

Tielaitoksen selvityksiä

14/2000

S12 Pääteiden parantamisratkaisut

Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi

**Tielaitos**

Tie- ja liikennetekniikka

Helsinki 2000

ISBN 951-726-628-6  
TIEL 3200603  
Painajaputiikki  
Helsinki 2000

Julkaisua myy  
Tielaitos, Julkaisumyynti  
Faksi 0204 44 2652

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI

**Tielaitoksen strateginen projekti S 12 Pääteiden parantamiskäytöt, Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi.** [Utvärdering av olägenheter för trafiken till följd av vägarbeten, The Assessment of Disruptions caused by roadworks] Helsinki 2000. Tielaitos, tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka, Tielaitoksen selvityksiä 14/2000, 62 s + liitt., ISBN 951-726-628-6, TIEL 3200603

**Aiheluokka** 02, 40

**Asiasanat** työmaat, ajokustannukset, simulointi

## TIIVISTELMÄ

Tietyömaan liikennehaitalla tarkoitetaan liikenteeseen kohdistuvaa haittaa, joka syntyy kun tien liikennekäyttöä rajoitetaan tien, siihen liittyvän laitteen tai tien läheisyydessä sijaitsevan rakenteen tai laitteen rakennus- tai kunnossapitotyön takia. Haittojen taloudellisesti tehokkaan vähentämisen edellytys on niiden syntyyn vaikuttavien tekijöiden ja erilaisissa tilanteissa syntyvien haittojen suuruuden tunteminen.

Työnaikaisiin haittoihin luetaan tavallisesti mukaan tietyöstä aiheutuvat lisääntyvät aika- ja ajoneuvokustannukset, sekä joissakin ulkomaisissa menetelmissä myös onnettomuuskustannukset. Ympäristökustannuksia ei ole arvioihin sisällytetty. Keskeisin haittojen vähentämiskeino on pyrkiä työskentelemään tiellä mahdollisimman hiljaisena ajankohtana.

Suomessa ei ole yleisesti käytössä menetelmiä, joiden avulla voitaisiin etukäteen arvioida tiellä tehtävän työn liikenteelle aiheuttamien haittojen suuruutta. Haittoja on pyritty minimoimaan asettamalla tiellä tehtävälle työlle rajoituksia työskentelyajankohdalle ja kestolle. Hyvin toteutetulla työmaalla haittoja on minimoitu, vaikka erilaisten työskentelyajankohtien aiheuttamia liikennehaittoja ei olisikaan arvioitu.

Ulkomailla on käytössä menetelmiä haittojen arviointiin erilaisissa tilanteissa. Käytön yleisyys vaihtelee maiden välillä huomattavasti. Urakoitsijoita ohjaavia menetelmiä, joissa urakoitsija maksaa ajankohdan mukaan määräytyvää vuokraa työnteon vuoksi sulkemastaan kaistasta on yleisesti käytössä mm. Englannissa.

Arvioinnin keskeisiä ongelmia ovat haittojen muodostumien taustalla vaikuttavien ilmiöiden monimutkaisuus sekä tietyömaiden yksilölliset olosuhteet. Esimerkkejä yksilöllisistä olosuhteista ovat työmaan verkollinen sijainti ja liittymien läheisyys.

Tämän selvityksen yhteydessä tehtiin simulointitutkimus, jossa selvitettiin tietyömaasta aiheutuvien haittojen suuruutta kolmessa tyypillisessä työmaatapauksessa. Tutkimuksen tuloksena saatiin arvioita haittojen suuruudesta tarkastelluissa tapauksissa. Tulokset soveltuvat haittojen karkeaan arviointiin.

Yksi tarkastelukohde simulointitutkimuksessa oli yksiajorataisen kaksikaistaisen tien päällystystyö, jossa toinen kaista suljetaan ja vastakkaisten suuntien liikennevirrat ohjataan liikennevaloin käyttämään avoimena olevaa kaistaa vuorotellen. Kun työmaakohdan poikkileikkausliikennemäärä on 300 ajoneuvoa tunnissa, aika- ja ajoneuvokustannukset lisääntyvät noin 2 300 markalla tunnissa normaalitilanteeseen nähden. Yksikkökustannuksina tutkimuksessa käytettiin Tielaitoksen vuoden 1995 ajokustannusten yksikkökustannuksia.

**Utvärdering av olägenheter för trafiken till följd av vägarbeten.** [Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi].

**Nyckelord** vägarbeten, trafikantkostnader, simulering

## **SAMMANDRAG**

Med trafikolägenheter till följd av vägarbete avses olägenheter som orsakas trafiken på grund av att användningen av vägen begränsas eftersom det förekommer byggnads- eller underhållsarbeten på vägen, vid någon anordning i anknytning till vägen eller någon konstruktion eller anordning i närheten av vägen. En effektiv minskning av olägenheterna förutsätter att man känner till hur de uppkommer och hur stora de är i olika situationer.

Olägenheterna under byggnadstiden består vanligen av ökade tids- och fordonskostnader på grund av vägarbetet. I några utländska utvärderingsmetoder ingår också olyckskostnaderna. Miljökostnaderna ingår däremot inte. Det mest centrala med tanke på en minskning av olägenheterna är att utföra arbetet vid tidpunkter när det förekommer så lite trafik som möjligt.

I Finland finns det inga generella metoder, med vilkas hjälp man på förhand kan bedöma hur stor olägenhet vägarbetet orsakar trafiken. Man har strävat efter att minimera olägenheterna genom att begränsa vägarbetet både vad gäller tidpunkten och varaktigheten. Vägarbete förbjuds t.ex. när trafiken är livlig. På väl planerade arbetsplatser har trafikolägenheterna minimerats även om man inte har utvärderat trafikolägenheterna enligt tidpunkten för utförandet av arbetet.

Utomlands används metoder för utvärdering av olägenheter i olika situationer. Användningsfrekvensen och detaljerna varierar mycket mellan länderna. Till exempel i Storbritannien använder man en metod som kallas för "lane rental" och som styr entreprenörerna att arbeta på tider när olägenheterna är så små som möjligt.

De centrala problemen inom utvärderingen är att vägarbetsplatserna är olika och att man känner dåligt till konsekvenserna av olika trafikregleringar. Exempel på speciella förhållanden är vägarbetsplatsens läge på vägnätet samt anslutningarnas närhet.

En del av denna utredning var en simuleringsstudie, där man utredde hur stora olägenheterna var på tre olika typer av vägarbetsplatser. Som resultat fick man en utvärdering av storleken på olägenheterna i de granskade fallen. Resultaten lämpar sig för en grov uppskattning av olägenheterna.

En av de tre arbetsplatstyperna var beläggningsarbete på en normal tvåfältsväg. Trafiken styrs förbi arbetsplatsen med trafiksignaler. Trafiken använder fältet som är ledigt. När trafiken vid arbetsplatsen uppgår till 300 fordon/timme ökar tids- och fordonskostnaderna med ca 2 300 mark/timme jämfört med normal trafik. Som enhetskostnader använde man Vägverkets enhetskostnader från 1995.

**Key words** road works, user costs, simulation

## **ABSTRACT**

A disruption caused by roadworks is defined as a disruption to traffic resulting from traffic restrictions caused by the construction or maintenance of a road or related structures, or structures or equipment located near the road. The impact of the disruption in economic terms can be effectively reduced only if the contributing factors and the extent of the disruption caused in different situations are known.

Calculations of the disruption occurring during roadworks normally takes account of the increase in time and vehicle operating costs caused by the roadworks, and in some countries outside Finland accident costs are also included. Environmental costs are not considered. Disruption can be best reduced if the roadworks are conducted outside busy periods.

In Finland, advance assessments of the traffic disruption caused by roadworks are not made. Efforts to minimize disruptions include restricting the timing and duration of the work undertaken. At well-managed roadworks, disruptions will be minimized even though the traffic problems caused by the scheduling of the work have not been assessed.

In countries outside Finland, a number of methods are used for assessing the disruption caused in different traffic situations, though the extent to which they are applied varies considerably from country to country. Methods providing contractors with incentives are widely used in Britain, for instance, where the roadworks contractor usually has to pay rent for the lane he has closed because of the roadworks, the amount of rent varying according to the time during which the work is carried out.

Two major problems in assessing the disruptions are the complexity of the phenomena causing them and the individual conditions relevant to each site. For instance, carrying out the work is easier if a detour can be arranged, whereas the proximity of a junction can pose problems.

A simulation study of the amount of disruption caused by three typical roadworks situations was also carried out in conjunction with this report. The simulation gives an approximate idea of the extent of disruption caused by these types of roadworks.

One of the cases examined involves the resurfacing of a two-lane single carriageway road, where one of the lanes is closed and the vehicles from each direction use the available lane alternately, being directed by traffic lights. The amount of traffic passing the site in both directions was 300 vehicles per hour, and the time and vehicle operating costs increased by about FIM 2,300 per hour, compared with the normal situation. The Finnish National Road Administration's unit costs from 1995 were used as a basis.

## ALKUSANAT

Tämä selvitys jakautuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä (luvut 1-5) osassa hahmotetaan käsiteltävää ongelmaa ja tehdään katsaus asiaa koskeviin selvityksiin ja käytäntöihin. Toisessa osassa (luku 6) raportoidaan tämän selvityksen yhteydessä tehty tietyömaiden haittoja käsittelevä simulointitutkimus. Kolmas osa (luku 7) on yhteenveto ja sisältää esityksen periaatteiksi siitä, miten työmailla syntyviä liikennehaittoja tulisi arvioida eräissä tilanteissa.

Raportin on koontanut Tielaitoksen tie- ja liikennetekniikka –yksikössä insinöörioppilas Jukka Lehtinen. Simulointitutkimus on tehty Tielaitoksen toimeksiannosta Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratoriossa, lisenssiaatti Jarkko Niittymäen johdolla. Tutkimustyöryhmään kuuluivat diplomi-insinööri Jouni Ojala ja tekniikan ylioppilas Kaisa Ronkainen.

Tietyömaiden haittojen arviointi –selvitys on osa Tielaitoksen strategista projektia S12 Pääteiden parantamisratkaisut. Tietoja työmaiden liikennehaittoista tarvitaan mm. verrattaessa erilaisia pääteiden parantamisratkaisuja keskenään ja arvioitaessa vaiheittain rakentamisen kannattavuutta.

Helsingissä toukokuussa 2000

*Tielaitos*

*Tie- ja liikennetekniikka*

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
2	TYÖMAALLA SYNTYVÄT HAITAT	9
2.1	Ajokustannusten muutokset työmaiden kohdalla	9
2.1.1	Aikakustannukset	9
2.1.2	Ajoneuvokustannukset	10
2.1.3	Onnettomuuskustannukset	10
2.1.4	Ympäristökustannukset	13
2.2	Häiriötilanteet	14
2.3	Työnaikaisten väylien kunto	14
3	ARVIOINTIKÄYTÄNNÖT JA TYÖMAIDEN HAITTOJA KOSKEVAT TUTKIMUKSET SUOMESSA	15
3.1	Arvioinnin nykytila Suomessa	15
3.2	Toteutettuja arviointeja ja sovelluksia	15
3.3	Aihetta käsittelevä tutkimus	17
3.4	Liikenteelle aiheutuvista haitoista perittävät korvaukset rautateillä	18
4	ULKOMAISET ARVIOINTIMENETELMÄT JA TUTKIMUKSET	20
4.1	Pohjoismaat	20
4.2	Saksa	20
4.3	Englanti	22
4.4	Yhdysvallat	24
4.4.1	Ohjelmistoja	24
4.4.2	Indianan malli	27
5	YHTEENVETO NYKYTILANTEESTA	30
6	SIMULOINTITUTKIMUS	31
6.1	Tutkimuksen tavoite	31
6.2	Tietyömaalla syntyvät liikennehaitat	31
6.2.1	Tarkastelunäkökulma	31
6.3	Menetelmän kuvaus	32
6.3.1	Liikenteen simulointi	32
6.3.2	Ajoneuvo- ja aikakustannusten laskenta	36
6.4	Tarkasteltavat kohteet	37
6.4.1	Painuman korjaus	37
6.4.2	Päällystystyö	38
6.4.3	Kiertotie	39
6.5	Tulokset	40
6.5.1	Painuman korjaus	40
6.5.2	Päällystystyö	43
6.5.3	Kiertotie	48
6.6	Päätelmät	52

---

7	ARVIONTIOHJE KOLMEEN TAPAUKSEEN	53
7.1	Johdanto	53
7.2	Kaikkia tilanteita koskevat ohjeet	53
7.3	Tapauskohtaiset arvioinnit	55
7.3.1	Kaistan sulkeminen kaksiajorataisella tiellä	55
7.3.2	Kaksikaistaisen tien päällystystyömaa	56
7.3.3	Kaksikaistaisen tien kiertotie	59
	KIRJALLISUUSLUETTELO	62
	LIITTEET	65

---



## 1 JOHDANTO

Tietyöt aiheuttavat jatkuvasti liikenteelle erilaisia haittoja. Haitoiksi voidaan lukea työmaan aiheuttamat viivytykset, kasvaneet pakokaasupäästöt ja polttoaineen kulutus sekä tienkäyttäjien heikentynyt ajomukavuus. Viimeistä lukuun ottamatta edellä mainittujen haittojen suuruus voidaan määrittää tietyllä tarkkuudella. Tämän selvityksen tarkoituksena on selvittää, mitä liikennehaittoja työmailla syntyy, kuinka suurina ne ovat ja miten niitä tulisi erilaisissa tilanteissa arvioida.

Työmailla syntyvien liikennehaittojen arviointi on vaikea tehtävä, koska jokainen työmaa on erilainen ja niiden toimintaan vaikuttavia tekijöitä on paljon. Jokainen työmaa myös sijaitsee liikenteellisesti erilaisessa paikassa. Eroja on esimerkiksi liikennemäärissä, vaihtoehtoisten reittien tarjonnassa ja tien tyypissä (kaistojen lukumäärä yms.).

Liikennemäärien kasvaessa ja liikennejärjestelmän tehokkuusvaatimusten tiukentuessa tarve arvioida työmaan haittoja on kasvanut. Työmaat tulisi pyrkiä järjestelemään niin, että kohtuuttomia haittoja ei synny.

Tiehankkeiden taloudellisuustarkasteluissa ei tällä hetkellä yleensä oteta huomioon hankkeiden rakennusaikana syntyviä haittoja sopivan menetelmän puuttuessa. Tilanteesta riippuen työnaikaiset haitat voivat olla hyvinkin merkittäviä ja niiden jättäminen pois väärin tarkastelua.

## 2 TYÖMAALLA SYNTYVÄT HAITAT

Tietyömaalla syntyvien haittojen kustannukset voidaan jaotella kuten tiehankkeiden vaikutusarviointilaskelmissa. Haitoista aiheutuvat kustannukset jaetaan aika-, ajoneuvo-, onnettomuus- ja ympäristökustannuksiin.

Tietyömaa vaikuttaa sen läpi kulkevaan liikenteeseen. Pääsääntöisesti vaikutukset ovat haittoja. Erilaisten haittojen yhteisvaikutuksen selvittämiseksi on eri haittakomponenteille määritelty yksikkökustannukset, joiden avulla tietyssä kohteessa syntyvistä haitoista saadaan helpommin kokonaiskuva.

Luvuissa 2.1 – 2.4 on käsitelty kustannuskomponenteittain työmaista aiheutuvia haittakustannuksia.

### 2.1 Ajokustannusten muutokset työmaiden kohdalla

#### 2.1.1 Aikakustannukset

Aikakustannukset ovat helpoiten mielletävä työmaista aiheutuva haitta. Viivytysten määrittäminen on helppoa tapauksissa, joissa pystytään määrittämään ajoneuvojen käyttämät nopeudet työmaan läpi ajettaessa. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi työt, jotka eivät vaikuta välityskykyyn merkittävästi ja sijaitsevat vähäisen liikenteen väylällä.

Kaksikaistaisen tien päällystystöissä ja muissa sellaisissa töissä, joissa liikenne joudutaan pysäyttämään välillä kokonaan, aikakustannusten laskeminen on vaikeampaa.

## 2.1.2 Ajoneuvokustannukset

### Polttoainekustannukset

Työmaat aiheuttavat yleensä lisääntyvää polttoaineen kulutusta. Tämä johtuu nopeudenmuutoksista, pienellä nopeudella ja pienellä vaihteella ajamisesta sekä mahdollisesta tyhjäkäynnistä. Työmaan aiheuttama polttoaineen kulutuksen lisäys aiheutuu samasta syystä kuin ruuhkassa ajettaessa. Ajoneuvotiheyden kasvaessa vuorovaikutukset ajoneuvojen välillä kasvavat, mistä aiheutuu kiihdytyksiä ja jarrutuksia, joita vapaissa olosuhteissa ei tapahtuisi.

On myös mahdollista, että polttoainekustannukset ovat työmaan aikana pienemmät kuin vertailutilanteessa. Näin voi käydä esimerkiksi tilanteissa, joissa työmaan läpi kulkeva liikenne ajaa tasaisella nopeudella, joka on polttoaineen kulutuksen kannalta lähempänä optimaalista nopeutta kuin vertailutilanteen nopeus.

### Muut ajoneuvokustannukset

Muita ajoneuvokustannuksia ovat korjaus-, huolto- ja voitelukulut, rengaskulut, ylläpito- ja hallintokulut ja pääomakulut. Näiden kustannusten lisäyksen suuruus riippuu voimakkaasti ajoradan pinnan kunnosta. Esimerkiksi sorapintaisen kiertotien käyttö kasvattaa rengaskustannuksia rikkoontuneiden renkaiden muodossa.

Voidaan arvioida, että muut ajoneuvokustannukset lisääntyvät samassa suhteessa kuin polttoainekustannukset.

Tielaitos korvaa vuosittain jonkin verran työmailla tapahtuneista ajoneuvovaurioista aiheutuneita kustannuksia. Yleisin vaurion aiheuttava tekijä on irtokivi, joka vaurioittaa ajoneuvon tuulilasia tai renkaita. Tielaitoksen ilman oikeuskäsittelyä maksavien korvausten yhteissumma on noin miljoona markkaa vuodessa. Tarkkaa tietoa vuosittaisista kokonaissummista ei ole, koska osa korvauksista maksetaan vasta oikeuskäsittelyn perusteella. Muihin työmaista aiheutuneisiin haittoihin nähden summa on pieni.

## 2.1.3 Onnettomuuskustannukset

Työmaa-alueiden liikenneturvallisuuden tason arviointi on vaikeaa. Arvioinnissa tarvittavat tiedot sijaitsevat monessa eri tietolähteessä ja kattavia tietoja ei ole olemassa. Onnettomuusrekisteristä voidaan poimia työmaan kohdalla tapahtuneet onnettomuudet ja laskea erilaisten onnettomuuksien määrät. Onnettomuusrekisteriin työmaan kohdalla sattuneisiin onnettomuuksiin kirjataan kaikki onnettomuudet, jotka tapahtuvat työmaaksi liikennemerkein

osoitetulla tien osalla. Jotta voitaisiin laskea työmaiden onnettomuusasteita, tulisi lisäksi olla käytettävissä tietoja ainakin työmaiden sijainnista, vaikutusalueesta, kestosta ja läpikulkevan liikenteen määrästä. Näitä tietoja ei ole saatavilla.

Tämän selvityksen yhteydessä pyydettiin tiepiireiltä vuosina 1996-1998 tiettyömaiden kohdalla sattuneiden liikenneonnettomuuksien onnettomuusilmoitukset. Ilmoitusten perusteella ei tehty tilastollista analyysiä työmaa-alueiden riskistä, vaan pyrittiin muodostamaan käsitys seuraavista asioista:

1. Kuinka paljon tilastoidaan työmaan kohdalla tapahtuvia onnettomuuksia, joissa voidaan olettaa, että työmaa ei ole vaikuttanut onnettomuuteen?
2. Onko työmaan kohdalla tapahtuneista onnettomuuksista löydettävissä yhteisiä tekijöitä?
3. Kasautuvatko onnettomuudet työmailla tiettyihin työmaan osiin (esimerkiksi heti työmaan alkuun tai loppuun)?

Läpi käydystä onnettomuusaineistosta voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Suuri osa tiettyömaan kohdalla tapahtuneista onnettomuuksista ei johdu suoranaisesti työmaalla tehtävästä työstä, siellä liikkuvista työkoneista tai työmaan henkilöstöstä. Myöskään tien pinnan epätasaisuus tai tien geometria ei selitä tapahtuvia onnettomuuksia kovinkaan usein.
- Jonkin verran tapahtuu onnettomuuksia, jotka aiheutuvat, kun kuljettajat eivät ole varautuneet kohtaamaan tavallisuudesta poikkeavaa tilannetta tiellä. Tämän tyyppisiä onnettomuuksia tapahtuu kokemattomille ja ikääntyneille kuljettajille ja alkoholin tai huumausaineiden vaikutuksen alaisuudessa ajaville. Sinkoutuneista kivistä aiheutuneet peltivauriot aiheutuvat usein kohtaamis- tai ohitustilanteissa sorapintaisella tiellä, kun kuljettaja on ajanut ylinopeutta.
- Onnettomuuksien kasautumisesta käsitellyn aineiston perusteella ei voida tehdä pitäviä päätelmiä. Ensinnäkin ilmoituslomakkeista ei muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta selviä, minkälaisissa olosuhteissa onnettomuus on tapahtunut. Tietoa ei ole esimerkiksi siitä, onko kaistoja suljettu tai kavennettu, miten liikenteen ohjaus on järjestetty, onko onnettomuushetkellä työmaalla tehty töitä ja onko kyseessä esimerkiksi päällystystyömaa vai jokin muu työmaa. Aineistosta kuitenkin löytyy viitteitä siitä, että ongelmallisimpia ovat tilanteet, joissa liikenne joudutaan pysäyttämään, kaistoja vähennetään ja missä työkone tai työmaahenkilöstö työskentelee ajoradalla.
- Työmaan turvallisuustason ja nopeusrajoituksen välistä riippuvuutta aineistosta ei selviä. On selvää, että onnettomuuksien vakavuus pahenee kun nopeustaso nousee.

Seuraavassa on esitelty vaihtoehtoja miten onnettomuuskustannuksiin voidaan työmaiden haittojen arvioinnissa suhtautua:

1. Onnettomuusaste oletetaan samaksi kuin vertailutilanteessa

Onnettomuuskustannukset samat kuin ennen tilanteessa. Tarkoittaa, että onnettomuusriski oletetaan samaksi tiellä ennen työmaata.

2. Onnettomuuskustannukset arvioidaan kertomalla normaalitilanteen onnettomuusaste sopivalla kertoimella.

Tulee määritellä työmaiden riskiä normaalitilanteeseen kuvaava kerroin. Kerroin voi vaihdella työmaan tyyppin mukaan tai se voi olla kiinteä. Kiinteää kerrointa käyttämällä päästäneen lähelle todellista tilannetta jos tarkastellaan onnettomuusastetta työmailla yleensä. Koska kuitenkin tarve on arvioida nimenomaan tiettyä työmaata, jolla on tietyt ominaisuudet (liikennemäärä, nopeustaso, geometria jne.) lienee perustellumpaa käyttää ominaisuuksiin sidottua kerrointa.

3. Onnettomuustarkastelu tehdään jokaisella arvioitavalla työmaalla erikseen

Tarkastelun tueksi tulee laatia riittävän tarkat ”referenssit” eli esimerkkiedotot suositeltavista onnettomuuskustannusten arvoista eri tilanteissa. Tiedostojen teko hankalaa, ja vaatisi nykyistä tarkempaa seurantaa.

Vuosina 1993-97 työmaiden kohdalla tapahtui yhteensä 276 henkilövahinkoon johtanutta onnettomuutta joissa kuoli 18 henkilöä. *Taulukossa 1* on esitetty työmaan kohdalla tapahtuneet henkilövahinko-onnettomuudet, sekä niissä kuolleet ja loukkaantuneet vuosittain.

*Taulukko 1. Vuosina 1993-1997 tietyömaiden kohdalla tapahtuneet henkilövahinko-onnettomuudet (Lähde: Onnettomuusrekisterin palvelutiedosto).*

	<i>Henkilövahinko-onnettomuudet</i>	<i>kuolleet</i>	<i>loukkaantuneet</i>
1993	71	6	89
1994	61	5	87
1995	58	3	84
1996	44	1	70
1997	42	3	71
Yhteensä	276	18	401

Kuten edellä on mainittu pelkkien tapahtuneiden onnettomuuslukujen valossa ei työmaiden onnettomuusriskistä voida sanoa mitään.

