

# ELINKAARIARVIOINTI

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikka  
Ohjelmistotekniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2008  
Aapo Jaakkola

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma

JAAKKOLA AAPO: Elinkaariarviointi

Ohjelmistotekniikan opinnäytetyö, 55 sivua, 6 liitesivua

Kevät 2008

## TIIVISTELMÄ

---

Tässä opinnäytetyössä määritellään, suunnitellaan ja toteutetaan elinkaariarviointiohjelma, jolla voidaan laskea tuotteen ympäristövaikutukset. Ohjelma tuottaa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin annetuista lähtöarvoista. Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA) on menetelmä, jonka avulla pyritään systemaattisesti selvittämään tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset raaka-aineen hankinnasta tuotteen hylkäämiseen asti.

Elinkaariarviointi käsittää neljä vaihetta: Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusten arviointi ja tulkinta. Elinkaariarviointiin valittavat tiedot riippuvat selvityksen tavoitteesta ja soveltamisalasta. Tämän opinnäytetyön ohjelma käyttää inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin laskemiseen ulkopuolista Ecoinvent -tietokantaa. Ecoinvent -kantaa ylläpitää Sveitsiläinen laitos Empa (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research).

Sovellus koostuu relaatiotietokannasta ja sitä käsittelevästä ohjelmasta. Ohjelma on toteutettu C++ ohjelmointikielellä Microsoft Visual C++ ympäristössä.

Retermian neulalämmönsiirtimelle suoritettiin elinkaariarviointi syksyllä 2001 ja keväällä 2002. Yhteenvetona selvityksestä voitiin todeta, että elinkaaren merkittävimmät osat ilmastonmuutoksen kannalta ovat käytön aikainen energiankulutus sekä neljän pääraaka-aineen tuotantoprosessit. Näiden tuloksien perusteella tässä opinnäytetyössä valittiin Ecoinvent -tietokannasta näitä materiaaleja koskevat tiedot.

Sovellus täytti sille asetetut vaatimukset. Ohjelma räätälöitiin Retermian tarpeisiin, mutta samalla menetelmällä ohjelmasta voidaan tehdä sovellus, joka laskee käyttäjän itsensä valitsemista yksikköprosesseista ja lähtöarvoista tuotteen tai prosessin ympäristövaikutukset.

Avainsanat: Elinkaariarviointi, Relaatiotietokanta, MFC-luokkakirjasto

Lahti University of Applied Sciences  
Information Technology

JAAKKOLA AAPO: Life Cycle Assessment

Bachelor's Thesis in Software Engineering, 55 pages, 6 appendices

Spring 2008

ABSTRACT

---

In this thesis a Life Cycle Assessment software capable of calculating the environmental impacts of a product is defined, designed and implemented. The software produces a life cycle inventory analysis and a life cycle impact assessments from raw data. Life Cycle Assessment (LCA) is the investigation and valuation of the environmental impacts of a given product or service caused or necessitated by its existence.

LCA studies comprise four phases: The goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment and interpretation. The data which are chosen depends on the goal and scope of the LCA. The software of this thesis uses the Ecoinvent database to calculate the life cycle inventory analysis and life cycle impact assessments. The Ecoinvent Centre (The Swiss Centre for Life Cycle Inventories) is managed by Empa (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research).

The application consists of a relational data base and a software that uses it. The program is built with C++ programming language in Microsoft Visual C++ framework.

A life cycle assessment of the Retermia needle heat exchanger was made in autumn 2001 and spring 2002. The results seem to indicate that from the point of view of the environment the energy consumption in the use phase and the manufacturing processes of the four main raw-materials were of most significance. As a result, the data concerning these particular phases were chosen from the Ecoinvent database in this thesis.

The software satisfied the examiners. It was designed for Retermia Oy, but the same method can be used to design a software capable of calculating unit processes chosen by the users.

Key words: Life Cycle Assessment, relational data base, MFC class library

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	RETERMIA OY	3
	2.1 Yritysesittely	3
	2.2 Neulalämmönsiirrin ja sen toimintaperiaate	3
3	ELINKAARIARVIOINTI	5
	3.1 Elinkaariarviointi	5
	3.2.1 Yleistä elinkaariarvioinnin vaiheista	5
	3.2.2 Määrittelyvaihe	6
	3.2.3 Inventaarioanalyysi	8
	3.2.4 Vaikutusarviointi	9
	3.2.5 Tulosten tulkinta	15
4	ECOIVENT-KESKUS	17
	4.1 Ecoinvent tietokanta	17
	4.2 XML	20
5	TIETOKANTASOVELLUKSET	23
	5.1 Relaatiomalli	23
	5.2 Relaatietietokantojen tiedonhallintajärjestelmät	26
	5.3 ODBC -Standardi	27
	5.4 MFC-luokkakirjasto	28
6	RETERMIA-SOVELLUS	33
	6.1 Retermia elinkaariarvio	33
	6.2 EcoSpol-tiedosto	35
	6.3 Yksikköprosessin laskenta	37
	6.4 Tietokannan kuvaus	40
	6.5 Ohjelman kuvaus	42
	6.6 Käyttöliittymä	44
	6.7 Ympäristötuoteseloste	47
7	YHTEENVETO	52



## 1 JOHDANTO

Kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) arviointiraportissa vuodelta 2007 todetaan, että ilmaston lämpeneminen on kiistaton tosiasia. Alailmakehä lämpeni viime vuosisadalla keskimäärin 0,74 astetta, ja IPCC:n arvion mukaan valtaosa lämpenemisestä johtui yli 90 prosentin todennäköisyydellä ihmiskunnan toimintojen aiheuttamista kasvihuonekaasuista. Uusimpien ilmastoskenaarioiden mukaan maapallon keskilämpötila nousee vuoteen 2100 mennessä 1,1 - 6,4 astetta verrattuna vuosien 1980 - 1999 keskilämpötilaan. (Merikallio 2007; Suomen ympäristökeskus 2007.)

Energiankulutus kasvaa jatkuvasti maailmassa – myös Suomessa, vaikka tavoitteena on vähentää kulutusta. Energiantuotantoa ja -kulutusta on tehostettu ja säästötoimia toteutettu, mutta siitä huolimatta kaikilla toimialoilla on vielä paljon tehtävää. Yritysten ja yhteisöjen kannalta energiatehokkuuden parantaminen – eli tietyn tuotteen valmistaminen entistä pienemmällä energiamäärällä – on järkevää, koska se tuo usein taloudellista hyötyä samalla kun päästöt ympäristöön vähenevät. (Suomen ympäristökeskus 2007.)

Suomessa arvioidaan syntyvän vuosittain noin 120 miljoonaa tonnia jätteitä ja niihin rinnastettavia sivutuotteita eli jokaista suomalaista kohden yli 22 000 kiloa. Vuosituhatton alkuun verrattuna määrä on vähentynyt noin 10 miljoonalla tonnilla. Jätettä syntyy tuotteiden ja materiaalien elinkaaren kaikissa vaiheissa alkaen raaka-aineen tuotannosta ja päätyen varsinaisen tuotteen hävittämiseen. Paljon jätettä syntyy itse valmistusprosesseista sekä niiden vaatimasta energiantuotannosta ja kuljetuksista. (Suomen ympäristökeskus 2007.)

Korkeatasoisesta ympäristöteknologiasta voidaan puhua silloin, kun teknologia on suunniteltu kestävän kehityksen tavoitteiden mukaisesti, ja se toimii ekotehokkaasti eli kuormittaa ympäristöä mahdollisimman vähän ja käyttää raaka-aineita,

materiaaleja, energiaa ja teknologiaa mahdollisimman säästävaisesti (Suomen ympäristökeskus 2007.)

Retermia Oy on Heinolassa sijaitseva PK-yritys, joka suunnittelee ja valmistaa ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmiä. Vuonna 2000 Retermia Oy aloitti ISO 14001 -standardin mukaisen ympäristöhallintajärjestelmän käytön ja sen osana valmistui ensimmäinen elinkaariarviointiohjelma. Ohjelma toteutettiin yhdessä Proventia Oy:n kanssa. Ensimmäinen yrityksen elinkaariarviointi toteutettiin Hämeen TE-keskuksen tuella, ympäristötuoteselostemallit olivat osana TKK Lahden keskuksen Laatu, ympäristö ja tietoturva -hanketta.

Elinkaariarviointiohjelma on ollut vuodesta 2000 yrityksen käytössä aina vuoteen 2005 saakka. Proventia Oy on lopettanut ohjelman kehityksen, eikä ohjelma ole enää Retermia Oy:n käytettävissä. Kiristyvien ympäristödirektiivien ja asiakkaiden vaatimusten takia ohjelmaa tarvitaan myös jatkossa. Ohjelman avulla laaditaan ympäristötuoteselosteita, joita asiakkaat Ruotsissa edellyttävät tuotteelta. Yrityksessä on tehty päätös, että ympäristöselosteen laadintaa varten tehdään oma elinkaariarviointiohjelma eikä käytetä markkinoilla olevia valmiita ohjelmia.

Tämä opinnäytetyön tavoitteena on määritellä, suunnitella ja toteuttaa elinkaariarviointiohjelma, jolla pystytään laskemaan Retermia Oy:n asiakkaalle toimittaman neulalämmönsiirrin-järjestelmän ympäristövaikutukset lähtien raaka-aineen valmistuksesta tuotteen hävittämiseen asti ns. ”kehdosta hautaan”. Opinnäytetyön alussa esitellään Retermia-yritys. Tämän jälkeen esitellään elinkaariarvioinnin menetelmät ja tarkoitus sekä ohjelmassa käytettävä elinkaaritietokanta – Ecoinvent. Opinnäytetyön teoriaosuudessa kerrotaan relaatiotietokannoista ja yleisesti Microsoftin MFC luokkakirjastolla toteutettavista sovelluksista. Lopuksi esitellään tämän opinnäytetyön tuloksena toteutettu elinkaariarviointiohjelma ja ympäristötuoteseloste, jonka aputyökaluksi sovellus on suunniteltu.

## 2 RETERMIA OY

### 2.1 Yritysesittely

Retermia Oy on toiminut Heinolassa perustamisvuodesta 1982 lähtien. Yrityksessä on 16 työntekijää ja yrityksen liikevaihto oli vuonna 2007 1,8 miljoonaa euroa. Kolmasosa tuotannosta menee vientiin Ruotsiin.

Retermia neulalämmönsiirtimet ovat yrityksen oma innovaatio. Neulalämmönsiirtimet ja niiden valmistusmenetelmä on suojattu patenteilla Suomessa, Ruotsissa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa.

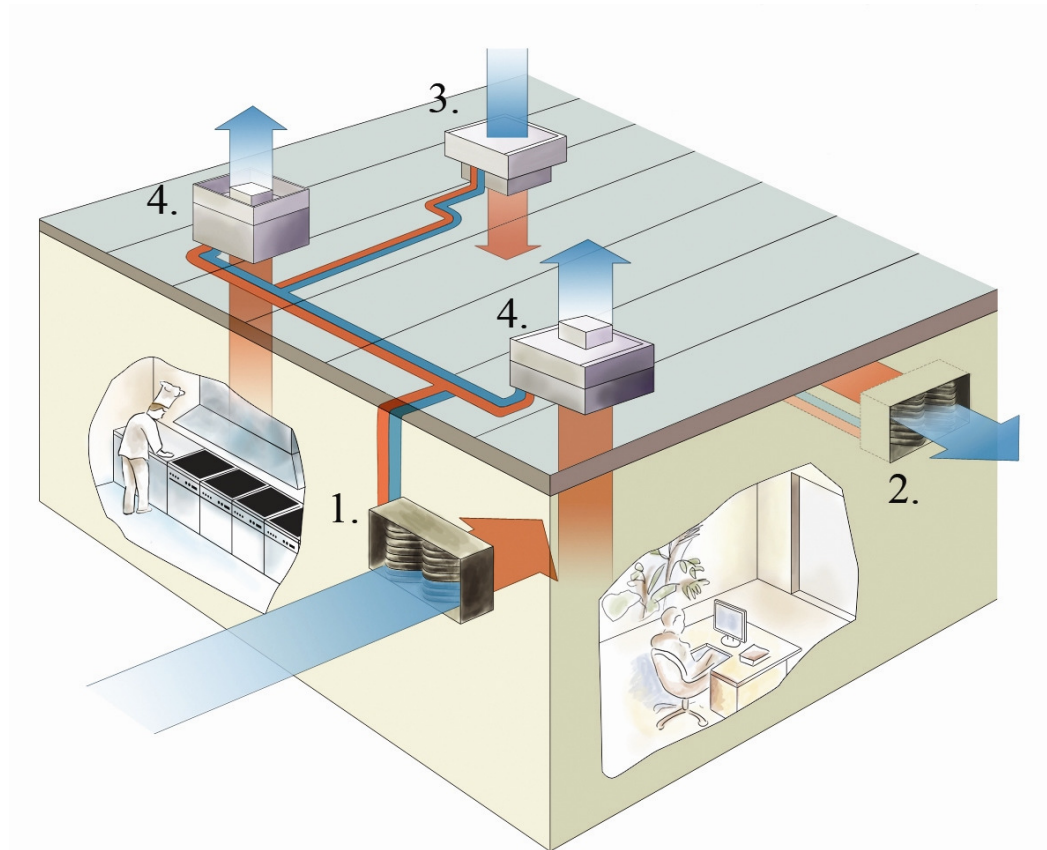
Retermia Oy:n pääasiallisia asiakaskohteita ovat sairaalat ja terveyskeskukset, oppilaitokset, liike- ja virastorakennukset, uimahallit, ravintolat ja ammattikeittiöt sekä teollisuusrakennukset.

### 2.2 Neulalämmönsiirrin ja sen toimintaperiaate

Neulalämmönsiirrin (engl. needle heat exchanger, ruots. nålvärmeväxlare) on Retermia Oy:n valmistama lämmöntalteenottolaite (LTO-laite), jossa lämmönsiirto-pintana toimii patentoitu neulaputki. Alumiininauhasta ja kupari- tai alumiiniputkesta valmistettava neulaputki taivutetaan ja kootaan lämmönsiirtimeksi Retermi-an tehtailla. (Rermia oy 2008.)

Neulalämmönsiirrin on epäsuoraan rekuperatiiviseen lämmöntalteenottojärjestelmään suunniteltu lämmönsiirrin. Neulalämmönsiirrin ottaa poistoilman lämpöenergiaa talteen ja sitoo sen lämmönsiirtonesteeseen. Neste pumpataan liuospumpan avulla tulopuolen lämmönsiirtimeen, missä nesteen sisältämä lämpöenergia esilämmittää tuloilman. (Rermia oy 2008.)





KUVIO 1. Periaatekuva Retermian lämmöntalteenottojärjestelmästä

Retermian neulalämmönsiirtotekniikan eri sovelluksiin kuuluvat LTO-huippuimurit, Retermia runkoon valmistetut neulalämmönsiirtimet, ilmanvaihtokoneen väliosaan valmistetut neulalämmönsiirtimet sekä ilmanotto ja ulospuhalluskatokset. Kuvio 1 havainnollistaa Retermia järjestelmien asennuseriaa. Retermian runkoon valmistettu neulalämmönsiirrin asennetaan ilmanvaihtosäleikön tilalle kammion mittojen mukaan tehtyyn eristämättömään rakennosaan (1). Laittevalmistajan väliosaan rakennettu neulalämmönsiirrin valmistetaan asiakkaan toimittaman väliosaan (esim. Recair, Koja, FläktWoods, PM-Luft, IV-Produkt, Wolf, GEA, Novenco tms.) ja asennetaan koneen osaksi (2). Neulalämmönsiirrin voidaan valmistaa myös katolle sijoitettaviksi malleiksi. Ilmanotto- (3) ja ulospuhalluskatoksista käytetään yleisnimitystä LTO-katos. Huippuimurin ympärille rakennettavaa neulalämmönsiirrintä kutsutaan nimellä LTO-huippuimuri, lyhyemmin LTOH (4). (Rermia oy 2008.)

### 3 ELINKAARIARVIOINTI

#### 3.1 Elinkaariarviointi

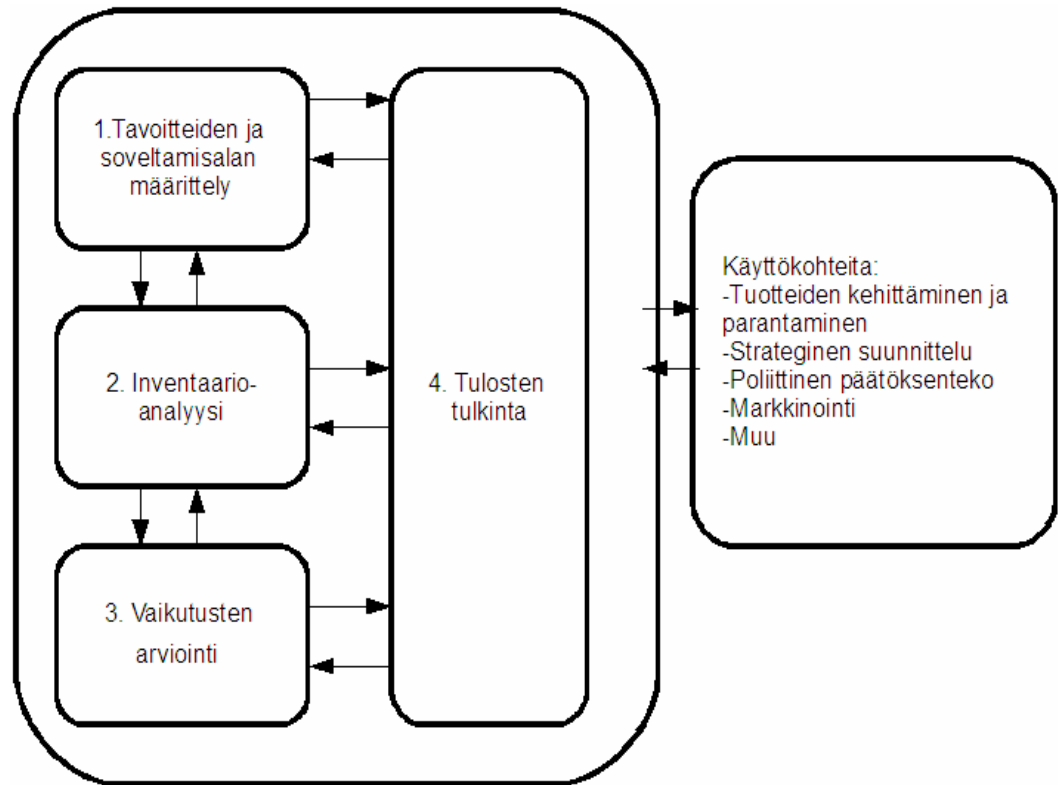
Ympäristötekniikan suunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon tarkasteltavan systeemin kaikki ympäristövaikutukset elinkaariajattelutavan mukaisesti. Tarkastelusta tulee käydä ilmi materiaalien käyttö sekä välittömät ja välilliset ympäristövaikutukset eli päästöt ilmaan ja veteen sekä materiaalipäästöt jätteinä ja ainesivuvirtoina. Energiankulutuksessa on otettava huomioon sekä tuotannon aikainen kulutus että välillinen kulutus. (Suomen ympäristökeskus 2007.)

