



# Hibris-ohjelmiston käyttöönoton edellytykset

Tiehallinnon selvityksiä 24/2007

# **Hibris-ohjelmiston käyttöönoton edellytykset**

Tiehallinnon selvityksiä 24/2007

*Kansikuva: maantie 6271 Petäjävesi-Valkola ja Kummun silta Kes-800  
Kuvattu sillantarkastuksen yhteydessä 21.6.2006.*

Verkkojulkaisu pdf ([www.tiehallinto.fi/palvelut/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/palvelut/julkaisut))

ISSN 1459-1553

ISBN 978-951-803-878-1

TIEH 3201050-v

Helsinki 2007

[www.tiehallinto.fi](http://www.tiehallinto.fi)

**Tiehallinto**

Asiantuntijapalvelut

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0204 22 11

**Asiasanat:** päällysteet, sillat, kunnossapito, tienpidon suunnittelu; ohjelmistot  
**Aiheluokka:** 70

## TIIVISTELMÄ

Työn yhteydessä tarkasteltiin niitä ongelmia, jotka ovat estäneet Hibris-ohjelmiston käytön päällystettyjen teiden ja siltojen ylläpidon suunnittelussa. Työ on jakautunut toisaalta ohjelmiston toteutusratkaisujen vaikutusten arviointiin, toisaalta käytössä olevien mallien ja niissä käytettyjen lähtötietojen vaikutusten arviointiin.

Päällystettyjen teiden ja siltojen verkkotason ylläpitoanalyysin eri vaiheet käytiin läpi kahdella optimointiohjelmistolla: Hibriksen Lindon ja Rambollin Lingon avulla. Samoja lähtötietoja käyttämällä optimointiin liittyvät kysymykset saatiin esille vertaamalla näiden menettelytapojen tuloksia. Pitkän aikavälin analyysin osalta optimointitulokset ovat identtiset ja tulokset ovat käytökelpoisia kustannustason ja kuntojakautuman osalta, edellyttäen että lähtötiedot ovat hyviä. Hibris-toteutuksessa ei lasketa eikä talleteta pitkän aikavälin analyysin duaaliratkaisua, jonka vuoksi sitä ei käytetä lyhyen aikavälin analyysissä. Lingossa ajettiin lyhyen aikavälin analyysit sekä duaalin kanssa että ilman. Lyhyen aikavälin analyysin osalta toteutetut kolmet optimointifunktiot eroavat toisistaan, mutta niiden vaikutus lopputulokseen vuosi-toimenpide-kuntotila-tasolla ei ole yleensä merkittävä.

Mallin ratkeaminen epäonnistuu huomattavasti useammin Hibriksen Lindo-optimoinnissa kuin Lingolla toteutetussa optimoinnissa. Osaltaan tähän vaikuttaa Hibriksen toteutuksen tekninen ratkaisu (Oraclen web-clientin applet-teknikka), joka on nykyisin sovelluksilta odotettavan käytettävyyden kannalta aivan liian huono: tietoliikenneyhteys appletin ja palvelimen välillä katkeaa usein ilman että saadaan mitään virheilmoitusta.

Keskeinen käyttöönottoa vaikeuttava tekijä on nykyisten silta- ja päällystemallien *epähomogeenisuus*, joka johtuu korjaustoimenpiteiden hyötyjen puuttumisesta siltojen osalta, siltojen ja päällysteiden erimittaisesta kuntomuutosykyistä sekä mallien erilaisesta tarkkuustasosta. Tarkkuustason eroa kuvaa se, että päällysteillä on kolme kuntomuuttujaa ja 216 kuntotilaa, silloilla puolestaan on vain yksi kuntomuuttuja ja viisi kuntotilaa. Päällysteiden toimenpiteiden *hyötymallien vaikutusten pienuus* aiheuttaa sen, että optimoinnissa menetetään hyötyjen ohjaava vaikutus ja analyysin lopputulokset eivät ole mielekkäitä: suositellaan pienintä budjettia ja kevyimpiä toimenpiteitä. Siltamalleissa toimenpiteestä saatua rahallista hyötyä ei ole ollenkaan mukana analyysissä, jolloin mielekäs optimointi on mahdollista vain päällystemallien kesken.

Työn lopputuloksena esitetään suosituksia Hibris-järjestelmän käyttöönottamiseksi. Suositukset koskevat seuraavia asioita: lähtötietojen käsittelyn muutokset, optimointifunktion muutokset, tarvittavat tietotekniset ratkaisut, lähtötietoina käytettävät mallit ja niiden muutostarpeet, toimintamallin muutos, yhteisoptimoinnin toteuttaminen ja tulosten raportoinnin kehittäminen. Näiden perusteella esitetään selvityksen lopuksi käyttöönottosuunnitelma, jotta Tiehallinto voisi jatkaa verkkotason ylläpitoanalyysiä.

**Nyckelord:** beläggningar, broar, underhåll, översiktlig vägnätsanalys

## SAMMANFATTNING

I detta arbete undersöktes de problem som hindrat Vägförvaltningen att använda Hibris-programmet vid planeringen av drift och underhåll av det belagda vägnätet och brobeståndet. Arbetet omfattar dels en utvärdering av programvarans utförande, dels en undersökning av de använda vägbeläggnings- och bromodellerna och data som används.

De olika skedena i analysen av broarnas och de belagda vägarnas underhåll undersöktes genom att jämföra resultaten från två olika optimeringsprogram: Lindo som används i Hibris och Lingo som används vid Ramboll. Genom att använda samma indata och jämföra resultaten kunde man se olika aspekter av optimeringen. Optimeringsresultaten för analysen på lång sikt är identiska och resultaten för kostnadsnivån och tillståndfördelningen vettiga och användbara, förutsatt att indata är goda. I Hibris räknar och lagrar man inte duallösningen för analyserna på lång sikt, varför den inte heller används i analyserna på kort sikt. I Lingo gjordes analyserna på kort sikt både med och utan duallösning. De tre undersökta optimeringsfunktionerna för analys på kort sikt skiljer sig från varandra, men inverkan på slutresultatet är i allmänhet inte betydande då man granskar år, åtgärd och tillstånd.

Under projektet märkte man att optimeringen med Lindo misslyckas mycket oftare än optimeringen med Lingo. En bidragande orsak var Hibris som använder Oracles web client applet-teknik. Användargränssnittet är besvärligt att använda och dataförbindelsen mellan klient och server bryts ofta utan att någon varning eller felmeddelande ges.

En central orsak som försvårar användandet av Hibris är *ohomogeniteten* som råder mellan modellerna för broar och belagda vägar. Ohomogeniteten beror på saknaden av nytta av reparationsåtgärder för broar, den stora skillnaden i längd på tidscykeln för tillståndsförändringar för broar och belagda vägar samt på den stora skillnaden i graden av modellernas finindelning. Skillnaden i finindelning illustreras av att de belagda vägarna har tre tillståndsvariabler och 216 tillstånd medan broarna bara har en tillståndsvariabel och fem tillstånd. Den enligt modellerna *anspråkslösa nyttan med åtgärder* för belagda vägar gör att man förlorar nyttofaktorns styrande verkan och analysernas slutresultat är inte meningsfulla: man rekommenderas minsta budget och de billigaste åtgärderna. För broarnas del saknas nyttomodeller helt, vilket gör att man kan göra meningsfull optimering bara mellan olika modeller för belagda vägar.

Arbetets resultat innehåller rekommendationer för hur man kan börja använda Hibris-programmet. Rekommendationerna gäller följande saker:

- ändring av hanteringen av indata
- ändringar i formuleringen av optimeringsfunktion
- datatekniskt utförande
- behov av modifiering av modeller
- arbetsprocessen
- implementering av samoptimering
- utveckling av rapporteringen av resultaten

På basen av dessa framläggs slutligen en plan för ibruktage av Hibris.

Juha Äijö: **Key issues when using the Hibris software.** Helsinki 2007. Finnish Road Administration. Finnra Reports 24/2007, 48 p. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-878-1, TIEH 3201050-v.

**Keywords:** pavement, bridges, maintenance, program

## SUMMARY

This work investigates the problems that have impeded the use of the Hibris software in the Finnish Road Administration for the planning of maintenance and repair of paved roads and bridges. The problems with the software are presented on one hand and on the other the used models and input data are evaluated.

The different phases of maintenance and repair of bridges and paved roads were analysed with two optimization software packages: Lindo, which is used in Hibris, and Lingo, which is used in Ramboll. By using the same input data and comparing the results, different aspects of the optimization could be seen. The optimization results for the long term analyses are identical and the results regarding coST-level and state distribution are realistic and useful, assuming that input data is good. In Hibris the long term dual solution is neither calculated nor saved, hence it is not used in the short term analyses. In Lingo the short term analyses were made both with and without the dual solution. The three evaluated optimization functions for the short term are different, but the end result-when comparing year, action and state are usually negligible.

Finding a solution for the models fails much more often in Hibris' Lindo optimization than when using Lingo. This is partly due to the Oracle web client applet technology used in Hibris: the communication between the applet and the server is often silently broken without any warning or error message being given.

A key challenge is the *lack of harmonisation* of the input models: there are no benefits involved when repairing bridges, the disparity in length of the time cycles of the state changes for bridges and paved roads and the big difference in the level of subdivision of the models. The differences in subdivision are illustrated by the fact that paved roads have three state variables and 216 states while bridges only have one state variable and five states. The, according to the models, negligible benefits of repair actions on paved roads results in the loss of the commanding influence of benefits, leaving the end result-less meaningful: the smallest-budget and the cheapest-actions are recommended. For bridges there are no benefit models at all, which means that meaningful optimization only can be done between sub-networks of paved roads.

The report suggests actions to make use of Hibris possible:

- improved input data handling
- changed optimization formulation
- software modifications
- modifications to models
- change of work routines
- implementation of combined optimization
- improvement of result-reporting

Finally an implementation plan is presented.

## ESIPUHE

Tässä työssä tarkastellaan Hibris-ohjelmiston käyttöönotossa ilmenneitä vaikeuksia ja esitetään ratkaisuja niiden korjaamiseksi. Työn yhteydessä tarkastellaan sovelluksessa käytettyihin ratkaisuihin liittyviä ominaisuuksia, päällyste- ja siltamallien eroja sekä tuloksia. Lähtötietona on käytetty vuoden 2006 tiedoilla päivitettyjä malleja.

Selvitys on osa Tiehallinnon Väyläomaisuuden hallinnan tutkimusohjelman (VOH) projektikonaisuutta. Työtä ohjanneeseen työryhmään ovat kuuluneet

Marja-Kaarina Söderqvist, Tiehallinto (puh.joht.)  
Pertti Virtala, Tiehallinto  
Vesa Männistö, Pöyry Infra Oy

Tämän selvityksen on laatinut Ramboll Finland Oy, jossa työhön on osallistunut DI Juha Äijö (proj.pääll.), tekn.yo. Sauli Katainen ja DI Ilkka Vilonen. Lisäksi asiantuntijana työhön ovat osallistuneet Magnus Veijola Morro Ky:stä sekä Mikko Virkkunen Simsoft Oy:stä.

Helsingissä huhtikuussa 2007

Tiehallinto  
Asiantuntijapalvelut

**Sisältö**

<b>1</b>	<b>HIBRIS-OHJELMISTON RAKENNE</b>	<b>11</b>
1.1	Tausta	11
1.2	Verkkotason analyysi	11
1.2.1	Mallit	11
1.2.2	Laskentamenetelmät	12
1.3	Ohjelmiston keskeiset kokonaisuudet ja käyttö	13
1.3.1	Hibris-ohjelmiston käyttö	14
1.3.2	Lähtötietojen syöttö datasovelluksen avulla	15
1.3.3	Hibriksen raportointi	15
<b>2</b>	<b>IKÄKÄYTTÄYTYMISEN MALLINTAMISEN PERUSTEET</b>	<b>17</b>
2.1	Kuntotietoaineisto	17
2.2	Luokituksen periaatteet	17
2.3	Mallinnus	18
2.4	Esimerkki päällystekuntomuuttujan valinnasta	19
2.5	Yhteenveto Hibris-analyysiin liittyvän ikäkäyttäjymisen mallintamisesta	21
<b>3</b>	<b>HIBRIS ANALYYSIN MALLIT 2006</b>	<b>22</b>
3.1	Päällystetyt tiet	22
3.1.1	Osaverkot	22
3.1.2	Kunnon kuvaaminen	22
3.1.3	Ikäkäyttäjymisen kuvaaminen	24
3.1.4	Toimenpiteiden kuvaaminen	24
3.1.5	Vaikutusten kuvaaminen	25
3.1.6	Päällysteiden nykykuntotilajakauman laskenta	26
3.1.7	Lähtöaineisto	27
3.2	Sillat	27
3.2.1	Osaverkot	28
3.2.2	Kunnon kuvaaminen	28
3.2.3	Ikäkäyttäjymisen kuvaaminen	29
3.2.4	Toimenpiteiden kuvaaminen	29
3.2.5	Toimenpiteiden tienkäyttäjille aiheuttamat lisäkustannukset	30
3.2.6	Vaikutusten kuvaaminen	31
3.2.7	Lähtöaineisto	31
<b>4</b>	<b>OPTIMOINTI</b>	<b>32</b>
4.1	Optimoinnin toteutus	32
4.2	Pitkän aikavälin optimointi (LT)	32
4.3	Lyhyen aikavälin optimointi (ST)	33



---

4.3.1	Painokerrointen määrittäminen ST-kohdefunktion	34
4.4	ST-funktioiden vertailu, menettelytapa ja tulokset	35
4.4.1	Yleistä	35
4.4.2	Tulokset ST-formulointien vertaamisesta	36
4.5	Osaverkkojen yhteisoptimointi	42
4.5.1	Periaate ja kysymyksenasettelu	42
4.5.2	Esimerkki päällystettyjen teiden osaverkoilta	43
4.5.3	Päällystettyjen teiden osaverkkojen yhteisoptimointi	44
4.5.4	Havaintoja menettelytavasta	45
5	TULOKSET	46
5.1	Päällysteet	46
5.1.1	Päällysteiden pitkän aikavälin LT-tulokset	46
5.1.2	Päällysteiden lyhyen aikavälin ST-tulokset	48
5.2	Sillat	51
5.2.1	Toimenpidekustannukset	51
5.2.2	Kuntojakauma	51
5.2.3	Havaintoja siltamallien LT-optimointiratkaisusta	53
5.2.4	Havaintoja siltamallien ST-optimointiratkaisusta	54
6	SUOSITUKSET	55
6.1	Lähtötietojen käsittelyn muutokset	55
6.2	Optimointifunktion muutokset	55
6.3	Tietotekniset ratkaisut	55
6.4	Lähtötietoina käytettävät mallit	56
6.5	Yhteisoptimoinnin toteuttaminen	56
6.6	Tulosten raportoinnin kehittäminen	57
6.7	Yhteensovittaminen PMS Pro-ohjelmiston kanssa	57
7	KÄYTTÖÖNOTTOSUUNNITELMA	58
7.1	Toiminnan organisoiminen	58
7.2	Mallikehitys	58
7.3	Ohjelmistokehitys	58

## 1 HIBRIS-OHJELMISTON RAKENNE

### 1.1 Tausta

HIBRIS on Tiehallinnon ylläpidon ja korvausinvestointien analysointiin tarkoitettu verkkotason hallintajärjestelmä. Se korvaa edelliset vastaavat järjestelmät, HIPSin ja Verkko-Sihan. Järjestelmä on rakennettu siten, että sillä voidaan analysoida yhdessä ja/tai erikseen päälysteitä, siltoja, sorateitä sekä tiestön varusteita ja laitteita.

Uuden järjestelmän käyttöönotto on kuitenkin osoittautunut odotettua vaikeammaksi eikä Hibris-ohjelmistoa ole voitu hyödyntää väyläomaisuuden hallinnassa halutulla tavalla. Olemassa olevat mallit on muutettu uuden ohjelmiston mukaisiksi, ja tulosten käyttöönottoa varten tarvitaan niiden testausta ja ongelmien selvittämistä. Tämän työn tavoitteena on selvittää ja esittää tarvittavat ratkaisut Hibris-ohjelmiston käyttöön ottamiseksi.

### 1.2 Verkkotason analyysi

Hibris-ohjelmiston avulla voidaan analysoida tieverkon rakenteiden ylläpitoa. Analyysiin kuuluu tiettyä rakennetta kuvaavien mallien muodostaminen toiminnansuunnittelun tarpeisiin ja erilaisten laskentamenetelmien soveltaminen tarkasteltaviin kysymyksiin. Ohjelmisto tarjoaa mahdollisuuden erilaisten mallien analysointiin ja vaihtoehtoisten rahoitustasojen vaikutusten tarkasteluun.

#### 1.2.1 Mallit

Verkkotason analyysin mallit muodostavat kokonaisuuden, jonka avulla kuvataan tarkasteltavaa tieomaisuuden osaa (tässä työssä päälystettyä tieverkkoa ja siltoja). Mallit koostuvat:

- Rakenteen erilaisista osista, so. osaverkoista
- Tarkasteltavan rakenteen kunnon kuvaamisesta kuntomuuttujien ja kuntoluokkien avulla
- Ikäkäyttäytymisen kuvaamisesta
- Toimenpiteiden kuvaamisesta (vaikutus kuntoon ja kustannuksiin)
- Vaikutusten kuvaamisesta (vaikutukset rahamääräisiä ja kuntomuutoksia)

Sekä päälystemallien että siltamallien sisältöä esitetään kappaleessa 3 tarkemmin. Taulukossa 1 on yhteenveto valituista ratkaisuista kahden väyläomaisuuden osan kuvaamiseksi.

Kaikki mallien lähtötiedot muodostetaan yhdelle osaverkolle kerrallaan. Tämän vuoksi eri osaverkoilla voidaan käyttää tarpeen mukaan erilaisia kuntomuuttujia, luokkarajoja, toimenpiteitä sekä vaikutuksia. Tämä on verkkotason analyysin vahvuus. Toisaalta osaverkkojen vertailukelpoisuus, laskentamallit ja tulosten hyväksikäyttö tarvitsevat yhteisiä tekijöitä osaverkkojen välillä. Tasapaino toisaalta yhden osaverkon ominaisuuksien kuvaamisen ja

toisaalta koko tiestön yhteisen analysoinnin välillä vaatii oleellisten asioiden tunnistamista ja erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen testaamista.

Taulukko 1. Verkkotason mallien rakennetta kuvaavat keskeiset muuttujat

	<b>Päällystetyt tiet</b>	<b>Sillat</b>
<i>Osaverkkojen lukumäärä</i>	8 osaverkkoa	14 osaverkkoa
<i>Kuntomuuttujia</i>	kolme kuntomuuttujaa (tasaisuus, urat/harjanteen korkeus, rakenne)	yksi muuttuja (kuntoluokka)
<i>Kuntoluokkia</i>	kuusi luokkaa per kuntomuuttuja (6 x 6 x 6)	viisi luokkaa
<i>Kuntotiloja</i>	216 tilaa	5 tilaa
<i>Toimenpiteiden määrä</i>	hoito + viisi toimenpidettä	hoito + kolme toimenpidettä
<i>Vaikutusmallit/ kuntomuutos</i>	Kuntomuutos (rappeutuminen ilman toimenpiteitä ja toimenpiteiden vaikutus kuntotilajakautaan)	Kuntomuutos (rappeutuminen ilman toimenpiteitä ja toimenpiteiden vaikutus kuntotilajakautaan)
<i>Vaikutusmallit/ hyöty</i>	Kuntotilan vaikutus tienkäyttäjien kustannuksiin komponentteittain (kevyt/raskas, aika/ajoneuvo/ onnettomuus /ympäristö)	
<i>Vaikutusmallit/ työnaikaiset vaikutukset</i>	Toimenpiteiden tienkäyttäjien kustannuksia lisäävä vaikutus	Toimenpiteiden tienkäyttäjien kustannuksia lisäävä vaikutus
<i>Tienpitäjän kustannukset</i>	Toimenpidekustannukset	Toimenpidekustannukset

Erot ovat huomattavia ja vaikuttavat omalta osaltaan mahdollisuuksiin tehdä yhteistä analyysiä molempien rakenteiden osalta.

### 1.2.2 Laskentamenetelmät

Verkkotason hallintajärjestelmä sisältää useita eri vaiheissa tehtäviä analyysijä, joissa sovelletaan kuhunkin käyttötarkoitukseen sovellettuja laskentamenetelmiä. Ne voidaan ryhmitellä kolmeen osaan:

1. Lähtöaineistojen tuottamisessa käytetyt laskentamenetelmät, esimerkiksi ikäkäyttäytymistä kuvaavat todennäköisyysmallit
2. Hibris-ohjelmistossa toteutettu laskenta, esimerkiksi lineaarinen optimointi
3. Tulosraporttien laskenta Hibris-ohjelmiston optimointituloksista.

Tämän lisäksi Tiehallinnon käytössä on päällystetyille teille verkkotason analyysiin liittyviä vaihtoehtoisia laskenta-algoritmeja, joita ei ole toteutettu Hibriksessä. Tällaisia ovat simulointiin perustuvat analyysit sekä Lingo-ohjelmiston avulla toteutetut optimointialgoritmit.

