

Ruostumattoman teräksen hiilijalanjälkeen vaikuttavat tekijät

Niko Norman

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri(AMK)

KEMI 2012

ALKUSANAT

Haluan kiittää Jukka Joutsenvaaraa opinnäytetyön aiheesta ja työn valvomisesta. Haluan kiittää Mari-Selina Kantasta työn ohjaamisesta ja Hannu-Pekka Heikkistä hyvistä kommentteista ja neuvoista. Haluan kiittää myös perhettäni, joka on ollut tukenani työtä tehdessä.

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Tekijä(t):	Niko Norman
Opinnäytetyön nimi:	Ruostumattoman teräksen hiilijalanjälkeen vaikuttavat tekijät
Sivuja (+liitteitä):	37
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä tietoa ruostumattoman terästuotteen hiilijalanjälkeen vaikuttavista tekijöistä ja nykyisistä menetelmistä hiilijalanjäljen selvittämisessä. Työn tarkoituksena oli myös tutkia ruostumattoman teräksen hiilijalanjäljen kokonaisvaikutusta yhteiskuntaan.</p> <p>Nykyajan kehittynyt ympäristötuntemus on kasvattanut termin hiilijalanjälki merkitystä. On olemassa muutamia standardeja, joiden avulla voidaan selvittää tuotteen hiilijalanjälkeä. Niitä ovat esimerkiksi PAS 2050 ja Green House Gas Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Nämä standardit eivät kuitenkaan määrittele hiilijalanjäljen laskemista tarpeeksi tarkasti, vaan erityisesti rajauksessa on puutteita. Pian ilmestytävä ISO/DIS 14067-standardi pystyy toivottavasti korjaamaan nämä puutteet ja näin ollen parantamaan määritysten luotettavuutta.</p> <p>Tämä työ on tehty kirjallisuusselvityksenä. Tietoa on kerätty sekä kotimaisista että ulkomaalaisista lähteistä, jotka ovat koskeneet ruostumatonta terästä, hiilijalanjälkeä ja sen laskemista. Erilaiset tutkimusraportit olivat tietoa kerätessä suuressa roolissa.</p> <p>Tutkittaessa tarkemmin ruostumattoman teräksen elinkaarta huomataan, että se on melko ekologinen materiaali. Ruostumattoman teräksen oikeanlainen käyttö voi auttaa säästämään materiaaleja ja luontoa. Ruostumaton teräs on pitkäikäinen ja helposti kierrätettävä materiaali. Sen edut ja hyödyt tekevät siitä kestävä kehityksen materiaalin.</p>	
Asiasanat: hiilijalanjälki, elinkaarianalyysi, ruostumaton teräs, ekologisuus	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Name:	Niko Norman
Title:	Factors affecting the carbon footprint of stainless steel
Pages (+appendices):	37
<p>The purpose of this Bachelor's Thesis was to gather information about carbon footprint of a stainless steel product and to study different carbon footprint calculation methods. The aim of this thesis was also to estimate the overall impact of the stainless steels production and use on society.</p> <p>Today's environmental awareness has increased the significance of the term carbon footprint. There are number of standards like PAS 2050 and Green House Gas Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard which gives advice on calculating the carbon footprint of a product, but these standards are not specific enough. Hopefully in the near future appearing the new standard ISO/DIS 14067 can improve this situation.</p> <p>This thesis was made as a literature survey. Information was collected from national and international publications concerning stainless steels, carbon footprint and its calculation. Different kinds of research reports played a significant role.</p> <p>When studying the life cycle of stainless steel one can notice that it is quite an ecological material. The correct use of stainless steel can help to save materials and environment. Stainless steel is a long lasting and very well recyclable material. The advantages and benefits of stainless steel can make it a material of sustainable development.</p>	
Keywords: carbon footprint, life cycle analysis, stainless steel, ecology	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYS	IV
1. JOHDANTO	1
2. HIILIJALANJÄLKI.....	2
2.1 Hiilijalanjälki käsitteenä	2
2.2 Ekologinen jalanjälki	4
3. RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET	5
3.1 Ruostumattoman teräksen valmistus.....	5
3.2 Ruostumattoman teräksen edut	7
3.3 Ruostumattomien terästen jaottelu.....	7
3.3.1 Austeniittiset teräokset	8
3.3.2 Ferriittiset teräokset.....	8
3.3.3 Martensiittiset teräokset	8
3.3.4 Austeniittis-ferriittiset eli duplex-teräokset	9
3.4 Outokumpu ruostumattoman teräksen valmistajana	9
4. HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN	11
4.1 Kasvihuonekaasut	11
4.2 Elinkaariarviointi.....	16
4.3 Suomen ympäristökeskuksen laskurit	16
4.4 CCaLC- laskuri	17
4.5 GHG Protocol	17
4.6 PAS 2050	20
4.6.1 Tuotteen ja päämäärien määrittely	20
4.6.2 Tiedon keräys	21
4.6.3 Tuotteen hiilijalanjälki	21
4.7 ISO/DIS 14067.....	22
5. RUOSTUMATTOMASTA TERÄKSESTÄ AIHEUTUVAT KUSTANNUKSET JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	23

5.1 Ruostumaton teräs siltarakentamisessa	23
5.1.1 Kustannukset ja päästöt.....	24
5.1.2 Ruotsin Nynäshamniin silta ruostumattomasta teräksestä.	24
5.2 Ruostumaton teräs autoteollisuudessa	25
5.2.1 Ruostumattoman teräksen käyttö linja-autoissa.....	25
5.2.2 Ruostumattomat pakoputket	26
5.2.3 Ruostumaton teräs säiliö	28
5.3 Käyttö junavaunuissa	29
5.4 Muita käyttösovelluksia	30
6. YHTEENVETO	32
6.1 Ruostumattomat teräkset kestävän kehityksen tukena.....	32
6.2 Hiilijalanjäljen määrittämisen nykyinen tilanne	33
LÄHTEET.....	35

1. JOHDANTO

Nykyajan ympäristötietoisessa maailmassa puhutaan paljon ympäristöystävällisyydestä ja ilmaston lämpenemisestä. Huoli ympäristöstä on luonut tarpeen erilaisille ympäristöystävällisyyttä mittaaville käsitteille ja menetelmille. Yksi näistä käsitteistä on hiilijalanjälki. Termi hiilijalanjälki kuvaa tuotteen tai palvelun vaikutusta ilmastonlämpenemiseen. Toisin sanoen hiilijalanjäljen laskemisessa tarkoituksena on selvittää tuotteen tai palvelun aiheuttamat kasvihuonekaasumäärät. Terminä hiilijalanjälki on vielä varsin vakiintumaton. Yleisellä tasolla sille on olemassa useita hieman toisistaan poikkeavia määrittäyksiä.

Tämä opinnäytetyö on kirjallisuusselvitys, jossa käydään läpi hiilijalanjäljen teoriaa ja laskemista. Lisäksi tutkitaan ruostumattomien teräksien hiilijalanjälkiä ja niiden vaikutusta yhteiskuntaan. Tässä työssä ei varsinaisesti lasketa hiilijalanjälkeä millekään tuotteelle, vaan päätelmät on tehty erilaisten LCA- ja hiilijalanjälkitutkimusten perusteella.

Ruostumattomien terästen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen tutkitaan erilaisten tutkimusraporttien ja vertailujen perusteella, joissa vertaillaan ruostumatonta terästä ja esimerkiksi hiiliterästä toisiinsa. Hiiliterästen hiilijalanjälkeä on määritelty jo pidemmän aikaa. Ruostumattomien terästen kohdalla asia on kuitenkin toisin. Ruostumattomien teräksien hiilijalanjäljen määrittäminen on melko uusia asia. Osa syynä tähän on luultavasti varsin korkeat valmistusvaiheen päästöt verrattaessa hiiliteräkseen. Hiilijalanjäljen määrittämisellä on elinkaariarvioinnin kanssa paljon yhtäläisyyksiä. Tuotteen hiilijalanjälkiarvioinnissa tarkoituksena on selvittää sen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt koko elinkaaren ajalta kehdosta hautaan periaatteella. Useiden tutkimusten perusteella voidaankin todeta, että vaikka ruostumattoman teräksen valmistus aiheuttaa suhteessa hiiliteräksen valmistukseen paljon päästöjä, on se kuitenkin pitkäikäisyytensä ja todella hyvän kierrätettävyytensä vuoksi ekologinen materiaali.

2. HIILIJALANJÄLKI

Ilmastonmuutos on nykyään esillä kaikkialla mediassa, yritysmaailmassa ja politiikassakin. Ympäristön suojelemiseksi ja ilmastonmuutoksen pysäyttämiseksi ollaan valmiita tekemään ympäristöystävällisempiä valintoja niin kuluttajien kuin yritystenkin toimesta. Valintojen selkeyttämiseksi on kehitetty erilaisia mittareita kuvaamaan ympäristöystävällisyyttä. Termi hiilijalanjälki kuvaa yrityksen, tuotteen tai palvelun vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Käsitteenä hiilijalanjälki on vakiintumaton, minkä vuoksi sitä käytetään kuvaamaan niin suoria hiilidioksidipäästöjä kuin koko elinkaaren kattavia kasvihuonekaasupäästöjäkin. Hiilijalanjälki voidaan jakaa tuotteen (PCF, Product Carbon Footprint) ja yrityksen (CCF, Corporate Carbon Footprint) hiilijalanjälkiin. Tuotteen hiilijalanjälki määrittelee tuotteen valmistamiseen tarvittavien raaka-aineiden, valmistusprosessien, kuljetusten, käytön ja käytöstä poiston aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä. Hiilijalanjälki pohjautuu sekä elinkaariarviointiin että ekologiseen jalanjälkeen. (Wiedmann & Minx. 2007, 2–4)

2.1 Hiilijalanjälki käsitteenä

Hiilijalanjäljelle ei ole olemassa yhtä tarkkaa määritelmää, vaan sille on olemassa useita hieman toisistaan poikkeavia määritelmiä. Taulukossa 1. on esitelty erilaisia määritelmiä hiilijalanjäljelle

Taulukko 1. Hiilijalanjäljen määritelmät (Meiseri 2010, 3)

Lähde	Hiilijalanjäljen määritelmä
BP (2007)	Hiilijalanjälki on päivittäisistä toiminnoista kuten pyykinpesusta ja lasten koulukuljetuksista syntyvän hiilidioksidin kokonaismäärä.
British Sky Broadcasting (Sky) (Patel 2006)	Hiilijalanjälki lasketaan mittaamalla hiilidioksidiekvivalenttipäästöt yrityksen omistamien koneiden, liikematkojen ja kaatopaikkakäsittelyn osa-alueilta.