## 2.1.4 Ympäristökustannukset

### Pakokaasupäästöt

Tiehankkeita tarkasteltaessa kiinnitetään ympäristökustannuksissa huomiota pakokaasupäästöjen ja melun aiheuttamiin kustannuksiin. Työmaat muuttavat useimmassa tapauksessa näitä molempia ympäristökustannuksia.

Pakokaasujen aiheuttamia kustannuksia voidaan arvioida tekemällä työmaalla muodostuviin ajosykleihin perustuvia tarkasteluita. Kuten muissakin kohdissa, tässäkin ongelmaksi muodostuu työmaan ominaisuuksien, liikennemäärän ja ajosyklin riippuvuuksien määrittäminen.

Päästöjä voidaan arvioida erilaisilla päästömalleilla. Päästömallit voidaan jakaa tarkastelutavan mukaan kolmeen luokkaan:

1. *Mikrotason malleja* käytetään yksityiskohtaisissa päästötarkasteluissa ja määritettäessä karkeamman tason päästökertoimia. Malleja käytetään myös karkeamman tason mallien päästökertoimien määrittämiseen. Kehittynyt mikrosimulointi mahdollistaa päästöjen mikrotason tarkastelun.
2. *Paikallistason malleja* käytetään tieosuuden ja liittymän päästöjen määrittämiseen. Paikallistason päästömallien avulla lasketaan ajosyklien perusteella.
3. *Makrotason malleja* käytetään tieverkon tai alueen päästöjen laskemiseen. Päästöt lasketaan liikennesuoritteiden ja liikenteen keski- tai matkanopeuden perusteella.

Työmaiden päästöjen tarkasteluun sopii parhaiten paikallistason malli. Työmaata voidaan monessa tapauksessa käsitellä kuten liittymää, joskin työmailla on myös tekijöitä, jotka tekevät liittymätyyppisen tarkastelun hankalaksi.

### Melu

Tietyömaan vaikutus liikennemeluun riippuu samoista tekijöistä kuin teillä yleensäkin. Meluun vaikuttavat muun muassa ajonopeudet, ajonopeuden muutokset, liikennemäärä ja tien päällyste.

Ajoneuvojen ajosykleille työmaan kohdalla on tyypillistä, että työmaalle saapuessaan ajoneuvot hiljentävät nopeuttaan, ajavat työmaalla alennetulla nopeudella ja työmaan jälkeen nostavat nopeutensa tavoitenoiteensa, mikäli se on liikennetilanteen puolesta mahdollista. Kuten edellä on todettu, ajosyklit työmaalla vaihtelevat huomattavasti eri tekijöistä johtuen.

Melun haittavaikutus riippuu siitä kärsivien ihmisten määrästä ja meluhaitan kestosta. Kaupunkiseuduilla meluhaitat ovat huomattavasti merkittävämpi ongelma kuin harvempaan asutulla maaseudulla.

On huomattava, että tässä selvityksessä ei kiinnitetä huomiota työkoneiden mahdollisesti aiheuttamaan meluun ja ääriään.

Työmaan aiheuttamien meluhaittojen arvioiminen ja sisällyttäminen haittakustannuksiin ei ole perusteltua, ellei työmaan lähistöllä ole huomattavan paljon melusta kärsiviä ja työmaan kesto ole huomattavan pitkä. Tällaisissa tapauksissa meluhaitta kannattanee arvioida tapauskohtaisesti.

## 2.2 Häiriötilanteet

Onnettomuusriskiin liittyy läheisesti myös kysymys siitä, tulisiko arvioida todennäköisyyttä sille, kuinka usein jokin poikkeava tilanne (onnettomuus, ajoneuvovaurio) aiheuttaa haittaa liikenteelle. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi kun vilkasliikenteisellä tiellä toisen suunnan ainut kaista on suljettu onnettomuuden seurauksena. Tällaisen poikkeava tilanne voi syntyä pienkin liikennevahingon seurauksena.

Häiriöistä aiheutuva haitta voidaan huomioida aikakustannuksissa lisäämällä normaalisti toimivan työmaan aiheuttamiin aikakustannuksiin tietyn suuruinen ”häiriölisä”. Lisän suuruuden määrittäminen edellyttäisi seurantaan tyypillisillä työmailla tapahtuvien häiriöiden tiheydestä ja vaikutuksista.

## 2.3 Työnaikaisten väylien kunto

Tietyön aikana liikenne ohjataan usein vain lyhyt aikaista käyttöä varten rakennetuille väylille, joiden kunto voi olla puutteellinen. Yleisimmät puutteet liittyvät päällysteen tasaisuuteen. Huono kunto voi aiheuttaa ainakin ajomukavuuden heikkenemistä ja mahdollisesti lisääntyviä ajoneuvokustannuksia. Tällaisten haittojen arviointi yleisesti on kuitenkin hankalaa. Lähtökohtana täytyy pitää sitä, että tie pidetään liikennöitävässä kunnossa siten, että tien kunto ei saa aiheuttaa vaaratilanteita.

### **3 ARVIINTIKÄYTÄNNÖT JA TYÖMAIDEN HAITTOJA KOSKEVAT TUTKIMUKSET SUOMESSA**

#### **3.1 Arvioinnin nykytila Suomessa**

Suomessa ei ole käytössä menetelmää työmaiden liikenne haittojen arviointiin, joka olisi yleisesti käytössä. Yksittäisissä kohteissa haittoja on kuitenkin arvioitu. Tämä ei kuitenkaan ole ollut systemaattista, johonkin tiettyyn menetelmään perustuvaa arviointia. Haittojen arvioinnissa on kiinnitetty huomiota pääosin aikakustannuksiin.

Työmailla joudutaan usein tekemään kiertoteitä ja poikkeuksellisia liikenteenohjaustoimenpiteitä. Tehtäessä päätös edellä mainituista asioista on takana aina jonkinlainen arvio toimenpiteen vaikutuksista liikenteeseen. Arvio voi perustua aikaisempiin kokemuksiin tai se voi olla arvaus. Liikennejärjestelyistä vastaava ei itse välttämättä miellä tekevänsä ratkaisuita arvion pohjalta.

Tielaitoksen vuonna 1991 julkaisema ohje Liikenne tietyömaalla sisältää ohjeet liikenteen ohjauksesta työmaalla. Yksityiskohtaiset liikennejärjestelyt suunnitellaan yleensä vasta toteuttamisen yhteydessä. Suunnittelussa kiinnitetään yleensä huomiota aukiolevien kaistojen lukumäärään, mutta niiden geometriaa tai muita liikenteen välityskykyyn vaikuttavia tekijöitä ei välttämättä tarkastella. Käytännön toteutuksessa korostuu liikenteen ja työmaan turvallisuus, jotka on jo aikaisemmin mielletty tärkeiksi. Tielaitoksen ohjeessa määritellään myös minkälaisilla liikennemäärillä tarvitaan liikenteen ohjaustoimenpiteitä.

Tielaitos ja Kuntaliitto on julkaissut ohjeita miten työnaikaiset liikenne järjestelyt tulisi hoitaa. Tielaitos painottaa ohjeessaan tiemäisen väylän ja kuntaliitto katumaisen väylän työmaita. Merkittävä ero näiden kahden ympäristön välillä on siinä, että katuverkossa on usein tarjolla luontaisia kiertoreittejä.

#### **3.2 Toteutettuja arviointeja ja sovelluksia**

Kehä I:n ja Tuusulantien liittymän työmaata suunniteltaessa käytiin läpi erilaiset vaihtoehdot toteuttaa työmaan liikenteenohjaus ja mitä vaikutuksia erilaisilla ratkaisuilla uskottiin olevan. Siellä yritettiin etukäteen liikennemäärätietojen perusteella arvioida aiheutuvia haittoja. Arvioinnin perusteella työnaikaista liikenteen ohjausta kehitettiin haittojen minimoimiseksi. Työmaan valmistumisen nopeuttamiseksi Kehä I muutettiin noin vuoden ajaksi 1+1 –kaistaiseksi normaalin 2+2 –kaistaisuuden sijaan.

Uudenmaan tiepiiri teetti työmaan valmistuttua tutkimuksen (Tielaitos 1999a), jossa verrattiin toisiinsa valittua järjestelyä ja muita mahdollisia järjestelyitä syntymisen viivytyksen kannalta. Tuloksista voidaan mainita seuraavat asiat:

- Kehä I:n liikenteelle työmaa aiheutti 36 miljoonan markan lisääntyneet aikakustannukset,
- mikäli työmaan aikana Kehä I olisi ollut koko ajan kaksikaistainen, viivytykset olisivat olleet huomattavasti pienempiä, mutta työmaan kesto olisi pidentynyt noin vuodella ja
- ruuhka-aikana Kehä I:llä Tuusulan väylän kohdalla yhden minuutin viivytys arkipäivänä aiheuttaa aikakustannuksia noin 350 000 mk kuukaudessa.

Kehä I:n tutkimuksen yhteydessä tutkittiin myös Länsiväylän meluestetyömaan ja Hämeenlinnan moottoritien päällystystyömaan aiheuttamia aikakustannuksia.

Vt 4:n SRRK -urakassa Järvenpään ja Lahden välillä työmaan liikenteelle aiheutuneita haittoja minimoitiin määräämällä urakoitsijalle sanktioita, jos liikenne jouduttiin työn takia pysäyttämään sovittua pidemmäksi ajaksi. Ilman sanktiota liikenteen sai pysäyttää korkeintaan kymmeneksi minuutiksi. Ylimenevältä osalta urakoitsija maksoi sakkoa, joka kasvoi ajan pidentyessä. Puoli tuntia kestänyt katkos maksoi urakoitsijalle 30 000 – 40 000 markkaa. Käytetty järjestely ohjasi urakoitsijaa tekemään työn mahdollisimman vähäisin liikenteelle aiheutuvien haittojen. Sanktiota määrättäessä ei kuitenkaan pyritty arvioimaan liikenteelle aiheutuvaa haittaa. Kokemusten perusteella kymmenen minuuttia todettiin liian lyhyeksi ajaksi, jonka liikennettä voi sanktioita seisottaa. Käynnistymässä olevan SRRK -urakan Porvoo – Loviisa kohdalla tullaan käyttämään saman tapaisia menetelmiä. Lahden moottoritien hoidossa tullaan jatkossa käyttämään ns. kaistan vuokraus –menettelyn (engl. lane rental) tapaista menetelmää. Menettelyä ei kuitenkaan tulla käyttämään päällystystöissä.

Lane rental –menettelyssä urakoitsijan käyttäessä tien kaistaa tien kunnossapidon aikana, maksaa se vuokraa käyttämästään kaistatilasta suljetun osan pituuden ja keston mukaan. Vuokrahintaan vaikuttaa myös työn ajan kohta. (Herbsman & Charles 1998).

Edellä kuvatuille menetelmille on yhteistä se, että ne pyrkivät minimoimaan haittoja. Urakoitsijan maksaman sanktion suuruus kasvaa haitan kasvaessa, mutta ei suoranaisesti riipu haitan määrästä. Sanktioiden hinnoittelu ei perustu liikenteeseen kohdistuvien haittojen suuruuteen vaan ne arvioidaan karkeasti.

Lahden moottoritieellä urakoitsijaa ohjattiin myös liikennemäärään sidotun palkkion avulla. Mitä enemmän työ haittaa liikennettä, sitä enemmän autoilijat todennäköisesti käyttävät muita reittejä ja urakoitsijan palkkio jää pienemmäksi. Menetelmän ei kuitenkaan arveltu käytännössä ohjaavan urakoitsijaa halutulla tavalla, koska väylällä liikkuvien ajoneuvojen määrään sidottu palkkio oli pieni. Jos palkkio olisi suurempi, kannattaisi urakoitsijan pitää tie mahdollisimman hyvässä kunnossa, jotta muualle siirtyvän liikenteen osuus olisi mahdollisimman pieni. Etenkin Lahdentien tyyppisissä tapa-



uksissa, joissa liikenteelle on tarjolla mielekäs vaihtoehtoinen reitti, tämä menetelmä saattaisi toimia hyvin.

### 3.3 Aihetta käsittelevä tutkimus

Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratorio tutki Espoossa kantatiellä 51 (Länsiväylä) sijainneella työmaalla kaksiajorataisen tien liikennevirtaa työmaan kohdalla. Työmaalla kaistoja oli käytössä kaksi kumpaankin suuntaan, kuten tienkohdassa normaalitilanteessakin on. Työmaan takia molempien suuntien kaistoja jouduttiin siirtämään keskikaistasta pois päin, jolloin työmaa-alueen alkuun ja loppuun syntyi sivuttaissiirtymä. Nopeusrajoitus työmaan kohdalla oli 50 km/h normaalin 80 km/h sijaan. *Taulukossa 2 on esitetyt mitatut välityskyvyn arvot.* (Enberg & Mannan 1998).

*Taulukko 2. Länsiväylällä mitatut välityskyvyn arvot työmaalla. Kaistoja käytössä 2+2 (Enberg & Mannan 1998). On huomattava, että kaistojen yhteenlaskettu välityskyky on suurempi kuin peruskaistalla ja ohituskaistalla havaittujen maksimivälityskykyjen summa. Tämä johtuu siitä, että molempien kaistojen maksimivälityskyky on voitu saavuttaa tilanteessa, jossa toisella kaistalla välityskykyä ei ole saavutettu.*

<i>Kaista</i>	<i>Välityskyky [ajon./h]</i>
<i>peruskaista</i>	1576-1636
<i>ohituskaista</i>	1982-1828
<i>molemmat yhteensä</i>	3057-3380

Tielaitoksen tie- ja liikennetekniikka -yksikössä tehtiin huhtikuussa 1998 välityskykymittaus Kehä I:n työmaalla, jossa molempien suuntien liikenne ohjattiin normaalin kahden kaistan sijaan yhdelle. Suurin 15 minuutin jaksossa havaittu mittauspisteen liikennemäärä oli 1456 ajon./h. (Tielaitos 1998). Tulosta on verrattu muihin välityskykymittausten tuloksiin liitteessä 1.

Uudenmaan tiepiiri teetti liikenteen sujuvuutta tietyömailla käsittelevän selvityksen. Selvityksen tavoitteita oli käydä läpi koti- ja ulkomaisia vilkasliikenteisten väylien työmaiden suunnitteluohjeet ja –käytännöt liikenteen kannalta, tehdä kirjallisuustutkimus tietyömaiden liikenteen sujuvuudesta, testata HUTSIM -ohjelman ominaisuuksia työmaiden liikenteelle aiheuttamia viivytyksiä arvioitaessa ja arvioida työmailla syntyvien aikakustannusten suuruusluokka. Selvityksessä on kuvattu lyhyesti Saksan, Ruotsin ja Iso-Britannian ohjeet liikenteen työnaikaisen sujumisen takaamiseksi. (Tielaitos 1999a).

Uudenmaan tiepiirin teettämän selvityksen tavoite sivuaa tämän työn tavoitetta. Tämän työn tarkastelut keskittyvät sujuvuustarkasteluiden lisäksi haittojen arviointiin.

Liikenteen sujuvuus työmaalla –selvityksessä arvioitiin kahden työmaan liikenteelle aiheuttamia aikakustannuksia. Pakinkylän eritasoliittymätyömaalla

aiheutui Kehä I:n liikenteelle vuoden aikana viivytyksiä yhteensä 36 miljoonaa markkaa ja Länsiväylän meluestetyömaalla aikakustannuksia syntyi vuodessa 7,6 miljoonaa markkaa (Tielaitos 1999a).

Tielaitoksen kesän 1998 palvelutasotutkimuksessa selvitettiin myös autoilijoiden mielipiteitä tietyömaiden järjestelyihin. Kyselyssä vastaajat arvioivat erilaisten palvelusotekijöiden tärkeyttä ja tämänhetkistä tasoa.

Työmaiden liikennejärjestelyjä koskevat arviointikohteet olivat:

- liikennejärjestelyiden selkeys tietyömailla,
- liikenteen sujuvuudesta ja mahdollisista häiriöistä tiedottaminen,
- tietöiden ajoitus ruuhka-aikojen ulkopuolelle ja
- liikenteen sujuvuus tietyöalueella.

Tärkeimpänä pidettiin liikennejärjestelyiden selkeyttä ja tiedottamista. Näissä myös tienpitäjän koettiin onnistuneen. Tietöiden ajoittamiseen ja sujuvuuteen työmailla ei oltu tyytyväisiä, mutta näitä tekijöitä ei myöskään pidetty erityisen tärkeinä. Tutkimuksen johtopäätöksissä on myös kiinnitetty huomiota siihen, että ryhmä ei-autoilijat antoivat huonoimman arvosanan liikenteen sujuvuudesta tietyömailla. Tämä voisi viitata siihen, että jalan- ja polkupyörällä liikkuviin ei työmaiden järjestelyissä ole kiinnitetty huomiota. (Tielaitos 1999b)

### **3.4 Liikenteelle aiheutuvista haitoista perittävät korvaukset rautateillä**

Rautateillä on Suomessa käytössä menettely, jonka mukaan Ratahallintokeskus radanpitäjänä perii ratatöitä tekevältä urakoitsijalta korvauksia junaliikenteelle aiheutuvan haitan perusteella. Haitan aiheuttamisesta perittävät maksut eivät perustu liikenteeseen kohdistuvien haittojen systemaattiseen arviointiin. (Ojanperä 2000.)

Ratatöistä aiheutuvat rautatieliikenteeseen kohdistuvat haitat eroavat tieliikenteen vastaavista monestakin syystä:

- Rautateillä liikenne on pääosin aikataulun mukaista. Pienet työt voidaan tehdä ajankohtana, jolloin liikennettä ei ole.
- Toistaiseksi radoilla liikennöi vain yksi operaattori. Poikkeustilanteiden järjestelyistä on helppo sopia, kun osapuolia on vähän. Tämä tullee muuttamaan rautatieliikenteen kilpailun alettua.
- Rataverkko on pääosin yksiraiteinen ja rataverkko harva. Työmaan tai muun syyn takia katkaistun radankohdan ohittaminen ei junakalustolla onnistu. Ratatyön kiertäminen edellyttää jonkun toisen liikennemuodon käyttämistä.

- Erilaiset sähköistys ja turvalaiteet asettavat lisähaasteita. Esimerkiksi virroitettun johtimen alla ei voida työskennellä, mutta sähköjunan ohittaessa työmaan on virta kytkettävä.

Ratahallintokeskus on määrittänyt hinnat mm. seuraaviin tapauksiin. Suluisa on esimerkkejä tarkemmista kriteereistä. (Ratahallintokeskus 1997.)

1. Jännitekatkon järjestäminen.
2. Sähkövetoisen junan muuttaminen dieselveturiksi.
3. Vakinaisen junan korvaaminen lisäjunalla.
4. Dieselveturin käyttö (käytetään esimerkiksi junan työntämiseen jännitteettömän osuuden yli).
5. Junan nopeuksien alentaminen (korvaussumma määräytyy prosentuaalisen nopeuden alenemisen perusteella).
6. Junan kulun myöhästyminen (henkilöliikenne: vähäinen/suuri haitta, suuri jos jatkoyhteydet katkeavat).

Koska radan pitäminen liikennöitävässä kunnossa edellyttää jatkuvaa radan kunnossapitoa, on Ratahallintokeskus määritellyt työstä aiheutuville haitoille tason joka saa täytyä. Jos urakoitsija pystyy tekemään Ratahallintokeskuksen määrittelemät työt vähemmin haitoin, saa urakoitsija bonusta alituksen verran. Jos taas haitat ylittävät määritellyn tason, maksaa urakoitsija ylimenevän osan verran korvauksia. (Ojanperä 2000.)

## 4 ULKOMAISET ARVIOINTIMENETELMÄT JA TUTKIMUKSET

Tässä luvussa esitellään ulkomaisista arviointimenetelmistä ja tutkimuksista joiden tarkoitus on selvittää työmailla syntyviä haittoja. Eri lähteistä poimittuja arvioita työmaa-alueen välityskyvyn arvoista on koottu liitteeseen 1.

### 4.1 Pohjoismaat

Pohjoismaissa ei ole käytössä yleisesti käytössä olevia menetelmiä. Yksittäisiä hankkeita on tarkasteltu, mutta ei vakiintunein menetelmin. Menetelmien valintaan vaikuttavat hankkeen suunnittelussa käytetyt menetelmät.

Norjassa on työn alla ohje tilanteisiin, jossa kapasiteettia joudutaan pienentämään työmaan takia.

Tanskassa Kööpenhamina - Helsingör –tiehankkeen aiheuttamia haittoja arvioitiin laskemalla haittoja jälkikäteen. Tulos arvioitiin oikean suuntaiseksi. Työnaikaisten liikennehaittojen arviointia on pidetty erittäin vaativana. Arviot jonon pituuksista ja viivytyksistä ovat hyvin herkkiä ja vaatisivat kehittyneempiä menetelmiä kuin nykyisin on käytössä.

Ruotsissa VTI teki EU:n Arrows –projektin liittyen kirjallisuustutkimuksen liikennekäyttäytymisestä työmaa-alueella.

### 4.2 Saksa

Saksan tielaitos tutki moottoriteiden tietyömaita yhdeksänkymmentäluvun alussa (BAST 1995). Tavoitteena oli selvittää työmaiden liikenteen välityskykyä ja miten eri tekijät vaikuttavat siihen. Tutkimuksessa tehtiin kenttämittauksia 17:lla työmaalla. Kenttämittaukset käsittivät nopeus- ja liikennemäärämittauksia sekä satunnaisesti valittua ajoneuvoa seuraamalla tehtyjä mittauksia. Tutkimuksessa mukana olevilla työmailla nopeusrajoitus oli tavallisesti 80 km/h ja poikkeustapauksissa 60 km/h. Tutkimuksessa verrattiin myös työmaan aikaisia onnettomuuslukuja normaalitilanteen onnettomuuslukuihin.

Tutkimuksessa saatuja keskeisiä tuloksia olivat:

- Kun kahden kaistan levyinen ajorata kapenee yhdeksi välityskyky oli 1300 ajoneuvoa tunnissa. Raskaiden ajoneuvojen osuus kaikista ajoneuvoista oli 20-30 %. Tulos on sopusoinnissa aikaisempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan välityskyky on 1400 ajon./h noin puolet pienemmällä raskaiden ajoneuvojen määrällä.
- Työmaalla tapahtui onnettomuus noin 20 kertaa useammin normaalitilanteeseen verrattuna.
- Työmaakohdan poikkileikkausliikennemäärän ollessa alle 30 000 ajon./vrk ei työmaa aiheuttanut merkittäviä viivytyksiä.

- 60 km/h nopeusrajoitusta tulisi käyttää tilanteissa, joissa kaistaleveys on pienempi kuin 3,25 m.

Moottoriteillä pyritään säilyttämään kaistojen lukumäärä työmaan kohdalla ennallaan, mikä johtaa kaistojen kaventamiseen. Kaistojen määrää voidaan vähentää, jos maksimituntien liikennemäärät ovat alle 1500 ajon./h/kaista (kaksikaistainen ajorata) tai alle 3000 ajon./h/suunta (kolmekaistainen ajorata).

Saksassa on arvioitu erilaisten tietöiden aiheuttamien liikennehaittojen kustannukset erilaisilla väylillä erilaisin kaistajärjestelyin. Arviointimenetelmästä ei ole tietoa. Laskelmien tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa 3. Liikennemäärät ovat Suomen olosuhteisiin soveltamista ajatellen suuret ja osa kaistajärjestelyistä ylimitoitettuja Suomen olosuhteisiin.