Keskeisin Hibris-ohjelmiston osa tarjoaa mahdollisuuden tehdä lineaariseen optimointiin perustuvia laskentoja. Näiden laskentojen tehokkuus perustuu nopeasti muutettaviin optimointirajoituksiin ja mahdollisuuteen tuottaa ja tarkastella vaihtoehtoisia tuloksia. Keskeisimmät optimointifunktiot ovat:

- Pitkän aikavälin optimointi (LT), jossa minimoidaan yhteiskunnan kustannuksia
- Lyhyen aikavälin optimointi (ST), jossa minimoidaan nykykunnan ja tavoitekunnan eroa

Vastaavanlaiset optimointifunktiot olivat osa Tiehallinnon 1990-luvulla käyttämää HIPS (Highway Investment Programming System) -järjestelmää ja Verkko-Siha siltojenhallintajärjestelmää.

### 1.3 Ohjelmiston keskeiset kokonaisuudet ja käyttö

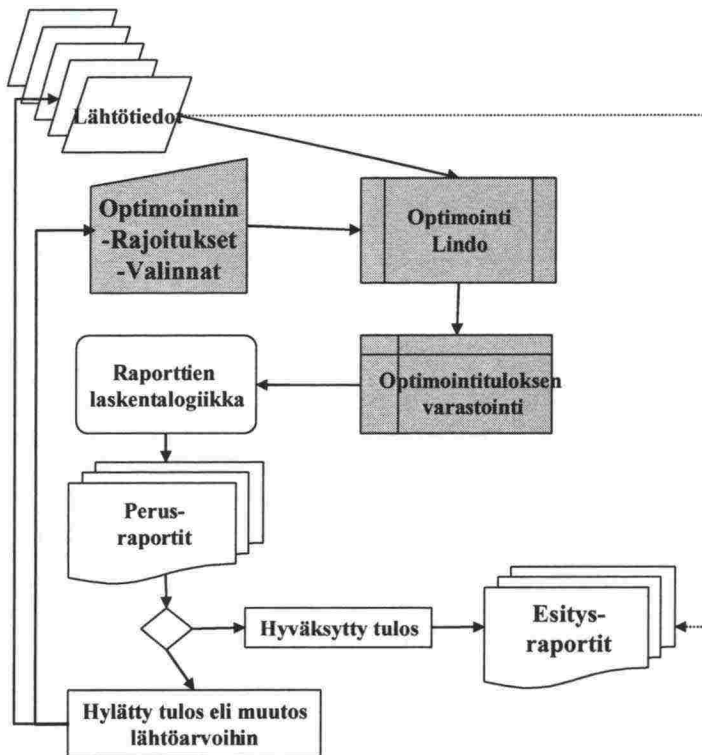
Hibris-ohjelmisto on osa pitkälle kehitettyä päätöksentekoa tukevaa analyysiä. Tässä projektissa keskitytään tarkastelemaan Hibris-ohjelmistossa toteutettua laskentaa ja nykyisiä lähtötietoja päällystetyille teille ja silloille.

Kuvassa 1 on esitetty Hibris-analyysin toiminnan keskeiset vaiheet. Lähtötietojen avulla luodaan optimointia varten tarvittavat yhtälöt, suoritetaan optimointi, tallennetaan optimoinnin tulokset, ja tuloksia käytetään erilaisten raporttien ja analyysien toteuttamiseen.

Optimointi on toteutettu Lindo Systems Inc:n ([www.lindo.com](http://www.lindo.com)) optimointiohjelmistolla Lindo, jossa optimoinnissa käytettävät yhtälöt ja lähtöarvot ovat yhdessä. Hibris-ohjelmisto muodostaa tarvittavan yhtälöryhmän Lindo-optimointia varten ja käynnistää Lindo-ohjelman suorittamaan optimoinnin. Vastaavasti Hibris-ohjelmisto tallentaa Lindon tulostiedot Hibriksen tietokantaan.

Lähtötiedot muodostetaan pääasiassa taulukkolaskentaohjelmalla (Excel), mutta varsinaisessa mallinnuksessa käytetään tarvittavia sovelluksia kuten tilasto- ja simulointiohjelmistoja (mm. SAS ja @Risk). Lähtötietojen Hibris-tietokantaan siirtoa varten on toteutettu oma datasovellus /3/. Datasovelluksen käytöstä kuitenkin luovuttiin tämän työn yhteydessä, koska Oraclen omat tietokantatyökalut olivat parempia mallien siirtoon Hibriksen tietokantaan.

Hibris raportointi on toteutettu erikseen Simsoft MyApp<sup>®</sup> ohjelmiston avulla /6/.



Kuva 1. Hibris-ohjelmiston käytön keskeiset osat

Hibris ohjelmisto on toteutettu siten, että sillä voidaan analysoida tieverkon eri rakenteiden ylläpitoa erilaisten vaihtoehtotarkastelujen avulla. Tätä varten esimerkiksi muuttujien lukumäärää ja määriytyksiä voidaan muuttaa osaverkkokohtaisesti ilman muutoksia ohjelmistoon.

Optimoinnin osalta Hibriksen käyttämät algoritmit on ohjelmoitu Hibris-ohjelmistoon eli optimointifunktiota ei voida muuttaa ilman ohjelmointiprojektia.

### 1.3.1 Hibris-ohjelmiston käyttö

Hibris-ohjelman käyttöliittymä on toteutettu applet-tekniikan avulla internet-selaimella käytettäväksi. Tällä hetkellä toteutettu ratkaisu kärsii tietoliikenne-ongelmista (pitkiä odotusaikoja) ja palvelimen toimintaan liittyvistä teknisistä ongelmista (vaati laskentaa tehtäessä palvelimen uudelleenkäynnistämisen lähes päivittäin).

Seuraavassa on kirjattu Hibriksen käytössä keväällä 2006 esiin tulleita vaikeuksia ja niiden ratkaisuja.

#### Yhteyden muodostaminen Hibriksen tietokantaan web-selaimella

Yhteyden tarvittava käyttöliittymä on Tiehallinnon ulkopuolelta osoitteessa <http://192.83.32.53:7777/developer/servlet/f60servlet?config=hibris>.

Client tarvitsee toimiakseen Oraclen JInitiator laajennuksen selaimen. Mutta sivun HTML-koodissa oleva rivi: `application/x-jinit-applet;version=1.1.8.16` pakottaa selaimen hyväksymään vain version 1.1.8.16 JInitiatorista. Jos tätä

versiota ei löydy, selain yrittää asentaa sen sivun koodissa ilmoitetusta plugin-osoitteesta. Tämä osoite on kuitenkin vanhentunut eikä johda enää mihinkään. Selain ei näin ollen pysty käynnistämään käyttöliittymää, vaikka asennettuna olisi uudempikin versio (1.1.8.16 on noin neljä vuotta vanha ja uusin on tällä hetkellä 1.3.1.22).

*Ratkaisu:*

Käyttäjän pitää ladata Oraclen web-sivuilta Jnitiator 1.1.8.16 ja asentaa se erikseen.

Yhteys Hibris-sovellukseen Tiehallinnon sisäverkosta muodostuu osoitteessa <http://tiasi:7777/developer/servlet/f60servlet?config=hibris>. Edellä mainittuja ongelmia käynnistyksen yhteydessä ei esiinny.

### **Web Clientin käyttö selaimen avulla**

Sisäänkirjautuessa annetaan:

käyttäjätunnus "xxx", salasana "xxx", tietokannan nimi "hbtuo".

Onnistuneen sisään kirjauksen jälkeen Web Clientissa avautuu ns. analyysinäkymä. Osaverkot saadaan näkyviin valitsemalla Perus-valikosta Osaverkkotyypit. Uuden mallin saa kantaan Lisää-painikkeesta. Käyttöohjeita löytyy Hibriksen Avusta-toiminnosta.

Ohjelmiston käyttöliittymä tuntuu hitaalta ja vaikealta käyttää. Etenemisen loogisuutta vaikeuttaa Web Clientin appletin ja palvelimen välinen tietoliikenne, joka kestää oman aikansa. Jos käyttäjä ei jaksaa odottaa ja yrittää siirtyä muualle, on seurauksena yleensä Web Clientin jumituminen. Tästä ei pääse eteenpäin muuten kuin lopettamalla sovellus käyttöjärjestelmän avulla ja aloittamalla alusta. Kun käyttäjä tietää, mitä tekee ja odottaa sovelluksen pysymistä ajan tasalla, käyttöliittymä toimii niin kuin pitääkin. Virhetilanteiden käsittely on sovelluksen toteutuksessa puutteellista ja aiheuttaa sen jumitumisen usein.

### **1.3.2 Lähtötietojen syöttö datasovelluksen avulla**

Työn yhteydessä oli tarkoitus siirtää uusimmat päällyste- ja siltamallit Hibriksen erillisen datasovelluksen avulla. Sen käytön yhteydessä havaittiin joitain teknislouhteisia ongelmia, jotka saatiin osin ratkaistuksi, mutta lopulta havaittiin, että lähtötietojen syöttö on suositeltavaa tehdä Oraclen omien työkalujen avulla. Ramboll toimitti WM-datalle tiedostot mallien lähtötiedoista, jotka sitten siirrettiin Hibris-tietokantaan WM-datan toimesta.

### **1.3.3 Hibriksen raportointi**

Hibriksen tulosten raportointi toteutettiin vuonna 2004 ja se löytyy internet osoitteesta: <http://finnra.myapp.info/>

Käyttäjätunnistuksen jälkeen käyttäjällä on mahdollisuus tarkastella joko tietokannan sisältöä tai analyysien tuloksia vakionuotoisten raporttien avulla.

Toteutettu raportointisovellus on tehty neljän kuntomuuttujan ja kolmen kuntoluokan malleille, joten tässä työssä käytetyn mallirakenteen mukaisia tu-

loksia ei voitu näyttää sovelluksen raporttien kautta, vaan ainoastaan tietokantanäkyminä. Sen jälkeen kun on päätetty käytettävien mallien rakenteesta, myös raportointisovellus pitää päivittää vastaamaan mallirakennetta.

## 2 IKÄKÄYTTÄYTYMISEN MALLINTAMISEN PERUSTEET

### 2.1 Kuntotietoaineisto

Päällystettyjen teiden kuntotietoaineisto on saatavissa kuntorekisteristä. Tiehallinnon mittauspolitiikka on muuttunut useasti 1990 luvun alusta lähtien, kun tiestömittauksia alettiin tehdä tieverkkotasolla. Myös kuntomuuttajat ja niiden määrittelyt muuttuvat kehityksen myötä. Tieverkon kuntoa kuvaavat mallit muuttuvat mitatun tiedon mukaan.

Vastuu muutosten vaikutusten ymmärtämisestä on mittaustietoja käyttävillä asiantuntijoilla. Kuntomuutoksen mallinnuksessa käytettävä tietopohja tulee suunnitella siten, että puuttuvan tiedon vaikutukset olisivat mahdollisimman pieniä ja käytettävän tiedon laatu olisi tiedossa. Pintakunnon osalta vuonna 2003 Tiehallinto siirtyi käyttämään laser-mittauksiin perustuvaa pituus- ja poikkiprofiilitietoa, joka sai aikaan merkittävän parannuksen mittaustiedon laatuun, erityisesti urasyvyyden arvoihin. Vastaava muutos on tapahtumassa vauriotiedon osalta vuonna 2006. Tien rakenteellista kunnon tilaa ja muutumista ei pystytä kuvaamaan yhtä hyvin kuin pintakuntoa. Tarvitaankin lisää soveltavaa tutkimusta, jotta tien rakenteen kunto voitaisiin selittää toiminnan suunnittelussa tarvittavalla tarkkuudella.

Siltojen tarkastusjärjestelmän avulla tuotetaan siltojen kuntotieto Siltarekisteriin. Toiminta on vakiintunut ja kuntotieto on käytettävissä lähes kaikilta silloilta. Sillastoa tarkastetaan viiden vuoden kierrolla, joten tarkastus- ja kuntotieto on keskimäärin 2–3 vuotta vanhaa. Ennustemallien avulla ennustetaan nykykunto sen mukaan, miten kauan edellisestä tarkastuksesta on kulunut.

### 2.2 Luokituksen periaatteet

Hibriksen tapaisessa verkkotason analyysissä tarkastellaan homogeenisesti käyttäytyvissä rakennemassoissa tapahtuvia muutoksia ajan ja toimenpiteiden vaikutuksesta. Analyysi perustuu määritettäviin todennäköisyyksiin eli laskennassa ei käytetä yksittäisiä kuntotietohavaintoja vaan luokitelluissa muuttujissa tapahtuvan muutoksen todennäköisyyttä. Tämän vuoksi rakenteita (niin päällystetty tie- kuin siltarakenteiden) kuvaavien kuntomuuttujien luokittelu on tärkeä vaihe, joka edeltää varsinaisten ikäkäyttämismallien tekemistä.

Luokkarajoja valittaessa päätöksenteossa tulee ottaa huomioon seuraavat seikat luokitettavasta muuttujasta:

- 1) Millainen on havaintojen jakaumaan liittyvä informaatio ja vinous?
- 2) Mikä on uuden rakenteen kuntotaso suhteessa havaintoihin?
- 3) Mitä luokkarajat merkitsevät asiakkaille?
- 4) Ovatko luokkarajat helposti selitettävissä?
- 5) Millä mekanismilla kustannusvaikutukset syntyvät eri luokissa?

Lisäksi toimenpiteiden vaikutus- ja kustannusmallit pitää voida laatia mielekkäästi valittujen luokkarajojen mukaan.



Tiehallinnolle tehdyissä päällystettyjen teiden malliprojekteissa on käytetty kahta lähestymistapaa. Ensimmäisessä, usein käytetyssä ratkaisussa luokkarajat noudattavat ja vastaavat käytännön toiminnansuunnittelun tarpeita. Tällöin tulosten soveltaminen on helppoa, ei tarvita sovittamista tai iterointia ja parhaimmassa tapauksessa muuttajat voidaan laskea yhteen (esimerkiksi koko maan kattavat tulokset jaetaan piiritavoitteiksi). Huonona puolena voidaan pitää seikkaa, että toiminnansuunnittelu itsessään ohjaa rakenteen tilaa tiettyä kuntojakaumaa kohden itse ilmiöstä riippumatta. Tällöin esimerkiksi "huonoja teitä" on todella vähän ja mittaushavaintoja huonojen teiden syntymisestä tai käyttäytymisestä on todella vähän. Tämä puolestaan vääristää rappeutumismalleja ja aiheuttaa mallien havaintopohjan heikkenemisen.

Toinen luokitusperiaate perustuu havaintojen avulla kuvattavaan muutokseen. Luokkarajoja on enemmän kuin toiminnansuunnittelussa tarvitaan, mutta ne jakavat mittaushavainnot siten, että muutoksia luokkien välillä saadaan esille mahdollisimman paljon. Tällöin "tekninen" kuntomuutos saadaan malleissa tapahtumaan samalla tavoin kuin tieverkollakin. Haittapuolena on raportoinnissa tarvittava lisälaskenta, sovitus toiminnanohjauksen luokkarajoihin sekä kustannusmallien muodostamisen vaikeus. Vastaavasti kun "huonojen teiden" luokkaraja on jossain viimeisen luokkarajan ulkopuolella, joudutaan ennusteet tekemään nykytuotoisen jakauman perusteella.

Uusimmat päällystettyjen teiden mallit, joita käytetään tämän työn aineistona päällystetyille teille noudattavat tätä jälkimmäistä periaatetta /9/.

### 2.3 Mallinnus

Verkkotason analyysissä vuosittaista kuntotiedon muutosta kuvataan Markov prosessia noudattavina siirtotodennäköisyyksinä. Valitun Markov-ratkaisun ominaisuutena on yhden vakiomuotoisen siirtotodennäköisyysmatriisin käyttö eli siirtymät ovat samanlaisia muutosaskeleesta riippumatta. Vastaavasti Markov-analyysissä edellinen askel ei vaikuta tulevaan muutokseen.

Mallinnuksessa käytettävä työmenetelmä valitaan käytettävissä olevan havaintoaineiston määrän ja laadun perusteella. Vaihtoehtoisia menetelmiä ovat:

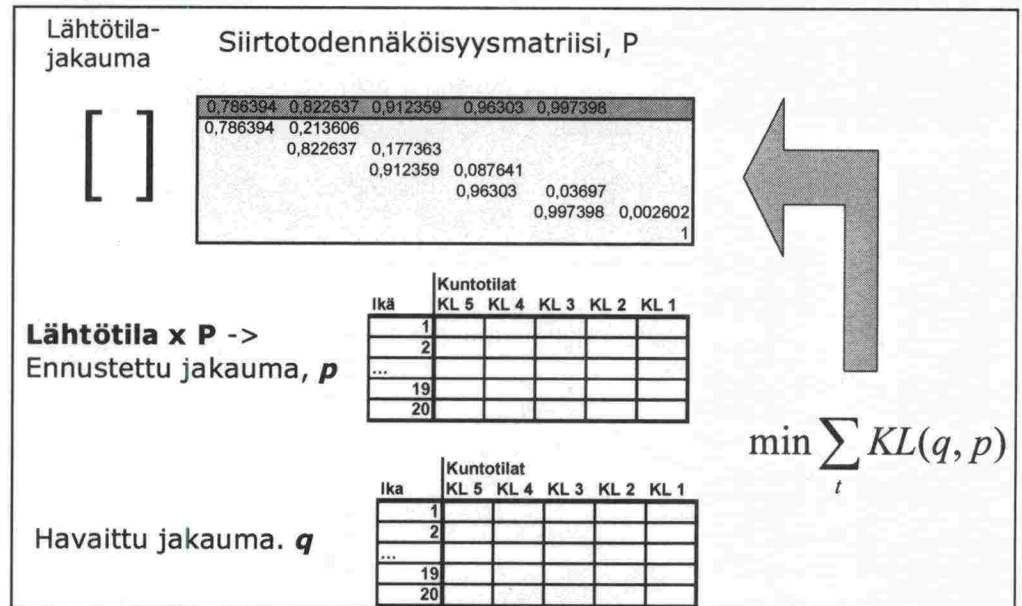
- Frekvenssiaineistoon perustuva mallintaminen, luokiteltujen ennen-jälkeen havaintoparien arvoihin sovitetaan siirtotodennäköisyysmalli
- Poikkileikkausaineistoon perustuva mallintaminen, jossa nykytilanteen ja sitä selittävän tiedon (tyypillisesti ikä) avulla arvioidaan kuntomuutos todennäköisyysmallina
- Tilassa pysymisen arviointi perustuu Log-lineaaristen mallien avulla tehtävään arviointiin
- Asiantuntijoiden käyttö ikäkäyttäytymismallien arvioinnissa

Seuraavassa mallinnuksen eri vaiheista annetaan esimerkki kevytpäällystettyjen poikkiprofiilin muutosta kuvaavien mallien tekemisestä poikkileikkausaineiston perusteella. Aineistossa jokainen 100 m havainto luokiteltiin päällysteen iän mukaan.

Siirtotodennäköisyyksien määrittämisessä käytettiin hyväksi entropiaan perustuvan etäisyysmittarin "etäisyysarvon" minimointia, Kullback-Liebler-informaatiota (KL-info), joka esitetään tarkemmin tämän selvityksen kappaleessa

4.4. Siirtotodennäköisyysmatriisi, joka antaa pienimmän KL-info-arvon lasketun vuosikehityksen ja mittaushavaintojen ikä-kuntotilajakauman välillä, on paras kuntomuutosta kuvaava malli.

Matriisin määrittäminen tehdään simuloimalla siirtotodennäköisyyksiä, lasquemalla vuosikehitys ja vertaamalla saatua jakaumaa havaittuun jakaumaan. Näitä vaiheita esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Siirtotodennäköisyyksien määrittäminen kunto-ikä poikkileikkausaineiston perusteella

## 2.4 Esimerkki päällystekuntomuuttujan valinnasta

Vähäliikenteisillä teillä liikenne ei kuluta päällysteisiin uria, vaan tien poikkileikkaus muuttuu rakenteen muodonmuutosten mukaan. Tällöin maksimurasyvyyden muutos ei ole muuttujana kovin hyvä kuvaamaan tällaista ilmasto-ikä-peräistä kuntomuutosta. Käytettävissä olevista muuttujista tarkasteltiin kahta poikkiprofiilia kuvaavaa muuttujaa, poikittaista epätasaisuutta (peta) ja harjanteen korkeutta /7/, urasyvyyttä korvaaviksi muuttujiksi. Seuraavassa on tarkasteltu kummankin muuttujan soveltumista ikäkäyttötymisen kuvaajaksi.

Ensivaiheessa kuntomuuttujan arvot koostetaan malliaineistoksi, yksi havainto on 100 m mittaustulos, jolta tiedetään aika edellisestä päällystystoimenpiteestä tarkasteltavalla verkolla. Tämän jälkeen tietyn ikäiset havainnot luokitellaan valittuihin kuntoluokkiin. Kolmannessa vaiheessa etsitään tätä mitattua jakaumaa parhaiten vastaavat siirtotodennäköisyydet luokasta toiseen siirtymiselle. Tästä on esimerkki kuvassa 3.