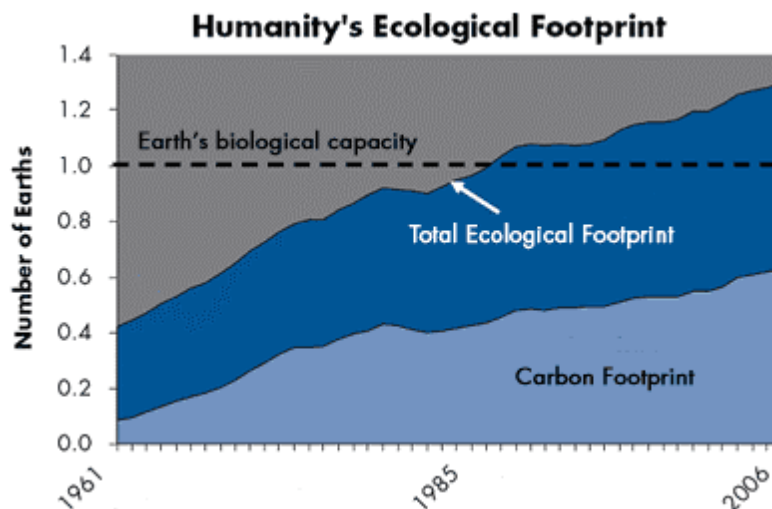
Carbon Trust (2007)	Hiilijalanjälki on metodologia kokonaiskasvihuonepäästöjen määrittämiseksi hiilidioksidiekvivalentteina tuotteen koko elinkaaren ajalta. Raaka-aineen käytöstä tuotantoon ja lopulta tuotteen lopulliseen hävitykseen, pois lukien käyttöpäästöt.
Energetics (2007)	Hiilijalanjälki on yritystoiminnan suorien ja epäsuorien hiilidioksidipäästöjen kokonaismäärä.
ETAP (2007)	Hiilijalanjälki on mittari, joka ilmoittaa ihmisen toimien aiheuttamien ympäristövaikutusten määrän tuotettuina ja mitattuina kasvihuonekaasuina tonneina hiilidioksidia.
Global Footprint Network (2007)	Hiilijalanjälki on vaadittu biokapasiteetti fossiilisten polttoaineiden poltosta syntyvien hiilidioksidipäästöjen eristämiseksi.
Grup & Ellis (2007)	Hiilijalanjälki kertoo fossiilisten polttoaineiden polton yhteydessä syntyvän hiilidioksidin määrän. Yritystoiminnassa tulos on päivittäisistä toiminnoista johtuvien hiilidioksidipäästöjen määrä. Se voi myös heijastaa markkinoilla olevan tuotteen tai hyödykkeen fossiilista energiaa.
Parliamentary Office of Science and Technology (POST 2006)	Hiilijalanjälki on tuotteen koko elinkaaren ajalla aiheuttaman hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen kokonaismäärä. Se ilmoitetaan grammoina hiilidioksidiekvivalenttia per

	kilowattitunti tuotantoa.
PAS 2050 (2011)	Hiilijalanjälki on tietyn tapahtuman tai kokonaisuuden aiheuttamien kasvihuonepäästöjen määrä koko elinkaaren ajalta.

Termi hiilijalanjälki tuli varsinaisesti esiin ensimmäistä kertaa vuonna 1996 julkaistussa Wackernagelin teoksessa ”Ekologinen jalanjälki”. Yleisesti sanottuna hiilijalanjälki tarkoittaa ihmisperäisiin kulutustottumuksiin tai tuotantoon liittyvää tiettyä ilmastonmuutokselle relevanttia kaasupäästö määrää. (Wiedmann & Minx 2007, 2)

2.2 Ekologinen jalanjälki

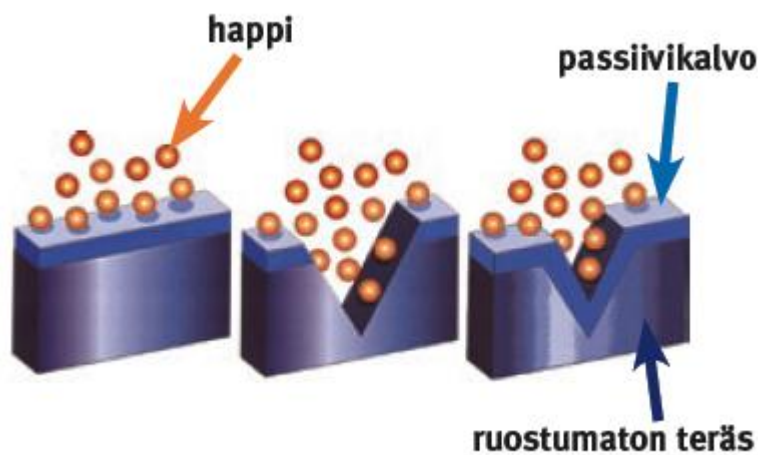
Ekologinen jalanjälki on hieman hiilijalanjälkeä laajempi käsite. Käytännössä hiilijalanjälki kattaa noin puolet ekologisesta jalanjäljestä (kuvio 1). Ekologinen jalanjälki kertoo kuinka paljon tarvitsemme maa-alaa globaalihehtaareina käyttämiemme varojen tuottamiseen ja myös vastaavasti päästöjen käsittelyyn. (Hieta 2010, 15)



Kuvio 1. Ihmiskunnan ekologinen jalanjälki (Hieta 2010, 16)

3. RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET

Ruostumaton teräs on rautaseos, johon on seostettu vähintään 10,5 % kromia ja enintään 1,2 % hiiltä. Seostuksen ansiosta kromi muodostaa reagoidessaan hapen kanssa ohuen, suojaavan passiivikalvon teräksen pinnalle. Passiivikalvo suojaa terästä ruostumiselta ja pintanaarmuilta (kuva 2). Passiivikalvo myös uusiutuu itsestään. (Euro Inox 2004a. Hakupäivä 5.4.2012)



Kuva 2. Passiivikalvo (Euro Inox 2004 a)

3.1 Ruostumattoman teräksen valmistus

Esimerkkinä on käytetty Outokummun Tornion tehdasta. Elijärven kaivos ja sitä kautta Outokummun oma ferrokromin tuotanto on avainasemassa yrityksen tehokkaassa ja ekologisessa toiminnassa. Ruostumattoman teräksen varsinainen valmistusprosessi alkaa terässulatolta, jossa panostetaan kierrätysteräs ja tarvittavat seosaineet esimerkiksi

nikkeli, molybdeenioksidi, ferrokromi ja koksi, valokaariuuniin. Valokaariuunin tarvitsema korkea lämpötila aikaan saadaan johtamalla panokseen sähköä graffitisauvoilla, jotka toimivat elektrodeina. Niiden avulla saavutetaan korkea lämpötila ja teräs sulaa. Prosessissa syntyy CO- kaasuja, joilla kuivataan ja lämmitetään kierrätysterästä. Seuraavassa vaiheessa sula kuljetetaan AOD-konvertteriin, jossa sitä käsitellään happipuhalluksella ja kuonanpelkistyksellä. Sulaan puhalletaan happi-argon-seosta, jonka seurauksena hiili hapettuu ja poistuu sulasta hiilidioksidikaasuina. Kromi pelkistetään teräsfaasiin piillä. Kuonan pelkistyksen yhteydessä rikkitaso säädellään halutulle tasolle. Prosessin yhteydessä syntyvät savukaasut puhdistetaan käyttäen tekstiilisuodattimia. (Pöyry 2005, 13)

Sitten sula teräs kuljetetaan senkka-asemalle, missä siihen voidaan lisätä kierrätysterästä ja muita seosaineita, jotta voidaan valmistaa haluttua terälaatua. Sitten aloitetaan valu. Valu suoritetaan jatkuvavalukoneilla. Tuloksena saadaan teräsaihoita, jotka kuljetetaan kuumavalssaamolle lämpöeristetyissä vaunuissa. (Pöyry 2005, 13)

Aihiot panostetaan kuumavalssaamalla askelpalkkiuuneihin, jossa niiden lämpötila nostetaan 1260- 1280 C^o:een. Uunin polttoaineena käytetään yksistään häkäkaasua tai propaania sen kanssa. Aihio kuljetaan pystyvalssaimelle, joka pitää aihion halutun levyisenä ja siitä etuvalssaimelle. Sitten saatu teräsnauha kuljetetaan Steckel-valssaimelle, jossa sitä valssataan kelainuunilta toiselle. Sen jälkeen rulla siirtyy pinnantarkastuksen kautta nauhakelaimelle ja sitten jäähdytykseen. Tämän jälkeen rulla toimitetaan kylmävalssaamolle. (Pöyry 2005, 13–15)

Kylmävalssaamalla nauha menee ensin hehkutus- ja peittäuslinjan käsittelyyn. Hehkutuksen jälkeen nauha kuulapuhalletaan, joka rikkoo teräksen pinnalla olevan oksidikalvon. Loppu hilse poistetaan pinnasta elektrolyytti- ja sekahappopeittauksella. Peittauksen jälkeen nauha käy typpi- ja fluorivetyhapposeoksissa. Mahdolliset pintaviat poistetaan nauhahiontalinjalla. Sen jälkeen nauha toimitetaan Senzimir-valssaimelle, jossa se saavuttaa lopullisen paksuutensa. Sitten se käy vielä kerran hehkutus-peittäusprosessin läpi saavuttaakseen oikeanlaiset lujuusominaisuudet. Viimeistelyvaiheessa nauhaa valssataan vielä viimeistelyvalssaimella tai käsitellään venytys-oikaisu-linjassa sen ominaisuuksien parantamiseksi. (Pöyry 2005, 16)

3.2 Ruostumattoman teräksen edut

Ruostumaton teräs on ekologinen materiaali. Se on käytössä pitkäikäinen. Käytön jälkeen se voidaan kierrättää ja uusiokäyttää uuden ruostumattoman teräksen valmistamiseen. Mitä enemmän teräksestä saadaan uusiokäyttöön, sitä vähemmän tarvitaan kalliita seosmetalleja, kuten nikkeliä ja molybdeeniä. Nikkelin ja molybdeenin hinnan vaihtelut ovat rajuja ja ne heijastuvat myös ruostumattoman teräksen hintaan ja näin ollen myös sen kulutukseen. Ruostumattomat teräkset ovat kestävän kehityksen kannalta ajateltuna loistavia materiaaleja. Niiden parhaita ominaisuuksia ovat:

- hyvä säänkestävyys
- korkea lujuus-paino suhde
- suuri vetolujuus
- hyvä sitkeys
- hyvä hitsattavuus
- se voidaan steriloida
- se ei ruostu, joten sitä ei tarvitse pintakäsitellä
- pitkäikäisyys
- hyvä muovattavuus tietyillä laaduilla
- matalat huolto- ja korjauskulut
- hyvät kierrätysmahdollisuudet
- se näyttää hyvältä sellaisenaan

(Dusart, El-Deeb, Jaouhari, Ka, Ruf 2011)

3.3 Ruostumattomien terästen jaottelu

Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa useisiin ryhmiin esimerkiksi tekotavan ja käytettävyyden mukaan. Useimmiten ne jaotellaan kuitenkin kiderakenteensa mukaan. Näin ne voidaan jakaa neljään ryhmään.

