

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU



Karoliina Suominen

2007

KULJETUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tekniikka Rauma
Logistiikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

KULJETUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Suominen, Karoliina

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Rauma

Logistiikan koulutusohjelma

Yritys: Forchem Oy

Valvoja: logistiikkapäällikkö Jussi Salonen

Tammikuu 2007

Ohjaaja: DI Kalle Virtanen

UDK-luokka: 504

Asiasanat: ympäristö, liikenne, kuljetus, ympäristövaikutukset, päästöt

Yritysten kuljetusmäärien kasvaessa on kiinnitetty entistä enemmän huomiota liikenteen ympäristövaikutuksiin. Vaatimukset ympäristöystävällisemmästä liikenteestä kiristyvät ja kuljetuskaluston kehittämisessä ympäristönäkökohdat ovat avainasemassa. Uusilla teknologioilla pyritään löytämään ratkaisuja vaatimusten täyttämiseksi.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Forchemin kuljetusten ympäristökuorimitukset. Kuljetustietojen pohjalta olivat laskettavissa kuljetusten vaikutukset ympäristöön. Tarkan tuloksen saamiseksi tarkasteltiin kuljetuksia kolmen edellisen vuoden ajalta. Työ rajattiin logistiikan osalta pelkästään kuljetuksiin.

Yrityksen ollessa täysin riippuvainen kuljetustoiminnasta logistiikka osoittautuu yllättävän suureksi rasitteeksi ympäristölle. Valmistuslaitoksille ovat tarkat säädökset ympäristökysymysten huomioon ottamisesta jo suunnitteluvaiheesta alkaen, mutta logistiikan seurantaan kiinnitetään harvoin riittävästi huomiota. Todellisuudessa kuljetustoiminnan ja muiden logististen toimintojen ulkoiset vaikutukset voivat olla valmistuslaitoksen muita ulkoisia vaikutuksia huomattavasti suuremmat.

Kun kuljetustoiminnan ympäristövaikutukset on selvitetty, on helppo lähteä etsimään ratkaisuja sen aiheuttaman ympäristökuorman pienentämiseksi. Tämän työn tarkoituksena oli nimenomaan kuljetusten ympäristövaikutusten selvittäminen, jotta voitaisiin etsiä keinoja niiden pienentämiseksi.

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF TRANSPORTATION

Suominen, Karoliina

Satakunta University of Applied Sciences

School of Technology Rauma

Logistics Engineering

Commissioned by Forchem Oy

Supervisor: Jussi Salonen, Logistics Manager

January 2007

Tutor: Kalle Virtanen, MSc (Eng)

UDC: 504

Keywords: environment, traffic, transport, environmental impacts, emission

Along with the growth of transportation, it has become topical for companies to pay attention to the environmental effects of transportation. The demands on traffic have tightened and better solutions to environmental concerns are searched for.

The purpose of this thesis was to determine the environmental impacts of Forchem's transportation activities. All available transportation information of the last three years was studied in order to obtain an accurate picture of the environmental impacts.

Because the factory is fully dependent on logistics, the outcome is that environmental effects of transportation can be larger than the over-all environmental impact of the company. There are many tight rules that concern factories and their pollution. Companies very often forget to observe the effects of their transportation.

The objective of this thesis was to determine the environmental impacts of Forchem's logistics, in order to search for a solution to the transportation activities in the future.

ESIPUHE

Tämä työ on tehty Forchem Oy:lle. Forchemilla työn valvojana toimi logistiikkapäällikkö Jussi Salonen, jolle lämmin kiitos mielenkiintoisen aiheen tarjoamisesta ja yhteistyöstä projektin aikana. Kiitos myös Forchemin vientisihteeri Sanna Mäkelälle, joka oli suureksi avuksi vientikohteiden selvittelyssä.

Satakunnan ammattikorkeakoulun puolesta työn ohjaajana toimi Kalle Virtanen, joka positiivisuudellaan on saanut luotua minuun uskoa projektin toteutumiseen ja jaksanut kannustaa jatkamaan eteenpäin. Suuri kiitos myös DI Jussi Saariselle, jonka yhteydet Forchemiin ja Jussi Saloseen mahdollistivat tämän työn tekemisen. Saariselle haluan osoittaa kiitoksen myös opintojeni tukemisesta opiskeluaikanani. Hänen kiinnostuksensa ja tukensa opintojani kohtaan ovat auttaneet suuresti.

Vielä lopuksi haluan kiittää kotijoukkojani, jotka ovat osoittaneet jaksamista ja kunnioitusta valintojani kohtaan opiskeluaikanani ja ovat ymmärtäneet pitkiä päiviä ja suurta työmäärää. Tämän projektin kanssa teiltä saamani tuki on ollut ensisijaisen tärkeää.

Uudessakaupungissa 3.9.2006

Karoliina Suominen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ESIPUHE	4
TERMILUETTELO	7
1 JOHDANTO	8
2 FORCHEM OY	10
2.1 Yleistä	10
2.2 Logistiikka	10
2.3 Mäntyöljy ja sen jalosteet.....	11
2.4 Ympäristö.....	12
3 TIELIIKENTEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET.....	14
3.1 Päästöt	14
3.2 Melu	18
4 RAUTATIELIIKENTEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET.....	19
4.1 Yleistä	19
4.2 Energian käyttö	19
4.3 Päästöt	20
4.4 Melu	21
4.5 Tärinä	22
5 VESILIIKENTEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	23
5.1 Yleistä	23
5.2 Aallonmuodostus ja virtaukset.....	24
5.3 Savukaasupäästöt	24
5.4 Päästöt mereen	26
5.5 Jätteet	26
5.6 Melu	27
5.7 Tulokaslajit.....	27
5.8 Vesialueiden rakentamisen ympäristöhaitat.....	28
6 ILMALIIKENTEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET.....	29
6.1 Yleistä	29
6.2 Energiankulutus	29

6.3 Päästöt ilmaan	30
6.4 Päästöt maaperään ja vesistöön.....	30
6.5 Meluhaitat	31
7 TULOKSET	32
7.1 Yleistä	32
7.2 Kuljetusten ympäristövaikutusten mittaaminen.....	32
7.3 Kuljetusten ympäristövaikutukset.....	33
8 YHTEENVETO	36
LÄHDELUETTELO.....	37
LIITTEET	38

TERMILUETTELO

CO	hiilimonoksidi
CO ₂	hiilidioksidi
HC	hiilivety
NO _x	typen oksidit
N ₂ O	typpioksiduuli
CH ₄	metaani (hiilivety päästöihin sisältyvä)
PM	hiukkaset
SO ₂	rikkidioksidi
Pb	lyijy

1 JOHDANTO

Liikenne vaikuttaa ympäristöön usealla tavalla. Jokainen kuljetusmuoto kuluttaa vaikutusalueensa ympäristöä omalla tavallaan. Liikenteestä pääsee maahan, vesistöihin ja ilmaan monia ihmisen terveydelle ja luonnolle haitallisia päästöjä. Liikenteen infrastruktuurin sekä ajoneuvojen tuotanto, huolto ja käytöstä poisto kuluttavat luonnonvaroja ja tuottavat jätteitä. Muita liikenteen ympäristövaikutuksia ovat mm. melu sekä vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen.

Liikenteestä syntyy runsaasti kasvihuoneilmiön voimistumiseen vaikuttavia kasvihuonekaasupäästöjä. Merkittävin kasvihuonekaasu liikennesektorilla on hiilidioksidi. Liikenne käyttää lähes yksinomaan öljypohjaisia polttoaineita, joten syntyvän hiilidioksidin määrä on suorassa suhteessa käytetyn polttoaineen määrään.

Liikenteestä pääsee ilmaan epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat mm. ilmanlaadun heikkenemistä, happamoitumista ja rehevöitymistä. Liikenteen päästöihin ja laatuun vaikuttavat monet seikat, esimerkiksi käytetty polttoaine, kaluston ikä, kunto ja puhdistustekniikat, ajotapa ja -nopeus. Tieliikenne lisää ilman epäpuhtauksia myös mekaanisesti, kun renkaiden tiestä irrottama pinnoite leviää ympäristöön pölynä. Pölyongelmaa pahentavat renkaista irtoava kumi, jarrulevyistä hioutuva metalli ja teiden liukkautta torjuva hiekka.

Liikenne aiheuttaa myös melua ja onkin ylivoimaisesti yleisin ympäristömelun lähde. Liikennemelu syntyy mm. renkaiden ja tien, pyörien ja kiskojen, ilmanvastuksen, vaihteiston ja moottorin aiheuttamista äänistä. Tieliikenteessä rengasmelu on hallitseva tekijä suurilla nopeuksilla, moottorin aiheuttama melu taas pienillä nopeuksilla ajettaessa. Melu heikentää elinympäristön laatua ja vähentää viihtyisyyttä. Ympäristömelu voi aiheuttaa myös suoria ja epäsuoria terveyshaittoja häiritsevien ominaisuuksiensa takia. Ihmisten lisäksi melulla on vaikutusta eläimiin ja tärinän myötä myös rakennuksiin ja muihin rakennelmiin.

Liikenneväylien kunnossapidosta ja liikennevälineistä pääsee vesiin ja maaperään monia eri aineita, jotka ovat luonnolle haitallisia, osa suorastaan myrkyllisiä. Myös vaaral-

listen aineiden kuljetuksissa tapahtuvat onnettomuudet, liikenteen jätevedet ja vesirakentaminen sekä niiden yhteydessä luontoon pääsevät aineet voivat vaikuttaa haitallisesti vesiin, maaperään ja eliöihin.

Kuljetusmäärien kasvaessa on tullut aiheelliseksi määrittää logistiikan aiheuttamat ympäristökuormitukset osana yrityksen ympäristökuormaa. Logistisia ympäristövaikutuksia aiheuttavat kuljetusten lisäksi myös kaikki muut logistiset tekijät, kuten varastointi sekä lastaus- ja purkaustoiminta. Kun kuljetusten määrän on suuri, luonnollisesti myös logistiikan ympäristökuormitukset kasvavat merkittäviksi. Useat yritykset ovatkin halunneet selvittää oman kuljetustoimintansa ympäristölle aiheuttamat kuormitukset ja etsiä logistiikkakumppaneidensa kanssa ratkaisuja ympäristökuormitusten pienentämiseksi.

