

Optimoinnin käyttö tienpidossa

Sovelluskohteita ohjauksessa, suunnittelussa ja
hankinnassa

Tiehallinnon selvityksiä 15/2007

17/2007

Optimoinnin käyttö tienpidossa

**Sovelluskohteita ohjauksessa, suunnittelussa ja
hankinnassa**

Tiehallinnon selvityksiä 17/2007

Tiehallinto
Helsinki 2007

Verkkajulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)

ISSN 1459-1553

ISBN 978-951-803-780-7

TIEH 3201043-v

TIEHALLINTO
Asiantuntijapalvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 0204 22 11

Jaakko Dietrich, Vesa Männistö: Optimoinnin käyttö tienpidossa, sovelluskohteita ohjauksessa, suunnittelussa ja hankinnassa. Helsinki 2007. Tiehallinto, asiantuntijapalvelut. Tiehallinnon selvityksiä 17/2007, 48 s. + liitt. 3 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-780-7, TIEH 3201043-v .

Asiasanat: tienpito, omaisuus, päätöksenteko, ohjaus, kustannukset, rahoitus, kunnossapito, liikenneturvallisuus, hankinta

Aiheluokka: 01

TIIVISTELMÄ

Päätöksenteko on keskeinen osa väyläomaisuuden hallintaa. Päätöksentekoprosesseja tehostamalla voidaan vaikuttaa suoraan toiminnan tehokkuuteen, vaikuttavuuteen ja kustannuksiin.

Eräs tapa tehostaa päätöksentekoa ja parantaa päätösten laatua on käyttää apuna optimointia. Optimointimenetelmien hyödyntämismahdollisuudet ovat varsin monipuoliset ja niitä sovelletaan laajasti eri hallinnon- ja teollisuudenaloilla. Sekä suomalaisissa, että kansainvälisissä julkaisuissa on raportoitu esimerkkejä, joissa optimointia on sovellettu myös erilaisissa tienpidon suunnitteluun, ohjelmointiin ja hankintaan liittyvissä päätöksentekotilanteissa. Tiehallinnon päätöksentekoprosesseissa optimointia sovelletaan systemaattisesti lähinnä vain päällystettyjen teiden ja siltojen verkkotason hallinnassa. Lisäksi monitavoitteista optimointia on testattu ohjelmointitasolla kohteiden valinnassa ja suunnittelutasolla tiepiirin tienpidon tuotteiden välisessä rahanjaossa. Kokeilujen tulokset ovat olleet varsin lupaavia.

Tässä työssä on tarkasteltu optimoinnin käyttöä päätöksenteon tukena ja erityisesti optimointimenetelmien hyödyntämismahdollisuuksia Tiehallinnossa, tienpidon ohjaukseen, suunnitteluun ja hankintaan liittyvissä päätöksentekotilanteissa. Työssä on tunnistettu useita potentiaalisia sovelluskohteita, joiden osalta on arvioitu optimoinnilla mahdollisesti saavutettavia hyötyjä ja optimointimallien toteutukseen liittyviä keskeisiä tekijöitä ja haasteita.

Optimointimallien kehittämiskustannukset tienpidon ohjauksessa, suunnittelussa ja hankinnassa ovat pieniä päätöksenteon kohteena oleviin rahamääriin ja potentiaalsiin säästöihin verrattuna. Tärkeimmät optimoinnilla saavutettavat hyödyt mahdollisten säästöjen lisäksi ovat päätösten laadun parantuminen, systemaattinen ja strukturoitu lähestymistapa, päätökseen vaikuttavien tekijöiden ja ilmiöiden selventäminen sekä päätöksenteon läpinäkyvyyden lisääminen. Optimointimenetelmien soveltamisen keskeiset haasteet taas liittyvät toimintatapojen muutokseen ja eri alojen asiantuntijoiden yhteistyöhön päätösongelmien mallinnusvaiheessa. Huomattavaa on lisäksi, että mallien luominen ja validointi vaativat huomattavasti päätöksentekijöiden ja asiantuntijoiden resursseja, aikaa ja pitkäjänteistä sitoutumista.

Yleisesti ottaen optimointimenetelmien käyttö on suositeltavaa tilanteissa, joissa päätösongelmat ovat monimutkaisia tai niihin liittyy epävarmuutta, vaihtoehtojen tarkastelu sisältää paljon laskentaa jota ei voida tehdä käsityönä, päätöksistä aiheutuva tappio tai hyöty on huomattava, tai päätöksenteon läpinäkyvyys on tärkeää. Etenkin tienpidon strategia- ja ohjaustasoilla päätöksillä on suuri vaikuttavuus ja optimointimalleilla saavutettavat potentiaaliset säästöt ja toiminnan tehostuminen ovat siten huomattavia.

Työssä tehdyn tarkastelun perusteella suositeltavia optimointimenetelmien sovelluskohteita tienpidossa ovat mm. rahanjako tienpidon eri tuotteille, kunnossapitokohteiden valinta, liikenneturvallisuushankkeiden valinta ja tarjousten arvostelu.

Jaakko Dietrich, Vesa Männistö: Användning av optimering inom väghållning, tillämpningsobjekt inom styrning, programmering på nätverksnivå och anskaffning. Helsingfors 2007. Vägförvaltningen, expertenheten. Vägförvaltningens utredningar 17/2007, 48 s. + bilagor 3 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-780-7, TIEH 3201043-v.

Nyckelord: väghållning, trafikledsegendom, beslutsfattande, styrning, kostnad, finansiering, underhåll, trafiksäkerhet, anskaffning

SAMMANFATTNING

Beslutsfattandet är en central del av styrning av vägegendom. Genom att effektivisera beslutsfattningsprocessen kan man direkt påverka verksamhetens effektivitet, förmågan att påverka och kostnader.

Ett sätt att effektivisera beslutsfattandet och förbättra beslutens kvalitet är att använda optimering som hjälpmedel. Möjligheterna med att utnyttja optimeringsmetoderna är väldigt mångsidiga och de tillämpas brett i olika styrnings- och industribranscher. I både finländska och utländska rapporter finns exempel där optimering även har tillämpats i beslutsfattningssituationer gällande planering av väghållning, programmering och upphandling. I Vägförvaltningens process gällande beslutsfattning har optimering tillämpats systematiskt främst vid styrning av nätnivåns belagda vägar och broar. Dessutom har multi-måloptimering testats på programmeringsnivå vid objektsval och på planeringsnivå vid fördelning av ekonomiska resurser inom vägdistriktens väghållningsprodukter. Resultaten av försöken har varit synnerligen lovande.

I detta arbete har användning av optimering undersökts som stöd för beslutsfattande och speciellt optimeringsmetodernas möjligheter vid Vägförvaltningen, styrning av väghållning och i styrnings- och upphandlingsprocesser. I arbetet finns identifierat många potentiella tillämpningsområden för vilka det uppskattats möjliga fördelar man kan nå och gällande förverkligandet av optimeringsmodellerna centrala faktorer och utmaningar.

Optimeringsmodellernas utvecklingskostnader i väghållningens styrning, planering och anskaffning är relativt små i förhållande till penningmängden och möjliga inbesparningar som omfattar beslutprocessens objekt. Förutom möjliga inbesparningar är de viktigaste fördelarna som uppnås med optimering förbättring av beslutens kvalitet, en systematisk och strukturerad approach, förtydligande av faktorer och fenomen som berör besluten och förhöjning av beslutsfattandets genomskinlighet. Optimeringsmetodernas främsta utmaningar gäller förändring av handlingssätten och olika branschers experters samarbete i beslutsproblemens modelleringsskede. Det bör även observeras att skapandet av modellerna och valideringen kräver stora resurser, tid och långvarig förpliktelse av beslutsfattarna och experterna.

Allmänt taget är optimeringsmetoder att rekommendera i situationer då beslutsproblemen är krångliga eller om de förknippas med osäkerhet, förlust i samband med besluten, fördelarna är betydande eller beslutets genomskinlighet är viktig. Speciellt beslut på väghållningens strategi- och styρνivå har stor förmåga att påverka och de potentiella inbesparningarna och effektiviseringen man kan uppnå med optimeringsmodellerna är således märkbara.

På basis av undersökningen i samband med arbetet är rekommenderbara tillämpningsområden av optimeringsmetoder bl.a. fördelning av ekonomiska resurser för väghållningens olika produkter, val av underhållningsobjekt, val av anskaffningsobjekt gällande trafiksäkerhet och utvärdering av anbud.

Jaakko Dietrich, Vesa Männistö: The use of optimization in road management, applications in management, network level programming and procurement. Helsinki 2007. Finnish Road Administration. Finnra reports 17/2007, 48 p. + app. 3 p. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-780-7, TIEH 3201043-v.

Keywords: road management, road asset, decision-making, costs, financing, maintenance, road safety, procurement

SUMMARY

Decision-making is an essential part of the road asset management. By rationalising the decision-making processes it is possible to affect directly to the efficiency and the costs of the operation.

One way to rationalize the decision-making and to improve the quality of the decisions is to use optimization. The possible uses of optimization are diversified and it is applied widely in administrative sectors and in industry. Finnish and international publications have reported examples where optimization has been applied also to decision-making problems in road management planning, programming and procurement. At Finnish Road Administration, Finnra, optimization is applied systematically mainly in the network level management of paved roads and bridges. In addition, multiobjective decision-making has been tested at the programming level in project selection and at the strategic level in fund allocation. The results of the tests have been promising.

In this report, the use of optimization as a decision support tool has been discussed. Specifically, the possibilities to use optimization methods in decision-making problems related to road management planning, programming and procurement at Finnra has been examined. In the study, several possible applications of the optimization methods have been identified. With respect to these, the potential benefits and the central challenges related to implementation of the models have been considered.

The development costs of the optimization models in road management strategy, programming and procurement are small when compared with the potential cost savings and the amount of money which is to be decided upon. In addition to the potential cost savings, the most important benefits of the optimization models include: improved quality of the decisions, systematic and structured approach to problem solving, identification and clarification of the facts affecting the decisions and increased transparency of the decision-making. The central challenges of applying the optimization methods are related to the change of the way of action and procedures and the cooperation of experts in different fields of application during the modelling of the decision-making problems. In addition, the construction and validation of the models require a considerable amount of time, resources and long-span commitment of specialists and decision-makers.

In general, the use of optimization methods is recommended when the decision-making problems are complicated, uncertainty is present, the risks or potential benefits are considerable, or the transparency of the decision-making is essential. Especially at the strategy level of the road management, the possible effects of the decisions are considerable and the potential cost savings and the rationalization of the operation to be achieved by optimization are significant.

Based on this study, the recommended applications of the optimization methods in the road management are among other things: the allocation of funds to the products of the road management, the selection of safety improvement investments and bid evaluation.

ESIPUHE

Tässä työssä tarkastellaan optimointimenetelmien käyttömahdollisuuksia Tiehallinnossa, tienpidon ohjaukseen, suunnitteluun ja hankintaan liittyvissä päätöksentekotilanteissa. Potentiaalisten sovelluskohteiden osalta työssä on arvioitu optimoinnilla mahdollisesti saavutettavia hyötyjä ja toteutukseen liittyviä keskeisiä tekijöitä ja haasteita.

Selvitys on osa Tiehallinnon Väyläomaisuuden hallinnan tutkimusohjelman (VOH) projektikokonaisuutta. Työtä ohjanneeseen työryhmään on kuulunut Tiehallinnossa:

Tuomas Toivonen	Tiehallinto, työryhmän puheenjohtaja
Mikko Inkala	Tiehallinto
Juho Meriläinen	Tiehallinto
Matti Ruuti	Tiehallinto
Marja-Kaarina Söderqvist	Tiehallinto

Tämä selvityksen on laatinut Pöyry Infra Oy, jossa työhön ovat osallistuneet DI Jaakko Dietrich ja FM Vesa Männistö.

Helsingissä helmikuussa 2007

Tiehallinto
Asiantuntijapalvelut

Sisältö

1	JOHDANTO	11
2	OPTIMOINNIN KÄYTTÖ PÄÄTÖKSENTEON TUKENA	12
2.1	Yleistä	12
2.2	Päätöksenteon tukeminen optimointimalleilla	14
2.3	Milloin optimointimenetelmiä tulisi soveltaa?	17
2.4	Optimoinnin käyttöön liittyviä haasteita	18
2.5	Sovellusesimerkkejä väyläomaisuuden hallinnan alueelta	20
3	OPTIMOINTIMENETELMIEN KÄYTTÖ TIENPIDON SUUNNITTELUSSA	21
3.1	Yleistä	21
3.2	Päätöksentekotasot	21
3.3	Optimoinnin käytön nykytila	22
3.4	Optimoinnin käyttö tienpidon ohjauksessa	23
3.4.1	Rahanjako eri tuoteryhmille ja tuotteille	23
3.4.2	Rahanjako tiepiireille	24
3.5	Optimoinnin käyttö tienpidon ohjelmoinnissa	27
3.5.1	Kunnossapitokohteiden valinta	27
3.5.2	Päällystyskohteiden yhdistely ja optimipituus	29
3.5.3	Siltojen korjauskohteiden yhdistely urakoiksi	31
3.5.4	Mittausten ja tiedonkeruun määrä ja kohdentuminen	32
3.5.5	Ennustemallit	35
3.5.6	Liikenneturvallisuuden parantamishankkeet	36
3.6	Optimoinnin käyttö tienpidon hankinnassa	37
3.6.1	Alueurakoiden ja palvelusopimusurakoiden koko	37
3.6.2	Lähtötietojen määrä tarjouspyynnössä	39
3.6.3	Tarjosten arvostelu	40
3.7	Muita optimointikohteita	41
3.8	Optimointimallien soveltamisesta	42
4	YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	43
5	AIHEESEEN LIITTYVÄÄ KIRJALLISUUTTA JA LÄHTEITÄ	45
6	VIITTEET	47
7	LIITTEET	49

1 JOHDANTO

Tiestöön liittyvä väyläomaisuus on arvoltaan noin 14,5 miljardia euroa (Tiehallinto 2005b). Omaisuuden tilaa kontrolloidaan erilaisten päätöksentekoprosessien avulla, jotka ovat keskeinen osa tienpitoa. Päätöksentekoa tehostamalla voidaan vaikuttaa suoraan tienpitoon liittyvän toiminnan tehokkuuteen, vaikuttavuuteen ja kustannuksiin. Perustienpidon osalta päätökset koskevat vuosittain 550 miljoonan euron rahoituserän käyttöä (LVM 2006).

Eräs tapa tehostaa päätöksentekoprosesseja ja parantaa päätösten laatua on käyttää apuna optimointia, tai yleisemmin operaatiotutkimuksen eri menetelmiä. Tässä yhteydessä optimoinnilla tarkoitetaan matemaattisia menetelmiä, joiden avulla pyritään löytämään paras mahdollinen ratkaisu annettuun päätösongelmaan. Yleisesti ottaen tämä tarkoittaa päätökselle asetettujen tavoitteiden, kohdefunktion, maksimoimista tai minimoimista siten, että annetut rajoitusehdot täyttyvät.

Optimointimenetelmien hyödyntämismahdollisuudet ovat varsin monipuoliset ja niitä sovelletaan laajasti eri hallinnon- ja teollisuudenaloilla. Väyläomaisuuden hallinnassa optimointia käytetään lähinnä vain päällystettyjen teiden ja siltojen ylläpidon verkkotason hallinnassa. Edellä mainittujen lisäksi väyläomaisuuden hallinta käsittää lukuisan määrän muita osa-alueita, joiden päätöksentekoa voidaan mahdollisesti tukea optimoinnin avulla.

Eri optimointimenetelmien hyödyntämismahdollisuuksia väyläomaisuuden hallintaan liittyvissä päätöksissä ei ole aiemmin kartoitettu systemaattisesti. Aihepiiriin liittyvät työt rajoittuvat lähinnä vain yksittäisiin esimerkkeihin ja sovelluksiin. Päätöksenteon tehostamisen kannalta parhaiden menetelmien ja käytäntöjen omaksuminen kaikilla päätöksentekotasolla on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää.

Tämän työn tavoitteena on:

- selvittää optimoinnin mahdollisuuksia väyläomaisuuden hallinnan eri päätöksentekotilanteissa,
- arvioida eri optimointimenetelmien soveltuvuutta ja käyttökelpoisuutta tarkastelun kohteena olevissa päätöksentekotilanteissa,
- antaa tarvittaessa suosituksia optimointimenetelmien käytöstä tienpidossa,
- arvioida tärkeimpien päätöksentekotilanteiden osalta optimoinnilla potentiaalisesti saavutettavia hyötyjä.

Raportti käsittää optimoinnin käyttömahdollisuuksien arvioinnin tienpidon ohjauksessa, suunnittelussa ja hankinnassa. Investointipäätökset ja hoito rajataan tarkastelun ulkopuolelle.