3.3.1 Austeniittiset teräkset

Austeniittiset teräkset ovat yleisimpiä ruostumattomia teräksiä. Ne sisältävät vähintään 17 % kromia ja 7 % nikkeliä. Austeniittiset teräkset ovat hyvin muovattavia, sitkeitä matalissa lämpötiloissa ja säilyttävät lujuutensa korkeissa lämpötiloissa. Austeniittiset teräkset muodostavat myös monipuolisimman ryhmän syöpymisen kestäviä teräksiä. (Toppila 2010, 5)

Seostus vaiheessa sulaan lisätään nikkeliä, joka muuttaa teräksen austeniittiseksi. Austeniittiset teräkset kestävät hyvin erilaisia korroosioilmiöitä, ne ovat erittäin hyviä hitsattavia, kun muistaa ottaa huomioon niiden suuren lämpölaajenemisen. Austeniittiset teräkset ovat pitkäikäisiä ja helppoja kierrättää. (Toppila 2010, 5)

3.3.2 Ferriittiset teräkset

Ferriittiset teräkset eivät sisällä lainkaan nikkeliä. Joidenkin ominaisuuksiensa puolesta ne vastaavat niukkahiilistä rakenneterästä, mutta korroosiokestävyys on kuitenkin selvästi parempi. Yleisin ferriittinen teräs sisältää noin 17 % kromia. Ferriittiset teräkset ovat austeniittisiin verrattuna selvästi edullisempia. (Toppila 2010, 5)

3.3.3 Martensiittiset teräkset

Martensiittiset teräkset eivät ole niin korroosiokestäviä kuin austeniittiset teräkset, eivätkä niin lujia kuin seostamattomat ja niukkaseosteiset karkaistut teräkset parhaimmillaan. Yleensä niissä on noin 13 % kromia. Useimmiten ne soveltuvat

parhaiten syöpymistä ja kulumista kestäviin rakenteisiin, kuten esimerkiksi ruokailuvälineisiin. (Toppila 2010, 6)

Yleisesti martensiittista terästä käytetään koneenrakennukseen, laakereihin ja venttiileihin, ruokailuvälineisiin ja kirurgisiin instrumentteihin. Joitakin voimakkaasti seostettuja laatuja käytetään myös akseleihin, pumppuihin ja venttiileihin. (Toppila 2010, 6)

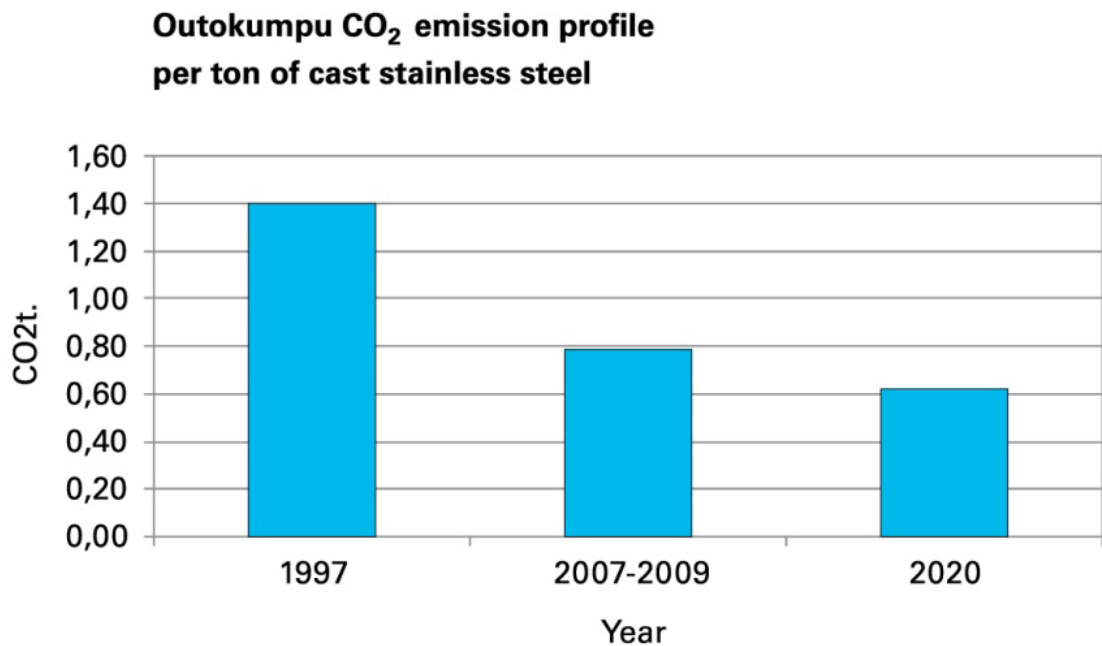
3.3.4 Austeniittis-ferriittiset eli duplex-teräkset

Austeniittis-ferriittiset eli duplex-teräkset sisältävät kahta eri kiderakennetta. Duplex-teräkset ovat lujia, sitkeitä ja erityisesti raekorroosion kestäviä. Niitä käytetäänkin yleisesti laivarakenneteollisuudessa ja öljynjalostuksessa. (Toppila 2010, 5)

Duplex-terästen sitkeys hitsattavuus ja korroosionkestävyys ovat hyvät, joten ne käyvät hyvin keveisiin korroosiokestäviin rakenteisiin. Duplex-teräkset voidaan jaotella neljään ryhmään seostuksen mukaan: matala-, keski- ja runsasseosteisiin ja superduplex-teräksiin. (Toppila 2010, 5)

3.4 Outokumpu ruostumattoman teräksen valmistajana

Outokumpu on yksi maailman johtavista ruostumattoman teräksen valmistajista. Se työllistää melkein 8000 henkeä yli 30 maassa. Outokummun Kemi-Tornion tuotantoketju on ekologisessa mielessä maailman tehokkain. Energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät kuin kilpailijoilla. Tämän on aikaansaanut oma kromikaivos ja oma ferrokromin uunitekniikka, joka tarvitsee muihin verrattuna vähän energiaa. Tehtaalla käytetään myös häkäkaasua polttoaineena. Sulaa ferrokromia käytetään myös kierrätysteräksen sulatuksessa. Kylmävalssaauksessa kylmävalssaamo 1:n lisäksi käytössä on moderni kylmävalssaamo 2 eli RAP-linja. Outokummun käyttämistä raaka-aineista noin 90 % on kierrätysterästä. Kuviossa 3 on esitelty Outokummun hiilidioksidipäästöprofiili per tuotettu teräs tonni. (Outokumpu 2012, Tornion tehtaan esittely)



Kuvio 3. Outokummun hiilidioksidipäästöprofiili per tuotettu terästönni. (Outokumpu 2012)

Outokummun kanssa kilpailevien ruostumattomien teräksien valmistajien Internet-sivuilta löytyy yllättävän vähän tietoa tuotteiden tai itse yrityksen hiilijalanjäljistä. Kilpailijoiden sivuilla olevat maininnat ja tiedot hiilijalanjäljistä ovat melko suppeita verrattaessa Outokumpuun. Hiilijalanjäljen määrittäminen ruostumattomille teräksille tuntuukin olevan melko uusi asia, jossa Outokumpu on edelläkävijänä. Sen sijaan hiiliteräksien hiilijalanjälkeä on tutkittu jo pidemmän aikaa. (Kaplin, Camilla, tuoteturvallisuus- ja ympäristöpäällikkö, Outokumpu. Puhelinhaastattelu 19.4.2012.)

Karu totuus on kuitenkin se että ruostumattoman teräksen valmistuksen osalta syntyvä hiilijalanjälki voi olla jopa 3 kertaa hiiliterästä isompi. Ruostumattoman teräksen hiilijalanjäljen pienentämisen vastaus ei siis piile niinkään valmistusvaiheessa, vaan valmiin tuotteen käytössä. Ruostumattomasta teräksestä tehdyn valmiin tuotteen elinkaaren aikaiset päästöt ovat useiden tutkimusten perusteella reilusti pienemmät kuin esimerkiksi hiiliteräksisen tuotteen. Tästä johtuen ajansaatossa ruostumattoman teräksen hiilijalanjäljistä tulee pienempi kuin hiiliteräksen hiilijalanjäljistä. (Kaplin. Puhelinhaastattelu 19.4.2012.)

4. HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN

Monet ympäristöystävällisyydestä kertovat menetelmät ovat vielä melko uusia. Niiden yleinen tunnettavuus on vielä melko heikkoa. Tästä johtuen menetelmien luotettavuus voidaan monissa tapauksissa kyseenalaistaa. Vielä ei ole olemassa tarkkaa ohjetta, joka kertoo, mikä metodi sopii mihinkin tilanteeseen. Metodien valitsee tekijä, joka valitsee parhaiten omiin tarpeisiinsa sopivan metodin. Menetelmät jättävät myös hiilijalanjalan selvittäjälle liikaa vapauksia, joten eri tekijöiden tekemiä selvityksiä voi olla vaikeaa vertailla keskenään. Hiilijalanjalan selvittämiseen on olemassa useita erilaisia ohjeistuksia. Niissä kaikissa on paljon samaa. Suurin ero eri metodien välillä on yleensä tutkimuksen rajauksessa.

Tuotteen hiilijalanjalan määrittelee tuotteen valmistamiseen tarvittavien raaka-aineiden, valmistusprosessien, kuljetusten, käytön ja käytöstä poiston aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä. Hiilijalanjalan laskennassa pyritään yleensä selvittämään kaikki Kioton pöytäkirjassa esitetyt kasvihuonekaasut joita tuote aiheuttaa. Joissakin malleissa jätetään kuitenkin vähäisimmät kaasut pois laskuista. Jokaiselle kaasulle on olemassa oma GWP (Global Warming Potential) kerroin, joka kuvaa kaasun voimakkuutta. Kertoimien avulla saadaan suhteutettua kaikkien kasvihuonekaasujen määrä hiilidioksidipäästöjen kanssa. (Meiseri 2010, 8)

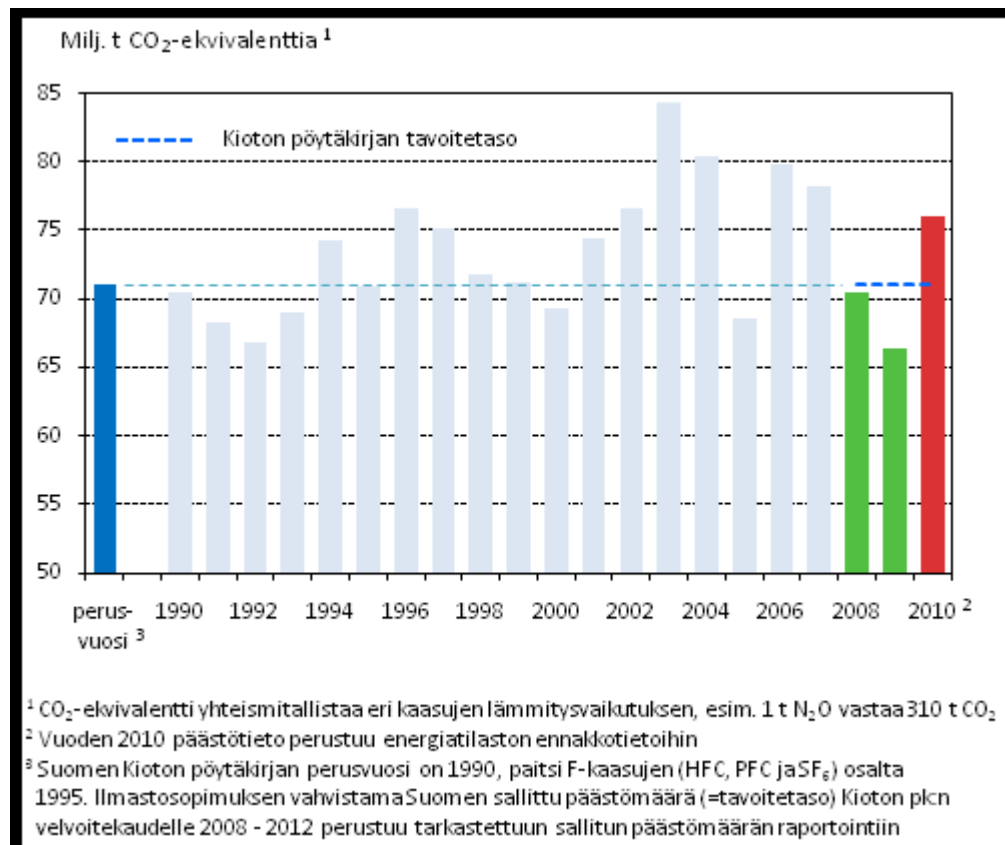
4.1 Kasvihuonekaasut

Kasvihuonekaasuiksi kutsutaan kasvihuoneilmiötä, eli ilmaston lämpenemistä aiheuttavia kaasuja. Ilmastonmuutoksen kannalta tärkeimpiä kaasuja ovat vesihöyry H_2O , hiilidioksidi CO_2 , metaani CH_4 , otsoni ja di-typppioksidi N_2O . Niiden lisäksi myös monet ihmisen toiminnan aikaansaamat kaasut ovat voimakkaita. (Ilmasto.org Hakupäivä 1.4.2012)