### 1. Raja-arvot

PETA 1,85 4,25 9,6 21,8 49,5

### 2. Havainnot -> Suhteellinen osuus vuoden sisällä

Sum of CQIRI-C							Grand Tot
ikä	1	2	3	4	5	6	
0	142	1124	2608	5319	2332	5	11530
1	46	486	2076	5186	3554	22	11370
2	21	377	1318	2893	1495	4	6108
3	62	507	888	2393	1561	15	5426
4	44	446	1507	3916	2171	1	8085
5	27	390	1518	3729	1755	4	7423
6	18	344	1408	3498	2097	9	7374
7	17	613	1902	4284	2326	6	9148
8	12	536	1839	4639	2232	5	9263
9	14	432	1788	4263	2429	17	8943
10	7	371	1868				
11	7	333	1353				
12	15	409	1175				
13	5	390	1234				
14	2	300	993				
15	3	143	867				
16	2	156	563				
17		75	413	1375	972	14	2849
18	5	111	701	1250	1126	3	3196
19	1	74	466	883	529	5	1958
20	4	14	164	953	1025	194	2354

### 3. Siirtotodennäköisyydet

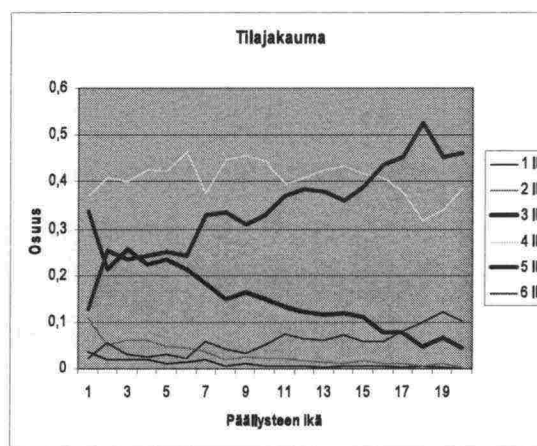
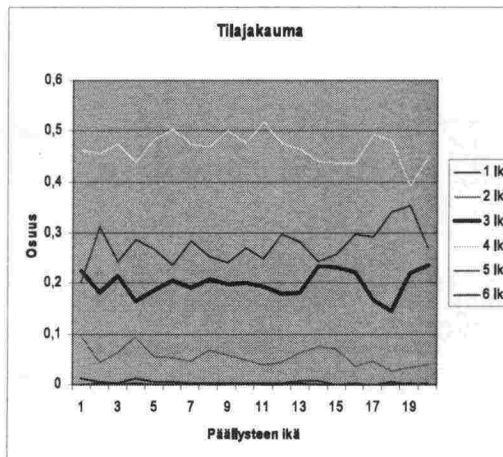
0,786394	0,822637	0,912359	0,96303	0,997398
0,786394	0,213606			
	0,822637	0,177363		
		0,912359	0,087641	
			0,96303	0,03697
				0,997398
				0,002602
				1

Kuva 3. Mallintamisen työvaiheet, PETA osaverkolla KVL alle 200

Kuvaajat eri luokissa olevien mittaushavaintojen osuuksista ajan suhteen on esitetty kuvassa 4.

### Poikittainen epätasaisuus

### Harjanteen korkeus



Kuva 4. Havainnot vaihtoehtoisista muuttujista

Kuvaajista nähdään, että poikittaisen epätasaisuuden eri kuntoluokkien jakauma pysyy vuodesta toiseen samanlaisena, vaikka teille ei ole tehty toimenpiteitä. Tämä tarkoittaa, että poikittaisen epätasaisuuden arvo ei muutu 20 vuoden aikana, vaikka tien poikkiprofiili heikkenee kaikilla teillä pitkän ajan kuluessa.

Harjanteen korkeus -muuttujan kolmannen luokan osuus vähenee tasaisesti ja luokan 5 määrä vastaavasti lisääntyy. Muuttujan arvot siis kasvavat 20 vuoden aikana. Luokan 6 pieneen osuuteen vaikuttaa toimenpidepolitiikka eli jos tie heikkenee luokkaan 6, se korjataan käytettävissä olevan rahoituksen mukaan. Luokassa 6 olevien teiden määrä kasvaa hitaasti.

Tämän perusteella voimme päätellä, että harjanteen korkeus on parempi muuttuja kuvaamaan vähäliikenteisten teiden poikkiprofiilin muutosta kuin poikittainen epätasaisuus.

## 2.5 Yhteenveto Hibris-analyysiin liittyvän ikäkäyttäjymisen mallintamisesta

Tulevan kuntomuutoksen mallintaminen eri aikoina talletettujen havaintojen perusteella on haastava tehtävä, jota on tehty 1990-luvun alusta lähtien useaan otteeseen päällystetylle tieverkolle. Lopputulokseen vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat:

- Käytettävissä oleva kuntoaaineisto
- Valittu luokitteluperiaate
- Mallinnusmenetelmä ja sen soveltaminen

Työlle on myös tunnusomaista, että kokemuksen mukana opitaan, mitkä valinnat ovat hyviä ja mitkä eivät tuota hyväksyttävissä olevia ratkaisuja. Tieverkon ja siltojen kuvaamisessa käytettävät kuntomuuttajat kehittyvät ja tuovat mukanaan tarpeen arvioida niiden soveltuvuutta ikäkäyttäjymisen kuvaamiseen. On myös havaittavissa, että itse rappeutuminen muuttuu vuosikymmenenkin aikana, tähän vaikuttavia tekijöitä ovat liikenteen kuormituksen kasvu, materiaalien vanheneminen, ilmasto-olosuhteiden muutos, toimenpiteiden ja materiaalien muutokset.

### 3 HIBRIS ANALYYSIN MALLIT 2006

#### 3.1 Päälystetyt tiet

Päälystettyä tieverkkoa on analysoitu 1980-luvun lopusta lähtien säännöllisesti ja kehitystyö on kohdistunut sekä lähtötietojen hankintaan, mallinnukseen ja vaikutusten määrittämiseen. Viimeisin mallikehitys on tehty VOH 2.2 projektin yhteydessä vuonna 2004/9/ ja näitä malleja on käytetty päälystettyjen teiden lähtöaineistona tässä työssä.

##### 3.1.1 Osaverkot

Päälystettyä tieverkkoa analysoidaan kahdeksan osaverkon avulla, jotka on esitetty taulukossa 2. Tieverkon jako osaverkkoihin perustuu liikennemäärään ja päälystetyyppiin, päälystepituudessa on mukana myös rampit.

Taulukko 2. Päälystettyjen teiden osaverkot 1.1.2006.

lyhenne	osaverkon kuvaus [KVL]	pituus [km]
2_ajor	≥ 12 000 sekä kaikki 2-ajorataiset tiet	3 280
High_1	6000–11999, kestopäälystetiet	2 505
KpM_2	1500–5999, kestopäälystetiet	10 733
KpL_3	800–1499 kestopäälystetiet	3 376
KevH_4	800 ja yli kevytpäälystetiet	4 195
Med_5	350–799 (kaikki päälysteet)	12 960
Low_6	200–349 (kaikki päälysteet)	7 305
Low_7	< 200 (kaikki päälysteet)	8 755
Yhteensä		53 109 km

##### 3.1.2 Kunnan kuvaaminen

Päälystettyjen teiden kunto kuvataan kolmen kuntomuuttujan avulla, joilla jokaisella on kuusi kuntoluokkaa. Näiden kombinaatiot muodostavat yksittäisen kuntotilan. Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että tämä kuntoluokka tarkoittaa ainoastaan aineistoa, joka on luokiteltu yhden muuttujan mukaan. Esimerkiksi uraluokassa 6 ovat kaikki osaverkon tiet, joiden mitattu urasyvyys on yli 17 mm. Tämän lisäksi Tiehallinto kuvaa tieomaisuuden tilaa viisiportaisen kuntoluokituksen mukaan, jota mm. siltojen kunnan kuvaamisessa käytetään. Tässä yhteydessä päälystetyillä teillä käytettävät kuntoluokkien määrittelyt koskevat tätä analyysiä varten tehtävää kuntomuuttujien luokittelua.

Analyysissä käytetyt kuntomuuttujat ovat:

- Tasaisuus (IRI)
- Urasyvyys (maksimiura) ja verkoilla KVL < 350 harjanteen korkeus
- Rakenteellinen kunto (SCI)

Kullekin kuntomuuttujalle määritettiin 6 kuntoluokkaa (5 luokkarajaa) seuraavan periaatteen mukaan:

*Kuntoaineiston (logaritmin) keskiarvo ja  
+/- hajonta sekä +/- 2 kertaa hajonta*

Kuntomuuttujien todettiin noudattavan kohtuullisella tarkkuudella lognormaalijakaumaa eli kuntomuuttujien logaritmi noudattaa normaalijakaumaa.

Luokkarajat käytetyille kuntoluokille on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kuntoluokkarajat eri muuttujille, perustuvat Kuntorekisteriin 1.1.2005.

Tasaisuus (IRI)						
Osaverkko	lk 1	lk 2	lk 3	lk 4	lk 5	lk 6
2_ajor	alle 0.6	0.6-0.9	0.9-1.2	1.2-1.7	1.7-2.5	yli 2.5
High_1	alle 0.6	0.6-0.9	0.9-1.2	1.2-1.7	1.7-2.5	yli 2.5
KpM_2	alle 0.6	0.6-0.9	0.9-1.2	1.2-1.7	1.7-2.5	yli 2.5
KpL_3	alle 0.6	0.6-0.9	0.9-1.2	1.2-1.7	1.7-2.5	yli 2.5
KevH_4	alle 0.9	0.9-1.2	1.2-1.7	1.7-2.3	2.3-3.4	yli 3.4
Med_5	alle 0.9	0.9-1.2	1.2-1.7	1.7-2.3	2.3-3.4	yli 3.4
Low_6	alle 0.9	0.9-1.2	1.2-1.7	1.7-2.3	2.3-3.4	yli 3.4
Low_7	alle 1.4	1.4-2.1	2.1-3.0	3.0-4.4	4.4-6.5	yli 6.5

Kantavuus (SCI)						
Osaverkko	lk 1	lk 2	lk 3	lk 4	lk 5	lk 6
kaikki	alle 70	70-140	140-230	230-360	360-550	yli 550

Ura (mm)						
Osaverkko	lk 1	lk 2	lk 3	lk 4	lk 5	lk 6
2_ajor	alle 2	2-3	3-5	5-9	9-17	yli 17
High_1	alle 2	2-3	3-5	5-9	9-17	yli 17
KpM_2	alle 2	2-3	3-5	5-9	9-17	yli 17
KpL_3	alle 2	2-3	3-5	5-9	9-17	yli 17
KevH_4	alle 2	2-3	3-5	5-9	9-17	yli 17
Med_5	alle 2	2-3	3-5	5-9	9-17	yli 17

Harjanteen korkeus (mm)						
Osaverkko	lk 1	lk 2	lk 3	lk 4	lk 5	lk 6
Low_6	alle 1.0	1.0-2.2	2.2-4.7	4.7-10.3	10.3-22.4	yli 22.4
Low_7	alle 1.0	1.0-2.2	2.2-4.7	4.7-10.3	10.3-22.4	yli 22.4

Näiden luokkien mukaan tehdyt ennustemallit vastaavat hyvin havaintojen jakautumista päällysteen iän mukaan eli toteutetut mallit kuvaavat mitattavissa olevaa teknistä rappeutumista hyvin. Oheiset luokkarajat aiheuttavat kuitenkin selvän ristiriidan toiminnansuunnittelussa käytettyihin raja-arvoihin. Urien osalta käytetään raja-arvoina 6, 10, 18 ja 20 mm. Tasaisuuden osalta alin raja-arvo on 1 mm/m ja muita arvoja ovat 1.8, 2.6 ja 3.2 mm/m.

Toisaalta tieverkon rappeutuminen ei noudata poliittisesti valittuja raja-arvoja. Joudutaankin valitsemaan ennustemallien toteutuksen periaate ja miten hyvin niiden halutaan vastaavan mittaushavaintoja. Näissä malleissa on valittu tekninen rappeutumista noudattava luokittelu.

Toiminnansuunnittelua varten tuloksia voidaan laskennallisesti jakaa kuntoluokkien avulla raportointivaiheessa haluttuihin luokkiin. Kuusi luokkaa kolmelle muuttujalle antaa joka tapauksessa liikaa kuntotiloja käyttäjän hallittavaksi eli kuntoluokkia ja tuloksia pitää yhdistää päätöksenteon tarpeiden mukaan raportointivaiheessa. Hibris-ohjelmiston raportointi onkin tulosten hyödyntämisen kannalta erittäin tärkeä osa, johon on kiinnitetty liian vähän

huomiota. Osa tarvittavista raporteista on suoraviivaisesti laskettavissa, osaan tarvitaan mahdollisuus jakaumien käsittelyyn simuloinnin avulla.

### 3.1.3 Ikäkäyttötymisen kuvaaminen

Kuntotilan muutos esitetään siirtotodennäköisyytenä yhdessä vuodessa tapahtuvalle muutokselle. Rappeutumismalleissa ilman toimenpiteitä ei sallita siirtymiä yli yhden luokan eikä siirtymiä parempiin luokkiin. Mallit perustuvat tiestömittauksiin vuonna 2003 sekä päällysteen ikään.

### 3.1.4 Toimenpiteiden kuvaaminen

Toimenpidetyypit vastaavat olemassa olevaa, pitkään käytössä ollutta luokitusta. Päällystepaksuuden mukainen päällystystoimenpiteiden jako toimii hyvin sekä kustannusten että toimenpidevaikutusten arvioinnissa. Analyseissä käytetyt toimenpideluokat ovat:

1. Hoito
2. Paikkaus
3. Pintaus/Remix (massamäärä < 50kg/m<sup>2</sup>)
4. Päällystys (50–90kg/m<sup>2</sup>)
5. Paksu päällystys (> 90kg/m<sup>2</sup>)
6. Rakenteen parantaminen

Toimenpidehinnat perustuvat PMS Pro-toteuma-aineistoihin vuosilta 2004 ja 2005. Kuntotila vaikuttaa toteutuskustannuksiin.

Taulukko 4. Päällystettyjen teiden toimenpiteiden hinnat (€/km)

Osaverkko	Hoito		Paikkaus		Pintaus	
	min	max	min	max	min	max
2_ajor	384	544	12 693	19 039	24 363	34 940
High_1	349	495	11 187	16 781	17 743	27 066
KpM_2	323	458	10 626	15 939	16 854	25 709
KpL_3	261	371	6 693	10 040	15 166	23 134
KevH_4	209	296	5 029	7 544	11 301	17 239
Med_5	162	230	4 060	6 090	8 138	13 552
Low_6	114	161	3 804	5 707	7 626	12 699
Low_7	114	161	3 804	5 707	7 626	12 699

Osaverkko	Päällystys (50-90 kg/m <sup>2</sup> )		Päällystys (yli 90 kg/m <sup>2</sup> )		Rakenteen parantaminen	
	min	max	min	max	min	max
2_ajor	40 742	57 334	50 383	88 978	131 374	211 817
High_1	35 908	50 532	44 406	71 619	104 705	175 605
KpM_2	23 582	34 695	28 573	46 668	88 926	156 271
KpL_3	22 359	34 859	26 325	37 955	61 073	121 674
KevH_4	16 662	25 976	19 617	34 784	59 631	104 791
Med_5	12 360	20 853	13 935	21 836	51 868	103 335
Low_6	11 582	19 540	13 058	20 462	48 604	96 832
Low_7	11 582	19 540	13 058	20 462	48 604	96 832

### 3.1.5 Vaikutusten kuvaaminen

#### *Toimenpiteiden kuntovaikutukset*

Toimenpidevaikutukset perustuvat kuntorekisterin havaintoihin niiltä osin kuin tarvittavia tila-toimenpidekombinaatioita on olemassa. Puuttuvat arvot on interpoloitu olemassa olevien havaintojen mukaan. Lisäksi vaikutusten keskinäinen loogisuus on tarkistettu ja korjattu.

#### *Sallitut toimenpiteet*

Hibris-malleissa on mahdollisuus rajoittaa optimoinnissa käytettäviä tila-toimenpidekombinaatioita. Näissä malleissa tätä ominaisuutta ei kuitenkaan tarvita ja kaikkiin tiloihin on mahdollista tehdä mikä tahansa toimenpide.

#### *Tienkäyttäjän kustannukset*

Tienkäyttäjän kustannusmallit ovat aina olleet merkittävässä roolissa verkkotason analyysin suosituksissa. Niissä on tapahtunut kehitystä useaan otteeseen. Tässä analyysissä olemassa olevat tienkäyttäjän mallit perustuivat HIPS analyysin "vanhoihin perustietoihin" vuodelta 2004. VOH-ohjelman yhteydessä 2005 kehitettiin ajokustannusten kuntoriippuvuutta rahamääräisesti edellisiä malleja pienemmäksi kuten taulukoista 5 ja 6 on nähtävissä. Tämän lisäksi päällystettyjen teiden toimintalinjatyön analyyseissa on käytetty VOH-tuloksista edelleen kehitettyjä malleja.

Taulukossa 5 on esitetty Päällystettyjen teiden mallit-projektissa /9/ käytettyjen tienkäyttäjien kustannusmallien arvoja. Ne eivät ole kaikilta osin nykypoliitiikan mukaisia ja esimerkiksi 2-ajorataisten teiden huonoimman tasaisuusluokan ajokustannuksia nostava vaikutus on liian suuri, 6.9 %. Tähän arvoon on vaikuttanut valittu tasaisuuden arvo tasaisuuden luokassa IRI > 2.5. Samoin urien vaikutus ajokustannuksiin on liian suuri. Alimman verkon (Low\_7) malleja ei ole tässä mukana, koska projektissa mallinnettiin SOP teitä erikseen omana osaverkkonaan.

Oheisiin lukuihin eniten vaikuttavia tekijöitä ovat liikennemäärät, erityisesti vilkkaalla verkolla sekä huonoimman kuntoluokan teiden keskimääräinen kunto, joka on erilainen kullakin osaverkolla. Taulukon arvot ovat kuntomuutoksen suhteellinen suuruus kuntomuuttujittain verrattuna parhaaseen kuntoon ( $UC\ delta\_ \% = (UC(tila\ 216) - UC(tila\ 1) / UC(tila\ 1) * 100)$ ).



Taulukko 5. Kuntoluokan vaikutus tienkäyttäjän kustannuksiin, mallit 2004, suhteellinen ero absoluuttisesta tasosta.

Osaverkko	Kuntomuuttuja	Yksikkö	KL 1	KL 2	KL 3	KL 4	KL 5	KL 6
2_ajor	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.4 %	0.4 %	0.5 %	0.8 %	6.9 %
High_1	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.3 %	1.3 %
KpM_2	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.4 %
KpM_3	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.2 %	0.5 %	1.4 %
KevM_4	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.2 %	0.5 %	1.4 %
Med_5	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.2 %	1.1 %	7.4 %
Low_6	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.2 %	1.1 %	7.4 %
2_ajor	Uramallit	% abs tasosta	0.0 %	0.5 %	0.5 %	0.7 %	0.9 %	1.4 %
High_1	Uramallit	% abs tasosta	0.0 %	0.5 %	0.5 %	0.7 %	0.9 %	1.4 %
KpM_2	Uramallit	% abs tasosta	0.0 %	0.1 %	0.2 %	0.5 %	0.6 %	1.4 %
KpM_3	Uramallit	% abs tasosta	0.0 %	0.1 %	0.2 %	0.6 %	0.8 %	1.7 %
KevM_4	Uramallit	% abs tasosta	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.2 %	0.5 %	0.7 %
Med_5	Uramallit	% abs tasosta	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
Low_6	Uramallit	% abs tasosta	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
2_ajor	Kantavuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.3 %
High_1	Kantavuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.2 %
KpM_2	Kantavuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.3 %
KpM_3	Kantavuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.1 %
KevM_4	Kantavuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.1 %
Med_5	Kantavuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %
Low_6	Kantavuusmallit	% abs tasosta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %

Kuntoluokkien hyvä kuntotaso ja kapeus aiheuttavat varsin pienen eron tienkäyttäjien kustannuksiin. Kantavuusmuuttujan vaikutuksen on ajateltu tulevan heikon kantavuuden aiheuttamien päällystevaurioiden kautta.

Taulukossa 6 on päällystettyjen teiden toimintalinjatyössä käytetty kunnan ajokustannusvaikutus Hibris-luokkiin. Ne perustuvat VOH ajokustannushankkeen tuloksiin /8/.

Taulukko 6. Kuntoluokan vaikutus tienkäyttäjän kustannuksiin, mallit 2006, suhteellinen ero absoluuttisesta tasosta.