2 OPTIMOINNIN KÄYTTÖ PÄÄTÖKSENTEON TUKENA

2.1 Yleistä

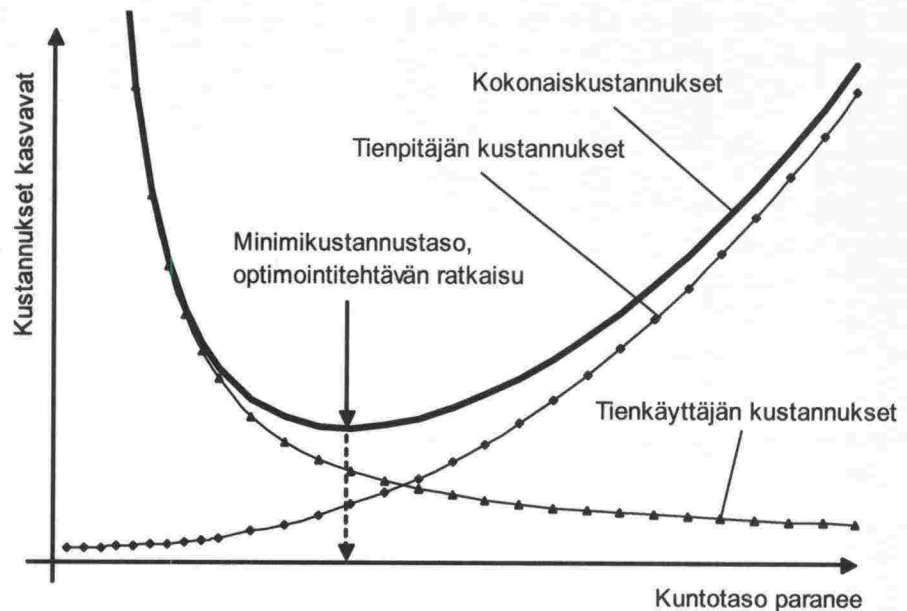
Optimoinnista on olemassa useita erilaisia määritelmiä. Tässä yhteydessä optimoinnilla käsitetään matemaattiset menetelmät joiden tavoitteena on löytää paras mahdollinen ratkaisu annettuun ongelmaan annetuissa olosuhteissa. Optimoinnissa lähtökohtana on todellisuutta kuvaava malli, optimointimalli, joka koostuu kohdefunktiosta, rajoitusehdoista ja päätösmuuttujista.

Kohdefunktio on minimoitava tai maksimoitava matemaattinen lauseke, joka kuvaa optimointimallin tuloksena saatavien ratkaisujen hyvyttä yhden tai useamman tavoitteen avulla. Tavoitteet määrittelevät päätöksentekijän tahotilan, sen mitä hän päätöksenteolla pyrkii saavuttamaan. Tavoitteet voivat olla osin ristiriitaisia, esim. minimoidaan kustannuksia ja maksimoidaan tuotteen laatua. Kohdefunktio määrittelee miten eri tavoitteita arvotetaan.

Rajoitusehtojen avulla määritetään mahdollisten ratkaisujen joukko, käypä alue. Esim. kunnossapitokohteita valittaessa ollaan kiinnostuneita vain kohteista jotka ovat annetun budjettiraamin sisällä.

Päätösmuuttujat määrittävät päätöksenteon kohteen. Päätösmuuttujat saavat joko reaali- tai kokonaislukuarvoja, jotka ovat optimointiongelman mahdollisia ratkaisuja. Esim. kohteidenvalintaongelmassa päätösmuuttujina ovat yksittäiset kohde-ehdokkaat. Kohde-ehdokas joko valitaan kunnossapito-ohjelmaan, jolloin vastaava päätösmuuttuja saa arvon yksi, tai kohde-ehdokas hylätään, jolloin vastaava päätösmuuttuja saa arvon nolla.

Optimointiongelman ratkaisu antaa sen päätösvaihtoehdon arvon, joka optimoi, maksimoi tai minimoi, kohdefunktion ja toteuttaa rajoitusehdot. Esimerkiksi tiestön verkkotason optimointimallissa kohdefunktiona ovat kokonaiskustannukset ja optimointitehtävän ratkaisu saadaan kohdassa, jossa tienkäyttäjän ja tienpitäjän kustannusten summa saa minimiarvon (kuva 1).



Kuva 1. Tiestön verkkotason optimointimallin periaatekuva.

Optimointitehtävät voidaan jakaa optimointimallin mukaan useaan eri luokkaan. Seuraavassa on esitelty yleisimpiä optimointitehtävien tyyppejä.

Kohdefunktion ja rajoitusehtojen perusteella optimointitehtävät voidaan luokitella *lineaarisiin* ja *epälineaarisiin* tehtäviin. Lineaaristen optimointitehtävien ratkaisu on yleisesti ottaen suhteellisen helppoa ja nopeaa. Käytännön sovelluksissa, varsinkin useita muuttujia ja rajoitusehtoja sisältävissä tilanteissa, päätösongelmat pyritään ratkaisemaan monasti lineaarisilla malleilla. Tiehallinnon sovelluksissa optimointimallit ovat lähes poikkeuksetta lineaarisia. Esimerkkinä mainittakoon HIPS, Hibris ja Verkko-Siha -järjestelmillä tehtävät analyysit.

Epälineaarissa optimointitehtävässä kohdefunktiolle ja rajoitusehdoille ei aseteta varsinaisia vaatimuksia. Koska mallin rakenteesta ei tehdä oletuksia, tehtävän ratkaisu vaikeutuu ja laskentaan tarvittava aika tyypillisesti kasvaa. Tiehallinnossa epälineaarisia optimointimalleja ei ole juuri käytetty ja mahdolliset sovellukset rajoittuvat lähinnä erillisanalyysihin.

Kokonaislukuoptimointimallissa ainakin yksi muuttuja saa vain kokonaisluokuarvoja. Tyypillinen esimerkki on kohteidenvalintaongelmat, joissa kohdeehdokkaat ovat päätösmuuttujina ja saavat arvon nolla tai yksi ratkaisusta riippuen.

Monitavoitteinen optimointitehtävä sisältää useita kohdefunktioita (tavoitteita). Esim. Tiehallinnon arvoihin ja tavoitteisiin perustuva rahanjako voidaan mallintaa monitavoitteisena optimointiongelmaksi, jossa mahdollisia tavoitteita ovat esim. liikenneturvallisuuden ja liikenteen toimivuuden parantaminen, asiakastyytyväisyyden lisääminen, ympäristöhaittojen vähentäminen ja tasapainoisen aluekehityksen edistäminen. Monitavoitteisen optimointitehtävän tavoitteet ovat ainakin osittain ristiriitaisia.

Verkkotehtävässä optimointimalli esitetään solmuista ja linkeistä koostuvan verkon avulla. Tehtävä voi olla lineaarinen tai epälineaarinen. Tyypillisesti malli on samaa muotoa kuin lineaarinen tehtävä ja sisältää lisäksi kokonaislukumuuttujia. Esimerkkinä verkkotehtävästä mainittakoon Tiehallinnon erikoiskuljetusjärjestelmä, ERIKU, jonka avulla voidaan ratkaista erikoiskuljetukselle sopiva lyhin tieverkon reitti annettujen alku- ja loppupisteiden välillä.

Dynaamisessa optimointimallissa tarkastellaan tilannetta, jossa tehdään joukko perättäisiä toisistaan riippuvia päätöksiä. Päätösten joukkoa voidaan kutsua päätösstrategiaksi tai ohjaukseksi. Esimerkiksi Hibriksen short-term optimointia vastaava tiestön kuntotilan lyhyen tähtäimen optimointiongelma voidaan mallintaa dynaamisena optimointitehtävänä. Ohjaussuureina, päätösmuuttujina, ovat tehtävät toimenpiteet, tavoitteena on pitkän tähtäimen verkkotason optimikuntotila ja rajoitusehtoina ovat vuosittaiset budjetit.

Stokastinen optimointitehtävä sisältää satunnaismuuttujia. Mallissa esim. päätösvaihtoehtojen seuraukset voidaan kuvata todennäköisyysjakaumien avulla. Stokastisella optimoinnilla tarkoitetaan myös optimointimalleja, joissa tehtävän ratkaisussa käytetään satunnaisuutta, esim. Monte Carlo simulointia. Tienpidossa stokastista optimointia käytetään lähinnä erillisanalyseissä. Verkkotason mallit perustuvat stokastiseen tilatodennäköisyysesitykseen, Markov-malleihin, mutta malleihin liittyvät lineaariset optimointitehtävät eivät kuitenkaan sisällä stokastiikkaa.

Approksimointitehtävissä minimoidaan epätarkan esityksen, approksimointimallin, poikkeamaa tarkasta esityksestä. Esimerkiksi, tien urautumista usean vuoden ajalla voidaan approksimoida lineaarisella mallilla, aika-urasyvyys-tasossa kulkevalla suoralla. Optimointitehtävänä on tällöin minimoida havaintojen poikkeamat uramallin ennustamista arvoista.

Edellä esitettyjen lisäksi on olemassa useita muita optimointitehtävätyyppejä ja luokittelukriteerejä, kuten konvekssi optimointi, rajoittamaton optimointi, epäsiileä optimointi, semidefiniitti optimointi, globaali optimointi jne. Lisäksi optimointitehtävät voivat kuulua useaan eri luokkaan, kuten edellä mainittu lineaarinen kokonaislukuverkkotehtävä.

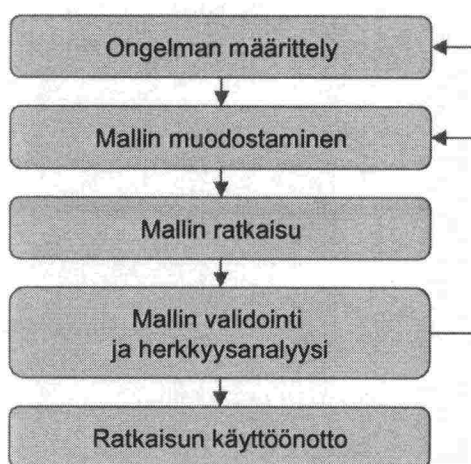
Optimointitehtävä ratkaistaan yleensä numeerisesti iteroimalla. Tehtävätyypistä riippuen saatavilla on useita erilaisia ratkaisumenetelmiä ja optimointiohjelmistoja (ks. esim. <http://plato.la.asu.edu/guide.html>, <http://www.fp.mcs.anl.gov/otc/Guide/>).

2.2 Päätöksenteon tukeminen optimointimalleilla

Optimoinnin ensisijaisena tavoitteena on löytää paras ratkaisuvaihtoehto annettuun ongelmaan. Ratkaisuehdotuksen lisäksi optimointia ja yleisesti matemaattista mallinnusta voidaan käyttää tukemaan päätöksentekoa. *Päätöksentukiprosessissa* päätösvaihtoehtoja ja tavoitteita mallintamalla luodaan viitekehys, jonka avulla päätösongelmia voidaan analysoida systemaattisesti. Huomattavaa on, että optimoinnin pyrkimyksenä ei ole luoda todellisuutta tarkkaan jäljittelevää yksityiskohtaista mallia. Päinvastoin, päätöksenteon tukemisen ja läpinäkyvyyden kannalta optimointimallin ja menetelmän tulisi olla mahdollisimman yksinkertaisia. Lisäksi ongelman ratkaisun kannalta tarkka tulos ei välttämättä ole edes oleellista.

Päätöksentukiprosessiin liittyy kolme keskeistä tahoa. *Päätöksentekijät* ovat henkilöitä tai organisaatioita jotka ovat valtuutettuja tekemään päätöksiä kyseessä olevaan päätöksenteko-ongelmaan liittyen. Useimmiten päätöksentekijät myös kantavat vastuun tehdyistä päätöksistä ja mahdollisista seurauksista. *Operaatiotutkimuksen asiantuntijoiden*, päätösanalyttikkojen tehtävänä on auttaa päätöksentekijöitä löytämään sopivimmat päätösvaihtoehdot perusteluineen, fasilitoida päätöksentekoprosessia ja vastata käytettävien päätöksentuki- ja optimointimenetelmien soveltamisesta. *Sidosryhmä* käsittää kaikki ne henkilöt ja tahot, joilla on intressejä päätöksenteko-ongelman suhteen. Sidosryhmän eräänä tärkeänä osana ovat sovellusalueen *asiantuntijat*, joilla monesti on keskeinen rooli optimointimallien konstruoinnissa ja validoinnissa.

Kuvassa 2 on esitetty päätöstukiprosessin vaiheet.



Kuva 2. Päätöstukiprosessin vaiheet.

Ongelman määrittelyssä rajataan ja määritellään päätöskonteksti, päätösvaihtoehdot, tavoitteet ja tavoitteiden mittarit, attribuutit.

Päätöskonteksti määrittää puitteet joissa päätös tehdään mm.:

- mikä on päätösongelma ja päätöksenteon kohde,
- ketkä ovat päätöksentekijöitä,
- mitkä ovat päätösongelman sidosryhmät,
- mitkä ovat päätöksen mahdolliset poliittiset, yhteiskunnalliset ja hallinnolliset vaikutukset,
- mitkä ovat päätöksentekijän arvot ja
- mitä tietoa on käytettävissä päätöksenteon tueksi.

Tavoitteiden ja päätösvaihtoehtojen generointiin on olemassa useita erilaisia menetelmiä. Menetelmiä on kuvattu esim. lähteissä Keeney (1992) ja Keeney & Raiffa (1976).

Ongelmanmäärittelyn perusteella muodostetaan optimointimalli. Jos tavoitteita on useita (monitavoitteinen optimointiongelma), tulee päätöksentekijän preferenssit määrittää eri tavoitteiden ja attribuuttien suhteen. Tavoitteiden mallintamiseen käytetään useasti arvopuuanalyysiä. Arvopuuanalyysissä

tavoitteet mallinnetaan hierarkkisesti ja päätösvaihtoehtojen kokonaisarvo saadaan tavoitteiden painotettuna summana. Päätöksentekijän preferenssien määrittämiseen tavoitteiden ja attribuuttien suhteen on olemassa useita erilaisia menetelmiä, kuten analyyttinen hierarkiaproessi, SMART, SWING jne. Menetelmiä on kuvattu esim. internetissä sivustolla http://www.mcdahut.fi/value_tree/theory/.

Mallin muodostaminen on ongelmanratkaisun haastavin osa. Tätä seuraa mallin ratkaisu, joka on yleisesti ottaen suoraviivaista. Lopuksi tulokset validoidaan tarkastelemalla saatuja ratkaisuvaihtoehtoja ja niiden herkkyyttä mallissa käytettyjen arvojen muutoksille. Tarvittaessa mallia tai ongelman määrittelyä tarkennetaan ja ongelma ratkaistaan uudestaan, kunnes lopputulos vastaa mallille asetettuja odotuksia.

Varsinaisen ongelmanratkaisun jälkeen seuraa käyttöönotto. Päätöksentekongelmasta riippuen käyttöönotto voi käsittää erilaisia toimia tulosten raportoinnista aina päätöksentekijärjestelmän implementointiin asti.

Päätöksenteon tukeminen ja päätösongelmien mallinnus ovat oppimisprosesseja, jotka tulisi toteuttaa tiiviinä asiantuntijoiden, päättäjien ja operatiotutkimuksen menetelmäasiantuntijoiden yhteistyönä. Erityisesti monimutkaisten, monitavoitteisten ongelmien osalta onkin keskeistä, että päätöksentekoprosessi voidaan toteuttaa iteratiivisesti. Tällöin tietämys lisääntyy päätöksentekoprosessin aikana, päätösten laatu paranee ja päätöksentekijät voivat helpommin kokea osallistuvansa päätöksentekoon. Päätöksentekiprosessilta odotetaan myös dynaamisuutta, nopeutta ja interaktiivisuutta. Päätöksentekijän kannalta on olennaista, että malliin tehtävien muutosten vaikutukset lopputulokseen voidaan nähdä mahdollisimman nopeasti konkreettisinä esimerkkeinä. Tällöin mallin kehittäminen ja parametrien estimointi voidaan tehdä asteittain.

Parhaan lopputuloksen saamiseksi, optimoinnin käyttö päätöksentekotilanteissa tulisi mieltää yhtenä päätöksentekimenetelmänä, ei päätöksentekijän ja asiantuntijan korvaavana laskukoneena. Koska totutut päätöksentekotavat usein sisältävät tärkeimmät päätökselle asetettavat tavoitteet ja reunaehdot, tulisi optimointimenetelmien myös myötäillä ja osin jäljitellä olemassa olevia päätöksentekotapoja.

Seuraavassa on listattu tärkeimpiä optimoinnilla saavutettavia hyötyjä. Optimointi:

- mahdollistaa saman tuloksen saavuttamisen (tienpidon tason) pienemmällä rahamäärällä,
- mahdollistaa paremman tuloksen saavuttamisen (parempaa tienpitoa) samalla rahamäärällä,
- tarjoaa systemaattisen ja strukturoidun lähestymistavan ongelmanratkaisuun,
- selventää päätökseen vaikuttavia tekijöitä,
- lisää kyseessä olevan ilmiön tuntemusta,
- lisää päätösten läpinäkyvyyttä,
- lisää päättäjien välistä yhteisymmärrystä,
- tarjoaa objektiivisen ratkaisun keskustelun pohjaksi,
- toimii yleisesti keskustelun herättäjänä ja välineenä.

