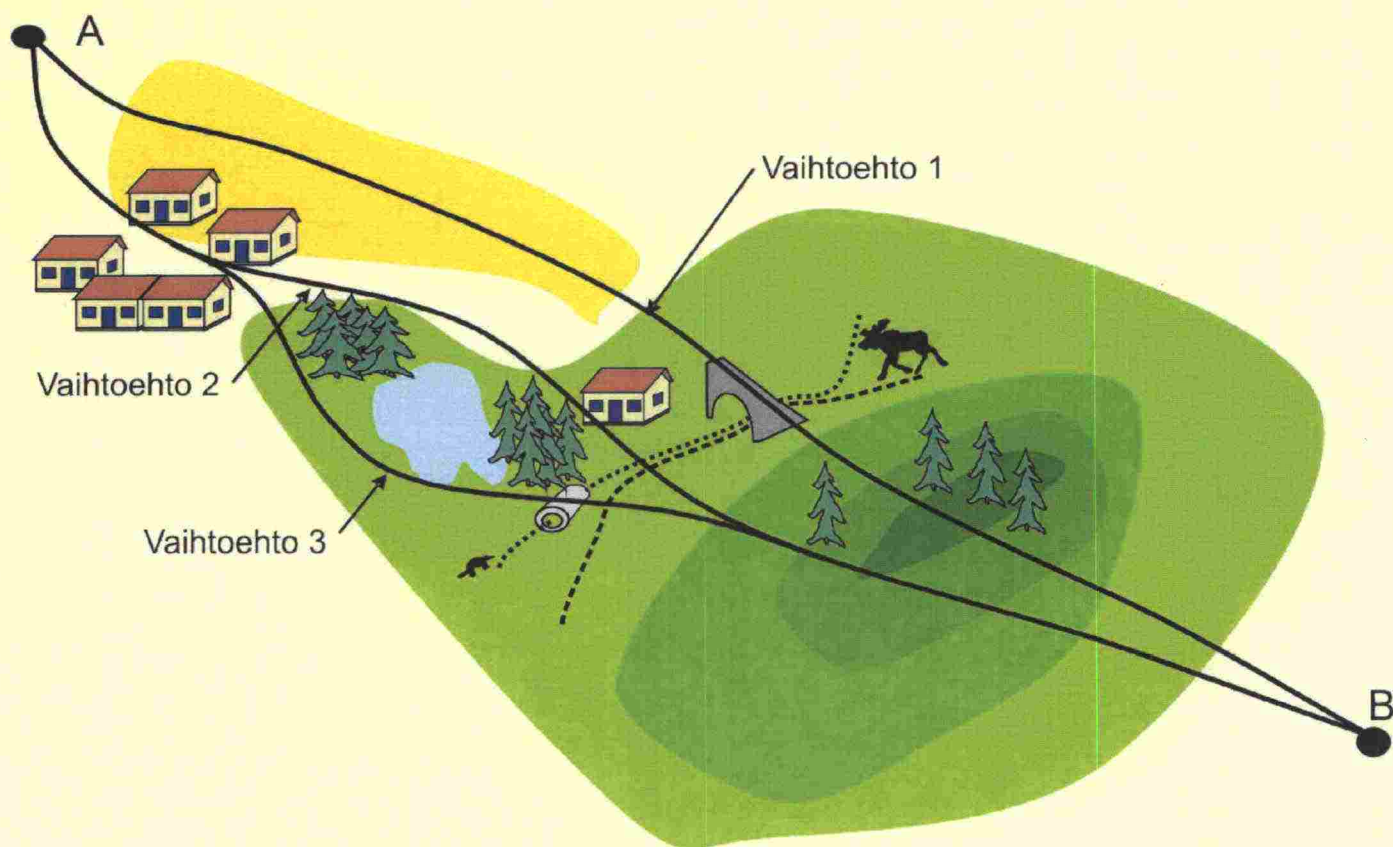


Leena Korkiala-Tanttu, Jyrki Tenhunen, Paula Eskola,
Tarja Häkkinen, Marja-Riitta Hiltunen ja Anu Tuominen

Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit; Ehdotus arviointijärjestelmäksi

Tiehallinnon selvityksiä 22/2006



Leena Korkiala-Tanttu, Jyrki Tenhunen, Paula Eskola,
Tarja Häkkinen, Marja-Riitta Hiltunen ja Anu Tuominen

Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit;

Ehdotus arviointijärjestelmäksi

Tiehallinnon selvityksiä 22/2006

Helsinki 2006

Tiehallinnon selvityksiä 22/2006

ISBN 951-803-712-4

ISSN 1457-9871

TIEH 3200998

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)

Tiehallinnon selvityksiä 22/2006

ISBN 951-803-713-2

ISSN 1459-1553

TIEH 3200998-v

Edita Prima Oy

Helsinki 2006

www.tiehallinto.fi

Julkaisua myy/saatavana

Edita (asiakaspalvelu.prima@edita.fi)

Faksi

Puhelin



Tiehallinto

Keskushallinto

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0204 22 11

Leena Korkiala-Tanttu, Jyrki Tenhunen, Paula Eskola, Tarja Häkkinen, Marja-Riitta Hiltunen ja Anu Tuominen: Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit; Ehdotus arviointijärjestelmäksi.. Helsinki 2006. Tiehallinto, Keskushallinto. Tiehallinnon selvityksiä 22/2006, XIV + 53 s. + liitt. 36 s. ISBN 951-803-712-4, ISSN 1457-9871, TIEH 3200998. www.tiehallinto.fi/julkaisut: ISBN 951-803-713-2, ISSN 1459-1553, TIEH 3200998-v.

Asiasanat:
Aihealuokka:

TIIVISTELMÄ

Vuoden 2004 lopulla käynnistyi Tekesin Infra-teknologiaohjelmaan kuuluva tutkimus "Väylärakentamisen ympäristöarvot ja ekoindikaattorit". Tutkimuksen päätavoitteena oli kehittää menetelmä, jolla väylän rakentamishankkeen aiheuttamat ympäristökuormitukset voitiin arvioida ja ottaa huomioon rakentamisprosessin eri vaiheissa. Väylällä tarkoitettiin tässä tapauksessa teitä, katuja, ratoja sekä vesiväyliä.

Ympäristövaikutuksia voidaan kuvata monin eri tavoin. Tämä työn tavoitteena oli kehittää erityisesti väylärakentamiseen soveltuva elinkaariarviopohjainen hankekohtainen arviointijärjestelmä. Järjestelmää voidaan soveltaa rakentamisen suunnittelussa, hankinnassa, toteutuksessa ja ohjauksessa erityyppisissä väylärakentamiskohteissa. Järjestelmässä ovat mukana kaikki arvioiden mukaan merkitykselliset ympäristöongelmaluokat.

Ympäristövaikutusten arviointiin laadittiin järjestelmäehdotus kokonaishaittaa kuvaavista ympäristöongelmaluokista. Ympäristöongelmaluokkien mukaiset vaikutukset arvioidaan kuormitustekijöiden avulla. Näistä kuormitustekijäindikaattoreista laadittiin kuvaukset sekä määritettiin mahdollisia mittaustapoja ja raja-arvoja. Joidenkin ympäristöongelmaluokkien indikaattorit ovat laadullisia. Näidenkin vertailu on kuitenkin mahdollista ehdotetun luokittelun avulla.

Tutkimuksessa eri ympäristöongelmaluokat asetettiin tärkeysjärjestykseen niiden merkityksellisyyden mukaan. Tämä arvottaminen tehtiin infra-alan eri tahojen edustajien yhteisessä workshopissa. Arvottamistilaisuudessa annettiin painoarvoja myös erälle ympäristöongelmaluokkien kuormitustekijöille, joille ei ollut olemassa karakteristisia kertoimia.

Arviointijärjestelmä EIMI (Environmental Impacts of Infrastructure) on systemaattinen tapa arvioida ympäristövaikutuksia ja vertailla vaihtoehtoja. Tuloksen oikeellisuus tietenkin riippuu itse järjestelmästä - sen ympäristöongelmaluokkien kattavuudesta ja valittujen painotuksien kelpoisuudesta - sekä järjestelmän soveltamistavasta ja erityisesti lähtötietojen huolellisesta keruusta. Järjestelmä sisältää subjektiivisia, mutta kuitenkin läpinäkyviä painoarvoja, joita voidaan muokata tavoitteita vastaavaksi.

Arviointijärjestelmän käytön ongelmaksi muodostuu tarvittavien lähtötietojen saatavuus, vaihtoehtojen vertailussa kaikkien oleellisten tekijöiden huomiointi. Järjestelmän käyttöä saattaa rajoittaa se, että tutkimuksessa esitetyt arvottamisen painoarvot ovat subjektiivisia arvioita. Järjestelmässä käytettävät ympäristöongelmaluokkien ja indikaattoreiden painoarvot voidaan tarvittaessa arvioida ja asettaa uudelleen; samoin kuin järjestelmän laajuus eli mukaan otettavat ympäristöongelmaluokat ja indikaattorit tulisi tapauskohtaisesti arvioida. Käyttöä saattaa rajoittaa toistaiseksi myös se, ettei kaikille kuormitustekijöille ei ole määritetty indikaattoria tai mittaustapaa tai että indikaattori on epätäydellinen.

Arviointijärjestelmästä on tavoitteena jatkossa kehittää työkaluohjelma, jonka avulla vaihtoehtoja voidaan verrata toisiinsa yleissuunnitelma-, rakennussuunnitelma- ja tarjousten vertailuvaiheessa. Lisää tutkimusta tarvitaan erilaisten kuormitustekijöiden lähinnä maankäyttöön liittyvien indikaattorien ja niiden mittaamisen kehittämiseksi.

Leena Korkiala-Tanttu, Jyrki Tenhunen, Paula Eskola, Tarja Häkkinen, Marja-Riitta Hiltunen ja Anu Tuominen: Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit; Ehdotus arviointijärjestelmäksi. [Environmental Values and Ecoindicators of the Infra Construction]. Helsinki 2006.. Finnish Road Administration, Central Administration. Finnra reports 22/2006, XIV + 53 p. + app. 36 s. ISBN 951-803-712-4, ISSN 1457-9871, TIEH 3200998. www.tiehallinto.fi/julkaisut: ISBN 951-803-713-2, ISSN 1459-1553, TIEH

Keywords:

ABSTRACT

The "Environmental values and eco-indicators in infra construction" study started at the end of 2004. It was part of the technology programme INFRA of the Finnish Funding Agency for Technology and Innovation (Tekes). The main objective of the study was to develop a method to estimate the environmental impacts of infra-structure construction taking in to account the different stages of the construction project. The infrastructure in question was restricted to include roads, railways, streets and water ways.

Environmental impacts can be described in many ways. In the study, the objective was to develop a life cycle based assessment method to estimate environmental impacts of a infraconstruction project. The method was designed so that it could be implemented in the design, building, maintenance and management of infrastructure. The infra-structure concerned included roads, streets, railways and water ways. The system includes all remarkable factors of the environmental impact categories and corresponding environmental stressors.

The project developed a draft for an assessment method EIMI (Environmental Impacts of Infrastructure). With the help of the system the total environmental impact is described in terms of eleven environmental impact categories. The categories are indicated with the help of environmental stressors. The system includes indicator descriptions, their potential measuring methods and limit values. Some stressors are described qualitatively and with the help of classification.

To be able to estimate the total environmental impact, the environmental impact categories were arranged in order of importance according to their relevance. The evaluation was made in a public work-shop together with the representatives of different sectors of infrastructure.

The assessment method EIMI is a systematic and simplified method to estimate environmental impacts. The method is powerful when different alternatives are compared with one other. However, the quality of the result depends on the assessment method itself - especially the comprehensiveness of impact categories and the validity of the weighting. In addition, the quality of the result depends of the care taken in the assessment procedure and especially on the accuracy of data collection. The method includes subjective yet transparent weightings, which may be chosen to meet one's goals.

Two practical problems arise when the assessment method is exploited. Firstly, all the necessary source data may not be available, and, secondly, not all essential factors should be included in the comparisons. One must bear in mind that the weightings of the categories are rough estimations and thus they should be re-estimated from case to case. At the same time the scope of the assessment method – the number of impact categories and stressors – should be estimated. One restricting factor may be that not all stressors have indicators or a measuring method at all or the stressor may be insufficient.

In the future an assessment tool will be developed to be able to compare different structural alternatives, tenders or designed alternatives. More research is also needed to further develop stressors, indicators and their measuring methods.

EXECUTIVE SUMMARY

INTRODUCTION

The research project "Environmental Values and Ecoindicators of the Infra Construction" was launched at the end of 2004 as part of the INFRA Technology Programme of the Finnish Funding Agency for Technology and Innovation (TEKES). The research was carried out by VTT and the Finnish Environment Institute (SYKE) and funded by TEKES, the Finnish Road Administration, the Finnish Road Enterprise, the Finnish Rail Administration, the Public Works Department of the City of Helsinki, the Central Association of Earth moving Contractors in Finland, SYKE and VTT.

The main goal of the study was to develop a method for assessing the environmental impact of infra construction projects and for considering the assessment data at different stages of the construction process. In this context, the term 'infra' or 'infrastructure' referred to roads and streets, railways and waterways. The project team proposed a set of ecoindicators to be used as a tool for construction design, procurement, implementation and management. The structure of the assessment method allows it to be used at different levels of infra construction on different sites. The team prepared a description of each indicator, including potential measuring method and limit value. Some environmental stressors were such that only qualitative or indirect indicators were possible. The assessment method can be used to determine the total impact value of a construction project or for the use or maintenance of the infrastructure. Other components of an economic life cycle – functionality and economic efficiency – will be studied in other projects.

Indicators for ecologically sustainable construction are needed to support decision making. Many decisions that have a significant impact on the outcome have to be made at the initial stages of the planning (Figure 1), at which time there is little detailed information on the impacts of the project. The scope of a project may be extensive or its principal impacts may be indirect; furthermore, projects are seldom identical. For these reasons it is important to develop an indicator method that makes it possible to assess and compare the impacts. Furthermore, various procurement processes in infra construction require an open indicator method that can be adapted to different needs.

The following studies and reports provided the background research for the ecoindicators project:

- The "Life Cycle Systematics in the Infrastructure Sector" project' (Lehmus et al. 2002); the bibliography review carried out in connection with the project addressed the status of development of life cycle management methods in Finland and abroad.
- Finnra's life cycle and other environmental reviews
- The "Pilot projects for life cycle studies in road maintenance" project – testing the implementation of life cycle thinking (Korkiala-Tanttu et al. 2005) into procurement
- The Finnish Road Enterprise's life cycle reviews
- International reports (UK and the Swedish road authority)
- National and international indicator studies in transportation research

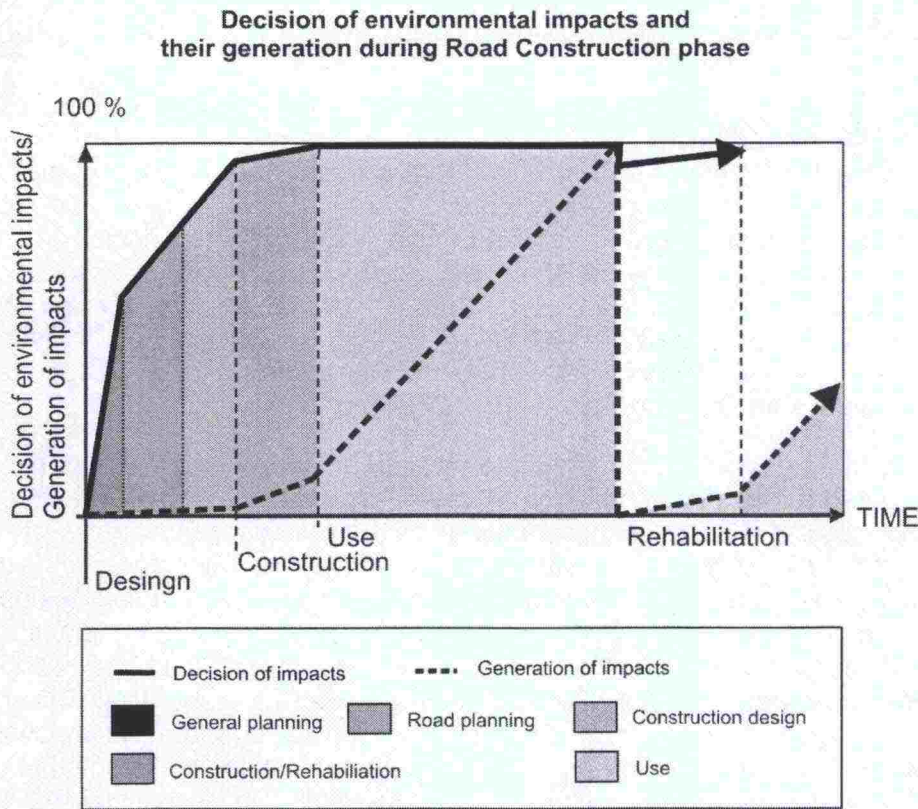


Figure 1. The principle of generation of environmental impacts and decision of environmental impacts in different phases of infrastructure process.

The first sub-target of the study was to lay the foundation for the development of a tool that clients, contractors and materials suppliers could use to assess the environmental impacts of infra construction projects. Environmental impacts will be emphasised in future contracts, which requires reliable, industry-approved indicators for their assessment and monitoring. Compared with housing construction, stressors related to land use and soil pose a special challenge.

Another sub-target was to describe the various stressors and list them in order of importance. Measurable variables, which could also be converted into life cycle costs where applicable, were used as indicators as far as possible.

The assessment method was designed to serve goal-setting, monitoring and evaluation of results on five levels: (1) the client's goal-setting, (2) use of infrastructure, (3) various project design stages, project implementation and management, (4) making, assessing and comparing orders, and (5) assessment and targets on a company level. Besides the first and fourth levels, construction design, construction and management were assigned the most weight. The assessment method created also serves the purpose of defining potential bonuses or penalties related to environmental characteristics. The assessment method can be used as a tool when setting project requirements and evaluating the process at different stages. It also allows comparing different alternatives with regard to environmental values.

OTHER ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHODS AND PROCEDURES

There are several methods and ways of assessing environmental impacts. The purpose of environmental impact assessment (EIA) is to ensure that the impact of any project that has significant effects on the environment will be investigated in sufficient detail during the planning process. EIA also gives people an opportunity to participate in and contribute to the planning. Even if a project is not covered by statutory EIA, the party in charge of the project must ensure it has sufficient information on its environmental effects.

The operating and financial plans for infrastructure projects are prepared in accordance with the general instructions issued by the Ministry of Transport and Communications, which also serve as a basis for the EIA of planned projects. The Finnish Road Administration reports the confirmed unit values used in the profitability calculations for transportation projects in its publication "Tieliikenteen ajokustannukset" (Driving costs of road traffic). The values were last confirmed in 2005. The publication includes basic values for vehicle, time and accident costs and cost calculation methods - mainly for project reviewing purposes - as well as a brief review of the pricing of the detrimental effects of noise and exhaust gases. The review is made from a macroeconomic (rather than private) perspective. LIPASTO is a calculation system for traffic exhaust emissions and energy consumption in Finland developed by VTT. LIPASTO (<http://lipasto.vtt.fi/index.htm>) is an inventory model for regional emissions (on the level of municipality, province and the whole of Finland), the results of which serve as 'official' transport emissions for Finland.

The VEMOSIM system provides road-specific energy consumption and emission data. The system makes it possible to determine energy consumption and emission levels specifically for each road on the basis of road geometrics, traffic control data (speed limits, traffic lights, intersection arrangements), traffic data and vehicle properties. The results are first available per vehicle type, then on a computational basis per vehicle group and then as continuous information along the road geometry and finally as a summary for the entire road.

The main purpose of Life Cycle Analysis (LCA) is to obtain a maximally complete understanding of the environmental impact of a product or function throughout its entire life cycle. The analysis results serve as a basis for comparing products, production processes or functions. They can be used by enterprises as a decision-making or marketing tool, as a basis for product, process or method optimization and for evaluating development needs. The analysis is also a way of obtaining the basic data required for the development of a project's cost structure or an enterprise's environmental protection activities, or in political decision making.

The Material Flow Analysis (MFA) developed by Wuppertal Institute calculates the amounts of materials directly taken into economic production processes or consumption. The analysis also calculates the 'ecological rucksack' or hidden flows required for these materials to be made available for production and consumption. In this way it is possible to calculate the total consumption of natural resources, which measures the total amount of natural materials consumed by the economy commensurately as tons. In MFA the mutual values of material flows are determined on the basis of

mass. The analysis does not take differences between the level of harmfulness of the materials into account, but calculates the total sum of all material tonnes.

Material Input Per Service Unit (MIPS) is a unit of measurement that can be used to assess the environmental load of a product or service. The material input (MI) includes the total amount of material consumption throughout the product's life cycle in units of mass (g, kg, t) from the introduction of raw material to waste management. MIPS also includes the energy input as material kilograms required for energy production and distribution. MIPS is calculated by dividing the material input (MI) by the total amount of the service (S), such as the number of times a product or service is used, the number of kilometres driven, or kilograms of the product produced. MIPS has been particularly criticised for treating all natural materials as equal, irrespective of their occurrence or availability, or the environmental impact resulting from the processing of the material.

ASSESSMENT METHOD DESCRIPTION

The method for assessing environmental impacts in infra construction is a systematic method with which it is possible to analyse the activities of the project that affect or burden the environment and the resulting environmental stressors and impacts using Decision Analysis and Life Cycle Analysis methods. The indicator method combines emission data obtained from measurements and calculation with specialists' assessments of environmental stressors and the views of the decision makers and specialists on the mutual importance of a project's environmental problems. The assessment method applied in this study is a simplified version of the method developed at SYKE for the analysis of activities that increase the environmental load and environmental stressors in the province of Etelä-Savo (Tenhunen and Seppälä 2000). The acronym of the assessment method is EIMI (assessment method for Environmental IMPacts of Infrastructures).

The assessment method describes the problem of assessing the environmental impact on a value tree hierarchy (Figure 2). The hierarchical structure is based on a classification system that determines the total impact value, which is divided into the environmental impact categories, and further into the groups the environmental stressors associated with the infra construction project according to their cause-effect relationships.

The environmental impact categories used were chosen on the basis of their perceived importance for infra construction. The choice was based on direct or indirect emissions and other stressors. The method does not take all stressors associated with infra construction into account. If a particular emission and its environmental impact were considered minor, it was not included. However, it is possible to add new environmental impact categories and stressors to the method on a case-by-case basis.

Defining environmental impact categories that would be applicable to an infra construction played a central role in terms of the assessment method's functionality. The categories were to be defined in a manner that would make it possible to assess their mutual importance. According to the theory of Multiobjective Decision Analysis, decision criteria - here, environmental impact categories - should be mutually separate and independent. Furthermore, the categories should, as far as possible, describe the entire range of environmental impacts attributable to the infrastructure.

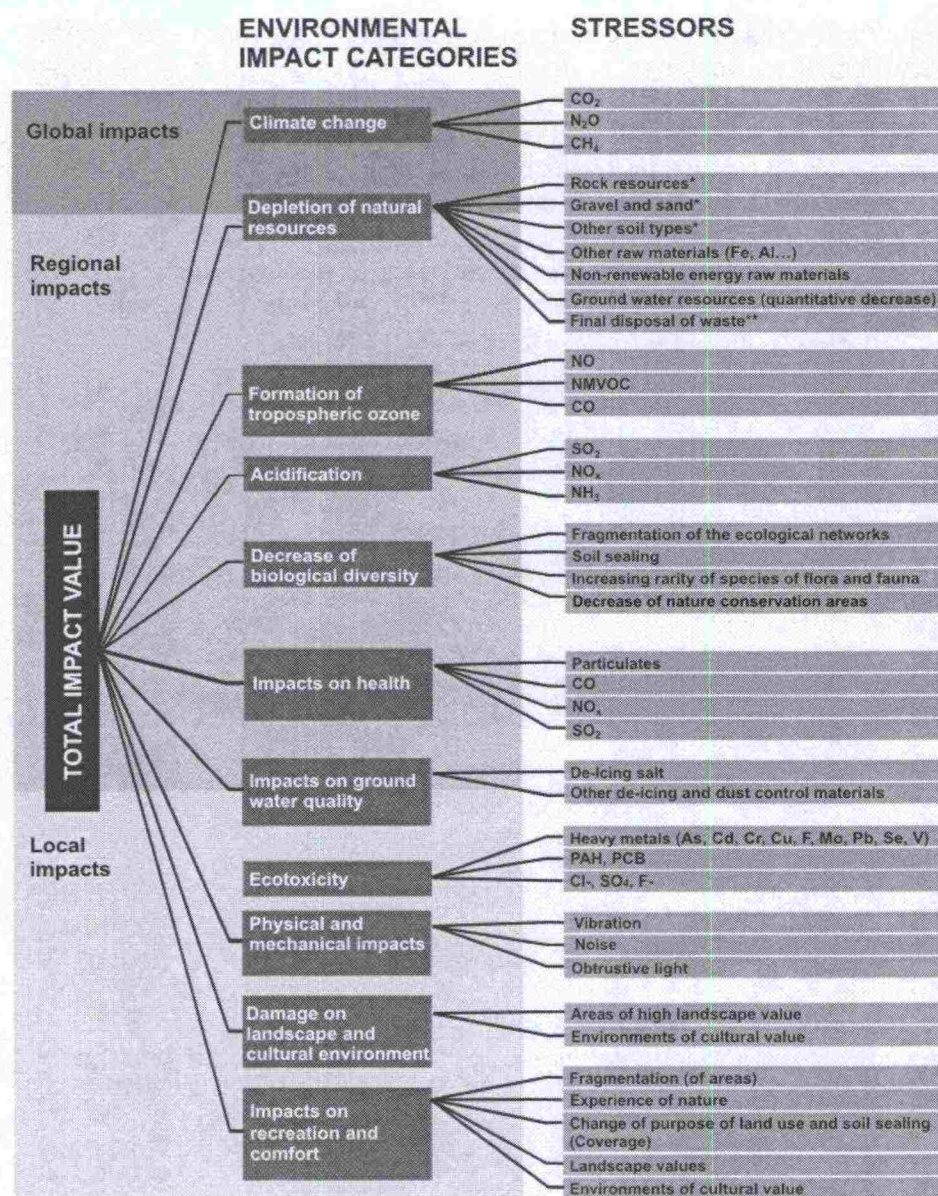


Figure 2. The EIMI assessment method, tree hierarchy.

The stressors associated with each environmental impact category are made equivalents within each category using characterisation factors. For example, different greenhouse gas emissions can be expressed as CO₂ equivalents using Global Warming Potentials (GWPs). The characterisation factors are equivalent factors used in LCA, determined taking current knowledge of the importance of stressors in the given environmental impact category into account.

It is not always possible to specify an exact volume estimate or pinpoint a scientifically justifiable characterisation factor for each stressor. With regard to environmental impact categories associated with these stressors, indicator computation is based on subjective weights assigned by specialists, which will be used instead of characterisation factors. The categories to which the specialists' subjective assessments are applied include physical and mechanical impacts, depletion of natural resources, damage on landscape and cultural environment, decrease of biological diversity, and impacts on recreation and comfort. Calculating the total impact value with the

assessment method is not possible unless each environmental impact category has been assigned a weight. The weighting factors were determined in a workshop from the perspective of minimising the environmental impact of infra constructing. Emissions from road and railway construction projects in Finland as well as emissions for the whole of Finland were used as reference. On the basis of Multiobjective Value Theory, the environmental impact category indicator values must in this case be normalised with normalisation factors calculated according to the emissions resulting from the reference system. This report includes reference calculations from the Finnish road, street and railway construction projects.

The total impact value $V(a)$ for an infra construction project alternative (product system) a is calculated by multiplying the normalised impact indicators with the weights assigned to the impact categories and summing the multiplication results:

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{I_i(a)}{N_i(R)} \quad (1)$$

where w_i = weighting factor for the environmental impact category,
 $I_i(a)$ = the indicator value of the environmental impact category i , which is derived from product system a and
 $N_i(R)$ = normalisation factor for the environmental impact category i
 calculated on the basis of emissions from the reference system R .

The environmental impact category indicator $I_i(a)$ is calculated with the following formula:

$$I_i(a) = \sum_{j=1}^m C_{i,j} \times Load_{i,j}(a) \quad i = 1, \dots, 11 \quad (2)$$

where $C_{i,j}$ = characterisation factor or weighting factor for the stressor j of the environmental impact category i ,
 $Load_{i,j}(a)$ = volume of emissions or indicator value for the stressor j of the environmental impact category i specified for the product system (infra construction project alternative) a .

The normalisation factor $N_i(R)$ is calculated with the following formula:

$$N_i(R) = \sum_{j=1}^m C_{i,j} \times Load_{i,j}(R) \quad i = 1, \dots, 11 \quad (3)$$

where $C_{i,j}$ = characterisation factor or weighting factor for the stressor j of the environmental impact category i ,

$Load_{i,j}(R) =$ volume of emissions or indicator value of the stressor j of the environmental impact category i specified for the reference system R .

It may be difficult to identify suitable indicators to describe the stressors ($Load_{i,j}(a)$) associated with certain environmental impact categories (such as damage on landscape and cultural environment, decrease of biological diversity or impacts on recreation and comfort). On the other hand, it should also be possible to determine a value that describes the loading ($Load_{i,j}(R)$) on the reference area that is required for calculating the normalisation factor. If an indicator that adequately satisfies the above-mentioned criteria is not available for a stressor shown in Figure 2, it can be omitted.

REFERENCE SYSTEM STUDIES IN INFRA CONSTRUCTION

The research was concerned with producing reference system through a rough assessment of the total annual environmental load of street, road and railway construction in Finland. The goal was to determine the significance of various factors for the environmental load in infra construction, as well as to assess the significance of infra construction with regard to the environmental load on the national level in Finland. The assessment involved street, road and railway construction.

The team first provided estimates of the annual volumes of material resource consumption and transportation and the use of machinery, and then determined the environmental profiles for these factors. In this context an environmental profile refers to a list of harmful emissions and depletion of natural resources per reviewed unit. A summary of the results is shown in Table 1. The table shows the estimated annual levels of energy and material consumption in road construction, and the environmental load as airborne carbon, sulphur, and nitrogen oxide emissions and particles. Corresponding figures are also given for railway construction and urban street construction. The project team also roughly estimated the share of the overall environmental load in Finland attributable to street, road and railway construction. For comparison purposes, SYKE collected data on resource consumption and harmful emissions on the national level. The data is from year 2003 (Table 1).

According to this estimation the construction of streets, roads and railways depletes non-renewable energy sources by approximately 11,000 terajoules annually, as well as causes approximately 0.8 million tonnes of carbon dioxide emissions. Street, road and railway construction accounts for approximately 1% (0.6 - 1.1%) of the consumption of non-renewable energy and carbon, sulphur and nitrogen oxide emissions in Finland. This share is significantly smaller than the aggregate share of industry as a whole, however it is on par with some individual industrial sectors.

The environmental load caused by infra construction results largely to the production of asphalt with regard to parameters other than use of non-renewable natural resources. Road, street and railway construction account for a highly significant share of the consumption of non-renewable natural resources compared with the overall levels in Finland. The figure for infra construction includes all natural resources, including fossil resources. Thus the results are not fully comparable with the figure presented at the level of the whole of Finland since this only includes rock and soil material.

Infra construction accounts for approximately 50% of the depletion of the soil and rock in Finland.

Table 1 Environmental load resulting from street, road and railway construction as well as environmental load on national level in Finland.

	Units	Road construction	Street construction	Railway construction	Total infra construction	Finland	Proportion of Finland's load (%)
Non-renewable energy	TJ	6 300	4 100	978	11 400	1 130 000	0.1
Non-renewable natural resources	mil. tn	40	6,7	5,1	52 *	92 *	57*
CO ₂	mil. tn	0,49	0,32	0,096	0,81	73	1.1
SO ₂	tn	300	200	91	590	99 000	0.6
NO _x	tn	710	290	277	1 300	219 000	0.6
CH ₄	tn	33	7,0	86	126	236 000	0.05
NM _{VO} C	tn	31	15	9,9	56	145 000	0.04
PM ₁₀	tn	53	19	3 520	3 600	55 000	0.7

* The figures are not fully comparable since the figure for infra construction also includes materials other than rock and soil (such as fossil resources, which are required for the production of fuels and bitumen), while the Finnish figure only includes rock and soil materials.

RESULTS OF THE VALUE ASSIGNING TASK

In the EIMI assessment method for infra construction, environmental stressors were divided into environmental impact categories according to their environmental impact (Figure 2). The method makes it possible to integrate environmental data into category indicators and, if necessary, into a single figure that describes the entire project. Stressor information is integrated using weighting factors.

The environmental impacts of an infra construction project are largely case-specific. Knowledge of local environmental conditions and the design plan is a prerequisite for assessment. However, in this project the goal was to create an assessment method that uses the values assigned to environmental impact categories by specialists and the stressors that lack a characterisation factor. The characterisation factors used in LCA could be applied to some of the chosen stressors, in which case subjective valuation was not necessary.

Assigning weights to the environmental impacts was carried out in workshop, where SMART techniques based on Decision Analysis was adapted. All workshop participants arranged the environmental problems in order of importance, and assigned a weight to each category. The weight given to the least important category was 10. The infra construction was divided into two parts: the general planning phase, and the construction and maintenance phase. Environmental problems were evaluated separately for both phases. Figures 3 and 4 show the weights that were assigned to each environmental impact at the workshop.

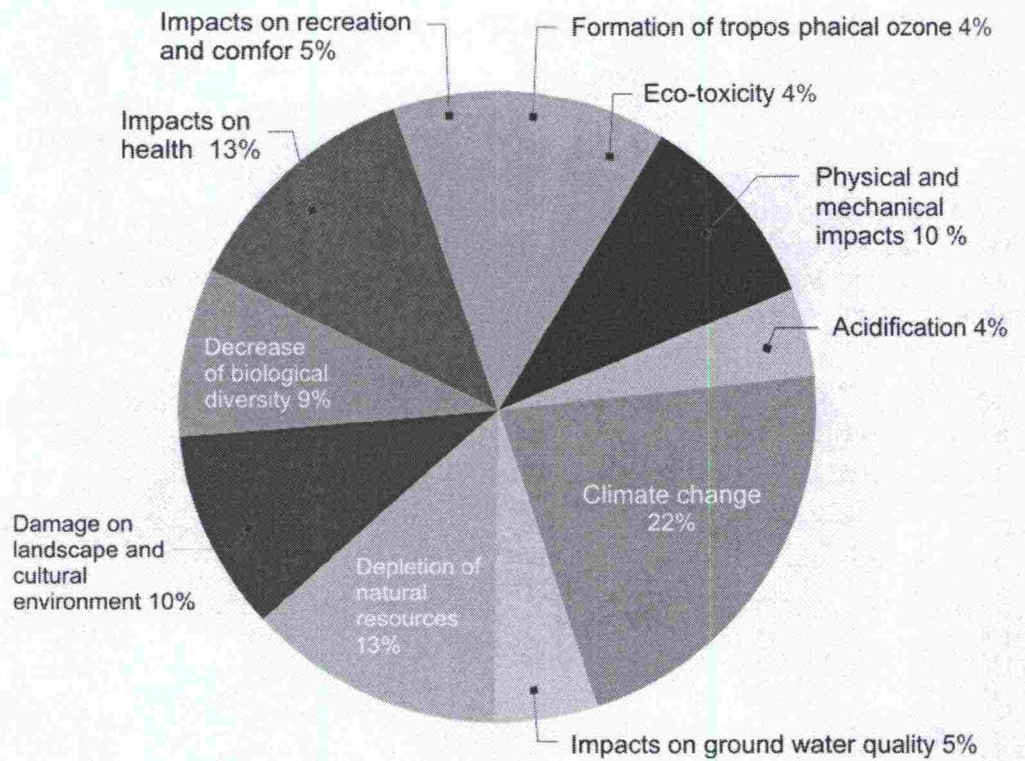


Figure 3. The median weights assigned to different environmental impacts in the general planning phase of the infra project, calculated on the basis of the weights determined by individual respondents.

