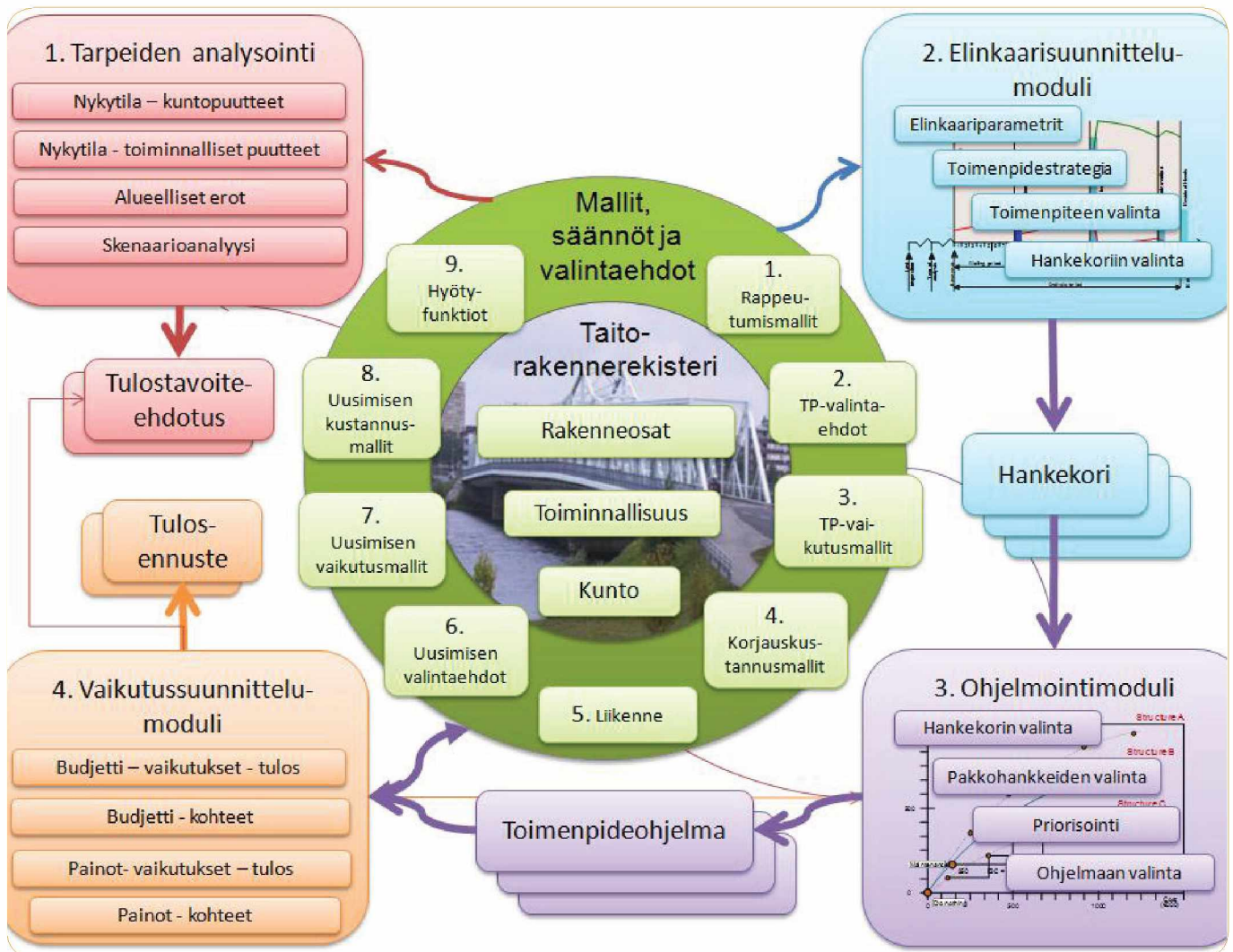


PERTTI VIRTALA
PAUL D. THOMPSON
REED ELLIS

Taitorakenteiden hallintajärjestelmän periaatteellinen toiminta



Pertti Virtala, Paul D. Thompson, Reed Ellis

Taitorakenteiden hallintajärjestelmän periaatteellinen toiminta

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 28/2011

Liikennevirasto

Helsinki 2011

Kannen kuva: Taitorakenteiden hallintajärjestelmän rakenne

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-723-0

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Pertti Virtala, Paul D.Thompson, Reed Ellis: Taitorakenteiden hallinnan periaatteellinen toiminta. Liikennevirasto, Väylätekniikkaosasto. Helsinki 2011. Tutkimuksia ja selvityksiä 28/2011. 229 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-723-0.

Avainsanat: väyläomaisuus, rakentaminen, tietojärjestelmät, hallintajärjestelmät

Tiivistelmä

Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalalla olevat kolme aiempaa keskushallintovirastoa; Tiehallinto, Ratahallinto ja Merenkulkulaitos ovat yhdistyneet yhdeksi Liikennevirastoksi. Aiempien erillisten virastojen toiminnansuunnittelukäytännöt yhdistyvät ja yhtenäistyvät. Kaikkien aiempien virastojen väyläomaisuudessa on taitorakenteisiin kuuluvia osia, joiden hallinta tulee yhden ja saman järjestelmän piiriin. Taitorakenteiden hallinnan tietojärjestelmän uusiminen on parhaillaan käynnissä. Vaatimusmäärittelyssä on määritetty uuden järjestelmän tavoitteita ja toiminnalliset vaatimukset. Tämän projektin yhteydessä on määritetty taitorakenteiden hallinnan periaatteellisia toimintoja. Tätä työtä seuraa varsinainen toiminnallinen määrittely, jonka perusteella itse järjestelmän hankinta ja toteutus lähtevät käyntiin.

Väylänpidossa on useita liiketoimintaan liittyviä päätöstilanteita, joissa käytetään väyläomaisuuden tilaan ja tarpeisiin liittyvien hallintajärjestelmien tuloksia. Hallintajärjestelmän tulee osoittaa omaisuuden tila, siihen liittyvät tarpeet, auttaa tavoitteiden ja rahoituksen suunnittelussa ja asetettujen tavoitteiden toteuttamisessa. Tämän työn keskeisin tavoite on määritellä, minkälainen monitavoiteoptimoinnin menetelmä sopisi taitorakenteiden toimenpideohjelmien laadinnassa kohteiden valinnan menetelmäksi. Samalla kuitenkin haluttiin määritellä sellainen hallintajärjestelmä, joka palvelee taitorakenteiden ylläpitoa kokonaisuutena, sopii käytettäväksi kaikille taitorakenteille ja edustaa viimeisimpiä kehitystuloksia.