*Taulukko 3. Työmaasta aiheutuneiden haittojen kustannukset liikennemäärän ja kaistajärjestelyn mukaan moottoriteillä Saksassa. Kaistajärjestelyt on ilmaistu merkinnällä [kaistojen lkm ajoradalla 1 + kaistojen lkm ajoradalla 2]. Jos avoinna on parillinen määrä kaistoja, on kumpaankin suuntaan avoinna sama määrä kaistoja. Merkintä n kaistamäärää ilmaisevan luvun perässä kertoo, että avoinna on normaali määrä kaistoja. Merkintä s ilmaisee, että kaistaleveyttä on kavennettu. Esimerkiksi merkintä 3s+1 tarkoittaa, että toisella ajoradalla on käytössä kolme tavallista kapeampaa kaistaa ja toisella ajoradalla on käytössä yksi kaista.*

DTV-Klasse (Kfz/24 h)	Verkehrsführung				
	2+0 <sup>1</sup> (DM/d)	1+1 <sup>1</sup> (DM/d)	2n+1 <sup>1,2</sup> (DM/d)		
< 35.000	-	-	-		
≥ 35.000 - 37.500	8.000	5.000	2.500		
≥ 37.500 - 40.000	35.000	25.000	12.500		
≥ 40.000 - 42.500	60.000	40.000	20.000		
≥ 42.500 - 45.000	110.000	85.000	42.500		
≥ 45.000	150.000	150.000	75.000		

	4s+0 <sup>3</sup> (DM/d)	3s+1 <sup>3</sup> (DM/d)	2n+2 <sup>2,3</sup> (DM/d)	4+1 <sup>1</sup> (DM/d)	3n+2 <sup>1,2</sup> (DM/d)
< 70.000	-	-	-	-	-
≥ 70 - 75.000	18.000	12.000	-	17.000	8.000
≥ 75 - 80.000	35.000	24.000	6.000	30.000	18.000
≥ 80 - 85.000	80.000	60.000	13.000	70.000	50.000
≥ 85 - 90.000	130.000	110.000	30.000	120.000	90.000
≥ 90.000	150.000	150.000	60.000	150.000	120.000

	6+0 <sup>3</sup> (DM/d)	5s+1 <sup>3</sup> (DM/d)	4+2 <sup>2</sup> (DM/d)	3n+3 <sup>2,3</sup> (DM/d)	
< 100.000	-	-	-	-	-
≥ 100 - 105.000	15.000	10.000	7.000	-	-
≥ 105 - 110.000	30.000	20.000	15.000	-	-
≥ 110 - 115.000	50.000	35.000	27.000	3.000	-
≥ 115 - 120.000	80.000	60.000	45.000	8.000	-
≥ 120.000	130.000	90.000	70.000	15.000	-

Saksassa verrataan päivässä liikenteelle aiheutuvia haittoja keskimääräisiin päivittäisiin rakennuskustannuksiin. Mikäli haitat ylittävät rakennuskustannukset on liikenteen ohjaus järjestettävä muulla tavoin. Näin menetellen työmaan kestoa lyhennettäessä hyväksytään suuremmat liikennehaitat päivää kohti (vrt. esimerkit 2 ja 3). Seuraavat esimerkit valottavat asiaa.

#### Esimerkki 1.

- ohjaustapa 3s+1, liikennemäärä kvl 50.000
- työmaan aiheuttamat lisäkustannukset (taulukosta): 0 DM/päivä -> tilanne OK

#### Esimerkki 2.

- ohjaustapa 3s+1, liikennemäärä kvl 95 000
- työmaan aiheuttamat liikenteen lisäkustannukset (taulukosta):150 000 DM/päivä
- työmaan rakennuskustannukset 5 000 000 DM, kesto 50 päivää
- keskimääräinen rakennuskustannus / päivä 100 000 DM/päivä
- suurin hyväksyttävä liikenteen lisäkustannus 100 000 DM/päivä (nyt aiheutuvat lisäkustannukset ylittävät hyväksytyt)
- Liikenne tulee ohjata siten, että lisäkustannukset alle 100 000 DM/päivä tai tehdä työ nopeammin siten, että päivää kohti lasketut rakennuskustannukset olisivat yli 150 000 DM.

#### Esimerkki 3.

- ohjaustapa 3s+1, liikennemäärä kvl 95 000
- työmaan aiheuttamat liikenteen lisäkustannukset (taulukosta):150 000 DM/päivä
- työmaan rakennuskustannukset 5 000 000 DM, kesto 25 päivää
- keskimääräinen rakennuskustannus / päivä 200 000 DM/päivä

keskimääräinen rakennuskustannus on suurempi kuin liikenteelle aiheutuva lisäkustannus -> tilanne OK.

### 4.3 Englanti

Englannissa työnaikaisten haittojen tarkasteluun on kehitetty QUADRO – tietokoneohjelma. Sitä käytetään viivytysten ja onnettomuuksien arviointiin. Ohjelmalla laskettuja kustannuksia käytetään hyöty-kustannusanalyseissä. Ohjelma soveltuu periaatteessa käytettäväksi kaikenlaisissa hankkeissa. QUADRO -tarkasteluja ei kuitenkaan tehdä kaikissa hankkeissa, vaan tarkastelun tarve arvioidaan tapauskohtaisesti. QUADROn ominaisuuksia ja toimintaperiaatteita käsitelty liitteessä 1.

Englannista on lähtöisin Lane rental -nimellä tunnettu menettely, jossa urakoitsija maksaa tienpitäjälle vuokraa työaikana liikenteeltä suljettavasta kaistasta. Vuokran suuruus määräytyy kaistan sulkemisen aiheuttamien haittojen suuruudesta. Mitä pidemmän aikaa ja pidemmältä matkalta kaista on suljettu, sitä suurempi vuokra on. Menettely kannustaa urakoitsijaa tekemään työn nopeasti ja sellaisin menetelmin, että työmaasta aiheutuva haitta on mahdollisimman pieni. Lane rental on käytössä muutamia toisistaan poikkeavia sovellustapoja.

Lane rental ei ole tietyön liikennehaittojen arviointimenetelmä, vaan tienpitäjän toimintatapa, jolla se ohjaa urakoitsijaa tekemään tiellä työtä niin, että siitä syntyvät haitat jäävät mahdollisimman pieniksi.

Transport and Road Research Laboratory (TRRL) tutki vuosina 1989 ja 1990 27 moottoritietyömaata selvittäen työmaiden vaikutuksia välityskykyyn ja liikenneturvallisuuteen.

Tutkimuksen johtopäätökset olivat seuraavat (Hunt et.al. 1991):

- TRRL arvioi häiriöiden ja onnettomuuksien määrän seuraavasti:
  - onnettomuuksia 2-3 kpl/milj. ajon. km, 30 min häiriö
  - ajoneuvorikko yms. 25 kpl/milj. ajon. km, 20 min häiriö
- onnettomuudet ja ajoneuvorikot ovat merkittävän ruuhkan aiheuttaja moottoritietyömailla,
- suurin välityskyky saavutetaan arkiruuhkassa kun tiellä on vähän työmaan ensi kertaa ohittavia,
- välityskyky voi olla jopa 20 % maksimivälityskykyä pienempi ruuhkaan-tuneessa tilanteessa kuin tilanteessa, jossa työmaalle saapuu juuri maksimi välityskyvyn verran liikennettä,
- välityskykytutkimuksen tulokset on esitetty liitteen 1 taulukossa.

TRRL:n tutkimuksessa arvioitujen onnettomuuksien perusteella voidaan tehdä seuraava karkea laskelma onnettomuuskustannuksista:

Tarkastellaan 2+2 –kaistaisen moottoritien siltatyömaata, jossa 200 metriä pitkä siltapari peruskorjataan vuoron perään. Liikenne ohjataan työn aikana 1+1 –kaistaisena toista ajorataa pitkin. Sillan molemmilla puolilla olevat 1 –kaistaiset osat huomioiden työmaan pituudeksi muodostuu 500 metriä. Poikkileikkauksliikennemäärä on 15 000 ajon./vrk. Työ kestää 2 kuukautta.

- Työmaan ajoneuvo suorite koko aikana: 15 000 ajon./vrk \* 500 metriä \* 60 vrk = **450 000 ajoneuvo kilometriä.**

- Lasketaan työmaan onnettomuuskustannukset lähtien arvoista 2 onnettomuutta / milj. ajon. km. ja olettamalla onnettomuuden arvoksi 328 000 mk (Tieliikenteen ajokustannukset 1995). Saadaan: 450 000 ajon. km \* 2 onn./ milj. ajon. km. \* 328 000 mk = **295 200 mk.**
- Jaetaan saatu onnettomuuskustannus vuorokausittaisiksi kustannuksiksi: 295 200 mk/60 vrk  $\approx$  **5 000 mk/vrk.**
- Yhtä ajoneuvoa kohti onnettomuuskustannus on: 5 000/ 15 000  $\approx$  **33 penniä.**

Edellä tehty laskelma sisältää paljon olettamuksia, mutta antaa jonkinlaisen kuvan onnettomuuskustannuksista kuvatuunlaisella työmaalla.

## 4.4 Yhdysvallat

### 4.4.1 Ohjelmistoja

Yhdysvalloissa työmaanhaittojen arviointeja on tehty eri puolilla maata jonkin verran erilaisilla menetelmillä. Seuraavassa on esitelty kokonaisia arviointimenetelmiä sekä ohjeita ja malleja, joista menetelmät koostuvat. Suurimmasta osasta on mainittu vain käyttötarkoitus ja missä ja milloin ne on tehty. Luvussa 4.4.2 esitellään perusteellisemmin pinoavan jonomallin käyttöön perustuva laskentamalli.

HCM 1985:n välityskyymallia käytetään tietyömaiden välityskyvyn laskentaan. Saatavia välityskyvyn arvoja voidaan käyttää lähtötietoina varsinaisissa haittojenarviointimenetelmissä.

Markkinoilla on saatavana useita ohjelmistoja joilla voidaan arvioida työmaan liikenteelle aiheuttamia haittoja. Kaksi käytetyintä ohjelmistoa ovat QUEWZ (Queue and User Cost Evaluation at Work Zone) ja HERS (Highway Economic Requirements System).

QUEWZ on vuonna 1985 kehitetty tietokoneohjelma, jonka avulla arvioidaan tietyöstä aiheutuvia kustannuksia. QUEWZ huomioi vain kapasiteetin ylityksestä aiheutuvan viivytyksen ja ajokustannukset. QUEWZ soveltuu tarkastelemaan moottoritien kaistojen sulkemisen laskea kapasiteettia. Tuloksena saadaan jononpituuksia ja ajokustannuksia. QUEWZ on tehty erityisesti moottoritieolosuhteita vastaavaksi, missä moottoritien vieressä kulkee alempi asteiseen tieverkkoon kuuluva rinnakkaistie. Mallissa oletetaan, että ylikysyntätilanteen syntyessä osa liikenteestä voi siirtyä rinnakkaistielle. QUEWZ on alun perin tarkoitettu työvälineeksi työmaiden liikenteen ohjausta suunnitteleville. (Jiang 1999.)

HERS on suunniteltu arvioimaan tiepitotoimilla saavutettavia aika- ja ajoneuvokustannuksia sekä turvallisuuden parantamista. Muita käytössä olevia ohjelmia on lueteltu lyhyine luonnehdintoineen alla olevassa taulukossa.



HERS on osa laajempaa HPMS -järjestelmää (the Highway performance monitoring system), jonka avulla seurataan liikennejärjestelmän tilaa.

EAROMAR on tietokoneohjelma, joka toimii PMS järjestelmien tavoin. Sillä voidaan määrittää työnaikaisia kustannuksia elinkaariajattelun näkökulmasta, eikä se näin ollen sovellu yksittäisen työmaan haittojen arviointiin.

CO<sup>3</sup> (Construction Congestion Cost System) on työkalu jonka avulla voidaan arvioida tien kunnossapidosta aiheutuvaa ruuhkautumista, ajokustannuksia ja työstä aiheutuvia kustannuksia. CO<sup>3</sup>:a käytetään laadittaessa kustannusarvioita ja valittaessa työmenetelmiä joita käyttämällä saavutetaan mahdollisimman pienet rakennuskustannukset ja ruuhkautuminen.

CO<sup>3</sup> on Excelin päälle rakennettu laskentataulukko. Taulukon syöttölomakkeeseen annetaan mallin tarvitsemat tiedot ja tulokset luetaan tulostustaulukosta. CO<sup>3</sup>:n avulla voidaan verrata erilaisten työmenetelmien kustannuksia rinnakkain. CO<sup>3</sup> laskee työmaasta johtuviin ajokustannuksiin aikakustannukset, ajoneuvokustannukset ja onnettomuuskustannukset.

Aikakustannuksiin huomioidaan ajoaikojen kasvu, joka aiheutuu työmaan läpi ajettaessa nopeuden laskusta ja ruuhkautumisesta ja kiertotietä käytettäessä pidentyneestä matkasta. Eräissä aikakustannuksia selvittäneessä tutkimuksessa tehtiin johtopäätös, että tasaisessa maastossa liikennemäärän ollessa alle 10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa eivät aikakustannukset ole merkittäviä. Liikennemäärän noustessa yli 40 000 ajoneuvoon vuorokaudessa aikakustannukset ovat huomattavan suuret.

Työmaan onnettomuusaste on tutkimusten mukaan suoraan verrannollinen tien onnettomuusasteeseen ennen työn aloittamista ja liikennemäärään. CO<sup>3</sup> vaikuttaa käyttökelpoiselta menetelmältä Suomalaisiin tarpeisiin nähden. Ohjelmalla voidaan arvioida myös kaksikaistaisen tien päällystystyömaan aiheuttamia haittoja.

Cincinnatiin yliopisto Ohiossa tutki työnaikaisia liikennehaittoja FHWA:n tilauksesta (The University of Cincinnati 1997). Työn loppuraportti julkaistiin vuonna 1997. Työssä on koottu yhteen aikaisempien työmaiden välityskykyä, viivytyksiä ja haittoja koskevia tutkimuksia, sekä laadittu laskentamalli. Malli pohjautuu QUEWZ ja EAROMAR –laskentamallien tietoihin. Myös muiden aikaisempien tutkimusten tietoja on käytetty hyväksi. Työn keskeinen tulos on Windows –yhteensopiva tietokoneohjelma Workzone, jolla voidaan laskea työmaan aiheuttamien liikennehaittojen kustannuksia.

Tutkimusten perusteella on päädytty suosittelemaan seuraavanlaista menetelmää työmaan välityskyvyn arviointiin:

Työnaikainen välityskyky:

$$C = (1600 + I - R) * H * N$$

C = työnaikainen kapasiteetti

1600 = laskennassa käytettävä ”peruskapasiteetti” kaistaa koh-  
ti

I = työn liikennettä haittaavuudesta riippuva tekijä (Work Inten-  
sity Adjustment Factor)

R = työmaan kohdalla olevien liittyvien ramppien liikennemää-  
räästä riippuva tekijä

H = raskaiden ajoneuvojen osuudesta riippuva tekijä (= 100 /  
(100 + P<sub>T</sub> \* (E<sub>T</sub> - 1)))

P<sub>T</sub> = raskaiden ajoneuvojen osuus

E<sub>T</sub> = mG

m = 1,3 + 2,7 e<sup>-0,28\*PT</sup>

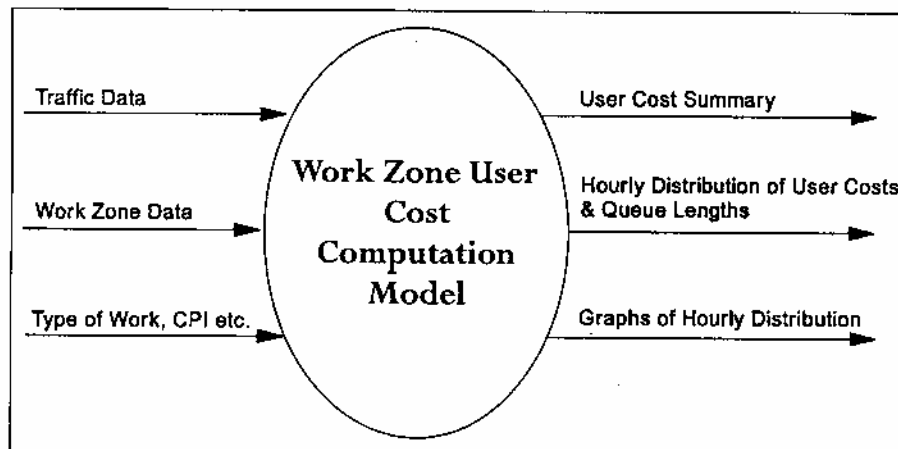
G = pituuskaltevuus

Tekijän I arvot on erilaisilla työmailla on taulukoitu. Tekijän arvo riippuu työn luonteesta. Tekijän ollessa positiivinen, työ vaikutus kapasiteettiin on pie-  
nempi kuin tekijän ollessa negatiivinen. Tekijä I vaihtelee +/- 10 % peruska-  
pasiteetista.

Nopeusprofiili määritellään mallissa käyttösuhteen (v/c) ja mitoitusnopeuden  
funktiona.

Aika- ja ajoneuvokustannukset lasketaan lähtien nopeuden muutoksesta  
verrattuna normaalitilanteeseen ja autojen ajosykleistä. Molemmissa erotel-  
laan tapaukset, joissa jonoa esiintyy tai ei esiinny. Ajoneuvokustannukset on  
taulukoitu erilaisille ajoneuvoille tasaisilla nopeuksilla eri pituuskaltevuuksilla  
sekä erilaisissa nopeuden muutoksissa. Arvot on saatu kulutusmittauksista.

Ohjelmaan syötettävä tieto voidaan jakaa kolmeen osaan: liikennetieto, tie-  
dot työmaa-alueesta ja työmaan tyyppi. Liikennetieto käsittää tien mitoitus-  
nopeuden, nopeusrajoituksen, työmaan aikaisen nopeusrajoituksen, Keski-  
määräisen vuorokausiliikenteen ja raskaiden ajoneuvojen osuuden liikenne-  
määrästä. Työmaa-alueesta syötetään nimi projektille, väylän nimi, pituus-  
kaltevuus prosentteina, tieto kaistojen sulkemisesta, kaistamäärä tavallisesti,  
työnaikana avoimien kaistojen määrä ja mahdolliset väliaikaiset kaistat.  
Työmaan ominaisuudet syötetään valitsemalla ohjelman esittämästä luette-  
lostasta työtyyppi. Jokainen työtyyppi pitää sisällään sille ominaisia parametre-  
jä. Ohjelmalla on mahdollista laskea samana projektina työmaita, joissa teh-  
dään useita erilaisia töitä. *Kuvassa 1* on esitetty ohjelman lähtötiedot ja tu-  
lostet.



Kuva 1. Laskentamallin lähtötiedot ja tulosteet (The University of Cincinnati 1997).

Tulosteena ohjelmasta saadaan yhteenveto työmaan aiheuttamien haittojen kustannuksista, työmaan ohittavan liikenteen nopeuden ja määrän sekä vaikutusten (jononpituudet ja kustannukset) jakautuminen tunneittain sekä kuvaajat jononpituuksista ja haittakustannuksista tunneittain.

Alla olevassa taulukossa 4 on mainittu muita ohjelmia, joita kirjallisuuden mukaan on käytetty työmaiden haittojen arviointiin.

Taulukko 4. Tietöiden haittojen arviointiin liittyviä ohjelmia.

Ohjelmiston nimi	Keskeiset ominaisuudet
TRAF-NETSIM	Simuloi tilanteita, joissa kaista suljettu päätiellä.
FREEWAY	Arvioi työmaan alentamaa välityskykyä ja palvelutasoa, sekä arvioi jonoja ja viivytyksiä.
PASSER IV	Mallintaa moottoritietömaiden ajokustannuksia.
CORQ-CORCON	Arvioi työnaikaisia ajoaikoja kun liikenteelle tarjotaan erilaisia reittimahdollisuuksia.
CARHOP	Arvioi erilaisten tienpitotoimien vaikutuksia liikenteelle.
HEEMII	Arvioi erilaisten tienpitotoimien hyötyjä ja kustannuksia tietyllä moottoritien osalla.

#### 4.4.2 Indianan malli

(Jiang 1999.)

Indianan osavaltiossa on kehitetty malli aika- ja ajoneuvokustannusten arviointiin kaksiajorataisten nelikaistaisten teiden työmailla. Mallilla voidaan tutkia tilanteita, joissa kahden kaistan sijaan käytössä on vain yksi kaista suuntaansa. Mallin avulla voidaan määrittää työmaan vuorokaudessa aiheuttamat lisäkustannukset, kun tiedetään työmaan kriittisen kohdan välityskyky ja liikennemäärä.

Aikakustannusten laskeminen on jaettu mallissa kahteen osaan, jotka jaetaan edelleen osatekijöihin. Kaksi päätekijää ovat nopeuden alenemisesta aiheutuvat aikakustannukset ja ylikysynnästä aiheutuvan ruuhkan aiheuttamat aikakustannukset. Ajoneuvokustannukset määritetään työmaan ajosykliin perustuen käyttäen apuna paikallisia hintaindeksejä. Ajoneuvokustannusten laskentaan ei tässä puututa tarkemmin.

Nopeuden muutoksesta aiheutuissa lisäkustannuksissa huomioidaan hidastaminen ennen työmaata, normaalitilannetta hitaampi ajo työmaan kohdalla ja kiihdyttäminen normaalinopeuteen työmaan jälkeen. Lähtötietoina käytetään työmaan pituutta, nopeutta normaalitilanteessa ja työmaalla, sekä ajoneuvojen keskimääräistä kiihtyvyyttä työmaa jälkeen.

Ruuhkautumisesta aiheutuvien aikakustannusten laskeminen perustuu ns. pinoavaan jonomalliin (ks. liite 3). Ruuhkan aikakustannusten laskeminen tapahtuu kolmessa osassa:

1. ruuhkautuminen katsotaan alkavaksi vähin erin jo ennen liikennemäärän kohoamista välityskyvyn rajalle,
2. pinoavan jonomallin sovellus tilanteisiin, joissa välityskyky ylittyy ja
3. pinoavan jonomallin sovellus viimeiseen ruuhkatuntiin.

Pinoavan jonomallin perusteella lasketut aikakustannukset ovat hyvin herkkiä käytetylle välityskyvyn arvolle. Mallia käytettäessä täytyy välityskyky pystyä määrittelemään riittävän tarkasti.

Malli perustuu yksinkertaisiin funktioihin ja sen toimintaa on helppo tarkkailla taulukkolaskentaohjelman avulla. Mallin vahvuus on se, että sillä avulla voidaan helposti laskea työmaiden vuorokaudessa aiheuttamia aikakustannuksia.

Tämän selvityksen yhteydessä laadittiin edellä kuvatun mallin perusteella Excel-tilukkolaskentaohjelmaa apuna käyttäen malli, jolla voidaan tarkastella työmaan haittoja rajoittamattoman pitkän ajanjakson pituudelta. Edellytyksenä on, että liikenteen kysyntä ja tarkastelukohdan kapasiteetti tunnetaan.

Malli laadittiin pohjautumaan tunnin mittaisiin jaksoihin. Jokainen tunti käsiteltiin omalla taulukon rivillään. Erilaisten kaavojen avulla laskettiin edellä esitetyn jaon perusteella nopeuden alenemisesta ja ruuhkautumisesta aiheutuvat kustannukset. Ruuhkautumisen kustannusten määrittämiseksi ruuhkatunnit eroteltiin kolmeen luokkaan edellä esitettyyn tapaan.

Havaintoja mallin toiminnasta:

- Tunnin tarkastelujakso on liian pitkä. Tarkastelujakson tulisi olla niin lyhyt, että olosuhteet eivät muutu ratkaisevasti sen aikana. Varsinkin ruuhkasta elpyvässä tilanteessa tämä vaikuttaa lopputulokseen merkittävästi.

- Koska laskenta perustuu tarkastelujakson sisällä määritettäviin keskimääriisiin viivytyksiin, suurilla liikennemäärillä tulos on hyvin herkkä liikenteen kysyntään. Tietyllä kuormitusasteella pieni liikennemäärän lisäys nostaa viivytyksen keskiarvoa, mikä kertaantuu kerrottaessa keskiarvo koko tunnin liikennemäärällä.
- Haitat muodostuvat helposti liian suuriksi. Tämä johtuu siitä, että liikennemääräennusteessa on vaikea arvioida kuinka moni kuljettajaa havaittuaan ruuhkan valitsisi toisen reitin. Mitä pidemmäksi kuljettajat odottavat itseensä kohdistuvan viivytyksen, sitä herkemmin he valitsevat kiertotien, vaikka kiertotie olisi pidempikin.
- Kolmiosainen ruuhkamalli osoittautui portaittaiseksi. Kehittyvässä ruuhkassa yksi "lisäajoneuvo" saattoi nostaa haittakustannuksia kohtuuttomasti.