2 FORCHEM OY

2.1 Yleistä

Forchem Oy on Raumalla vuonna 2002 tuotannollisen toimintansa aloittanut mäntyöljyn jalostukseen keskittyvä yritys. Maailman suurimmasta, viimeisimmällä teknologialla ja osaamisella suunnitellusta, mäntyöljyn tislausyksiköstä valmistuu vuodessa 175 000 tonnia erilaisia mäntyöljyjalosteita tehtaan toimiessa täydessä tuotantovalmiudessa. Edellä mainittu kapasiteetti kattaa yli 10 % maailman mäntyöljynjalostuksesta. Forchem työllistää Raumalla 40 henkilöä, mutta tehtaan välillinen työvoimavaikutus on noin 100 henkilöä. Rauman tehtaan lisäksi Forchemilla on myyntikonttorit Saksassa, Ranskassa ja Iso-Britanniassa. (Forchem 2005a.)

2.2 Logistiikka

Koska Forchemin tuotannosta vientituotteita on noin 90 %, edellyttää mittava viennin osuus hyviä kulkuyhteyksiä. Logistisesti tehtaan sijainti on hyvä, sillä Raumalle on hyvät yhteydet teitse, rautateitse ja meritse. Rauman satama tarjoaa hyvät ja säännölliset yhteydet muuhun Eurooppaan, jonne valtaosa Forchemin viennistä suuntautuu. (Forchem 2005a.)

Forchemin kuljetukset vaihtelevat normaalista meri- ja tieliikenteestä konttiliikenteeseen. Kuljetusmuodon valinnassa pyritään nopeuden lisäksi ottamaan huomioon asiakkaan infrastruktuuri, eli asiakkaille pyritään toimittamaan tuotteet sillä kuljetusmuodolla, joka on heille käytännöllisin. (Forchem 2005a.)

Forchemille saapuvia raaka-ainekuormia on vuosittain noin 5000, ja tehtaalta lähteviä valmistuotekuormia on noin 7000. Forchemin saapuvista kuljetuksista valtaosa toteutetaan tieliikenteenä. Osa saapuvista kuormista saapuu Raumalle rautateitse, mutta myös näihin kuljetuksiin liittyy tiekuljetus sekä lastaus- että purkauspäässä. Lähtevät kulje-

tukset pyritään toteuttamaan asiakastoiveiden mukaisesti. Tällä hetkellä lähtevät kuljetukset Pohjoismaihin hoidetaan tiekuljetuksina säiliöautoilla, mutta Ruotsiin toimitetaan tuotteita myös tankkialuksilla. Keski-Euroopan toimitukset toteutetaan konteilla, jotka kuljetetaan pääasiallisesti meriteitse. Kaukokohteiden kuljetukset ovat kappaletavarakuljetuksia tai vaihtoehtoisesti flexitankki-kuljetuksia. Iso-Britanniaan toimitukset toteutetaan merikuljetuksina tankkialuksilla, mutta poikkeustapauksissa tuotteita saatetaan toimittaa myös konteissa. Ilmakuljetuksina kuljetetaan ainoastaan näytteitä.

2.3 Mäntyöljy ja sen jalosteet

Mäntyöljy ja sen jalostus on ympäristöystävällistä kemiaa, koska raakamäntyöljy ja sen jalosteet perustuvat uusiutuvaan luonnonvaraan, mäntyyn. Kyseessä on selluteollisuuden sivutuotteen hyötykäyttö. Koska mäntyöljy on selluteollisuuden sivutuote, ovat sellutehtaat luonnollisesti Forchemin raaka-ainetoimittajia ja valtaosa raaka-aineesta ostetaan Suomessa sijaitsevilta sellutehtailta (liite1). (Forchem 2005b.)

Forchem jalostaa mäntyöljystä mäntyrasvahappoa ja -hartsia, ja lisäksi rinnakkaistuotteena syntyy mäntypikeä. Mäntyhartsi on teollisuuden perusraaka-aine, jota käytetään erilaisissa liimasovelluksissa, kuten kuumasula-, laastari- ja tarraliimoissa sekä painovärien sideaineissa. Mäntyhartsia käytetään myös kumiteollisuudessa ja purukumien valmistuksessa. Hartsien osuus Forchemin kokonaistuotannosta on noin 20-30 %. (Forchem 2004.)

Mäntyrasvahappoja käytetään maaliteollisuudessa öljymaalien sideaineena, pinnoitteiden raaka-aineena, metallintyöstö-öljyssä, voitelu- ja hydraulikkaöljyissä, puhdistusaineiden valmistuksessa, malmien rikastekemikaaleina ja polttoaineiden lisäaineina. Rasvahappojen osuus tuotannosta on noin 30-40 %. (Forchem 2004.)

Mäntypikeä käytetään pääosin biopolttoaineisen energian tuotannossa, johon se soveltuu erinomaisesti vähärikkisenä, uusiutuvana raaka-aineena. Vähäisempiä määriä mäntypikeä käytetään myös painovärisideaineena, asfaltin valmistukseen sekä kumi- ja kai-vosteollisuuden prosesseissa. Lisäksi mäntypikeä sisältää elintarvike- ja lääketeollisuuden tarvitsemia, kolesterolia alentavia steroleja. (Forchem 2004.)

Raakamäntyöljyn jalostus pohjautuu fysikaaliseen erotusprosessiin eli tislaukseen, jossa eri tuotteet valmistetaan ilman vieraiden kemikaalien käyttöä. Prosessissa esiintyy siis käytännössä vain puun sisältämiä yhdisteitä. Kaikki talteen otettavat tuote- ja sivutuotevirrat sopivat joko biohajoaviksi myyntituotteiksi tai biopolttoaineiksi. (Forchem 2004.)

Mäntyöljy ja sen jalosteet ovat vahvoja aineita, joten niiden käsittely vaatii varovaisuutta. Käsiteltynä ilman asianmukaisia suojarusteita mäntyöljy jalosteineen saattavat aiheuttaa ärsytystä ja herkistymistä. Aineet ovat usein kuumia, joten niiden käsittelyssä on huomioitava myös palovammojen riski. (Forchem 2006.)

Vaikka mäntyöljy onkin ympäristöystävällisen kemian tuote, jonka biohajoavuus on hyvä, se tai sen jalosteet eivät kuitenkaan sovi ympäristöön. Ympäristövahinkojen välttämiseksi ei mäntyöljyvalmisteita saa päästää viemäriin, vesistöihin, pohjaveteen eikä maaperään. Valmisteet ovat vaarallisia erityisesti vesistöille. Onnettomuustilanteessa suurin määrä valmistetta kerätään kannellisiin säiliöihin ja loput imeytetään imukykyiseen aineeseen ja kuljetetaan käytettäväksi tai hävitettäväksi. (Forchem 2006.)

2.4 Ympäristö

Tehtaan suunnittelussa ja prosessien mitoituksessa paneuduttiin erityisesti ympäristönäkökohtiin. Hankkeesta tehtiin ennen tehtaan suunnittelun alkua laaja ympäristövaikutusten arviointitutkimus, jonka tulokset ovat näkyneet koko suunnitteluprosessissa. Prosessin rakenteissa ja mitoituksissa käytettiin alan viimeisintä tietoa ja osaamista, joten luonnonvarojen hyödyntäminen ja energian käyttö on mahdollisimman tehokasta. Tehdas toimii kestävän kehityksen periaatteella resursseja säästäen. (Forchem 2005b.)

Forchemin keskeisiä arvoja ovat puhdas tuotantotekniikka ja luonnonvarojen säästävä toimintatapa. Prosessilämpö otetaan talteen jalostusprosessia tukevassa muodossa eli höyrynä. Prosessissa tarvittavan veden käyttö on minimoitu. Osa vedestä käytetään uudelleen omassa prosessissa ja laitoksesta poistuva jätevesi käytetään uudelleen viereisessä sellutehtaassa. Muutoinkin tiivis integraatio paikallisen metsäteollisuuden kanssa mahdollistaa pidemmälle viedyn materiaalivirtojen kierrätyksen ja talteenoton, kuin on aikaisemmin rakennetuissa mäntyöljytislaamoissa ollut mahdollista. Tehtaan lämpökattilan polttoaineena käytetään tuotantoprosessin omia keveitä tislejakeita. Näin menetel-

len vähenevät rikkidioksidipäästöt noin puoleen verrattuna kevyen polttoöljyn käyttöön. (Forchem 2005b.)

Laitoksella syntyvien jätteiden määrä on pieni. Jätteiden keräily ja asianmukainen käsittely takaavat sen, että jätteiden ympäristövaikutukset rajoittuvat niiden käsittelypaikoille ja loppusijoitukseen. Jätteiden määrää vähennetään lajittelemalla ne jo syntypaikoillaan. Kaatopaikalle toimitettavasta jätteestä on poistettu kaikki käyttökelpoinen materiaali, joka toimitetaan erikseen kierrätykseen. Mäntyöljytislaamon jätevesi muodostuu pääosin tyhjöjärjestelmän likaislauhteista. Forchemin jätevedet eivät mene paikallisen metsäteollisuuden jätevesipuhdistamolle, vaan jätevesi johdetaan Botnian sellutehtaan jätevesistripperille ja sieltä edelleen sellutehtaan vesikiertoon. (Forchem 2005b.)

Mittausten mukaan tehtaan melu on selvästi viranomaisten vaatimusten ja laskennallisen leviämismallin tasojen alapuolella. Tämä on mahdollista uusien laiteratkaisujen ja äänieristysten avulla. (Forchem 2005b.)