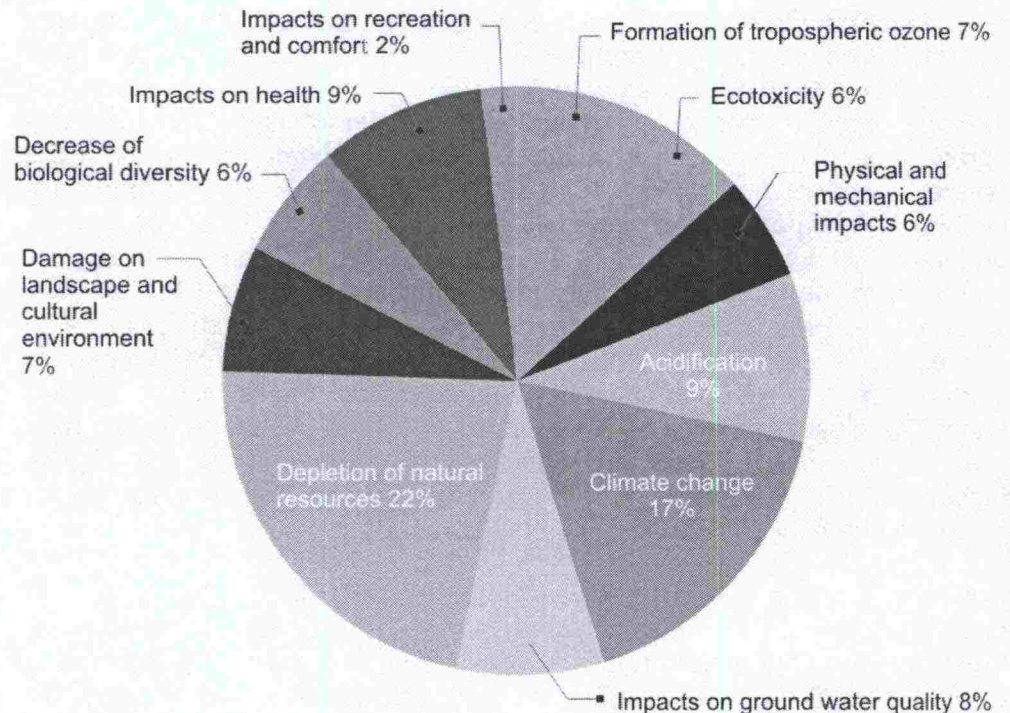


Figure 4. The median weights assigned to different environmental impact in the construction and maintenance phase of the infra project, calculated on the basis of the weights determined by individual respondents.

METHOD PILOTING, EXAMPLE CALCULATIONS

In order to test the assessment method, the project team made example calculations for the Valkeakoski site (MT307). The analysis was based on an example calculation for a new 460-metre stretch of road (structure A). For comparison purposes, a calculation was made with the Meli-program for an imaginary structure (structure B) in which the material of the base layer was replaced with cement stabilisation and the filter layer material was replaced with blast furnace sand. The reviewed structures were otherwise identical. The results of the example calculation are shown in Table 2.

Table 2 An example calculation. Environmental impacts of structures A and B compared to each other in different environmental impact categories.

Environmental impact categories	Weighting factor, w_i^*	Structure A (MT307 Valkeakoski site, 460 m)			Structure B (imaginary)		
		Environmental impact category indicator, I_{ij}	Normalised impact indicator, I_i/N_i	Total impact value, V	Environmental impact category indicator, I_{ij}	Normalised impact indicator, I_i/N_i	Total impact value, V
Formation of tropospheric ozone	0,028	0,39	0,00135	0,038	0,23	0,00081	0,023
Ecotoxicity	0,077	0,00007	0,00013	0,010	0,00009	0,00016	0,012
Acidification	0,026	0,21	0,00079	0,020	0,12	0,00045	0,012
Climate change	0,136	116	0,00024	0,032	72	0,000147	0,020
Depletion of natural resources	0,281	1570	0,00017	0,048	615	0,000067	0,019
Impacts on health	0,061	0,00010	0,00101	0,061	0,000066	0,000663	0,040
				Total impact value:	Total impact value:		
				0,209	0,125		

*Determined in the Workshop

The total impact value was determined as 0.209 for structure A and 0.125 for structure B. Thus structure B was slightly more environmentally friendly than structure A. Structure A had a base layer stabilised with bitumen, with lower layers made of crushed rock and sand. In structure B the base layer was stabilised with cement and the lower layers of crushed rock and blast furnace sand. Both structures were covered with asphalt. A comparison of the environmental impact category indicators demonstrates how the adverse impacts associated with each structure are distributed between different impact categories. Structure A has higher values for indicators describing the formation of tropospheric ozone, acidification, climate change and impacts on health due to the airborne emissions. These are mainly attributable to the production of materials used in asphalt and the bitumen stabilisation. Production of the cement used in cement stabilisation also causes significant airborne emissions; however, in this case the amount of cement used was so small as to have no significant impact on the calculations. The blast furnace sand used in structure B shows in the results as a lower consumption of natural resources. Correspondingly, the slightly higher ecotoxicity indicator value for structure B is due to the contaminants dissolving from the blast furnace sand.

However, comparing the structures' total impact values is only possible once the total impact values of each structure have been calculated, since the mutual weights of the impact categories are only taken into account at this stage. Looking at the weighted and normalised category indicators, we can see that the total impact value for structure A mainly comprises impacts on health, depletion of natural resources and formation of tropospheric ozone. As for structure B, the focus lies on impacts on health, formation of tropospheric ozone and climate change. The total impact value is relatively evenly divided between different impact categories for both struc-

tures, which is explained by the relatively minor differences between the structures and possibly the insufficient sensitivity of the method for certain factors.

The example calculation shows that the EIMI assessment method allows mutual comparisons between the environmental impacts of various infra construction projects in the planning and construction stage. However, applying the method first requires sufficient initial data on the environmental stressors associated with the construction projects studied. These can be calculated e.g. using a suitable calculation tool (currently the Meli-program or later a new further developed tool).

With regard to development of the assessment method, it would be extremely important to include all environmental impact categories, since the current categories place too much emphasis on energy consumption and related emissions. Four of the categories use airborne emissions as indicators, while factors related to land use, landscape values, cultural environment and recreation opportunities are completely excluded from the analysis. The analysis is also defective in the sense that the environmental impact data was incomplete and it was not possible to determine a characterisation factor for each environmental impact category. Further development of the method should also include sensitivity analyses. Based on the analysis results, the method should then be developed to respond to changes with appropriate sensitivity and show differences between the structures compared.

The method for normalising the impact indicators also requires further development. It should be considered whether the current method of normalising all indicators to the national level is suitable for all impact categories, or whether normalisation should be developed in a way that allows taking local, regional and global effects into account. In such a case it would be possible to consider the different types of impact the various categories have. For example, the effects of climatic change may be regarded as global, the effects of acidification and depletion of natural resources as regional, and the effects of ecotoxicity and land use as local. This type of analysis also poses an additional challenge with relation to making the environmental impact categories mutually comparable. If the goal is only to compare different alternatives, normalisation may in be omitted, in which case the comparison is always made with reference to one of the alternatives considered. The advantage of the conventional normalisation method is that the magnitude of the impacts can be compared to the reference level, which makes it easier to assess the significance of the impacts.

Although the method is essentially functional, further development is necessary at least in the following areas:

- including missing environmental impact categories in the analysis (determining their characterisation and normalisation factors)
- determining the missing normalisation and characterisation factors for the environmental impact categories included
- developing normalisation to allow consideration of the impact on the local, regional and global level, as well as making the environmental impact categories mutually comparable.

- sensitivity analyses (including the effects of limiting the scope of the analysis, the effects of different normalisation methods, etc.)
- developing an environmental impact calculation tool that will generate all the data required for the impact assessment (necessary impact data in correct format).

APPLICABILITY OF THE EIMI ASSESSMENT METHOD

The environmental indicator assessment method EIMI for road construction can be applied when comparing alternative solutions or construction methods. The assessment method can be applied at different stages of infra construction. The indicators required at the general planning stage apply to land use and its effects. The indicators required for comparing tenders concern the environmental impact of material and energy flows and natural resource consumption.

The method should also be used when carrying out EIA reviews for infra construction projects. The impact of land use could be systematically assessed using the same land use indicators. When necessary, an approximate model could also be created to assess the volume of material and energy flows.

One potential problem associated with the method is lack of availability of baseline data. In a comparative assessment method it is important that all essential factors are included. Satisfying these criteria may complicate the use of the method, unless a sufficient amount of reliable data is available. To solve this problem the necessary background data on the environmental profiles of various material and energy flows should be available during the design process. The design process should also include computational capacity; for example, the design software used could support environmental impact assessment. When comparing different options, the essential aspect is to be able to pinpoint the differences between them. Thus it is not necessary to include all the data on environmental impacts when using the method for comparison purposes.

The assessment method must be adapted to each project separately. The environmental impact categories and indicator weights should be assessed and set on a case-by-case basis. The scope of the method - the environmental impact categories and indicators - should also be assessed separately for each case. The assessment method includes all environmental categories deemed important, as well as category-specific stressors. Some stressors currently lack a suitable indicator that describes or measures its environmental load. These categories or stressors lacking a distinct indicator include obstructive light or noise.

The total impact value calculated with the method can be applied in various ways to steer procurement. An application procedure with full instructions does not exist for the time being. The "Pilot projects for life cycle studies in road maintenance" project (Korkiala-Tanttu et al. 2005) created two different methods for considering environmental impact in procurement. In the first pilot project (Mt307), the environmental impacts calculated with the Meli software were assigned values in the range of $\pm 10\%$ at the tender comparison stage. The environmental impact at the site was calculated in proportion to the environmental impact of the reference site. Another pilot project (Vt9 - Lieto) applied the fixed price design and build contract, i.e.

the purchase price was fixed and contractors were evaluated on the basis of the life cycle quality they offered. The comparison was based on a multivariate analysis and the environmental impact was assigned a weight of 10%.

The current life cycle assessment method includes a large amount of background data (such as the environmental profiles of different materials), which is why its use requires a suitable calculation tool. It also necessitates an application procedure with full instructions, or a standardised procedure for a mutual assessment of costs, functionality and environmental impact.

CONCLUSIONS

The environmental impact assessment method for infra construction can be used to compare alternative solutions or construction methods. It can probably be applied when comparing road geometry (both horizontal and vertical) alternatives at the general design stage and tenders in the construction and maintenance stage. The method can also be adapted for use in EIA reviews for infra construction projects. It is likely that rather than an individual construction project, the method could be applied to road construction at the land-use planning phase to compare various land use plan options. The goal was to create an indicator assessment method that includes all environmental categories deemed important, as well as the category-specific stressors.

There are some factors that are restricting method application. They are: availability of necessary baseline data, all of the essential factors should be included when comparing alternatives, the presented weights are rough estimates; the environmental impact category and indicator weights applied should be assessed and set on a case-by-case basis, the scope of the method - the environmental impact categories and indicators included - should also be assessed separately in each case, some stressors lack an indicator or a method of measurement, for which reason they must be excluded from the review at this stage and characterisation or normalisation factors do not exist for each stressor.

The assessment method EIMI is a systematic, reproducible method for assessing environmental impacts. Eventhough some information is always lost when the method is applied, it is an efficient tool for comparing different options: it reveals their mutual order of superiority. The accuracy of the result depends on how successfully the method has been applied. Furthermore, it should always be remembered that the method includes subjective weights, which are transparent. So they can be changed on case-to-case basis.

The assessment method has been developed as a decision-making tool - not to describe the absolute total impact value. The presented assessment method contains factors and values that change often as changes occur in society or the environment, or which may not yet be fully known. Thus the method requires continuous improvement and augmenting.

FURTHER RESEARCH

The developed assessment method opens opportunities for aiming at eco-efficiency in public procurement. The first-version method has its defects and limitations. Applying the model also requires the development of vari-

ous calculation tools for assessing the total impact value, as well as a method for comparing different factors in procurement. Further research should focus on the three themes mentioned above.

The assessment method, the indicators included and the calculation tools required for the application of the method should be further specified and developed. In the first phase it is advisable to focus the development on factors that are deemed to have the heaviest environmental impact. This development includes various land use and ecology-related factors in particular. The development should be continued from a maximally wide perspective, involving expertise from all areas concerned with the environmental impacts of construction, construction design and implementation.

Using the method requires sufficient data on the sites to be reviewed, and their structures. The required background data includes mass and logistics information, which is available from design software, and the environmental profiles of different materials, on the basis of which it is possible to calculate the environmental impact of each option reviewed. The tools required for the collection and processing of this data can be divided into two categories: calculation tools for comparing construction or maintenance activities, and an indicator-based assessment method for the land-use planning phase and for assessment on the general and road planning level.

The first step is to determine whether the calculation tool can be implemented in design software or whether a separate calculation program would be more viable.

If we are to take ecoefficiency into account in procurement, we must have procedures with full instructions or standardised procedures for including environmental impact data in the decision making. The procedures - or at least the weights assigned to them - will probably be sector and contract-specific while complying with a standardised framework. Thus development should be carried out as industrial cooperation under the INFRA2010 program for example.

ESIPUHE

Vuoden 2004 lopussa käynnistettiin "Väylärakentamisen ympäristöarvot ja ekoindikaattorit" tutkimusprojekti. Tutkimus oli osa Tekesin linfra - teknologiaohjelmaa ja käytännön tutkimustyöstä vastasivat VTT ja Suomen Ympäristökeskus (SYKE). Tutkimusta rahoittivat TEKES, Tiehallinto, Tieliikelaitos, Ratahallintokeskus (RHK), Helsingin kaupungin Rakennusvirasto, Suomen Maarakentajien Keskusliitto ry, SYKE sekä VTT.

Oleellinen osa projektia oli vuoropuhelu alan kanssa. Projektin aikana vuoropuhelun pääelin on ollut tutkimuksen johtoryhmä. Tutkimukseen osallistuvat tutkijat toimivat esittelijöinä johtoryhmän kokouksissa. Johtoryhmään kuuluivat:

Raimo Antila, pj.,	Tieliikelaitos
Sami Petäjä,	Tiehallinto
Tapani Karonen,	Suomen Maarakentajien Keskusliitto ry (SML)
Seija Väre,	Suomen Konsulttitoimistojen Liitto ry (SKOL)
Reijo Järvinen,	Helsingin kaupungin Rakennusvirasto
Arto Hovi,	Ratahallintokeskus
Tom Warras,	TEKES (31.8.2005 asti)
Osmo Rasimus,	TEKES (1.9.2005 alkaen)
Harto Rätty,	Infra -teknologiaohjelman ohjelmapäällikkö
Leena Korkiala-Tanttu,	VTT, sihteeri

Projektin tutkimusryhmä koostui VTT:n ja SYKE:n tutkijoista sekä Vemosim Oy:n edustajista. Projektiryhmään VTT:ltä ovat osallistuneet: Leena Korkiala-Tanttu (projektivetäjä), Tarja Häkkinen, Paula Eskola sekä Anu Tuominen. SYKE:en vastuullisena johtajana on toiminut Jyri Seppälä sekä tutkijoina ovat olleet: Jyrki Tenhunen ja Marja-Riitta Hiltunen. Vemosim Oy:tä projektiryhmässä ovat edustaneet Jussi ja Pasi Sauna-aho. Lisäksi MIPS-järjestelmän osalta on oltu yhteydessä Arto Saaren Teknisestä Korkeakoulusta.

Projektiryhmä

Espoo, kesäkuu 2006

Tiehallinto

TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT TERMIT

Elinkaarella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa tuotteen tai rakenteen kaikkia vaiheita eli valmistusta, rakentamista, käyttöä sisältäen kunnossapidon ja huollon sekä loppusijoitusta. Elinkaaritarkastelut sisältävät kolme osatekijää: toimivuuden, taloudellisuuden sekä ekologisuuden.

Ekotehokkuus Tässä tutkimuksessa väylänpidon ekotehokkuus = palvelut ja toimivuus (tuotos) / ympäristökuormitukset (panokset). Tässä oletetaan, että haluttu palvelu ja toimivuus saada aikaan vaihtoehtoisin linjaus-, geometria- ja teknisin ratkaisuin. Väylän toimivuuteen katsotaan kuuluvan liikenteen sujuvuus, väylän turvallisuus, muuntojoustavuus, käyttöikä ja vaurioriski, esteettisyys, viihtyisyys ja esteettömyys.

Ympäristökuormitus tai ympäristöpaine Tässä tutkimuksessa ympäristökuormituksella tai ympäristöpaineella tarkoitetaan väylärakentamisesta, sen käytöstä ja väylänpidosta aiheutuvia päästöjä, fysikaalisia vaikutuksia sekä luonnon resurssien ja maan käyttöä.

Ympäristöongelmaluokat ovat ne osatekijäluokat, jotka yhdessä muodostavat indikaattorijärjestelmän kokonaisuutena. Vastaa elinkaariarvioinnissa käytettävää termiä ympäristövaikutusluokat.

Kuormitustekijät ovat ne tekijät, jotka yhdessä muodostavat indikaattorijärjestelmän ympäristöongelmaluokat.

Indikaattori välittää nykytilan, määrän tai tason lisäksi informaatiota kehityksen suunnasta kohti tavoitteita. Ympäristöindikaattorit kuvaavat ympäristövaikutuksia (tai niissä tapahtuvia muutoksia). Ympäristöindikaattori määritellään yleensä luvuksi, joka osoittaa ympäristön tilan ja kehityksen tai ympäristöön vaikuttavia seikkoja.

Monitavoitteinen päätöksenteko (multiple criteria decision making = MCDM) on menetelmien ja menetelytapojen tarkastelu, jossa useita ristiriitaisia tekijöitä voidaan kaavamaisesti sisällyttää päätöksentekoon.

AHP (Analytic Hierarchy Process) on monitavoitteisen päätöksenteon arviointimenettely, jossa eri tekijöitä verrataan toisiinsa pareittain.

SMART (Simple MultiAttribute Rating Technique) on monitavoitteisen päätöksenteon arviointimenettely. Tässä tutkimuksessa menettelyä on sovellettu asettamalla ympäristöongelmaluokat tärkeysjärjestykseen ja sen jälkeen painottamalla niitä tärkeysjärjestyksen suhteen antamalla vähimmän tärkeälle luokalle vakioitu painoarvo ja muille sitä suurempia. Jokainen arvioija antoi oman maksimiarvonsa tärkeimmälle luokalle.

MIPS (Material Input Per Service-unit) materiaalipanoksen palvelusuoritetta kohti. MIPS-indikaattori pyrkii ilmaisemaan tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisen materiaaliintensiteetin suhteutettuna sen tarjoamaan hyötyyn. MIPS-indikaattoria määritettäessä luonnonvarat mitataan kilogrammoissa /Nieminen et al. 2005/.

Elinkaarikustannukset (LCC = Life Cycle Costs)

Elinkaarilarviointi (LCA = Life Cycle Assessment) SFS-EN ISO 14040: Tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden ja tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten koostaminen ja arviointi. Tekniikka, jolla tuotteeseen liittyviä ympäristönäkökohtia ja potentiaalisia ympäristövaikutuksia arvioidaan koostamalla inventaario tuotejärjestelmän olennaisista syötteistä ja tuotoksista arvioimalla näihin syötteisiin ja tuotoksiin liittyvät potentiaaliset ympäristövaikutukset sekä tulkitsemalla inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia selvityksen tavoitteiden suhteen.

Suunnittele ja Toteuta (ST-urakka) on hankintamenetelmä, jossa urakkaa sisältyvät sekä suunnittelu että toteutus (rakentaminen).

Elinkaarimallista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä urakkaa, johon sisältyvät suunnittelun ja toteuttamisen lisäksi ylläpito ja rahoitus.

Elinkaaripalvelulla tarkoitetaan urakkaa, johon sisältyvät suunnittelu, toteutus ja ylläpito, muttei rahoitus.

Sisältö

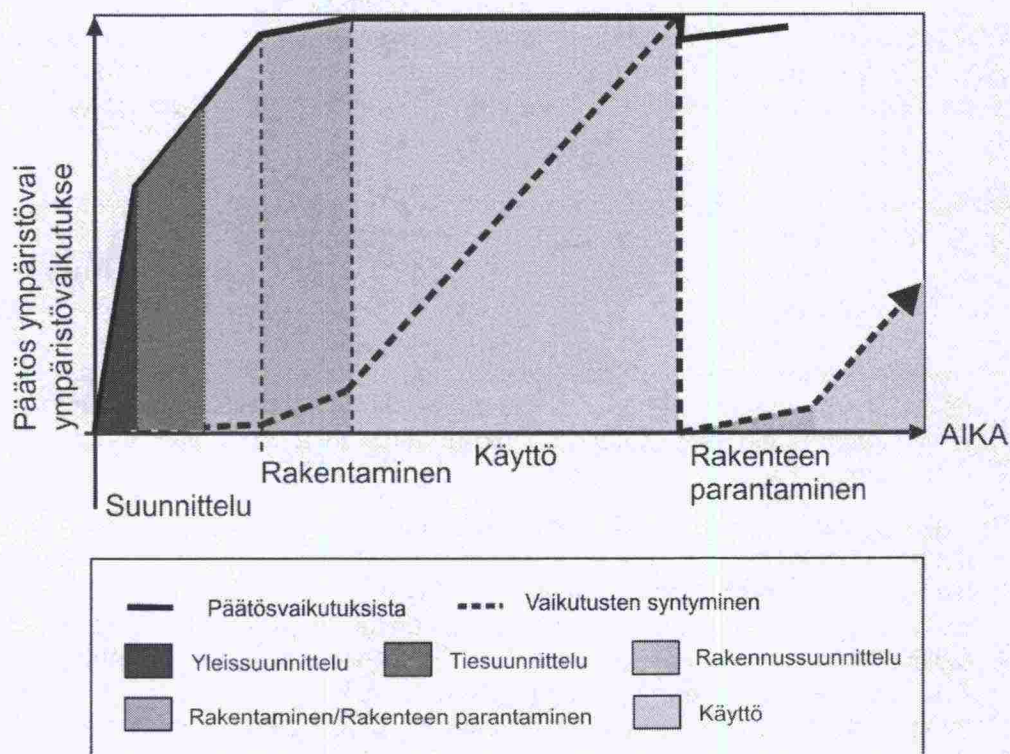
EXECUTIVE SUMMARY	1
ESIPUHE	1
TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT TERMIT	3
1 JOHDANTO	7
2 INDIKAATTOREIDEN KÄYTTÖ YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINNISSA	11
2.1 Indikaattorit	11
2.2 Liikenneväylähankkeiden ympäristövaikutusten arviointitapoja	13
2.2.1 Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohje (LVM 34/2003)	13
2.2.2 Tieliikenteen ajokustannukset 2000 (TIEH 2123614-01)	13
2.2.3 Suomen liikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä LIPASTO	14
2.2.4 Hankekohtainen energia- ja päästötietojen laskenta	14
2.3 Elinkaaritarkastelut	15
2.3.1 Yleiskuvaus	15
2.3.2 Elinkaariarvioinnin soveltaminen väylärakentamisessa	15
2.4 Materiaalivirta-analyysit ja MIPS	16
2.4.1 MIPS:in soveltaminen väylärakentamisessa	17
2.5 Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA)	18
2.6 Eri arviointimenetelmien vertailu	19
3 INDIKAATTORIJÄRJESTELMÄKUVAUS	22
3.1 Järjestelmän rakenne	22
3.2 Karakterisointikertoimet	24
3.3 Normalisointi ja painottaminen	27
4 VÄYLÄRAKENTAMISEN YMPÄRISTÖKUORMITUSARVIO	29
5 ARVOTTAMISTEHTÄVÄN TULOKSET	33
6 JÄRJESTELMÄN TESTAUS PILOT -KOHEISSA, ESIMERKKILASKELMAT	38
6.1 Tarkasteltavat rakenteet ja niiden ympäristökuormitukset sekä tarkastelun rajaukset	38
6.2 Mallilaskelma happamoituminen -ympäristöongelmaluokan aiheuttaman kokonaishaitan laskemiseksi	42
6.3 Esimerkkilaskelmien tulokset	42
7 ARVIOINTIJÄRJESTELMÄN SOVELLETTAVUUS	45

8	JOHTOPÄÄTÖKSET	47
9	JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET	48
10	KIRJALLISUUS	49
11	LIITTEET	53

1 JOHDANTO

Tutkimuksen päätavoitteena oli kehittää menetelmä, jolla väylän rakentamishankkeen aiheuttamat ympäristökuormitukset voitiin arvioida ja ottaa huomioon rakentamisprosessin eri vaiheissa. Väylällä tarkoitettiin tässä tapauksessa teitä, katuja, ratoja sekä vesiväyliä. Menetelmän kehitys tehtiin laatimalla ehdotus ekoindikaattoreista käytettäväksi rakentamisen suunnittelussa, hankinnassa, toteutuksessa ja ohjauksessa. Luotu indikaattorijärjestelmä on rakenteeltaan sellainen, että se soveltuu käytettäväksi väylärakentamisen eri tasoilla ja eri kohteissa. Indikaattoreista laadittiin kuvaukset, määritettiin mahdollisia mittaustapoja ja raja-arvoja. Joidenkin kuormitustekijöiden osalta jouduttiin tyytymään erilaisiin laadullisiin tai välillisiin indikaattoreihin. Indikaattorijärjestelmällä määritetään väylän rakentamisesta, käytöstä tai ylläpidosta aiheutuva kokonaishaitta ympäristön kannalta. Elinkaariedullisuuden muita komponentteja – toimivuutta ja taloudellisuutta – tutkitaan toisissa hankkeissa.

Ekologisesti kestävä rakentamisen indikaattoreita tarvitaan päätöksenteon tueksi. Lopputulokseen merkittävästi vaikuttavia päätöksiä joudutaan tekemään hankkeiden alkuvaiheessa, jolloin yksityiskohtaista tietoa hankkeen vaikutuksista on vähän (periaatekuva 1). Hankkeet ovat joskus hyvinkin laajoja, niiden päävaikutukset ovat välillisiä, eikä hankkeita yleensä toisteta samanlaisina, minkä vuoksi vaikutusten arvioinnin ja vertailun mahdollistavan indikaattorijärjestelmän kehittäminen on tärkeää. Lisäksi erilaisissa infrarakentamisen hankintamenettelyissä tarvitaan avointa indikaattorijärjestelmää, jota voidaan muokata tarpeen mukaan.



Kuva 1. Periaatekuva ympäristövaikutusten syntyisestä ja niiden päätöksentekovaiheesta.

Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus -hanke /Häkkinen et al. 2002/ määritteli ekotehokkaan rakentamisen siten, että se tuottaa ja ylläpitää asiakkaan tarpeiden ja yhteiskunnan vaatimusten mukaisen kiinteistön kelpoisuuden ja toimivuuden aiheuttaen samalla mahdollisimman edulliset ympäristövaikutukset. Tämä määritelmä noudattaa OECD:n esittämää ekotehokkuuskaavaa, jonka mukaan ekotehokkuus voidaan osoittaa hyötypanosmallilla tuotteiden ja palvelujen arvon suhteena ympäristöpanoksiin. Julkaisussa /Häkkinen et al. 2002/ käsiteltiin tarkemmin ekotehokkuuskäsitettä ja sen taustoja.

Väylärakentamiseen sovellettuna ekotehokkuus voidaan määritellä siten, että ekotehokas väylärakentaminen tuottaa väylän halutun palvelun (liikennemäärät ja matkanopeudet) ja toimivuuden aiheuttaen samalla mahdollisimman vähäiset ympäristövaikutukset. Väylärakentaminen on sitä ekotehokkaampaa mitä vähäisemmin ympäristökuormituksin väylän tuottama haluttu palvelu ja toimivuus saadaan aikaan ja mitä vähäisemmin ympäristökuormituksin väylän palvelua voidaan toteuttaa.

Tässä tutkimuksessa väylänpidon ekotehokkuus on palvelujen ja toimivuuden (tuotos) yhteissumma jaettuna ympäristökuormituksella (panoksilla). Edellä olevassa määritelmässä oletetaan, että haluttu palvelu ja toimivuus voidaan saada aikaan vaihtoehtoisin linjaus-, geometria- ja teknisin ratkaisuin. Esimerkiksi linjauksen valinta vaikuttaa toisaalta matkapituuksiin ja täten käytön aikaisiin ympäristökuormituksiin ja toisaalta väylärakentamisen aiheuttamaan maankäyttöön ja sen seurausvaikutuksiin. Väylän toimivuuteen katsotaan kuuluvan liikenteen sujuvuus, väylän turvallisuus, muuntojoustavuus, käyttöikä ja vaurioriski, esteettisyys, viihtyisyys ja esteettömyys.

Ympäristövaikutuksella tarkoitetaan muutosta ympäristössä /esim. Anon 2000/. Muutoksia voivat aiheuttaa ympäristöön vapautuvat erilaiset päästöt ja fysikaaliset vaikutukset kuten melu sekä luonnon resurssien ja maan käyttö. Tässä raportissa näistä tekijöistä käytetään yhteisnimitystä ympäristökuormitus.

Rakennus- ja kiinteistöpuolella on arviointimenetelmiä ja työkaluja kestävän kehityksen periaatteiden hyödyntämiseksi kehitetty jo jonkin aikaa, infra-rakentamisen puolella vastaava kehitystyö on vasta alkuvaiheessa. Rakennuspuolella luotuja menetelmiä ja työkaluja ovat mm:

- Rakennus- ja kiinteistöalan "Ekotehokkuus ja elinkaarimittaristo", jossa esitetään yhteenveto rakennusten ja rakennus- ja kiinteistöalan toimintojen ympäristö-, ekotehokkuus- ja elinkaarimittareista /Anon 2005/, (ks. myös <http://80.81.172.117/>).
- Rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä PromisE, joka tarkastelee: (i) ihmisten terveyteen, (ii) luonnonvarojen käyttöön, (iii) ekologiin seurauksiin ja (iv) ympäristöriskien hallintaan liittyviä tekijöitä (ks. www.motiva.fi). Kiinteistö-PromisE on kiinteistön ympäristövaikutusten luokittelun työkalu. Hanke-PromisE on uusien kiinteistöjen ympäristövaikutusten tavoiteasetannan työkalu. Kummassakin järjestelmässä luokittelu tehdään em. kategorioihin jaoteltujen noin 50 indikaattorin avulla. Indikaattorit koskevat prosessin laatua ja kiinteistön arvioitua tai mitattua ominaisuuksia.
- VTT:n kehittämät rakennus- ja kiinteistöalan ympäristövaikutusten arviointimenetelmät sekä laskentaohjelmat (ks. www.vtt.fi/environ). Menetel-

mät ovat sovellettavissa kaikkeen rakentamiseen raaka-aineiden hankinnan, materiaalien ja tuotteiden ympäristövaikutusten arvioinnin sekä energian käytön ympäristövaikutusten arvioinnin suhteen. Menetelmiin ja laskentaohjelmiin liittyy rakennusmateriaalien ja energioiden ympäristöprofiilien tietokantoja, joita voidaan hyödyntää sekä talonrakentamisessa että infra-rakentamisessa.

Infra-rakentamisen puolella ympäristövaikutusten ja elinkaarikustannusten arviointimenetelmien kehitystyötä on Suomessa tähän mennessä tarkasteltu pääosin tierakenteisiin keskittyneissä projekteissa. Kehitettyjä työkaluja ja menetelmiä ovat mm.:

- VTT:n kehittämä tiesuunnittelijoiden käytettäväksi soveltuva Excel-pohjainen tierakenteiden ympäristökuormitusten laskentaan ja vertailuun soveltuva ohjelma, MELI /Eskola et al. 1999, Laine-Ylijoki et al. 2000, Mroueh et al. 2000/. Ohjelmaa on koekäytetty mm. Tieliikelaitoksen /Nousiainen & Heikkilä 2000/ ja Tiehallinnon /Korkiala-Tanttu et al. 2005/ pilot-kohteissa.
- VTT:n yhteistyössä Tiehallinnon kanssa laatima betonisiltojen kunnonhallinnan järjestelmä, johon yhtenä osa-alueena sisältyy myös ympäristö- ja elinkaarikustannusten arviointi /Vesikari 2004/.
- VTT:n kehittämä kallio- ja tunnelirakentamisen elinkaariarviointityökalu BeCost (<http://virtual.vtt.fi/environ/ohjelmat.html>)
- Tierakentamisen elinkaarikustannustannusten arviointimenetelmät ja työkalut, kooste näistä on esitetty julkaisussa /Kalliokoski et al. 2001/.

Ekoindikaattorit projektin taustatutkimuksina on käytetty seuraavia tutkimuksia ja selvityksiä:

- "Infrarakentamisen elinkaarisystematiikka" -hanke /Lehmus et al. 2002/, jonka yhteydessä tehdyssä kirjallisuuskatsauksessa on käsitelty infra-alan elinkaarenhallintamenetelmien kehitystilannetta Suomessa ja ulkomailla.
- Tiehallinnon elinkaari- ym. ympäristöselvitykset
- "Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintamenettelyihin" -hanke (elinkaariajattelun käyttöönoton testaus) /Korkiala-Tanttu et al. 2005/
- Tieliikelaitoksen elinkaari selvitykset
- Kansainväliset selvitykset (Englanti ja Ruotsin tielaitos)
- Liikennetutkimuksen alueella tehdyt kansalliset ja kansainväliset indikaattoritutkimukset

Työn ensimmäisenä alatavoitteena oli luoda pohjaa väylärakentamisen ympäristövaikutuksia arvioivien työkalujen kehittämistä varten väylien tilaajien, urakoitsijoiden ja materiaalitoimittajien käyttöön. Tulevaisuudessa hankinnoissa (urakoissa) ympäristövaikutusten merkitys kasvaa, jolloin niiden arviointiin ja seurantaan tarvitaan luotettavia ja alan yhteisesti hyväksymiä indikaattoreita. Talonrakentamiseen verrattuna erityisenä haasteena ovat maakäyttöön ja maaperään liittyvät kuormitustekijät.

Toisena alatavoitteena oli kuvata eri kuormitustekijät ja asettaa ne tärkeysjärjestykseen merkityksellisyys mukaan. Tutkimuksessa pyrittiin siihen, että käytettävät kuormitustekijät olisivat mahdollisuuksien mukaan mitattavia suureita, jotka voitaisiin soveltuvin osin muuttaa myös lopulta elinkaarikustannuksiksi.

Indikaattorijärjestelmän on tarkoitus palvella tavoitteiden asettamista, toiminnan seuranta ja tulosten arviointia viidellä eri tasolla: (1) tilaajan tavoiteasetanta, (2) väylien käyttö, (3) hankkeiden eri suunnitteluvaiheet, toteutus ja sen ohjaus, (4) tarjousten teko, arviointi ja vertailu sekä (5) yritystason arviointi ja tavoitteet. Suurin painoarvo annettiin ensimmäiselle ja toiseksi viimeiselle tasolle sekä hankkeiden rakennussuunnittelulle, toteutukselle ja sen ohjaukselle. Tarjousten käsittelyyn luotu indikaattorijärjestelmä palvelee myös mahdollisten ympäristöominaisuuksista johtuvien bonusten tai sanktioiden asettamista. Arviointijärjestelmä on väline, jolla voidaan helpottaa hankkeiden vaatimuksien asetantaa ja arvioida prosessia sen eri vaiheissa ja eri vaihtoehtoja voidaan vertailla toisiinsa ympäristöarvojen suhteen. Järjestelmä on läpinäkyvä, joten sen painoarvoja voidaan hankekohtaisesti muuttaa vastaamaan tilaaja omia tavoitteita. Painoarvojen läpinäkyvyyden kautta niistä voidaan keskustella ja niitä voidaan muuttaa esimerkiksi yhteiskunnan arvojen muuttuessa.

2 INDIKAATTOREIDEN KÄYTTÖ YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINNISSA

Tiehallinnon tienpidon vaikutusten hallinnan tutkimusohjelman (VAHA) tavoitteena on hallita nykyistä paremmin tienpidon yhteiskunnallisia vaikutuksia. Vaikutusten hallintaa on esitetty "Tiedon laatu tienpidon vaikutusten käsittelyssä" raportissa /Hakkarainen 2004/. Tutkimusohjelman päätutkimus "Vaikutusten operationalisointi" eli OPE valmistunee vuonna 2006. Yhtenä OPEN vaikutusalueena on käsitelty ympäristöä. Tutkimuksessa esitetty ympäristövaikutusalue on jaettu kahteen osa-alueeseen: luonnon ympäristö ja rakennettu ympäristö ja nämä edelleen omiin osa-alueisiin. Tutkimuksen luokittelu vastaa peruseräiteiltään myös tässä tutkimuksessa olevaa, mutta esitetyt osa-alueet eroavat toisistaan. Tämä johtuu siitä, että indikaattorihankkeessa lähtökohtana on ollut tarkastella hankekohtaisia ympäristöhaittavaikutuksia elinkaaritarkastelujen kannalta, kun OPE:ssa lähtötilanteena on tarkastella koko tienpidon yhteiskunnallisia vaikutuksia siten, että vaikutukset voivat sisältää haitan lisäksi myös hyötyjä.

2.1 Indikaattorit

Indikaattorit ovat muuttujia, joiden avulla monimutkaisia ilmiöitä koskevaa tietoa voidaan yksinkertaistaa helpommin ymmärrettävään muotoon. Indikaattoreiden kolme päätehtävää ovat määrällistäminen, yksinkertaistaminen ja tiedon välittäminen. Niiden avulla voidaan tarkastella ilmiöitä, joita ei voida välittömästi havainnoida.

Indikaattorit auttavat ilmiöiden muutosten seuraamista ajan kuluessa ja asetettujen tavoitteiden suhteen. Tärkeää on kyky osoittaa trendejä; hyvän indikaattorin avulla kehityksen suuntaa voidaan tarkastella jo tarkasteltavan ilmiön alkuvaiheissa. Indikaattoreiden tulisi olla objektiivisia ja tulosten tulisi olla toistettavia. Usein on hyödyllistä, että indikaattorit ovat kansainvälisesti vertailukelpoisia, vaikka niitä käytetäänkin useimmiten kansallisesti. Indikaattoreiden käytön riskejä ovat tiedon liiallinen yksinkertaistaminen ja tärkeän tiedon menettäminen.