Vesihöyry on luonnollinen ja kasvihuoneilmiön aiheuttaja. Se lämmittää luonnollisesti maapallon pintaa. Ihmisen toiminta lisää vesihöyryn pitoisuutta. Se ei tapahdu suoraan,

vaan se johtuu muiden kaasujen pitoisuuden kasvamisesta, ja sitä kautta niiden ilmastoa lämmittävästä vaikutuksesta. (Ilmasto.org)

Kioton pöytäkirja velvoittaa kuuden kasvihuonekaasun päästöjen vähentämiseen. Nämä kaasut ovat hiilidioksidi CO_2 , metaani CH_4 , di-typiksi N_2O , fluorihilivedyt HFC, perfluorihilivedyt PFC ja rikkiheksafluoridi SF_6 . Kioton pöytäkirja velvoittaa teollisuusmaita vähentämään näiden kasvihuonekaasujen päästöjä. Suomen kasvihuonepäästöt alittavat Kioton tavoitetason (kuvio 4). (Valtion ympäristöhallinto 2011. Hakupäivä 3.4.2012)



Kuvio 4. Kasvihuonekaasujen päästöt Suomessa suhteessa Kioton pöytäkirjan tavoite tasoon. (Tilastokeskus Hakupäivä. 3.4.2012)

Kioton alaisista kasvihuonekaasuista voimakkain on rikkiheksafluoridi. Kaasua ei esiinny luonnostaan ilmakehässä, vaan sitä vapautuu ilmaan ihmisen toiminnan seurauksena alumiini- sähkö- ja elektroniikkateollisuudesta. (Kontiokorpi. 2011, 33)

Hiilijalanjätkilaskelmissa kasviuonekaasujen ilmastovaikutukset voidaan ilmoittaa hiilidioksidiekvivalentteina (CO₂-ekv. / CO₂-e). Tuotteen kokonaiskasviuonekaasujenmäärä saadaan kertomalla kukin kasviuonekaasu sitä vastaavalla GWP- kertoimella. GWP eli Global Warming Potential kertoimet ovat siis hiilijalanjäljen määrityksessä olennaisia. Joissakin malleissa hiilijalanjälki ilmoitetaan vain hiilidioksidimääränä per tonni valmista tuotetta. (Meiseri 2010, 8)

Vertailtaessa kasviuonekaasujen keskinäisiä päästöjä GWP-kertoimet ovat laajalti käytössä. Kertoimet esittävät kasviuonekaasujen keskiarvovoimakkuuden suhteessa hiilidioksidin. Hiilidioksidin GWP eli lämmityspotentiaalikerroin on 1, kun taas metaanin GWP on 25 ja typpioksiduulin jopa 298. (taulukko 2). Yksinkertaisesti mitä suurempi GWP-kerroin sitä pienempi määrä riittää aikaan saamaan tietyn ympäristövaikutuksen. GWP- kertoimet esitetään tyypillisesti 20, 100 tai 500 vuoden tarkastelujaksoina (Solomon, Qin, Manning, Chen, Marquis, Averyt, Tignor, Miller 2007, 211)

Taulukko 2. Kasvihuonekaasujen eliniät, säteilypakotteet ja GWP- kertoimet (Solomon ym. 2007, 212,213)

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency ($W\ m^{-2}\ ppb^{-1}$)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR [†] (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See below ^a	^b 1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Methane ^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
<i>Substances controlled by the Montreal Protocol</i>							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF ₃	840	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl ₃ FCClF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Carbon tetrachloride	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Methyl bromide	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClF ₂ CF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14		2,250	725	220
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClF ₂ CClF ₂	5.8	0.32		2,030	595	181
<i>Hydrofluorocarbons</i>							
HFC-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH ₂ F ₂	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.6	0.28		3,380	1030	314
HFC-365mic	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.6	0.21		2,520	794	241
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCF ₂ CF ₃	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500
<i>Perfluorinated compounds</i>							
Sulphur hexafluoride	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	740	0.21		12,300	17,200	20,700
PFC-14	CF ₄	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C ₂ F ₆	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR† (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Perfluorinated compounds (continued)							
PFC-218	C ₃ F ₈	2,600	0.26	7,000	6,310	8,830	12,500
PFC-318	c-C ₄ F ₈	3,200	0.32	8,700	7,310	10,300	14,700
PFC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	2,600	0.33	7,000	6,330	8,860	12,500
PFC-4-1-12	C ₅ F ₁₂	4,100	0.41		6,510	9,160	13,300
PFC-5-1-14	C ₆ F ₁₄	3,200	0.49	7,400	6,600	9,300	13,300
PFC-9-1-18	C ₁₀ F ₁₈	>1,000 ^d	0.56		>5,500	>7,500	>9,500
trifluoromethyl sulphur pentafluoride	SF ₅ CF ₃	800	0.57		13,200	17,700	21,200
Fluorinated ethers							
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	136	0.44		13,800	14,900	8,490
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂	26	0.45		12,200	6,320	1,960
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃	4.3	0.27		2,630	756	230
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃	2.6	0.38		1,230	350	106
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	5.1	0.32		2,440	708	215
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	4.9	0.31		2,280	659	200
HFE-254cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	2.6	0.28		1,260	359	109
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	5.2	0.34		1,980	575	175
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	7.1	0.25		1,900	580	175
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	0.33	0.93		386	110	33
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃	3.8	0.31		1,040	297	90
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	0.77	0.3		207	59	18
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	6.3	1.37		6,320	1,870	569
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	12.1	0.66		8,000	2,800	860
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	6.2	0.87		5,100	1,500	460
Perfluoropolyethers							
PFPME	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃	800	0.65		7,620	10,300	12,400
Hydrocarbons and other compounds – Direct Effects							
Dimethylether	CH ₃ OCH ₃	0.015	0.02		1	1	<<1
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	0.38	0.03		31	8.7	2.7
Methyl chloride	CH ₃ Cl	1.0	0.01		45	13	4

Kertoimien vaikutus on riippuvainen ilmakehän kasvihuonekaasujen konsentraatiosta. Toisin sanoen vaikutus riippuu ilmakehässä jo olevien kasvihuonekaasujen määrästä. Tämän vuoksi kertoimet tulevat muuttumaan ajansaatossa. Tarkasteltavalla ajanjaksolla on myös merkitystä, koska eri kasvihuonekaasuilla on erimittaiset elinkaaret ilmakehässä. Yleisimmin käytetään 100 vuoden aikajaksolle annettuja GWP- kertoimia. (Solomon ym. 2007, 211)

4.2 Elinkaariarviointi

Kun arvioidaan tuotteen ilmastovaikutuksia, tulee ottaa huomioon kaikki sen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt elinkaariajattelun mukaisesti. Ilmastovaikutuksia tulisi siis arvioida aina luonnonvarojenhyödyntämisestä jäte- ja kierrätysvaiheeseen asti. Hiilijalanjäljen määrittäminen ja elinkaariarviointi kulkevat käsi kädessä. Voidaankin sanoa että hiilijalanjäljen laskenta perustuu tuotteen elinkaariarvioon ja elinkaariarvio puolestaan perustuu kansainvälisen standardoimisjärjestö ISO:n määrittämiin standardeihin. (Kontiokorpi 2011, 35)

Elinkaariarvioinnin avulla yritys voi selvittää toimintansa hiilidioksidipäästölähteet ja mahdollisesti myös pienentää niitä. Kasvihuonekaasuinventaarior, joka on myös osa elinkaariarviointia, palvelee yritystä monissa eri tavoitteissa. Oikein valitut mittarit ja indikaattorit helpottavat yrityksen ympäristökuorman selvitystä. (Kontiokorpi 2011, 35)

Yleisen ilmastotietämyksen parantuessa on elinkaariarvioinnista ja hiilijalanjäljen laskemisesta tullut kauppatavaraa. Monet yritykset tarjoavat toisille yrityksille apua kasvihuonekaasujen laskennassa ja vähentämisessä sekä monissa muissa ympäristöasioissa.

Elinkaariarviointiin on olemassa useita erilaisia menetelmiä. Elinkaariarviointiin löytyy paljon apua myös ISO standardeista. ISO SFS-EN 14000 käsittelee ympäristöasioiden hallintaa. ISO 14000:n osat 14040 ja 14044 käsittelevät elinkaariarviointia, mutta eivät suoraan kerro miten arvio tehdään. Elinkaariarvioinnin toteutus riippuu täysin työn tavoitteista. Elinkaariarvio on helpointa tehdä siihen tarkoitukseen suunnitellulla ohjelmalla, joita on tarjolla useita, ja monilta eri tekijöiltä. (Antikainen 2010, 16)

4.3 Suomen ympäristökeskuksen laskurit

Suomen ympäristökeskuksen sivuilta löytyy muutamia valmiita Excel-pohjalle tehtyjä laskureita, joilla hiilijalanjälkeä voidaan määrittää suuntaa-antavasti. Yksi näistä on yrityksille suunnattu hiilijalanjälkilaskuri Y-HIILARI. Anniina Kontiokorpi on tehnyt

kyseessä olevan laskurin osana diplomityötään ”Energia- ja ilmastotoimenpiteiden käynnistäminen pk-yrityksissä”. (Suomen ympäristökeskus 2011. Hakupäivä 6.4.2012)

Laskurin rajausta mukailee GHG protokollan Corporate Accounting and Reporting standardia. Kasvihuonekaasuista huomioidaan Kioton-protokollan mukaiset kasvihuonekaasut. Ne on mainittu luvussa 4.1. Laskuri on yksinkertainen työkalu yrityksen hiilijalanjäljen laskemiseen. Sen avulla saadaan hyvin suuntaa antavia tuloksia yrityksen hiilijalanjäljestä. (Suomen ympäristökeskus 2011; WRI & WBCSD 2011a; Kontiokorpi 2011.)