Hallintajärjestelmä sisältää neljä moduulia, jotka ovat tarpeiden analysointi, rakennetason suunnittelu, toimenpideohjelmointi ja vaikutustarkastelu. Tarpeiden analysointi sisältää rakenteiden nykytilan ja lähitulevaisuuden ikäkäyttäytymiseen tarvittavat komponentit, mallit ja päätöspuut. Rakennetason suunnittelumoduuli sisältää elinkaarianalyysin, joka on siten integroituna hallintajärjestelmän sisään. Elinkaarianalyysin tarkoitus on palvella taitorakenteiden ylläpidon hallintaa kustannusten näkökulmasta ja tuoda taitorakenteille tarvittavien toimenpiteiden ajoitustieto ohjelmoinnin lähtötiedoksi. Elinkaarianalyysi tuo yksittäisen taitorakenteen ”näkökulman” toiminnansuunnitteluun.

Yksittäisten taitorakenteiden pohjalta laadittu ajoitus ei kuitenkaan riitä toimenpideohjelman muodostamiseen, koska verkkotason budjettirajoitukset ja toistensa kanssa kilpailevat tavoitteet ovat voimassa. Ohjelmointivaiheessa on otettava huomioon useita eri tavoitteita ja käytettävä monikriteerianalyysiä. Monikriteeriseen päätösanalyysiin on olemassa useita eri menetelmiä. Väyläomaisuuden hallintaan on kirjallisuudessa ainakin 40 eri sovelluskokeilua, joista 17 on kohdistettu siltojen tai taitorakenteiden hallintaan. Keskeisiä ovat tavoiterakenteen muodostaminen ja matemaattisen ongelman ratkaisumenetelmä, joita kumpiakkin on tarjolla useita. Liikenneviraston taitorakenteiden hallintaan suositellaan hyötyteoriaan pohjautuvaa tavoiterakennetta. Monitavoiteongelman ratkaisuun käyvät useat eri menetelmät, mutta laskennan vastaajan perusteella tehokkain on kustannuksiin suhteutetun lisähyödyn priorisointi yksinkertaisilla priorisointimenetelmillä.

Monitavoiterakenne muodostuu kuudesta eri osatavoitteesta, jotka ovat kunto, liikenneturvallisuus, toimivuus, elinkaaren kustannukset, ympäristö ja säilyvyys. Käyttäjällä on mahdollisuus ohjelmoida korjauskohteita painottaen eri osa-alueita haluamallaan tavalla. Osa-alueet kytketään hyötyfunktioilla kuntoa ja toiminnallisuutta kuvaaviin tarkastustietoihin mallinnuksessa kehitetyllä tavalla.

Menetelmä edellyttää taitorakenteiden tarkastustietoa ja malleja, joilla hallitaan kulloinenkin tila ja toimenpidevaihtoehtojen vaikutukset. Järjestelmän toiminnan kannalta tärkeimmät ja kiireellisimmät mallit ovat rakenteiden rappeutumismallit, toimenpiteiden vaikutusmallit sekä toimenpiteiden kustannusmallit.

Rappeutumismallit suositellaan kehitettäväksi taitorakenteiden rakenneosien kuntoluokille Markov-pohjaisina. Rappeutumisen ikäriippuvuus suositellaan hallittavaksi Weibull-eloonjäämismalleilla niissä tilanteissa, missä tarkastushistoria mahdollistaa niiden kehittämisen. Muiden taitorakenteiden osalta suositellaan tarkastustoiminnan käynnistämistä tai jatkamista siten, että aineistoa mallinnuksen pohjaksi kertyisi mahdollisimman nopeasti.

Mallien lisäksi tarvitaan myös erilaisia käsittelysääntöjä ja valintaehtoja, joilla säädellään eri tilanteisiin mahdollisten toimenpiteiden määrää.

Verkkotason tarkastelun suositellaan tehtäväksi palvelutasomuuttujien kautta. Kullekin monita-voiterakenteen kriteerille voidaan määritellä palvelutasomuuttujia ja niille raja-arvoja. Yksittäisen taitorakenteen palvelutaso kunkin muuttujan suhteen on joko riittävä tai ei riittävä. Verkko-tasolla käsitellään taitorakenteiden painotettuja määriä joko palvelutasoltaan riittävässä luokissa tai ei-riittävässä luokissa.

Määritelty hallintajärjestelmän periaatteellinen toiminta kytkee elinkaarikustannusanalyysin uudella tavalla monikriteeriseen päätösanalyysiin ja mahdollistaa toimenpideohjelmien suunnittelun useammasta näkökulmasta. Elinkaarikustannusanalyysi tuottaa kohteita hankekoriiin kymmenen vuoden ohjelmaperiodin ajalle, josta monikriteerisellä päätösanalyysillä valitaan kulloinkin budjettiin sopivat mahdollisimman hyödylliset kohteet.

Järjestelmän toteuttaminen sisältää sekä itse tietojärjestelmään että taitorakenteiden käyttäytymisen mallintamiseen liittyviä haasteita. Tietojärjestelmän tulee olla helppokäyttöinen ja vasteajoiltaan riittävä. Taitorakenteiden tarkastustoiminta tulee ulottaa koskemaan kaikkia taitorakenteita. Taitorakenteiden rappeutuminen ja toiminnallisuus ovat haastavia mallinnettavia. Erityyppisten taitorakenteiden vertailukelpoisuuteen tarvittavien rakennepainojen määrittäminen on myös haasteellinen tehtävä. Toteutuessaan uusi hallintajärjestelmä edustaa työläomaisuuden hallinnassa kehityksen kärkeä.

Pertti Virtala, Paul D.Thompson, Reed Ellis: Principiell funktion av tekniska konstruktioners förvaltning i Finland. Trafikverket, infrastrukturteknik. Helsingfors 2011. Trafikverkets undersökningar och utredningar 28/2011. 229 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-723-0.

Sammanfattning

Finska kommunikationsministeriet har genomgått en relativt stor omorganiseringsfas genom en sammanslagning av före detta Vägförvaltningen, Banverket och Sjöfartsverket. Samtliga transportärenden styrs numer från en central förvaltning. Förutom detta så har även de tidigare regionala delarna gått samman med andra regionala organisationer. Denna omorganisation kommer även att nödvändiggöra en omorganisering av ledningen.