## 5 YHTEENVETO NYKYTILANTEESTA

Pohjoismaissa ei ole vakiintuneita menettelytapoja työmaiden haittojen arviointiin. Euroopan maissa on käytössä menetelmiä, mutta vakiintuneita käytäntöjä arviointiin ei ole. Yhdysvalloissa käytäntö poikkeaa osavaltioiden välillä suuresti. Monissa maissa on menettelytapoja, joiden tavoitteena on minimoida haittoja, vaikka haittojen suuruutta ei tunnetakkaan (esim. lane rental).

Nykyistä yhtenäisempi käytäntö työmaiden liikenteenjärjestelyissä helpottaisi vaikutusten arviointia. Toisaalta ei ole mielekästä standardisoida asioita, mikäli on vaara, että se aiheuttaa enemmän haittaa (esim. rakennuskustannuksia) kuin hyötyjä (esim. oikeasta työn ajoituksesta johtuvia yhteiskuntataloudellisia säästöjä).

Maailmalla käytetyt haittojen arviointimenetelmät eivät tunnista työmaiden liikennejärjestelyiden pienipiirteisiä eroja. Myöskään liittymien vaikutusalueella olevien työmaiden arviointiin ei ole työkaluja.

Suurten tieverkon kehittämishankkeiden arviointiin paras menetelmä on laatia tapauskohtainen tarkastelu ja herkkyystarkasteluja. Laajoissa hankkeissa muuttujien suuri määrä sulkee pois koko työmaan kattavien laskentamallien käytön. Pienien usein samanlaisina toistuvien töiden haitoista on mahdollista tehdä yleispäteviä arvioita.

Työmaiden haittoja arvioitaessa herää helposti kysymys yhteiskuntataloudellisten yksikkökustannusten soveltuvuudesta työmaiden arviointiin. Jatkossa kannattanee kuitenkin vakiintuneita yksikkökustannuksia pitää arvioinnin lähtökohdana, jotta työmaiden vaikutuksia voidaan verrata muihin samoin perustein laskettuihin liikenteen kustannuksiin. Nykykäytännön mukaan erimittaisille viivytyksille käytettävä yksikköhinta on myös järkevää pitää samana.

## 6 SIMULOINTITUTKIMUS

### 6.1 Tutkimuksen tavoite

Tietöistä aiheutuvien liikennehaittojen suuruutta ei tunneta. Tehdyissä tutkimuksissa on selvitetty työmaiden vaikutuksia lähinnä väylien välityskykyyn erityisesti korkealuokkaisilla kaksiajorataisilla väylillä.

Tämän selvityksen tarkoituksena oli tutkia tyypillisiä työmaatilanteita ja arvioida niistä liikenteelle aiheutuvia haittoja. Selvityksen tarkastelunäkökulma on yhteiskuntataloudellinen. Tutkimusmenetelmänä käytettiin mikrosimulointia. Mikrosimuloinnin avulla voitiin tehdä tarkasteluja erilaisilla liikennemäärillä ja erilaisissa tilanteissa. Tämä tutkimus on samalla pilottikokeilu, jonka tarkoitus oli selvittää miten mikrosimulointi soveltuu työnaikaisten haittojen arviointiin.

Työn tuloksena saatuja haitta-arvioita voidaan käyttää työnaikaisten haittojen karkeaan arviointiin. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että tarkastellut työmaat eivät vastaa todellista tilannetta vaan ovat yksinkertaistuksia työmailla vallitsevista tilanteista. Tämän takia voidaan olettaa, että useimmissa tilanteissa todelliset haitat ovat nyt arvioituja suuremmat.

### 6.2 Tietyömaalla syntyvät liikennehaitat

Työmaat aiheuttavat liikenteelle erilaisia haittoja. Haittoja syntyy, kun kuljettajat joutuvat muuttamaan ajokäyttäytymistään epätaloudellisempaan suuntaan ajaessaan työmaan läpi. Työmaalla nopeudet ovat normaalitilanteeseen nähden alempia ja tasaisen ajon sijaan työmaalla liikenteen nopeus vaihtelee aiheuttaen jatkuvaa kiihdytys- ja jarrutustarvetta.

Työmaan kohdalla väylän liikenteen välityskyky yleensä alenee normaalitilanteeseen verrattuna. Välityskyvyn aleneminen voi johtua esimerkiksi kaistojen sulkemisesta, kaistajärjestelyistä tai alemmista nopeusrajoituksista.

Ruuhkautuminen on merkittävimpiä liikenteen haittoja lisäävistä ilmiöistä. Ruuhka muodostuu, kun väylälle pyrkii enemmän ajoneuvoja kuin se pystyy välittämään. Kun väylän välityskyky on alentunut, alkaa ruuhkautumista tapahtua jo tavanomaista pienemmillä liikennemäärillä. Tässä mielessä työmaata voidaan pitää helposti ruuhkautuvana väylänä.

#### 6.2.1 Tarkastelunäkökulma

Tässä tutkimuksessa työmailla syntyviä haittoja tarkastellaan yhteiskuntataloudellisten kustannusten näkökulmasta. Laskelmien yhteiskuntataloudellisella tarkastelukulmalla tarkoitetaan mm. sitä, että ajoneuvokustannuksista tieliikenteen erityisverot jätetään pois, yksityiskäytössä olevien henkilöautojen pääomakustannuksista lasketaan mukaan vain ajosuoritteeseen kohdistuva osa ja liikenteessä käytetty henkilöaika arvioidaan ajoneuvolajeittain.

## 6.3 Menetelmän kuvaus

### 6.3.1 Liikenteen simulointi

#### Mikrosimulointi liikenteen tutkimusvälineenä

Simulointi kehittyi liikennevirtatutkimuksen työvälineeksi 1970-luvulla ja sen merkitys on jatkuvasti kasvanut. Simuloinnin edut liikenteen analysoinnissa ovat ilmeiset. Sen avulla voidaan tarkastella tilanteita, joiden käsittely todennäköisyyslaskennan tai muiden matemaattisten menetelmien avulla on mahdollista vain yksinkertaistetussa muodossa. Lisäksi simuloimalla voidaan vertailla erilaisia ohjausratkaisuja täsmälleen samassa liikennetilanteessa, mikä ei ole mahdollista maastossa liikenteen satunnaisvaihteluiden vuoksi. Simuloinnin ongelmat puolestaan liittyvät simulointimallien reaalisuuteen eli kykyyn kuvata oikeita ja ongelman kannalta tärkeitä vuorovaikutussuhteita. Mallit onkin huolellisesti validoitava ja kalibroitava ennen todellista käyttöä.

Viivytys- ja ympäristövaikutustarkasteluissa pyritään liikennevirtaa tarkastelemaan yksittäisen ajoneuvon tarkkuudella. Simulointitutkimuksessa tällaista tarkastelutapaa kutsutaan mikrosimuloinniksi.

Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratoriossa on kehitetty vuodesta 1989 lähtien HUTSIM-nimistä liikenteen mikrosimulointiohjelmaa, jonka kehitys keskittyi aluksi liikenteen ohjauksen tarkasteluihin. Se perustui liikennevalojen ohjauskojeen ja mikrotietokoneen yhteenkytkentään. HUTSIM-ohjelman nykyisessä versiossa liikenteen ohjausta voidaan simuloida sekä erillisen että ohjelman sisäisen ohjauskojeen avulla. Viime vuosina HUTSIMin kehitys on painottunut ei-valo-ohjauksisisten liikenneympäristöjen, kuten korkealuokkaisten väylien, taso- ja kiertoliittymien sekä erilaisten erityistilanteiden, tutkimukseen.

HUTSIM-ohjelmalla kuvataan liikennejärjestelyt simulointia varten ja mikrotietokone tuottaa saapuvan liikenteen. Liikennemalli rakennetaan olioista (generaattorit, kaistasegmentit, suojatiesegmentit, opastimet, ilmaisimet, ohjauskoje, jne.) vastaamaan todellista liikenneympäristöä. Ajoneuvot generoidaan tulosuuntien päihin kytketyistä ajoneuvogeneraattoreista. Generaattorit tuottavat ajoneuvoja halutulla aikavälijakaumalla kulloistakin liikennemäärätasoa vastaavasti. Simulointi perustuu yksittäisten ajoneuvojen liikkeiden seurantaan. Peruseriaate on, että jos ajoneuvo ei kohtaa mitään estettä, se jatkaa matkaa tavoitenopeudella. Lähestyttäessä estettä, esimerkiksi tietyömaata, ajoneuvo hidastaa ja tarvittaessa pysähtyy. Esteen poistuessa ajoneuvo kiihdyttää takaisin tavoitenopeuteensa.

HUTSIMia tai mitä tahansa mikrosimulointiohjelmaa voidaan käyttää liikenneympäristön tutkimiseen, kun

- malli on hyvin verifioitu, kalibroitu ja validoitu vastaamaan todellisuutta



- tutkittava liikenneympäristö (esim. liittymä) kyetään kuvaamaan riittävällä tarkkuudella
- ympäristölaskentamalli, esim. päästömatriisi, vastaa mahdollisimman hyvin todellisuutta.

### **Ajosyklin käsite**

Tässä selvityksessä esiintyy toistuvasti käsite ajosykli. Ajosykli kuvaa muutoksia ajoneuvon liiketilassa. Ajosykli voidaan esittää kuvaajana matkanopeus-, aika-nopeus- tai aika-matka-koordinaatistossa.

Makrotason liikennemallien yhteydessä ajosyklillä ymmärretään ajoneuvojen nopeusvaihtelua, jonka oletetaan olevan samaan ajoneuvoryhmän kuuluvilla ajoneuvoilla sama. Makromalleja käytettäessä käyttäjä määrittelee ajosyklin, jota ajoneuvojen oletetaan noudattavan. Mikrosimuloinnissa ajosykli määräytyy simuloinnin perusteella.

Erityisen mielenkiinnon kohteena poikkeuksellisessa ohjausjärjestelyssä, kuten tietyömaiden yhteydessä, voisi olla kiihtyvyyshajonnan ja liikenteen hetkellisen energian laskentasovellukset.

### **Simuloinnissa käytetyt muuttujat ja niiden arvot**

#### Simuloinneissa käytetyt ajoneuvotyypit

Simuloinnissa käytettiin HUTSIMin oletusajoneuvojakaumaa, joka koostuu neljästä ajoneuvotyypistä. Niiden jakauma on seuraava: henkilöautoja ja pakettiautoja yhteensä 88%, busseja 2%, kuorma-autoja ilman perävaunua 4% ja perävaunullisia kuorma-autoja 6%. Jakauma vastaa hyvin tielaitoksen ajokustannusohjeen tyyppiautojen muodostumismallia.

#### Ajoneuvotyyppien parametrit

Ajoneuvotyyppien parametreja ovat normaali kiihdytys ja hidastus sekä ajoneuvon pituus (*taulukko 5*). Normaali kiihdytys on tärkeä parametri, sillä se määrittää ns. vapaan kiihtyvyyden. Tällöin ajoneuvolla ei ole vuorovaikutusta toisten ajoneuvojen kanssa. Normaalin kiihdytyksen parametri riippuu paljon ajoneuvotyypistä, samoin normaalin hidastuksen. Ajoneuvon pituus vaikuttaa niiden tarvitseman tilan määrään ja siten myös kapasiteettiin käytettäessä erilaisia ajoneuvojakaumia. Tutkimusten mukaan yksi ajoneuvo tarvitsee tilaa keskimäärin 7 metriä.

Taulukko 5. Ajoneuvotyyppien parametrit.

Parametri	Auto	Bussi	KAIP	KATP	Yksikkö
Normaali kiihdytys	1,9	1,2	1,6	1,7	m/s <sup>2</sup>
Normaali hidastus	1,6	1,0	0,7	0,5	m/s <sup>2</sup>
Ajoneuvon pituus	4,0	12,0	7,0	18,0	m

KAIP = kuorma-auto ilman perävaunua

KATP = kuorma-auto täysperävaunulla

### Yleiset nopeuden säätelyn parametrit

Yleisiä nopeuden säätelyn parametreja ovat nopeusyksikkö, seuranta-aikaväli, vakaan alueen leveys, pysähtymisetäisyys, kiihtyvyyssvakio, nopeusrajoitusparametri, reaktioaika ja näkemäalue (taulukko 6).

Ajoneuvo tekee päätöksiä nopeutensa säilyttämisestä, kiihdyttämisestä tai hidastamisesta hyvin tiheään, jopa 20 kertaa sekunnissa. Ajoneuvo voi vaihtaa nopeuttaan vain yhden nopeusyksikön kerrallaan. HUTSIMissa nopeusyksikkö on yleensä 2,5 km/h.

Seuratessaan toista ajoneuvoa ajoneuvon kuljettaja ei heti huomaa ajoneuvojen välistä pientä nopeuseroa. Ajoneuvojen välinen etäisyys muuttuu, kunnes kuljettaja huomaa eron ja kiihdyttää tai hidastaa päästäkseen takaisin haluamalleen seurantaetäisyydelle. HUTSIMissa tämä ilmiö on kuvattu siten, että minimiturvavälin edessä on niin sanottu vakaa alue. Vakaalla alueella ei voi kiihdyttää, jos edessä on kohde, jonka minimiturvaväli pian saavutettaisiin.

Kiihtyvyyssvakion arvolla voidaan vaikuttaa ajoneuvojen kiihtyvyysoprofileihin. Mikäli sen arvo on nollaa suurempi, niin kiihtyvyys on vaihtelevaa.

Nopeusrajoitusparametri vaikuttaa ajoneuvojen tavoitenopeuksiin. Mitä pienempi nopeusrajoitusparametrin arvo on, sitä tiukemmin nopeusrajoitusparametri pakottaa ajoneuvojen tavoitenopudet lähelle nopeusrajoitusta.

Ajoneuvon näkemäalueella tarkoitetaan sitä etäisyyttä ajoneuvon keulasta eteenpäin, josta ajoneuvo tekee havaintoja. Näkemäalueella olevat objektit voivat vaikuttaa ajoneuvon käyttäytymiseen kuten nopeudensäätelyyn ja kaistanvaihtoihin.

Taulukko 6. Yleisiä nopeuden säätelyn parametreja ja niiden arvot tutkimuksessa.

Parametri	Arvo	Yksikkö
Nopeusyksikkö	2,5	km/h
Seuranta-aikaväli	1,2	s
Vakaan alueen leveys	0,2	s
Pysähtymisetäisyys	1,2	m
Kiihtyvyyssvakio	0,1	m/s <sup>3</sup>
Nopeusrajoitusparametri	0,0031	suhde
Reaktioaika (max.)	1,0	s
Näkemäalue (max.)	300	m

### Kaistanvaihtoparametrit

Kaistanvaihtoparametreja ovat kynnyskertoimet, minimiaikavälit edessä ja takana ajaville ajoneuvoille, vapaaehtoiset aikavälit sekä lyhin mahdollinen viipyminen kaistalla (taulukko 7).

Vapaaehtoista kaistanvaihtoa säätelevät HUTSIMissa kynnyskertoimet vasemmalle ja oikealle. Vapaaehtoinen kaistanvaihto suoritetaan vain mikäli riittävä aikaväli löytyy. Vasemmalle vaihdettaessa ajoneuvo tutkii kaistoja ja tekee päätöksen kaistanvaihdosta, mikäli vasen kaista on riittävästi nykyistä kaistaa houkuttelevampi. Suhteellisen kynnyskertoimen arvolla säädellään kaistanvaihtohalukkuutta. Suuri kynnyskertoimen arvo tarkoittaa halukkuutta vaihtaa kaistaa jo pienen parannuksen saavuttamiseksi. Oikealle vaihdettaessa kaistojen ominaisuuksia ei vertailla vaan oikealle vaihdetaan aina kun oikea kaista täyttää kynnyskertoimen asettaman minimivaatimuksen. Vapaaehtoisessa kaistanvaihdossa on ajoneuvon edessä ja takana lisäksi oltava ajoneuvon seuranta-aikavälin verran vapaata tilaa, jotta ajoneuvo voi vaihtaa kaistaa.

Pakotetussa kaistanvaihdossa ajoneuvolla ei ole vaihtoehtoja vaan päästäkseen määränpäähensä sen on vaihdettava kaistaa. Tämä tilanne on esimerkiksi tietyömaalla silloin, kun toinen kaistoista on suljettu. Pakotetussa kaistanvaihdossa riittävää aikaväliä odotetaan, kunnes sellainen löytyy. Ajoneuvo saattaa jopa joutua pysähtymään, kunnes viereisellä kaistalla on riittävästi vapaata tilaa.

Taulukko 7. Kaistanvaihtoparametrit.

Parametri	Arvo	Yksikkö
Kynnyskerroin vasemmalle	0,7	Suhde
Kynnyskerroin oikealle	0,25	m/s <sup>2</sup>
Minimiaikaväli edessä	0,8	S
Minimiaikaväli takana	0,8	S
Vapaaehtoinen aikaväli edessä	1,2	S
Vapaaehtoinen aikaväli takana	1,2	S
Minimiviipyminen kaistalla	10	S
Etuajo-oikeutettu kaista	oikea	-

### 6.3.2 Ajoneuvo- ja aikakustannusten laskenta

Tietyön vaikutusten arvioinnissa sovellettiin Tieliikenteen ajokustannusohjeiden 1995 laskentaperusteita, joissa autoliikenteen ajokustannusten laskelmiin sisällytetään ajoneuvo-, aika- ja onnettomuuskustannukset sekä lisäksi melun ja pakokaasujen haittojen kustannukset.

Vaikutusten arvioinnissa käytetyt yksikkökustannukset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Aika- ja ajoneuvokustannusten yksikkökustannukset.

Kustannustekijä	Kevyt auto	Raskas auto
Ajoneuvokustannukset	86 p/km	399 p/km
Aikakustannukset	47,70 mk/tunti/auto	158,30 mk/tunti/auto

Tässä tutkimuksessa selvitettiin simuloimalla liikenteen ajoajat erilaisissa tietyötapauksissa eri liikennemäärillä, suuntajakaumilla ja tietyöalueen pituuksilla ja vertailtiin niitä niinkään simuloimalla saatuihin ajoaikoihin samalla tieosuudella normaalioloissa. Määritettyjen ajoaikojen avulla laskettiin tielaitoksen ajokustannusten laskentamallin mukaisesti ajoneuvojen keskimääräiset nopeusalenemat, viivytykset ja polttoaineenkulutukset ja niiden avulla ajoneuvo- ja aikakustannukset ajoneuvokilometriä ja tietyötuntia kohti. Ajoneuvokustannusten muutos laskettiin normaalin liikennetilanteen ja tietyön aikaisen liikenteen ajokustannusten erotuksena ja aikakustannusten muutos suoraan simuloitujen matka-aikojen erotuksen avulla.

HUTSIM-simulointiohjelmalla ei toistaiseksi ole mahdollista simuloida onnettomuuksia, joten onnettomuuskustannusten arviointia ei tehty. HUTSIM-ohjelmistossa on työkalu liikenteen polttoaineenkulutuksen ja päästöjen laskentaan, mutta ilmenneiden puutteiden vuoksi sitä ei tässä tutkimuksessa

käytetty. Liikenteen aiheuttamien meluhaittojen muutos tietyöalueella on merkityksetön tietyön itsensä synnyttämiin meluhaittoihin nähden, joten meluhaittojen kustannuksia ei tässä työssä arvioida.

## 6.4 Tarkasteltavat kohteet

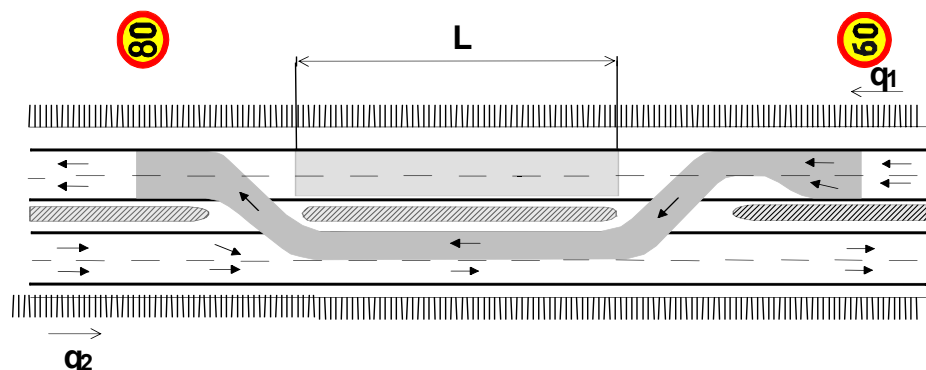
Tässä tutkimuksessa tarkastellaan simuloimalla kolmea tyypillistä työmaatilannetta. Tarkasteltavat työmaat eivät ole todellisia toteutettuja tai toteutettavia työmaita, vaan tietynlaisia yleistyksiä usein esiintyvistä työmaista. Tutkimuksessa on pyritty tarkastelemaan työmaita, joiden liikennejärjestelyt eri kohteissa ovat keskenään samanlaisia.

Simulointimalleissa työmaan liikenteen ohjaus on pyritty kuvaamaan Tielaitoksen tietöitä koskevissa ohjeissa annettujen määräysten mukaisesti. Määräykset koskevat mm. nopeusrajoituksia, ohjauslaitteiden sijoittelua ja valo-ohjauksen ajoitusta erilaisissa tilanteissa.

Käsitellyt tapaukset oletetaan sijaitsevan sellaisissa tienkohdissa, joissa vaaka- ja pystygeometria on suora. Ajonopeudet määräytyvät ensisijaisesti nopeusrajoitusten ja toissijaisesti liikennetilanteen perusteella. Tien kunnan ei katsota vaikuttavan nopeuksiin. Tarkasteltavat tapaukset sijaitsevat tiejaksoilla, jossa ei ole liittymiä.

### 6.4.1 Painuman korjaus

Työmaa kuvaa kaksiajorataisen nelikaistaisen tien työmaata, jossa toinen ajorata on poissa käytöstä. Liikenne ohjataan työmaan ohi 1+1 –kaistaisena käytössä olevaa ajorataa pitkin. Järjestely on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Painumakorjaustyön liikennejärjestelyt.

Tällainen liikennejärjestely koskee sekä moottoriteitä että muita kaksiajorataisia väyliä, kuten pääkaupunkiseudun kehätiet. Järjestely on tarpeen silloin, kun tiellä tehtävä työ edellyttää kokonaisen ajoradan sulkemista liikenne-

teeltä. Esimerkki tällaisesta työstä on esimerkiksi alikulun rakentaminen kaksiajorataiselle tielle yksi ajorata kerrallaan.

Etenkin vilkkailla väylillä kaistojen lukumäärän vähentäminen vaikuttaa liikenteeseen voimakkaasti. Yksinkertainen syy tähän on tarjolla olevan kais-takapasiteetin pieneneminen.

Tilanteissa, joissa kaistoja suljetaan, ongelma on kahden kaistan liikenteen sujuva siirtyminen yhdelle kaistalle. Tämän pullonkaulan sujuvuus määrää välityskyvyn tienosalle, jossa kaistamäärä on tavallista alempi. Kohdan sijoit-taminen, opastaminen ja viitoittaminen vaikuttavat myös haittojen syntyyn.

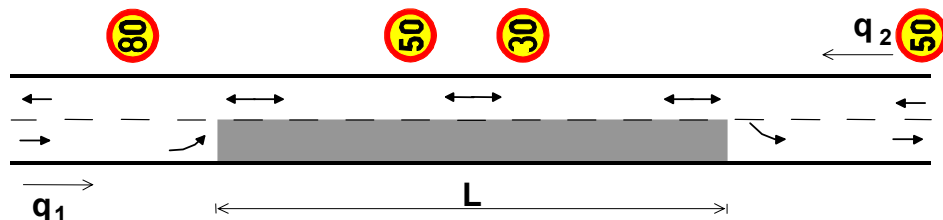
**Erityispiirteet:** Kaksi ajokaistaa kapenee työmaan kohdalla yhdeksi. Lisäksi toisen suunnan liikenne ohjataan keskisaarekkeen yli. Varsinkin vilkkailla väylillä työmaan vaikutus liikennevirtaan on merkittävä pienentyneen välityk-syvyn vuoksi. Pullonkaula sijaitsee tavallisesti paikassa, jossa kaksi kaistaa muuttuu yhdeksi.

Taulukko 9. Muuttujat kaksikaistaisen tien päällystys työmaan tarkasteluissa.