Elinkaariajattelussa tarkastellaan tuotteen eri vaiheita: raaka-ainelähteeltä valmistuksen ja jalostuksen kautta kulutukseen sekä käytön jälkeen tapahtuvaan hyötykäyttöön, joko kierrätykseen, energialähteeksi tai uusiokäyttöön raaka-aineena tai tuotteena tai loppusijoitukseen kaatopaikalle. Kussakin elinkaaren vaiheessa käytetään erilaisia panoksia, kuten materiaaleja, energiaa ja vettä (inputs), ja aiheutetaan erilaisia päästöjä ja ympäristökuormitusta ilmaan, veteen tai maaperään (outputs). (Suomen ympäristökeskus 2007.)

Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA) on menetelmä, jonka avulla pyritään systemaattisesti selvittämään tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset raaka-aineen hankinnasta tuotteen hylkäämiseen asti. Taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia ei tyypillisesti sisällytetä elinkaariarviointiin. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040:2006, 8 - 10.)

##### 3.2.1 Yleistä elinkaariarvioinnin vaiheista

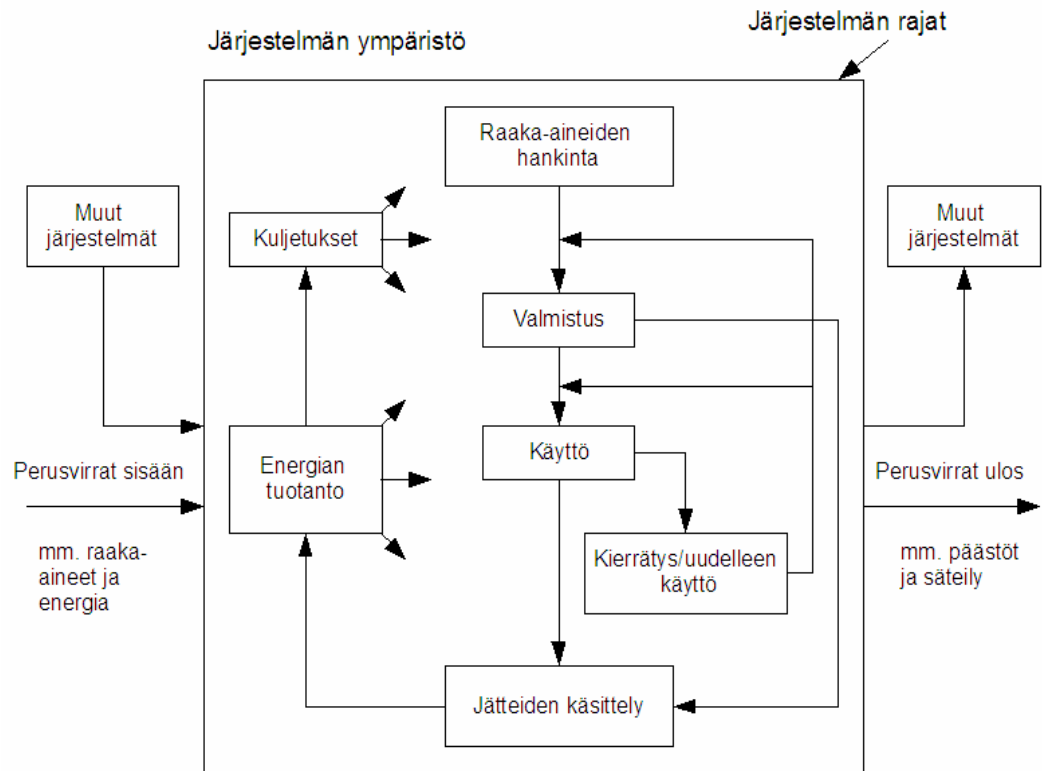
Elinkaariarviointi käsittää neljä vaihetta: Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusten arviointi ja tulkinta. Kuviossa 2. havainnollistetaan vaiheiden suhteita toisiinsa.



KUVIO 2. Elinkaaritarkastelun vaiheet (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006, 24)

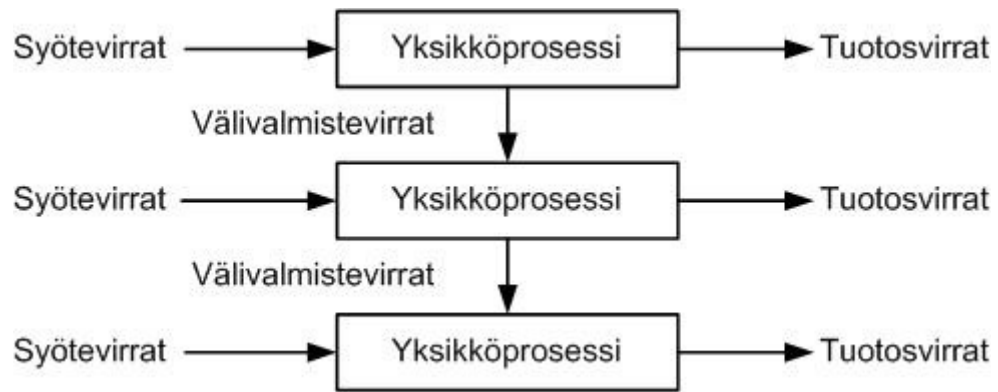
### 3.2.2 Määrittelyvaihe

Elinkaariarvioinnin ensimmäisessä vaiheessa määritellään tutkimuksen tavoitteet ja aiottu soveltamiskohde, selvityksen kohteena oleva tuotejärjestelmä ja siihen liittyvät rajaukset sekä toiminnallinen yksikkö. Kuviossa 3 on esimerkki tuotejärjestelmästä, joka sisältää raaka-aineiden hankinnan, valmistusprosessin, käytön, kierrätyksen ja uudelleenkäytön, jätteiden käsittelyn, kuljetukset sekä energiahuollon. Järjestelmän sisään tulevia perusvirtoja ovat raaka-aineet ja energia. Järjestelmästä pois lähteviä perusvirtoja ovat päästöt ilmaan, veteen tai maaperään ja säteily. Järjestelmään tulevia ja siitä pois lähteviä virtoja muihin järjestelmiin ovat kierrätysmateriaalit ja uudelleenkäytettävät komponentit.



KUVIO 3. Esimerkki tuotejärjestelmästä (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006, 28)

Tuotejärjestelmät jaetaan joukkoon yksikköprosesseja. Kuviossa 4 on havainnollistettu yksikköprosessisarja. Yksikköprosessit yhdistetään toisiinsa välivalmistevirroilla, jätteenkäsittelyyn johtavilla virroilla tai molemmilla, toisiin tuotejärjestelmiin tuotevirroilla ja ympäristöön perusvirroilla. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006, 26.)



KUVIO 4. Esimerkki tuotejärjestelmän yksikköprosessisarjasta (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006, 28)

Perusvirrat sisältävät järjestelmään liittyviä luonnonvarojen käyttöä sekä päästöjä ilmaan, veteen ja maahan. Elinkaariarvioinnin tavoitteesta ja soveltamisalasta riippuen näistä tiedoista voidaan tehdä johtopäätöksiä. Nämä tiedot ovat inventaarioanalyysin tulokset ja muodostavat vaikutusarvioinnin syötteen. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006, 28.)

Tiedot voidaan kerätä järjestelmän rajoihin sisältyviin yksikköprosesseihin liittyviltä toimipaikoilta tai ne voidaan saada tai laskea muista lähteistä. Lähtötiedon vaatimusten tulisi käsitellä seuraavia tekijöitä: ajallinen kattavuus eli tiedon ikä ja keräysjakson vähimmäispituus, maantieteellinen kattavuus, teknologinen kattavuus, lähtötietojen tarkkuus, täydellisyys eli virran prosenttiosuus, joka mitataan tai arvioidaan, edustettavuus, johdonmukaisuus, toistettavuus, tiedon lähteet ja informaation epävarmuus. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14044 2006, 28-30.)

### 3.2.3 Inventaarioanalyysi

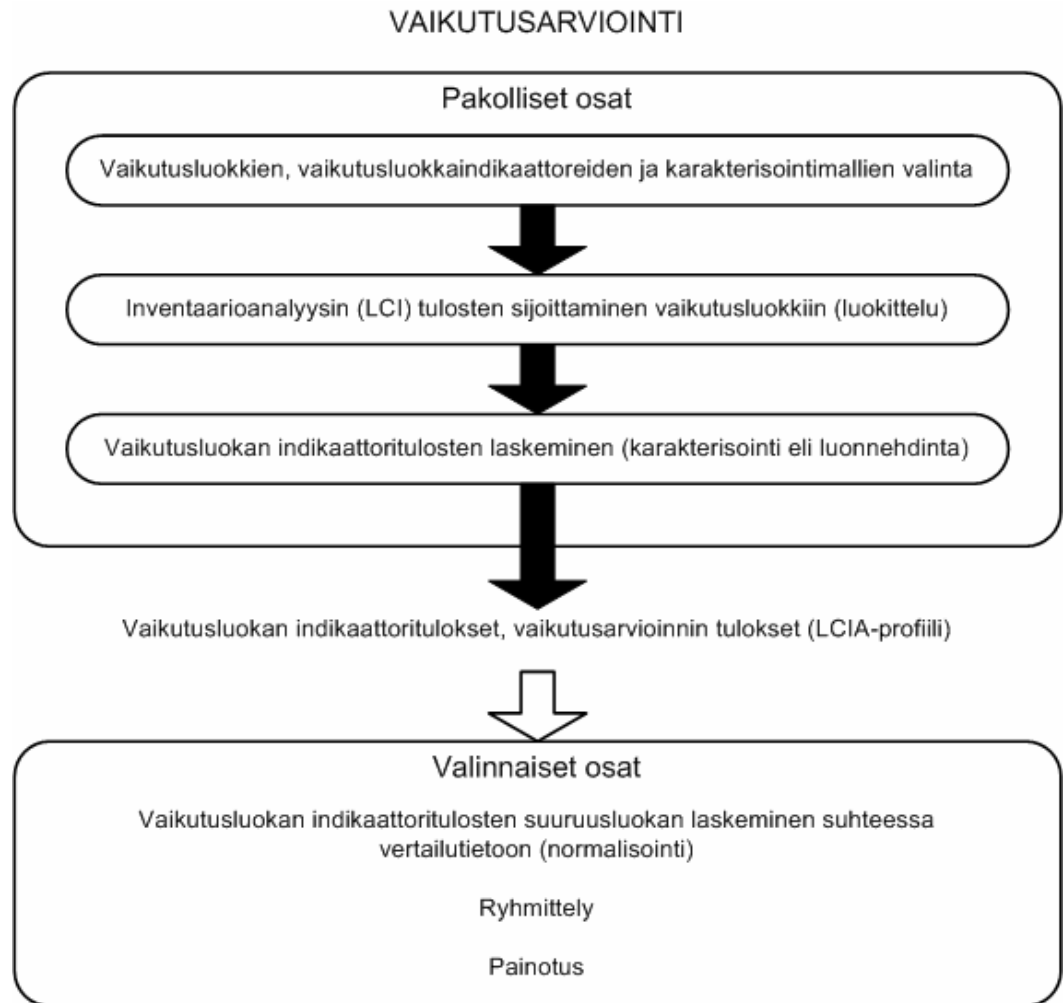
Inventaarioanalyysi (life cycle inventory analysis, LCI) on elinkaariarvioinnin vaihe, jossa annetaan tuotteen elinkaaren aikaiset syötteen ja tulokset koostetaan ja kuvataan määrällisinä. Inventaarioanalyysin toteuttaminen on iteratiivinen prosessi. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14044 2006.)

Inventaarioanalyysin aineisto muodostuu kuormitustekijöistä. Inventaarioanalyysivaiheessa selvitetään tarkasteltavan tuotejärjestelmän perusvirrat eli syötteet, luonnonvarojen kuluminen ja niiden määrä, sekä tuotokset, luontoon joutuvat päästöt ja niiden määrä toimintoyksikköä kohden (esim. NO<sub>x</sub> -päästö/tuotettu lämmönsiirrin). Elinkaariarvioinnissa toiminnallisena yksikkönä on johonkin tarpeeseen liittyvä tuote tai palvelu, esimerkiksi lämmönsiirrin. Tiedon lähteenä voidaan käyttää saatavilla olevia elinkaaritietokantoja. Jokaisen käytetyn tiedon osalta tulee ilmetä sen lähde sekä maantieteellinen ja ajallinen kattavuus. (Seppälä 2004, 7.; Loikkanen, Mälkki, Virtanen, Katajajuuri, Seppälä, Leivonen & Reinikainen 1999.)

#### 3.2.4 Vaikutusarviointi

Vaikutusarviointi (life cycle impact assesment, LCIA) on elinkaariarviointivaihe, jonka tarkoituksena on ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä koko tuotteen elinkaaren aikana (International Standard SFS-EN ISO 14044 2006, 14). Yleensä tässä prosessissa yhdistetään inventaariotiedot tiettyihin ympäristövaikutusluokkiin ja vaikutusluokkaindikaattoreihin, ja yritetään näin ymmärtää kyseisiä vaikutuksia. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006.)

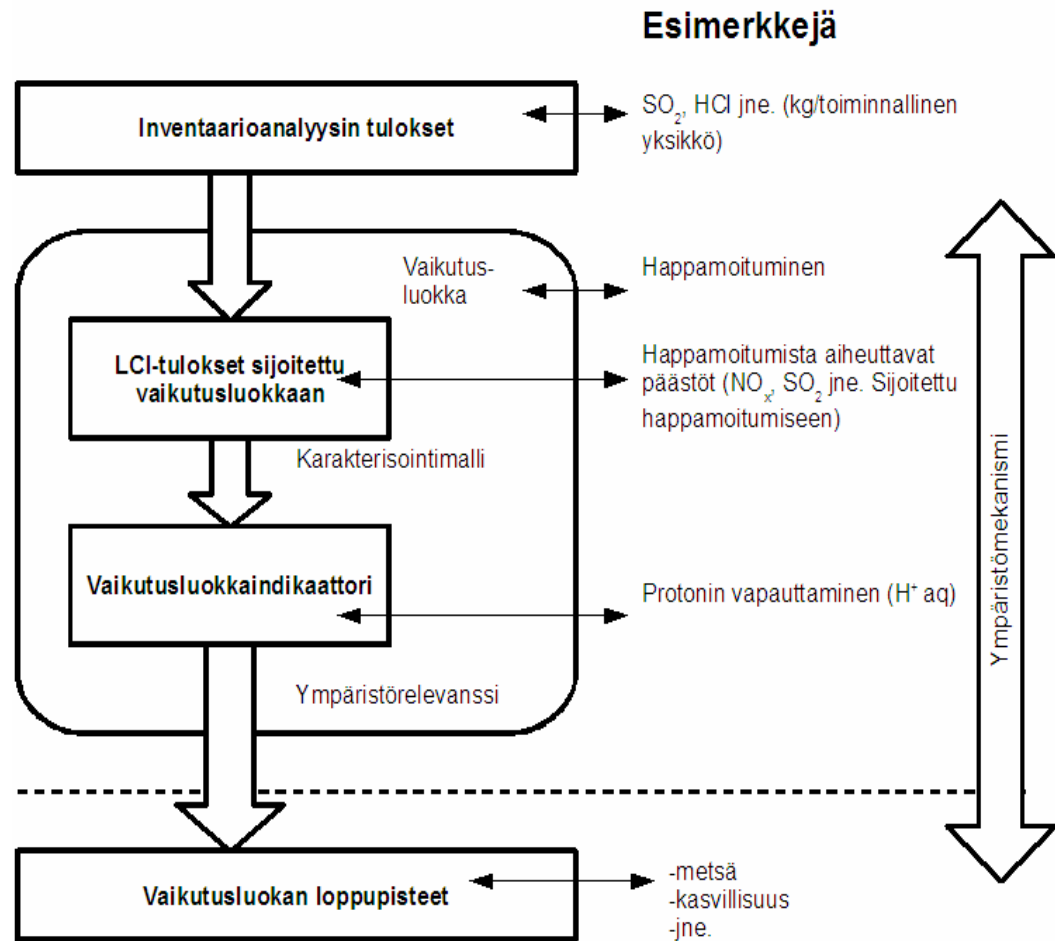
Ympäristövaikutusten arvioinnin tavoitteena on tiivistää inventaarioanalyysin tulokset päätöksentekijälle käyttökelpoisempaan muotoon. Huomio kiinnittyy kokonaisuuden arviointiin, eikä yksittäisten vaikutusten arviointiin (Seppälä 2004, 7.). Kuviossa 5 on havainnollistettu vaikutusarvioinnin vaiheita. Vaikutusarviointi voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin: Vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattoreiden ja karakterisointimallien valinta, luokittelu, luonnehdinta (karakterisointi), normalisointi, ryhmittely ja painotus. Standardin mukaan vain kolme ensimmäistä osaa ovat pakollisia. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14044 2006.)



KUVIO 5. Vaikutusarvioinnin vaiheet (International Standard SFS-EN ISO 14040 2006, 36)

Vaikutusarvioinnin ensimmäisenä vaiheena on vaikutusluokkien määrittäminen. Vaikutusluokalla tarkoitetaan vaikutuskokonaisuutta, jossa on yhtenäiset syy – seuraus suhteet. Vaikutusluokkien määrittelyssä päätetään kunkin vaikutusluokan indikaattorista, vaikutusindikaattorista, jonka suhteen arviointi tehdään. Kuvio 6 havainnollistaa vaikutusindikaattoreiden käsitettä ympäristömekanismien perusteella. Inventaarioanalyysin tulokset muodostavat vaikutusarvioinnin syötteet. Esimerkin tulosten yksikkö on kg toiminnallista yksikköä kohti. Esimerkkinä on käytetty vaikutusluokkaa ”happamoituminen”. Happamoitumista aiheuttavia päästöjä ovat mm. typen ( $\text{NO}_x$ ) ja rikin ( $\text{SO}_2$ ) oksidit. Kullakin vaikutusluokalla on oma ympäristömekanisminsa. Happamoitumisessa on käytetty vaikutusindikaattorina protonin vapautumispotentialimäärää maaympäristössä. Vaikutusluokan loppu-

pisteenä ovat metsät, kasvillisuus, koralliriutat, sato jne. (SFS-EN ISO 14044 2006, 42 - 44.)