Osaverkko	Kuntomuuttuja	Yksikkö	Ik 1	Ik 2	Ik 3	Ik 4	Ik 5	Ik 6
2_ajor	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0 %	0 %	0.01 %	0.03 %	0.13 %	0.39 %
High_1	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0 %	0 %	0.01 %	0.03 %	0.13 %	0.38 %
KpM_2	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0 %	0 %	0.01 %	0.03 %	0.12 %	0.38 %
KpL_3	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0 %	0 %	0.01 %	0.02 %	0.10 %	0.32 %
KevH_4	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0 %	0.03 %	0.08 %	0.25 %	0.50 %	0.65 %
Med_5	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0 %	0.29 %	0.10 %	0.36 %	0.53 %	0.62 %
Low_6	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0 %	0.38 %	0.12 %	0.46 %	0.66 %	0.87 %
Low_7	Tasaisuusmallit	% abs tasosta	0 %	0.08 %	0.34 %	0.62 %	0.85 %	1.41 %
Ura	Kuntomuuttuja	Yksikkö	Ik 1	Ik 2	Ik 3	Ik 4	Ik 5	Ik 6
Kaikki	Uramallit	% abs tasosta	0 %	0 %	0 %	0 %	0.10 %	0.20 %

Kantavuus - ei vaikutusta tienkäyttäjän kustannuksiin

Uusien tienkäyttäjän kustannusmallien mukaan tien kunnan ollessa hyvä, tienkäyttäjälle ei aiheudu juurikaan lisäkustannuksia. Tämä puolestaan vähentää yhteiskuntataloudellisissa laskelmissa ylläpitotoimenpiteiden kannattavuutta merkittävästi.

### 3.1.6 Päällysteiden nykykuntotilajakauman laskenta

Verkkotason analyysissä käytettävä kuntojakauma on poikkileikkaus kunto-rekisteristä vuoden alusta (1.1.200x) eli tietosuhteet ovat kuluvan vuoden mukaisia ja kuntotieto on joko edelliseltä vuodelta, tai viimeisintä mittaustietoa on päivitetty kuntomuutosmallien tai toimenpidetiedon mukaan.

Perinteisesti verkkotason analyysin lähtötiedot on tuotettu PMS Pro:n avulla. Suositeltavaa olisi siirtää tämä työvaihe toteutettavaksi joko osana Kurren käyttöä tai Kurresta ajettavana erillisenä SAS-rutiinina. Sinänsä lähtötiedoston luominen on suoraviivainen ja yksinkertainen tehtävä. Kuntorekisterin 100 m aineisto luokitellaan tässä työssä esitetyn rakenteen mukaan, päällystetyypin liikennemäärän ja kolmen kuntomuuttujan suhteen 8 osaverkkoon ja 216 kuntotilaan. Kuntomuuttujien luokkarajat on esitetty taulukossa 4. Näitä malleja ei kuitenkaan voida pitää lopullisina, koska ne perustuvat vain yhden vuoden mittausaineistoon ja päällysteen ikään. Lisäksi tulokset tulee sovittaa päällystettyihin teihin liittyvään toimintalinjatyöhön.

### 3.1.7 Lähtöaineisto

Lähtöaineisto koostuu tiedoista, jotka ovat Hibriksen tietomallin mukaan ryhmiteltyjä. Tämä tiedosto, *Hibris\_Päällyste\_2006.zip*, on tilaajalle luovutettavassa projektiaineistossa ja se sisältää mallin seuraavien versioiden toteutukselle.

Tiedosto sisältää seuraavat lähtötiedot:

- Sallitut tilat ja toimenpiteet
- Tienkäyttäjänkustannukset
- Siirtodennäköisyydet
- Toimenpidekustannukset
- Nykytilajakaumat

### 3.2 Sillat

Siltojen analysointi Hibris-ohjelmiston avulla perustuu Tiehallinnon tekemään tutkimus- ja kehitystyöhön, jonka tuloksia ovat mm. Verkko-Siha, Siltarekisteri, siltojen tarkastusjärjestelmä ja Hanke-Siha. Näistä saatujen kokemusten perusteella toteutettiin siltojen verkkotason analyysiä varten mallit, jotka on raportoitu erikseen /3/. Näitä malleja on käytetty tämän projektin lähtöaineistona kuvaamaan sillastoa ja sen ikäkäyttämistä.

### 3.2.1 Osaverkot

Siltoja analysoidaan 14 osaverkon avulla (taulukko 7). Jako perustuu sillan rakennusmateriaaliin ja suolalle altistumiseen. Laskenta perustuu siltojen pinta-alaan.

Taulukko 7. Siltojen osaverkot, S=suolalle altistuva silta, M=ei suolalle altistumista (Siltarekisteri 1.1.2006)

Osaverkko ja lyhennys	Osuus, [%]	Pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	Keskiarvo [m <sup>2</sup> /silta]
1. Tb_S Teräsbetoni	32,2	1 130 274	321
2. Tb_M Teräsbetoni	27,4	962 865	142
3. Jb_S Jännitetty betoni	9,4	330 689	895
4. Jb_M Jännitetty betoni	10,2	359 226	391
5. T_S Teräs tai Sk. T.	5,1	180 271	1 589
6. T_M Teräs tai Sk. T.	9,4	329 372	309
7. P_S Puu	0,1	2 715	196
8. P_M Puu	1,7	59 516	93
9. K_S Kivi	0,1	2 604	144
10. K_M Kivi	0,6	21 371	121
11. Putki_a_S Putkisilta, alikulku	0,7	24 763	63
12. Putki_a_M Putkisilta, alikulku	0,7	23 570	45
13. Putki_v_S Putkisilta, vesistö	0,5	16 546	72
14. Putki_v_M Putkisilta, vesistö	1,9	68 208	45
<b>Yhteensä</b>	<b>100 %</b>	<b>3 511 991</b>	<b>216 m<sup>2</sup>/silta</b>

Taulukko 8. Liikenteen jakautuminen osaverkoittain siltojen lukumäärän mukaan (Siltarekisteri 1.1.2006)

Siltoja	kvl-luokka						Yhteensä
	A <350	B <1500	C <3000	D <6000	E <12000	F >=12000	
Osaverkko							
Tb_M	2075	1682	751	528	195	17	5400
Tb_S	1	22	160	651	1036	1042	3115
Jb_M	167	198	78	58	14		727
Jb_S		5	13	46	107	92	310
T_M	465	185	49	34	4	1	815
T_S			6	12	17	24	64
P_M	527	47	4		11		645
P_S				1	1		2
K_M	64	71	15	3	1		175
K_S			1	7	3	2	16
Putki_a_M	40	192	144	65	11		458
Putki_a_S		2	33	118	135	67	372
Putki_v_M	905	528	162	52	7		1716
Putki_v_S		2	30	75	63	35	214
<b>Siltojen lukumaara</b>	<b>4244</b>	<b>2934</b>	<b>1446</b>	<b>1650</b>	<b>1605</b>	<b>1280</b>	<b>870</b>
							<b>14029</b>

### 3.2.2 Kunnan kuvaaminen

Siltojen kunto kuvataan yhden kuntomuuttujan avulla, jolla on viisi kunto-luokkaa. Analyysissä käytetty kuntomuuttuja on Tiehallinnon uuden viisipor-taisen kuntoluokituksen mukainen (kuntoluokka 5 on erittäin hyvä ja luokka 1 erittäin huono).

### 3.2.3 Ikakayttaytymisen kuvaaminen

Siltojen rappeutumista kuvataan Hibriksessä malleilla, jotka ilmaisevat kuntuuuttujan todennäköisyyttä siirtyä huonompaan kuntoluokkaan vuoden mittaisen ajanjakson aikana, kun sillalle tehdään vain normaaliin hoitoon liittyviä toimenpiteitä /2/.

### 3.2.4 Toimenpiteiden kuvaaminen

Silloille tehtävät toimenpiteet on jaettu neljään toimenpidetasoon:

- 0: Ei toimenpidettä
- A: Kunnostus
- B: Peruskorjaus
- D: Uusiminen

"Ei toimenpidettä" sisältää toimenpiteet, joilla varmistetaan tiestön päivittäinen liikennöitävyys. Ei toimenpidettä-ryhmään kuuluvat mm. puhtaanapito, jatkuva tarkkailu ja vuositarkastukset.

*Kunnostustoimenpiteet* ovat peruskorjausten välillä tehtäviä yksittäisiin rakenneseisiin kohdistuvia ylläpitokorjauksia. Kunnostustoimenpiteiden tarkoituksena on estää alkavien vaurioiden paheneminen ja mahdolliset seurausvaikutukset.

Sillan peruskorjauksessa korjataan ja uusitaan kaikki vaurioituneet ja kulu- neet sillan ja siltapaikan rakenteet alkuperäisen veroiseksi.

*Uusimisella* tarkoitetaan kunto- tai kantavuussyistä tapahtuvaa sillan purkamista ja korvaamista uudella sillalla.

Se, onko toimenpide sallittu kyseiselle sillalle, riippuu sillan kuntoluokasta ja materiaalista. Esimerkiksi kuntoluokka 1:n (erittäin huonoille) teräsbetonisilloille sallitaan vain peruskorjaus tai uusiminen.

Korjaustoimenpiteiden kustannukset on määritetty kullekin osaverkolle ja kuntotilalle tyypillisten kustannusten mukaan (€/m<sup>2</sup>).

Taulukossa 9 on esitetty suolalle altistuneiden teräsbetoni (Tb\_S) ja jännitetty betoni (Jb\_S) osaverkkojen toimenpiteiden neliöhinnat. Keskimääräinen siltakoko Tb\_S verkolla on 321 m<sup>2</sup> ja Jb\_S verkolla 895 m<sup>2</sup>. Tyhjät ruudut taulukossa osoittavat, että kyseessä olevaan kuntotilaan ei saa tehdä kyseistä toimenpidettä.

Taulukko 9. *Tb\_S ja Jb\_S osaverkkojen toimenpidekustannukset [€/m<sup>2</sup>]*

Osaverkko	Kunto- luokka	Ei toimen- pidettä	Kunnostus	Perus- korjaus	Uusiminen
Tb_S	5	3			
	4	3	50		
	3	5	150		
	2	8	300	500	1350
	1			550	1350
Jb_S	5	3			
	4	3	50		
	3	5	150		
	2	8	300	550	1500
	1			600	1500

### 3.2.5 Toimenpiteiden tienkäyttäjille aiheuttamat lisäkustannukset

Työmaakustannukset eli toimenpiteiden tienkäyttäjille aiheuttamat lisäkustannukset koostuvat kahdesta osasta: ajoneuvo- ja aikakustannuksista. Analyysissä nämä kustannukset lasketaan kevyille ja raskaille ajoneuvoille erikseen ja näiden kustannusten summa on toimenpiteiden tienkäyttäjille aiheuttama lisäkustannus, [€/m<sup>2</sup>]. Lisäkustannukset määritetään osaverkoille ja toimenpidetasoille, kuntotila ei vaikuta sen määrään.

Toimenpiteen aiheuttama keskimääräinen lisäkustannus kansineliötä kohden eri osaverkoilla on esitetty taulukossa 10. Lisäkustannuksen taso on pienempi kuin toimenpidehintana, mutta tämän muuttujan vaikutuksesta kahden toimenpiteen välinen hintaero lähes kaksinkertaistuu. Tämä ohjaa valintapäätöstä aina kevyemmän vaihtoehdon suuntaan.

Taulukko 10. *Toimenpiteiden aiheuttamat lisäkustannukset tienkäyttäjille (€/m<sup>2</sup>/vuosi)*

		Ei tehdä mitaan	Suojaus	Kunnostus	Perus- korjaus	Uusiminen
Suolalle altistuvat	Tb_S	1.0	17	41	448	909
	Jb_S	0.4	6	14	157	319
	T_S	0.1	2	6	60	122
	P_S	0.4		27	211	499
	K_S	0.4		23	420	852
	Putki_a_S	0.0	75	110	221	541
	Putki_v_S	0.0	44	65	129	317
Muut	Tb_M	0.1	2	6	61	124
	Jb_M	0.1	1	3	31	62
	T_M	0.0	1	1	16	32
	P_M	0.0		2	13	30
	K_M	0.1		4	78	157
	Putki_a_M	0.0	18	27	53	131
	Putki_v_M	0.0	6	8	16	40

### 3.2.6 Vaikutusten kuvaaminen

*Toimenpiteiden vaikutusmallit* on toteutettu Hanke-Sihaan kehitetyn korjaustoimenpiteiden vaikutusmallin pohjalta. Sen mukaan korjaustoimenpiteiden seurauksena vaurioiden määrä vähenee. Tämä vähenemä esitetään ns. keskimääräisen alenemaprocentin avulla osaverkoittain jokaiselle kuntoluokalle. Alenemaprocentin ja lasketulle yleiskunnolle (LYK) kehitetyn kaavan avulla voidaan laskea korjaustoimenpiteen vaikutus /3/.

Rahamääräistä hyötyä toteutetuista toimenpiteistä ei ole mallinnettu siltojen osaverkoille. Tämä muuttaa optimointifunktion toiminnan yksipuoliseksi, kustannusten ja hyötyjen summan minimoimisen tilalla minimoidaan pelkästään kustannuksia. Sallituista tila-toimenpidevaihtoehdoista valituksi tulee aina halvin toimenpide, joka täyttää muut rajoitusehdot. Ero päällystemalleihin on merkittävä. Päällystemalleissa valittavaa ratkaisua ohjaa suurin saavutettava tienkäyttäjän kustannuspienennys, joka siltamalleilla on nyt aina nolla.

Vastaavasti siltamalleilla ei synny rahamääräistä hyötyä kuntotilan tai liikennemäärän mukaan eli hyöty-kustannus-analyysiä ei voida käyttää hyväksi tulosten vertailussa. Tämä puolestaan johtaa siihen, että ainoastaan kuntojakauman muutosta voidaan käyttää hyväksi rahankäytön tehokkuuden arviointiin.

### 3.2.7 Lahtoaineisto

Lähtöaineisto koostuu tiedoista, jotka on Hibriksen tietomallin mukaan ryhmitelty. Tämä tiedosto, *Hibris\_Siltamallit\_data\_2006.xls*, on tilaajalle luovutetussa projektiaineistossa.

Tiedosto sisältää lähtötiedot:

- Sallitut tilat ja toimenpiteet
- Siirtodennäköisyydet
- Toimenpidekustannukset
- Toimenpiteiden tienkäyttäjälle aiheuttamat lisäkustannukset
- Nykytilajakaumat

## 4 OPTIMOINTI

### 4.1 Optimoinnin toteutus

Optimoinnissa käytetään lineaarisen ohjelmoinnin ohjelmistoa nimeltä Lindo. Tiehallinnolla on käyttänyt Lindoa ensimmäisestä HIPS-versiosta lähtien. Toteutuksen periaatteena on ollut, että optimointimalli on formuloitu ohjelmiston sisälle ja Lindoa kutsutaan osana ajovirtaa erikseen ja ohjelmisto tallentaa optimoinnin tulokset tietokantaan.

Hibriksessä on toteutettu kaksitasoinen optimointi:

- Ensimmäisenä tasona on pitkän aikavälin tehtävä (jolla haetaan tavoitetilaa), joka formuloidaan äärettömän ajan Markovin ketjumallina. Tehtävä on mahdollista formuloida ja ratkaista lineaarisen ohjelmoinnin tehtävänä.
- Toisena tasona on lyhyen aikavälin tehtävä, jossa sovelletaan äärettömän aikavälin formulointia vuosi kerrallaan eteneväksi ratkaisujonoksi. Tavoitteena on määrittää optimaaliset toimenpiteet, jotka muuttavat kuntotilan vuoden alun tilanteesta tavoitetta kohden kullekin laskentavuodelle.

### 4.2 Pitkän aikavälin optimointi (LT)

LT-optimoinnilla etsitään edullisinta ehdot täyttävää ratkaisua, tavoitetilaa. Minimoitavaksi funktioksi on määrätty tienkäyttäjän ja tienpitäjän kustannusten summa. Rajoitusehtoina Markovin mallissa ovat stabiilin tilajakauman määrittävä Markov-ehto sekä yksikköehto, jolla ratkaisu normeerataan. Näiden rajoitusten lisäksi formulointiin voidaan sisällyttää tarpeen mukaan muitakin ehtoja kuten budjetti- ja kuntorajoituksia.

$$\text{Min}(z) = (ac + uc)$$

*jossa z = yhteiskunnan kustannus*

*ac = tienpitäjän kustannus*

*uc = tienkäyttäjän kustannus*

Rajoitusehtoina on toteutettu budjetti- ja kuntorajoitus sekä ehto, että tarkastettava tilajoukko pysyy vakiona (=100 %).

Formulointi on varsin yksinkertainen, mutta tehokas. Tehtävän ratkaisu on tila-toimenpidejakauma, joka ei riipu lainkaan ajasta eikä fyysisen tieverkon ja sillaston kuntotilasta tai määrästä. Ratkaisu määräytyy täysin siirtotodennäköisyysmatriisien ja kustannusmallien avulla. Tyypillisiä formuloinnin aiheuttamia tuloksiin liittyviä ongelmia ovat optimitilanteen laakeus, ongelmanasettelun mahdollinen epälineaarisuus tai liian suuret erot tilojen välillä (tyypillisesti kun porraskäytöitä sovitetaan lineaariseen optimointiin). Nämä liittyvät kuitenkin mallien rakenteeseen ja sisältöön ja oikein toimittaessa on mahdollista saada täysi hyöty lineaarisen optimoinnin laskentatehosta.

Hibris ohjelmiston LT-tulokset ovat yhteneviä vaihtoehtoisten optimointitulosten kanssa eli *LT-optimoinnin suhteen Hibris ei tarvitse muutoksia*.

Kun LT-analyysin optimoinnin periaate on yhteiskunnan kustannusten minimointi, siltamalleissa hyötyjä ei ole mallinnettu (tienkäyttäjän kustannukset ovat nolla) eli tällöin optimointifunktio muuttuu toimenpidekustannusten minimoimiseksi annettujen rajoitusten mukaan. Tulokseksi saadaan halvin sallittu toimenpidekombinaatio (ilman varsinaista hyötyä lineaarisesta optimoinnista).

### 4.3 Lyhyen aikavälin optimointi (ST)

Lyhyen aikavälin (ST) optimoinnin tavoitteena on löytää edullisin toimenpidejakauma, jolla tiestön/sillaston kuntojakaumaa voidaan ohjata kohti tavoitejakaumaa. Hibris-ohjelmistossa ST-laskenta suoritetaan vuosi kerrallaan ja tavoitetilaksi annetaan tavallisesti pitkän aikavälin optimi. Tavoittila voidaan määrittellä toisinkin: vaihtoehtoinen analyysi on nykytilan säilyttämiseen tähtäävä malli.

Perusformuloinnissa kohdefunktio on kustannuksin painotettu saavutetun tilajakauman ja tavoitetilajakauman yksittäisten tilojen osuuksien erotus. Lisäehtoina ovat normeerausehto, Markovin ehto sekä kuntotilajakauman lähtöjakaumaan sitova ehto. Perusehtojen lisäksi formulointiin voidaan liittää budjettia, toimenpiteitä ja kuntotiloja rajoittavia ehtoja.

Hibris-järjestelmässä laskenta etenee vuosi kerrallaan. Kunkin vuoden laskennassa lähtökuntotilajakaumaksi otetaan edellisen vuoden ratkaisuna saatu kuntojakauma. Tämä ratkaisumalli on samanlainen sekä päälylysteille että silloille.

Optimointitehtävän ratkaisuna saadaan rajoitusehdot toteuttava toimenpidekuntotilajakauma. Ratkaisu riippuu siirtodennäköisyysmatriiseista, kustannusmalleista, lähtökuntotilajakaumasta ja muista rajoitusehdoista. Koska optimointia varten lähtöarvot annetaan yksikkökustannuksina, tarkasteltavan mallin fyysinen koko tai tyyppi ei vaikuta ST-ratkaisuun. Raportoitaessa osaverkon kokonaiskustannuksia, tulee ST-ratkaisun suosituksen osuudet kertoa kokonaisuudella.

ST-tehtävän perusformulointi on pidetty päällystetyillä teillä samankaltaisena alkuperäisestä HIPS-formuloinnista lähtien. Laskentakapasiteetin lisääntymisen myötä on voitu siirtyä käyttämään laskennassa tilakohtaista laskentaa aiemman kuntomuuttujakohtaisen laskennan asemasta. Tämä muutos on ratkaissut osan vanhaan algoritmiin liittyneitä ongelmia, joskin se on samalla herättänyt kysymyksen parhaasta tavasta määrittää kuntotilojen painot (kustannukset) kohdefunktiossa. Nykyinen ongelma on kaksitahoinen: toisaalta miten määrittellä tilojen kustannukset (=painokertoimet) ja toisaalta miten verata toimenpide-tila-vaihtoehtoja (=suositeltava ratkaisu).



### 4.3.1 Painokerrointen määrittäminen ST-kohdefunktioon

Lineaarisen ohjelmoinnin tuloksena saadaan kullekin tila-toimenpide-kombinaatiolle kaksi tunnuslukua:

- Kantaratkaisu eli lineaarisen ohjelmointitehtävän ratkaisu. Tila-toimenpide-kombinaatio voi saada arvokseen joko nolasta poikkeavan luvun (kantaratkaisu) tai nollan (ei-kantaratkaisu).
- Duaali (eli arvo sille, miten paljon optimointifunktion arvo muuttuisi, jos ko. tila-toimenpide kombinaatio olisi mukana kantaratkaisussa)

Hibris-järjestelmässä on toteutettu ratkaisu, jossa:

- Kantatilat saavat painokertoimekseen LT-ratkaisun osuuksin (tila-toimenpidekombinaatio) painotetun ylläpidon ja tienkäyttäjien kustannusten summan.
- Muiden kuin kantatilojen painokertoimeksi annetaan suurin kantatiloille lasketuista kertoimista.