Suomen ympäristökeskuksen sivuilta löytyy myös SYNERGIA niminen laskuri rakennusten päärakenteiden hiilijalanjäljelle. Laskurin tekijänoikeudet omistaa Suomen ympäristökeskus, SYKE. Laskuri on suunniteltu rakennusten päämateriaalien ja päärakenteiden hiilijalanjäljen arviointiin. Laskurilla saatavat tulokset ovat vain suuntaa-antavia ja niitä voidaan käyttää asiantuntija-arvion tukena. (Suomen ympäristökeskus 2011)

Ympäristökeskuksen sivuilta selviää, että valmisteilla on vielä muutama muukin laskuri. Ne on pääasiassa suunnattu kaupunkien tai kuntien hiilijalanjäljen laskemiseen.

4.4 CCaLC- laskuri

CCaLC-laskuri on kehitetty Manchesterin yliopistossa. Se toimii Microsoft Excelissä ja perustuu macroihin. Laskuri on helppo käyttää ja se pohjautuu ISO 14044- ja PAS 2050-standardeihin. CCaLC-laskurin ja sen käyttöohjeet voi ladata sen omilta internet sivuilta. (CCaLC Hakupäivä 2.4.2012)

4.5 GHG Protocol

GHG Protocol tarjoaa standardin hiilijalanjäljenlaskemiseen. GHG Protocolin Corporate Accounting and Reporting Standard ohjeistus on tarkoitettu nimensä

mukaisesti yrityksille. Se tarjoaa myös muutamia valmiita laskentaohjelmia, joilla yrityksen kasvihuonekaasupäästöjen selvittämisen kerrotaan olevan helppoa. Green House Gas Protocol A Corporate Accounting and Reporting Standard on kattava ja maailmalla hyvin tunnettu työkalu yrityksen hiilijalanjäljen selvittämiseen. (WRI & WBCSD 2011a, 5)

GHG protocol tarjoaa myös Product Life Cycle Accounting and Reporting Standardin. Standardi on suunnattu kaiken kokoisille yrityksille ja organisaatioille. Sen tarkoituksena on selvittää yritykselle sen suunnittelemista, ostamista, valmistamista, myymistä tai käyttämistä tuotteista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Standardi noudattaa haitanjaollista lähestymistapaa, mikä on yleisimmin käytetty menetelmä laskettaessa tuotteen elinkaarenaikaisia päästöjä. Tämä lähestymistapa huomioi kasvihuonepäästöt tuotteen elinkaaren ajalta hyödyntäen historiatietoihin ja faktoihin perustuvaa sekä mitattavissa olevaa dataa, mikä on kerätty kaikista rajaukseen sisältyvistä prosesseista. (WRI & WBCSD 2011b, 5,47,48)

Tuotteen valmistuksesta materiaalista valmiiksi tuotteeksi kerätään sekä primääristä että sekundääristä dataa. Primäärinen data on tietoa joka on joko mitattua tai mallinnettua. Primäärinen data on esimerkiksi prosessin aiheuttama energiankulutus kilowattitunteina, polttoaineen kulutus litroina tai keskiarvo materiaalin kulutuksesta. Sekundääristä dataa ei voida mitata suoraan prosessista. Sekundäärinen data on yleensä peräisin jostakin tietokannasta. Se voi esimerkiksi olla peräisin toisen yrityksen vastaavanlaisen prosessin päästöinventaarista (kuvio 5). Tietoa kerätessä pyritään pääsääntöisesti käyttämään primääristä dataa, mikäli sitä ei kuitenkaan ole saatavilla tai siihen ei jostakin syystä voida täysin luottaa, niin voidaan käyttää myös sekundääristä dataa. (WRI & WBCSD 2011b, 51–55)

Varsinaisessa laskennassa otetaan huomioon Kioton pöytäkirjaan kuuluvat kaasut. Laskennassa käytetään 100 vuoden GWP- arvoja ja tulokset esitetään hiilidioksidiekvivalentteina. GWP- arvojen lähde ja päivämäärä tulee ilmoittaa, koska ne voivat muuttua. Inventaariotuloksissaan yrityksen pitää raportoida hiilidioksidiekvivalentti määrä tuotannollista yksikköä kohden, eloperäiset ja ei-eloperäiset päästöt ja poistot (soveltuvin osin), maankäytön muutosvaikutus (soveltuvin

osin), elinkaaren vaiheiden osuudet kokoelinkaaren aikaisista vaikutuksista, primäärinen, sekundäärinen prosessi- ja sekundäärinen taloudellisen datan osuudet. (WRI & WBCSD 2011b, 86–88)

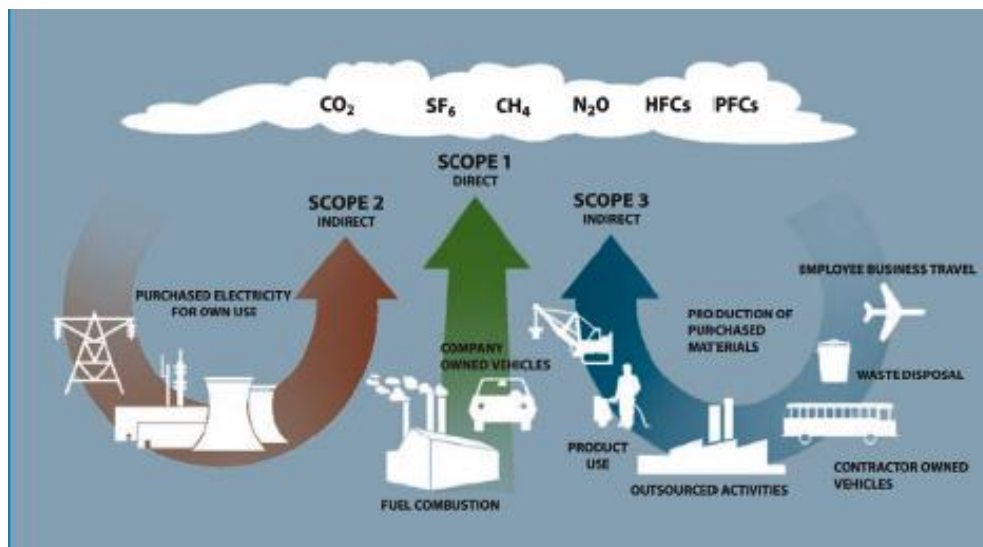
Kaavoissa kasvihuonekaasuista käytetään lyhennettä GHG (Green House Gas). Suorien päästöjen vaikutus lasketaan (WRI & WBCSD 2011b, 88):

$$kgCO_2e = suorapäästöt(kgGHG) \times GWP \left(\frac{kgCO_2e}{kgGHG} \right)$$

Kerätyn tiedon avulla laskeminen (WRI & WBCSD 2011b, 88):

$$kgCO_2e = toiminnot(yksikkö) \times päästökerroin \left(\frac{kgGHG}{yksikkö} \right) \times GWP \left(\frac{kgCO_2e}{kgGHG} \right)$$

Hiilen sitoutuminen tuotteeseen voidaan laskea mukaan kasvihuonekaasuinventaarioon, mikäli tuotteeseen sitoutunut hiili tai prosessista talteen otetut kasvihuonekaasupäästöt eivät vapaudu ilmakehään. (WRI & WBCSD 2011b, 88)



Kuvio 5. Green House Gas Protocollan kasvihuonekaasupäästö lähteiden jaottelu. (WRI & WBCSD 2011a, 26)

4.6 PAS 2050

PAS 2050 (Publicly Available Specification) on brittiläinen ohjeistus tuotteen tai palvelun kasvihuonekaasujen määrittämiseen. Sen on kehittänyt BSI (British Standards Institution). PAS 2050 ei varsinaisesti ole standardi, vaan enemmänkin spesifikaatio. PAS 2050 jaottelee hiilijalanjäljen selvittämisen selviin vaiheisiin.(PAS 2050 2011)

4.6.1 Tuotteen ja päämäärien määrittely

Ensin perehdytään itse tuotteeseen. Tarkoituksena on pohtia, mikä tuote sopii parhaiten hiilijalanjälki tutkimukseen ja mikä tuote on tärkeä erottumisen ja kilpailun kannalta. Sen jälkeen määritellään toiminnalliset yksiköt. Toiminnallinen yksikkö kuvaa sitä määrää, jolla loppukäyttäjä käyttää tuotetta. Esimerkiksi terästuotannossa sähkönkäytön osalta toiminnallinen yksikkö voisi olla käytetty sähkö per tonni terästä. Tuotteen elinkaaren aikaiset kasvihuonepäästöt esitetään hiilidioksidiekvivalenttimääränä kohti toiminnallista yksikköä.(Guide to PAS 2050 2011, 5,6)

Seuraavassa vaiheessa piirretään tuotteelle virtaus- ja prosessikaaviot. Kaavioiden avulla tunnistetaan tuotteen elinkaareen vaikuttavat materiaalit, toiminnot ja prosessit. Esimerkiksi terästehtaan kaavioissa esitellään materiaalivirrat ja kaikki tuotteen läpi käymät prosessit raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi. (Guide to PAS 2050 2011, 6)

Seuraavaksi määritetään tarkasteltavan järjestelmän laajuus. Rajauksella määritellään tarkastelussa huomioitavat elinkaarenvaiheet, syötteet ja tuotokset. Tarkoituksena on sisällyttää kaikki tuotteen tuotannossa suoraan tai epäsuoraan syntyneet päästöt. Joillekin tuotteille on olemassa tuoteryhmäkohtaiset ohjeet (PCR, Product Category Rules). Mikäli tutkittavalle tuotteelle on olemassa ohje, niin tulee rajauksen olla yhdenmukainen sen kanssa. Jos tuotteelle ei ole ohjetta, tulee tuotteen rajat määrittää selvästi.(Guide to PAS 2050 2011, 7)

4.6.2 Tiedon keräys

Hiilijalanjäljen selvittämiseen käytettävän tiedon on täytettävä tietyt laatumääräykset. Näin varmistutaan siitä, että arvio on luotettava, tarkka, tarpeen tullen toistettavissa ja vertailukelpoinen. PAS 2050:n mukaan tiedon pitää olla: spesifistä tarkasteluajankohtaan ja tiedonkeräysaikaan nähden, maantieteellisesti samalta alueelta, teknologisesti tarkennettua ja mahdollisimman tarkkaa ja täsmällistä. (PAS 2050 2011, 17,18)

Lähtökohtaisesti käytetään ensisijaista tietoa. Jos ensisijainen tieto on kuitenkin paikoitellen puutteellista, niin sitä voidaan täydentää toissijaisilla tiedolla. Ensisijaisilla tiedoilla tarkoitetaan tuotteen tarkkoja, todettuja ja mitattuja lähtötietoja. Toissijaisella tiedolla tarkoitetaan esimerkiksi mittaamatonta tietoa, joka on arvioitu samankaltaisen prosessin pohjalta. (PAS 2050 2011, 18)

Varsinaiseen arviointiin tarvitaan periaatteessa kahdentyyppistä tietoa: toimintotietoja ja päästökertoimia. Toimintotiedoilla viitataan materiaali- ja energiamääriin tuotteen elinkaareissa. Päästökertoimien avulla toimintotiedot voidaan muuttaa kasvihuonekaasupäästöiksi. Näin saadaan tulokseksi kasvihuonekaasujen määrä toimintotietoa kohden. Päästökertoimia voi hakea esimerkiksi Tilastokeskuksen sivuilta. (Guide for PAS 2011, 16–18)