Indikaattoritermille annetaan kuitenkin eri yhteyksissä toisistaan poikkeavia merkityksiä. Tässä raportissa nojaututaan OECD:n määritelmään, jonka mukaan indikaattori on muuttuja tai muuttujajoukko, joka antaa tietoa systeemin tilasta tai sen muutoksista (Indicator is a summary measure that provides information on the state of, or change in, a system, kts. <http://www.oecd.org>).

Indikaattoreiden käyttö kestävän kehityksen seurannassa pohjautuu vuonna 1992 pidetyn YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssin (United Nations Conference on Environment and Development, UNCED) sen seurantaan asetetun kestävän kehityksen toimikunnan (Commission on Sustainable Development, CSD) tuloksiin. UNCEDin tuloksena syntyi mm. Agenda 21-konsepti, ja CSD tuotti kestävän kehityksen indikaattoreiden luettelon tarkoituksena tukea yksittäisiä maita indikaattoreiden valinnassa kansallisten prioriteettien, ongelmien ja tavoitteiden mukaisesti.

YK:n Agenda 21:n luvussa 40 todetaan, että "Indicators of sustainable development need to be developed to provide solid bases for decision making at all levels, and to contribute to a self-regulating sustainability of integrated

environmental and development systems". Kestävän kehityksen seuraamiseen tarvitaan indikaattoreita, koska monimutkaiset ekologiset, taloudelliset, sosiaaliset ja kulttuuriset vaikutukset halutaan ottaa huomioon päätöksenteon kaikilla tasoilla. European Environmental Agency (EEA:n) raportin mukaan ympäristöä koskevia indikaattoreita tarvitaan poliittisessa päätöksenteossa /Anon 2000/:

1. tuottamaan tietoa ympäristöongelmista, jotta toimijat voivat arvottaa omia poliittisia päämääriään,
2. tukemaan poliittista tavoitteenasettelua identifioimalla tärkeimpiä ympäristöön vaikuttavia seikkoja,
3. avustamaan poliittisten päätösten vaikutusten seurantaa.

Agenda 21:n mukaisesti (kohta 28.28) eri maiden paikallisten viranomaisten tulisi toteuttaa prosessi, jonka tuloksen syntyy paikallisagenda 21, so. paikallinen kestävä kehityksen toimintaohjelma. Esimerkiksi Helsingin kaupunki on muotoillut paikallisagendakonseptin mukaisesti makrotason indikaattorit /Anon 2001/, jotka on tarkoitettu poliittisen päätöksenteon ja keskushallinnon sekä kansalaisten ja kansalaisjärjestöjen käyttöön. Indikaattoreilla kuvataan kaupungin toiminnan ja asukkaiden elämäntavan kestävyttä. VTT:n koordinoima TISSUE-hanke analysoi kaupunkialueiden kestävä kehityksen seurantaan kehitettyjä indikaattorijärjestelmiä /Anon 2005/.

Euroopan unioni hyväksyi Göteborgin Eurooppa-neuvoston kokouksessa vuonna 2001 kestävä kehityksen strategian, joka tavoittelee ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävä kehitystä. Kestävän kehityksen strategia on osa kilpailukyvyyn parantamiseen tähtäävää ns. Lissabonin strategiaa. EU:n kuudennen ympäristöohjelman mukaisesti eri aloille on valmisteilla temaattiset strategiat, joiden tarkoituksena on toimia kestävä kehityksen toteutuksen työkaluna. Kaupunkiympäristöjen temaattisen strategian (Thematic Strategy on the Urban Environment) tarkoituksena on tukea kaupunkien kestävä kehitystä. Strategian valmistelutyö on jakautui neljään keskeiseen osa-alueeseen, jotka ovat

- rakentaminen (Sustainable Construction),
- liikenne (Sustainable Transport),
- aluesuunnittelu (Sustainable Design) ja
- hallinto (Sustainable Management).

Temaattinen strategia hyväksyttiin tammikuussa 2006 (ks. http://europa.eu.int/comm/environment/urban/thematic_strategy.htm), ja sen mukaan Komissio käynnistää vuonna 2006 uuden Urban Audit -tutkimuksen ja julkaisee raportin, joka perustuu elinoloja useissa EU:n kaupungeissa kuvaaviin indikaattoreihin, jotka kattavat taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristöä kuvaavat näkökohdat. EU:n kuudennen ympäristöohjelman mukaan temaattiset strategiat valmistellaan myös kuudesta muusta alueesta. Näistä ainakin Sustainable use of resources ja Soil liittyvät myös rakentamiseen ja maan käyttöön.

2.2 Liikenneväylähankkeiden ympäristövaikutusten arviointitapoja

2.2.1 Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohje (LVM 34/2003)

Liikenneväylähankkeiden yleisohjetta noudatetaan liikenne- ja viestintäministeriön toiminta- ja taloussuunnitelmiin, investointiohjelmiin tai talousarvioihin ehdolla olevien liikenneväylähankkeiden vaikutusarvioinnissa. Ohje koskee valtion liikenneväylähankkeita, mutta sitä voidaan soveltuvin osin käyttää muidenkin hankkeiden arvioinnissa. Yleisohjeessa määritetään yhteiset periaatteet tie-, rata- ja vesiväylähankkeiden arviointiin. Yleisohjeen rinnalla tarvitaan yksityiskohtaisempaa ohjeistusta ja arviointimenetelmiä, joiden tuottamisesta ja ylläpidosta vastaavat Tiehallinto, Ratahallintokeskus ja Merenkululaitos.

Liikenneväylähankkeen arviointi sisältää hankekuvauksen, vaikutusten kuvauksen sekä kannattavuuslaskelman, vaikuttavuuden arvioinnin ja toteutettavuuden arvioinnin päätelmineen. Arviointi dokumentoidaan ja siitä laaditaan yhteenveto. Arviointia on tarpeen tehdä liikenneväylähankkeen eri suunnitteluvaiheissa. Hankkeen varsinainen arviointi kannattavuuslaskelmineen suositellaan tehtäväksi yleissuunnitteluvaiheessa, jolloin vaikutukset kyetään arvioimaan varsin luotettavasti. Hankkeen kannattavuuslaskelmaan otetaan mukaan kaikki sellaiset hyödyt ja kustannukset, joihin hanke vaikuttaa ja jotka voidaan esittää rahamääräisenä. Hyötyjen ja kustannusten arvottamisessa käytetään liikenne- ja viestintäministeriön vahvistamia laskenta- ja yksikköarvoja, joihin ei tehdä indeksikorjauksia. Kannattavuuslaskelman lisäksi hankkeen vaikutuksia arvioidaan seuraavista näkökulmista: ihmisten päivittäinen liikkuminen, elinkeinoelämä, aluekehitys, ympäristö, liikenneturvallisuus ja taloudellisuus. Samalla mainitaan, missä määrin vaikutukset on otettu huomioon myös kannattavuuslaskelmassa. Hankkeen toteutusvalmiutta arvioidaan mm. suunnitteluvalmiuden ja lupaprosessien osalta.

2.2.2 Tieliikenteen ajokustannukset 2000 (TIEH 2123614-01)

Vahvistetut liikennehankkeiden kannattavuuslaskelmien yksikköarvot ilmoitetaan Tiehallinnon julkaisussa Tieliikenteen ajokustannukset. Arvot on vahvistettu vuonna 2005. Julkaisu sisältää ajoneuvo-, aika- ja onnettomuuskustannusten perusarvot ja kustannusten laskentamenetelmät lähinnä hanketarkasteluja varten. Lisäksi käsitellään lyhyesti melun ja pakokaasujen haittojen hinnoittelua. Tarkastelunäkökulma on yhteiskuntataloudellinen (ei yksityistaloudellinen). Liikenne- ja viestintäministeriö on hyväksynyt tässä julkaisussa esitetyt ajokustannusten laskentaperusteet. Eri kustannuskomponenttien arvot perustuvat vuosina 1998 - 99 valmistuneisiin selvityksiin, joihin on paikoin tehty kustannustason muutoksia vastaavia korjauksia. Tiehankkeiden ajokustannuslaskelmat ovat usein rajoittuneet vain tien pääsuunnan tarkasteluun. Liikennetaloudellisten laskelmien tekeminen kattavasti vaatii kuitenkin tieverkollisen tarkastelun, jossa voidaan ottaa huomioon muutokset myös rinnakkaisilla ja poikittaisilla yhteyksillä sekä liittymissä. Julkaisussa esitettyä yksinkertaistettua laskentamenetelmää voidaan soveltaa toistaiseksi tavanomaisissa tapauksissa.

Tieliikenteen ajokustannuslaskennassa käytetään Tiehallinnon kehittämää ns. IVAR-menetelmää. Menetelmä antaa virheellisiä tuloksia ja virheellisyys

aiheutuu siitä, että IVAR-menetelmä perustuu toisaalta ennakkoon arvattuihin keskiarvoihin ja toisaalta yksinkertaistettuihin nopeus- polttoaineenkulutusmalleihin, jotka ovat ristiriidassa fysiikan lakien kanssa. Erityisen merkittäviä ovat virheet raskaiden ajoneuvojen energiankulutuksessa ja päästömäärissä.

2.2.3 Suomen liikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä LIPASTO

LIPASTO (<http://lipasto.vtt.fi/index.htm>) on VTT:ssä toteutettu Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. LIPASTO on alueittaisten (kunta, lääni, koko Suomi) päästöjen inventointimalli, jonka tuloksia käytetään Suomen "virallisina" liikenteen päästölukuina. Tärkeimmät tulokset julkaistaan www-sivuilla. LIPASTO-järjestelmä alamalleineen pyritään päivittämään aina maaliskuussa edellisvuoden tiedoilla. Järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, alamallien edustajaorganisaatioiden ja VTT:n käyttöön. Mallin pohjana ovat keskimääräiset päästökertoimet. Yksittäisen hankkeen tapauksessa väylän pystygeometria, nopeusrajoitukset sekä liittymien sijainnit ja tyypit poikkeavat yleensä keskimääräisen väylän arvoista ja siksi päästökertoimet vaihtelevat suuresti. Täten LIPASTO-järjestelmän päästökertoimet eivät sovellu kovinkaan hyvin hankekohtaisiin tarkasteluihin

LIPASTO järjestelmä sisältää keskusyksikön (LIPASTO), sekä alamallit tieliikenteelle (LIISA), rautatieliikenteelle (RAILI), vesiliikenteelle (MEERI) ja ilmailuliikenteelle (ILMI). Keskusyksikössä alamallien tiedot yhdistetään kokonaisuudeksi moniulotteisessa malli- ja raportointitietokannassa. Mallien avulla voidaan laskea Suomen liikenteen aiheuttamat pakokaasupäästöt perusvuonna seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂), hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) sekä typpioksiduuli (N₂O). Tämän lisäksi mallit laskevat liikennemuotojen energiankulutuksen. Karkealla tasolla päästömäärät ja energiankulutus on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2024.

2.2.4 Hankekohtainen energia- ja päästötietojen laskenta

Tiekohtaiset energiankulutus- ja päästötiedot voidaan tuottaa VEMOSIM-järjestelmällä. Sen avulla voidaan määrittää tiekohtaisesti tien geometriatietojen, kuntotietojen, liikenteenohjaustietojen (nopeusrajoitukset ja liikennevalot sekä liittymäjärjestelyt) ja liikennetietojen sekä ajoneuvojen ominaisuustietojen perusteella aluksi tyyppiajoneuvoittain, sen jälkeen laskennallisesti ajoneuvoryhmittäin ja lopulta koko liikenteen osalta mm. energiankulutus- ja päästötiedot jatkuvana pitkin tielinjaa ja yhteenvetona koko tien pituudelta. VEMOSIM-järjestelmä käyttää olennaisena lähtötietona ajoneuvojen moottorikarttoja. Raskaiden ajoneuvojen moottorikarttatilanne on tyydyttävä, sillä COST346-hankkeessa (Raskaiden ajoneuvojen energiankulutus ja päästöt) määritettiin standardiohjeet moottorikarttojen tuottamisesta ja toisena osana tuotettiin tai kerättiin lähes 100 moottorikarttaa tietopankkiin. Henkilöautojen osalta asia on huonompi, sillä nykyisin käytössä olevista henkilöautoista ei ole olemassa kattavia moottorikarttoja.

Vemosim-järjestelmän käytettävyyttä voitaisiin parantaa, jos Vemosimista luotaisiin standardisoitu versio väyläsuunnittelijoita varten. Tämä tehostaisi järjestelmän käyttöä määrittäessä erilaisten hankkeiden energiankulutus- ja päästövaikutuksia tiegeometrian, päällyste- liikenteenohjaustietojen perus-

teella. Samoin tulisi määrittää niille standardisoitu esitystapa elinkaarianalyysiä varten.

2.3 Elinkaaritarkastelut

2.3.1 Yleiskuvaus

Elinkaaritarkastelut sisältävät kolme osatekijää: toimivuuden, taloudellisuuden ja ekologisuuden. Taloudellisuutta arvioidaan laskemalla elinkaarikustannukset (LCC = Life Cycle Cost). Toimivuutta arvioidaan toimivuusvaatimusten kautta. Ekologisuutta puolestaan arvioidaan elinkaariarvioinnin avulla. Elinkaariarvioinnin (LCA = Life Cycle Analysis) perustavoitteena on hankkia mahdollisimman täydellinen tietämys tuotteen tai toiminnon koko elinkaaressa aikaisista ympäristövaikutuksista. Arvioinnin tuloksia voidaan käyttää tuotteiden, tuotantoprosessien tai toimintojen vertailussa yritysten päätöksenteossa ja markkinoinnissa, tuotteiden, prosessien ja menetelmien optimoinnin ja parannustarpeiden arvioinnin pohjana sekä yhtenä perustietojä antavana menetelmänä esim. hankkeen kustannusrakenteen tai yrityksen ympäristönsuojelun kehittämisessä sekä yhteiskunnan päätöksenteossa. Elinkaarisuunnittelussa voidaan suunnitteluun sisällyttää paitsi ympäristö, taloudellisuus ja laatu, myös turvallisuus, terveellisyys ja viihtyisyys näkökohdat. Menetelmien ja ympäristövaatimusten kehittyessä edelleen elinkaariarvioinnista voi tulla entistä merkittävämpi päätöksenteon ja ympäristöasioiden hallinnan työkalu.

Perinteinen elinkaariarviointi tai yksinkertaistettu elinkaariarviointi soveltuvat erinomaisesti käytettäväksi infra-alan prosessissa ympäristövaikutusten arviointiin erityisesti rakennussuunnitteluvaiheessa, jolloin materiaalitiedot, massat ja rakenteen mitat ovat tiedossa tai niitä vertaillaan. Tässä vaiheessa tietoa on tarpeeksi perusteellisten elinkaarilaskelmien tekemiseksi. Alustavia elinkaariarviointilaskelmia voidaan tosin tehdä jo hankesuunnitteluvaiheessa /yleissuunnitelmavaiheessa esimerkiksi helpottamaan materiaalivalintoja tai alustavaa mitoitusta. Elinkaariarviointia voidaan käyttää myös esimerkiksi tarjouskilpailuvaiheessa eri vaihtoehtojen ympäristövaikutusten vertailussa. Tässä yhteydessä kustannuksia voidaan myös tarkastella elinkaarikustannuslaskelmien avulla /Eskola et al. 2002/.

LCA -menettely on jatkuvasti kehittyvä laskentamenetelmä, jonka tarkkuus paranee, kun sen sisältämät indikaattorit ja niiden laskentamenetelmät kehittyvät edelleen. LCA -menettely vaatii hanke- ja rakennussuunnitelman sekä rakentamisen massa- ja resurssitietoja lähtötiedoksi laskennalle.

2.3.2 Elinkaariarvioinnin soveltaminen väylärakentamisessa

Infrarakenteiden elinkaariarviointia on Suomessa tähän mennessä sovellettu muutamissa lähinnä tierakenteisiin keskittyneissä projekteissa. VTT on kehittänyt menettelytavan ja Excel-pohjaisen laskentatyökalun, MELI:n, tierakenteiden elinkaaressa aikaisten ympäristövaikutusten arviointiin ja eri rakennusvaihtoehtojen vertailuun /Eskola et al. 1999, Laine-Ylijoki et al. 2000, Mroueh et al. 2000/. MELI-ohjelmaa on koekäytetty mm. Tieliikelaitoksen /Nousiainen & Heikkilä 2000/ ja eräiden materiaalintuottajien pilot-kohteissa. Lisäksi ohjelmaa käytettiin kahden pilot –urakan tarjouskilpailuissa ympäristövaikutusten arviointiin "Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin" –tutkimushankkeen

yhteydessä. Hankkeen tavoitteena oli luoda paremmat edellytykset elinkaariajattelun käyttöönottoon tienpidon hankinnoissa. Tutkimuksessa laadittiin yhdessä Tiehallinnon kanssa pilot -urakoiden kilpailuosioiden toiminnalliset, tekniset ja ympäristövaatimukset, määritettiin näiden vaatimusten painoarvot urakkatarjousten arvioinnissa sekä käytettävät laskenta- ja arviointimenetelmät /Korkiala-Tanttu et al. 2005/.

Ruotsissa on tutkittu jo pitkän aikaa tierakentamisen ympäristövaikutuksia erityisesti IVL:n toimesta, jossa laadittiin tierakentamisen inventaarianalyysi jo vuonna 1996 /Stripple 1996/. Lisäksi Euroopan asfalttijärjestö, EAPA ja Eurobitume teettivät Ruotsin IVL:llä elinkaariarvioinnin ja tietokonemallin /Stripple 2000/ asfaltin ympäristöprofiilin laskentaan. EAPA katsoo asfaltin ja asfalttiteiden ympäristövaikutusten vähentämisen tärkeäksi kehityskohteeksi ja näkee elinkaarianalyysin hyödyntämisen tässä tärkeänä apuvälineenä. Ruotsin tielaitos (Vägverket) on ollut kiinnostunut elinkaariajattelun soveltamisesta ja siellä on tarkasteltu elinkaariarvioinnin soveltuvuutta päätöksenteon apuvälineeksi ja etsitty menetelmää tierakentamisessa käytettävien materiaalien ympäristövaikutusten tunnistamiseen ja hallintaan /Eskola et al. 2002/.

Tanskassa DTU:n ja Tanskan tielaitos ovat laatineet yhteistyössä ROADRES-ohjelman tierakentamisen elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten laskentaan. Ohjelmaa voidaan käyttää myös sivutuotteita (mm. jätteenpolton tuhkia) sisältävien tierakenteiden elinkaari-vaikutusten laskentaan. Ohjelmaa on testattu vuonna 2005 uuden moottoritien suunnittelun yhteydessä Tanskassa /Birgisdottir 2005/.

Alankomaissa sovelletaan muissa kuin elinkaarimallien mukaisissa hankintamenetelmissä elinkaarianalyysiin perustuvaa ympäristövaikutusten laskentamenetelmää "Eco-cost / Value Ratio EVR" /Vogtländer 2001/. Tarjouksissa vertaillaan yleensä vain sidottujen kerrosten rakentamista, jonka tekniset vaatimukset ovat vakioitu. Laskentamenetelmä ja siitä tehty työkalu sisältää suuren ympäristötietokannan, josta rakentamisen ympäristövaikutukset muutetaan raha-arvoiksi muuntokertoimien avulla. Ympäristökelijöiden tarkastelu-aika on 30 - 40 vuotta ja ehdotettu toimenpide oletetaan toistettavan samanlaisena tarkastelujakson aikana käyttöiästä riippuvain aikaväleihin. Ympäristövaikutukset monetarisoidaan ja niitä verrataan saatavaan palveluun.

2.4 Materiaalivirta-analyysit ja MIPS

Wuppertal Instituutin kehittämässä materiaalivirta-analyysissä (MFA) lasketaan yhteen talouden tuotantoprosesseihin suoraan otettavat materiaalmäärät ja piilovirrat, joita näiden materiaalien käyttöönotto ja kulutettavaksi toimitaminen vaatii. Näin saadaan laskettua luonnonvarojen kokonaiskäyttö, joka mittaa tuotantoprosessiin kuluvien luonnonainesten kokonaismäärää yhteismitallisesti tonneina. Materiaalivirta-analyysissä materiaalivirtojen keskinäinen arvottaminen perustuu aineiden massaan. Materiaalien haitallisuuden eroja ei oteta huomioon, vaan kaikki materiaalitonnit lasketaan yhteen.

MIPS (Material Input Per Service Unit), eli materiaalin käyttö palveluyksikköä kohden, on mittayksikkö, jota voidaan käyttää tuotteen tai palvelun aiheuttamien ympäristökuormitusten arviointiin. Materiaalipanokseen (MI) lasketaan koko elinkaaren aikainen materiaalinkulutus massayksiköissä (g, kg, t) raaka-aineen käyttöönotosta jätehuoltoon asti. MIPS:iin sisältyy myös tuotteen elinkaaren aikainen energiapanos energiantuotannon ja -jakelun vaatimina

materiaalikirloina. MIPS lasketaan jakamalla materiaalipanoksen (MI) palvelusuo-
ritteen kokonaismäärällä (S), joka voi olla esimerkiksi tuotteen tai palvelun
käyttökerta, ajettu tiekilometri tai valmistettu tuotekilo. MIPS-luvut voidaan
laskea neljässä eri luokassa: uusiutumattomat luonnonvarat, uusiutuvat
luonnonvarat, vesi ja ilma. Usein kuitenkin puhutaan kiinteiden materiaalien
MIPS-luvuista, jolloin mukaan luetaan vain uusiutuvat ja uusiutumattomat
materiaalit, mutta ei ilmaa eikä vettä /Autio & Lettenmeier 2002/.

Mitä jalostetumpi tuote, sen suurempi MI-arvo yleensä on. Uusiomateriaalien
MI-kertoimet ovat luonnollisesti huomattavasti pienempiä kuin neitseellisten
materiaalien. Vastaavasti kun MIPS pienenee ekotehokkuus ja luonnonvarojen
tuottavuus (S/MI) kasvavat. Ekotehokkuutta tai luonnonvarojen tuotta-
vuutta voidaan lisätä keskittymällä materiaalipanoksen (MI) vähentämiseen
tai tuotteesta saadun palvelun tai hyödyn (S) lisäämiseen. Materiaalipanosta
voidaan vähentää esimerkiksi uusilla teknisillä ratkaisulla, tuotekehityksellä
tai käyttämällä uusiomateriaaleja. Tuotteesta saatavan hyödyn määrää voi-
daan kasvattaa mm. tekemällä kestävämpiä ja helpommin korjattavia tuotteita
ja nostamalla tuotteiden käyttöikä /Koskinen 2001, Autio & Lettenmeier
2002/.

MIPS:iä on kuitenkin arvosteltu erityisesti siitä, että kaikki luonnonmateriaalit
katsotaan samanarvoisiksi huolimatta niiden esiintymisestä, saatavuudesta
ja prosessoinnin aiheuttamista ympäristövaikutuksista.

2.4.1 MIPS:in soveltaminen väylärakentamisessa

Suomessa on sovellettu MIPS-menetelmää laajassa FIN-MIPS-Liikenne-
tutkimushankkeessa, jossa tarkasteltiin eri liikennemuotojen (tie-, rautatie-,
meri-, lento- ja polkupyöräliikenteen) aiheuttamaa luonnonvarojen kulutusta
/Pusenius et al. 2005, Vihermaa et al 2005, Lindqvist et al. 2005, Nieminen
et al. 2005, Hakkarainen et al. 2005/. Materiaalivirtatiedot koottiin erikseen
väylien rakentamisesta ja ylläpidosta, liikennevälineiden tuotannosta ja lii-
kennevälineiden käytön aikaisesta kulutuksesta. Tutkimuksessa suhteutettiin
liikenteessä ja sen vaatimassa infrastruktuurissa kulutetut luonnonvarat kul-
jetettuihin henkilö- ja tonni-kilometreihin. Tarkastelussa olivat mukana uusiu-
tavat ja uusiutumattomat luonnonvarat sekä ilma ja vesi.

Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että huomattava osa liikenteen erityisesti
uusiutumattomien luonnonvarojen kulutuksesta aiheutuu infrastruktuurista
(tie- ja rautatieliikenne, lyhyet lennot ja laivamatkat). Tutkimuksen perusteella
huomattiin myös, että tien materiaali-intensiteettiä voidaan pienentää maas-
ton mukaisella linjauksella ja sijoituksella, vahvalla maapohjalla (hiekkajaj
sora) sekä ylijäämä- ja uusiomassojen käytöllä. Sen sijaan väylän suoraviiv-
vainen linjaus leikkauksineen, tien erottaminen moottoritien tavoin muusta
liikenteestä ja heikko maapohja vahvistustoimenpiteineen (esim. massan-
vaihto) nostavat väylän materiaali-intensiteettiä /Pusenius et al. 2005/.

MIPS-menetelmän mukaisesti ekotehokkuutta voidaan myös parantaa suu-
rentamalla tiestä saatavaa hyötyä tai palvelua. Teiden pääasiallinen tarkoitus
on mahdollistaa liikkuminen paikasta toiseen. MIPS-luku pienenee, kun ole-
massa olevaa tieverkkoa käytetään enemmän. Tämä voi tapahtua pidentä-
mällä teiden toiminnallista käyttöikä tai lisäämällä niiden käyttöä ilman sa-
manaikaista lisärakentamista. Tieverkon käytön lisääminen ilman infrastruk-
tuurin lisäämistä voi tapahtua esimerkiksi liikenteen joustavalla ohjauksella

käyttötilanteen mukaan, ruuhkahuippuja tasoittamalla sekä kimppakyytejä, bussien käyttöä ja tavarakuljetusten käyttöastetta lisäämällä.

Menetelmän käytön ongelmina tutkimuksessa havaittiin menetelmän käytön työläys, tulosten epävarmuudet, sekä allokointitapojen valinta (mm. infrastruktuurin allokointi henkilö- ja tavaraliikenteen kesken) /Pusenius et al. 2005/.

Väylärakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta MIPS:in heikkoutena voidaan pitää sitä, että tarkastelussa korostuvat liiaksi väylärakentamisessa liikuteltavat suuret massamäärät. Väylärakenteet ovat hyvin suuria rakenteita ja luonnollisesti niiden materiaalien kulutus on merkittävä. Dematerialisaation näkökulmasta on toki tärkeää, että näissä massiivisissa rakenteissa pyritään kaikkiin keinoin säästämään luonnonvaroja. Tässä tarkoituksessa MIPS:in käyttö mittarina onkin hyvin perusteltua, mutta mikäli MIPS-lukuja halutaan verrata muiden tuotteiden MIPS-lukujen kanssa tai niitä käytetään kokonaisympäristövaikutuksia kuvaavana indikaattorina, voivat tulokset olla harhaan johtavia.

Pelkkä kulutettujen luonnonvarojen määrä ei anna oikeaa kuvaa rakenteen ympäristöystävällisyydestä, vaan tarkastelussa tulisi huomioida myös mm. materiaalien laatu (neitseelliset luonnonkiviainekset, prosessoidut materiaalit, uusiomateriaalit), kierrätys ja kuljetusmatkat. Nämä tekijät on havaittu väylärakentamisen elinkaariarvioinnissa luonnonvarojen kulutuksen lisäksi merkittäviksi ympäristökuormituksia aiheuttaviksi tekijöiksi. Mitä pidemmät ovat kuljetusmatkat, sitä suuremmat ovat rakentamisen aikaiset ilmapäästöt ja energian kulutus. Massojen määrät eivät korreloi kuljetusmatkojen kanssa, eivätkä siten myöskään kuvaa kuljetuksista aiheutuvia päästöjä. Lisäksi tiettyjen prosessoitujen rakennusmateriaalien (kuten asfaltti ja sementti) valmistus on erittäin ympäristöä kuormittavaa. Tämä ei myöskään näy näiden materiaalien valmistukseen käytettävissä luonnonmateriaalimäärissä. Siten näiden tekijöiden kuvaaminen MIPS-tarkasteluissa on puutteellista. MIPS-tarkastelu ei myöskään sovellu arviointeihin, joissa halutaan painottaa maankäytön, energiasurssien ja päästöjen merkitystä.

2.5 Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA)

Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA) tarkoituksena on varmistaa, että ympäristövaikutukset selvitetään riittävällä tarkkuudella silloin, kun hanke aiheuttaa merkittäviä ympäristövaikutuksia. YVA-menettely ei ole menetelmä, vaan prosessi, jossa hyödynnetään ympäristövaikutusten arviointimenetelmiä. YVA-menettelyä sovelletaan yleensä hankekesuunnittelun alkuvaiheissa (yleissuunnitelma ja kaavoitusvaiheissa)

Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn tavoitteena on ottaa huomioon ympäristövaikutukset vaikutuksiltaan merkittävien hankkeiden suunnitteluvaiheissa. Menettely pohjautuu YVA-lakiin ja -asetukseen, toimialojen YVA-ohjeisiin sekä EIA direktiiviin. Asetuksen vaatimia kohteita ovat

- moottori- ja moottori-liikennetiet, kaukoliikenteen rautatiet ja lentokentät (pääkiitorata >2100m)
- öljy-, kaasu- ym. runkoputket, suuret raaka- ja jätevesitunnelit, voimalinjat
- kaatopaikat

- meri- (>8m) ja sisävesiväylät (>4m), satamat, ym.
- muut merkittävät hankkeet

Ympäristövaikutusten arviointimenettely alkaa, kun hankkeesta vastaava taho (yritys tai kunta) toimittaa arviointiohjelman yhteysviranomaiselle, joka on alueellinen ympäristökeskus. Arviointiohjelmassa selvitetään, mitä hankkeen toteuttamisvaihtoehtoja ja vaikutuksia suunnittelun aikana tullaan selvittämään. Kun arviointiohjelmassa esitetyt vaihtoehdot ja niiden vaikutukset on selvitetty, kootaan tieto arviointiselostukseen.

Menettelyn yhtenä tavoitteena on osallistuminen ja keskustelun aikaan saaminen. Menettely on lain vaatima tietyissä hankkeissa, mutta muissakin kohteissa voidaan tehdä vastaavia vapaaehtoisia tarkasteluja. Tarkasteltavat ympäristövaikutukset määräytyvät kohteen mukaan; tarkoituksena on selvittää merkittävät vaikutukset. Menettelytavan ongelmia ovat tiedon rajallisuus arviointivaiheessa, tarkasteltavien vaihtoehtojen määrittely ja merkittävien ympäristövaikutusten tunnistaminen. Tarpeena olisi kehittää vakiintuvia ja soveltuvia menetelmiä menettelytavan käyttöön eri tilanteissa.

LCA-menetelmän periaatteita voidaan soveltaa arviointiohjelmassa esitettyjen vaihtoehtojen arviointiin. Tällöin tarkasteltavista vaihtoehdoista pitäisi laatia sellaiset skenaariot, että niiden avulla eri vaihtoehtojen aiheuttamia materiaali- ja energiavirtoja voidaan arvioida karkeasti. Varsinaista LCA-menetelmää pitäisi myös täydentää muilla kuin ympäristökuormituksia kuvaavilla indikaattoreilla. Erityisesti olisi tarpeen kehittää maankäyttöön ja sen vaikutuksien arviointiin soveltuvia indikaattoreita.

2.6 Eri arviointimenetelmien vertailu

Tämän tutkimuksen lähtökohtana on, että LCA-menetelmä soveltuu infraalalle eri vaihtoehtojen ympäristökuormituksista aiheutuvien ympäristövaikutusten vertailuun. Lähtökohtana on myös yksimielisyys siitä, että infra-alalla tarvitaan erityisesti hankkeiden alkuvaiheisiin LCA-menetelmää täydentämään indikaattoreita, joiden avulla on mahdollista osoittaa ja vertailla eri vaihtoehtojen ja toteutusratkaisujen ympäristövaikutuksia kokonaisvaltaisesti ottaen maankäytön aspektit huomioon. LCA:n käsittelemien päästö- ja resurssiensioiden lisäksi pitäisi pystyä osoittamaan ja vertailemaan maankäytön ja käyttötarkoituksen vaikutuksia esimerkiksi monimuotoisuuteen, maisemaan, kulttuuriympäristöön ja meluun.

Seuraavaan taulukkoon (taulukko 1) on koottu yhteenveto eri ympäristövaikutusten arviointimenetelmistä (LCA, LCC ja MIPS) ja niiden soveltuvuudesta infra-rakenteiden elinkaaren hallintaan.

Taulukko 1. Yhteenvedo tärkeimmistä elinkaari vaikutusten arviointimenetelmistä ja niiden soveltuvuudesta infra-
alan elinkaaren hallintaan.

MENETELMÄ	Elinkaariarviointi, LCA ja elinkaarikustannusarviointi, LCC	Materiaalivirta-analyysit (esim. MIPS)
Lyhyt kuvaus	LCA: Tavoitteena on arvioida vaihtoehtoisten tuotteiden tai toimintojen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. LCC: Tavoitteena arvioida vaihtoehtoisten toimenpiteiden elinkaarikustannukset nykyarvoon suhteutettuna.	Pyritään kuvaamaan tuotteen tai toiminnon ympäristövaikutuksia materiaalivirtalaskelmen avulla. MIPS: Tuotteen elinkaarensa aikana kuluttamien materiaalien summa palvelusuo- ritetta kohden
Perusta (lainsäädäntö, standardit, ohjeet)	Ympäristövaikutusten arvioinnin peruseräatteen on esitetty mm. SETAC:in ja Pohjoismaiden ministerineuvoston ohjeissa. Nykyisin ISO-standardit muodostavat ympäristöarviointimenetelmien kansainvälisesti sovitun kehyksen. Rakennusala on laatinut alalle sovelletun ISO-standardin ympäristövaikutusten arvioinnista. LCC:n laskentakaavat ovat vakiintuneet yleiseksi osaamiseksi.	MIPS-menetelmä kehitetty Saksassa Wuppertal-instituutissa. Menetelmiä ei ole standardoitu.
Käyttö infra-alalla, esim. toimialoittain	Käyttö vaatii tietokantoja ja/tai laskentaohjelmia, joiden avulla voidaan ottaa huomioon vertailtavien kohteiden materiaali- ja energiavirtojen aiheuttamat ympäristökuormitukset tai kustannukset. Työkaluja esimerkiksi: LCA: Maa- ja tierakentaminen (MELI-ohjelma Suomessa, Road-Res -ohjelma Tanskassa, Asfaltin ja siltojen EK- arviointiohjelmat Ruotsissa) BECOST (VTT): Rakennusten, kalliotilojen ja tunnelien ympäristövaikutusten arviointiohjelma (internetin yli toimiva), joka sisältää tienrakennuksen keskeiset materiaali- tokannat. LCC: Tierakentaminen (useita sovelluksia eri puolilla maailmaa, Rautatiet (ECOTRACK-rautateiden suunnittelu, kunnostuksen ja kustannusten arviointi)	MIPS: FIN-MIPS Liikenne -hanke (tie-, rautatie-, meri-, lento- ja polkupyöräliikenteen aiheuttama luonnonvarojen kulutus)
Missä vaiheessa menetelmällä voidaan arvioida hanketta	LCA:n tekeminen vaatii arviot tai tiedot hankkeen aiheuttamista materiaali- ja energiavirroista. Menetelmä ei sovel- lu vaiheisiin, joissa näitä virtoja ei ole mahdollista arvioida. Vastaavasti LCC vaatii arviot tai tiedot hankkeen vaatimista työ- ja materiaalikustannuksista. Menetelmää voidaan soveltaa vasta sellaisissa vaiheissa, joissa nämä voidaan arvioida. LCA-menetelmä kattaa resurssien kulutuksen ja päästöjen aiheutumisen arviot. Laskentamethodiikkaan on vaikea sisällyttää maankäytön vaikutusten arviointia. Methodiikka ei myöskään ota huomioon paikallisia olosuhteita. Silloin, kun maankäytön ja paikallisten olosuhteiden näkökulmat ovat tärkeitä, niin LCA-menetelmä ei yksinään ole riittävä. Yleissuunnitelmavaiheessa LCA-arvioinnin periaatteita voidaan soveltaa, jos vaihtoehtoista laaditaan skenaariot ja samalla arvioidaan karkeasti eri skenaarioihin liittyvät materiaali- ja energiavirrat. Tiesuunnitelmavaiheessa tilaaja voi antaa konsultille LCA-perusteisia vaatimuksia. Suunnittelussa suunnittelija voi käyttää sovellettua LCA-työkalua (jos sellainen on olemassa), vertailla suunnitteluvaihtoehtoja ja karsia vaihtoehtoja, jotka eivät täytä asetettuja vaatimuksia. Rakentamisaikavaiheessa urakkatarjoukset voidaan arvioida LCA- ja LCC-työkaluilla ja tarjouksia voidaan vertailla.	Materiaalivirta-analyysin tekeminen vaatii ar- vion tai tiedon hankkeen aiheuttamista mate- riaalivirroista. Pelkkien materiaalivirtojen kar- kea arvio on helpompaa kuin LCA:n ja LCC:n vaatimien lähtötietojen arvio Menetelmä ei kuitenkaan soveltu vertailujen tekemiseen vaiheissa, joissa indikaattoreina halutaan käyttää muitakin kuin materiaali- panoksia kuvaavia indikaattoreita. Jos esim. yleissuunnitelmavaiheen vaihtoehtoilta on eri- laisia vaikutuksia paikallisen ympäristöön ja liikenteeseen ja sen ympäristövaikutuksiin, niin esim. energia, päästöt, melu ja pirstoutu- misvaikutukset saattavat olla tärkeitä indikaat- toreita materiaalipanosten lisäksi.

