

Lähesmaa Jukka. Kotka - Hamina sääohjatun tien yhteiskuntataloudellisuus. Helsinki 1997. Tielaitoksen selvityksiä 36/1997. TIEL 3200482, ISBN 951-726-368-6, ISSN 0788-3722. 45 sivua + 5 liitettä

Asiasanat: investointilaskelmat, kustannus-hyötyanalyysit, liikenteen hal-
lintajärjestelmät, tiesääpalvelu, nopeusrajoitukset, muuttuvat opasteet

Aiheluokka: 02, 20, 22

Tiivistelmä

Työssä selvitettiin Kotkan ja Haminan välillä käytössä olevan sääohjausjärjestelmän yhteiskuntataloudellisuus ja esitettiin miten eri kustannustekijöiden muutokset vaikuttavat tuottavuuteen. Tämän perusteella arvioitiin mahdollisuuksia vaikuttaa vastaavien järjestelmien tuottavuuteen tulevaisuudessa.

Liikenteen yhteiskuntataloudelliset kustannukset laskettiin niiden muutosten perusteella, joita sääohjausjärjestelmällä on ajonopeuksiin ja onnettomuuksien määrään. Sään ja kelin mukaan muuttuvilla opasteilla nopeuksia alennetaan huonoissa keliolosuhteissa, joiden aikana onnettomuusriski on huomattavasti tavanomaista korkeampi. Siten sääohjauksella on mahdollista saada säästöä onnettomuuskustannuksissa enemmän kuin aikakustannukset kasvavat. Kotka - Hamina sääohjatulla tiellä laskettiin onnettomuuskustannusten pienenevän vuodessa noin 1,1 miljoonaa markkaa, kun vastaavasti aikakustannukset kasvavat alle 500 000 markkaa. Vaikutukset muihin tarkasteltuihin yhteiskuntataloudellisiin kustannustekijöihin olivat pienempiä.

Hankkeen tuottavuus ja kannattavuus laskettiin vertaamalla yhteiskuntataloudellisia vaikutuksia järjestelmän investointi- ja ylläpitokustannuksiin. Kotka - Hamina sääohjausjärjestelmän rakentaminen maksoi noin 8,2 miljoonaa ja sen vuotuisiksi ylläpitokustannuksiksi lasketaan 330 000 markkaa. Hankkeen hyötykustannussuhteeksi saatiin 0,5 ja sijoitetun pääoman tuottoasteeksi 4 prosenttia. Saatavat yhteiskuntataloudelliset hyödyt eivät riitä kattamaan kuin puolet syntyvistä kustannuksista ja pääomalle saatava tuotto on alhainen.

Kotka - Hamina sääohjattu tie on kokeilu, jonka rakentamisessa ei kiinnitetty erityistä huomioita kustannuksiin. Mikäli vastaava järjestelmä rakennettaisiin tällä hetkellä se voitaisiin toteuttaa noin 2,2 miljoonaa edullisemmin. Lisäksi rakentamalla järjestelmä pidemmälle tieosuudelle, jolloin investoinnin ja ylläpidon kiinteät kustannukset jäisivät suhteellisesti pienemmiksi, sekä kokeilemalla langatonta tiedonsiirtoa kustannuksia olisi mahdollista edelleen vähentää. Näillä edellytyksillä sääohjattu tie voisi olla yhteiskuntataloudellisesti perusteltu investointi.

Lähesmaa, Jukka. Kotka - Hamina sääohjatun tien yhteiskuntataloudellisuus. [The socio-economic profitability of the Kotka-Hamina weather controlled road]. Helsinki 1997. Tielaitoksen selvityksiä 36/1997. TIEL 3200482, ISBN 951-726-368-6, ISSN 0788-3722. 45 pages + 5 appendixes

Key words: investment calculation, cost-benefit analysis, traffic management, road weather information system, speed limit, variable message sign

Abstract

The purpose of the study was to find out the socio-economic profitability of the Kotka - Hamina weather controlled road. It was also illustrated how the changes in the cost factors affect profitability. Based on this estimates were made about how similar road weather information systems could be made more profitable in the future.

The socio-economic costs of traffic were estimated based on the changes the road weather information system has on average speeds and the numbers of accidents. Variable speed limits controlled according to weather and road conditions lower speeds during bad conditions when the risk of accident is many times higher than in normal conditions. This makes it possible to save in accident costs without significant increase in time costs. The accident costs at the Kotka - Hamina weather controlled road were estimated to decrease about 1,1 million Finnish marks annually while time costs increase by less than 500 000 Finnish marks. The weather-control system has only small effects on the other evaluated socio-economic costs.

The productivity and profitability of the system was calculated by comparing the total socio-economic impacts with the investment and maintenance costs. The construction of the weather-control system cost some 8,2 million Finnish marks and the annual maintenance costs are 330 000 marks. The benefit-cost ratio of the investment is 0,5 and the remunerative rate of interest is 4 per cent. The socio-economic savings account for only half of the total costs of the system and the return on investment is poor.

The Kotka - Hamina weather controlled road is an experiment and the costs were not the main concern during the construction. If a similar system would be built now it would be 2,2 million marks less expensive. In addition by using the system on a longer road section, when the fixed costs of construction and maintenance would have relatively smaller share, and by trying wireless communication it would be possible to reduce the costs even more. If these preconditions can be met weather-controlled roads can be a profitable investment to the society.

The study has been granted Community financial aid in the field of Trans-European Networks - Transport (TEN-T).

ALKUSANAT

Tutkimuksessa selvitettiin Kotkan ja Haminan välisen ”sääohjatun tien” yhteiskuntataloudellisuutta sekä sitä, miten sääohjattujen järjestelmien taloudellisuuteen voidaan vaikuttaa. Sääohjattu tie on noin 14 km:n pituinen moottoritieosuus, jossa nopeusrajoituksia ja muuttuvia varoitusmerkkejä ohjataan sään ja kelin perusteella.

Selvityksen taustana on vuonna 1995 valmistunut tutkimus, jossa selvitettiin, miten sääohjauksen yhteiskuntataloudellista edullisuutta tulee arvioida (Sääohjatun tien yhteiskuntataloudellinen edullisuus. KaS 11/1995. Kaakkois-Suomen tiepiiri, Kouvola 1995).

Selvitys liittyy Tielaitoksen liikenteen hallinta -projektin vuonna 1994 käynnistämään sääohjatun tien vaikutustutkimukseen. Vaikutustutkimuksen tulokset on julkaistu erillisenä raporttina (Sää- ja kelitietoon perustuvan liikenteen ohjausjärjestelmän vaikutukset Kotka-Hamina moottoritiellä. Tielaitoksen selvityksiä 1/1997. TIEL 3200448). Tässä tutkimuksessa on hyödynnetty vaikutustutkimusta varten kerättyjä todellisia nopeusarvoja ja keliluokkia.

Raportin on kirjoittanut VTT:ssa tutkija Jukka Lähesmaa. Työhön ovat osallistuneet lisäksi erikoistutkija Veli-Pekka Kallberg, erikoistutkija Pirkko Rämä, tutkija Susanna Ranta sekä tutkimusharjoittelija Virpi Harjula. Tielaitoksen yhteyshenkilönä on ollut diplomi-insinööri Mirja Noukka sekä taustaryhmä TKT Risto Kulmala, FM Yrjö Pilli-Sihvola, TkL Pekka Leviäkangas ja DI Eini Hirvenoja.

Selvityksen tekemiseen on saatu Euroopan unionin liikenteen perusrakenteen kehittämiseen tarkoitettua TEN-T (Trans-European Networks - Transport) -rahoitusta.

Helsingissä elokuussa 1997

Tieliikenteen telematiikka - E18 kokeilualue -projekti

Sisällysluettelo

1. LÄHTÖKOHDAT	11
1.1 Kotka-Hamina sääohjattu tie	11
1.2 Tutkimuksen rakenne	11
1.3 Tulosten tulkinnasta	12
2. KUSTANNUKSET	14
2.1 Kotka-Hamina koetie	14
2.2 Hankkeen päivitetyt investointikustannukset	14
2.3 Ylläpitokustannukset	16
2.4 Langattoman tiedonsiirron vaihtoehto	18
2.4.1 Langattoman tiedonsiirron ylläpitokustannukset	20
2.5 Vaihtoehtojen vertailu	21
3. NOPEUDET	23
3.1 Nopeusrajoitukset ja informaatiotaulut	23
3.2 Keskinopeuksien muutokset	23
3.3 Nopeuksien hajonnan muutos	25
4. ONNETTOMUUDET	26
4.1 Suhteelliset riskit	26
4.2 Onnettomuusasteet	26
4.3 Opasteiden vaikutus onnettomuuksiin	27
4.3.1 Nopeuden muutoksen vaikutus	27
4.3.2 Nopeuksien hajonnan vaikutus	28
4.3.3 Muut mahdolliset vaikutukset	30
5. YHTEISKUNTATALOUDELLISET KUSTANNUSVAIKUTUKSET	31
6. TUOTTAVUUS JA KANNATTAVUUS	33
6.1 Tunnusluvut	33
6.2 Tulokset	33
6.2.1 Kotka-Hamina koetie	33
6.2.2 Päivitetyt investointikustannukset	34
6.2.3 Langaton vaihtoehto	34

7. KUSTANNUSTEKIJÖIDEN MUUTOKSET	35
7.1 Herkkyysanalyysit ja niiden suorittaminen	35
7.2 Investointikustannukset	35
7.3 Ylläpitokustannukset	37
7.4 Pitoaika	38
7.5 Liikennemäärä	38
7.6 Keskinopeus ja onnettomuudet	39
7.7 Onnettomuudet	40
7.8 Suhteellinen riski	41
7.9 Keliluokkien osuus	42
7.10 Muut tekijät	43
8. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	44
8.1 Vertailu aikaisempaan tutkimukseen	44
8.2 Muutokset kustannustekijöissä	44

LÄHTEET

HAASTATELLUT HENKILÖT

LIITTEET

- Liite I Investointikustannukset 1994
- Liite II Päivitetyt investointikustannukset
- Liite III Nopeudet eri luokissa
- Liite IV Suhteellisen riskin määrittäminen
- Liite V Yhteiskuntataloudelliset laskuperusteet

1. LÄHTÖKOHDAT

1.1 Kotka-Hamina sääohjattu tie

Tarkasteltava sääohjattu tie on noin 14 kilometrin pituinen moottoritieosuus Kotkan ja Haminan välillä. Tielle asennettiin vuosina 1993-94 36 muuttuvaa nopeusrajoitusmerkkiä ja 5 informaatiotaulua. Sääohjausjärjestelmä valmistui saman aikaisesti uuden moottoritien rakentamisen yhteydessä. Muuttuvia opasteita ohjataan sää- ja kelitietojen perusteella tavoitteena parantaa liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta.

Sää- ja kelitietoja kerätään kahdelta automaattiselta tiesääasemalta. Tiesääjärjestelmän keskusyksikkö analysoi tietojen perusteella keliluokituksen ja tekee nopeusrajoitussuosituksen. Nopeusrajoitusmerkkien ja informaatiotaulujen ohjauksen hoitaa järjestelmän ohjauslaitteisto keskusyksiköltä saatujen suositusten mukaan. Muuttuvia opasteita voidaan ohjata myös käsikäyttöisesti.

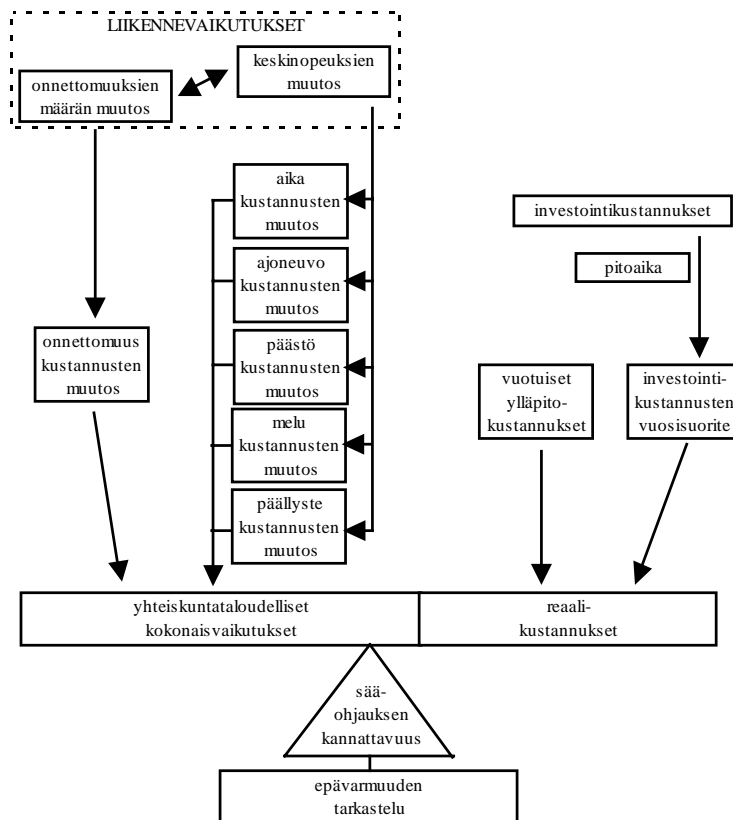
Liikennemäärä moottoritien valmistuessa oli keskimäärin noin 14 500 ajoneuvoa vuorokaudessa. Liikenne on runsaampaa moottoritien läntisessä päässä (KVL noin 20 000) ja vähäisempää itäpäässä (KVL noin 10 000). Raskaiden ajoneuvojen osuus tiellä on suuri, noin 13 prosenttia koko liikenteestä.

Liikennemäärän Kotka-Hamina tiellä odotetaan kasvavan nopeasti. Kymen läänin pääteillä liikennemäärät eivät ole juurikaan kasvaneet viime vuosina, mutta Kotka-Hamina välillä kasvu on ollut kuuden prosentin luokkaa. Kasvun oletetaan pysyvän viitenä prosenttina vuodessa sääohjatun tien tarkastelujaksolla. Koko sääohjausjärjestelmän laskennallisena pitoaikana käytetään 14 vuotta. Tarkastelujakson keskimääräiseksi liikenteeksi tulee siten noin 20 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Raskaan liikenteen osuuden arvioidaan pysyvän ennallaan.

1.2 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Kotka-Hamina välille rakennetun kokeiluluontoisen sääohjausjärjestelmän yhteiskuntataloudellisuus ja miettiä miten taloudellisuuteen voitaisiin vaikuttaa jatkossa.

Hankkeen tuottavuus ja kannattavuus laskettiin vertaamalla järjestelmän yhteiskuntataloudellisia vaikutuksia järjestelmän investointi- ja ylläpitokustannuksiin. Tutkimuksessa sääohjatun tien taloudellisuutta tarkasteltiin kuvan 1 osoittaman rakenteen mukaisesti.



Kuva 1. Tutkimuksen rakenne

Tarkastelussa selvitettiin Kotka-Hamina sääohjatun tien todelliset investointi- ja ylläpitokustannukset. Lisäksi arvioitiin, miten kustannukset muuttuisivat, jos vastaava järjestelmä rakennettaisiin vuonna 1997 tai hyödyntäen langatonta tiedonsiirtoa.

Sääohjausjärjestelmän liikennevaikutusten perusteella arvioitiin, miten käytettävät yhteiskuntataloudelliset kustannukset muuttuvat. Osa yhteiskuntataloudellisista kustannuksista pienenee ja osa kasvaa sääohjauksen vaikutuksesta. Vertaamalla yhteiskuntataloudellisia kokonaisvaikutuksia investointi- ja ylläpitokustannuksiin laskettiin tunnusluvut tuottavuudelle ja kannattavuudelle. Laskelmien tekemiseksi tehtyjen arvioiden epävarmuuden vaikutusta tarkasteltiin herkkyyssanalyysissä.

1.3 Tulosten tulkinnasta

Sääohjattua tietä on tässä tutkimuksessa tarkasteltu pelkästään taloudellisin perustein. Päätöksenteossa on otettava huomioon myös muita tekijöitä, joiden taloudellinen arvottaminen ei ole mielekäästä.

Yhteiskuntataloudellisten laskelmien tekeminen perustuu aina määrittelyihin siitä, mitä kustannustekijöitä tarkastellaan ja mitä laskennallisia hintoja tekijöille käytetään. Tässä tutkimuksessa käytettävät yhteiskuntataloudelliset kustannustekijät (onnettomuus-, aika-, ajoneuvo-, päästö-, melu- ja päällystekustannukset) on valittu Tielaitoksen määrittelemien tieliikenteen ajokustannusten laskentaperiaatteiden mukaan (Tielaitos 1996). Myös muita yhteiskuntataloudellisia laskentaperiaatteita olisi mahdollista noudattaa ja ottaa laajemmin huomioon esimerkiksi hankkeen työllisyysvaikutukset tai vaikutukset kotimaisen teollisuuden kehittymiseen. Jatkossa hyödyllistä voisi olla lisäksi tienrakennusinvestointien ja liikennetelematiikkainvestointien vertailu esimerkiksi miettimällä missä tilanteissa liikenteen telematiikalla olisi mahdollista lykätä kalliita tienrakennusinvestointeja.

Laskelmiin liittyvien määrittelykysymysten ja arvioiden vuoksi taloudellisuustarkastelun tuloksia on luettava kriittisesti. Tuloksiin liittyvän epävarmuuden tarkastelu on yhtä olennaista kuin yksittäiset tunnusluvut. Näillä varauksilla yhteiskuntataloudelliset laskelmat antavat hyvän keinon tarkastella liikenteen telematiikan hyödyntämistä kokonaisuutena ja vertailla eri tekijöiden vaikutuksia.

2. KUSTANNUKSET

2.1 Kotka-Hamina koetie

Seuraavassa esitetyt sääohjausjärjestelmän toteutuneet investointikustannukset Kotka-Hamina koetielle perustuvat Kaakkois-Suomen tiepiirin julkaisussa 'Sääohjatun tien yhteiskuntataloudellinen edullisuus, (Lähesmaa 1995) tehtyyn selvitykseen. Kustannukset ovat todellisia kustannuksia, jotka syntyivät järjestelmää toteutettaessa vuosina 1993-94.

Taulukko 1. Kotka-Hamina säätien investointikustannukset. Investoinnin vuosisuorite on laskettu annuiteettimenetelmällä.

	Investointi- kustannukset (1 000 mk)	investoinnin vuosisuorite (1 000 mk)
suunnittelu	388	34
putkitus ja kaapelointi	3 165	276
opasteet	2 780	448
havaintolaitteisto	265	40
atk-laitteet	430	102
ohjelmistot	470	48
käyttöönotto	110	18
muut kustannukset	560	49
yhteensä	8 168	1 014

Taulukossa 1 esitetyt investointikustannukset on tarkemmin eritelty liitteessä I, jossa on esitetty myös pitoajat eri laitteille. Kohta muut kustannukset käsittää mm. teknisen rakennuksen rakentamisen. Investoinnin vuosisuorite on laskettu annuiteettimenetelmällä, jossa korkona on käytetty 6 prosenttia. Investoinnin jäännösarvo pitoajan lopussa on oletettu nolllaksi.

