

**Tielaitos**

# **Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen**

**Yhteenveto**

**Tielaitoksen  
selvityksiä**

**9/1997**

Helsinki 1997

**Tiehallinto**  
Tie- ja liikenne-  
tekniikka

Tielaitoksen selvityksiä  
9/1997

## **Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen**

**Yhteenveto**

**Tielaitos**  
Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka

Helsinki 1997

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-322-8  
TIEL 3200457  
Oy Edita Ab  
Helsinki 1997

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallintopalvelut,  
painotuotemyynti  
Telefaksi 0204 44 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde 0204 44 150

**Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen - Yhteenveto.** Helsinki 1997, Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka. Tielaitoksen selvityksiä 9/1997, 36 s. + liitt. 10 s. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-322-8, TIEL 3200457

**Aiheluokka:** 05

**Asiasanat:** tieliikenne, ympäristövaikutukset, ympäristökustannukset, päästöt, melu

## **Tiivistelmä**

"Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen - Yhteenveto" -julkaisussa tarkastellaan niitä perusteita ja menettelytapoja, joilla voidaan arvioida tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen, tieliikenteen nostattaman pölyn ja melun aiheuttamien ympäristövaikutusten taloudellinen arvo.

Työryhmä on Energia-Ekono Oy:n tekemiin selvityksiin nojautuen arvioinut tieliikenteen päästöjen kustannukset vuonna 1990. Uudet arviot korvaavat työryhmän vuonna 1992 tekemiä arvioita. Uudet arviot perustuvat koko polttoaineketjun aikaisiin polttoaineperäisiin päästöihin. On tehty selvä ero taajamiin ja maaseutuun kohdistuvien haittojen välillä. Arviot perustuvat annos-vaikutus - funktioihin sekä terveysvaikutusten (sairastumis- ja kuolleisuusriski) osalta maksuhalukkuusarvioihin ja markkinoitavien hyödykkeiden (metsien raakapuu ja viljelykasvit) osalta markkinahintoihin. Kasvihuonekaasupäästöt on arvoitettu lähtien tarvittavista taloudellisista ohjauseinoista päästöjen kasvun pysäyttämiseksi. Melun aiheuttamat taloudelliset menetykset arvioitiin hedonisen hinnoittelun avulla tarkastelemalla melun vaikutuksia asuntojen markkinahintaan.

Suomen tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen, tieliikenteen nostattaman pölyn ja melun aiheuttamien ympäristövaikutusten arvo arvioitiin vuonna 1990 8,8 miljardiksi markaksi, josta kasvihuonekaasupäästöjen osuus oli 2,1 miljardia markkaa, muiden polttoaineperäisten päästöjen ja resuspension osuus 3,2 miljardia markkaa ja melun 3,5 miljardia markkaa.

Päästöjen aiheuttamien vaikutusten arvon perusteella määritettiin eri päästökomponenttien yksikköhaitta-arvot. Näiden tietojen avulla arvioitiin eri liikennevälineitten ympäristövaikutusten arvo ajosuoritetta kohti. Ilman katalyysaattoria varustettujen autojen polttoaineperäisten päästöjen haitat maantieajossa ovat keskimäärin 5,1 p/ajo-km ja taajama-ajossa 7,3 p/ajo-km. Katalyysaattorilla varustetun auton päästöt ovat pienempiä ja haitat 20 - 30 % edellisiä lukuja alhaisemmat. Nykyisten raskaiden ajoneuvojen aiheuttamat haitat ovat maantieajossa keskimäärin 27 p/ajo-km ja taajama-ajossa 83 p/ajo-km. Uusinta vuosimallia olevien raskaiden ajoneuvojen haitat ovat 20 - 30 % alhaisemmat. Tämän lisäksi tieliikenteen nostattaman pölyn haitat taajamissa ovat kevyelle ja raskaalle liikenteelle keskimäärin 4,9 p/ajo-km.

Kaikkia mahdollisia vaikutuksia ei ole pystytty arvioimaan. Arvioihin ei sisälly luontovaikutuksia taajamissa (puistot jne.) eikä terveysvaikutuksia maaseudulla. Kulttuurihistoriallisiin rakennuksiin ja rakennelmiin kohdistuvien haittojen arvoa ei ole arvioitu. Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja virkistyskäyttämömahdollisuuksiin eivät myöskään sisälly arvioihin. Tieliikenteen päästöjen vesistövaikutuksia ei ole arvioitu, joskin ne lienevät pieniä. Samoin tieliikenteestä peräisin olevat yläilmakehän otsonikerrosta vahingoittavat päästöt ovat pieniä.

Saadut tulokset ovat pitkälti laskentaesimerkkien tuloksia. Vaikka niihin liittyy suurta epävarmuutta, voidaan niistä päätellä haittojen suuruusluokka ja myös se, mitkä vaikutukset ja komponentit ovat merkittävimpiä. Arvottamiseen liittyy useita epävarmuustekijöitä. Tärkeimmät tekijät tässä julkaisussa esitettyjen arvioiden kannalta ovat aiempien tutkimusten tulosten yleistettävyyden ja siirrettävyyden erilaisista olosuhteista, haitta-arvioiden yhteenlaskettavuus, annos-vaikutus - funktioihin liittyvät epävarmuustekijät ja diskontaamiseen liittyvät näkökohdat.



## Esipuhe

Tielaitoksessa laadittiin vuonna 1992 ensimmäinen selvitys tieliikenteen pakokaasu- ja meluhaitoista sekä niiden kustannuksista. Selvityksen pohjalta otettiin pakokaasu- ja meluvaikutusten kustannukset mukaan tiehankkeiden yhteiskuntataloudellisiin laskelmiin.

Vuoden 1992 selvitystä laadittaessa oli eräiltä osin käytettävissä vain vähän tai ei lainkaan tutkimustuloksia haittojen vaikutuksista ja niiden kustannuksista. Sittemmin aihepiirin tutkimusten määrä ja tietämys on lisääntynyt merkittävästi niin kotimaassa kuin ulkomaillakin. Käsillä oleva yhteenvetoraportti sisältää viimeisimmän tiedon pohjalta tehdyt arviot pakokaasu- ja meluhaittojen vaikutuksista ja kustannuksista Suomessa.

Nyt valmistuneen selvityksen pohjalta tullaan tarkistamaan melu- ja pakokaasuhaittojen hinnoitteluperiaatteet ja yksikköhinnat tiehankkeiden yhteiskuntataloudellisia laskelmia varten. Paitsi hyöty-kustannuslaskelmiin tuo valmistunut selvitys lisätietoa keskusteluun eri liikennemuotojen ulkoisista kustannuksista. Koska näiden asioiden tärkeys näyttää erityisesti EU:ssa edelleenkin lisääntyvän, on selvitys syytä uusua muutaman vuoden kuluttua.

Selvitystä on ohjannut työryhmä, johon ovat kuuluneet Benny Hasenson Teollisuuden ja Työnantajain Keskusliitosta, Antero Honkasalo Ympäristöministeriöstä, Reino Lampinen Liikenneministeriöstä, Juha Pyötsiä Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriöstä sekä Tielaitoksesta Pauli Velhonoja ja Mervi Karhula. Työryhmän sihteerinä ja selvityksen laatijana on ollut Energia-Ekono Oy, josta työhön ovat osallistuneet Tomas Otterström ja Sari Sarin.

Tielaitoksen tie- ja liikennetekniikka-yksikkö kiittää kaikkia työhön osallistuneita aktiivisesta ja asiantuntevasta panoksesta.

Yhteenvetoraportti on saatavana myös englanninkielisenä versiona (Valuation of Impacts of Road Traffic Emissions - Summary). Laajempi ja yksityiskohtaisempi pääraportti on julkaistu Tielaitoksen selvityksiä -sarjassa numerolla 8/1997.

Helsingissä helmikuussa 1997

Tielaitos  
Tie- ja liikennetekniikka

---

 Sisältö
 

---

TIIVISTELMÄ	3
ESIPUHE	5
SISÄLLYSLUETTELO	6
1 JOHDANTO	9
1.1 Taustaa	9
1.2 Käytetyt arvottamismenetelmät	9
2 PÄÄSTÖMÄÄRÄT	12
3 MOBILE-SELVITYKSEN TULOSTEN TARKENTAMINEN	12
3.1 Tieliikenteen päästöjen kokonaishaitta Suomessa	12
3.2 Suomen tieliikenteen aiheuttamat vaikutukset ulkomailla	13
3.3 Liikennevälineitten aiheuttamat yksikköhaitat	13
3.4 Ennuste vuodelle 2000	14
4 TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI	14
4.1 Yleiset epävarmuustekijät	14
4.2 Vaikutuskohtainen luotettavuuden arviointi	15
4.2.1 Terveysvaikutukset	15
4.2.2 Materiaalivauriot	21
4.2.3 Metsävauriot	21
4.2.4 Viljelykasvivauriot	22
4.2.5 Kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamat ilmastonmuutokset	23
4.2.6 Päästöjen vaikutus ulkomailla	24
4.3. Yhteenveto ja erot vuonna 1992 tehtyihin arvioihin	25
5 MELU	27
5.1 Melun hedoninen hinnoittelu	27
5.2 Viimeaikaisia melun arvottamistutkimuksia	27
5.2.1 Saksalainen melututkimus	27
5.2.2 Ruotsalainen melututkimus	28
5.2.3 Komission Vihreä Kirja	29
5.2.4 Suomalainen melututkimus	29
5.3 Arvio tieliikennemelun kustannuksista Suomessa ja erot vuonna 1992 tehtyihin arvioihin	29
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
7 LÄHDEKIRJALLISUUS	36

---

**TAULUKKOLIITE**

Suomen päästöt ilmaan vuonna 1990	L1
Suomen päästöt ilmaan vuonna 2000	L2
Arviot tieliikenteen kokonaishaitasta	L3
Arviot liikennevälineitten yksikköhaitoista	L4
Typen oksidien annos-vaikutus -funktioita	L5
Hiukkasten aiheuttama kuolleisuusriski	L6
Hiukkasten aiheuttama terveysriski	L7
Hiilivety-yhdisteiden aiheuttama syöpäriski	L8
Yhteenveto tuloksista	L9
Melun aiheuttama asuntojen arvonalenema	L10

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Taustaa

Tämä raportti on lyhennelmä Energia-Ekono Oy:n Tielaitokselle laatimasta selvityksestä "Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen", joka perustuu aikaisempaan Energia-Ekonon MOBILE-ohjelmaan tekemään selvitykseen "Tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen vaikutusten arvottaminen" (Otterström et al. 1994) sekä sen jälkeen laskettuihin tarkennettuihin ja täydennettyihin tuloksiin. Tässä selvityksessä tarkastellaan mm. polttoaineperäisiin päästöihin keskittyvässä MOBILE-selvityksessä käsittelemätöntä aihetta eli tieliikenteen aiheuttamaa melua.

### 1.2 Käytetyt arvottamismenetelmät

Useat tieliikenteeseen liittyvät kustannukset, kuten teiden rakentaminen tai liikennevalvonnan järjestäminen, on suhteellisen helppo ilmaista rahassa. Tieliikenteeseen liittyy kuitenkin myös kustannuksia, joita markkinatalous ottaa huomioon vain osittain tai ei lainkaan; esimerkiksi liikenteen aiheuttama melu tai ympäristön pilaantuminen. MOBILE-tutkimusohjelmalle tehdyn tutkimuksen tavoitteena oli ilmaista myös polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristövaikutukset rahassa.

Arvottamistehtävä aloitetaan tieliikenteen ja sen aiheuttamien ympäristövaikutusten yhteyksistä. On useampia vaiheita, joissa tieliikenne muodostaa päästöjä, jotka puolestaan vaikuttavat ympäristöön riippuen siitä, miten ne leviävät. Tieliikenteen päästöjen ja ympäristömuutoksen välinen yhteys voidaan joissakin tapauksissa ilmaista annos-vaikutus -funktion avulla. Tämä voi olla joko yksinkertainen (esimerkiksi menetetyt työpäivät rikkidioksidipitoisuuden funktiona) tai erittäin monimutkainen, monista muuttujista riippuva.

Seuraava askel on vaikutusten arvottaminen. Tällöin pyritään löytämään joku seuraavista:

- a) Yhteiskunnan maksuhalukkuus (Willingness to Pay, WTP) haitan vähentämiseksi
- b) Yhteiskunnan WTP hyödyn varmistamiseksi
- c) Yhteiskunnan halukkuus hyväksyä korvauksen haitasta (Willingness to Accept, WTA)
- d) Yhteiskunnan WTA hyödyn menettämisestä

Yhteiskunnan maksuhalukkuuden (tai kompensatiohalukkuuden) selvittämiseksi on useita menetelmiä. Seuraavassa on tarkasteltu niistä tässä selvityksessä käytettyjä.

**Markkinapohjaisessa lähestymistavassa** (Conventional Market Approaches) käytetään markkinahintoja vaikutuksenalaisille hyödykkeille. Mikäli markkinahinnat eivät sellaisinaan sovellu, voidaan käyttää niistä tai muulla tavoin johdettuja varjohintoja. Kun ympäristöhaitta tai -hyöty heijastuu markkinoitavien tuotannon-tekijöiden tai tuotteiden määrä- tai hintamuutoksina, muutoksen arvo voidaan mitata kuluttajan ja tuottajan ylijäämien avulla. Mikäli muutokset ovat pieniä, rahallinen arvo voidaan mitata markkina-arvoihin perustuen.



Lähestymistavassa voidaan erottaa kaksi menetelmää:

- (1) Annos-vaikutus -menetelmässä tietty saastumistaso liittyy tiettyyn tuotantoon, joka voidaan arvottaa markkina- tai varjohinnoilla. Esimerkiksi metsävaurioita on arvioitu käyttäen raakapuun hintaa (markkinahintaa). Samoin viljelykasvien sadonmenetyksiä sekä osittain myös päästöjen aiheuttamia terveysvaikutuksia on arvioitu markkinahinnoilla.
- (2) Korvauskustannuksiin perustuvassa menetelmässä tutkitaan vahingoittuneen omaisuuden korvaamisen tai korjauksen markkinahintaa. Näin on arvioitu materiaalivaurioita.

Myös **hedonisen hinnoittelun menetelmä** (Hedonic Price Method, HPM) käyttää lähtökohtana todellisia markkinahintoja. Tässä oletetaan, että päästöjen aiheuttamat haitat (esim. melu) sisältyvät johonkin todellisilla markkinoilla olevan tuotteen hintaan (esim. kiinteistöjen arvo). Tällä perusteella tehtyjä tutkimuksia onkin käytetty melun ympäristökustannuksia käsittelevässä kappaleessa. Toinen mahdollinen esimerkki olisi palkkoihin sisältyvä riskihyvitys työympäristöriskien aiheuttamista kuolleisuus- ja sairastavuusmuutoksista.

**Kokeellisissa menetelmissä** pyritään selvittämään ihmisten maksuhalukkuutta erilaisten kysymysten avulla. Eri kyselytyyppejä voidaan eritellä:

- (1) Subjekttiivisten arvostusten menetelmä (Contingent Valuation Method, CVM) perustuu kysymystyyppeihin "Mitä olette valmis maksamaan X:stä tai Y:n välttämiseksi", eli selvitetään maksuhalukkuutta ja "Mitä haluatte korvaukseksi Z:n menettämisestä tai A:n toleroimiseksi", jolloin selvitetään kompensatiohalukkuutta.
- (2) Järjestyksen esiin saamisessa (Contingent Ranking Method, CRM) tyydytään selvittämään preferenssien järjestys, mikä voidaan myöhemmin yhdistää johonkin hintaan tai markkinoilla seurattavaan tapahtumaan.

Tässä selvityksessä on käytetty olemassa olevia (pääosin amerikkalaisia) maksuhalukkuustutkimuksia lähinnä terveysvaikutusten arvottamisessa sekä tilastollisen ihmiselämän arvoa määriteltäessä. Fyysiset vaikutukset on kuitenkin ensin arvioitu annos-vaikutus -funktioiden avulla.

Maksuhalukkuustutkimuksiin liittyy eräitä ongelmia. Mm. Pearce et al. (1992) esittävät, että WTP:n ja WTA:n tulisi taloustieteen mukaan olla hyvin lähellä toisiaan. Käytännössä on kuitenkin todettu WTA:n olevan joskus jopa useita kertoja vastaavaa WTP:ta suurempi. Eräs mahdollisuus on, että kyselytutkimuksissa tehdyt virheet saattavat vääristää tulosta. Kysymysten muotoilu vaikuttaa eroihin. On todettu, että tuntemattomien, markkinoilla esiintymättömien, hyödykkeiden arvottamisessa tulokset poikkeavat toisistaan eniten. Toisaalta on mahdollista, että WTP ja WTA todella poikkeavat toistaan. Yksilöt saattavat kaihtaa menetyksiä ja antaa korkeamman arvon tietyn hyödykkeen vähenemiselle kuin sen lisääntymiselle - arvofunktio taittuisi vallitsevan tulotason kohdalla.