<p>Miten soveltuu eri käyttäjien tarpeisiin (mm. tilaajat, suunnittelijat, rakentajat, alihankkijat, materiaalityöntekijät, koneenkäyttäjät)</p>	<p>Tilaajat voivat hyödyntää LCA- ja LCC-menetelmiä vaatimusten asettamisessa ja yleissuunnitelman vaihtoehtojen, suunnitteluvaihtoehtojen ja tarjousten vertailussa. (Yleissuunnitelmavaiheessa vaihtoehtojen ympäristövaikutuksia pitää kuitenkin arvioida myös muiden kuin ympäristökuormitusten perusteella.) Materiaalityöntekijät voivat käyttää LCA-menetelmää ympäristöinformaation laatimisessa tuotteille ja tuotteiden markkinoinnissa. Suunnittelijat voivat käyttää LCA- ja LCC-menetelmiä suunnitteluvaihtoehtojen arvioinnissa ja vaatimusten mukaisuuden todentamisessa. Urakoitsijat voivat käyttää LCA- ja LCC-menetelmiä tarjouksen arviointiin ja tarjousta koskevan ympäristöinformaation laatimiseen.</p>	<p>Tilaajat voivat hyödyntää materiaalianalyysejä materiaalityöntekijöihin kohdistuvassa vaatimusasetannassa ja suunnitteluvaihtoehtojen vertailussa. Suunnittelijat voivat käyttää menetelmiä suunnitteluvaihtoehtojen arvioinnissa ja vaatimusten mukaisuuden todentamisessa.</p>
<p>Yleinen soveltuvuus infra-alalla</p>	<p>LCA- ja LCC-menetelmät soveltuvat hyvin infra-alalle. Ympäristövaikutusten, elinkaarikustannusten ja toimivuuden arviointi voidaan yhdistää samaan konseptiin ja työkaluun. Menetelmää tulee erityisesti yleissuunnitelmavaiheessa täydentää muilla menetelmillä, jotka ottavat paremmin huomioon maan käytön vaikutukset ja paikalliset vaikutukset.</p>	<p>Menetelmät ovat karkeita menetelmiä. Soveltuvat käytettäväksi erityisesti väylähankkeiden suunnitteluvaihtoehtojen vertailussa, kun materiaalityöntekijöitä voidaan pitää erittäin keskeisenä indikaattorina. Eivät sovellu yksin käytettäväksi tilanteissa, joissa halutaan painottaa myös maankäytön, energiaressurssin ja päästöjen merkitystä.</p>
<p>Ongelmat, kehitystarpeet</p>	<p>Työläs menetelmä, jos aloitetaan lähtötiedoista. Käytännössä käyttö vaatii tietokantoja ja/tai käyttäjän tarpeisiin soveltuvia laskentaohjelmia, joiden avulla voidaan ottaa huomioon vertailtavien kohteiden materiaali- ja energiavirtojen aiheuttamat ympäristökuormitukset ja/tai kustannukset.</p>	<p>Menetelmät ovat yksipuolisia, koska antavat saman painoarvon kaikille materiaaleille eivätkä ota huomioon muita ympäristökuormituksia. Eräs ongelma on tuotetun palvelun ominaisuuksien suuri vaihtelu, mitä MIPS ei ota huomioon, kun palvelu mitataan liikennetäi kuljetussuoritteena (ajoneuvokm, henkilökm tai tkm). Luonnonvarojen tarvitseminen vähemmän mitoitettaessa väylä nopeudelle 40 km/h (= metsäautotie) kuin nopeudelle 120 km/h (= moottoritie), mutta palvelu (= kuljetussuorite) mitataan molemmissa tapauksissa samoin suurein (ajoneuvokm, henkilökm tai tkm)).</p>

3 INDIKAATTORIJÄRJESTELMÄKUVAUS

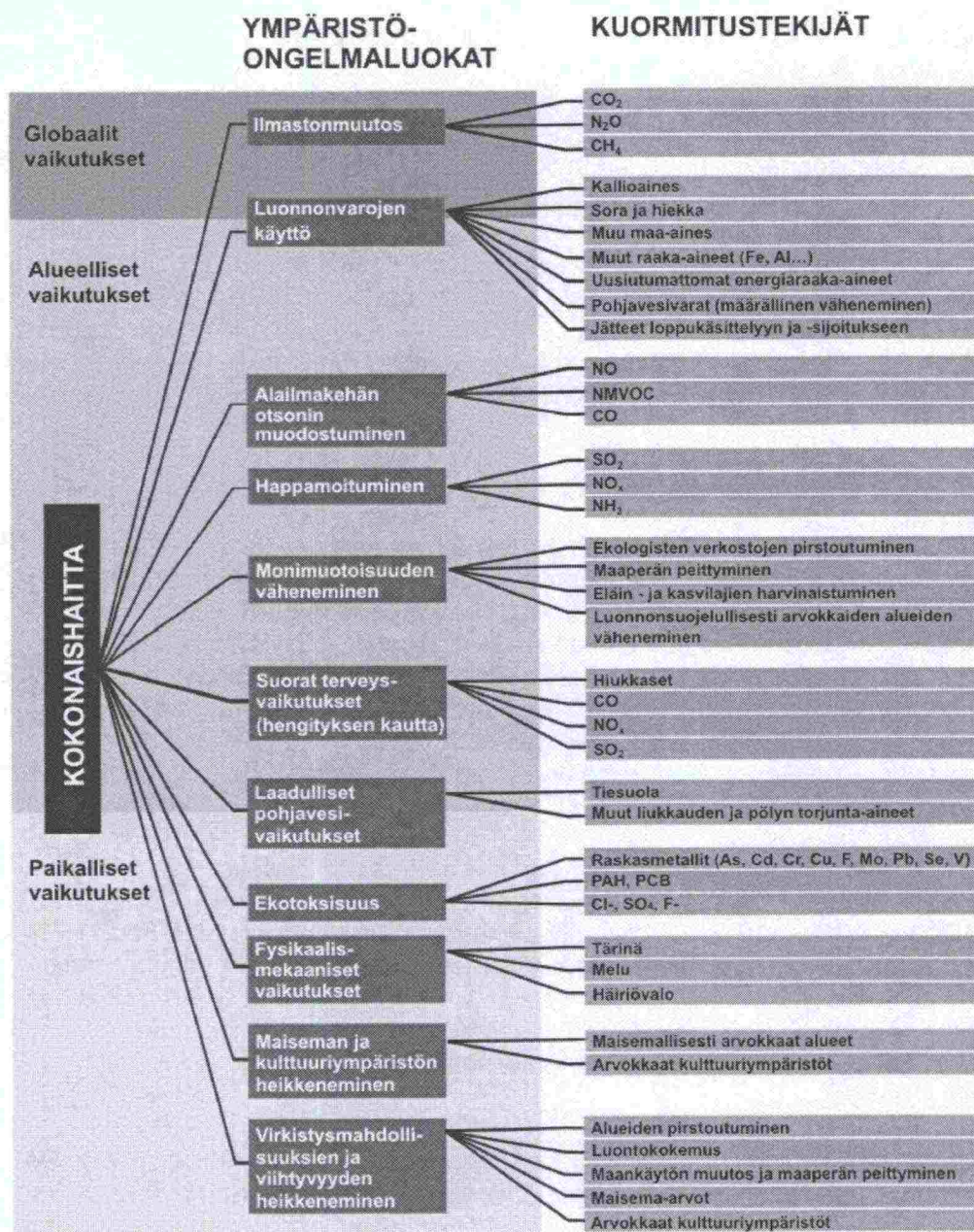
3.1 Järjestelmän rakenne

Tässä projektissa kehitetty väylärakentamisen ympäristöä kuormittavien tekijöiden arviointijärjestelmä EIMI (Environmental IMPacts of Infrastrucure) on systemaattinen menetelmä, jolla väylähankkeen ympäristöä muuttavat ja kuormittavat toiminnot, niistä aiheutuvat kuormitustekijät ja vaikutukset ympäristöön jäsenellään ja analysoidaan käyttäen päätösanalyysin ja elinkaariarvioinnin menetelmiä. Järjestelmässä yhdistetään mittauksilla ja laskelmilla hankittu päästötieto, asiantuntijoiden arviot ympäristöä kuormittavista tekijöistä sekä väylähankkeiden päättäjien ja asiantuntijoiden käsitys ympäristöongelmien keskinäisestä vakavuudesta. Tässä työssä sovellettu arviointimenetelmä on yksinkertaistettu versio järjestelmästä, joka alkujaan kehitettiin Suomen ympäristökeskuksessa tutkittaessa Etelä-Savon maakunnan ympäristöä kuormittavia toimintoja ja tekijöitä /Tenhunen ja Seppälä 2000/. Menetelmää on käytetty sen jälkeen muun muassa Kymenlaakson, Varsinais-Suomen ja Satakunnan maakuntien ympäristökysymysten arviointiin /Tenhunen et al. 2004/.

Väylärakentamisen ympäristöä kuormittavien tekijöiden arviointijärjestelmässä ympäristövaikutusten arviointiongelma kuvataan arvopuun mukaisena hierarkiana (Kuva 2). Järjestelmän hierarkkinen rakenne perustuu luokitteluun, jossa määritellään ympäristövaikutuskokonaisuuksia kuvaavat ympäristöongelmaluokat, ja ryhmitellään väylähankkeesta aiheutuvat kuormitustekijät syysseuraussuhteidensa perusteella ympäristöongelmaluokkiin.

Tehtävänä on arvioida väylärakentamisen toimintojen merkitystä ympäristövaikutusten aiheuttajina. Arvioitavat toiminnot muodostuvat väylähankkeen suunnittelun, rakentamisen, käytön ja ylläpidon toimenpiteistä, jotka aiheuttavat erilaisia päästöjä sekä luonnonvarojen vähenemiseen ja maankäyttöön liittyviä vaikutuksia. Väylärakentamisen toimintojen aiheuttamat päästöt ja muut kuormitustekijät sijoitetaan hierarkian alimmalle tasolle ja ne luokitellaan niistä aiheutuvien ympäristövaikutusten perusteella. Ympäristövaikutuskokonaisuuksia kuvaavat ympäristöongelmaluokat muodostavat hierarkian toisen tason ja ne yhdistämällä saadaan kokonaisvaikutus (kokonaihaitta) ympäristöön (Kuva 2).

Väylän käytön ympäristökuormitukset voidaan ottaa huomioon eri tavoin. Esimerkiksi yleissuunnitelma tai kaavoitusvaiheessa, jolloin väylän geometriaa ei ole valittu, väylän käytön aiheuttamat ympäristövaikutukset on syytä ottaa huomioon kokonaisuudessaan. Sitä vastoin jo olemassa olevan väylän korjaamisessa tai kunnossapidossa on järkevää ottaa huomioon väylän käytöstä (liikenteestä) aiheutuva ympäristökuormitus vain siltä osin, kun se muuttuu esimerkiksi tien pinnan kunnon heikkenemisen seurauksena.



Kuva 2. Väylärakentamisen ympäristövaikutusten kokonaishaitan arvioinnin hierarkkinen järjestelmä.

Järjestelmään valittiin ympäristöongelmaluokat (kuvaus liite 1), joilla katsottiin olevan merkitystä väylärakentamishankkeissa. Valinnan lähtökohdan muodostivat väylähankkeen eri vaiheissa muodostuvat suorat tai välilliset päästöt ja muut kuormittavat tekijät. Kaikki väylähankkeissa muodostuvat kuormittavat tekijät eivät ole järjestelmässä mukana. Jos päästö ja sen vaikutus ympäristöön arvioitiin vähäiseksi, ei sitä ole otettu mukaan järjestelmään. Järjestelmään on mahdollista lisätä tapauskohtaisesti uusia ympäristöongelmaluokkia ja kuormittavia tekijöitä. Esimerkiksi ympäristöongelmaluokka vesistön rehevöityminen on jätetty pois, koska suoria rehevöittäviä päästöjä vesistön aiheuttaa rakentamishankkeissa vain vähän. Jos tien käytön aikaisia liikenteen päästöjä otetaan tarkasteluun mukaan, rehevöityminen on otettava mukaan malliin, koska ilman kautta tuleva rehevöittävä tyyppikuormitus muodostuu tällöin merkittäväksi.

Väylärakennushankkeeseen sopivien ympäristöongelmaluokkien määrittely oli vaikutusarviointijärjestelmän toimivuuden kannalta keskeisessä asemassa. Ympäristöongelmaluokat oli määriteltävä siten, että ne pystyttiin arvotamaan eli niiden keskinäinen tärkeys oli mahdollista arvioida. Monitavoitteisen päätöksentekoanalyysin teorian mukaan päätöskriteerien, joita tässä edustavat ympäristöongelmaluokat, tulisi olla toisiinsa nähden erillisiä ja riippumattomia. Lisäksi ympäristöongelmaluokkien tulisi kuvata riittävän kattavasti kaikki väylähankkeesta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Huolellisen ympäristöongelmien määrittelyn avulla on yritetty päästä päätösanalyysin vaatimukset täyttäviin kriteereihin. Liitteenä 1 on esitetty ympäristöongelmaluokkien määritelmät, niihin valitut kuormitustekijät perusteluineen sekä kuormitustekijöiden tai indikaattoreiden mahdollisia mittaustapoja tai raja-arvoja.

3.2 Karakterisointikertoimet

Ympäristöongelmaluokkien kuormitustekijät yhteismitallistetaan kunkin luokan sisällä karakterisointikerrointen avulla. Esimerkiksi kasvihuonekaasujen yhteydessä eri aineiden päästöt pystytään ilmaisemaan ilmaston lämpenemistä kuvaavan vaikutuspotentiaalikertoimen (GWP) avulla CO₂-ekvivalenttimäärinä. Karakterisointikertoimet ovat elinkaariarvioinneissa sovellettavia ekvivalenttikertoimia, joita määrättäessä on otettu huomioon nykytietämys kuormitustekijöiden merkityksestä kyseisessä ympäristöongelmaluokassa. Taulukossa 2 on esitetty eri lähteissä esitettyjä karakterisointikertoimia.

Taulukossa esitettyjen kertoimien lisäksi eri lähteistä on löydettävissä muita mahdollisia karakterisointikertoimia eri kuormitustekijöille (Esim. EDIP 2003, CML, jne.). Käytettävien karakterisointikertoimien valinta on aina subjektiivinen päätös. Taulukoon valittujen kertoimien oletetaan tällä hetkellä edustavan hyvin Suomen olosuhteita, joten niitä on käytetty luvussa 6 esitettyjen esimerkkilaskelmien teossa. Karakterisointikertoimia kuitenkin tarkennetaan jatkuvasti tietomäärän kasvaessa, joten esitettyjä kertoimia ei tule pitää ainoina mahdollisina.

Osa järjestelmässä määritellyistä kuormitustekijöistä on sellaisia, ettei niille ole selviä määrärajoja ja niiltä puuttuvat tieteellisesti perusteltavissa olevat karakterisointikertoimet. Näihin tekijöihin liittyvien ympäristöongelmaluokkien osalta ympäristöongelmaluokkaindikaattorien laskenta perustuu kuormitustekijöitä kuvaaviin indikaattoreihin ja subjektiivisiin asiantuntijoiden antamiin painoihin, joita käytetään karakterisointikertoimien asemesta. Ympäristöongelmaluokat, joihin liittyviin kuormitustekijöihin asiantuntijoiden subjektiivisia arvioita sovelletaan, ovat fysikaalimekaaniset vaikutukset, luonnonvarojen käyttö, maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen, monimuotoisuuden väheneminen, virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden heikkeneminen (taulukko 3).

Taulukko 2. Päästöjen karakterisointikertoimia ympäristöongelmaluokkien yhteisvaikutuksen laskemiseksi.

Ympäristöongelmaluokka	Kuormitustekijä	Karakterisointikertoimet ¹⁾
Ilmastonmuutos	CO ₂ (fossil)	1
	CH ₄	23
	N ₂ O	310
Happamoituminen	SO ₂	0,463
	NO _x (NO ₂)	0,186
	NH ₃	0,535
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NMVOC	0,27 ²⁾
	NO _x (NO ₂)	0,35 ²⁾
	CO	-
	CH ₄	0,33 ²⁾
Suorat terveysvaikutukset	PM _{2,5}	0,0007 ³⁾
	PM ₁₀	0,000375 ³⁾
	SO ₂	0,0000546 ³⁾
	NO _x	0,0000887 ³⁾
	CO	
Ekotoksisuus	As	0,67 ⁴⁾
	Cd	25 ⁴⁾
	Cr	0,67 ⁴⁾
	Cu	0,17 ⁴⁾
	F-	0,03
	Mo	0,67
	Pb	0,67 ⁴⁾
	Se	3,33
	V	
	PAH	
	PCB	
	Cl	

¹⁾ Karakterisointikertoimet perustuvat: Ilmastonmuutos: Houghton, J. & al. (eds.) (1995), Happamoituminen: Seppälä et al. (2005), Alailmakehän otsonin muodostuminen: Hauschild et al. (2004), Suorat terveysvaikutukset: Goedkoop, M. and Spriensma, R. (2001).

²⁾ Vaikutus kasvillisuuteen (AOT40)

³⁾ Vaikutus hengityksen kautta

⁴⁾ Kertoimet on laskettu käyttäen viitteessä (Mroueh et al. 2006) esitettyjä raja-arvoja: "Yleiset liukoisuusraja-arvoehdotukset peitetyissä ja päällystetyissä maarakenteissa hyödynnettäville jätteille. Tutkimusmenetelmä prCEN/TS 14405".

Taulukko 3. Workshopissa ympäristöongelmaluokkien kuormitustekijöille, joille ei ole olemassa karakteristisointikertoimia henkilökohtaisessa kyselyssä annetut painot.

Ympäristöongelmaluokka	Kuormitustekijä	Painoarvo
Fysikaallis-mekaaniset vaikutukset	Melu	0,61
	Tärinä	0,32
	Häiriövalo	0,07
Luonnonvarojen käyttö	Kallioaines	0,17
	Sora ja hiekka	0,28
	Muu maa-aines	0,06
	Uusiutumattomat energiaraaka-aineet	0,17
	Muut raaka-aineet	0,09
	Pohjavesivarojen määrällinen väheneminen	0,16
	Jätteet loppukäsittelyyn ja -sijoitukseen	0,10
Maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen	Maisemallisesti arvokkaat alueet	0,51
	Arvokkaat kulttuuriympäristöt	0,49
Monimuotoisuuden väheneminen	Ekologisten verkostojen pirstaloituminen	0,33
	Maaperän peittyminen	0,28
	Eläin- ja kasvilajien harvinaistuminen	0,16
	Luonnonsuojelullisesti arvokkaat alueet	0,26
Virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden* heikkeneminen	Alueiden pirstoutuminen	0,23
	Maaperän peittyminen	0,21
	Luonnonsuojelullisesti arvokkaat alueet	0,22
	Maisemallisesti arvokkaat alueet	0,13
	Arvokkaat kulttuuriympäristöt	0,23

* Luokan kuormitustekijöiden nimiä ja sisältöä täsmennettiin workshopin jälkeen, joten painoarvot on tarvittaessa syytä tarkistaa.

3.3 Normalisointi ja painottaminen

Kokonaishaitan laskeminen väylärakentamisen ympäristövaikutusten arviointijärjestelmällä edellyttää, että ympäristöongelmaluokille on määritetty painoarvot. Ympäristöongelmaluokkien painokertoimet määriteltiin workshopissa (luku 5) väylärakennushankkeen toteutuksesta aiheutuvien ympäristövaikutusten vähentämisen näkökulmasta ja vertailukohtana käytettiin tie- ja ratahankkeista Suomessa aiheutuvia päästöjä sekä koko Suomen päästöjä. Monitavoitteisen arvoteorian perusteella ympäristöongelmaluokkien indikaattoriluvut on tällöin normalisoitava referenssijärjestelmästä (tässä raportissa esitettyjä Suomen tie- ja ratahankkeista) aiheutuvilla päästöillä lasketuilla normalisointitekijöillä.

Väylähankkeen toteutusvaihtoehdon (tuotejärjestelmän) a kokonaishaitta $V(a)$ lasketaan kertomalla normalisoidut vaikutusindikaattorit vaikutusluokkien painoilla ja summaamalla tulot yhteen:

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{I_i(a)}{N_i(R)} \quad (1)$$

missä w_i = ympäristöongelmaluokan i painokerroin (kuvasta 2 tai 3),

$I_i(a)$ = ympäristöongelmaluokan i indikaattoriarvo,

joka aiheutuu tuotejärjestelmästä a ja

$N_i(R)$ = ympäristöongelmaluokan i normalisointitekijä referenssijärjestelmästä R aiheutuvilla päästöillä laskettuna.

Ympäristöongelmaluokkaindikaattori $I_i(a)$ lasketaan kaavalla:

$$I_i(a) = \sum_{j=1}^m C_{i,j} \times Kuormitus_{i,j}(a) \quad i = 1, \dots, 11 \quad (2)$$

missä $C_{i,j}$ = ympäristöongelmaluokan i kuormitustekijän j karakterisointikerroin (taulukko 2) tai painokerroin (taulukko 3),

$Kuormitus_{i,j}(a)$ = tuotejärjestelmän (väylähankkeen toteutusvaihtoehdon) a ympäristöongelmaluokan i kuormitustekijän j päästö määrä tai indikaattorin arvo.

Normalisointitekijä $N_i(R)$ lasketaan kaavalla:

$$N_i(R) = \sum_{j=1}^m C_{i,j} \times Kuormitus_{i,j}(R) \quad i = 1, \dots, 11 \quad (3)$$

missä $C_{i,j}$ = ympäristöongelmaluokan i kuormitustekijän j karakterisointikerroin (taulukko 2) tai painokerroin (taulukko 3),

$Kuormitus_{i,j}(R)$ = referenssijärjestelmän R ympäristöongelmaluokan i kuormitustekijän j päästö määrä tai indikaattorin arvo.

Joidenkin ympäristöongelmaluokkien (esimerkiksi maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen, monimuotoisuuden väheneminen sekä virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden väheneminen) kuormitustekijöitä ($Kuormitus_{i,j}(a)$) kuvaamaan voi olla vaikea löytää sopivia indikaattoreita. Toisaalta järjestelmässä käytettävien kuormitusta kuvaavien indikaattoreiden tulisi myös olla sellaisia, että niille voidaan määrittää normalisointitekijän laskennassa tarvittava referenssialueen kuormitusta ($Kuormitus_{i,j}(R)$) kuvaava arvo. Jos jollekin kuvassa 1 esitetulle kuormitustekijälle ei ole käytössä edellä mainitut ehdot tyydyttävästi täyttävää indikaattoria, voidaan se jättää järjestelmästä pois. Liitteessä 1 on tehty ehdotuksia mahdollisiksi kuormitustekijöitä kuvaaviksi indikaattoreiksi.

Vertailtaessa toteutusvaihtoehtoja keskenään erillistä referenssijärjestelmää normalisoinnin tekemiseksi ei välttämättä tarvita. Normalisointi voidaan korvata hyödyntämällä toteutusvaihtoehtojen aiheuttamien ympäristövaikutusten suhteellisia eroja. Ympäristöongelmaluokkaindikaattorit voidaan suhteuttaa sen vaihtoehdon ympäristöongelmaluokkaindikaattoreihin, joka saa suurimman arvon. Tällöin toteutusvaihtoehdon a kokonaishaitta $V(a)$ lasketaan

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{I_i(a)}{I_i^*(x)} \quad (4)$$

missä $I_i^*(x)$ = suurin indikaattoriarvo ympäristöongelmaluokassa i ,
 x = toteutusvaihtoehto, joka saa suurimman indikaattoriarvon ympäristöongelmaluokassa i

Painokertoimien w_i tulisi kuitenkin olla tällöin määritetty tähän hankkeeseen ja sen toteutusvaihtoehtoihin liittyviksi.

4 VÄYLÄRAKENTAMISEN YMPÄRISTÖKUORMITUSARVIO

Hankkeessa arvioitiin karkeasti tien-, kadun- ja radanrakentamisen aiheuttama ympäristökuormitus Suomessa vuositason tasolla. Arvion tarkoituksena oli selvittää eri osatekijöiden merkitsevyys väylärakentamisen aiheuttamasta ympäristökuormituksesta sekä toisaalta arvioida väylärakentamisen merkitsevyyttä Suomen tasolla aiheutuvasta ympäristökuormituksesta.

Tienrakennuksen suhteen arviossa otettiin huomioon teiden päällystys ja laajennus- ja uusinvestoinnit ja niiden aiheuttama materiaalien käyttö, kuljetukset ja työkoneiden käyttö. Arvio tehtiin siten, että lähtötiedoiksi koottiin seuraavat asiat:

- kiviainesten käyttö tienrakennuksessa,
- kiviainesten tyypilliset kuljetusmatkat,
- asfalttien kokonaiskäyttömäärät tienrakennuksessa ja
- työkoneiden kokonaiskäyttömäärät tienrakennuksessa ja päällystyksessä.

Ratarakennuksesta otettiin huomioon ratojen kunnostus-, laajennus- ja uusinvestoinnit. Arvioon sisällytettiin materiaalien käyttö, kuljetukset ja työkoneiden käyttö. Arvion lähtötiedoiksi koottiin informaatio seuraavista asioista:

- kiviainesten käyttö ratarakentamisessa,
- kiviainesten tyypilliset kuljetusmatkat,
- kiskojen, ratapölkkyjen, pylväiden ja lankojen kokonaiskäyttömäärät ratarakentamisessa ja
- työkoneiden kokonaiskäyttömäärät ratarakentamisessa.

Katurakennuksesta otettiin huomioon katujen kunnostus-, laajennus- ja uusinvestoinnit. Arvioon sisällytettiin materiaalien käyttö, kuljetukset ja työkoneiden käyttö. Arvio tehtiin siten, että ensin lähtötiedoiksi arvioitiin karkeasti seuraavat asiat:

- kiviainesten käyttö katurakentamisessa,
- kiviainesten tyypilliset kuljetusmatkat,
- asfalttien kokonaiskäyttömäärät katurakentamisessa ja
- työkoneiden kokonaiskäyttömäärät katurakentamisessa ja päällystyksessä.

Materiaaliresurssien kulutuksen ja kuljetusten sekä työkoneiden käytön volyymien arvion jälkeen selvitettiin näiden osatekijöiden ympäristöprofiilit. Ympäristöprofiililla tarkoitetaan tässä luetteloa aiheutuvista haitallisista päästöistä ja luonnon resurssien kulumisesta tarkasteluysikköä kohden.

Liitteessä 3 esitetään VTT:n (Tarja Häkkinen ja Leif Wirtanen) laatima arvio kokonaisuudessaan lähteineen. Liitteessä esitetään myös arviossa käytetyt tienrakentamisen raaka-aineiden ympäristöprofiilit. Ympäristöprofiilit perustuvat VTT:n aineistoon rakennustuotteiden ympäristövaikutuksista. Aineistoa ei päivitetty erityisesti tätä arviota varten.

Taulukossa 4 esitetään yhteenveto arvion tuloksista. Taulukossa esitetään vuositason tierakentamisen aiheuttama energian ja raaka-aineiden arvioitu kokonaiskulutus sekä ympäristökuormitus hiilen, rikin ja typen oksidien ja hiukkasten päästöinä ilmaan. Vastaavat luvut ilmoitetaan myös ratarakentamiselle ja kadunrakentamiselle. Taulukossa 5 esitetään lisäksi eri osatekijöiden osuudet aiheutuvista kuormituksista prosentteina kokonaiskuormituksesta.

Arviointituloksen mukaan tienrakentaminen aiheuttaa vuosittain noin 40 miljoonan tonnin uusiutumattomien luonnon raaka-aineiden kulutuksen. Tienrakentaminen aiheuttaa lisäksi vuositason noin 6 300 terajoulen uusiutumattoman energieresurssin kulutuksen ja noin 0,5 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt. Vastaavasti kadunrakennus aiheuttaa noin 0,3 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt ja ratarakentaminen noin 0,1 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt vuosittain. Koko väylärakentaminen yhteensä aiheuttaa noin 52 miljoonana tonnin uusiutumattoman raaka-ainekulutuksen ja noin 0,8 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt.

Hankkeessa arvioitiin karkeasti myös tien-, kadun- ja radanrakentamisen aiheuttaman ympäristökuormituksen osuus koko Suomessa aiheutuvasta ympäristökuormituksesta. Vertailua varten Marja-Riitta Hiltunen (SYKE) kokosi aineistoa Suomen tasolla aiheutuvista resurssien kulutuksesta ja haitallisista päästöistä. Tiedot ovat vuodelta 2003 ja ne esitetään kokonaisuudessaan lähteineen liitteessä 3. Vertailu esitetään taulukossa 5.

Arvion mukaan teiden, katujen ja ratojen rakentaminen aiheuttaa vuodessa noin 11 000 terajoulen uusiutumattoman energian kulutuksen ja noin 0,8 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt. Arvion mukaan tien-, kadun- ja ratarakentaminen aiheuttaa suuruusluokaltaan noin 1 %:n osuuden (0,6 - 1,1 %:n osuuden) Suomen uusiutumattoman energian kulutuksesta ja hiilen, rikin ja typen oksidien päästöistä. Osuus on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi teollisuuden kokonaisosuus, mutta on samaa suuruusluokkaa kuin joidenkin yksittäisten teollisuusalojen osuus. Esimerkiksi korkeiden polttolämpötilojen vuoksi energiaa paljon kuluttavan sementtituotannon aiheuttama uusiutumattoman energian kulutus on noin 6 000 TJ ja hiilidioksidipäästö on noin 1 miljoonaa tonnia vuodessa suomalaisten sementtien koko tuotantoelinkaari huomioon ottaen. Laskelmassa on oletettu, että sementtien vuosituotanto on 1 300 000 tonnia, uusiutumattoman energian kulutus 4,5 MJ/kg ja hiilidioksidipäästö 900 g/kg sementtiä. Luvut perustuvat suomalaisten sementtien ympäristösertifikaattiin.

Taulukko 4.

Arvio tien-, radan- ja kadunrakennuksen aiheuttamista ympäristukuormituksista vuositasolla ja eri osatekijöiden osuuksista.

TIERAKENNUS		Eri osatekijöiden osuudet kokonaiskuormituksesta (%)									
	Yhteensä	Sora	Murske	SMA	AB	Kuljetus	Kallio	Työkoneet			
Uusiutumaton energia	6 300 000 000 MJ	2	12	14	66	3	0	3			
Uusiutumaton raaka-aine	40 000 000 tonnia	31	64	1	5	0	0	0			
CO ₂	490 000 tonnia	2	9	14	65	2	0	7			
SO ₂	300 tonnia	2	11	15	66	0	2	5			
NO _x	710 tonnia	1	7	7	34	17	8	25			
PM10	53 tonnia	2	57	8	29	4	0	0			
RADANRAKENNUS		Eri osatekijöiden osuudet kokonaiskuormituksesta (%)									
	Yhteensä	Sora	Murske	Kuljetus	Kallio	Työkoneet	Teräs/malmi	Teräs/romu	Puu	Betoni	Kupari
Uusiutumaton energia	978 000 000 MJ	2	10	8	0	3	44	6	1	26	1
Uusiutumaton raaka-aine	5 120 000 MJ	32	63	0	0	0	1	0	0	4	0
CO ₂	96 000 tonnia	1	6	5	0	6	39	4	1	37	1
SO ₂	91 tonnia	1	5	0	3	2	47	19	1	20	2
NO _x	277 tonnia	0	2	19	10	10	15	3	3	36	1
PM10	3 520 tonnia	0	0	0	0	0	97	0	0	3	0
KADUNRAKENNUS		Eri osatekijöiden osuudet kokonaiskuormituksesta (%)									
	Yhteensä	Sora	Murske	AB	Kuljetus	Kallio	Työkoneet				
Uusiutumaton energia	4 100 000 000 MJ	0	2	96	1	0	1				
Uusiutumaton raaka-aine	6 700 000 tonnia	24	48	28	0	0	0				
CO ₂	320 000 tonnia	0	2	95	1	0	1				
SO ₂	200 tonnia	0	2	96	0	0	1				
NO _x	290 tonnia	0	2	78	9	3	8				
PM10	19 tonnia	1	20	77	3	0	0				

Taulukko 5. Tien-, kadun- ja ratarakentamisen aiheuttama ympäristökuormitus sekä Suomen tasolla aiheutuva ympäristökuormitus.

		Tienraken- taminen	Kadunraken- taminen	Rataraken- taminen	Teiden, katujen ja ratojen rakenta- minen yhteensä	Suomi / osuus prosentteina
Uusiutumaton energia	TJ	6 300	4 100	978	11 400	1 130 000 / 1 %
Uusiutumaton aaka-aine	milj. tonnia	40	6,7	5,1	52 *	92 * / 56 %
CO ₂	milj. tonnia	0,49	0,32	0,096	0,81	73 / 1,1 %
SO ₂	tonnia	300	200	91	590	99 000 / 0,6%
NO _x	tonnia	710	290	277	1 300	219 000 / 0,6 %
CH ₄	tonnia	33	7,0	86	126	236 000 / 0,5 %
NM _{VOC}	tonnia	31	15	9,9	56	145 000 / 0,04 %
PM ₁₀	tonnia	53	19	3 520	3 600	55 000 / 6,5 %

* Luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia, koska väylärakentamisen luvussa mukana ovat myös muut raaka-aineet kuin kallio- ja maa-ainekset (kuten esimerkiksi fossiiliset raaka-aineet, joita tarvitaan polttoaineiden ja bitumin valmistukseen), kun taas Suomen luvussa ovat mukana vain kallio- ja maa-ainekset.

Väylien rakentamisen aiheuttama ympäristökuormitus aiheutuu suurelta osin asfaltin valmistuksesta muiden parametrien paitsi uusiutumattomien luonnon raaka-aineiden kulutuksen suhteen. Tien-, kadun- ja ratarakentamisen aiheuttama uusiutumattomien raaka-aineiden kulutus on hyvin merkittävä koko Suomen tasoon verrattuna. Väylärakentamisen arvioissa luvussa on mukana kaikki luonnon raaka-aineiden esimerkiksi fossiiliset raaka-aineet mukaan lukien. Täten tulos ei ole täysin vertailukelpoinen Suomen tasolla esitettyyn lukuun, koska siinä on mukana vain maa- ja kallioainekset. Väylärakentaminen aiheuttaa noin puolet maa- ja kallioainesten kulutuksesta Suomesta.

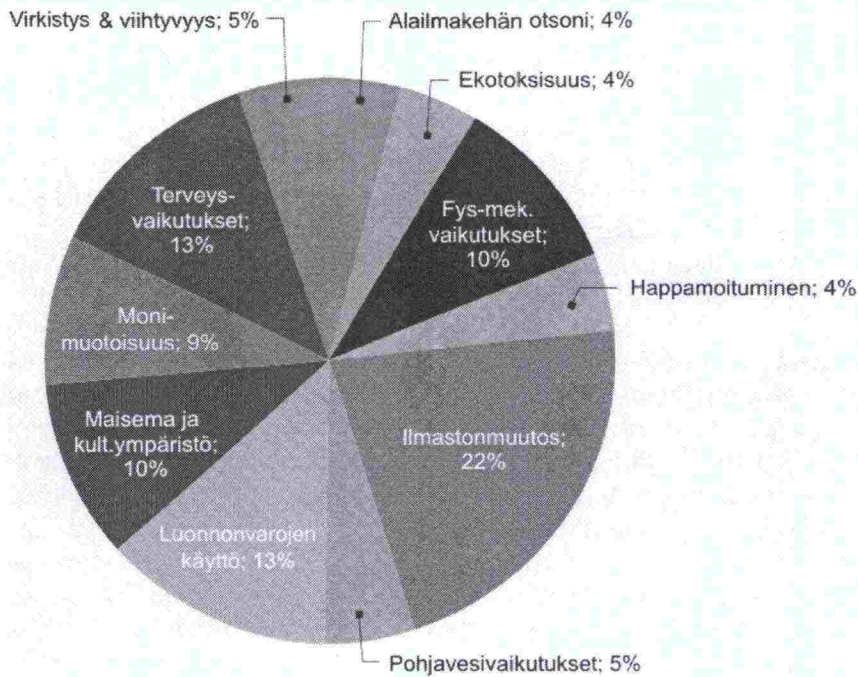
5 ARVOTTAMISTEHTÄVÄN TULOKSET

Väylärakentamisen indikaattorijärjestelmässä ympäristöä kuormittavat tekijät luokiteltiin ympäristövaikutusten mukaisesti ympäristöongelmaluokkiin (Kuva 2). Järjestelmän avulla väylähankkeen ympäristötietoa yhdistetään ympäristöongelmaluokkaindikaattoreiksi ja tarvittaessa koko hanketta kuvaavaksi yhdeksi luvuksi. Ympäristöä kuormittavan tiedon yhdistämiseen tarvitaan painokertoimia.

