 2012. Carbon calculations over the Life Cycle of Industrial Activities. Hakupäivä 11.7.2012 <<http://www.ccalc.org.uk/>>
- Dr. Taylan Altan 2007. Hot-stamping boron-alloyed steels for automotive parts. Hakupäivä 17.7.2012.<<http://www.thefabricator.com/article/presstechnology/hot-stamping-boron-alloyed-steels-for-automotive-parts>>
- Edgar, Julian 2008. Steel identification using hardness testing. Hakupäivä 9.1.2013 <[http://autospeed.com/cms/title\\_Steel-Identification-Using-Hardness-Testing/A\\_109717/article.html](http://autospeed.com/cms/title_Steel-Identification-Using-Hardness-Testing/A_109717/article.html)>
- Gan, Wei & Babu, S.S. & Kapustka, Nick 2006. Metallurgical and materials transactions A. Volume 37A. Microstructural effects on the springback of Advanced high strength steel.<<http://resources.metapress.com/pdf-preview.axd?code=1167416466740p52&size=largest>>
- GHG Protocol, 2011. A Corporate accounting and reporting standard. Revised edition. World resources institute, World Business Council for Sustainable Development. <<http://www.ghgprotocol.org/>>
- Global Footprint Network, 2012. Carbon footprint. Hakupäivä 15.5.2012. <[http://www.footprintnetwork.org/pt/index.php/GFN/page/carbon\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/pt/index.php/GFN/page/carbon_footprint/)>
- Global greenhouse warming, 2012. Global warming potential. Hakupäivä 15.5.2012 <<http://www.global-greenhouse-warming.com/global-warming-potential.html>>
- Guide for PAS 2050, 2011. How to carbon footprint your products , identify hotspots and reduce emissions in your supply chain. Lontoo: British Standards institution. Hakupäivä 16.7.2012. <<http://shop.bsigroup.com/en/forms/PASs/PAS-2050/>>
- Ilmastositut 2012. Hakupäivä 14.5.2012 <<http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/perusteet/kasvihuonekaasut.html>>
- Joutsenvaara, Jukka, Projektipäällikkö, Kemi-Tornio AMK materiaalin käytettävyyden tutkimusryhmä, jousilautanen, sähköpostiviesti; Mäläskä, Jani; 16.11.2012
- Khan, M.I. & Kuntz, M.L. & Biro, E. & Zhou, Y. Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Advanced High Strength Steels.<[http://mme.uwaterloo.ca/~camj/pdf/49\\_07\\_1629.pdf](http://mme.uwaterloo.ca/~camj/pdf/49_07_1629.pdf)>
- Kivivuori, Seppo & Härkönen, Seppo 2004. Lämpökäsittelyoppi; Teknologiainfo Teknova Oy.
- Kivivuori, Seppo 2011. Teräsohutlevyjen muovattavuus ja materiaalilaadut; Aalto-yliopisto, Kemian tekniikan korkeakoulu, Materiaalitekniikan laitos. <[www.ohutlevy.com/pdf/terasohutlevy\\_seppo\\_kivivuori.pdf](http://www.ohutlevy.com/pdf/terasohutlevy_seppo_kivivuori.pdf)>
- Koivisto, Kaarlo & Laitinen, Esko & Niinimäki, Matti & Tiainen, Tuomo & Tiilikka, Pentti & Tuomikoski, Juho 2010. Konetekniikan materiaalioppi. EDITA.
- Kontiokorpi, Leea Anniina 2011. Energia- ja ilmastotoimenpiteiden käynnistäminen pk-yrityksissä. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.
- Lindroos, Veikko & Sulonen, Matti & Veistinen, Mauri 1986. Uudistettu Miekk-ojan metallioppi. Otava.
- Linnanen, Lassi & Boström, Taina & Miettinen, Pauli 1994. Ympäristöjohtaminen: Elinkaariajattelu yrityksen toiminnassa. WSOY.