Maksuhalukkuustutkimuksiin liittyy myös joitain metodologisia vaikeuksia. Esimerkiksi rakennettaessa uusi tie paikalliselle väestölle syntyy sekä hyötyjä että haittoja. Useita vaikutuksia koetaan samanaikaisesti. Vaikka olisikin periaatteessa mahdollista selvittää henkilökohtaisia maksuhalukkuuksia tämän vaikutuskokonaisuuden välttämiseksi, on käytännössä usein oletettava, että WTP tietyn vaikutuksen välttämiseksi on riippumaton kaikista muista vaikutuksista. Kirjallisuus sisältää viitteitä siitä, että WTP-arvojen yhteenlaskeminen eri vaikutuksille yliarvioi todellista kokonaishaittaa.

Seuraavassa on esitetty vaiheittain käytetty arvottamismenetelmä:

1. Jaetaan Suomi maaseutualueeseen ja kaupunkialueeseen. Maaseudulla tarkastellaan metsä- ja viljelykasvivaurioita, taajamissa terveyshaittoja ja materiaalivaurioita. Globaalisista vaikutuksista on tarkasteltu kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamia ilmastonmuutoksia.
2. Tutkitaan tieliikenteen päästöjä sekä keskeisten päästökomenttien pitoisuuksia ja laskeumia. Pyritään siis selvittämään, kuinka suuren pitoisuuden tieliikenne aiheuttaa kutakin päästökomenttia taajamissa ja vastaavasti kuinka suuria laskeumia tieliikenne aiheuttaa maaseudulla.
3. Selvitetään, mitä haittoja päästöt aiheuttavat. Pyritään löytämään ns. annos-vaikutus -funktioita, jotka ilmaisevat aiheutuneen haitan pitoisuuksien (tai laskeuman) avulla (esimerkiksi kuinka monta tilastollista kuolemantapausta aiheutuu sataatuhatta henkilöä kohti, kun ilman hiukkaspitoisuus kasvaa yhden mikrogramman kuutiometrissä).
4. Pyritään ilmaisemaan haitat rahassa. Arvottaminen voi perustua joko suoraan markkinahintoihin (esim. metsän kasvun pieneminen arvotetaan puun hinnan perusteella) tai ihmisten muulla tavoin ilmaisemaan maksuhalukkuuteen (esimerkiksi kyselytutkimuksen avulla, jossa kysytään: "Kuinka paljon olisitte valmis maksamaan hengitystieinfektoriskin pienenemisestä x %, mikä merkitsisi keskimäärin y flunssaa vähemmän vuodessa?"). Ilmastonmuutokset on arvotettu soveltaen kahta eri lähestymistapaa; on arvioitu haitan suuruus ja taloudelliset ohjauskeinot päästöjen kasvun pysäyttämiseksi.
5. Saatujen yhteishaittojen perusteella lasketaan haitta-arvot bensiinilitraa ja ajokilometriä kohti. Koska taajamissa laskettiin haittoja ihmisille ja materiaaleille ja maaseudulla taas tarkasteltiin luonto-vaikutuksia, poikkeavat saadut yksikköhaitta-arvot toisistaan.
6. Meluhaitat on arvioitu hedonisen hinnoittelun avulla, siten että asuntojen arvonalenemaa on tarkasteltu melutason funktiona.

## 2 PÄÄSTÖMÄÄRÄT

MOBILE-selvityksen lähtökohtana ovat arviot Suomen päästöistä ilmaan vuonna 1990. Lisäksi on käytetty päästö määräennusteita vuodelle 2000. Olettamalla, että tietty osuus ilmansaasteista on peräisin pakokaasuista sekä tieliikenteen käyttämistä polttoaineista kokonaisuudessaan, saadaan arvio tieliikenteen aiheuttamille pitoisuuksille. Tässä selvityksessä näihin lukuihin ei ole katsottu tarpeelliseksi tehdä muutoksia. Sen sijaan on lisätty arvio tieliikenteen nostattaman pölyn (resuspensio) vaikutuksesta ilmanlaatuun.

Päästöistä on otettu huomioon rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>), typpidioksidi (NO<sub>2</sub>), hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), lyijy (Pb) sekä hiukkaset (PM<sub>10</sub> ja resuspensio). Hiilivetyihin kuuluu useita yhdisteitä, joista merkittävin ryhmä on haihtuvat hiilivety-yhdisteet (VOC). PM<sub>10</sub>-hiukkasilla tarkoitetaan pieniä, alle kymmenen mikrometrin kokoisia hengitettäviä hiukkasia.

Päästö määrät sekä päästö määräennusteet on esitetty tarkasti liitteen taulukoissa L1 ja L2. Kokonaispäästöjen lisäksi on eritelty henkilö-, paketti-, linja- ja kuorma-autoista peräisin olevat, samoin kuin bensiini- ja dieselkäyttöisistä ajoneuvoista tulleet päästöt.

## 3 MOBILE-SELVITYKSEN TULOSTEN TARKENTAMINEN

### 3.1 Tieliikenteen päästöjen kokonaishaitta Suomessa

MOBILE-projektin tulosten tarkennusten jälkeen saatiin taulukossa 1 (tarkemmin liitteen taulukossa L3) esitetyt tulokset tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamille haitoille Suomessa sekä kasvihuoneilmiön osalta myös ulkomailla. Niiden rinnalla on esitetty Tielaitoksessa käytössä olevat haitta-arviot (vuodelle 1989) (Tielaitos 1992 a)). Luvut ovat pitkälti laskentaesimerkkien tuloksia. Niistä voidaan arvioida haittojen suuruusluokka sekä niiden summittainen tärkeysjärjestys.

**Taulukko 1.** Yhteenveto tieliikenteen päästöjen ja resuspension haitoista (milj. mk/a, tämän selvityksen tulosten osalta myös osuus bruttokansantuotteesta (%) vuonna 1990) Suomessa ja ilmastomuutoksen osalta globaalisesti (tarkemmin liitteen taulukossa L3).

Vaikutus	Tielaitos 1992	Tämä selvitys	
	Milj. mk/a	Milj. mk/a	BKT-os., %
Terveysvaikutukset	560	2063	0,40
Materiaalihaitat	450	326	0,06
Metsävauriot	220	46	0,01
Sadonmenetykset	220	63	0,01
Haitat ulkomailla	Ei arvioitu	872	0,17
Ilmastonmuutos	1500	2103	0,41
<b>Yhteensä</b>	<b>2950</b>	<b>5446</b>	<b>1,06</b>



Kaikkia mahdollisia vaikutuksia ei ole pystytty arvioimaan. Luontovaikutukset taajamissa (puistot jne.) sekä terveysvaikutukset maaseudulla ovat jääneet huomiotta. Kulttuurihistoriallisiin rakennuksiin ja rakennelmiin kohdistuvien haittojen arvoa ei ole arvioitu. Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja virkistyskäyttömahdollisuuksiin eivät myöskään sisälly arvioihin. Tieliikenteen päästöjen vesistövaikutuksia ei ole arvioitu, joskin ne lienevät pieniä. Samoin tieliikenteestä peräisin olevat yläilmakehän otsonikerrosta vahingoittavat päästöt ovat pieniä. Terveysvaikutuksista tärkeimmiksi osoittautuivat hiukkasten aiheuttama sairastavuusriski ja hiilivety-yhdisteiden aiheuttama syöpäriski. Materiaali-haitoista selvitettiin rakennusmateriaalien kuluminen sekä likaantuminen. Metsävaurioitten aiheuttajista huomioitiin happamoittavat rikki- ja typpioksidit sekä otsoni. Viljelykasvien sadonmenetyksiä arvioitiin otsonipitoisuuksien avulla. Ilmastonmuutokseen vaikuttaa lähinnä hiilidioksidi, mutta myös typpioksiduuli ja metaani.

### 3.2 Suomen tieliikenteen aiheuttamat vaikutukset ulkomailla

Suurin osa Suomen rikkidioksidi- ja typen oksidien päästöistä kulkeutuvat ulkomaille. Myös tieliikenteen pakokaasupäästöt leviävät Suomen rajojen ulkopuolelle. Lisäksi syntyy epäsuoria päästöjä ulkomaille, kun öljyä tuotetaan ja kuljetetaan ulkomailla, sekä silloin, kun bensiiniä jalostetaan. Näitten selvittämistä varten laskettiin Suomen haitta-arvojen perusteella päästökomponeenttien yksikköhaitat (mk/kg), jota sitten sovellettiin ulkomailla syntyneisiin tai sinne kulkeutuneisiin päästöihin.

Yksikköarvojen suora soveltaminen saattaa yliarvioida haittaa ulkomailla, koska Suomessa pääosa päästöistä kohdistuu suureen ihmismäärään ja terveysvaikutukset korostuvat. Polttoaineketjujen alkupään päästöt taas kohdistuvat todennäköisesti pieneen joukkoon, ensisijaisesti öljykentillä sekä kuljetusjärjestelmän parissa työskenteleviin ihmisiin. Lisäksi osa kaukokulkeutuvista päästöistä saattavat laskeutua mereen. Tämän vuoksi rikkidioksidin, typen oksidien, hiilivetyjen ja hiukkasten haittaa ulkomailla arvioitaessa sovellettiin puolet Suomen tulosten perusteella lasketusta yksikköhaitasta.

Tulokseksi saatiin Suomen tieliikenteessä käytetyn polttoaineen ulkomailla aiheuttamaksi haitaksi noin 870 milj. mk/a. Tärkein yksittäinen päästökomponeentti on typen oksidit, joiden aiheuttamaksi haitaksi saatiin noin 714 milj. mk/a.

### 3.3 Liikennevälineitten aiheuttamat yksikköhaitat

MOBILE-selvityksessä arvioitiin ensin kaikkien tieliikenteen päästöjen aiheuttama haitta vuodessa markkoina. Jokaisen tutkitun päästökomponeenttin jokainen tunnettu vaikutus selvitettiin erikseen. Koska näin on tiedossa päästöjen kokonaisuus ja kokonaisuusmäärä, ja myös eri liikennevälineitten yksikkökulutus ja yksikköpäästöt ovat helposti selvitettävissä, voidaan laskea eri liikennevälineitten aiheuttama haitta penneinä kilometriä tai bensiinilitraa kohti.

Tutkimuksessa on oletettu, että taajamassa syntyneet päästöt jäävät kokonaan taajamiin ja aiheuttavat terveys- ja materiaali-vaikutuksia sekä vaikuttavat ilmastonmuutokseen. Vastaavasti maaseudulla syntyneitten päästöjen on oletettu vaikuttavan ilmastonmuutosten lisäksi ainoastaan metsiin ja viljelykasveihin. Näin saadaan eri tulokset yksikköhaitoille taajama- ja maaseutuajossa.

**Taulukko 2.** Eri liikennevälineitten aiheuttama haitta liikennesuoritetta ja kulutettua polttoainemäärää tai ajokilometriä kohti. Tarkemmat tulokset liitteen taulukossa L4.

	Kevyt liikenne, ei katalys.	Kevyt liikenne, katalys.	Raskas liikenne vuosim -90	Raskas liikenne vuosim -95
Taajama-ajo, p/ajo-km	6,47	3,74	80,63	47,70
Maaseutuajo, p/ajo-km	4,48	2,89	24,62	18,59
Taajama-ajo, p/l	60,70	37,38	191,52	113,30
Maaseutuajo, p/l	56,01	36,14	58,48	44,16

Taulukon luvuissa liikenteen nostattaman pölyn haitat eivät näy. Jaettaessa tieliikenteen nostattaman pölyn haitat vuoden 1990 arvioidulla ajosuoritteella kaduilla saadaan keskimääräiseksi haitaksi taajamissa 4,9 p/ajo-km. Oikeudenmukaisempi jako perustuisi ajokilometrien lisäksi painoon ja nopeuteen.

### 3.4 Ennuste vuodelle 2000

Esitetyt laskut perustuivat vuonna 1990 käytössä olleelle autokannalle ja päästötilanteelle. Tehtiin myös arvio vuoden 2000 ennustetulle päästötilanteelle, jolloin Suomen tieliikenteen nostattaman pölyn ja polttoaineperäisten päästöjen aiheuttaman kokonaishaitan suuruusluokaksi saatiin 4,5 mrd mk (vuonna 1990 noin 5,5 mrd mk).

## 4. TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

### 4.1 Yleiset epävarmuustekijät

Arvottamiseen liittyy useita epävarmuustekijöitä, joista seuraavassa on käsitelty muutamia.

**Annos-vaikutus -funktioiden siirrettävyys.** Aiemmin ja muualla kuin Suomessa saadut arviot maksuhalukkuudelle (liittyvät lähinnä terveysvaikutusten arvottamiseen) on muunnettu Suomen markkoiksi (vuoden 1990 arvoon) laskemalla maksuhalukkuusarvio kyseisen maan valuutassa vuonna 1990 kuluttajahintaindeksin avulla jonka jälkeen arvo on muutettu Suomen markkoiksi ostovoimaparieteittiin perustuen.

**Tulosten yhteenlaskettavuus.** Joissain tapauksissa on varottava, ettei huomioida samaa haittaa kahteen kertaan, mikä johtaisi kokonaishaitan huomattavaan yliarviointiin. Esimerkiksi rakennusmateriaalien vaurioitumista on tarkasteltu rikkidioksidipitoisuuden funktiona. Myös muilla päästökomponenteilla saattaa olla osuutensa vaurioissa, mutta vaurioiden tarkasteleminen myös esimerkiksi hiukkaspitoisuuksien funktiona ja tulosten yhteenlaskeminen edellisten kanssa johtaisi yliarviointiin, koska rikkidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet todennäköisesti korreloivat toistensa kanssa.



**Lähtötietoihin liittyvät epävarmuustekijät.** Epävarmuutta liittyy useisiin arvottamisketjun eri vaiheisiin. Arvioituihin päästömääriin liittyy epävarmuutta. Päästöjen ja pitoisuuksien ja laskeumien yhteyksiä ei tiedetä varmuudella. Lisäksi tietyn päästösektorin tai -lähteen osuuden arvioiminen kokonaispitoisuudesta saattaa olla hankalaa. Ihmisiin kohdistuva keskimääräinen annos on niinkään vaikea arvioida. Annos-vaikutus -funktioihin liittyy usein suurtakin epävarmuutta. Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että Suomessa on toistaiseksi tehty vähän tutkimusta tämän selvityksen kannalta keskeisistä terveysvaikutuksista eli taajamien ilmanlaadun ja kuolleisuuden/syöpäsairastavuuden yhteyksistä, ja hengitettävien hiukkasten vaikutuksista ylipäänsä.

**Diskonttaaminen.** Diskonttauksen avulla muunnetaan tulevaisuuden hyötyjä ja haittoja vertailukelpoisiksi nykyisten hyötyjen ja haittojen kanssa. Tässä yhteydessä kyse ei ole rahan arvon muutoksista, vaan siitä, että tämän päivän hyötyjä ja haittoja painotetaan enemmän kuin tulevaisuuden tapahtumia. Ympäristöhaittojen tapauksessa diskonttaus on tärkeä osa arvottamista, koska useat nykyisestä toiminnasta aiheutuvat ympäristöhaitat käyvät ilmi vasta useiden vuosien kuluttua. Mitä korkeampaa korkoa käytetään, sen pienempi arvo näille haitoille annetaan. Tässä selvityksessä on käytetty 3 %:n diskonttokorkoa, mikä voidaan nähdä eräänlaisena kompromissivalintana. Diskonttokorkoa on käytetty arvotettaessa metsävaurioita ja ilmastomuutosten aiheuttamia haittoja.

## 4.2 Vaikutuskohtainen luotettavuuden arviointi sekä herkkyystarastelu

Yleisesti voidaan todeta, että asteikolla "hyvin epävarma" - "epävarma" - "kohtuullinen" - "hyvä" mikään arvioista ei ole "kohtuullista" tasoa parempi luotettavuudessa. Seuraavassa on vaikutuksittain esitetty tärkeimmät virhelähteet, jonka jälkeen eri vaikutusten rahalliselle arvolle on pyritty identifioimaan vaihteluväli herkkyyksanalyysin avulla. Ala- ja ylärajan välillä esitetty "paras arvio" on se arvio, jota käytettiin taulukoita 1 ja 2 laadittaessa.

### 4.2.1 Terveysvaikutukset

#### Tilastollisen elämän arvo

Tilastollisen elämän arvoa voidaan arvioida palkkariskin, maksuhalukkuustutkimusten tai erilaisten markkinahintojen avulla. Eri menetelmillä tehtyjä tutkimuksia on käyty läpi 53 kappaletta ja niiden antamien parhaiten arvioitten vaihteluväli on noin 1,4 - 3,1 miljoonaa puntia (Pearce et al. 1992). Jättämällä pois pari muuta korkeampaa tulosta, saadaan keskiarvoksi Euroopassa noin 17,8 miljoonaa markkaa (2,6 miljoonaa ECU).