Muuttuja	Muuttujan arvot
työmaa-alueen pituus (L)	500 ja 1000 metriä
Liikennemäärä ( $q_1+q_2$ )	400, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 ja 1800 ajon./h
Liikenteen suuntajakauma	50/50

#### 6.4.2 Päällystystyö

Työmaa kuvaa kaksikaistaisen tien päällystystyömaata. Työmaan kohdalla liikenne käyttää toista kaistaa vuoron perään toista kaistaa päällystettäessä. Ajosuuntien vuorottelu hoidetaan liikennevaloin tai liikenteenohjaajien avulla. Työmaan oletetaan sijaitsevan kohdassa, jossa on normaalisti 80 km/h no-peusrajoitus. Päällystystyön aikana nopeusrajoitus on 50 km/h ja lisäksi levit-timen kohdalla, missä työntekijät ovat alttiimpia onnettomuuksille, nopeus-rajoitus on 30 km/h. 30 km/h nopeusrajoituksen pituus on 200 metriä. Nopeus-rajoitusten asettaminen vastaa vallitsevaa käytäntöä.



Kuva 3. Päällystystyön liikennejärjestelyt.

**Erityispiirteet:** Liikennevirrat katkaistaan välillä kokonaan.

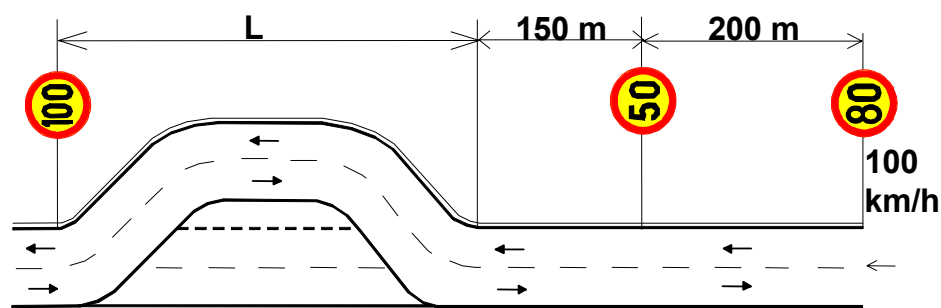
Taulukko 10. Muuttujat painuman korjaus -työmaan tarkasteluissa.

Muuttuja	Muuttujan arvot
Työmaa-alueen pituus (L)	500, 1000, 1500 ja 2000 metriä
Liikennemäärä ( $q_1+q_2$ )	100, 200, 400, 600, 800, 900, 1000, 1100 ja 1200 ajon./h
Liikenteen suuntajakauma	50/50, 60/40 ja 70/30

### 6.4.3 Kiertotie

Kiertotie eri muodoissaan on usein toistuva työnaikainen liikennejärjestely, Kiertoteiden pituus voi vaihdella alle sadasta metristä aina kilometreihin asti. Myös kiertotien muut ominaisuudet, kuten päällyste ja muut liikennöitävyyteen vaikuttavat tekijät vaihteleva suuresti. Määräävänä tekijänä kiertotien ominaisuuksille ovat yleensä liikennemäärä ja se kuinka kauan kiertotie on käytössä.

Tässä tutkimuksessa kiertotiellä tarkoitetaan kohtalaisen lyhyttä kiertotietä. Tarkasteltava kiertotie voisi sijaita esimerkiksi alikulkutunnelin tai eritasoliitetyvän rakennustyömaalla.



Kuva 4. Kiertotien liikenteenjärjestelyt.

Taulukko 11. Muuttujat kiertotien tarkasteluissa.

Muuttuja	Muuttujan arvot
Työmaa-alueen pituus (L)	200, 500 ja 1000 metriä
Liikennemäärä ( $q_1+q_2$ )	1600, 2000, 2400, 2800 ja 3200 ajon./h
Liikenteen suuntajakauma	50/50

## 6.5 Tulokset

Tässä kappaleessa esitetään tapausittain simulointitutkimuksen tuottamat viivytystulokset ja niistä lasketut tietyöstä aiheutuvat keskimääräiset ajoneuvo- ja aikakustannukset ajoneuvokilometriä kohti ja vastaavat kokonaiskustannukset tuntia kohti.

Simulointituloksille on ominaista vähäinen satunnaisvaihtelu, minkä vuoksi tulosten mukaan piirretyt kuvaajat eivät välttämättä ole täysin yhteneväiset teoreettisten käyrien kanssa.

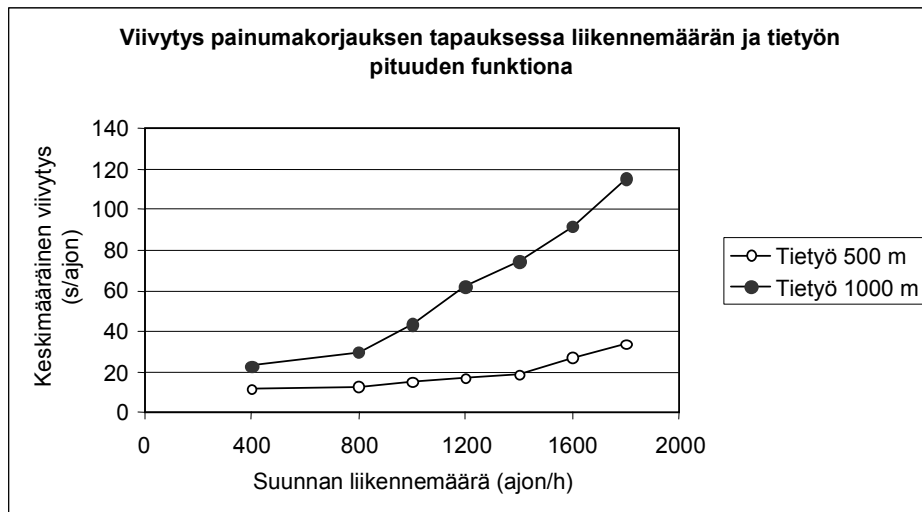
Todelliset olosuhteet, liikennetilanteet ja -järjestelyt poikkeavat aina jonkin verran esitetyistä, joten esitetyt tulokset pätevät vain tarkastelluissa tapauksissa. Näiden tulosten avulla on kuitenkin mahdollista määritellä kustannusten taso ja niissä tapahtuvien muutosten suuruusluokka esitettyjen muuttujien mukaan.

Tutkimuksessa ei ole tarkasteltu ylikysyntätilanteita, koska niiden vaikutus ajoneuvo- ja aikakustannuksiin riippuu ylikysynnän kestosta ja liikennemäärien suhteellisesta suuruudesta välityskykyyn verrattuna. Tutkimuksessa ei myöskään ole huomioitu sitä, että tietyön toiminnot saattavat toisinaan aiheuttaa liikenteelle normaaleja tietyöoloja suurempia häiriöitä.

### 6.5.1 Painuman korjaus

#### Viivytykset

Painumakorjauksen tapauksessa ajoneuvojen kokema viivytys kasvaa melko suoraviivaisesti liikennemäärän mukaan.



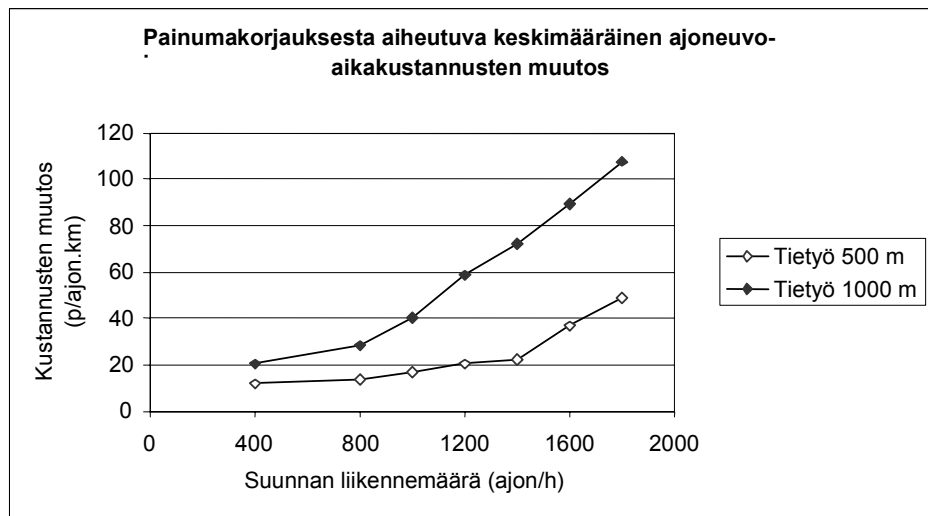
Kuva 5. Viivytys painumakorjauksen tapauksessa liikennemäärän ja tietyön pituuden funktiona.



Kuvasta 5 nähdään, että pienillä liikennemäärillä keskimääräinen viivytys kasvaa hitaasti liikennemäärän kasvaessa. Eri työmaapituuksista kasvu on nopeampaa 1000 metrin työmaalla, koska pidemmällä yksikaistaisella osuudella nopeuseroista johtuvaa jonoutumista ehtii tapahtua enemmän kuin 500 metrin työmaalla.

### Keskimääräiset kustannukset

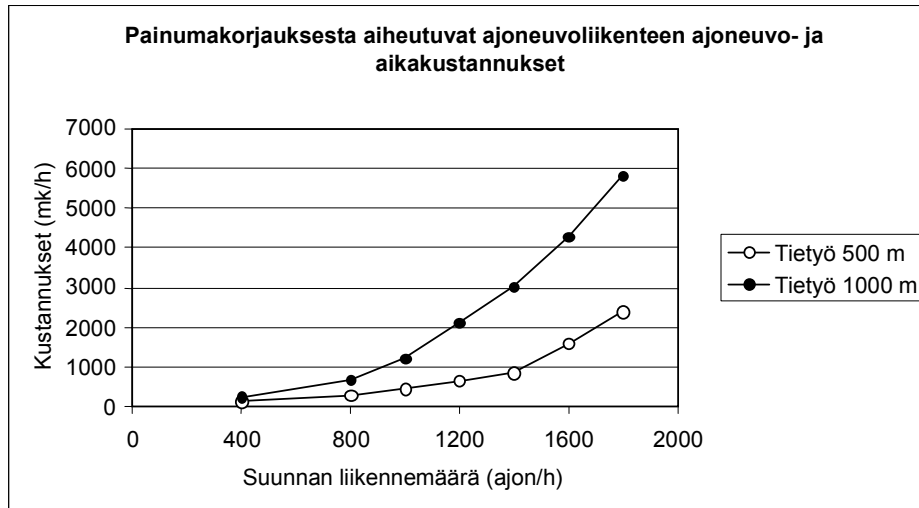
Painumakorjauksesta aiheutuva keskimääräinen ajoneuvo- ja aikakustannusten muutos ajoneuvokilometriä kohti on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Painumakorjauksesta aiheutuva keskimääräinen ajoneuvo- ja aikakustannusten muutos.

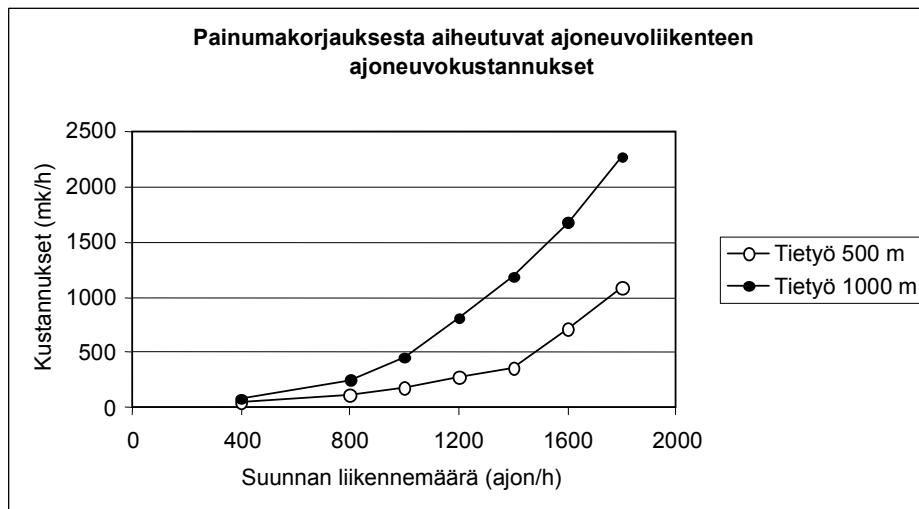
### Kokonaiskustannukset

Painumakorjauksesta aiheutuvat ajoneuvoliikenteen ajoneuvo- ja aikakustannukset on esitetty kuvassa 7.

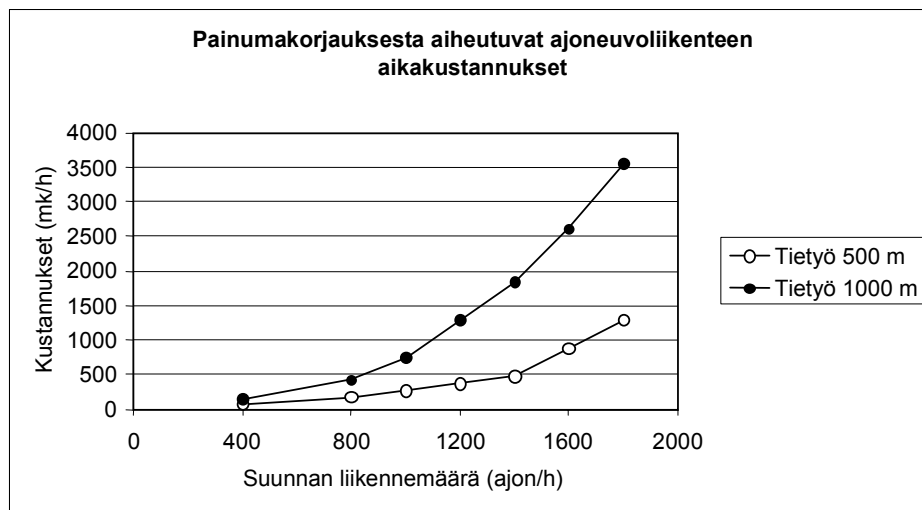


Kuva 7. Painumakorjauksesta aiheutuvat ajoneuvoliikenteen ajoneuvo- ja aikakustannukset.

Painumakorjauksesta aiheutuvat ajoneuvoliikenteen ajoneuvokustannukset on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Painumakorjauksesta aiheutuvat ajoneuvoliikenteen ajoneuvokustannukset.

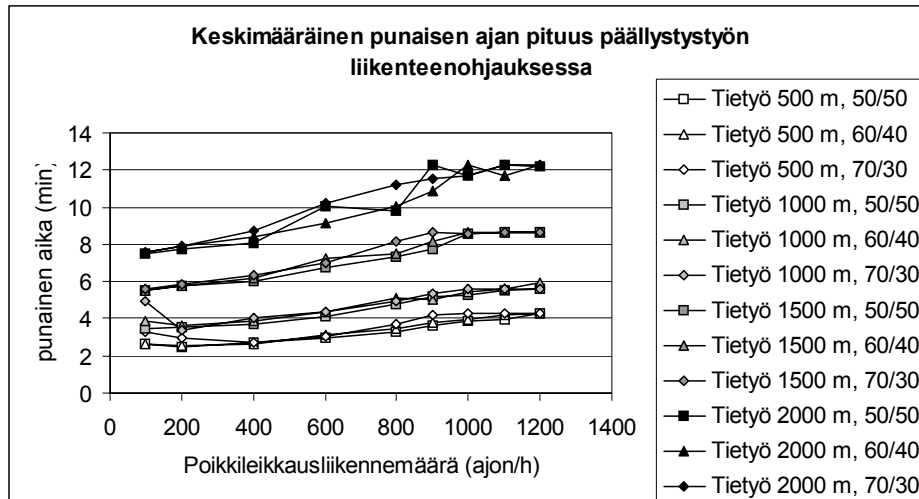


Kuva 9. Painumakorjauksesta aiheutuvat ajoneuvoliikenteen aikakustannukset.

## 6.5.2 Päällystystyö

### Viivytykset

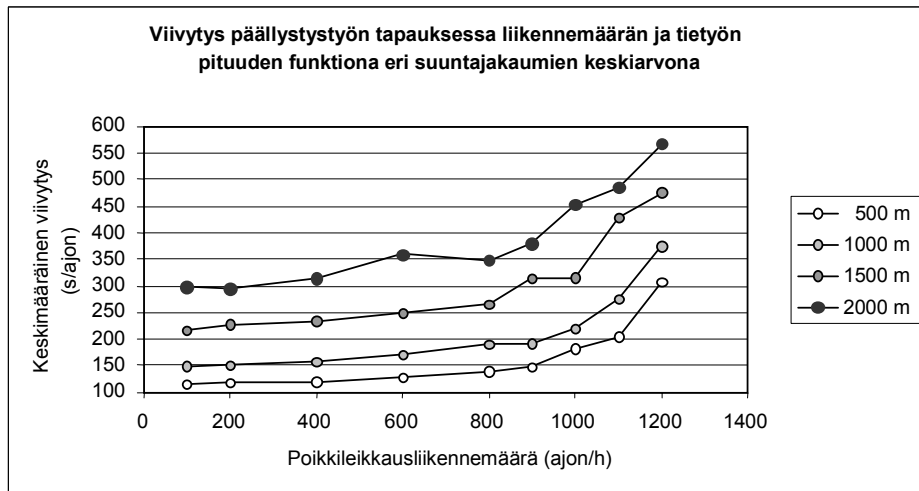
Päällystystyön viivytysten suuruus johtuu kolmesta tekijästä: tietyö- ja nopeusrajoitusalueen pituudesta, liikennemäärästä ja liikenteen ohjauksesta (kuva 3). Tutkimuksessa tarkasteltiin jono tyhjäksi -periaatteella toteutettua liikenteenohjausta, jonka on todettu tuottavan parhaan välityskyvyn. Jonon mentyä ensimmäiseksi pysäytettävä kokee ohjauksesta suurimman viivytyksen. Tämä pisimmän odotusajan eli keskimääräisen punaisen ajan riippuvuus tietyön pituudesta, liikennemäärästä ja suuntajakaumasta on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Keskimääräinen punaisen ajan pituus päällystystyön liikennetieto-ohjauksisessa ohjauksessa.

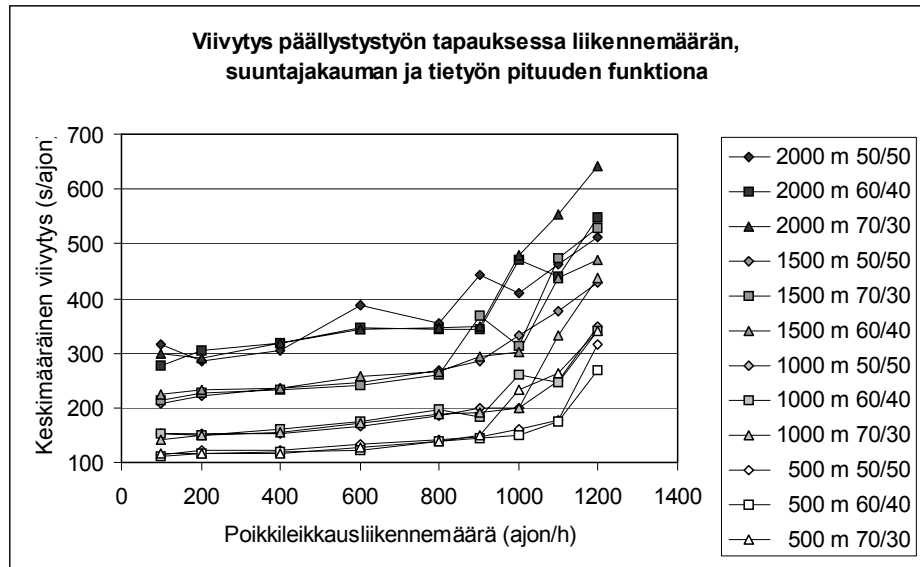
Kuvasta voidaan havaita, että ohjauksen perustuessa jonon purkamiseen ja tiettyyn enimmäiskiertoaikaan, suuntajakaumalla ei ole juurikaan vaikutusta keskimääräiseen pisimpään punaiseen aikaan.

Päällystystyön viivytyksiä lisäävässä vaikutuksessa havaitaan selkeä muutos liikennemäärän ylittäessä noin 900 ajon/h työmaan pituudesta riippumatta (kuva 11).



Kuva 11. Viivytys päällystystyön tapauksessa liikennemäärän ja tietyön pituuden funktiona eri suuntajakaumien keskiarvona.

Suuntajakauman vaikutus keskimääräiseen viivytykseen on suhteellisen pieni (kuva 12), koska liikenteen ohjaus perustuu jonokriteeriin, joka taas on vakio eri suuntajakaumilla samalla liikennemäärällä.

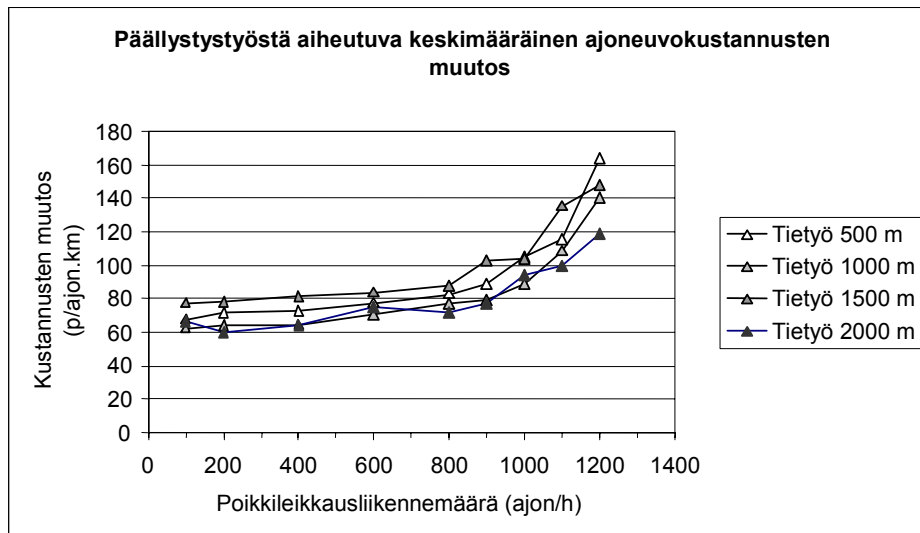


Kuva 12. Viivytys päällystystyön tapauksessa liikennemäärän, suuntajakauman ja tietyön pituuden funktiona.

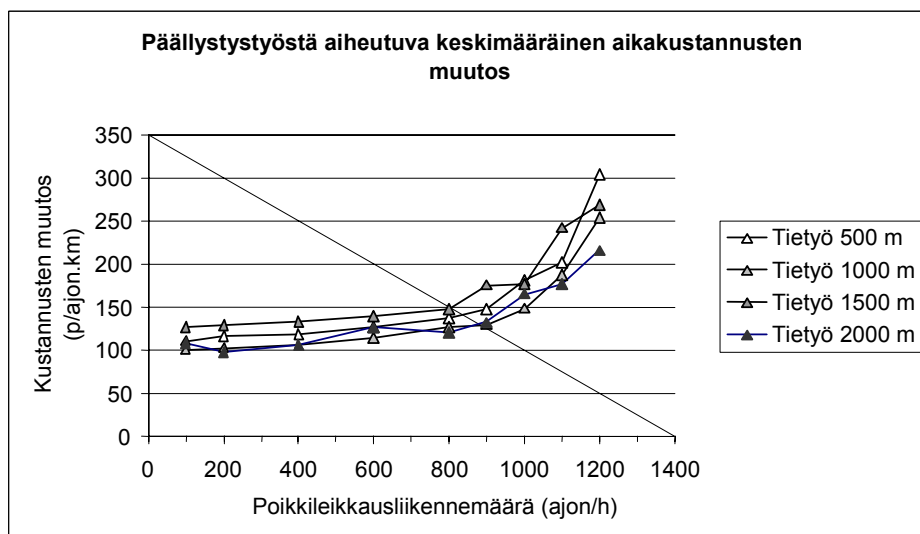
Kuvista 10, 11 ja 12 nähdään, että liikennemäärä vaikuttaa merkittävästi keskimääräiseen viivytykseen pituuteen vasta yli 900 ajon./h liikennemäärillä. Tämä johtuu siitä, että pienemmillä liikennemäärillä punaisen ajasta suurin osuus kuluu yksikaistaisen osuuden tyhjenemiseen, mihin liikennemäärä ei vaikuta.