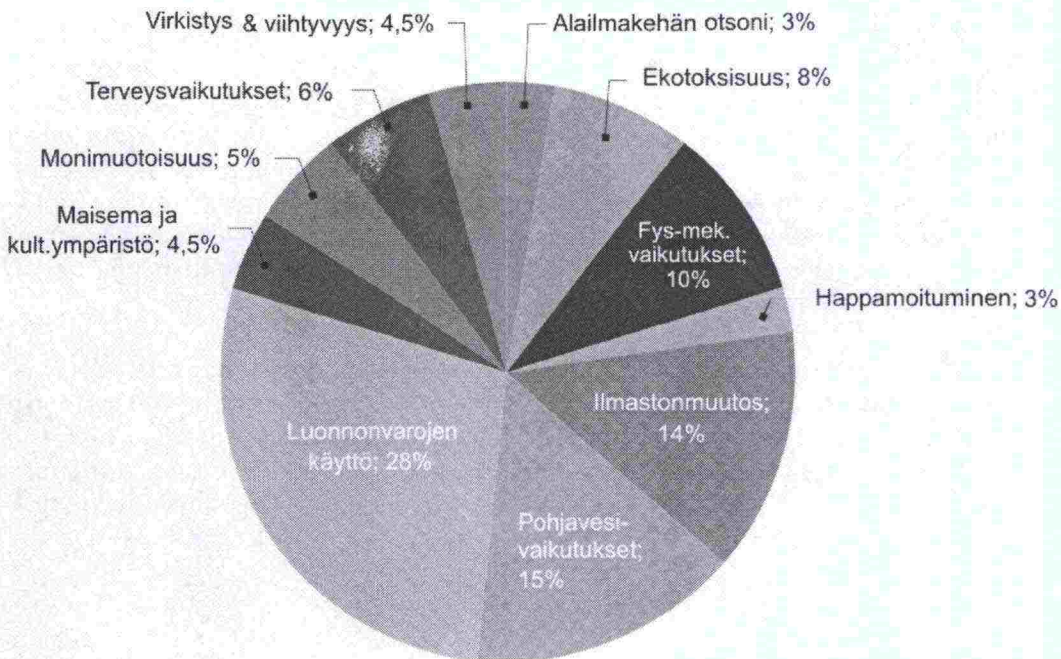
Väylähankkeissa ympäristövaikutukset ovat hyvin tapauskohtaisia. Paikallisten ympäristöolosuhteiden ja väyläsuunnitelman tuntemus on edellytys ympäristövaikutusten arvioinnille. Tässä hankkeessa haluttiin kuitenkin rakentaa indikaattorijärjestelmä, jossa pohjatietona ovat asiantuntijoiden antamat painot väylärakentamisen ympäristöongelmaluokille ja niille kuormitustekijöille, joille ei ole karakterisointikertoimia. Osalle ympäristöjärjestelmään valituista kuormitustekijöistä voidaan käyttää elinkaariarviointimalleissa käytettyjä karakterisointikertoimia, jolloin subjektiivista arvottamista ei tarvita (kts. taulukko 2). Arvottamisen toteuttivat tienrakentamiseen liittyvien esimerkkitapausten pohjalta väylärakentamisen asiantuntijat 13.10.2005 järjestetyssä workshopissa.

Ympäristöongelmien arvottaminen toteutettiin kahdella päätösanalyysin perustuvalla tekniikalla. Liitteenä 2 on esitetty arvottamistehtävälomake, jossa on kuvattu myös SMART-tekniikka. Siinä kaikki workshopiin osallistuneet asettivat ympäristöongelma tärkeysjärjestykseen ja antoivat painot ongelmaluokille siten, että vähiten tärkeä ongelmaluokka sai painon 10. Ympäristöongelmaluokat arvoettiin myös kahdessa ryhmässä AHP-tekniikalla (kuvaus liitteessä 4), joka perustuu arvoitettavien tekijöiden pareittaiseen vertailuun. (esimerkiksi Winterfelt ja Edwards 1986 ja Keeney ja Raiffa 1976) SMART-tekniikkaa käytettäessä jokainen vastaaja antoi oman henkilökohtaisen näkemyksensä mukaisen vastauksen. AHP-tekniikkaa sovellettiin ryhmissä, jolloin ympäristöongelmien pareittaisen vertailun painot annettiin ryhmässä käytyjen keskustelujen pohjalta.

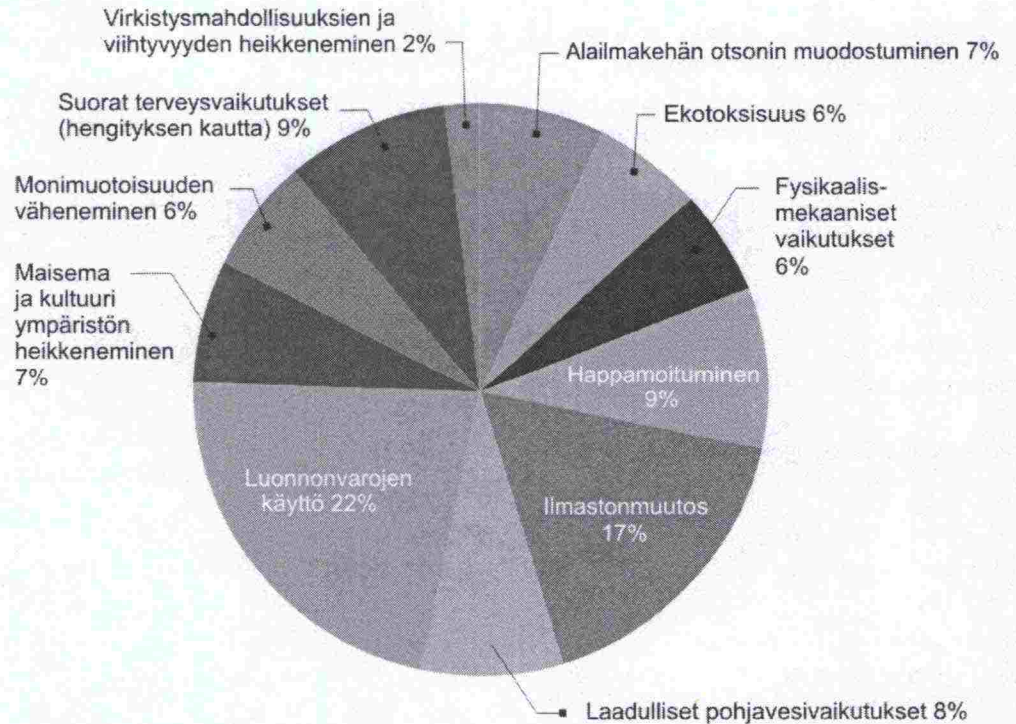
Väylähanke jaettiin kahteen osaan: yleissuunnitelmavaiheeseen ja rakentamis- ja kunnossapitovaiheeseen. Molempiin vaiheisiin liittyvät ympäristöongelmat arvoettiin erikseen. Pohjana käytettiin molemmissa samaa hierarkista järjestelmää. Lisäksi AHP-tekniikalla arvoettiin rakentamisvaiheen ympäristöongelmia. Kuvissa 3, 4 ja 5 on esitetty ympäristöongelmille workshopissa annetut painot.



Kuva 3. Väylähankkeen yleissuunnitelmavaiheen ympäristöongelmien mediaanipainot, jotka on laskettu vastaajien henkilökohtaisten painojen perusteella.

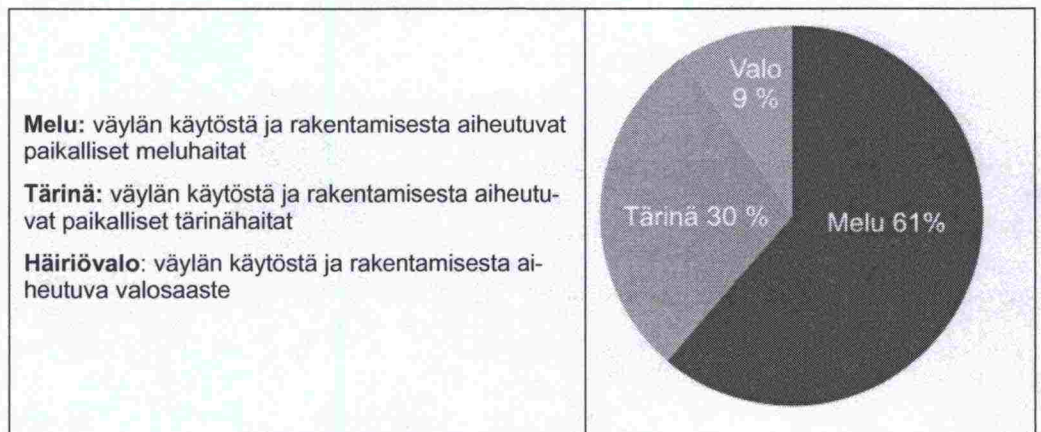


Kuva 4. Väylähankkeen rakentamis- ja kunnossapitovaiheen ympäristöongelmien mediaanipainot, jotka on laskettu vastaajien henkilökohtaisten painojen perusteella.



Kuva 5 Väylähankkeen rakentamis- ja kunnossapitovaiheen ympäristöongelmien kahden ryhmän AHP-tekniikalla annettujen painojen keskiarvo.

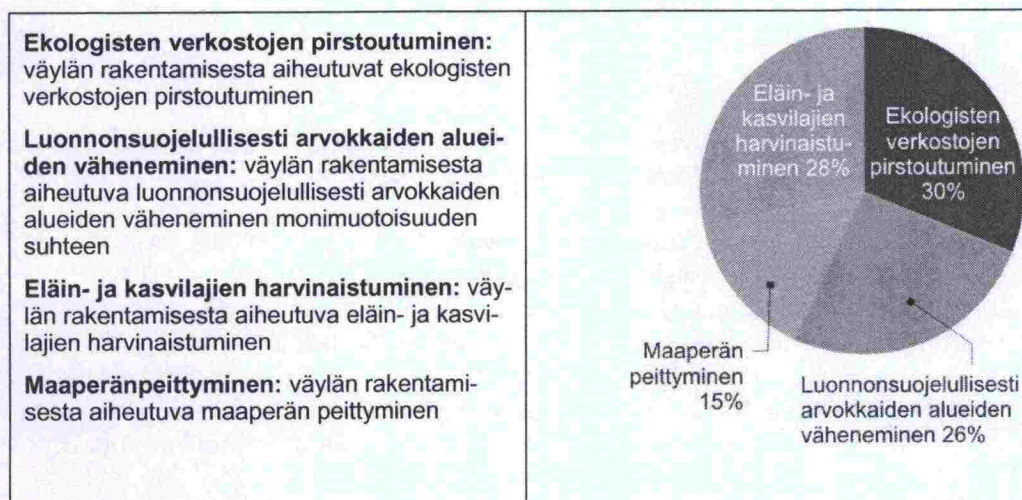
Workshopissa annettiin myös painot sellaisille kuormitustekijöille joille ei ole olemassa elinkaariarvioinnissa käytettyjä karakterisointikertoimia. Painot annettiin sekä henkilökohtaisesti että ryhmässä AHP-tekniikalla. Painoja arvioitaessa oletettiin, että kyseessä on rakentamis- ja kunnossapitovaihe. Ympäristöongelmaluokat, joihin liittyviin kuormitustekijöihin asiantuntijoiden subjektiivisia arvioita käytettiin, ovat fysikaalis-mekaaniset vaikutukset, luonnonvarojen käyttö, maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen, monimuotoisuuden väheneminen, virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden heikkeneminen (kuvat 6 - 10).



Kuva 6. Fysikaalis-mekaaniset kuormitustekijöiden mediaanipainot rakentamisvaiheessa, jotka on laskettu vastaajien henkilökohtaisten painojen perusteella.



Kuva 7. Luonnonvarojen väheneminen kuormitustekijöiden mediaanipainot rakentamisvaiheessa, jotka on laskettu vastaajien henkilökohtaisten painojen perusteella.



Kuva 8. Monimuotoisuuden väheneminen kuormitustekijöiden mediaanipainot, jotka on laskettu vastaajien henkilökohtaisten painojen perusteella.



Kuva 9. Maisema- ja kulttuuriympäristön heikkeneminen kuormitustekijöiden yhden ryhmän A HP arvioinnin tulokset.



Kuva 10. Virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden heikkeneminen kuormitustekijöiden mediaanipainot, jotka on laskettu vastaajien henkilökohtaisten painojen perusteella.

6 JÄRJESTELMÄN TESTAUS PILOT -KOhteissa, ESIMERKKILASKELMAT

6.1 Tarkasteltavat rakenteet ja niiden ympäristökuormitukset sekä tarkastelun rajaukset

Ympäristökuormitusten arviointijärjestelmän toimivuutta testattiin tekemällä esimerkkilaskelma käyttäen "Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin" -projektissa (Korkiala-Tanttu et al. 2005) tarkastellussa Valkeakosken pilotkohteessa (MT307) tehtyjä ympäristökuormituslaskelmia. Tarkastelun pohjaksi valittu ympäristökuormituslaskelma oli erään urakoitsijan tarjouksen yhteydessä Meli-ohjelmalla tekemä laskelma 460 m pitkälle uudelle tieosuudelle (rakenne A), jonka mitat, materiaalit sekä materiaalien kuljetusmatkat on esitetty taulukossa 6. Vertailua varten tehtiin Meli-ohjelmalla laskelma toiselle keksitylle rakenteelle, jossa vaihdettiin kantavan kerroksen materiaaliksi maabetoni ja suodatinkerroksen materiaaliksi masuunihiekka. Muuten tarkastellut rakenteet olivat keskenään samanlaisia. Esimerkkitapauksessa vertailurakenteeksi valittiin keksitty rakenne, koska pilotkohteen laskennassa saatiin urakoitsijalta vain valitun lopullisen rakenteen ympäristökuormituslaskelmat.

Taulukko 6. Tarkasteltujen tierakenteiden mitat, rakenteissa käytetyt materiaalit sekä materiaalien kuljetusmatkat Valkeakosken kohteessa (MT307).

Rakenne A (MT307) Pituus 460 m Leveys 8 m Päällysteen leveys 7 m	Rakennesosan paksuus, m	Materiaali	Kuljetusmatka (maaseudulla), km
Päällyste 1	0,05	AB 20	30
Päällyste 2	0	AB 20	0
Päällyste 3	0	AB 20	0
Kantava kerros	0,14	BST	6
Jakava kerros	0,25	Murske	12,5
Suodatinkerros	0,35	Hiekka	12,5
Penger	0	Hiekka hl	0

Rakenne B (keksitty) Pituus 460 m Leveys 8 m Päällysteen leveys 7 m	Rakennesosan paksuus, m	Materiaali	Kuljetusmatka (maaseudulla), km
Päällyste 1	0,05	AB 20	30
Päällyste 2	0	AB 20	0
Päällyste 3	0	AB 20	0
Kantava kerros	0,14	Maabetoni (asemasekoitus, sementtiä 3 %)	6
Jakava kerros	0,25	Murske	12,5
Suodatinkerros	0,35	Masuunihiekka	12,5
Penger	0	Hiekka hl	0

Meli-ohjelmalla tehty ympäristökuormituslaskelmat perustuvat elinkaariarviointiin ja niissä huomioidaan tien koko elinkaaren aikaiset ympäristökuormitukset, toisin sanoen materiaalien valmistus ja kuljetus, itse tien rakentaminen, sekä tien käytön aikana materiaaleista maaperään liukenevat päästöt. Ohjelmalla voidaan laskea myös tien käytön aikaisista kunnostustoimenpiteistä aiheutuvat ympäristökuormitukset, mutta tässä esimerkissä niitä ei tarkasteltu. Myöskään tien käytön aikaisia liikenteen päästöjä ei ole sisällytetty tarkasteluun.

Laskenta tehdään syöttämällä Meli-ohjelman syöttölomakkeelle taulukossa 6 esitetyt perustiedot rakenteesta. Tämän jälkeen ohjelma laskee automaattisesti tarkastellun tierakenteen elinkaaren aikaiset kokonaisympäristökuormitukset (taulukko 7). Koska esimerkkilaskelmien ympäristökuormitustiedot rajoittuivat energian ja raaka-aineiden kulutukseen sekä ilma- ja maaperäpäästöihin, tarkasteluun voitiin sisällyttää vain osa järjestelmään sisältyvistä ongelmaluokista (alailmakehän otsoni, ekotoksisuus, happamoituminen, ilmastomuutos, luonnonvarojen käyttö ja terveysvaikutukset). Ympäristöongelmaluokista jouduttiin tarkastelusta jättämään pois: fysikaalis-mekaaniset vaikutukset, laadulliset pohjavesivaikutukset, maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen, monimuotoisuuden väheneminen sekä virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden heikkeneminen.

Taulukko 7. Tarkasteltujen tierakenteiden elinkaaren aikaiset kokonaisympäristökuormitukset.

Energia- ja raaka-aineet	Rakenne A (MT 307)	Rakenne B (keksitty)
Energian kulutus, MJ	1081400	553300
Polttoaineen kulutus, t	17	9,7
Luonnon kiviainekset, t	6650	3600
-Kallio	3270	3490
-Sora ja Hiekka	3360	56
-Muut	20	57
Uusioraaka-aineet, t (sivutuotteet)	0	2346
Päästöt ilmaan		
CO ₂ , t	111	70
NO _x , t	0,78	0,50
SO ₂ , t	0,15	0,06
VOC + C _x H _y , t	0,19	0,09
Hiukkaset, t	0,06	0,05
CO, t	0,11	0,15
Pöly, t	2,9	4,1
Meluaika, dBAh	24 100	27 300
Liukoisuus maaperään (100 vuodessa)		
sulfaatti, mg/kg	24,4	33,6
arseeni, mg/kg	0,006	0,01
kadmium, mg/kg	0,0004	0,0004
kromi, mg/kg	0,004	0,006
kupari, mg/kg	0,004	0,006
molybdeeni, mg/kg	0,022	0,022
nikkeli, mg/kg	0,004	0,008
lyijy, mg/kg	0,004	0,008
vanadiini, mg/kg	0,010	0,204
sinkki, mg/kg	0,041	0,04

Esimerkkilaskelmassa kuhunkin ympäristöongelmaluokkaan vaikuttavat kuormitustekijät koottiin taulukkoon ko. luokan alle (osa kuormitustekijöistä voi vaikuttaa useampaan ympäristöongelmaluokkaan). Kuormitustekijät saatettiin yhteismitallisiksi kunkin luokan sisällä käyttäen taulukossa 8 esitettyjä karakterisointikertoimia (kaava 2) ja tuloksena saatiin ns. karakterisoidut kuormitustekijät, eli ympäristöongelmauokkaindikaattorit. Nämä indikaattorit normalisoitiin (saatettiin yhteismitallisiksi keskenään) käyttäen normalisointitekijöitä, jotka oli laskettu käyttäen referenssikuormitustasona Suomen tierakentamisen aiheuttamia ympäristökuormituksia vuositasolla (kaava 3). Väylärakentamisen ympäristövaikutusten arviointijärjestelmän mukainen kokonaisuus $V(a)$ laskettiin kertomalla normalisoidut vaikutusindikaattorit workshopissa määritetyillä vaikutusluokkien painoarvoilla ja summaamalla tulot yhteen (kaava 1). Näin saatiin kyseisen tierakenteen aiheuttamaa kokonaisuutta kuvaava luku. Kyseistä lukuarvoa voidaan hyödyntää kun halutaan verrata eri tierakenteiden aiheuttamia ympäristöhaittoja keskenään.

Normalisoinnin tarkoituksena on saattaa eri indikaattorit vertailukelpoiksi keskenään. Tämä voi olla ongelmallista silloin, kun indikaattorit ovat vaikutuksiltaan eritasoisia (paikallisia, alueellisia ja/tai globaaleja). Tällöin tarkastelussa voidaan jättää normalisointi pois ja tehdä pelkkä vaihtoehtojen vertailu. Päätösanalyysin teorian mukaan vertailu tehdään siten, että kunkin vaikutusluokan suurin indikaattoriarvo saa arvon 1 ja muut suhteutetaan siihen (ovat pienempiä kuin 1) (kaava 4).

Tässä esimerkissä kokeiltiin sekä perinteistä normalisointia (tapa 1), että vaihtoehtojen suhteuttamista (tapa 2) keskenään.

Taulukko 8. Esimerkkilaskelmissa käytetyt karakterisointikertoimet ja normalisointikertoimien laskennassa käytetyt referenssikuormitukset.

Ympäristöongelmaluokka	Kuormitustekijä	Karakterisointikertoimet ¹⁾	Normalisointitekijöiden laskennassa käytetty referenssikuormitustaso
Ilmastonmuutos	CO ₂ (fossil)	1	490 000 ⁵⁾
	CH ₄	23	33 ⁵⁾
	N ₂ O	310	
Happamoituminen	SO ₂	0,463	300 ⁵⁾
	NO _x	0,186 (NO ₂)	710 ⁵⁾
	NH ₃	0,535	
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NM VOC	0,27 ⁽²⁾	31 ⁵⁾
	NO _x	0,35 (NO ₂) ⁽²⁾	710 ⁵⁾
	CO	-	
	CH ₄	0,33 ⁽²⁾	33 ⁵⁾

SUORAT TERVEYSVAIKUTUKSE T	PM ₁₀	0,000375 ⁽³⁾	53 ⁽⁵⁾
	SO ₂	0,0000546 ⁽³⁾	300 ⁽⁵⁾
	NO _x	0,0000887 ⁽³⁾	710 ⁽⁵⁾
Ekotoksisuus	As	0,67 ⁽⁴⁾	0,113 ⁽⁶⁾
	Cd	25, ⁽⁴⁾	0,004 ⁽⁶⁾
	Cr	0,67 ⁽⁴⁾	0,075 ⁽⁶⁾
	Cu	0,17 ⁽⁴⁾	0,063 ⁽⁶⁾
	F-	0,03	
	Mo	0,67	0,4 ⁽⁶⁾
	Pb	0,67 ⁽⁴⁾	0,076 ⁽⁶⁾
	Se	3,33 ⁽⁴⁾	

Luonnonvarojen käyttö	Kallio	0,17	16 000 000 ⁽⁷⁾
	Sora & hiekka	0,3	21 200 000 ⁽⁷⁾
	Muu maa- aines	0,05	2 000 000 ⁽⁸⁾
	Muut raaka- aineet	0,09	
	Energia- aineet	0,16	7 300 ⁽⁹⁾
	Pohjavesi	0,12	
	Jätteet	0,11	

¹⁾ Karakterisointikertoimet perustuvat: Ilmastonmuutos: Houghton, J. & al. (eds.) (1995), Happamoituminen: Seppälä et al. (2005), Alailmakehän otsonin muodostuminen: Hauschild et al. (2004), Luonnonvarojen käyttö: workshopissa (luku 5) määritetyt kertoimet.

²⁾ Vaikutus kasvillisuuteen (AOT40)

³⁾ Vaikutus hengityksen kautta

⁴⁾ Kertoimet on laskettu käyttäen viitteessä (Mroueh et al. 2005) esitettyjä raja-arvoja: "Yleiset liukoisuusraja-arvoehdotukset peitetyissä ja päälystetyissä maarakenteissa hyödynnettäville jätteille. Tutkimusmenetelmä prCEN/TS 14405".

⁵⁾ Tierakentamisen aiheuttamat ympäristökuormitukset vuositasolla Suomessa (tonnia)

⁶⁾ Liukoisuus sadan vuoden aikana (kg) tarkasteltavan rakenteen tyyppisestä (samat materiaalit, kerrospaksuudet ja tien leveys) tierakenteesta, jonka pituus vastaa kunkin materiaalin käyttömäärää tierakentamisessa vuositasolla. Materiaaleista mukana tarkastelussa; hiekka, kalliomurske ja masuunihiekka. Liukoisuuksien laskennassa käytetty Meli-ohjelman sisältämiä oletuksia (Eskola et al. 1999).

⁷⁾ Tierakentamiseen vuositasolla kuluva materiaalimäärä (arvio)

⁸⁾ Muiden maa-ainesten käyttö Suomessa vuositasolla (Lahtinen et al. 2005)

⁹⁾ Vertailukohta kuljetusten ja työkonien käytön energiaräaka-aineiden, eli polttoaineiden kulutus tierakentamisessa vuositasolla. Kuljetukset: 110 milj. tkm * 33 g/tkm = 3630 t

Työkonien käyttö: 16 milj. kWh * 230 g/kWh = 3680 t

Yht. 7310 t (kuljetusten ja työkonien ympäristöprofiilit)

6.2 Mallilaskelma happamoituminen -ympäristöongelma- luokan aiheuttaman kokonaishaitan laskemiseksi

Happamoitumiseen vaikuttavat kuormitustekijät ovat järjestelmän mukaan SO₂, NO_x ja NH₃. Näiden kuormitustekijöiden arvot tarkasteltaville rakenteille laskettiin Meli-ohjelmalla. Rakenteen A aiheuttama SO₂-päästö oli 0,069 t ja NO_x-päästö 0,145 t. Meli-ohjelma ei laskenut NH₃-päästöjä, joten ne jätettiin tarkastelusta pois. Päästöt karakterisoitiin, eli saatettiin verrannollisiksi keskenään, kertomalla ne karakterisointikertoimilla (Kertoimet taulukosta 8: SO₂: 0,463 ja NO_x: 0,186) ja laskemalla nämä luvut yhteen. Tuloksena saatiin happamoitumista kuvaava ympäristöongelmaluokkaindikaattori: $0,069 \text{ t} * 0,436 + 0,145 \text{ t} * 0,186 = 0,21 \text{ t}$. Tämä luku normalisoitiin suhteessa tierakentamisen aiheuttamiin SO₂- ja NO_x-päästöihin vuositason Suomessa (SO₂: 138,9 t, NO_x: 132,1 t), jotka oli ensin karakterisoitu samoin kuin rakenteen päästöt: $138,9 \text{ t} * 0,436 + 132,1 \text{ t} * 0,186 = 271,0 \text{ t}$. Normalisoitu vaikutusluokkaindikaattori happamoitumiselle oli siis: $0,214 \text{ t} / 271,0 \text{ t} = 0,00079$. Kokonaishaitta saatiin kertomalla tämä ympäristöongelmaluokan painokerroinilla: $0,00079 * 0,026 * 1000 = 0,020$.

6.3 Esimerkkilaskelmien tulokset

Esimerkkilaskelmien tulokset on esitetty taulukoissa 9 ja 10.

Taulukko 9. Esimerkkilaskelman tulokset. Normalisointitapa 1, normalisointi tehty käyttäen normalisointitekijöitä, jotka oli laskettu käyttäen referenssiuormitustasona Suomen tierakentamisen aiheuttamia ympäristökuormituksia vuositasona.

Ongelmaluokat	Ympäristö- ongelmaluokan painokerroin, w,*	Rakenne A (MT307 Valkeakoski, uusi rakenne 460 m)			Rakenne B (keksitty)		
		Ympäristö- ongelmaluokka- indikaattorit, I _{ij} (Karakterisoidut tulokset)	Normalisoitu vaikutus- indikaattori, I _j /N _i	Kokonais- haitta, V	Ympäristö- ongelmaluokka- indikaattorit, I _{ij} (Karakterisoidut tulokset)	Normalisoitu vaikutus- indikaattori, I _j /N _i	Kokonais- haitta, V
Alilmakehän otsoni	0,028	0,39	0,00135	0,038	0,23	0,00081	0,023
Ekotoksisuus	0,077	0,00007	0,00013	0,010	0,00009	0,00016	0,012
Happamoituminen	0,026	0,21	0,00079	0,020	0,12	0,00045	0,012
Ilmastonmuutos	0,136	116	0,00024	0,032	72	0,000147	0,020
Luonnonvarojen käyttö	0,281	1570	0,00017	0,048	615	0,000067	0,019
Terveysvaikutukset	0,061	0,00010	0,00101	0,061	0,000066	0,000663	0,040
*Määritetty Workshopissa		Kokonaishaitta yhteensä: 0,209			Kokonaishaitta yhteensä: 0,125		

Taulukko 10. Esimerkkilaskelman B tulokset. Normalisointitapa 2, normalisointi jätetty pois ja vaihtoehdot suhteutettu keskenään.

Ongelmaluokat	Ympäristö- ongelmaluokan painokerroin, w,*	Rakenne A (MT307 Valkeakoski,			Rakenne B (keksitty)		
		Ympäristö- ongelmaluokka- indikaattorit, I _{ij} (Karakterisoidut tulokset)	Normalisoitu vaikutus- indikaattori, I _j /I	Kokonais- haitta, V	Ympäristö- ongelmaluokka- indikaattorit, I _{ij} (Karakterisoidut tulokset)	Normalisoitu vaikutus- indikaattori, I _j /I	Kokonais- haitta, V
Alilmakehän otsoni	0,028	0,39	1,000	0,028	0,23	0,602	0,017
Ekotoksisuus	0,077	0,00007	0,792	0,061	0,00009	1,000	0,077
Happamoituminen	0,026	0,21	1,000	0,026	0,12	0,572	0,015
Ilmastonmuutos	0,136	116	1,000	0,136	72	0,623	0,085
Luonnonvarojen käyttö	0,281	1570	1,000	0,281	615	0,392	0,110
Terveysvaikutukset	0,061	0,00010	1,000	0,061	0,00013	0,656	0,040
*Määritetty workshopissa		Kokonaishaitta yhteensä: 0,593			Kokonaishaitta yhteensä: 0,343		

Esimerkkilaskelman tuloksena saatiin normalisointitavalla 1 kokonaishaitaksi rakenteelle A 0,209 ja rakenteelle B 0,127. Vastaavat tulokset normalisointitavalla 2 olivat rakenteelle A 0,593 ja rakenteelle B 0,343. Tässä tapauksessa eri normalisointitavoilla tehtyjen laskelmien tulokset olivat lähes identtiset (rakenteen A kokonaishaitta oli 42 % suurempi kuin rakenteen B kokonaishaitta).

Toisin sanoen rakenne B oli rakennetta A ympäristöystävällisempi. Rakenteen A kantava kerros oli bitumistabiloitu ja sen alemmat kerrokset oli valmistettu murskeesta ja hiekasta. Rakenteessa B kantava kerros oli valmistettu maabetonista ja alemmissa kerroksissa oli käytetty mursketta ja masuunihiekkaa. Kumpikin rakenne oli päällystetty asfaltilla. Vertaamalla ympäristöongelmaindikaattoreiden arvoja, voidaan nähdä miten eri rakenteista aiheutuvat haitat painottuvat eri ongelmaluokkiin. Rakenteessa A alailmakehän otsonia, happamoitumista, ilmastonmuutosta ja terveysvaikutuksia kuvaavat indikaattorit ovat korkeampia, johtuen suuremmista päästöistä ilmaan. Suuremmat päästöt tulevat pääasiassa asfaltin ja bitumistabiloidun kerroksen materiaalien tuotannosta. Myös maabetonissa käytettävän sementin tuotanto aiheuttaa huomattavia päästöjä ilmaan, mutta tässä tapauksessa käytetyn sementin määrä oli niin pieni, ettei sillä ollut suurta merkitystä laskentatulokseen. Rakenteessa B käytetty masuunihiekka näkyy tuloksissa pienempänä luonnonvarojen käyttönä. Vastaavasti masuunihiekasta liukevat haitta-aineet johtavat hieman korkeampaan ekotoksisuuden indikaattoriarvoon rakenteessa B.

Varsinainen rakenteiden aiheuttaman kokonaishaitan vertailu voidaan tehdä kuitenkin vasta laskettujen kokonaishaitta-arvojen avulla, sillä vasta se huomioi vaikutusluokkien keskinäiset painotukset. Tarkastelemalla painotettuja ja normalisoituja ympäristöongelmaluokkaindikaattoreita, nähdään että rakenteessa A suurimman osuuden kokonaishaitasta aiheuttavat terveysvaikutukset, luonnonvarojen käyttö ja alailmakehän otsoni. Rakenteessa B taas painottuvat terveysvaikutukset, alailmakehän otsoni ja ilmastonmuutos. Kokonaishaitta jakautuu molemmissa rakenteissa kuitenkin melko tasaisesti eri ongelmaluokkien välille, mikä johtuu melko pienistä rakenteiden välisistä eroista ja mahdollisesti järjestelmän riittämättömästä herkkyydestä joillekin tekijöille.

Esimerkkilaskelma osoittaa, että hankkeessa kehitettyä arviointijärjestelmää voidaan käyttää erilaisten tierakennushankkeiden ympäristövaikutusten keskinäiseen vertailuun tien suunnittelu- ja toteutusvaiheissa. Järjestelmän soveltaminen edellyttää kuitenkin riittäviä lähtötietoja eri vaihtoehtojen aiheuttamista ympäristökuormituksista. Nämä tiedot voidaan laskea esimerkiksi käyttämällä tarkoitukseen soveltuvaa laskentatyökalua (tällä hetkellä esim. Meli-ohjelma tai jatkossa uusi edelleen kehitettävä laskentatyökalu).

Arviointijärjestelmän kehittämisessä olisi erittäin tärkeää saada tarkasteluun mukaan kaikki ympäristöongelmaluokat, sillä tällä hetkellä mukana olevat ongelmaluokat painottavat liikaa energian käyttöä ja siihen liittyviä päästöjä. Mukana olevista ongelmaluokista neljän indikaattoreina ovat ilmapäästöt ja mm. maankäytölliset, maisemalliset, kulttuurilliset sekä virkistykselliset jäävät kokonaan pois tarkastelusta. Tarkastelu on puutteellinen myös siksi, että osa ympäristökuormitustiedoista puuttui, eikä kaikille ympäristöongelmaluokille ole määritetty karakterisointikertoimia. Järjestelmän jatkokehityksessä tulisi myös tehdä herkkyystarkasteluja, joiden tulosten avulla pyrittäisiin tekemään

järjestelmästä sellainen, että se reagoi muutoksiin sopivalla herkkyydellä ja pystyy tuomaan eroja vertailtavien rakenteiden välille.

Vaikutusindikaattorien normalisointitavat kaipaavat myös jatkokehittämistä. On syytä miettiä sopiiko nyt käytetty tapa normalisoida kaikki indikaattorit Suomalaiselle kaikille vaikutusluokille, vai olisiko syytä kehittää normalisointia sellaiseksi, että siinä voidaan huomioida vaikutukset paikallisella, alueellisella ja globaalilla tasolla. Tällöin voitaisiin huomioida paremmin eri ongelmaluokkien eri tyyppiset vaikutukset. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen vaikutusta voidaan pitää globaalina, happamoitumisen ja luonnonvarojen käytön vaikutusta alueellisena sekä ekotoksisuuden ja maankäytön paikallisena. Tämän kaltainen tarkastelu tuo samalla lisähaasteen ympäristöongelmaluokkien saattamiseksi verrannollisiksi keskenään. Mikäli tavoitteena on vain verrata eri vaihtoehtoja keskenään, voidaan normalisointi jättää kokonaan pois tarkastelusta tässä esimerkissä esitetyllä tavalla. Perinteisen normalisoinnin hyötynä on kuitenkin se, että haitan suuruutta voidaan verrata suoraan referenssitason, jolloin on helpompi arvioida haitan merkitystä.

Vaikka järjestelmä periaatteessa toimii, tarvitaan sen jatkokehittämistä vielä ainakin seuraavilla osa-alueilla:

- Puuttuvien ympäristöongelmaluokkien saaminen mukaan tarkasteluun (niiden karakterisointi ja normalisointitekijöiden määrittäminen)
- Mukana olevista ympäristöongelmaluokista puuttuvien normalisointi- ja karakterisointikertoimien määrittäminen. Normalisointi- ja karakterisointikertoimien määrittelyssä tulee aina muistaa, että kertoimet muuttuvat ja kehittyvät koko ajan tietämyksen lisääntyessä ja arvostusten muuttuessa.
- Normalisoinnin kehittäminen sellaiseksi, että siinä voidaan huomioida vaikutukset paikallisella, alueellisella ja globaalilla tasolla ja samalla saattaa ympäristöongelmaluokat verrannollisiksi keskenään.
- Herkkyystarkastelut (mm. tarkastelun rajausten vaikutus, eri normalisointitapojen vaikutus)
- Ympäristökuormitusten laskentatyökalun kehittäminen sellaiseksi, joka tuottaa kaiken vaikutusarviointia varten tarvittavan tiedon (tarvittavat kuormitustiedot oikeassa muodossa)

7 ARVIOINTIJÄRJESTELMÄN SOVELLETTAVUUS

Väylärakentamisen ympäristövaikutusten indikaattorijärjestelmä EIMI soveltuu käytettäväksi vaihtoehtoisten ratkaisujen tai toimintatapojen vertailussa. Järjestelmää voidaan soveltaa väylärakentamisen eri vaiheissa. Yleissuunnitteluvaiheessa tarvittavat indikaattorit koskevat maankäyttöä ja sen vaikutuksia. Urakkatarjousten vertailussa tarvittavat indikaattorit koskevat aiheutuvien materiaali- ja energiavirtojen ympäristökuormituksia ja resurssien kulutusta.