3 TIELIIKENTTEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

3.1 Päästöt

Suomi on maailman teollistuneista valtioista eräs vähiten autoistuneista maista pinta-alaansa nähden, joten suuri osa maamme päästöistä syntyy muualla kuin liikenteessä. Tieliikenteen päästöt ovat kuitenkin liikennepäästöistä hallitsevia kaikkien muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin osalta, jonka kohdalla vesiliikenne on hallitsevassa asemassa. Tieliikenteen aiheuttamista päästöistä suurin osa on pakokaasupäästöjä. Palamisprosessissa moottorin sylinterin palotilasta purkautuu ulkoilmaan kaasuja, kuten vesihöyryä, hiilidioksidia, häkää, hiilivetyjä, rikkidioksidia, happea, typpeä ja typen oksideja, sekä hiukkaspäästöjä. (Pöllänen & Mäntynen 2002, 51-52.)

Tieliikenteen hiilimonoksidipäästöt kasvoivat lievästi 1980-luvulla, vaikka suorite kasvoi jyrkästi. 1990-luvun alussa suoritteita hillinnyt lama sattui samaan aikaan kuin katalysaattorilla varustettujen autojen tulo markkinoille, joten päästöalenema oli jyrkkä. Suotuisa päästökehitys jatkuu kiristyvien päästörajoitusten ja katalysaattorittomien autojen suoritteen nopean vähenemisen myötä. (Mäkelä, Laurikko & Kanner 2005, 36.)

Hiilidioksidipäästöt ovat suoraan verrannollisia kulutetun polttoaineen määrään. Ajoneuvojen tekninen kehitys on vähentänyt hiilidioksidipäästöjä, mutta toivottua tasoa ei edelleenkään ole saavutettu. Päästöt kasvavat edelleen suoritteen kasvun suhteessa, eikä varteenotettavia ratkaisuja kasvun pysäyttämiseksi ole esitetty. Tulevaisuudessa kasvua hillitsee autojen energiatehokkuuden kasvu. (Mäkelä ym. 2005, 39.)

Ajoneuvojen hiilivetyypäästöt eivät aiheudu pelkästään pakokaasuista, vaan niitä ovat myös polttoainejärjestelmän haihtumat. Haihtumista tapahtuu sekä ajon aikana että auton ollessa paikallaan. Haihtumispäästöt ovat hankalasti mitattavissa ja arviot päästömääristä vaihtelevat suuresti. Yksinkertaistetulla laskumenetelmällä laskettaessa eri tekijöiden vaikutus on arvioitu päästömäärinä ajettua kilometriä kohden erikseen katalysaattorittomille ja katalysaattorilla varustetuille autoille. Metaanipäästöt ovat hiilivetyä

ja sisältyvät edellä esitettyihin kokonaishiilivetyypäästöihin. Metaani on kasvihuonekaasu ja siksi sen määrä halutaan kuitenkin tietää myös erikseen. (Mäkelä ym. 2005, 37.)

Tieliikenteen typen oksidipäästöt kasvoivat kohtuullisesti 1980-luvulla suoritteiden kasvusta huolimatta. Katalyysaattoritekniikka vähentää erityisesti typen oksideja. Typpioksiduuli on kasvihuonekaasu, joten se on koettu tärkeäksi päästöjen kannalta. Katalyysaattoriautot tuottavat typpioksiduulipäästöjä huomattavasti enemmän katalyysaattorittomiin autoihin verrattuna. Typpioksiduulipäästöt saattavat olla katalyysaattorittomilla autoilla kilometriä kohden jopa kymmenkertaiset. Typpioksiduuli on erittäin hankala mitata pienten pitoisuuksien vuoksi, joten typpioksiduulipäästöjen määrittäminen on ollut pitkään ongelmallista. Tietämys kuitenkin lisääntyy tekniikan ja päästömittausapuvälineiden kehittyessä. (Mäkelä ym. 2005, 38-39.)

Tieliikenteen hiukkaspäästöt aiheutuvat erityisesti dieselautoista. Dieseltekniikan kehittyminen on vähentänyt merkittävästi päästöjä ja kehitys jatkuu vielä pitkään. Aikoinaan raskas kalusto oli ylivoimaisesti suurin päästölähde, mutta nyt puolet päästöistä tulee bensiinikäyttöisestä kalustosta autojen suuren lukumäärän vuoksi, vaikka hiukkaset eivät varsinaisesti ole ongelma bensiinikäyttöisillä autoilla. Edellisessä on kyse kokonaihiukkaspäästöistä, eikä siinä ole nähtävissä hiukkasten kokojakaumaa. Pienhiukkaset ovat osoittautuneet paljon suurempia hiukkasia vaarallisemmiksi. Uudet tutkimukset saattavat muuttaa eri moottoritekniikoiden päästölukemia, kun hiukkaskoko ratkaisee haitta-asteen. (Mäkelä ym. 2005, 39.)

Rikkidioksidipäästöjen määrä on suorassa suhteessa polttonesteen rikin määrään. Polttonesteiden sisältö on muuttunut lähes rikittömäksi. Päästöjä muodostuu enää 0,7 % vuoden 1980 tilanteesta. Tieliikenteessä muodostuva rikkidioksidi ei kuitenkaan ole ollut merkittävä päästölähde rikkidioksidin kokonaispäästöissä Suomessa. Polttonesteen rikin määrää onkin vähennetty lähinnä moottoriteknisistä syistä. Polttonesteen kehitys on vaikuttanut myös lyijypäästöihin, jotka tieliikenteessä loppuivat vuonna 1994, koska kaikki myytävä polttoneste on tämän jälkeen ollut lyijytöntä. (Mäkelä ym. 2005, 39.)

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 1) on esitelty varsinaisen perävaunun yhdistelmän aiheuttamat yksikköpäästöt maantieajossa sekä tonnikipometriä että ajoneuvokilometriä kohden. Oheiset arvot on laskettu yhdistelmälle, jonka kokonaismassa on 60 000 kiloa

ja kantavuus 40 000 kiloa. Taulukossa on huomioitu myös kuorman koko esittelemällä päästöt kuormausasteen mukaan. (Lipasto 2004a.)

	Päästöt tonnikipometriä kohden		Päästöt ajoneuvokilometriä kohden		
	CO [g/tkm]		CO [g/km]		
	70 %:n kuorma	täysi (40t)	tyhjä	70 %:n kuorma	täysi (40t)
--> 1991	0,04	0,03	0,76	0,97	1,08
EURO 1 (1992 - 1995)	0,02	0,01	0,34	0,44	0,48
EURO 2 (1996 - 1998)	0,01	0,01	0,19	0,24	0,27
EURO 3 (1999 -)	0,01	0,01	0,15	0,19	0,22
keskimäärin v. 2001	0,02	0,01	0,33	0,41	0,46
	HC [g/tkm]		HC [g/km]		
	70 %:n kuorma		70 %:n kuorma		
	tyhjä	täysi (40t)	tyhjä	ma	täysi (40t)
--> 1991	0,0089	0,0066	0,25	0,25	0,26
EURO 1 (1992 - 1995)	0,0063	0,0046	0,18	0,18	0,18
EURO 2 (1996 - 1998)	0,0045	0,0033	0,13	0,13	0,13
EURO 3 (1999 -)	0,0036	0,0026	0,10	0,10	0,11
keskimäärin v. 2001	0,0054	0,0040	0,15	0,15	0,16
	NOx [g/tkm]		NOx [g/km]		
	70 %:n kuorma		70 %:n kuorma		
	tyhjä	täysi (40t)	tyhjä	ma	täysi (40t)
--> 1991	0,76	0,58	16,00	21,00	23,00
EURO 1 (1992 - 1995)	0,53	0,41	11,00	15,00	16,00
EURO 2 (1996 - 1998)	0,46	0,35	9,40	13,00	14,00
EURO 3 (1999 -)	0,3	0,23	6,20	8,50	9,30
keskimäärin v. 2001	0,48	0,37	10,00	13,00	15,00
	PM [g/tkm]		PM [g/km]		
	70 %:n kuorma		70 %:n kuorma		
	tyhjä	täysi (40t)	tyhjä	ma	täysi (40t)
--> 1991	0,0130	0,0100	0,260	0,370	0,410
EURO 1 (1992 - 1995)	0,0086	0,0067	0,170	0,240	0,270
EURO 2 (1996 - 1998)	0,0039	0,0030	0,077	0,110	0,120
EURO 3 (1999 -)	0,0026	0,0020	0,051	0,072	0,080
keskimäärin v. 2001	0,0062	0,0048	0,120	0,170	0,190
	CH ₄ [g/tkm]		CH ₄ [g/km]		
	70 %:n kuorma		70 %:n kuorma		
	tyhjä	täysi (40t)	tyhjä	ma	täysi (40t)
--> 1991	0,0017	0,0012	0,026	0,027	0,027
EURO 1 (1992 - 1995)	0,0012	0,0009	0,018	0,019	0,019
EURO 2 (1996 - 1998)	0,00087	0,00061	0,013	0,013	0,014
EURO 3 (1999 -)	0,00069	0,00049	0,010	0,011	0,011
keskimäärin v. 2001	0,0011	0,0007	0,016	0,016	0,016
	N ₂ O [g/tkm]		N ₂ O [g/km]		
	70 %:n kuorma		70 %:n kuorma		
	tyhjä	täysi (40t)	tyhjä	ma	täysi (40t)
--> 1991	0,0021	0,0016	0,026	0,032	0,035
EURO 1 (1992 - 1995)	0,0021	0,0016	0,026	0,032	0,035
EURO 2 (1996 - 1998)	0,0021	0,0016	0,026	0,032	0,035
EURO 3 (1999 -)	0,0021	0,0016	0,026	0,032	0,035
keskimäärin v. 2001	0,0021	0,0016	0,026	0,032	0,035