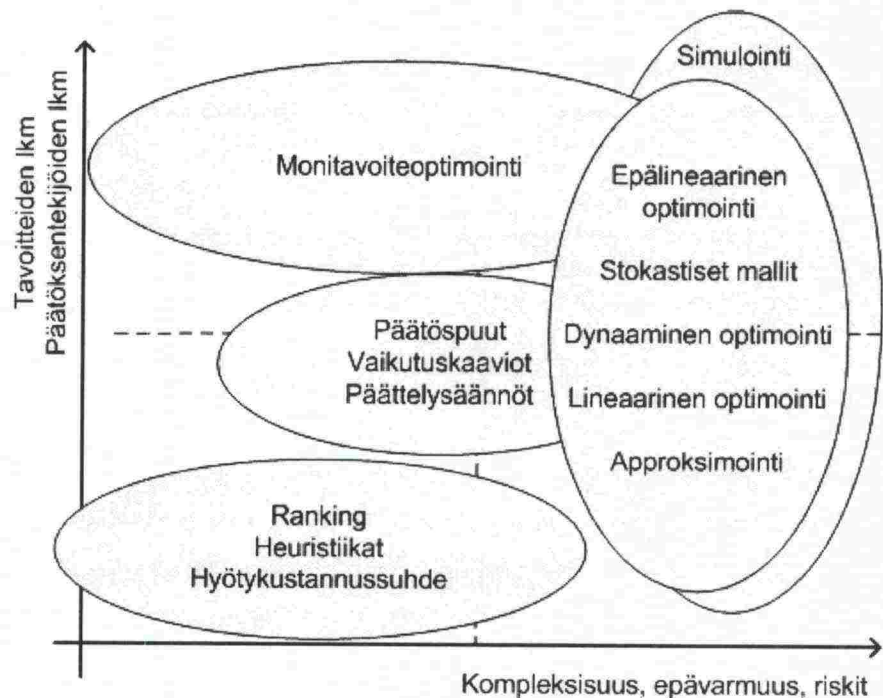
Optimoinnin hyödyt tulevat esille varsinkin tilanteissa, joissa rahaa on niukasti. Tällöin resurssien oikea kohdentaminen on erityisen tärkeää.

Useimpien sovellusten osalta optimointimallit vaativat pitkäjänteistä sitoutumista. Tyypillisesti toiminnan tehostamisesta aiheutuvat hyödyt eivät näy heti tuloksessa. Toisaalta optimointimalleihin tehtävät investoinnit ovat yleensä varsin pieniä sovellusalaan käytettyyn rahamäärään verrattuna.

2.3 Milloin optimointimenetelmiä tulisi soveltaa?

Kuvassa 3 on esitetty optimointimenetelmien ja muutamien muiden päätös- vaihtoehtojen arvioinnissa yleisesti käytettyjen menetelmien sovellusalueita päätöksenteko-ongelmien kompleksisuuden, epävarmuustekijöiden, riskien, tavoitteiden ja päätöksentekijöiden lukumäärän suhteen.

Kuvan optimointimenetelmien jako on suuntaa-antava. Käytännössä eri menetelmiä voidaan yhdistellä, esim. monitavoitteista optimointia voidaan käyttää dynaamisten ja stokastisten mallien kanssa.



Kuva 3. Viitteellinen kuva päätösvaihtoehtojen arviointiin käytettävien menetelmien sovellusalueista.

Seuraavassa on listattu eri lähestymistapojen etuja ja haittoja.

Priorisointi, ranking ja muut indekseihin perustuvat menetelmät:

- + yksinkertaisia, nopeita, helposti omaksuttavissa
- + tuttuja
- + laaja käyttöalue
- useiden epävarmuustekijöiden samanaikainen huomiointi vaikeaa
- eri tekijöiden välisten riippuvuussuhteiden huomiointi hankalaa
- eivät välttämättä anna optimaalista ratkaisua

Päätöspuut, heuristiikat:

- + voidaan ottaa huomioon monimutkaisempia päätöstilanteita ja tekijöiden välisiä riippuvuussuhteita ja rajoituksia
- + voidaan osin huomioida riskejä
- usean tavoitteen samanaikainen tarkastelu hankalaa
- eivät välttämättä anna optimaalista ratkaisua
- melko helposti omaksuttavissa, voivat vaatia totuttelua

Simulointi:

- + voidaan käyttää muiden menetelmien, myös optimoinnin kanssa
- + voidaan ottaa huomioon riskejä
- + voidaan tarkastella useita tavoitteita
- ei takaa ratkaisun optimaalisuutta
- ei ota kantaa tavoitteiden välisiin painoihin
- ei ota kantaa päätöksen perusteluihin

Optimointi:

- + optimaalinen, tarkka tulos
- + voidaan huomioida useita tavoitteita
- + soveltuu monimutkaiseen, epävarmuutta sisältäviin ongelmiin
- mallintaminen vaatii aikaa ja resursseja
- monimutkaisempi lähestymistapa, mallien käyttö vaatii perehtymistä ja totuttelua

Optimoinnin käyttö on hyödyllistä erityisesti tilanteissa, joissa

- päätösongelmat ovat monimutkaisia tai vaikeasti hahmotettavia,
- päätöstilanteeseen, seurauksiin tai päätöksentekijän mielipiteisiin liittyy epävarmuutta,
- päätöksentekijöitä on useita,
- päätösvaihtoehtoja on useita,
- päätöksen läpinäkyvyys tärkeää,
- päätöksestä aiheutuva tappio tai saavutettava hyöty on huomattava,
- päätösongelma toistuu useasti,
- halutaan luoda systemaattinen ja yhtenäinen lähestymistapa.

2.4 Optimoinnin käyttöön liittyviä haasteita

Päätösongelman matemaattinen formulointi optimointimallilla ei yksin riitä ongelman ratkaisuun varsinkin jos mallin käyttöönotto ja hyödyntäminen epäonnistuvat. Alla on lueteltu merkittävämpiä optimointimallien käyttöön ja käyttöönottoon liittyviä haasteita.

Optimointimalleihin saattaa liittyä *black box -pelkoa*. Pelätään, että päätöksenteko-ongelmaan saadaan ratkaisu laskukoneesta, jonka logiikkaa ja päätöksen perusteluita on vaikea ymmärtää. Nämä ennakoasenteet lisäävät optimointimalleihin liittyvää vastustusta ja haittaavat menetelmien käyttöönottoa ja omaksumista. Mallia ei edes yritetä ymmärtää ja saatua ratkaisua ei koeta omaksi. Päätöksentekimenetelmien omaksumisen kannalta onkin olennaista, että optimointimallit pidetään mahdollisimman yksinkertaisina ja päätöksentekijät otetaan mukaan ja sitoutetaan päätösongelman mallinnukseen alusta asti.

Erityisesti optimointiin ja päätösanalyysiin liittyen *käsitteet ovat usein vieraita päätöksentekijöille*, mikä osaltaan vaikeuttaa uusien menetelmien omaksumista. Tämän vuoksi tulee käyttää mahdollisimman paljon aihealueen omia termejä. Esim. projektiportfolion sijasta tulisi käyttää sanoja hankesalkku tai kunnostusohjelma.

Päätöksentukimenetelmien käyttöönotto edellyttää aina jossain määrin *toimintatapojen muutosta*, johon kaikki asianosaiset eivät välttämättä ole valmiita. Tämän vuoksi tarvitaan yritysjohton ja linjaorganisaation sitoutumista, tarvittaessa uusia ohjeita ja koulutusta. Optimointimallien käyttö nykyisten päätöksentekomenettelyiden rinnalla, ei korvaavana menettelynä, voi monasti edesauttaa uusien toimintatapojen omaksumista.

Optimointimallien käyttöönoton ja hyödyntämisen kannalta ongelmalliseksi saattavat tulla myös ns. *case by case -ratkaisut*, joissa pyritään ratkaisuun ongelmallisia kysymyksiä tarkoilla, yksityiskohtaisilla ja monimutkaisilla malleilla, jotka antavat tyypillisesti yksittäisiä päätössuosituksia. Näiden mallien yleinen hyödynnettävyys on monesti rajallista ja ratkaisun ymmärrettävyys saattaa kärsiä. Tämän vuoksi mallien käyttö rajoittuu helposti yksittäiseen ongelmaan ja käyttäjäkuntana on vain pieni asiantuntijajoukko. Nämä ratkaisut usein ohjaavat myös optimointimalleja koskevia mielikuvia ja rajoittavat potentiaalisia sovellusalueita.

Useita ongelma-alueita voidaan kuitenkin ratkaista tai hahmottaa yksinkertaisilla optimointimalleilla. Tarkan vastauksen sijasta voidaan käyttää suuntaa-antavaa tietoa, jota sitten tarkennetaan intuition ja asiantuntijatiedon avulla. Yleisesti ottaen näiden mallien hyödynnettävyys on parempi ja käyttökynnys pienempi kuin monimutkaisilla case-by-case -sovelluksilla.

Päätöksentekijän mieltymysten, preferenssien, mallinnukseen vaikuttavat erinäiset käyttäytymismallit, ennakoasenteet ja taipumukset, jotka voivat aiheuttaa ristiriitoja tavoitteille asetettaviin painoihin. Tavoitehierarkian muoto, tavoitteiden jakaminen osiin, tavoitteita koskevien mittareiden vaihteluvälin suuruus ja referenssipisteen valinta vaikuttavat tavoitteille asetettaviin painoihin. Esim. jos tavoitteiden painot johdetaan tarkastelemalla parannuksia tai vastaavasti menetyksiä tulos on tyypillisesti erilainen. Menetyksille annetaan tavallisesti suurempi painoarvo kuin potentiaalisille voitoille. Tavoitteiden mallinnuksessa tulisikin käyttää päätösanalyysiin perehtynyttä asiantuntijaa, jolloin ennakoasenteiden ja käyttäytymismallien vaikutus voidaan huomioida tavoitteiden painoja arvioitaessa.

Optimointimallien kehittäminen vaatii monasti huomattavan määrän asiantuntijoiden resursseja ja pitkäjänteistä sitoutumista. Jos ongelmanmäärittely ei perustu asiantuntijoiden ja päätöksentekijöiden tietämykseen saattavat tulokset olla heikkoja. Tämän vuoksi päätöksentekijöiden ja asiantuntijoiden resurssien käyttöön tulee varautua jo optimointimalleja koskevien projektien suunnitteluvaiheessa. Päätöksentekomenettelyiden tehostamisella saatavat hyödyt taas tyypillisesti realisoituvat vasta pitkän ajan kuluessa.

Optimointimallien soveltaminen vaatii myös eri aihealueiden asiantuntijoiden, kuten operaatiotutkimuksen menetelmäosaajien, matemaatikkojen ja sovellusalueiden asiantuntijoiden yhteistyötä. Yleisesti ottaen yhteistyö asiantuntijaryhmien välillä on haastavaa sillä ajattelutavat, totutut menettelyt ja käsitteistöt saattavat olla hyvinkin erilaisia.

2.5 Sovellusesimerkkejä väyläomaisuuden hallinnan alueelta

Optimointia on sovellettu laajasti eri hallinnon- ja teollisuudenaloilla. Sekä suomalaisissa, että kansainvälisissä julkaisuissa on raportoitu esimerkkejä, joissa optimointia on sovellettu myös erilaisissa väyläomaisuuden hallintaan liittyvissä päätöksentekotilanteissa. Alla on lueteltu muutamia sovelluskohteita.

- Geneettisten algoritmien käyttö tiepiirien rahanjaossa (Chan et al. 2003)
- Markov-mallien käyttö tiestön verkkotason optimoinnissa (Thompson et al. 1987, Thompson et al. 1991, Li ja Mandanat 2002)
- Monitavoiteoptimoinnin käyttö ylläpidon kohteiden valinnassa (Li ja Sinha 2004, Yi ja Sinha 1990)
- RPM-menetelmän soveltaminen päällystyskohteiden valinnassa (Liesiö et al. 2004)
- RPM-menetelmän soveltaminen siltojen korjausohjelman laatimisessa (Tiehallinto 2006a)
- Rahanjako teiden ylläpidon eri toimenpiteille (Sinha et al. 1981)
- Liikenneturvallisuuden parantamishankkeiden optimointi (Sinha et al. 1981, Pigman et al. 1976, Pal ja Sinha 1998)
- Kunnossapitokohteiden valinta riskianalyysin avulla (Paine 2004)
- Siltojen verkkotason dynaaminen optimointi (Jiang ja Sinha 1989)
- Siltojen elinkaarikustannusten optimointi (mm. Frangopol et al. 2000)

Yleisesti ottaen tutkimus on paljolti Amerikka-vetoista ja painottuu teoriaan ja menetelmäkehitykseen. Esimerkit ovat useasti irti todellisuudesta ja käytännön haasteiden ja kokemusten raportointi on vähäistä. Esimerkiksi optimointi- ja päätöksentekimenetelmien käyttäjäkokemuksia ja käytännön soveltamiseen liittyviä haasteita ei ole juuri raportoitu.

3 OPTIMOINTIMENETELMIEN KÄYTTÖ TIENPIDON SUUNNITTELUSSA

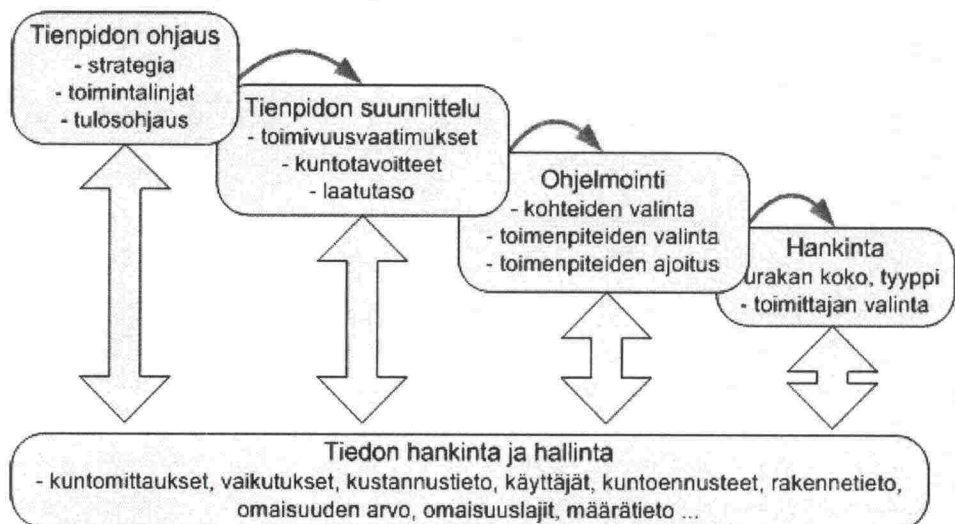
3.1 Yleistä

Seuraavassa on käyty läpi optimoinnin käyttöä väyläomaisuuden hallinnassa ensin nykykäytännön näkökulmasta ja sitten esittelemällä tärkeimpiä potentiaalisia optimoinnin sovelluskohteita tienpidon alueella. Potentiaalisten kohteiden listaus ei ole kattava, vaan esimerkkeihin on pyritty valitsemaan ensisijaisesti sovelluskohteita, joissa optimointia ei vielä käytetä, mutta optimoinnin soveltaminen on kuitenkin mahdollista ja sillä oletetaan saavutettavan huomattavia etuja.

Useissa esimerkeissä on käyty läpi kuhunkin päätöksenteko-ongelmaan soveltuvien optimointimallien periaatteita, jotka on nähty tätä työtä tehdessä erityisesti ongelman ymmärtämisen tai mallintamisen kannalta keskeisiksi. Huomattavaa on, että nämä esimerkit ovat vain eräs tapa mallintaa kyseisiä päätöksenteko-ongelmia. Useissa tapauksissa on olemassa myös muita, laskennallisesti erilaisia menetelmiä mallintaa kyseisiä päätöksentekotilanteita. Ongelmanratkaisun kannalta ei ole mitään syytä jättää näitä huomiotta tai suosia erityisesti jotain tiettyä tapaa. Kaikkien mallinnusmahdollisuuksien listaaminen eri päätöksenteko-ongelmien kohdalla ei kuitenkaan ole mielekästä eikä tämän työn puitteissa edes mahdollista tai järkevää.

Päätösongelmaan parhaiten soveltuva menetelmä riippuu monesta eri asiasta: käytettävissä olevista resursseista, asiantuntijoista, aikarajoitteista, ongelman rakenteesta, päätöskontekstista, käytettävissä olevista ratkaisimista, räätälöityjen päätöksentekisovellusten kehitysmahdollisuuksista, vaadittavasta ratkaisun tarkkuustasosta, menetelmän ja sovellusten loppukäyttäjistä jne. Eri menetelmien käyttöä tuleekin harkita tapauskohtaisesti jokaisen ongelman mallinnuksen yhteydessä erikseen.

3.2 Päätöksentekotasot



Kuva 4. Tienpidon päätöksentekotasot.

Tienpidon päätökset voidaan jakaa neljään eri päätöksentekotasoon (kuva 4). Ohjaustasolla määritetään tienpidon suuntalinjat ja strategia tekemällä päätöksiä mm. toimintalinjoista, tulosohjauksesta ja rahanjaosta. Suunnittelutasolla tarkennetaan tienpidon strategiaa asettamalla toimivuusvaatimuksia, kuntotavoitteita ja laatuvaatimuksia. Ohjelmointitasolla toteutetaan ohjaus- ja suunnittelutasolla asetettuja tienpidon suuntalinjoja ja ohjeita tekemällä päätöksiä mm. kunnossapitokohteista, toimenpiteistä ja niiden ajoituksesta. Hankintatasolla toimenpiteet pannaan täytäntöön. Hankintatasolla tyypillisiä päätöksenteon kohteita ovat toteutustapa, urakan koko, urakan tyyppi ja toimittajan valinta.