2.2 Hankkeen päivitetty investointikustannukset

Kotka - Hamina tie oli sääohjauksen ensimmäinen toteutus, minkä vuoksi suuri osa ongelmista piti ratkaista ensimmäistä kertaa. Jos vastaava projekti toteutettaisiin nyt, voitaisiin useita ratkaisuja käyttää hyväksi sellaisenaan. Lisäksi investointikustannuksiin voidaan vaikuttaa toteuttamalla esimerkiksi kaapelointi ilman putkitusta ja kaivoja. Arvio investointikustannuksista, mikäli kyseinen Kotka- Hamina sääohjattu tie toteutettaisiin vuonna 1997, on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kotka-Hamina säätien arvioidut investointikustannukset, mikäli sääohjattu tie rakennettaisiin 1997.

	Investointi- kustannukset (1 000 mk)	investoinnin vuosisuorite (1 000 mk)
suunnittelu	388	34
kaapelointi	1 735	151
opasteet	2 290	369
havaintolaitteisto	265	40
atk-laitteet	430	102
ohjelmistot	150	20
käyttöönotto	110	18
muut	560	49
yhteensä	5 928	783

Taulukossa 2 esitetyt vuosisuoritteet on laskettu annuiteettimenetelmällä, kuten taulukossa 1 (todelliset säätien toteutumiskustannukset). Pitoajat ovat samat kuin edellisessä taulukossa ja jäännösarvo on pitoajan lopussa nolla. Koska kaapeloinnissa, jonka pitoaika on pitkä (20 vuotta) verrattuna muihin investointeihin, tapahtuu suurimmat kustannussäästöt investoinnin laskennallinen pitoaika vähenee 9 vuoteen. (Laskennallinen pitoaika saadaan kertomalla kunkin yksittäisen investoinnin pitoaika sen markkamääräisellä kustannuksella ja jakamalla saatu summa koko investointikustannuksella.) Tästä johtuen vuosisuorite ei vähene suhteessa yhtä paljon kuin kokonaisinvestointikustannukset. Investointikustannukset on tarkemmin eritelty liitteessä II.

Säästöjä aikaisempaan investointilaskelmaan verrattaessa on syntynyt seuraavasti:

kaapelointi

- kaapelointi on mahdollista toteuttaa ilman putkitusta ja kaivoja, jolloin investointikustannuksia pystyttäisiin alentamaan noin 1 430 000 markalla.

opasteet

- muuttuvien opasteiden hinnat ovat laskeneet noin 17 prosenttia Kotka-Hamina sääohjatun tien rakentamisajankohdasta. Tämä merkitsisi noin puolen miljoonan säästöä nopeusrajoitusmerkkien ja informaatiotaulujen ostossa.

tiesääohjelmisto

- tiesääsemien ohjelmistojen suunnittelu oli kertaluonteinen maksu ja samaa ohjelmaa pystytään käyttämään jatkossa muissakin tiesääsemissä, joten in-

vestointikustannukset pienenevät ohjelmiston suunnittelun verran, 320 000 markkaa.

Kokonaisuudessaan arvioitiin, että hanke voitaisiin nykyisin toteuttaa noin 2,2 miljoonaa pienemmillä kustannuksilla. Investoinnin vuosisuoritteen lasku ei ole suhteellisesti yhtä suuri johtuen siitä, että pääosa kustannussäästöstä saadaan putkitus- ja kaapelointikustannuksista, joiden pitoaika on pitkä.

Muiden investointikustannusten muutosten mahdollisuuksia ja vaikutusta tuotavuuteen on arvioitu erikseen herkkyyksianalyyysien yhteydessä.

2.3 Ylläpitokustannukset

Kotka-Hamina sääohjatun tien vuotuisiksi ylläpitokustannuksiksi arvioidaan 330 000 markkaa. Summa syntyy taulukon 3 mukaisista osista.

Taulukko 3. Vuotuiset ylläpitokustannukset.

	kustannus (1000mk/vuosi)
sähkö	40
tietoliikenne	75
tienvarren laitteiden vaihdettavat osat ja huolto	80
atk-laitteiden ja ohjelmien ylläpito	35
valvonta ja käyttö	100
yhteensä	330

Ylläpitokustannusten on arvioitu muodostuvan seuraavasti:

sähkö

- kustannus 40 000 markkaa vuodessa on laskettu tienvarren laitteiden sähkökulutuksen perusteella. Huomiodut laitteet olivat:
 - muuttuvat nopeusrajoitusmerkit
 - informaatiotaulut
 - tiesääasemat
 - kaapeliverkon vahvistimet
 - teknisen rakennuksen laitteet

tietoliikenne

- kustannukset 75 000 markkaa vuodessa syntyvät tiesääsemien tietojen keräämisestä ja merkkien ohjaamisesta. Tietoliikenteen kustannukset perustuvat seuraavien yhteyksien kiinteisiin kuukausimaksuihin
 - datanet-yhteys merkkien ohjaukseen tienvarressa
 - kiinteät kaapeliyhteydet Kotkan ja Kouvolan päätteille
 - puhelinlinjat tiesääsemien tietojen välitykseen

tienvarren laitteiden kuluvat osat ja huolto

- muuttuvien opasteiden, tiesääsemien ja tienvarren tiedonsiirtolaitteiden korjausten ja huollon kustannuksiksi on arvioitu noin 80 000 markkaa vuodessa. Summa on laskettu seuraavasti:

muuttuvat opasteet

- muuttuvia opasteita jouduttiin ensimmäisenä käyttövuotena korjaamaan runsaasti. Tällöin kustannuksista vastasi laitetoimittaja takuun perusteella. Ensimmäisen vuoden jälkeen rikkoontumisten määrä on vähentynyt.

normaali huolto 16 000 mk/vuosi

- vaihdettavat lamput 10 000 mk/vuosi
- opasteiden suojalasi vaihto 6 000 mk / vuosi (suojalasi on vaihdettava kerran opasteiden taloudellisenä pitoaikana, josta syntyy kertakulu 50 000 markkaa)
- opasteiden puhdistuksen kustannuksia ei ole arvioitu erikseen, koska siitä aiheutuva kustannus ei poikkea merkittävästi tavallisten merkkien puhdistuskustannuksista ja kustannus on pieni

rikkoontumiset 47 000 mk/vuosi

- puolentoista vuoden aikana merkittävimmät huoltotyöt ovat olleet:
 - yksittäisten nopeusrajoitusmerkkien käynnistys 12 000 mk / vuosi. Virtavaihteluista johtuen johtuen yksi nopeusrajoitusmerkki 36:sta sammuu noin kerran kuussa. Merkki täytyy käydä korjaamassa tienvarressa.
 - viiden nopeusrajoitusmerkin modeemin uusiminen 3 000 mk kappale
 - sulamisvesien aiheuttama ohjauskaivon sähkölaitteiden uusiminen 20 000 mk
 - ukkosen aiheuttamat vahingot 15 000 mk (mm. kolme modeemia)

tiesääsemat 20 000 mk/vuosi

- kolmen pinta-anturin uusiminen sääohjatun tien olemassaolon aikana (10 000 mk kappale)
- säännölliset huoltotyöt
- tieosuudella olisi yksi tiesääsema vaikka muuttuvia opasteita ei käytettäisikään

ATK-laitteiden ja ohjelmien ylläpito

- kustannukset 35 000 markkaa vuodessa sisältävät seuraavia eriä:
 - tiesäaohjelman ylläpito 25 000 markkaa vuodessa
 - tiesääjärjestelmän keskusyksikön (UNIX) huoltosopimus 10 000 markkaa vuodessa
 - kustannuksissa on otettava huomioon, että samaa ohjelmaa voitaisiin käyttää pidemmän tieosuuden tai useampien järjestelmien ohjaamiseen

valvonta ja käyttö

- järjestelmän valvontaan ja käyttöön arvioidaan käytettävän aikaa noin tunti vuorokaudessa (kustannukset noin 70 000 markkaa vuodessa, kun tuntihintana on käytetty 200 markkaa)
 - talvikaudella kelikeskus vastaa valvonnasta ympäri vuorokauden
 - kesäkaudella kelikeskus vastaa valvonnasta virka-aikana ja virka-ajan ulkopuolella valvonta on järjestetty etäpäivystyksen avulla. Etäpäivystyksestä ei ole kohdistettu pelkästään sääohjatulle tielle kustannuksia.
 - talven aikana muuttuvat opasteet ovat olleet käsiohjauksella noin 30 kertaa. Kesäisin merkit ovat käsikäytöllä erittäin harvoin

2.4 Langattoman tiedonsiirron vaihtoehto

Langattoman tiedonsiirron tekniikan kehitys ja sitä kautta tapahtuva kustannusten alentuminen on tehnyt langattoman tiedonsiirron käytöstä varteenotettavan vaihtoehdon monissa ratkaisuissa. Säätien kohdalla ratkaisu saattaisi vaikuttaa lähinnä investointikustannuksiin alentavasti, koska investointivaiheessa kiinteän kaapeliverkon rakentamiskustannukset muodostavat melko suuren osan kustannuksista. Kustannuksia tarkasteltaessa tulee muistaa, että tekninen toteutus on periaatteen asteella ja esimerkiksi ongelmista teknisen toimivuuden suhteen ei ole vielä tarpeeksi tietoa ja kokemusta. Taulukossa 4 on esitetty asiantuntija-haastattelujen perusteella lasketut, suuntaa antavat investointikustannukset Kotka-Hamina säätielle, mikäli se rakennettaisiin toimimaan langattomalla tiedonsiirrolla vuonna 1997.

Taulukko 4. Investointikustannukset Kotka-Hamina säätielle, mikäli tiedonsiirtoon käytettäisiin langatonta vaihtoehtoa. Vuosisuorite on laskettu annuiteetti-menetelmällä, kuten muissakin esitetyissä vaihtoehdoissa (jäännösarvo on nolla).

	Investointi- kustannukset (1 000 mk)	investoinnin vuosisuorite (1 000 mk)
suunnittelu	388	34
modeemit	114	18
opasteet	2 750	443
havaintolaitteisto	265	40
atk-laitteet	430	102
ohjelmisto	150	20
käyttöönotto	110	18
muut	560	49
yhteensä	4 767	724

Langattoman tiedonsiirron vaihtoehdossa suurimmat investoinnin kustannuserot tavalliseen, kiinteän tiedonsiirron verkkoon muodostuvat seuraavista osista:

kaapelointi

- langattoman tiedonsiirron vaihtoehdossa suurimmat kustannussäästöt saadaan kaapeliverkon investointikustannusten säästöistä (1 735 000 markkaa). Tosin merkit vaativat tällöin erillisen sähköistyksen, jonka hinnaksi on arvioitu 10 000 markkaa merkkiä kohden (taulukossa 4 esitetty kohdassa ”opasteet”).

opasteet

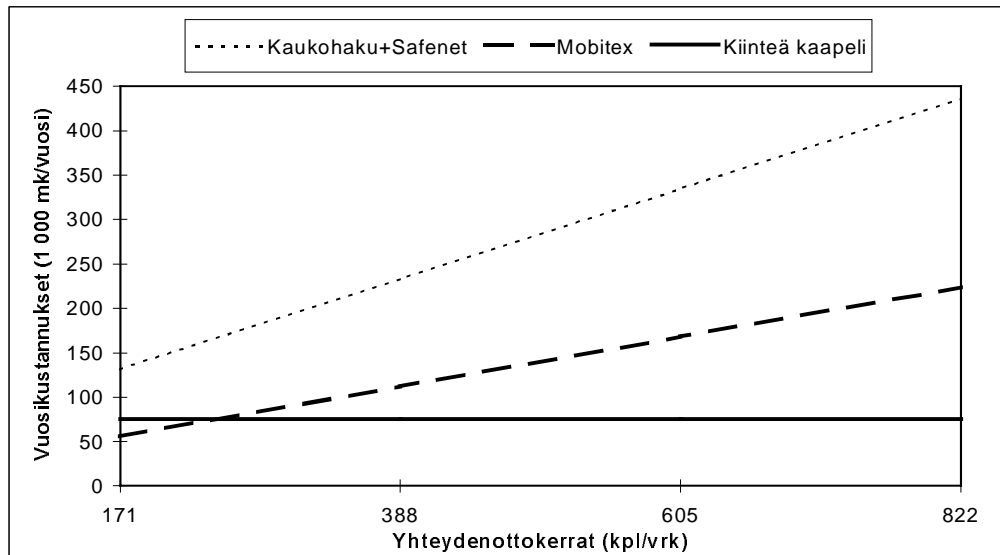
- langaton tiedonsiirto vaatii hieman kalliimmat modeemit kuin kaapelointia käytävä tiedonsiirto. Tästä syntyvä lisäkustannus (noin 2 000 markkaa ohjattavaa merkkiä kohden) sisältyy taulukossa 4 kohtaan opasteet. Lisäksi kohdassa ”opasteet” on otettu huomioon langattoman tiedonsiirron yhteyden liittymismaksut, noin 300 markkaa liittymää kohden.

Langatonta tiedonsiirtoa käyttämällä investointikustannukset voisivat olla noin 3,4 miljoonaa markkaa alhaisemmat kuin Kotka - Hamina koetiellä toteutuneet. Pitoajoista johtuen vaikutus investoinnin vuosisuoritteeseen ei ole yhtä suuri.

2.4.1 Langattoman tiedonsiirron ylläpitokustannukset

Aikaisemmissa tarkasteluissa langattoman tiedonsiirron vaihtoehtoista on jouduttu luopumaan kalliiden ylläpitokustannusten takia. Tekniikan kehitys ja langattoman tiedonsiirron yleistymisen on kuitenkin alentanut tiedonsiirron kustannuksia ja verkkoja on kehitetty erityyppisen yhteydenpidon tarpeisiin.

Muuttuvia liikennemerkkejä ohjattaessa tiedonsiirron tulee olla kaksisuuntaista, jolloin merkin käskytyksen lisäksi saadaan varmistus merkin näytöstä. Viestit ovat kokoluokaltaan muuttuvia nopeusrajoitusmerkkejä ohjaavista, noin 10 merkkisistä käskyistä aina tiesääaseman raportin 500 merkkiin. Tiedonsiirtoon soveltuvina verkkoina on käsitelty Mobitex-verkko, jossa pystytään kahdensuuntaiseen liikennöintiin ja Kaukohaku (joka on yksisuuntainen verkko) ja siihen yhdistettynä, kuittaavana verkkona Safenet. Kuvassa 2 on esitetty vaihtoehtojen suuntaa antavat kustannukset.



Kuva 2. Tiedonsiirtokustannusten riippuvuus yhteydenottokertojen määrästä

Kuvassa esitetyt yhteydenottokerrat koostuvat merkkikohtaisista yhteydenottotarpeista seuraavasti:

- yhteydenottotarve muuttuviin nopeusrajoitusmerkkeihin 3 - 4 - 5 tai 6 kertaa vuorokaudessa
- yhteydenottotarve informaatiotauluihin ja varoitusmerkkeihin 3 - 4 - 5 tai 6 kertaa vuorokaudessa
- yhteydenottotarve tiesääasemiin noin 1 - 4 - 8 tai 12 kertaa tunnissa.

Kustannuksista pääosa syntyy tiesääasemien tiedonsiirrosta. Pienimmällä yhteydenottokertojen määrällä Mobitex-verkolla 85 prosenttia kustannuksista johtuu tiesääasemien tietoliikenteestä ja suurimmalla yhteydenottokertojen määrällä vastaava osuus on 97 prosenttia.

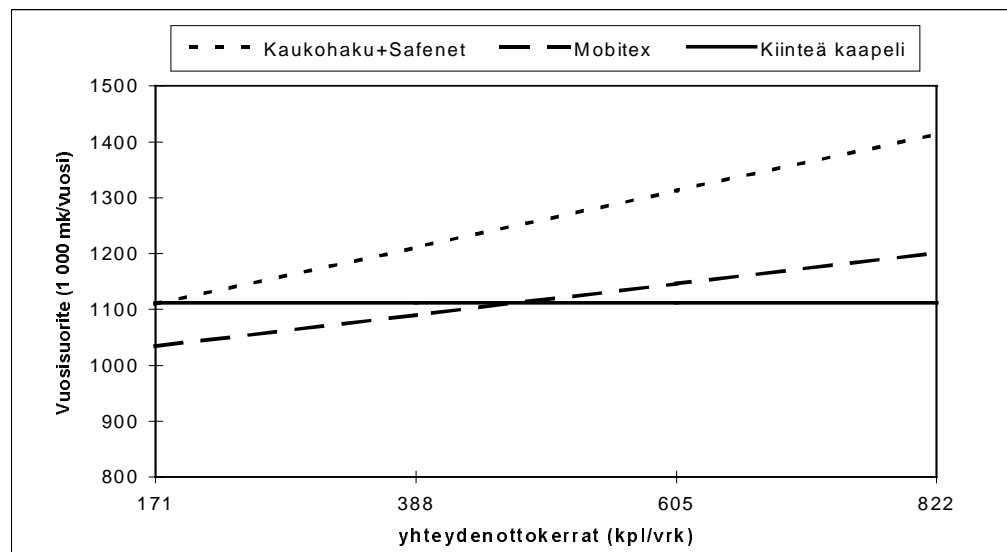
Kuvasta havaitaan, että Mobitex-verkolla tiedonsiirtokustannukset olisivat samaa luokkaa kuin kiinteillä yhteyksillä, mikäli yhteydenottotarve saadaan pidettyä alhaisena. Kaukohaku-Safenet -ratkaisussa kustannukset ovat aina korkeammat kuin Mobitex-ratkaisussa ja yhteydenottokertojen lisääntyminen vaikuttaa nopeasti.

Esitetyt kustannusarviot ovat Telen asiantuntijoiden arvioita langattoman tiedonsiirron kustannuksista käytettäessä sitä Kotka-Hamina-tyyppisen sääohjatun tien muuttuvien merkkien ohjaamiseen. Kokemuseräistä tietoa langattoman tiedonsiirron käytöstä ja sen todellisista kustannuksista odotetaan loppuvuodesta 1997, sillä tämän tyyppistä ratkaisua kokeillaan ainakin Lapin tiepiirissä.

Muiden ylläpitokustannusten tiedonsiirtoa lukuunottamatta oletetaan olevan samat kuin kiinteän kaapelin vaihtoehdossa. Tällöin kuitenkin uskotaan, että langaton vaihtoehto toimii teknisesti yhtä luotettavasti kuin kiinteän kaapeliverkon yhteys. Mikäli järjestelmässä on ongelmia, kohoavat ylläpidon kustannukset nopeasti.