KUVIO 6. Vaikutusluokkaindikaattoreiden käsite (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14044 2006, 44)

Vaikutusluokkien määrittämisen jälkeen vaikutusarviointi jatkuu luokittelulla. Luokittelussa inventaarioanalyysin erilaiset kuormitustekijät ryhmitellään syysu-raussuhteen mukaisiin vaikutusluokkiin. Taulukossa 1 on havainnollistettu vaikutusluokat ja niiden päästömuuttujia. Esimerkiksi hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O) luokitellaan ilmastonmuutosta aiheuttaviksi tekijöiksi. Typen oksidit (NO<sub>x</sub>), ammoniakki (NH<sub>3</sub>) ja rikin oksidit (SO<sub>2</sub>) luokitellaan happamoitumista aiheuttaviksi tekijöiksi. Typpi (N) ja fosfori (P) luokitellaan rehevöitymistä aiheuttaviksi tekijöiksi.



TAULUKKO 1. Vaikutusluokkataulukko

Vaikutusluokka	Päästömuuttuja
Ilmastonmuutos	CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O
Alailmakehän otsonin muodostuminen	CH <sub>4</sub> CO NMVOC
Happamoituminen	SO <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> NO <sub>x</sub>
Rehevöityminen Päästöt ilmaan  Päästöt veteen	NH <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> NO <sub>x</sub> N P NO <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub>

Luokittelun jälkeen tehdään karakterisointi eli luonnehdinta, jossa lasketaan kunkin vaikutusluokan indikaattoritulokset. Karakterisointikertoimet muodostavat vaikutusarvioinnin perustan. Karakterisoinnissa kussakin vaikutusluokassa olevat päästömuuttujien arvot yhteismitallistetaan toisiinsa nähden. Tämä tapahtuu erilaisten karakterisointikertoimien avulla. Taulukossa 2 on havainnollistettu päästöjen vaikuttavuutta ekvivalentteja kohden. Esimerkin ilmastonmuutosta aiheuttavan hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) karakterisointikerroin on 1, jolloin metaanin (CH<sub>4</sub>) karakterisointikerroin on 23. Happamoitumista aiheuttavan ammoniakkin (NH<sub>3</sub>) karakterisointikerroin on 0,85 ja rikin oksidin (SO<sub>2</sub>) 0,52 jne.

TAULUKKO 2. Karakterisointi

Vaikutusluokka	Päästömuuttuja	Karakterisointikerroin
Ilmastonmuutos (CO <sub>2</sub> -ekvivalentteina)	CO <sub>2</sub>	1
	CH <sub>4</sub>	23
	N <sub>2</sub> O	296
Alailmakehän otsonin muodostuminen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekvivalentteina)	CH <sub>4</sub>	0.007
	CO	0.03
	NMVOC	0.6
Happamoituminen (SO <sub>2</sub> -ekvivalentteina)	SO <sub>2</sub>	0.52
	NH <sub>3</sub>	0.85
	NH <sub>4</sub>	0.8
	NO <sub>x</sub>	0.2
Rehevöityminen Päästöt ilmaan (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -ekvivalentteina)  Päästöt veteen (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -ekvivalentteina)	NH <sub>3</sub>	0.024
	NH <sub>4</sub>	0.023
	NO <sub>x</sub>	0.008
	N	0.434
	P	3.04
	NO <sub>3</sub>	0.096
	NH <sub>3</sub>	0.35
	NH <sub>4</sub>	0.33
	PO <sub>4</sub>	1

Vaikutusindikaattoritulos saadaan kertomalla kunkin vaikutusluokan kuormitustekijän määräärvio, esimerkiksi lämmönsiirtimessä käytettävän alumiinin määrä, kuormitustekijää vastaavalla karakterisointikertoimella ja summaamalla tulot yhteen (Seppälä 2004, 8). Kuormitustekijää vastaava karakterisointikertoimet saadaan esimerkiksi ulkopuolisesta tietokannasta. Matemaattinen kaava tapahtumalle on seuraavanlainen:

$$I_i = \sum_j C_{i,j} * E_j \quad (1)$$

Missä  $I_i$  = vaikutusluokan  $i$  indikaattoritulos

$C_{i,j}$  = kuormitustekijä  $j$  karakterisointikerroin vaikutusluokassa  $i$

$E_j$  = kuormitustekijän  $j$  määräärvio

Karakterisoinnin on ISO:n 14042-standardin (ISO 1998) mukaan perustuttava tieteelliseen tietoon. Mahdollisimman hyvin tieteellisesti perusteltujen karakte-

risointikertoimien käyttö antaa uskottavuutta inventaariotietojen tulkintaan ja tarjoaa elinkaariarvioiteja koskevalle päätöksenteolle oikean lähtökohdan. Edellä olevalla kaavalla voidaan laskea ns. paikkariippumattomien ("site-generic") vaikutusindikaattorituloksia. Alueellisten ja paikallisten vaikutusluokkien laskentaan tulisi käyttää yhtälöä (2) (Seppälä, 2004, 8):

$$I_i = \sum_j \sum_a C_{ij}(a) * E_j(a) \quad (2)$$

Missä  $C_{ij}(a)$  = paikkariippuva karakterisointikerroin eli alueen  $a$  kuormitustekijän  $j$  karakterisointikerroin vaikutusluokassa  $i$

$E_j(a)$  = alueen  $a$  kuormitustekijän  $j$  määräarvio

Paikkariippuvien karakterisointikertoimien määrittely tapahtuu käytännössä matemaattisten mallien tulosten perusteella. Esimerkiksi ilman laadun ja ilmakehän kulkeutumismallit antavat perustan eri alueilta tapahtuvien päästöjen ns. karakterisointikertoimien määrittelylle kaukokulkeutuvien päästöjen yhteydessä. Lähtökohtana on siis, että mallin tulos kuvaa vaikutusindikaattoritulosta. Tavallisesti mallissa nykytilannetta vastaavaa päästö määrää vähennetään tai lisätään pieni määrä jollakin alueella muiden alueiden päästöjen pysyessä alkuperäisellä tasolla. Uuden malliajon tulosta verrataan nykytilannetta kuvaavaan tilanteeseen, jolloin saadaan selville päästömuutoksen aiheuttama vaikutusindikaattorituloksen muutosmäärä. Kuormitustekijän karakterisointikerroin ko. alueelle saadaan jakamalla havaittu vaikutusindikaattorituloksen muutosmäärä sitä vastaavalla päästömuutoksella. Eri alueiden karakterisointikertoimet saadaan muuttamalla vuoronperää laskettavan alueen päästöjä muiden alueiden päästöjen pysyessä alkuperäisellä tasolla. (Seppälä 2004, 9.)

Paikkariippuvien karakterisointikertoimien käyttö edellyttää tietoa siitä, mistä alueista kunkin kuormitustekijän määräarvio muodostuu. Vaikutusarvioinnin perustaksi eivät siis tällöin sovellu toiminnallista yksikköä kohti lasketut yhteenlasketut määrätiedot, mikä on ollut perinteinen käytäntö elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnissa eli yhtälön (1) yhteydessä. Mahdollisimman luotettava vaikutusarviointi edellyttää aluekohtaisia päästöarvioita ja karakterisointikertoimia, joista voidaan

laskea tarkasteltavan tuotejärjestelmän vaikutusindikaattoritulokset yhtälön (2) mukaisesti. (Seppälä 2004, 9.)

Työn tavoitteiden kannalta voidaan joutua pohtimaan onko vaikutusluokan A indikaattoritulos parempi kuin vaikutusluokan B indikaattoritulos. Tähän saadaan selvyyttä **normalisoinnilla**. Normalisointivaiheessa luonnehdintavaiheen tulos suhteutetaan jakamalla vaikutusluokkien arvot vertailuarvolla, esim. jonkin maantieteellisen alueen vastaavilla luvuilla (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14044 2006). Tällainen referenssialue voi olla esimerkiksi koko Eurooppa tai Suomi. Eri vaikutusluokkien tulokset voidaan tehdä toisiinsa nähden vertailukelpoisiksi **painottamisen** avulla eli kertomalla normalisoidut vaikutusluokkaindikaattoritulokset vaikutusluokkia vastaavilla painokertoimilla. Tulokset voidaan painottaa, jos esimerkiksi ilmastonmuutoksen normalisoitu tulos on kymmenen kertaa suurempi kuin happamoitumisen. Johtopäätöksenä voidaan esittää, että tarkasteltavan tuotteen ilmastonmuutosta aiheuttavat päästöt ovat happamoitavia päästöjä tärkeämpiä. Jos näin ei olisi, päätöksentekijän tulisi pitää referenssialueen happamoittavien päästöjen rajoittamista kymmenen kertaa niin tärkeänä kuin ilmastonmuutosta aiheuttavien päästöjen. Tulosten subjektiivisuuden takia painottamista ei kuitenkaan suositella elinkaariarvioinnissa. (Seppälä 2004, 9.)

### 3.2.5 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkinta on elinkaariarvioinnin vaihe, jossa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia tarkastellaan yhdessä. Mikäli kysymyksessä on elinkaari-inventaarioselvitys, tarkastellaan ainoastaan inventaarion tulokset. Tulkintavaiheen tulisi tuottaa tuloksia, jotka ovat määritellyn tavoitteen ja soveltamisalan mukaisia ja joiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä, selvittää rajoituksia ja esittää suosituksia. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006, 38.)

Standardit vaativat, että elinkaariarvioinnin tulokset raportoidaan kohderyhmälle tarkasti kokonaisuudessaan. Tarkastelun mahdollinen supistaminen esim. elinkaaren vaiheita pois jättämällä on tuotava julki raportissa. Vertailuselvityksiltä stan-

dardi vaatii sidosryhmien muodostaman paneelin tekemää kriittistä arviointia. (Loikkanen ym. 1999, 25.)

### 3.3 Kriittinen arviointi

Kriittinen arviointi on prosessi, jossa todennetaan, että elinkaariarviointi on täyttänyt metodologiaan, tietoihin, tulkintaan ja raportointiin liittyvät vaatimukset ja on johdonmukainen periaatteiden kanssa. Kriittisessä arvioinnissa tulisi varmistaa, että luokitus-, karakterisointi-, normalisointi-, ryhmittely- ja painotusosat ovat riittäviä ja että ne on dokumentoitu tavalla, joka mahdollistaa elinkaariarvioinnin tulosten tulkintavaiheen suorittamisen. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006, 40.)

Selvityksen alkuperäisen tilaajan tulisi valita ulkoinen, riippumaton asiantuntija toimimaan puheenjohtajana vähintään kolmihenkisessä katselmuspaneelissa. Puheenjohtajan tulisi valita paneeliin muut riippumattomat, pätevät jäsenet katselmuksen tavoitteiden, soveltamisalan ja käytettävissä olevan budjetin mukaisesti. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040 2006, 42.)

## 4 ECOIVENT-KESKUS

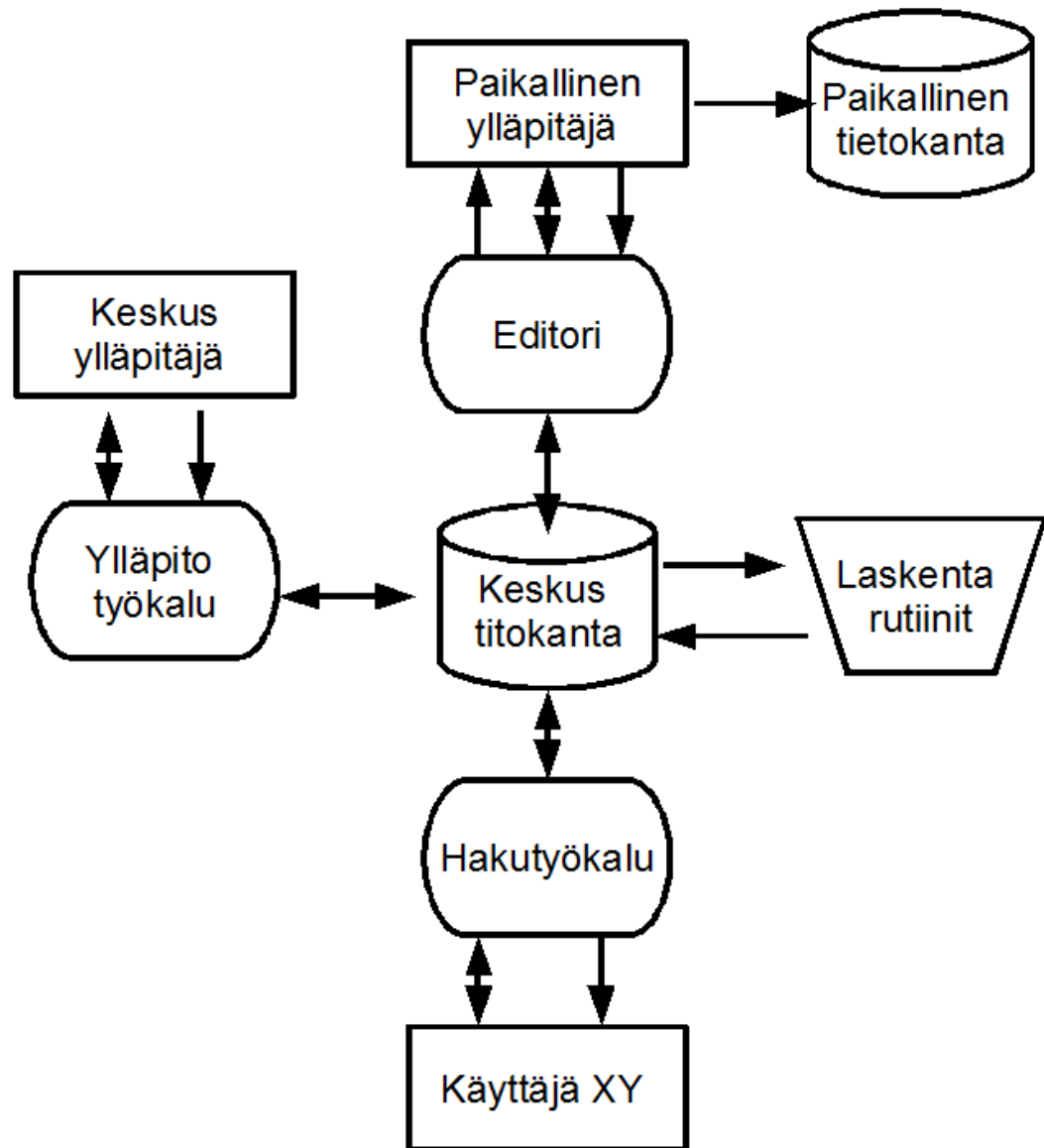
### 4.1 Ecoinvent tietokanta

The Ecoinvent Centre (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Ecoinvent keskus) tarjoaa tieteellisiä, teollisuuspohjaisia ja kansainvälisiä elinkaariarviointi- ja elinkaarihallintapalveluita ja tietokantoja. Ecoinvent Centre koostuu seuraavista laitoksista ja osastoista: Swiss Federal Institutes of Technology Zürich (ETH Zurich), Lausanne (EPFL), Paul Scherrer Institute (PSI), Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (Empa) ja Swiss Federal Research Station Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART). Ecoinvent keskus on Sveitsin valtion tuke- ma laitos. (Swiss Centre for Life Cycle Inventories 2007.)

Vuona 1992 ETH Zurich ja PSI julkaisivat ensimmäisen LCI (inventaarioanalyysi) tietokannan, johon kuului energiantuotannon, kuljetusten, jätteiden käsittelyn ja materiaalien tuotannon ympäristövaikutukset. Vuona 2003 julkaistiin Ecoinvent versio 1.0. Tietokannasta julkaistiin päivitettyjä versioita vuoden välein. Ecoinvent data versio 2.0 julkaistiin vuonna 2007. Se sisältää kansainvälisen teollisen elinkaari-inventaarioanalyysin energiantuotannon, materiaalituotannon, kemikaalien, metallien, maatalouden, jätteiden käsittelyn ja kuljetuksen osalta. Tietokanta on käytössä yli 2000 jäsenellä yli 40 maassa. Se on käytössä useissa elinkaari-laskentaohjelmissa. (Swiss Centre for Life Cycle Inventories 2007.)

Ecoinvent järjestelmä mahdollistaa keskitetyn hallinnan, laskennan ja pääsyn inventaariotietoihin. Kuviossa 7 on esitetty keskustietokannan toimintaperiaate. Tietokanta sisältää inventaarioanalyysitietoja koskien energiaa, kuljetuksia, jätteiden käsittelyä, kemikaaleja, rakennusmateriaaleja ym. sekä vaikutusarviointitietoja kuten Eco-indicator 99 tiedostot. Järjestelmässä on myös laskentaruutiinit (ECOCALC) inventaarioanalyysi- ja vaikutusarviointitulosten laskemiseen. Laskenta on toteutettu Monte-Carlo-simuloinnilla. Paikallinen ylläpitäjä käyttää editoria luodessaan, muuttaessaan ja tuhotessaan keskustietokannasta saatavia tiedostoja. Paikallista tietokantaa käyttävät kaupalliset ohjelmat kuten SimaPro, Umberto Emis tai Regis. Hakutyökalua voidaan käyttää myös verkkopalveluna Ecoinven-

tin internet sivuilla. Sen avulla voidaan selata yksittäisiä prosesseja tietyltä sektorilta. Yleistieto yksikköprosesseista ns. metatieto on nähtävillä julkisesti kaikille, mutta inventaarioanalyysi- ja vaikutusarviointitiedot ovat käytössä vain rekisteröityneille asiakkaille. (Swiss Centre for Life Cycle Inventories 2007.)

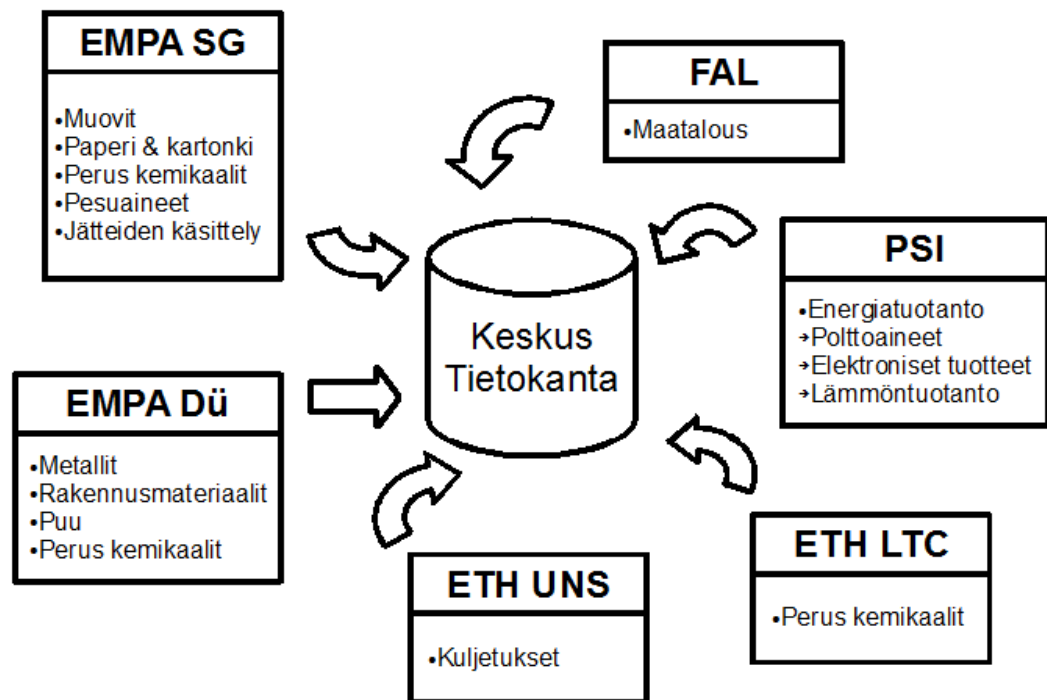


KUVIO 7. ECOINVENT 2000 toimintaperiaate

Keskustietokanta koostuu seuraavista osista:

- keskustietokanta
- laskentarutiinit (EcoCalc)
- editori (EcoEditor)
- lisäosa MS-EXCELiin (EcoSpold Access),
- ylläpitäjän työkalu (EcoAdmin)
- hakutyökalu (EcoQuary)
- tiedostomuoto (EcoSpold)

Tietokantaa päivitetään jatkuvasti ja se uusitaan noin kolmen vuoden välein. Inventaariotiedot koostuvat useasta eri lähteestä, jotka ilmenevät kuviossa 8. Esimerkiksi materiaaleja kuten muovit, paperi, kartonki, kemikaalit, pesuaineet, metallit, rakennusmateriaali ja puuta koskevat tiedot kerää EMPA (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research). Maataloutta koskevat tiedot kerää FAL (Swiss Federal Research Station for Agroecology and Agriculture). Energiantuotantoa ja polttoaineita koskevat tiedot kerää PSI (Paul Scherrer Institute).