	SO ₂ [g/tkm]		SO ₂ [g/km]		
	70 %:n kuorma	täysi (40t)	tyhjä	70 %:n kuor- ma	täysi (40t)
--> 1991	0,00040	0,00031	0,0080	0,011	0,012
EURO 1 (1992 - 1995)	0,00040	0,00031	0,0082	0,011	0,012
EURO 2 (1996 - 1998)	0,00041	0,00032	0,0083	0,011	0,013
EURO 3 (1999 -)	0,00042	0,00032	0,0085	0,012	0,013
keskimäärin v. 2001	0,00041	0,00031	0,0083	0,011	0,013
	CO ₂ [g/tkm]		CO ₂ [g/km]		
	70 %:n kuorma	täysi (40t)	tyhjä	70 %:n kuor- ma	täysi (40t)
--> 1991	41	32	842	1161	1278
EURO 1 (1992 - 1995)	42	32	856	1180	1299
EURO 2 (1996 - 1998)	43	33	869	1199	1320
EURO 3 (1999 -)	44	34	892	1230	1354
keskimäärin v. 2001	43	33	869	1198	1319
	Kulutus [g/tkm]		Kulutus [g/km]		
	70 %:n kuorma	täysi (40t)	tyhjä	70 %:n kuor- ma	täysi (40t)
--> 1991	13	10	267	369	406
EURO 1 (1992 - 1995)	13	10	272	375	413
EURO 2 (1996 - 1998)	14	10	276	381	419
EURO 3 (1999 -->)	14	11	283	391	430
keskimäärin v. 2001	14	10	276	381	419
			Kulutus [l/100 km]		
			tyhjä	70 %:n kuor- ma	täysi (40t)
--> 1991			32	44	48
EURO 1 (1992 - 1995)			32	44	49
EURO 2 (1996 - 1998)			33	45	50
EURO 3 (1999 -)			34	46	51
keskimäärin v. 2001			33	45	50
	Energiankulutus [MJ/tkm]		Energiankulutus [MJ/km]		
	70 %:n kuorma	täysi (40t)	tyhjä	70 %:n kuor- ma	täysi (40t)
--> 1991	0,57	0,44	12	16	17
EURO 1 (1992 - 1995)	0,58	0,44	12	16	18
EURO 2 (1996 - 1998)	0,58	0,45	12	16	18
EURO 3 (1999 -)	0,60	0,46	12	17	19
keskimäärin v. 2001	0,58	0,45	12	16	18
	Energiankulutus [kWh/tkm]		Energiankulutus [kWh/km]		
	70 %:n kuorma	täysi (40t)	tyhjä	70 %:n kuor- ma	täysi (40t)
--> 1991	0,16	0,12	3,20	4,40	4,80
EURO 1 (1992 - 1995)	0,16	0,12	3,20	4,50	4,90
EURO 2 (1996 - 1998)	0,16	0,13	3,30	4,50	5,00
EURO 3 (1999 -)	0,17	0,13	3,40	4,70	5,10
keskimäärin v. 2001	0,16	0,13	3,30	4,50	5,00

Taulukko 1. Tieliikenteen keskimääräiset yksikköpäästöt varsinaisella perävaunuyhdistelmällä maantiejossa, tonnikipometriä ja ajoneuvokilometriä kohden. (Lipasto 2004a).

Taulukossa mainitut EURO1-3 -standardit ovat Euroopan rajoituksia uusille, raskaille dieselmoottoreille. Euro1-päästövaatimukset keskiraskaille ja raskaille moottoreille esiteltiin vuonna 1992. Edeltäjäänsä tiukempi Euro2-standardi tuli voimaan vuonna 1996, koskien raskaita kuorma-automoottoreita ja kaupunkibusseja. Vuonna 1999 Euroopan parlamentti ja ympäristöministerien neuvosto asettivat Euro3-standardin, vuonna 2005 Euro4-standardin ja vuonna 2008 voimaan tulee Euro5-standardi. Kaikki kolme uusinta Euro-standardia asettavat vielä tiukemmat rajat erittäin vähäpäästöisille ajoneuvoille. Euro4- ja Euro5-standardit tulevat mm. vaatimaan kaikkiin uusiin dieselnäyttöisiin, raskaisiin ajoneuvoihin pakokaasujen puhdistusmenetelmiä, kuten hiukkaslukot ja katalyysaattorit. Keskimäärin vuonna 2001 käytössä olleista ajoneuvoista ennen vuotta 1999 käyttöönotettuja raskasajoneuvoja oli 21,6 %, Euro1-standardin täyttäviä 15,5 %, Euro2-standardin mukaisia 30 % ja Euro3-standardin mukaisia 32,9 %. (Pöllänen ym. 2002, 55.)

3.2 Melu

Tieliikenne on suurin melunlähde Suomessa. Liikennemelun alueella asuu Suomessa noin 830 000 ihmistä, kun vastaavasti teollisuuden melualueella asuu noin 5 000 ihmistä. Suomen liikennemelun kannalta pahinta aluetta on Etelä-Suomi, koska pelkästään Uudellamaalla ohjearvot ylittävälle liikennemelulle altistuvien asukkaiden määrä on 236 000. (Ympäristö 2006.)

Tieliikenteen melun voimakkuus riippuu ensisijaisesti liikenteen määrästä, ajoneuvo-koostumuksesta ja ajonopeudesta, mutta siihen vaikuttavat myös nastarenkaiden käyttö sekä tiepäällysteen laatu. Liikennemelu on lähinnä taajama-alueiden ja vilkkaasti liikennöityjen teiden ongelma. Rakennusten parantuneen äänieristyksen, melusteiden rakentamisen ja paremman tiensuunnittelun avulla melulle altistuvien ihmisten kokonaismäärän ei arvioida kasvavan, vaikka liikenteen jatkuva kasvu aiheuttaakin lisää melua. (Ympäristö 2006.)

4 RAUTATIELIIKENTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

4.1 Yleistä

Yleisesti rautatieliikennettä pidetään ympäristöystävällisimpänä kuljetusmuotona. Rautatieliikenteen haitallisimmat ympäristövaikutukset aiheutuvat etenkin liikkumiseen ja lämmitykseen käytetyn energian hankkimisesta, liikennöinnistä johtuvasta melusta ja tärinästä sekä erinäisistä päästöistä ilmaan, maaperään ja vesistöön. (Mäkelä, Säily & Mäntynen 2002, 145.)

4.2 Energian käyttö

Raideliikenteen suurin etu ympäristönäkökulmasta katsottuna on suhteellisen pieni energiankulutus ja energiatehokkuus, jonka ansiosta sen päästöt jäävät muiden liikennemuotojen päästöjä huomattavasti pienemmiksi. Rataverkon sähköistäminen on vähentänyt suuresti junaliikenteen paikallisia ympäristöhaittoja. (Mäkelä ym. 2002, 146.)

Junan tai veturin kuluttamaan energiamäärään vaikuttaa monia eri tekijöitä ja liikennöinnin kokonaisenergiankulutus on näiden tekijöiden summa. Vetokaluston energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm.

- vetokaluston tekninen toteutus
- vedettävä juna
- liikennöitävä rata
- liikenteenhoito ja -ohjaus
- ilmasto
- energiamuodon valinta
- käyttöhenkilöstö
- ajon tasaisuus ja
- liikettä vastustava kokonaisvastus. (Mäkelä ym. 2002, 147.)

Liikenteenohjauksella voidaan vaikuttaa junien nopeuksiin, pysähtymistarpeisiin sekä hiljennyksiin ja kiihdytyksiin, jotka ovat energiankulutuksen minimoinnin kannalta avainasemassa. Ilmasto vaikuttaa lähinnä junan peruskulkuvastukseen, joka heijastuu puolestaan kulutukseen. Eri energiamuotojen vaikutus energiankulutukseen ilmenee moottorin antaman tehon sekä energiankäytön kokonaishyötysuhteista. Käyttöhenkilöstön vaikutus energiankulutukseen perustuu energiataloudelliseen ajotapaan. (Mäkelä ym. 2002, 147.)

4.3 Päästöt

Raideliikenteen päästöt voidaan jakaa polttoaineperäisiin ja sähköntuotannosta aiheutuviin päästöihin. Dieselveturien aiheuttamat päästöt riippuvat etenkin käytetyn polttoaineen määrästä. Polttoaineen käytön lisäksi päästöjä syntyy polttoaineketjun alkupään vaiheista, kuten polttoaineen tuotannosta, kuljetuksista, varastoinnista ja jalostuksesta. Polttoaineketjun ympäristövaikutukset eroavat öljylähteestä ja tuotantotavasta riippuen. Kokonaispäästöt muodostuvat sähköntuotannon, liikennöinnin, infrastruktuurin sähkönkäytön ja sähköhäviöiden yhteisvaikutuksesta. Sähköntuotannon aiheuttamiin päästöihin vaikuttavat puolestaan pääasiassa sähköntuotannon primaarienergianlähteet, käytetyt energiamäärät sekä sähköntuotantotapa. (Mäkelä ym. 2002, 149.)

Parhaalla hyötysuhteellaan toimivan dieselmoottorin pakokaasuista pääosa on typpeä (67 %), hiilidioksidia (12 %), vesihöyryä (11 %) ja happea (10 %). Pieni osa pakokaasuista, yleensä alle 1 %, on varsinaisiksi päästöiksi luokiteltavia komponentteja, kuten hiilimonoksidi, hiilivedyt, typen oksidit, pakokaasujen kokonaishiukkasmäärä sekä rikidioksidi. Huomiota kiinnitetään usein myös hiilidioksidipäästöihin niiden ilmastovaiikutusten vuoksi. (Mäkelä ym. 2002, 150.)