Luotu arviointijärjestelmä on monipuolisempi kuin elinkaariarviointimenettely (LCA). Järjestelmä ottaa huomioon myös väylärakentamisesta syntyvät materiaalivirrat, mutta se on laajempi kuin esimerkiksi MIPS-laskenta ja sitä voidaan soveltaa hankekohtaisessa arvioinnissa.

Merkittävä osa väylärakentamisen ympäristövaikutuksista määräytyy jo suunnittelun alkuvaiheissa, jolloin määritetään väylän linjaus sekä vaaka-että pystysuuntaan. Myöhemmissä vaiheissa linjauksen muuttaminen erityisesti vaakasuuntaan on hankalampaa. Siksi järjestelmää tulisi hyödyntää myös väylähankkeiden YVA- tai sitä suppeammassa ympäristövaikutusten selvityksissä (YVS). YVA-selvityksissä maankäytön vaikutuksia voisi systemaattisia arvioida käyttäen samoja maankäytön indikaattoreita. Erityisesti hyötyä arviointijärjestelmästä on uusien väylälinjausten suunnittelun apuvälineenä silloin, kuin arvioidaan eri linjaus- ja geometriavaihtoehtojen käytön aikana aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Mallintamalla linjausvaihtoehdot ja laskemalla niistä aiheutuva energiakulutus ja päästöt esim. Vemosim-järjestelmällä, voidaan eri vaihtoehtojen ympäristövaikutuksia arvioida aivan uudella tarkkuudella. Lisäksi yleissuunnitelmavaiheessa on tarpeen arvioida suurusluokaltaan aiheutuvat materiaali- ja energiavirrat.

Arviointijärjestelmän käytön ongelmaksi voi muodostua järjestelmässä tarvittavien lähtötietojen saatavuus. Eri vaihtoehtojen ympäristövaikutusten vertailussa on tärkeää, että kaikki oleelliset tekijät on otettu tarkasteluun mukaan. Tämän vaatimuksen täyttäminen voi aiheuttaa vaikeuksia järjestelmän käytölle, jos riittävästi luotettavaa aineistoa ei ole saatavilla. Tämän ongelman ratkaisemiseksi tarvittava taustatieto eri materiaali- ja energiavirtojen ja palvelujen ympäristöprofiileista tulisi olla saatavilla suunnitteluprosessissa. Suunnitteluprosessiin tulisi myös järjestää laskentavalmius esimerkiksi siten, että käytössä olevat suunnitteluohjelmat tukisivat ympäristövaikutusten arviointia. Vaihtoehtojen vertailussa on oleellista saada vaihtoehtojen väliset erot esille. Kaikkea ympäristöön vaikuttavaa aineistoa ei siten vertailun tekemiseksi järjestelmän avulla välttämättä tarvitakaan.

Vaikutusarviointijärjestelmän käyttö edellyttää järjestelmän räätälöintiä tapauskohtaisesti. Järjestelmässä käytettävät ympäristöongelmaluokkien ja indikaattoreiden painoarvot tulisi tapauskohtaisesti arvioida ja määrittää uudelleen. Myös järjestelmän laajuus eli mukaan otettavat ympäristöongelmaluokat ja indikaattorit tulisi tapauskohtaisesti arvioida.

Indikaattorijärjestelmästä on luotu sellainen, että siinä ovat mukana kaikki arvioiden mukaan merkitykselliset ympäristöongelmaluokat sekä niiden kuormitustekijät. Tällä hetkellä kaikille kuormitustekijöille ei ole kehitetty sopivaa indikaattoria kuvaamaan tai mittamaan kyseessä olevaa ympäristökuormi-

tusta, tällaisia ongelmaluokkia tai kuormitustekijöistä, joille ei ole olemassa selvää indikaattoria, ovat esimerkiksi häiriövalo ja melu

Arviointijärjestelmässä laskettua kokonaishaittaa voidaan soveltaa eri tavoin hankinnan ohjauksessa. Mitään ohjeistettua menettelytapaa arviointijärjestelmän soveltamiseksi ei toistaiseksi ole olemassa. "Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin" – projektissa /Korkiala-Tanttu et al. 2005/ luotiin kaksi erilaista tapaa ottaa ympäristövaikutukset huomioon hankinnassa. Ensimmäisessä pilot – kohteessa (Mt307) Meli-ohjelmalla lasketut ympäristökuormitukset otettiin huomioon tarjousten vertailuhintaa laskettaessa arvolla ± 10 %. Ympäristökuormitukset laskettiin tuossa kohteessa suhteessa referenssi-kohteen ympäristökuormituksiin. Toisessa pilot –kohteessa (Vt9 - Lieto) sovellettiin ns. ranskalaista urakkaa eli kohteen hankintahinta kiinnitettiin ja urakoitsijoita arvioitiin sen perusteella, kuinka paljon toimenpiteitä ja mitä laatua he tarjosivat. Vertailu tehtiin monimuuttuja-analysin perustella. Vertailussa ympäristövaikutuksille annettiin painoarvo 10 %.

Kehitetty arviointijärjestelmä sisältää runsaasti taustatietoa, esimerkiksi materiaalien ympäristöprofileja, siksi sen käyttö edellyttää sopivaa laskentatyökalua. Järjestelmän käyttö edellyttää myös ohjeistettua tai yleisesti hyväksytyä menettelytapaa kustannusten, toimivuuden ja ympäristövaikutusten keskinäiseksi arvioinniksi.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Väylärakentamisen ympäristövaikutusten arviointijärjestelmä EIMI soveltuu käytettäväksi vaihtoehtoisten ratkaisujen tai toteutustapojen vertailuun. Järjestelmä soveltuu sekä yleissuunnitteluvaiheen linjaus- ja tasausvaihtoehtojen että rakennus- ja kunnossapitovaiheen urakkatarjousten vertailuun. Järjestelmää voidaan hyödyntää myös väylähankkeiden YVA- selvityksissä. Katurakentamisessa järjestelmää voitaneen yksittäisen rakentamishankkeen lisäksi soveltaa kaavoitusvaiheessa erilaisten kaavavaihtoehtojen vertailuun. Indikaattorijärjestelmästä on pyritty luomaan sellainen, että siinä ovat mukana kaikki merkitykselliset ympäristöongelmaluokat sekä niiden kuormitustekijät.

Arviointijärjestelmä EIMI:in liittyy tässä vaiheessa joitakin rajoituksia ja puutteita. Näitä ovat: tarvittavien lähtötietojen saatavuus, se, että kaikille kuormitustekijöille ei ole olemassa indikaattoria tai mittausmenetelmää, minkä vuoksi ne joudutaan tässä vaiheessa jättämään tarkastelun ulkopuolelle sekä se, että kaikille kuormitustekijöille ei ole olemassa karakterisointi- ja normalisointikertoimia.

EIMI:ssä esitetyt arvottamisen painoarvot ovat subjektiivisia arvioita. Siksi käytettävät ympäristöongelmaluokkien ja indikaattoreiden painoarvot tulee tapauskohtaisesti tarkistaa ja tarvittaessa määrittää uudelleen. Tämä on mahdollista, koska EIMI on tehty täysin läpinäkyväksi ja avoimiksi keskustelulle. Läpinäkyvät ja muutettavat painoarvot sallivat myös sen, että tilaajan on niiden kautta helppo asettaa omia hankekohtaisia tavoitteitaan myös ympäristövaikutuksille. Lisäksi järjestelmän laajuus eli mukaan otettavat ympäristöongelmaluokat ja indikaattorit tulee tapauskohtaisesti tarkistaa.

Arviointijärjestelmän tarkoituksena on tarjota väylärakentamisen ympäristövaikutusten arviointiin systemaattinen, toistettavissa oleva menetelmä, jonka avulla vaihtoehdot voidaan asettaa paremmuusjärjestykseen. Arviointijärjestelmä on systemaattinen tapa arvioida ympäristövaikutuksia. Sen soveltaminen hävittää aina jonkin verran tietoa, mutta vaihtoehtojen vertailussa se on tehokas: vaihtoehtojen paremmuusjärjestys saadaan yksiselitteisesti selville. Tuloksen oikeellisuus taas riippuu siitä, miten hyvin järjestelmää on pystytty soveltamaan.

Arviointijärjestelmä on kehitetty erityisesti päätöksenteon apuvälineeksi – ei kuvaamaan kokonaishaitan absoluuttista arvoa. Esitetty arviointijärjestelmä sisältää tekijöitä ja arvoja, jotka muuttuvat jatkuvasti yhteiskunnan ja ympäristön muuttuessa tai joita ei vielä edes tunneta kunnolla, siksi järjestelmää pitää kehittää jatkuvasti eteenpäin ja täydentää sitä puuttuvien tietojen osalta.

9 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Kehitetty arviointijärjestelmä EIMI avaa hyvät mahdollisuudet tavoitella ekotehokkaita julkisia hankintoja. Arviointijärjestelmä EIMI sisältää kuitenkin vielä joitakin puutteita ja rajoituksia. Lisäksi järjestelmän soveltamista käytäntöön helpottaisi uusien laskentatyökalujen kehittäminen kokonaishaitan arvioimiseksi ja toimivampi menettelytapa eri tekijöiden vertailemiseksi hankinnassa. Järjestelmän kehitystyö kannattaa ensimmäisessä vaiheessa keskittää niihin tekijöihin, joilla arvioidaan olevan suurimmat ympäristövaikutukset. Tähän kehitystyöhön sisältyvät erityisesti erilaiset maankäytölliset ja ekologiset tekijät (esimerkiksi luonnon monimuotoisuus). Kehitystyötä on syytä jatkaa mahdollisimman laajakatseisesti siten, että mukana on osajia kaikilta rakentamisen ympäristövaikutusten, suunnittelun ja toteutuksen osa-alueilta.

Arviointijärjestelmää, sen sisältämiä indikaattoreita sekä järjestelmän käytössä tarvittavia laskentamenetelmiä, tulee jatkossa täydentää ja kehittää edelleen. Järjestelmän sisältämien indikaattoreiden jatkokehitystyö kannattaa ensimmäisessä vaiheessa suunnata niihin tekijöihin, joiden arviointi on tällä hetkellä puutteellista tai joilla arvioidaan olevan suurimmat ympäristövaikutukset. Tähän kehitystyöhön sisältyvät erityisesti erilaiset maankäytölliset ja ekologiset tekijät (esimerkiksi luonnon monimuotoisuus). Kehitystyötä on syytä jatkaa mahdollisimman laajakatseisesti siten, että mukana on osajia kaikilta rakentamisen ympäristövaikutusten, suunnittelun ja toteutuksen osa-alueilta.

Järjestelmän käyttö edellyttää riittäviä tietoja tarkasteltavista kohteista ja niiden sisältämistä rakenteista. Taustatiedoiksi tarvitaan mm. suunnitteluohjelmista saatavat massa- ja logistiikkatiedot sekä eri materiaalien ympäristöprofiilit, joiden perusteella voidaan laskea tarkasteltavien vaihtoehtojen ympäristökuormitukset. Näiden tietojen keräämiseen ja käsittelyyn tarvitaan työkaluja. Työkalut voidaan jakaa kahteen ryhmään:

- laskentatyökalut rakentamisen tai kunnossapidon toimenpiteiden ympäristökuormitusten laskentaan ja vertailuun sekä tuottamaan tietoa indikaattorijärjestelmän tueksi (taustatiedoiksi)
- indikaattoriperusteiset arviointimenettelyt kaavoitusvaiheeseen, sekä yleis- ja tiesuunnitelmataason arviointia varten.

Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään mahdollisuudet, voitaisiinko laskentatyökalu implementoida suunnitteluohjelmiin vai olisiko järkevämpää toteuttaa erillinen laskentaohjelma.

Ekotehokkuuden huomiointi hankinnassa edellyttää, että ohjeistetut tai yleisesti hyväksytyt menettelyt ympäristövaikutusten sisällyttämiseksi hankinnan päätöksentekoon ovat olemassa. Menettelyt tai ainakin niiden painoarvot lienevät tulevaisuudessa sektori- ja urakkatyyppikohtaisia noudattaen kuitenkin yhteisesti hyväksytyjä pelisääntöjä. Kehittäminen tulisi siis tehdä alan kanssa yhteistyössä esimerkiksi INFRA2010 ohjelman alla.

10 KIRJALLISUUS

Anon, EEA Technical report No 25. Environmental indicators: Typology and overview. Prepared by Smeets, e. & Wetering, R., 2000

Anon, Rakennus- ja kiinteistöalan ympäristö- ja elinkaarimittarit. K & T 80 Teknologia. Kirjoittajat Häkkinen, T. & Suikka, Arto. Julkaisija Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. Helsinki. 65 s. + liitt. 10 s., 2005

Autio, S. & Lettenmeier, M., Ekotehokkuus – Business as Future. Yrityksen ekoteho-opas. Espoo: TKK koulutuskeskus Dipoli. 63 s. + liitt. 16 s. (Dipoli-raportit/ Dipoli-reports C, ympäristökoulutus)., 2002

Birgisdottir, H. 2005. Life cycle assessment model for road construction and use of residues from waste incineration. Ph.D Thesis July 2005. Institute of Environment & Resources, Technical University of Denmark, DTU 2005. 40 s.

CML. In Jeroen B. Guinée (Ed.) 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. Eco-efficiency in Industry and Science. Kluwer Academic Publishers.

Edip 2003. Hauschild, M. ja Potting, J. 2003. Spatial differentiation in LCIA – the EDIP 2003 methodology – final draft. www.lca-center.dk.

Eskola, P., Mroueh, U-M., Juvankoski, M. & Ruotoistenmäki, A., Maarakentamisen elinkaariarviointi. VTT Tiedotteita 1962. Espoo 1999. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1962.pdf>

Eskola, P., Mroueh, U-M. & Lehmus, E., Infra-alan elinkaaritarkastelut, kirjallisuuskatsaus. Helsinki, TEKES 2002. 34 s. + liitt. 1 s.

Forma R., Sperling D., Bissonette J., Clevenger A., Cutshall J., Dale V., Fahrig L., France R., Goldman C., Heanue K., Jones J., Swanson F., Turrentine T. and Winter T., Road Ecology - Science and Solutions, Island Press, Washington, 2003

Goedkoop, M. and Spriensma, R., The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report. 22 June 2001, Third Edition. PRé Consultants b.v., 2001

Hakkarainen, E., Lettenmeier, M. & Saari, A., Polkupyöräliikenteen aiheuttama luonnonvarojen kulutus Suomessa (PyöräMIPS). Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 55/2005. 76 s., 2005

Hakkarainen J., Tiedon laatu tienpidon vaikutusten hallinnassa, Tiehallinnon selvityksiä 17/2004, Tiehallinto 2004, 72 s. + liitt. 3 s.

Hauschild, M., Bastrup-Birk, A., Hertel, O., Schöpp W. and Potting, J., Photochemical ozone formation. In: Potting, J. and Hauschild, M. (eds.), Background for spatial differentiation in life cycle assessment – the EDIP 2003 methodology. Institute of Product Development, Copenhagen., 2004

Houghton, J. & al. (eds.), Climate Change 1995 The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press., 1995

Häkkinen, T., Huovila, P., Tattari, K. Vares, S. Seppälä, J., Koskela, S., Leivonen, J. & Pylkkö, T. Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus. Suomen ympäristö 580. Rakentaminen. Ympäristöministeriö. Helsinki 2002. 112 + 50 (liitt).

Kalliokoski, A., Tolla, P. & Valkeisenmäki, A.. Elinkaarikustannuslaskennan käytön kehittäminen tienpidossa. Tiehallinnon selvityksiä 23/2001 Helsinki 2001. 25 s.

Keeney RL & Raiffa H., Decision with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs. John Wiley & Sons, New York. 1976

Korkiala-Tanttu L., Törnqvist J., Eskola P., Pienimäki M., Spoof H. ja Mroueh U.-M. Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin; kokemuksia kahdesta pilot-kohteesta, Tiehallinnon selvityksiä 13/2005, Helsinki 2005, s. 43 + liitt. <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200925-velinkaaritarkasthank.pdf>

Koskinen, H. MIPS ja ekologinen selkäreppu tuotteiden potentiaalisten ympäristövaikutusten vertailun menetelminä – ongelmakohtien tarkastelu. Helsinki: Helsingin Yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos, 95 s. (Pro Gradu-työ), 2001

Lahtinen, P., Kolisoja, P., Kuula-Väisänen, P., Leppänen, M., Jyrävä, H., Maijala, A., & Ronkainen, M. 2005. UUMA –esiselvitys. Suomen ympäristö 805, Ympäristönsuojelu. 121 s. ISBN 951-731-354-3

Laine-Ylijoki, J., Mroueh, U.-M., Wellman, K. & Mäkelä, E. Maarakentamisen elinkaariarviointi. Ympäristövaikutusten laskentaohjelma. VTT Tiedotteita 2014. Espoo 2000, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2014.pdf>

Lehmus E., Eskola P., Häkkinen t., Korkiala-Tanttu L., Mroueh U.-M., ja Tuohola M., Infra-alan elinkaaritarkastelut, esiselvitys, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka sisäinen raportti, RTE50 - IR - 22/2002, Helsinki, s. 49. + liitt. 8 s. Espoo 2002, http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/Infra/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ ja_aktivointi/Julkaisut/Elinkaaritarkastelut.doc

Lindqvist, A., Lettenmeier, M. & Saari, A., Meriliikenteen aiheuttama luonnonvarojen kulutus (MeriMIPS). Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 58/2005. 94 s., 2005

Liikenne- ja viestintäministeriö, Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohje. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 34/2003, 2003

Mroueh, U.-M., Eskola, P., Laine-Ylijoki, J., Wellman, K., Mäkelä, E., Juvankoski, M. ja Ruotoistenmäki, A., Life cycle assessment of road construction. Tielaitoksen julkaisuja, Finnra Reports 17/2000. Helsinki. 2000

Mroueh, U-M., Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J ja Mäkelä, E. 2006. Taustaineistoa "Valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa" valmistelua varten, luonnos 8. Projektiraportti PRO3/P3013/05.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=45220&lan=FI>.

Nieminen, A., Lettenmeier, M. & Saari, A., Luonnonvarojen kulutus Suomen lentoliikenteessä (LentoMIPS). Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 57/2005. 130 s., 2005

Nousiainen, A. & Heikkilä, J. Tierakenteiden ympäristövaikutusten elinkaariarviointi. Meli-ohjelman koekäyttö esimerkkikohteilla. Helsinki: Tielaitos, 31 s. + liitt. 2 s. (työraportti). 2000

Pelkonen, J. & Tyrväinen, L. 2005. Kaupunkiviheralueiden koetut arvot ja merkitykset asukkaille Länsi-Vantaalla. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. 59 p. + liitteet.

Pusenius, K., Lettenmeier, M. & Saari, A., Luonnonvarojen kulutus Suomen tieliikenteessä (TieMIPS). Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 54/2005. 74 s., 2005

Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M. & Hettelingh, J-P., Country-dependent characterisation factors for acidification and terrestrial eutrophication based on accumulated exceedance as impact category indicator. Accepted to Int J LCA., 2005

Seppälä, J. (1999). Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. In: LCA Documents, Klöpffer, W. & Hutzinger, O. (Eds.), Vol 4. Eco-Inforna Press, Landsberg.

Seppälä, J. & Tenhunen, J. (2000). Vaikutusten arviointi, s. 30 – 65. In: Tenhunen, J. & Seppälä, J. (toim.), Alueellinen ympäristöanalyysi. Esimerkinä Etelä-Savo. Suomen ympäristö 383.

Stripple, H. Livcykelanalys av väg. En modellstudie för inventering. Institutet för vatten och luftvårdsforskning IVL. Rapport B 1210. Göteborg, 1996.

Stripple, H. Life Cycle Inventory of Asphalt pavements. Institutet för vatten och luftvårdsforskning IVL. Göteborg, 2000.

Suomen liikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä LIPASTO <http://lipasto.vtt.fi/index.htm>

Söderman T., Luontoselvitykset ja luontovaikutusten arviointi - kaavoituksessa, YVA-menettelyssä ja Natura-arvioinnissa, Suomen Ympäristökeskus Ympäristöopas 109, Helsinki 2003

Tenhunen J. & Seppälä J. (toim.), Alueellinen ympäristöanalyysi. Esimerkinä Etelä-Savo. Suomen ympäristö 383. Helsinki : Suomen ympäristökeskus, - 110 s.kuv., taul., 2000

Tenhunen J., Seppälä J., Koskela S., Hiltunen M.-R. & Melanen M., Ympäristöä muuttavien ja kuormittavien tekijöiden vaikutusten arviointi. Julk.: Kos-

kela, S. (toim.) Kymenlaakson alueellinen ympäristöanalyysi ja ympäristöindikaattorit. ECOREG-hankkeen dokumentointiraportti 1. Suomen ympäristö 697. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Osa 2, s. 83–108. 2004

Tiehallinto, Tieliikenteen ajokustannukset 2000. Tiehallinnon julkaisu TIEH 2123614-01., 2001

Tyrväinen, L., Nissilä, T. and Silvennoinen, H. 2005. Kaupunkiviheralueiden sosiaaliset arvot ja merkitykset Espoossa. Espoon keskus ja Kauklahti. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. 45 p. + liitteet.

Vainio M., Kekäläinen H., Alanen A. ja Pykälä J., Suomen perinnebiotoopit, Perinnemaisemaprojektin valtakunnallinen loppuraportti. Suomen ympäristö 527. 2001.

Vesikari E., Elinkaari -SIHA, VTT:n sisäinen raportti, RTE40-IR-2/2004, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 90. s. + liitt. 13 s., 2004

Vihermaa, L., Lettenmeier, M & Saari. A., Luonnonvarojen kulutus Suomen rautatieliikenteessä (RautatieMIPS). Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 56/2005. 110 s., 2005

Vogtländer J., The Model of the Eco-Costs / Value Ratio EVR; A new LCA based decision support tool, PhD thesis, Delft University of Technology, 2001

von Winterfelt D. & Edwards W., Decision analysis and behavioral research. Cambridge. Cambridge University Press., 1986

Väre S., Ekologinen verkosto ja yhdyskuntarakenne. Lyyli tutkimus- ja kehittämishjelma 1997-2001. Lyyli raporttisarja 25, 2001

Väre S., Huhta M. ja Martin A., Eläinten kulkujärjestelyt tiealueen poikki, Tiehallinnon selvityksiä 36/2003. Tiehallinto, 2003, <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200824-velaintenkulkujarjtieal.pdf>

Väre S. ja Krisp K., Ekologinen verkosto ja kaupunkien maankäytön suunnittelu, Suomen Ympäristö 780, Ympäristöministeriö, Helsinki 2005, s. 52

Väre S., Laajat yhtenäiset metsäalueet ekologisen verkoston osana Uudenmaanliiton alueella. Uudenmaan liitto vaihekaavan selvityksiä. Luonnos 10.2.2006, 2006a

Väre S. ja Nummi P (toim) 2006 Tieväylien vaikutus eläinkantoihin ja eläinten liikkuvuuteen. Luonnos 26.2.2006 Tiehallinnon julkaisu XX. 2006b

11 LIITTEET

LIITE 1 Indikaattorijärjestelmän ympäristöongelmaluokat, kuormitus-
tekijät, niiden kuvaus ja mittausmenetelmiä

LIITE 2 Workshopin kyselylomake:

LIITE 3 Väylien rakentamisen ympäristövaikutukset kansantalouden
tasolla ja tulosten normalisointi koko Suomen teollisuuden, liikenteen ja ra-
kennuskannan käytön aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin

LIITE 4 Workshop AHP arvottamistapa

LIITE 1 INDIKAATTORIJÄRJESTELMÄN YMPÄRISTÖONGELMALUOKAT, KUORMITUSTEKIJÄT, NIIDEN KUVAUS JA MITTAUSMENETELMIÄ

YMPÄRISTÖONGELMALUOKAT	LUOKAN MÄÄRITELMÄ	KUORMITUS-TEKIJÄ	KUORMITUSTEKIJÄN LIITYNTÄ VÄYLÄRAKENTAMISEEN
Alailmakehän otsonin muodostuminen	Foto-oksidantit, joista haitallisin on alailmakehän otsoni (O ₃), syntyvät hiilivedyistä ja typen oksideista voimakkaassa auringon valossa. Otsoni on voimakas hapetin ja ilmakehää puhdistavakin kaasu, mutta korkeat pitoisuudet alailmakehässä ovat haitallisia. Hengitettynä otsoni lamauttaa keuhkojen toimintaa ja aiheuttaa mm. yskää ja hengenahdistusta. Voimakkaana hapettimena otsoni vaurioittaa kasvien solukkoa ja heikentää puiden ja viljelyskasvien kasvua.	eteeni-ekv. tai NO _x NMVOC CO	Alailmakehän otsonia muodostavia päästöjä syntyy etenkin materiaalien tuotannosta, kuljetuksista sekä työkoneiden käytöstä. Erityisesti asfaltin ja sementin valmistus tuottaa huomattavia ilmapäästöjä.
Ekotoksisuus	Ekotoksisuudella tarkoitetaan ihmistoiminnasta peräisin olevien yhdisteiden haitallisia myrkyllisyysvaikutuksia luonnon eliöissä, eliöyhteisöissä ja ekosysteemeissä. Ekotoksiset vaikutukset voivat mm. johtaa eliöiden kuolemaan tai kasvu-, kehitys- ja lisääntymishäiriöihin. Vaikutukset voivat olla joko kroonisia (pitkäaikaisen altistumisen jälkeen) tai akuutteja (lyhytaikaisen altistumisen jälkeen esim. onnettomuustilanteet). HUOM! Tässä yhteydessä ekotoksisuus ei sisällä ympäristöonnettomuuksista eikä tiesuolauksesta aiheutuvia vaikutuksia.	Raskasmetallit (mm. As, Cd, Cr, Cu, F, Mo, Pb, Se, V) PAH, PCB Cl ⁻ , SO ₄ , F ⁻	Työkoneiden käytöstä ja kuljetuksista aiheutuu päästöjä, jotka voivat aiheuttaa ekotoksisia vaikutuksia ympäristöön. Raskasmetalleja voi liueta ympäristöön käytettävistä kiviaineksista ja uusiomateriaaleista (esim. kuonat ja betonimurske). Polyaromaattiset hiilivetyypäästöt (PAH) ovat peräisin mm. asfaltista sekä kloridi ja sulfaattipäästöt uusiomateriaalien käytöstä.
Fysikaalis-mekaaniset vaikutukset	Fysikaalis-mekaanisilla vaikutuksilla tarkoitetaan suoria ympäristövaikutuksia, jotka aiheutuvat äänistä, melusta tai häiriövalosta. Vaikutukset voivat kohdistua joko rakennettuun tai elolliseen ympäristöön.	Tärinä Melu Häiriövalo	Väyliä rakentaminen, käyttö sekä kunnossapitotyöt aiheuttavat paikallisesti sekä melu- että äänihaittoja. Osa valaistuksesta aiheuttaa häiriövaloa.
Happamoituminen	Happamoitumisella tarkoitetaan luonnon vastustuskyvyn heikkenemistä happamoittavaa laskeumaa vastaan. Maaperän puskurikyky vaihtelee mm. alueen geologisten olojen mukaan. Happamoituminen vaikuttaa metsän kasvuun ja vesiekosysteemien pH-tasoon. Erityisen uhanalaisia happamoitumiselle ovat latvapurojen eliölajit, metsäjärvet ja karujen metsien kasvillisuus. Hapan sade aiheuttaa materiaalivaurioita myös rakennetussa ympäristössä.	SO ₂ -ekv tai SO ₂ NO _x NH ₃	Happamoittavia päästöjä syntyy etenkin materiaalien tuotannosta, kuljetuksista sekä työkoneiden käytöstä. Etenkin asfaltin ja sementin valmistus tuottavat huomattavia ilmapäästöjä.
Ilmastonmuutos	Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan ilmakehän lämpenemistä kasvihuonekaasujen lisääntymisen seurauksena. Kasvihuonekaasut päästävät lävitseen lyhytaaltoista auringonvaloa, mutta pidättävät maanpinnasta säteilevää pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Ilmastonmuutos voimistaa muutoksia elinympäristöissä ja kokonaiset elinympäristöt voivat hävitä kokonaan. HUOM! Monimuotoisuusvaikutukset käsitellään	CO ₂ -ekv tai CO ₂ N ₂ O CH ₄	Kasvihuone-kaasupäästöjä syntyy etenkin materiaalien tuotannosta, kuljetuksista sekä työkoneiden käytöstä. Etenkin asfaltin ja sementin valmistus tuottavat huomattavia ilmapäästöjä.

YMPÄRISTÖONGEL MALUOKAT	LUOKAN MÄÄRITELMÄ	KUORMITUS-TEKIJÄ	KUORMITUSTEKIJÄN LIITYNTÄ VÄYLÄRAKENTAMISEEN
	omana vaikutusluokkana		
Laadulliset pohjavesivaikutukset	Pohjavesien likaantumisvaara on suurin hiekka- ja soramailla, jotka läpäisevät veden lisäksi hyvin myös lika-aineita. Pohjaveden pilaantumista voivat aiheuttaa mm. liukkauden torjunta, polttonesteiden jakelu, maatalous ja erilaiset kemikaalionnettomuudet. HUOM! Tässä yhteydessä pohjavesivaikutukset sisältävät vain tiesuolauksesta ja muista liukkaudentorjunta-aineista aiheutuvat vaikutukset.	Tiesuola Muut liukkauden ja pölyn torjunta-aineet	Kunnossapitovaiheessa tiesuolaus ja muut liukkaudentorjunta-aineet aiheuttavat pohjaveden likaantumisen vaaran.
Luonnonvarojen käyttö	Luonnonvarojen käyttöä tarkastellaan kestävän kehityksen mukaisena varantoasiana, jonka mukaan maapallon luonnonvaroja tulee käyttää niin, että tämän sukupolven tarpeet luonnonvarojen saatavuuden suhteen tyydytetään vähentämättä tulevien sukupolvien mahdollisuuksia tarpeidensa tyydyttämiseen. Ainoastaan jätteiksi päätyvät uusiutumattomat luonnonvarat vähentävät pysyvästi käytettävissä olevia varantoja. Uusiomateriaalien käyttö ja ylijäämämassojen kierrätys näkyvät pienempänä luonnonvarojen käytön määränä. HUOM! Luonnonvarojen käyttöön liittyvät päästöasiat ja muut ympäristöä muuttavat tekijät maisema- ja viihtyvyyssnäkökohtineen otetaan huomioon muissa ongelmaluokissa.	Kallioaines Sora ja hiekka Muu maa-aines Muut raaka-aineet Uusiutumattomat energiaraaka-aineet Pohjavesivarojen määrällinen väheneminen Jätteet loppukäsittelyyn ja -sijoitukseen	Väylärakentamisessa käsitellään paljon erilaisia luonnonvaroja ja -materiaaleja. Samalla syntyy massamääräisesti myös paljon ylijäämämaita. Nämä ylijäämämaat pystytään suurelta osin hyötykäyttämään ja vain osa läjitetään loppusijoituspaikoille. Myös energiaa kuluu suuria määriä koneiden polttoaineina ja sähköinä.
Maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen	Maisema on syntynyt ihmisen ja luonnon yhteisvaikutuksesta vuosituhansien aikana. Sen arvot koostuvat muun muassa luonnon monimuotoisuudesta ja kauneudesta, kulttuuriperinnöstä sekä historiasta. Maisemallisia suojelukohteita ovat arvokkaat maisema-alueet, kansallismaisemat sekä perinnemaisemat- ja biotoopit. Kulttuuriympäristöllä tarkoitetaan kokonaisuutta, jonka muodostavat rakennettu kulttuuriympäristö eli rakennusperintö, kulttuurimaisema ja muinaisjäännökset.	Maisemallisesti arvokkaat alueet Arvokkaat kulttuuriympäristöt	Väylärakentaminen muuttaa aina maisemaa. Väylän linjauksen ja rakenteiden valinnalla voidaan vaikuttaa sekä maisemaan että arvokkaiden kulttuuriympäristöjen säilymiseen.
Monimuotoisuuden väheneminen	Luonnon monimuotoisuudella eli biodiversiteetillä tarkoitetaan elämän koko kirjoa; lajien sisäistä perinnöllistä muuntelua, lajien runsautta sekä niiden elinympäristöjen monimuotoisuutta. HUOM! Tässä yhteydessä monimuotoisuuden vähenemisiongelmaa tarkoitetaan lähinnä vain maankäytöstä aiheutuvia muutoksia.	Ekologisten verkostojen pirstoutuminen Maaperän peittyminen Eläin- ja kasvilajien harvinaistuminen Luonnonsuojellisesti arvokkaat alueet	Väylärakentaminen aiheuttaa huomattavia muutoksia maankäyttöön. Näiden muutosten johdosta luonnon monimuotoisuus on vaarassa vähentyä.
Suorat	Suorilla terveysvaikutuksilla tarkoitetaan päästöistä aiheutuvia ihmisen	Hiukkaset	Väylän käytön aikana, rakentamisessa

YMPÄRISTÖONGEL MALUOKAT	LUOKAN MÄÄRITELMÄ	KUORMITUS-TEKIJÄ	KUORMITUSTEKIJÄN LIITYNTÄ VÄYLÄRAKENTAMISEEN
terveysvaikutukset (hengityksen kautta)	terveyteen suoraan vaikuttavia tekijöitä. Tavallisesti ihmiset kärsivät ensisijassa hengityselinongelmista, koska altistuminen tapahtuu hengitysteiden kautta. Suorilla terveysvaikutuksilla tarkoitetaan vain akuutteja eli lyhytaikaisesta altistumisesta aiheutuvia haittavaikutuksia. HUOM! Tässä yhteydessä terveysvaikutukset eivät sisällä ekotoksisia vaikutuksia.	CO NO _x SO ₂	sekä kunnossapidossa syntyy paljon pienhiukkasia ja pölyä, jotka heikentävät paikallista ilman laatua ja näinollen voivat vaikuttaa haitallisesti ihmisten terveyteen. Materiaalien kuljetuksissa sekä työkalujen käytössä hiukkasten lisäksi aiheutuu NO _x , CO ja SO ₂ päästöjä.
Virkistysmahdollisuuk sien ja viihtyvyyden heikkeneminen*	Virkistysmahdollisuuksilla tarkoitetaan ihmisten mahdollisuuksia nauttia asuin- ja vapaa-ajanympäristön sekä luonnon tarjoamista olosuhteista ja elämyksistä. Ulkoilu, retkeily, marjastus, sienestys ja metsästyks ovat virkistäytymiseen liittyviä toimintoja. Viihtyvyydellä tarkoitetaan asuin- ja vapaa-ajan ympäristön terveellisyyttä ja esteettisyyttä.	Alueiden pirstoutuminen Luontokokemus Maankäytön muutos ja maaperän peittyminen Maisema-arvot Arvokkaat kulttuuriympäristöt	Väylä rakentaminen aiheuttaa maankäytöllisiä muutoksia, joiden vaikutuksesta virkistysmahdollisuudet ja viihtyvyys voivat heikentyä, virkistysyhteydet vaikeutua ja virkistysalueiden saavutettavuus vaikeutua

* Ympäristöongelmaluokan kuormitustekijöitä on muutettu workshopissa esitetyistä. Siksi painotus ei sovellu suoraan käytettäväksi.

YMPÄRISTÖONGEL MALUOKAT	KUORMITUSTEKIJÄ	INDIKAATTORIT	VAATIMUS / RAJA-ARVO	MÄÄRITYSTAPA	LÄHDE
Alailmakehän otsonin muodostuminen	NO _x NMVOC CO	NO _x NMVOC CO	Tavoitearvot kohteittain. Vaihtoehtojen vertailu.	Laskentamallit	
Ekotoksisuus	Raskasmetallit (As, Cd, Cr, Cu, F, Mo, Pb, Se, V) PAH, PCB Cl, SO ₄ , F-	Raskasmetallit (As, Cd, Cr, Cu, F, Mo, Pb, Se, V) PAH, PCB Cl, SO ₄ , F-	Vertailu raja-arvoihin. Tavoitearvot kohteittain. Vaihtoehtojen vertailu.	Elinkaariarviointiin perustuva laskennallinen menetelmä.	