KUVIO 8. Ecoinvent keskustietokannan lähteet ja sisältö



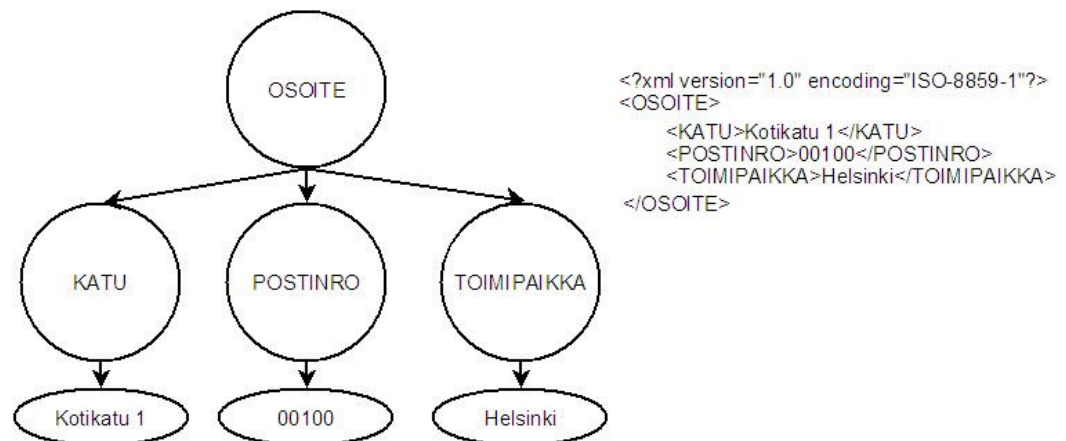
Ecoinvent tietokannalla on monenlaisia käyttötarkoituksia. Sitä voidaan hyödyntää laadittaessa yrityksen ympäristöpolitiikkaa, laadittaessa ympäristötuoteselosteita, selvittäessä yrityksen suurimpia ympäristöä kuormittavia toimia inventaario-analyyseillä tai tietokannaksi yrityksen tuotteiden elinkaarihallintajärjestelmään. (Swiss Centre for Life Cycle Inventories 2007.)

EcoSpoldAccess on Excelin osa, jolla voidaan viedä EcoSpold muodossa olevat tietokannan tiedostot Exceliin. EcoSpold on XML (*eXtensible Markup Language*) muodossa oleva tiedosto. EcoSpoldAccess työkalulla voidaan näyttää EcoSpold-tiedosto HTML-muodossa sekä konvertoida Excel tiedosto EcoSpold tiedostoksi ja toisinpäin.

## 4.2 XML

XML (*eXtensible Markup Language*) on tarkoitettu rakenteisen tiedon esittämiseen. Sen avulla tietokoneiden on helppo tuottaa ja lukea tietoa täsmällisessä muodossa. XML on laajennettavissa, järjestelmäriippumaton ja se tukee kansainvälistämistä ja lokalisointia (Nykänen 2003). W3C:n alkuperäisenä ajatuksena oli kehittää XML:stä merkkäuskieli suurten elektronisten dokumenttien julkaisuun (W3C 2008a), mutta vuosien saatossa XML on otettu käyttöön myös datapohjaisen tiedon kuvauksessa. Chaudri, Akmal, Rashid, Awais & Zicari (2003, xxi) jakavat XML-dokumentit kolmeen tyyppiin: dokumenttikeskeisiin, datakeskeisiin ja hybrididokumentteihin. Dokumenttikeskeisissä XML-dokumenteissa tieto koostuu ei-rakenteisesta tiedosta kuten artikkeleista, sähköposteista tai kirjoista. Datakeskeisissä dokumenteissa tieto on rakenteista ja se voi koostua esimerkiksi katalogeista, tilauksista tai laskuista. Hybrididokumentit koostuvat sekä dokumentti että datakeskeisestä tiedosta (Chaudri ym. 2003, xxi). Kun XML-dokumentteja tallennetaan tietokantoihin, XML-dokumenttien tyypeillä on suuri merkitys valittaessa tietokantaratkaisua. (Laamanen 2005, 13.)

XML-dokumentin sisällä vallitsevan hierarkian johdosta XML-dokumentti voidaan käsittää puurakenteena, joka koostuu solmuista ja lehdistä. Kuviossa 9 on esitetty esimerkkidokumentti sekä sen puurakenne. Kuvion 9 puurakenteessa osoite-solmu on myös dokumentin ns. dokumentti- tai juurisolmu. Tavallisia solmuja edustavat solmut katu, postinro ja toimipaikka, joita seuraavat lehtisolmut. Varsinainen tieto on esitetty lehtisolmuissa.



Kuvio 9. XML-dokumentin puurakenne

Kun tietoa tallennetaan XML-muotoon, on lopputuloksena dokumentti. Tunnistetietojen tarkoituksena on kertoa, että kyseinen dokumentti on XML:ää ja mitä merkistöä se käyttää. Tunnistetietoihin voidaan liittää myös muuta informaatiota dokumentista.

W3C on julkaissut standardit XML-dokumenttien määrittelyä varten. XML dokumenttien määrittely tehdään laatimalla skeema. Skeema on määritelmä tai kaava, jonka XML-dokumentin tulee täyttää, jotta sitä voidaan pitää kelvollisena. Skeemoja ei yleensä sisällytetä XML-dokumentteihin, vaan itse dokumentti ja skeema ovat kaksi erillistä objektia. Skeemaa käyttämällä XML-dokumentin rakenne, sisältö ja semantiikka voidaan määritellä kaikille yhteisiksi, jolloin dokumentin sisältämä tieto voidaan ymmärtää kaikkialla oikein (W3C 2008b). Tällä hetkellä on olemassa kaksi skeemastandardia: DTD- ja XML-Schema. Skeemojen käyttö on vapaaehtoista. XML-dokumentteja voidaan laatia ilman skeemoja, mutta niiden käyttäminen on suositeltavaa. (Laamanen 2005, 11 - 13.)

Brandin esittää kirjoituksessaan kolme ominaisuutta, jotka tekevät XML:stä erittäin ilmaisuvoimaisen kielen (Brandin 2003, 4):

- Heterogeenisyys. Reaalimaailman tietoa ei voida organisoida ennalta määriteltujen, kiinteiden sääntöjen mukaan. XML:n avulla tietoa voidaan määritellä ilman rajoituksia.
- Laajennettavuus. Uudentyyppistä tietoa voidaan määritellä ja lisätä tarvittaessa.
- Joustavuus. Uudelle ja olemassa olevalle tiedolle ei ole ennalta määriteltä kiinteää kokoa ja ominaisuuksia, vaan ne voidaan määritellä aina tapauskohtaisesti.

## 5 TIETOKANTASOVELLUKSET

### 5.1 Relaatiomalli

E.F Codd esitteli relaatiomallin tiedon hallintaan vuonna 1970 julkaisussa ”A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks”. Codd pyrki luomaan mallin tietojen hallintaan, joka olisi riippumaton tiedon sisäisestä esitysmuodosta tiedonhallintajärjestelmissä ja säilyttäisi tiedon eheyden. Relaatiomallin taustalla on vankka matematiikan joukko-oppiin pohjautuva teoria, mutta mallin ymmärtäminen ei vaadi matemaattista taustaa. Relaatiomalli on nykyisin yleisin tietokannoissa käytetty tietomalli. (Codd 1970, 377 - 387.)

Relaatiomallissa tietokanta esitetään joukkona relaatioita. Käytännössä relaatio vastaa kaksiulotteista taulua, johon data jäsennetään. Relaatiomallin yhteydessä käytettävässä terminologiassa taulun rivejä kutsutaan monikoiksi (tupla), sarakkeita attribuuteiksi ja taulua relaatioksi (Hovi, Huotari & Lahdenmäki 2003). Selkeyden vuoksi jatkossa käytetään nimityksiä sarake, rivi ja taulu.

Relaatiomallissa taulun sarakkeet vastaavat yksittäisiä datakappaleita kuten esimerkiksi numeroita, merkkijonoja ja päivämääriä. Taulun rivit edustavat yhtä dataentiteettiä. Entiteetillä tarkoitetaan relaatiomallin yhteydessä tietokantaan tallennettua asiaa. Esimerkiksi tilaus tai henkilö voi olla entiteetti. Jokaisessa taulussa on yksi tai useampi sarake, jotka yksilöivät yksiselitteisesti taulun rivit. Näitä sarakkeita kutsutaan perusavaimiksi. Taulun eheys vaatii, että kahdella tai useammalla rivillä ei ole samaa perusavainta ja että perusavaimen arvo ei ole tyhjä (null). (Elmasri, Shamkant & Navathe 1994.)

Relaatiomallissa riippuvuuksia ja yhteyksiä kuvataan taulujen välisillä yhteyksillä, jotka muodostetaan viiteavainten avulla. Viiteavainyhteydessä taulun sarake viittaa toisen taulun perusavaimen. Taulujen väliset yhteydet voidaan jakaa yhden suhde yhteen (1:1), yhden suhde moneen (1:n) ja monen suhde moneen (n:n)-yhteyksiin riippuen siitä, kuinka moneen toisen taulun riviin taulun rivit viittaavat. 1:n-yhteys voidaan muuttaa 1:1-yhteydeksi laittamalla viiteavainsarakkeeseen

yksilöivä indeksi. Monen suhde moneen -yhteys ei ole suoraan mahdollinen relaatiomallin eheyden säilyttämiseksi, joten n:n yhteydet puretaan luomalla linkkitaulu kahden tai useamman taulun välille. Relaatiomalli mahdollistaa viiteavainheyden määrittelyn taulujen välille. Viiteavainheys määritellään siten, että taulun A rivin, joka viittaa taulun B riviin, täytyy viitata taulun B olemassa olevaan riviin. (Elmasri ym. 1994.)

Kuviossa 10 on esitetty yksinkertainen esimerkki relaatiotauluista ja taulujen välisistä yhteyksistä. Taulujen perusavaimia ovat opiskelijanro ja kurssinro. Osallistuja-tilaus taulun rivien yksilöintiin tarvitaan kaksi perusavainta, jotka ovat kurssinro ja opiskelijanro. Opiskelijoiden ja kurssien välillä on n:n yhteys. Osallistujat-tilaus on linkkitaulu, jonka avulla on purettu n:n yhteys opiskelijoiden ja kurssien välillä. Kuvioista näemme, että äidinkielen kurssille (kurssinro 2) osallistuvat Matti (opiskelijanro 1) ja Ville (opiskelijanro 2).

<i>Opiskelijat</i>	
opiskelijanro	Nimi
1	Matti
2	Ville
3	Liisa

<i>Kurssit</i>	
kurssinro	Nimi
1	matematiikka
2	äidinkieli
3	fysiikka

<i>Osallistujat</i>	
opiskelijanro	kurssinro
1	2
2	2
3	1

KUVIO 10. Yksinkertainen esimerkki relaatiotauluista ja niiden välisistä yhteyksistä

Relaatiotaulujen suunnittelu on tehtävä huolellisesti monimutkaisia tietokantoja luotaessa. Suunnitteluun kuuluu mm. tauluihin liittyvien sarakkeiden valinta, taulujen ja sarakkeiden nimeäminen, sarakkeiden tietotyyppien ja arvoalueiden määrittely sekä perus- ja viiteavainten määrittely. Relaatiomallin suunnitteluun on kehitetty useita menetelmiä. Taulut luodaan käyttäen tiedonhallintajärjestelmän tukemaa määrittelykieltä (Data Definition Language, DDL). (Elmasri ym. 1994.)

Relaatioalgebraa käytetään tietojen hakemiseen ja uusien taulujen muodostamiseen olemassa olevista tauluista. Relaatioalgebran operaatiot voidaan jakaa kahteen joukkoon. Ensimmäisen joukon muodostavat puhtaasti matemaattisesti operaatiot kuten yhdiste (union), leikkaus (intersection) ja erotus (difference). Toinen joukko taas koostuu puhtaasti relaatiotietokannoille muodostetuista operaatioista, kuten valinta (select), projektio (project) ja liitos (join). Taulukossa 3 on esitetty lyhyesti kuusi yleisintä relaatioalgebran operaatiota ja joukko-opin vastineet operaatioille. (Elmasri ym. 1994.)

TAULUKKO 3. Relaatioalgebran operaatioita

<i>Operaatio</i>	<i>Tarkoitus</i>	<i>Vastine</i>
valinta	Valitsee osajoukon taulun riveistä, jotka sopivat valintaehtoon	ei ole
projektio	Valitsee määritellyt sarakkeet taulusta.	ei ole
liitos	Yhdistää toisiinsa liittyvät rivit kahdesta taulusta yksittäiseksi riviksi.	ei ole
yhdiste	Muodostaa taulun, joka sisältää rivit, jotka ovat joko tauluissa R tai S tai molemmissa.	$R \cup S$
leikkaus	Muodostaa taulun, joka sisältää rivit, jotka ovat sekä taulussa R että S.	$R \cap S$
erotus	Muodostaa taulun, joka sisältää rivit, jotka ovat taulussa R, mutta eivät taulussa S.	$R - S$

Hyvin harvat relaatiotietokantojen hallintaan suunnitellut kielet pohjautuvat suoraan relaatioalgebraan. Relaatioalgebran suurin rajoite on, että operaatiot on suoritettava tietyssä järjestyksessä. Korkeamman tason tietokantakielissä kyselyssä määritellään kyselyn haluttu lopputulos. Kyselyn lopullinen toteutus ja optimointi jää tällöin tiedonhallintajärjestelmän tehtäväksi.

SQL (Structured Query Language) on yleisin relaatiotietokannoille suunnitelluista kielistä. SQL on IBM:n kehittämä kieli, joka on myöhemmin tullut standardin asemaan. SQL määrittelee tietokantaoperaatiot tiedon määrittelyyn, kyselyihin ja päivittämiseen.

Yleisimpiä SQL-komentoja ovat tiedon haku (SELECT FROM), taulujen luonti (CREATE TABLE), taulujen poistaminen (DROP TABLE), tiedon lisäys (INSERT INTO), tiedon päivity (UPDATE) ja tiedon poisto (DELETE FROM). Näiden komentojen lisäksi tiedonhallintajärjestelmissä on SQL-komentoja esimerkiksi käyttäjätunnuksien ja taulujen oikeuksien hallintaan.

## 5.2 Relatiotietokantojen tiedonhallintajärjestelmät

Tiedonhallintajärjestelmä tai tietokannan hallintajärjestelmä (Database Management System, DBMS) on ohjelmisto, joka mahdollistaa sen, että käyttäjät voivat määrittellä, luoda ja ylläpitää tietokantoja ja se tarjoaa kontrolloidun pääsyn tietokantoihin. Kontrolloitu pääsy tietokantaan vaatii tiedonhallintajärjestelmältä mm. seuraavien piirteiden toteutusta:

- Käyttäjienhallinta, joka sallii vain määritettyjen käyttäjien pääsyn tietokantaan.
- Tiedon eheyden hallinta.
- Yhtäaikaisuuden hallinta, joka sallii jaetun pääsyn tallennettuun tietoon.
- Tiedon palauttamisen mahdollisuus laitteisto- tai ohjelmistovian jälkeen.
- Käyttäjille tietokannan sisältöä kuvaavan luettelon ylläpitoa.
- Transaktioiden hallinta.

Lisäksi tiedonhallintajärjestelmät tarjoavat yleensä erilaisia näkymiä käyttäjille tietokannan dataan sekä työkaluja tietokannan ylläpitoon ja tarkkailuun. (Connolly, Begg & Strachan 1998.)

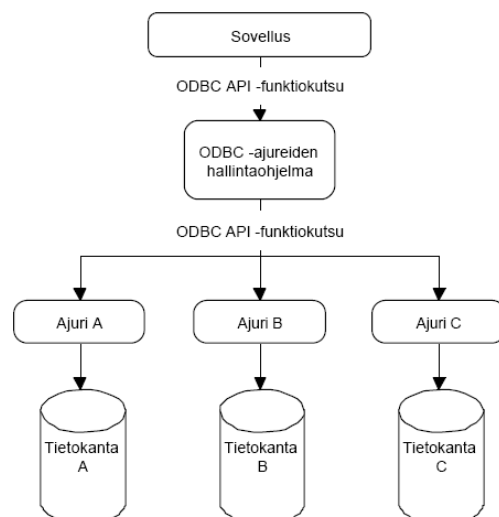
Suosittuja relaatiotietokantojen tiedonhallintajärjestelmiä ovat mm. Oracle, IBM:n DB2 ja Microsoftin SQL Server. Viime vuosina suosiotaan ovat myös kasvatta-

neet myös MySQL:n ja PostgreSQL:n kaltaiset avoimeen lähdekoodiin pohjautuvat tietokantaohjelmistot.

MySQL tietokantaohjelma tarjoaa nopean ja vakaan tietokantapalvelimen, joka tukee monisäikeisyyttä ja usean käyttäjän yhtä aikaista käyttöä. MySQL on rekisteröity tavaramerkki, jonka omisti MySQL AB. Sun Microsystems osti yhtiön tammikuussa 2008. MySQL ohjelman lisenssi on kaksijakoinen. Käyttäjä voi käyttää ns. Open Source lisenssiä noudattaen GNU (General Public License) sääntöjä tai käyttäjä voi lunastaa kaupallisen lisenssin Sun Microsystemiltä. (MySQL 2008.)