Olettamalla, että tämä arvo pätee alle kolmekymmentävuotiaille ihmisille ja että arvo sen jälkeen laskee suoraan verrannollisesti jäljellä olevaan elinikään, saadaan seuraavat tulokset.



**Taulukko 3.** Tilastollisen elämän arvo iän mukaan (oma laskelma), milj. mk

Ikä	< 30 v.	40 v.	50 v.	60 v.	> 65 v.
Tilast. elämän arvo	17,8	14,9	10,4	6,7	4,5

### Typen oksidit

EU:n polttoaineketjujen arvottamisprojektissa ExternE (European Commission 1994) pääteltiin, että havaitut terveysvaikutukset eivät todennäköisesti ole seurausta typenoksideista sinänsä, vaan että NO<sub>x</sub>-pitoisuus toimii indikaattorina muiden epäpuhtauksien, joita ei ole erikseen mitattu, esiintymiselle. Johtopäätöksenä todetaan, että typen oksidien suoria terveysvaikutuksia ei voida sulkea pois, mutta että niiden merkitys todennäköisesti on pieni eikä niitä pysty luotettavasti selvittämään käytettävissä olevien tutkimustulosten avulla.

Leksellin ja Löfgrenin raportissa (1994) on käyty läpi tutkimuksia, joissa on arvioitu yhteyttä NO<sub>x</sub>-pitoisuuden ja ilman epäpuhtauksia häiritsevinä kokevien osuuden välillä. He arvioivat, että ilmansaasteita kokevat häiritsevinä noin 25 % Tukholman väestöstä, 20 % Göteborgin väestöstä ja noin 18 % Malmön väestöstä. Toisaalta he arvioivat, että riski kokea ärsytysoireita on paljon pienempi - Göteborgissa hengitystieoireita saisi noin 0,8 % väestöstä. Tulokset indikoivatkin, että "pehmeät" terveysvaikutukset saattavat muodostaa yli 90 % kaikista terveysvaikutuksista. Tulokset eivät liity ainoastaan typen oksideihin, koska NO<sub>x</sub>-pitoisuus korreloi todennäköisesti muiden ilman epäpuhtauskomponenttien pitoisuuden kanssa.

Ostro (1994) toteaa Maailmanpankille tekemässään raportissa, että epidemiologiset todisteet typpidioksidin vaikutuksista hengitystieoireisiin ovat epävarmemmalla pohjalla kuin muiden yhdisteiden kohdalla. Hän toteaa, että on olemassa ainakin yksi tuore epidemiologinen tutkimus, jossa on löydetty yhteys ulkoilman NO<sub>2</sub>-pitoisuuden ja terveysvaikutusten välillä (Schwartz & Zeger 1990). Tämän soveltaminen johtaa 258100 tieliikennepäästöperäiseen hengitysoireilupäivään vuodessa Suomen taajamissa. Jos oletetaan, että oireilupäivät voidaan arvottaa samoin kuin hiukkasperäiset oireilupäivät (42 mk/päivä), saadaan arvioiduksi haitaksi noin 11 milj. mk/a.

Tämän lisäksi typen oksidit vaikuttavat otsonin ja nitraattien, joiden terveysvaikutuksia osittain on kvantifioitu, muodostukseen. Nitraatti on käsitelty hengittävien hiukkasten yhteydessä. Nitraatin aiheuttamat haitat arvioitiin olevan noin 133 milj. mk/a.

Luotettavaa arviota typen oksidien vaikutuksesta ei vielä kukaan pystytä esittämään. Laskelmissa on käytetty arviota 144 milj. mk/a. Ostron sekä Leksellin ja Löfgrenin esittämiä annos-vaikutus -funktioita on esitetty liitteen taulukossa L5.

### Otsoni

Eurooppalaisessa ExternE-projektissa (European Commission 1994) on käyty läpi kirjallisuudessa esitettyjä otsonin terveysvaikutuksia kuvaavia annos-vaikutus -funktioita. Tutkimuksia on tehty lähinnä alueilla, joilla vallitsevat

korkeat otsonipitoisuudet. Useimmiten tarkastelujaksoksi on valittu kesä. On epäselvää, missä määrin tulokset pätevät muilla kohdealueilla ja muina vuodenaikoina. ExternE-projektissa päädyttiin käsittelemään valittuja annosvaikutus -funktioita yleistettävänä, mutta sovellettiin kuitenkin epävarmuustekijöistä johtuen  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kynnyksarvoa. Toisin sanoen alle  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n pitoisuuksien ei oleteta aiheuttavan mitään terveysvaikutuksia.

Otsonipitoisuuksien vuosikeskiarvot Suomen taajamissa ovat vaihdelleet noin 20 -  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  välillä. Ilmatieteen laitoksen tausta-asemilla otsonin vuosikeskiarvo 1990-luvulla ovat olleet välillä 50 -  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sovellettaessa  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n kynnyksarvoa terveyshaitan ilmenemiselle, haittaa ei juuri voida olettaa syntyvän Suomessa vallitsevilla otsonipitoisuuksilla.

### **Hiilimonoksidi**

Hiilimonoksidin terveysvaikutuksille ei ole löydetty sovellettavaa annosvaikutus -funktiota taajamissa yleisesti vallitseville pitoisuuksille. Asiantuntijoiden keskuudessa näyttää vallitsevan yhteisymmärrys siitä, että taajamien hiilimonoksidin terveysvaikutukset lienevät vähäisiä. Esimerkiksi liikennehuuhkissa CO-pitoisuudet saattavat silti nousta haitalliselle tasolle.

### **Rikkidioksidi**

Rikkidioksidin terveysvaikutuksista (yht. 2 milj. mk/a) selvitettiin annosvaikutus -funktioiden avulla lasten lisääntynyt yskä ja aikuisten lisääntynyt rintakipu. Todettiin myös, että  $\text{SO}_2$  saattaa olla osallisena myös astmakohtausten ja hengitystieinfektioiden esiintyvyyteen.

Tämän lisäksi osa rikkidioksidista muodostaa sulfaattia, mikä näkyy hengitettävien hiukkasten pitoisuudessa. Sulfaatti on käsitelty hengitettävien hiukkasten yhteydessä. Sulfaatin aiheuttamat haitat arvioitiin olevan noin 33 milj. mk/a.

### **Lyijy**

Lyijyn liittyville terveysriskeille saatua lukua (46 milj. mk/a) pidettiin yllättävän suurena. Epävarmuutta liittyy sovellettaviin annosvaikutus -funktioihin ja käytettäviin yksikköarvoihin. Vuoden 1990 jälkeen lyijyn päästö määrät ja pitoisuudet ovat pienentyneet lyijyttömän bensiinin yleistyttyä, joten lyijyn terveysvaikutukset koetaan väistyneiksi ongelmaksi. Tuloksen luotettavuus on luokiteltava "hyvin epävarmaksi" ja vaihteluväli on siksi  $\pm 50 \%$ , eli 23 - 69 milj. mk/a.

### **Hengitettävät hiukkaset, kuolleisuusriski**

Hengitettävien hiukkasten aiheuttamaa haittaa tarkasteltiin  $\text{PM}_{10}$ -hiukkasten, eli alle kymmenen mikrometrin kokoisten hiukkasten, pitoisuuden avulla. Näitten aiheuttamasta kuolleisuusriskistä muodostui rahassa mitattuna yksi merkittävimmistä arvioiduista terveysvaikutuksista. Käytetyn annosvaikutus -funktion lähtökohtana oli keskiarvo useasta tutkimuksesta. Arvioimalla, että kuolleisuus kasvaa 0,5 %  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuuden kasvaessa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hengitettävien hiukkasten aiheuttamaksi kuolleisuusriskiksi arvioitiin 54 tapausta vuodessa ja kokonaishaitaksi 362 milj. mk (suorat päästöt 36 tapausta ja resuspensio 18 tapausta). Hengitettävien hiukkasten ja hiilivetyjen osittainen yhteisvaikutus pyrittiin huomiamaan siten, että 18 hiukkassidonnaisten VOC-yhdisteiden aiheuttamasta 36



tapauksesta vähennettiin  $PM_{10}$ -pitoisuuden aiheuttamien tapausten määrästä. Tulos kokonaisuudessaan luokitellaan "epävarmaksi". Lopputulos riippuu oleellisesti siitä, mitä yksikköarvoa (mk/tapaus) käytetään.

Seuraavassa on arvioitu kuutta (A - F) käytettyä oletusta suorien hiukkaspäästöjen ja hiukkasia muodostavien päästöjen (typenoksidit ja rikkidioksidi, jotka muodostavat nitraattia ja sulfaattia) osalta.

**A. Kuolleisuus kasvaa 0,5 %  $PM_{10}$ -pitoisuuden vuosikeskiarvon muuttuessa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .** Oak Ridge National Laboratory ja Resources for the Future (1994) kävivät läpi kymmenkunta hengitettävien hiukkasten pitoisuuden ja kuolleisuuden yhteyttä käsittelevää tutkimusta. Niiden perusteella heidän raportissaan esitetään, että kuolleisuus kasvaa 0,64 - 1,49 %  $PM_{10}$ -pitoisuuden kasvaessa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Raportissa todetaan, että yhteys näyttää pätevän myös alhaisilla pitoisuuksilla. On kuitenkin mahdollista, että on olemassa kynnyсарvo, joka olisi luokkaa  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mikäli kynnyсарvo ei ole lainkaan arvioitu kuolleisuuden kasvulle, 0,5 %, voidaan pitää varovaisena. Mikäli kynnyсарvo taas on olemassa, arvio saattaa sen sijaan yliarvioida kuolleisuuden lisäystä.  $PM_{10}$ -pitoisuuden kuukausikeskiarvot Helsingin mittausasemilla vaihtelivat välillä 20 -  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vuonna 1990.

**B. Väestöpainotettu  $PM_{10}$ -pitoisuuden vuosikeskiarvo on  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .** Kokonaisleijumaa mitataan useilla mittausasemilla eri kaupungeissa. Joillain asemilla mitataan myös  $PM_{10}$ -pitoisuuksia. Mittaustulosten perusteella voidaan arvioida, että karkeasti puolet kokonaisleijuman massasta koostuu hengitettävistä hiukkasista. Väestöpainotettu pitoisuus jää siis kuitenkin hiukan epävarmaksi. Mikäli laskelmissa hengitettävien hiukkasten aiheuttamista kuolemantapauksista käytettäisiin  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sijasta  $PM_{10}$ -pitoisuuden vuosikeskiarvoa 12 tai  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muuttuisi aiheutunut haitta samassa suhteessa 308 tai 522 miljoonaan markkaan vuodessa.

**C. 20 %, eli  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $PM_{10}$ -kokonaispitoisuudesta on peräisin tieliikenteen polttoaineperäisistä päästöistä.** Tieliikenteen pakokaasupäästöjen hiukkaset ja päästöistä muodostuneet hiukkaset ovat pienempiä ja kemialliselta koostumukseltaan haitallisempia kuin tiepöly tai muu maanpinnasta irtoava aines. Näinollen tieliikenteen suorien päästöjen osuus  $PM_{10}$ -pitoisuudesta on suurempi kuin tieliikenteen osuus hiukkasten kokonaisleijumasta. Mikäli osuus oletettaisiin 15 tai 25 prosentiksi muuttuisi aiheutunut haitta samassa suhteessa 25 % suuremmaksi tai pienemmäksi.

**D. Tarkasteltavalle  $PM_{10}$ -pitoisuudelle altistuu 3,983 miljoonaa ihmistä.** Tämän muuttujan variointi tulee ajankohtaiseksi erityisesti, jos haitan ilmenemiselle asetetaan kynnyсарvo. Tällöin taajama-asukkaat on jaettava kahteen ryhmään: niihin, jotka eivät keskimäärin altistu kynnyсарvon mukaiselle tai sitä suuremmalle pitoisuudelle ja niihin, jotka keskimäärin altistuvat vähintään kynnyspitoisuudelle. Mikäli esimerkiksi oletetaan, että terveydelle haitalliselle hiukkaspitoisuudelle altistuvien määrä onkin vain puolet taajamien väestöstä, eli 1,922 miljoonaa henkilöä, tapausten määrä on 9 ja haitta 60 milj. mk/a.

**E. Suomessa keskimääräinen kuolleisuus on tilastojen mukaan 0,9 % vuodessa.** Tätä ei lienee tarpeellista varioida.

**F. Tilastollisen elämän arvo on noin 2,6 milj. ECUa eli 17,8 milj. mk (1990).** Oletettiin, että arvo riippuu jäljellä olevan elinajan odotusarvosta ja että sairastuminen (ja kuolema) tapahtuu keskimäärin 60 vuoden iässä, jolloin yksikköarvo olisi 6,7 milj. mk. Sovellettaessa arvoa 8,6 milj. mk, joka vastaa kuolemantapausta keskimäärin 55 vuoden iässä, kokonaishaitaksi saadaan 310 milj. mk. Arvolla 4,5 milj. mk (kuolemantapaukset keskim. 65 vuoden iässä) haitta vastaa vasti 162 milj. mk.

### Resuspensio

Merkittävä osuus kokonaisleijumasta muodostuu liikenteen ja tuulen nostattamasta tiepölystä (resuspensio). Hiekoituksesta, renkaista, tienpinnasta, tekstiileistä jne. peräisin olevat hiukkaset muodostavat taustapitoisuuden kanssa arviolta vähintään 80 % kokonaisleijumasta eli kaikista ilmassa olevista hiukkasista.

Autojen pakokaasuissa hiukkaskoko on luokkaa 1  $\mu\text{m}$ , kun taas katupöly koostuu lähinnä karkeammista, yli 10  $\mu\text{m}$  hiukkasista. Vaikka kokonaisleijumasta suuri osa on peräisin resuspensiosta, on pienempi osa  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuuksista peräisin maasta nousseista hiukkasista. On esitetty arvioita, jonka mukaan polttoprosesseista peräisin olevat komponentit olisivat kaikkein haitallisin osa. Tässä on arvioitu, että  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuudessa näkyvä resuspensio on puolet niin haitallista  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  kohti kuin suorien päästöjen aiheuttama pitoisuus.

Oletetaan, että tieliikenne aiheuttaa 40 % resuspensiosta, ja että resuspensio on puolet niin haitallista  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  kohti kuin suorien päästöjen aiheuttama pitoisuus. Näin saadaan resuspension aiheuttamaksi kuolleisuusriskiksi noin 121 milj. mk.

Yhteenveto hiukkasten aiheuttamasta kuolleisuusriskin kasvusta on liitteen taulukossa L6. Siinä hiukkasten aiheuttamien kuolleisuusriskin haitaksi on arvioitu 95 - 687 milj. mk/a ja parhaana käytettävissä olevilla tiedoilla saaduksi arvioksi 362 milj. mk/a.

### **Hengitettävät hiukkaset, muut terveysvaikutukset**

Hengitettävien hiukkasten aiheuttamaksi terveysvaikutukseksi saatiin 1137 milj. mk/a (resuspensio mukaanlukien). Tulos perustui amerikkalaisiin ja ExternE-projektin annos-vaikutus -funktioihin sekä sairaanhoitokustannus- ja maksuhallukkuusselvityksiin. Molempiin liittyy epävarmuutta, joten tulos luokitellaan "hyvin epävarmaksi". Luvut kuvastanevat osittain hengitettävien hiukkasten ja muiden komponenttien yhteisvaikutusta, vaikka hengitettäviä hiukkasia pidetäänkin tärkeimpänä terveysriskin aiheuttajana.

Arvottamisen epävarmuuteen vaikuttavat osin samat tekijät kuin hengitettävien hiukkasten aiheuttamien kuolemantapausten kohdalla:  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuuden vuosikeskiarvo, altistuvien ihmisten määrä sekä tieliikenteen osuus hengitettävien hiukkasten pitoisuudesta. Mahdollinen virhelähde on myös käytetyt sairauksien yksikköarvot. Nämä ovat peräisin amerikkalaisista selvityksistä ja on mahdollista että ne yli- tai aliarvioivat yksikköhintoja Suomen olosuhteissa.

Liikenteen ja tuulen nostattamalle tiepölylle (resuspensio) voidaan käyttää samanlaista arviota kuin edellä hiukkasten aiheuttamaa kuolleisuutta käsittele-



vässä kappaleessa. Kun oletetaan, että tieliikenne aiheuttaa 40 % resuspensiosta, ja että resuspensio on puolet niin haitallista  $\mu\text{m}^3$  kohti kuin suorien päästöjen aiheuttama pitoisuus, saadaan resuspension terveysvaikutusten haitaksi noin 379 milj. mk.