Taulukossa 2 on esitelty rautatieliikenteen keskimääräiset päästöt tonnikipometriä kohden sekä sähkö- että dieselvetoisella junalla. (Lipasto 2004b)

TAVARAJUNAT	Sähköjunaliikenteen yksikköpäästöt [g/tkm]					
	CO	HC	NO _x	PM	SO ₂	CO ₂
Sähköjuna, matka-ajo	0,0047	0,00063	0,013	0,0016	0,0100	7,10
Vaihtotyö / dieselveturit	0,0078	0,0036	0,043	0,0018	0,0015	2,20
Sähköjunaliikenne keskimäärin	0,013	0,0042	0,056	0,0034	0,012	9,30
	Sähkönkulutus [kWh/tkm]	Poltonesteen kulutus [g/tkm]	Primäärienergia [MJ/tkm]			
Sähköjuna, matka-ajo	0,03		0,20			
Vaihtotyö / dieselveturit		0,70	0,03			
Sähköjunaliikenne keskimäärin	0,03	0,70	0,23			
TAVARAJUNAT	Dieseljunaliikenteen yksikköpäästöt [g/tkm]					
	CO	HC	NO _x	PM	SO ₂	CO ₂
Dieseljuna, matka-ajo	0,1	0,045	0,75	0,017	0,02	32
Vaihtotyö / dieselveturit	0,0078	0,0036	0,043	0,0018	0,0015	2,20
Dieseljunaliikenne keskimäärin	0,11	0,049	0,79	0,019	0,022	35
	Poltonesteen kulutus [g/tkm]	Primäärienergia [MJ/tkm]				
Dieseljuna, matka-ajo	10	0,43				
Vaihtotyö / dieselveturit	0,7	0,03				
Dieseljunaliikenne keskimäärin	11	0,46				

Taulukko 2. Rautatieliikenteen keskimääräiset päästöt tonnikipometriä kohden. (Lipasto 2004b).

4.4 Melu

Rautatieliikenteen synnyttämä melu aiheutuu pääosin pyörän ja kiskon välisestä kosketuksesta. Junasta lähtevään kokonaismelutasoon vaikuttavat veturin ja vaunujen tyypin lisäksi junan nopeus ja radan ominaisuudet sekä jarrutuksesta aiheutuva melu. Melutasoa voi korottaa myös vaunujen rakenteiden kolina, joka on merkitsevä etenkin tavara-

junilla. Lisäksi huonossa kunnossa olevat kiskot ja pyörät tai epäsoyvät rakennusmateriaalit voivat lisätä junan kokonaismelutasoa useita desibelejä. (Mäkelä ym. 2002, 151.)

Rautatiemelulle on asetettu raja-arvoksi tietty melutaso, jonka alapuolelle keskiäänitason tulisi jäädä. Päiväsaikaan rautateiden läheisyydessä olevien asuntoalueiden melutason raja-arvoksi on määritelty 55dB ja yöaikaan vastaava luku on 50 dB. Uusilla kaa-voitetuilla asuinalueilla yöajan ohjearvo on 45 dB. (Mäkelä ym. 2002, 152.)

Rautatieliikenteen meluhaittojen vähentämiseksi on olemassa kaksi toimenpideryhmää, meluemission määrän vähentäminen muuttamalla melulähteen ominaisuuksia ja melulähteestä vastaanottopisteeseen kulkevan äänen vaimentaminen rakenteellisilla esteillä. Tehokkainta on melulähteen muuttaminen vähemmän ääntä tuottavaksi, mutta myös meluesteet ovat hyviä meluntorjuntajia varsinkin, jos suojattava alue on esteen takana, suhteellisen lähellä maanpintaa. (Mäkelä ym. 2002, 152-153.)

4.5 Tärinä

Junien nopeuksien nostaminen ja osittain myös raskaamman tavarajunakaluston käyttö sekä kasvaneet akselipainot ovat tuoneet mukanaan uuden ympäristöhaitan, tärinän. Rautatieliikenteen aiheuttaman tärinän taustalla on yleisesti ottaen pehmeä maaperä, kaluston massa ja dynaaminen kuorma. Tärinä aiheutuu pyörän ja raiteen välillä vallitsevista voimista. Tärinän syntymistä edesauttavat akselikuorman dynaamisuus, radan muodonmuutokset junan kulkiessa sillä, junakuorman nauhamaisuus, junakalusto sekä radan rakenne. (Mäkelä ym. 2002, 154-156.)

Tärinähaitat tulisi ottaa huomioon jo yhdyskuntien suunnittelussa, joten asuinalueet tulisi kaavoittaa riittävän kauas rautatiestä. Vaikeammin ratkaistavissa on tärinäongelma jo rakennetuilla alueilla, jolloin tärinää joudutaan rajoittamaan rakenteellisin keinoin, yleensä muuttamalla maan massahitautta. (Mäkelä ym. 2002, 157.)

5 VESILIIKENTEEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

5.1 Yleistä

Vesikuljetukset ovat energiantaloudellisia ja niiden aiheuttamat ilman epäpuhtaudet ovat kuljetussuoritteeseen nähden suhteellisen pieniä. Vesiliikenteen ympäristöhaitat liittyvät ensisijaisesti vesien laatuun ja happamoittaviin päästöihin. Vesiliikenteeseen liittyy myös suurista kuljetusvolyymeista johtuvia ympäristöriskejä. (Pöllänen, Säily, Kalenoja & Mäntynen 2003, 79.)

Merkittävimmät vesiliikenteen ympäristötekijät ovat:

- päästöt ilmakehään
- päästöt mereen
- onnettomuusriskit
- maisemakuva ja luonnonympäristön muutokset
- väylien rakentamisen ja kunnossapidon aikaiset haitat
- tulokaslajit
- aallokko ja virtaukset sekä
- melu. (Pöllänen ym. 2003, 80.)

Päästöillä ilmakehään ja mereen on monenlaisia terveysvaikutuksia sekä vaikutuksia ekosysteemin toimintaan ja luonnonympäristöön. Aallokko ja virtaukset aiheuttavat mm. rantaeroosiota ja pohjaelimistön elinympäristön muutoksia. Tulokaslajit aiheuttavat biologisia uhkia muuttamalla kasvi- ja eläinlajistojen elinmahdollisuuksia. Vesiväylillä ja satamilla on myös vaikutuksia maisemakuvaan ja luonnonympäristöön. Vaarallisten aineiden, kuten öljyn, vesikuljetukset muodostavat suuren riskin meriympäristölle. (Pöllänen ym. 2003, 79.)

5.2 Aallonmuodostus ja virtaukset

Aallonmuodostus vaikuttaa huomattavasti rantaerosioon. Aluksista aiheutuvat aallot lyövät rantaan ja aikaansaavat rantavesissä voimakkaita turbulenttisia virtauksia ja pyörteitä, jotka voivat irrottaa ja löyhdyttää maa-ainesta. Säännöllinen alusliikenne voi aikaan saada jatkuvan eroosioprosessin, jonka seurauksena rannan hienoaineksen määrä vähenee ja rantamateriaali lajittuu. Usein eroosion vaikutukset ovat seurauksiltaan vähäisiä, mutta toisinaan eroosio aiheuttaa paitsi haittoja rantavyöhykkeen ekosysteemille, myös muutoksia rannan stabiliteetissa. (Pöllänen ym. 2003, 80-81.)

Alusten lähellä muodostuu erilaisia virtauksia, joista ympäristövaikutusten kannalta merkitystä on lähinnä potentiaalivirtauksella, joka ilmenee aallonmuodostuksella, painealloilla, potkurivirtauksilla ja rantaan nähden takaisinvirtauksella eli imuvaikutuksella. Aluksesta aiheutuvat virtaukset ulottuvat melko syvälle eri vesikerroksiin, jolloin alusliikenteestä aiheutuvat muutokset saattavat ulottua hyvinkin laajalle alueelle. Potkurivirtausten voimakas sekoittava vaikutus häiritsee meriveden kerrostuneisuutta erityisesti kesäaikana, jolloin ravinnerikas alusvesi joutuu pintaveteen, joka puolestaan lisää osaltaan levien kasvua, hapen kulutusta ja muuttaa pintaveden suolaisuutta. (Pöllänen ym. 2003, 81.)

Säännöllinen laivaliikenne saattaa myös vaikuttaa kalakantoihin muuttamalla olosuhteita kalojen lisääntymisalueilla. Aallokon vaikutus kohdistuu voimakkaimmin vesistön mataliin osiin, kuten rantavyöhykkeeseen ja matalikkoihin, jotka ovat tyypillisiä kalojen lisääntymispaikkoja. Kutupaikkojen tuhoutumisesta voi olla seurauksena lajin yksilömäärien väheneminen. (Pöllänen ym. 2003, 81.)

5.3 Savukaasupäästöt

Aluksista aiheutuvat savukaasut ovat pääosin peräisin pääkoneistosta ja aluksen tarvitseman sähköenergian tuottavista apukoneista. Pääkoneiston polttoaineena käytetään ns. bunkkeriöljyä, joka on raskasta polttoöljyä. Pienissä aluksissa ja suurten alusten apuko-

neissa käytetään polttoaineena marine dieseliä, joka puolestaan on kevyttä polttoöljyä. (Pöllänen ym. 2003, 82.)

Laivadieselin savukaasupäästöt koostuvat pääosin samantyyppisistä kaasuista kuin muutkin dieselmoottorien pakokaasut. Suurin osa raakapakokaasuista koostuu läpivirtaavasta typestä, hiilidioksidista ja vesihöyrystä. Lisäksi savukaasuissa on pieniä määriä haitallisia yhdisteitä, joita syntyy mm. epätäydellisen palamisreaktion tuloksena. Vesiliikenteen merkittävimpinä päästölajeina pidetään rikkidioksideja, typen oksideja, ja hiilidioksidia. Lähes kaikki Suomen liikenteen rikkidioksidipäästöt, noin 40 % typen oksidi-päästöistä ja noin 20 % hiilidioksidipäästöistä, ovat peräisin vesiliikenteestä. Liikenteestä aiheutuu kaiken kaikkiaan noin viidennes koko Suomen rikkidioksidipäästöistä ja noin 60 % kaikista typen oksidi-päästöistä. (Pöllänen ym. 2003, 82.)

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 3) on esitelty vesiliikenteen keskimääräiset päästöt ja energian kulutus eri lastialustyypien mukaan. (Lipasto 2004c.)