2.5 Vaihtoehtojen vertailu

Sääohjatun tien investointikustannuksiin pystytään vaikuttamaan joko rakentamalla kaapelointi ilman putkitusta ja kaivoja tai toteuttamalla tiedonsiirto langattomilla yhteyksillä. Vaihtoehtojen vertailemiseksi kuvassa 3 on esitetty eri ratkaisujen yhteenlasketut vuosikustannukset (investoinnin vuosisuorite ja vuosittainen ylläpitokustannus, tiedonsiirto mukaan lukien).



Kuva 3. Investoinnin ja ylläpitokustannusten vuosisuoritteen vertailu eri tiedonsiirtotavoille.

Langattomien vaihtoehtojen kustannuksista saatujen asiantuntija-arvioiden mukaan langattoman tiedonsiirron kokeileminen sääohjatulla tiellä olisi kustannussyistä perusteltua. Erityisesti tiedonsiirto muuttuviin opasteisiin, joihin yhteydenottoja tarvitaan suhteellisen harvoin ja lähetettävien viestien koko on pieni, olisi taloudellisesti perusteltua tehdä langattomasti.

Tarkasteltu Kotka-Hamina sääohjattu tie on melko lyhyt, joten sen kohdalla eivät kaapelointikustannusten säästöt tunnu vielä kovin suurilta, mutta etenkin pidempiä sääohjattuja teitä rakennettaessa langattoman tiedonsiirron edut korostuvat investointikustannusten osalta. Kustannuslaskelmia tarkasteltaessa tulee kuitenkin muistaa langattoman tiedonsiirron teknisen luotettavuuden epävarmuus ja se, ettei langattoman vaihtoehdon toteuttamisesta ole vielä kokemusperäistä tietoa.

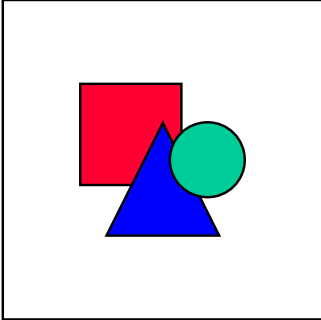
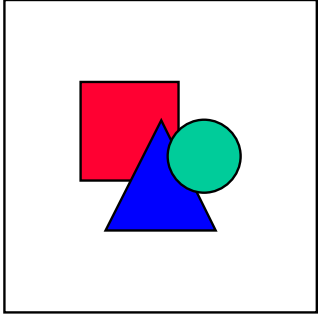
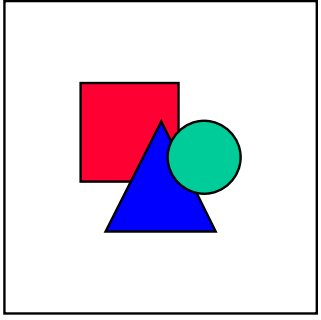
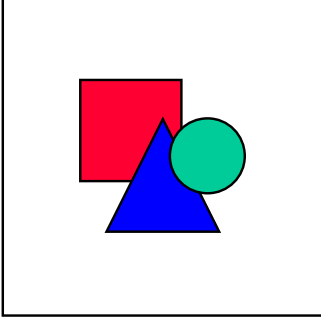
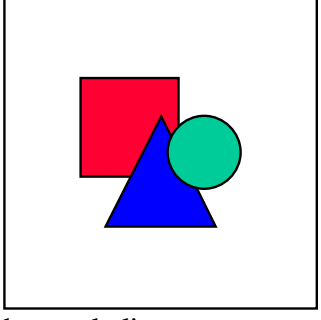
3. NOPEUDET

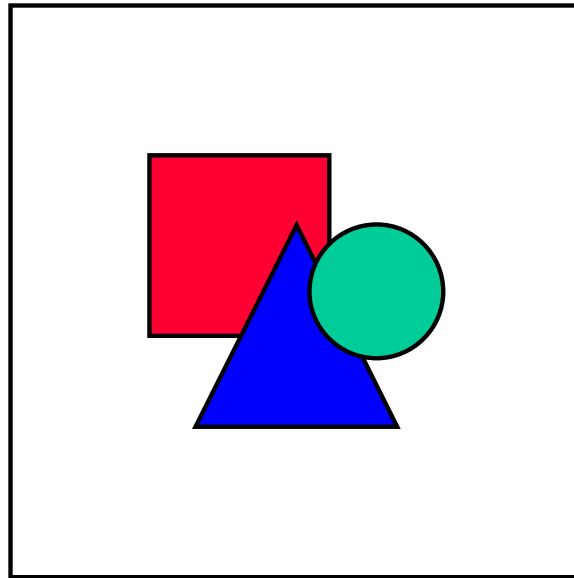
3.1 Nopeusrajoitukset ja informaatiotaulut

Sääohjatulla tiellä käytetään normaalisti kolmea nopeusrajoitusluokkaa 80, 100 ja 120 kilometriä tunnissa ja keskitalven aikana kahta luokkaa 80 ja 100 km/h. Keskitalveksi lasketaan viisi kuukautta marraskuun alusta maaliskuun loppuun.

Keskitalvella 1995-96 ja muuna aikana 1995 muuttuvissa nopeusrajoitusmerkeissä käytettiin nopeusrajoituksia taulukon 5 mukaisesti. (Rämä 1997)

Taulukko 5. Eri nopeusrajoitusluokkien osuudet.

Keskitalvi (5 kuukautta)		muu aika (7 kuukautta)	
	80 %		77 %
hyvä ja kohtalainen keli		hyvä keli	
			20 %
		kohtalainen keli	
	20 %		3 %
huono keli		huono keli	



Informaatiotaulujen käyttö

Informaatiotaulujen käytöstä on tehty yksinkertaistus, että niitä käytetään ainoastaan samaan aikaan alennettujen nopeuksien kanssa. Yksinkertaistuksen ei oleteta vaikuttavan merkittävästi taloudellisten laskelmien luotettavuuteen.

Talvikaudella liukkaan kelin merkki oli keskimäärin käytössä 14 prosenttia ajasta. Sääohjatun tien ohjauspolitiikan mukaisesti liukkaan kelin merkkiä käytetään pääosin samaan aikaan alennettun nopeusrajoituksen aikana. Talvella on kuitenkin tapauksia, joissa tiellä on rajoitus 100 km/h ja liukkaan kelin merkki käytössä. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi tilanteet, joissa oikea kaista on sula, mutta ohituskaistalla on liukkautta. Tämän ajan osuus on pieni ja lisäksi pelkän kelimerkin alentava vaikutus nopeuksiin todettiin olevan alle 1 km/h.

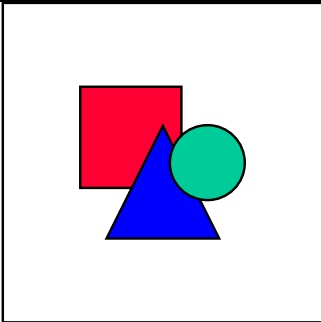
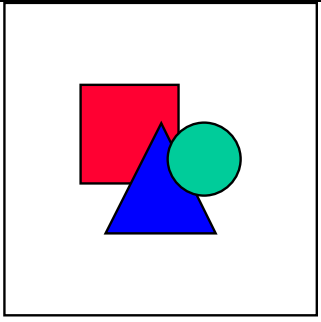
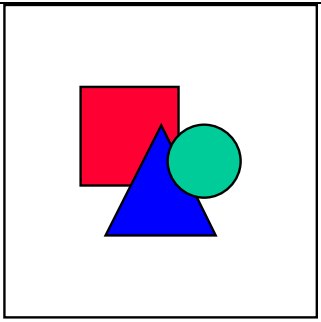
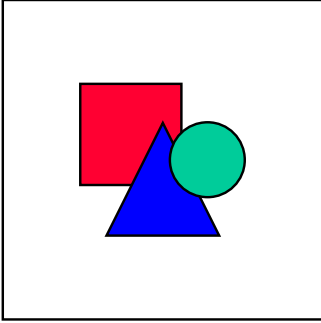
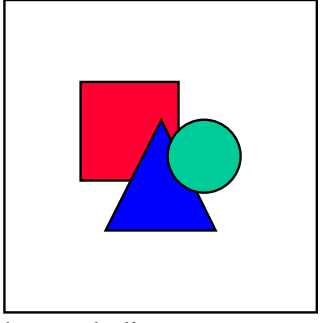
3.2 Keskinopeuksien muutokset

Koko vuoden aikana keskinopeus putosi 102 kilometristä tunnissa 101 kilometriin tunnissa muuttuvien opasteiden vaikutuksesta. Keskinopeuden lasku oli 0,9 prosenttia. Kevyiden ajoneuvojen nopeudet laskivat prosentin ja raskaiden ajoneuvojen nopeudet 0,1 prosenttia. Raskaiden ajoneuvojen osuus liikenteestä oli 13 prosenttia. Keskitalven aikana sääohjausjärjestelmä alensi kaikkien ajoneuvojen keskinopeutta 0,4 prosenttia ja muuna aikana 1,1 prosenttia.

Kaikkien ajoneuvojen keskinopeuden muutoksien on laskettu eri nopeusrajoitusluokissa olevan taulukon 6 mukaiset.

Taulukko 6. Keskinopeuden lasku sääohjatulla tiellä eri nopeusrajoitusluokissa.

keskitalvi	muu aika
------------	----------

(5 kuukautta)		(7 kuukautta)	
	0 km/h		0 km/h
hyvä ja kohtalainen keli		hyvä keli	
			5 km/h
		kohtalainen keli	
	2 km/h		5 km/h
huono keli		huono keli	

Tilanteissa, joissa vertailutien (Porvoon moottoritien) ja sääohjatun tien nopeusrajoitus on sama ei oleteta olevan sääohjauksesta aiheutuvaa eroa keskinopeuksissa. Nämä tilanteet, joissa nopeusrajoitukset sekä vertailu- että sääohjatulla tiellä ovat samat, ovat talvella nopeusrajoitusluokka 100 km/h ja muuna aikana nopeusrajoitusluokka 120 km/h.

Kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen keskinopeudet vertailutiellä ja sääohjatulla tiellä eri nopeusrajoitusluokissa on esitetty yksityiskohtaisemmin liitteessä III.

Talviajan nopeusrajoituksen alentaminen säätiellä alensi myös säätieltä lähtevien keskinopeutta 1-2 kilometriä tunnissa. Nopeuden aleneminen todettiin kaksi-kaistaisella valtatiellä 15 sääohjatulta tieltä 10 kilometrin päästä Kouvolan suuntaan. Kesäkaudella ja muilla sääohjatun tien jatkeilla heijastusvaikutuksia ei havaittu. (Rämä 1997)

Nopeusarvioihin liittyvä epävarmuus

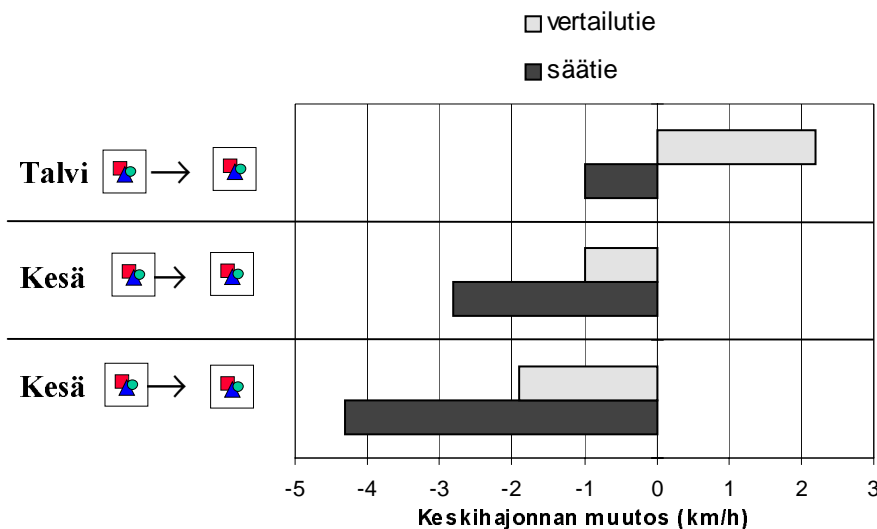
Tulokset nopeusvaikutuksista perustuvat niin suureen aineistoon, että niitä voidaan pitää tilastollisesti riittävän luotettavina yhteiskuntataloudellisen tuottavuuden arvioimista varten.

Kotka-Hamina välillä sään mukaan muuttuvaan liikenteen hallintaa voidaan kuitenkin nähdä liittyvän monia epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä, joita ei vaikutustutkimuksessa voitu ottaa huomioon. Tällaisia ovat mm. seuraavat tekijät:

- onko nykyisin käytettävä ohjauspolitiikka optimaalista?
- sään ja kelin vaihtelu vuosittain eli edustaako vaikutustutkimuksessa käytetty ajanjakso normaalia säätä ?
- tiesääasemien antaman keliluokituksen yhdenmukaisuus sääohjatulla ja vertailutiellä
- sääohjatun tien ja vertailutien erilaisuus ja siitä aiheutuvat liikennekäyttämisen erot
- nopeusvaikutuksissa eri mittauspisteissä oli eroja - nämä erot vaikuttavat yhteiskuntataloudellisiin kustannuksiin, koska myös eri tieosien liikennemäärissä on eroja

3.3 Nopeuksien hajonnan muutos

Sääohjatun tien vaikutusten tutkimuksessa (Rämä 1997) on havaittu muuttuvilla nopeusrajoituksilla olevan vaikutusta tiellä käytettävien nopeuksien keskihajontaan. Sääohjatulla tiellä ja vertailutiellä havaittiin säätien eri nopeusrajoitusluokien mukaisissa tilanteissa keskihajontojen muuttuvan kuvan 4 mukaisesti. Samalta aikaväliltä on esitetty keskihajontojen muutokset sekä vertailutieltä että sääohjatulta tieltä.



Kuva 4. Nopeuksien keskihajonnan muutokset.

Talvella sääohjatulla tiellä huonon kelin luokassa nopeusrajoituksen laskiessa 100 kilometristä tunnissa 80 kilometriin tunnissa nopeuksien keskihajonta pieneni hieman. Vastaavassa tilanteessa vertailutiellä keskihajonnat kasvoivat. Muuna kuin talviaikana huonommat kelit pudottivat keskihajontaa sekä sääohjatulla tiellä että vertailutiellä. Sääohjatulla tiellä alennetun nopeusrajoituksen vuoksi hajonta pieneni kuitenkin enemmän kuin vertailutiellä.

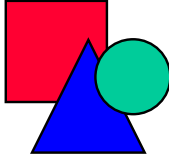
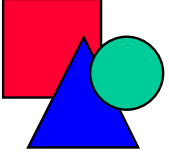
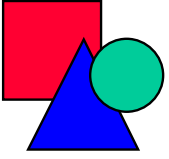
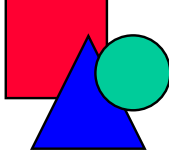
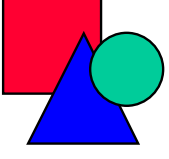
4. ONNETTOMUUDET

4.1 Suhteelliset riskit

Onnettomuusvaikutusten arvioimiseksi on eri nopeusrajoitusluokille määritelty suhteelliset riskit, jos muuttuvia opasteita ei käytettäisi. Arvioiden tekeminen on esitetty liitteessä IV.

Talviajan riskin kokonaisuudessaan on arvioitu olevan 1,3-kertainen normaaliin aikaan verrattuna. Tämän jälkeen talvi- ja normaaliajan sisällä on määritelty eri nopeusrajoitusluokkien suhteelliset riskit, jotka on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Nopeusrajoitusluokkien suhteelliset riskit.

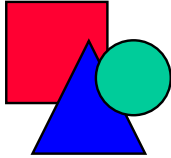
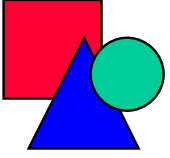
talvi		normaali aika	
 hyvä ja kohtalainen keli	1	 hyvä keli	1
		 kohtalainen keli	4
 huono keli	5	 huono keli	15

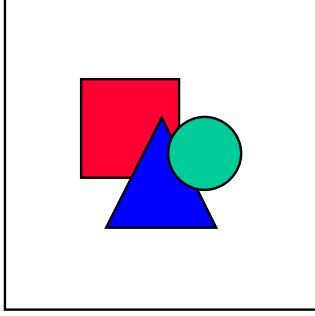
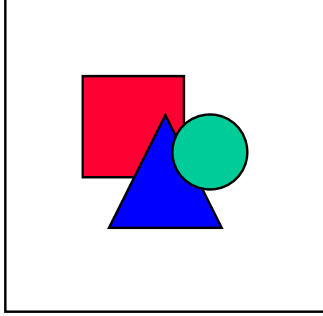
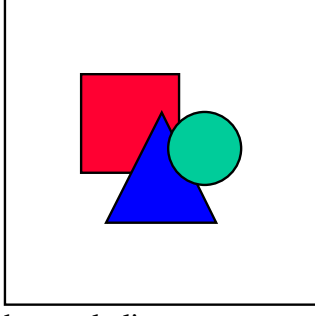
Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että suhteellisten riskien määrittämiseen liittyy epävarmuutta, jonka vaikutusta on tarkasteltu myöhemmin herkkyysanalyseissä.

4.2 Onnettomuusasteet

Onnettomuusasteet eri nopeusrajoitusluokissa, jos muuttuvia opasteita ei käytettäisi, on arvioitu jakamalla koko tien keskimääräinen onnettomuusriski eri nopeusrajoitusluokille niiden suhteellisen riskin ja yleisyyden perusteella. Kotka-Hamina välin moottoritien henkilövahinkojen onnettomuusasteena on käytetty 0,08 onnettomuutta miljoonaa ajoneuvokilometriä kohti (Tielaitos 1996). Tämän perusteella lasketut nopeusrajoitusluokkien henkilövahinkojen onnettomuusasteet on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Henkilövahinkojen onnettomuusasteet eri keliä mukaisissa luokissa (onnettomuutta miljoonaa ajoneuvokilometriä kohden).