Metoder för ledning av tekniska konstruktioner kommer att utvecklas för att ha gemensamma databaser och ledningssystem. Tidigare organisationer hade sina egna ledningssystem och databaser som hade administrativa data och inspektionsdata för tekniska konstruktioner av olika transportformer. Tekniska konstruktioner inkluderar nu broar, kulvertar, tunnlar, bryggor och stödmurar. Det finns ett behov att studera mer ingående hur bra det nuvarande ledningssystemet som används för att styra tekniska konstruktioner verkligen fungerar, vilka affärsprocesser behövs, och vad som borde förbättras.

Före starten av detta projekt studerades nuvarande ledningssystem i två separat projekt, och pilotstudier utfördes för att implementera sk "multi-objective" optimeringsmetoder i ledningssystemens programmeringsfas. Det har funnits ett behov av att analysera fler alternativ för "multi-objective" optimering, och även att undersöka internationella metoder. I det här projektet har olika "multi-objective" optimeringsmetoder studerats, och en sk "multi-criteria" optimering (MCO) metod för att passa ledningen för finska tekniska konstruktioner kommer att rekommenderas.

Det rekommenderade ledningssystemet har fyra moduler som är behovsbedömningsmodul, livscykelkostnadsmodul, programmeringsmodul och prestanda-inriktningsmodul. Det rekommenderade ledningssystemet har livscykelkostnadsanalysen och multikriteriella beslutsanalys integrerade. LCCA modulen fungerar i systemet som ett verktyg för att bilda kandidater till en definierad programmeringsperiod och MCDA metoden är ett verktyg för att välja projekt till årliga arbetsprogram med start från kandidatfilen. Prestanda-inriktningsverktyget är för att analysera nätverksnivå-effekterna av olika vägda policier och program. Den rekommenderade MCO analysen har sex multipla kriterier som är tillstånd, säkerhet, mobilitet LCCA, miljö och motståndskraft. Kriterierna är anslutna till en användarfunktion med modeller, vikter, och skalfunktioner. Olika tekniska strukturer görs jämförbara med strukturella vikter som beror på trafikvolymen eller storleken på strukturen.

Det rekommenderade ledningssystemet för tekniska konstruktioner behöver utvecklingsinsatser. Mer omfattande granskningspraxis behövs för att få information om tillstånd och konstruktioners existens. Försämrings- och åtgärdseffekts modeller behövs för att kunna förutsäga tillstånd efter granskning eller en åtgärd. Beslutsregler, åtgärds-kategorier och kostnadsmodeller används för att utforma strategier. nyttofunktioner behövs för att kunna jämföra kandidater och projekt för årliga arbetsprogram.

Pertti Virtala, Paul D. Thompson, Reed Ellis: Conceptual Definition of the Management System for Engineering Structures in Finland. Finnish Transport Agency, Infrastructure Technology. Helsinki 2011. Research reports of the Finnish Transport Agency 28/2011. 229 pages and 1 enclosure. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-723-0.

Summary

Finnish Transport Agency has gone through a relatively large re-organisation phase by unifying into one agency with the former Road Administration, Railway Administration and Maritime Agency. All Transportation Assets are managed from now on in one central office. On top of that, regional parts of former agencies are separated and joined together with other regional organisations. This reorganisation will necessitate reorganising management practices as well. The management practices of engineering structures will be developed to have common databases and management systems. Former organisations had their own management systems and databanks which had administrative data and inspection data of assets of engineering structures of different transportation modes. Engineering structures now include bridges, culverts, tunnels, piers, retaining walls, and pilar decks. There is a need to study in more detail how well the current management systems to manage engineering structures are really working, what are the needed business processes, and what should be improved.

Before the start of this project the state of the art of current management systems have been studied in two separate projects, and pilot studies have been made to implement multi-objective optimization methods in the programming phase of management systems. There has been a need to analyze more alternatives for multi-objective methods, and to survey international practices as well. In this project different multi-objective optimization methods have been studied, and a multi-criteria optimization (MCO) method to fit to the management of the Finnish Engineering Structures will be recommended. About 40 cases have been found in literature to deal with multi-criteria analysis for transportation assets. 17 of them are for bridge management. The most common is the Multi-Attribute Utility Theory which is the recommendation for the use of Finnish Transport Agency as well.

The recommended management system has four modules which are needs assessment module, life-cycle cost analysis module, programming module and performance targeting module. The recommended management system has the life-cycle cost analysis and multi-criteria decision analysis integrated in it. The LCCA module serves in the system as a tool to form candidates for a defined programming period and the MCDA method is a tool to choose projects into annual work programs starting from the candidate file. The performance targeting tool is for analysing the network level effects of different weighting policies and programs. The recommended MCO analysis has six multiple criterias which are condition, safety, mobility, LCCA, environment and resiliense. Criterias are connected into one utility function with models, weights and scaling functions. Different engineering structures are made comparable with structural weights which are depending on the volume of traffic or size of structure.

The recommended management system for engineering structures needs development efforts. A more comprehensive inspection practices is needed to get the data of condition and existence of structures. Deterioration and action effects models are needed to be able to predict condition after inspection or an action. Decision rules, action categories and cost models are used to form strategies. Utility functions are needed to be able to compare candidates and projects to annual work programs.

Esipuhe

Tässä raportissa kuvataan Liikenneviraston käyttöön suunnitellun taitorakenteiden hallintajärjestelmän periaatteellinen toiminta. Työ asettuu tietojärjestelmän kehittämisessä vaatimusmäärittelyn ja toiminnallisen määrittelyn väliin ja määrittää, miten vaatimusmäärittelyssä listatut toiminnot tulisi laskentaperiaatteiltaan suunnitella, jotta toiminnallinen määrittely voisi tuottaa toteutuksen kilpailutusta varten tarvittavat yksityiskohtaisemmat määrittelyt.

Työn on tehnyt Pertti Virtala Destia Oy:sta alikonsultteinaan Paul D. Thompson Engineering Economics and Management Systems Inc. ja Reed Ellis Stantec Ltd:stä. Työtä ovat ohjanneet ohjausryhmä ja projektiryhmä. Ohjausryhmään ovat kuuluneet puheenjohtajana alkuvaiheessa Jan Juslen ja loppuvaiheessa Markku Nummelin Liikennevirastosta, Matti Piispanen Liikennevirastosta, Arto Kuskelin Destia Oy:stä, Marja-Kaarina Söderqvist Liikennevirastosta sekä Magnus Veijola Morro Ky:stä. Projektiryhmään ovat kuuluneet kahden viimeksi mainitun lisäksi Minna Torkkeli ja Vesa Männistö Liikennevirastosta sekä Janne Wuorenjuuri VR-Rata Oy:stä.