Useat tienpitoon liittyvät päätöksentekotilanteet ovat monitavoitteisia. Päätöksenteossa tulee huomioida sekä tienpitäjän, että tienkäyttäjän näkökulmat. Lähellä strategista tasoa päätösten vaikuttavuus on tyypillisesti suuri ja päätösongelmaan liittyvä epävarmuus on huomattavaa. Tästä johtuen päätökseen ja seurauksiin vaikuttavien tekijöiden tarkka mallintaminen on vaikeaa tai jopa mahdotonta.

Lähempänä hankintatasoa päätöksentekotilanteissa on tyypillisesti käytettävissä enemmän tarkkaa tietoa, päätökset koskevat pienempää osa-aluetta, yksittäisiin päätöksiin liittyvä epävarmuus ja riskit pienenevät ja tarkkojen laskentamallien konstruointi helpottuu.

3.3 Optimoinnin käytön nykytila

Optimoinnin käyttö tienpidossa on melko vähäistä ja painottuu lähinnä ohjaus- ja suunnittelutasoille. Tärkeimmät optimointia hyödyntävät järjestelmät ovat HIBRIS (Highway and BRIdge management System), HIPS (Highway Investment Programming System) ja Verkko-Siha. Järjestelmät perustuvat tilatodennäköisyysmalleihin, joiden avulla voidaan määrittää tiestön ja siltojen optimikuntotila verkkotasolla. Lisäksi voidaan laskea toimenpideehdotukset optimikuntotilan saavuttamiseksi ja tutkia eri budjettivaihtoehtojen tai toimenpidejakaumien vaikutusta kuntojakautumisen kehittymiseen. Järjestelmät käyttävät lähtötietoinaan kuntojakautumia, toimenpiteiden vaikutusmalleja, liikennetietoja, rappeutumismalleja, toimenpiteiden hintatietoja ja eri osaverkkojen määrätietoja. Mallit ovat verrattain suuria ja ratkaisussa käytetyt ohjelmistot on rakennettu kyseessä olevien ongelmien ratkaisua varten. Järjestelmien antamia optimointituloksia käytetään pääasiassa kunnossapidon rahoitustasojen suunnittelussa ja ohjauksessa. HIPS ja Verkko-Siha ovat olleet käytössä usean vuoden ajan. HIBRIS-järjestelmän käyttö on vasta aluillaan.

Tienpidon suunnittelutasolla optimointia käytetään useissa eri kohteissa esim. tienpidon toimintalinjojen määrityksessä. Optimoinnin käyttö ei kuitenkaan ole systemaattista ja se on rajoittunut lähinnä yksittäisiä ongelmia koskeviin erillisanalyysiin. Erillisanalyysissä usein käytetty optimoinnin sovellusala on approksimointi, jossa ilmiöitä pyritään mallintamaan havaintoaineiston avulla. Tästä tyypillinen esimerkki on mm. siltojen rappeutumismallit.

Ohjelmointitasolla kunnossapitokohteiden valinnassa käytetään teiden osalta PMSpro:ta ja siltojen osalta Hanke-Sihaa. Järjestelmät ovat lähinnä priorisointityökaluja ja eivät sisällä varsinaisesti optimointia. Kehityshankkeissa kohteiden valintaan on sovellettu ja testattu monitavoiteoptimointia (liite 1).

Silloilla elinkaarikustannusten tarkasteluun on kehitetty Markov-prosesseihin ja päätöspuihin perustuva laskentajärjestelmä, Elinkaari-Siha. Huomattavaa on, että Elinkaari-Siha ja varsinkin PMSpro ja Hanke-Siha tarjoavat hyvän sovellusalustan erilaisille päätöksentuki- ja optimointimenetelmille. Tarvittavat lähtötiedot ovat helposti saatavilla ja järjestelmät ovat jo käytössä osana nykyisiä päätösmenettelyitä.

Erikoiskuljetusten reittien tarkasteluun on kehitetty Eriku-järjestelmä. Järjestelmä mahdollistaa reitin optimoinnin haluttujen päätepisteiden välillä.

Hankinnassa optimointia ei ole juurikaan käytetty.

3.4 Optimoinnin käyttö tienpidon ohjauksessa

3.4.1 Rahanjako eri tuoteryhmille ja tuotteille

Nykykäytäntö

Määrärahojen jako tuotteisiin ja tuoteryhmiin tehdään pääosin Tiehallinnon tulos- ja toimintasuunnitelman, TTS, laatimisen yhteydessä. Rahanjako voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat alueurakoiden piiriin liittyvät työt, joiden rahoitus jaetaan suoraan urakkahintojen suhteessa. Toiseen ryhmään kuuluvat päällysteiden ja tierakenteiden ylläpitoa koskevat työt, joiden rahoitus jaetaan HIBRIS-järjestelmän, asiantuntija-arvioiden ja erillisanalyyysien avulla. Kolmannessa ryhmässä rahanjakoperusteet vaihtelevat tuotekohtaisesti. Yleisesti ottaen rahanjakoa perustellaan tienpidon strategian avulla varsin hajanaisesti ja päätöksenteon perusteita ja menettelyjä ei ole kaikin osin julkaistu. (Ristikartano ja Metsäranta 2006)

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Tiehallinnon strategioihin perustuva optimaalinen rahanjako tienpidon eri tuotteille.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Rahanjako on tienpidon keskeinen kysymys. Koko maan tasolla päätösongelma koskee vuosittain noin 440 M€ rahamäärää, jolla ylläpidetään 15 miljardin tieomaisuutta. Lisäksi rahanjakomalli ja rahanjaon perusteet ovat keskeinen osa tienpidon rahoitustarpeesta käytävää julkista keskustelua.

Monitavoitteiset optimointimallit mahdollistavat usean eri strategisen tavoitteen tarkastelun samanaikaisesti. Mallien avulla voidaan laskea tienpidon tavoitteista lähtevä optimaalinen rahanjako ja arvioida esim. miten tietty rahanjako eri tuotteiden välillä vaikuttaa tienpidon strategisten tavoitteiden toteutumiseen. Näin voidaan edesauttaa resurssien tehokasta käyttöä ja kohdentamista tuotteille jotka parhaiten tukevat tienpidon strategiaa. Optimointimallia voidaan lisäksi käyttää rahoitustarpeen ja rahanjaon perusteluissa osana julkista keskustelua ja perusteluviestintää. Lisäksi optimointimalleilla

voidaan perustella lisäbudjettien kohdentamista tai tarkastella rahoitustasossa tapahtuvia mahdollisia muutoksia erilaisten herkkyyksianalyysien avulla.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Monitavoiteoptimoinnin käyttöä määrärahojen jaossa tienpidon eri tuotteille on tutkittu ja testattu tiepiiritasolla projektissa VOH 4.4 Väyläomaisuuden eri osien yhtenäinen hallinta. Vastaavaa lähestymistapaa ja mallia voidaan käyttää rahanjakoa koskevan optimoinnin lähtökohtana. Tällöin päätöksentekongelma mallinnetaan monitavoitteisena lineaarisena, jatkuvana optimointiongelmaksi. Kohdefunktiona on rahanjaolle asetettujen tavoitteiden painotettu summa. Tavoitteet (3–8 kpl) mallinnetaan arvopuun avulla ja ne voidaan johtaa Tiehallinnon toimintastrategian pohjalta. Tavoitteissa voidaan huomioida esimerkiksi asioita kuten turvallisuus, asiakastyytyväisyys, ympäristö ja elinkaaritalous.

Mallin päätösmuuttujina ovat eri tuotteiden rahoitustasot. Rajoitusehtona on kokonaisbudjetti, jonka lisäksi voidaan asettaa muita rajoitusehtoja kuten tietyn kuntoluokan alittavien osuudet. Eri rahoitustasojen vaikutusta asetettujen tavoitteiden täyttymiseen voidaan arvioida yhtenäisen kuntoluokituksen, toimenpiteiden vaikutusmallien, toimenpidekustannusten ja rappeutumismallien avulla. Ongelman tarkastelu voidaan tehdä joko koko maan tasolla tai tiepiirikohtaisesti, yhdelle tai useammalle vuodelle kerrallaan. Näkökulmana voi olla joko toiminta- ja taloussuunnitelma (TTS) tai pitkän tähtäimen suunnitelma (PTS).

Mallin konstruoinnin kannalta huomattavaa on, että erityisesti lähtötietoina tarvittavat rappeutumismallit ja osin myös toimenpiteet, niiden kustannukset ja vaikutusmallit eivät ole kaikin osin suoraan saatavilla ja niihin saattaa liittyä merkittäviä epävarmuustekijöitä. Näin ollen mallissa käytetyt lähtötiedot tulee määrittää ja tarkentaa asiantuntija-arvioiden ja approksimoinnin avulla. Omaisuuslajien määrätiedot ja kuntoluokitukset sen sijaan ovat suhteellisen helposti saatavilla.

Koska tavoitteiden tarkka painottaminen on yleisesti ottaen haastavaa, tulisi malli muodostaa siten, että preferenssit voidaan ilmaista suuntaa-antavasti, esimerkiksi tavoitteiden tärkeysjärjestyksen tai osittaisen tärkeysjärjestyksen avulla. Tarvittaessa painotusta tulisi voida tarkentaa iteratiivisesti mallin validoinnin yhteydessä.

Mallin luominen ja validointi vaatii arvioilta 6–12 htkk. Osa tästä työstä on jo tehty edellä mainitussa väyläomaisuuden hallinnan tutkimushankkeessa.

3.4.2 Rahanjako tiepiireille

Nykykäytäntö

Nykykäytännön mukaan määrärahat jaetaan ensin tuotteille ja sitten tuotekohtaisesti tiepiireille. Tiepiireille tehtävän rahanjaon perusteena käytetään hoidon osalta pääasiassa alueurakkahintoja, päällysteiden ylläpidon ja tierakenteiden osalta HIBRIS-laskelmia, siltojen kohdalla päätöskriteerinä käytetään yli 30 vuotta vanhojen siltojen siltaneliöiden määrää ja varusteilla ja lait-

teilla sekä liikenneympäristön parantamistoimissa suoriteosuuksia. (Ristikartano ja Metsäranta 2006)

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Tiehallinnon strategioihin perustuva tiepiirien erityispiirteet huomioiva optimaalinen rahanjako tiepiireille.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Rahanjako on tienpidon keskeinen kysymys. Koko maan tasolla päätösongelma koskee vuosittain noin 440 M€ rahamäärää, jolla ylläpidetään 15 miljardin tieomaisuutta.

Nykyinen rahanjakomalli ei ota kaikilta osin huomioon tiepiirien erityispiirteitä. Esimerkiksi siltojen osalta, kriteerinä käytetty yli 30 vuotta vanhojen siltöjen siltaneliöiden määrä ei ota huomioon siltöjen kuntojakaumaa, rappeutumisnopeutta tai liikenteellistä merkitystä. Lisäksi rahanjaossa käytetyt yksittäiset tunnusluvut eivät ota juurikaan kantaa siihen miten tiepiireille tehtävä rahanjako toteuttaa tienpidon strategiaa kokonaisuutena eri kriteerien suhteen.

Optimointimallien avulla rahanjaossa voidaan huomioida tiepiirien erityispiirteitä ja tarkastella useita tienpidon strategisia tavoitteita samanaikaisesti. Mallien avulla voidaan laskea tienpidon tavoitteista lähtevä optimaalinen rahanjako tiepiireille ja arvioida esim. miten tietty rahanjako tiepiireille vaikuttaa tienpidon strategisten tavoitteiden toteutumiseen koko maan tasolla. Lisäksi optimointimallia voidaan käyttää rahanjaon perusteluissa osana julkista keskustelua ja malleilla voidaan perustella lisäbudjettien kohdentamista tai tarkastella rahoitustasossa tapahtuvia mahdollisia muutoksia erilaisten herkkyysanalyysien avulla.

Huomattavaa on, että nykyisessä rahanjakomallissa ei ole haluttu huomioida kuntotilaa, sillä budjetin kasvattaminen esimerkiksi huonokuntoisten siltöiden tai teiden määrän mukaan ei edesauta toiminnan tehostamista, päinvastoin. Tässä mielessä tiepiirien välinen rahanjako ja sen optimointi yksinomaan kuntotilan perusteella ei ole tavoiteltavaa. Kuntotilaan perustuvien optimointimallien avulla voidaan joka tapauksessa arvioida tiepiirien todellista rahoitustarvetta tienpidon strategioista lähtevien tavoitteiden pohjalta. Tätä tietoa voidaan tarvittaessa hyödyntää rahanjaon suunnittelussa.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Tiepiirien välisellä rahanjako-ongelmalla on useita yhtäläisyyksiä kohdassa 3.3.1 esitetyn tuotteiden välisen rahanjako-ongelman kanssa. Myös optimointimalli on mahdollista kehittää samojen periaatteiden pohjalta. Tällöin päätöksenteko-ongelma mallinnetaan monitavoitteisena lineaarisena, jatkuvana optimointiongelmaksi. Kohdefunktiona on rahanjaolle asetettujen tavoitteiden painotettu summa, jossa tavoitteet johdetaan Tiehallinnon toimintastrategian pohjalta ja mallinnetaan hierarkkisesti arvopuun avulla.

Rahanjakoa tiepiireille voidaan tarkastella joko tuotekohtaisesti tai kokonaisuutena. Tuotekohtaisessa tarkastelussa lähtökohtana ovat tuotekohtaiset

budjetit, joiden puitteissa rahanjako tehdään eri tiepiireille. Vaihtoehtoisesti tiepiirien välistä rahanjakoa voidaan tarkastella kokonaisuutena, jolloin mallissa huomioidaan kokonaisbudjetin jako sekä tuotteiden, että tiepiirien kesken. Riippumatta lähestymistavasta päätösmuuttujina ovat tiepiirien tuotekohtaiset rahoitustasot. Rajoitusehtona on budjetti, jonka lisäksi voidaan asettaa muita rajoitusehtoja kuten tietyn kuntoluokan alittavien osuudet.

Eri rahoitustasojen vaikutusta asetettujen tavoitteiden täyttymiseen voidaan arvioida samaan tapaan kuin tuotteiden välisessä rahanjako-ongelmassa: yhtenäisen kuntoluokituksen, toimenpiteiden vaikutusmallien, toimenpidenkustannusten ja rappeutumismallien avulla. Edelleen tarkastelu voidaan tehdä yhdelle tai useammalle vuodelle kerrallaan ja tavoitteiden painojen ei tarvitse olla tarkkaan määriteltyjä.

Mallin konstruoinnin yhteydessä on huomattava, että tiepiirien ja tuotteiden samanaikainen tarkastelu usean eri tavoitteen suhteen pitkällä aikavälillä kasvattaa mallin kokoa ja saattaa johtaa laskennallisiin ongelmiin. Vastavasti, tuotekohtaisessa tarkastelussa mallin koko on pienempi ja tarkkuustasoa voidaan lisätä.

Mallin luominen ja validointi vaatii arvioilta 8–14 htkk. Kehitystyössä voidaan hyödyntää VOH 4.4 Väyläomaisuuden eri osien yhtenäinen hallinta - projektissa kehitettyä optimointimallia.

3.5 Optimoinnin käyttö tienpidon ohjelmoinnissa

3.5.1 Kunnossapitokohteiden valinta

Nykykäytäntö

Kunnossapitokohteiden valinta perustuu pääasiassa eri kriteerien suhteen tehtävään priorisointiin. Siltojen korjausohjelman muodostetaan pitkälti Hanke-Sihasta saatavien tunnuslukujen perusteella, päällystyskohteiden valinnassa käytetään PMSpro-ohjelman tuottamia hanke-ehdokkaiden toimenpiteiden ajankohtia ja sorateiden runkokelirikkokohteiden valinnassa pääasiassa T&M-Sora järjestelmällä laskettavaa haittaindeksiä. Edellä mainitut järjestelmät eivät varsinaisesti sisällä optimointia.

Tyypillisesti kunnossapito-ohjelmat muodostetaan listaamalla hanke-ehdokkaat eri kriteerien mukaan tärkeysjärjestykseen ja valitsemalla listalta kunnes budjetti tulee täyteen. Koska hanke-ehdokkaita on useita ja valinnassa pyritään huomioimaan listauksen lisäksi myös muita tekijöitä, vaatii kunnossapito-ohjelman muodostaminen käsityötä ja tyypillisesti myös iterointia. Menettelytavoissa on epäilemättä myös eroja tiepiirien välillä. Erityisesti prioriteettilistojen suhteen on huomattava, että hankkeiden listaaminen eri kriteerien suhteen ei anna optimaalista hankejoukkoa, ts. prioriteettilistalta suoraan valittu ohjelma ei välttämättä käytä annettua budjettia tehokkaasti, ei edes yhden kriteerin suhteen.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Budjetin tehokkaasti hyödyntävä, usean eri kriteerin suhteen optimaalinen siltojen, teiden tai sorateiden kunnossapito-ohjelma.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Kunnossapitokohteiden valinnalla on ratkaiseva merkitys väyläomaisuuden tilaan pitkällä aikavälillä. Päätökset ovat rahallisesti merkittäviä ja ne toistuvat vuosittain. Vuonna 2006 kohteiden valinta koski siltojen osalta 36 M€ ra- haerää, päällysteiden uusimisen osalta 78 M€, kelirikkokorjausten osalta 9 M€ ja tierakenteiden korjausten osalta 90 M€.