Tämä formulointi ei edellytä LT-ratkaisun duaalien laskemista ja tallentamista. Näin ollen se on kohtalaisen nopea ja suoraviivainen tapa määrittää ST-optimointifunktion painokertoimet.

Ratkaisun haittapuolena on se, että ratkaisu ei tee eroa näihin tiloihin mahdollisesti tehtävien toimenpiteiden välillä.

Toisessa lähestymistavassa:

- Kantatilojen kustannukset lasketaan samoin kuin edellä eli LT-osuuksin painotettuna ylläpito ja tienkäyttäjien kustannusten summana.
- Muiden kuin kantatilojen kerrointen määrittämisessä käytetään hyväksi LT-ratkaisun redusoituja kustannuksia (duaalikustannuksia), joiden avulla määritetään kuhunkin muuhun kuin kantatilaan edullisin toimenpide. Kohdefunktioon otetaan näitä tila-toimenpidekombinaatioita vastaavat kustannukset.

Kuvassa 5 on esimerkki päällystettyjen teiden yhden osaverkon (KVL 350-800) kahden tilan (S122 ja S123) LT-suosituksesta (LONGTERM) toimenpiteittäin (ACTION), sen duaalihinnasta ja nykytilatiedosta (CC\_2005). Esimerkissä tila numero 122 kuuluu LT-kantaratkaisuun ja siihen suositellaan tehtäväksi 1.38 % toimenpidettä A1. Jos tilaan tehtäisiin toimenpide A2 optimointifunktion arvo nousisi 0.288 yksikköä. Tilassa on nykyisin 0.5 % teistä (CC\_2005) Tässä tapauksessa ST:n kohdefunktion arvo lasketaan tilan 122 osalta toimenpiteen A1 kustannusten mukaan.

Tila 123 ei kuulu LT-kantaratkaisuun, mutta silti nykytilassa siinä on 4.42 % osaverkon teistä. Luonnollisin ratkaisu olisi valita ST-kohdefunktion laskentaan pienin duaalihinta eli kohdefunktion kannalta paras vaihtoehto, eli toimenpide A1, toiseksi paras vaihtoehto olisi tehdä tähän tilaan toimenpide A5.

Lingo result					
Model	STATE	ACTION	LONGTERM	DUAALI	CC_2005
22 S122	A1		138,8103578	0	50,52565
22 S122	A2		0	0,288153	0
22 S122	A3		0	0,427622	0
22 S122	A4		0	0,430779	0
22 S122	A5		0	0,179254	0
22 S122	A6		0	0,98811	0
22 S123	A1		0	0,1145	442,0923
22 S123	A2		0	0,289458	0
22 S123	A3		0	0,4395	0
22 S123	A4		0	0,425799	0
22 S123	A5		0	0,132895	0
22 S123	A6		0	0,960231	0

Kuva 5. Lineaarisen optimoinnin tulos (LT-suositus, LONGTERM sarake) ja vastaava nykytila (CC\_2005) Lingo-optimoinnin tuloksena

#### 4.4 ST-funktioiden vertailu, menettelytapa ja tulokset

##### 4.4.1 Yleistä

Tavoitteena ST-formuloinnin (ST-optimointifunktion) kehittämisessä on ollut saada aikaan loogisia ja yksiselitteisiä ratkaisuja tuottava määrittely. Erityisesti ongelmana ovat olleet ratkaisun ensimmäisten vuosien toimenpidejakaumat ja yleensäkin toimenpidejakaumien (=vuosikustannusten) heittelehtiminen. ST-tehtävän hyvä formulointi ohjaa kuntojakautta tehokkaasti kohti tavoitetta.

Tässä selvityksessä on arvioitu valitun ST-formuloinnin vaikutuksia ST-tuloksiin, tavoitteena on erottaa optimoinnin formuloinnista ja toisaalta itse mallien lähtöarvoista aiheutuvat vaikutukset lopputuloksiin. Tämän perusteella voimme arvioida mahdollista ST-tavoitefunktion muutostarvetta.

Kuntoluokkajakaumien välisenä etäisyyskriteerinä on aiemmin käytetty luokkien osuuksien itseisarvojen erotusten summaa sekä näiden erotusten neliösummaa. Tällä kertaa päädyttiin kuitenkin vertaamaan eri ST-formulointien aikaansaamia kunto- ja toimenpidejakautta tavoitettiin käyttäen entropiaan perustuvaa etäisyysmittaria, Kullback-Leibler-informaatiota (KL), koska sen avulla voidaan esittää kahden toimenpide-tila-kustannus jakauman eroja hyvin. Lisää taustatietoa on saatavissa internetosoitteesta:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Kullback-Leibler\\_divergence](http://en.wikipedia.org/wiki/Kullback-Leibler_divergence).

KL-informaatio kuvaa kahden jakauman samankaltaisuutta seuraavan kaavan mukaan:

$$KL = \sum_i p_i \ln\left(\frac{p_i}{q_i}\right)$$

Kaavassa lasketaan jakauman  $P = \{ p_i \}$  etäisyyttä jakaumaan  $Q = \{ q_i \}$ . Sekä  $P$  että  $Q$  ovat jakaumia joille pätee:

$$\sum_i p_i = \sum_i q_i = 1 \text{ ja } q_i > 0, \text{ kaikille } i$$

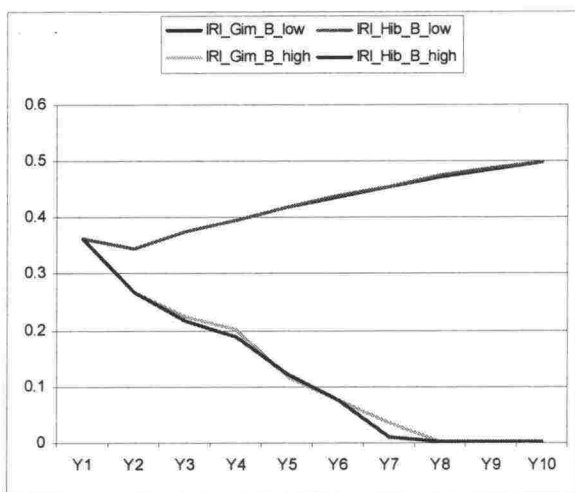
Lisäksi määritellään, että mikäli  $p_i = 0$  saa lauseke  $(p_i \ln(p_i / q_i))$  arvon 0. KL-informaatio saa aina arvon, joka on positiivinen tai 0. Suhdeluvulla ei ole yksikköä. Jos jakaumat ovat identtiset, KL:n arvo on nolla.

#### 4.4.2 Tulokset ST-formulointien vertaamisesta

Vertailu tehtiin ensimmäisessä vaiheessa Lingo-optimoinnilla kattavasti kahdelle ST-formuloinnille:

- Painokertoimet ilman duaaleja (Hibris) sekä painokertoimet LT-ratkaisun duaalien perusteella (Gim))
- Verrattavina osaverkkoina olivat päällystemallit KVL 6000–12000 ja KVL 350–800 sekä siltamallit Tb\_S, Jb\_S, Tb\_M ja Jb\_M.
- Budjettirajoitusta muunneltiin matalasta korkeaan (4 budjettitasoa)
- Kuntotavoitteena pidettiin sekä LT-tavoitetta että nykytilan ylläpitämistä.
- Vuosittaisia ST-tuloksia verrattiin rahankäytön ja kuntomuutoksen suhteen osaverkon *LT-tavoitetilaan*.

Kuvassa 6 on pystyakselilla esitetty KL-informaation arvo kahden ST-formuloinnin ja kahden budjettitason vuosittaisten tulosten KL-info tasaisuuden suhteen päällystettyjen teiden osaverkolla KVL 6000–12 000. Jos ST-tulos on identtinen vertailun kohteena olevan LT-tavoitteen kanssa, KL-infon arvo on nolla, kuten kuvan vaihtoehdoissa B\_high vuosina 8-10 eli molempien formulointien suuret budjetit muuttavat kuntojakaukmat nykytilasta LT-tavoitteen mukaiseksi. Taulukossa 11 on selitykset kuvissa käytetyille lyhenyksille.

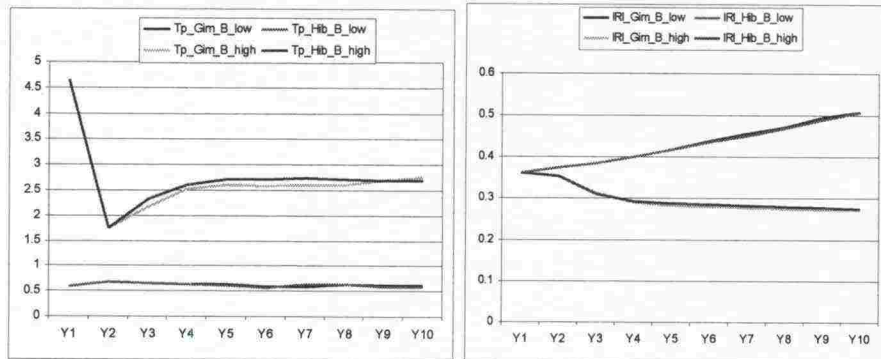


Kuva 6. ST-formulointien ero verrattuna LT-ratkaisun tasaisuuden tavoitekuntojakaumaan, KL-info, kaksi budjettitasoa, 10 vuotta (Y1–Y 10), päällystettyjen teiden osaverkko KVL 6000–12000

Korkeammalla rahoitustasolla tasaisuusjakauman tavoite saavutetaan vuonna 7. Kummatkin ST-funktiot käyttäytyvät periaatteessa samalla tavalla, vaikka jonkin verran eroavaisuutta on nähtävissä. Matalampi budjetti ei riitä tasaisuusjakauman ylläpitämiseen vaan tasaisuustilanne heikkenee.

Kuvassa 7 on esitetty sekä kustannusten muuttuminen ja tasaisuuden muuttuminen pystyakselilla esitettävän KL-infon avulla kun tavoitteena on nyky-

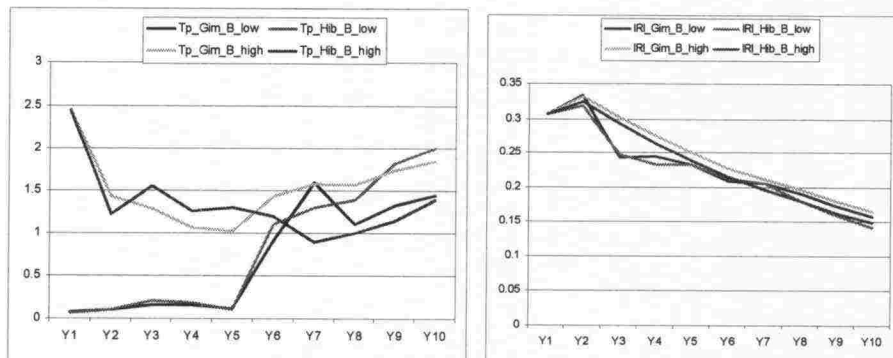
*kunnan ylläpito ja KL-vertailujakaumana on edelleen LT-jakauma. Ihanneratkaisu on, että KL-infokäyrät pysyisivät vaakatasossa.*



*Kuva 7. ST-formulointien ero ST-tavoitteen ollessa nykytila. Vertauskohtana LT-ratkaisun kustannukset ja tasaisuuden tavoitekuuntajakauma, kaksi budjettitasoa, 10 vuotta (Y1–Y 10), osaverkko päällystetyt tiet KVL 6000–12000.*

Rahoituksen osalta muutaman vuoden tasaantumisen jälkeen kustannukset vakiintuvat nykykunnan ylläpitämiseksi tarvittavalle tasolla. Matalampi budjetti ei riitä tasaisuusjakauman ylläpitämiseen, vaan se heikkenee ST-tavoitteesta riippumatta. Formuloinnin erolla ei ole vaikutusta tulokseen.

Vähäliikenteisillä teillä tulokset ovat samansuuntaisia. Kuvassa 8 on KVL 350–800 verkon mallien toimenpidekustannus- ja tasaisuusjakaumien KL-info verrattuna LT-tuloksen vastaaviin jakaumiin, *tavoitteena LT-tulos.*



*Kuva 8. ST-formulointien ero verrattuna LT-ratkaisuun. Vertauskohtana LT-ratkaisun kustannukset ja tasaisuuden tavoitekuuntajakaumat, kaksi budjettitasoa, 10 vuotta (Y1–Y 10), osaverkko päällystetyt tiet KVL 350–800.*

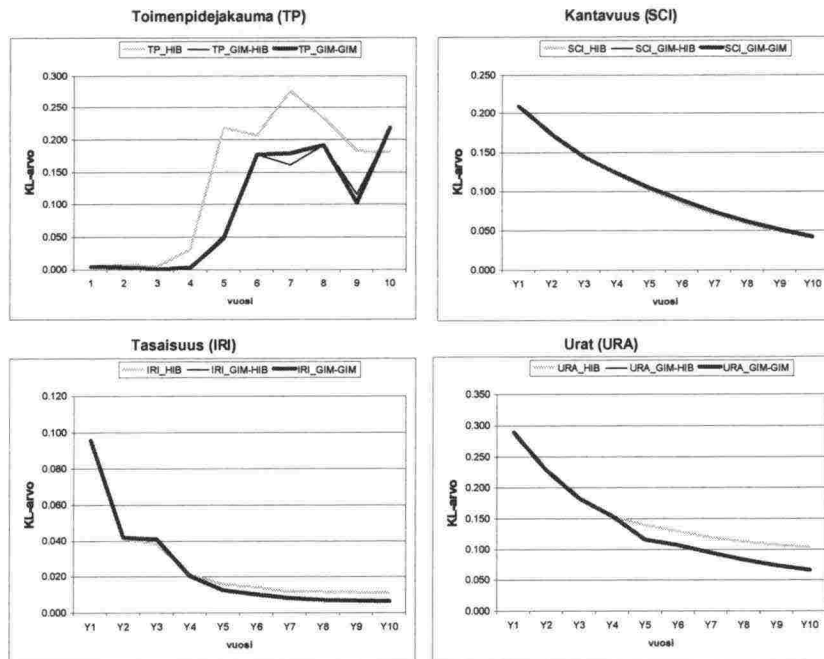
Toisessa vertailuvaiheessa verrataan Lingo-optimoinnin tuloksia Hibris-ohjelmistolla laskettuihin tuloksiin. Vertailtavia ST-formulointeja on kolme ja ne on nimetty verrattavan tekijän ja ST-formuloinnin mukaan taulukossa 11 esitetyllä tavalla.

Taulukko 11. Kuvissa käytettävät vertailtavien tekijöiden merkinnät.

Tekijä	Lyhenne	ST-formulointi	Lyhenne
Toimenpide	TP	Hibris	HIB
Kantavuus	SCI	Lingo (Hibris)	GIM-HIB
Tasaisuus	IRI	Lingo (GIM)	GIM-GIM
Urat	URA		

Kuvassa 9 on esitetty vertailun tulokset seuraavien tekijöiden mukaan:

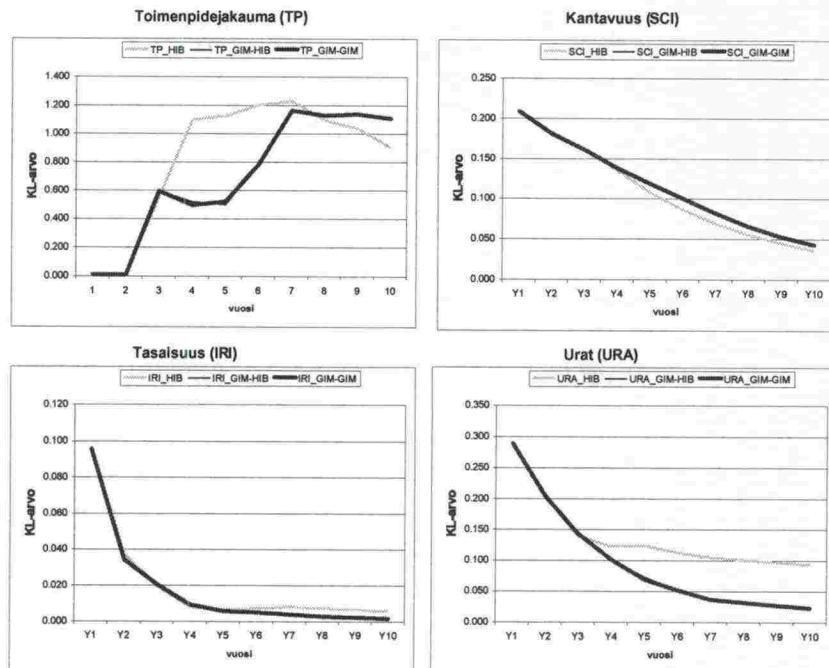
- Osaverkko KVL 1500–6000
- Vuosibudjetti 36 M€ (LT-budjetti 32.5 M€)
- 3 ST-formulointia
- Tavoitteena LT-tulos
- 4 vertailtavaa tekijää
- Hibris LT-tulos vertailukohtana



Kuva 9. ST-funktioiden ero KL-infon mukaan verrattuna, kolme ST-funktiota, osaverkko päällystetyt tiet KVL 1500–6000, budjetti 36 M€/v.

Kuvista nähdään, että eri ST-formuloinnit eroavat toisistaan ainoastaan toimenpidesuosituksen osalta. Kuntomuutos on käytännössä samanlainen koko kymmenen vuoden analyysikauden ajan. Lingo Hibris-formulointi ei ole identtinen Lindolla toteutetun funktion kanssa.

Kuvassa 10 on muuten samat lähtökohdat, mutta budjettirajoitus on huomattavasti suurempi, 43 M€ vuodessa.



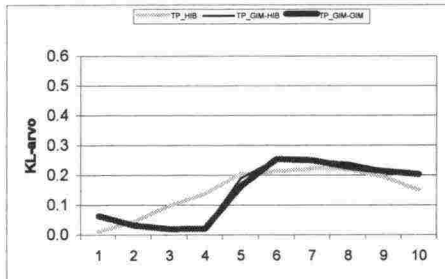
Kuva 10. ST-funktioiden ero KL-infon mukaan verrattuna, kolme ST-funktiota, osaverkko päällystetyt tiet KVL 1500–6000, budjetti 43 m€/v.

Tulos poikkeaa toimenpidevalinnoissa vuosien 4–6 aikana, jolloin Lingoformulointi löytää urakehityksen kannalta hieman paremman toimenpidevaihtoehdon. Käytännössä kuntomuutos on samanlainen kaikkien kolmen formuloinnin mukaan.

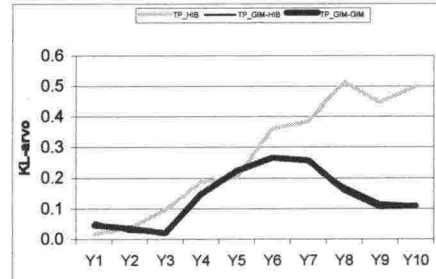
Kuvassa 11 tarkastellaan eri funktioiden toimenpidevalintaa käytettävissä olevan budjetin mukaan. Vertailun lähtökohtana on:

- Osaverkko KVL > 12 000
- 3 ST-formulointia
- Tavoitteena LT-tulos
- Vertailtavana tekijänä toimenpidejakauma
- Hibris LT-tulos vertailukohtana
- 4 vuosibudjettia 23, 25, 27 ja 32 M€ (LT-budjetti 22 M€)

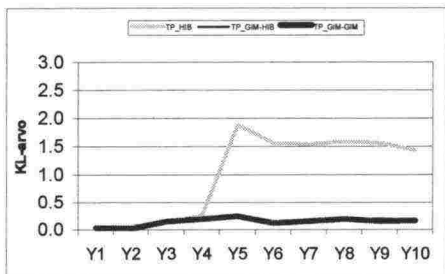
Toimenpidejakauma (TP), Budjetti 23 M€/v



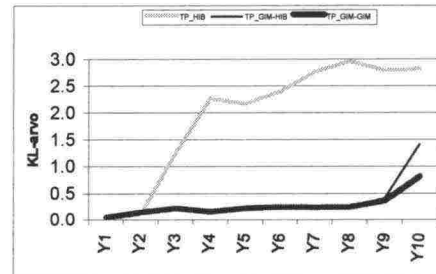
Toimenpidejakauma (TP), Budjetti 25 M€/v



Toimenpidejakauma (TP), Budjetti 27 M€/v



Toimenpidejakauma (TP), Budjetti 31.5 M€/v

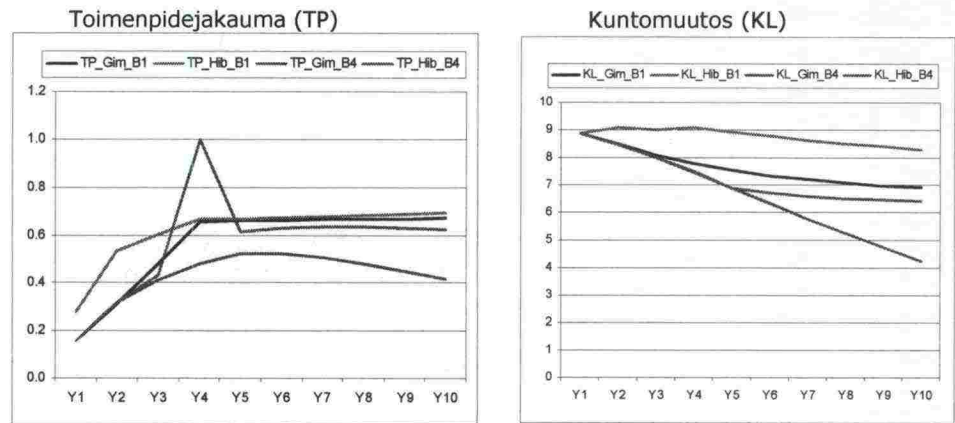


Kuva 11. ST-funktioiden ero KL-infon mukaan verrattuna, toimenpidejakaumat, kolme ST-funktiota, osaverkko päällystetyt tiet KVL > 12 000, 10 vuotta, budjetti 23, 25, 27 ja 32 m€/v.