### 5.3 ODBC -Standardi

ODBC (Open Database Connectivity) on standardoitu joukko API (Application Programming Interface) funktiomäärittelyjä, joita voidaan käyttää tietokantojen käsittelyyn. ODBC -ajurit tukevat ODBC API:n määrittelemiä funktioita. Kuviossa 11 havainnollistetaan ODBC:n toimintaa. Sovelluksen suorittaessa ODBC API -funktio kutsun, reitittää hallintaohjelma kutsun oikealle ajurille. (Ahola 1999, 2.)



KUVIO 11. ODBC:n toiminnan havainnollistaminen



ODBC -ajurit jaetaan kolmeen luokkaan sen perustella, minkä tyyppiseen tietokantaan ne kytkeytyvät. Ajureiden luokat ovat:

- Yksikerroksinen
- Kaksikerroksinen
- Kolmikerroksinen

Yksikerroksinen ajuri pystyy kytkeytymään tietokantaan, joka sijaitsee tiedostossa. Näille ajureille on ominaista, että ne itse suorittavat SQL -lauseiden käsittelyn, koska ne kytkeytyvät suoraan tietokantaan, eivätkä tietokantapalvelimeen, joka muutoin suorittaisi SQL -lauseiden ja tietokannan käsittelyn. Tällaisesta esimerkkinä ovat Microsoft Access:n tietokanta-ajurit. (Ahola 1999, 4-5.)

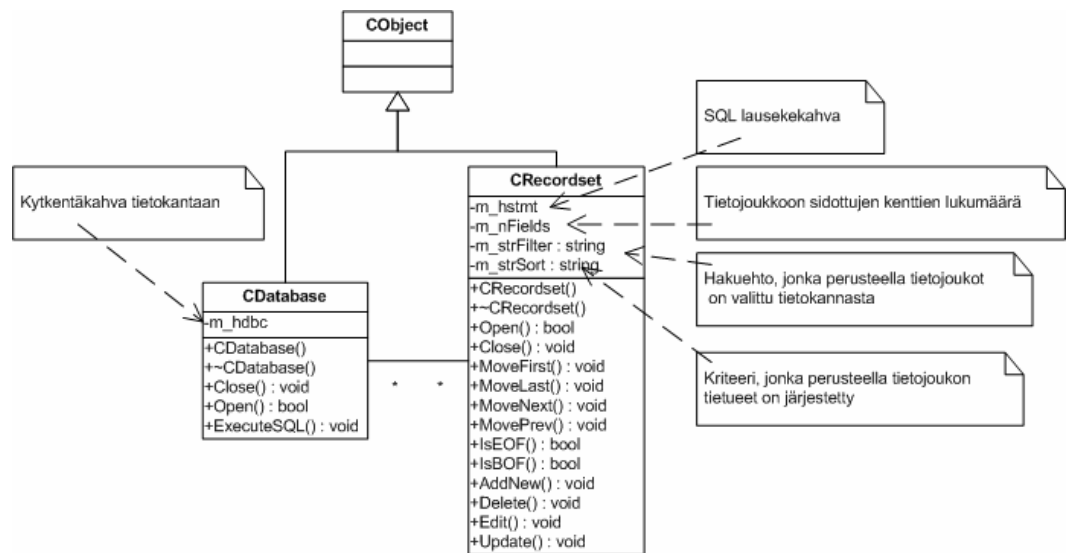
Kaksikerrosajuri kytkeytyy tietokannan sijasta tietokantapalvelimeen. Se reitittää SQL -lauseet tietokantapalvelimelle ja tekee tarvittavia muutoksia lauseisiin, mikäli palvelimen tukema SQL-käskykanta eroaa ODBC:n määrittelemästä. Ajuri ei itse käsittele tietokantaa, vaan tietokantapalvelin suorittaa käsittelyn. Ajuri välittää palvelimen palauttamien tietojen sovellukselle tehden tarvittavat tyyppimuunnokset. Oracle ja SQL Server ODBC -ajurit ovat tätä tyyppiä. (Ahola 1999, 4-5.)

Kolmikerrosajuri on ODBC- sovelluksen kannalta samantyyppinen, kuin kaksikerrosajuri. Merkittävin ero kaksikerrosajuriin on siinä, että kolmikerrosajuri kytkeytyy ODBC -palvelimeen, joka huolehtii oikean ODBC- ajurin lataamisesta ja SQL -lauseiden reitittämisestä oikealle tietokantapalvelimelle. Tässäkin tapauksessa tietokantapalvelin suorittaa SQL -lauseiden käsittelyn. (Ahola 1999, 4-5.)

#### 5.4 MFC-luokkakirjasto

Visual C++:n MFC -luokkakirjastossa (Microsoft Foundation Class) on kaksi valmiita luokkaa ODBC -tietokantasovellusten ohjelmointia varten. Luokat ovat CDatabase ja CRecordset. Näistä CDatabase on tietokantaan kytkeytymistä varten ja CRecordset tietuejoukkojen muodostamista varten. Kuviossa 12 on näiden

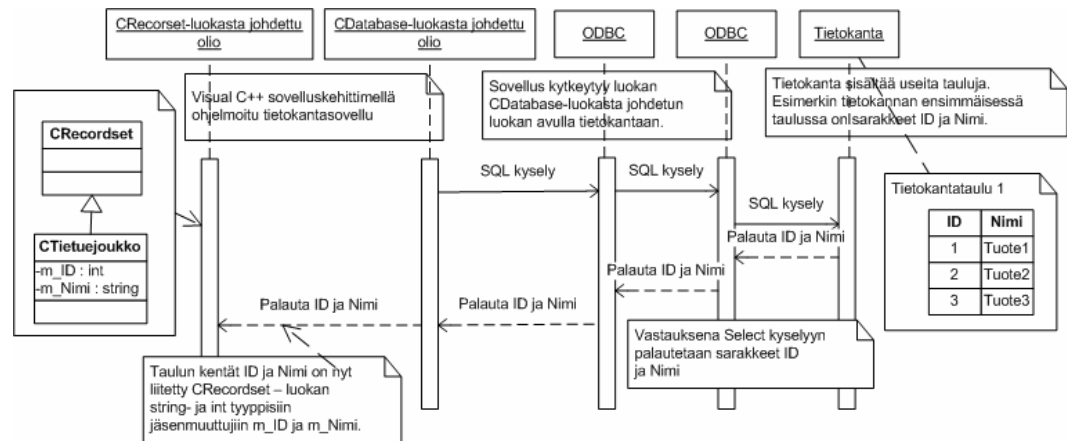
ODBC -tietokantaluokkien tärkeimpiä jäsenmuuttujia ja -funktioita. Luokat periytyvät CObject -luokasta. CDatabase -luokan keskeisiä funktioita ovat Open ja Close, joilla avataan ja suljetaan tietokantayhteys sekä ExecuteSQL, jolla suoritetaan SQL kyselyjä tietokantaan. Jäsenmuuttuja m\_hdbc toimii kytkentäkahvana tietokantaan.



KUVIO 12. CRecordset- ja CDatabase -luokkien tärkeimmät jäsenmuuttujat ja -funktioit

CRecordset -luokan keskeisiä jäsenmuuttujia ovat m\_hstmt, joka toimii SQL lausekekahvana. Jäsenmuuttujaan m\_nFields tallennetaan tietojoukkoon sidottujen kenttien määrä. Jäsenmuuttujaan m\_strFilter tallennetaan hakuehto, jonka perusteella tietojoukot on valittu. Jäsenmuuttujaan m\_strSort tallennetaan kriteeri, jonka perusteella tietojoukon tietueet on järjestetty. CRecordset -luokan keskeisiä funktioita ovat AddNew, jolla lisätään uusi tietue tietuejoukkoon. Delete metodilla tuhotaan tietue ja Update metodilla päivitetään tietuejoukkoon tehdyt muutokset tietokantaan. MoveFirst, MoveLast, MoveNext ja MovePrev metodeilla selataan tietuejoukkoa. IsEOF metodilla voidaan tarkistaa onko tietuejoukon viimeinen tietue ohitettu. IsBOF metodin avulla voidaan selvittää onko tietokantataulu tyhjä.

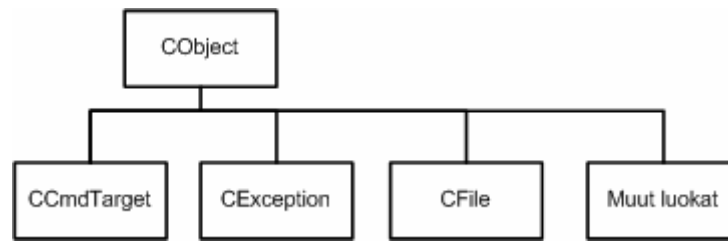
Yleisesti ottaen CRecordset ja CDatabase luokkia käytetään siten, että CDatabase -luokalla kytkeydytään johonkin tiettyyn tietokantaan ja tämän jälkeen CRecordset -luokasta johdetulla luokalla sidotaan tietokantakyselyn perusteella valitut kentät johdetun CRecordset -luokan muuttujiin. Kuviossa 13 havainnollistetaan esimerkin muodossa näiden tietokantaluokkien yleistä käyttötapa.



KUVIO 13. CDatabase- ja CRecordset -luokkien yleinen käyttötapa

Sovellus kytkeytyy CDatabase -luokasta johdetun luokan avulla tietokantaan. Ohjelma käyttää ODBC rajapintaa kytkeytyessään tietokantaan. Tietokanta sisältää useita tauluja. Esimerkin tietokannan ensimmäisessä taulussa on sarakkeet ID ja Nimi. Tämä taulu liitetään tietokantasovellukseen CRecordset -luokan avulla. Taulun kentät ID ja Nimi liitetään CRecordset -luokan *int*- ja *string*-tyyppisiin jäsenmuuttujiin `m_ID` ja `m_Nimi`. Tämän jälkeen taulun tietueiden selaaminen, päivitys, lisääminen ja tuhoaminen onnistuvat tietokantasovelluksesta käsin käyttämällä CRecordset -luokan jäsenfunktioita.

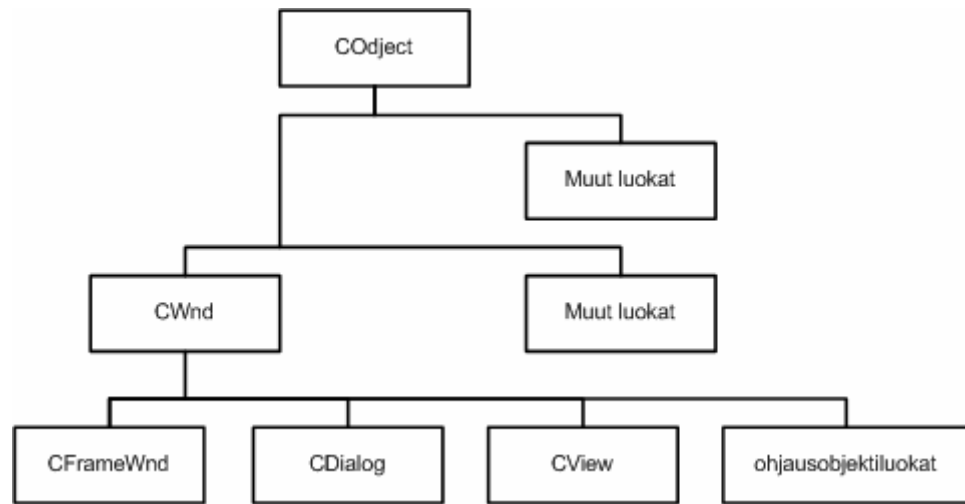
MFC-luokkia on yli 200. Kuviossa 14 näkyy MFC-luokkien periytymispuun karkea kaavio. Lähes kaikki MFC-luokat periytyvät CObject- luokasta. CObject sisältää perustoiminnot, joita kaikki MFC-luokat tarvitsevat, esimerkiksi pysyvyyden tuen ja tulostuksen vianetsintää varten. (Gregory 1999, 701.)



KUVIO 14. MFC-luokkien karkea kaavio

Eräiden CObject-luokasta periytyvien luokkien, esimerkiksi CFile ja CException, ja niistä johdettujen luokkien ei tarvitse vuoro vaikuttaa suoraan käyttäjän ja käyttöjärjestelmän kautta viestien ja komentojen avulla. Kaikki luokat, jotka eivät vastaanota viestejä ja komentoja, periytyvät CCmdTarget-luokasta. CWnd on olennainen luokka, koska vain siitä johdetut luokat voivat vastaanottaa viestejä. (Gregory 1999, 701.)

MFC luokkakirjastossa Windowsin kontrollit ovat olioita. Jokaista kontrollia kohden on luokka joka toteuttaa kyseisen kontrollin. Kaikki kontrolliluokat periytyvät CWnd -luokasta. Sitä käyttää kantaluokkana noin kolmannes kaikista MFC luokista; muun muassa CDialog, CEditView ja CButton. CWnd- luokka sisältää ikkunoihin liittyvät toiminnot, esimerkiksi kutsuu Create-, Window- ja DestroyWindow-funktioita sekä funktioita, jotka maalaavat ikkunan näyttöön, käsittelevät viestejä, viestivät leikepöydän kanssa ym. -jäsenfunktioita on kaikkiaan lähes 250. Kuviossa 15 näkyvät CWnd-luokasta periytyvät luokat; ohjausobjekttiluokkia on niin paljon, että ne on mainittu vain ohjausobjekttiluokkana. (Gregory 1999, 702.)



KUVIO 15. CWnd-luokasta periytyvät luokat

## 6 RETERMIA-SOVELLUS

### 6.1 Retermia elinkaariarvio

Retermian neulalämmönsiirtimelle suoritettiin elinkaariarviointi syksyllä 2001 ja keväällä 2002. Elinkaarianalyysin tarkoituksena ja tavoitteina oli (1) auttaa kar- toittamaan tuotteen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset sekä valitsemaan niistä merkittävimmät eli etsimään elinkaaren nk. pullonkaulat ympäristömielessä, (2) tuottaa tietoa yrityksen tuotesuunnitteluun, (3) auttaa vertailemaan omaa tuo- tetta kilpailijoiden vastaaviin tuotteisiin tai muihin vaihtoehtoihin, (4) mahdollis- taa erilaisten ympäristö- ja kustannusmielessä tehtävien takaisinmaksulaskelmien toteuttaminen, (5) mahdollistaa vertailu tilanteeseen ilman lämmön talteenottoa ja (6) tuottaa todennettua tietoa markkinoinnin tueksi. (Proventia Enviromental ma- nagement 2002, 2.)

Elinkaarianalyysin funktionaaliseksi yksiköksi valittiin 2 kpl neulapattereita, il- mavirran suuruuden ollessa 2,0 m<sup>3</sup>/s. Koneen sijaintipaikaksi valittiin TAKE:n selvityksen mukaisesti Helsingissä sijaitseva kaukolämpöverkkoon liitetty toimis- torakennus ja käyttöajaksi klo 7 - 17 viitenä päivänä viikossa. Neulapatterin las- kennalliseksi käyttöiäksi oletettiin 20 vuotta. Funktionaalinen yksikkö on elinkaa- rianalyysissä se määrä tarkasteltavaa tuotetta, jota kohden kaikki päästöt ja raaka- aineet lasketaan. Funktionaalinen yksikkö oli tässä tutkimuksessa kaksi neulapat- teria, koska ne yhdessä muodostavat toiminnallisen kokonaisuuden määritellyn käyttökohteen ilmanvaihtoon ja lämmön talteenottoon. (Proventia Enviromental management 2002, 3.)

Seuraavassa taulukossa 4 on esitelty analyysin perusteella saadut Retermian neula- lämmönsiirtimen elinkaaren aikaiset merkittävimmät ympäristövaikutukset tärke- ysjärjestyksessä. Lisäksi siinä on esitelty niiden suhteellinen osuus eli keskinäinen tärkeys sekä vielä osoitettu, missä yksikössä alkuperäinen eri aineiden laskenta on tehty.

TAULUKKO 4. Retermia tuotteen merkittävimmät ympäristövaikutukset (Proventia Environmental management 2002)

Ympäristövaikutus	Suhteellinen osuus	Yksikkö
Ilmastonmuutos	98 %	kg CO <sub>2</sub>
Happamoituminen	1,3 %	kg SO <sub>2</sub>
Savusumu	0,5 %	kg SPM
Rehevöityminen	0,15 %	kg PO <sub>4</sub>
Otsonikato	0,05 %	kg CFC11

Elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista merkittävin on ilmastonmuutos ja eri elinkaaren vaiheiden aiheuttama ilmiön voimistuminen, käytännössä siis ilmaston lämpeneminen. Eniten tässä tarkasteltavassa systeemissä ilmastonmuutokseen vaikuttavat energian tuotannon aiheuttamat ilmapäästöt. Tarkasteltavassa tapauksessa kiistatta suurin energian kulutus oli teräksen tuotannolla, mikä kuluttaa systeemin kokonaisenergiasta 96 %. Jos teräksen tuotanto jätetään tarkastelun ulkopuolelle, seuraavaksi merkittävimmät energian kuluttajat elinkaaren varrella ovat tuotteen käyttö (94 %) ja tuotteen valmistus (2 %). Näiden kahden vaiheen jälkeen tulevat eri raaka-aineiden valmistukset. (Proventia Environmental management 2002, 9.)

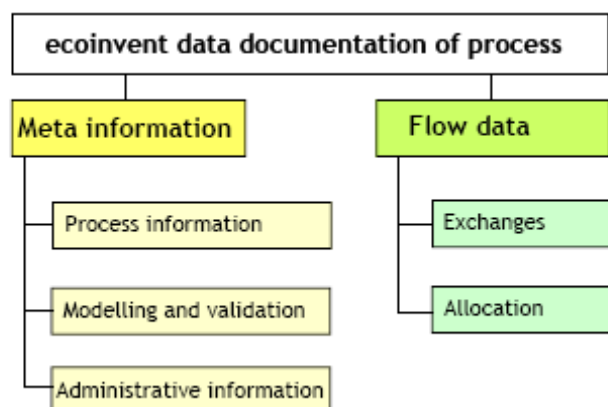
Tärkein ilmastonmuutosta voimistava päästö on hiilidioksidi. Hiilidioksidipäästöistä lähes kaikki syntyvät sähköenergian tuotannosta. Ilman sähkön tuotannon päästöjä eniten CO<sub>2</sub> päästöjä syntyy pellin valmistuksesta (46 %) ja seuraavaksi (n. 30 %) romualumiinin sulatuksesta ja uudelleen muokkaamisesta valmiiksi harakoiksi. Yksinkertaistettuna; painon mukaan kahden suurimman pääraaka-aineen valmistus aiheuttaa elinkaaren aikaisista hiilidioksidipäästöistä yhteensä noin 76 %. Näiden jälkeen seuraavaksi merkittävimmät CO<sub>2</sub> päästölähteet ovat pienempien raaka-aine-erien eli kuparin ja messingin tuotannon aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Itse tuotteen tuotannosta ei aiheudu merkittäviä CO<sub>2</sub> päästöjä. Tuotteen käytön aikaiset hiilidioksidipäästöt ovat sähköntuotannon välillisiä päästöjä, kokoluokaltaan kuitenkin suhteellisen vähäisiä merkitykseltään. Yhteenvedona voitiin todeta, että elinkaaren merkittävimmät osat ilmastonmuutoksen kannalta ovat nel-

jän pääraaka-aineen tuotantoprosessit. (Proventia Environmental management 2002, 9 - 10.)