Nykyisten päätöksentekomenettelyiden avulla lukuisten hankkeiden ja kriteerien samanaikainen tarkastelu on erittäin työlästä ja osin mahdotonta. Optimointimallien avulla voidaan tarkastella useaa kriteeriä samanaikaisesti ja automatisoida hankkeiden esikarsintaa, jolloin päätöksentekijä voi keskittyä erikoistapausten tarkasteluun, mahdollisiin rajoitusehtoihin ja ohjelman validointiin ja viimeistelyyn. Optimointimallien avulla päätöksentekoa voidaan systematisoida, mikä osaltaan helpottaa kohteiden valintaan liittyvän osamisen jakamista asiantuntijoiden ja tiepiirien välillä.

Kohteiden valinnassa saavutettavalla pienelläkin parannuksella on merkittävä vaikutus verkkotasolla. Esimerkiksi, yhden kohteen päällystysajankohdan siirto vuodella eteenpäin suunnitellusta viiden vuoden kierrosta voi säästää jopa 20 % kohteen elinkaarikustannuksista.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Monitavoiteoptimoinnin käyttöä on testattu Tiehallinnossa päällysteiden kunnossapito-ohjelman valinnassa (Liesiö et al. 2004) ja siltojen korjausohjelman valinnassa (Tiehallinto 2006a). Molemmissa tapauksissa kunnossapito-kohteiden valinta on mallinnettu monitavoitteisena hankesalkun optimointiongelmaksi, jonka ratkaisuun on käytetty Teknillisen korkeakoulun Systemianalyysin laboratoriossa kehitettyjä Robust Portfolio Modelling (RPM) -työkaluja (Liesiö et al. 2006). Mitä ilmeisimmin vastaavaa lähestymistapaa voidaan soveltaa myös sorateille.

Edellä mainituissa kunnossapitokohteiden valintaongelmaa koskevissa RPM-malleissa optimointiongelman kohdefunktio on esitetty korjausohjelmalle asetettujen tavoitteiden painotettuna summaksi. Ongelma on tällöin lineaarinen kokonaislukuoptimointitehtävä, jossa päätösmuuttujina ovat toteutettavat hankkeet ja rajoitusehtona kokonaisbudjetti. Tarkastelun kohteena voi olla yhden tai useamman vuoden korjausohjelma.

Kohteiden valintaa koskevat monitavoitteiset optimointimallit ovat suhteellisen yksinkertaisia. Mallien lähtötiedot ovat nykyisten päätöksentekomenettelyiden perustana ja siten helposti saatavilla. Lisäksi päätösvaihtoehtojen seuraukset ovat hyvin tiedossa ja ne eivät sisällä merkittäviä epävarmuuskijöitä.

Kunnossapitokohteiden valinta monitavoitteisella optimointimallilla epätäydellisen preferenssitiedon perusteella vaatii paljon laskentatehoa. Erityisesti useita satoja kohde-ehdokkaista sisältävien monivuotisten korjausohjelmien tarkastelu useiden kriteerien (yli 6) suhteen on laskennallisesti haastavaa. Mallin kokoa voidaan tarvittaessa pienentää tarkentamalla preferenssitietoa tai pienentämällä laskennan tarkkuustasoa.

Kohde-ehdokkaiden väliset mahdolliset synergiaedut tai esimerkiksi alueellinen jakautuminen on mahdollista huomioida optimointimallissa. Tämä vaatii kuitenkin huomattavasti työtä ja lisäksi synergioiden eksplisiittinen arvioiminen saattaa olla vaikeaa. Muutaman erikoistapauksen huomioiminen käsin optimointitulosten laskemisen jälkeen on oletettavasti helpompaa kuin synergioiden tarkka mallintaminen.

Tavoitteiden painottaminen on eräs monitavoitteisten optimointiongelmiin kuuluvista haasteista. RPM-menetelmässä tavoitteille ei tarvitse asettaa tarkkoja painoja vaan päätöksentekijän preferenssit voidaan ilmaista suunta-antavasti esimerkiksi tärkeysjärjestyksen avulla. Painotusta voidaan tarvittaessa tarkentaa mallin ratkaisun edetessä iteratiivisesti. Epätäydellisen painotuksen käyttö on selkeä etu moniin muihin monitavoitteisiin optimointimenetelmiin verrattuna.

Kansainvälisissä julkaisuissa kohteiden valintaan on esitetty myös muita monitavoitteisia optimointimalleja. Jiang ja Sinha (1990) esittivät kohteiden valintaan mallia, jossa kunnossapito-ohjelmille voidaan määrittää optimaaliset budjetit ja niitä vastaavat toimenpiteet usean vuoden ajalle. Mallissa teiden tai siltojen kunnan kehittyminen huomioidaan tilatodennäköisyysmallien avulla samaan tapaan kuin Tiehallinnon verkkotason optimointimalleissa. Kunkin vuoden optimaaliset korjausbudjetit määritetään dynaamisella opti-

moinnilla ja budjetteja vastaavat optimaaliset korjaustoimenpiteet lineaarisen kokonaislukuoptimoinnin avulla.

Kunnossapito-ohjelmalle asetettavat tavoitteet mallinnetaan hierarkkisesti arvopuun avulla. Tavoitteille määritetään tarkat painot analyttisen hierarkia-prosessin (AHP) tai muun vastaava menetelmän avulla. Kohteidenvalintaongelmassa kohdefunktiona on kunnossapito-ohjelman kokonaisyöty, joka saadaan tavoitteiden painotettuna summana. Päätösmuuttujina ovat kohteille tehtävät toimenpiteet.

Mallin etuna on, että se huomioi kunnan kehittymisen ja löytää optimaaliset budjetit usean vuoden ajalle. Toisaalta tarkkojen painojen määrittäminen kullekin tavoitteelle voi olla hankalaa.

Myös Li ja Sinha (2004) esittivät kohteiden valintaan lineaarista kokonaislukuoptimointimallia, jossa kunnossapito-ohjelman tavoitteet mallinnetaan hierarkkisesti arvopuun avulla. Mallin avulla voidaan laskea monivuotisia korjausohjelmia annetuilla budjettirajoituksilla. Edellä esitetyistä malleista poiketen kunnossapito-ohjelman kokonaisyöty lasketaan multiplikatiivisessa muodossa, ts. yksittäisiä tavoitteita kuvaavien hyötyjen tulona. Lisäksi Li ja Sinha (2004) huomioivat päätösvaihtoehtojen, kunnossapitokohteiden, epävarmuustekijät ja riskit Shacklen mallilla (Shackle 1949).

Yleisesti ottaen päätöksentekijän preferenssien mallintaminen epävarmojen seurausten suhteen on työlästä. Lisäksi multiplikatiivinen malli vaatii huolellista validointia ja on lineaarista mallia selvästi monimutkaisempi.

Li ja Sinha (2004) esittämää mallia on testattu ja verrattu todellisiin toteutettuihin kunnossapito-ohjelmiin Indianassa neljän vuoden ajalla. Mallilla saatiin 85 %–100 % vastaavuus toteutettuihin kunnossapito-ohjelmiin nähden.

Edellä kuvatuissa optimointimalleissa siltojen ja päällysteiden kunnossapitokohteiden valintaa on tarkasteltu erillisinä ongelmina. Erityyppisten kunnossapitokohteiden ohjelmointi voidaan myös yhdistää samaan optimointimalliin. Tällöin voidaan tarkastella kunnossapitotoimenpiteillä saavutettavia hyötyjä päällystyskohteiden ja siltojen korjauskohteiden välillä ja esim. kohdentaa lisärahoitus kunnossapitoehdokkaille joista saadaan paras hyöty.

Kohteiden valintaan soveltuvien monitavoitteisten optimointimallien kehittäminen ja ratkaisu voidaan toteuttaa verrattain pienillä resursseilla. Yhden kohteidenvalintaongelman mallintaminen ja ratkaiseminen esim. RPM-menetelmällä vaatii arviolta 4–7 htkk. Koska kohteidenvalintaongelmat ovat rakenteeltaan varsin samanlaisia, voidaan esim. päällystyskohteiden valintaan kehitettyä optimointimallia hyödyntää myös muissa kohteidenvalintaongelmissa.

3.5.2 Päällystyskohteiden yhdistely ja optimipituus

Nykykäytäntö

Tieverkolla kuntotiedon tarkasteluyksikkönä käytetään sadan metrin tieosuuksia. Satametrisiä yhdistetään kunnossapidon kohde-ehdokkaiksi kuntotiedon, PMSpro-ohjelman päätelystäntöjen ja käyttäjän asettamien raja-

arvojen avulla. Päätelysäännöt eivät ota aidosti huomioon tien käyttäjälle ja tien pitäjälle koituvia kustannuksia. Tästä johtuen kohde-ehdokkaat eivät välttämättä hyödynnä käytettäviä resursseja parhaalla mahdollisella tavalla.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Tienkäyttäjän ja tienpitäjän kustannukset minimoiva optimaalinen kohde-ehdokkaiden luettelo.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Kohde-ehdokkaiden yhdistely toistuu vuosittain ja koskee rahallisesti merkittäviä päätöksiä. Vuonna 2006 päällysteitä uusittiin 78 M€:lla, kelirikkokorjauksia tehtiin 9 M€:lla ja tierakenteiden korjauksia 90 M€:lla.

Kohde-ehdokkaat määrittävät kunnossapitoa koskevan rahankäytön potentiaalisen tehokkuuden. Jos toimenpiteitä vaativan tien osuus kohde-ehdokkaassa on esim. 75 %, tehdään 25 %:lle kohteen pituudesta toimenpiteet liian aikaisin ja jäljellä olevan käyttöiän menetys aiheuttaa tienpitäjälle kustannuksia. Toimenpiteiden kohdistaminen ainoastaan ongelmakohtiin taas on käytännössä mahdotonta ja nostaa toimenpidenkustannuksia ja tienkäyttäjällä aiheutuvia kustannuksia.

Optimoinnin avulla voidaan määrittää kohde-ehdokkaat, jotka minimoivat ennenaikaisesti tai liian myöhään tehtävien toimenpiteiden määrän ottamalla samalla huomioon kohteiden yhdistämisellä saavutettavat edut sekä tienpitäjälle ja tienkäyttäjille aiheutuvat kustannukset.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Päätösongelmana on valita ja yhdistellä kohde-ehdokkaita siten, että tarkasteltavan alueen kokonaiskustannukset minimoituvat. Optimointimallin kohdefunktiona on tarkasteltavan alueen kohde-ehdokkaiden kokonaiskustannusten summa annetulla aikavälillä. Päätösmuuttujina ovat kohde-ehdokkaiden toteutusajankohdat. Optimointiongelma on lähtökohtaisesti epälineaarinen, yksitavoitteinen kokonaislukuoptimointiongelma. Ongelma on tyypiltään kombinatorinen optimointiongelma joka voidaan toteutustavasta riippuen ratkaista usealla eri tavalla. Yksinkertaisin tapa ratkaista optimointiongelma on käyttää brute force -tekniikkaa samalla rajoittaen potentiaalisten kohde-ehdokkaiden määrää erilaisten päätelysääntöjen avulla. Vaihtoehtoisesti ratkaisussa voidaan käyttää erilaisia heuristisia ratkaisumenetelmiä.

Kokonaiskustannuksia arvioitaessa mallissa tulisi ottaa huomioon ainakin:

- 1) Kohteen pituuden vaikutus toimenpidenkustannuksiin. Tätä voidaan arvioida esim. toteutuneiden urakkahintojen perusteella.
- 2) Työmaan aiheuttama ajokustannuslisä ja haitta tienkäyttäjille
- 3) Ennenaikaisesti toteutettavien toimenpiteiden vaikutus jäljellä olevaan käyttöikään
- 4) Liian myöhään tehdyn toimenpiteen vaikutus ajokustannuksiin
- 5) Ajoituksen vaikutus kustannuksiin. Tämä voidaan huomioida laskeamalla eri kustannuserien nykyarvot.

Tarkastelu voidaan tehdä esim. tieosittain kullekin ajoradalle, suunnalle, kaistalle ja päällysteluokalle erikseen. Eri ratkaisuvaihtoehtojen määrä ja ongelman koko riippuu tarkasteltavan alueen koosta. Tarvittaessa laskenta voidaan toteuttaa paloissa alue kerrallaan.

Mallin lähtötiedot ja rajoitusehdot ovat suhteellisen helposti saatavilla. Suositusajankohdan ylittämisen aiheutuvien kustannusten arviointi voi olla haasteellista ja kustannusarviot saattavat myös olla mallin ratkaisun kannalta kriittisiä. Tarvittaessa toimenpiteiden siirtämistä tulevaisuuteen tulee säädellä rajoitusehtojen avulla. Samoin kohteen pituuden vaikutusta toimenpidekustannuksiin ei tiedetä ja sen selvittäminen saattaa olla hankalaa.

Mallin konstruointi ja pilotointi pienellä testiaineistolla vaatii noin 4–8 htkk. Mallin parametrien ja päättelysääntöjen validointi sekä konsensuksen löytäminen yhtenäisen toimintatavan pohjaksi kaikkiin tiepiireihin vaatii noin 4–8 htkk.

3.5.3 Siltojen korjauskohteiden yhdistely urakoiksi

Nykykäytäntö

Siltojen toimenpide-ehdotukset muodostetaan Hanke-Sihan avulla. Korjaustoimenpiteistä valtaosa, noin 80 %, tehdään siltojen peruskorjausten yhteydessä. Peruskorjauksessa toteutetaan tyypillisesti kaikki sillalle ehdotetut korjaustoimenpiteet. Peruskorjausten lisäksi silloille tehdään yksittäisiä korjaustoimenpiteitä. Yksittäiset korjaustoimenpiteet liittyvät tavallisesti kriittisiin ongelmakohtiin tai vaurioihin, jotka vaarantavat liikenneturvallisuuden tai sillan kantavuuden, aiheuttavat korjaamattomina muita vakavia vaurioita tai nostavat oleellisesti korjauskustannuksia.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Tienkäyttäjän ja tienpitäjän kustannukset minimoiva optimaalinen urakkakokonaisuus.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Kohde-ehdokkaiden yhdistely toistuu vuosittain ja koskee rahallisesti merkittäviä päätöksiä. Toiminta- ja taloussuunnitelman 2007–2011 mukainen arvio siltojen vuoden 2006 ylläpidon rahoituksesta oli 41 M€.

Kohde-ehdokkaat määrittävät kunnossapitoa koskevan rahankäytön potentiaalisen tehokkuuden. Liian aikaisin tehtävät toimenpiteet nostavat elinkaarikustannuksia. Toisaalta kaikkia kunnostustoimia ei kannata, eikä voida tehdä erikseen. Toimenpiteitä yhdistämällä voidaan pienentää liikenteelle aiheuttuvia haittoja ja hyödyntää isommista työkohteista saatavia kustannusetuja.

Optimoinnin avulla voidaan määrittää kohde-ehdokkaat, jotka minimoivat ennen aikaisesti tai liian myöhään tehtävien toimenpiteiden määrän ottamalla samalla huomioon kohteiden yhdistämisellä saavutettavat edut sekä tienpitäjälle ja tienkäyttäjille aiheutuvat kustannukset.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Optimointimalli on pääpiirteissään samanlainen luvussa 3.5.2 esitetyn päällystyskohteiden yhdistämisongelman kanssa. Päätösongelmana on valita ja yhdistellä silloille tehtäviä korjaustoimenpiteitä siten, että kokonaiskustannukset minimoituvat. Optimointimallin kohdefunktiona on kohde-ehdokkaiden kokonaiskustannusten summa annetulla aikavälillä. Päätösmuuttujina ovat kohde-ehdokkaiden toteutusajankohdat.

Kokonaiskustannuksia arvioitaessa tulisi ottaa huomioon ainakin:

- 1) Työmaan aiheuttamat ajokustannuslisä ja haitta tienkäyttäjille
- 2) Ennenaikaisesti toteutettavien toimenpiteiden vaikutus jäljellä olevaan käyttöikään
- 3) Liian myöhään tehtävien toimenpiteiden vaikutus kunnossapitokustannuksiin ja muut mahdolliset haitat
- 4) Ajoituksen vaikutus kustannuksiin. Tämä voidaan huomioida laske-
malla eri kustannuserien nykyarvot.

Tarkastelu voidaan tehdä siltakohtaisesti tai tietyn urakkakokonaisuuden suhteen. Mallinnuksessa tulee kiinnittää huomiota erityisesti suositusajankohdan ylittämisestä aiheutuvien kustannusten arviointiin. Tarkkojen kustannusten arviointi ei välttämättä ole mahdollista. Tarvittaessa toimenpiteiden siirtämistä tulevaisuuteen tulee säädellä rajoitusehtojen avulla.

Urakka kokonaisuuksien tarkastelussa eri silloille tehtävien toimenpiteiden välisten synergioiden arviointi saattaa olla haasteellista. Töiden yhdistämisestä saavutettavien kustannussäästöjen tarkka arviointi on todennäköisesti työlästä ja osin mahdotonta. Muilta osin mallin lähtötiedot ja rajoitusehdot ovat suhteellisen helposti saatavilla

Mallin konstruointi ja pilotointi pienellä testiaineistolla vaatii noin 8–14 htkk.