4.6.3 Tuotteen hiilijalanjälki

Jokaiselle vaiheelle/toiminnolle lasketaan yksityiskohtaisesti kasvihuonekaasupäästömäärät toiminnollista yksikköä kohden. Saadut kasvihuonekaasumäärät muutetaan GWP- kertoimien avulla hiilidioksidiekvivalenteiksi. Näin saatujen tuloksien perusteella saadaan laskettua tuotteen kokonaishiilidioksidiekvivalentti arvo, joka on samalla tuotteen hiilijalanjälki. Tämän jälkeen saatuja tuloksia vielä tutkitaan ja varmistutaan niiden oikeellisuudesta. Sitten tuloksista voidaan viestiä ja pohtia samalla, että miten hiilijalanjälkeä saataisiin pienennettyä. (Guide for PAS 2011, 20)

4.7 ISO/DIS 14067

Kansainvälinen standardoimisjärjestö valmistelee tällä hetkellä ISO/DIS 14067 standardia. Standardi on kaksiosainen. Se sisältää ohjeet tuotteen hiilijalanjäljen laskemiseen ja siitä viestimiseen. Hiilijalanjäljen laskennassa perustana ovat ISO:n elinkaariarvioinnin standardit. Viestinnässä perustana ovat ISO:n ympäristömerkintästandardit. ISO/DIS 14067:n on tarkoitus valmistua vuodenvaihteessa 2012/2013. Valmistuessaan se toivottavasti luo selvän ja yhdenmukaisen pohjan tuotteen hiilijalanjäljen laskemiselle, ja näin ollen mahdollistaa tulosten vertailun. (Suomen standardoimisliitto SFS 2012)

5. RUOSTUMATTOMASTA TERÄKSESTÄ AIHEUTUVAT KUSTANNUKSET JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Ruostumaton teräs on vahvistanut asemaansa ekologisuuksensa vuoksi. Se on käytössä pitkäikäinen ja todella hyvin kierrätettävissä. Sitä on käytetty paljon rakennusten julkisivuissa ja muissa kohteissa jossa tarvitaan hyvää säänkestävyyttä. Lähivuosien aikana sen käyttö on yleistynyt niin autoteollisuudessa kuin siltarakentamisessakin. Se sopii erinomaisesti rakenteisiin, joiden on tarkoitus kestää pitkään. Kun tarkastellaan ruostumattoman teräksen käyttöä eri sovelluksissa, huomataan, että useissa tapauksissa se on avain kestävään kehitykseen. Oikein käytettynä ruostumattoman teräksen avulla voidaan pienentää kuluja ja hiilijalanjälkeä.

5.1 Ruostumaton teräs siltarakentamisessa

Ruostumattoman teräksen elinkaarikustannuksia on tutkittu ja vertailtu muihin teräksiin International Stainless Steel Forumin tutkimuksessa. Tutkimuksen tekemisessä mukana ovat olleet Antoine Dusart, Hicham El-Deeb, Nahla Jaouhari, David Ka ja Lisa Ruf. Tutkimuksen valvojina ovat toimineet Rosalind Greenstein ja Pierre Pech. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut tuoda esiin ruostumattomien terästen hyvät ja huonot puolet verrattaessa sitä muihin teräksiin. Tutkimuksessa vertaillaan eri teräslaaduilla tehtyjen rakennelmien kustannuksia LCC- analyysin avulla ja ympäristövaikutuksia LCA-analyysin avulla toisiinsa. (Dusart, El-Deeb, Jaouhari, Ka, Ruf 2011, 1,8)

Tutkimuksessa tutkittiin ruostumattomien duplex-teräksien soveltuvuutta siltojen rakentamiseen. Ruostumattoman teräksen käyttö siltarakentamisessa on varsin uutta ja vähäistä. Sillä on kuitenkin hyvät edellytykset parantaa asemaansa siltarakennemateriaalina.

Sopivaa sillan rakennusmateriaalia valittaessa pitää ottaa huomioon materiaali- ja rakennuskustannukset, massa, tarvittavat lujuusominaisuudet ja korroosioriski. Rakenteellisista ja mekaanisista ominaisuuksista on hyvä huomioida ainakin kestävyys, kunnossapito- ja korjauskustannukset ja esteettiset asiat. Nykyajan siltoja ei enää

yleensä tehdä käyttäen vain jotakin tiettyä yhtä materiaalia, vaan nykyään sillat rakennetaan käyttäen eri materiaaliyhdistelmiä. (Dusart ym. 2011, 30)

5.1.1 Kustannukset ja päästöt

Ruostumaton teräs on tarvittavien seosaineiden vuoksi kalliimpaa kuin esimerkiksi hiiliteräs. Tästä johtuen sillan tekeminen ruostumattomasta teräksestä tulee rakennusvaiheessa kalliimmaksi kuin sen tekeminen hiiliteräksestä. Ruostumattoman teräksen valmistaminen aiheuttaa myös hieman enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin hiiliteräksen tekeminen. (Dusart ym. 2011, 31,34)

Nykyajan siltojen on kuitenkin tarkoitus kestää pitkään. Tässä kohtaa ruostumaton teräs erottuu muista kilpailijoista. Siltojen kunnossapitoon ja korjaamiseen uppoaa paljon rahaa. Suurten rakennelmien korjaus on vaikeaa ja aikaa vievää hommaa. Siltojen korjaustyöt aiheuttavat lisää kasvihuonekaasupäästöjä ja näin ollen kasvattavat hiilijalanjälkeä. Ruostumattomasta teräksestä tehty silta on pitkäikäisyytensä ja korroosionkestävyytensä vuoksi lähes huoltovapaa. Ruostumattomasta teräksestä tehtyä siltaa ei myöskään tarvitse maalata. Pitkällä aikavälillä ruostumattomasta teräksestä tulee halvin ja ympäristöystävällisin vaihtoehto. Ruostumattomat teräkset ja niiden ominaisuudet ovat parhaimmillaan olosuhteissa, joissa tarvitaan hyvää korroosion kestävyyttä. (Dusart ym. 2011, 36,37)

5.1.2 Ruotsin Nynäshamniin silta ruostumattomasta teräksestä.

Ruotsin Nynäshamniin valmistui osittain ruostumattomasta teräksestä tehty silta kesäkuussa 2011 (kuva 6). Sillan betoninen ajokansi on asennettu duplex 2101 ruostumattomasta teräksestä tehtyjen I-palkkien päälle. Outokummun toimittama LDX 2101 on korkean lujuuden omaava ja korroosiota hyvin kestävä ruostumaton teräs. Duplex-teräksen valintaa palkkien materiaaliksi perustellaan sen huoltovapaudella. Lujan ruostumattoman teräksen käyttö on mahdollistanut myös kustannustehokkaan ja

kevyen rakenteen, jossa jännevälit voivat olla jopa 100 metriä. (SBI Stålbyggnad 4/2011, 48)



Kuva 6. Nynäshamnin silta (SBI Stålbyggnad 4/2011, 48)

5.2 Ruostumaton teräs autoteollisuudessa

Ruostumaton teräs ei ole enää mikään uusi materiaali autoteollisuudessa. Se soveltuu loistavasti korroosiolle alttiille rakenteille. Sen käyttö on viimevuosien aikana yleistynyt runkorakenteissa ja pakoputkistoissa.

5.2.1 Ruostumattoman teräksen käyttö linja-autoissa

Vuonna 2005 tehdyssä tutkimuksessa on vertailtu ruostumattomia teräksiä hiiliteräksiin. Tutkimuksessa vertailtiin ruostumattomasta teräksestä tehdyn linja-auton korin elinkaarikustannuksia hiiliteräksestä tehtyyn linja-auton koriin. Auton käyttöiäksi määriteltiin 20 vuotta. (ICDA, Euro Inox, SASSDA 2005)

Lähtökohtaisesti ruostumattomasta tehty linja-auto on kalliimpi johtuen ruostumattoman teräksen korkeammasta hinnasta. Tutkimukset kuitenkin osoittavat että ruostumattoman teräksen käyttö linja-auton rakentamisessa tulee pidemmän päälle halvemmaksi kuin hiiliteräksen käyttö (kuva 7). Tämä johtuu ruostumattoman teräksen pitkäikäisyydestä. Hiiliteräksen käyttö korroosiolle alttiissa rakenteissa johtaa aina jossain välissä pakollisiin korjaustoimenpiteisiin. Tämä puolestaan johtaa kustannusten nousuun. Ruostumaton teräs kestää hyvin korroosiota ja on näin ollen lähes huoltovapaa. Lisäksi käytön jälkeen ruostumaton teräs voidaan kierrättää ja uusiokäyttää ilman sen ominaisuuksien heikkenemistä. (ICDA, Euro Inox, SASSDA 2005)



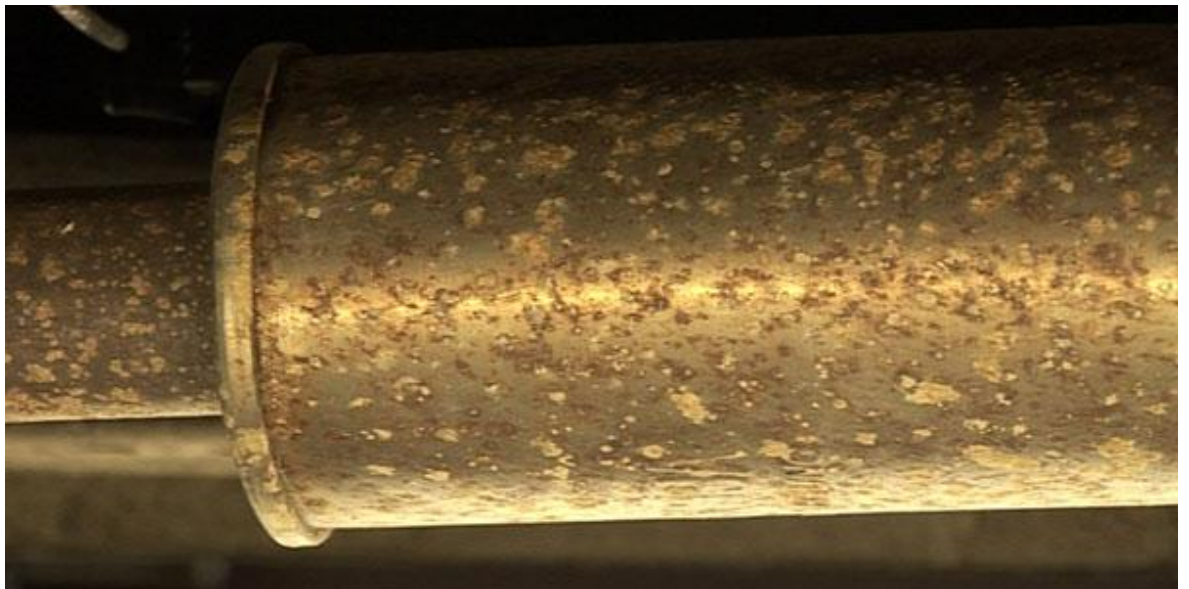
Kuva 7. Ruostumattomasta teräksestä valmistettu linja-auton kori (ICDA, Euro Inox, SASSDA 2005)

5.2.2 Ruostumattomat pakoputket

Normaalista rakenneteräksestä tehdyn pakoputken ongelmana on sen sisään muodostuva kondenssiovesi ja maantiesuola. Vaikeissa olosuhteissa normaali pakoputki voi ruostua puhki jo 2–3 vuodessa ja tällöin se on suomen liikennelakien vastainen. Ruostumattoman teräksen käyttö pakoputkessa poistaa tämän ongelman. Ruostumaton teräs kestää niin hyvin näissä olosuhteissa, että eräät valmistajat antavat pakoputkilleen elinikäisen takuun.