Tuloksista nähdään, että Hibriksen Lindo-formulointi noudattaa Lingo-formulointia silloin, kun käytettävissä oleva rahoitus on pieni. Budjetin kasvaessa toimenpidevalinta eroaa LT-suosituksen toimenpidevalinnoista.

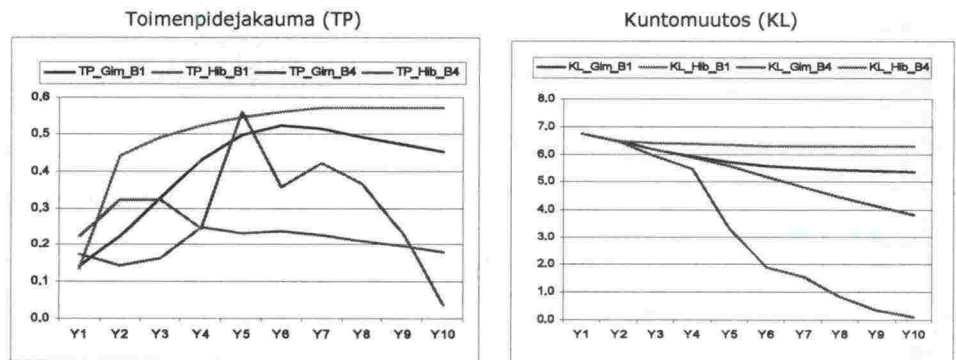
Yhteenvedona päällystettyjen teiden osalta voidaan sanoa, että ST-formuloinnit aiheuttivat pieniä eroja tuloksiin, mutta ne eivät ole merkittäviä lopputuloksen kannalta. Hibris-formuloinnin aiheuttamat eroavaisuudet ovat löydettävissä toimenpidevalinnoissa, kun käytettävissä oleva rahoitus on suuri.

**Siltamalleissa** käytetään yhtä kuntomuuttujaa ja viittä kuntoluokkaa, näin ollen kuntomuutos on seurattavissa suoraan ST-tuloksen kuntojakautuksen kehityksestä. Vertailun vuoksi siltamalleille laskettiin kuitenkin KL-info LT-tavoitteen mukaan. Osaverkolla Suolalle altistuva jännitetty teräsbetonisilta (JB\_s), jolla on pieni budjettirajoitus (B1), ovat toimenpidevalinnat samanlaisia eri ST-funktiolla, mutta korkea budjettirajoitus saa aikaan hyppäyksen toimenpidekustannuksissa Hibris Lindo-formuloinnilla. Kuntomuutos tavoitetta kohden on hieman parempi Gim Lingo-formuloinnilla. Kuvassa 12 ovat tulokset kahden toimenpidebudjetin mukaan kustannuksille ja kuntokehitykselle.



Kuva 12. ST-funktioiden ero verrattuna LT-ratkaisun KL-infon mukaan, kaksi budjettitasoa, toimenpidekustannukset ja kuntojakaumat, 10 vuotta, siltamalli suolaattu jännitetty betonisilta (JB\_s).

Vastaava tulos osaverkolta Jännitetyt betonisillat, suolaamaton (JB\_m), osoittaa, että käytettävissä oleva budjetti saa aikaan suuria eroja ST-tulokseen. Pieni budjetti pitää toimenpidevalintaratkaisun suhteellisen lähellä toisia ST-formuloineja, mutta korkea rahoitus antaa Hibris-formuloinnille mahdollisuuden saavuttaa LT-kuntotavoite nopeasti hyvin epätasaisilla toimenpidevalinnoilla.



Kuva 13. ST-funktioiden ero verrattuna LT-ratkaisun KL-infon mukaan, kaksi budjettitasoa, toimenpidekustannukset ja kuntojakaumat eri vuosina, siltamalli, suolaamaton jännitetty betonisilta (JB\_m).

Kuvasta nähdään, että duaalia käyttävä ST-formulointi antaa rahankäytölle tasaisen suosituksen.

Painokertoimen erilainen laskutapa aiheuttaa eroja ST-suosituksen toimenpidevalintaan. Väljä budjetti aikaansaa Hibris-formuloinnissa suuria vuosien välisiä vaihteluita. Kuitenkin voidaan todeta, että kumpikin ST-formulointi toimii.



## 4.5 Osaverkkojen yhteisoptimointi

### 4.5.1 Periaate ja kysymyksenasettelu

Hibris-analyysi on toteutettu jakamalla tarkasteltava rakenne homogeenisiin osaverkkoihin, joille muodostetaan mallit, toimintapolitiikat ja optimointitulokset. Vastaavasti ajattelumalli on laajennettu Hibriksessä eri rakenteisiin, päälylystettyjen teiden osaverkko vs. sillaston osaverkko. Oleellista on, että optimoinnin tuloksena saamme muuttujia, joita voidaan käyttää osaverkkojen vertaamisessa keskenään. Hibris optimoinnin tuloksena on mahdollista saada kolme yhteisoptimoinnissa käytettävää muuttujaa:

1. Toimenpidejakauma eli tienpitäjän kustannus
2. Kuntojakauma eri vuosille
3. Vaikutus hyötyfunktion mukaan (rahamääräinen, onnettomuuksien lukumäärä, ympäristökustannuksia, tienkäyttäjän kustannuksia)

Hyötyfunktioiksi kutsutaan malleissa määritettyä vaikutusta, joka syntyy, kun kuntomuuttajat rappeutuvat tai vastaavasti parantuvat toimenpiteitä tehtäessä. Päälylystetyillä teillä on kehitetty mallit kuntotilan ja tienkäyttäjien kustannusten välille. Kustannus-hyötymallit ovat rahamääräisiä ja siten helposti verrattavissa keskenään yhteiskuntataloudellisissa analyyseissä (tienpitäjän vs. tienkäyttäjän kustannukset). Edellä mainittua kustannus-hyötysuhdetta on käytetty useissa analyyseissä, joissa etsitään suurinta hyötyä sijoitettavalle panostukselle. Vastaavaa riippuvuutta ei siltaosaverkkojen nykyisissä malleissa ole vaan niiltä puuttuu varsinainen rahamääräinen hyötyfunktio kokonaan. Rakenteiden välinen yhteisoptimointi ja siltojen osaverkkojen välinen rahoituksen optimointi voidaan tehdä vain toimenpidekustannusten ja saavutettavan kuntotilan perusteella.

Kun siirrytään monitavoiteoptimoinnin ratkaisuihin, voidaan erilaisia muuttujia verrata keskenään laskennallisesti, esimerkiksi eri rakenteita kuvaava kuntoluokitus voisi olla yhteinen muuttuja, johon voidaan liittää muita vaikutuskijöitä. Tämä on suositeltava vaihtoehto, joka avaa hyviä mahdollisuuksia päätöksenteossa käyttökelpoisten analyysien toteuttamiseksi.

Yhteisoptimoinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä menettelytapaa jakaa käytettävissä oleva kokonaisbudjetti eri osaverkkojen välillä siten, että saavutetaan suurin mahdollinen hyöty käytettävälle rahoitukselle. Hibris-analyysin kysymyksenasettelu yhteisoptimointia varten on:

*Mille osaverkolle sijoittamalla euron lisärahoitus saadaan suurin vaikutus?*

Toisin sanoen etsitään osaverkkoa, johon lisärahoitus on edullisinta sijoittaa. Tällaista menettelyä kutsutaan yleisellä nimellä rajahyötyanalyysiksi (varjo-hinta- tai marginaalikustannusanalyysi).

Vastaavalla tavalla etsitään (yhteiskunta)taloudellisesti tehokkain rahoitustaso yhden osaverkon sisällä usean budjettipolitiikan joukosta. ST-optimointitulokset on suositus nopeimmasta tavasta kuntomuutoksen toteuttamiseksi eikä välttämättä taloudellisesti tehokkaimmasta toimintatavasta.

Päällystetyillä teillä on perinteisesti rajoitettu tarkastelemaan ainoastaan tienpitäjän kustannusten hyöty-kustannussuhdetta tienkäyttäjän kustannusten muutosten mukaan. Saavutettavaa kuntotilaa seurataan toisena päätöskriteerinä. Rahoitustason mukainen kuntotila voi olla hyväksyttävä tai ei hyväksyttävä. Jos hyöty-kustannussuhde ei riitä perustelevaan toimenpiteiden kannattavuutta, käytetään alinta hyväksyttävää kuntojakautamaa valittavan rahoitustason perusteena.

#### 4.5.2 Esimerkki päällystettyjen teiden osaverkoilta

Yhteisoptimoinnin ratkaisu esitetään aluksi yksinkertaistetun esimerkin avulla, jonka perusteella annetaan käsitys toteutetusta ratkaisusta. Esimerkin luvut ovat keksittyjä:

Tarkastellaan kolmea osaverkkoa, A, B ja C. Aikajakso on 10 vuotta ja tiedämme tienkäyttäjän kustannukset vuonna 1 ja vuonna 10 valitun toimenpidepolitiikan mukaan. Tarkasteltava rahoitus on välillä 150–250 €.

Taulukko 12. Osaverkkojen ST-tuloksia, kustannukset ja hyödyt, luvut rahamääriä (€).

A				
	Politiikka 1	Politiikka 2	Politiikka 1 Politiikka 2	
	100	150		
TK_vuonna 1	0	0	Rahoituksen muutos	50
Tk_vuonna 10	0	-100	Vaikutuksen muutos	0 -100
			hyöty-kustannus suhde	2
B				
	Politiikka 1	Politiikka 2	Politiikka 1 Politiikka 2	
	40	80		
TK_vuonna 1	0	0	Rahoituksen muutos	40
Tk_vuonna 10	0	-40	Vaikutuksen muutos	0 -40
			hyöty-kustannus suhde	1
C				
	Politiikka 1	Politiikka 2	Politiikka 1 Politiikka 2	
	10	20		
TK_vuonna 1	0	0	Rahoituksen muutos	10
Tk_vuonna 10	0	-3	Vaikutuksen muutos	0 -3
			hyöty-kustannus suhde	0.3

Taulukosta 12 näemme, että verkolla A rahoituksen lisäys 100 € -> 150 € sai aikaan 100 yksikön pienennyksen tienkäyttäjän kustannuksissa. Yhdellä eurolla saatiin aikaan 2 euron hyöty tienkäyttäjille verkolla A.

Verkolla B vastaava vaikutus oli 1, mutta verkolla C 1 euron lisäys aikaansaa ainoastaan 0.3 euron säästön tienkäyttäjän kustannuksissa. Tätä tietoa hyväksikäyttäen tehokkain tapa kohdistaa esimerkiksi 210 € budjetti verkoille A, B ja C on:

A	150
B	50
C	10

Tämän esimerkin mukaan suurin hyöty on aina verkolla A, kunnes mahdollisuus lisätä sen rahoitusta on käytetty loppuun. Tämän jälkeen lisäys kannattaa tehdä verkolle B, mutta verkon C rahoituksen lisäämiselle ei ole yhteiskuntataloudellista perustetta, vaikka rahoitusta olisi käytettävissä yli 240 yksikköä (€).

### 4.5.3 Päälystettyjen teiden osaverkkojen yhteisoptimointi

Nykyisissä päälystettyjen teiden ajokustannusmalleissa kuntotilan vaikutus tienkäyttäjän kustannuksiin on varsin pieni. Tällöin kuntoluokkien välinen tienkäyttäjien kustannusten ero on pieni, mikä tarkoittaa, että yhteiskuntataloudellinen analyysi suosittaa nykyistä heikompaa kuntotilaa uusimmilla malleilla. Vastaavasti vilkkaalla tieverkolla, KVL yli 12 000, saadaan suositus tarjota erittäin hyvää kuntotasoa suurille liikennemäärille.

Seuraavissa kappaleissa sovelletaan edellä kuvattua periaatetta kahdelle päälystettyjen teiden osaverkolle, KVL 800–1500 sekä KVL 6000–12000.

Esimerkki, tulos 1:

Osaverkko kestopäälystetyt KVL 800–1500, 3650 km, ST-analyysin tuloksia, tarkastelujakso on 10 v (2005–2015), kaksi rahoitustasoa, 5.8 M€/v ja 9.1 €/v.

Vuonna 2005 osaverkkoa käyttävien ajoneuvojen vuotuiset kustannukset olivat 637 M€. Tavoitetilan, LT-optimin, tienkäyttäjän kustannukset ovat 635.8 M€/vuosi. Ero ei ole suuri, 1.2 M€, joten verkon nykykunto ei aiheuta tienkäyttäjille lisäkustannuksia esimerkissä käytettyjen tienkäyttäjän kustannusmallien mukaan.

Alemmalla budjettitasolla osaverkon kuntokehitys aikaansaa tienkäyttäjien kustannusten lisääntymisen ja kustannuslisäys vuonna 10 on 0.6 M€/v. lisäämällä vuosittaista rahoitusta 3.3 M€ voidaan tienkäyttäjien kustannusten lisäys pitää kohtuullisen pienenä (ero vuonna 10, 0.1 M€). Tässä tapauksessa rahoituksen lisäys on perusteltua kuntotilan heikentymisen estämiseksi, ei yhteiskuntataloudellisin perustein (hyötykustannussuhde 0.8). Vastaavasti kuntotilan kohotus LT-tavoitteeseen on toteutettavissa pitkäjänteisellä toimintapolitiikalla, ei investoinneilla nykytilan ja tavoitteen 1.2 M€ kustannuserolla.

Taulukko 13. Tuloksia kahdesta budjettitasosta, ST-analyysi 10 v, päälystetyt tiet, osaverkko KVL 800–1500,

Osaverkko	Tp Kust	TK muutos 10v	TK muutos summa 10v
KVL 800-1500 B1	5.8	0.6	3.1
KVL 800-1500 B3	9.1	0.1	0.5

Esimerkki, tulos 2:

Kun tarkastelemme vastaavalla tavalla osaverkkoa KVL 6000–12 000, 1750 km, tarkasteltavat rahoitustasot ovat 17.5 ja 21.4 M€/v.

Tienkäyttäjien kustannukset olivat vuonna 2005 1700 M€/v ja LT-tavoitetilan vastaavat kustannukset ovat 1694 M€/v. Nykykunnan tienkäyttäjille aiheut-tama lisäkustannus näiden mallien mukaan on 6 M€, 0.4 % tienkäyttäjän kustannustasosta.

Kymmenen vuoden tarkastelujakson aikana alempi budjettitaso parantaa hieman kuntojakautamaa LT-tavoitetta kohden ja tienkäyttäjän kustannukset ovat 1.2 M€ pienemmät kuin vuonna 2005. 3.9 M€ korkeampi budjetti korjaa kuntotilanteen LT-tavoitteeseen viidessä vuodessa ja ajokustannukset ovat 6 M€ pienemmät kymmenen vuoden kuluttua kuin lähtötilanteessa.

Taulukko 14. Päälystetyt tied, osaverkko KVL 6000–12000, kaksi budjetitasoa, ST-analyysi 10 v.

Osaverkko	Tp Kust	TK muutos 10v	TK muutos summa 10v
KVL 6000 - 12000 B1	17.5	-1.2	-5.8
KVL 6000 - 12000 B3 (2005)	21.4		
KVL 6000 - 12000 B3 (2015)	13.0	-6.0	-42.0

Kymmenessä vuodessa budjettipolitiikka B1 käytti rahaa 175 M€ (ilman diskonttausta) ja budjettipolitiikka B3 maksoi 173 M€. Ero tulee ”liian” pienen budjetin aiheuttamista korkeista kustannuksista budjettipolitiikka B1:llä, koska koko 10 v tarkastelujakson ajan tarvittiin toimenpiteitä maksimibudjetin mukaan 10 x 17.5 M€. B3 ensimmäisten vuosien 20 % korkeampi rahoitustaso aiheutti vuosien 6-10 toimenpidetarpeen (kustannusten) pienenemisen.

Vastaavasti tienkäyttäjien saama hyöty nousi 5.8 M€:sta B3 politiikan 42 M€:oon eli 4 M€ lisäpanostus viiden vuoden ajan maksaa itsensä moninkertaisesti takaisin. Tienkäyttäjien kustannukset pienenevät noin 36 M€ ja panostus toimenpidekustannuksiin on noin 20 M€. Vaikka toimenpidekustannusten halpeneminen jätetään huomiotta, saadaan hyöty-kustannussuhteeksi tälle toimenpidepolitiikalle 1.8.

Näiden yhteiskuntataloudellisten tulosten mukaan voimme suositella rahoituksen nostoa KVL 6000–12000 verkolla 17 M€:sta 21 M€:oon. Vastaavalla tavalla näemme, että lisärahoitus tulee käyttää tällä vilkkaalla verkolla ennen kuin rahoitusta nostetaan osaverkolla KVL 800–1500.

#### 4.5.4 Havaintoja menettelytavasta

Rajahyötyyn perustuva rahoituksen allokointi on erittäin hyvä ja suositeltava menettelytapa, joka on läpinäkyvä, looginen ja tasapuolinen. Tämä vaatii kuitenkin selkeän hyötyfunktion. Jos sellainen on määritettävissä, rajahyötyanalyysi antaa hyviä tuloksia.

Rinnakkainen kehityspolku rahamääräiselle osaverkkojen vertaamiselle on kuntoon perustuvan haittaindeksin kehittäminen rahoituksen allokointiin. Hyvä perusta on löydettävissä yhtenäisen kuntoluokituksen perusteella. Tämä menettelytapa on suositeltavaa sovittaa esimerkiksi siltojen osaverkkojen yhteisoptimointiin. Kysymyksenasettelu on tällöin: *Mille osaverkolle sijoittamalla euron lisärahoitus saadaan suurin kuntovaikutus?*

Ensimmäisessä vaiheessa voidaan pitää kaikilla osaverkoilla tapahtuvaa kuntomuutosta samanarvoisena. Tällöin toimenpiteen hinta-vaikutussuhde määrää järjestyksen, jonka avulla saadaan suurin muutos esimerkiksi kuntoaluokka-arvoon pienimmällä rahamäärällä. Tätä tietoa sitten sovitetaan ko. osaverkon niihin tiloihin, johon tehokkaimmaksi havaittu toimenpide on määritetty. Kun kaikki mahdolliset toimenpiteet on toteutettu, siirrytään toiseksi tehokkaimmaksi havaittuun toimenpiteeseen ko. osaverkolla.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Päälysteet

Tässä työssä käytettiin edellisessä projektissa /9/ kehitettyjä malleja, joihin tehtiin ainoastaan lähtötietojen päivitys sekä uramuuttujan korvaaminen harranteen korkeus-muuttujalla kahdella vähäliikenteisimmällä verkolla. Tulokset kaikille verkoille on laskettu Lingo-optimoinnilla ja ne ovat liiteaineiston tiedostossa 11082006 Päälystemallitl Tp5\_Hibris\_Lingo tulokset.xls.

Hibriksen avulla laskettiin vertailutulokset kahdelta osaverkolta: liikennemäärä  $\geq 12\ 000$  sekä kaikki 2-ajorataiset tiet (super) ja osaverkolta KVL 1500–5999 (KpM\_2). Tässä kappaleessa esitetään tuloksista esimerkkejä, tarkoituksena näyttää LT- ja ST-tulosten tarjoamista mahdollisuuksista tienpidon suunnittelussa.

#### 5.1.1 Päälysteiden pitkän aikavälin LT-tulokset

Pitkän aikavälin tulokset antavat hyvän yhteenvedon laskentamallien ominaisuuksista. LT-tulos on halvin mahdollinen ratkaisu vuosittaisen rappeutumisen kompensoimiseen hyötymallien mukaan. Taulukossa 15 on esitetty LT-ratkaisun kustannukset, jotka yksikkökustannuksiltaan ovat loogisia, vilkkaiden teiden 7 000 €/km, vähäliikenteisten teiden 400 €/km. Optimitalanteessa 53 000 km päälystettyä verkkoa voitaisiin ylläpitää noin 100 miljoonan euron vuosibudjetilla.