### Keskimääräiset kustannukset

Ajoaikatuloista laskettujen ajoneuvo- ja aikakustannusten perusteella tietyön pituudella ei ole suurta vaikutusta päällystystyön tietyöalueen kilometrikohtaisiin ajokustannuksiin.

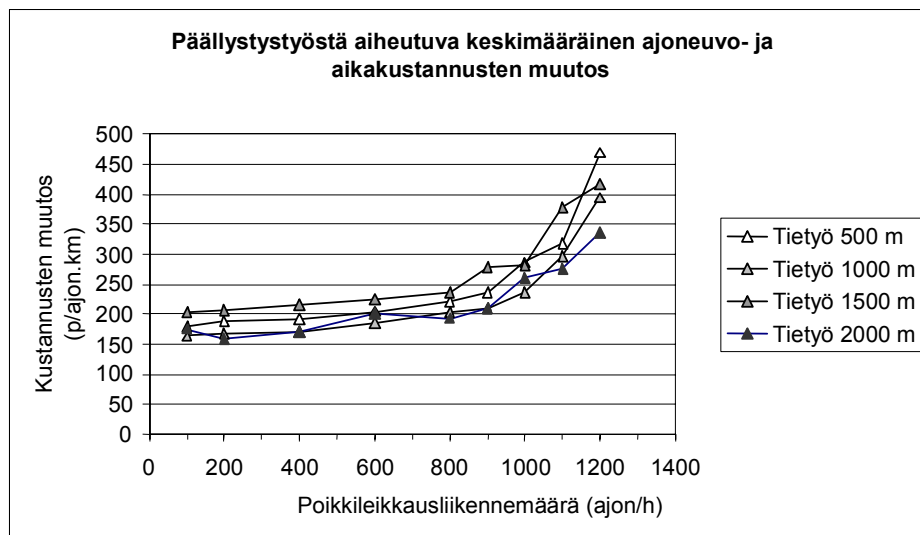


Kuva 13. Ajoneuvokustannusten muutos päällystystyön tapauksessa liikennemäärän ja työmaan pituuden funktiona.



Kuva 14. Aikakustannusten muutos päällystystyön tapauksessa liikennemäärän ja työmaan pituuden funktiona.

Päällystystyöstä aiheutuva ajoneuvo- ja aikakustannusten lisäys pysyy tasolla 150–250 p/km alle 900 ajon/h liikennemäärillä ja kääntyy sitten selvään kasvuun sitä suuremmilla liikennemäärillä (kuva 15).



Kuva 15. Päällystystyöstä aiheutuva keskimääräinen ajoneuvo- ja aikakustannusten muutos.

### Kokonaiskustannukset

Päällystystyöstä aiheutuu väylää käyttävälle ajoneuvoliikenteelle normaaleja liikenneoloja suuremmat aika- ja ajoneuvokustannukset. Kokonaiskustannusten muutos tunnissa suhteessa liikennemäärään on lähes lineaarinen alle 900 ajon/h liikennemäärillä erilaisilla tietyöpituuksilla (kuva 16) ja se voidaan laskea kaavalla:

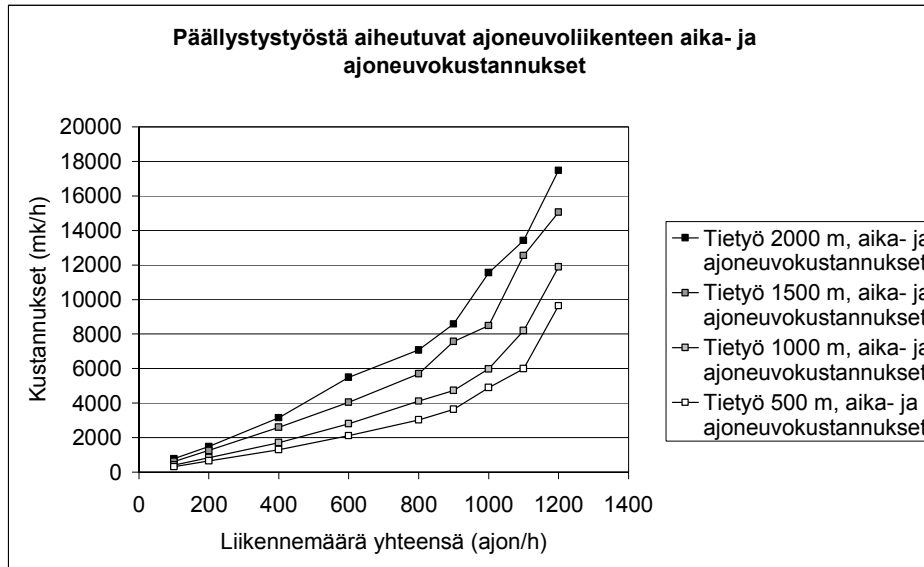
$$P = Q \times (1,74 + 0,0032 L),$$

missä  $P$  = ajoneuvo- ja aikakustannusten summa (mk/h)

$Q$  = liikennemäärä (ajon/h)

$L$  = päällystystyömaan yksikaistaisen osuuden pituus (m).

Kaavasta nähdään, että siinä ei huomioida ajoneuvoa kohti lasketun haitan riippuvuutta liikennemäärästä.



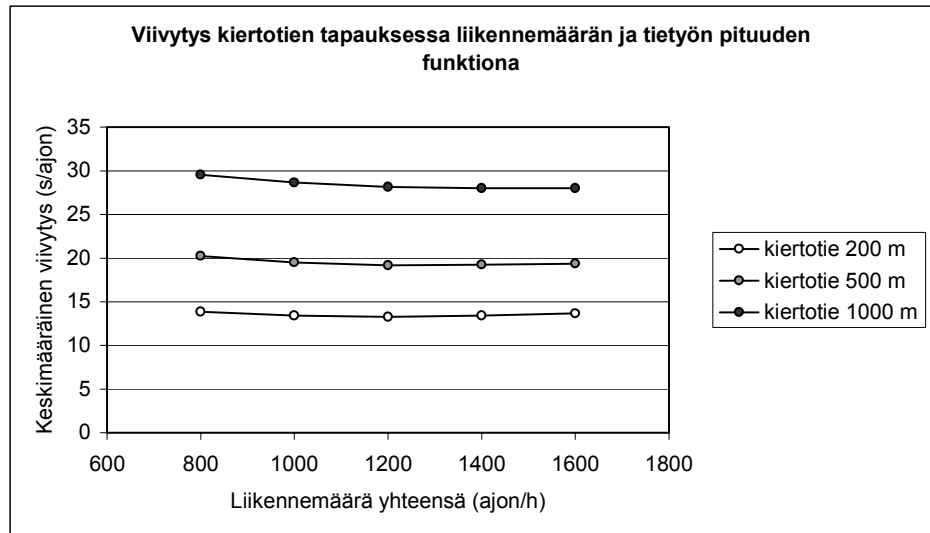
Kuva 16. Päällystystyöstä aiheutuvat ajoneuvoliikenteen aika- ja ajoneuvokustannukset.

### 6.5.3 Kiertotie

#### Ajoaika ja liikennemäärä

Kiertotiejärjestelyt eivät aiheuta liikenteellistä pullonkaulaa eivätkä alenna välityskykyä tarkastelluilla liikennemäärillä. Liikennemäärän muutoksista aiheutuvat matka-ajan muutokset ovat normaaleissa ja tietyönaikaisissa liikenneoloissa samansuuruisia. Tästä syystä kiertotiestä aiheutuvat viivytykset eivät merkittävästi muutu liikennemäärän mukaan (kuva 17).

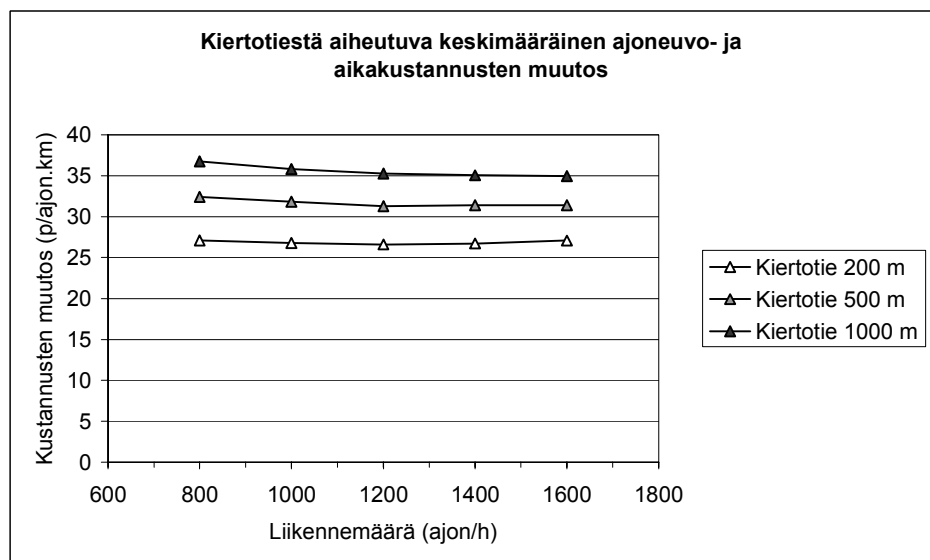




Kuva 17. Viivytys kiertotien tapauksessa liikennemäärän ja tietyön pituuden funktiona.

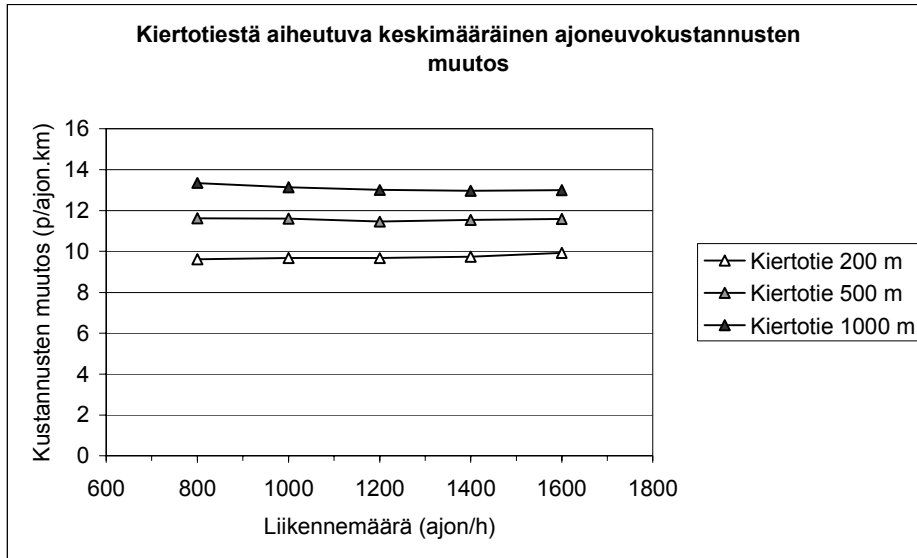
### Keskimääräiset kustannukset

Keskimääräiset kustannukset ajosuoritetta kohti käyttäytyvät viivytysten tavoin, joten ne pysyttelevät vakiotasolla kiertotien pituuden mukaan (kuva 18).

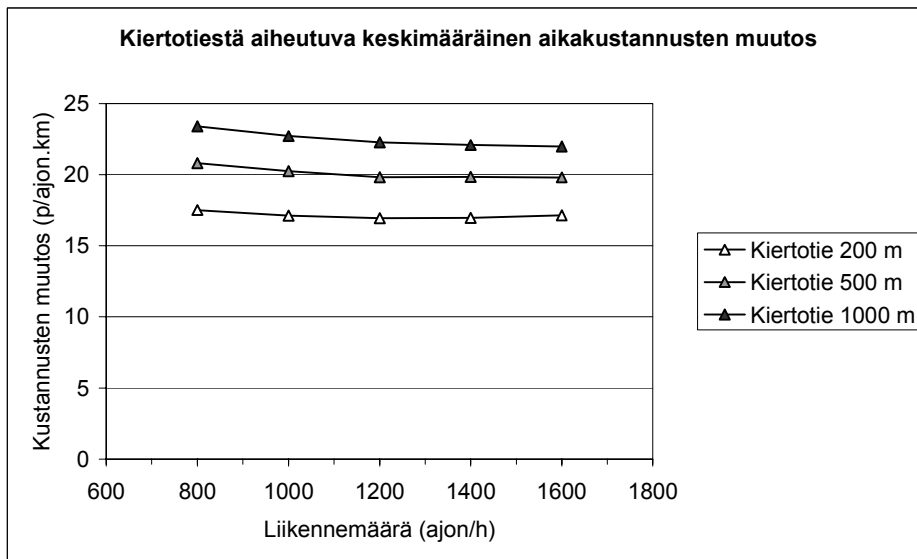


Kuva 18. Kiertotiestä aiheutuva keskimääräinen ajoneuvo- ja aikakustannusten muutos.

Ajoneuvo- ja aikakustannusten muutos säilyvät myös vakiotasoilla, jotka on esitetty kuvissa 19 ja 20.



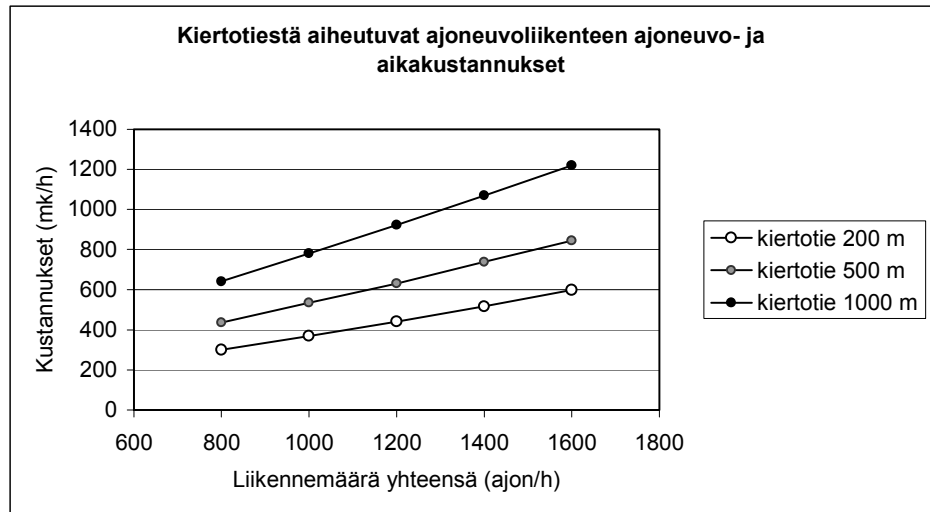
Kuva 19. Kiertotiestä aiheutuva keskimääräinen ajoneuvokustannusten muutos.



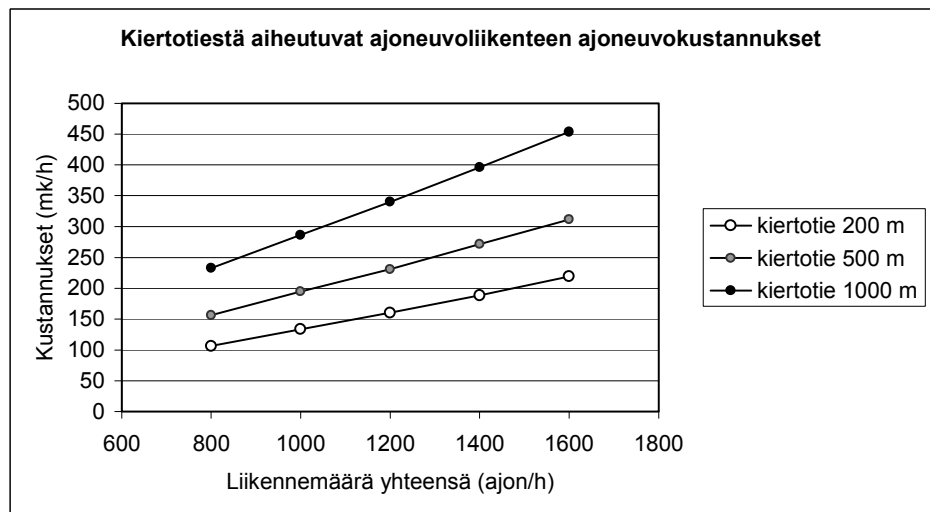
Kuva 20. Kiertotiestä aiheutuva keskimääräinen aikakustannusten muutos.

## Kokonaiskustannukset

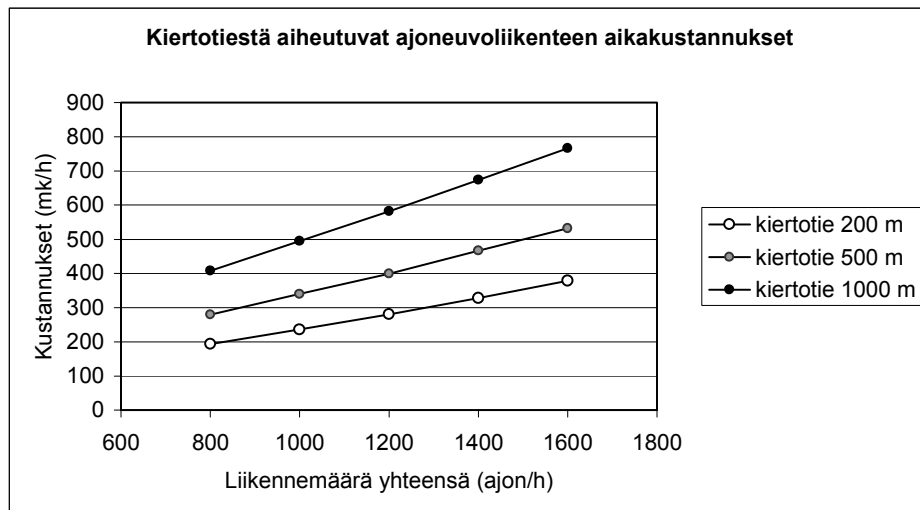
Kiertotiestä aiheutuvat ajoneuvo- ja aikakustannusten kokonaismäärät ovat lineaarisesti liikennemäärästä riippuvaisia (kuva 21).



Kuva 21. Kiertotiestä aiheutuvat ajoneuvoliikenteen ajoneuvo- ja aikakustannukset.



Kuva 22. Kiertotiestä aiheutuvat ajoneuvoliikenteen ajoneuvokustannukset.



Kuva 23. Kiertotiestä aiheutuvat ajoneuvoliikenteen aikakustannukset.

## 6.6 Päätelmät

Tämän selvityksen alkuperäisenä tarkoituksena oli tarkastella tyypillisiä työmaatilanteita mikrosimuloinnin avulla ja arvioida liikenteelle aiheutuvia haittoja tieliikenteen ajokustannusten laskentaohjeiden laajuudessa. Vaikutustarkasteluohjelmissa ilmenneiden puutteiden vuoksi simulointien tuloksena saatuja ajosyklejä ei ole voitu käyttää tietöiden polttoaineenkulutus- ja päästövaikutusten tarkasteluun. Sen seurauksena ajoneuvokustannukset on jouduttu laskemaan ajokustannusten laskentaohjeen mukaisella polttoaineenkulutusmallilla, joka ei täysin sovellu lyhyillä tietyöjaksoilla ilmenevien suurten nopeusmuutosten tarkasteluun. Työmaiden vaikutusten mikroskooppinen tarkastelu muuttui työn kuluessa mikroskooppiseksi simuloinniksi ja haittojen makroskooppiseksi tarkasteluksi. Tietokoneohjelmissa havaittuihin puutteisiin on kiinnitetty huomiota. HUTSIM-ohjelmiston vaikutusanalyysi- ja tulostenkäsittelyohjelmia on tutkimuksen jälkeen kehitetty ongelmien poistamiseksi ja käytön tehostamiseksi.

Mikrosimulointi on käyttökelpoinen tutkimusmenetelmä yleisluontoisten ja järjestelyiltään selväpiirteisten liikennetilanteiden tarkasteluun. Liikenteen mikrosimulointiohjelmat, kuten HUTSIM, pystyvät luotettavasti kuvaamaan erilaisia liikenneympäristöjä, -tilanteita ja -ratkaisuja. Mallien teko ja käyttö vaativat kuitenkin ammattitaitoa, huolellisuutta ja ongelmanratkaisukykyä.

## 7 ARVIOINTIOHJE KOLMEEN TAPAUKSEEN

### 7.1 Johdanto

Tässä osassa annetaan toimintaohjeet kolmen tyypillisen tietyömaan aiheuttamien haittojen arviointiin. Käsiteltävät tapaukset ovat:

1. Kaistan sulkeminen kaksiajorataisella tiellä (esim. kehätien sillan korjaus)
2. Kaistan sulkeminen kaksikaistaisella tiellä (esim. päällystystyö)
3. Kiertotie kaksikaistaisella tiellä (esim. alikulkutunnelin rakentaminen)

Haittakustannukset sisältävät aika- ja ajoneuvokustannukset. Yksikkökustannuksina on käytetty Tielaitoksen ajokustannusten yksikkökustannuksia vuodelta 1995.

Esitettävät kuvaajat perustuvat luvussa 6 raportoidun tutkimuksen tuloksiin.

Tämä arviointiohje on ensimmäinen laatuaan Suomessa ja tulee kehitty-mään ja tarkentumaan käytöstä kertyneen kokemuksen myötä.

### 7.2 Kaikkia tilanteita koskevat ohjeet

#### 1. Lähtötietojen hankinta

Ennen lähtötietojen hankkimista on syytä tutustua tämän ohjeen lisäksi ta-pauskohtaisiin ohjeisiin.

#### ◆ *Liikennemääräennuste*

Laaditaan arvio tuntiliikennemäärästä niiden tuntien ajalta, jona työnaikai-set liikennejärjestelyt ovat käytössä. Liikennemäärät pyöristetään lähim-pään sataan.

Kaksikaistaisen tien päällystystyömaan haittoja arvioitaessa liikenne-ennuste laaditaan poikkileikkausliikenteelle. Kaksikaistaisen tien kierto-tien ja kaksiajorataisen tien työmaan tapauksessa ennuste laaditaan suunnittain.

Ennusteen laadinnassa voidaan käyttää apuna tierekisterin tietolajin 201 *Liikennemäärät* tietoja. Tuntikohtainen ennuste laaditaan keskimääräisen vuorokausiliikennemäärän sekä kausivaihtelu-, viikonpäivävaihtelu ja tuntivaihtelutietojen avulla. Vaihtelukertoimet on esitetty mm. Tielaitok-sen julkaisun *Liikenteen automaattinen mittaus 1998* (Tielaitos 1999c) liitteessä.

Poikkeusaikoina, kuten juhlapyhien läheisyydessä käytetään kyseiseen ajankohtaan erikseen laadittua ennustetta.

Haittakustannuksia laskettaessa on raskaan liikenteen osuudeksi oletettu 12 % koko liikennemäärästä. Jos raskaiden osuus poikkeaa tästä merkit-tävästi on vaikutus arvioitava.

Liikennemäärä-ennustetta laadittaessa tulee huomioida muille reiteille siirtyvien osuus. Muille eriteille siirtyvien osuuteen vaikuttavat ainakin työmaa-alueen pituus, työmaan kesto sekä se, millaista tietoa työmaasta annetaan erilaisessa liikennetiedottamisessa.

#### ◆ **Työmaan pituus**

Selvitetään työmaan pituus. Työmaan pituus on se tietä pitkin mitattu matka, joka joudutaan sulkemaan liikenteeltä. Työmaan vaikutusalue on pidempi kuin työmaan pituus, mutta lähtötietona käytetään työmaan pituutta.

Työmaan pituus on rajattu tapauskohtaisesti. Ylärajan valintaan on vaikuttanut sekä tyyppisten työmaiden pituus, että arvojen määrittämisessä käytettyjen menetelmien sallima työmaan pituus. Pitkillä työmailla haitta-arvion virhemahdollisuudet ovat suuremmat kuin lyhyillä.

Liikkuvalla työmaalla (esim. päällystystyöt), jonka pituus muuttuu työn kuluessa työmaan pituutena käytetään sopivaksi katsottua arvoa. Jos työn alkaessa pituus on hyvin pieni ja kasvaa myöhemmin merkittävästi, voidaan työmaan pituutta pitää ensimmäisen tunnin aikana lyhyempänä.