Yksikköpäästöt [g/tkm]	CO	HC	NO _x	PM	SO ₂	CO ₂	Energia [MJ/tkm]
lastilautta (ro-ro, lo-lo, storo)	0,039	0,022	0,9	0,024	0,32	33	0,46
konttialus	0,026	0,013	0,52	0,013	0,19	20	0,28
irtolastialus	0,021	0,011	0,44	0,011	0,16	17	0,23
muu kuivalastialus	0,037	0,017	0,63	0,015	0,24	26	0,35
säiliöalus	0,021	0,011	0,45	0,011	0,16	17	0,23
autolautta	0,039	0,022	0,90	0,024	0,32	33	0,46

Taulukko 3. Vesiliikenteen keskimääräiset päästöt tonnikilometriä kohden. (Lipasto 2004c.)

Savukaasuilla on monenlaisia haitallisia ympäristövaikutuksia. Terveysvaikutteisia pakokaasuja ovat mm. hiilivedyt, typen oksidit ja hiukkaset, joiden kohonneet pitoisuudet hengitysilmassa altistavat mm. hengityssairauksille. Vesiliikenteen päästöt ovat ilman laadulle uhka lähinnä satama-alueilla, jotka sijaitsevat tiheästi asuttujen alueiden läheisyydessä, jossa ne yhdessä muiden päästölähteiden kanssa heikentävät ilman laatua. Vesiliikenteen päästöistä rikkidioksidi ja typen oksidit voimistavat maaperän ja vesistöjen happamoitumista. Hiilidioksidilla ei ole suoranaisia terveysvaikutuksia, mutta se on tärkein ilmastomuutokseen vaikuttavista ns. kasvihuonekaasuista. (Pöllänen ym. 2003, 84.)

5.4 Päästöt mereen

Mereen pääsevistä haitta-aineista yleisimpiä ovat öljypäästöt, joita pääsee merenkulusta vesistöön mm. painolasti- ja säiliönpesuvesien sekä pilssivesien mukana, jäteöljynä ja säiliöalusten onnettomuustilanteissa. Arviolta noin 28 % meriin pääsevistä öljystä on peräisin merenkulusta. Öljypitoisten painolastivesien, säiliön pesuvesien ja pilssivesien päästäminen mereen on useilla merialueilla kiellettyä, mutta kiellosta huolimatta öljy- toisia jätevesiä pääsee jonkin verran aluksista vesistöön. Jätevedet tulisi purkaa satamis- sa asianmukaisiin ongelmajättesäiliöihin. (Pöllänen ym. 2003, 86.)

Aluksen runkoon kiinnittyä meriolosuhteissa eliöstöä ja kasvustoa, joka lisää aluksen kulkuvastusta ja tarjoaa mahdollisuuden kulkuväylän eliöstön siirtymiselle vesistöstä toiseen. Alusten runkoon kiinnittyvän eliöstön määrää vähennetään ns. kasvunestoai- neilla, jotka ovat pitkävaikutteisia myrkkymaaleja. Ajan kuluessa suuri osa pohjamaa- leista liukenee vesistöön ja ovat sisältönsä, kuten kuparin, sinkin tai tinan, johdosta erit- täin haitallisia liuetessaan meriveteen. (Pöllänen ym. 2003, 86.)

Omat erityiset riskinsä myös merikuljetuksissa muodostavat vaaralliset aineet, jonka vuoksi International Maritime Organization on kehittänyt vaarallisten aineiden luettelon ja ryhmittelyn vaarallisten aineiden kappaletavarakuljetuksille. (Pöllänen ym. 2003, 87.)

5.5 Jätteet

Alukset tuottavat paljon erilaisia jätteitä, jotka aluksen on jätettävä maihin käsittelyä tai säilyttämistä varten. Merkittävimmät jätteet ovat tankkialusten painolastit, lastijätteet ja tankkien pesuvedet, kuivalastialusten kiinteät jätteet sekä matkustaja-alusten talous- ja käymälävedet. Veteen näistä sääntöjen vastaisesti joutuvat useimmiten tankkialusten painolastit ja tankkien pesuvedet. (Pöllänen ym. 2003, 87.)

Vesiliikenteestä aiheutuu vesistöön ns. harmaavesipäästöjä, jotka sisältävät laivoilla käytetyn talousveden ja pesuvedet sekä ns. mustaa vettä, eli käymäläjätettä. Käsittele- mätöntä mustaa vettä ei saa päästää mereen Suomen aluevesillä. Matkustaja-

alusliikenteen mustan veden päästäminen vesistöön on kiellettyä koko Itämerellä, joten musta vesi johdetaan satamissa viemäriverkostoon. Myös alusten harmaa vesi pyritään johtamaan viemäriverkostoon puhdistettavaksi, mutta laivojen satamassaoloajan lyhyden takia siihen ei aina ole mahdollisuutta. Kiinteät talousjätteet on toimitettava satamissa jätepisteisiin. Aluksilla syntyy myös öljyä ja liuottimia sisältävää huoltojätettä, joka on toimitettava satamissa ongelmajätteen keräilypisteisiin. (Pöllänen ym. 2003, 87.)

5.6 Melu

Rahtialusten melu koostuu pääosin moottorimelusta ja veden liikkeistä aiheutuvasta hydrodynaamisesta melusta. Laivaliikenteen meluhaitat kohdistuvat pääosin vilkkaasti liikennöityjen laivareittien varrelle ja satamien läheisyyteen. Hidaskierroksisten rahti- ja matkustaja-alusten moottoreiden ympäristölle aiheuttamat meluhaitat ovat vähäisiä. Satamatoiminnan aiheuttamaa melua ei myöskään yleisesti pidetä kovinkaan häiritsevänä, vaan suurimmat satamatoiminnan meluhaitat aiheuttaa satamaan liittyvä maaliikenne. (Pöllänen ym. 2003, 88.)

5.7 Tulokaslajit

Laivojen painolastivesien mukana ja runkoon kiinnittyneinä voi siirtyä eliölajeja, jotka uuteen ympäristöön vapauduttuaan voivat muodostaa biologisen uhan olemassa olevalle eliöstölle. Tulokaslajit voivat muuttaa vesistöjen ekosysteemiä ja syrjäyttää vesistölle tyypillisiä biotyyppejä. Tulokaslajien siirtymätodennäköisyyttä on lisännyt alusten kasvanut koko ja laivaliikenteen määrän kasvu. (Pöllänen ym. 2003, 88.)

Painolastivesien mukana siirtyvien elävien organismien määrää on pyritty vähentämään vaihtamalla vesi avomerellä suolaisempaan meriveteen, suodattamalla tankkiin pääsevä vesi tai käsittelemällä vesi UV-säteilyllä. (Pöllänen ym. 2003, 88.)

5.8 Vesialueiden rakentamisen ympäristöhaitat

Satamien, satamanosien ja vesiväylien rakentamisella on huomattavia välittömiä ja välillisiä vaikutuksia yhdyskuntarakenteeseen sekä kulttuuri- että luonnonympäristöön. Satama-alueella tehtävät mittavat täyttötööt sekä laitureiden, siltojen ja penkereiden rakentaminen saattavat heikentää vesistön tilaa erityisesti, jos veden riittävästä vaihtuvuudesta ei ole huolehdittu. Väylien ja satama-altaiden ruoppaaminen aiheuttaa työnai-kaista veden samentumista ja pohjan eliöstö yleensä tuhoutuu ruoppausalueilta ja läjitys- paikoilta. (Pöllänen ym. 2003, 89.)

6 ILMALIIKENTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

6.1 Yleistä

Lentotoiminnan ympäristövaikutukset aiheutuvat pääosin lentokoneiden melusta ja pakokaasupäästöistä, muista lentotoiminnan päästöistä ilmakehään, jätehuollosta sekä maaperään ja vesiin joutuvista vieraista ainesta. Lentotoiminnan ympäristövaikutukset jaotellaan usein lentokoneista aiheutuviin vaikutuksiin ja lentoasemien muihin ympäristövaikutuksiin. Toinen lentokoneista aiheutuvien ympäristövaikutusten jakoperiaate on energiankulutus ja päästöt. (Rauhamäki 2003, 117.)

6.2 Energiankulutus

Lentoliikenteen energiankulutukseen vaikuttavat lähinnä käytettävä lentokonetyyppi, lentomatkan pituus ja kuormausaste. Lentokoneiden tekninen kehitys sekä koon ja kuormitusasteen kasvu ovat pienentäneet lentoliikenteen suoritekohtaista energiankulutusta viimeisten vuosikymmenten aikana. Lentomatkan pituuden vaikutus polttoainekulutukseen on merkittävä, sillä nousukiidossa ja laskeutumisessa kuluu suhteellisesti huomattavasti energiaa matkalentoon verrattuna. (Rauhamäki 2003, 117-118.)

Ilmaliikenteen energiankulutus Suomessa vuonna 2002 oli noin 14,1 PJ. Lentoliikenteen osuus liikenteen energiankulutuksesta Suomessa on noin 6 %. Kotimaan osuus liikenneilmailun koko energiankulutuksesta on noin 31 %, ulkomaan liikenteen noin 44 % ja Suomen alueella tapahtuvien ylilentojen osuus noin 25 %. Sotilas- ja helikopteriliikenteen energiankulutukset eivät sisälly ilmaliikenteen energia ja päästötilastoihin. (Rauhamäki 2003, 117-118.)

6.3 Päästöt ilmaan

Lentoliikenteen pakokaasupäästöt sisältävät mm. hiilidioksidia, typen oksideja, hiilimonoksidia, hiilivetyä ja vesihöyryä. Ilmaliikenteen päästöistä paikallisen ilman laadun kannalta merkityksellisiä päästölajeja ovat typen oksidi-päästöt sekä hiilivety- ja hiukaspäästöt. Hiilidioksidi ja typpioksiduuli ovat ns. kasvihuonekaasuja, jotka vaikuttavat ilmastonmuutokseen. (Rauhamäki 2003, 119.)

Taulukossa 4 on esitelty ilmaliikenteen keskimääräiset päästöt maksettua tonnikilometriä kohden, edestakaiselta matkalta. (Lipasto 2004d.)