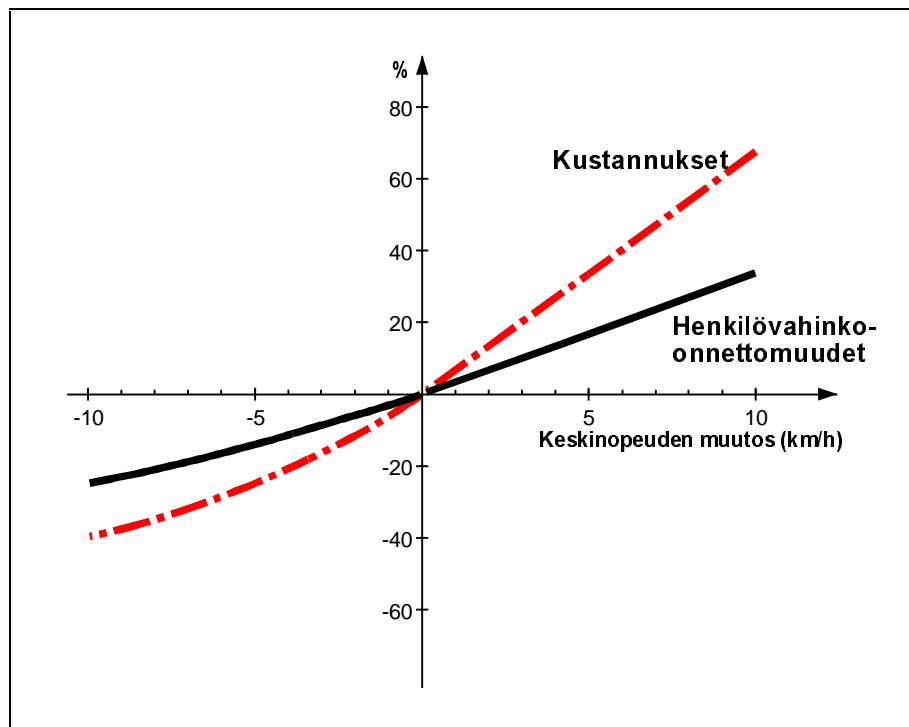
talvi (onn./milj.ajon.km)		muu aika (onn./milj.ajon.km)	
	0,05		0,03
hyvä ja		hyvä keli	

kohtalainen keli			0,14
	0,25		0,5
huono keli		huono keli	

4.3 Opasteiden vaikutus onnettomuuksiin

4.3.1 Nopeuden muutoksen vaikutus

Muuttuvien opasteiden vaikutusta liikenneturvallisuuuteen arvioidaan sen perusteella miten alemmat nopeusrajoitukset pienentävät keskinopeutta heikentyneiden keliä aikana. Keskinopeuden muutoksen ja henkilövahinko-onnettomuuksien välillä olevan riippuvuuden oletetaan olevan kuvan 5 mukainen.



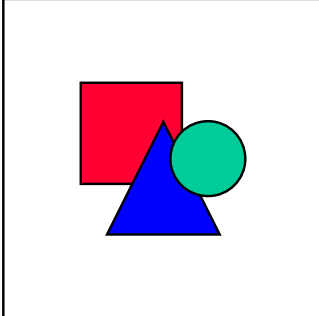
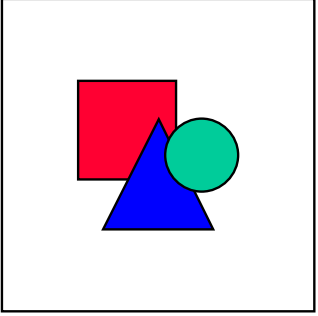
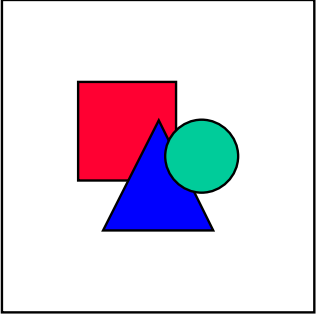
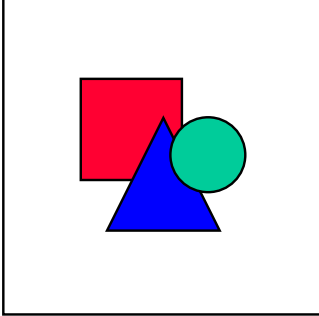
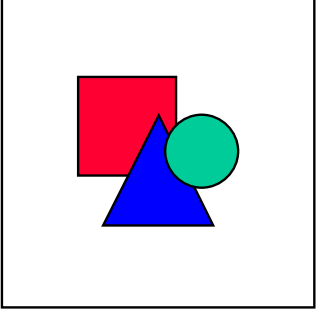
Kuva 5. Keskinopeuden muutoksen vaikutus henkilövahinko-onnettomuuksiin ja niistä syntyviin kustannuksiin suurilla nopeuksilla. (Ranta & Kallberg 1996)

Kuvassa 5 on esitetty kaksi riippuvuutta. Henkilövahinko-onnettomuuksien määrä (yhtenäinen viiva) muuttuu hitaammin kuin heva-onnettomuuksien kustannukset (katkoviiva), koska nopeuden muuttuessa myös onnettomuuksien vakavuusaste muuttuu. Taloudellisten vaikutusten selvittämiseksi tässä tutkimuksessa käytetään kustannusten mukaista riippuvuutta.

Henkilövahinko-onnettomuuksien ja kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien määrässä tapahtuvan muutoksen luotettavuusvälin on käytetyssä mallissa tilastollisesti laskettu olevan ± 1 prosentti. (Ranta & Kallberg 1996) Onnettomuuskustannuksissa tapahtuva muutos on arvioitu onnettomuusmäärää kuvaavan mallin avulla ja kustannuksiin liittyvä epävarmuus on suurempi, mutta samaa suuruusluokkaa. Esimerkiksi voidaan arvioida, että nopeuden lasku 2 km/h saa aikaan 12 - 16 prosentin laskun onnettomuuskustannuksissa. Onnettomuuskustannuksissa tapahtuva muutoksen epävarmuus on kuitenkin suhteellisen pientä verrattuna muihin taloudellisuuslaskelman epävarmuustekijöihin.

Riippuvuuden perusteella saadut muutokset onnettomuuskustannuksissa on esitetty nopeusrajoitusluokittain taulukossa 9.

Taulukko 9. Henkilövahinko-onnettomuuskustannusten muutos nopeuden muutoksen perusteella.

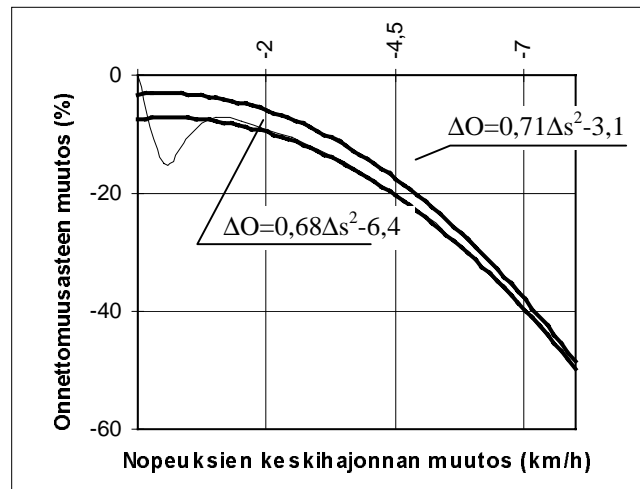
talvi		normaali aika	
	0		0
hyvä ja kohtalainen keli		hyvä keli	
			- 25 %
		kohtalainen keli	
	- 15 %		- 25 %
huono keli		huono keli	

Koko vuoden onnettomuuksissa tapahtuu noin 13 prosentin lasku. Henkilövahinkojen onnettomuusaste laskee 0,08 onnettomuudesta miljoonaa ajoneuvokilometriä kohti hieman alle 0,07 onnettomuuteen miljoonaa ajoneuvokilometriä kohti.

Kotka-Hamina moottoritieosuudella onnettomuusasteen muutos merkitsisi tilastollisesti noin yhden henkilövahinko-onnettomuuden välttämistä vuodessa. Jos kaikkien onnettomuuksien määrä vähenisi samassa suhteessa kuin henkilövahinko-onnettomuudet, vältettäisiin vuodessa lisäksi kolmesta neljään omaisuusvahinko-onnettomuutta.

4.3.2 Nopeuksien hajonnan vaikutus

Keskinopeuden muutoksen lisäksi muuttuvat opasteet vaikuttavat turvallisuuden myös nopeuksien hajonnan muutosten välityksellä. Seuraavassa kuvassa 6 on esitetty kaksi keskihajonnan muutoksen ja henkilövahinkojen onnettomuusasteen muutoksen välisestä riippuvuudesta tehtyä arvioita. Riippuvuuksia ei voida pitää varmoina, mutta ne osoittavat vaikutuksen suuntaa.



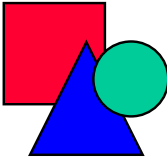
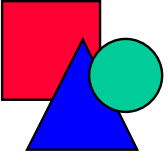
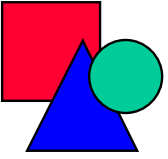
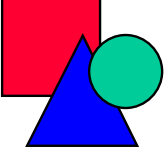
Kuva 6. Nopeuksien keskihajonnan ja onnettomuusasteen välinen riippuvuus (Salusjärvi 1981).

Sääohjauksen nopeuksien keskihajontoja pienentävä vaikutus vahvistaa nopeusmuutoksen perusteella arvioituja onnettomuusvaikutuksia. Ottaen huomioon myös keskihajonnan pienenemisen voidaan olettaa, että ainakin aikaisemmin esitetyt arviot onnettomuusasteiden prosentuaalisista muutoksista saavutetaan.

Kuvan 6 perusteella voidaan arvioida, että nopeuksien keskihajonnan pienenemisen vuoksi vaikutus onnettomuusasteisiin olisi taulukon 10 mukainen. Arvioihin täytyy suhtautua varauksella niihin liittyvän epävarmuuden vuoksi.

Taulukko 10. Henkilövahinko-onnettomuusasteen muutos nopeuksien keskihajonnan muutosten perusteella.

talvi	normaali aika
-------	---------------

	0		0
hyvä ja kohtalainen keli		hyvä keli	
			- 1-2 %
huono keli	- 1-4 %		- 1-3 %
		huono keli	

Koko vuoden onnettomuusasteeseen nopeuksien keskihajonnan muutoksella olisi alle prosentin vaikutus. Onnettomuuksien määrän vähenemistä on näin pienen muutoksen perusteella mahdotonta määrittellä. Onnettomuuskustannuksissa muutos voidaan ottaa huomioon laskennallisesti.

Taulukoiden 9 ja 10 perusteella valtaosa sääohjauksen tuomasta turvallisuuden paranemisesta johtuu keskinopeuden muutoksesta. Nopeuksien keskihajonnan pienenemisen vaikutus on selvästi pienempi ja vaikeasti arvioitavissa.

4.3.3 Muut mahdolliset vaikutukset

Sääohjatulla tiellä voi mahdollisesti olla muita vaikutuksia onnettomuusriskiin. Näitä tekijöitä ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan voitu ottaa huomioon onnettomuusvaikutuksia arvioitaessa johtuen siitä, että vaikutuksista ei ole riittävästi tietoa. Muita mahdollisia turvallisuusvaikutuksia ovat mm. seuraavat:

- kuljettajat voivat ottaa kelin ajokäyttäytymisessä huomioon todellisten tiedossa olevien olosuhteiden perusteella
- heijastusvaikutukset nopeuksissa ja ajokäyttäytymisessä sääohjatun tien jatkeilla
- muuttuvien opasteiden käyttäminen muista syistä kuin kelin perusteella

5. YHTEISKUNTATALOUDELLISET KUSTANNUSVAIKUTUKSET

Sääohjauksen vaikutukset liikenteeseen muutetaan yhteiskuntataloudelliseksi kustannuksiksi Tielaitoksen yhteiskuntataloudellisille tekijöille määrittelemien yksikköhintojen avulla (Tielaitos 1996). Kustannusvaikutukset lasketaan seuraavalla periaatteella:

$$\boxed{\text{sääohjauksen kustannusvaikutus}} = \boxed{\text{kustannukset sääohjatulla tiellä}} - \boxed{\text{kustannukset, jos ei käytettäisi sääohjausta}}$$

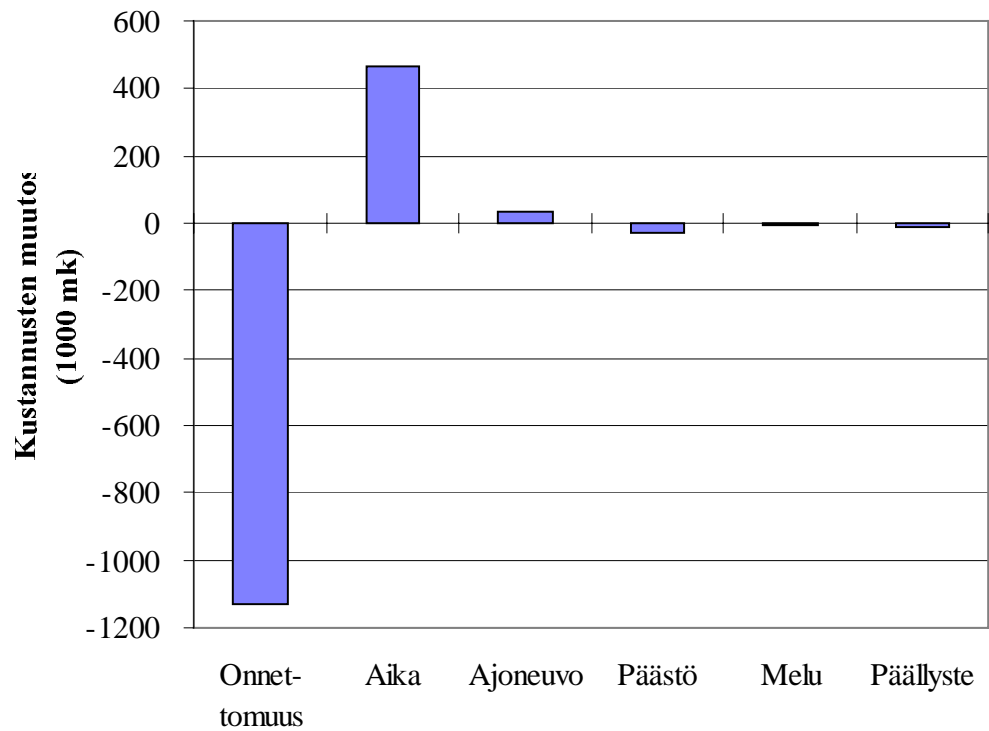
Kustannusvaikutus lasketaan erikseen kullekin yhteiskuntataloudelliselle tekijälle, joina tässä tutkimuksessa on käytetty seuraavia:

- onnettomuuskustannukset
- aikakustannukset
- ajoneuvokustannukset
- melukustannukset
- päästökustannukset
- asfalttipäällysteen kustannukset

Negatiivinen erotus merkitsee, että sääohjauksen käyttäminen saa aikaan säästöä kyseisen tekijän suhteen. Positiivinen erotus kertoo, että sääohjauksen vuoksi syntyy lisäkustannuksia.

Yhteiskuntataloudellisia laskelmia tehtäessä on käytetty Tielaitoksen määrittämiä laskentaperusteita ja kustannustekijöille antamia hintoja. Laskentaperiaatteet ja hinnat on esitetty liitteessä V.

Kuvassa 7 on esitetty Kotka-Hamina -sääohjatun tien yhteiskuntataloudellisten kustannusten muutokset. Kustannusvaikutukset on laskettu tässä tutkimuksessa aikaisemmin tehtyjen olettamusten pohjalta. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että olettamuksiin liittyy epävarmuutta, jota on tarkasteltu herkkyysoanalyysissä.



Kuva 7. Sääohjatun tien yhteiskuntataloudellisten kustannusten muutokset.

Kokonaisuudessaan sääohjatun tien oletetaan alentavan valittuja yhteiskuntataloudellisia kustannuksia noin 680 000 markkaa vuodessa. Merkittävin säästö syntyy onnettomuuskustannusten alenemisesta. Aikakustannusten kasvusta johtuen onnettomuuskustannusten säästöstä menetetään noin 40 prosenttia. Muiden yhteiskuntataloudellisten kustannusten muutokset ovat pieniä.

Keskihajonnan lisävaikutus

Ottaen huomioon keskihajonnan vaikutuksen eri riippuvuuksien perusteella tehtyjen arvioiden mukaan yhteiskuntataloudelliset kustannukset pienenisivät lisää noin 45 000 - 170 000 markkaa. Hyöty saadaan onnettomuuksien määrän vähenemisen perusteella.

6. TUOTTAVUUS JA KANNATTAVUUS

6.1 Tunnusluvut

Sääohjatun tien yhteiskuntataloudellisuuden arvioinnissa käytetään kahta tunnuslukua. Investoinnin tuottavuutta mitataan vuotuisella hyöty-kustannussuhteella ja kannattavuutta kuvaamaan käytetään sijoitetun pääoman tuottoastetta.

Hyöty-kustannussuhde

sääohjatun tien vuotuiset yhteiskuntataloudelliset kokonaissäästöt
investoinnin vuosisuorite + ylläpidosta johtuvat vuosikustannukset

Hyöty-kustannussuhteen ylittäessä yhden investoinnista saatavat rahalliset hyödyt ylittävät siihen kuluvat kustannukset.

Sijoitetun pääoman tuottoaste

sääohjatun tien vuotuiset yhteis-	ylläpidosta johtuvat
kuntataloudelliset kokonaissäästöt	vuosikustannukset
investointikustannukset	

Sijoitetun pääoman tuottoasteelle ei voida antaa yhtä yksiselitteisiä tulkintaohjeita. Kannattavuudelle asetettavat tavoitteet riippuvat investoinnin tyypistä ja toimialasta. Tienrakennusinvestoinneissa yli kymmenen prosentin pääoman tuottoastetta voidaan usein pitää hyvänä.

Tienrakennuksessa perusinvestointi on suuri ja pitoajat pitkiä, joten sääohjauksen vertaaminen niihin ei anna oikeaa kuvaa. Sääohjaukselta voitaisiin ehkä verrata rationalisointi- tai tuottoja lisääviin investointeihin, jolloin hyvä tuottoaste pääomalle olisi 15 - 20 prosenttia. Riittävän kannattavuuden määrittely investoinnille on arvostuskysymys, jota ei liikenteen telematiikan osalta ole käsitelty.

6.2 Tulokset

6.2.1 Kotka-Hamina koetie

Kotka-Hamina sääohjatun tien vuotuisiksi yhteiskuntataloudellisiksi hyödyksi saatiin noin 680 000 markkaa. Hyötyjen saavuttamiseksi käytetyt vuotuiset kokonaisresurssit (investoinnin vuosisuorite ja ylläpito) ovat noin 1,3 miljoonaa markkaa. Hyöty-kustannussuhde on noin 0,5 eli sääohjauksesta saatavat yhteiskuntataloudelliset hyödyt eivät riitä kattamaan kuin puolet syntyvistä kustannuksista.

Sijoitetun pääoman tuottoasteen laskemista varten vähennetään ylläpitokustannukset (330 000 markkaa) yhteiskuntataloudellisista hyödyistä, jolloin sääohjauksen voitoksi ilman pääomakustannusten poistoja jää 350 000 markkaa vuodessa. Jakamalla tämä kokonaisinvestoinnin 8,2 miljoonalla markalla saadaan sijoitetun pääoman tuottoasteeksi 4 prosenttia. Tuottoastetta voidaan pitää huonona, sillä se on pienempi kuin esimerkiksi valtion velan kesikorko 7,1 prosenttia (toukokuussa 1997).

Kotka-Hamina sääohjatun tien koejärjestelmää ei voida näiden laskelmien perusteella pitää yhteiskunnalle taloudellisena investointina. Kyseessä on kuitenkin ollut ensimmäinen kokeilu, minkä vuoksi järjestelmän rakentamiskustannukset ovat olleet merkittävästi korkeammat kuin jos vastaava järjestelmä rakennettaisiin tällä hetkellä.