Helsingissä lokakuussa 2011

Liikennevirasto
Kunnossapito/Väylätekniikka/Taitorakenteet

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	11
2	TAVOITTEET JA RAJAUKSET	13
2.1	Tavoitteet	13
2.2	Rajaukset.....	14
3	OPTIMOINTI TOIMINNANSUUNNITTELUSSA.....	15
3.1	Nykyiset hallintajärjestelmät.....	15
3.1.1	Rakenne.....	15
3.1.2	Järjestelmien käytön tila	18
3.1.3	Parannustarpeet	20
3.2	Toiminnansuunnittelun tarpeet	24
3.2.1	Yleiskuvaus.....	24
3.2.2	Strateginen suunnittelu	25
3.2.3	Tulosohjaus	26
3.2.4	Ohjelmointi.....	29
3.3	Hallintajärjestelmän käyttötilanteet	38
3.3.1	Pääkäyttäjä	38
3.3.2	Ylläpidon suunnittelija	40
3.3.3	Ohjelmoija	41
3.3.4	Korjaussuunnittelija.....	42
4	OPTIMOINTIMENETELMÄN VALINTA	43
4.1	Tausta	43
4.1.1	Monitavoitteellisuuden tarve	43
4.1.2	Monitavoiteoptimoinnin lähestymistavat.....	45
4.1.3	Monitavoiteoptimoinnin kehittyminen.....	49
4.2	Optimointimenetelmien vertailu	54
4.2.1	Vertailuun valinta	54
4.2.2	Menetelmien esittely	58
4.2.3	Vertailu	67
4.3	Suosittelava hallintajärjestelmä	70
4.3.1	Hallintajärjestelmän rakenne	70
4.3.2	Kuntopuutteiden analysointi.....	72
4.3.3	Toiminnallisten puutteiden analysointi	79
4.3.4	Elinkaarianalyysi	82
4.3.5	Monikriteerianalyysi	83
4.3.6	Ohjelmointi- ja verkkotason analysointi	85
5	TAVOITTEISTO	97
5.1	Tavoitteistorakenne	97
5.1.1	Laadintaperiaatteita	97
5.1.2	Asiakaslähtöisyys	99
5.1.3	Elinkaarikustannusten laskentaohje.....	102
5.1.4	Kirjallisuus.....	102
5.2	Nykyiset indikaattorit	106
5.2.1	Tarkastusjärjestelmä	106
5.2.2	Tarkastustieto ja indeksit	113
5.2.3	Nykyisten indeksien arviointia.....	124
5.3	Pilottitutkimusten tavoiterakenteet	127

5.4	Suosituksset.....	128
5.4.1	Vertailtavuuden lisääminen	128
5.4.2	Suosittelava tavoiterakenne	128
5.4.3	Esimerkki alatavoitealueista ja malleista	131
6	RAPPEUTUMISMALLIT.....	135
6.1	Yleisiä periaatteita	135
6.1.1	Kuntoennusteiden merkitys	135
6.1.2	Mallien tarve.....	137
6.1.3	Mallien taso	139
6.1.4	Tiedon tarve	140
6.2	Nykyisten mallien arviointi.....	144
6.2.1	Siltojen mallit.....	144
6.2.2	Nykyisten mallien soveltuvuus	154
6.3	Tarkastusdata	155
6.3.1	Maantiesillat.....	155
6.3.2	Rautatiesillat.....	166
6.4	Suosituksset.....	170
6.4.1	Mallinnus	170
6.4.2	Mallien kytkeminen hallintajärjestelmään	178
7	ELINKAARIANALYYSI	179
7.1	Elinkaaren hallinta	179
7.2	Elinkaariparametrit	181
7.3	Toimenpidestrategia.....	182
7.4	Toimenpiteet	184
7.5	Kannattavuuslaskelmat.....	187
7.5.1	Diskonttaus	187
7.5.2	Laskentamenetelmät	188
7.5.3	Tunnuslukujen valinta	191
7.6	Muita elinkaarilaskennan tunnuslukuja	191
7.6.1	Vastinikä	191
7.6.2	Lisääntynyt käyttöikä	192
7.6.3	Jäljellä oleva käyttöikä	193
7.7	Optimijointus	193
8	TULOSOHJAUS.....	195
8.1	Tulosohjauksen tarpeet.....	195
8.2	Tulosohjaus ja monitavoiteoptimointi	195
9	VERKKOTASO JA MONITAVOITEOPTIMOINTI	198
9.1	Tausta	198
9.1.1	Tradeoff analyysi.....	198
9.1.2	Valintatilanne.....	199
9.2	Vaikuttavuus.....	200
9.2.1	Vaikutusmittarit.....	200
9.2.2	Taitorakennetason vaikutukset	201
9.2.3	Verkkotason vaikutuslaskenta	205
9.2.4	Ohjelmatason vaikutuslaskenta	208
9.3	Laskentaesimerkki.....	208
9.3.1	Toimenpidevaihtoehdot.....	209
9.3.2	Kustannuspainotteinen ohjelma	211

9.3.3	Turvallisuuspainotteinen ohjelma.....	213
9.3.4	Vaikutukset taitorakenteiden hallintaan.....	215
10	YHTEENVETO	216
10.1	Taitorakenteiden hallintajärjestelmän rakenne.....	217
10.2	Monikriteerianalyysin rakenne.....	218
10.3	Datapohja.....	219
10.4	Mallit ja valintaehdot	220
	LÄHTEET	223
	LIITTEET	
Liite 1	Hallintajärjestelmän käyttäjien käyttötilanteet (SIPOC-kaaviot)	

1 Johdanto

Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalalla olevat kolme aiempaa keskuhallintovirastoa; Tiehallinto, Ratahallinto ja Merenkulkulaitos ovat yhdistyneet yhdeksi Liikennevirastoksi. Aiempien erillisten virastojen toiminnansuunnittelu- käytännöt yhdistyvät ja yhtenäistyvät. Kaikkien aiempien virastojen väyläomaisuudessa on taitorakenteisiin kuuluvia osia, joiden hallinta tulee yhden ja saman järjestelmän piiriin (Taulukko 1). Keskushallintoviraston uudistumisen lisäksi myös aluehallinnot ovat uudistuneet. Aiemmat tiepiirit ovat siirtyneet Työ- ja elinkeinoministeriön alaisuuteen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksiin (ELY) ja rata- ja vesiteiden aluehallintoa ollaan myös uudistamassa.