3.5.4 Mittausten ja tiedonkeruun määrä ja kohdentuminen

Nykykäytäntö

Mittausten ja tiedonkeruun määrä on päätetty mittaustajakohtaisesti eri perusteilla. Palvelutasomittaukset (PTM) ja automaattinen vauriomittaus (APVM) perustuvat kiertoon, jossa päätiet mitataan vuosittain ja muut tiet noin kolmen vuoden välein. Kevyen liikenteen väylien vaurioinventointi tehdään kolmen vuoden kierrolla, kantavuusmittaus, sorateiden palvelutasomittaus ja talvihoidon laadunseuranta toteutetaan otospäätteisesti, varusteiden ja laitteiden inventoinnit on sidottu alueurakoihin ja sorateiden runkokelirikokohteet inventoidaan vuosittain. Siltojen kuntoa seurataan keskimäärin viiden vuoden välein tehtävillä yleistarkastuksilla, joissa sillantarkastaja antaa sillan kunnan perusteella suosituksen seuraavasta tarkastusajankohdasta.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Asiakasvaatimuksiin perustuva optimaalisesti kohdennettu mittausohjelma, joka minimoi tiedon hankintakustannukset ja epätarkasta tiedosta aiheutuvat kustannukset.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Suurin osa tienpitoa koskevista päätöksistä tehdään omaisuutta koskevan kuntotiedon perusteella. Virheellisellä tai epätarkalla tiedolla saattaa olla huomattavat kerrannaisvaikutukset. Esimerkiksi uran mittaus- ja ennustevirheestä on arvioitu aiheutuvan kahden vuoden ennustejaksolla noin 4 Me laatu- ja kustannukset (Tiehallinto 2005a). Toisaalta tiedonkeruuta joudutaan rajoittamaan, koska tiedon hankintakustannukset ovat huomattavia. Vuonna 2006 Tiehallinto maksoi tiestötietojen hankinnasta 6,5 M€.

Nykyisissä menettelytavoissa tiedonkeruun määrää ja kohdentumista ei ole kaikin osin sidottu asiakasvaatimuksiin. Optimointimallien avulla mittaukset voidaan mitoittaa asiakastarpeiden mukaan ja kohdentaa siten, että niistä saadaan paras mahdollinen hyöty keskeisiä päätöksenteko-ongelmia ajatellen. Samalla tietojen hankinnasta ja virheellisestä tai epätarkasta tiedosta aiheutuvat kustannukset saadaan minimoitua.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Tiedonkeruuta koskevassa päätösongelmassa tavoitteena on minimoida mittauksista ja epätarkasta kuntotiedosta tai tietopuutteista aiheutuvat kustannukset. Optimointimallin päätösmuuttujina ovat kunakin vuonna mittaus- tai inventointiohjelmaan valittavat kohteet. Lähtötietoina tarvitaan rappeutumismallit, tiedon hankintakustannukset ja arviot mittaustiedon tarkkuudesta, virhepäätelmien kustannuksista ja tiedon käyttäjien asiakasvaatimuksista.

Päätösongelma voidaan jakaa kahteen osaan. Ratkaistavana on sekä tiedonkeruun määrää että kohdistamista koskevat ongelmat. Toisin sanoen, kuinka paljon rahaa investoidaan mittauksiin ja mitä kohteita mitataan. Näitä kysymyksiä voidaan tarkastella yhdessä tai erikseen lähestymistavasta riippuen.

PTM:n, APVM:n ja kevyen liikenteen väylien vaurioinventoinnin osalta eräs tapa ratkaista mittausten kohdentamisongelma on laskea kullekin tieosalle sadan metrin tieosuuksista lähtien mittauksen hyödyllisyyttä kuvaava tunnusluku. Tällöin eri tieosien mittaamisesta saatavaa hyötyä voidaan helposti vertailla ja näin laskea optimaalinen mittausohjelma annetulla budjetilla. Mittausten hyödyllisyyttä kuvaavassa tunnusluvussa voidaan huomioida esimerkiksi virheellisten päätösten riskiä, tai tiedon tarkkuudelle asetettujen asiakasvaatimuksia suhteessa käytettävissä olevan tiedon tarkkuuteen.

Varsinainen mittausohjelman muodostamista koskeva päätösongelma vastaa joissain määrin luvussa 3.5.1. esitettyä kohteiden valintaongelmaa. Ero on, että mittausohjelman muodostamisessa tavoitteita on lähtökohtaisesti vain yksi, jolloin ongelma on tyypiltään tavallinen lineaarinen kokonaisluvuoptimointitehtävä, jossa rajoitusehtona on mittauksiin käytettävä budjetti.

Mittausohjelman valinta voidaan formuloida myös verkkotehtävän optimointiongelmana. Tällöin mallissa otetaan huomioon tieosien sijoittuminen toisiinsa nähden ja pyritään ratkaisemaan optimaalinen mittausreitti siten, että mittauksista saadaan suurin mahdollinen hyöty annetulla budjettirajoituksella. Nykykäytännön mukaan mittausreitit optimointi on kuitenkin jätetty mittauksen toimittajan tehtäväksi.

Edellä esitettyjen lähestymistapojen etuna on, että epätarkasta kuntotiedosta aiheutuneita mahdollisia laatukustannuksia ei tarvitse tietää tarkalleen ja mallit ovat suhteellisen helposti toteutettavissa. Toisaalta mallit eivät ota kantaa siihen onko mittauksiin käytettävä rahoitustaso optimaalinen vai ei.

Jos optimoinnin avulla pyritään ratkaisemaan mittauksen kohdistamisen lisäksi tiedon hankintaan käytettävä budjetti, tulee mallissa laskea arviot virheellisen tai epätarkan mittauksen aiheuttamista kustannuksista kullekin asiakastaholle. Laskennassa tulee huomioida esim. ennenaikaisen tai liian myöhään tehdyn toimenpiteen kustannukset tienpitäjälle ja tienkäyttäjälle ja ottaa kantaa siihen kuinka suuri epätarkasta kuntotiedosta aiheutunut riski hyväksytään. Näitä tietoja ei ole suoraan saatavilla. Oletusarvoisesti virheellisten päätösten aiheuttamat kustannukset ovat huomattavasti suurempia mittauskustannuksiin verrattuna. Virtalan (2005) mukaan ennustemallien virheet ja laatukustannukset ovat niin suuria, että mittausmääriä ei kannata optimoida, vaan yksinkertaisesti kannattaa mitata koko verkko joka vuosi. Argumentti pitää varmasti paikkansa, jos kuntotiedon hankinnassa noudatetaan nykykäytäntöä ja mittauksia ei kohdenneta kuntotason ja vastaavien asiakastarpeiden mukaan. Sitä vastoin, jos mittauskohteiden valinta tehdään huolellisesti, hyväkuntoisia kohteita tuskin tarvitsee mitata joka vuosi.

Yleisesti ottaen tiedon keräämistä koskevien optimointimallien lähtötiedoista rappeutumismallit, tiedon hankintakustannukset ja mittauksen tarkkuustaso ovat suhteellisen helposti saatavilla. Sitä vastoin epätarkasta tiedosta aiheutuvat laatukustannukset ja asiakasvaatimukset eivät ole kaikin osin tiedossa ja niiden selvittäminen vaatii huomattavasti työtä. Tärkeimmät Tiehallinnon sisäiset "asiakastahot" joita kuntotiedon laadun osalta tulee huomioida ovat: ohjelmointi, tulosohjaus, hankintakäytännöt ja ennustemallit (Tiehallinto 2005a). Ohjelmoinnin ja hankinnan laatuvaatimuksia on selvitetty lähteessä Virtala 2004, tulosohjauksen laatuvaatimuksia on selvitetty lähteessä Äijö (2004), ennustemallien tarkkuusvaatimuksia on käsitelty lähteissä Ruotoistenmäki (2004) ja Virtala (2004).

Mittauksen asiakasvaatimuksia mallintaessa tulee huomioida, että kuntotiedon tarkkuusvaatimukset riippuvat oleellisesti tarkasteltavasta osaverkosta ja kuntotilasta. Lähellä toimenpiderajaa olevilta nopeasti rappeutuvilta kohteilta tarvitaan tarkempaa mittaustietoa kuin hyväkuntoisilta, hitaasti rappeutuvilta tai liikenteellisesti vähemmän merkityksellisiltä kohteilta.

Jos kuntotiedon perusteella ei ole tarkoitus tehdä yksittäisiä kohteita koskevia päätelmiä, vaan ensisijaisesti hankkia tietoa verkkotason ilmiöistä voidaan kuntotiedon hankinta toteuttaa useimmiten otannalla, kuten verkkotason kantavuusmittauksissa. Tällöin päätösongelmana on määrittää otos, joka minimoi tiedon hankintakustannukset annetuilla tiedon tarkkuudella ja edustavuudella koskevilla asiakasvaatimuksilla. Kyseessä on tavallinen otossuunnittelun ongelma, jossa otoskoon määrittäminen eri osaverkoille voidaan mallintaa epälineaarisen optimointitehtävänä. Jos tehtävälle asetetaan bud-

jettirajoitus, on minimoitavana kohdefunktiona otoksen poikkeamat tarkkuudelle ja edustavuudelle asetetuista asiakasvaatimuksista. Nämä optimointimallit ovat helposti toteutettavissa suhteellisen pienillä resursseilla. Mallien luomisen kannalta haasteellisinta on laadulle asetettavien asiakasvaatimusten selvittäminen eri osaverkoille.

Edellä on esitetty tiedonkeruun optimointia lähinnä PTM:n, APVM:n ja kevyenliikenteen väylien vaurioinventointien osalta. Sillantarkastusten määrää ja kohdentamista voidaan optimoida vastaavasti. Huomattavaa kuitenkin on, että sillat ovat huomattavasti teknisempiä ja sisältävät enemmän yksittäisiä rakenneosia, jotka tulee huomioida tarkastusten määrää ja kohdentamista arvioitaessa. Tämä tarkoittaa huomattavasti mittavampaa mallinnustyötä.

Nykyisessä tarkastuskäytännössä sillantarkastaja määrittää tulevan tarkastusajankohdan tarkastuksessa havaitun kunnan perusteella. Näin ollen tarkastusten suunnittelussa ja kohdentamisessa tehdään jo tavallaan optimointia siltatasolla. Toisaalta epätarkasta tiedosta aiheutuvia kustannuksia ei ole mallinnettu. Nykyinen tiedonkeruun määrä ei välttämättä ole lähellä tarkastusten ja mahdollisten laatupuutteiden minimikustannustasoa.

3.5.5 Ennustemallit

Nykykäytäntö

Teiden kuntotilan arviointi perustuu mittauksiin ja ennustemalleihin. Ennustemallien avulla arvioidaan rakenteiden rappeutumista kuntomittausten jälkeen ja toisaalta ennakoidaan tulevien toimenpiteiden vaikutuksia.

Nykyisin käytössä olevat teiden rappeutumismallit on luotu lähinnä verkkotason tarpeisiin. Tästä johtuen mallien tarkkuus ei ole riittävää hanketason tarpeita ajatellen.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Kuntomuuttujien käyttäytymistä eri osaverkoissa tarkasti kuvaavat rappeutumismallit hanketason tarpeisiin.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Teiden päällystysohjelmat tehdään ennustetiedon perusteella. Toisin sanoen kaikilta päällystysohjelmaan valittavilta kohteilta ei ole olemassa mittaustietoa viimeisen mittauskauden ajalta. Koska päällysteiden rappeutuminen saattaa poiketa huomattavasti keskimääräisistä verkkotason mallien arvioista, sisältävät päällystysohjelman perusteena käytetyt luvut huomattavia epävarmuustekijöitä. Epätarkka kuntotieto taas aiheuttaa välillisiä kustannuksia: resursseja käytetään tehottomasti, toimenpiteiden potentiaalinen käyttöikä lyhenee ja tienkäyttäjien kustannukset kasvavat. Välilliset vaikutukset saattavat olla huomattavia. Esimerkiksi on arvioitu, että uran ennustevirheestä aiheutuu kahden vuoden ajanjaksolla 4 M€ kustannukset (Tiehallinto 2005a).

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Päätösongelma on tyypillinen approksimointitehtävä. Lähtötietoina ovat eri osaverkkojen kuntotiedot tietyltä ajanjaksolta. Dataan sovitetaan kunnon kehitystä kuvaavat mallit. Minimoitavana kohdefunktiona on sovitettavan mallin poikkeama selityksen kohteena olevasta havaintoaineistosta.

Mallin toteutus on verrattain yksinkertaista. Saatavilla on useita approksimointiin soveltuvia valmiita ohjelmistoja. Toteutuksen kannalta haasteellisinta on laadukkaan ja edustavan lähtöaineiston hankkiminen. Ennustemallien varsinaiset kehityskustannukset ovat noin 1–2 htv.

3.5.6 Liikenneturvallisuuden parantamishankkeet*Nykykäytäntö*

Liikenneturvallisuutta edistetään pienillä liikenneympäristön parantamistoimilla. Liikenneturvallisuuden parantamista mitataan toimenpiteillä aikaansaadulla laskennallisella henkilövahinko-onnettomuuksien vähenemällä, Hevalla. Heva-tavoitteet on asetettu tiepiirikohtaisesti. Tiepiireissä liikenneympäristön parantamistoimet kootaan tyypillisesti hanke-ehdokkaiksi, jotka sisältävät useita verrattain pieniä toimenpiteitä. Toteutettavat hanke-ehdotkaat valitaan listalta mm. heva-pisteiden perusteella.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Resurssit tehokkaasti hyödyntävä optimaalinen liikenneturvallisuushankkeiden toimenpideohjelma.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Tiepiireille asetetuista tulostavoitteista 25 % määräytyy liikenneturvallisuuden parantamistoimien perusteella. Tässä mielessä liikenneturvallisuuskohteiden valinta on eräs tärkeimmistä piiratasolla tehtävistä vuosittain toistuvista päätöksenteko-ongelmista. Rahallisesti mitattuna liikenneturvallisuuskohteiden valinta on kuitenkin suhteellisen pieni ongelma esim. päällystyskohteiden valintaan verrattuna.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Liikenneturvallisuuden parantamishankkeiden valintaan on esitetty erilaisia optimointimalleja (Pal ja Sinha 1998; Pigman et al. 1976; Sinha et al. 1981). Lähtökohtaisesti optimointiongelma on lineaarinen kokonaislukuoptimointitehtävä. Mallissa voidaan joko maksimoida investoineilla saatavia hyötyjä, kuten onnettomuuksien vähenemää tai heva-pisteitä annetulla budjettirajoituksella tai minimoida kustannuksia siten, että annetut tavoitteet, esim. heva-pisteet, täyttyvät. Päätösmuuttujina ovat hanke-ehdotkaat, joita on tyypillisesti kymmeniä. Tarkastelu voidaan ulottaa tarvittaessa useamman vuoden ajalle.

Sinha et al. 1981 ja Pal ja Sinha 1998 esittivät ongelman ratkaisuun lineaarista kokonaislukuoptimointimallia, jossa tavoitteena on minimoida onnetto-

muuksien määrää annetulla budjettirajoituksella. Mallissa investointien vuosittaiset ylläpitokustannukset, ts. hoito, ja investointikustannukset käsitellään samalla budjettirajoituksella. Tämä saattaa olla ongelmallista jos hoidon ja investointien rahoitukset tulevat eri segmenteiltä. Mallin parametreihin ja alkuarvoihin liittyvä epävarmuus huomioidaan antamalla muuttujille konservatiivisia arvoja lähtötietojen hajontaestimaattien perusteella. Tästä johtuen myös optimointitulos on konservatiivinen arvio saavutettavien tulosten suhteen.

Pigman et al. 1976 esitti ongelman ratkaisuun dynaamista optimointimallia, jossa tavoitteena investointien rahallisen hyödyn maksimointi. Lähestymistavassa haastavinta lienee investointien rahallisen hyödyn arviointi, sillä mallissa myös onnettomuudet arvotetaan rahassa.

Päätöksenteko-ongelmaan voidaan soveltaa myös monitavoitteisia RPM-menetelmiä. Tällöin tavoitteiden välisiä painoja ei tarvitse määrittää tarkkaan. Samanaikaisesti voidaan esim. maksimoida heva-pisteitä ja minimoida hoitokustannuksia annetulla investointien budjettirajoituksella.

Yleisesti ottaen liikenneturvallisuuden parantamishankkeita koskevassa optimointimallissa tulisi huomioida:

- investointikustannukset
- korkotaso
- liikennemäärän kasvu
- investointien vuosittaiset ylläpitokustannukset
- investointien elinikä ja
- investointien vaikutus onnettomuuksiin
- käytettävissä oleva rahamäärä, vuosittain mahdollisesti jaettuna investointeihin ja ylläpitokustannuksiin, hoitoon.

Edellä mainittujen lisäksi mallissa voidaan huomioida alueellisia tekijöitä tai hanke-ehdokkaiden synergiat muiden toteutettavien hankkeiden kanssa.

Optimointimallissa päätösvaihtoehtojen ja rajoitusehtojen määrä on verrattain pieni. Lisäksi suurin osa tarvittavista lähtötiedoista on nykyisen päätöksenteon pohjana ja siten helposti saatavilla. Mallin kehittäminen vaatii arvioita 6–9 htkk.