Liitteen taulukossa L7 on esitetty yhteenveto hiukkasten aiheuttamasta terveysriskistä. Vaihteluväliksi on saatu 338 - 1422 milj. mk ja parhaaksi arvioksi 1137 milj. mk.

### Hiilivedyt

Hiilivetyjen aiheuttama syöpäriski oli rahassa mitattuna toiseksi tärkein terveysvaikutus. Haitaksi saatiin 478 milj. mk/a. Epävarmuustekijöitä ovat väestöpainotteiset pitoisuudet sekä tieliikenteen osuus eri yhdisteiden päästöistä. Hiilivetyyhdisteiden ja hiukkasten yhteisvaikutus pyrittiin huomioimaan. Tulos on luokiteltava "hyvin epävarmaksi".

Hiilivetyjen aiheuttamaa syöpäriskiä arvioitiin pääosin ruotsalaisten Törnqvistin & Ehrenbergin (1993) tekemien arviointien perusteella. Seuraavassa on tarkasteltu eräitä epävarmuustekijöitä.

**A. Suomen tieliikenteen päästöjen ravintoketjun kautta tuleva syöpäriski on 108 tapausta vuodessa.** Törnqvistin arvioiden mukaan ravintoketjujen kautta tulevat PAH-yhdisteet aiheuttavat 300 syöpätapausta vuodessa. Kun tämä suhteutetaan Suomen asukaslukuun ja oletetaan, että 60 % päästöistä on peräisin tieliikenteestä, päädytään 108 syöpätapaukseen. Tällöin ei ole otettu huomioon, että osa päästöistä tulee ulkomailta. Työterveyslaitoksen ja Kansanterveyslaitoksen tutkijoiden käsityksen mukaan ihmisen saamasta PAH-annoksesta ehdoton valtaosa on peräisin ruoanlaiton yhteydessä muodostuvasta PAH:sta sekä tupakasta. Ilmansaasteiden osuus ravintoketjun kautta tulevasta PAH:sta olisi siten marginaalinen. Kun oletetaan, että Suomen tieliikenteestä peräisin olevien PAH-päästöjen ravintoketjun kautta tuleva syöpäriski on 0, 11, tai 32 tapausta, tieliikenteen VOC-päästöt aiheuttaisivat yhteensä 62, 73 tai 94 tapausta ja vastaava haitta olisi 415,4 milj. mk, 489,1 milj. mk tai 629,8 milj. mk.

**B. Tilastollisen elämän arvo on 2,6 milj. ECUa eli 17,8 milj. markkaa.** Syöpätapausten oletettiin johtavan kuolemaan noin 60 vuoden iässä, jolloin yhden syöpätapauksen haitaksi saadaan 6,7 milj. mk.

**C. Käytetty tutkimus.** Tuoreessa sveitsiläisessä tutkimuksessa (BUWAL 1994) on arvioitu riskiä saada keuhkokasvain. Käytettäessä tämän tutkimuksen arvoja päästäisiin Suomessa 220 tieliikenteen päästöjen aiheuttamaan kuolemantapaukseen vuodessa, mikä vastaa haittaa 1470 milj. mk.

Yhteenveto hiilivetyjen aiheuttamasta syöpäriskistä on esitetty liitteen taulukossa L8. Haitan vaihteluväliksi on saatu 279 - 630 milj. mk/a ja parhaaksi arvioksi 478 milj. mk/a.



## 4.2.2 Materiaalivauriot

### Rikkidioksidi ja typen oksidit, korroosio

Rakennusmateriaalien vaurioitumista rikkidioksidipitoisuuden funktiona arvioitiin Tukholman alueella tehtyjen tutkimusten perusteella (Kucera et al. 1993). Materiaalien yleisyyksien suhde asukaslukuun oletettiin olevan Suomen kaupungeissa sama kuin Tukholmassa. Samoin Suomen materiaalien huoltovälit ja korjauskustannukset oletettiin samaksi kuin Tukholmassa. Virhemahdollisuuksia siis on, mutta vähemmän kuin monissa muissa haitta-arvoissa. Tulokseksi saatiin haitta 18 milj. mk/a, vaihteluvälin ollessa 13 - 22 milj. mk/a.

### Hiukkaset, likaantuminen

Kokonaisleijuma  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  oletettiin aiheuttavan 200 markan puhdistustoimenpiteet vuodessa henkilöä kohti. Tieliikenteen osuudeksi arvioitiin 10 %, mikä johti haittaan 62 milj. mk/a.

Resuspension aiheuttama likaantuminen on useita kertoja merkittävämpi kuin suorien polttoaineperäisten päästöjen aiheuttama haitta. Ottamalla huomioon tieliikenteen nostattama pöly sekä puhdistuskustannuksiin sisältyvä epävarmuus vaihteluväli on 206 - 370 milj. mk/a parhaan arvion ollessa noin 308 milj. mk/a.

## 4.2.3 Metsävauriot

### Hapan laskeuma

Laskelmissa käytettiin omaa arvioita metsän kasvun pienenemisestä rikin ja typen kriittisten kuormien ylittyessä. Metsien kasvun oletettiin hidastuvan 0,1 % edellisen vuoden kasvusta vuosina 1990 - 2090 päästöjen pysyessä vuoden 1990 tasolla. Diskonttokorkona käytettiin 3 %. Vaikutus arvoitettiin raakapuun kantohintoihin perustuen. Luonnon monimuotoisuus ja virkistyskäyttö jäivät arvottamatta. Kaiken kaikkiaan esitettyä arviota on pidettävä hyvin epävarmana.

Päädyttiin kokonaishaittaan 255 milj. mk/a, joista tieliikenteen päästöjen osuus 14 milj. mk/a. Mikäli tulevia haittoja ei arveteta pienemmällä painolla kuin nykyisiä, vaan asetetaan diskonttokoroksi nolla, saadaan haitaksi 442 milj. mk/a ja tieliikenteen osuudeksi 24 milj. mk/a.

Myös IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) on arvioinut happamoitumisen aiheuttamia metsävaurioita, ja päätenyt huomattavasti edellä esitettyjä suurempiin arvoihin. Alkuperäisessä tutkimuksessa (Nilsson 1991) saatiin 0 %:n diskonttokorolla happaman laskeuman aiheuttamiksi metsävaurioiksi yli 2,5 mrd. mk/a. Mikäli IIASA-selvityksen käyttämä arvio kasvun pienenemisestä (%/a) yhdistettäisiin MOBILE-selvityksessä käytettyyn 3 %:n diskonttokorkoon, saataisiin tieliikenteen osuudeksi metsävaurioista n. 140 milj. mk/a.

Parhaaksi arvioksi otettiin 14 milj. mk/a vaihteluvälin ollessa 7 - 47 milj. mk/a.

### Otsoni

Otsonin metsänkasvua vähentävää vaikutusta pidetään erittäin todennäköisenä, vaikka tutkimukset aiheesta ovat kesken.

YK:n Euroopan talouskomission (UN ECE) alaisuudessa on meneillään kriittisten tasojen kartoitus otsonin ja muiden ilmansaasteiden kasvillisuushaittojen arvoimiseksi (UN ECE 1993). On sovittu, että otsonipitoisuudet esitetään altistusindeksin AOT40 avulla. Tämä on määritelty 40 ppb:n kynnyspitoisuuden ylittävien pitoisuuksien ja tämän kynnyksarvon erotuksen integraalina ajan suhteen (yksikkönä ppbh), ts. AOT40 karttuu aina, kun pitoisuus ylittää 40 ppb:n rajan.

Ilmatieteen laitos tekee parhaillaan Ympäristöministeriön rahoittamana projektia "Otsonivuot metsäekosysteemeissä - yhteys kriittisiin pitoisuuksiin ja annoksiin". Projektin vuosiraportissa (Ilmatieteen laitos 1994) on laskettu altistumistasoja sekä havupuille että lehtipuille eri ajanjaksoina. Tässä käytetään lasketuista altistumistasoista seuraavia:

- Havupuille käytetään keskiarvoa vuosilta 1989 - 1993 niitten altistumisesta otsonille termisen kasvukauden aikana päivänvalossa. Altistumisindeksi lasketaan erikseen Etelä-Suomessa Utön, Vironlahden, Ähtärin ja Tvärminnen mittausasemien perusteella sekä Pohjois-Suomessa Oulangan, Pallaksen ja Raja-Joosepin asemien tietojen perusteella. Etelä-Suomen altistumisindeksiksi saadaan 5450 ppbh ja Pohjois-Suomen 1815 ppbh.
- Lehtipuille käytetään vuosien 1990 - 1993 keskiarvoa niiden altistumiselle otsonille termisen kasvukauden aikana jaksoilla, joilla koivu on ollut lehdessä. Arvot perustuvat Oulangan mittausaseman tietoihin. Altistumisindeksiksi saadaan näin 1900 ppbh.

ECE:n tutkimuksessa on tehty alustava arvio kasvutappiolle:

*10000 ppbh:n pitoisuus aiheuttaa 10 %:n kasvutappion herkille puula-jeille.*

Arvio perustuu yksivuotisiin kokeisiin ja on hyvin epävarma. Käytetäänkin varovaisempaa oletusta:

- *annos-funktio on lineaarinen*
- *0 ppbh ei aiheuta kasvutappiota*
- *10000 ppbh aiheuttaa 5 %:n kasvutappion.*

Näillä oletuksilla kokonaistappioksi saadaan 215 milj. mk/a, josta tieliikenteen päästöjen osuus on 32 milj. mk/a. Vaihteluväliksi määriteltiin 19 - 86 milj. mk/a.

Ongelmana on, että funktiossa ei oteta huomioon useampivuotisia vaikutuksia. Ilmatieteen laitoksen raportissa tätä luonnehditaan vakavaksi puutteeksi, koska suomalaisessa ilmastossa ja otsonipitoisuuksissa haitat ovat todennäköisesti seurausta useampivuotisista vaikutuksista. Ei liene kuitenkaan perusteltua olettaa, että otsoni aiheuttaisi yhtä pitkävaikutteisia haittoja kuin hapan las-keuma.

#### 4.2.4 Viljelykasvivauriot

Sadonmenetykset otsonipitoisuuden funktiona vaihtelee lajeittain. Arvio (63 milj. mk/a) sisältää tärkeimmät peltoviljelykasvit; syysvehnä, kevätvehnä, ruis, ohra,



kaura, kuivaheinä, säilörehu ja peruna. Huomiotta jätettyjä lajeja ovat mm. sokerijuurikas, öljykasvit, vihannekset, hedelmät ja marjat. Käytetyt annosvaikutus -funktiot ovat pääosin amerikkalaisia ja ruotsalaisia. Arvioihin liittyi pienempää epävarmuutta kuin useimpiin muihin laskettuihin arvoihin.

Vuosihaitan vaihteluväliksi arvioitiin 44 - 84 milj. mk.

#### **4.2.5 Kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamat ilmastonmuutokset**

Kasvihuonekaasupäästöjen arvottamisessa voidaan soveltaa kahta eri lähestymistapaa. Hinnointelu voidaan perustaa arvioihin haitan suuruudesta (haittakustannukset) tai ohjauskeinoihin yhteiskunnan asettamien tavoitteiden saavuttamiseksi.

##### **Haittakustannukset**

Haittakustannuksia voidaan laskea kahdesta eri lähtökohdasta. (1) Marginaaliset haittakustannukset lasketaan jo todetuille päästöille. Pyritään siis laskemaan todellisia haittoja joita hiilidioksidipäästöjen lisääminen tai vähentäminen nykytilanteessa aiheuttaa. (2) Optimointimalleissa lasketaan marginaalisia kustannuksia siinä pisteessä, missä marginaalinen haitta ja marginaalinen päästöjen vähentämiskustannus ovat yhtä suuria. Optimointimalleilla siis pyritään selvittämään paras mahdollinen hiilivero kansainvälisellä tasolla. Toisaalta tämä optimaalinen haitta-arvio pätee vain silloin, jos haitat todella kehittyvät oletusten mukaisesti.

MOBILE-selvityksessä käytettiin Fankhauserin (1994) marginaalisiin haittakustannuksiin perustuvaa arviota hiilidioksidipäästöjen kustannuksille 5,5 dollaria hiilitonnilta (noin 7,7 mk/hiilidioksiditonni). Arvio perustuu malliin, joka huomioi mm. maatalouteen, metsiin, merenpinnan nousuun, vesienhuoltoon, luonnon monimuotoisuuteen, terveyteen kohdistuvat haitat. Nämä arvotettiin pääosin haittojen torjumis- ja korjauskustannusten avulla. Eri tutkimusten tulokset käytettäessä 3 % diskonttokorkoa vaihtelevat välillä 5,3 - 11 dollaria hiilitonnilta. 2000-luvun ensimmäisillä vuosikymmenillä haitan on arvioitu olevan jonkin verran suurempi: 8,1 - 65,9 dollaria hiilitonnilta.

Haitta-arvioita on kritisoitu siitä, että ne ovat suhteellisen pieniä verrattuna niihin katastrofien mahdollisuuksiin, joita on esitetty muussa kirjallisuudessa. Yksi syy tähän saattaa olla, että kaikkein pessimistisimmät skenaariot eivät huomioi sopeutumistoimenpiteiden mahdollisuutta. Toinen mahdollinen syy liittyy epävarmuuteen. Edellä esitetyt luvut ovat "parhaita arvauksia", eli ne kuvaavat nykytietämyksen valossa todennäköisintä haittaskenaariota. Ilmiön monimutkaisuudesta johtuen ei voida sulkea pois mahdollisuutta, että seuraukset olisivat vakavamat.

##### **Muut kasvihuonekaasut**

Hiilidioksidin lisäksi kasvihuoneilmiöön vaikuttavat myös metaani (CH<sub>4</sub>) sekä typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O). Tieliikenteen päästöt vuonna 1990 olivat Hiilidioksiditoimikunta II:n (Komiteanmietintö 1994:2) tausta-aineiston mukaan 7600 tonnia metaania ja 4900 tonnia typpioksiduulia. Mikäli myös näihin sovelletaan Fankhauserin laskelmia, saadaan näiden päästöjen kokonaishaitaksi 7,5 milj. mk/a.

### Taloudelliset ohjaukeinoet

Toinen lähestymistapa on hiilidioksidipäästöjen arvottaminen taloudellisten ohjaukeinojen avulla. Voidaan esimerkiksi tutkia, minkälaisella hiilidioksidiverolla hiilidioksidipäästöt saataisiin sille tasolle, johon Suomi on kansainvälisissä sopimuksissa sitoutunut. Lähtökohtana olisi tällöin päästöjen kasvun pysäyttäminen vuoteen 2000 mennessä.

Kesäkussa 1991 valmistuneessa hiilidioksiditoimikunta I:n mietinnössä (Komiteamietintö 1991:21) todetaan, että 150 markan vero hiilidioksiditonnilta saattaisi riittää pysäyttämään hiilidioksidipäästöjen kasvu. Tämä edellyttäisi, että kaikissa teollisuusmaissa noudatettaisiin yhdenmukaista politiikkaa. Näillä arvoilla laskien tieliikenteen hiilidioksidipäästöjen kustannuksiksi saataisiin noin 1892 milj. mk/a.

Mikäli edellä esitettyä lukua (150 markkaa hiilidioksiditonnilta) halutaan soveltaa tieliikenteen metaani- ja typpioksiduulipäästöihin täytyy ko. päästöt ensin muuttaa vertailukelpoiksi hiilidioksidipäästöjen kanssa. Kun CH<sub>4</sub>-päästöjä pidetään 11 ja N<sub>2</sub>O-päästöjä 270 kertaa niin vaarallisina kuin hiilidioksidipäästöjä, saadaan näiden kasvihuonekaasujen kustannuksiksi 13 milj. mk/a (CH<sub>4</sub>) ja 198 milj. mk/a (N<sub>2</sub>O).

Kustannuksia voidaan myös arvioida polttoaineen kysynnän hintajouston avulla. Malka (Malka 1991) on arvioinut, että pitkällä aikavälillä bensiinin kysynnän hintajousto on -0,7 ja dieselöljyn -0,074. Toisin sanoen bensiinin 10 % hinnanousu vähentäisi pitkällä tähtäimellä bensiinikulutusta 7 %. Mikäli tavoitteena pidetään päästöjen kasvun pysäyttämistä vuoden 1990 tasolle vuoteen 2000 mennessä, tulisi bensiinin suhteellista hintaa Malkan tutkimuksen lukujen perusteella nostaa noin 30 % (noin 1,5 mk/l) ja dieselöljyn noin 60 % (noin 2,1 mk/l) (vuoden 1995 hintataso).

Taloudellisten ohjaukeinojen vaatimat kustannukset olivat useita kertoja suurempia kuin marginaalisiin- tai optimikustannuksiin perustuvat arvot. Yksiselitteistä arvoa kasvihuonepäästöille ei olekaan mahdollista esittää. Taloudellisten vaikutusten vaihteluväliksi voidaan kuitenkin esittää 99 - 2103 milj. mk/a.