Yksikköpäästöt	CO	HC	NO _x	CO ₂	kulutus	kulutus	kulutus
	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	l/tkm	MJ/tkm
Kotimaa AT7	2,60	0,12	8,80	2104,00	673,00	0,84	29,00
Kotimaa M82	3,60	1,20	12,00	2459,00	786,00	0,98	34,00
Eurooppa keskim.	2,60	0,96	6,70	1699,00	543,00	0,68	23,00
Kaukokohde keskim.	0,63	0,10	3,40	719,00	230,00	0,29	9,90

Taulukko 4. Ilmaliikenteen yksikköpäästöt maksettua tonnikilometriä kohden edestakaisella matkalla. (Lipasto 2004d.)

Paikallisesti lentoasemien ympäristön ilman laadun kannalta merkittävimpiä ovat laskeutumis- ja noususyklin aikaiset päästöt, lentoasemien maakaluston päästöt sekä lentoasemien liityntäliikenne. Ilmailulaitoksen oman maakaluston päästöt ovat melko pieniä verrattuna lentotoiminnan aiheuttamiin päästöihin. Vilkkaiden lentoasemien liityntä-, huolto- ja jakeliikenteen merkitys kokonaispäästöihin voi puolestaan olla suhteellisen suuri. (Rauhamäki 2003, 123.)

6.4 Päästöt maaperään ja vesistöön

Lentoasemien, rullausteiden ja asematasojen liukkaudentorjunnassa käytetään ensisijaisesti mekaanisia menetelmiä kuten harjausta ja aurausta. Kemiaalisia liukkaudentorjunta-aineita käytetään lentoturvallisuuden parantamiseksi kiitoteillä kuuran ja jään poistoon sekä ennakoivaan liukkaudentorjuntaan. Liukkaudentorjuntaan käytetään enimmäkseen asetaatteja. Myös ureaa ja formiaatteja käytetään liukkauden ehkäisyyn, tosin

urean käyttöä pyritään vähentämään siitä aiheutuvan typpikuormituksen vuoksi. Ilmailulaitos ei myöskään käytä ureaa alueilla, joilla se voi aiheuttaa pohjavesihaittoja. Suola ei sovellu liukkaudentorjuntaan korrosoivan vaikutuksen takia, ja hiekka voi vahingoittaa koneiden moottoreita. (Rauhamäki 2003, 127.)

Lentokoneiden jäänpoistoon ja -estoon käytetään propyleeniglykoliliuosta. Jäänestoainesten käyttö riippuu sääolosuhteissa. Tietyissä olosuhteissa jäänestokäsittely on välttämätöntä lentoturvallisuuden takaamiseksi. Propyleeniglykoli ei ole myrkyllistä, mutta se kuluttaa pintavesien happea ja voi hajotessaan aiheuttaa hajuhaittoja. (Rauhamäki 2003, 127.)

6.5 Meluhaitat

Lentokoneen melu koostuu moottorimelusta ja aerodynaamisesta melusta sekä potkuri-turbiinikoneilla potkurin aiheuttamasta melusta. Lentoasemien kannalta merkittävin osa melusta aiheutuu suihkukoneista, joita suurin on suurin osa ulkomaan reittien koneista. (Rauhamäki 2003, 125.)

Lentokoneiden meluvaikutukset kohdistuvat lähinnä lentokenttien ympäristöön. Matkalennon melusta vain pieni osa kantautuu maan pinnalle. Lentokentän melualueen laajuus ja sijainti riippuu liikennemäärästä, konekalustosta sekä kiitotien suunnasta. Lentomelua mitataan yleensä päivä-ilta-yömelutasolla eli L_{DEN} -tunnusluvulla, joka kuvaa melun keskimääräistä energiatasoa yhden vuorokauden aikana. L_{DEN} -arvon laskennassa on painotettu ilta- ja yöajan melutapahtumia, jotka ovat asumisen kannalta päivämelua häiritsevämpiä. (Rauhamäki 2003, 125.)

7 TULOKSET

7.1 Yleistä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Forchem Oy:n kuljetusten ympäristövaikutukset. Koska Rauman tuotantolaitos on moderni ja täyttää sille asetetut päästömääräykset puhtaasti, on tullut ajankohtaiseksi selvittää logistiikan ympäristövaikutukset.

Tämä työ rajattiin käsittelemään kuljetuksia, muut logistiset toiminnot rajattiin siis tämän työn ulkopuolelle. Myöskään lentokuljetuksia ei otettu huomioon, koska lentorahdina kuljetetaan ainoastaan laboratorionäytteitä.

Kuljetusten ympäristökuormitukset haluttiin selvittää kolmelta edelliseltä vuodelta, jotta tulokset olisivat riittävän luotettavia ja saataisiin selville vuosittaiset muutokset. Tietojen hankinnan yksinkertaistamiseksi ja mahdollisimman tehokkaan hyväksikäytön takaamiseksi tulokset laskettiin erikseen saapuvien ja lähtevien kuljetusten osalta. Koska tulokset on laskettu vuosittaisten myynti- ja ostolukujen pohjalta, niitä ei tässä työssä esitetä sellaisenaan.

7.2 Kuljetusten ympäristövaikutusten mittaaminen

Kuljetusten ympäristövaikutusten mittaamiseksi on tässä työssä käytetty apuna Lipaston yksikköpäästömääritelmiä. Lipastosta oli saatavilla tekstissä esitellyt kuljetusmuotojen yksikköpäästöt, joiden pohjalta oli laskettavissa Forchemin kuljetusten ympäristövaikutukset päästöjen osalta.

Tekstissä esitellyissä taulukoissa määritellyt kuljetusmuotojen yksikköpäästöt antavat tarkat lähtökohdat laskennalle. Kuljetusten ympäristövaikutusten selvittämiseksi tarvitaan myös tiedot käytetystä kuljetusmuodosta tai -muodoista, mikäli kuljetus toteutetaan useammalla kuljetusmuodolla. Lisäksi tarvitaan tiedot kuljetusten reitityksestä, eli kul-

jetuksen pituudesta. Työläimmäksi vaiheeksi kuljetusten ympäristövaikutusten selvittämisessä osoittautui nimenomaan kuljetusmatkojen selvittäminen.

7.3 Kuljetusten ympäristövaikutukset

Seuraavasta taulukosta (Taulukko 5) ovat luettavissa sekä saapuvien että lähtevien kuljetusten vuosittaiset päästöt sekä vuotuiset kokonaispäästöt päästölajeittain. Päästölajit on esitelty termiluettelossa työn alussa.

2003	CO	HC	NO _x	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Saapuvat [t]	0,313	0,126	11,484	0,151	0,021	0,049	0,065	1 016,120
Lähtevät [t]	2,547	1,408	63,625	1,533	0,020	0,047	18,788	2 909,348
YHTEENSÄ [t]	2,860	1,535	75,109	1,685	0,042	0,096	18,852	3 925,468

2004	CO	HC	NO _x	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Saapuvat [t]	0,454	0,185	16,516	0,221	0,030	0,069	0,181	1 448,205
Lähtevät [t]	4,229	2,303	101,589	2,505	0,026	0,059	31,293	4 459,830
YHTEENSÄ [t]	4,683	2,488	118,105	2,725	0,056	0,128	31,474	5 908,035

2005	CO	HC	NO _x	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂
Saapuvat [t]	0,535	0,214	15,585	0,240	0,026	0,060	0,532	1 363,251
Lähtevät [t]	5,741	3,155	136,445	3,435	0,026	0,059	43,683	5 739,499
YHTEENSÄ [t]	6,277	3,369	152,030	3,675	0,052	0,119	44,215	7 102,750

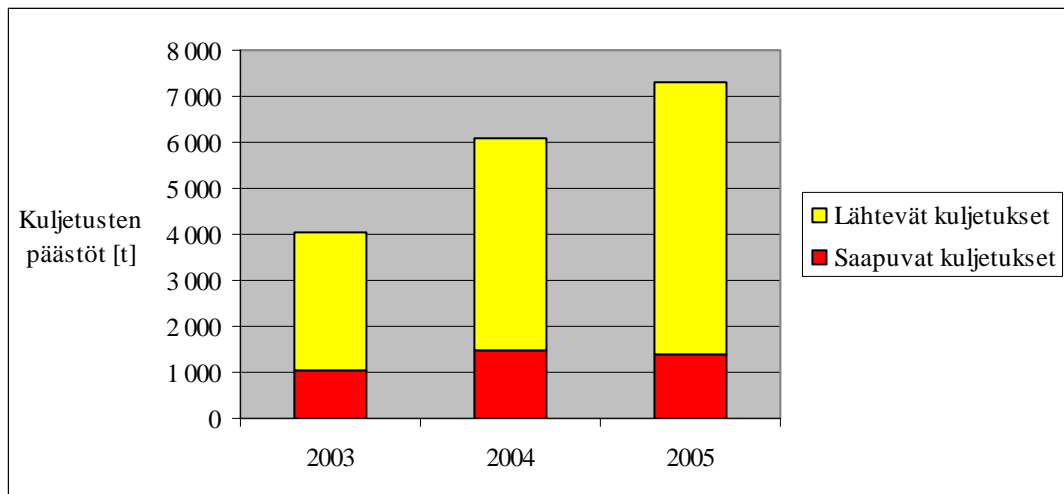
Taulukko 5. Forchemin kuljetusten aiheuttamat päästöt päästölajeittain vuosina 2003-2005.

Taulukko 6 sisältää vuosittaiset kuljetusten kokonaispäästöt, jotka on esitetty niin ikään jaoteltuna saapuvien ja lähtevien kuljetusten mukaan sekä yhteenlaskettuna. Laskennassa on huomioitava, että edellä olevassa taulukossa ilmoitetut metaanipäästöt ovat hiilivetyä, joten ne sisältyvät laskennallisiin hiilivetyypäästöihin, mutta ne on haluttu selvittää myös erikseen, koska metaani on kasvihuonekaasu. Tulokset on esitetty tuhansina kiloina.