Niin sanottu normaali pakoputki haurastuu sisältäpäin. Ruostehile ja muut epäpuhtaudet voivat aiheuttaa äänenvaimentimen kohdalle tukoksia, jotka kasvattavat pakovastusta. Pakovastuksen kasvu puolestaan johtaa bensankulutuksen nousuun ja auton tehon laskuun. Ruostumattomasta teräksestä tehdyt pakoputket siis parhaassa tapauksessa kestävät todella pitkään ja voivat vähentää kulutusta. Pakoputkissa käytetään usein 1.4512 laatusia ruostumattomia teräksiä. 1.4512 on titaanilla stabiloitu ferriittinen laatu. Se omaa hyvän hilsettymiskestävyyden korkeissa lämpötiloissa ja sen korroosionkesto on riittävän hyvä. Ferriittiset laadut ovat myös edullisia verrattaessa muihin ruostumattomiin teräksiin. Ruostumattoman pakoputken pitkäikäisyys ja polttoaineen kulutuksen väheneminen auttavat pienentämään hiilijalanjälkeä. (Ruukki 2012)

Suomen olosuhteet ovat melko aggressiiviset. Johtuen talvisesta maantiesuolan käytöstä, kosteudesta ja mahdollisista iskuista, myös ruostumattomasta teräksestä tehtyyn pakoputkeen ilmestyy ajansaatossa pintaruostetta. Ruoste kertyy kuitenkin vain putken pinnalle, ja putki kestää siitä huolimatta vielä pitkään (kuva 8).

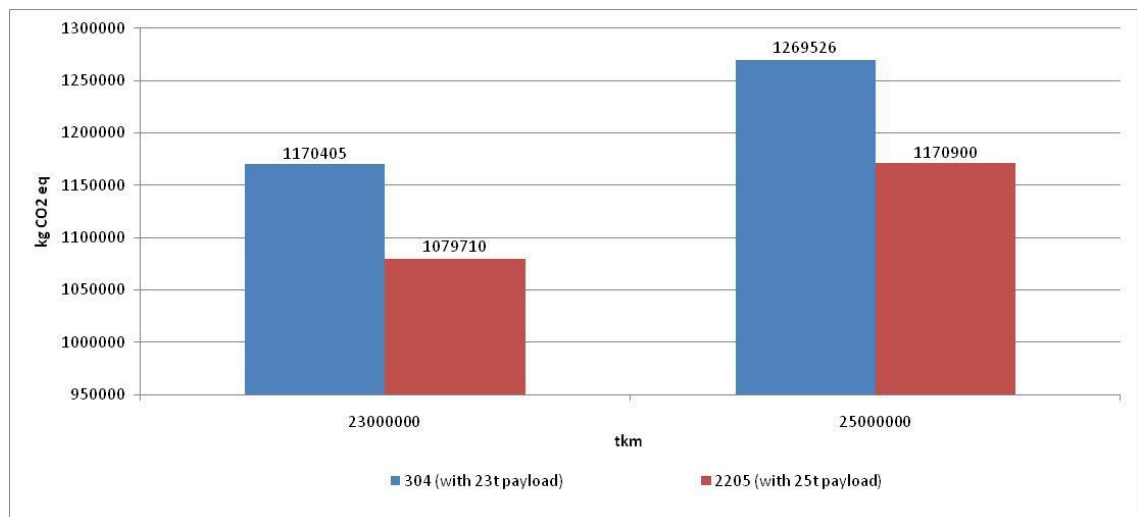


Kuva 8. Pintaruostetta ruostumattomasta teräksestä tehdyssä pakoputkessa. (Koeajo.tv 2012, Hakupäivä 10.4.2012)

5.2.3 Ruostumaton teräs säiliö

FINLCA-hankkeen yhteydessä tehdyssä tutkimuksessa on vertailtu austeniittisen 304 (EN 1.4301) ja duplex 2205 (EN 1.4462) teräksien käytettävyyttä tankkiauton säiliön materiaalina. Tutkimus tehtiin kolmessa osassa: raaka-aineen valmistus, säiliön valmistus ja käyttö. Polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt laskettiin mukaan käyttövaiheessa. Hyötykuorma näkökulma on huomioitu kohdentamalla hiilidioksidiekvivalentti päästöt tonnikipometreille. (Tonteri, Ovaskainen, Mattila, Haikka, Kaplin 2012, 69)

Lähtökohtaisesti duplex-teräksen hiilijalanjälki on suurempi kuin austeniittisen ruostumattoman teräksen. Duplex 2205:n käyttö mahdollistaa kuitenkin 2000 kg kevyemmän säiliön valmistuksen. Kevyempi säiliö mahdollistaa suuremman kuorman, ja näin ollen se auttaa säästämään polttoainetta. Tämä johtaa siihen että duplex 2205 osoittautuu jo ensimmäisenä vuonna ekotehokkaammaksi kuin 304 materiaali (kuvio 9). Tutkimuksen mukaan miljoonan kuljetuskilometrin jälkeen, eli noin viiden käyttövuoden jälkeen hiilijalanjälki on noin 8% edullisempi puoliperävaunurekalle jonka tankki on tehty 2205 materiaalista kuin 304 ruostumattomasta teräksestä. Tutkimuksessa ei ollut mukana lujitusvalssattua austeniittista ruostumatonta terästä. (Tonteri ym.72)

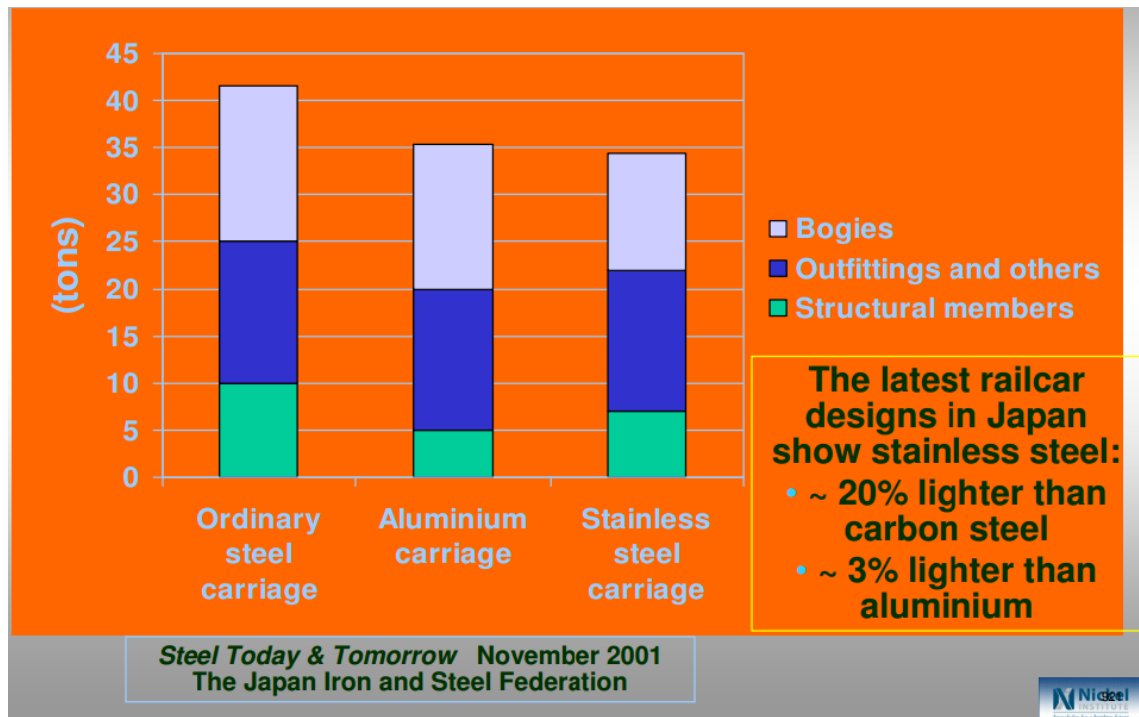


Kuvio 9. Hiilijalanjätkivertailu eri tankki materiaaleille. (Tonteri ym.71)**5.3 Käyttö junavaunuissa**

Ruostumattomien teräksien käyttö junavaunuissa on yleistä varsinkin Japanissa ja Amerikassa. Yleisimmin on käytetty austeniittisia 1.4310 ja 1.4301 teräksiä. Ruostumattomia teräksiä suositaan junan vaunujen materiaalina sen palokestävyyden, korroosiokestävyyden ja keveyden vuoksi (kuvio 10). Lujitusvalssattuja austeniittisia ruostumattomia teräksiä hyödynnetään myös junissa. Luja materiaali mahdollistaa kevyemmän rakenteen, ja näin ollen hyötykuorma kasvaa. Oikein valittuna ja käytettynä ruostumaton teräs myös yleensä absorboi energiaa törmäystilanteissa paremmin kuin hiiliteräs ja alumiini, joita myös yleisesti käytetään junavaunuissa. Parempi energian absorbointikyky johtuu korkeasta myötörajasta, muokkauslujittumisesta ja hyvästä sitkeydestä. Junavaunuissa ruostumattoman teräksen edut ovat:

- paranneltu törmäys- ja paloturvallisuus
- keveys
- pieni kunnossapitotarve
- vähäiset ympäristövaikutukset
- matalat elinkaarikustannukset
- näyttävyyys
- helppo työstettävyys ja hyvä hitsattavuus

(Cutler 2008)



Kuvio 10. Vertailu eri materiaaleilla rakenteellinen massa per vaunu (Cutler 2008)

Junan vaunut on suunniteltu kestämaan pitkään. Hiiliteräksinen junavaunu kestää noin 20–40 vuotta, alumiininen 25–40 vuotta ja ruostumaton jopa yli 80 vuotta. (Cutler 2008)

5.4 Muita käyttösovelluksia

Ruostumaton teräs on hygieeninen ja helposti puhdistettava materiaali. Se soveltuu moneen paikkaan, missä muiden materiaalien käyttö on vaikeaa tai käytännössä mahdotonta.

Ruostumatonta terästä käytetään paljon elintarviketeollisuudessa ja lääketieteessä. Helpon puhdistettavuutensa, korroosiokestävyytensä ja hygieenisyytensä vuoksi se soveltuu loistavasti elintarviketeollisuuden käyttämiin laitteisiin ja lääketieteessä käytettäviin kirurgisiin instrumentteihin. Käytön jälkeen laitteet on helppo pestä, steriloida ja ottaa uudestaan käyttöön.