Taulukko 1. Liikenneviraston väyläomaisuuden osat liikennemuodoittain (Lähde: Liikenneväylien korjausvelka).

Omaisuu- den tyyppi	Väylämuoto		
	Tiet	Radat	Vesiväylät
<i>Linjaosuudet</i>	<i>Päällystetyt tiet Soratie Kevyen liikenteen väylät</i>	<i>Linjaosuudet Ratapihat</i>	<i>Väylät</i>
<i>Taitorakenteet</i>	<i>Sillat Laiturit Tunnelit Tukimuurit Paalulaatat Pumppaamot</i>	<i>Sillat Tunnelit Tukimuurit Pylväspäerustukset Rummut Kallioleikkaukset</i>	<i>Avattavat sillat Avokanavat Sulkukanavat Laiturit Patorakenteet Lappo-rakenteet</i>
<i>Laitteet</i>	<i>Seurantalaitteet Telematiikka järjes- telmät</i>	<i>Turvalaitteet Sähkölaitteet Vaihteet Vaihdelämmitykset Sähköradan syöttö- ja välilytkinasemat Muuntajat GSM-Rata (verkko) Matkustajainfor- maatio Kamerajärjestelmät</i>	<i>Turvalaitteet Sulkulaitteistot</i>
<i>Varusteet</i>	<i>Liikennemerkkit Kaiteet Pysäkkikatokset Meluvallit Meluseinät Melukaiteet Aidat</i>	<i>Asemalaiturit Radan merkit</i>	<i>Johteet Vesiliikennemerkkit</i>

Taitorakenteiden hallinta yhdistetään tapahtuvaksi yhden ja saman järjestelmän avulla. Tähän yhdistämiseen liittyvä tavoitetilan kuvaus on esitetty tarkemmin vaatimusmäärittelyn tuottamassa raportissa (Atostek, 2010). Osia eri virastojen käyttämistä järjestelmistä jää pois käytöstä ja siirtyy yhden ja saman järjestelmän alle. Erialaisten lähtökohtien takia on syytä tarkastella, miten eri taitorakenteiden hallinta kannattaisi periaatteellisella tasolla järjestää ottaen huomioon myös muissa maissa tapahtunut vastaava kehitys. Toiminnallisuus määritellään lopullisesti toiminnallisessa määritte-

lyprojektissa tämän projektin rinnalla. Taulukossa 2 on esitetty tiedossa oleva taitorakenteiden määrä rakennetyypeittäin ja väylämuodoittain. Taitorakenteiden määrä painottuu maanteiden ja rautateiden siltoihin, joita on valtaosa rakenteista.

Taulukko 2. Taitorakenteet liikennemuodoittain (Luvuissa saattaa olla päällekkäisyyttä).

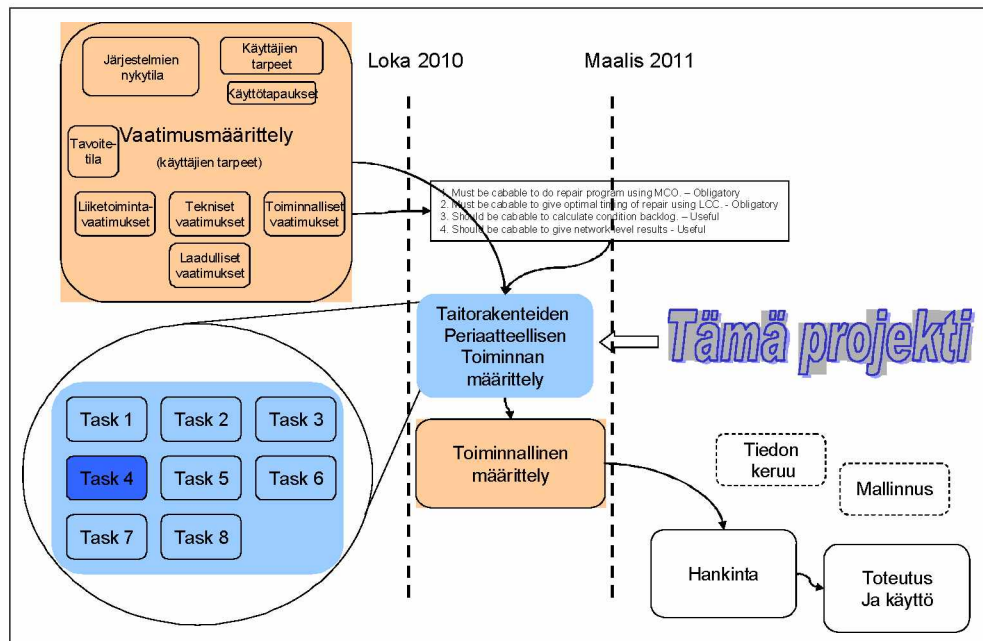
Osa	Liikennemuoto (ilman lentoliikennettä)		
	Maantiet	Rautatiet	Vesiväylät
Sillat	n. 12000 kpl	3200 kpl / 53 km	32 kpl
Putket	3000 kpl	5776 kpl	-
Tunnelit	28 kpl	42 kpl / 39 km	-
Laiturit	200 kpl		
Kanavat	-	-	38 kpl
Tuki-muurit	ei tiedossa	ei tiedossa	-
Paalu-laatat	ei tiedossa	ei tiedossa	-

Taitorakenteiden hallintaa tapahtuu virastotasolla ja aluetasolla. Maanteiden aluetason hallinnan aluekeskuksia on 9 kpl. Rautateiden ja vesiväylien aluehallinto on aiemmin tapahtunut neljän eri alueen avulla. Aluehallinto on muutosvaiheessa.

2 Tavoitteet ja rajaukset

2.1 Tavoitteet

Tämän projektin tavoitteena on **määrittellä taitorakenteiden hallinnan periaatteellinen toiminta** toiminnallista määrittelyä varten. Työn lähtökohtana ovat vaatimusmäärittelyssä tunnistetut olemassa olevien hallintajärjestelmien nykytilat ja niiden käyttäjien tarpeet sekä toiminnansuunnittelun lähitulevaisuuden tarpeet. Työn lopputulosta käytetään toiminnallisessa määrittelyssä. Projekti asettuu osaksi tietojärjestelmän kehittämistä kahden eri osan väliin (Kuva 1).



Kuva 1. Periaatteellisen toiminnan määrittelyprojekti osana järjestelmän uusimista.