Taulukko 15. Päälystetyt tiet, toimenpidekustannukset pitkän aikavälin optimissa

LT Toimenpidekustannukset (M€/v)	2 ajor	High 1	KpM_2	KpL_3	KevH_4	Med_5	Low_6	Low_7
Hoito	1.1	0.7	3.2	0.9	0.9	2.3	0.9	1.0
Paikkaus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0
Pintaus	0.7	0.4	2.6	1.6	1.9	2.5	0.8	1.9
Päälystys	8.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.5	0.0	0.0
Paksu päälystys	11.7	16.3	26.4	4.0	2.0	4.8	1.3	0.0
Rakenteen parantaminen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
<b>Yhteensä (M€/v)</b>	<b>21.5</b>	<b>17.5</b>	<b>32.3</b>	<b>6.4</b>	<b>5.4</b>	<b>10.2</b>	<b>3.4</b>	<b>3.9</b>
100.6 Yksikkohinnat /t€/km)	6.6	7.0	3.0	1.9	1.3	0.8	0.5	0.4

Kuntoluokittain LT-tulokset on esitetty taulukossa 16. Rakenteellista kuntoa kuvataan SCI-muuttujan avulla, muut tavoitemuuttujat ovat tasaisuus ja maksimiurasyvyys.

Taulukko 16. Päälystetyt tiet, LT-tavoitekunto, luvut prosenttia osaverkon pituudesta.

SCI		LT								
Luokkarajat	Kantavuus	2 ajor	High 1	KpM 2	KpL 3	KevH 4	Med 5	Low 6	Low 7	
alle 70	Kantavuus 1	25.0	22.3	4.3	2.0	1.0	0.1	0.0	3.7	
70-140	Kantavuus 2	43.3	45.1	28.0	18.4	7.1	3.9	1.2	12.5	
140-230	Kantavuus 3	26.4	27.5	50.1	53.4	34.1	32.2	10.8	23.5	
230-360	Kantavuus 4	5.2	4.9	15.6	19.9	25.6	26.0	22.9	24.7	
360-550	Kantavuus 5	0.1	0.2	1.8	5.0	23.1	21.1	27.6	17.3	
yli 550	Kantavuus 6	0.0	0.0	0.2	1.3	9.0	16.8	37.3	18.2	
		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

IRI		IRI								
Kp rajat	Tasaisuus	2 ajor	High 1	KpM 2	KpL 3	KevH 4	Med 5	Low 6	Low 7	Kev rajat
alle 0.9	Tasaisuus 1	3.4	2.8	1.1	0.1	0.7	1.7	0.0	0.2	alle 1.2
0.9-1.2	Tasaisuus 2	33.6	12.4	11.3	2.2	15.3	12.7	0.0	9.1	1.2-1.7
1.2-1.7	Tasaisuus 3	47.9	51.9	39.2	7.8	21.5	6.9	0.6	30.7	1.7-2.5
1.7-2.3	Tasaisuus 4	14.4	24.7	25.6	45.9	17.8	11.6	24.7	50.7	2.4-3.4
2.3-3.4	Tasaisuus 5	0.8	7.6	19.6	41.5	42.5	35.9	72.9	9.2	3.4-4.5
yli 3.4	Tasaisuus 6	0.0	0.7	3.1	2.6	2.2	31.2	1.8	0.1	yli 4.5
		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

Max Urasyyvyys LT		Harjanteen								
Luokkarajat	Ura	2 ajor	High 1	KpM 2	KpL 3	KevH 4	Med 5	Low 6	Low 7	korkeus
alle 2 mm	Ura 1	22.8	13.8	5.9	5.4	4.8	3.2	3.1	6.2	alle 1 mm
2-3	Ura 2	67.7	29.6	18.1	12.0	14.9	12.0	17.8	20.9	1-2
3-5	Ura 3	8.4	27.9	35.7	34.5	32.3	32.7	39.2	43.7	2-5
5-9	Ura 4	1.0	19.2	30.9	44.1	43.8	40.1	38.3	28.0	5-10
9-17	Ura 5	0.2	9.3	9.2	3.9	3.6	10.1	1.6	1.1	10-22
yli 17 mm	Ura 6	0.0	0.2	0.2	0.1	0.6	2.1	0.0	0.0	yli 22 mm
		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

LT-tavoitekunto heikkenee periaatteessa liikennemäärän suhteessa. Kun tätä tavoitekuntoa verrataan nykykuntojakaumaan, nähdään millä verkolla tulisi toimenpidepolitiikkaa muuttaa.

Tienkäyttäjien kustannusten jakautuminen eri verkoille ja tasaisuusluokille on taulukossa 17. Nykytilan mukainen tienkäyttäjien vuosikustannus on 243 M€ suurempi.

Taulukko 17. Päälystetyt tiet, tienkäyttäjien kustannukset LT-optimissa

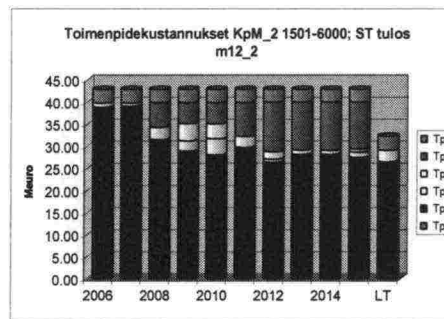
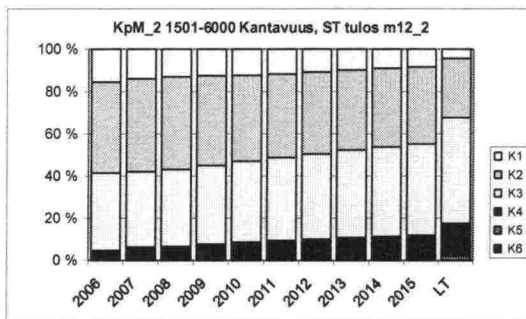
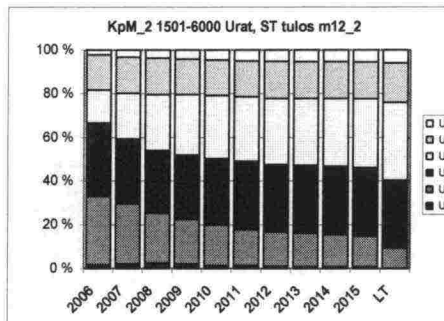
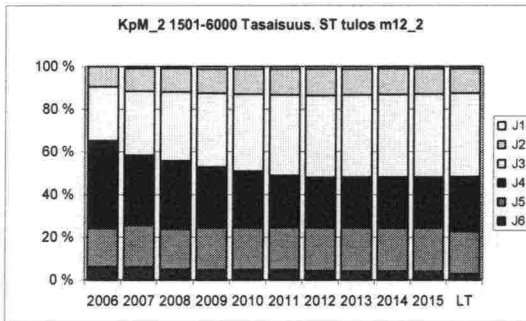
Tienkäyttäjänkustannukset		2 ajor	High 1	KpM 2	KpL 3	KevH 4	Med 5	Low 6	Low 7
Tas lk 1		165.6	64.4	46.4	0.4	5.2	17.6	0.0	0.3
Tas lk 2		1601.4	284.5	478.9	12.9	108.9	134.5	0.0	16.8
Tas lk 3		2305.2	1187.2	1633.5	45.7	152.8	72.9	1.1	56.8
Tas lk 4		563.4	567.1	1050.0	269.2	126.6	122.8	45.1	94.1
Tas lk 5		30.9	173.5	808.7	246.2	303.3	377.6	131.8	17.1
Tas lk 6		0.0	16.6	127.9	15.5	16.0	334.5	3.2	0.2
<b>Yhteensä</b>		<b>4666.4</b>	<b>2293.4</b>	<b>4145.3</b>	<b>589.9</b>	<b>712.7</b>	<b>1059.8</b>	<b>181.2</b>	<b>185.3</b>

13 834 miljoonaa euroa

## 5.1.2 Päällysteiden lyhyen aikavälin ST-tulokset

Lyhyen aikavälin kustannukset alkavat nykytilasta ja kymmenen vuoden kunto-budjetti-tavoite ennusteesta. Kuvassa 14 esitetään yksi yhteenveto ST-tuloksista keskeiset tekijät ja niiden vuosittainen muutos yhdelle sivulle. Siinä on osaverkon KpM\_2 (KVL 1500–6000) tulokset, kolmen kuntomuuttujan muutos kuntoluokittain, tienkäyttäjän kustannukset ja toimenpidekustannukset sekä kuvat tasaisuuden, urien, rakenteellisen kunnan ja kustannusten kehitymisestä tarkastelujakson aikana.

		Muuttuja	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	LT	Muuttuja
Kunto jakauma	Kant 1		15.5	14.0	12.9	12.6	12.3	11.7	10.7	9.8	9.0	8.5	4.3	K1
	Kant 2		43.1	44.0	44.0	42.3	40.7	39.4	38.6	37.9	37.2	36.4	28.0	K2
	Kant 3		36.6	35.7	36.5	37.3	38.3	39.4	40.4	41.5	42.4	43.2	49.9	K3
	Kant 4		4.6	6.0	6.2	7.3	8.1	8.8	9.4	10.0	10.5	10.9	15.6	K4
	Kant 5		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.8	K5
	Kant 6		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	K6
Tas	Tas 1		0.1	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	J1
	Tas 2		9.4	10.6	10.9	11.4	11.8	12.1	12.3	12.1	12.0	12.0	11.3	J2
	Tas 3		25.2	30.0	32.3	34.6	36.1	37.7	38.5	38.6	38.6	38.7	39.0	J3
	Tas 4		41.3	32.7	31.9	28.5	26.4	24.3	23.5	23.7	23.9	24.0	25.6	J4
	Tas 5		17.6	19.6	18.8	19.6	19.7	19.8	20.1	20.2	20.2	20.3	19.6	J5
	Tas 6		6.4	6.1	5.1	4.8	4.8	4.8	4.5	4.3	4.1	3.9	3.1	J6
Ura	Ura 1		2.3	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.3	5.3	5.4	5.4	5.9	U1
	Ura 2		16.0	16.5	16.8	16.3	16.3	16.4	16.9	16.8	16.8	16.9	18.1	U2
	Ura 3		15.1	20.8	25.6	27.7	29.0	29.6	30.3	30.7	31.0	31.4	35.5	U3
	Ura 4		33.7	29.7	28.7	29.4	30.2	31.2	30.8	31.1	31.3	31.5	30.9	U4
	Ura 5		31.4	27.6	22.8	20.5	18.5	16.3	15.8	15.2	14.6	13.9	9.2	U5
	Ura 6		1.6	2.1	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	0.9	0.9	0.8	0.2	U6
Tienkäyttäjän kustannus	Vuosikustannus		4146	4146	4146	4146	4146	4146	4146	4146	4146	4146	4135	M€/v
	Yksikkökustannus		386	386	386	386	386	386	386	386	386	386	385	€/km
Tienpitäjän kustannus	M€/v		42.9	43	43	43	43	43	43	43	43	43	32	M€/v
	per km, k€		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	€/km
	Hoito		3.12	3.14	3.02	3.01	3.01	2.97	2.90	2.92	2.91	2.92	3.21	M€/v
	Paikkaus		0.00	0.00	5.55	4.78	4.83	7.72	11.21	10.86	10.93	10.62	0.00	M€/v
	Remix		0.94	0.70	0.03	3.87	3.38	2.51	1.69	0.98	0.86	0.68	2.60	M€/v
	Päällystys		0.09	0.00	2.83	2.33	3.67	0.36	0.69	0.34	0.49	1.20	0.07	M€/v
	Paks.pääll.		38.79	39.09	31.49	28.94	28.05	29.37	26.43	27.83	27.73	27.51	26.42	M€/v
Rak.parantaminen		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	M€/v	



Kuva 14. ST-tulos, osaverkko KpM\_2, 10 vuotta.





Lingo- ja Hibris-ST-optimoinnissa on pieniä eroja, joita tarkasteltiin kappaleessa 4.4, ST-funktioiden vertailu. Kuvassa 15 on esitetty osaverkon KpM2 molempien optimointitapojen tulos, 35 M€ vuosittainen budjettirajoitus. ST-tuloksesta nähdään, miten toimenpide-tila-valinnat eroavat toisistaan eri vuosina. Kuvassa on väritettynä vihreällä ne toimenpidevalinnat, jotka ovat yli 1 miljoonan suurempia kuin verrattavassa toimenpidepolitiikassa. Vastavasti punaisella on väritetty ne valinnat, jotka ovat yli 1 miljoonan pienempiä kuin toinen politiikka.

Lingo optimoinnin tulos toimenpiteittäin

<b>Vuosikust. (Meuro/v)</b>	<b>35.4</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>32</b>
<i>yksikkökust. (keuro/km)</i>	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.0
<b>Toimenpidekust.(Meuro/v)</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>LT</b>	
Hoito	3.20	3.22	3.20	3.21	3.21	3.19	3.19	3.18	3.20	3.17	3.21	
Paikkaus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.84	1.88	2.06	1.13	2.35	0.00	
Pintaus(< 50kg/m2)	1.01	0.99	3.43	1.07	0.13	0.19	0.37	0.56	0.85	1.24	2.60	
Päällystys (50-90kg/m2)	0.09	0.16	0.19	0.13	1.73	0.29	0.13	0.13	0.19	0.52	0.07	
Paksu päällystys (> 90kg/m2)	31.12	31.05	28.59	31.01	30.05	29.92	29.85	29.49	30.05	28.14	26.42	
Rak.parantaminen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Hibris optimoinnin tulos toimenpiteittäin

<b>Vuosikust.</b>	<b>35.9</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	
<i>yksikkökust.</i>	3.3	3.4	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.0	
<b>Toimenpidekust.(Meuro/v)</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>LT</b>	
Hoito	3.19	3.22	3.22	3.21	3.17	3.19	3.17	3.18	3.18	3.18	3.21	
Paikkaus	0.00	0.00	0.00	0.30	2.19	2.10	2.83	2.46	1.99	1.80	0.00	
Pintaus(< 50kg/m2)	1.18	0.55	0.75	0.21	0.86	0.02	0.08	0.49	0.74	0.64	2.63	
Päällystys (50-90kg/m2)	0.00	0.20	0.18	0.00	1.24	0.20	0.21	0.34	0.08	1.58	0.05	
Paksu päällystys (> 90kg/m2)	31.53	31.99	31.78	32.24	28.51	30.40	29.64	29.52	30.01	28.74	26.62	
Rak.parantaminen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Kuva 15. ST-tulos, osaverkko KpM2, 10 vuotta.

Kuvasta 15 nähdään, että vuonna 3 Hibris-optimointi valitsee raskaamman toimenpiteen kuin Lingo-optimointi, joka puolestaan tekee valinnan raskaamman toimenpiteen suhteen vasta vuonna 5. Vuosina 6–9 molemmat optimointitavat suosittavat samanlaisia toimenpidevalintoja, kunnes vuonna 10 Hibris valitsee hieman raskaamman toimenpiteen.

Kunnon osalta toimenpidevalinnat saivat aikaan hieman paremman urajauman LT-tavoitteen suhteen Lingo-optimoinnilla kuin Hibris-optimoinnilla.

## 5.2 Sillat

### 5.2.1 Toimenpidekustannukset

LT-tavoitteen toimenpidekustannukset ovat tasolla 33 miljoonaa euroa vuodessa. Pienin budjetti, joka ratkesi lyhyen aikavälin optimoinnissa jokaisena tarkastelujakson (10 vuotta) vuotena, oli 116 M€ vuodessa.

Nykykunnan ylläpitämiseen tarvittava rahoitustaso oli 144 miljoonaa euroa vuodessa.

*Taulukko 20. Siltojen toimenpidekustannukset, alin kustannustaso, joka antaa hyväksyttävän ratkaisun 10 vuoden ajan. Tavoite ja vuosikustannukset osaverkoittain, (M€/v)*

Siltatyyppi	Vuosi 0	Vuosi 1	Vuosi 2	Vuosi 3	Vuosi 4	Vuosi 5	Vuosi 6	Vuosi 7	Vuosi 8	Vuosi 9	Tavoite, LT
Tb_S	26.5	32.7	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	11.8
Jb_S	7.4	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	3.4
T_S	35.4	16.9	16.9	16.2	15.3	14.2	13.2	12.1	11.0	10.0	1.8
P_S	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
K_S	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Putki_v_S	0.3	1.2	1.2	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	0.2
Putki_a_S	3.0	3.0	1.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Tb_M	22.1	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	8.5
Jb_M	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	3.1
T_M	17.1	17.1	19.9	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	2.6
P_M	4.0	3.8	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.0	0.4
K_M	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.5
Putki_v_M	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.2
Putki_a_M	14.7	14.7	14.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Summa	139	131	133	118	117	116	115	114	113	111	33

Alin budjettirajoitus siltaverkkojen optimoinnissa on rahoitustaso, jonka avulla saadaan ST-ratkaisu jokaisena vuotena. Tästä syystä esimerkiksi osaverkko T\_S vaatii ensimmäisen vuoden kustannuksiksi 2 kertaa suuremman rahoituksen kuin seuraavat vuodet. Tulokset kaikille verkoille on laskettu Lingo-optimoinnilla ja ne ovat liiteaineiston tiedostossa 08092006 *Siltamallit Hibris Lingo tulokset.xls*.

### 5.2.2 Kuntojakauma

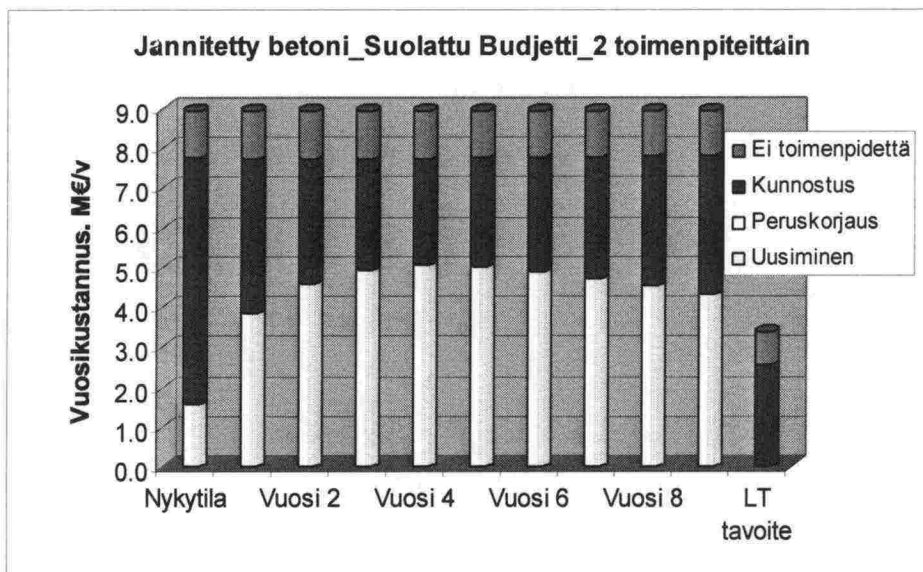
Esimerkki kuntojakauman muutoksesta osaverkolla Jb\_S kolmen budjettipolitiikan mukaan on esitetty taulukossa 21 (Budjetti 1 on 7.9 M€, Budjetti 2 on 8.9 M€ ja Budjetti 3 on 10.3 M€ vuodessa). Tavoitteena on LT-optimi.

Taulukko 21. Jb\_S osaverkon nykykunto, kunnan kehittyminen budjettirajoituksen mukaan sekä LT-tavoitteen kunto (osuus kuntoluokissa %).

Policy	Data	Kuntoluokka 5	Kuntoluokka 4	Kuntoluokka 3	Kuntoluokka 2	Kuntoluokka 1
Budjetti_1	Nykytila	25	29	37	8	1
Budjetti_1	Vuosi 2	33	21	32	12	2
Budjetti_1	Vuosi 3	38	18	28	14	3
Budjetti_1	Vuosi 4	39	18	25	14	3
Budjetti_1	Vuosi 5	38	20	24	15	3
Budjetti_1	Vuosi 6	36	23	23	15	3
Budjetti_1	Vuosi 7	35	26	22	14	3
Budjetti_1	Vuosi 8	33	28	22	14	3
Budjetti_1	Vuosi 9	32	29	21	14	3
Budjetti_1	Vuosi 10	31	30	21	14	3
Budjetti_1	LT tavoite	84	15	0	0	0
Budjetti_2	Nykytila	25	29	37	8	1
Budjetti_2	Vuosi 2	33	21	32	12	2
Budjetti_2	Vuosi 3	38	18	28	14	3
Budjetti_2	Vuosi 4	42	16	25	14	3
Budjetti_2	Vuosi 5	44	17	22	14	3
Budjetti_2	Vuosi 6	45	18	20	14	3
Budjetti_2	Vuosi 7	46	19	18	14	3
Budjetti_2	Vuosi 8	47	20	17	13	3
Budjetti_2	Vuosi 9	49	20	16	12	3
Budjetti_2	Vuosi 10	51	20	15	12	3
Budjetti_2	LT tavoite	84	15	0	0	0
Budjetti_3	Nykytila	25	29	37	8	1
Budjetti_3	Vuosi 2	33	21	33	11	2
Budjetti_3	Vuosi 3	38	18	28	13	3
Budjetti_3	Vuosi 4	42	16	25	14	3
Budjetti_3	Vuosi 5	45	16	22	14	3
Budjetti_3	Vuosi 6	48	16	19	14	3
Budjetti_3	Vuosi 7	50	16	17	14	3
Budjetti_3	Vuosi 8	53	16	15	13	3
Budjetti_3	Vuosi 9	55	16	14	12	3
Budjetti_3	Vuosi 10	58	17	12	11	3
Budjetti_3	LT tavoite	84	15	0	0	0

Rahoituksen lisääminen aikaansaa positiivisen kuntomuutoksen 10 vuoden aikana.