Näiden tuloksien perusteella tässä opinnäytetyössä valittiin Ecoinvent keskustietokannasta näitä materiaaleja koskevat tietokannat. Ecoinvent-tietokannasta valittiin seuraavia materiaalitietoja koskevat tiedostot: Alumiinin valmistus ja prosessointi, kuparin valmistus ja prosessointi, sinkityn teräksen valmistus ja prosessointi, kuljetukset laivoilla ja kuorma-autoilla, energiantuotanto sekä jätteiden käsittely. Näitä tietoja koskevat tiedostot vietiin keskustietokannasta paikalliseen relaatiotietokantaan.

## 6.2 EcoSpol-tiedosto

Ecoinvent-keskustietokanta koostuu yli 4000 yksikköprosessista, jotka ovat suhteutettu toisiinsa materiaali- ja energiavirtojen osalta. Tiedostomuoto prosesseille on ns. EcoSpol. Kuviossa 16 on esitetty karkea tiedoston rakenne.



KUVIO 16. EcoSpol XML tiedostorakenne (Frischknecht & Jungbluth 2007)

Tiedostossa on kaksi lohkoa. *Meta information* sisältää tietoa tiedosta, eli sieltä selviää prosessitietojen alkuperä, mistä tiedot on kerätty, kuka on ne kerännyt jne. *Flow data* lohkoissa on inventaarioanalyysi- ja vaikutusluokan arvot.



Taulukossa 5 on esitetty tarkemmin tiedoston rakenne. *Process* lohko sisältää metatietoa prosessista. *ReferenceFunction* sisältää mm. tiedostosisällön nimen, yksikön, kategorian ja alikategorian. *TimePeriod* sisältää tiedon ajanjaksosta, jonka ajan sisältö on validi. *Geography* sisältää tiedon sisältöä koskevasta maantieteellisestä sijainnista. *Technology* sisältää tiedon tekniikasta, jolla tiedot on kerätty. *DataSetInformatio* sisältää mm. versionumeron ja tiedon tyyppin. ”*Modelling and validation*” lohko sisältää tietoa siitä kuinka prosessi on muotoiltu. *Representativeness* sisältää tietoa prosessin tuotteen markkinaosuuksista ja tuotantokapasiteeteista. *Source* sisältää tietoa tiedoston muodosta sekä sisällöntuottajan nimen. *Validation* sisältää tiedon siitä, ketkä ovat antaneet tiedolle kriittisen lausunnon. *Administrative information* osio sisältää metatietoa tiedon ylläpito-organisaatiosta. *DataEntryBy* sisältää tiedon henkilöstä, joka lisää tiedon tiedostoon. *DataGeneratorAndPublication* sisältää tiedon siitä kuka koostaa tiedon. *Person* sisältää ylläpitohenkilöiden yhteystiedot. ”*Flow Data*” sisältää prosessin tuotevirtatiedot. *Exchanges* sisältää tiedot kaikista prosessin perusvirroista prosessin sisään ja ulos. *Allocations* sisältää prosessin allokointiin liittyviä tietoja.

TAULUKKO 5. EcoSpol tiedoston rakenne

Meta information		
Process		
	ReferenceFunction	defines the product or service output to which all emissions and requirements are referred
	TimePeriod	defines the temporal validity of the dataset
	Geography	defines the geographical validity of the dataset
	Technology	describes the technology(ies) of the process
	DataSetInformation	defines the kind of process or product system, and the version number of the dataset
Modelling and validation		
	Representativeness	defines the representativeness of the data used
	Sources	lists the literature and publications used
	Validations	lists the reviewers and their comments
Administrative information		
	DataEntryBy	documents the person in charge of implementing the dataset in the database
	DataGenerator AndPublication	documents the originator and the published source of the dataset
	Persons	lists complete addresses of all persons mentioned in a dataset
Flow data		
	Exchanges	quantifies all flows from technical systems and nature to the process and from the process to nature and to other technical systems
	Allocations	describes allocation procedures and quantifies allocation factors, required for multi-function processes

### 6.3 Yksikköprosessin laskenta

Yksikköprosessit on laskettu matriisilaskennalla. Yksi yksikköprosessi on yksi osa koko tuotejärjestelmästä, josta tehdään elinkaariarviointi. Yksikköprosessissa on energia ja materiaalivirtoja tuotannon, kuljetusten ym. teknologian osalta (ekonomi) sekä energia- ja materiaalivirrat suoraan luontoon, vesistöön, ilmakehään ja maahan (ekologi-osa). Energia ja materiaalivirroista muodostuu vektori (ks. kuvio 17), joka jakaantuu kahteen osavektoriin **a** (ekonomi) ja **b** (ekologi). Vektori sisältää  $m$  verran arvoa  $a_i$  ja  $n$  verran arvoa  $b_j$ . (Frischknecht & Jungbluth 2007, 51.)

$$\begin{pmatrix} \mathbf{a} \\ \mathbf{b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ \dots \\ a_i \\ \dots \\ a_m \\ b_1 \\ \dots \\ b_j \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix}$$

KUVIO 17. Vektorimalli yksikköprosessista

Malli, joka sisältää kaikki yksikköprosessit muodostaa matriisin (ks. kuvio 18), joka sisältää ekonomi osan (**A**) sekä ekologi osan (**B**). (Frischknecht & Jungbluth 2007, 51.)

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} \\ \mathbf{B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1l} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{il} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{ml} & \dots \\ b_{11} & \dots & b_{1l} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{j1} & \dots & b_{jl} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & \dots & b_{nl} & \dots \end{pmatrix}$$

KUVIO 18. Matriisimalli prosessista

Laskemalla  $\mathbf{A}$  osan käänteismatriisi matriisista  $\mathbf{P}$ , saadaan matriisi  $\mathbf{C}$  (ekonomi osa). Matriisi  $\mathbf{D}$  (ekologi osa) lasketaan kertomalla  $\mathbf{B}$  matriisi  $\mathbf{C}$  matriisin kanssa.

Mallin vektorissa yksikköprosessi sisältää suhteen itseensä (prosessi 1 kg terästä masuunissa tuottaa 1 kg terästä masuunissa). Matriisi  $\mathbf{A}$  voidaan kirjoittaa muotoon:

$$\mathbf{A} = \mathbf{I} - \mathbf{Z}$$

missä  $\mathbf{Z} \in R^{m \times m}$ .

Käänteismatriisi on muotoa:

$$\mathbf{C} = \mathbf{A}^{-1} = (\mathbf{I} - \mathbf{Z})^{-1} = \sum_{k=0}^{\infty} \mathbf{Z}^k$$

Matriisi **D** on muotoa:

$$D = BC = B(I - Z)^{-1}$$

Käänteismatriisi **P\***, joka on muodostettu matriiseista **C** ja **D**,

$$\mathbf{P}^* = \begin{pmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{D} \end{pmatrix}$$

sisältää (kumulatiiviset) tiedot (ekonomi) ja (ekologi) osilta kaikista prosesseista jotka sisältyvät matriisiin. Taulukko 6 havainnollistaa laskennalla saatuja tuloksia. Prosessi ”Transport by Cruine Oil Carrier” tuottaa hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) päästöjä 5,5 g ja rikin oksideja (SO<sub>x</sub>) 0,13 g, kun prosessi “Heavy Fuel Oil from Refinery” tuottaa hiilidioksidipäästöjä 180 000 g ja rikin oksideja 1000 g. (Frischknecht & Jungbluth 2007, 51-52.)

TAULUKKO 6. EcoCalc-laskennan tulostaulu

		Unit Processes	
		Transport by Cruide Oil Carrier	Heavy Fuel Oil from Refinery
unit		tkm	t
<i>(i) From / To Technosphere</i>			
Transport by Crude Oil Carrier	tkm	1	-10'000
Heavy Fuel Oil from Refinery	t	-1.80E-06	1
<i>(ii) To Nature:</i>			
CO <sub>2</sub> , Carbon dioxide	g	5.5	180000
SO <sub>X</sub> , Sulphur oxides	g	0.13	1000
NM <sub>V</sub> OC	g	8.30E-04	500

EcoSpol Access työkalulla voidaan viedä ecoinvent sivulta ladattu yksikköprosessit (XML-tiedosto) Excel ohjelmaan. Kuviossa 19 näkyy miltä yksikköprosessin tiedot näyttävät Excel taulussa.

ID	3503	3504	3702	3703	3506	3507	3508	3706	3707	3708	3709	3792	
InputGroup	OutputGroup	Name	Location	Category	SubCategory	Infrastructure	Process	Unit	sulphur hexafluoride, liquid, at plant	Uncertainty	type	StandardDeviation%	GeneralComment
662	493	Location							RER				
403		InfrastructureProcess							0				
		Unit							kg				
output	-	0 sulphur hexafluoride, liquid, at plant	RER	-	-	0	kg	1.00E+0					
technosphere	S	- fluorine, liquid, at plant	RER	-	-	0	kg	7.81E-1	1	1.35	(3,4,2,3,3,5)		Other energy carriers possible
	S	- secondary sulphur, at refinery	RER	-	-	0	kg	2.19E-1	1	1.26	(3,4,2,3,1,5)		Literature
	S	- chemical plant, organics	RER	-	-	1	unit	4.00E-10	1	3.90	(5,na,1,1,5,na)		Rough estimation
	S	- transport, freight, rail	RER	-	-	0	tkm	1.32E-1	1	2.09	(4,5,na,na,na,na)		Standard distance 600km
	S	- transport, lorry 32t	RER	-	-	0	tkm	2.19E-2	1	2.09	(4,5,na,na,na,na)		Standard distance 100km
emission water, river	-	4 Heat, waste	-	water river	-	-	MJ	7.51E-9	1	1.35	(3,4,2,3,3,5)		Literature
emission air, unspecified	-	4 Sulphur hexafluoride	-	air	unspecified	-	kg	5.00E-3	1	1.35	(3,4,2,3,3,5)		Literature

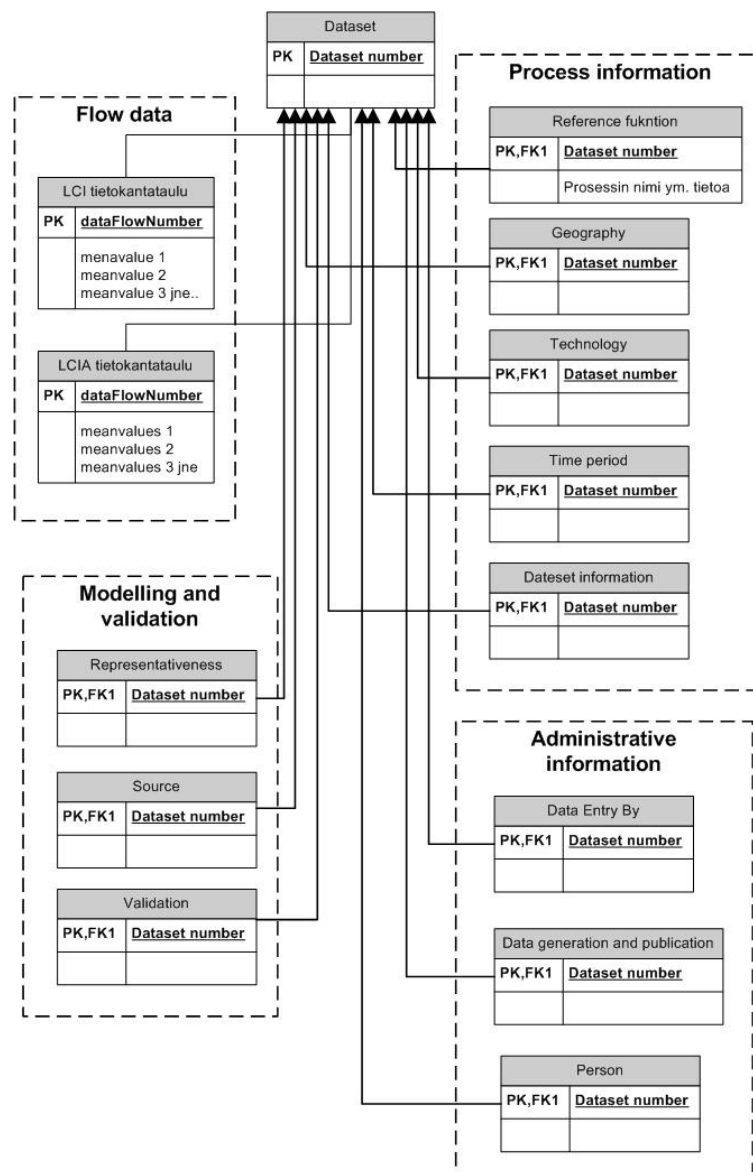
Kuvio 19. Esimerkki EcoSpol dokumentista MS-Excelissä. (Frischknecht & Jungbluth 2007, 50.)

#### 6.4 Tietokannan kuvaus

Tässä opinnäytetyössä luotiin tietokanta MySQL-järjestelmään EcoSpol tietojen tallennusta varten. Tietokanta sisältää 16 taulua, jotka on esitelty kuviossa 19. Ecoinvent tietojen vieminen tietokantaan toteutettiin PHP (Hypertext Preprocessor) skriptikielellä tehdyllä ohjelmalla. PHP on palvelinpuolen tulkattava ohjelmointikieli, jonka ohjelmakoodi voidaan sijoittaa HTML-koodin yhteyteen tai erilliseen tiedostoon. Rasmus Lerdorf julkaisi ensimmäisen version PHP:sta vuonna 1994. Silloin PHP oli vain joukko makroja helpottamaan kotisivun tekemistä. Nykyisin PHP on täysiverinen ohjelmointikieli, jolle on toteutettu runsaasti erilaisia laajennuksia.

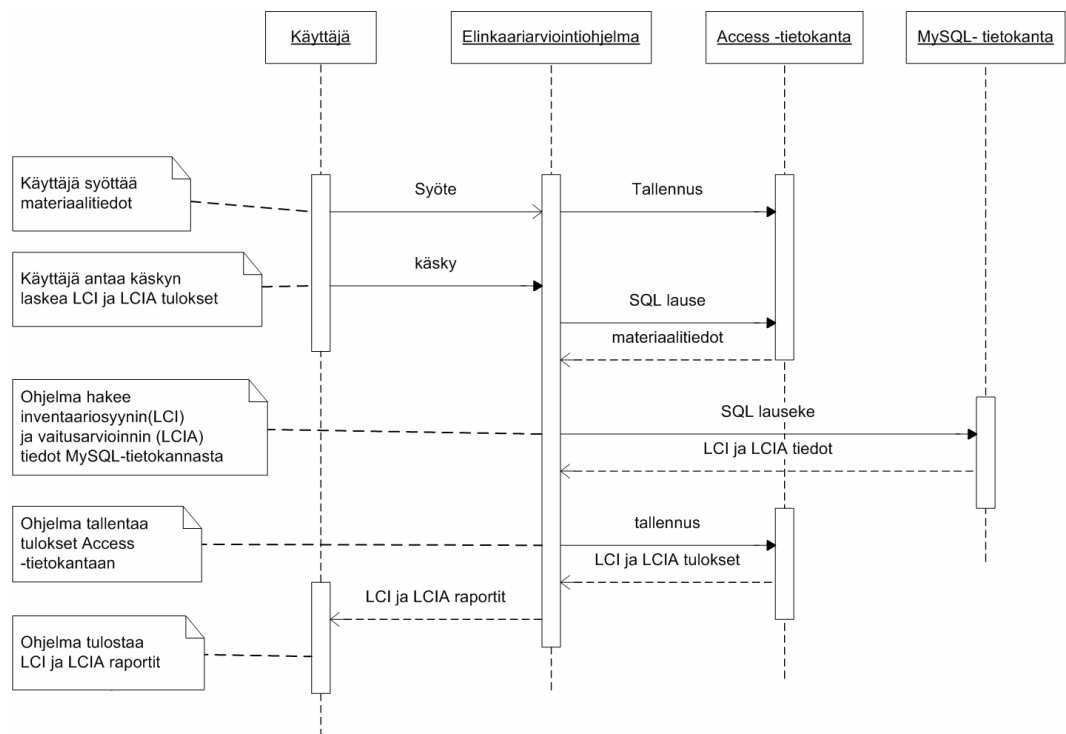
XML\_Parser Functions on joukko funktioita, jotka mahdollistavat XML-dokumenttien käsittelyn PHP:ssa. Tärkeimpiä funktioita ovat *xml\_parser\_create()*, joka luo XML parserin. Funktio palauttaa kahvan, jota muut laajennuksen funktiot käyttävät. *xml\_set\_element\_handler()* käsittelijäfunktio ottaa parametrina edellisen funktion kahvan sekä kaksi funktiokutsua joissa käsitellään XML elementtejä. *xml\_parser\_free()* vapauttaa resurssit käsittelyn loppuksi. (XML Parser Functions 2008.)

MySQL-tietokanta koostuu seuraavanlaisista tauluista: *Dataset* tauluun on varastoitu yksikköprosessiin viittaava yksilöivä numero *datasetnumber*. *Referencefunction*, *datasetinformation*, *dataentryby*, *geography*, *technology*, *timeperiod*, *source*, *representativeness*, *synonym*, *datageneratorandpublication* ja *person* ovat tauluja joissa on yksikköprosessiin liittyvää metatietoa. Nämä tiedot linkittyvät materiaaliin (*datasetnumber*) numeron perusteella. *Iflowdata* (*LCI tietokantataulu*) on yksikköprosessin inventaarioanalyysitiedot. *Aflowdata* (*LCIA tietokantataulu*) on yksikköprosessin vaikutusarviointitiedot. Kuviossa 20 näemme yksinkertaistetun mallin tietokannasta.