3.6 Optimoinnin käyttö tienpidon hankinnassa

3.6.1 Alueurakoiden ja palvelusopimusurakoiden koko

Nykykäytäntö

Hankintastrategian mukaisesti tilauksissa ollaan siirtymässä suurempiin kokonaisuuksiin, joissa vastuuta siirretään yhä enemmän palvelun tarjoajille. Alueurakoiden ja palvelusopimusurakoiden optimaalista kokoa ei kuitenkaan ole määritetty, ja sopimuskoon vaikutuksista tilaajalle koituviin riskeihin ja kustannuksiin ei ole tarkkaa tietoa.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Malli, jonka avulla voidaan arvioida alueurakoiden ja palvelusopimusten koon vaikutusta tilaajalle koituihin riskeihin ja kustannuksiin ja määrittää kustannustehokas sopimuskoko annetulla riskitasolla.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Tiehallinnolla on keskeinen rooli väyläomaisuuteen liittyvien markkinoiden kehittämisessä. Useissa tapauksissa Tiehallinto luo lähes ainoana toimijana markkinoiden koko kysynnän. Siirtymällä suurempiin ja pidempikestoisiin sopimuksiin Tiehallinto voi säästää kilpailutukseen ja sopimusten hallinnointiin liittyvissä kustannuksissa. Toisaalta yhdestä toimittajasta riippuvat riskit kasvavat. Lisäksi sopimuskoko voi vaikuttaa markkinoilla toimivien toimittajien määrään ja siten markkinoiden toimivuuteen, jatkuvuuteen, kilpailuun ja tuotekehitykseen. Tässä mielessä sopimuskoko on strateginen kysymys jolla on merkittävät vaikutukset alan tulevaan kehitykseen.

Optimointimallien avulla voidaan määrittää sopimusten kokoluokka, jossa tilaajalle aiheutuvat kustannukset minimoituvat kuitenkin siten, että tilauksiin liittyvät riskit pysyvät kohtuullisina ja markkinoiden kilpailukykyä ja jatkuvuutta ei vaaranneta.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Päätösongelma voidaan mallintaa optimointitehtävänä, jossa minimoitavana kohdefunktiona on tilaajalle aiheutuvat sopimukseen liittyvät kustannukset ja riskit. Päätösmuuttujana on sopimusten koko tai määrä tietyllä ajanjaksolla. Rajoitusehtoina voivat olla mm. toimijoiden koko ja markkinoiden toimivuudelle, ja jatkuvuudelle asetettavat vaatimukset.

Optimointimallissa tulee ottaa huomioon ainakin:

- sopimuskoon vaikutus tilaajan työmäärään
- sopimuskoon tai sopimusten lukumäärän vaikutus tilaajalle aiheutuvaan riskiin
- tilaajan preferenssit riskiä sisältävien päätösvaihtoehtojen suhteen eri riskitasoilla.
- sopimusten määrän vaikutus markkinahintaan

Riskien määrittämisessä tulee arvioida sopimukseen liittyvät mahdolliset toteutumat ja niiden todennäköisyydet. Esim. mikä on suurin mahdollinen tilaajalle aiheutuva tappio. Riskien toteutumistodennäköisyyksien ja koon tarkka määrittäminen on haasteellista ja osin mahdotonta. Näiltä osin joudutaan turvautumaan suuntaa-antaviin asiantuntija-arvioihin.

Tilaajan preferenssit tietyn kustannustason ja siihen liittyvien riskitodennäköisyyksien ja mahdollisten taloudellisten seurausten suhteen voidaan mallintaa *hyötyfunktioiden* avulla. Hyötyfunktioit kuvaavat epävarmuutta sisältävät päätösvaihtoehdot numeeriselle arvoasteikolle. Yleisesti ottaen hyötyfunktioiden määrittäminen on haastavaa. Lisäksi ihmiset suhtautuvat eri tavoilla epävarmuutta sisältäviin päätösvaihtoehtoihin. Vaihtoehtoisesti kustannuksia voidaan tarkastella eri riskitasoilla tai yksinkertaisesti määrittää tilaajan hyväksymä riskitaso, jonka puitteissa tulee toimia.

Toimijoiden määrän tai sopimuskoon vaikutusta markkinahintaan voi olla vaikea ennustaa. Tarkka mallinnus ei kuitenkaan ole välttämättä edes tarpeen. Jos markkinoilla on kilpailevia toimijoita ja kapasiteettipulaa ei ole, on oletettavaa, että hinnat ovat kilpailtuja.

Yleisesti ottaen ongelman mallintaminen on haastavaa ja sisältää huomattavasti epävarmuustekijöitä. Tuloksena saadaan suuntaa-antavia arvioita sopimuskoon vaikutuksesta tilaajan työmäärään ja sopimukseen liittyvien riskien kokoon ja luonteeseen. Huomattavaa on, että tulevien toimintatapojen kannalta tarkka tulos ei kuitenkaan ole oleellista.

Mallin konstruointi vaatii arvioilta 6–9 htkk. Ratkaisumahdollisuuksista kannattaa tehdä pienimuotoinen esiselvitys ennen varsinaista mallinnusprojektiä.

3.6.2 Lähtötietojen määrä tarjouspyynnössä

Nykykäytäntö

Tarjouspyynnöissä esitettävien lähtötietojen määrää ei ole ohjeistettu tarkasti. Käytännöt vaihtelevat tarjouspyyntökohtaisesti käytettävissä olevasta ajasta, resursseista ja jo olemassa olevista tiedoista riippuen.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Tarjouspyynnössä esitettävien lähtötietojen määrä, joka minimoi tilaajalle aiheutuvat kustannukset.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Tarjouspyyntöjen yhteydessä toimitetut riittävän tarkat lähtötiedot ovat eräs tärkeimmistä kustannustehokkaiden tarjousten saamisen edellytyksistä. Epätarkka työn määritys nostaa sopimushintoja ja urakkaan sisältyviä riskejä. Toisaalta kattavien lähtötietojen hankinta maksaa eikä siten ole aina perusteltua.

Tarjouspyynnössä toimitettavien lähtötietojen määrää optimoimalla voidaan varmistaa kustannustehokkaiden tarjousten saaminen ja säästää sekä tilaajan, että toimittajien resursseja. Potentiaalisia sovelluskohteita ovat alueurakat joissa työmäärän arviointi on kriittistä. Esimerkiksi liikennemerkkien tai muiden varusteiden ja laitteiden määrä voidaan määrittää tarkasti inventoimalla tai arvioida laskennallisesti. Arvioihin sisältyvä epävarmuus tilatun työn todellisesta määrästä nostaa tarjoushintoja. Toisaalta kattavan inventoinnin kustannukset voivat olla huomattavia työn kokonaiskustannuksiin verrattuna.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Päätösongelma voidaan mallintaa optimointitehtävänä, jossa minimoidaan tilaajalle aiheutuvia kustannuksia, ts. sopimushintaa ja tiedonhankintakustannuksia. Päätösmuuttujana on hankittavan tiedon määrä. Lähtötietoina malliin tarvitaan tiedon hankinnasta aiheutuvat kustannukset, sekä arviot tai

malli lähtötietojen määrän vaikutuksesta työmäärään sisältyvään epävarmuuteen ja sopimushintaan.

Lähtötiedot ovat suhteellisen helposti saatavilla, mutta mallin parametreihin liittyy epävarmuutta. Esimerkiksi tarjouspyynnössä esitettävien lähtötietojen määrän vaikutusta sopimushintaan on vaikea arvioida tarkasti. Sopimushinnan muodostumiseen ja toimittajien riskinottoon vaikuttavat mitä todennäköisimmin useat eri tekijät kuten markkinatilanne, kilpailu ja sopimuksen koko.

Optimointiongelman luonteeltaan erillisanalyysi, jota ei kannata toteuttaa pienissä yksittäisissä hankinnoissa. Niiden kohdalla voidaan mallintaa ja ratkaista tyypillisiä ongelmatilanteita, joiden tuloksia käytetään ohjaamaan toimintatapoja vastaavissa tilanteissa.

Optimointimalli voidaan toteuttaa taulukkolaskimissa suhteellisen pienellä kustannuksella. Mallin konstruointi vaatii noin 3 htkk.

3.6.3 Tarjousten arvostelu

Nykykäytäntö

Tiehallinnossa on käytössä erilaisia tarjousten arvostelukäytäntöjä ja pisteidenlaskumenetelmiä. Tarjousten arvosteluperusteet julkaistaan pääosin tarjouspyyntöjen yhteydessä, jolloin päätösvaihtoehdoista, saatavista tarjouksista, ei ole vielä tietoa. Lisäksi suurin osa hankinnoista toteutetaan kahden kuoren menettelyllä, jossa tarjousten hintaa ei tiedetä laadullisia tekijöitä arvosteltaessa. Nämä seikat aiheuttavat tarjousten valintaan huomattavia epävarmuustekijöitä, jotka tulee huomioida jo tarjousten arvosteluperiaatteita määriteltäessä.

Kehitettävän optimointimallin tuottama tulos

Malli, jonka avulla voidaan huomioida tarjousten arvosteluun liittyvien epävarmojen tekijöiden vaikutus monikriteerisissä pisteenlaskumenetelmissä.

Potentiaaliset hyödyt ja vaikuttavuus

Tiehallinnon hankintastrategian mukaisesti hankinnat pyritään tekemään pääsääntöisesti kilpailuttamalla suuria ja pitkäkestoisia tilauksia. Näiden hankintojen osalta tarjousten arvosteluperusteet ovat julkisia ja tarjousten arvostelussa noudatetaan suurimmaksi osaksi kahden kuoren menettelyä. Suuret tilauskoot ja laadun ja hinnan erillinen arviointi lisäävät hankintoihin liittyviä riskejä.

Eryisesti tarjousten laadullisten tekijöiden arvottaminen ja painottaminen hinnan suhteen vaikuttavat oleellisesti siihen kuinka hyvin voittanut tarjous vastaa toivottua lopputuotetta ja tarjouspyynnössä esitettyjä vaatimuksia. Optimointimallien avulla voidaan arvioida tavoitteille ja hinnalle asettavien painojen vaikutusta lopputulokseen tarjousten pisteytystapaa määrittäessä. Tarjousten laatupisteytyksen yhteydessä hinnan vaikutusta lopputulokseen voidaan arvioida erilaisten herkkyyksianalysien avulla. Näin voidaan helpot-

taa tarjousten arvostelua ja laatuasteiden asettamista ja varmistaa, että tarjousten laatuasteitus ei johda yllätyksiin hintakuoria avattaessa.

Optimointimallin periaatteet ja toteutus

Tarjousten valinta voidaan mallintaa monitavoitteisena optimointiongelmana, jossa kohdefunktiona on tarjoukselle asetettujen tavoitteiden ja hinnan painotettu summa. Malli vastaa yleisesti tarjousten arvostelussa sovellettua käytäntöä. Päätösvaihtoehtoina ovat valittavat tarjoukset ja rajoitusehtoina voivat olla esim. tietyistä osa-alueista vaaditut minimipistemäärät tai tarjous-hinta.

Optimointimallin avulla voidaan arvioida tavoitteille asetettävien painojen ja rajoitusehtojen vaikutusta lopputulokseen. Esim. voidaan tarkastella mikä on tietyn laatuasteerin tai hinnan vaihteluvälin vaikutus hyväksyttävien tarjousten loppupisteisiin. Koska tarjousten sisältöä ei tiedetä tavoitteiden painoja asettaessa, voidaan tarjousten sijoittumista ennakoida esim. antamalla arvioita erityyppisten tarjousten laatu- ja hintapisteistä vaihteluvälien avulla. Näin voidaan arvioida mm. onko jokin kriteereistä tarjousten pisteistyksen kannalta ratkaisevassa asemassa muihin kriteereihin nähden.

Malli on verrattain yksinkertainen ja voidaan toteuttaa esim. Excelissä. Pääasialliset hyödyt saadaan pisteistyksen mallintamisesta, painojen vaikutusten arvioinnista ja herkkyyksianalyysistä. Lisäksi mallia voidaan käyttää laatuasteistyksen tukena arvioimaan hinnan vaikutusta lopputulokseen, kun tarjoukset on saatu, mutta hintakuoria ei ole vielä avattu. Itse mallin ratkaisu, tarjousasteiden laskenta, on suoraviivaista ja ei sinänsä anna lisäarvoa nykyisiin menettelytapoihin verrattuna.

Päätöksenteon tueksi soveltuvan yleiskäyttöisen Excel-pohjan tekeminen vaatii alle 1 htkk.

3.7 Muita optimointikohteita

Seuraavassa on listattu projektin aikana esille nousseita muita potentiaalisia optimointikohteita, joita ei rajallisten resurssien vuoksi ole käyty tarkemmin läpi tämän selvityksen puitteissa.

- tavoitteiden asettaminen
- toimivuusvaatimukset, laatuaste, normit
- tienpidon kokonaislaatu
- kuntotiedon luotettavuus
- päällystysohjelman riskit
- toimenpiteiden valinta
- toimenpiderajat
- valtakunnalliset teemaohjelmat.

Kuntotiedon luotettavuus liittyy luvussa 3.5.4 esitettyyn tiedonkeruun määrää koskevaan kysymykseen ja luvussa 3.6.2 esitettyyn tarjouspyynnössä esitetävien lähtötietojen määrää koskevaan ongelmaan ja voidaan ratkaista osana näitä optimointitehtäviä.

Vastaavasti päällystysohjelman riskit voidaan ottaa huomioon ja ratkaista osana luvussa 3.5.1 esitettyä kohteidenvalintaongelmaa.

Valtakunnallisiin teemaohjelmien kohteiden valintaan voidaan soveltaa mm. luvussa 3.5.1 esitettyä RPM-menetelmää.

3.8 Optimointimallien soveltamisesta

Tiehallinnon toimintaympäristössä optimointimalleja voidaan hyödyntää lähtökohtaisesti kahdella eri tavalla: kehittämällä erilaisia päätöksentukiohjelmistoja päätöksentekijöiden käyttöön tai tilaamalla päätöksenteon tukea palveluntuottajilta.

Päätöksentukiohjelmistojen avulla optimointimallit voidaan liittää osaksi käytännön päätöksentekomenettelyjä. Ohjelmistojen kehittäminen vaatii kuitenkin huomattavasti resursseja, koulutusta ja aikaa uusien menetelmien omaksumiseen. Päätöksentukimenetelmissä tulisikin mahdollisuuksien mukaan hyödyntää jo olemassa olevia järjestelmiä laajentamalla niiden toiminnallisuutta ja liittämällä niihin uusia ominaisuuksia.

Jos päätöksentuki toteutetaan palveluna, palvelun toimittaja vastaa käytettävistä sovelluksista ja menetelmäosaamisesta. Siirtymällä järjestelmäkehityksestä palvelujen tilaukseen Tiehallinto voi paremmin hyödyntää uusien teknologioiden ja innovaatioiden käytön. Lisäksi voidaan hyödyntää myös muilla hallinnon- ja teollisuudenaloilla käytettyjä ratkaisuja kustannustehokkaasti. Toisaalta isojen mallien kehittäminen yksinomaan palveluja tilaamalla on vaikeaa. Lisäksi jatkuvuuden turvaaminen saattaa olla ongelma.

Useissa mallinnusprojekteissa lähtötiedot ja niiden saatavuus ovat kriittisiä tekijöitä. Tämä ei kuitenkaan saisi rajoittaa liiaksi mallinnusta. Jos malleja ei kehitetä ilman täydellistä dataa, ei myöskään ole tarvetta datan hankkimiseen ja näin ollen kehitystä ei tapahdu. Toisin sanoen ilman mallinnusta ei päästä tutkimaan kannattaisiko tarvittavaa dataa edes hankkia tai approksimoida.

Päätöksentukimenetelmien menestyksekkyyks riippuu pitkälti päätöksentekijästä. Optimoinnin avulla voidaan tehostaa päätöksentekoa ja tuoda lisätietämystä vain jos päätöksentekijä on halukas mallintamaan mieltymyksiään ja päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä. Jos päätös tehdään yksinomaan intuition perusteella tai päätöksentekijä ei ole halukas mallintamaan päätöstilannetta, ei päätöksentukimenetelmille ole juuri sijaa.

4 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Optimointia sovelletaan laajasti päätöksenteon tukena eri hallinnon- ja teollisuuden aloilla. Optimoinnin avulla pyritään ensisijaisesti parantamaan päätösten laatua, esim. saavuttamaan parempi tulos samalla rahamäärällä tai sama tulos pienemmällä rahamäärällä. Optimointimallit tarjoavat systemaattisen ja strukturoidun lähestymistavan ongelmanratkaisuun ja antavat objektiivisen ratkaisuvaihtoehdon, jota voidaan käyttää keskustun pohjana. Lisäksi optimoinnin avulla voidaan selvittää päätökseen vaikuttavia tekijöitä, lisätä päätösten taustalla olevien ilmiöiden tuntemusta, päätösten läpinäkyvyyttä ja päättäjien välistä yhteisymmärrystä.

Kansanvälisissä julkaisuissa on esitetty useita esimerkkejä optimointimenetelmien soveltamisesta myös tienpitoon liittyvissä päätöksentekotilanteissa. Tiehallinnossa optimoinnin käyttö on kuitenkin melko vähäistä ja rajoittuu lähinnä päällystettyjen teiden ja siltojen verkkotason hallintaan. Tärkeimmät Tiehallinnon käytössä olevat optimointia hyödyntävät järjestelmät ovat HIBRIS, HIPS, Verkko-Siha ja Eriku.

Nykyisten sovellusten lisäksi optimoinnilla on useita potentiaalisia käyttökohteita tienpidossa. Monitavoitteista optimointia on testattu ohjelmointitasolla kunnossapitokohteiden valinnassa ja suunnittelutasolla tiepiirin tienpidon tuotteiden välisessä rahanjaossa (liite 1). Tulokset ovat olleet pääsääntöisesti lupaavia. Vastaavaa lähestymistapaa ja menetelmiä voidaan epäilemättä soveltaa myös muissa päätöksentekotilanteissa.