#### ◆ **Nopeusrajoitukset**

Selvitetään työmaa-alueen nopeusrajoitukset sekä työn aikana, että normaalitilanteessa. Haitta-arviot on laadittu tyyppillisille tapauksille, jotka on kuvailtu tapauskohtaisissa ohjeissa. Tilanteisiin, joissa nopeusrajoitukset poikkeavat laskelmissa käytetyistä, on laadittu tapauskohtaiset muutokertoimet.

#### ◆ **Muuta huomioitavaa**

Käsiteltävät tapaukset koskevat kaikki tilannetta, jossa työmaan alueella ei ole liittymiä. Mikäli tarkasteltavan työmaan alueella tai välittömästi sen läheisyydessä sijaitsee liittymä, tulee sen vaikutus arvioida tapauskohtaisesti. Vähäliikenteisten liittymien vaikutus syntyyviin haittoihin on niin pieni, että se voidaan jättää huomioimatta.

Normaalitilanteella tarkoitetaan tiellä sitä tilannetta, joka tiellä vallitsi ennen kuin työnaikaiset järjestelyt otetaan käyttöön ja joka tiellä on työmaan valmistuttua.

## 2. **Haittakustannusten määrittäminen ja herkkyystarkastelut**

Haittakustannukset määritetään tapauskohtaisista kuvaajista tunneittain lukutarkkuuden sallimissa rajoissa. Tekstin yhteydessä on esitetty suuntaa antavat kuvaajat, joista ilmenee aika- ja ajoneuvokustannusten suhde, mutta arvojen lukeminen kuvaajien pienen koon vuoksi on vaikeaa. Arvojen lukemiseen tarkoitettujen sivun kokoisten kuvaajien esittäminen, joihin ohjaavat viittaukset löytyvät tekstissä olevien kuvaajien kuvateksteistä.

Virhemarginaali huomioon ottaen riittävä tarkkuus saavutetaan kun tunnin aikana syntyvän haitan kustannus luetaan kuvaajasta sadan markan tarkkuudella.

**Välityskyvyn ylittävillä liikennemäärillä haitta riippuu oleellisesti ylikysynnän kestoista, eikä näin ollen selitettävissä käytettyjen muutujien perusteella.** Koska tienkohdan välityskyky riippuu ratkaisemvasti kohteen ominaisuuksista, ei tässä tutkimuksessa ole tarkasteltu välityskykyä.

Kun haittakustannukset on määritelty tunneittain ne lasketaan yhteen. Haluttaessa voidaan tehdä herkkyystarkasteluja erilaisilla olettamuksilla. Herkkyystarkastelujen avulla voidaan esimerkiksi tutkia miten työn siirtäminen vähäliikenteisempään aikaan vaikuttaa syntyviin haittoihin. Päälystystyöt voidaan päivän sijasta ajoittaa yöhön ja lyhytaikaisen kiertotien rakentamista edellyttävä työ tehdä viikonlopun aikana.

### 3. Haittakustannusten vertaaminen muihin työmaan kustannuksiin

Haittojen merkityksen arvioimiseksi haittakustannuksia voidaan verrata muihin työmaasta aiheutuvista kustannuksista laskettaviin tunnuslukuihin. Tällaisia tunnuslukuja voivat olla esimerkiksi rakennuskustannukset. Taloudellisuuden arviointia kehitettäessä tullaan antamaan tarkempia ohjeita siitä, kuinka työmaan aiheuttamia haittoja tulee suhteuttaa muihin työmaan aiheuttamiin hyötyihin ja haittoihin.

## 7.3 Tapauskohtaiset arvioinnit

### 7.3.1 Kaistan sulkeminen kaksiajorataisella tiellä

Ohje koskee tilannetta, jossa suljetaan kaistoja kaksiajorataisella nelikaistaisella tiellä. Tilanteen kaistajärjestely on esitetty luvun 6.4.1 kuvassa 2.

Tarkastelu tehdään aina erikseen molempiin suuntiin, koska suuntien ei oleteta vaikuttavan toisiinsa. Työmaan oletetaan tässä arvioinnissa vaikuttavan molempiin suuntiin samalla tavalla. Todellisuudessa keskisaarekkeen yli siirtyvän suunnan liikenne kokee suurempaa haittaa kuin omalla ajoradallaan pysyvän suunnan liikenne.

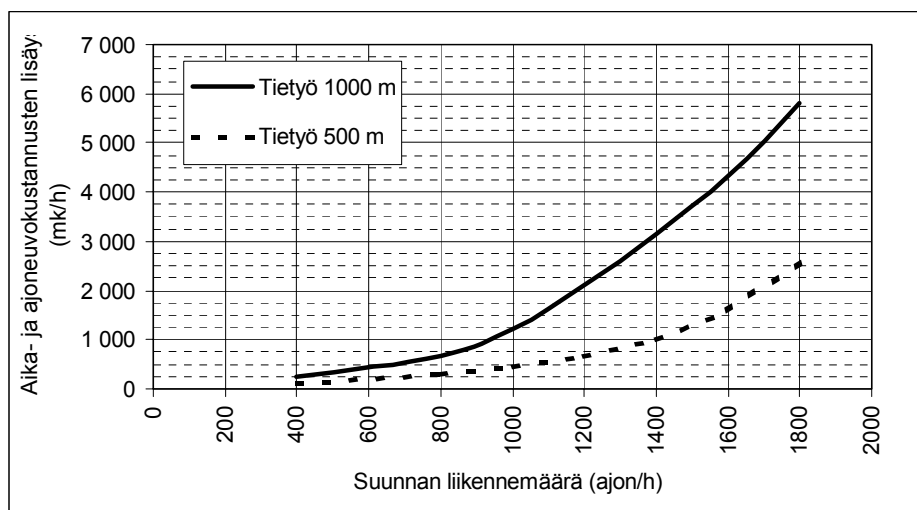
Ohjetta voidaan soveltaa seuraavissa tilanteissa:

1. Suunnan 1 ajorata suljettu. Suunnan 2 ajoradalla käytössä yksi kaista molempiin suuntiin. Tarkastellaan molemmat suunnat.
2. Suunnan 1 ajoradalla toinen kaista suljettu. Suunnan 1 liikenne ohjataan yhdelle kaistalle. Suunta 2 toimii normaalisti. Tarkastelu tehdään vain suunnalle 1.

Ensisijaisesti haitta-arvioita voidaan soveltaa kaupunkiseutujen kehäteiden omaisten teiden työmaiden tapauksissa. Tarkastelun aiheuttama työ voi olla esimerkiksi sillan tai rakenteen parantaminen, jota tehdään ajorata kerral-

laan. Arvioita voidaan laatia myös moottoritieympäristössä tehtäviin päällystystöihin. Tällöin on kuitenkin huomioitava, että nopeusrajoitukset eivät välttämättä vastaa arvioinnin lähtöarvoissa käytettyjä.

Syntyvät kustannukset on laskettu tilanteeseen, jossa nopeusrajoitus työmaa-alueella on 60 km/h. Nopeusrajoitus ennen työmaata ja sen jälkeen on 80 km/h, kuten myös normaalitilanteessa. Kuvassa 24 on esitetty suuntaantavat aika- ja ajoneuvokustannukset liikennemäärän ja työmaan pituuden funktiona.



Kuva 24. Työmaasta aiheutuvat aika- ja ajoneuvokustannusten lisäys työmaan pituuden ja **suunnan** liikennemäärän funktiona kaksiajorataisen tien työmaalla, jossa liikenteen käytössä on yksi kaista suuntaansa.

## KOMMENTTI

Tässä on erityisesti korostettava, että edellä esitetty kuvaaja ei sovellu haittojen arviointiin tapauksissa, jossa työmaalla liikenteen kysyntä ylittää kapasiteetin (ks. Luku 7.2, kohta 2).

### 7.3.2 Kaksikaistaisen tien päällystystyömaa

Tässä annettavat ohjeet koskevat kaksikaistaisella yksi ajorataisella tiellä tehtävää tietyötä, jossa toinen kaista joudutaan sulkemaan työmaan takia. Liikenne ohjataan avoinna olevaa kaistaa pitkin. Päällysteen uusiminen lie-nee yleisin tällainen työ. Kuvassa 3 (luku 6.4.2) on esitetty periaatekuva kaistajärjestely kaksikaistaisen tien päällystystyömaalla.

Esitettävät haikkustannukset on määritetty tilanteelle, jossa liikenteen ohjaajat huolehtivat vastakkaisten suuntien ajoneuvojen päästämisestä työmaalle siten, että kertynyttä jonoa ei katkaista. Liikenteen ohjaus voi olla toteutettu kahdella toisiinsa puhelinyhteydessä olevalla pysäytysmerkein tai liikennevaloin varustetuilla liikenteen ohjaajilla tai liikennetieto-ohjatusti toimivilla liikennevaloilla. Viimeksi mainittu menetelmä ei kuitenkaan ole suosi-

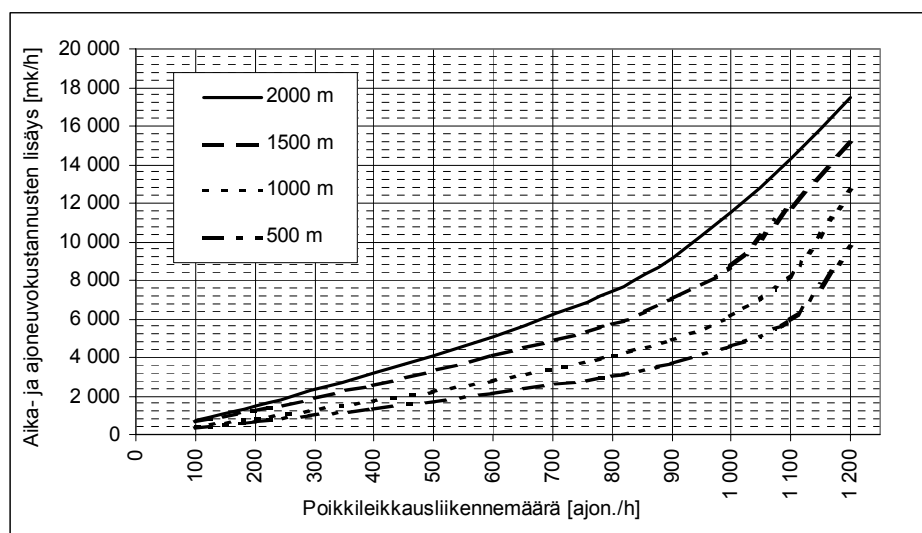


teltava pitkillä työmailla mahdollisen vikaantumisen aiheuttaman häiriön ta-  
kia.

Suuntajakauman merkitys mahdollisilla suuntajakauman arvoilla syntyviin  
kustannuksiin on niin pieni, että se voidaan jättää huomioimatta.

Haittakustannukset perustuvat tilanteeseen, jossa työmaalla on 50 km/h ra-  
joitus lukuun ottamatta 200 metriä pitkää osuutta, jossa rajoitus on 30 km/h  
(päällystystyömaalla levittimen kohdalla). Nopeusrajoitus ennen työmaata ja  
sen jälkeen on 80 km/h.

Kuvassa 25 on esitetty aika- ja ajoneuvokustannukset liikennemäärän ja  
työmaan pituuden funktiona. (Suurempi koko sivun kuvaaja on esitetty liit-  
teessä 4).



Kuva 25. Työmaasta aiheutuvat aika- ja ajoneuvokustannusten lisäys työmaan  
pituuden ja liikennemäärän funktiona kaksikaistaisen tien päällystystyömaalla.

Kuvaajassa esitetyt arvot on määritetty tapaukselle, jossa työmaankohdan  
normaalijan nopeusrajoitus on 80 km/h. Kuvaajasta saatua haittakustan-  
nusta tulee korjata kertoimen  $k$  avulla sellaisissa tapauksissa, joissa nopeus  
rajoitus on jokin muu kuin 80 km/h. Kertoimia määriteltäessä on oletettu, että  
nopeusrajoituksen muutos vaikuttaa vain aikakustannuksiin. Kertoimen  $k$   
arvoit on taulukoitu taulukossa 12.

Taulukko 12. Korjaustekijän k arvot.

Normaalitilanteen nopeusrajoitus [km/h]	korjauskerroin k
50	0,83
60	0,87
70	0,95
80	1
100	1,07

**Esimerkki:**

Tarkastellaan penkereellä kulkevan tien kaiteen asennukseen liittyvää tietyömaata. Työskentelyn turvaamiseksi toinen kaista suljetaan ja liikenne ohjataan suunnat vuoron perään paikan ohi. Suljetun kaistan pituus on 500 metriä. Tiellä on normaalisti 100 km/h rajoitus. Työ kestää 6 tuntia.

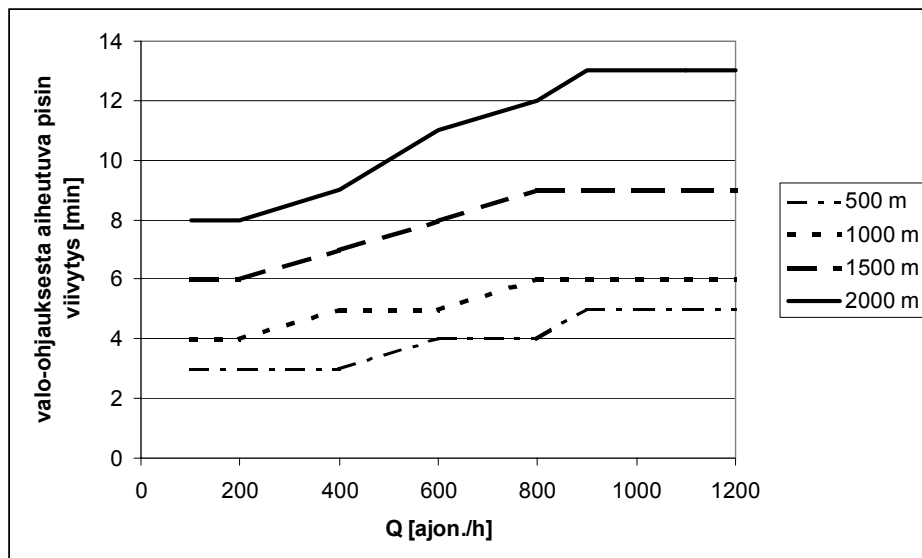
Työnaikaiset ennustetut liikennemäärät on merkitty alla olevan taulukkoon. Arvioitu haittakustannus on määritetty tunneittain ja laskettu yhteen. Koska esimerkissä tien normaali nopeusrajoitus oli 100 km/h, on kertoimen k arvo 1,07.

Taulukko 13. Laskuesimerkki kuusi tuntia kestävä kaksikaistaisen tien työmaan liikennehaittojen määrittämiseksi.

Tunti	Liikennemäärä [ajon./h]	Haittakustannus [mk/h]
1	300	1000
2	250	800
3	200	600
4	300	1000
5	350	1100
6	400	1300
yhteensä		5800 mk
kerroin k		1,07
korjattu haittakustannus koko työn ajalta		n. 6200 mk

**Jonotusajat ja viivytykset**

Työmaan pituuden ja liikennemäärän kasvaessa kuljettajien kokemat viivytykset kasvavat. Kaksikaistaisen tien päällystystyömaalla pisin viivytyks kohdistuu ajoneuvoon, jonka saapuessa yksikaistaiselle osuudella liikenteen ohjaus vaihtaa ajovuoron vastakkaiselle suunnalle. Pisin jonossa oloaika on siis saman suuruinen kuin pisin punaisen aika. Työmaasta aiheutuvat viivytykset ovat pidempiä kuin pelkät jonotusajat, koska osa viivytyksestä aiheutuu alemmista nopeusrajoituksista ja ruuhkautumisesta. Pisimmät jonotusajat on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Pisimmät jonotusajat kaksikaistaisen tien päällystystyömaalla simulointitutkimuksen perusteella. Huom! Jonossa oloaika on vain osa työmaasta aiheutuvaa viivytystä!

#### KOMMENTTI

Tienkäyttäjät raportoivat aika-ajoin jopa parinkymmenen minuutin jonotuksista kaksikaistaisen tien päällystystyömaalla. Aika vaikuttaa tämän selvityksen yhteydessä tehdyn tutkimuksen perusteella pitkältä. Syitä tällaisiin ”ylipitkiin” jonotusaikoihin voivat olla:

- Työn tekeminen ”liian” vilkkaan liikenteen aikana.
- Liikenteen ohjauksen tehottomuus, joka voi aiheutua esimerkiksi huonosta kommunikoinnista liikenteenohjaajien kesken.
- Työn tekeminen vaatii koneiden runsasta liikkumista liikenteelle varatulla ajoradan osalla, mikä vähentää aikaa, jolloin avoinna oleva kaista on liikenteen käytössä.

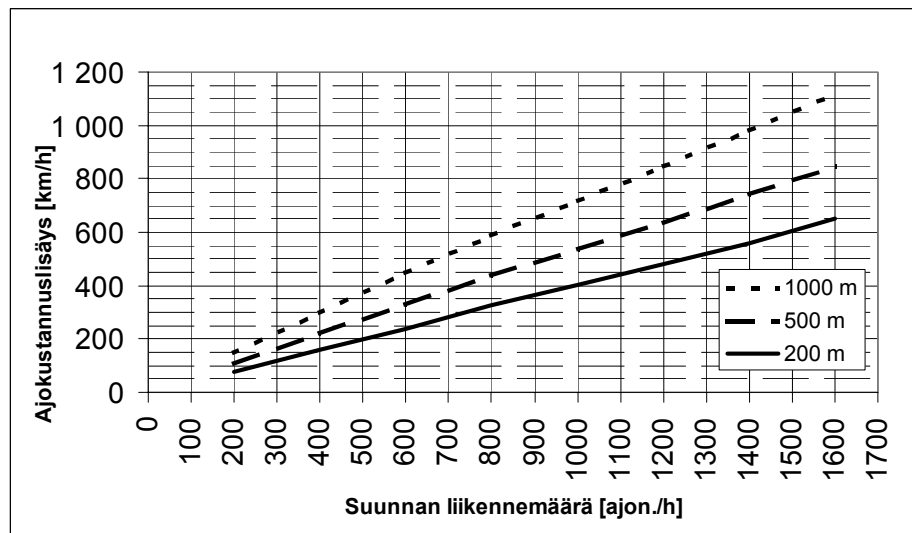
#### 7.3.3 Kaksikaistaisen tien kiertotie

Ohje koskee tilannetta yksiajoratainen tie on katkaistu ja liikenne ohjataan kiertotielle. (ks. Luku 6.4.3 Kuva 4) Tarkastelu tehdään erikseen molempiin suuntiin, koska suunnat eivät vaikuta toisiinsa.

Tyypillisiä sovelluskohteita ovat alikulkutunnelin rakentaminen, siltatyöt, muista kuin tiehankkeista, kuten vesijohto- tai lämpöverkoston rakentamisesta aiheutuvat työmaat.

Työmaan aiheuttamat haittakustannukset on laskettu kiertotielle, joka on rakennettu heti suljetun tien viereen. Arvot ovat liian pieniä tapauksissa, joissa kiertotien ja normaalireitin pituusero kasvaa.

Kiertotiestä aiheutuvat ajokustannukset on määritelty 200, 500 ja 1000 metrin mittaisille kiertoteille. Kiertotien, jonka pituus on näiden arvojen välissä, aiheuttamat haitat voidaan arvioida esitettyjen käyrien välistä.



Kuva 27. Kiertotien aiheuttama ajokustannusten lisäys tunnissa.

Kiertotiestä aiheutuva aika- ja ajoneuvokustannusten lisäys kasvaa lineaarisesti liikennemäärän kasvaessa. Tämä johtuu siitä, että suurilla kuormitusasteilla normaalitilanteen ajokustannukset kasvavat, jolloin yhtä ajoneuvoa kohti laskettu ajokustannuksen lisäys ei kasva yhtä nopeasti kuin työmaatilanteessa ajokustannus kasvaa ajoneuvoa kohti. Liikennemäärän pysyessä välityskykyrajan alapuolella voidaan ajoneuvoa kohti laskettua ajoneuvokustannusten lisäystä pitää vakiona.

Taulukossa 14 on esitetty ajokustannusten keskimääräinen lisäys ajoneuvoa kohti laskettuna sekä aika- ja ajoneuvokustannusten osuus ajokustannuksista eri pituisilla kiertoteillä. Kiertotien pituuden kasvaessa aikakustannusten osuus ajokustannuksista kasvaa hieman.

Taulukko 14. Ajokustannusten keskimääräinen lisäys ajoneuvoa kohti laskettuna sekä aika- ja ajoneuvokustannusten osuus ajokustannuksista eri pituisilla kiertoteillä.

Kiertotien pituus	Aika- ja ajoneuvokustannusten lisäys / ajoneuvo	Aikakustannukset	Ajoneuvokustannukset
200 m	n. 40 p	n. 60 %	n. 40 %
500 m	n. 55 p	n. 65 %	n. 35 %
1000 m	n. 75 p	n. 70 %	n. 30 %

Koska ajoneuvoa kohti laskettu ajokustannusten lisäys on vakio välityskykyraajaan saakka, voidaan arvio työmaan aiheuttamasta haitasta tehdä myös työmaan ohittavien ajoneuvojen määrän perusteella.

**Esimerkki:**

KVL: 4800 ajon./vrk

kiertotie käytössä: 14 vrk

kiertotien pituus: 500 m

Ajokustannusten lisäys =  $4800 \text{ ajon./vrk} * 14 \text{ vrk} * 0,55 \text{ mk} = 36700 \text{ mk}$

## KIRJALLISUUSLUETTELO

BASSt (1995). Empfehlungen zur Minderung von Stau- und Unfallrisiko bei einstreifigen Verkehrsführungen in Autobahnbaustellen der neun Bundesländer. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 701. 97 s.

Enberg, Å., Mannan, S. (1998). Capacity and Traffic Flow Characteristics at a Freeway Work Zone in Finland. TRB Proceedings of the Third International Symposium on Highway Capacity. Volume 1. Kööpenhamina 1998.

HCM (1994). Highway capacity manual. Transportation research board, special report 209. Washington D.C.

Herbsman, Charles (1998). Lane Rental –Innovative Way to Reduce Road Construction Time. Journal of Construction engineering and management, september/october 1998 p. 411-417.

Hunt, Griffiths, Moses, Yousif (1991). A Study of Traffic Capacity Through the Various Features of Motorway Roadworks. Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport, Contractor Report 283. 22 s. + liitt.

Jiang. Y. (1999). A Model for Estimating Excess User Costs at highway Work Zones. Esitelmä Transportation Research Board 78<sup>th</sup> Annual Meeting, 10-14.1.1999. Washington, D.C. 11 s. + liitt.

Krammes, A., Lopez, G. (1994). Updated Capacity Values for Short-Term Freeway Work Lane Closures. Transportation Research Record 1442, s 49-56.

Ojanperä (2000). Keskustelu Ratahallintokeskuksen ylitarkastaja Kari Ojanperän kanssa 9.2.2000.

Ratahallintokeskus (1997). Raideliikenteelle aiheutuvista haitoista perittävät korvaukset. 24.3.1997. Helsinki.

Soares, Najafi (1999). User cost at the work zone. Esitelmä Transportation Research Board 78<sup>th</sup> Annual Meeting, 10-14.1.1999. Washington, D.C. 6 s. + liitt.

Tielaitos (1998). Väliytiskykymittaus Kehä I:n työmaalla huhtikuussa 1998. Julkaisematon muistio. Tielaitos, tie- ja liikennetekniikka.

Tielaitos (1999a). Liikenteen sujuvuus tietyömailla. Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri. Helsinki. 49 s.

Tielaitos (1999b). Palvelutasotutkimus: kesä 1999: yksityishenkilöt ja raskaan liikenteen autoilijat. Tiehallinto, Liikenteen palvelut. Helsinki. 48 s. + liitt.

Tielaitos (1999c). Liikenteen automaattinen mittaus 1998. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 52/1999. Tiehallinto. Helsinki.

The University of Cincinnati (1997). Final Report, User Cost Models for Pavement Maintenance and Rehabilitation Alternatives in Highway Work Zones. The University of Cincinnati, Department for Civil and Environmental Engineering, Ohio 1997.

Viatek (1999). Tietyömaiden haittojen arviomenetelmät ulkomailla. Julkaisen muiston muistio.

VTI (1999). Road work zone behavioural studies, a literature review. Väg- och trafik institutet. Linköping. 38 s.