Hallintajärjestelmän periaatteellisen toiminnan määrittelyssä kuvataan ne toiminnallisuuden osat, joita tarvitaan haettaessa vastauksia väyläomaisuuden hallinnassa toiminnansuunnittelun eri vaiheissa syntyviin kysymyksiin. Toiminnansuunnittelussa päämääränä on maksimoida omaisuuden ylläpidon hyötyjä käytettävissä olevilla resursseilla. Liikenneviraston keskeiset hyötyihin vaikuttavat kysymykset ovat, miten resurssit kannattaa jakaa ja mihin palvelutasoon kannattaa pyrkiä ja minkälaisia tavoitteita mihinkin tilanteeseen kannattaa asettaa. Aluehallinnossa keskeisin kysymys on, miten valita toteutettavat ylläpito-hankkeet, jotta tavoitteet saadaan toteutumaan minimikustannuksin. Ylläpito-hankkeiden valinta onkin tämän työn tärkein toiminnallisuus.

Tämä työ on vaiheistettu tarjouspyynnön mukaisesti kahdeksaan osavaiheeseen, jotka ovat seuraavat:

1. vertailtava eri monitavoiteoptimoinnin menetelmien ja analyysitapojen soveltuvuutta silloille ja muille taitorakenteille,
2. valittava, millä monitavoiteoptimoinnin menetelmällä optimointi tulee tehdä,
3. selvitettävä erikseen eri taitorakenneryhmille, mitä optimointikriteerejä monitavoiteoptimoinnissa tulee käyttää,

4. selvitettävä, miten monitavoiteoptimointi nivotaan taitorakenteiden hallintajärjestelmän toimenpideohjelmien laatimisprosessiin,
5. selvitettävä, miten Hanke-Sihan nykyiset rappeutumis- ja toimenpidemalleihin perustuvat kuntoennusteet liitetään hallintajärjestelmään sekä Siltarekisterin tietovarastoon ja raportointijärjestelmään,
6. selvitettävä, miten siltakohtainen elinkaaritarkastelu liitetään hallintajärjestelmään
7. selvitettävä, miten Liikenneviraston tulosohjauksen asettamat ylläpidon tavoitteet liitetään hallintajärjestelmään, sekä
8. selvitettävä, miten verkkotason tavoitteet liitetään hallintajärjestelmään.

2.2 Rajaukset

Taitorakenteisiin kuuluu seitsemän erilaista rakennetyyppiä kolmen eri liikenne- muotoa edustavan väyläviraston hallinnoimana. Toiminnansuunnitteluprosessit eroavat toisistaan ja yhtenäisen tavan kehittyminen on parhaillaan muodostumassa. Eri rakenteisiin liittyvän tiedon määrä ja laatu vaihtelevat merkittävästi. Nämä seikat vaikeuttavat kaikille rakenteille sopivan yhtenäisen toiminnansuunnittelutavan kehittymistä. Yleensä tämäntyyppiset kehittämisprojektit vaativat enemmän aikaa kuin pelkän yhden tiiviiseen aikaikkunaan sijoitetun projektin verran.

Erialaisten rakenteiden hallinta halutaan yhtenäistää saman järjestelmän piiriin. Toisaalta kuitenkin halutaan välttyä kovin suurten lisätietojen keruulta. Nämä kaksi tavoitetta tulee pystyä tasapainottamaan niin, että syntyy käyttökelpoinen ja tehokas hallintajärjestelmä.

Tämä määrittelyprojekti sijoittuu asiallisesti vaatimusmäärittelyn ja toiminnallisen määrittelyn väliin. Lähtökohtina ovat vaatimusmäärittelyn tuottamat vaatimukset, jotka perustuvat nykyjärjestelmien tilan arviointiin, käyttäjien toiveiden kartoittamiseen ja tavoitetilän suunnitteluun. Tämä projekti tuottaa periaatteellisen toiminnan määrittelyn seuraavalle toiminnallisen määrittelyn projektille, joka ajoittuu samaan aikaikkunaan tämän projektin kanssa. Ajoittumisen päällekkäisyys jo itsessään on yksi ongelma näiden projektien välillä. Jos lisäksi halutaan lähteä uudestaan käyttäjien tarpeiden kartoitukseen, niin aikatauluongelma entisestään pahenee. Käyttäjätarpeiden uudelleen selvittämismahdollisuudet ovat siten rajalliset.

Monitavoiteoptimoinnin kehittäminen hallintajärjestelmään on luonteeltaan iteratiivinen prosessi, missä teoreettinen suunnittelu, kuten tässä tapauksessa, tuottaa lähtökohdan. Toiminnallinen määrittely täsmentää yksityiskohtia ja voi johtaa tiettyjen periaatteiden uudelleenmuodostamiseen tai -arviointiin. Tämä on tyypillistä kaikille hallintajärjestelmien kehitysprojekteille. Periaatteellisen toiminnan pääasialliset toiminnalliset osat onkin syytä suunnitella ja päättää ensin ja mahdollistaa yksityiskohtiin palaaminen ja parantaminen myöhemmin. Iteratiivisuus on siis tarpeellinen ja luonnollinen osa järjestelmäkehitystä.

Minimivaatimus hallintajärjestelmälle on, että taitorakenteesta on olemassa tieto jossain omassa rekisterissä sisältäen sekä yleistiedot että kuntotiedot ja että niiden päivitystoiminnot ovat olemassa ja toiminnassa. Rinnakkaisen toiminnallisen määrittelyprojektin rekisteriä ja inventointeja koskevat osat ovat siten tärkeitä tämän osan tuotosten soveltamisessa, jotta puuttuvien rakenteiden inventointituloksille saadaan paikka ja niiden käyttö tulee mahdolliseksi.

3 Optimointi toiminnansuunnittelussa

3.1 Nykyiset hallintajärjestelmät

3.1.1 Rakenne

Taitorakenteiden hallintajärjestelmien tila on selvitetty aiemmissa määrittelyprojekteissa (Miettunen, 2009, ja Atostek, 2010). Taulukossa 3 on yhteenveto siitä, millä välineillä ja menettelyillä eri taitorakenteiden ylläpitoa on tähän mennessä hallittu. Näkökulmana yhteenvetoa tehtäessä on ollut kuvata hallintajärjestelmän minimaativaatimukset, toimivat tarkastuskäytännöt, tietovarasto ja toimenpidesuunnittelun välineet.

Taulukko 3. Yhteenveto nykyisten hallintajärjestelmien rakenteesta. (Kolme osaa arvioitu; tarkastusjärjestelmä, tietovarasto ja toimenpideohjelmien laativäline).