Kyseessä on erittäin monimutkainen ja monimuotoinen vaikutuskokonaisuus, josta ei ollut vielä riittävästi tietoa kohtuullisten haitta-arvioiden tekemiseksi. Tästä syystä arvottamisessa on perusteltua käyttää lähtökohtana taloudellisia ohjaukeinoja yhteiskunnan asettamien tavoitteiden saavuttamiseksi, jolloin saadaan eräänlainen arvio yhteiskunnan maksuhalukkuudesta haittojen välttämiseksi. Laskelmissa käytetään siten arviota 2103 milj. mk/a.

#### 4.2.6 Päästöjen vaikutukset ulkomailla

Suomen tieliikenteen polttoaineketjusta peräisin olevien päästöjen ulkomailla aiheuttama haitta laskettiin käyttäen lähtökohtana päästökomponeenttien keskimääräisiä yksikköhaitta-arvioita Suomessa.

On ilmeistä, että Suomesta ulkomaille siirtyvien päästöjen aiheuttamat vaikutukset painottuvat jonkin verran eri tavoin kuin vastaavan päästömäärän aiheuttamat vaikutukset Suomessa. Osa Suomen rajojen ulkopuolelle siirtävistä päästöistä joutuu mereen ja osa muuntuu uusiksi yhdisteiksi. Voitaneen olettaa, että



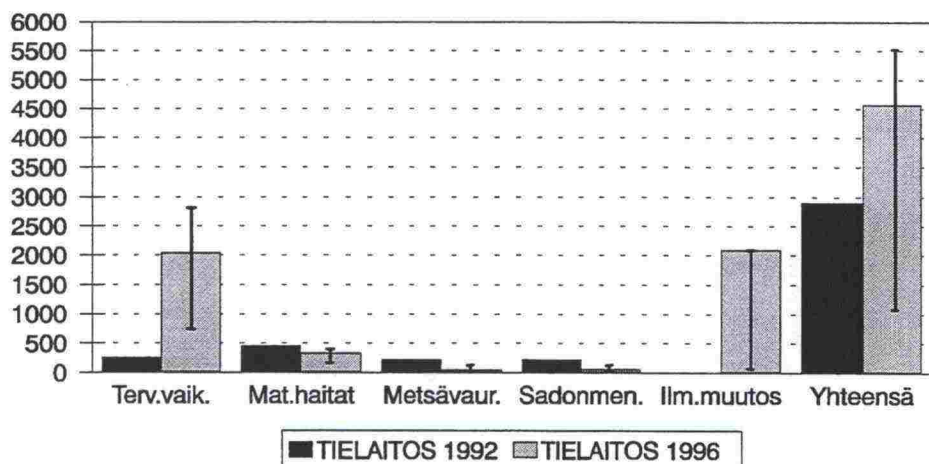
varsin pienin osa vaikuttaisi ulkomailla taajamapitoisuuksiin ja että sen sijaan luontovaikutukset korostuvat. Näinollen päästöjen Suomessa lasketun yksikköhaitta-arvon puolittaminen arvioitaessa ulkomailla syntyvien ja sinne siirtyvien tieliikenneperäisten päästöjen aiheuttama haitta lienee perusteltua. Mikäli näin ei tehtäisi, tulisi ulkomailla syntyneen haitan suuruudeksi noin 1713 milj. mk/a.

Kun sovelletaan eri vaikutusten haittojen vaihteluvälin ala- ja ylärajaa (puolittaen Suomessa vaikuttavien päästöjen yksikköhaitta) saadaan Suomen tieliikenteen ulkomailla aiheuttamaksi haitaksi 241 - 912 milj. mk/a parhaan arvion ollessa noin 872 milj. mk/a.

### 4.3 Yhteenveto ja erot vuonna 1992 tehtyihin arvioihin

Seuraavissa kahdessa diagrammeissa on esitetty yhteenveto tässä selvityksessä arvioiduista ympäristökustannuksista. "Parhaiten arvioitten" lisäksi on esitetty vaihteluväli. Tulokset ovat kokonaisuudessaan liitteen taulukossa L9. On huomattava, että jotkut potentiaalisesti merkittävät arvot eivät sisälly arvioihin. Tällaisia ovat vesistövaikutukset, rakennuksiin ja rakennelmiin liittyvät kulttuurihistorialliset arvot sekä metsiin liittyvät luonnon monimuotoisuuden, maisema- ja virkistyskäyttöarvot.

Kuva 1. Edellisen selvityksen (Tielaitos 1992 b)) ja tämän selvityksen tulokset vaikutuksittain. Pystysuorat janat osoittavat vaihteluvälin.



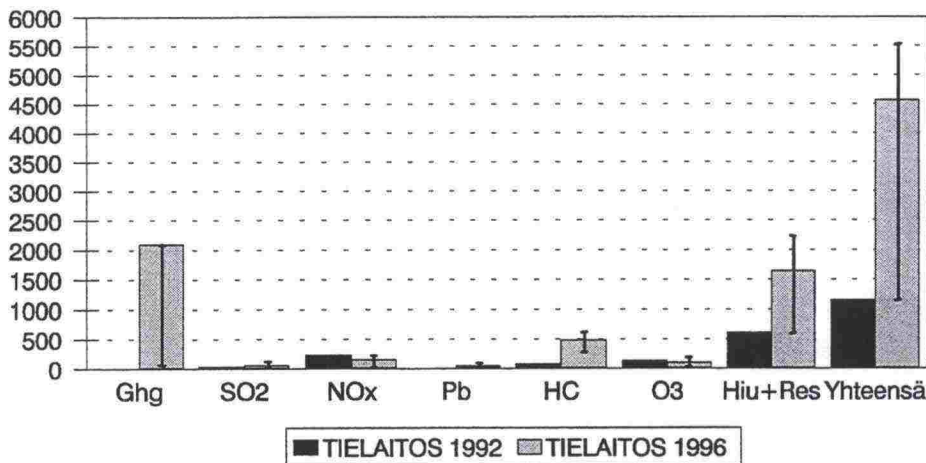
Edellä esitettyjen, vuonna 1992 tehtyjen (Tielaitos 1992 b)), arvioiden lisäksi Tielaitoksen asettama työryhmä arvioi pakokaasujen aiheuttaman viihtyvyyshaitan olevan noin 300 miljoonaa markkaa vuodessa ja ilmastonmuutos arvotettiin taloudellisten ohjauskeinojen perusteella 1500 miljoonaksi markaksi vuodessa (Tielaitos 1992 a)). Viihtyvyyshaitta jaettiin tasan typenoksidien, hiilivetyjen ja hiukkasten kesken (kuvassa 2 esitettyjen arvojen lisäksi).

Uudet arviot poikkeavat aiemmista arvioista etenkin terveysvaikutusten osalta, joiden kohdalla uudet arviot ovat huomattavasti suuremmat sekä luontovaikutusten osalta, joiden kohdalla uudet arviot ovat pienemmät kuin edelliset arviot. Ilmastonmuutoksen suhteen esitetyt arviot perustuvat taloudellisten ohjauskeinojen soveltamiseen, mutta uudemmassa arviossa ovat mukana metaani- ja



typpioksiduulipäästöt hiilidioksidipäästöjen lisäksi. Edelleen päästöarviot kattavat koko polttoaineketjun eikä vain pakokaasupäästöt kuten edellinen työryhmän arvio.

**Kuva 2.** Edellisen selvityksen (Tielaitos 1992 b)) ja tämän selvityksen tulokset päästökomponenttien mukaan jaoteltuina (kasvihuonekaasut, rikkidioksidi, typen oksidit, lyijy, hiilivedyt, otsoni ja hiukkaset resuspensio mukaanlukien).



Päästökomponenteista hiukkaset ja päästöistä muodostuneet hiukkaset dominoivat ja uusi arvio on huomattavasti edellistä korkeampi. Myös hiilivedyille esitetty uusi arvio on korkeampi kuin edellinen. Muille komponenteille erot ovat pienemmät.

Merkittävimmät metodologiset muutokset uusien ja vanhojen arvojen välillä ovat:

- Uudet arviot perustuvat koko polttoaineketjun aikaisiin päästöihin, eikä pelkästään pakokaasupäästöihin ja resuspensioon
- On tehty selvä ero taajamiin ja maaseutuun kohdistuvien haittojen välillä, ja tulokset näille alueille (mk/ajo-km) poikkeavat huomattavasti toisistaan
- On käytetty tuoreimpia tietoja ilmansaasteiden terveysvaikutuksista, jotka ovat intensiivisen tutkimuksen kohteena. Tämän seurauksena uudet arviot ovat edellisiä korkeampia terveysvaikutusten osalta.
- Uudet arvot perustuvat annos-vaikutus -funktioihin sekä terveysvaikutusten (sairastumis- ja kuolleisuusriski) osalta maksuhalukkuusarvioihin ja markkinoitavien hyödykkeiden (metsien raakapuu ja viljelykasvit) osalta markkinahintoihin. Kasvihuonekaasupäästöt on arvoitettu lähtien tarvittavista taloudellisista ohjauskeinoista päästöjen kasvun pysäyttämiseksi.

Ympäristövaikutusten arvottamistutkimuksen ripeästä kehitymisestä huolimatta menetelmät ja niiden soveltamisalueet ovat edelleen kehitysvaiheessa. Epävarmuutta liittyy erityisesti joihinkin terveysvaikutuksiin, metsävaurioihin ja ilmastomuutoksen taloudellisiin seuraamuksiin. Siksi tuloksia ja arvottamismenetelmiä on tarkistettava uusien tutkimustulosten valossa.

## 5 MELU

### 5.1 Melun hedoninen hinnoittelu

Joissakin tapauksissa haittoja voidaan arvottaa markkinahintoihin perustuen - esimerkiksi puun kasvatappiot voidaan arvottaa puun hinnan perusteella. Hedonisessa hinnoittelussa ympäristöhyödykkeitä arvotetaan siten, että oletetaan ympäristötekijöiden heijastuvan markkinahintoihin. Esimerkiksi kiinteistöjen hintoja ja niiden sijaintia tutkimalla voidaan arvioida, kuinka suuren kiinteistön hinnanmuutoksen melutason muuttuminen aiheuttaa.

Kiinteistöjen arvoon perustuvia melun arvottamistutkimuksia on tehty paljon eri maissa. Tulokset ovat hyvin yhteneviä, mistä voisi päätellä, että tulosten käyttö muuallakin kuin tutkimusten kohdealueilla voisi olla mahdollista. Selvitysten perusteella yhden desibelin muutos liikennemelutasossa aiheuttaa kiinteistöjen arvon alentumisen 0,5 - 1 prosentilla.

### 5.2 Viimeaikaisia melun arvottamistutkimuksia

#### 5.2.1 Saksalainen melututkimus

Saksan ympäristöministeriön tutkimusohjelmassa "Ympäristöpäästöjen kustannukset/Ympäristönsuojelun hyödyt", valmistui 1991 tutkimus "Melun kustannukset Saksassa" (Weinberger et al. 1991).

#### Ammattiperäiset kuulovauriot

Saksassa altistuu 3 - 4 miljoonaa työntekijää yli 85 dB(A):n melutasolle kahdeksan tunnin työpäivän aikana. He ovat riskivyohtykeessä kuulon heikkenemiselle.

Tilastojen mukaan 1987 ilmeni 1023 uutta vakavampaa ammattin liittyvää kuulovammatapausta, joksi luokitellaan kuulon heikkeneminen vähintään 40 prosentilla. Tälläisen kuulovamman arvioidaan pienentävän työkykyä vähintään 20 %. Tutkimuksessa on saatu työkyvyn pienentymisen, vuosittaisen palkan ja jäljellä olevan eliniän perusteella vakavan kuulovamman kustannukseksi 123000 Saksan markkaa ja kaikkien tapauksen kokonaiskustannuksiksi 126 milj. DEM/a.

Lisäksi Saksassa ilmeni vuonna 1987 2042 vähemmän vakavaa kuulovammatapausta (kuulon heikentyminen vähemmän kuin 40 %). Tämän aiheuttamaksi keskimääräiseksi työkyvyn heikkenemiseksi on arvioitu 16 %. Kokonaiskustannuksiksi saadaan kuten vakavammille tapauksille 136 milj. DEM/a.

Yhteenlasketut kustannukset olisivat näin 262 milj. DEM/a, mitä raportin tekijät pitävät haittakustannusten alarajana.

#### Työtehon heikentyminen

Useiden tutkimusten tulokset viittaavat siihen, että työteho laskee 0,5 - 1,5 % desibeliä kohti. Yhteiskunnalliset kustannukset ovat varovaisestikin arvioiden miljardiluokkaa. Mikäli melu johtuu työpaikkojen omasta melusta, ei työtehon heikentyminen ole ulkoinen kustannus vaan liiketaloudellinen ongelma. Tällöin hän nimittäin työllistävä yritys sekä aiheuttaa haitan että kärsii siitä.



## Sydän- ja verisuonisairaudet

Tutkijat arvioivat tieliikennemelun aiheuttamaa korkeaa verenpainetta sairastavien lukumäärää ottamalla lähtökohdaksi yli 50 dB(A):n melulle altistuvat. Kun tiedetään, että 15 % tälle melutasolle altistuvista on hoidossa korkeasta verenpaineesta johtuen, ja että vastaava luku melutasolla 70 dB(A) on 23 %, voidaan arvioida melun aiheuttamien tapausten määrää.

Tekijät arvioivat sydän- ja verisuonitautien aiheuttamia kustannuksia laskien sekä hoitokustannukset sekä resurssinmenetykset. Kokonaiskustannuksiksi saadaan tieliikennemelun osalta 0,9 - 3,6 mrd. DEM/a. Tätä pidetään kustannusten alarajana.

## Melutason vaikutus kiinteistöjen arvoon

Melun vaikutukseksi kiinteistöjen arvoon arvioitiin 0,5 - 1,26 % desibeliä kohti. Lisäksi tarkasteltiin vuokra-asuntojen vuokran vaihtelua melutason mukaan. Tieliikennemelun kohdalla tulokseksi saatiin 0,98 - 2,4 DEM/kk/hlö, joka vastaa kokonaiskustannuksia 557 - 1404 milj. DEM/kk.

## Maksuhalukkuutta selvittävä kyselytutkimus

Tutkimukseen liittyi laaja kyselytutkimus, jossa kirjallisessa muodossa tiedusteltiin vajaan 7000 kotitalouden maksuhalukkuutta nykyistä hiljaisemmasta asunnosta. Vastausten perusteella johdettiin yksilön maksuhalukkuudelle melutilanteen paranemisesta yhdellä desibelillä arvo 1,67 DEM/kk.

## Johtopäätöksiä

Kaikista lähteistä peräisin olevan melun yhteiskunnallisten kustannusten suuruusluokaksi arvioitiin yli 30 mrd DEM/a. Tieliikennemelun kustannukset ovat vähintään 10,7 - 12,8 mrd DEM/a, joka tekee moottoriajoneuvoa kohti 360 - 490 DEM/a.

Raportin tekijät arvioivat myös meluntorjunnan kustannuksia. Johtopäätös on, että meluntorjunnan hyödyt ovat kustannuksia suuremmat.

## 5.2.2 Ruotsalainen melututkimus

Kesällä 1993 valmistui Ruotsin Ympäristöministeriön tilaama ehdotus meluntorjunnan kokonaisvaltaisesta toimenpidesuunnitelmasta. Siinä käsitellään mm. tieliikennemelun aiheuttamia yhteiskunnallisia kustannuksia ja meluntorjunnan mahdollisuuksia (Kihlman et al. 1993).

Selvityksen osana tutkittiin ihmisten maksuhalukkuutta kirjekyselynä. Kysely lähetettiin kolmen melutasoltaan erilaisen alueen asukkaille. Alue I on suhteellisen rauhallinen liikennemelutason ollessa ollen 55 dB(A). Alue II on meluinen (> 70 dB), mutta ikkunat on eristetty (sisämelutaso < 40 dB). Alue III on yhtä meluinen kuin alue II, mutta ikkunoita ei ole eristetty. Vastausten avulla tehtiin kysyntäkäyrä vähämeluiselle ja meluttomalle ympäristölle. Tutkimuksen tulokset on esitetty taulukossa 4. Ruotsalaisten tutkimus tehtiin pienillä resursseilla: kysely lähetettiin 1250 henkilölle, joista vain 314 vastasi.