6.2.2 Päivitetyt investointikustannukset

Kappaleessa 2.2 arvioitiin, että mikäli vastaava sääohjausjärjestelmä rakennettaisiin Kotka-Hamina välille investointikustannukset voisivat olla noin 2,2 miljoonaa markkaa pienemmät. Investoinnin vuosisuoritteessa ero toteutettuun järjestelmään olisi noin 230 000 markkaa.

Näillä arvoilla laskettuna tunnusluvuiksi saadaan:

- hyöty-kustannussuhde 0,6 (0,68 / 1,1)
- sijoitetun pääoman tuottoaste 6 prosenttia (0,35 / 5,9)

Sääohjatun tien taloudellisuutta ei edelleenkään voitaisi pitää riittävänä. Herkkyysanalyysissä on tarkasteltu eri kustannuksiin vaikuttavien tekijöiden muutosten taloudellisia vaikutuksia päivitettyjen investointikustannusten muodostaman perusratkaisun perusteella.

6.2.3 Langaton vaihtoehto

Kappaleessa 2.4 tehtiin oletuksia siitä, mitkä voisivat olla langattoman vaihtoehdon kustannukset. Arviot perustuvat periaatteellisiin laskelmiin langattoman vaihtoehdon investointi- ja tiedonsiirtokustannuksista. Langattoman vaihtoehdon teknistä toimivuutta ei arvioitu.

Käyttämällä langatonta tiedonsiirtoa arvioitiin, että investointikustannuksissa voitaisiin säästää noin 3,4 miljoonaa markkaa nyt toteutettuun koetiehen verrattuna. Investoinnin vuosisuoritteessa säästöä saataisiin noin 300 000 markkaa. Investoinnin vuosisuorite ei alene yhtä paljon kuin investointikustannukset. Tämä johtuu siitä, että kaapelointikustannuksille käytetään keskimääräistä pidempää pitoaikaa kun taas langattoman tiedonsiirron laitteille käytetyt pitoajat ovat lyhyempiä.

Langattomaan tiedonsiirtoon perustuvilla investointikustannuksilla laskettuna tunnusluvut ovat seuraavat:

- hyöty-kustannussuhde 0,7 (0,68 / 1,0)
- sijoitetun pääoman tuottoaste 7 prosenttia (0,35 / 4,7)

Näinkään arvioituna sääohjatun tien taloudellisuutta ei voida pitää riittävänä. Tekijöitä, joiden avulla tuottavuuteen ja kannattavuuteen voitaisiin edelleen vaikuttaa on käsitelty herkkyyksianalyysien yhteydessä.

7. KUSTANNUSTEKIJÖIDEN MUUTOKSET

7.1 Herkkyyksianalyysit ja niiden suorittaminen

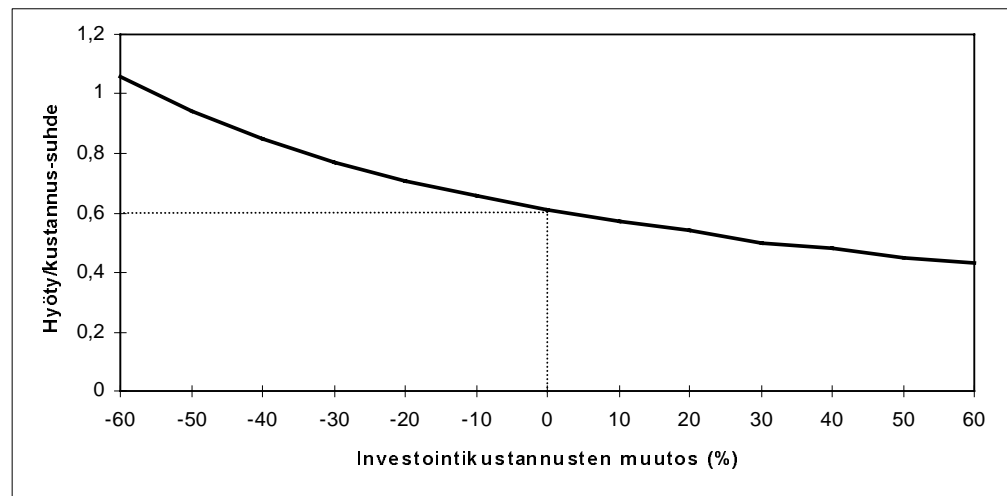
Taloudellisuustarkastelussa liitetään yhteen suuri joukko eri tavoin tuotettua tietoa, jotta voitaisiin muodostaa kokonaiskuva hankkeen taloudellisuudesta. Useisiin tietoihin liittyy epävarmuutta ja olettamuksia, jotka on otettava huomioon taloudellisuutta tarkasteltaessa.

Herkkyyksianalyseissä pyritään kartoittamaan sääohjauksisen tien kannattavuuslaskelmissa mukana olevien, erillisten tekijöiden epävarmuutta. Tekijöiden arvoa muuttamalla ja hyöty-kustannussuhdetta tarkkailemalla tutkitaan, miten tekijöiden suunnitteluarvosta poikkeaminen vaikuttaa koko investoinnin hyöty-kustannussuhteeseen.

Herkkyyksianalyysit on tehty hankkeen päivitetystä investointikustannuksista muodostuvan ratkaisun perusteella, jossa perustilanteessa hyöty-kustannussuhde on 0,6.

7.2 Investointikustannukset

Herkkyyksianalyysi on tehty poikkeuttamalla koko investointikustannusta tasaisesti muuttuvalla prosenttimäärällä, jolloin investoinnin vuosisuorite muuttui vastaavasti. Kuvassa 8 on esitetty muutoksen vaikutus hyöty-kustannussuhteeseen. Kuvasta nähdään, että kustannusten pienenemisellä on tuottavuutta kiihtyvästi kasvattava vaikutus.



Kuva 8. Hyöty-kustannussuhde investointikustannusten muuttuessa.

Investointikustannusten tulisi laskea noin 55 prosenttia, jotta tuottavuusraja saavutettaisiin. Tämä merkitsisi, että muuttuvien opasteiden järjestelmä Kotka - Hamina välillä saisi maksaa korkeintaan 3 miljoonaa markkaa. Kustannuksia alennettaessa tulisi erityisesti kiinnittää huomiota 1) halvempiin teknisiin ratkaisuihin ja 2) kiinteiden kustannusten syntymiseen.

- Investointikustannuksista noin 30 prosenttia aiheutuu tiedonsiirtokaapeloinnista. Pelkästään laskennallisesti tarkasteltuna langattoman tiedonsiirron avulla voitaisiin saada merkittäviä säästöjä.
- Muuttuvien opasteiden osuus kustannuksista on lähes 40 prosenttia. Opasteiden kappalehinta on korkea. Muuttuvien opasteiden hintojen on odotettu laskevan enemmän, mutta hintojen lasku ei ole toteutunut (Lähesmaa 1995).
- Ns. kiinteiden kustannusten osuus on noin 25 prosenttia investoinnista. Kiinteät kustannukset eivät muutu tieosan pituuden mukaan vaan ovat lähinnä hankekohtaisia. Toteuttamalla muuttuvien opasteiden järjestelmä pidemmällä tiejaksolla jää kiinteiden kustannusten suhteellinen merkitys vähäisemmäksi.

Vaihtoehtoisilla järjestelyillä on mahdollista saada aikaan eri tyyppisiä ja hintaisia muuttuvien opasteiden ratkaisuja. Järvenpää - Lahti välille tehdyssä muuttuvien opasteiden investointiselvityksessä (Lähesmaa, 1996) käsiteltiin kolmea erilaista vaihtoehtoa. Tarkastellun tien pituus on noin 65 kilometriä.

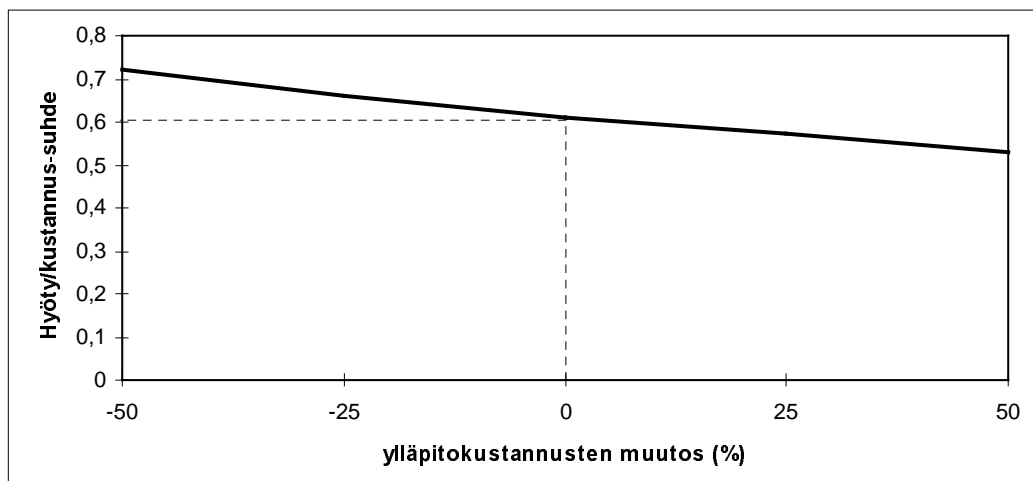
- Kaapelointiin perustuvassa ratkaisussa investointikustannuksiksi arvioitiin noin 250 000 markkaa kilometriä kohti kun vastaava luku Kotka-Hamina tiellä vuoden 1997 ratkaisun mukaan olisi 430 000 markkaa. Ero perustuu nopeusrajoitusmerkkien pienempään määrään ja kiinteiden kustannusten

suhteellisesti pienempään osuuteen. Mikäli Kotka-Hamina välin sääohjausjärjestelmä voitaisiin toteuttaa tällä kilometrihinnalla olisi hyöty-kustannussuhde lähes 1.

- Langattomaan tiedonsiirtoon perustuvassa ratkaisussa investointikustannus kilometriä kohti Järvenpää - Lahti välillä arvioitiin noin 100 000 markaksi. Tällä hinnalla Kotka - Hamina järjestelmän hyöty-kustannussuhde ylittäisi tuottavuusrajan ja olisi noin 1,2.

7.3 Ylläpitokustannukset

Herkkyyksanalyysi tehtiin muuttamalla ylläpitokustannuksia määrättyllä prosentiosuudella. Vaikutukset on esitetty kuvassa 9.



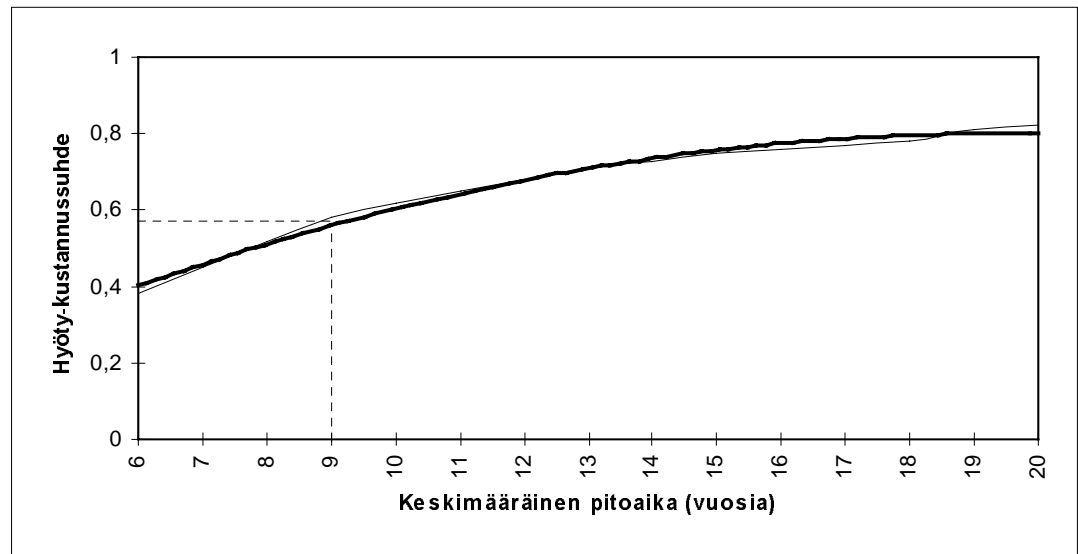
Kuva 9. Hyöty-kustannussuhde ylläpitokustannusten muuttuessa.

Ylläpitokustannuksia tarkasteltaessa on käytetty Kotka- Hamina sääohjatun tien toteutuneita ylläpitokustannuksia. Kuvasta havaitaan, että ylläpitokustannusten vaikutus kannattavuuteen on melko pieni. Tämä johtuu siitä, että ylläpidon kustannukset (noin 330 000 markkaa vuodessa) ovat melko pieni kustannuserä verrattuna investoinnin vuosisuoritteeseen.

Ylläpitokustannuksista 30 prosenttia syntyy järjestelmän valvonnasta ja käytöstä. Markkamääräisesti tämän luvun voidaan arvioida pysyvän lähes samana vaikka tieosuus olisi eri pituinen. Esimerkiksi puolta pidemmällä tiejaksolla ylläpitokustannusten suhteellisen osuuden alenemisen vaikutus olisi 8 prosentin parannus tuottavuudessa.

7.4 Pitoaika

Kuvassa 10 esitetty keskimääräinen pitoaika on laskettu painottaen kunkin yksittäisen laitteen pitoaikaa laitteen hinnalla ja jakamalla saatu luku koko investoinnin markkamäärällä (painotettu keskiarvo). Herkkyysanalyysi on tehty muuttamalla yksittäisten laitteiden pitoaikoja vuosi kerrallaan ja tarkastelemalla hyöty-kustannussuhteen muuttumista keskimääräisen pitoajan suhteen.

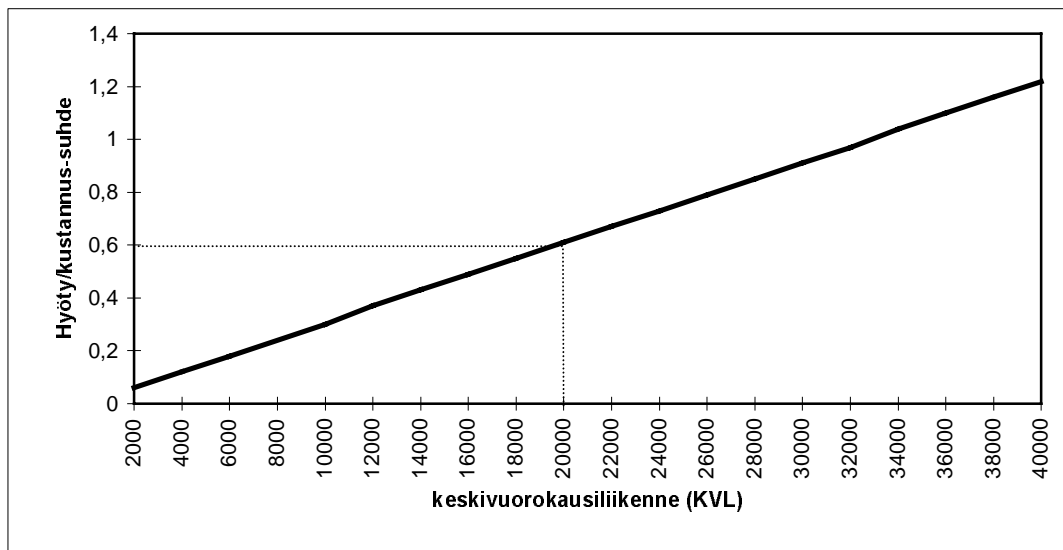


Kuva 10. Hyöty-kustannussuhde investointien keskimääräisen pitoajan muuttuessa.

Kuvasta havaitaan, että mikäli pitoajat olisivat määriteltäviä lyhyemmät heikkenisi hankkeen tuottavuus nopeasti. Pitoajan kasvattamisella ei ole yhtä nopeaa vaikutusta. Tässä tutkimuksessa käytetyt kunkin laitteen pitoajat perustuvat tässä tutkimuksessa ja aikaisemmissa muuttuvien opasteiden investointilaskelmissa tehtyihin määrittelyihin. Liikennetelematiikan laitteille ei ole yleisesti määriteltäviä pitoaikoja.

7.5 Liikennemäärä

Herkkyysanalyysi tehtiin tarkastelemalla hyöty-kustannussuhdetta eri keskimääräisillä vuorokausiliikenteillä. Liikennemäärän muutos vaikuttaa kaikkiin yhteiskuntataloudellisiin kustannuksiin lähes samassa suhteessa, vain niiden suhteelliset erot muuttuvat. Vaikutukset on esitetty kuvassa 11.

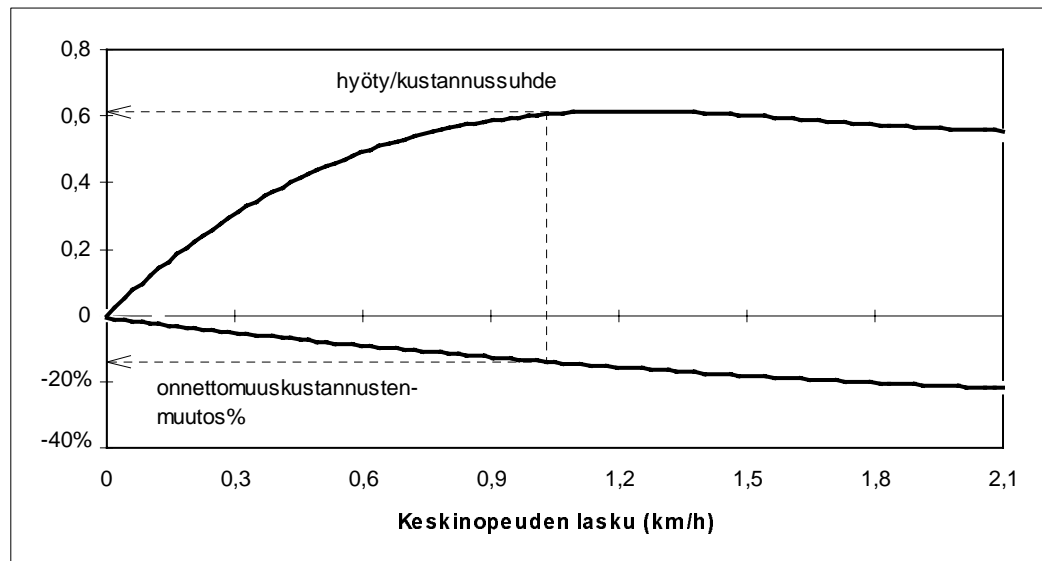


Kuva 11. Hyöty-kustannussuhde keskivuorokausiliikennemäärän (KVL) muuttuessa.