- MachineDesign www-sivut 2012. Advanced high strength steels add strength and ductility to vehicle design. Hakupäivä

- 17.5.2012<<http://machinedesign.com/article/advanced-high-strength-steels-add-strength-and-ductility-to-vehicle-design-0503>>
- Meiseri, Anni 2010. Tuotteen hiilijalanjälki ja sen laskenta. Opinnäytetyö. Lahden Ammattikorkeakoulu.
- Norman, Niko 2012. Ruostumattoman teräksen hiilijalanjälkeen vaikuttavat tekijät. Kone – ja tuotantotekniikan opinnäytetyö. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu.
- PAS 2050, 2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Lontoo: British Standards institution. Hakupäivä 16.7.2012 <<http://shop.bsigroup.com/en/forms/PASs/PAS-2050/>>
- Professori Jyri Seppälä 2010. Kulutuksen ja autolla ajon hiilijalanjälki merkittävä. Hakupäivä 16.5.2012.  
<[www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan\\_tiedotteet/2010?2909\\_m=3148](http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan_tiedotteet/2010?2909_m=3148)>
- Ruukki www-sivut 2012. Hakupäivä 29.10.2012 <http://www.ruukki.fi/>
- Schaeffler, Daniel J. 2005. Introduction to advanced high strength steels – part 1. Hakupäivä 17.7.2012  
<<http://www.thefabricator.com/article/metalsmaterials/introduction-to-advanced-high-strength-steels---part-i>>
- Shape Corp. Rollforming. www-sivut 2012. Hakupäivä 16.7.2012  
<[www.shaperollforming.com/materials](http://www.shaperollforming.com/materials)>
- SSAB. DOCOL AHSS for automotive industry 2012. Hakupäivä 16.7.2012<[http://www.ssab.com/Global/DOMEXDOCOL/Brochures/en/490\\_SSAB\\_Automotive\\_final.pdf?epslanguage=de](http://www.ssab.com/Global/DOMEXDOCOL/Brochures/en/490_SSAB_Automotive_final.pdf?epslanguage=de)>
- Suomen standardisoimisliitto SFS www-sivut 2012. Hakupäivä 14.5.2012.  
<<http://www.sfs.fi/>>
- Suomen ympäristökeskuksen www-sivut 2011. Hakupäivä 16.7.2012  
<<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=26632&lan=fi>>
- Solomon, S. & Qin, D. & Manning, M. & Chen, Z. & Marquis, M. & Averyt, K.B. & Tignor, M, Miller, H.L. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- ThyssenKrupp AG – InCar www-sivut 2012. Hakupäivä 17.9.2012  
<[http://incar.thyssenkrupp.com/2\\_00\\_000\\_Methodik.html?lang=en](http://incar.thyssenkrupp.com/2_00_000_Methodik.html?lang=en)>
- Walser, Maggie L. Carbon footprint 2012. Hakupäivä 14.5.2012  
<[www.eoearth.org/article/carbon\\_footprint](http://www.eoearth.org/article/carbon_footprint)>
- Wiedmann, Thomas & Minx, Jan 2007. A Definition of “Carbon footprint” ISA UK Research Report 07-01. ISAUK Research & Consulting.  
<[http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK\\_Report\\_07-01\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf)>
- World Auto Steel www-sivut 2012. Hakupäivä 16.5.2012 <[www.worldautosteel.org/](http://www.worldautosteel.org/)>
- World resources institute 2000. World Greenhouse gas emissions. Hakupäivä 14.5.2012  
<<http://www.wri.org/chart/world-greenhouse-gas-emissions-2000>>
- WRI & WBCSD 2011a, 2011. Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard  
<<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/ghg-protocol-revised.pdf>>
- WRI & WBCSD 2011b, 2011. Greenhouse Gas Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.  
<<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Product%20Life%20Cycle%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>>