**Taulukko 4.** Maksuhalukkuus meluttomasta asuinympäristöstä kolmella taajama-alueella Tukholmassa ja Göteborgissa

Toimenpide	Alue I	Alue II	Alue III
Täysin eristetyt ikkunat, SEK/ikkuna	5700	13000	13000
Täysin meluton liikenneympäristö, SEK/asunto	45000	100000	72000

### 5.2.3 Komission vihreä kirja

Melun taloudellisia kustannuksia on tarkasteltu Euroopan Unionin vihreässä kirjassa (Euroopan yhteisöjen komissio 1996). Tutkimukset ovat rajoittuneet lähinnä tieliikennemeluun. Melusaasteen arvioidut kustannukset olivat tutkimusten mukaan n. 0,2-2% BKT:stä. Tutkimukset melualtistuksesta johtuvasta asuntojen arvon laskusta osoittivat, että 1980-luvulla keskimääräinen arvonalennus oli noin 1% dB(A):ta kohti, kun melu ylittää 55 dB(A).

### 5.2.4 Suomalainen melututkimus

Suomessa on hiljattain tehty väitöskirja liikenteen ympäristökustannuksista (Vainio 1995). Työssä on sovellettu hedonista hinnoittelua (HPM) ja subjektiivisten arvostusten menetelmää (CVM) liikenteen melu- ja pakokaasupäästöille Helsingissä.

Hedonisen hinnoittelun menetelmä antoi tulokseksi, että asunnon hinta laskee 18420 mk (0,36 % asunnon arvosta) melutason noustessa 1 dB(A):n. Maksuhalukkuustutkimuksen mukaan taas ihmisten maksuhalukkuus yhden desibelin melutason laskusta olisi 5160 mk/a, joka tutkijan mukaan vastaa noin 51600 markkaa kertamaksuna.

Makuhalukkuustutkimuksen antamat tulokset ovat 2 - 3 kertaa suurempia kuin hedonisen hinnoittelun menetelmällä saadut. Mahdollisia syitä on monia. Erot voivat johtua joko tutkimuksen puutteista tai siitä, että eri menetelmien antamat arvot poikkeavat todella toisistaan.

### 5.3 Arvio tieliikennemelun aiheuttamista kustannuksista Suomessa ja erot vuonna 1992 tehtyihin arvioihin

Liikennemelulle altistuvien määrää on arvioitu tielaitoksen vuonna 1992 valmistuneen selvityksen mukaan. Ko. selvityksessä ihmiset on jaettu kolmeen luokkaan: Melutasolle (1) 55 - 65 dB(A), (2) 65 - 70 dB(A) ja (3) yli 70 dB(A) altistuvat. Alle 55 dB(A):n melun ei ole oletettu aiheuttavan haittaa.

Melua on arvioitu Matti Vainion (1995) väitöskirjassa esitettyjen tulosten avulla sekä Saksassa tehdyn tutkimuksen (Weinberger et al. 1991) perusteella. Suomalaiseen tutkimukseen perustuvat tulokset on esitetty taulukossa 5.



**Taulukko 5.** Tieliikennemelun markkamääräiset kustannukset Suomessa (milj. mk/a) hedonista hinnoittelua (HPM) ja maksuhalukkuustutkimusten avulla (CVM).

	55 - 65 dB	65 - 70 dB	> 70 dB	Yht
HPM	2238	872	359	3469
CVM	3858	2189	1189	7236

Kokonaiskustannukset ovat siis noin 3,4 - 7,2 miljardia markkaa vuodessa. Mikäli sovellettaisiin saksalaisen tutkimuksen tuloksia, kokonaiskustannuksiksi tulisi noin 1,0 mrd mk/a. CVM-tutkimukseen liittyvien epävarmuustekijöiden johdosta sovelletaan HPM-menetelmän avulla johdettuja arvioita. Meluhaitan arvoksi tulee tällöin noin 3470 milj. mk/a, mikä on noin 0,67 % Suomen bruttokansantuotteesta vuonna 1990. Arvioon liittyy seuraavassa esitettyjä epävarmuustekijöitä.

Vainion tutkimuksessa ei eroteltu asunnon ostajien halukkuutta maksaa vähemmästä tieliikennemelusta heidän halukkuudestaan maksaa muista lähteistä peräisin olevan melun vähenemisestä (lentoliikenteen melua lukuunottamatta), esimerkiksi mahdollisen teollisuusmelun, piha-alueen melun tai naapurihuoneistoista kuuluvan melun vähenemisestä. Tästä syystä Vainion saamat tulokset saattavat kuvata maksuhalukkuutta muidenkin kuin tieliikenteen melun vähene-  
misen suhteen.

Muiden melulähteiden huomioonottaminen saattaisi huomattavasti lisätä niiden asuntojen määrää, jotka sijaitsevat melualueella > 55 dB (alueet määriteltä vain tieliikennemelun perusteella), mikä pidettiin kynnyksenä havaittavan maksuhalukkuuden ilmenemiselle. Tässä mielessä tuloksena saatu maksuhalukkuus saattaa olla aliarviotu.

Toisaalta on mahdollista, että Vainion saamat tulokset heijastavat maksuhalukkuutta myös asuntojen muiden ominaisuuksien suhteen, huolimatta pyrkimyksistä erottaa juuri melupreferenssit. Tämä voi johtaa joko yli- tai aliarviointiin.

Asuntonäyttelyt pidetään pääosin sunnuntaisin, jolloin tieliikennemäärät ovat keskimääräistä pienempiä. HPM saattaa siten antaa mitan halukkuudelle maksaa pienemmästä tieliikenteen melutasosta, lähtökohtana melutaso sunnuntaisin pikemmin kuin keskimääräinen melutaso.

Vainion tutkimuksen kohdealueena oli Helsinki. Tuloksen yleistäminen koko maata koskeväksi voi johtaa virhearviointiin esimerkiksi jos helsinkiläisten preferenssit melun suhteen poikkeavat koko maan väestön preferensseistä keskimäärin. Myös asuntojen keskimääräisen koon ja hinnan soveltaminen sisältää virhemahdollisuuden.

Tieliikenteen melun yksikköhaitat mk/asukas on esitetty melualueittain taulukossa 6. Keskimääräisiä melun haittoja mk/km ei määritetty, koska meluvyöhykkeiden laajuus vaihtelee suuresti mm. liikennemäärien, nopeusrajoitusten ja maaston mukaan. Lisäksi asutus on jakautunut epätasaisesti teiden varsille.

**Taulukko 6.** Tieliikenteen markkamääräiset kustannukset (mk / asukas) tämän tutkimuksen mukaan.

Melualue (dB(A))	Melun kustannukset (mk/asukas)
55 - 65	3365
65 - 70	8412
70 -	13459

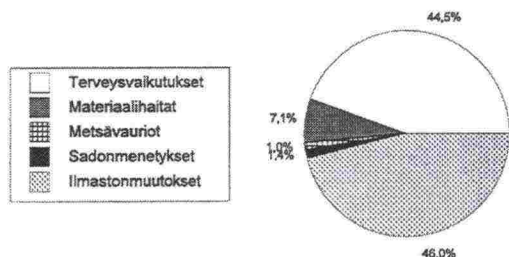
Tielaitoksen asettama työryhmä arvioi vuonna 1992 (Tielaitos 1992 a)) melun aiheuttaman viihtyvyyshaitan olevan noin 1600 miljoonaa markkaa vuodessa. Tämä perustui oletukseen, että melutasolla 55 - 65 dB melun häiritseväksi kokevien osuus on 33 %; melutasolla 65 - 70 dB osuus on 50 % ja yli 70 dB melutasosta lähtien 100 %. Meluhaitan yksikköhintana käytettiin 5000 mk/altistunut henkilö.



## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Saadut arviot ulkoisista kustannuksista ovat pitkälti laskentaesimerkkien tuloksia. Vaikka niihin liittyy suurta epävarmuutta, voidaan niistä päätellä haittojen suuruusluokka ja myös se, mitkä vaikutukset ja komponentit ovat potentiaalisesti merkittävimpiä. Tehtyjen laskelmien perusteella terveysvaikutukset muodostavat suurimman osan tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamista haitoista. Terveyshaitat olisivat miljardiluokkaa (mrd. mk/a), kun taas metsävauriot ja sadonmenetykset olisivat kummatkin kertaluokkaa pienempiä (0,1 mrd. mk/a). Globaalit vaikutukset ovat samaa suuruusluokkaa kuin terveysvaikutukset mikäli arvottamisen lähtökohdaksi otetaan taloudelliset ohjauskeinot päästöjen kasvun pysäyttämiseksi. Melun haittavaikutukset arvioitiin olevan yli kolme miljardia markkaa vuodessa.

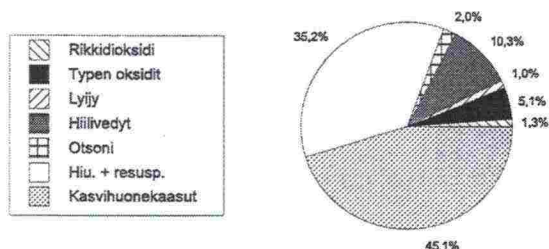
Kuva 3. Haittojen jakaantuminen vaikutuksittain



Jonkin verran yllättävänä voidaan pitää sitä, että terveysvaikutukset dominoivat niinkin selvästi luonto- ja globaalisten vaikutusten ollessa yllättävän pieniä. Toisaalta päästöjen vaikutuksista ulkomailla sekä rikkidioksidin että typen oksidien haitat ovat pääosin luontovaikutuksia. Näinollen yhteenlasketut luontovaikutukset ovat nekin miljardiluokkaa (mrd. mk/a). Yksi mahdollinen syy terveysvaikutusten dominointiin on se, että arvot osittain perustuvat maksuhalukkuusarvioihin muiden perustuessa pääosin markkinahintoihin. Toisaalta esimerkiksi rakennusten ja rakennelmien kulttuurihistoriallista arvoa ei ole arvioitu eikä myöskään metsiin liittyviä luonnon monimuotoisuuden, maisema- tai virkistyskäyttö arvoja. Globaaliin vaikutukseen liittyy erityisen suurta epävarmuutta.

Tarkasteltaessa eri päästökomponeentteja (vaikutukset Suomessa ja ulkomailla vuonna 1990) havaitaan, että tieliikenteen polttoaineperäisten typen oksidien ja hiukkaspäästöjen aiheuttama haitta dominoi ollen miljardiluokkaa (mrd. mk/a), kun taas hiilivetypäästöjen haittavaikutukset ovat siitä noin puolet (luokkaa puoli miljardia/a) ja rikkidioksidipäästöjen haitat pari sataa miljoonaa (luokkaa 0,1 miljardia/a). Lyijypäästöjen haitat ovat selvästi pienempiä (luokkaa 50 miljoonaa/a). Mikäli kasvihuonekaasupäästöt arvotetaan lähtien niistä taloudellisista ohjauskeinoista joita päästöjen kasvun pysäyttäminen edellyttäisi, on tulos suuruusluokkaa pari miljardia. Käytettäessä olemassa olevia haitta-arvioita tulos on huomattavasti pienempi (luokkaa 0,1 miljardia/a).

Kuva 4. Haittojen jakaantuminen päästökomponenteittain



Koska edellä esitetyt tulokset perustuvat vuoden 1990 käytössä olleeseen autokantaan ja päästötilanteeseen saattaisivat samoilla periaatteilla mutta tuoreemmalta vuodelta olevilla lähtötiedoilla lasketut arvot poiketa tässä selvityksessä saaduista tuloksista. Tähän vaikuttavat katalysaattorilla varustettujen autojen osuuden kasvaminen, uusien vähäpäästöisempien polttoaineiden markkinoille ilmestyminen ja katsastusten yhteydessä suoritettavat pakokaasutestit.

Kun samoja arvottamismenetelmiä sovelletaan vuoden 2000 ennustetulle päästötilanteelle ovat haitat siten odotetusti pienemmät kuin vuonna 1990. Muiden kuin kasvihuonekaasupäästöjen ja resuspension haitan pieneneminen noin kolmasosalla vuoden 1990 tilanteesta vastaa karkeasti tieliikenteen päästöjen ennustettua vähenemistä. Ainoastaan hiilidioksidipäästöjen ennustetaan kasvavan.

Bensiiniliikenteen päästöjen haitat pienenevät tulosten mukaan suhteessa enemmän kuin dieselliikenteen ja kevyen liikenteen vastaavasti enemmän kuin raskaan liikenteen.

Terveysvaikutuksista merkittävimmät ovat  $PM_{10}$ -pitoisuuden aiheuttamat vaikutukset. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamat ylimääräiset kuolemantapaukset muodostavat merkittävän osan kaikista terveysvaikutuksista. Tässä selvityksessä tehtyjen tarkennettujen laskelmien perusteella (luku 4) tieliikenteen polttoaineperäiset päästöt ja tieliikenteen nostattama pöly (resuspensio) aiheuttaisivat noin 120 kuolemantapausta vuosittain hengitettävien yhdisteiden välityksellä (runsaat 50 syöpätapausta ja noin 60 kardiovaskulaarista tapausta) sekä noin 10 tapausta ravintoketjun kautta. Laskelmien mukaan kaikista päästölähteistä sekä resuspensiosta peräisin olevat ilman epäpuhtaudet aiheuttaisivat noin 240 kuolemantapausta hengitettävien yhdisteiden välityksellä (noin 100 syöpätapausta ja noin 140 kardiovaskulaarista tapausta) ja runsaat 10 tapausta ravintoketjun kautta. Edellä esitetty määrä, 240, on hieman suurempi kuin aiemmin Suomessa esitetty arvio, jonka mukaan liikenteen ja energiantuotannon saasteet kumpikin aiheuttaisivat noin 100 kuolemantapausta vuodessa hengitettävien yhdisteiden välityksellä (Tuomisto 1992 - lukujen takana olevat laskelmat eivät ole tämän raportin kirjoittajan tiedossa). Tämän lisäksi tulisivat teollisuuden ym. sektoreiden päästöjen aiheuttamat kuolemantapaukset. Kirjallisuudessa on myös esitetty arvioita, että yhdyskuntailman välityksellä fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaisi 5 - 10 keuhkosyöpätapausta 100000 asukasta kohti



osittain yhteisvaikutuksesta tupakoinnin kanssa. Kaikkiaan yhdyskuntailman epäpuhtauksien on arvioitu aiheuttavan 1 - 2 % kaikista syöpätapauksista (Doll & Peto 1981). Suurimmillaan hengitettävien hiukkasten aiheuttaman kokonaiskuolleisuuden lisääntymisen on arvioitu olevan jopa 9 % jokaista  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hengitettävien hiukkasten pitoisuutta kohti (Dockery et al. 1993). Näiden lukujen valossa tässä selvityksessä esitetyt arviot eivät ainakaan vaikuta liian suurilta. Yleisesti terveysvaikutusten arvottamiseen liittyy huomattavaa epävarmuutta, erityisesti koskien hengitettävien hiukkasten ja hiilivetyjen aiheuttamaa lisäkuolleisuutta sekä hengitettävien hiukkasten aiheuttamaa lisäsairastavuutta.

Laskettu korroosiohaitta on odotetusti pieni kokonaishaittaan nähden. Rikkidioksidipitoisuudet ovat Suomen taajamissa laskeneet koko 1980-luvun ajan, mikä on pienentänyt ilmansaasteperäistä korroosiota. Lisäksi tieliikenteen osuus pitoisuuksista on pieni. Rakennusmateriaalien vaurioituminen rikkidioksidipitoisuuden funktiona arvioitiin perusteellisten, Tukholman alueella tehtyjen tutkimusten pohjalta. Saatuun tulokseen liittyy vähemmän epävarmuutta kuin useimpiin muihin tässä selvityksessä laskettujen haittojen arvoihin.

Hiukkasten aiheuttamasta likaantumisesta on todettava, että tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen osuus kokonaisleijumasta arvioitiin olevan noin 10 % ja tieliikenteen nostattama pöly mukaanlukien 50 %, jolloin tieliikenteen haitat olisivat 300 miljoonaa markkaa vuodessa. Kokonaisleijuman (kaikki päästölähteet ja sekundääriemissiot huomioitu) aiheuttama likaantumishaitta on siten jo merkittävä, noin 600 miljoonaa markkaa vuodessa. Hiukkasten likaavalle vaikutukselle saadaan helposti suuriakin arvoja ja on pitkälti sopimusasia miten haitan suuruus henkilöä kohti määritellään eri pitoisuuksilla.

Tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamien metsävaurioiden pienuus selittyy suureksi osaksi sillä, että valtaosa happamoittavasta rikistä (noin 75 %) ja tpestä (80 %) tulee ulkomailta, jolloin kotimaisten päästölähteiden osuus haitasta jää pieneksi (tieliikenteen osuus 5 % rikistä ja 10 % tpestä). Laskelmien perusteella ilmansaasteiden aiheuttamat metsävauriot olisivat kokonaisuudessaan noin puoli miljardia markkaa (josta tieliikenteen osuus noin 50 milj. mk) vuonna 1990. Tästä pari sataa miljoonaa olisi happaman laskeuman aiheuttamaa, mikä on vain luokkaa 10 % siitä, mihin IASA:n arviot rikkipäästöjen aiheuttamista metsävaurioista Suomessa ovat päätyneet. Arvioitu metsävaurioiden arvo perustuu esimerkkilaskelmaan, jossa oletettiin, että happamoitumisesta aiheutuva vuosittainen puunkasvun menetys seuraavan 100 vuoden aikana olisi 0,1 % vuodessa. 10000 ppbh:n otsonille altistuminen yli 40 ppb:n kynnyspitoisuuden arvioitiin johtavan 5 %:n kasvumenetykseen.