Taitorakenne	Liikennemuoto (ilman lentoliikennettä)		
	Maantiet	Rautatiet	Vesiväylät
Varsinaiset sillat	<ul style="list-style-type: none"> Tarkastuskäsikirja. Tarkastusväli noin 5 v. Siltarekisteri. Korjausohjelmointiin H-Siha, priorisointiin VPS, UTI ja KTI. Käyttö vaihtelee. Elinkaarianalyysiin E-Siha, mutta ei kattava. 	<ul style="list-style-type: none"> Tarkastuskäsikirja. Tarkastusväli noin 7 v. Siltarekisteri, Ratapurkki, EXCEL, (KTI) 	<ul style="list-style-type: none"> Tarkastuskäsikirja Rekisteri, Lokki Ei hallintajärjestelmää
Putkisillat	<ul style="list-style-type: none"> Tarkastuskäsikirja. Tarkastusväli noin 5 v. Siltarekisteri. Korjausohjelmointiin H-Siha, priorisointiin VPS, UTI ja KTI. Käyttö vaihtelee. Elinkaarianalyysiin E-Siha, mutta ei kattava. 	<ul style="list-style-type: none"> Tarkastuskäsikirja, tarkastusväli 7 v Rumpurekisteri, Ratapurkki, EXCEL, (KTI) 	-
Tunnelit	<ul style="list-style-type: none"> (Tarkastuskäsikirja) Ei tietoja järjestelmissä Ei hallintajärjestelmää 	<ul style="list-style-type: none"> Tarkastuskäsikirja Tunnelirekisteri, Ratapurkki EXCEL, (KTI) 	-
Laiturit	<ul style="list-style-type: none"> Tarkastuskäsikirja, jonkin verran tietoa. Siltarekisteri, H-Siha, E-Siha 	-	-
Kanavat/sulut	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Tarkastuskäsikirja Rekisteri, Lokki Ei hallintajärjestelmää, EXCEL
Tukimuurit	Ei tietoa eikä järjestelmiä	Ei tietoa eikä järjestelmää	-
Paalulaatat	Ei tietoa eikä järjestelmiä	Ei tietoa eikä järjestelmää	-

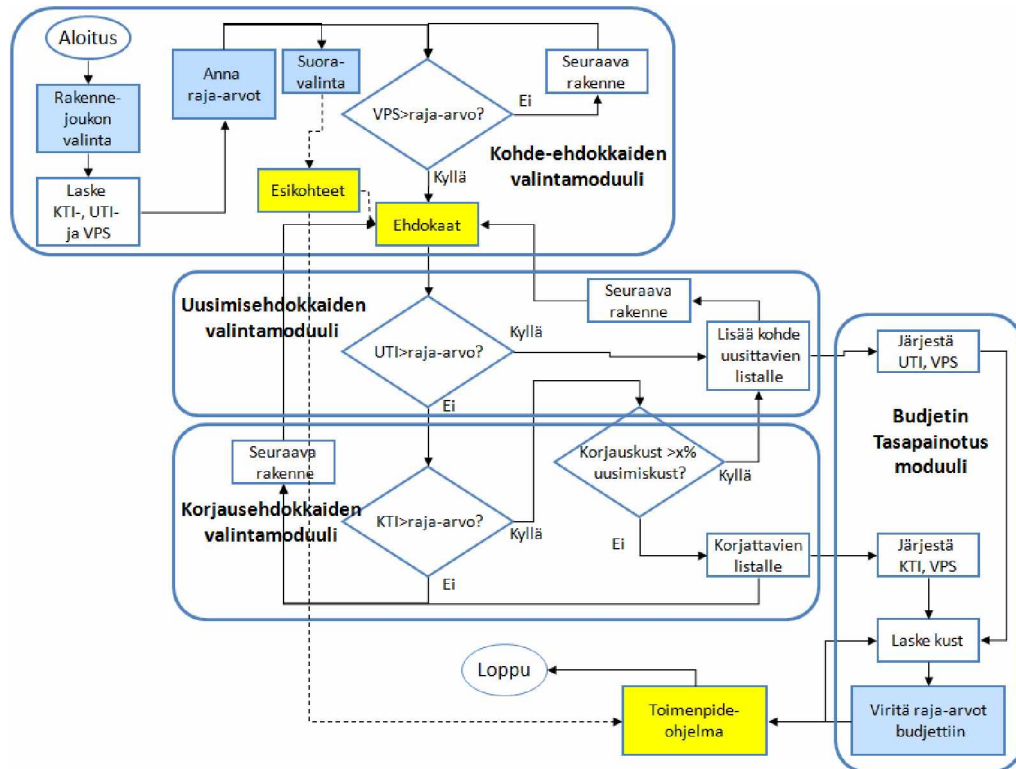
Maantiesiltojen hallintaan on käytettävissä kolme järjestelmää, Siltarekisteri, Hanke-Siha ja Elinkaari-Siha, jotka ovat kiinteästi yhteydessä toisiinsa. Siltojen tarkastustoiminta kattaa usean eri tason tarkastukset ja on toiminut jo 1970-luvulta, nykyisen datan keruu on alkanut vuonna 1990. Maanteiden tunneleista ei ole ollut vastaavia tietoja eikä hallintajärjestelmiä, mutta tunneleiden inventointiohje on juuri valmistunut. Laitureiden inventointitiedoille on ollut Siltarekisterissä paikka, mutta tietoa on alkanut kertyä vasta viime vuosina. Tukimureista ja paalulaatoista ei ole olemassa mitään tietoa.

Rautatiesiltojen, putkisiltojen ja tunneleiden inventointikäytännöt ovat olemassa ja tiedot on talletettu omiin rekistereihinsä. Toimenpideohjelmointi on tehty siirtämällä tiedot Exceliin ja tekemällä ohjelmat sillä. Tukimureista ja paalulaatoista ei ole tietoa.

Vesiväylien avattavien siltojen ja kanavien sulkujen kuntotarkastukset ovat käytössä ja niihin liittyvät tiedot ovat omissa järjestelmissään, jotka tulevat liitetyiksi taitorakennerekisteriin. Vesiväylien taitorakenteiden määrä on sen verran pieni, ettei varsinaista toimenpidesuunnittelun hallintajärjestelmiä ole tarvittu.