## LIITTEET

1. Tutkimuksia välityskyvyn arvosta kaistamäärän pienentyessä
2. Englannin QUADRO –ohjelmiston ominaisuudet
3. Malleja jonojen ja viivytysten määrittämiseksi
4. Kuvaaaja aika- ja ajoneuvokustannusten lisääntymisestä kaksikaistaisen tien päällystyössä



## TUTKIMUKSIA VÄLITYSKYVYN ARVOSTA KAISTAMÄÄRÄN PIENTYESSÄ

Kaistojen lukumäärä [normaalisti; työn aikana]	Välityskyky työmaan kohdalla (tutkimuksen nimet viittaavat lähdeluetteloon)				
	Tielaitos 1998 [ajon./h./kaista]	Hunt et.al. 1991 [ajon./h./kaista]	Krammes & Lopez 1994 [hay/h./kaista]	HCM 1994 [ajon./h./kaista]	BASt 1995 [ajon./h./suu nta]
2 ; 1	1456	2050-14*H	1575	1340	1100-1500
3 ; 1			1460	1170	1100-1300
3 ; 2				1490	2400-3000
4 ; 2			1515	1480	
4 ; 3			1552	1520	
5 ; 2				1370	

H = raskaiden  
ajoneuvojen  
osuus  
prosentteina

## LIITE 2 (1/4)

### QUADRO –OHJELMISTON OMINAISUUDET

(Viatek 1999)

QUADRO (QUeues And Delays at ROadworks) on menetelmä, jolla voidaan arvioida suurien teiden kunnossapitohankkeiden kokonaiskustannuksia. Kokonaiskustannus koostuu kahdesta osasta:

- suoranaiset kustannukset kunnossapitotyöstä, esim. uudelleenpäällystyksestä,
- tienkäyttäjille kunnossapitotyöstä aiheutuneet aika-, ajoneuvo- ja onnettomuuskustannusten lisäykset.

QUADRO ei ole hyöty-kustannus -laskuohjelma. QUADRO laskee ainoastaan kustannustehokkuutta.

QUADRO vaatii verkon, joka käsittää sekä pääreitit, jolla työ tapahtuu, sekä kiertotien. Tämän lisäksi tarvitaan molempien reittien liikennevirrat, tietyöalueen pituus, sen sijainti pääreitillä suhteessa kiertotiehen, työn kesto, ajoitus sekä liikenteen hallintajärjestelyt. Tietyöt voidaan määrittellä erikseen tai useista töistä koostuvana sarjana. Kustannukset lasketaan vuoden 1994 hintatasossa. Laskelmat tehdään hiljaiselle ja vilkkaalle liikenteelle.

#### QUADRON KÄYTTÖKOHEET

QUADRO:n pääasialliset käyttökohteet ovat moottoritiet ja muut vilkkaasti liikennöidyt tiet, joilla on runsaasti erityisesti raskasta liikennettä. Käyttäjryhmiä on kaksi selkeästi erilaisia.

Ensimmäinen ryhmä koostuu kunnossapitoinsinööreistä, jotka arvioivat suuria kunnossapitohankkeita, jotka todennäköisesti aiheuttavat merkittäviä viivytyksiä. QUADRO:lla voidaan näissä tapauksissa laskea erityyppisten töiden kokonaiskustannus, tienkäyttäjien viivytysten arvo ja se, miten nämä kustannukset vaihtelevat työn eri ajoitustavoilla.

Toinen ryhmä käsittää suunnittelijat, jotka arvioivat uusien tiehankkeiden mahdollisesti tulevaisuudessa tapahtuvia kunnossapito- ja parannushankkeita. QUADRO:n antamat tulokset voivat vaikuttaa siihen, jatketaanko tiehanketta tai siihen, mikä linjaus valitaan. Useimmiten vaikutukset kohdistuvat kuitenkin ajoradan mittoihin tai päällysteen laatuun.

#### LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

##### Verkko

Tien, jolla kunnossapitotyö tapahtuu, normaali ajoradan tyyppi, pituus ja geometria on tiedettävä. QUADRO käyttää näitä tietoja tien nopeus-liikennemäärä -käyrän laskentaan. Leveys vaikuttaa jonojen pituuteen. Käyttäjä antaa myös onnettomuusinformaation.

Tietyön sijainti määritellään kiertotien alkamiskohdasta laskien. Tietyön pituus määritellään matkana, jolla liikenteen käytössä oleva tien leveys on kaventunut. Työn suoritustapa täytyy antaa lähtötietona ohjelmalle. Se määrittää matka-ajan tai nopeus-liikennemäärä -käyrän tietyöjaksolle.

Kiertotietä käsitellään yhtenäisenä ominaisuuksiltaan kauttaaltaan samankaltaisena reittinä. Usein kiertotiet todellisuudessa koostuvat useasta ominaisuuksiltaan erilaisesta tieosasta. Erillisellä QDIV -ohjelmalla voidaan laskea useista erilaisista osista koostuvalle kiertotielle yhteinen nopeus-liikennemäärä -suhte. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää "maksimijonotusviivytystä", joka kuvaa sitä aikaa, minkä liikenne "haluaa" jonottaa tietyömaalla.

### Liikennetiedot

QUADRO käyttää yhden suunnan tuntiliikennemääriä. Poikkileikkausliikennemäärät syötetään lähtötiedoiksi jollakin neljästä eri tavasta:

1. vuoden keskituntiliikenne kyseisenä vuonna (KVL/24),
2. 12 tunnin (klo 7-19) liikennemäärä kyseisenä vuonna "neutraalina" kuukautena,
3. 16 tunnin (klo 6-22) liikennemäärä kyseisenä vuonna "neutraalina" kuukautena,
4. 24 tunnin liikennemäärä kyseisenä vuonna siltä vuodenajalta jolloin kunnossapitotyö tehdään.

"Neutraaleja" kuukausia ovat huhti-, touko-, kesä-, syys- ja lokakuu.

QUADRO tarvitsee myös ajoneuvoluokkien osuuden liikennevirrasta. Käytössä ovat samat viisi kategorialla kuin COBA:ssa: henkilöautot ja pakettiautot, raskaat ajoneuvot (2 eri luokkaa) sekä linja-autot.

Yhden suunnan liikennemäärien laskemiseksi tarvitaan vielä tieto suuntajakaumasta ja sen vaihtelusta. Tämä annetaan erikseen arkipäiville ja viikonlopulle.

QUADRO muuttaa lähtötietoina annetut liikennemäärät suunnittaisiksi liikennemääriksi. Ohjelma sisältää keskimääräiset liikennevirtaprofiilit jokaisen päivätyypin jokaiselle tunnille. Päivätyypit ovat maanantai-torstai, perjantai, lauantai ja sunnuntai. Kausivaihtelukerroin on määriteltävä elokuun ja neutraalin kuukauden välisenä vaihtelukertoimenä.

Lähtötietojen ei välttämättä tarvitse olla siltä vuodelta, jolloin kunnossapitotyö tapahtuu. QUADRO sisältää valtakunnalliset liikenteen kasvutaulukot ajoneuvoluokittain. Paikallisia tietoja pitäisi kuitenkin käyttää, jos ne ovat saatavilla.

### Yleinen viivytysmalli

QUADRO:ssa on oletuksena, että säännöllisesti reittiä ajavat kuljettajat muistavat työmaan olemassaolon ja siitä aiheutuvat viivytykset, ja että tarpeeksi suuri osuus heistä valitsee kiertotien minimoidakseen matka-aikansa, jotta seuraava yhtälö pitää paikkansa:

$$\text{Matka-aika pääreitillä keskimäärin (mukaan lukien viivytykset)} = \text{Matka-aika kiertotiellä}$$

QUADRO käsittelee jokaisen tunnin yhtenä kierroksena, ja tunnin päättyessä vallitsevat olosuhteet siirtyvät seuraavalle tunnille.

### Satunnaiset viivytykset

Satunnaiset viivytykset kuten onnettomuudet ja ajoneuvojen rikkoontumiset aiheuttavat lisää jonoutumista ja viivytyksiä. Nämä tapaukset ovat odottamattomia. QUADRO olettaa, että nämä tapahtuvat keskellä työmaata ja ovat kestoiltaan vakioita, jonka käyttäjä saa määritellä erikseen onnettomuuksille ja rikkoontumisille. QUADRO:ssa on sisäänrakennettuna onnettomuuksien ja rikkoontumisten esiintymistiheydet, joita se käyttää niistä aiheutuvien viivytysten ja kustannusten laskentaan.

Yksiajorataisilla teillä sijaitseville työmaille ei satunnaisia viivytyksiä lasketa, koska ne oletetaan poistettavan nopeasti.

## LIITE 2 (3/4)

### TIENKÄYTTÄJÄN KUSTANNUKSET QUADRO:SSA

#### Aikakustannukset

QUADRO laskee ajoneuvojen nopeudet ja matka-ajat normaalille verkolle sekä verkolle, jolla on työmaa käyttäen aiemmin kuvattuja liikennemäärätietoja ja nopeus-liikennemäärä -käyriä.

Nopeuksien ja matka-aikojen erot aiheutuvat pääreitien jonoutumisesta sekä kiertotien lisääntyvistä liikenteestä. Satunnaisista viivytyksistä aiheutuvat vaikutukset arvioidaan erikseen lisääntyvänä matka-aikana.

#### Ajoneuvojen käyttökustannukset

Ajoneuvojen käyttökustannukset lasketaan kuten COBA:ssa perustuen keskinopeuteen. Nämä kustannukset ovat työn aikana alhaisemmat, koska nopeudet ovat alhaisemmat sekä pääreitillä että kiertotiellä. Kustannukset lasketaan jokaiselle ajoneuvokategorialle erikseen.

#### Onnettomuuskustannukset

QUADRO:ssa onnettomuudet lasketaan käyttäen onnettomuusasteita, jotka ovat joko valtakunnallisia tai paikallisia, mikäli ne ovat saatavilla. Onnettomuusaste vaihtelee maan eri osissa ja eri tyyppisillä teillä. Kustannukset lasketaan olettaen, että jokaiseen onnettomuuteen liittyy tietty määrä kuolemia sekä vakavia ja lieviä loukkaantumisia. Kustannuksiin on tehty alennus pelkkiin omaisuusvahinkoihin johtavien onnettomuuksien vuoksi.

QUADRO ottaa huomioon myös sen, että varsinaista tietyömaita edeltävällä osuudella, jolla voi olla runsaasti merkkejä ja suljettuja kaistoja, tapahtuu usein onnettomuuksia. Onnettomuuksiin vaikuttaa myös se, että kiertotie on eri pituinen kuin pääreitti.

### TYÖKUSTANNUKSET JA KOKONAISKUNNOSSAPITOKUSTANNUKSET

QUADRO:lla voidaan laskea sekä yksittäisten töiden kustannuksia, että uusien tiehankkeiden tapauksessa useiden kunnossapitotöiden kustannukset tien yli 30 vuoden käyttöiän ajalta.

QUADRO:ssa on oletuksena, että yksittäinen työ ei kestä kauempaa kuin 52 viikkoa. Kustannuksia ei siis tarvitse kohdentaa kuin yhdelle vuodelle. Kokonaiskustannukset diskontataan käyttäen 6 %:n korkoa perusvuoteen, joka on 1994.

Arvioitaessa yli 30 vuoden jaksolla kunnossapitokustannuksia lasketaan sekä suuren että pienen liikenteen kasvun vaihtoehdot.

### QUADRON SOVELTAMINEN

#### Olemassa olevat tiet

QUADRO:a käytetään yleensä yksittäisen kunnossapitotyön vaikutusten arviointiin. QUADRO:n käyttö on yleensä kannattavaa vain, jos kyseessä on niin suuri työ tai liikennemäärät ovat niin suuria, että vaikutus on mitattavissa.

QUADRO avustaa seuraavien päätösten teossa:

1. olemassa olevan tien optimaalinen kunnossapitostrategia,
2. tarkoituksenmukaisen kunnossapidon löytäminen (esim. valinta usein toistuvien mutta halpojen toimien ja kalliiden, mutta harvemmin tarvittavien toimien välillä),
3. kunnossapitotoimien ajoitus tien elinkaareissa ja
4. liikenteenhallinnan järjestelyt (laajasti käsitettynä) ja töiden ajallinen sijoittuminen (esim. yöaikana työskentelyn kannattavuus).

QUADRO ei ota huomioon samalla tieosalla samanaikaisesti tapahtuvien töiden vuorovaikutusta. Kuitenkin jos työmaiden väliin jää riittävän pitkä matka kuljettajien turhautumisen välttämiseksi, on tämä vuorovaikutus yleensä vähäpätöinen.

### **Suunnitteilla olevat tied**

QUADRO avustaa seuraavien päätösten teossa:

1. edetäänkö hankkeen suunnittelussa vai hylätäänkö se,
2. vaihtoehtojen vertailu (yleensä kunnossapitokustannusten merkitys kuitenkin vähäinen),
3. ajoradan poikkileikkauksen valinta ja
4. päällysteen valinta.

QUADRO:a voidaan myös käyttää arvioitaessa viivytyksiä rakennettaessa uutta tietä. Sen avulla voidaan myös arvioida liikenteen siirtymistä kiertoteille ja käytettäviä kiertoteitä.

QUADRO on tarpeeton monien uusien tiesuunnitelmien yhteydessä missä ei oleteta esiintyvän merkittäviä säästöjä tai lisäkustannuksia verkkoon tulevien lisäysten johdosta.

### **QUADRON RAJOITUKSET**

QUADRO ei kykene erottamaan pieniä eroja työmaan toteutuksessa, joten se ei sovellu erityisesti liikenteen ohjaus- tai hallintajärjestelyjen vaikutusten arviointiin. Tapaukset, joissa kunnossapitotyöt vaikuttavat voimakkaasti risteyksiin, ei QUADRO myöskään sovellu, koska se käsittelee linkkejä. Ohjelma on kehitetty käytettäväksi maaseutuolosuhteisiin. Kaupunkimaisissa oloissa kiertoteiden kuvaaminen on hankalaa.

## LIITE 3 (1/2)

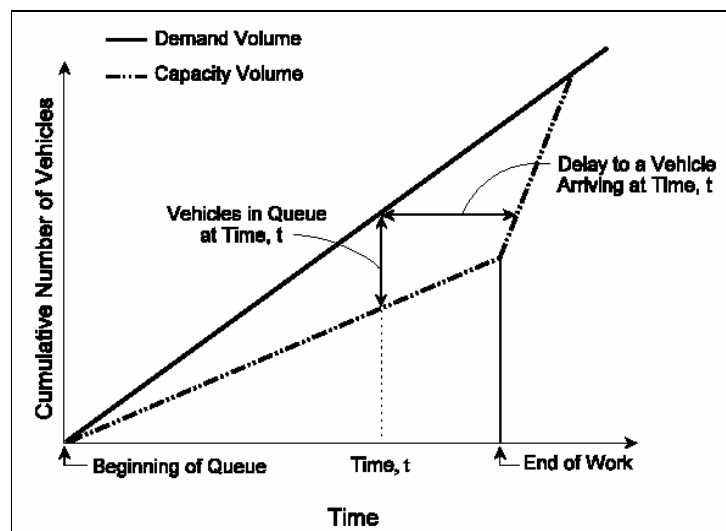
### MALLEJA JONOJEN JA VIIVYTYSTEN MÄÄRITTÄMISEKSI

Alla on esitetty kolme jonojen ja viivytysten määrittämiseen soveltuvaa teoreettista mallia.

(Kuvat: Soares & Najafi 1999.)

#### Pinoava jonomalli (Deterministic Queuing Model)

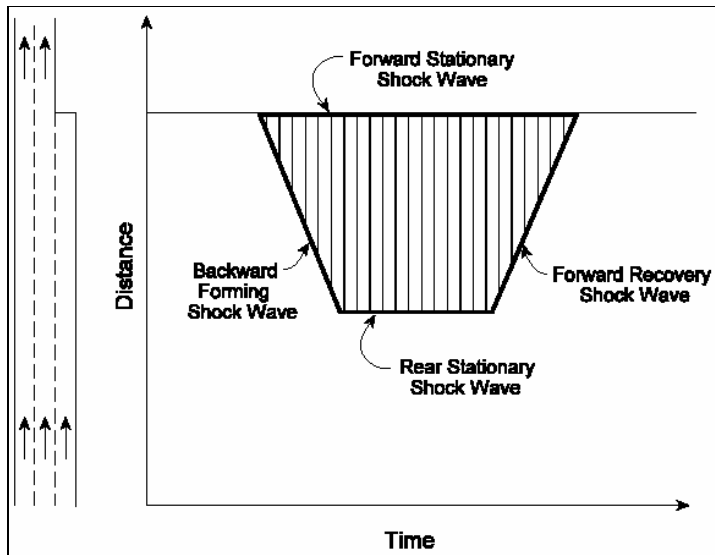
HCM suosittelee pinoavan jonomallin käyttöä tarkasteltaessa moottoriteiden viivytyksiä. Teoriassa kapasiteetin täytyttyä seuraavat saapuvat ajoneuvot menevät kuviteltuun pinoon. Pino lyhenee alapäästään välityskyvyn verran ja kasvaa yläpäästään saapuvien ajoneuvojen verran. Jono kasvaa, jos saapuvien ajoneuvojen määrä on suurempi kuin välityskyky. Jos taas saapuvien määrä alittaa välityskyvyn, jono lyhenee. Alla on esitetty pinoavan jonomallin graafinen esitys.



#### Shokkiaaltoteoria (Shock Wave Analys Model)

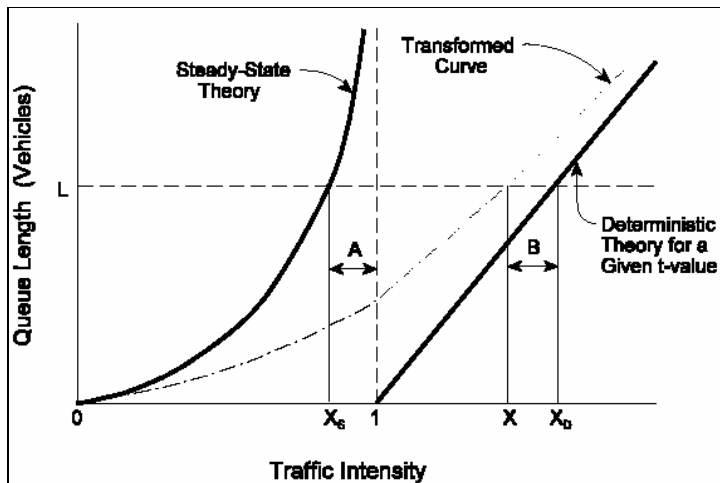
Liikennevirran oletetaan käyttäytyvän nesteen tavoin. Kysynnän ja välityskyvyn ollessa tasapainossa aalto pysyy paikallaan. Kysynnän ylittäessä välityskyvyn aalto liikkuu liikennevirtaa vastaan ja saapuvat autot joutuvat ruuhkaan edellisiä aikaisemmin. Vastaavasti kun kysyntä on pienempi kuin välityskyky aalto liikkuu liikennevirran suuntaan kunnes se saavuttaa pullonkaulan. Shokkiaaltoteorian graafinen esitys on esitetty alla.





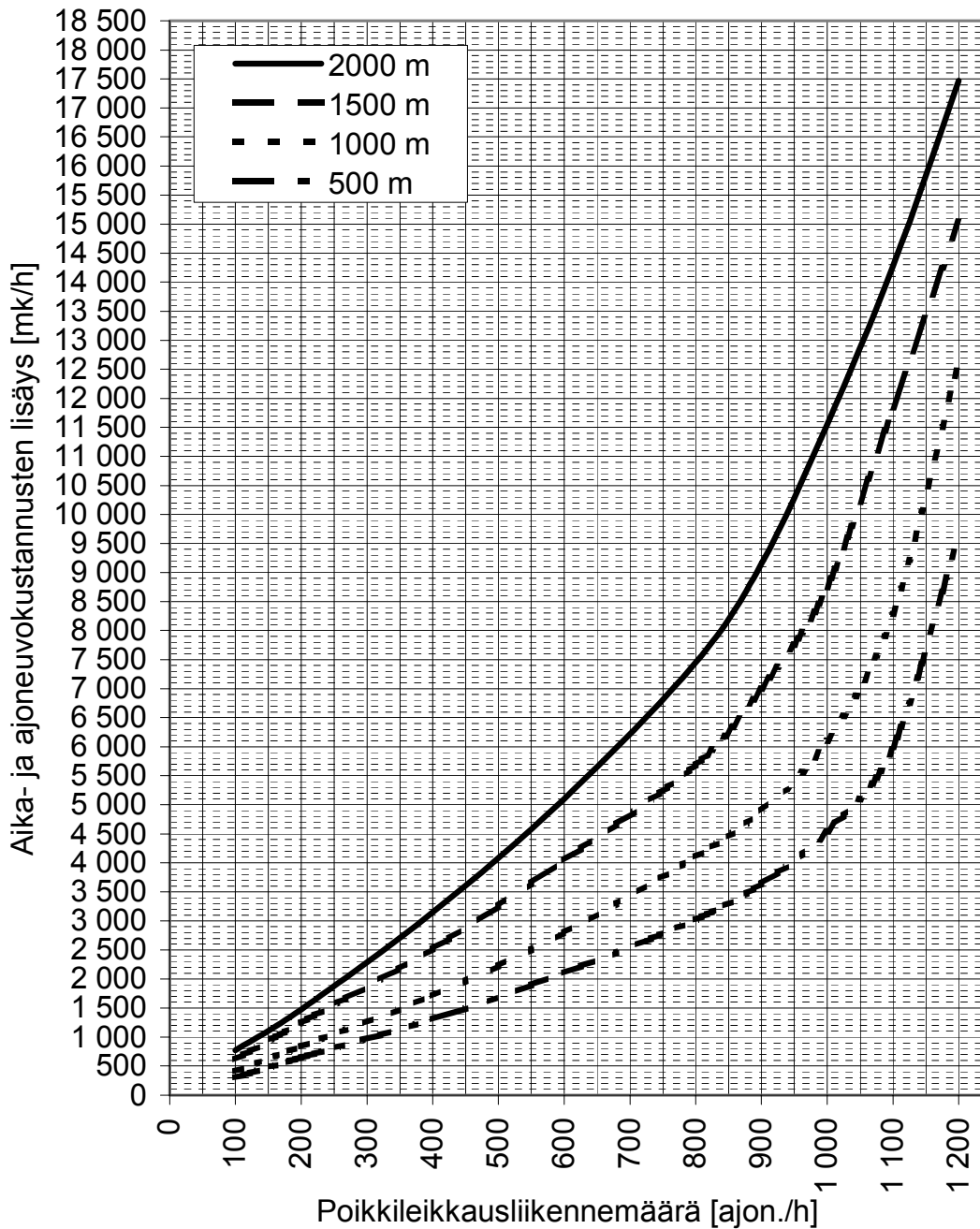
**”Koordinaatiston muutosmalli” (Coordinate transformation Technique Model)**

Pinoavan jonomallin mukaan jonoa ei synny ennen kuin kysyntä ylittää välityskyvyn. Näin kuitenkin käytännössä ole, vaan jonoa syntyy jo välityskykyä pienemmillä liikennemäärillä. Tämä johtuu eroista kuljettajien ajotavoissa. Kuljettajat pitävät eri pituista etäisyyttä edellä ajavaan, reagoivat edessä liikkuvan jonon nopeuden muutoksiin eri tavalla ja niin edelleen. Myöskään ”steady-state statistical queuing method” ei sovellu sellaisenaan viivytysmalliksi, koska sen mukaan jonon pituus kasvaa äärettömään kysynnän ja välityskyvyn suhteen lähestyessä ykköstä. Näiden mallien yhdistämien tuottaa mallin, jossa virheet kompensoituvat. Alla on esitetty teorian graafinen esitys.



## LIITE 4

### AIKA- JA AJONEUVOKUSTANNUSTEN LISÄYS KAKSIKAISTAISEN TIEN PÄÄLLYSTYSTYÖSSÄ



KUSTANNUKSET ON MÄÄRITETTY KÄYTTÄEN TIELAITOKSEN JULKAISUSSA  
TIELIIKENTEEN AJOKUSTANNUKSET 1995 ESITETTYJÄ AJOKUSTANNUSTEN  
YKSIKKÖHINTOJA.