Tieliikenteen polttoaineperäisten rikki- ja typpipäästöjen arvioitu ulkomailta aiheuttama haitta, noin 830 miljoonaa markkaa vuonna 1990, koostuu suurimmaksi osaksi luontovaikutuksista.

Viljelykasvien sadonmenetyksiä aiheuttava otsoni on lähinnä peräisin muualta (85 %) kuin tieliikenteen polttoaineperäisistä päästöistä (15 %). Tutkijoilla alkaa jo olla näkemys otsonin aiheuttamien viljelykasvivaurioiden annos-vaikutus funktioista. Otsonin viljelykasvivaurioihin liittyy pienempää epävarmuutta kuin useimpiin muihin tässä selvityksessä laskettujen haittojen arvoihin.

Kasvihuonekaasupäästöjen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) taloudellisiksi vaikutuksiksi arvioitiin runsaat 2 miljardia mk/a perustuen taloudellisiin ohjauskeinoihin päästöjen



kasvun pysäyttämiseksi ja runsaat 0,1 miljardia mk/a perustuen haittavaikutuksiin. Suomen osuus maailman kasvihuonekaasupäästöistä on muutama kymmenesosaprosentti, ja tieliikenteen osuus Suomen hiilidioksidipäästöistä noin 20 %. Esitettyyn arvioon liittyy huomattavaa epävarmuutta jo siitä syystä, että kasvihuoneilmiö on erittäin monimutkainen prosessi ja mahdollisen ilmaston lämpenemisen seuraukset vaikeasti arvioitavissa.

Uusien arvojen arviointiin käytetty menetelmä poikkeaa vuonna 1992 käytetystä menetelmästä (Tielaitos 1992 a)) mm. siten, että uudet arviot perustuvat koko polttoaineketjun aikaisiin päästöihin, eikä pelkästään pakokaasupäästöihin ja resuspensioon. Lisäksi on tehty selvä ero taajamiin ja maaseutuun kohdistuvien haittojen välillä. Tutkimuspanos ilmansaasteiden terveysvaikutuksista on tuottanut runsaasti uutta tietoa, minkä seurauksena uudet arviot ovat edellisiä korkeampia tältä osin. Viihtyvyyshaittojen voidaan katsoa sisältyvän uusiin terveyshaitta-arvioihin. Uudet arvot perustuvat annos-vaikutus -funktioihin sekä terveysvaikutusten (sairastumis- ja kuolleisuusriski) osalta maksuhalukkuusarvioihin. Edelliset terveyshaitta-arviot perustuivat pelkkiin sairaanhoitokustannuksiin ja tuotantomenetyksiin. Markkinoitavien hyödykkeiden, metsien raakapuu ja viljelykasvit, osalta uudet arvot perustuvat edellisten arvojen tapaan markkinahintoihin. Kasvihuonekaasupäästöt on samoin kuin vuonna 1992 arvoitettu lähtien tarvittavista taloudellisista ohjauskeinoista päästöjen kasvun pysäyttämiseksi, mutta uudemmassa arviossa ovat mukana metaani- ja typpioksiduulipäästöt hiilidioksidipäästöjen lisäksi. Esitettyjä yksikköhintoja käytettäessä on otettava huomioon rahan arvon muutokset, esimerkiksi elinkustannusindeksin avulla.

Melun aiheuttama haitta arvioitiin hedoniseen hinnoitteluun perustuen käyttäen Helsinkiin kohdistetun tutkimuksen tuloksia tieliikenteen melualueilla (melu vähintään 55 dB). Lähtökohtana käytetty arvio oli asunnon hinnan 0,36 %:n arvonalenema desibeliä kohti.

Arvioon liittyviä epävarmuustekijöitä ovat mm. muiden melulähteiden kuin tieliikenteen (ja lentoliikenteen) huomiotta jättäminen sekä epävarmuus siitä, miten hyvin melu on onnistuttu eristämään muista asuntojen hinnanmuodostukseen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi hedoniseen hinnoittelun avulla arvioitu maksuhalukkuus saattaa perustua melutasoon asuntonäyttelyn ajankohtana pikemmin kuin keskimääräiseen melutasoon. Myös alkuperäisen tutkimuksen tuloksen yleistäminen koko maata koskeväksi sekä keskimääräisen koon ja hinnan soveltaminen muodostaa virhelähteen.

Uuden arvion laskentatapa poikkeaa vuonna 1992 tehtyyn arvioon (Tielaitos 1992 a)), joka perustui oletukseen, että melutasolla 55 - 65 dB melun häiritseväksi kokevien osuus on 33 %; melutasolla 65 - 70 dB osuus on 50 % ja yli 70 dB melutasosta lähtien 100 % ja että yksikköhinta on 5000 mk/altistunut henkilö.

Edellä esitettyjen haitta-arvioiden summa, noin 8,8 mrd. mk/a, muodosti noin 1,7 % Suomen bruttokansantuotteesta (BKT) vuonna 1990, jakautuen seuraavasti: kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamat ilmastomuutokset noin 0,41 % BKT:sta, muiden päästöjen ja resuspension aiheuttamat haitat noin 0,63 % BKT:sta (josta ulkomailta syntyvän haitan suuruus arvioitiin olevan noin 900 milj. mk/a, vastaten 0,18 % BKT:sta) ja melun aiheuttamat menetykset noin 0,67 % BKT:sta. Koska tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen ja melun aiheuttamat haitat mitä ilmeisimmin ovat rahallisesti merkittäviä, on niiden tutkimista ja



arviointia jatkettava. Tuloksia ja arvottamisperiaatteita olisi tarkistettava muutama vuoden kuluttua tutkimustulosten tarkentuessa sekä päästötason muutuksessa.

## 7 LÄHDEKIRJALLISUUS

BUWAL 1994. Krebsrisiko von Diesel- und Benzinmotorabgasen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. (Schriftreihe Umwelt nr. 222).

Dockery, D. et al. 1993. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. (The New England Journal of Medicine, Dec 9).

Doll, R & Peto, R. 1981. The causes of cancer. Quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today. (J. Natl. Cancer Inst. 1981: 6).

Euroopan Yhteisöjen Komissio 1996. Tulevaisuuden melupolitiikasta. Komission vihreä kirja.

European Commission 1994. Externalities of Fuel Cycles, "ExternE" Project. Report Number 1: Summary.

Fankhauser, S. 1994. The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions: An Expected Value Approach. (Energy Journal 15(2): 157-84).

Ilmatieteen laitos 1994. Otsonivuot metsäekosysteemissä. (Vuosiraportti ympäristöministeriön projektista).

Kihlman T., Wibe S. & Johansson S.M., Priset på tystnad, en enkätstudie om människors värdering av bullerbekämpande åtgärder (i Bilagedel till Betänkande av Utredningen för en handlingsplan mot buller, Statens offentliga utredningar SOU 1993:65, Göteborg 1993).

Komiteamietintö 1991:21. Hiilidioksiditoimikunnan mietintö. (Ympäristöministeriö).

Komiteamietintö 1994:2. Hiilidioksiditoimikunta II:n mietintö. (Ympäristöministeriö).

Kucera V., Henriksen J., Knotkova D. & Sjöström C. 1993. Model for Calculations of Corrosion Cost Caused by Air Pollution and its Application in Three Cities. (10th European Corrosion Congress in Barcelona, July 1993).

Leksell, I. & Löfgren, L. 1995. Värdering av lokala luftföroreningseffekter. (KFB-rapport 1995:5).

Malka, S. 1991. Tieliikenteen energian kysynnän hinta- ja tulojousto. (VTT) Helsinki.

Nilsson S. 1991. European Forest Decline: The Effects of Air Pollutants and Suggested Remedial Policies. (IIASA, International Institute for Applied Systems Analysis.) Laxemburg, Austria.

Oak Ridge National Laboratory & Resources for the Future 1994. Estimating Externalities of Coal Fuel Cycles. (U.S. Department of Energy and the European Commission).

Ostro, B. 1994. Estimating the Health Effects of Air Pollutants. (World Bank).

Otterstöm et al. 1994. Tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen vaikutusten arvottaminen. (Energia-Ekono Oy, MOBILE 207Y).

Pearce, D., Bann, C & Georgiou, S. 1992. The Social Cost of Fuel Cycles. (CSERGE, The Centre for Social and Economic Research on the Global Environment).

Schwartz, J. & Zeger, S. 1990. Passive Smoking, Air Pollution and Acute Respiratory Symptoms in a Diary Study of Student Nurses. (American Review of Respiratory Diseases, 141:62-67).

Tielaitos 1992 a). Melun ja pakokaasujen hinnoittelu tiensuunnittelussa. Tielaitoksen selvityksiä 2/1992. Helsinki 1992.

Tielaitos 1992 b). Tieliikenteen päästöjen haittojen kustannukset (Ekono Ympäristötekniikka Tielaitoksen toimeksiannosta). Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja 3/1992. Helsinki 1992.

Tuomisto, J. 1992. Myrkynvihreä maailma, Ympäristöstä kiinnostuneen käsikirja (Recallmed Oy) Pieksamäki.

Törnqvist M. & Ehrenberg L. 1993. On cancer risk estimation of urban air pollution (Environ Health Perspect, in press 1993).

UN-ECE (1993) Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. (Texte 25/93) Berlin.

Vainio M., Traffic Noise and Air Pollution, Valuation of Externalities with Hedonic Price and Contingent Valuation Methods, Helsinki School of Economics and Business Administration, A Series: Doctoral Dissertations, A-102, Helsinki 1995.

Weinberger M., Thomassen H. G. & Willeke R., 1991. Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland, Umweltbundesamt, Berichte 9/91, Berlin.



Taulukko L1. Arvio Suomen päästöistä ilmaan vuonna 1990, 1000 tonnia

Sektori	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Hiukk.	CO <sub>2</sub>	CO	HC	Pb
<b>Tieliikenne</b> 3)							
<b>Käytön päästöt</b>	5,36	157,6	11,19	11209	405,4	61,4	0.19
Henkilöautot, bensiini	0,92	86,1	2,09	6020	349,4	46,9	0.18
Henkilöautot, diesel	0,74	4,9	1,92	837	4,8	1,2	0
Pakettiautot, bensiini	0,04	3,6	0,03	232	17,5	1,9	0.01
Pakettiautot, diesel	0,81	5,4	0,36	913	3,6	1,1	0
Linja-autot	0,67	15,1	1,62	753	8,5	3,2	0
Kuorma-autot	2,18	42,5	5,17	2454	21,5	7,0	0
<b>Muut polttoaine- per. päästöt 1)</b>	8.9	1.37	0.41	1410	0.87	5.6	0
Bensiini; 1986 kt	5.6	1.0	0.30	910	0.56	5.2	0
Diesel; 1542 kt	3.3	0.37	0.11	500	0.31	0.5	0
<b>Tieliikenne yhteensä</b>	14,26	159	11,60	12619	406	67,00	0,19
<b>Muut kotim. yht. 2)</b>	242.0	169.0	84.18	47600	125.1	123.5	0.11
<b>Kaikki yhteensä</b>	256,3	328,0	95,78	60219	531,1	190,5	0,30
Pakokaasujen os., %	2,1	48,0	11,7	18,6	76,3	32,2	63.3
Koko ketjun osuus, %	5,6	48,5	12,1	21,0	76,4	35,2	63.3

- 1) Kattaa tieliikennepolttoaineiden Suomessa tapahtuvan jalostuksen, varastoinnin ja jakelun päästöt. Kotimaan kuljetuksen päästöt sisältyvät käytön päästölukuihin. Hiilidioksidin osalta luku kattaa Suomen tieliikenteen polttoaineiden jalostukseen käytettävän öljyn tuotannosta ja kuljetuksesta aiheutuvat päästöt ulkomailla sekä tieliikennepolttoaineiden jalostuksen, varastoinnin ja jakelun päästöt Suomessa. Kotimaan kuljetuksen päästöt sisältyvät käytön päästölukuihin.
- 2) Kattaa energiantuotannon ja teollisuuden y.m.:n toimintojen päästöt
- 3) Kattaa ainoastaan pakokaasupäästöt (ja muut polttoaineperäiset päästöt), eikä esimerkiksi tieliikenteen nostattamaa pölyä

**Taulukko L2.** Arvio Suomen päästöistä ilmaan vuonna 2000, 1000 tonnia (MOBILE-raportti).

Sektori	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Hiukk.	CO <sub>2</sub>	CO	HC	Pb
<b>Tieliikenne</b> 3)							
<b>Käytön päästöt</b>	0,6	56	8	12640	181	59	0
Henkilöautot, bensiini	0,12	19,7	2,3	7415	145,7	42,1	0
Henkilöautot, diesel	0,09	1,0	1,4	1145	1,3	2,0	0
Pakettiautot, bensiini	0,003	2,8	0,1	199	13,7	4,9	0
Pakettiautot, diesel	0,06	3,6	1,4	783	3,0	2,0	0
Linja-autot	0,05	8,4	0,7	509	3,2	1,9	0
Kuorma-autot	0,24	20,5	2,1	2590	14,6	6,1	0
<b>Muut polttoaineper. päästöt 1)</b>	2,5	1,37	0,20	740	0,40	3,92	0
Bensiini; 1986 kt	1,6	1,0	0,15	540	0,26	3,58	0
Diesel; 1542 kt	0,9	0,37	0,05	200	0,14	0,34	0
<b>Tieliikenne yhteensä</b>	3,1	57,4	8,2	13380	181,4	62,9	0
<b>Muut kotim. yht. 2)</b>	112,9	153,6	60	46860	144,6	96,1	0
<b>Kaikki yhteensä</b>	116	211	68,2	60240	326	159	0
Pakokaasujen os., %	0,5	26,5	11,7	21,0	55,2	37,1	-
Koko ketjun osuus, %	2,7	27,2	12,0	21,9	55,6	39,6	-

- 1) Kattaa tieliikennepolttoaineiden Suomessa tapahtuvan jalostuksen, varastoinnin ja jakelun päästöt. Kotimaan kuljetuksen päästöt sisältyvät käytön päästölukuihin. Hiilidioksidin osalta luku kattaa Suomen tieliikenteen polttoaineiden jalostukseen käytettävän öljyn tuotannosta ja kuljetuksesta aiheutuvat päästöt ulkomailla sekä tieliikennepolttoaineiden jalostuksen, varastoinnin ja jakelun päästöt Suomessa. Kotimaan kuljetuksen päästöt sisältyvät käytön päästölukuihin.
- 2) Kattaa energiantuotannon ja teollisuuden y.m.:n toimintojen päästö
- 3) Kattaa ainoastaan pakokaasupäästöt (ja muut polttoaineperäiset päästöt), eikä esimerkiksi tieliikenteen nostattamaa pölyä



**Taulukko L3.** Tässä raportissa esitetty arvio tieliikenteen nostattaman pölyn ja polttoaineperäisten päästöjen Suomessa aiheuttamalle haitalle sekä Suomen tieliikenteen hiilidioksidipäästöjen taloudellisille vaikutuksille globaalisesti, milj. mk/a (1990), sekä edellisessä Tielaitokselle tehdyssä selvityksessä (Tielaitos 1992 b)) esitetty arvio (suluissa), milj. mk/a (1989)

Vaikutus	Ghg	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	Pb	HC	O <sub>3</sub>	Hiu	Res	Σ
Terv.vaik. yht	- (-)	35 (9,7)	- (-)	144 (68)	46 (-)	478 (32)	- (-)	833 (160)	500 (sis. ed.)	2036 (260)
Syöpäkuolleisuusriski		-		- (1,3)	-	478 (6,6)		- (5,3)	- (sis. ed.)	478
Muu kuolleisuusriski		8 (-)		32 (-)			-	201 (-)	121 (-)	362
Muut terv.vaik.		27 (9,7)	-	112 (67)	46	- (25)	-	632 (150)	379 (sis. ed.)	1196
Mat.hait. yht.		18 (15)		- (21)				62 (410)	246 (sis. ed.)	326 (450)
Rak.mater.		18 (15)		- (21)		-	-	-		18
Likaantum.		-				-		62 (410)	246 (sis. ed.)	308
Metsävauriot		6 (9,6)		8 (85)		- (23)	32 (77)	- (27)	- (sis. ed.)	46 2 (220)
Sadonmen.		- (2,5)		- (55)	-	- (25)	63 (130)	- (13)	- (sis. ed.)	63 (220)
Ilm.muutos 3)	99-2103 (-)	-	-	-				-	-	99-2103 (-)
Yhteensä	99-2103 (-)	59 (37)	- (-)	152 (230)	46 (-)	478 (80)	95 (130)	895 (610)	746 (sis. ed.)	4574 1 (1150)

- 1) Arvioitu ilmastonmuutosten kustannuksilla 2089 milj. mk/a.
- 2) Diskonttokorkoa, 3 %, on käytetty arvioitaessa metsävaurioita ja ilmastonmuutosten aiheuttamaa haittaa. Jos diskonttokorkona käytetään 0 %, nousevat metsävauriot 56 miljoonaan markkaan vuodessa
- 3) Arvioitaessa kasvihuonekaasupäästöjen taloudellisia vaikutuksia on käytetty kahta eri lähestymistapaa; haitan arviointi (alempi arvio) ja taloudelliset ohjauskeinot päästöjen kasvun pysäyttämiseksi (korkeampi arvio). Jos diskonttokorkona käytetään 0 % nousevat ilmastonmuutosten aiheuttamat haitat 833 miljoonaan markkaan vuodessa.