Kuvasta nähdään, että tuottavuusraja ylitettäisiin hieman yli 30 000 ajoneuvon vuorokausiliikenteellä. Se kuinka voimakkaasti hyöty-kustannussuhde muuttuu liikennemäärän mukaan riippuu yhteiskuntataloudellisten kustannusten välisistä suhteellisista eroista. Tässä määrävänä tekijänä on suurimpien eli onnettomuus- ja aikakustannusten ero. Mitä suurempi ero on sitä voimakkaammin liikennemäärä vaikuttaisi. Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella aikakustannusten kasvu vastaa noin 40 prosenttia onnettomuuskustannusten laskusta, joten liikennemäärällä on voimakas vaikutus tuottavuuteen.

7.6 Keskinopeus ja onnettomuudet

Herkkyyksianalyysi on tehty lisäämällä muuttuvien nopeusrajoitusten vaikutusta keskinopeuteen tasaisesti alennettujen rajoitusten nopeusrajoitusluokissa (talvi 80 km/h, kesä 100 ja 80 km/h). Nopeuksien muutosten perusteella arvioitiin onnettomuusvaikutus kussakin nopeusrajoitusluokassa aikaisemmin esitetyn riippuvuuden perusteella. Hyöty-kustannussuhteen ja onnettomuuskustannusten prosentuaalista muutosta on sitten tarkasteltu koko vuoden keskinopeudessa tapahtuvan laskun perusteella (kuva 12).

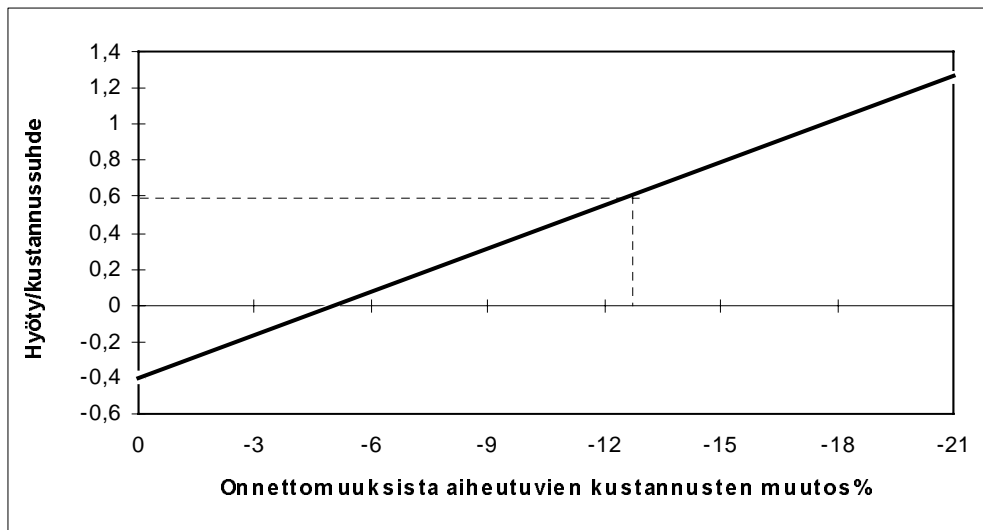


Kuva 12. Hyöty-kustannussuhde ja onnettomuuskustannusten prosentuaalinen muutos tieosuuden liikennevirran keskinopeuden laskiessa.

Kuvasta tulee esille keskinopeuden alenemisen kaksiosainen vaikutus. Kun liikennevirran keskinopeus alenee, aikakustannukset kasvavat, mutta onnettomuuskustannukset pienenevät. Voimakkainta onnettomuuksien lukumäärän muutos on heti nopeuden muutoksien alussa. Kun onnettomuuskustannuksista saatavan kustannussäästön kasvu hidastuu koko ajan ja toisaalta aikakustannukset kasvavat lineaarisesti, saavutetaan jossain vaiheessa optimitilanne (kuvassa noin 1,3 km/h keskinopeusaleneman kohdalla), jossa hyödyt ovat laskennallisesti suurimmat. Laskelmien perusteella voidaan todeta, että nyt sääohjatulla tiellä on saatu lähes suurin mahdollinen hyöty nopeuksien laskemisesta.

7.7 Onnettomuudet

Herkkyyksianalyysissä on muutettu pelkästään onnettomuusvaikutusta alennettujen nopeusrajoitusten luokissa. Näin on tarkasteltu, mikä olisi hyöty-kustannussuhde, jos perusratkaisun mukaisella nopeuden laskulla (vuoden keskinopeuden lasku noin 1 km/h) saataisiinkin toisenlainen turvallisuusvaikutus (kuva 13).



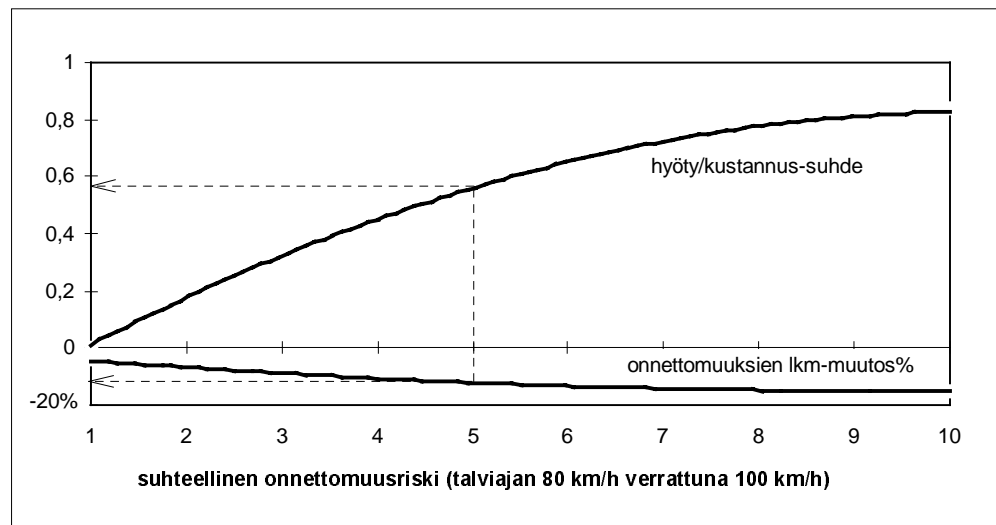
Kuva 13. Hyöty-kustannussuhde pelkästään onnettomuusvaikutuksen muuttuessa.

Kuvasta havaitaan, että mikäli toteutuneella nopeuksien muutoksella saataisiin oletetusta poikkeava vaikutus onnettomuuskustannuksiin muuttuisi hyöty-kustannussuhde nopeasti. Aikaisempien arvioiden perusteella mahdollisista muutoksista voidaan sanoa seuraavaa:

- Keskinopeuden muutoksen ja onnettomuusmäärän välisessä riippuvuudessa todettiin olevan noin prosenttiyksikön epävarmuus. Kuvaajan perusteella tämä heijastuu noin 10 prosenttiyksikön epävarmuutena tuottavuudessa. Hyöty-kustannussuhde olisi lukuarvona siten noin $0,6 \pm 0,05$ eli epävarmuus on vähäistä.
- Nopeuksien keskihajonnan perusteella voidaan onnettomuuskustannuksissa saada lisähyötyä. Optimistisimpien arvioiden mukaan keskihajonnan pienehmissen onnettomuusvaikutus kokonaisuudessaan olisi noin prosentin luokkaa ja nostaisi hyöty-kustannussuhdetta 0,1 yksikköä eli 0,7:ään.

7.8 Suhteellinen riski

Keliluokkien välisen suhteellisen riskin vaikutusta tarkasteltiin kasvattamalla tasaisesti alennettujen nopeusrajoitusluokkien suhteellista riskiä verrattuna hyvän kelin luokan riskiin. Alkutilanteessa riskiä eri keleillä pidettiin samana. Kuvassa 14 on tarkasteltu hyöty-kustannussuhteen ja onnettomuusvaikutuksen muuttumista talviajan 80 km/h ja 100 km/h nopeusrajoitusluokkien välisen suhteellisen riskin funktiona. Vaikka suhteellisen riskin muutos on esitetty talviajan perusteella muutettiin myös kesäajan keliluokkien riskejä vastaavasti.



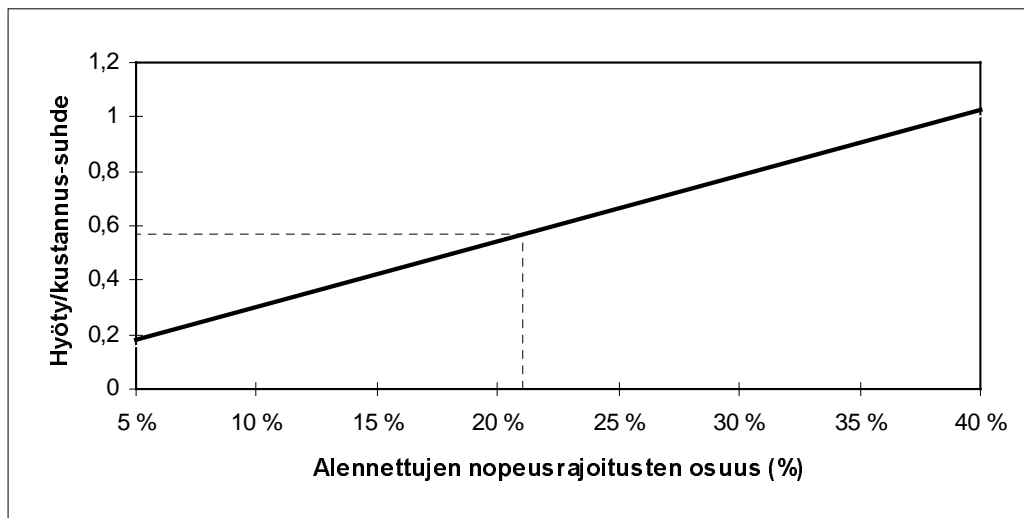
Kuva 14. Hyöty-kustannussuhde suhteellisen onnettomuusriskin muuttuessa.

Kuvasta havaitaan, että mikäli keliolosuhteiden aiheuttama suhteellisen riskin kasvu on oletettua pienempi heikkenee hankkeen tuottavuus nopeasti. Eri keli-luokkien suhteelliset riskit jouduttiin arvioimaan varsin karkeasti luotettavien tutkimustulosten puuttuessa, siten suhteellisiin riskeihin liittyvä epävarmuus on merkittävä epävarmuustekijä koko hankkeen tuottavuuden kannalta.

Luotettavuusväliarvioiden perusteella talviajan suhteellisten riskien välien ero voi pienemmillään olla 4:1, jolloin hyöty-kustannus-suhde jäisi alle 0,5:n. Suhteellisen riskieron kasvu ei vaikuta yhtä nopeasti. Arvioitaessa eron suurimmaksi mahdolliseksi arvoksi 6:1 olisi hyöty-kustannussuhde jonkin verran yli 0,6.

7.9 Keliluokkien osuus

Herkkyysanalyysissä eri nopeusrajoitusluokkien osuutta muutettiin tasaisesti. Nopeudet vertailu- ja koetiellä pidettiin kaikissa luokissa ennallaan. Onnettomuusasteet vertailu- ja koetiellä pidettiin ennallaan alennetuissa nopeusrajoitusluokissa, mutta onnettomuusastetta talven 100 km/h ja kesän 120 km/h luokissa muutettiin siten, että koko vuoden onnettomuusasteen vertailuarvo 0,08 henkilövahinko-onnettomuutta miljoonaa ajoneuvokilometriä kohti pysyi koko ajan samana. Kuvassa 15 hyöty-kustannussuhde on esitetty riippuen koko vuoden alennetun nopeusrajoituksen osuudesta.



Kuva 15. Hyöty-kustannussuhde alennettujen nopeusrajoitusten osuuden muuttuessa.

Kuvasta nähdään, että mikäli korkeamman riskin aikaa olisi enemmän paransi tuottavuus. Laskelmien pohjana käytettyihin keliluokkien osuuksiin voi liittyä epävarmuutta, johtuen aikaisemmin esitetyistä syistä. Arviota epävarmuuden suuruusluokasta ei käytettävissä olevien tietojen perusteella osata tehdä.

7.10 Muut tekijät

Kelin ja sään lisäksi onnettomuusriskiin voivat vaikuttaa muutkin yksittäiset tekijät, kuten ruuhkautuminen, ajoneuvojen hajoaminen ajoradalle tai jo tapahtuneiden onnettomuuksien jälkitilanteet. Muuttuvia opasteita voidaan käyttää liikenteen hallintaan myös näiden tilanteiden aikana ja siten nostaa aikaa, jona järjestelmä on tuottavassa käytössä.

Kotka - Hamina moottoritieillä näiden ongelmatilanteiden osuus on ajallisesti tuskin merkittävä. Yksittäistapauksissa liikenteen häiriötekijät voivat kuitenkin olla erittäin merkittäviä onnettomuuksiin johtavia syitä. Häiriötekijöiden yleisyyttä, muuttuvien opasteiden vaikutusta liikenteeseen niiden aikana ja siten hankkeen taloudellisuuteen oli mahdotonta arvioida tämän työn osana.

8. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Vertailu aikaisempaan tutkimukseen

Verrattuna edelliseen Sääohjatun tien yhteiskuntataloudellinen edullisuus - tutkimukseen (Lähesmaa 1995) tuottavuus ja kannattavuus jäivät pienemmiksi. Tässä tutkimuksessa hyöty-kustannussuhde todettiin 0,5:ksi, kun aikaisemmin sen oli arvioitu olevan lähellä yhtä. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että tutkimuksissa on käytetty eri riippuvuuksia keskinopeuden muutoksen ja onnettomuuksien määrän välillä. Aikaisemmassa tutkimuksessa käytettiin Salusjärven 80-luvun alussa määrittelemää riippuvuutta (Salusjärvi 1981). Tätä tutkimusta tehtäessä olivat käytettävissä vasta valmistuneen NOPSA-tutkimuksen tulokset, jossa nopeuden muutoksella ei 90-luvun aineiston perusteella todettu olevan yhtä voimakasta vaikutusta onnettomuusmäärään (Ranta & Kallberg 1996).

Säästöjen saamiseksi onnettomuuskustannuksissa tarvitaan aikaisemmin arvioitua suurempi muutos keskinopeudessa. Tällöin myös aikakustannukset kasvavat merkittävästi ja vievät noin 40 prosenttia onnettomuuskustannuksissa saavutetusta hyödystä.

8.2 Muutokset kustannustekijöissä

Tärkeimpänä tehtyihin arvioihin sisältyvänä epävarmuutta aiheuttavana tekijänä voidaan herkkyysoanalyysien perusteella pitää eri nopeusrajoitusluokkien onnettomuusriskin määrittelyä. Suhteelliset riskit eri nopeusrajoitusluokissa jouduttiin määrittelemään varsin yksinkertaisen tarkastelun pohjalta varsinaisten tutkimustulosten puuttuessa. Mikäli huonompien keliä aiheuttama onnettomuusriskin kasvu ei olekaan yhtä suurta kuin tutkimuksessa arvioitiin, laskee hankkeen tuottavuus nopeasti. Jotta laskelmat olisivat varmemmalla pohjalla kelin vaikutusta onnettomuusriskiin tulisi tutkia erikseen.

Investointikustannuksia käsiteltäessä ongelmallisia ovat sääohjausjärjestelmän eri laitteille määriteltävät pitoajat. Käytettävät pitoajat perustuvat aina sopimukseen. Liikenteen telematiikassa hyödynnettäville laitteille sopimuksia pitoajoista ei ole tehty. Lisäksi liikenneministeriön antamia ohjeita (LM 1976) pitoajoista on vaikea soveltaa koska liikenteen telemaattiset laitteet poikkeavat merkittävästi niistä rakenteista ja laitteista, joille ohjeet on annettu. Laskentamenetelmässä käytettävät pitoajat tulisi määritellä, siten, että kaikissa yhteiskuntataloudellisissa laskelmissa käytettäisiin yhdenmukaisia periaatteita.

Merkittävin tekijä, jolla järjestelmän ylläpitäjä voi vaikuttaa taloudellisuuteen on investointikustannukset. Kotka-Hamina sääohjattu tie on pilottihanke, jonka rakentamisessa ei ensisijaisesti pyritty välttämään kustannuksia vaan tavoitteena oli varmistaa järjestelmän toimivuus. Tänä päivänä vastaava järjestelmä voitai-

siin toteuttaa noin 25 prosenttia edullisemmin. Laskelmista havaittiin, ettei vielä tämäkään säästö tekisi järjestelmästä tuottavaa.

Verrattuna arvioituihin vuoden 1997 toteutuskustannuksiin tarvittaisiin yhä noin 50 prosentin kustannussäästö. Tämä on ainakin teoriassa mahdollista miettimällä uusia ratkaisuja toteutuksessa (langaton tiedonsiirto) ja hyödyntämällä ohjausta pidemmällä matkalla, jolloin kiinteiden kustannusten osuus investoinnissa jää pienemmäksi.

Järjestelmän ylläpitäjä voi vaikuttaa taloudellisuuteen käyttämällä ohjaustoimenpiteitä myös muuten kuin kelin ja sään perusteella. Herkkyysanalyysissä todettiin, että korkean riskin ajan lisääntyminen vaikuttaa suhteellisen nopeasti taloudellisuuteen. Mikäli tiellä on myös muita kuin kelistä johtuvia ongelmia olisi taloudellisesti perusteltua harkita muuttuvien opasteiden käyttämistä liikenteen hallintaan myös niiden vuoksi.

LÄHTEET

- Alppivuori K., Kanner H., Mäkelä K. ja Kallberg V-P 1995.** Nastarenkaiden käytön ja talvikunnossapidon yhteiskunnallinen optimointi. Tielaitos. Tielaitoksen tutkimuksia 4/95. Helsinki 1995.
- Beilinson L., Raitio J. ja Rämä P. 1996.** Tienpinnan tilan seuraaminen ja tunnistaminen tiesääaseman mittauksista. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tutkimusraportin luonnos 18.12.1996.
- LM 1976.** Liikenneministeriö. Liikennesektorin pääomakustannusten laskenta. Liikenneministeriön asettaman komitean mietintö. Liikenneministeriö. Helsinki 1976.
- Lähesmaa J. 1995.** Sääohjatun tien yhteiskuntataloudellinen edullisuus. Kaakois-Suomen tiepiiri. Tiel KaS 11/95. Kouvola 1995.
- Lähesmaa J. 1996.** Muuttuvat opasteet vt4 Järvenpää - Lahti - investointiselvitys. Plusway Oy. Lappeenranta elokuu 1996.
- Ranta S. ja Kallberg V-P 1996.** Ajonopeuden turvallisuusvaikutuksia koskevien tilastollisten tutkimusten analyysi. Tielaitoksen tutkimuksia 2/96. Helsinki 1996.
- Rämä P. 1997.** Sää- ja kelitietoon perustuvan liikenteen ohjausjärjestelmän vaikutukset Kotka - Hamina -moottoritieellä. Tielaitoksen selvityksiä 1/97. Helsinki 1997.
- Salusjärvi M. 1981.** Technical Research Centre of Finland. The speed limit experiments on public roads in Finland. Technical Research Centre of Finland publications 7/1981. Espoo 1981.
- Tielaitos 1990a.** Tieliikenteen pakokaasupäästöt. Tielaitos, kehittämiskeskus. Helsinki 1990.
- Tielaitos 1990b.** Kehar 2.0, Käyttäjän käsikirja. Tielaitos, kehittämiskeskus. Helsinki 1990.
- Tielaitos 1996,** Tieliikenteen ajokustannukset 1996. Toistaiseksi julkaisematon kustannustason päivitys. Tielaitos, kehittämiskeskus. Helsinki 1996.
- TVH 1987.** Tie- ja vesirakennushallitus. Talvikeliön onnettomuusriskit II. Tie- ja vesirakennushallitus, liikennetoimisto, kunnossapitotoimisto. Helsinki 1987.
- VTT 1985.** Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Päälysteiden kulumiseen vaikuttavat tekijät. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimusselostus 486. Espoo 1985.