YMPÄRISTÖONGELMALUOKAT	KUORMITUSTEKIJÄ	INDIKAATTORIT	VAATIMUS / RAJA-ARVO	MÄÄRITYSTAPA	LÄHDE
Fysikaalis-mekaaniset vaikutukset	Tärinä	Esim. tärinälle altistuvien ihmisten määrä.	Värähtelyn nopeuden taajuuspainotettu tehollisarvo. Tunnusluku asuintiloista viikon aikana mitattu tilastollisesti suurin tehollisarvo. Vanhat asuinalueet suositus max. 0,6 mm/s, uusilla 0,3 mm/s.	Laskenta tai tärinän mittaaminen. Asuntojen osalta tärinä luokitellaan neljään luokkaan.	Talja A., Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksista, VTT Tiedotteita 2278. Espoo 2004, http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2278.pdf
	Melu	L_{Aeq} , melulle altistuvien ihmisten määrä.	Melutaso esitetään käytön ja rakentamisen aikana keskiäänitasona L_{Aeq} (dB) Päivällä (klo 7-22) melutason ohjearvo on asumiseen ja vastaavaan käytettävillä alueilla 55dB.	Melumittaukset / laskentamallit.	http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=7808&lan=fi
	Häiriövalo	Esim. valosaasteelle altistuvien ihmisten määrä.	Määrälliset vaatimukset: valon voimakkuus (lux) Laadulliset vaatimukset: häikäisy, tasaisuus, heijastukset, valon väri, värinointo, energiatehokkuus Arvo valaistusluokan mukaan, numeerinen arvo	Tasaisuus- ja voimakkuusmittaukset valmiista rakenteesta.	http://www.ursa.fi/yhd/sjursa/valosaaste/valosaaste.htm Opas häiriövalosta valmistelulla http://www.valosto.com/?page=1
Happamoituminen	SO ₂ NO _x NH ₃	SO ₂ NO _x NH ₃	Tavoitearvot kohteittain. Vaihtoehtojen vertailu.	Laskentamallit	
Ilmastonmuutos	CO ₂ N ₂ O CH ₄	CO ₂ N ₂ O CH ₄	Tavoitearvot kohteittain. Vaihtoehtojen vertailu.	Laskentamallit	
Laadulliset pohjavesivaikutukset	Tiesuola Muut liukkauden ja pölyn torjunta-aineet	Natriumkloridi (NaCl), kalsiumkloridi (CaCl ₂), kaliumformiaatti (KFO), kaliumasetaat (KAC)	Talousveden laatusuositukset (Na 200mg l ⁻¹ ja Cl 250 mg l ⁻¹), vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi kloridipitoisuuden tulisi olla alle 25 mg/l. Hyvässä vedessä kloridipitoisuus on alle 10 mg/l. Terveysvaikutukset?? Taloudsveden laatusuosituksen veden	Näytteenotto pohjavedestä.	Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista

YMPÄRISTÖONGELMALUOKAT	KUORMITUSTEKIJÄ	INDIKAATTORIT	VAATIMUS / RAJA-ARVO	MÄÄRITYSTAPA	LÄHDE
			hapettavuus (COD _{Mn} -O ₂) 5 mg l ⁻¹ Vesipuitedirektiivi??? Toksisuusekvivalentti?		461/2000 http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000461
Luonnonvarojen käyttö	Kallioaines Sora ja hiekka Muu maa-aines Muut raaka-aineet Uusiutumattomat energiaraaka-aineet Pohjavesivarojen määrällinen muuttuminen Jätteet loppukäsittelyyn ja -sijoitukseen	Kallioaines (t) Sora ja hiekka (t) Muu maa-aines (t) Muut raaka-aineet (t) Uusiutumattomat energiaraaka-aineet (MJ) Pohjaveden vedenkorkeuden seuranta Jätteet loppukäsittelyyn ja -sijoitukseen (t)	Tavoitearvot kohteittain. Vaihtoehtojen vertailu. Muutokset virtausolosuhteissa.	Suunnitelmista laskettavia suureita / kulutettujen massojen määramittauksia tai -laskelmia. Selvitysten tekeminen vaihtoehtoisten ratkaisujen vaikutuksista maa-ainesten kokonaiskäyttöön.	Virtausolosuhteet: Forman et al. 2003
Maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen	Maisemallisesti arvokkaat alueet, Arvokkaat kulttuuriympäristöt	Esim. Väylän lähietäisyydellä sijaitsevien maisemallisesti ja kulttuuriympäristön kannalta arvokkaiden alueiden pinta-ala ja suhde maisemaan.	Rakennettavien maisema-alueiden kulttuurinen arvo luokittelun nojalla. Luonnon maisemalle ei ole luokittelua	Maisemallisesti ja kulttuurisesti arvokkaiden alueiden kartoitus.	Tyrväinen L. et al. 2005 Pelkonen ja Tyrväinen 2005
Monimuotoisuuden väheneminen	Ekologisten verkostojen pirstoutuminen ja maankäytön muutos	Arvio estevaikutuksesta, alueellinen luokittelu (kolme luokkaa: täysi este, osittainen este ja ei ollenkaan)	Mittaristo kehitteillä luokittain (aidatut moottoritiet, valtatie, radat, kantatiet /kokoajakadut, paikallistiet), estevaikutusluokitus katujen osalta	Ekologisten verkostojen kartoitus. Taso maakunnallinen ja paikallinen	Väre S. et al. 2005 Väre S. 2001, 2006 a ja b

YMPÄRISTÖONGEL MALUOKAT	KUORMITUSTEKIJÄ	INDIKAATTORIT	VAATIMUS / RAJA-ARVO	MÄÄRITYSTAPA	LÄHDE
	Maaperän peittyminen	Maaperän peittyminen (km ²), Luonnon tilan perusteella luokitellun maaperän peittyminen (km ²), Väyläverkoston pituus (km)	Tavoitearvot kohteittain. Vaihtoehtojen vertailu.	Suunnitelmista laskettavia suureita.	Forman et al. 2003
	Eläin- ja kasvilajien harvinaistuminen	Uhanalaisten lajien määrät Maatalousympäristön lintukantojen kehitys Suojelualueiden pinta-alojen osuus Suojeluohjelmien toteutumisaste	Tavoitearvot kohteittain. Suojelualueiden pinta-alan suhde koko vaikutusalueen pinta-alaan	Ympäristön sisältö osaluueittain	Söderman T., 2003
	Luonnonsuojelullisesti arvokkaat alueet	Esim. Väylän lähietäisyydellä sijaitsevien luonnonsuojelullisesti arvokkaiden alueiden pinta-ala (km ²).	Rakennettavien maa-alueiden luonnonsuojelullisen arvon luokittelun nojalla.	Luonnonsuojelullisesti arvokkaiden alueiden kartoitus.	Söderman T., 2003
Suorat terveysvaikutukset	Hiukkaset	PM _{2,5} , PM ₁₀ (µg/m ³)	Pienhiukkasille (PM ₁₀) on ihmisen terveyden turvaamiseksi asetettu sekä ilman laadun raja-arvo (>50µg/m ³ , vuorokauden keskiarvo) että ohjearvo (>70µg/m ³ , kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo).	Hiukkaspitoisuuden mittaus.	Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 711/2001. http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010711
Virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden heikkeneminen	Alueiden pirstoutuminen	Virkistyskäyttöön sopivien yhtenäisten alueiden pirstoutuminen, verkkorakenne	Viherverkkorakenteen pinta-alasuhteet Viheryhteyksien katkeaminen tai kulun vaikeutuminen	Suunnitelmista laskettavia suureita.	Forman et al. 2003

YMPÄRISTÖONGEL MALUOKAT	KUORMITUSTEKIJÄ	INDIKAATTORIT	VAATIMUS / RAJA-ARVO	MÄÄRITYSTAPA	LÄHDE
	Maaperän peittyminen	Maaperän peittyminen (ha), Maankäytön muutoksen aiheuttama maaperän peittyminen (ha) Väyläverkoston pituus (km)	Tavoitearvot kohteittain. Vaihtoehtojen vertailu.	Ympäristön sisältö osa-alueittain	Söderman T., 2003 Forman et al 2003
	Luontoarvot		Luonnon maisemalle ei ole luokittelua	Virkistysalueiden kartoitus	Söderman T., 2003
	Maisemalliset arvot	Esim. Väylän lähietäisyydellä sijaitsevien maisemallisesti arvokkaiden alueiden pinta-ala ja suhde maisemaan.	Rakennettavien maisema-alueiden kulttuurinen arvo luokittelun nojalla.	Maisemallisesti arvokkaiden alueiden kartoitus.	Vainio et al 2001
	Kulttuuriarvot	Väylän lähietäisyydellä sijaitsevien kulttuurisesti arvokkaiden alueiden pinta-ala ja suhde maisemaan.	Rakennettavien maisema-alueiden kulttuurinen arvo luokittelun nojalla	Kulttuurisesti arvokkaiden alueiden kartoitus.	Tyrväinen L. et al. 2005

LIITE 2 .WORKSHOPIN KYSELYLOMAKE



VÄYLÄRAKENTAMISEN YMPÄRISTÖKYSYMYKSIÄ KOSKEVA
ARVOTTAMISTEHTÄVÄ

Väylärakentamisen ympäristöarvot ja ekoindikaattorit (VÄYLÄINDI) -hanke

Vastaajan nimi: _____

Organisaatio: _____

Tehtävä: _____

Sähköposti: _____

Puhelin: _____

TEHTÄVÄ 1. YMPÄRISTÖONGELMIEN ARVOTTAMINEN VÄYLÄRAKENTAMISEN ERI VAIHEISSA

Tässä tehtävässä väylärakentaminen on jaettu kahteen vaiheeseen, jotka ovat 1) yleissuunnitelmavaihe ja 2) rakentamis- ja kunnossapitovaihe. Molemmat vaiheet käsitellään omana kokonaisuutena, eli molempien väylärakentamisvaiheiden aiheuttamat ympäristövaikutukset arvotetaan erikseen.

Sinun tehtävänäsi on valita alla olevista listoista ne ympäristöongelmaluokat, joilla katsot olevan merkitystä väylähankkeen kyseisessä vaiheessa. Yliviivaa tarpeettomat ympäristövaikutusluokat. Voit valita myös kaikki alla luetellut ympäristöongelmaluokat. Luokkien kuvaukset löydät oheisesta liitteestä. Laita valitsemasi ympäristöongelmaluokat tärkeysjärjestykseen (tärkein 1, toiseksi tärkein 2 jne.).

Anna vähiten tärkeälle ympäristöongelmaluokalle paino 10. Vähiten tärkeä ympäristöongelmaluokka on siten standardi, johon muita ympäristöongelmaluokkia verrataan. Arvioi tämän jälkeen, kuinka monta kertaa tärkeämpi seuraavaksi vähiten tärkeä ympäristöongelmaluokka on suhteessa "standardiympäristöongelmaluokkaan". Esimerkiksi jos katsot, että seuraavaksi vähiten tärkeä ympäristöongelmaluokka on standardiin nähden viisi kertaa tärkeämpi, kyseisen ympäristöongelmaluokan painoksi tulee 50. Seuraavaksi arvioitavan ympäristöongelmaluokan tärkeyttä verrataan standardi ympäristöongelmaluokkaan, minkä jälkeen tarkistetaan annetun painon johdonmukaisuus suhteessa edellisiin painoihin. Painojen antamista jatketaan loppuun edellä kuvatun mukaisesti. Ympäristöongelmaluokilla voi olla myös sama paino, jolloin ne arvioidaan yhtä tärkeiksi. Painojen suuruudella ei ole ylärajaa. Tarkista lopuksi antamiesi painojen johdonmukaisuus. Arvioi vastaako ympäristöongelmaluokkien välinen tärkeyssuhde käsitystäsi. Muuta tarvittaessa painoja.

Arvioi ympäristöongelmat oman näkemyksesi perusteella. Ympäristöongelmille pätevät liitteessä ja workshopissa esitetyt rajaukset.

1. YLEISSUUNNITELMAVAIHE

Yleissuunnitelmavaiheella tarkoitetaan hankkeen linjausvaihtoehtojen selvittämistä. Tässä vaiheessa otetaan kantaa väylän mahdollisten linjausvaihtoehtojen ympäristövaikutuksiin väylän koko käyttöajalta. Liikenteestä aiheutuvat vaikutukset (mm. päästöt, melu ja värinä) ovat mukana siltä osin kuin niihin pystytään vaikuttamaan väylän linjauksella.

Tärkeysjärjestys	Paino	YMPÄRISTÖONGELMALUOKAT
_____	_____	ailmakehän otsonin muodostuminen (NOX, NMVOC, CO)
_____	_____	kotoksisuus (raskasmetallit, PAH, PCB, Cl-, SO4,F-)
_____	_____	ysikaalis-mekaaniset vaikutukset (melu, värinä, valo)
_____	_____	Happamoituminen (SO2, NOX, NH3)
_____	_____	Ilmastonmuutos (CO2, N2O, CH4)
_____	_____	aadulliset pohjavesivaikutukset (liukkauden- ja pölyntorjunta-aineet)
_____	_____	Luonnonvarojen käyttö (maa- ja kiviainekset, energiaraaka-aineet ...)
_____	_____	aiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen
_____	_____	onimuotoisuuden väheneminen
_____	_____	Suorat terveysvaikutukset (hengityksen kautta) (hiukkaset, CO, NOX...)
_____	_____	Virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden heikkeneminen



2. RAKENTAMIS- JA KUNNOSSAPITOVAIHE

Rakentamisvaiheessa otetaan kantaa väylän rakentamisen/parantamisen vaikutuksiin rakentamisvaiheen ajalta. Rakentamisvaihe sisältää valitun linjausvaihtoehdon suunnittelun ja yksityiskohtaisen rakennussuunnitelman sekä seuraavat rakentamisen työvaiheet: alustavat työt (raivaus, puiden kaato yms.), maa- ja kallioleikkaukset, massojen käsittely (murskaus yms.), perustamis- ja vahvistamistyöt, penger- ja kerrosrakenteet, kuivausjärjestelmät, päällystäminen/kiskotus, ratojen sähköistäminen, varusteet ja laitteet sekä vihertyöt.

Rakentamisvaiheeseen sisällytetään väylän kunnossapito, jolla tarkoitetaan talvi- ja kesähoitoa sekä ylläpitoa (uudelleen päällystykset jne.). Väylän päällysteen kunnolla, väylän hoidolla ja mahdollisesti liikenteenohjauksella on ympäristövaikutuksia väylän koko käyttöajalla. Liikenteen energiankulutus, päästöt ja melu ovat mukana siltä osin kuin niihin pystytään vaikuttamaan väylän kunnossapitovaiheessa.

Tärkeysjärjestys	Paino	YMPÄRISTÖONGELMALUOKAT
_____	_____	Alailmakehän otsonin muodostuminen (NOX, NMVOC, CO)
_____	_____	Ekotoksisuus (raskasmetallit, PAH, PCB, Cl-, SO4,F-)
_____	_____	Fysikaalis-mekaaniset vaikutukset (melu, värinä, valo)
_____	_____	Happamoituminen (SO2, NOX, NH3)
_____	_____	Ilmastonmuutos (CO2, N2O, CH4)
_____	_____	Laadulliset pohjavesivaikutukset (liukkauden- ja pölyntorjunta-aineet)
_____	_____	Luonnonvarojen käyttö (maa- ja kiviainekset, energiaraaka-aineet...)
_____	_____	Maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen
_____	_____	Monimuotoisuuden väheneminen
_____	_____	Suorat terveysvaikutukset (hengityksen kautta) (hiukkaset, CO, NOX...)
_____	_____	Virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden heikkeneminen

TEHTÄVÄ 2: INDIKAATTOREIDEN PAINOTTAMINEN

Seuraavassa on esitetty viisi eri ympäristöongelmaluokkaa ja niiden sisältämät indikaattorit. Tarkoituksena on arvioida eri indikaattoreiden merkitystä tietyn ympäristöongelman aiheuttajana väylärakentamisessa. Tehtävänäsi on antaa indikaattoreille painoarvo niin, että yhden vaikutusluokan indikaattoreiden painoarvojen summa on 1. Eli indikaattoreita verrataan ainoastaan yhden ympäristöongelmaluokan sisällä. Painoarvo voi olla myös 0, jos koet, ettei jollain indikaattorilla ole lainkaan vaikutusta.

YMPÄRISTÖONGELMALUOKKA	INDIKAATTORI
Fysikaalis-mekaaniset vaikutukset	_____ Melu
	_____ Tärinä
	_____ Valo
	yht. 1,00
Luonnonvarojen väheneminen	_____ Kallioaines*
	_____ Sora ja hiekka *
	_____ Muu maa-aines*
	_____ Bitumi
	_____ Uusiutumattomat energiaraaka-aineet
	_____ Pohjavesi varat (määrällinen väheneminen)
	_____ Jätteet loppukäsittelyyn ja -sijoitukseen**
yht. 1,00	
Maiseman ja kulttuuriympäristön heikkeneminen	_____ Arvokkaiden kulttuuriympäristöjen väheneminen
	_____ Maisemallisesti arvokkaiden alueiden väheneminen
yht. 1,00	
Monimuotoisuuden väheneminen	_____ Ekologisen verkoston pirstoutuminen
	_____ Luonnonsuojelullisesti arvokkaiden alueiden i väheneminen
	_____ Maaperän peittyminen
	_____ Eläin - ja kasvilajien harvinaistuminen
yht. 1,00	
Virkistysmahdollisuuksien ja viihtyvyyden heikkeneminen	_____ Alueiden pirstoutuminen
	_____ Arvokkaiden kulttuuriympäristöjen väheneminen
	_____ Luonnonsuojelullisesti arvokkaiden alueiden vähentäminen
	_____ Maaperän peittyminen
	_____ Maisemallisesti arvokkaiden alueiden väheneminen
yht. 1,00	

* Väylälinjalta leikattava ja muualta tuotava aines. HUOM! uusiomateriaalit korvaavat aineksen käyttöä

**Likaantuneet maat, ongelmajäte, sekajäte

KIITOS VASTAUKSISTASIIII

LIITE 3: VÄYLIEN RAKENTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET KANSANTALouden TA- SOLLA JA TULOsten NORMALISOINTI KOKO SUOMEN TEOLLISUUDEN, LIIKENTEEN JA RAKENNUSKANNAN KÄYTÖN AIHEUTTAMIIN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIIN

1 Johdanto

Tehtävänä oli arvioida tienrakentamisen aiheuttaman ympäristökuormituksen ja resurssien kulutuksen osuus koko Suomen teollisuuden, liikenteen ja rakennuskannan aiheuttamasta kuormituksesta ja luonnon resurssien kulumisesta.

Arvion lähtötiedoksi koottiin tietoja tien-, kadun- ja ratarakentamisen materiaalimenekeistä, kuljetuksista ja työkoneiden käytöstä. Systeemi mallinnettiin rajaamalla ja määrittelemällä huomioon otettavat asiat ja tehden koottuihin lähtötietoihin pohjautuvia oletuksia menekeistä ja suoritteista. Materiaaliresurssien kulutuksen ja kuljetusten sekä työkoneiden käytön volyyymien arvion jälkeen selvitettiin näiden osatekijöiden ympäristöprofiilit. Ympäristöprofiililla tarkoitetaan tässä luetteloa aiheutuvista haitallisista päästöistä ja luonnon resurssien kulumisesta tarkasteluyksikköä kohden. Ympäristöprofiilit perustuvat VTT:n aineistoon rakennustuotteiden ympäristövaikutuksista. Aineistoa ei päivitetty erityisesti tätä arviota varten. Arvion laativat Tarja Häkkinen ja Leif Wirtanen (VTT).

Hankkeessa arvioitiin karkeasti myös tien-, kadun- ja radanrakentamisen aiheuttaman ympäristökuormituksen osuus koko Suomessa aiheutuvasta ympäristökuormituksesta. Vertailua varten Marja-Riitta Hiltunen (SYKE) kokosi aineistoa Suomen tasolla aiheutuvista resurssien kulutuksesta ja haitallisista päästöistä.

2 Tienrakentaminen

2.1 Johdanto

Tehtävänä oli arvioida tienrakentamisen aiheuttaman ympäristökuormituksen ja resurssien kulutuksen osuus koko Suomen teollisuuden, liikenteen ja rakennuskannan aiheuttamasta kuormituksesta ja luonnon resurssien kulumisesta.

Arviossa tienrakennuksesta otettiin huomioon teiden päällystys ja laajennus- ja uusinvestoinnit. Arviossa otettiin huomioon maan käyttö, materiaalien käyttö, kuljetukset ja työkoneiden käyttö.

Arvio tehtiin siten, että ensin karkeasti arvioitiin seuraavat asiat:

- kiviainesten käyttö tienrakennuksessa,
- kiviainesten tyypilliset kuljetusmatkat,
- asfalttien kokonaiskäyttömäärät tienrakennuksessa ja

- työkoneiden kokonaiskäyttömäärät tienrakennuksessa ja päällystyksessä.

Kiviainesten ja asfaltin kulutuksen ja kuljetusten sekä työkoneiden käytön volyymien karkean arvion jälkeen selvitettiin näiden osatekijöiden ympäristöprofiilit.

2.2 Tausta

2.2.1 Menekkiarvioinnin taustatiedot

Seuraavassa esitetään ne lähtötiedot, joiden perusteella tehtiin karkeat arviot kiviainesten ja asfaltin kulutuksen, kuljetuksien ja työkoneiden käytön tyyppillisistä kokonaismääristä vuositasolla.

Kaivannaisteollisuuden arvion¹ mukaan kiviainesten käyttö Suomessa vuonna 2003 oli seuraava:

- Yhteensä noin 94 miljoonaa tonnia, josta
 - kalliomursketta 40 miljoonaa tonnia
 - soramursketta 23 miljoonaa tonnia ja
 - soraa ja hiekkaa 31 miljoonaa tonnia.
- Jalostetun kiviaineksen käyttö:
 - tiet, kadut ja rautatiet 50 %
 - talot 15 %
 - asfaltti 10 %
 - betoni 10 %
 - muu 15 %

UUMA-hankkeessa, jonka tiedot perustuvat Suomen Maarakentajien keskusliiton ja Suomen Ympäristökeskuksen tietoihin, arvioitiin, että vuonna 2002 käytettiin:

- kalliomursketta noin 40 miljoonaa tonnia
- soramursketta noin 20 miljoonaa tonnia ja
- soraa ja hiekkaa noin 30 miljoonaa tonnia.

Tästä noin 60 - 70 miljoonaa tonnia, eli 67 - 78 %, on arvioitu menneen infrarakentamiseen.

Kiviaineksen käytön arvioitiin jakautuvan UUMA-hankkeessa eri sektoreille seuraavasti:

- tiet, kadut ja rautatiet 40 %
- talot 25 %
- asfaltti 10 %
- betoni 12 %
- muu 13 %

Tässä raportissa käytetään Kaivannaisteollisuuden ilmoittamia lukuarvoja, sillä ne perustuvat kiviainesten toimittajien ilmoittamiin tietoihin ja niiden voidaan näin ollen olettaa edustavan paremmin vallitsevaa tilannetta.

¹ Kaivannaisteollisuus - yhteiskunnan kivijalka

Suomessa on noin 7000 maa-ainesten ottolupaa, joista puolet on aktiivisessa käytössä. Näistä 3150 tuottaa soraa ja hiekkaa ja noin 350 kalliokiviainesta. Voimassa olevien ottolupien keskimääräinen pinta-ala 3,6 hehtaaria.

Kiviainesten kuljetuksessa kuorman suuruus on tyypillisesti noin 40 tonnia (perävaunullinen rekka) ².

Yleisten teiden päällystystyöt olivat vuonna 2003 seuraavat ³:

- Asfalttibetonit 2191 km / 1 177 000 tonnia
- Pehmeät asfalttibetonit 2002 km / 1 084 000 tonnia
- Pintaukset 213 km / 24 000 tonnia
- Päällysteet yhteensä 4 405 km / 2 285 000 tonnia

Yleisten teiden päällysteet ovat seuraavat:

- Päällystetty 50 500 km
- Sora 27 700 km

Tieverkon ylläpidossa peruskorjausten määrä vuositasolla on

- 1500 tiekm.

Suomen tieverkko muodostuu ⁴ yleisistä teistä, kunnallisista katuverkoista ja yksityisteistä. Koko tieverkon pituus on yhteensä noin 453 000 kilometriä. Yksityis- ja metsäautoteiden osuus näistä on noin 350 000 kilometriä ja kuntien katuverkkojen 25 000 kilometriä. Suomessa on yleisiä teitä noin 78 000 km, joista pääteitä noin 13 000 km, moottoriteitä noin 650 km ja kevyen liikenteen väyliä noin 4700 km. Siltoja noin 14 000.

Liikenneväylän rakentaminen jakaantuu mm. seuraaviin vaiheisiin:

- puuston, kasvillisuuden ja pintamaan poisto
- maa- ja kalliroleikkausten sekä penkereiden teko
- pohjamaan vahvistamistoimenpiteet
- alusrakennekerrosten teko
- päällysrakennekerrosten teko (sitomattomat kerrokset ja päällyste)
- varusteiden ja laitteiden asentaminen
- tiemerkitöjen maalaus
- viherrakenteet ja nurmetus.

Liikennesuoritteiden kehitys yleisillä teillä on viime vuosina kasvanut pääasiassa henkilö- ja pakettiautojen liikennesuoritteiden kasvun seurauksena. Vuonna 2004 oli paketti- ja henkilöautojen liikennesuoritteiden määrä yleisillä teillä noin 31 000 miljoonaa autokilometriä. Vastaava luku linja- ja kuorma-autojen osalta oli 3 000 miljoonaa autokilometriä. ⁵

2.2.2 Arviossa käytetyt ympäristöprofiilit

² Martti Kärkkäinen, esitelmä Kiviaines- ja murskauspäivillä 27-28.11.2003

³ Tiefakta 2004 (Tiehallinnon www-sivut)

⁴ www.tiehallinto.fi

⁵ Lähde: Yleiset tiet. Tilastoja 2/2005. Tiehallinto 2005.

Tierakennuksen ympäristövaikutuksien arvioissa käytettiin taulukoissa 1 - 5 esitettyjä materiaalien, toimintojen ja työkoneiden ympäristöprofileja. Taulukossa 2 esitetyt kivimastiksiasfaltin ja asfalttibetonin ympäristöprofiilit ovat myös kokonaisprofileja ja sisältävät näin ollen tuotteissa käytetyn kiviaineksen.

Taulukko 1. Soran ja murskeen ympäristöprofiili. ⁶

		Sora	Murske
Uusiutumaton raaka-aine	kg/kg	1,01	1,01
Uusiutuva raaka-aine	kg/kg	0,0	0,0
Uusiutumaton energia	MJ/kg	0,012	0,031
Uusiutuva energia	MJ/kg	0,0	0,0030
CO ₂	g/kg	0,87	1,8
CO	g/kg	0,00020	0,0011
SO ₂	g/kg	0,00040	0,0013
NO _x	g/kg	0,00080	0,0021
CH ₄	g/kg	0,000030	0,0011
NM VOC	g/kg	0,00020	0,0003
PM10	g/kg	0,00010	0,0012
Raskasmetallit	g/kg	0,00000020	0,00000060
COD	g/kg	0,000020	0,00003
Kaatopaikkajätteet	g/kg	10	10
Ongelmajätteet	g/kg	0,0	0,0

Taulukko 2. Kivimastiksiasfaltin ja asfalttibetonin ympäristöprofiili. ⁷

		Kivimastiksi- asfaltti	Asfaltti- betoni
		SMA	ABK
Uusiutumaton raaka-aine	kg/kg	1,1	1,0
Uusiutuva raaka-aine	kg/kg	0,0	0,0
Uusiutumaton energia	MJ/kg	0,37 + 2,6 *	0,27 + 1,8 *
Uusiutuva energia	MJ/kg	0,0045	0,0026
CO ₂	g/kg	230	160
CO	g/kg	4,3	3,1
SO ₂	g/kg	0,15	0,10
NO _x	g/kg	0,17	0,12
N ₂ O	g/kg	0,00020	0,00030
CH ₄	g/kg	0,0027	0,0017
NM VOC	g/kg	0,0091	0,0065
PM10	g/kg	0,014	0,0077
Raskasmetallit	g/kg	0,0000030	0,0000020
COD	g/kg	0,20	0,15
BOD	g/kg	0,0010	0,00070

⁶ Lähde: Betonituotteiden ympäristöselosteiden ja BERTTA-ohjelman taustatiedot. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka 2005.

⁷ Lähde: Kalliotilojen ja kallioleikkausten ympäristövaikutusten arvioinnin ohjelman taustatiedot. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka 2005.

P tot	g/kg	0,000019	0,000013
N tot	g/kg	0,00040	0,00030
Kaatopaikkajäte	g/kg	5,5	4,9
Ongelmajätteet	g/kg	0,0056	0,0040

* Raaka-aineen energiasisältö.

Taulukko 3. Kuljetuksen ympäristöprofiili. ⁸

Uusiutumaton raaka-aine	g/tkm	33
Uusiutuva raaka-aine	g/tkm	0,0
Uusiutumaton energia	MJ/tkm	1,6
Uusiutuva energia	MJ/tkm	0,0
CO ₂	g/tkm	110
CO	g/tkm	0,030
SO ₂	g/tkm	0,0011
NO _x	g/tkm	1,1
N ₂ O	g/tkm	0,0038
CH ₄	g/tkm	0,0021
NMVOC	g/tkm	0,050
PM10	g/tkm	0,020
Raskasmetallit	g/tkm	0,0000014
COD	g/tkm	0,0021

Taulukko 4. Kallioleikkauksen ympäristöprofiili per 1000 m³. ⁹

Uusiutumaton raaka-aine	kg	690
Uusiutuva raaka-aine	kg	0,0
Uusiutuva energia	MJ	8.9
Uusiutumaton energia	MJ	30 000
CO ₂	kg	2300
CO	g	9500
CH ₄	g	170
N ₂ O	g	900
SO ₂	g	2600
NO _x	g	29000
NH ₃	g	0.0
NMVOC	g	4100
Raskasmetallit	g	0.0
PM10	g	2600

⁸ Lähde: Häkkinen, T. Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus ja elinkaarimittarit. REM-hankkeen loppuraportti. Helsinki 2005. Julkaisija Rakennusteollisuus RT ry. 75 s..

⁹ Lähde: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/maansiirtokeskim.htm>. Raskasmetallit ja raaka-aineiden kulutus on arvioitu seuraavasta lähteestä (liite 3) Häkkinen, T. Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus ja elinkaarimittarit. REM-hankkeen loppuraportti. Helsinki 2005. Julkaisija Rakennusteollisuus RT ry. 75 s..

Taulukko 5. Työkoneiden ympäristöprofiili.¹⁰

Uusiutumaton raaka-aine	g	230
Uusiutuva raaka-aine	g	0,0
Uusiutumaton energia	MJ/kWh	11
Uusiutuva energia	MJ/kWh	0,0
CO ₂	g/kWh	2300
CO	g/kWh	3,9
CH ₄	g/kWh	0,041
N ₂ O	g/kWh	0,022
SO ₂	g/kWh	0,89
NO _x	g/kWh	11
NH ₃	g/kWh	-
NM ₁₀ VOC	g/kWh	1,5
Raskasmetallit	g/kWh	-
PM ₁₀	g/kWh	0,90

2.3 Oletukset

Arvio tienrakennuksen aiheuttamista ympäristökuormituksista ja resurssien kulutuksesta perustuu seuraaviin oletuksiin.

Jalostetun kiviaineksen kokonaismäärästä käytetään noin 50 % teiden, katujen ja rautateiden rakentamiseen. Teiden rakentamiseen oletetaan käytettävän tästä määrästä 80 %, katujen ja rautateiden molempien 10 %. Tierakentamisen kokonaiskäyttömäärät ovat tällöin karkeasti seuraavat:

- 0,4 × 40 miljoonaa kalliomursketta = 16 miljoonaa tonnia kalliomursketta
- 0,4 × 23 miljoonaa tonnia soramursketta = 9,2 miljoonaa tonnia soramursketta
- 0,4 × 31 miljoonaa tonnia soraa ja hiekkaa = 12 miljoonaa tonnia soraa ja hiekkaa.

Arvio tehtiin olettaen, että murskattuja aineksia käytetään yhteensä 25 miljoonaa tonnia ja soraa ja hiekkaa yhteensä 12 miljoonaa tonnia.

Arviossa käytettiin oletusta, että kiviaineksia kuljetaan keskimäärin noin 3 km, jolloin kokonaiskuljetussuorite on noin 110 miljoonaa tonnikilometriä.

Asfaltteja käytetään teiden päällystystöissä yhteensä (2003) 1 177 000 tonnia (asfalttibetonit) + 1 084 000 tonnia (pehmeät asfalttibetonit) + 24 000 tonnia (pintaukset) = 2 285 000 tonnia.

Laskelmissa oletettiin, että asfalttibetonin kokonaismäärästä on SMA:n osuus 25 %.

¹⁰ <http://lipasto.vtt.fi/tyko/malli/keskimaaraisetkertoimet2003.xls>. Arvioitu tela-alustaisen kaivukoneen mukaan työkoneiden keskimääräisistä päästökertoimista. Tela-alustainen kaivukone keskimääräinen nimellisteho 104 kWh. Eri diesel-käyttöisten työkoneiden päästökertoimet (per kWh) ovat lähteen mukaan kohtuullisen lähellä toisiaan. Raaka-aineiden kulutus arvioitu kuljetuksien lukujen perusteella.

Arviossa käytettiin näin ollen oletusta, että SMA:ta käytetään vuosittain 0,3 miljoonaa tonnia, asfalttibia 0,9 miljoonaa tonnia, ja pehmeää asfalttia 1,1 miljoonaa tonnia. Näille käytettiin taulukon 2 mukaisia ympäristöprofiileja

Teitä päällystetään vuosittain noin 4 200 km. Päällystystöiden lisäksi tehdään laajennuksia ja uusinvestointeja, jotka sisältävät seuraavat osavaiheet:

- raivaus
- louhinta (kallioleikkausten teko)
- penkereiden teko
- pohjamaan vahvistamistoimenpiteet
- alusrakennekerrosten teko
- päällysrakennekerrosten teko (sitomattomat kerrokset)

Tämän perusteella voidaan arvioida, että työkoneita käytetään yhteensä vuositasolla 16 miljoonaa kilowattituntia ¹¹.

Arviossa oletettiin lisäksi, että kallioleikkauksia tehdään tienrakennuksessa yhteensä 2 000 000 m³ vuosittain. Arvio perustui viitteeseen ¹².

2.4 Tien käytön ympäristökuormitus

Taulukossa 6 esitetään esimerkki siitä, miten liikenteen aiheuttamaan ympäristökuormitukseen vaikuttava tekijä voi olla hyvin merkittävä muutosvaikutuksen perusteella. Taulukossa esitetään valtatie liikenteen ja sen aiheuttaman ympäristökuormituksen muutosvaikutus, jos tiepinnan sileys tms. tekijä muuttuu niin paljon, että polttoaineen kulutus vähenee 1 % tai 5 %.

Taulukko 6. Esimerkki polttoaineen kulutuksen vähentymisen vaikutuksesta polttoaineen kokonaiskulutuksen määrään moottoritiellä vuodessa.

	Suorite (milj. autokm/v.)	Pituus (km)	KLV (autoa/pv)	Poltonesteen kulutus (l/100 km)	Muutos (%)	Muutos (l/km)	Yhteensä (l/km/v)
Henkilö- ja pakettiautot	2 350	250	25750	7	1	0,0007	6500
Linja- ja kuorma- autot	210	250	2300	45	1	0,0045	3800
Henkilö- ja pakettiautot	2 350	250	25750	7	5	0,0035	32900
Linja- ja kuorma- autot	210	250	2300	45	5	0,0125	18900

2.5 Arvion tulos

¹¹ Arvio perustuu Tapani Karosen (Suomen maarakentajien keskusliitto) kokoamiin maarakennuskoneiden käyttömäärätietoihin.

¹² Kalliorakentamisen kilpailukyky. VTT RTE tutkimusraportti NRO RTE 2969/01

Kohdan 1.2.2 taulukoiden avulla ja kohdan 1.3 oletuksien perusteella arvioitiin, että tienrakennuksen aiheuttama luonnon resurssien kulutus ja päästöt vuosittain ovat suuruusluokaltaan taulukon 7 mukaisia. Taulukossa 8 esitetään eri osatekijöiden arvioidut osuudet kokonaismääristä.

Taulukko 7. Karkea arvio tienrakennuksen aiheuttamasta resurssien kuluksista ja päästöistä vuositason tasolla.

		Yhteensä
Uusiutumaton energia	MJ	6 300 000 000
Uusiutumaton raaka-aine	tonnia	40 000 000
CO ₂	tonnia	490 000
SO ₂	tonnia	300
NO _x	tonnia	710
CH ₄	tonnia	33
NM VOC	tonnia	31
PM10	tonnia	53

Taulukko 8. Eri osatekijöiden osuudet kokonaiskuormituksesta (%).

	Sora	Murske	SMA	AB	Kuljetus	Kallio	Työkoneet
Uusiutumaton raaka-aine	31	64	1	5	0	0	0
Uusiutumaton energia	2	12	14	66	3	0	3
CO ₂	2	9	14	65	2	0	7
SO ₂	2	11	15	66	0	2	5
NO _x	1	7	7	34	17	8	25
CH ₄	1	83	2	10	1	1	2
NM VOC	8	24	9	42	18	0	0
PM10	2	57	8	29	4	0	0

Taulukossa 9 esitetään karkea arvio polttoaineen käytön vähentymisen seurauksena aikaansaataavasta tien käytön suoritteiden muutoksesta kilometriä kohden ja taulukossa 10 esitetään tästä aiheutuvat muutokset liikenteen aiheuttamissa päästöissä. Laskelmien lähtöarvoina on käytetty taulukossa 6 esitettyjä tietoja.

Taulukko 9. Polttoaineen kulutuksen muutoksesta aiheutuva muutos liikennesuoritteessa (km/v).