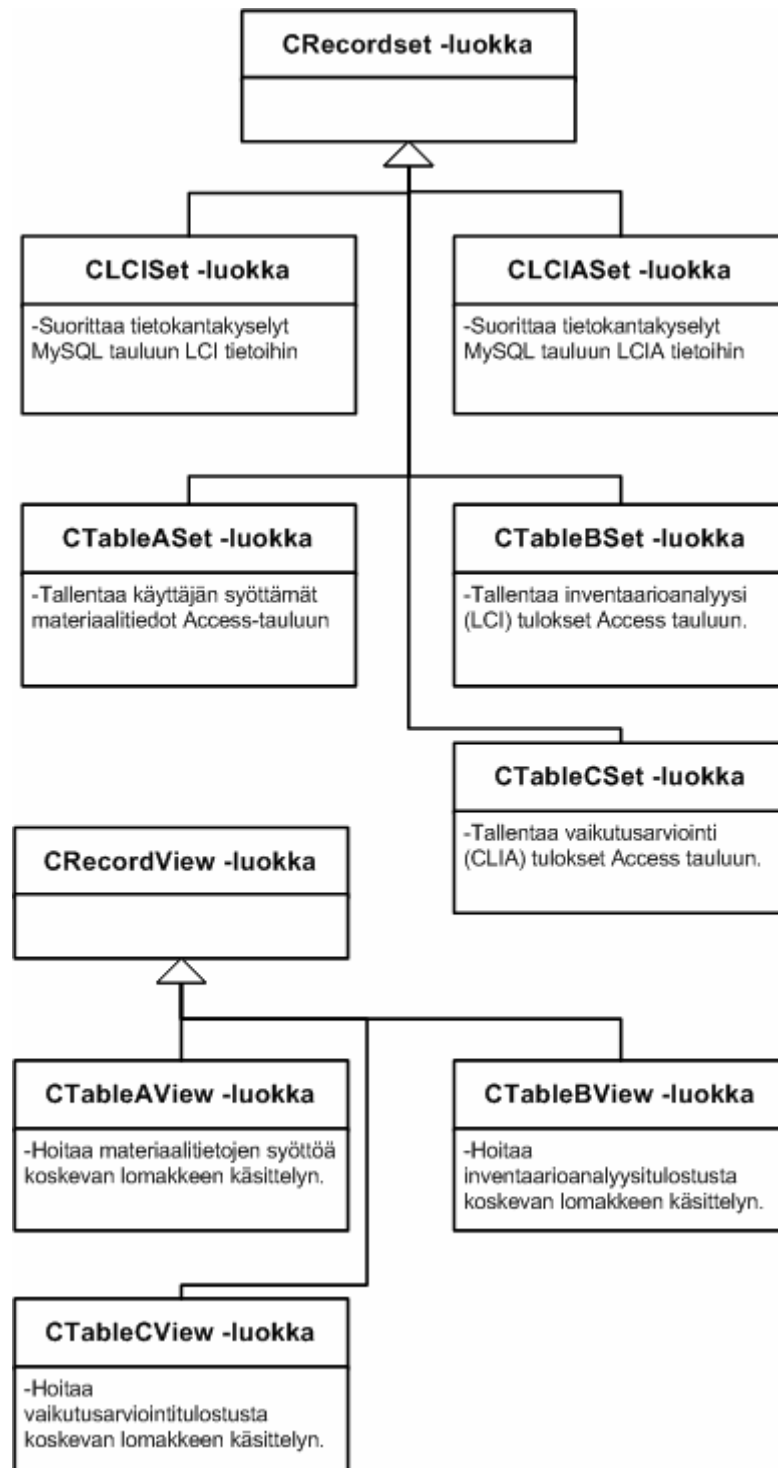
KUVIO 20. Elinkaariarviointiohjelman tietokannan rakenne yksinkertaistettuna

## 6.5 Ohjelman kuvaus



KUVIO 21. Ohjelman peruseriaate

Kuvio 21 havainnollistaa tämän opinnäytetyön ohjelman peruseriaatteen. Käyttäjä syöttää laskettavat materiaalitiedot järjestelmään, jotka tallentuvat Access tietokantatauluun. Ohjelma käyttää ODBC rajapintaa hakiessaan tietoa MySQL relaatiotietokantaan tallennetuista Ecoinvent tiedoista. Ohjelma tekee laskutoimitukset Ecoinvent tietojen ja syötettyjen tietojen perusteella ja tallentaa ne Access tietokantatauluun. Näistä ohjelma tulostaa elinkaariarvion inventaarioanalyysi- ja vaikutusarvion tulokset. Kuviossa 22 näkyy ohjelman keskeisiä luokkia.



KUVIO 22. Elinkaariarvio ohjelman keskeisiä luokkia yksinkertaistettuna.

*CLCISet*, *CLCIASet*, *TableASet*, *TableBSet* ja *TableCSet* –luokat suorittavat tietokantojen välistä tiedonsiirtoa sekä inventaarioanalyysi- ja vaikutusarviointitulosten laskennan. Luokat periytyvät *CRecordset* -luokasta. Luokkien tärkeimpiä metodeja ovat *Open*, jolla avataan tietojoukko, *MoveLast*, *MoveFirs*, *MoveNext* ja *Move*



*Prev*, joilla voidaan selata tietojoukkoa, *AddNew*, jolla lisätään uusi tietue tietojoukkoon, *Delete*, jolla poistetaan tietue sekä *Update* jolla päivitetään tietojoukkoon tehdyt muutokset tietokantaan.

*CTableAView*, *CTableBView* ja *CTableCView* -luokat periytyvät *CRecordView*-luokasta. Ne ovat suoraan yhteydessä *CRecordset* -objektiin. *CRecordView* luokka käyttää *data exchange*- (DDX) ja *record field exchange* (RFX) -metodeja automatisoimaan tiedonsiirron lomakkeen kontrollien ja tietokannan solujen välillä. Ohjelman kontrollien toiminta on toteutettu osittain tällä menetelmällä ja osittain tietokantaan on kytkeydytty suoraan *CDatabase* ja *CRecordset* -luokkien metodeilla.

## 6.6 Käyttöliittymä

Ohjelman käyttöliittymän ensimmäisessä ikkunassa voidaan syöttää laskettavan tuotteen materiaalitiedot. Kuviossa 23 on esitetty ohjelman syöttötietolomake. Näkymässä on painike inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin laskemista varten sekä painikkeet inventaariotulos- ja vaikutusarviointitulossikkunoiden näyttämistä varten

The screenshot shows the RETECO software interface with the following data entered:

- ID:** 1
- Name:** test 1
- Manufacture:**
  - Aluminium Al: 1493 Kg
  - Copper Cu: 702 Kg
  - Steel Fe: 234 Kg
- Transport:**
  - Material transports:**
    - Lorry: Al 2340 Km, Cu 3245 Km, Fe 567 Km
    - Ship: Al 140 Km, Cu 300 Km, Fe 0 Km
  - Transport from factory to destination:**
    - Lorry: 567 Km
    - Ship: 0 Km
- Use:**
  - Electricity: 22000000 Kwh
  - Washing Agents: 200 Kg
- Disposal:** 1 Unit
- Calculate:** Buttons for Calculate, Show LCI Results, and Show LCIA Results.

KUVIO 23. Ohjelman syöttötietolomake

Tässä ohjelmassa käytettyjä kontrolliluokkia ovat mm. CButton (nappi), jolla voidaan toteuttaa painonappi, valintanappi, valintaruutu ja kolmitilainen valintaruutu. CStatic luokalla toteutetaan tekstikenttä, jota ei voi muokata. CEdit -luokalla toteutetaan tekstikenttä, jota voidaan muokata.

Ohjelmoija tekee tavallisesti uuden ikkunaluokan jokaista ohjelmaa varten ja rekisteröi sen kutsumalla API-funktiota RegisterClass(). Ikkunoita voidaan luoda kyseisen luokan pohjalta kutsumalla toista API-funktiota nimeltä CreateWindow(). (Gregory 1999, 698.)

Untitled - RETECO

File Edit Record View Help

LCI Results

CaseID: 1

Name: test 1

Back to main view

C.	Category	SubCategory	Name	Unit	Manufacture	Use
1	air	low population density, long-term	Radon-222	kBq	4.0481E+6	4.6103E+9
1	air	low population density	Noble gases, radioactive, unspecified	kBq	2.1613E+6	2.4182E+9
1	air	high population density	Heat, waste	MJ	99838.64	7.7608E+7
1	air	unspecified	Heat, waste	MJ	117799.8	5.7476E+6
1	air	low population density	Radon-222	kBq	96680.76	1.1001E+8
1	resource	in water	Water, turbine use, unspecified nat...	m3	595465.9	7.8191E+7
1	water	river	Heat, waste	MJ	16606.21	1.1833E+7
1	water	ocean	Hydrogen-3, Tritium	kBq	86954.64	9.7274E+7
1	air	low population density	Heat, waste	MJ	114965.8	9.4687E+7
1	air	high population density	Carbon dioxide, fossil	kg	7215.678	2.3358E+6
1	resource	in ground	Gravel, in ground	kg	3276.918	479601.3
1	resource	in water	Energy, potential (in hydropower re...	MJ	60082.58	1.5806E+7
1	air	unspecified	Carbon dioxide, fossil	kg	3368.521	141499.6
1	water	river	Hydrogen-3, Tritium	kBq	9959.752	1.1683E+7
1	resource	in ground	Oil, crude, in ground	kg	2224.503	108242.4
1	air	low population density	Carbon dioxide, fossil	kg	9302.781	7.5183E+6
1	soil	unspecified	Heat, waste	MJ	608.2966	6.2191E+6
1	air	low population density	Xenon-133	kBq	111.2946	7850.796
1	resource	biotic	Energy, gross calorific value, in biom...	MJ	2504.156	5.2670E+7
1	air	low population density	Hydrogen-3, Tritium	kBq	1332.304	1.5288E+6
1	resource	in ground	Coal, hard, unspecified, in ground	kg	4156.128	2.9718E+6
1	resource	in ground	Calcite, in ground	kg	1042.919	121151.0
1	resource	in ground	Gas, natural, in ground	Nm3	1497.479	920011.3
1	resource	in ground	Coal, brown, in ground	kg	2797.499	1.3036E+6
1	resource	in ground	Iron, 46% in ore, 25% in crude ore,...	kg	550.2361	48579.08
1	water	river	Chloride	kg	59.51989	10059.21
1	air	low population density	Xenon-135	kBq	45.60904	3202.276
1	resource	in ground	Sodium chloride, in ground	kg	181.1308	7774.61
1	resource	in air	Energy, kinetic (in wind), converted	MJ	550.1129	160730.5
1	water	river	Radium-226	kBq	367.8459	410636.9
1	water	ground-, long-term	COD, Chemical Oxygen Demand	kg	43.41095	841.7786
1	air	low population density	Xenon-135m	kBq	26.93163	1915.468
1	resource	in water	Volume occupied, reservoir	m3a	418.8818	448517.0
1	resource	land	Occupation, industrial area	m2a	29.2551	10747.84
1	air	low population density	Carbon-14	kBq	219.281	242532.4
1	resource	land	Occupation, traffic area, road network	m2a	20.56799	1624.787
1	resource	in ground	Clay, unspecified, in ground	kg	211.0371	20566.2
1	water	ocean	Radioactive species, Nuclides, unspe...	kBq	218.362	244270.3
1	air	unspecified	Nitrogen oxides	kg	33.89431	1574.716
1	water	ground-, long-term	DOC, Dissolved Organic Carbon	kg	17.54685	419.5799

Ready

KUVIO 24. Elinkaariarviointiohjelman inventaarioanalyysitaulu

Inventaarioanalyysi-näkymässä nähdään inventaariolaskennan tuloksia (kuvio 24). Ikkuna sisältää lista-komponentin, jonne tulostuu kategoria-sarake, alikategoria-sarake, nimi-sarake, yksikkö-sarake ja arvot koskien tuotannon ja käytön ympäristövaikutuksia. Kuvion esimerkilaskennasta näemme, että ”Radon-222” ainetta on kulunut valmistuksen osalta 4048000 kBq ja käytön osalta  $4,610 \cdot 10^9$  kBq (ensimmäinen rivi). Aine kuuluu kategoriaan ilma.

Vaikutusarviointi näkymässä (kuvio 25) tulostuu lista-komponenttiin kategoriasarake, alikategoria-sarake, nimi-sarake, yksikkö-sarake sekä vaikutukset tuotannon, käytön, hävityksen ja kuljetusten osalta. Kuviosta näemme esimerkiksi riviltä kuusi, että ilmastonmuutokseen vaikuttavaa hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia/kg kaasua) on syntynyt valmistuksen osalta 15400,66 kg toiminnallista yksikköä kohden (neulalämmönsiirrinjärjestelmä). Karakterisointimalli GWP 100a on ilmasto- muutospaneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change) 100 vuotta kattava vertailumalli.

C	Category	SubCategory	Name	Unit	Manufacture	Use	Disposal	Transport
1	EDIP 2003	eutrophication	terrestrial eutrophication	m2	1100,271	15011,9	398,94	191,9166
1	EDIP 2003	eutrophication	separate P potential	kg P	0,5757132	1,897113	0,018583	8,0838E-3
1	EDIP 2003	eutrophication	separate N potential	kg N	12,98748	186,2689	4,7818	2,299445
1	EDIP	environmental impact	photochemical ozone formation, high...	kg ethylene-Eq	6,135452	38,41236	1,29248	0,6941212
1	CMIL 2001	stratospheric ozone depletion	ODP 20a	kg CFC-11-Eq	9,750864	0,0181087	2,5792E-4	1,9781E-4
1	IPCC 2001	climate change	GWP 100a	kg CO2-Eq	15400,66	331316,1	6693,0	1410,276
1	CMIL 2001	climate change	GWP 100a	kg CO2-Eq	15129,25	331302,7	6692,6	1409,911
1	EDIP 2003	global warming	GWP 100a	kg CO2-Eq	15404,24	331563,2	6703,4	1415,661
1	EDIP 2003	eutrophication	combined potential	kg NO3-	76,47823	895,8188	22,086	10,5941
1	EDIP	environmental impact	acidification	kg SO2-Eq	106,296	1079,791	13,3592	7,202265

Kuvio 25. Kielteiset ympäristövaikutukset elinkaaren ajalta

Vaikutusarviointi-näkymästä päästään syöttötietolomake- tai inventaario-analyysinäkymiin. Syöttötietolomake-näkymässä voidaan muokata lähtöarvoja ja laskea uusia tuloksia arvoille. Ohjelman tehtävä on laskea inventaarioanalyysi sekä vaikutusarviointituloksia, ei muuta. Näitä tuloksia käytetään tehtäessä toimittavasta järjestelmästä ympäristötuoteseloste asiakkaalle. Ympäristötuoteselosteen toteuttamiseen käytetään tekstinkäsittelyohjelmia.

## 6.7 Ympäristötuoteseloste

Retermia toimittaa asiakkaalle asiakkaan vaatiessa ympäristötuoteselosteen järjestelmästä. Ympäristötuoteselosteessa selvitetään- toimitettavan järjestelmän ympäristövaikutukset raaka-aineiden valmistuksesta tuotteen hävittämiseen asti ns. ”kehdosta hautaan”. Liitteessä 1 on esimerkki Retermian ympäristötuoteselosteesta. Järjestelmä käsittää 4 tulo- ja 4 poistoilmalämmönsiirrintä, jotka on valmistettu

Retermia runkoon. Järjestelmä on ilmamäärältään  $22 \text{ m}^3$  ja sen lämmönsiirtokapasiteetti on  $546 \text{ kWh}$ . Se on käytössä  $15 \text{ h}$  vuorokaudessa ilmamäärällä  $22 \text{ m}^3$  ja  $9 \text{ h}$  vuorokaudessa ilmamäärällä  $11 \text{ m}^3/\text{s}$  kuusi päivää viikossa.

Ympäristötuoteselosteen alussa kerrotaan toimitettavan järjestelmän osakokonaisuus, ilmamäärä, käyttöaika, käyttökapasiteetti, järjestelmässä käytetyt tärkeimmät raaka-ainemäärät sekä järjestelmän kokonaispaino. Seuraavaksi kerrotaan käytetyt elinkaarilaskentamenetelmät ja näytetään elinkaariarviointitulokset erilaisin taulukoin.

Liitteen 1 järjestelmässä käytettyjen raaka-aineiden määrät olivat seuraavanlaiset:

Alumiinia	1493 kg
Terästä	532 kg
Kuparia	234 kg
Ruostumatonta terästä	170 kg
Messinkiä	97 kg

Liitteen 1 ympäristötuoteselosteessa valmistuksen aiheuttaman luonnonvarojen kulutuksen tärkeimmät raaka-aineet liittyvät metallien valmistuksen sekä teollisuusprosessien energian kulutukseen. Vesi ja metallinvalmistuksessa tarvittavat malmit ovat suurimmat kulutetut luonnonvaraerät. Taulukossa 7 nähdään tärkeimmät raaka-aineet ja niiden määrät. Vettä on kulunut  $20\,540 \text{ kg}$  ja kuparia  $9\,740 \text{ kg}$ . Bauksiittia on kulunut  $5\,540 \text{ kg}$  ja kivihiiltä  $2\,270 \text{ kg}$ . Raakaöljyä on kulunut  $1\,910 \text{ kg}$ .

TAULUKKO 7. Raaka-aineiden kulutus

Vesi	20 540 kg
Kuparimalmi	9 740 kg
Bauksiitti	5 540 kg
Kivihili	2 270 kg
Ilma	2 000 kg
Raakaöljy	1 910 kg
Sinkki-kuparimalmi	1 000 kg
Inertti kivi	700 kg
Sinkki-lyijy-kuparimalmi	490 kg
Puu	450 kg

Taulukosta 8 näemme kuinka energia on jakautunut. Valmistus on kuluttanut kaiken kaikkiaan 39 MWh sähköä, mikä tekee 11 % koko osuudesta. Käyttö on kuluttanut 321 MWh, mikä tekee 89 % koko osuudesta.

TAULUKKO 8. Energian kulutus

	<i>Valmistus</i>	<i>Käyttö</i>	<i>Yhteensä</i>
Sähköä, lämpöä ja polttoaineita (MWh)	39	321	360
	11 %	89 %	100 %

Jätettä syntyy valmistusvaiheen erilaisissa teollisissa prosesseissa. Nämä prosessit kuluttavat myös suuria määriä vettä. Käyttövaihe tuottaa jätettä mm. käytetyn pesuaineen ja pesuveden muodossa. Hävityksessä syntyy jätettä, mutta siinä saadaan myös talteen arvokasta metalliraaka-ainetta, joka voidaan uusiokäyttää. Taulukosta 9 näemme jätteiden määriä. Valmistuksessa syntyy 210 kg ja hävityksessä 650 kg kaatopaikkajätettä. Kierrätettävää jätettä syntyy valmistuksessa 2 860 kg ja hävityksen yhteydessä 2 340 kg. Vettä on kulunut valmistuksessa noin 20 tuhatta litraa ja käytössä 144 600 tuhatta litraa. Ongelmajätettä on syntynyt valmistuksessa 70 kg.

TAULUKKO 9. Jätteen synty

	<i>Valmistus</i>	<i>Käyttö</i>	<i>Hävitys</i>
Kaatopaikkajäte, kg	210	~0	650
Kierrätettävä jäte, kg	2 860	13	2 340
Jätevesi, l	20 540	144 600	
Ongelmajäte, kg	70	2	

Tuotteen koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset on seuraavassa taulukossa 10 jaettu vaikutusluokkiin tärkeysjärjestyksessä. Merkittävin on tuotteen vaikutus ilmaston lämpenemiseen, erityisesti käyttövaiheen osalta. Tämä johtuu tuotteen pitkästä käyttöiästä ja siihen liittyvästä välillisestä energian kulutuksesta (pääasiassa puhaltimen ja pumpun sähkönkulutuksesta, mutta vähäisessä määrin myös huollosta). Seuraavaksi merkittävimmät ympäristövaikutukset ovat happamoituminen, rehevöityminen ja otsonikerroksen ohentuminen.