Taulukon 21 budjettivaihtoehto 2 (8.9 M€/v) mukaiset toimenpiteet ja kustannukset vuosittain on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Vuosittainen toimenpidesuositus osaverkolla Jb\_S, M€/v.

### 5.2.3 Havaintoja siltamallien LT-optimointiratkaisusta

Koska selvityksessä käytetyissä siltamalleissa hyötykomponentti on nolla, optimointi muuttuu halvimman sallitun ratkaisun etsimiseksi. Hyvä esimerkki tästä on LT-tulos osaverkolla Suolatut teräsbetonisillat (Tb\_S). Osaverkon pitkän aikavälin tavoitepolitiikaksi muodostui ratkaisu:

- Parhaassa kuntoluokassa (KL5) suositeltava toimenpide on "ei tehdä mitään" ja silloista siinä tulee olla 84 %.
- Kuntoluokassa 4 toimenpidesuositus on kunnostus, jota tehdään 16 % verkosta.

Ratkaisu on hyvin luonnollinen kun tarkastellaan lähtöaineistoa:

Kuntoluokassa 5 on sallittu toimenpide ainoastaan "ei tehdä mitään", joka siirtää noin 6 % sillastosta kuntoluokkaan 4.

Kuntoluokassa 4 on puolestaan sallittuina toimenpiteinä "ei tehdä mitään" ja kunnostus, joista ensin mainittu aiheuttaa, että 9 % sillastosta siirtyy kuntoluokkaan 3. Vastaavasti kunnostus siirtää 33 % KL4 olevista sillastosta kuntoluokkaan 5, loput pysyvät kuntoluokassa 4.

Toimenpiteenä kunnostus luokassa 4 on hyvin tehokas ja kustannuksiltaan ratkaisu on edullisin, koska käytämme pienimpiä mahdollisia yksikkökustannuksia ("ei tehdä mitään" toimenpiteen hintaa parhaassa luokassa ja kunnostusta sille edullisimmassa luokassa). Koska siltoja on 1 130 000 m<sup>2</sup>, kuntoluokan 5 kustannukseksi tulee 2.8 miljoonaa € vuodessa ja kuntoluokan 4 kustannus on 9.2 miljoonaa € vuodessa (16.2 % \* 1 130 000 \* 50 €/m<sup>2</sup> = 9.2 M€/vuosi). Yhteensä LT-ratkaisun hinta on 11.8 M€ vuodessa. Kaikki muut ratkaisut ovat tätä kalliimpia näiden mallien mukaan.

Jos kuntoluokassa 4 suositeltaisiin "ei tehdä mitään toimenpidettä" joudutaan kuntoluokkaan 3, jossa kustannukset ovat suurempia. Tähän esimerkkiin liittyvät lähtöarvot ovat taulukossa 22.

Taulukko 22. Suolatun teräsbetonisillan, TB\_s, LT-optimoinnin tulos ja ratkaisun siirtotodennäköisyydet.

Malli_tunnus	Toimenpide	Kuntoluokka	LT	STATEIN	STATEOUT	Todennakoisyys
Tb_S	Hoito	5	83,8	5	5	93,66
Tb_S	Kunnostus	5	0	5	4	6,34
Tb_S	Peruskorjaus	5	0			
Tb_S	Uusiminen	5	0			
Tb_S	Hoito	4	0	4	5	33,43
Tb_S	Kunnostus	4	16,2	4	4	66,57
Tb_S	Peruskorjaus	4	0	4	3	0
Tb_S	Uusiminen	4	0	4	2	0
Tb_S	Hoito	3	0	4	1	0
Tb_S	Kunnostus	3	0			
Tb_S	Peruskorjaus	3	0			
Tb_S	Uusiminen	3	0			
Tb_S	Hoito	2	0			
Tb_S	Kunnostus	2	0			
Tb_S	Peruskorjaus	2	0			
Tb_S	Uusiminen	2	0			
Tb_S	Hoito	1	0			
Tb_S	Kunnostus	1	0			
Tb_S	Peruskorjaus	1	0			
Tb_S	Uusiminen	1	0			

### 5.2.4 Havaintoja siltamallien ST-optimointiratkaisusta

Vastaavalla tavalla tarkastellaan ST-ratkaisun muodostumista osaverkolla Jb\_S. Lähtökohtana on nykykunnan jakauma eri kuntoluokkiin. Taulukossa 23 on sallitut toimenpiteet esitetty taustaväriin avulla. Nykytila-sarakkeesta nähdään, että siltoja on kaikissa kuntoluokissa. ST-optimointifunktion tavoitteena on kuntoeron minimointi annetun budjettirajoituksen mukaan (esimerkissä käytetään 9 M€ budjettirajoitusta).

Budjettia käytetään pienimmästä kustannuksesta alkaen eli jokaiseen nykytilaan lasketaan alin sallittu kustannus. Esimerkiksi kuntoluokassa 1 on 0,8 % sillastosta, joten halvin sallittu toimenpide on peruskorjaus 600 €/m<sup>2</sup> eli 0,8 % \* 330 000 m<sup>2</sup> \* 600 €/m<sup>2</sup> eli 1,5 M€/v. Vastaavalla tavalla budjettirajoitusta käytetään halvimman toimenpiteen mukaan. Jos rahaa on jäljellä budjettirajoituksessa, suositukseen tulee mukaan tehokkain toimenpide. Tämä on kuntoluokassa 3 tehtävä kunnostus, jonka vaikutus on taulukossa 24.

Taulukko 23. Suolaturun, jännitetyn teräsbetonisillan ST- ja LT-optimoinnin tulos.

Kunto- luokka	Toimenpide	Hinta	Nykytila	Vuosi 1	Vuosi 2	Vuosi 8	Vuosi 9	LT
5	Hoito	3	24,8	24,4	23,7	19,8	19,3	84,3
5	Kunnostus	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	Peruskorjaus	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	Uusiminen	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Hoito	3	28,7	34,2	37,9	50,0	51,6	0,0
4	Kunnostus	50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4
4	Peruskorjaus	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Uusiminen	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Hoito	5	25,0	21,7	19,1	12,0	11,0	0,0
3	Kunnostus	150	12,5	7,8	6,3	6,6	7,0	0,0
3	Peruskorjaus	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Uusiminen	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Hoito	8	8,3	9,9	10,7	9,3	8,8	0,0
2	Kunnostus	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Peruskorjaus	550	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Uusiminen	1500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	Hoito	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	Kunnostus	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	Peruskorjaus	600	0,8	1,9	2,3	2,3	2,2	0,0
1	Uusiminen	1500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Taulukko 24. Kuntoluokassa 3 tehtävän kunnostustoimenpiteen vaikutus, siirtodennäköisyydet (%).

Toimenpide	Kuntoluokka	siirtyä t+1
Kunnostus	5	8,6
Kunnostus	4	48,7
Kunnostus	3	42,7

Toimenpiteen vaikutus on hyvä, 9 % kuntoluokkaan 5 ja 49 % kuntoluokkaan 4, loput pysyvät paikallaan, mitään ei heikkene.

Kuten tuloksista nähdään, tämä 9 M€ vuosibudjetti ei kuitenkaan riitä kompensoimaan kuntomuutosta: kuntoluokan 1 ja 2 osuus lisääntyy ja kuntoluokka 5:n osuus vähenee. Tämä puolestaan aiheuttaa, että alimmassa kuntoluokassa käytettävä rahamäärä lisääntyy, koska sitä on pakko käyttää toimenpiteeseen peruskorjaus.

## 6 SUOSITUKSET

### 6.1 Lähtötietojen käsittelyn muutokset

Lähtötietojen mallien muodostaminen (tietojen yhdistäminen halutun logiikan mukaan) on pääosin toteutettu Hibriksen ulkopuolella. Tienkäyttäjien kustannusten osalta laskenta on kuitenkin nykyisin sijoitettu Hibriksen osaksi. Suositeltavana muutoksena tähän on, että myös tienkäyttäjien kustannusten laskenta toteutetaan Hibriksen tietokannan ulkopuolella.

Erillinen datasovellus lähtötietojen siirtämiseksi Hibris-tietokantaan ei ole oikea tapa toteuttaa tätä työvaihetta, koska sen ajan tasalla pitäminen tulee käyttötärpeeseen nähden suhteettoman kalliiksi, varsinkin kun Oraclen omat työkalut tekevät tämän työvaiheen hyvin. Suositeltava muutos on luopua datasovelluksesta ja käyttää tietokannan omia työkaluja lähtötietojen syöttöön. Näin käytännössä jo toimitaankin.

### 6.2 Optimointifunktion muutokset

ST-funktion duaalin puuttuminen vaikuttaa hieman tuloksiin, mutta ei ratkaisevasti muuta kustannuksia tai kuntotilan kehityssennustetta. Rajatapauksissa ST-funktion duaalin avulla löydetään useammin ratkaisu vuosittaiselle optimointitulokselle eli optimointi onnistuu paremmin kuin ilman duaaleja toimitaessa. Suositeltavaa on liittää duaalin käyttö ST-analyysiin.

Nykyiselle laskentatavalle on olemassa vaihtoehto, "Lingo-optimointi", joka olisi suositeltavaa yhdistää analyysiin. Tämä voidaan toteuttaa liittämällä Lingo-optimointi osaksi Hibris-analyysiä. Tämän vaihtoehdon lisäetuna on uusien optimointifunktioiden kehittämisen ja testaamisen helpottuminen sen vuoksi, että Lingo-optimoinnissa optimointifunktiot kutsutaan erillisestä ohjaustiedostosta, jota voidaan editoida normaalisti ilman hankalaa ohjelmointityötä.

### 6.3 Tietotekniset ratkaisut

Hibriksen käyttöön liittyvä Web-käyttöliittymä (Oraclen Web Client-sovellus) on hankalakäyttöinen ja hidas sovelluksen teknisestä ratkaisusta johtuen. Hankalakäyttöisyyteen vaikuttaa myös nykyisen palvelimen toimintahäiriöt (elokuussa 2006).

Tiehallinnon valitsemat tietotekniset ratkaisut noudattavat periaatetta keskitetyistä tietokannoista, niitä hyväksikäyttävistä sovelluksista. Käyttöliittymä toteutetaan usein selainpohjaisesti. Hibriksen toteutus vastasi tätä mallia, mutta sen ohjelmointia haittasi toteutuksen aikaisten käytettävissä olevien teknisten ratkaisujen puutteellisuus. Tämän vuoksi Hibriksen käyttöliittymän uudistaminen on mahdollista toteuttaa nykyistä tietokantaa ja ohjelmistoa hyväksikäyttäen.

Hibris optimointituloksen verifointi ei ole mahdollista, koska Lindon tuottamia välituloksia ei talleteta tietokantaan. Tämän vuoksi mallien kehittämiseen

liittyviä välituloksia ei voi tarkastella. Samoin laskennan virheitä ja eroavaisuuksia joudutaan arvioimaan lopputuloksista, joista ei nähdä optimointipaiketin tuottamaa informaatiota. Suosituksena on luopua nykyisestä käyttöliittymästä ja tarvittavien valintojen toteuttaminen yleisiin standardeihin perustuvan teknisen toteutuksen avulla. Tämä tarkoittaa tiehallinnossa nykyisin käytettävien tietoteknisten ratkaisujen soveltamista Hibriksen käyttöliittymänsä. Tästä esimerkkinä on java-ohjelmoinnin avulla toteutettu raportointi. Toinen suositus on, että Lindo-optimointitulokset tallennettaisiin tietokantaan.

#### 6.4 Lähtötietoina käytettävät mallit

Tässä selvityksessä käytetyt päällyste- ja siltamallit osoittivat, että eri lähtöolettamuksin tehtyjen mallien yhdistäminen ei onnistu. Tarvitaan yksi tavoite, jota varten mallit toteutetaan yhtenä kokonaisuutena. Jos alemman verkon päällystetyillä teillä kuntomuutos ei vaikuta tienkäyttäjien kustannuksiin (kuten tässä käytetyissä malleissa), valittavaa toimenpidesuositusta ohjaavat muut tekijät kuin yhteiskuntataloudellinen optimointi. Vastaavasti siltamalleissa toimenpidevalinta menee halvimman sallitun toimenpide-tila luokituksen mukaan. Tällöin ei käytetä hyväksi verkkotason analyysin tarjoamia mahdollisuuksia eri olettamuksin tehtyjen mallien vertaamiseen.

Päällystettyjen teiden mallit tehtiin vuonna 2004 yhden vuoden mittauksen perusteella, tällä hetkellä on käytössä neljän vuoden mitattu kuntomuutos uudella mittaustekniikalla. Nämä mallit pitäisi päivittää vastaamaan nykyisiä mahdollisuuksia kunnon kuvaamiseen.

Sekä päällystettyjen teiden että siltojen malleja tulisi testata ja niillä saatavia tuloksia tulisi simuloida paljon nykyistä käytäntöä enemmän. Vasta kokonaisuus: *rappeutumismallit, toimenpidevaikutukset, kustannus- ja vaikutusmallit*, muodostavat verkkotason analyysin. Jos yksi mallikomponentti on tehty väärin perustein, ovat tulokset käyttökelvottomia.

Suositus lähtötietomallien toteutukselle on tehdä mallikehitys yhtenä kokonaisuutena eikä yksittäisen rakenteen (SOP-tiet TB-sillat) tai malliprojektin tuloksen (VOH ajokustannusprojekti) mukaan.

#### 6.5 Yhteisoptimoinnin toteuttaminen

Yhteisoptimoinnin toteutus vaatii toimenpiteistä saatavan hyödyn havainnollistamista ja selkeän hyötyfunktion kehittämistä. Päällystettyjen teiden malleissa on mahdollista toteuttaa yhteisoptimointi yhteneväisillä yhteiskuntataloudellisilla kriteereillä, mutta tässä tapauksessa ongelmat ovat nykyisissä hyötymalleissa, ei laskentamenettelyssä. Vasta kun jokaiselle osaverkolle on olemassa tai sovittavissa hyötyjä, joita voidaan verrata keskenään, on mahdollista tehdä yhteisoptimointia. Esimerkiksi kuntotieto voisi olla yhteinen tekijä eri osaverkkojen välisen toimenpidetarpeen arviointiin.

Suosituksena yhteisoptimoinnin osalta on, että päällystettyjen teiden ja siltojen ylläpidon yhteiskuntataloudellinen hyöty esitetään mahdollisimman selkeästi: Miksi ylläpidettäviltä teiltä ja silloilta halutaan hyvää kuntoa?

## 6.6 Tulosten raportoinnin kehittäminen

Nykyinen kappaleessa 1.1.3 esitetty raportointisovellus tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden tulosten tarkasteluun, jos mallirakenne pysyy vakiona.

Rajahyötyanalyysin raportointi on suositeltava raportti, jota Tiehallinto ei ole käyttänyt verkkotason analyysin tuloksissa.

Hibris raportoinnin kehittäminen tulee ajankohtaiseksi siinä vaiheessa, kun tulokset ovat yleisesti hyväksyttäviä ja käytössä. Tällä hetkellä ongelmina ovat analyysin lähtökohtana olevat mallit ja niiden rakenne.

## 6.7 Yhteensovittaminen PMS Pro-ohjelmiston kanssa

Verkkotason analyysin suositukset olivat osa PMS Pro:n lähtötietoja 1990-luvulla. Niitä ei kuitenkaan pidetty hyödyllisinä, joten ne poistettiin ohjelmistosta. Tätä taustaa vasten nykyiseen PMS Pro -versioon ei tarvita suositusta Hibris-tuloksista, varsinkin kun Hibriksen lähtötietomallit vaativat kehittämistä.

Nykytilan luokittelu Hibris-analyysiin tehdään PMS Pro:lla tehdyn ennusteen ja toteutettujen toimenpiteiden avulla. Luokittelua ei tarvitse toteuttaa osana PMS Pro:ta vaan se tehdään kuntorekisteriä hyödyntävien rutiinien avulla.

Siinä vaiheessa, kun uutta PMS Pro-versiota suunnitellaan, tulee harkita miten verkkotason suositusta voitaisiin hyödyntää päällysteohjelmaa suunniteltaessa. Tähän on olemassa valmis ja varsin käyttökelpoinen malli vuosittaisen toimenpide-tila -suosituksen kohdistamisesta nykykuntoiselle tiepiirin verkolla.



## 7 KÄYTTÖÖNOTTOSUUNNITELMA

### 7.1 Toiminnan organisoiminen

Satunnaisten kehitysprojektien kohteena ollut verkkotason analyysi on tällä hetkellä ajautunut tilaan, jossa sen avulla ei saada tarvittavia tuloksia. Verkkotason analyysin ylläpitäminen vaatii vastuun ja resurssien kohdistamisen siten, että pitkäjänteinen analyysin ylläpito ja kehittäminen on mahdollista. Tarvittava resurssitarve on vuositasolla noin 1–4 henkilötyövuotta, jolla voidaan hallita 14 000 sillan ja 53 000 km tieverkon kuntokehitystä ja tehostaa yli 100 miljoonan euron vuotuisen budjetin käyttöä. Suosituksena on, että analyysiin pitäisi käyttää yhtä paljon resursseja kuin tiestötietojen tai siltatiedon keräämiseen.

### 7.2 Mallikehitys

Tieverkkotasolla tehtävää strategista analyysiä varten tarvitaan mallikehitystä jatkuvasti kaikille rakenteille ja muuttujille. Hibris-analyysi tuottaa taustatietoa toiminnansuunnitteluun, ei yhtä ratkaisua toimintapolitiikaksi.

Välttämättömät muutostarpeet malleissa ovat:

1. Hyötymallien uudelleen ajattelu verkkotason analyysin tarpeiden mukaan. Hyödyksi on mahdollista liittää myös ei rahamääräisiä hyötyjä rakenteiden ylläpidon perusteeksi.
2. Toteuttaa mallikehitys yhtenä kokonaisuutena sekä päällysteille että silloille samoilla lähtöoletuksilla, esimerkiksi kuntoluokituksen osalta: *toimenpidevaikutukset, rappeutumis-, kustannus- ja vaikutusmallit*

Päällystetyt tiedot:

3. Uusien kuntomittausten mukaanotto ikäkäyttäytymisen mallintamiseen. Samalla voidaan aloittaa uuden vauriomuuttujan (vaurio-osuus) mallinnus.
4. Mallirakenteen muuttaminen uusien toimintalinjojen valintojen mukaisesti.

Sillat

5. Siltamalleja tulisi kehittää vastaamaan analyysin tarjoamia mahdollisuuksia hyötyjen (kunnosta tai sijainnista aiheutuvat hyödyt ja haitat) ja toimenpidekustannusten laskennassa.

### 7.3 Ohjelmistokehitys

Sovelluksen suhteen nykyisen Hibris-version käyttöliittymä tulee toteuttaa nykyistä helppokäyttöisempänä. Nykyistä Oracle tietokantaa on mahdollista käyttää jatkossakin, mutta siihen on suositeltavaa lisätä uusia ominaisuuksia, joista tärkeimpiä ovat:

1. Lindo-optimoinnin välitulosten tallentaminen (pieni muutos)
2. Tienkäyttäjän kustannusmallien käsittelyn yksinkertaistaminen (pieni muutos)
3. Lingo-optimoinnin integrointi Hibrikseen, tuo mukanaan duaalin hyväksikäyttömahdollisuuden ST-optimointiin

## KIRJALLISUUTTA

- /1/ 100 Gen Oy, Finnra, SNRA (2002); TeST-of Optimization, Tiehallinnon sisäinen selvitys
- /2/ Inframan Oy (2004); Hibriksen silta-analyysit, Tiehallinnon sisäinen selvitys
- /3/ Inframan Oy (2005); Hibris datasovellus, Tiehallinnon sisäinen selvitys
- /4/ Inframan Oy, (2005); HIBRIS analyysisovelluksen optimoinnin optimointimenetelmät, ohjelmiston dokumentointia (9.2005)
- /5/ Inframan Oy, (2004); HIBRIS analyysisovelluksen systeemidokumentti, Optimointimenetelmät, ohjelmiston suunnitteludokumentteja (12.5.2004)
- /6/ Simsoft Oy (2004); Hibris raportoinnin pilotointi
- /7/ VOH 1.10 (2005); Palvelutasomittausten uusien tunnuslukujen käyttöönotto ja hyödyntäminen, Tiehallinnon selvityksiä 50/2005
- /8/ VOH 2.10 (2005) Ristikartano, Spoof, Räsänen, Malmivuo; Ajokustannusten kuntoriippuvuus päällystetyillä teillä ja sorateilla, Tiehallinnon selvityksiä 53/2005.
- /9/ VOH 2.2 (2006) Tikka Kimmo, Äijö Juha, 100 Gen Oy; Päällystettyjen teiden mallien kehittäminen, Verkkotason analyysit, Tiehallinnon sisäinen selvitys.



VH

ISSN 1459-1553  
ISBN 978-951-803-878-1  
TIEH 3201050-v