HAASTATELLUT HENKILÖT

Kaakkois-Suomen tiepiiri	Kimmo Toivonen Jukka Annala
Kolmikanta Oy	Krister Långbacka
Sabik Oy	Carl-Johan Kass Erkki Viljakainen
Traffic Systems Oy	Juhani Tukeinen
Tele (Kaukohaku+Safenet)	Pertti Virtanen Seppo Hietala
Tele (Mobitex)	Tapio Vaahtokivi Thomas Lindblad

INVESTOINNIT

Kotka-Hamina sääohjatun tien vuosina 1993-94 toteutuneet investointi-
kustannukset

Kohde	Investointikustannukset	Investoinnin vuosisuorite	vuosi-pitoaika
	(1000 mk)	(1000 mk)	(vuosia)
SUUNNITTELU			
*liikenteen ohjaus	182	16	20
*sähkösuunnittelu	36	3	20
*projektiryhmän työ	170	15	20
PERUSRAKENTEET			
*putkitus ja kaivot	1430	125	20
*kaapelointi	1320	115	20
*sähkötekniset laitteet	415	36	20
OPASTEET			
*nopeusrajoitusmerkit	1490	240	8
*infomerkit	1020	164	8
*atk-ohjaus	130	21	8
*jalustat ja asennus	140	23	8
LAITTEISTO			
<i>Havaintolaitteisto</i>			
*tiesääasemat	145	23	8
*kamerajärjestelmä	120	16	10
<i>Muu laitteisto</i>			
*atk-laitteet	430	102	5
OHJELMISTOT			
*tiesää	320	28	20
*ohjaus	150	20	10
MUUT			
*palkat ja matkat	180	16	20
*tarvikkeet	220	19	20
*sisäiset laskut	160	14	20
KÄYTTÖÖNOTTO			
*ohjauksen testaus	80	13	8
*atk-ryhmän työ	30	5	8
YHTEENSÄ	8168	1014	14

INVESTOINNIT/PÄIVITYS

Investointikustannukset päivitettyinä vuoden 1997 tilanteeseen

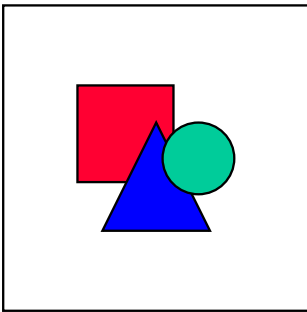
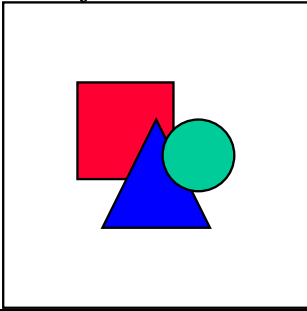
Kohde	Investointikustannukset	Investoinnin vuosisuorite	Pitoaika
	(1000 mk)	(1000 mk)	(vuosia)
SUUNNITTELU			
*liikenteen ohjaus	182	16	20
*sähkösuunnittelu	36	3	20
*projektiryhmän työ	170	15	20
PERUSRAKENTEET			
*kaapelointi	1320	115	20
*sähkötekniset laitteet	415	36	20
OPASTEET			
*nopeusrajoitusmerkit	1200	193	8
*infomerkit	820	132	8
*atk-ohjaus	130	21	8
*jalustat ja asennus	140	23	8
LAITTEISTO			
Havaintolaitteisto			
*tiesääasemat	145	23	8
*kamerajärjestelmä	120	16	10
Muu laitteisto			
*atk-laitteet	430	102	5
OHJELMISTOT			
*ohjaus	150	20	10
MUUT			
*palkat ja matkat	180	16	20
*tarvikkeet	220	19	20
*sisäiset laskut	160	14	20
KÄYTTÖÖNOTTO			
*ohjauksen testaus	80	13	8
*atk-ryhmän työ	30	5	8
YHTEENSÄ	5928	783	9

Nopeudet eri nopeusrajoitusluokissa

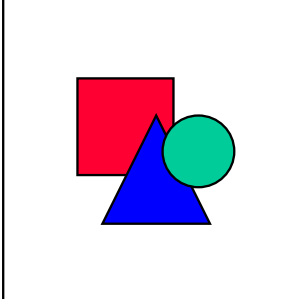
Seuraavissa taulukoissa on esitetty kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen keskinopeudet vertailutiellä ja sääohjatulla tiellä niissä nopeusrajoitusluokissa, joissa sääohjatulla tiellä nopeusrajoitusta on alennettu.

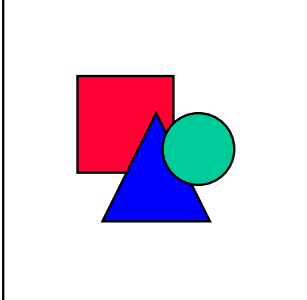
Laskelmat perustuvat Sää- ja kelitietoon perustuvan liikenteen ohjausjärjestelmän vaikutus kuljettajien käyttäytymiseen ja käsityksiin -tutkimukseen kerättyyn aineistoon) Vertailutienä tutkimuksessa oli Porvoon moottoritie. (Rämä 1997)

Talvi - huono keli

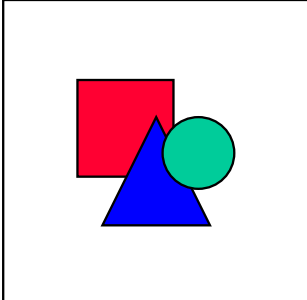
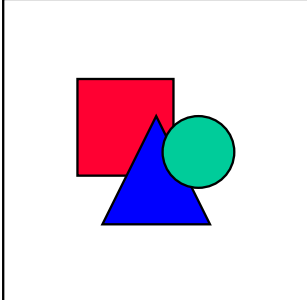
	keskinopeus (km/h)	
	kevyt	raskas
vertailutie 	89	82
sääohjattutie 	87	81
muutos	2	1

Normaali aika - kohtalainen keli

	keskinopeus (km/h)	
	kevyt	raskas
vertailutie 	108	86

sääohjattutie	102	86
		
muutos	6	0

Normaali aika - huono keli

	keskinopeus (km/h)	
	kevyt	raskas
vertailutie	99	86
		
sääohjattutie	94	84
		
muutos	5	2

Onnettomuusriskin määrittäminen

1. KELI

1.1 Kelitiedot

Kotka-Hamina tiesäätiedot kerättiin Muumitalon tiesäasemalta vuosien 1995 ja 96 aikana. Tiesäaseman tieto on rekisteröity jokaiselle mittauspisteen ohittaneen ajoneuvolle, joten tiedot merkitsevät todellisia liikennesuoritteita eri keleillä.

Taulukko 1. Liikenteen jakautuminen eri keleille talvella 1.11.95- 30.3.96 (N = 987 780) ja kesällä 1.4.96-31.10.96 (N = 1 081 476)

keli	talven jakauma (%)	kesän jakauma (%)
kuiva	36,9	86,2
kostea	2,7	3,4
kostea ja suolainen	16,4	0,6
märkä	8,4	9,5
märkä ja suolainen	3,7	0,1
kuura	25,1	0,1
lumi	6,2	0,1
jää	0,6	0,02

Taulukko 2. Sateiden osuus talvella talvella 1.11.95- 30.3.96 ja kesällä 1.4.96-31.10.96

sade	talven jakauma (%)	kesän jakauma (%)
pouta	81,6	92,6
heikko vesisade	5,3	4,3
kohtalainen vesisade	1,4	2,0
runsas vesisade	0	0,1
heikko jäätynyt sade	11,4	1,0
kohtalainen jäätynyt sade	0,3	0
runsas jäätynyt sade	0	0

1.2 Tiesääasemien ja ihmisten havaintojen väliset erot

Tiesääasemien ja ihmisten tekemien havaintojen yhdenpitävyyttä on tutkittu (Beilinson et al. 1996). Tutkimuksessa kerättiin tiesääaseman tieto ja samanaikaisesti ihminen kävi tiesääasemalla tekemässä vastaavan luokittelun mukaisen havainnon.

Taulukko 3. Ihmisen ja tiesääaseman tekemien havaintojen vertailu talvella 95-96 (N = 233)

keli	asema (%)	ihminen (kpl)
kuiva	13	21
kostea	1	4
kostea ja suolainen	16	10
märkä	11	7
märkä ja suolainen	4	12
kuura	21	1
lumi	31	9
jää	3	36

Tiesääaseman ja ihmisen tekemien havaintojen perusteella voidaan laskea korjauskerroin, jolla tiesääaseman antamat prosenttiosuudet tulisi kertoa, jotta ne vastaisivat ihmisen tekemiä havaintoja. Korjauskerroin lasketaan jakamalla ihmisten havaintojen määrä tiesääaseman havaintojen määrällä edellisessä taulukossa. Näin saadut kertoimet on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 4. Korjauskertoimet

keli	kerroin
kuiva	1,6
kostea	3
kostea ja suolainen	0,65
märkä	0,68
märkä ja suolainen	3
kuura	0,04
lumi	0,29
jää	12

1.3 Korjatut kelijakaumat

Kertomalla taulukoissa 1 olevat tiesääasemien havaintoihin perustuvat jakaumat taulukon 4 korjauskertoimilla ja skaalaamalla saadut arvot siten, että niistä tulee yhteensä 100 prosenttia voidaan arvioida ihmisen havaintojen mukaan korjattua kelijakaumaa. Näin lasketut eri kielten osuudet on esitetty talvelle ja kesälle taulukossa 5.

Taulukko 5. Korjattu liikenteen jakautuminen eri keleille talvella (1.11. - 31.3.) ja kesällä (1.4. - 31.10.)

keli	talven jakauma (%)	kesän jakauma (%)
kuiva	57	87
kostea	8	6
kostea ja suolainen	7	0,2
märkä	8	6
märkä ja suolainen	11	0,1
kuura	1	0
lumi	2	0
jää	6	0,2

2. ONNETTOMUUDET

2.1 Onnettomuustilastot

Eri kelien ja sääohjatulla tiellä käytettävien nopeusrajoitusluokkien onnettomuusriskien arvioimiseksi kerättiin vuosina 91-96 Etelä-Suomen valtateillä tapahtuneet henkilövahinkoihin johtaneet onnettomuudet jaoteltuina kelin ja sateen mukaan.

Taulukko 6. Henkilövahinkoon johtaneiden onnettomuuksien osuudet Uudenmaan, Turun ja Kaakkois-Suomen tiepiireissä talvina 91-96 (N =3 573) ja kesinä 91-96 (N = 4 687).

keli	talven jakauma (%)	kesän jakauma (%)
kuiva	16,1	77,1
märkä	19,6	17,9
luminen	11,5	0,7
sohjoinen	10,7	1,3
jäinen	42,2	2,9

Taulukko 7. Henkilövahinkoon johtaneiden onnettomuuksien osuudet Uudenmaan, Turun ja Kaakkois-Suomen tiepiireissä talvina 91-96 ja kesinä 91-96 sateen mukaan.

sade	talven jakauma (%)	talven jakauma (%)
pouta	67,5	83,6
sumu	2,3	2,1
vesisade	4,9	8,9
lumisade	15,5	1,5
räntäsade	6,4	0,8

2.2 Suhteellinen onnettomuusriski

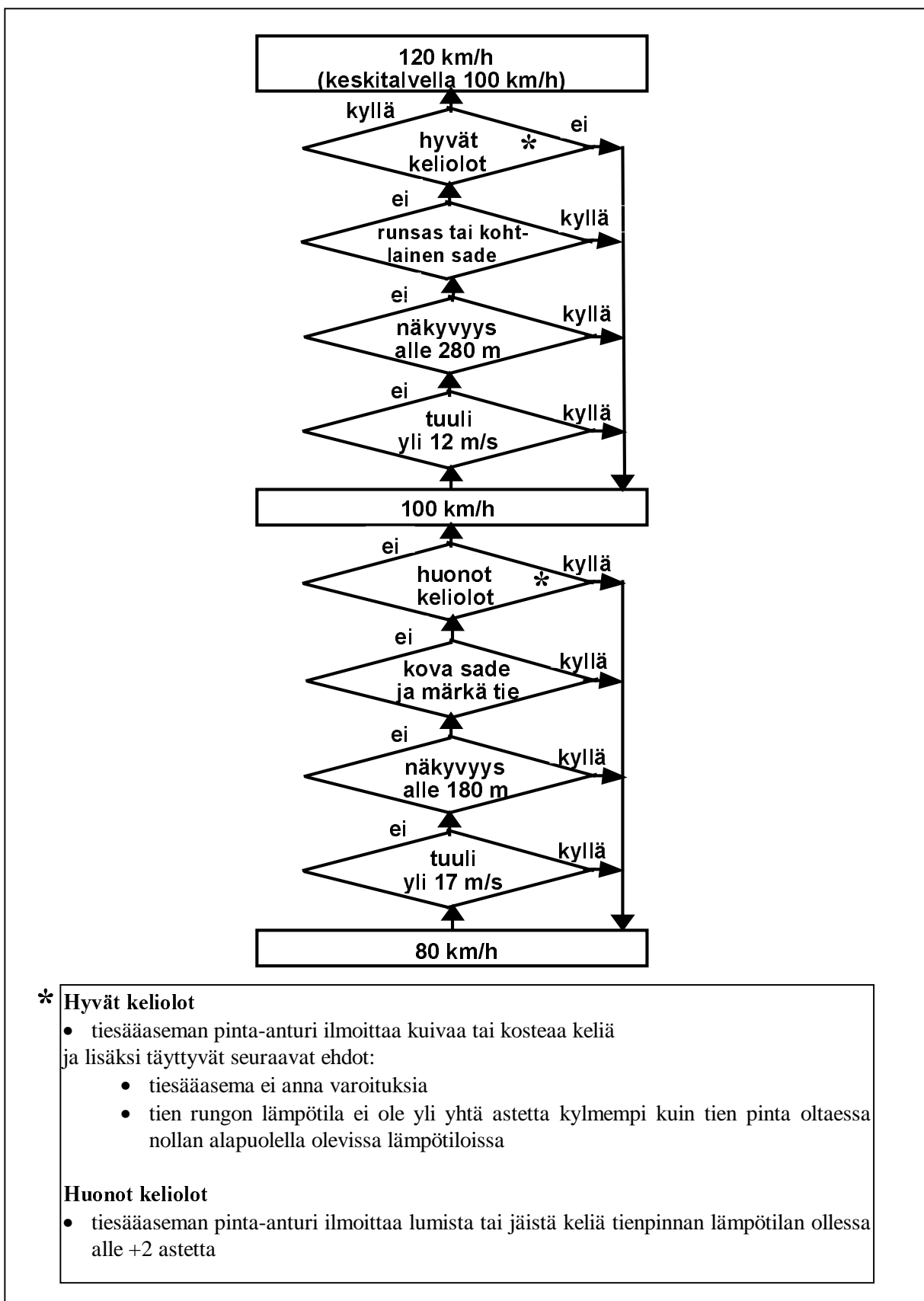
Suhteellinen onnettomuusriski lasketaan jakamalla tietyssä keliluokassa tapahtuvien onnettomuuksien osuus ko. keliluokan liikennesuoritteiden osuudella. Saadut lukuarvot skaalataan siten, että kuivan kelin riskiksi tulee yksi. Nopeusrajoitusluokan suhteellisen riskin arvioimiseksi eri kelejä on yhdistetty. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että tiesääasemien ja onnettomuustilastojen keliluokitus ei ole täsmälleen sama. Onnettomuustilastojen sää- ja kelitiedot ovat poliisin onnettomuuspaikalla määrittämiä, jolloin liukkaan kelin osuus voi olla yliarvioitu. Siten erot keliluokkien riskeissä voivat olla liian suuria.

Ensin on pyritty arvioimaan talven ja muun ajan välinen ero riskissä. Arvion lähtötiedot ja suhteellinen riski on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 8. Talven ja muun ajan suhteellinen heva-onnettomuusriski

	Liikennesuorite (Viren, 97)	Onnett. osuus (Onn. tilasto 91-96)	Suhteellinen riski
Talvi (1.11.-31.3)	36 %	43 %	1,3
Muu aika	64 %	57 %	1

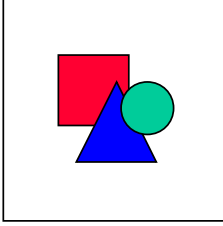
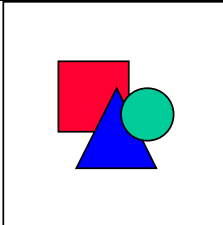
Nopeusrajoitusluokkien suhteellisten riskien arvioimiseksi on tunnettava nopeusrajoitusluokkien jakoperusteet, mitkä on esitetty seuraavassa kuvassa 1.



Kuva 1. Nopeusrajoitusluokkien jakoperusteet

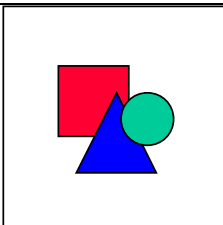
Talvi

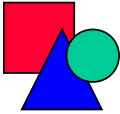
Taulukko 9. Liikennesuorite ja onnettomuusosuus sekä niistä laskettu suhteellinen riski talviajan nopeusrajoitusluokissa 80 ja 100 km/h kelin mukaan.

	KELIT		liikennesuorite	onnettomuusk-sien osuus	suhteellinen riski
	tiesääasema	onnettomuus tilasto			
 hyvä ja kohtalainen keli	<ul style="list-style-type: none"> kuiva kostea 	<ul style="list-style-type: none"> kuiva 	73 %	36 %	1
 huono keli	<ul style="list-style-type: none"> märkä märkä ja suolainen kuura luminen jäinen 	<ul style="list-style-type: none"> märkä luminen sohjoinen jäinen 	27 %	64 %	4,8

Suhteellinen riski tarkoittaa riskieroa silloin, kun rajoitus on vakio 100 km/h eli muuttuvien nopeusrajoitusten vaikutusta ei ole vielä arvioitu.