Taulukossa 1 on esitetty tässä työssä tunnistettuja potentiaalisia optimoinnin sovelluskohteita tienpidon suunnittelussa, ohjelmoinnissa ja hankinnassa. Sovelluskohteita on arvioitu eri kriteerin suhteen asteikolla yhdestä viiteen. Etenkin strategia- ja ohjaustasoilla päätöksillä on suuri vaikuttavuus ja optimointimalleilla saavutettavat potentiaaliset säästöt ja toiminnan tehostuminen ovat huomattavia.

Yleisesti ottaen optimointimallien kustannukset ovat pieniä päätöksenteon kohteena oleviin rahamääriin ja potentiaalisiin säästöihin verrattuna. Huomattavaa kuitenkin on, että mallien luominen ja validointi vaatii huomattavasti päätöstentekijöiden ja asiantuntijoiden resursseja, sitoutumista ja aikaa.

Taulukko 1. Optimoinnin potentiaalisia sovelluskohteita tienpidon suunnittelussa, ohjelmoinnissa ja hankinnassa. Sovelluskohteet on arvosteltu eri kriteerien mukaan arvoasteikolla 1–5. Mitä paremmin sovelluskohteet vastaa esitettyihin väittämiin, sitä korkeammat pisteet kyseiselle tekijälle on annettu. Kohteet on lueteltu suositusjärjestyksessä.

	Päätöksellä on huomattava vaikutavuus	Optimoinnilla saavutettavat potentiaaliset hyödyt ovat huomattavia	Optimointimalli on helppo toteuttaa ja kustannukset ovat hyötyihin nähden pieniä	Päätös sisältää useita tavoitteita	Päätösongelma on kompleksinen	Päätöstilanne sisältää useita epävarmoja tekijöitä	Päätös sisältää huomattavia riskejä	Päätöksen toteutus on tärkeää	Yhteensä
Rahanjako eri tuoteryhmille ja tuotteille	5	5	5	5	5	5	5	5	40
Rahanjako tiepiireille	5	3	5	5	5	5	5	5	38
Alueurakoiden ja palvelusopimusurakoiden koko	5	3	3	5	4	5	4	2	31
Tarjousten arvostelu	4	2	5	5	2	3	4	5	30
Kunnossapitokohteiden valinta	4	4	5	5	3	2	3	2	28
Liikenneturvallisuuden parantamishankkeet	3	3	4	5	3	3	3	4	28
Päällystyskohteiden yhdistely ja optimipituus	4	4	3	1	4	4	2	1	23
Siltojen korjauskohteiden yhdistely urakoiksi	2	2	2	1	4	4	2	1	18
Ennustemallit	3	3	4	1	1	2	3	1	18
Mittausten ja tiedonkeruun määrä	3	2	2	1	3	4	1	1	17
Lähtötietojen määrä tarjouspyynnössä	2	1	2	1	2	3	2	1	14

5 AIHEESEEN LIITTYVÄÄ KIRJALLISUUTTA JA LÄHTEITÄ

Optimointiin liittyvää kirjallisuutta

Bazaraa, M. S., Sherali, H. D., Shetty, C. M. (1993). *Nonlinear Programming: Theory and Algorithms*, Wiley.

Bertsimas, D., Tsitsiklis, J.N., (1997). *Introduction to Linear Optimization*, Athena Scientific.

Keeney, R., Raiffa, H., (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade Offs*, John Wiley & Sons.

Steuer, R.E., (1986). *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application*, John Wiley & Sons.

Taha, H. A., (1997). *Operations Research, An Introduction*, Prentice-Hall International, Inc.

Miettinen, K., (1999). *Nonlinear Multiobjective Optimization*, Kluwer Academic Publishers.

Operaatiotutkimukseen ja optimointiin liittyviä lehtiä:

Applied Mathematics & Optimization
Computational Optimization
Computers & Operations Research
European Journal of Operational Research
Journal of Convex Analysis
Journal of Global Optimization
Journal of Optimization Theory and Applications
Management Science
Mathematical Methods of Operations Research
Mathematical Programming
Mathematics of Operations Research
Operations Research
Operations Research Letters
Optimization online
SIAM Journal on Optimization

Tieteellisiä seuroja:

Decision Analysis Society (<http://faculty.fuqua.duke.edu/daweb/>)

IEEE System, Man, and Cybernetics Society (<http://www.ieeesmc.org/>)

IEEE Control System Society (<http://www.ieeecss.org/>)

IFORS (<http://www.ifors.org/>)

International Society on Multiple Criteria Decision Making
(<http://www.terry.uga.edu/mcdm/>)

Mathematical Programming Society (<http://www.mathprog.org/>)

SIAM Activity Group on Optimization
(<http://www.siam.org/activity/optimization/>)

Suomen Operaatiotutkimusseura (<http://www.optimointi.fi/>)

The International Society of Dynamic Games
(<http://www.isdg.tkk.fi/index.html>)

6 VIITTEET

Chan, W. T., Fwa, T. F., Tan, J. Y. (2003). Optimal fund-allocation analysis for multidistrict highway agencies. *Journal of Infrastructure Systems, Vol 9(4)*.

Frangopol, D.M., Enright, M.P., Estes, A.C. (2000). Integration of maintenance, repair and replacement decisions in bridge management based on reliability, optimization and life-cycle cost. *Transportation Research Circular No 498*. TRB, Washington, D.C.

Jiang, Y., Sinha, K. C. (1990). Approach to combine ranking and optimization techniques in highway project selection. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No 1262*. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Jiang, Y., Sinha, K. C. (1989). Dynamic optimization model for bridge management systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No 1211*. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Keeney R.L. (1992). *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decision-making*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.

Keeney, R., Raiffa, H., (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade Offs*, John Wiley & Sons.

Li, Y., Madanat, S. (2002). A steady-state solution for the optimal pavement resurfacing. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice Vol. 36(6)*. Elsevier Science, Oxford, England.

Li Z., Sinha K. C. (2004). Methodology for multicriteria decision making in highway asset management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No 1885*. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Liesiö, J., Mild, P., Salo, A., (2006). Preference programming for robust portfolio modelling and project selection, *European Journal of Operational Research (julkaistaan)*.

Liesiö, J., Mild, P., Salminen S., Ikonen L. (2004). Monitavoitteinen portfolio-optimointi tiestön päällystämishankkeiden valinnassa. Mat-2.177 Operaatiotutkimuksen projektityöseminaari, loppuraportti.
http://www.sal.tkk.fi/Opinnot/Mat-2.177/projektit2004/Loppuraportti_Inframan.pdf

Paine, D.A. (2004). Managing pavements through risk analysis. *6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia*.

Pal, R., Sinha, K. C. (1998). Optimization approach to highway safety improvement programming. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No 1640*. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Pigman, J. G., Agent, K. R., Mayes, J. G., Zegeer, C. V. (1976). Optimal highway safety improvement investments by dynamic programming. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No 585. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Shackle, G. L. S. (1949). *Expectation in economics*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Sinha, K. C., Kaji, T., Liu, C. C. (1981). Optimal allocation of funds for highway safety improvement projects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No 808. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Sinha, K. C., Muthusubramanyam, M., Ravindran, A. (1981). Optimization approach for allocation for maintenance and preservation of the existing highway system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No 826. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Thompson, P.D., Neumann, L.A., Miettinen, M., Talvitie, A. (1987). A micro-computer Markov dynamic programming system for pavement management in Finland. *Second North American Conference on Managing Pavements 1987*.

Thompson, P.D., Taipio, R.O., Äijö, J. (1991). Microcomputer optimization of light-pavement rehabilitation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No 1291. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Tiehallinto (2006a). Monitavoiteoptimointi siltojen korjausohjelman laatimisessa. RPM-menetelmän soveltaminen. *Tiehallinnon selvityksiä 5/2006*, TIEH 3200982.

Tiehallinto (2006b). Väyläomaisuuden eri osien yhtenäinen hallinta. Julkaistaan Tiehallinnon selvityksiä julkaisusarjassa.

Tiehallinto (2005a). Palvelutasomittausten laadunhallinnan kehittäminen. Six Sigma -laadunhallintamenetelmien soveltaminen. *Tiehallinnon selvityksiä 26/2005*.

Tiehallinto (2005b). Väyläomaisuuden arvon laskennan kehittäminen ja hyväksikäyttö. *Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 31/2005*, TIEH 4000468.

7 LIITTEET

1) Monitavoiteoptimoinnin sovellukset Tiehallinnossa

MONITAVOITEOPTIMOINNIN SOVELLUKSET TIEHALLINNOSSA

Monitavoitteista optimointia on testattu Tiehallinnossa päällystyskohteiden valinnassa (Liesiö et al. 2004), siltojen korjausohjelman valinnassa (Tiehallinto 2006a) ja tiepiirin tienpidon tuotteiden välisessä rahanjaossa (Tiehallinto 2006b). Hankkeet on toteutettu osana Väyläomaisuuden hallinnan tutkimusohjelmaa. Seuraavassa on arvioitu yllä mainittujen selvitysten tuloksia.

Kunnossapitokohteiden valinta

Sekä päällystyskohteiden valintaan, että siltojen korjauskohteiden valintaan on sovellettu arvopuuanalyysiin perustuvaa Robust Portfolio Modelling (RPM) -menetelmää. Yleisesti ottaen kunnossapitohankkeiden valintaongelmat sopivat rakenteeltaan hyvin yhteen RPM-menetelmän kanssa:

- kunnossapitokohteiden valinnan perusteena on lähtökohtaisesti useita osin ristiriitaisia tavoitteita,
- päätösongelma voidaan mallintaa lineaarisella mallilla, ts. rajoitusehdot ovat lineaarisia ja korjausohjelman hyöty voidaan esittää tavoitteiden painotettuna summana,
- kohde-ehdokkaita on useita, tyypillisesti satoja,
- tavoitteiden painot eivät ole tarkkaan tiedossa.

Päällystyskohteiden valintaan sovellettu optimointimalli perustui Oulun tiepiirin hanke-ehdokkaiden luetteloon, jonka perusteella muodostettiin myös todellinen päällystysohjelma. Optimoinnilla saatua tulosta verrattiin todelliseen päällystysohjelmaan. Tulosten perusteella optimointi johti annettujen kriteerien suhteen parempaan tulokseen kuin todellinen päällystysohjelma. Huomattavaa kuitenkin on, että kriteerien valinta ja painottaminen ei perustunut aitoon päätöksentekotilanteeseen. Ts. mallinnuksessa ei hyödynnetty todellista päätöksentekijää. Lisäksi päällystysohjelmia ei verrattu hanketasolla. Koska todellisen päällystysohjelman valinnassa on todennäköisesti huomioitu tekijöitä, joita ei ole sisällytetty optimointimalliin, ei optimoinnilla saadun ohjelma hyvyydestä voida tehdä luotettavia päätelmiä. Joka tapauksessa testitulokset viittaavat siihen, että päällystyskohteiden valinnassa voidaan hyödyntää RPM-menetelmiä. Menetelmän tarkempi arviointi tai käyttöönotto vaatii joka tapauksessa mallin validointia ja mahdollisesti muokkaamista todellisen päätöksentekijän preferenssien mukaiseksi.

Siltojen korjauskohteiden valintaan sovellettu optimointimalli perustui Kaakkois-Suomen vuoden 2005 silta-dataan. Tavoitteiden valinta ja painotus tehtiin asiantuntijoiden ja päätöksentekijöiden kanssa yhteistyössä. Optimointimallin tulokset olivat loogisia ja vastasivat varsin hyvin todellista korjausohjelmaa. Esimerkkinä käytetty päätössuositus vastasi 75 prosenttisesti Hanke-Sihan suositusta. Hanke-Sihasta poiketen, optimointimalli painotti kuitenkin enemmän vilkasliikenteisten teiden suolattuja siltoja. Päätöksentekijän mukaan tätä painotusta voidaan pitää suotavana. Näiltä osin optimointimalli tarjosi uuden näkökulman päätöksenteon tueksi.

Huomattavaa on, että optimointi ei sovellu yksikäsitteisten korjausohjelmien tuottamiseen. Yksittäisten hankkeiden valintaan saattaa vaikuttaa vaikeasti

mallinnettavia, harkinnanvaraisia ja yllättäviä seikkoja. Lisäksi poikkeukselliset hankkeet, kuten suuret sillat, eivät välttämättä pääse mukaan ohjelmaan ilman erillisiä rajoitusehtoja. Lähtökohtaisesti poikkeavat korjaushankkeet tulisivat tarkastella erikseen optimointimallin ulkopuolella.

Saatujen tulosten perusteella siltojen korjaushankkeiden valintaan kehitetty optimointimalli soveltuu hyvin hanke-ehdokkaiden seulontaan ja sitä voidaan käyttää Hanke-Sihan rinnalla hankkeita ehdottavana ja täydentävänä työkaluna. Kaakkois-Suomen tiepiirin siltadataan perustuvan selvityksen jälkeen optimointimallia onkin käytetty Turun tiepiirissä ja samalla mallilla tullaan laskemaan vastaavat tulokset Kaakkois-Suomen silloille myös vuoden 2006 datalla. Tähän mennessä saatujen kokemusten perusteella optimointimallia on pidetty toimivana ja mallin tuottama lisätieto on nähty hyödyllisenä.

Yleisesti ottaen, kunnossapitohankkeiden valintaongelmien osalta RPM-menetelmän keskeinen hyöty on, että sen avulla voidaan tarkastella yksittäisten hankkeiden soveltuvuutta kunnossapito-ohjelmaan ja samalla huomioida useita kriteereitä, epätäydellinen kriteerien painoinformaatio, kilpailevat hankkeet ja mahdolliset ohjelmalle asetettavat rajoitukset. Mittasuureita skaalattaessa vaarana kuitenkin on, että taustalla oleva ilmiö ja lähtötilanne hämärtyy. Lisäksi mallia saatetaan käyttää ilman todellisten preferenssien arviointia. Jokainen analyysin osalta tulisivat mieltä tarkkaan pitääkö mallin tavoitteet, painotukset ja attribuuttien pisteytykset paikkansa annetulla lähtöaineistolla ja kuvaako malli todella päätöksentekijän preferenssejä.

Lopuksi, edellä esitetyissä monitavoitteisissa malleissa on käytetty vain suuntaa-antavaa tietoa tavoitteiden painoista, pääasiassa tärkeysjärjestystä. Lähtökohtaisesti mallien osumatarkkuus todellisten päätösohjelmien kanssa paranee, kun malleja tarkennetaan. Tarkoilla tavoitteiden painoilla esim. Li ja Sinha (2004) pääsivät 85 - 100 % osumatarkkuuteen.

Rahanjako tienpidon eri tuotteille

Monitavoiteoptimoinnin soveltamista tienpidon rahoituksen allokointiin eri ylläpito- ja hoitotuotteiden kesken testattiin vuonna 2006 Kaakkois-Suomen tiepiirin aineistojen avulla. Tutkimusprojektissa kehitetyn optimointimallin avulla voidaan rinnastaa eri tuotteita ja niihin kuuluvia toimenpiteitä usean arviointikriteerin suhteen ja laskea kokonaishyötyyn perustuva vuotuisen ylläpito- ja hoitobudjetin optimaalinen allokointi eri tuotteille usean kymmenen vuoden ajalle.

Malli on tarkoitettu ensisijaisesti tuotteiden väliseen vertailuun ja tulokset ovat luonteeltaan suuntaa-antavia. Näin ollen lähestymistapa ei varsinaisesti sovellu rahoitustarpeen laskentaan. Esim. vaikutusmallien tarkkuus ei vastaa Hibris-järjestelmän tasoa.

Etuna on mallin suhteellisen helppo muokattavuus, mikä mahdollistaa erilaisten tarkasteluiden ja analyysien teon päätöksenteon tueksi. Mallia voidaan käyttää esim. rajahyötyanalyysiin, ts. voidaan tarkastella miten kokonaisbudjetin lisääminen tai leikkaaminen kohdentuu tuotteiden kesken ja mitä vaikutuksia sillä on kunkin tuotteen kunto- ja hoitotasoon. Vastaavasti voidaan tutkia miten tavoitteiden eri painotukset vaikuttavat tuotteiden priorisointiin. Tämyntyylinen työkalu soveltuu hyvin toimintalinjojen suunnitteluun.

Huomattavaa on, että mallilla tehdyt analyysit ovat aina luonteeltaan erillis-analyysejä, joissa herkkyystarkasteluilla ja eri skenaarioiden läpikäymisellä on keskeinen merkitys. Malli on myös herkkä parametrien muutoksille, minkä vuoksi tulokset vaativat aina huolellista validointia ja tulkintaa. Tässä mielessä mallin soveltaminen ei ole suoraviivaista. Erityisesti kriteerien ja pisteytyksen määrittäminen tulee tehdä huolellisesti. Suhteelliset vertailut toimivat vain annettujen vaihteluvälien, rajoitusehtojen ja kriteerien puitteissa.

Kaakkois-Suomen testiaineistolla lasketut tulokset olivat suuruusluokaltaan järkeviä ja lähestymistapa todettiin toimivaksi. Tulosten perusteella monitaivoitteista optimointia voidaan hyödyntää tienpidon tuotteiden yhtenäisessä tarkastelussa ja optimoinnin avulla voidaan saada hyödyllistä tietoa toimintalinjojen ja rahanjaon suunnittelun tueksi.



ISSN 1459-1553
ISBN 978-951-803-780-7
TIEH 3201043-v