Rakennuksissa ruostumatonta terästä nähdään usein julkisivuissa ja erilaisissa kaideratkaisuissa. Rakennusten julkisivuissa käytetään yleensä pinnanlaatua 2K. Se on kangaskiillotettu, sileä ja heijastava pinta ja alhaisen pinnankarheuden (RA alle 0,5 μm) vuoksi se soveltuu hyvin ulkokäyttöön. Pinta ei kuitenkaan ole täysin peilimäinen ja sen kuvaterävyys on alhainen. Mikäli halutaan oikeasti kunnolla heijastava pinta, on syytä valita pinnanlaaduksi mekaanisesti kiillotettu 2P. Se on erittäin heijastava ja kuva on terävä. Pinnan laatu on aikaansaatu hionnan jälkeisellä kiillotuksella. Ruostumaton teräs kestää koko rakennuksen iän. Sen jälkeen se voidaan kierrättää kokonaan. Pinnan laatuun vaikuttavat käytetty laatu, sen läpikäymät prosessit ja hionnassa käytetyn nauhan karkeus. (Euro Inox 2004b, 4–7)

6. YHTEENVETO

Ruostumattomat teräkset herättävät keskustelua ja jakavat mielipiteitä nykyajan ympäristöasioihin perehtyneessä maailmassa. On totta että ruostumattomien teräksien valmistusprosessi on energiaintensiivinen ja materiaalivirrat suuria. Näin ollen sen valmistaminen aiheuttaa enemmän päästöjä kuin useiden muiden teräksien valmistaminen. On myös totta että ruostumattomat teräkset ovat kalliimpia kuin useat muut teräkset. Asia ei kuitenkaan ole niin yksiselitteinen, vaan sitä pitää tarkastella laajemmasta näkökulmasta.

6.1 Ruostumattomat teräkset kestävän kehityksen tukena

Tutkittaessa ruostumattoman teräksen hiilijalanjälkeä elinkaariajattelun mukaisesti ”kehdestä hautaan” periaatteella huomataan että se on oikeastaan varsin ekotehokas materiaali. Elinkaarikustannus laskelmat osoittavat myös että pidemmän päälle ruostumattoman teräksen käyttö on myös taloudellisesti kannattavaa. Ruostumattoman teräksen edut ja hyödyt elinkaaren aikana ja sen jälkeen ovat niin merkittäviä, että voidaan puhua kestävän kehityksen materiaalista. Onkin siis pyrittävä muodostamaan käsitys siitä, aiheuttaako yrityksen tuotteen käyttö merkittävää ympäristökuormitusta vai voiko yrityksen tuotteella vaikuttaa jonkin kulutustarpeen ympäristökuormitusta pienentävästi.

Ruostumattomasta teräksestä aiheutuvat päästöt ovat suurimmillaan valmistusvaiheessa. Valmis tuote ei kuitenkaan pitkäikäisyytensä ja huoltovapautensa vuoksi aiheuta niinkään enää päästöjä, vaan päinvastoin joissakin tapauksissa se auttaa jopa suoraan vähentämään niitä. Esimerkiksi ruostumattoman teräksen käyttöllä autojen pakoputkistoissa voidaan vähentää polttoaineen kulutusta, ja näin ollen myös kasvihuonepäästöjä. Lisäksi ruostumattomat tuotteet ovat muita pitkäikäisempiä.

Käytössä ruostumaton teräs on pitkäikäinen, hygieeninen ja korroosion kestävä. Se soveltuu lukuisiin erilaisiin sovelluksiin ja toimii niissä monesti paremmin kuin muut teräkset. Joihinkin äärimmäistä korroosion kestoja tai hygieniavaatimista sovelluksiin se

on oikeastaan ainoa oikea vaihtoehto. Joitakin tuotteita ei voida edes tehdä ilman ruostumatonta terästä.

Ruostumaton teräs on eniten kierrätetty materiaali maailmassa. Se voidaan kierrättää täysin uuden ruostumattoman teräksen valmistuksessa. Kierrätyksestä huolimatta teräksen ominaisuudet eivät huonone. Ruostumattoman teräksen valmistuksessa käytetään paljon kierrätysterästä, mikä vähentää louhinnan tarvetta.

Ruostumaton teräs on kestävän kehityksen kannalta ajateltuna loistava materiaali. Sen käyttö voi auttaa säästämään materiaaleja ja luontoa. Duplex-teräkset soveltuvat hyvin erilaisiin vaativampiin teräsrakenteisiin. Ferriitiset laadut ovat paljonkäytettyjä kodinkone ja keittiöväline materiaaleina. Korkean lujuuden omaavat ruostumattomat teräksen mahdollistavat keveämmät ratkaisut, antaen suunnittelijoille ja arkkitehdeille suurempia vapauksia innovatiivisten ja haastavien muotojen toteuttamiseksi. Ruostumattomalle teräkselle löydetään aina uusia käyttösovelluksia. Ruostumatonta terästä ei tulisi hylkiä sen hinnan tai valmistuspäästöjen perusteella, vaan pitäisi miettiä asioita hieman pidemmälle. Kuten monista tehdyistä tutkimuksista selviää, ruostumattoman teräksen käyttö auttaa pitkällä tähtäimellä pienentämään tuotteesta johtuvia kuluja ja hiilijalanjälkeä.

6.2 Hiilijalanjäljen määrittämisen nykyinen tilanne

Hiilijalanjälki on monien muiden ympäristöystävällisyydestä kertovien arviointimallien tavoin hyvä mittari, joka kertoo yrityksen toiminnan tai tuotteen aiheuttamasta ympäristökuormasta. Nykyisten standardien ja ohjeistusten avulla voidaan kuitenkin saavuttaa vain arvioita. Määrittämiseen on olemassa useita menetelmiä. Joissakin menetelmissä ei huomioida kuin osa kaasusta ja rajausta on muutenkin hieman erilainen eri menetelmien kesken. Näin ollen tulokset ovat eriäviä riippuen käytetystä metodista ja valitusta rajauksesta. Tästä johtuen tulosten vertailu on vaikeaa.

Hiilijalanjäljen määrittämiseen tarvitaan tarkempia ohjeistuksia, jotka eivät anna arvioinnin tekijällä liikaa vapauksia. Tutkimuksen rajaukseen ja huomioitaviin

kasvihuonekaasuihin pitää saada tarkat ohjeet. Vuoden vaihteessa valmistuva ISO/DIS 14067 pystyy toivottavasti selkeyttämään hiilijalanjalan laskentaa. Tarpeeksi tarkat ohjeet, eritoten rajausohjeet tekisivät tutkimustuloksista luotettavampia ja näin ollen mahdollistaisivat tulosvertailun.

LÄHTEET

Antikainen, Riina. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila ja kehitystarpeet. Hakupäivä 13.4.2012 <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=116835&lan=fi>

CCaLC 2012. Hakupäivä 2.4.2012 <http://www.ccalc.org.uk/>

Cutler, Peter. 2008. Use of Stainless Steel in Railcars Outside Europe. INSAPTRANS Seminar Berlin.

Dusart, Anotine, El-Deeb, Hicham, Jaouhari, Nahla, Ka, David, Ruf Lisa 2011. Final report. ISSF Workshop. University of the Sorbonne. Paris.

Euro Inox 2004a. Mikä on ruostumaton teräs? Hakupäivä 5.4.2012 http://www.euro-inox.org/pdf/map/What_is_Stainless_Steel_FI.pdf

Euro Inox 2004b. Ruostumattoman teräksen pinnanlaadut. Hakupäivä 5.4.2012 http://www.euro-inox.org/pdf/build/Finishes02_FI.pdf

Guide for PAS 2050 2011. How to carbon footprint your products , identify hotspots and reduce emissions in your supply chain. Lontoo: British Standards institution

Hieta, Antti 2010. Kaukolämmön hiilijalanjälki. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö

ICDA, Euro Inox, SASSDA 2005. LCC Case Study ”Bus underframe” Hakupäivä 12.4.2012 http://www.euro-inox.org/LCC/LCC_Bus_Underframe.pdf

Ilmasto.org. Hakupäivä 1.4.2012 <http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/perusteet/kasvihuonekaasut.html>

Kaplin, Camilla, tuoteturvallisuus- ja ympäristöpäällikkö, Outokumpu.

Puhelinhaastattelu 19.4.2012.

Koeajo.tv Hakupäivä 10.4.2012 <http://www.koeajo.tv/index.php?369>

Kontiokorpi, Leea Anniina 2011. Energia- ja ilmastotoimenpiteiden käynnistäminen pk-yrityksissä. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö

Meiseri, Anni 2010. Tuotteen hiilijalanjälki ja sen laskenta. Lahden Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö

Ny lättviksbro i rostfritt stål från Outokumpu. SBI Stålbyggnad 4/2011, 48

Outokumpu 2012, Tornion tehtaan esittely [PowerPoint esitys]

PAS 2050, 2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Lontoo: British Standards Institution

Pöyry, Jaakko 2005. Tornion tehtaiden eräiden toimintojen laajentaminen.

Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Maa ja vesi. Hakupäivä 11.4.2012

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=31233&lan=FI>

Ruukki 2012. Ruostumaton teräs 1.4512 Hakupäivä 11.4.2012

<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Ruostumaton-teras-ja-alumiini/Ruostumattomat-teraslevyt-ja--kelat/Ruostumaton-teras-14512#tab1>

Solomon, Susan, Qin, Dahe, Manning, Martin, Chen, Zhenlin, Marquis, Melinda

Averyt, Kristen, M.B Tignor, Melinda, Leroy Miller, Jr, Henry 2007. Climate Change

2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. New York. USA

Suomen Standardisoimisliitto SFS 2012. Ympäristöjohtamisen standardit. Kalvosarja oppilaitoksille. Hakupäivä 10.4.2012

<http://www.sfsedu.fi/www/fi/hallinta->

[ja_laatuja_rjestelmat/apua_opetukseen_ja_oppimiseen/Luentoaineisto/SFSeduYmpiristjohtamisenstandarditISO140002012-01-05.pdf](http://www.sfsedu.fi/www/fi/hallinta-ja_laatuja_rjestelmat/apua_opetukseen_ja_oppimiseen/Luentoaineisto/SFSeduYmpiristjohtamisenstandarditISO140002012-01-05.pdf)

Suomen ympäristökeskus 2011. Hakupäivä 6.4.2012

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=26632&lan=fi>

Tilastokeskus 2011. Hakupäivä. 3.4.2012 <http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/>

Tonteri, Hannele, Ovaskainen, Mari, Mattila, Tuomas, Haikka, Tuomas, Kaplin, Camilla 2012. Ruostumattoman teräs tankin hybridi-elinkaariarviointi. Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteontukena. FINLCA-hankkeen loppuraportti

Toppila, Rauno 2010. Ferriittiset ruostumattomat teräkset. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Kirjallisuusselvitys

Wiedmann, Thomas & Minx, Jan 2007 A Definition of “Carbon footprint” ISA UK Research Report 07-01. Durham: ISAUK Research & Consulting

http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf

Valtion ympäristöhallinto 2011 Hakupäivä 3.4.2012

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=397573&lan=FI>

WRI & WBCSD 2011a. Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard

<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/ghg-protocol-revised.pdf>

WRI & WBCSD 2011b. Greenhouse Gas Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.

<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Product%20Life%20Cycle%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>