TAULUKKO 10. Kielteiset ympäristövaikutukset elinkaaren ajalta.

	<i>Ekv. yksikkö</i>	<i>Valmistus</i>	<i>Käyttö</i>	<i>Hävitys</i>	<i>Kuljetukset*</i>
Ilmaston muutos GWP	kg CO <sub>2</sub>	23 521	158 761	70,5	1104
Happamoituminen	kg SO <sub>2</sub>	152	517	0,14	5,7
Rehevöityminen	kg PO <sub>4</sub>	11,3	42,8	~0	0,85
Otsonikato ODP	kg CFC11	~0	~0	~0	~0
Valokemialliset oksidantit POP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,2	5,4	0	0

Taulukossa 11 on käyttövaiheen ympäristövaikutusten vertailua koko elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin. Ilmastomuutoksen kannalta merkittävin elinkaaren vaihe on tuotteen käyttö. Tämä johtuu käyttövaiheen suhteellisen suuresta energian kulutuksesta: käyttö kuluttaa 89 prosenttia kaikesta elinkaaren aikana käytettävästä energiasta. Happamoitumiseen, rehevöitymiseen ja valokemiallisiin oksidantteihin vaikuttaa eniten valmistusvaihe.

TAULUKKO 11. Käyttövaiheen ympäristövaikutusten vertailua koko elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin.

	<i>Ekv. yksikkö</i>	<i>Koko elinkaari</i>	<i>Käyttövaihe</i>	<i>Käyttövaiheen osuus (%)</i>
Ilmastonmuutos GWP	kg CO <sub>2</sub>	182 282	158 761	87 %
Happamoituminen	kg SO <sub>2</sub>	669	517	77 %
Rehevöityminen	kg PO <sub>4</sub>	54	42,8	79 %
Otsonikato ODP	kg CFC11	~0	~0	~0 %
Valokemialliset oksidantit POP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,6	5,4	81,8 %



Tämä opinnäytetyön tavoitteena oli määritellä ja toteuttaa elinkaariarviointiohjelma, jolla pystytään laskemaan Retermia Oy:n asiakkaalle toimittaman neulalämmönsiirrin-järjestelmän ympäristövaikutukset lähtien raaka-aineen valmistuksesta tuotteen hävittämiseen asti ns. ”kehdosta hautaa”.

Opinnäytetyön tuloksena toteutettiin tietokantapohjainen ohjelma, joka laskee syötettyjen lähtöarvojen perusteella inventaarioanalyysin ja vaikutusarviointituloksia ja tallentaa ne omaan tietokantatauluun. Sovellus koostuu relaatiotietokannasta ja sitä käsittelevästä ohjelmasta.

Sovellus täytti tärkeimmät sille asetetut vaatimukset. Käytetyt ohjelmistotekniset menetelmät osoittautuivat tehokkaiksi. Tämän opinnäytetyön ohjelma räätälöitiin Retermian tarpeisiin. Ohjelmaan valittiin Ecoinvent-tietokannasta yksikköprosessit, joilla voidaan laskea Retermian tuotteiden valmistuksessa koituvia ympäristövaikutuksia. Jatkokehitystä ajatellen samalla periaatteella voitaisiin toteuttaa ohjelmaversio, jossa käyttäjä voisi valita itse haluamansa yksikköprosessit ja laskea niiden perusteella elinkaariarvio. Ohjelmalla voitaisiin tällöin laskea ympäristövaikutukset muillekin tuotteille. Ecoinvent keskustietokanta on laaja, noin 4000 yksikköprosessia, käsittäen prosesseja metallin tuotannosta maatalouteen. Se mahdollistaa monipuolisen ja laajan käytön elinkaariarvioiden toteutuksiin.

Ohjelmasta tehtiin työpöytäsovellus C++-ohjelmointikielellä käyttäen Microsoftin MFC kirjaston luokkia. Ohjelma voitaisiin toteuttaa myös kokonaisuudessaan selainpohjaiseksi. Tällöin ohjelma olisi käytettävissä internetin välityksellä paikasta riippumatta ja sillä voisi olla yhtäaikaaisesti useita käyttäjiä. Selainpohjaisen ohjelman edut työpöytäsovellukseen verrattuna ovat mm. paikkariippumattomuus, keskitetty hallinta ja monen käyttäjän yhtäaikainen käyttö.

## Lähteet

- Ahola, J 1999. Diplomityö. Tiedonkeruujärjestelmä teollisuussähköjärjestelmän tiedonhallintaa varten. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan osasto. Lappeenranta.
- Brandin, C. 2003. Information Modeling with XML. teoksessa XML Data Management. toimittanut Chaudhri, Rashid & Zicari. Addison Wesley.
- Chaudri, A., Rashid, A. & Zicari, R. 2003. XML Data Management. toimittanut Chaudhri, Rashid & Zicari. Addison Wesley.
- Codd, E. 1970. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Communications of the ACM, Vol. 13, Number 6.
- Connolly, T. Begg, C. & Strachan, A. 1998. Database Systems – A Practical Approach to Design, Implementation and Management. Addison-Wesley.
- Elmasri, R. Shamkant, B. & Navathe 1994. Fundamentals of Database Systems. The Benjamin/Cummings Publishing Company.
- Frischknecht R. & Jungbluth N., 2007. Overview and Methodology. Ecoinvent report No. 1. Dübendorf
- Gregory, K. 1999. Visual C++ 6 Tehokäyttäjän opas. Suomen Atk-kustannus. Jyväskylä.
- Heiskanen, E., Kärnä, A. & Lovio, R. 1995b: Tuotelähtöinen ympäristönsuojelu. SITRA 143.
- Holzner, Steven 2001. Inside XML. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy
- Hovi, A. Huotari, J. & Lahdenmäki, T. 2003. Tietokantojen suunnittelu ja indeksointi. Docendo Finland Oy.

- Koskimies, K. 1998. Pieni oliokirja. Suomen Atk-kustannus Oy.
- Laamanen, H. 2005. Diplomityö. XML-verkkotietokantojen suorituskykyvertailu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tietotekniikan osasto. Lappeenranta.
- Loikkanen, T., Mälkki, H., Virtanen, Y., Katajajuuri, J.-M., Seppälä, J. Leivonen, J. & Reinikainen, A. 1999. Elinkaariarviointi yritysten ja viranomaisten ympäristöhallinnan päätöksenteon tukena — nykytila ja kehittämistarpeet. Helsinki, Teknologian kehittämiskeskus. Teknologiakatsaus 68/99.
- MySQL 3.23, 4.0, 4.1 Reference Manual. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 20.11.2007]. Saatavissa: <http://dev.mysql.com/doc/refman/4.1/en/introduction.html>.
- Nykänen, O. XML 10 kohdan tiivistelmänä. Suomenkielinen käännös (28.8.2003). [verkkojulkaisu]. W3C Suomen toimisto [w3c@cs.tut.fi](mailto:w3c@cs.tut.fi), [viitattu 9.10.2007]. Saatavissa: <http://www.w3c.tut.fi/translations/xml/xmlin10pts/> Alkuperäisdokumentti [XML in 10 points: W3C Communications Team, w3t-comm@w3.org](#) Revised 13 Nov. 2001 (last update: \$Date: 2003/06/02 19:08:30 \$), Created 27 Mar 1999 by Bert Bos. ([Previous version](#))
- Proventia Environmental mangement, 2002. Retermia LCA raportti. Saatavissa Retermia Oy:ltä. Heinola.
- Retermia Oy, 2008. Retermia Oy internetsivut. [verkkojulkaisu]. [viitattu 25.4.2008]. Saatavilla: [www.retermia.fi](http://www.retermia.fi)
- Seppälä, J. 2004. Ympäristövaikutusten arviointi elinkaariarvioinnissa – alailmakehän otsonin muodostuminen, happamoituminen, pienhiukkaset ja ekotoksisuus. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040:2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Environmental man-

agement – Life cycle assessment – Principles and framework, 2. painos.  
Suomen standardisoimisliitto. Helsinki.

Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14044:2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki.

Swiss Centre for Life Cycle Inventories. 2007. [verkkójulkaisu]. [Viitattu 30.1.2008]. Saatavissa: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)

Thomas Connolly, Carolyn Begg, Anne Strachan 1998. Database Systems – A Practical Approach to Design, Implementation and Management. Addison-Wesley.

W3C. 2008a. Extensible Markup Language.[verkkójulkaisu]. [Viitattu 20.12.2007]. Saatavissa: <http://www.w3.org/XML>. viitattu 4.3.2008.

W3C. 2008b. XML Schema. [verkkójulkaisu]. [viitattu 18.12.2007]. Saatavissa: <http://www.w3.org/XML/Schema>. viitattu 5.3.2008.

XML Parser Functions 2008. [verkkójulkaisu]. [viitattu 23.4.2008]. Saatavissa: <http://nl3.php.net/xml>

Ympäristöministeriö. 2007. Energiatehokkuus. [verkkójulkaisu]. Valtion ympäristöhallinto [viitattu 9.10.2007]. Saatavissa: [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)

Ympäristöministeriö. 2007. Ympäristöteknologia. [verkkójulkaisu]. Valtion ympäristöhallinto [viitattu 9.10.2007]. Saatavissa: [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)

Zandstra, M. 2001. PHP Trainer Kit. IT Press.



## **Miljövarudeklaration för Retermia-nålvärmeåtervinning**

System bestående av 4 TF, 4 FF  
Strukturella element, oisolerade  
Luftflöde 22 m<sup>3</sup>/s (15 h), 11 m<sup>3</sup>/s (9 h)  
Värmeåtervinningskapacitet 546 kW  
Drifttid 24 h/dygn, 7 dygn/vecka

15.4.2007

## Företaget

Retermia Oy planerar och tillverkar värmeåtervinningselement för ventilationssystem. Värmeväxlarna tillverkas på Retermias fabrik i Heinola i Finland.

Retermia har tagit fram miljöledningsrutiner för hela sin verksamhet, av vilka den viktigaste är tillämpningen av ett miljöledningssystem enligt ISO 14001. Retermia har även genomfört livscykelanalyser (LCA) för att utreda den viktigaste miljöpåverkan från sina produkter.

## Beskrivning av produkten

Retermias nålvärmewäxlare omfattar VÅV-fläktar, strukturella element (isolerade och oisolerade) samt luftintags- och avluftshuvar.

Denna miljövarudeklaration gäller ett system bestående av åtta (8) nålvärmewäxlare (fyra tillufts- och fyra frånlufts-batterier) som installerats i höljen tillverkade av Retermia Oy. Luftflödet i systemet är 22 m<sup>3</sup>/s och värmeåtervinningskapaciteten 546 kW. Systemet är konstruerat för kontinuerlig drift: 24 timmar i dygnet (luftflöde 22 m<sup>3</sup>/s 15 h och luftflöde 11 m<sup>3</sup>/s 9 h), sju dagar i veckan. Väderdata från Göteborg (år 1990) har använts i värmeåtervinningskalkylering.

De viktigaste råvarorna i produkten är:

Aluminium	1493 kg
Stål, förzinkat	532 kg
Koppar	234 kg
Rostfritt stål	170 kg

Totalvikten för systemet med två nålvärmewäxlare är 3 013 kg och inkluderar förpackningsmaterialet (411 kg).

## Beräkningsmetoder

Beräkningarna av miljöpåverkan har gjorts enligt ISO-standarderna om livscykelanalys (ISO 14041) och bestämmelserna för miljövarudeklarationer (EPD) utgivna av Svenska Miljöstyrningsrådet.

Den funktionella enheten i beräkningarna är åtta (8) nålvärmewäxlare. Livscykelanalysen täcker alla faser i produktens livscykel – råvaruutvinning, komponenttillverkning, användning och avfallshantering

samt transporter förknippade härmed. I analysen ingår dock inte transporter som hänför sig till basråvarorna, t.ex. malm. Transporterna inkluderar följaktligen transport av utvalda råmaterial, alla komponenter och den färdiga produkten samt transporten av produkten när den blivit avfall.

Livscykeln har här för enkelhetens skull indelats i fyra faser: "Tillverkningen" inkluderar alla aktiviteter från råvaruutvinning till tillverkning av den färdiga produkten, "cradle-to-gate". "Användningen" täcker användning och service av produkten. "Avfallshantering" avser omhändertagande av avfall, i detta fall återvinning av aluminiets i produkten (omfattar förbehandling av skrot, smältning och legering). "Transporterna" inkluderar transport av råmaterial, produkten och det slutliga avfallet.

Tillverkning av rörsystemet, pumpen och fläkten ingår inte i analysen. Den ytterligare energi värmeåtervinningssystemet kräver i form av fläktens och pumpens elförbrukning inkluderas dock i Användningen.

Miljöpåverkan från produkttillverkningen allokeras till produkten enligt antalet använda arbetstimmar per total årlig produktionsvolym.

Produkten antas vara i kontinuerlig drift, dvs. 24 timmar i dygnet och 7 dygn i veckan (full flöde 15 h/d, halvt flöde 9 h/d) under 20 år. Fläktens verkningsgrad antas vara 70 % och tryckfallet på luftssidan 41 Pa. Beräkningen av elförbrukningen grundar sig på en finländsk elmix: atomenergi (27 %), fossila bränslen (23 %), vatten- och vindkraft (19 %), trä och träavfall (12 %), torv (7 %) och importerad energi (12 %).

Miljöpåverkan från olika emissioner har sammanställts i miljöpåverkanskategorier med hjälp av karakteriseringsfaktorer.

## Resursförbrukning vid tillverkning

De viktigaste resurserna hänför sig till energiproduktionen i industriprocesserna och metallbearbetningen. De två största resursgrupperna som behövs för att framställa de nödvändiga metallerna är vatten och malmer av olika slag.

Vatten	20 540 kg
Kopparmalm	15 720 kg
Bauxit	5 540 kg
Stenkol (sammanlagt)	2 270 kg
Luft	2 000 kg
Råolja (sammanlagt)	1 910 kg
Zink-kopparmalm	1 000 kg
Inert stenmaterial	700 kg
Zink-bly-kopparmalm	490 kg
Trä	450 kg

## Energiförbrukning

	Tillverkning	Användning*)	Totalt
<b>Elektricitet, värme och bränslen (MWh)</b>	39	321	360
	11 %	89 %	100 %

\*) Fläktens verkningsgrad antogs vara 70 % och tryckfallet på luftsidan 41 Pa.

## Avfallsgenerering

De olika industriella processerna i tillverkningsfasen genererar avfall. Dessa processer förbrukar också stora mängder vatten som i sin helhet tas med i siffrorna över avfallsvatten. Också i användningsfasen, särskilt vid underhåll, genereras avfallsvatten i form av förbrukade tvättmedel (ingår i siffrorna över avfallsvatten) och själva avfallsvattnet. Även om det i avfallshanteringsfasen skapas avfall, tas i denna också tillvara värdefullt råmaterial som senare kan återanvändas. Det mesta av produkten kan återvinnas efter att huvudkomponenterna har avskilts. Återvinning är ett avfallshanteringsalternativ som rekommenderas varmt. Retermia uppmanar till återvinning – vi återtar kasserade produkter och ser till att de tas om hand av lämpliga återvinningsstationer.



	<b>Tillverkning</b>	<b>Användning</b>	<b>Avfallshantering</b>
Avfall för markfyllnad, kg	210	~0 *	650
Avfall för återvinning, kg	2 860	13*	2 340
Avfallsvatten, kg	20 540	144 600**	
Farligt avfall, kg	70	2*	

\*) indirekt avfall från elproduktionen

\*\* ) indirekt från elproduktionen 600 kg + direkt från underhållet (högtryckstvätt) 144 000 kg

### Negativ miljöpåverkan

Tabellen här under visar miljöpåverkan under produktens hela livscykel rangordnad i miljöpåverkanskategorier enligt betydelse. Bidraget till den globala uppvärmningen är det största, speciellt under användningsfasen. Detta beror på den långa förväntade drifttiden och den härtill relaterade energiförbrukningen. Efter den globala uppvärmningen kommer försurning, eutrofiering och ozonnedbrytning.

Tabell 1: Negativ miljöpåverkan under livscykeln.

	<b>Karakteriseringsfaktorer</b>	<b>Tillverkning</b>	<b>Användning</b>	<b>Avfallshantering</b>	<b>Transporter *</b>
<b>Global uppvärmning GWP</b>	kg CO <sub>2</sub>	23 521	158 761	70,5	1104
<b>Försurning</b>	kg SO <sub>2</sub>	152	517	0,14	5,7
<b>Eutrofiering</b>	kg PO <sub>4</sub>	11,3	42,8	~0	0,85
<b>Ozonnedbrytning ODP</b>	kg CFC <sub>11</sub>	~0	~0	~0	~0
<b>Fotokemiska oxidanter POP</b>	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,2	5,4	0	0

\*) Miljöpåverkan från transporter är inkluderat även i Användning.

Tabell 2. Jämförelse mellan påverkan under användningsfasen och hela livscykeln.

	<b>Karaktäriseringsfaktorer</b>	<b>Hela livscykeln</b>	<b>Användningsfasen</b>	<b>Andel (%)</b>
<b>Global uppvärmning</b>	kg CO <sub>2</sub>	182 282	158 761	87 %
<b>Försurning</b>	kg SO <sub>2</sub>	669	517	77 %
<b>Eutrofiering</b>	kg PO <sub>4</sub>	54	42,8	79 %
<b>Ozonedbrytning ODP</b>	kg CFC <sub>11</sub>	~0	~0	~0 %
<b>Fotokemiska oxidanter POP</b>	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,6	5,4	81,8 %

Produktens användningsfas ger på grund av dess relativt stora energiförbrukning det största bidraget till den negativa miljöpåverkan. Så mycket som 89 % av den totala energiförbrukningen uppstår under användningsfasen. Energiförbrukningen i användningsfasen utgörs av den ytterligare energi värmeåtervinningssystemet kräver, dvs. indirekt elförbrukning orsakad av fläkten och pumpen.

### **Positiv miljöpåverkan**

Produktsystemet möjliggör en energiinbesparing på ungefär 14 950 MWh (netto) under produktens livstid, vilket är över 40 gånger mer än energiförbrukningen i livscykeln. Miljöpåverkan från tillverkningen, användningen och avfallshanteringen av produkten kompenseras sålunda mer än väl av användningen av produkten.

Retermia Oy  
 Paininpuuntie 17  
 FIN-18100 Heinola  
 tfn +358 3 871 690  
 fax +358 3 871 6955  
 webbadress: [www.retermia.com](http://www.retermia.com)