Tämän lisäksi tieliikenteen polttoaineketjuista peräisin olevat päästöt aiheuttavat haittaa ulkomailta 240 - 910 milj. mk (paras arvio noin 870 milj. mk).

**Taulukko L4.** Kevyen ja raskaan liikenteen päästöjen haitta (pakokaasut ylempi rivi, jakelun ja tuotannon päästöt alempi rivi) liikennesuoritetta ja kulutettua polttoainemäärää kohti taajamissa (terveys- ja materiaali-vaikutukset)

Haitta	Kevyt liikenne, ei kat.	Kevyt liikenne, kat	Raskas liikenne, 90	Raskas liikenne, 95
HC, Hiukk. ja SO <sub>2</sub> , p/ajo-km	3,05 0,27	0,54 0,27	61,44 0,60	29,26 0,60
CO <sub>2</sub> , p/ajo-km	3,42 0,57	3,20 0,57	19,19 1,92	18,44 1,92
Yhteensä, p/ajo-km	6,47 0,84	3,74 0,84	80,63 2,52	47,70 2,52
HC, Hiukk. ja SO <sub>2</sub> , p/l	30,53 2,67	5,38 2,67	145,95 1,43	69,51 1,43
CO <sub>2</sub> , p/l	30,17 5,74	32,00 5,74	45,57 4,57	43,79 4,57
Yhteensä, p/l	60,70 8,41	37,38 8,41	191,52 6,00	113,30 6,00

Taulukon luvuissa liikenteen nostattaman pölyn haitat eivät näy. Jaettaessa kyseiset haitat vuoden 1990 arvioidulla ajosuoritteella kaduilla saadaan keskimääräiseksi haitaksi 4,9 p/ajo-km. Oikeudenmukaisempi jako perustuisi ajokilometrien lisäksi painoon ja nopeuteen.

*Kevyen ja raskaan liikenteen päästöjen haitta (pakokaasut ylempi rivi, jakelun ja tuotannon päästöt alempi rivi) liikennesuoritetta ja kulutettua polttoainemäärää kohti maaseudulla (luontovaikutukset)*

Haitta	Kevyt liikenne, ei kat.	Kevyt liikenne, kat	Raskas liikenne, 90	Raskas liikenne, 95
NO <sub>x</sub> , HC ja SO <sub>2</sub> , p/ajo-km	1,63 0,15	0,22 0,15	10,00 0,42	4,54 0,42
CO <sub>2</sub> , p/ajo-km	2,85 0,46	2,67 0,46	14,62 1,92	14,05 1,92
Yhteensä, p/ajo-km	4,48 0,61	2,89 0,61	24,62 2,34	18,59 2,34
NO <sub>x</sub> , HC ja SO <sub>2</sub> , p/l	20,38 1,84	2,80 1,84	23,75 0,99	10,78 0,99
CO <sub>2</sub> , p/l	35,63 5,74	33,34 5,74	34,72 4,57	33,38 4,57
Yhteensä, p/l	56,01 7,58	36,14 7,58	58,48 5,56	44,16 5,56



*Taulukko L5. Typen oksidien annos-vaikutus -funktioita*

Tutkimus	Annos-vaikutus -funktio
Ostro 1994	Muutos hengitystieoireilupäivissä vuodessa $= 0,0054 \cdot \text{muutos NO}_2 \text{ pit. vuosikeskiarvossa } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$
Leksell & Löfgren 1994	Ilmansaasteita päivittäin tai lähes päivittäin häiritsevinä kokevien osuus (%) keskustassa $= - 4 + 0,64 \cdot \text{NO}_2 \text{ pit. talvikeskiarvo } (\mu\text{g}/\text{m}^3) \text{ keskustassa}$ pitoisuuksilla yli $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Leksell & Löfgren 1994	Ilmansaasteita päivittäin tai lähes päivittäin häiritsevinä kokevien osuus (%) asuntoalueella $= - 3 + 0,4 \cdot \text{NO}_2 \text{ pit. talvikeskiarvo } (\mu\text{g}/\text{m}^3) \text{ keskustassa}$
Leksell & Löfgren 1994	Ilmansaasteita päivittäin tai lähes päivittäin häiritsevinä (kaikki häirintäreaktiot) kokevien osuus (%) asuntoalueella $= 0,4 \cdot \text{NO}_2 \text{ pit. talvikeskiarvo } (\mu\text{g}/\text{m}^3) \text{ keskustassa}$
Leksell & Löfgren 1994	Ilmansaasteita päivittäin tai lähes päivittäin häiritsevinä kokevien osuus (%) koko taajamassa $= 0,7 \cdot \text{NO}_2 \text{ pit. talvikeskiarvo } (\mu\text{g}/\text{m}^3) \text{ keskustassa}$

Taulukko L6. Yhteenveto hiukkasten aiheuttamasta kuolleisuusriskistä

	MOBILE- selvitys	Herkkyys- tarkastelu
<b>Suorat päästöt (hiu 83 %, SO<sub>2</sub> - sulfaatti 3 %, NO<sub>x</sub> - nitraatti 13 %)</b>		
A Kuolleisuuden muutos (%) PM <sub>10</sub> pitoisuuden muuttuessa 10 µg/m <sup>3</sup>	0,5	0,5 - 0,64
B PM <sub>10</sub> -pitoisuus (µg/m <sup>3</sup> )	15	12 - 15
C Tieliikenteen osuus pitoisuudesta (%)	20	20 - 25
D Altistuvat ihmiset (milj.)	3,983	3,08 - 3,983
E Tilastollisen elämän arvo (milj. mk)	6,7	4,5 - 6,7
Suorien päästöjen aiheuttama haitta yhteensä		
- Pienimmät - suurimmat arvot	69 - 458, keskiarvo 264 milj. mk/a	
- Paras arvio	241 milj. mk/a	
- MOBILE-selvitys	415 milj. mk/a	
<b>Resuspensio</b>		
Tieliikenteen osuus haitasta (%)	-	30 - 40
Resuspension haitallisuus (%) suhteessa suorien päästöjen haitallisuuteen µg/m <sup>3</sup> kohti	-	50
Resuspension aiheuttama haitta yhteensä		
- Pienimmät - suurimmat arvot	26 - 229, keskiarvo 128 milj. mk/a	
- Paras arvio	121 milj. mk/a	
<b>Haitta yhteensä</b>		
- Pienimmät - suurimmat arvot	95 - 687, keskiarvo 391 milj. mk/a	
- Paras arvio	362 milj. mk/a	
- MOBILE-selvitys	415 milj. mk/a	

Paras arvio merkitsee, että suorat hiukkaspäästöt ja hiukkasia muodostavat päästöt aiheuttaisivat 54 tilastollista kuolemantapausta.



**Taulukko L7. Yhteenveto hiukkasten aiheuttamasta terveysriskistä**

	MOBILE- selvitys	Herkkyys- tarkastelu
<b>Suorat päästöt (hiu 83 %, SO<sub>2</sub> - sulfaatti 3 %, NO<sub>x</sub> - nitraatti 13 %)</b>		
A Pitoisuudelle altistuvat ihmiset (milj.)	3,983	3,08 - 3,983
B PM <sub>10</sub> pitoisuus (µg/m <sup>3</sup> )	15	12 - 15
C Tieliikenteen osuus pitoisuudesta (%)	20	15 - 25
D Suomen yksikköhaitat (%) Amerikkalaisista yksikköhaitoista	100	70 - 100
Suorien päästöjen aiheuttama haitta yhteensä		
- Pienimmät - suurimmat arvo	246 - 948, keskiarvo 597 milj. mk/a	
- Paras arvio	758 milj. mk/a	
- MOBILE-selvitys	1104 milj. mk/a	
<b>Resuspensio</b>		
Tieliikenteen osuus haitasta (%)	-	30 - 40
Resuspension haitallisuus (%) suhteessa suorien päästöjen haitallisuuteen µg/m <sup>3</sup> kohti	-	50
Resuspension aiheuttama haitta yhteensä		
- Pienimmät - suurimmat arvot	92 - 474, keskiarvo 283 milj. mk/a	
- Paras arvio	379 milj. mk/a	
<b>Haitta yhteensä</b>		
- Pienimmät - suurimmat arvot	338 - 1422, keskiarvo 880 milj. mk/a	
- Paras arvio	1137 milj. mk/a	
- MOBILE-selvitys	1104 milj. mk/a	

**Taulukko L8.** Yhteenveto hiilivety-yhdisteiden aiheuttamasta syöpäriskistä

	MOBILE- selvitys	Herkkyys- tarkastelu
A Tieliik.:n VOC-peräiset tapaukset/a	108	62 - 94
B Tilastollisen elämän arvo (milj. mk)	6,7	4,5 - 6,7
C Käytetty tutkimus	Törnqvist	Törnqvist
<b>Hiilivetyjen aiheuttama haitta</b>		
- Pienimmät - suurimmat arvot	279 - 630, keskiarvo 455 milj. mk/a	
- Paras arvio	478 milj. mk/a	
- MOBILE-selvitys	1137 milj. mk/a	

Paras arvio implikoi, että hiilivedyt aiheuttaisivat 73 tilastollista syöpätapausta, jotka kaikki on hinnoiteltu tilastollisen elämän arvon avulla.



**Taulukko L9.** Yhteenveto tässä selvityksessä tehdyistä haitta-arvioista. Luvut miljoonia markkoja vuodessa.

Vaikutus	Ghg	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	Pb	HC	O <sub>3</sub>	Hiu	Res	Σ
Terv.vaik. yht	-	35 12-49	-	144 52-198	46 23-69	478 279-630	-	833 264-1172	500 118-703	2036 748-2821
Syöpäkuolleisuusriski		-		-	-	478 279-630		-		478 279-630
Muu kuolleisuusriski		8 2-15		32 8-61			-	201 59-382	121 26-229	362 95-687
Muut terv.vaik		27 10-34	-	112 44-137	46 23-69	-	-	632 205-790	379 92-474	1196 374-1504
Mat.hait. yht.		18 13-22		-				62 49-74	246 157-296	326 219-392
Rak.materiaal		18 13-22		-		-	-	-		18 13-22
Likaantum.		-				-		62 49-74	246 157-296	308 206-370
Metsävauriot		6 3-21		8 4-26		-	32 19-86	-		46 26-133
Sadonmen.		-		-	-	-	63 44-84	-		63 44-84
Ilm.muutos	99-2103		-				-	-		99-2103
<b>Yhteensä</b>	<b>99-2103</b>	<b>59 28-92</b>	<b>-</b>	<b>152 56-224</b>	<b>46 23-69</b>	<b>478 279-630</b>	<b>95 63-170</b>	<b>895 313-1246</b>	<b>746 275-999</b>	<b>2471 1) 1032-3430</b>

1) Tämän kentän numeroarvot eivät sisällä kasvihuonekaasujen kontribuutiota.

Tämän lisäksi tieliikenteen polttoaineketjuista peräisin olevat päästöt aiheuttavat haittaa ulkomailla 240 - 910 milj. mk (paras arvio noin 870 milj. mk).

**Taulukko L10.** *Tieliikennemelun aiheuttamien haittojen arvioiminen hedonisen hinnoittelun avulla*

Hinnoittelu melutason mukaan	55 - 65 dB (k.a. 60 dB)	65 - 70 dB (k.a. 67,5 dB)	> 70 dB (k.a. 75 dB)
Yleisten teiden varsilla melualueilla asuvat, hlöä	266138	41480	10662
Katujen ja kaavateiden melualueilla asuvat, hlöä	399207	62220	15994
Tieliikenteen melualueilla asuvat yhteensä, hlöä	665345	103700	26656
Tieliikenteen melualueilla olevat kotitaloudet (keksim. 2,1 hlöä)	316831	49381	12693
Asuntojen arvonalenema/dB melutason ylittäessä 55 dB	0,36 %		
Asuntojen keskim koko Asuntojen keskim. hinta	74,8 m <sup>2</sup> 5248 mk/m <sup>2</sup>		
Yhteenlaskettu arvonalenema, milj. mk/vuosi (summa 3,5 mrd. mk/a)	2238	872	359



*Taulukko L11. Laskennassa käytetyt ajoneuvojen ominaispäästöt g/km (Laurikko 1996).*

Taajama-ajo (g/km)	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	HC	Hiukk.
Henkilöautot, ei-kat	205	0,017	1,7	1,3	0,03
Henkilöautot, kat	192	0,008	0,28	0,12	0,01
Raskaat ajoneuvot '90	1151	1,298	28	2,7	1,7
Raskaat ajoneuvot'95	1106	0,012	14	1,89	0,85

Maaseutuajo (g/km)	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	HC	Hiukk.
Henkilöautot, ei-kat	171	0,015	3,2	0,95	0,03
Henkilöautot, kat	160	0,007	0,43	0,15	0,01
Raskaat ajoneuvot '90	877	0,989	18	2	1
Raskaat ajoneuvot'95	843	0,01	9	1,4	0,5

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 69/1996 Telekaapeli-asennusten vaikutus tierakenteeseen. TIEL 3200436
- 70/1996 Kantavan kerroksen asfalttibetoni; Referenssimateriaalin ominaisuudet. TIEL 3200437
- 71/1996 Ajonopeuksien liikenneturvallisuusvaikutukset: Ajonopeuksien turvallisuusvaikutusten riippuvuus ulkoisista tekijöistä. TIEL 3200438
- 72/1996 Ajonopeuksien liikenneturvallisuusvaikutukset: Ajonopeuden turvallisuusvaikutukset yksilöllisestä näkökulmasta. TIEL 3200439
- 73/1996 Autonkuljettajien informaatiotarpeet. TIEL 3200440
- 74/1996 Liikenteen kysyntä; Yhteenveto tutkimusohjelman julkaisuista. TIEL 3200441
- 75/1996 Hematiittijauheen soveltuvuus SMA-massaan. TIEL 3200442
- 76/1996 Muuttuvan nopeusrajoitusmerkin tekniikan vaikutukset ajonopeuksiin ja merkin muistamiseen. TIEL 3200443
- 77/1996 Syvästabilointi kehittyvänä pohjavahvistusmenetelmänä; International Conference IS-Tokio '96. TIEL 3200444
- 78/1996 Moreenin rakeistaminen pellettoimalla; Nykytilaselvitys. TIEL 3200445
- 79/1996 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200446
- 80/1996 Alempiasteisen tieverkon strategiat; Tienpidon kohdentamisvaikutukset kylien kehitykseen. TIEL 3200447
- 81/1996 Maankäytön ja liikenteen yhteensovittaminen kaupunkiseudulla. TIEL 3200450
- 1/1997 Sää- ja kelitietoon perustuva liikenteen ohjausjärjestelmän vaikutus kuljettajien käyttäytymiseen ja käsityksiin. TIEL 3200448
- 2/1997 Liikenteen hallinnan tempukortisto. TIEL 3200449
- 3/1997 Tielaitoksen ympäristöpolitiikan arviointi. TIEL 3200451
- 4/1997 Siltojen perustusten geoteknisen mitoituksen vertailu eurocadien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200452
- 5/1997 Tiepenkereen luonnonluiskan ja jäykän tukimuurirakenteen vertailevat mitoituskalkelmat eurocadien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200453
- 6/1997 Talviajan liikenneturvallisuus; Tilastollinen tarkastelu. TIEL 3200454
- 7/1997 Bitumiemulsion murtumisajan vaikutus päällystemassan ominaisuuksiin. TIEL 3200455
- 8/1997 Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen. TIEL 3200456
- 9/1997 Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen; Yhteenveto. TIEL 3200457
- 10/1997 Valuation of Impacts of Road Traffic Emissions; Summary. TIEL 3200457E