	Muutos (%)	Muutos (l/km/v)	Kulutus (l/km)	Suorite (autokm/km/v)
Henkilö- ja pakettiautot	1	6 500	0,069	94 000
Linja- ja kuorma-autot	1	3 800	0,445	8 500
Henkilö- ja pakettiautot	5	32 900	0,069	476 000
Linja- ja kuorma-autot	5	18 900	0,445	42 500

Taulukko 10. Liikennesuoritteessa tapahtuvan muutoksen vaikutus liikenteen aiheuttamiin CO₂, SO₂ ja NO_x päästöihin, kun koko liikennemäärä on otettu huomioon.

	Muutos (%)	Suorite (autokm/km/v)	Päästö (g/km)			Yhteensä (kg/km/v)		
			CO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂	SO ₂	NO _x
Henkilö- ja pakettiautot	1	94 000	165	0,0062	1,2	15 500	0,6	110
Linja- ja kuorma-autot	1	8 500	1198	0,011	13	10 200	0,1	110
Henkilö- ja pakettiautot	5	476 000	165	0,0062	1,2	78 500	3,0	570
Linja- ja kuorma-autot	5	42 500	1198	0,011	13	51 000	0,5	550

3 Ratarakentaminen

3.1 Johdanto

Tehtävänä oli arvioida ratarakentamisen aiheuttaman ympäristökuormituksen ja resurssien kulutuksen osuus koko Suomen teollisuuden, liikenteen ja rakennuskannan aiheuttamasta kuormituksesta ja luonnon resurssien kulumisesta.

Arviossa ratarakennuksesta otettiin huomioon ratojen kunnostus-, laajennus- ja uusinvestoinnit. Arvioon sisällytettiin maan käyttö, materiaalien käyttö, kuljetukset ja työkalujen käyttö.

Arvio tehtiin siten, että ensin arvioitiin karkeasti seuraavat asiat:

- kiviainesten käyttö ratarakentamisessa,
- kiviainesten tyypilliset kuljetusmatkat,
- kiskojen, ratapölkkyjen, pylväiden ja lankojen kokonaiskäyttömäärät ratarakentamisessa ja
- työkalujen kokonaiskäyttömäärät ratarakentamisessa.

Kiviainesten, kiskojen, ratapölkkyjen ja sähköistykseen liittyvien tekijöiden (pylväät ja langat) ja kuljetusten sekä työkoneiden käytön volyymien karkean arvion jälkeen selvitettiin näiden osatekijöiden ympäristöprofiilit. Ympäristöprofiililla tarkoitetaan tässä luetteloa aiheutuvista haitallisista päästöistä ja luonnon resurssien kulumisesta tarkasteluysikköä kohden. Materiaalien ja toimintojen ympäristöprofiileina käytettiin tässä aiemmissa selvityksissä arvioituja tuloksia.

3.2 Tausta

3.2.1 Menekkiarvioinnin taustatiedot

Seuraavassa esitetään ne lähtötiedot, joiden perusteella tehtiin karkeat arviot kiviainesten, ratapölkkyjen, kiskojen, lankojen ja pylväiden kulutuksen, kuljetuksen ja työkoneiden käytön tyypillisistä kokonaismääristä vuositasona.

Kiviainesten kokonaistarpeen jakautuminen ja kiviainesten käyttö Suomessa on esitetty kohdassa 1.2.1. Kiviainesten kuljetuksessa kuorman suuruus on tyypillisesti noin 40 tonnia (perävaunullinen rekka) ¹³.

Ratapölkkyjen käyttömäärä oli vuosina 1995 - 2003 keskimäärin ¹⁴:

- puupölkkyt 170 000 kpl.
- betonipölkkyt 500 000 kpl.

Kiskojen käyttömäärä oli vuosina 1999 - 2003 keskimäärin ¹⁵

- uutta kiskoa 15 000 tonnia
- vanhaa kunnostettua kiskoa 7 350 tonnia

Vastaavasti keskimääräinen kilometrimäärä tällä tarkastelujaksolla oli

- uutta kiskoa 254 km, vanhaa kunnostettua kiskoa 67 km, eli yhteensä 321 km.

Näin ollen on vuosittainen uusi raidekilometrimäärä tarkastelujaksolla keskimäärin 160 km.

Rataosuuden rakentaminen jakaantuu mm. seuraaviin vaiheisiin:

- puuston, kasvillisuuden ja pintamaan poisto
- maa- ja kallioleikkausten sekä penkereiden teko
- pohjamaan vahvistamistoimenpiteet
- alusrakennekerrosten teko
- väli- ja tukikerrosten teko
- pölkkyjen ja kiskojen asentaminen
- varusteiden ja laitteiden asentaminen.

Kunnossapitotöissä pyritään radassa oleva vanha sepeli uusiokäyttää seulomalla.

¹³ Martti Kärkkäinen, esitelmä Kiviaines- ja murskauspäivillä 27-28.11.2003

¹⁴ Ratahallintokeskus. Ympäristöraportti 2003

¹⁵ Ratahallintokeskus. Ympäristöraportti 2003

LIITTEET

Ajolangan ja sen kannattimen vuosittainen käyttömäärä on noin $1,15 \times 160$ km, eli 185 km, johtuen siitä että ajolankaa ei asenneta täsmälleen raiteen keskilinjalle virroittimen liukuhiilen liian tasaisen kulumisen estämiseksi. Ajolangan yleisin poikkipinta-ala on 100 mm^2 ja sen paino on 710 kg/km (TRL 80) tai 890 kg/km (TRL 100)¹⁶.

Johdinpylväät asennetaan keskimäärin 65 - 71 metrin etäisyydelle toisistaan. Tätä etäisyyttä rajoittaa ajojohdinjanteen riippuma, sivusiirtymä ja joustavuuden tasaisuus¹⁷.

Johdinpylvään pituus on tavallisimmin 8,7 m. Muita pituuksia, kuten 8,2 m, 9,2 m ja 10, 26 m, käytetään mm. laitureilla ja paluu- ym. johtimien saamiseksi riittävän etäälle ajojohtimesta, opastimesta, tms. Johdinpylvään keskimääräinen paino on 600 kg. Pylväät ovat yleensä teräksestä¹⁸.

Raiteilla toimivan sepelinpuhdistuskoneen teho on 700 kW ja sen kapasiteetti on keskimäärin $650 \text{ m}^3/\text{h}$. Sepelinpuhdistuskoneen keskimääräinen polttoaineen kulutus on 150 l/h ¹⁹.

3.2.2 Arviossa käytetyt ympäristöprofiilit

Ratarakentamisen ympäristövaikutuksien arviossa käytettiin taulukoissa 1, 3, 4 ja 5 esitetyjä materiaalien, toimintojen ja työkonien ympäristöprofiileja. Taulukoissa 11 - 13 on esitetty teräksen, puun ja betonin ympäristöprofiilit. Teräksen ympäristöprofiilit perustuvat sekä malmipohjaisen (uudet kiskot) että romuteräspohjaisen (vanhat kunnostetut kiskot) teräksen arvoihin. Betonin ympäristöprofiili perustuu lujuusluokan K80 betonin arvoihin.

Taulukko 11. Teräksien ympäristöprofiilit.²⁰

		Malmipohjainen	Romupohjainen
Uusiutumaton raaka-aine	kg/kg	3,08	0,17
Uusiutuva raaka-aine	kg/kg	0,0	0,0
Uusiutumaton energia	MJ/kg	28,41	6,21
Uusiutuva energia	MJ/kg	0,26	2,04
CO ₂	g/kg	2471	437
CO	g/kg	30,5	3,7
SO ₂	g/kg	2,9	2,0
NO _x	g/kg	2,7	1,0
CH ₄	g/kg	0,39	0,75
NMVOG	g/kg	0,17	0,099
PM10	g/kg	2,3	0,21
Raskasmetallit	g/kg	-	0,0033
COD	g/kg	0,075	0,0096

¹⁶ Susanna Koivujärvi, Ratahallintokeskus, henkilökohtainen tiedonanto

¹⁷ Susanna Koivujärvi, Ratahallintokeskus, henkilökohtainen tiedonanto

¹⁸ Susanna Koivujärvi, Ratahallintokeskus, henkilökohtainen tiedonanto

¹⁹ Susanna Koivujärvi, Ratahallintokeskus, henkilökohtainen tiedonanto

²⁰ Lähde: Betonituotteiden ympäristöselosteiden ja BERTTA-ohjelman taustatiedot. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005.

Taulukko 12. Puun ympäristöprofiili. ²¹

Uusiutumaton raaka-aine	kg/kg	0,0047
Uusiutuva raaka-aine	kg/kg	1,10
Uusiutumaton energia	MJ/kg	1,40
Uusiutuva energia	MJ/kg	2,90
CO ₂	g/kg	65
CO	g/kg	1,3
CH ₄	g/kg	0,21
N ₂ O	g/kg	0,0000086
SO ₂	g/kg	0,10
NO _x	g/kg	0,78
NMVOC	g/kg	0,18
Raskasmetallit	g/kg	0,00018
PM10	g/kg	0,019
COD	g/kg	0,067
BOD	g/kg	0,0072

Taulukko 13. Betonin K80 ympäristöprofiili. ²²

Uusiutumaton raaka-aine	kg/kg	1,04
Uusiutuva raaka-aine	kg/kg	0,000017
Uusiutumaton energia	MJ/kg	1,2
Uusiutuva energia	MJ/kg	0,059
CO ₂	g/kg	170
CO	g/kg	0,085
CH ₄	g/kg	0,32
N ₂ O	g/kg	0,068
SO ₂	g/kg	0,086
NO _x	g/kg	0,48
NMVOC	g/kg	0,0054
Raskasmetallit	g/kg	0,000042
PM10	g/kg	0,46
COD	g/kg	0,000083

3.3 Oletukset

Arvio ratarakentamisen aiheuttamista ympäristökuormituksista ja resurssien kulutuksesta perustuu seuraaviin oletuksiin.

Ratarakentamisessa käytetään 5 % kalliomurskeesta, soramurskeesta ja sorasta ja hiekasta. Kokonaiskäyttömäärät ovat tällöin karkeasti seuraavat:

- 0,05 × 40 miljoonaa tonnia kalliomursketta = 2 miljoonaa tonnia kalliomursketta

²¹ Lähde: Sahateollisuus (Sirje Vares)

²² Lähde: Betonituotteiden ympäristöselosteiden ja BERTTA-ohjelman taustatiedot. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka 2005.

LIITTEET

- $0,05 \times 23$ miljoonaa tonnia soramursketta = 1,2 miljoonaa tonnia sora-
mursketta
- $0,05 \times 31$ miljoonaa tonnia soraa ja hiekkaa = 1,6 miljoonaa tonnia soraa
ja hiekkaa.

Arvio tehtiin olettaen, että murskattuja aineksia käytetään yhteensä 3,2 miljoonaa tonnia ja soraa ja hiekkaa yhteensä 1,6 miljoonaa tonnia.

Arviossa käytettiin oletusta, että kiviaineksia kuljetaan keskimäärin noin 10 km, jolloin näiden kokonaiskuljetussuorite on noin 48 miljoonaa tonnikilometriä.

Puisen (mänty) ratapölkyn tiheydeksi oletetaan 520 kg/m^3 . Pölkyn tyypilliset mitat ovat $240 \times 160 \times 2700 \text{ mm}^3$, eli $0,104 \text{ m}^3$, joten yhden puupölkyn paino on tyypillisesti 54 kg. Betonisen ratapölkyn tiheydeksi oletetaan 2400 kg/m^3 . Pölkyn tyypilliset mitat ovat $290 \times 230 \times 2600 \text{ mm}^3$, eli $0,173 \text{ m}^3$, joten yhden betonipölkyn paino on tyypillisesti 420 kg.

Näin ollen saadaan käytettyjen ratapölkkyjen painoiksi keskimäärin:

- puupölkkyt $170\,000 \text{ kpl.} \times 54 \text{ kg/kpl.} = 9\,180$ tonnia
- betonipölkkyt $500\,000 \text{ kpl.} \times 420 \text{ kg/kpl.} = 210\,000$ tonnia

Arviossa käytettiin oletusta, että puu- ja betonipölkkyjä kuljetaan keskimäärin noin 50 km, jolloin näiden kokonaiskuljetussuorite on noin 11 miljoonaa tonnikilometriä.

Pylväiden painoksi oletettiin 600 kg/pylväs ja ne oletettiin sijoitettavaksi keskimäärin 68 metrin etäisyydelle toisistaan. Pylväiden valmistusmateriaaliksi oletettiin romupohjainen teräs.

Sekä ajolanka että sen kannatin oletettiin valmistetuksi kuparista. Langan ja kannattimen keskimääräiseksi käyttömääräksi arvioitiin 800 kg/km .

Arviossa oletettiin lisäksi, että kallioleikkauksia tehdään ratarakennuksessa yhteensä $1\,000\,000 \text{ m}^3$ vuosittain. Arvio perustui viitteeseen ²³.

Työkoneiden käyttömääräksi vuositasolla arvioitiin 2,5 miljoonaa kilowattituntia.

Betonisten ratapölkkyjen ja kiskojen kiinnikkeet on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle.

3.4 Arvion tulos

Kohdan 2.2.2 taulukoiden avulla ja kohtien 2.1.2 ja 2.3 laskelmien ja oletuksien perusteella arvioitiin, että ratarakentamisen aiheuttama luonnon resurssien kulutus ja päästöt vuosittain ovat suuruusluokaltaan taulukon 15 mukaisia. Taulukossa 16 esitetään eri osatekijöiden arvioidut osuudet kokonaisuudesta.

²³ Kalliorakentamisen kilpailukyky. VTT RTE tutkimusraportti NRO RTE 2969/01

Taulukko 15 Karkea arvio ratarakentamisen aiheuttamasta resurssien kulu-
tuksesta ja päästöistä vuositasolla.

		Yhteensä
Uusiutumaton energia	MJ	978 000 000
Uusiutumaton raaka-aine	tonnia	5 120 000
CO ₂	tonnia	96 000
SO ₂	tonnia	91
NO _x	tonnia	277
CH ₄	tonnia	86
NMVOC	tonnia	9,9
PM10	tonnia	3 520

Taulukko 16. Eri osatekijöiden osuudet kokonaiskuormituksesta (%).

	Sora	Murske	Kuljetus	Kallio	Työ- koneet	Teräs/ malmi	Teräs/ romu	Puu	Betoni	Kupari
Uusiutumaton raaka-aine	32	63	0	0	0	1	0	0	4	0
Uusiutumaton energia	2	10	8	0	3	44	6	1	26	1
CO ₂	1	6	5	0	6	39	4	1	37	1
SO ₂	1	5	0	3	2	47	19	1	20	2
NO _x	0	2	19	10	10	15	3	3	36	1
CH ₄	0	4	0	0	0	7	8	2	78	0
NMVOC	3	10	24	0	0	26	9	17	11	0
PM10	0	0	0	0	0	97	0	0	3	0

4 Katurakentaminen

4.1 Johdanto

Tehtävänä oli arvioida katurakentamisen aiheuttaman ympäristökuormituksen ja resurssien kulutuksen osuus koko Suomen teollisuuden, liikenteen ja rakennuskannan aiheuttamasta kuormituksesta ja luonnon resurssien kulumisesta.

Arviossa katurakennuksesta otettiin huomioon katujen kunnostus-, laajenus- ja uusinvestoinnit. Arvioon sisällytettiin maan käyttö, materiaalien käyttö, kuljetukset ja työkoneiden käyttö.

Arvio tehtiin siten, että ensin arvioitiin karkeasti seuraavat asiat:

- kiviainesten käyttö katurakentamisessa,
- kiviainesten tyyppilliset kuljetusmatkat,
- asfalttien kokonaiskäyttömäärät katurakentamisessa ja
- työkoneiden kokonaiskäyttömäärät katurakentamisessa ja päällystyksessä.

Kiviainesten ja asfaltin kulutuksen ja kuljetusten sekä työkoneiden käytön volyymien karkean arvion jälkeen selvitettiin näiden osatekijöiden ympäristöprofiilit. Ympäristöprofiililla tarkoitetaan tässä luetteloa aiheutuvista haitallisista päästöistä ja luonnon resurssien kulumisesta tarkasteluysikköä kohden. Materiaalien ja toimintojen ympäristöprofiileina käytettiin tässä aiemmissa selvityksissä arvioituja tuloksia.

4.2 Tausta

4.2.1 Menekkiarvioinnin taustatiedot

Seuraavassa esitetään ne lähtötiedot, joiden perusteella tehtiin karkeat arviot kiviainesten ja asfaltin kulutuksen, kuljetuksien ja työkoneiden käytön tyyppillisistä kokonaismääristä vuositasolla.

Kiviainesten kokonaistarpeen jakautuminen ja kiviainesten käyttö Suomessa on esitetty kohdassa 1.2.1. Kiviainesten kuljetuksessa kuorman suuruus on tyyppillisesti noin 40 tonnia (perävaunullinen rekka)²⁴.

Helsingin kaupungin rakennusviraston ilmoittamien tietojen mukaan jakautuivat katujen päällystystyöt vuosina 2000 - 2004 keskimäärin seuraavasti²⁵.

- Rakennettu 21,4 ha (vv. 2002 - 2004)
- Uudelleen päällystetty 36,9 ha (vv. 2000 - 2004)

Kuntien katuverkkojen pituus on 25 000 kilometriä²⁶. Esimerkiksi Helsingissä ovat yleisimmät päällystemateriaalit asfaltin lisäksi pinta-alojen suhteena

²⁴ Martti Kärkkäinen, esitelmä Kiviaines- ja murskauspäivillä 27-28.11.2003

²⁵ Helsingin kaupungin rakennusviraston vuosien 2002, 2003 ja 2004 toiminta

²⁶ Tiefakta 2004 (Tiehallinnon www-sivut)

laskettuna nupukivi (1,5 %) ja sora (1,3 %)²⁷. Näiden pienen osuuden takia jätetään tässä tarkastelussa muut paitsi asfalttibetonit tarkastelun ulkopuolelle.

Liikenneväylän rakentaminen jakaantuu mm. seuraaviin vaiheisiin:

- puuston, kasvillisuuden ja pintamaan poisto
- maa- ja kalliroleikkausten sekä penkereiden teko
- pohjamaan vahvistamistoimenpiteet
- alusrakennekerrosten teko
- päällysrakennekerrosten teko (sitomattomat kerrokset ja päällyste)
- varusteiden ja laitteiden asentaminen
- tiemerkitöiden maalaus
- viherrakenteet ja nurmetus.

4.2.2 Arviossa käytetyt ympäristöprofiilit

Katurakentamisen ympäristövaikutuksien arviossa käytettiin taulukoissa 1 - 5 esitettyjä materiaalien, toimintojen ja työkonoiden ympäristöprofiileja.

4.3 Oletukset

Arvio katurakentamisen aiheuttamista ympäristökuormituksista ja resurssien kulutuksesta perustuu seuraaviin oletuksiin.

Katujen rakentamisessa käytetään 5 % kalliomurskeesta, soramurskeesta ja sorasta ja hiekasta. Kokonaiskäyttömäärät ovat tällöin karkeasti seuraavat:

- $0,05 \times 40$ miljoonaa tonnia kalliomursketta = 2 miljoonaa tonnia kalliomursketta
- $0,05 \times 23$ miljoonaa tonnia soramursketta = 1,2 miljoonaa tonnia soramursketta
- $0,05 \times 31$ miljoonaa tonnia soraa ja hiekkaa = 1,6 miljoonaa tonnia soraa ja hiekkaa.

Arvio tehtiin olettaen, että murskattuja aineksia käytetään yhteensä 3,2 miljoonaa tonnia ja soraa ja hiekkaa yhteensä 1,6 miljoonaa tonnia.

Arviossa käytettiin oletusta, että kiviaineksia kuljetaan keskimäärin noin 5 km, jolloin näiden kokonaiskuljetussuorite on noin 24 miljoonaa tonnikilometriä.

Helsingin kaupungin kunnossapidettävä katuala (2004) on noin 2000 ha²⁸. Koska rakennetun ja uudelleen päällystetyn katuverkoston pinta-ala on kohdan 3.1.1 arvion mukaan yhteensä 58 ha, muodostaa tämä noin 3 % koko katualasta. Kohdassa 1.2.1 arvioitiin, että päällystystyöt koko tieverkon pituudesta kattoivat noin 8,4 %. Toisaalta oli Suomen infrarakentamista koskevan selvityksen mukaan katurakentamisen suhde tierakentamiseen kokonaistuotannon perusteella noin 85 %.

²⁷ Hänninen, S., Hellén, S., Lettenmeier, M. ja Autio, S. 2005. MaterialEuro. Luonnonvarojen käyttö Helsingin katujen rakentamisessa ja ylläpidossa. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisuja 2005:1.

²⁸ Helsingin kaupungin rakennusviraston vuoden 2004 toiminta

LIITTEET

Tämän arvion perusteella oletetaan, että katurakentamisen suhde tierakentamiseen (sisältäen kaikki työvaiheet pohjarakentamisesta kunnossapitoon ja hoitoon) on 0,85.

Näin ollen käytetään asfaltteja katujen päällystystöissä yhteensä $0,85 \times 1\,177\,000$ tonnia (asfalttibetonit) + $0,85 \times 1\,084\,000$ tonnia (pehmeät asfalttibetonit) + $0,85 \times 24\,000$ tonnia (pintaukset) = 1 900 000 tonnia.

Työkoneiden käyttömääräksi vuositasolla arvioitiin 2 miljoonaa kilowattituntia.

Arviossa oletettiin lisäksi, että kallioleikkauksia tehdään tienrakennuksessa yhteensä $300\,000\text{ m}^3$ vuosittain. Arvio perustui viitteeseen ²⁹.

4.4 Arvion tulos

Kohdan 1.2.2 taulukoiden avulla ja kohdan 3.3 oletuksien perusteella arvioitiin, että tierakennuksen aiheuttama luonnon resurssien kulutus ja päästöt vuosittain ovat suuruusluokaltaan taulukon 17 mukaisia. Taulukossa 18 esitetään eri osatekijöiden arvioidut osuudet kokonaismääristä.

Taulukko 17 Karkea arvio katurakentamisen aiheuttamasta resurssien kulutuksesta ja päästöistä vuositasolla.

		Yhteensä
Uusiutumaton energia	MJ	4 100 000 000
Uusiutumaton raaka-aine	tonnia	6 700 000
CO ₂	tonnia	320 000
SO ₂	tonnia	200
NO _x	tonnia	290
CH ₄	tonnia	7,0
NMVOC	tonnia	15
PM10	tonnia	19

²⁹ Kalliorakentamisen kilpailukyky. VTT RTE tutkimusraportti NRO RTE 2969/01

Taulukko 18. Eri osatekijöiden osuudet kokonaiskuormituksesta (%).

	Sora	Murske	AB	Kuljetus	Kallio	Työkoneet
Uusiutumaton raaka-aine	24	48	28	0	0	0
Uusiutumaton energia	0	2	96	1	0	1
CO ₂	0	2	95	1	0	1
SO ₂	0	2	96	0	0	1
NO _x	0	2	78	9	3	8
CH ₄	1	50	46	1	1	1
NMVOC	2	6	83	8	0	0
PM10	1	20	77	3	0	0

5 Tuloksen vertailu Suomen tasolla aiheutuviin resurssien kulutukseen ja päästöihin

Vertailua varten Marja-Riitta Hiltunen (SYKE) kokosi aineistoa Suomen tasolla aiheutuvista resurssien kulutuksesta ja haitallisista päästöistä. Tiedot ovat vuodelta 2003.

5.1 Suomen kokonaispäästöt

Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa ovat 2000-luvulla nousseet tasaisesti. Vuonna 2003 CO₂-päästöt olivat yhteensä 73,2 miljoonaa tonnia (Taulukko 19). Luku sisältää teollisuuden prosessipäästöt sekä energiaperäiset hiilidioksidipäästöt, joita syntyy mm. energian tuotannosta, teollisuudesta, rakentamisesta ja liikenteestä. Samana vuonna Suomen metaanipäästöt olivat 236 400 tonnia. Metaanipäästöt (CH₄) kuten myös dityppioksidipäästöt (N₂O) syntyvät mm. energian tuotannosta, teollisuudesta, liikenteestä, teollisuuden prosessipäästöistä, maataloudesta ja jätteiden käsittelystä. Suomen dityppioksidipäästöt olivat 215 000 tonnia vuonna 2003³⁰.

Happamoitavia yhdisteitä ovat typen oksidit (NO_x) ja rikkidioksidi (SO₂) sekä ammoniakki (NH₃), joka on potentiaalisesti happamoittava yhdiste. Happamoittavia päästöjä aiheutuu pääasiassa energiantuotannosta (SO₂, NO_x) (energiantuotanto sisältää työkoneiden päästöt), liikenteestä (NO_x) ja ammoniakkipäästöjen osalta maataloudesta. Vuonna 2003 NO_x-päästöjä syntyi Suomessa 219 000 tonnia, SO₂-päästöjä 99 000 tonnia ja ammoniakkia 33 000 tonnia³¹.

³⁰ Tilastokeskus 2005. Kasvihuonekaasuinventaario. <http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/index.html>

³¹ Suomen ympäristökeskus 2005. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=137788&lan=FI#a3>

LIITTEET

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (NMVOC) ja häkää (CO) syntyy eniten liikenteestä ja energiantuotannosta. NMVOC päästöt olivat 145 000 tonnia ja häkä päästöt 564 000 tonnia vuonna 2003. Hiukkasia ja polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH) syntyy eniten energiantuotannosta. Raskasmetalleja joutuu ilmakehään ihmisen toiminnan seurauksena pääasiallisesti kolmesta lähteestä: fossiilisten polttoaineiden poltosta, muiden kuin rautametallien tuotannosta sekä jätteiden poltosta (Suomen ympäristökeskus). Näiden ilman epäpuhauksien päästöt löytyvät taulukosta 19.

Taulukko 19. Koko Suomen päästöt vuonna 2003.

Päästö	yksikkö	2003
CO ₂	milj. t	73,2
N ₂ O	1 000 t	21,5
CH ₄	1 000 t	236,4
NMVOC	1 000 t	145
NO _x	1 000 t	219
SO ₂	1 000 t	99
NH ₃	1 000 t	33
CO	1 000 t	564
PM _{2,5}	1 000 t	38,3
PM ₁₀	1 000 t	54,9
PM _{tot}	1 000 t	81,7
As	t	3,2
Cd	t	1,2
Cr	t	27,4
Cu	t	21,5
Pb	t	33,5
V	t	68,4
PAH	t	16,7

5.2 Kokonaisenergian kulutus

Vuonna 2003 Suomessa käytettiin energiaa yhteensä noin 1 487 000 TJ (Taulukko 20). Tästä uusiutumattomien (öljy, hiili, maakaasu, ydinenergia, turve) energialähteiden osuus oli vajaa 76 % (1 124 500 TJ). Uusiutuvia energialähteitä (vesivoima, puupolttoaineet) käytettiin 323 052 TJ, joka vastaa noin 22 % kokonaisenergian käytöstä. Loput reilut kaksi prosenttia muodostuvat muiden energialähteiden käytöstä sekä sähkön nettotuonnista³².

5.3 Maa- ja kallioainesten kokonaiskäyttö

Maa-ainesten otto- ja käyttömäärät on raportoitu vuosittaisessa Maa-ainesten ottomäärät ja ottamislupatilanne -julkaisussa³³. Tarkkoja käyttömääriä ei tilastoida mutta arvion mukaan kiviainesten kokonaiskäyttö Suomessa vuonna 2003 on ollut 92 miljoonaa tonnia (taulukko 20). Käyttömäärien tilastoinnin puutteen vuoksi vuosittain raportoitavien maa- ja kallioainesten ottomäärien voidaan olettaa indikoivan käyttömääriä karkealla tasolla.

³² Tilastokeskus 2005. Energiankulutus. <http://tilastokeskus.fi/til/ekul/index.html>

³³ Rintala, J. 2005. Maa-ainesten ottomäärät ja ottamislupatilanne 2003. Suomen ympäristö 760, luonto ja luonnonvarat, 64 s. Saatavana vain internetistä www.ymparisto.fi/julkaisut.

Vuonna 2003 ottoalueilta otettiin maa-aineksia yhteensä yli 80 miljoonaa tonnia. Soraa ja hiekkaa otettiin ottamisalueilta eniten, yhteensä 26 miljoonaa k-m³ eli 52 miljoonaa tonnia. Kalliomursketta otettiin 8,3 miljoonaa k-m³ eli 23 miljoonaa tonnia ja louhetta 4,7 miljoonaa tonnia. Rakennus- ja muuta tarvekiveä otettiin 2,9 miljoonaa tonnia ja moreenia 1,4 miljoonaa tonnia.

5.4 Jätteet

Vuonna 2003 jätteitä syntyi yhteensä 18 764 000 tonnia (ei sisällä ongelmajätettä). Suurin osa, noin 80 %, oli teollisuusjätettä ja noin 13 % yhdyskuntajätettä. Teollisuuden jätteistä hyödynnettiin raaka-aineena 19 % ja energiana noin 28 %. Kokonaisjättemäärästä kaatopaikoille toimitettiin noin puolet (9 545 000 t) ja hyödynnettäväksi meni 45,5 % (8 546 000 t). Loput jätteestä (noin 3,5 %) käsiteltiin muilla menetelmillä³⁴.

Taulukko 20. Energian ja maa-ainesten käyttö sekä jätteiden määrä Suomessa vuonna 2003.

Energia, luonnonvarat, jätteet	yksikkö	2003
Energian kulutus, uusiutumattomat	TJ	1 124 500
Energian kulutus, uusiutuvat	TJ	323 052
Maa- ja kallioainesten kokonaiskäyttö	milj. t	92
Soran ja hiekan otto	milj. t	52
Kalliomurskeen otto	milj. t	23
Louheen otto	milj. t	4,7
Rakennus- ja tarvekiven otto	milj. t	2,9
Moreenin otto	milj. t	1,4
Jätteet kaatopaikalle	1 000 t	9 545

5.5 Vertailu

Vertailutaulukossa 21 esitetään tien-, kadun- ja ratarakentamisen aiheuttama ympäristökuormitus sekä Suomen tasolla aiheutuva ympäristökuormitus.

³⁴ Tilastokeskus 2005c. Jätetilasto. <http://www.tilastokeskus.fi/til/jate/index.html>

Taulukko 21. Tien-, kadun- ja ratarakentamisen aiheuttama ympäristökuormitus sekä Suomen tasolla aiheutuva ympäristökuormitus.

Kuormitus-tekijä	Yks.	Tien-rakentaminen	Kadun-rakentaminen	Rata-rakentaminen	Teiden, katujen ja ratojen rakentaminen yhteensä	Suomi
Uusiutumaton energia	TJ	6 300	4 100	978	11 400	1 130 000
Uusiutumaton raaka-aine	milj. tonnia	40	6,7	5,1	52 *	92 *
CO ₂	milj. tonnia	0,49	0,32	0,096	0,81	73
SO ₂	tonnia	300	200	91	590	99 000
NO _x	tonnia	710	290	277	1 300	219 000
CH ₄	tonnia	33	7,0	86	126	236 000
NMVOC	tonnia	31	15	9,9	56	145 000
PM10	tonnia	53	19	3 520	3 600	55 000

* Luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia, koska väylärakentamisen luvussa mukana ovat myös muut raaka-aineet kuin kallio- ja maa-aineet (kuten esimerkiksi fossiiliset raaka-aineet, joita tarvitaan polttoaineiden ja bitumin valmistukseen), kun taas Suomen luvussa ovat mukana vain kallio- ja maa-aineet.

Arvion mukaan teiden, katujen ja ratojen rakentaminen aiheuttaa vuodessa noin 11 000 terajoulen uusiutumattoman energian kulutuksen ja noin 0,8 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt. Arvion mukaan tien-, kadun- ja ratarakentaminen aiheuttaa suuruusluokaltaan noin 1 %:n osuuden (0,6 - 1,1 %:n osuuden) Suomen uusiutumattoman energian kulutuksesta ja hiilen, rikin ja typen oksidien päästöistä. Osuus on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi teollisuuden kokonaisosuus, mutta on samaa suuruusluokkaa kuin joidenkin yksittäisten teollisuusalojen osuus. Esimerkiksi korkeiden polttolämpötilojen vuoksi energiaa paljon kuluttavan sementtituotannon aiheuttama

- uusiutumattoman energian kulutus on noin 6 000 TJ ja
- hiilidioksidipäästö on noin 1 miljoonaa tonnia

vuodessa suomalaisten sementtien koko tuotantoelinkaari huomioon ottaen³⁵.

Väyliä rakentamisen aiheuttama ympäristökuormitus aiheutuu suurelta osin asfaltin valmistuksesta muiden parametrien paitsi uusiutumattomien luonnon raaka-aineiden suhteen. Tien-, kadun- ja ratarakentamisen aiheuttama uusiutumattomien raaka-aineiden kulutus on hyvin merkittävä koko Suomen tasoon verrattuna. Väylärakentamisen arvioissa luvussa on mukana kaikki

³⁵ Laskettu olettaen, että sementtien vuosituotanto on 1 300 000 tonnia, uusiutumattoman energian kulutus 4,5 MJ/kg ja hiilidioksidipäästö 900 g/kg sementtiä. Luvut perustuvat suomalaisten sementtien ympäristösertifikaattiin.

luonnon raaka-aineiden esimerkiksi fossiiliset raaka-aineet mukaan lukien. Täten tulos ei ole täysin vertailukelpoinen Suomen tasolla esitettyyn lukuun, koska siinä on mukana vain maa- ja kallioainekset. Väylärakentaminen aiheuttaa noin puolet maa- ja kallioainesten kulutuksesta Suomesta.

LIITE 4: LYHYT KUVAUS AHP ARVOTTAMISTAVASTA

Workshopissa käytettiin kahta erilaista arvottamismenetelmää: Smart- ja AHP- menetelmiä. Smart-menetelmä on kuvattu workshopin tehtävänantolomakkeessa (Liite B). Analytic hierarchy process (AHP) Workshopissa käytettyä Web-HIPRE -ohjelmaa ja siinä olevaa AHP-menetelmän sovellusta on kuvattu tarkemmin Helsingin Teknillisen Korkeakoulun Systeemi Analytiikan Laboratorion Internet-sivuilla: <http://www.sal.hut.fi/Research/index2.html>.

AHP-menetelmässä voidaan verrata useita eri vaikutusluokkia toisiinsa siten, että vertailu tapahtuu pareittain. Kuvassa D.1. on esitetty esimerkki 'fysikaalis-mekaaniset vaikutukset' - luokan vertailusta AHP-menetelmällä. Kuvan yläosassa on esitetty parittain vertailtavat luokat Melu / Tärinä. Vertailun aluksi määritetään kumpi luokka on tärkeämpi (esimerkissä melu). Seuraavaksi määritetään, kuinka paljon tärkeämpi toinen luokka on verrattuna toiseen (esimerkissä melu on 7 kertaa tärkeämpi kuin tärinä). Web-HIPRE:ssä vertailuskaala on 1...9. Numero 1 tarkoittaa yhtä tärkeää ja 9 tarkoittaa hyvin paljon tärkeämpää luokkaa. Vertailtavat luokat käydään läpi suhteessa toisiinsa ja tulosten perusteella laaditaan vertailumatriisi (kuva D.1. keskiosa vasemmalla). Vertailumatriisista laskemalla voidaan määrittää eri vaikutusluokkien suhteet toisiinsa (kuva D.1. keskiosa oikealla). Esimerkin mukaan vaikutusluokista tärkein on melu (painoarvo 0,75), toiseksi tärkein on tärinä (painoarvo 0,206) ja vähiten tärkeä on valo (painoarvo 0,044).

The screenshot shows the 'Priorities - Fysikaalis-kemialliset vaikutukset' window. At the top, there are tabs for 'Direct', 'SMART', 'SWING', 'SMARTER', 'AHP', 'Valuefn', and 'Group'. The 'AHP' tab is selected. Below the tabs, there is a section titled 'How many times more important?' with a radio button for 'More Important' and a value of 7.0. Below this, there are dropdown menus for 'Melu' and 'Tärinä'. A 'Next Comparison' button is visible, along with a dropdown menu showing '7 very strongly preferred' and a 'Clear All' button. Below this, there is a table with columns 'A', 'B', and 'C' and rows 'A Melu', 'B Tärinä', and 'C Valo'. The table shows the following values:

	A	B	C
A Melu	1.0	7.0	8.9
B Tärinä	0.14	1.0	9.0
C Valo	0.11	0.11	1.0

To the right of the table, there is a '1 - 9 scale' dropdown menu and a 'CM: 0.268' label. Below this, there is a bar chart showing the weights for 'Melu' (0.750), 'Tärinä' (0.206), and 'Valo' (0.044). At the bottom, there is a checkbox for 'Convert weights to 0-1 value scale' which is unchecked. There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom. A warning message 'Warning: Applet Window' is visible at the bottom left.

Kuva 1. Esimerkki AHP-menetelmän parittaisesta vertailusta ja koko vertailun tuloksista.

ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-713-2
TIEH 3200998-v