Taulukko 10. Liikennesuorite ja onnettomuusosuus sekä niistä laskettu suhteellinen riski talviajan nopeusrajoitusluokissa 80 ja 100 km/h sateen mukaan.

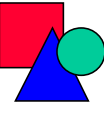
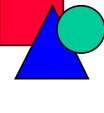
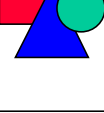
	SADE		liikennesuorite	onnettomuusk-sien osuus	suhteellinen riski
	tiesääasema	onnettomuus tilasto			
 hyvä ja kohtalainen sää	<ul style="list-style-type: none"> pouta heikko ja kohtalainen vesisade 	<ul style="list-style-type: none"> pouta 	87 %	69 %	1

	<ul style="list-style-type: none"> runsas vesisade heikko, kohtalainen ja runsas jäätynyt sade 	<ul style="list-style-type: none"> vesisade lumisade räntäsade 	13 %	31 %	3
huono sää					

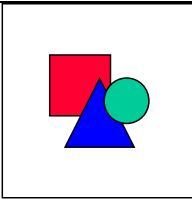
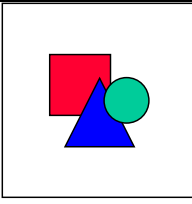
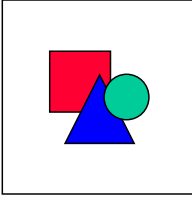
Taulukon 10 tulosta vääristää se, että 100 km/h nopeusrajoitusluokkaan kuuluvat heikko ja kohtalainen sade, mutta niitä ei ole voitu eritellä onnettomuustilaston aineistosta. Tämä vaikuttaa siten, että huonon sään riskiä lisäävä vaikutus on todennäköisesti tullut yliarvioiduksi.

Kesä

Taulukko 11. Liikennesuorite ja onnettomuusosuus sekä niistä laskettu suhteellinen riski kesäajan nopeusrajoitusluokissa 80, 100 ja 120 km/h.

KELIT					
	tiesääsema	onnettomuus tilasto	liikennesuorite	onnettomuuk-sien osuus	suhteellinen riski
	<ul style="list-style-type: none"> kuiva 	<ul style="list-style-type: none"> kuiva 	87 %	77 %	1
hyvä keli					
	<ul style="list-style-type: none"> kosteaa märkä märkä ja suolainen 	<ul style="list-style-type: none"> märkä 	12 %	18 %	1,6
kohtalainen keli					
	<ul style="list-style-type: none"> kuura luminen jäinen 	<ul style="list-style-type: none"> luminen sohjoinen jäinen 	0,3 %	5 %	24
huono keli					

Taulukko 12. Liikennesuorite ja onnettomuusosuus sekä niistä laskettu suhteellinen riski kesäaikana nopeusrajoitusluokassa 120 km/h ja yhdistetyssä 80 ja 100 km/h luokassa sateen mukaan

	SADE		liikennesuorite	onnettomuusosuus	suhteellinen riski
	tiesääasema	onnettomuus tilasto			
 hyvä keli	<ul style="list-style-type: none"> pouta 	<ul style="list-style-type: none"> pouta 	93 %	88%	1
 ja  kohtalainen ja huono keli	<ul style="list-style-type: none"> heikko, kohtalainen ja runsas vesisade heikko, kohtalainen ja runsas jäätynyt sade 	<ul style="list-style-type: none"> vesisade lumisade räntäsade 	7%	12%	1,8

Taulukossa 12 oli mahdotonta laskea erikseen nopeusrajoitusluokkien 80 ja 100 km/h sateesta johtuvaa suhteellista riskiä koska sateen onnettomuus tilastoissa ei ole määritelty sateen runsautta.

3. SUHTEELLISEN RISKIN TARKASTELU

3.1 Vertailu muissa tutkimuksissa tehtyihin arvoihin

- Nastarenkaiden käytön ja talvikunnossapidon yhteiskunnallinen optimointi -tutkimuksessa (Alppivuori et al. 1995) talviaikana arvioitiin olevan liukasta keliä noin 20 prosenttia ajasta ja pitävän ja liukkaan kelin onnettomuusriskien suhde arvioitiin Etelä-Suomessa tieluokassa Isk olevan noin 1:4
- Sääohjatun tien yhteiskuntataloudellinen edullisuus -tutkimuksessa (Lähesmaa 1995) arvioitiin eri keliluokille suhteelliset riskit perustuen Talvikeilien onnettomuusriskit -tutkimuksessa (TVH, 87) määriteltyihin suhteellisiin riskeihin. Olettamukset suhteellisista riskeistä olivat seuraavat:

- talvisin on huonon kelin aikaa noin 16 prosenttia, jolloin riski on noin 6-kertainen hyvän ja kohtalaisen kelin nopeusrajoitusluokkaan verrattuna
 - kesäisin on huonon kelin aikaa noin 4 prosenttia, kohtalaista keliä noin 16 prosenttia, ja suhteellinen riski huonolla kelillä on 10-kertainen ja kohtalaisella kelillä 4-kertainen hyvään keliin verrattuna
- kelin vaikutuksesta onnettomuusriskiin tiedetään toistaiseksi suhteellisen vähän

3.2 Käytettävät suhteelliset riskit

Talvi

- nopeusrajoitusluokan 80 km/h suhteellisen riskin arvioidaan olevan viisinkertainen nopeusrajoitusluokan 100 km/h riskiin verrattuna ilman nopeusrajoituksen alentamisen vaikutusta.
 - ala-arviona nopeusrajoitusluokkien riskin väliseksi suhteeksi voidaan arvioida 1:4
 - ylä-arviona voidaan pitää suhdetta 1:6, jota on käytetty aikaisemmassa tutkimuksessa (vertaa edellinen kappale). Lisäksi korkeamman suhteen käyttöä puoltaa se, että tässä tutkimuksessa käytettiin suhteellisen riskin arvioinnissa suurempaa liikennesuoritteiden osuutta (27 prosenttia, vertaa taulukko 9), kuin mitä todellisuudessa 80 km/h nopeusrajoitusta on käytetty (20 prosenttia).

Kesä

- nopeusrajoitusluokan 100 km/h suhteellisen riskin arvioidaan olevan kaksinkertainen nopeusrajoitusluokan 120 km/h riskiin verrattuna
 - ala-arviona voidaan arvioida suhteellisen riskin olevan vähintään 1,6-kertainen
 - ylä-arviona pidetään suhdetta 1:3
- nopeusrajoitusluokan 80 km/h suhteellisen riskin arvioidaan olevan 15-kertainen nopeusrajoitusluokan 120 km/h riskiin verrattuna
 - ala-arviona pidetään suhdetta 1:10
 - ylä-arviona pidetään suhdetta 1:20

Yhteiskuntataloudelliset laskuperiaatteet

Yhteiskuntataloudelliset hinnat perustuvat Tielaitoksen Ajoneuvokustannusten laskentaohjeisiin (Tielaitos 1996). Kustannusten laskemisessa käytetyt yhtälöt on johdettu Tielaitoksen periaatteista Sääohjatun tien yhteiskuntataloudellinen edullisuus tutkimuksessa (Lähesmaa 1995).

Onnettomuuskustannukset

Sääohjausjärjestelmästä johtuva vuotuisten onnettomuuskustannusten muutos lasketaan kaavalla:

$$\Delta K_{\text{onn}} = \Delta OA \times KVL \times k_{\text{onn}} \times 365 \times L/11$$

jossa

ΔK_{onn} = onnettomuuskustannusten muutos vuodessa

ΔOA = onnettomuusasteen muutos (onn./milj.km/vuosi)

k_{onn} = onnettomuuden yksikkökustannus

KVL = keskivuorokausiliikenne

L = tieosan eli linkin pituus

365 = päiviä vuodessa

Onnettomuuksien yksikkökustannukset yleisillä teillä

Onnettomuuslaji	Kustannus (mk)
kuolemaan johtanut	9 450 000
muu henkilövahinko	226 000
henkilövahinko (keskimäärin)	1 011 800
omaisuusvahinko	46 800
tieliikenneonnettomuus (keskimäärin)	338 400

Aikakustannukset

Vuotuisten aikakustannusten muutos johtuen sääohjausjärjestelmästä esitetään kaavana:

$$\Delta K_{\text{aik}} = \frac{(v_1 - v_2)}{v_1 \times v_2} \times k_{\text{aik}} \times KVL \times 365 >$$

jossa

ΔK_{aik} = vuotuinen aikakustannuksen muutos

v_1 = keskinopeus ilman sääohjausjärjestelmää

v_2 = keskinopeus sääohjausjärjestelmän kanssa

k_{aik} = tunnin aikakustannus

Kevyen ja raskaan ajoneuvon aikakustannukset

Autolaji	Matkan tarkoitus	Kustannus (mk/tunti/auto)
Kevyt	työajan matka	135,8
	työ- tai asiointimatka	33,6
	vapaa- tai loma-ajan matka	26,4
	keskimäärin	50,8
Raskas		165,1

Ajoneuvokustannukset

Ajoneuvokustannusten muutos kevyille ajoneuvoille:

$$\Delta K_{ajo} = \left(\frac{80 \times A}{2} \left(\frac{v_1 - v_2}{v_1 \times v_2} \right) + \Delta d P \times B \right) \times KVL \times L \times$$

jossa

ΔK_{ajo} = ajoneuvokustannusten vuotuinen muutos

A = ajoneuvokustannusten kiinteä osa

B = ajoneuvokustannusten muuttuva osa

ΔdP = suhteellisen polttoaineen kulutuksen muutos

80 = vertailunopeus kevyille ajoneuvoille (70 raskaat ajoneuvot)

Kevyiden ja raskaiden autojen muuttuvien ja kiinteiden ajoneuvokustannusten perustaso (vertailunopeuksilla 80 ja 70 km/h)

Ajoneuvolaji	kiinteä kustannusosa (p/km)	muuttuva kustannusosa (p/km)
Kevyt	43,1	43,5
Raskas	234,4	172,4

Suhteellisen polttoaineen kulutuksen muutos saadaan laskettua

$$\Delta P = dP_2 - dP_1$$

jossa

dP_1 = suhteellinen polttoaineen kulutus kun ei käytetä muuttuvia opasteita

dP_2 = suhteellinen polttoaineen kulutus kun käytetään muuttuvia opasteita

dP_1 ja dP_2 saadaan kevyille ja raskaille ajoneuvoille seuraavista taulukoista

Talukoissa tarvittavat kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen matkanopeudet vapaissa oloissa saadaan moottoriteillä laskettua kaavoilla

$$V_{\text{kev}} = 20 + 0,87 \times V_{\text{raj}}$$

$$V_{\text{ras}} = 18 + 0,87 \times V_{\text{raj}}$$

jossa

V_{kev} = vapaa nopeus kevyille ajoneuvoille

V_{ras} = vapaa nopeus raskaille ajoneuvoille

V_{raj} = nopeusrajoitus

Kevyen auton suhteellinen polttoaineen kulutus verrattuna keskimääräiseen kulutukseen (dP)

matkanopeus km/h	vapaa matkano- peus (km/h)				
		105	110	115	120
85	0,95	0,972	1,001	1,038	
90	0,96	0,982	1,009	1,045	
95	0,974	0,995	1,021	1,055	
100	0,993	1,012	1,036	1,068	
105	1,017	1,033	1,055	1,085	
110		1,058	1,077	1,104	
115			1,103	1,126	
120				1,152	

Raskaan auton suhteellinen polttoaineen kulutus verrattuna keskimääräiseen kulutukseen (dP)

matkanopeus km/h	vapaa matkano- peus (km/h)			
		85	90	95
75	0,914	0,973	1,029	1,085
80	0,884	0,946	1,005	1,065
85	0,86	0,923	0,986	1,048
90		0,906	0,971	1,035
95			0,96	1,026
100				1,021

Pakokaasupäästöt

Päästökustannusten muutos voidaan esittää yhtälöllä

$$\Delta K_{pää} = \sum (\Delta P_{pl} \times K_{pää,pl} \times KVL \times LQ \times 365 \times L)$$

jossa

$DK_{pää}$ = päästökustannusten vuotuinen muutos

DP_{pl} = päästön muutos

$k_{pää,pl}$ = päästön kustannus

LA_l = ajoneuvolajin osuus liikenteestä

p = päästö (NO_x , HC, hiukkaset)

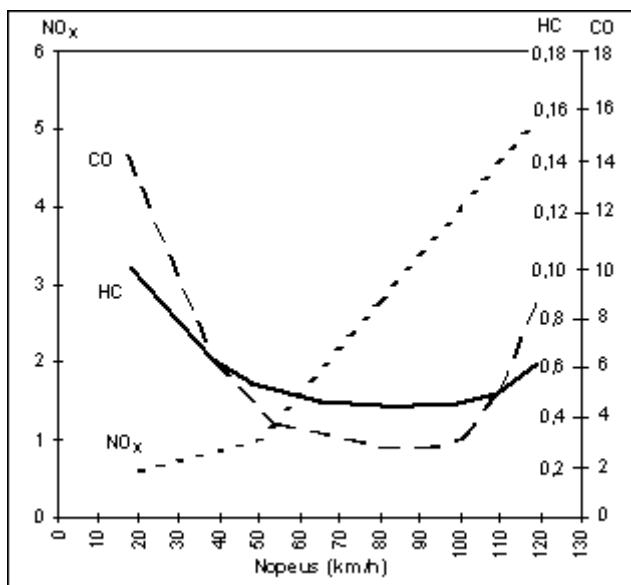
l = ajoneuvolaji (kevyt auto, raskas auto)

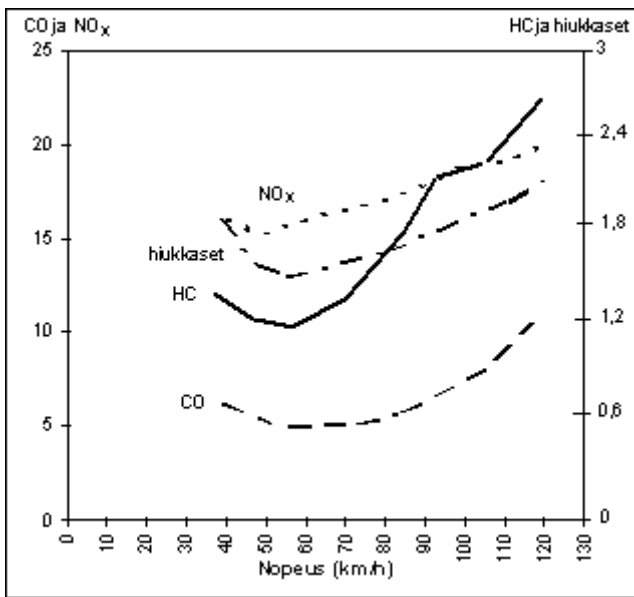
Tieliikenteen pakokaasujen yksikköhinnat

Päästö	Kustannus (mk/tonni)
typen oksidit	5 400
hiilivedyt	10 300
hiukkaset	94 500
hiilidioksidi	180

Päästömäärien muutokset on tässä tutkimuksessa arvioitu nopeuden muutoksen perusteella seuraavista kuvista (Tielaitos 1990a)

Kuva 1. Henkilöauton päästöt (grammaa/kilometri) tasaisessa ajossa nopeuden perusteella





Kuva 2. Perävaunullisen kuorma-auton päästöt (grammaa/kilometri) tasaisessa ajossa nopeuden perusteella

Melu

Melun yksikköhinnat eri melutasoilla

Melutaso (dB)	Vuosikustannus (mk) / asukas
55-65	1 782
65-75	2 700
>70	5 400

Melukustannusten määrittämiseksi on tiedettävä kuinka moni tienvarren asukas altistuu melulle ja missä määrin. Tämän perusteella lasketaan meluhaittojen vuotuiset kustannukset.

Sääohjauksen melussa aiheuttamat muutokset pitäisi arvioida laskemalla uudelleen kullekin melutasolle altistuvien ihmisten määrä, kun tieosan nopeus on laskenut. Koska näin ei voida tehdä, täytyy melun muutokset arvioida laskennallisesti. Melutason perusarvo määrätyllä nopeudella 10 metrin etäisyydellä tien keskikohdasta voidaan laskea kaavalla (Tielaitos 1990b)

$$LA = LA_{10m} + 30 \text{ Log } (v/50)$$

jossa

LA = melutaso

LA_{10m} = melutason perusarvo 10 metrin etäisyydellä tien keskikohdasta

Laskemalla melutaso nopeuksilla ilman sääohjausta ja sääohjauksen kanssa arvioidaan sääohjauksen aiheuttama melutason prosentuaalinen lasku. Sääohjauksen arvioidaan alentavan meluhaittojen kustannuksia saman verran. Meluhaittojen kustannuksissa syntyvä muutos on täysin laskennallinen.

Päällystekustannukset

Tiet on päällystettävä uudelleen määrätyin väliajoin johtuen päällysteen kulumisesta. Sääohjauksen aiheuttamalla nopeuden muutoksella voidaan ajatella olevan pieni vaikutus siihen, miten usein uusintapäällystys on tehtävä. Vuotuiset päällystyskustannukset saadaan laskettua kertomalla yhden päällystyskerran kustannukset päällystyskertojen välisen ajan mukaisella annuiteettitekijällä. Sama voidaan esittää kaavana:

$$K_{\text{pääl}} = L \times s \times k_{\text{pääl}} \times AN$$

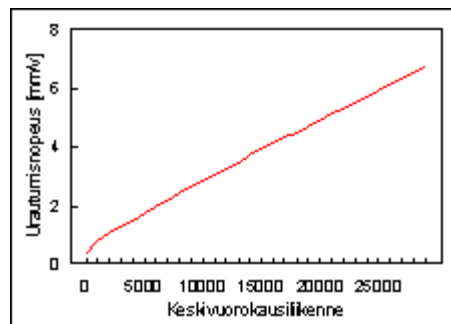
jossa

$K_{\text{pääl}}$ = vuotuiset päällystekustannukset

s = päällystettävän alueen leveys

$k_{\text{pääl}}$ = päällystyskustannus (25 mk/m²)

Päällystyskertojen välinen aika voidaan arvioida vuotuisen kulumisen avulla. Urautumisnopeus saadaan uramallista, kun keskivuorokausiliikenne tunnetaan. (Tielaitos 1994)



Kuva 3. Uramalli

Kun tiedetään vertailunopeus ja alennettu nopeus, voidaan nopeuden muutoksen vaikutus päällysteen kulumiseen esittää kaavalla (VTT 1985)

$$\Delta U = \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 - 1 \right] \times 100$$

jossa

ΔU = päällysteen kulumisen prosentuaalinen muutos

Päällysteen kulumisessa tapahtuvan muutoksen perusteella pystytään laskemaan uudet kaistojen päällystysvälit. Jakamalla yhden kerran päällystyskustannukset uuden päällystysvälin mukaisilla annuiteettitekijällä vuosisuoritteiksi saadaan vanhan ja uuden vuosisuoritteiden erotuksena päällystekustannusten vuotuinen muutos.