	2003	2004	2005
Saapuvat [t]	1 028,308	1 465,831	1 380,419
Lähtevät [t]	2 997,297	4 601,807	5 932,018
YHTEENSÄ [t]	4 025,604	6 067,638	7 312,436

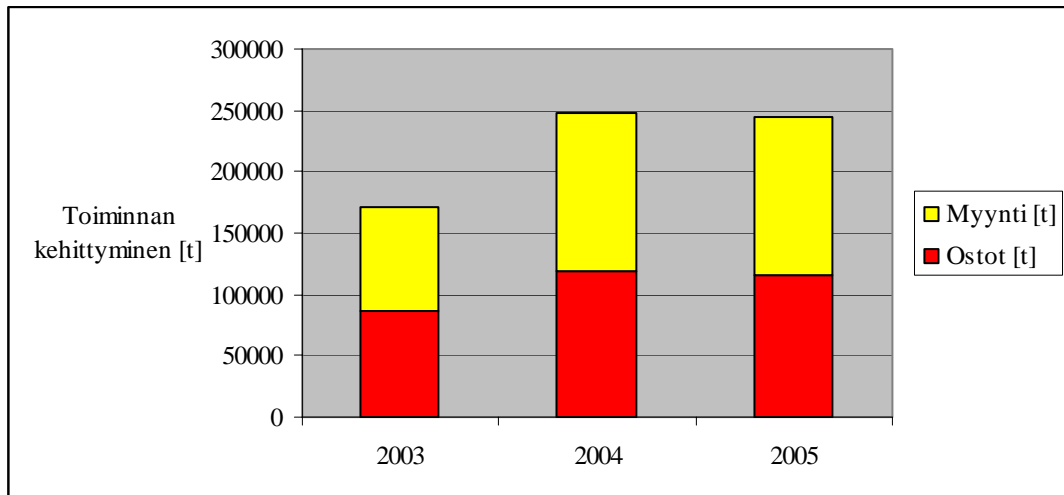
Taulukko 6. Forchemin kuljetusten kokonaispäästöt vuosina 2003-2005.

Kuljetusten kokonaispäästöjen kasvua selkeyttää kaavio, joka esittelee vuosittaiset päästöt. Lähtevien kuljetusten osuus kuljetusten päästöistä on luonnollisesti selvästi saapuvia kuljetuksia suurempi, koska myydyt tuotteet viedään huomattavasti tuontialuetta laajemmalle alueelle. Seuraava kuvio (Kuvio 1) esittää Forchemin kuljetusten aiheuttamien päästöjen kehittymistä edeltävän taulukon pohjalta.



Kuvio 1. Forchemin kuljetusten päästöt vuosina 2003-2005.

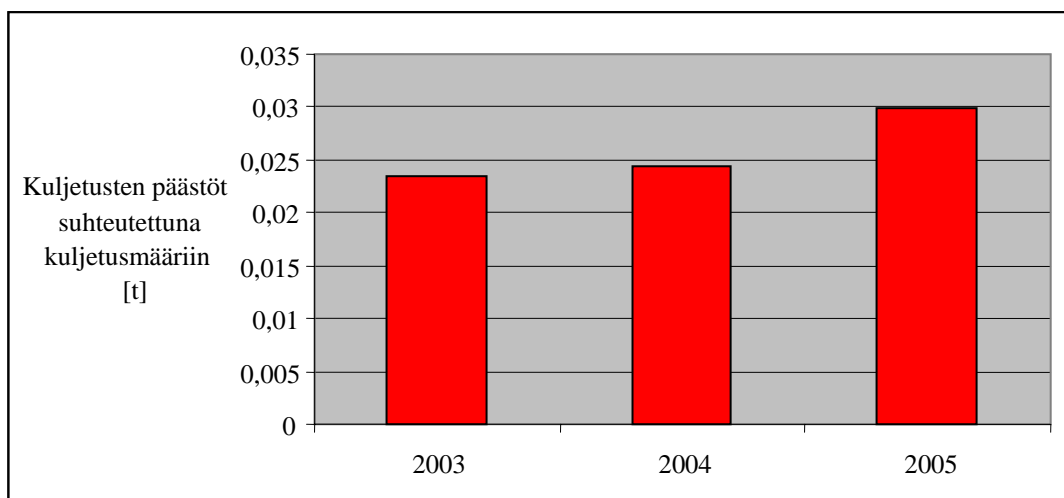
Myynnin kasvu vaikuttaa suoraan kuljetusten määrän kasvuun, kun yritys on riippuvainen kuljetustoiminnasta, joten toiminnan kehittyminen kuvastuu kuljetusten määrän lisääntymisen ohella myös kuljetusten aiheuttamaan päästökuormaan. Seuraavassa kuviossa esitellään Forchemin ostojen ja myynnin kehitystä, jotta kuljetusten aiheuttamien päästöjen kehittymiselle saataisiin vertailukohta.



Kuvio 2. Forchemin toiminnan kehittyminen vuosina 2003-2005.

Kuvioiden 1 ja 2 pohjalta on havaittavissa, että kuljetusten aiheuttama päästökuorma on kasvanut, vaikka toiminta ei olekaan kehittynyt. Tämä selittyy sillä, että valmisteiden ostajat sijaitsevat yhä laajemmalla alueella. Laajempi toimitusalue puolestaan heijastuu kasvavien kuljetusmatkojen kautta suoraan kuljetusten aiheuttamiin päästöihin. Myös kaukaisimpien asiakkaiden tilausten kasvu vaikuttaa kuljetusten aiheuttamiin päästöihin edellä esitellyn mukaisesti.

Seuraavassa kuviossa (Kuvio 3) esitellään vielä suhteutettujen päästöjen vuosittaista kehittymistä. Kuljetusten aiheuttamat päästöt on suhteutettu kuljetusmääriin, jolloin kuvioista on luettavissa päästökuormituksen kehittyminen kuljetusmääriin nähden.



Kuvio 3. Kuljetusten päästöt vuosilta 2003-2005 suhteutettuna kuljetusmääriin.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteet olivat selkeät, joten niiden täyttymistä kohti pyrkiminen oli suhteellisen helppoa. Kuljetusten ympäristövaikutusten selvittämiseksi käytettävissä oli riittävästi materiaalia ja tietoa oli saatavilla pienen selvittelytyön jälkeen kiitettävästi.

Teoriaosuus esittelee eri kuljetusmuotojen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Lukija saa hyvän käsityksen kuljetusmuotojen ympäristövaikutuksista, kun jokainen kuljetusmuoto on esitelty teoriaosassa erikseen. Kuljetusmuodoittain jaoteltu teoriaosa helpottaa myös tiedon hakemista jonkin tietyn kuljetusmuodon puitteissa.

Yksikköpäästöt on esitelty taulukoituina kyseisen kuljetusmuodon kohdalla, jotta päästöt olisivat löydettävissä tarpeen mukaisesti. Yksikköpäästöjen avulla kuljetusten ympäristövaikutukset olivat laskettavissa yksinkertaisimmin, mutta mainittakoon tässä yhteydessä myös muunlaisen tiedon saavuttamattomuus. Lähdeä, josta olisi suoraan selvinnyt kuljetetun tonnin aiheuttama ympäristökuormitus, ei löytynyt. Toisaalta, yksikköpäästöperusteinen laskenta tarjoaa tarkimman mahdollisen tuloksen.

Toivottavasti tämä työ tutkimusaineistoinen on hyödyksi kuljetusten ympäristövaikutusten mittaamisessa ja kehityksen seuraamisessa tulevaisuudessakin. Pohja ympäristövaikutusten selvittämiseksi on nyt laadittu, joten päästöjen seuranta ja tarkastelu on jatkossa yksinkertaisempaa.

LÄHDELUETTELO

Mäkelä, K., Laurikko, J. & Kanner, H. (2005). Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Mäkelä, T., Säily, S. & Mäntynen, J. (2002). Rautatieliikenne. Tampere: Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Liikenne- ja kuljetustekniikka.

Pöllänen, M. & Mäntynen, J. (2002). Tieliikenne. Tampere: Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Liikenne- ja kuljetustekniikka.

Pöllänen, M., Säily, S., Kalenoja, H. & Mäntynen, J. (2003). Vesiliikenne. Tampere: Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Liikenne- ja kuljetustekniikka.

Rauhamäki, H. (2003). Ilmaliikenne. Tampere: Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Liikenne- ja kuljetustekniikka.

Forchem Oy. (2004). Mäntyöljy, yllättävän lähellä sinua. Forchem Oy:n yritysesite.

Forchem Oy. (2005 a). Annual Report 2004. Forchem Oy:n yritysesite.

Forchem Oy. (2005 b). Kestävän kehityksen periaatteilla toimiva mäntyöljyn jalostaja. Forchem Oy:n yritysesite.

Forchem Oy. (2006). Mäntyöljy ja sen jalosteiden käyttöturvallisuustiedotteet. Forchem Oy.

Lipasto (2004 a). Yksikköpäästöt; Tavaraliikenne; Tieliikenne [verkkosivu]. Lipasto. [viitattu 18.7.2006]. Saatavissa <http://lipasto.vtt.fi/lipasto>

Lipasto (2004 b). Yksikköpäästöt; Tavaraliikenne; Rautatieliikenne [verkkosivu]. Lipasto. [viitattu 25.7.2006]. Saatavissa <http://lipasto.vtt.fi/lipasto>

Lipasto (2004 c). Yksikköpäästöt; Tavaraliikenne; Vesiliikenne [verkkosivu]. Lipasto. [viitattu 3.8.2006]. Saatavissa <http://lipasto.vtt.fi/lipasto>

Lipasto (2004 d). Yksikköpäästöt; Tavaraliikenne; Ilmaliikenne [verkkosivu]. Lipasto. [viitattu 12.8.2006]. Saatavissa <http://lipasto.vtt.fi/lipasto>

Ympäristö (2006). Ympäristön tila; Melu ja ääriä; Ympäristömelun lähteet [verkkosivu]. Ympäristö. [viitattu 20.8.2006]. Saatavissa <http://www.ymparisto.fi>

LIITTEET

(Suomen sellutehtaat)

(Forchem tulokset)