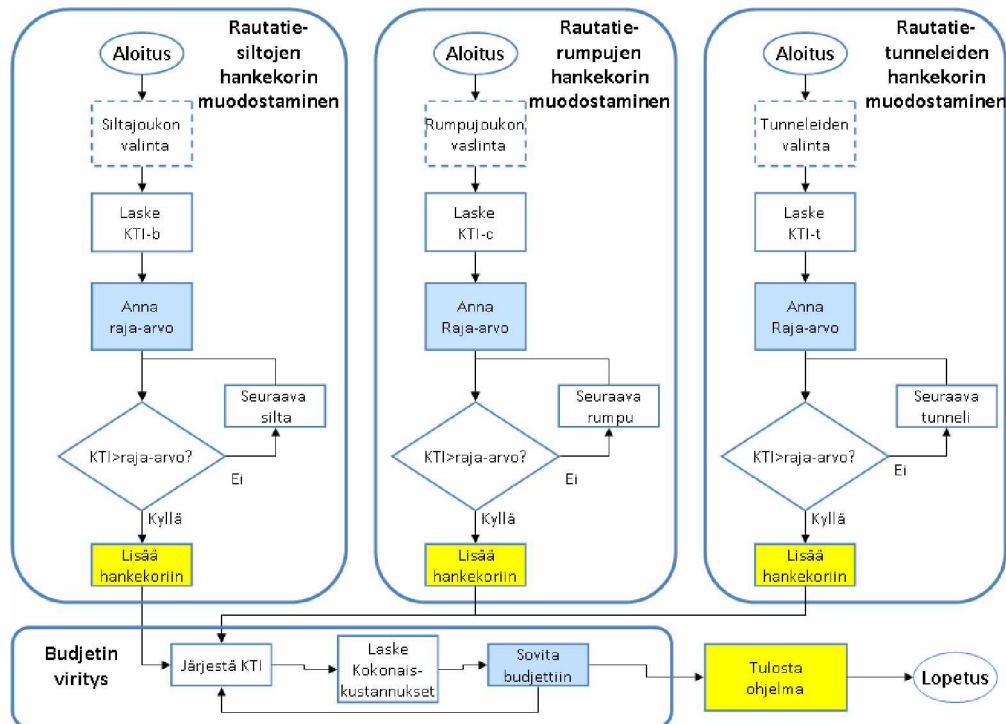
Maantiesiltojen korjaus- ja uusimishankkeiden valinta tapahtuu Hanke-Sihalla. Kuvassa 3 on esitetty hankkeiden valinnan muodostamisen periaatteet. Hanke-Sihassa on tunnistettavissa neljä eri osaa, jotka ovat hankekorin muodostaminen, uusimiskohteiden valinta, korjauskohteiden valinta sekä lopullisen ohjelman sovittaminen budjettiin. Alustavien kohteiden, hankekorin, valinta tapahtuu mm. vauriopistesumman avulla, vaikka periaatteessa korin valintaan voidaan käyttää mitä tahansa kerättyjä muuttujia tai indeksejä. Lisäksi on ns. suoravalintamahdollisuus, missä käyttäjä voi valita haluamansa rakenteet korjausohjelmiin. Hankekoriin valikoituneiden rakenteiden uusimistarve määräytyy uusimistarveindeksin avulla ja korjaustarve korjaustarveindeksin avulla. Lopullinen uusimis- ja korjausohjelma muodostuu manuaalisen budjettiin sovittamisen kautta. Järjestelmässä on lisäksi muitakin toimintoja, mutta esitetyt toiminnat ovat ohjelmien muodostamisen toiminnallinen osa. Kohteiden valinta tapahtuu siis erilaisten indeksien avulla järjestämällä kohteet indeksien suhteen suuruusjärjestykseen. Indeksit, VPS, UTI, ja KTI muodostuvat tarkastus- ja yleistiedoista erilaisten asiantuntijoiden muodostamien painokertoimien avulla.

Järjestelmää pidetään monimutkaisena ja valintaindekseihin ei olla täysin tyytyväisiä. Järjestelmään liittyy useita toiminnallisia lisätarpeita.



Kuva 2. Hanke-Sihan ohjelmointiosan periaatteellinen toiminta.

Rautateiden taitorakenteiden ohjelmoinnin periaatteellinen toiminta on esitetty kuvassa 4. Kullekin taitorakennososalle, sillat, rummut ja tunnelit, muodostetaan hankekorit korjaustarveindeksin avulla. Lopullinen ohjelma muodostuu budjettiin sovittamisen kautta. Kullakin taitorakenteella on oma korjaustarveindeksi, joka on asiantuntijoiden tekemien painotusten ja -kunto, turvallisuus- ja muun toiminnallisen tiedon kautta saatu indeksi. Indeksien laskentakaava on lähellä maantiesiltojen vastaavan indeksin laskentakaavaa, mutta ei täysin sama. Toimenpideohjelmien laadinta pohjautuu yksinkertaiseen priorisointiin, tosin toimenpideohjelmoijana on toiminut yksi ja sama henkilö, joka tuntee kaikki rautatiesillat melko hyvin ja omaa samalla muutamakin käyttökelpoista tietoa.



Kuva 3. Rautateiden taitorakenteiden ohjelmoinnin periaatteellinen toiminta.

3.1.2 Järjestelmien käytön tila

Nykyisten hallintajärjestelmien tilaa ja käyttötarpeita on kartoitettu kahdessa erillisessä työssä; taitorakenteiden vaatimusmäärittely ja siltojen toiminnallinen määrittely. Molemmista projekteista on kartoitettu siltojen hallintajärjestelmien tilaa ja käyttäjien tarpeita vuosina 2008 ja 2009–2010.

Hanke-Sihan puutteet

Vaatimusmäärittely on yleensä tietojärjestelmän kehittämisen ensimmäinen määrittelyvaihe, jota seuraa tarkempi toiminnallisen määrittelyn vaihe. Tämä projekti sijoittuu edellisten vaiheiden väliin ja saa siten lähtökohtansa vaatimusmäärittelystä. Vaatimusmäärittely on valmistunut 28.6.2010 (Atostek Oy) ja sen tuottama lopputulos on esitetty raportissa ”Siltajärjestelmien vaatimusmäärittely” ja se on hyväksytty omassa ohjausryhmässään toteutettavaksi seuraavissa vaiheissa. Vaatimusmäärittelyssä on lueteltu uuden järjestelmän suunnittelun pohjaksi mm. seuraavia lähtökohtia: Nykyjärjestelmällä ei pystytä tuottamaan siltojen ”ei tehdä mitään” -politiikan mukaisia kuntoennusteita luotettavasti. Tällöin ei pystytä tuottamaan vastausta edes toimintasuunnittelijan tyypillisimpään kysymykseen: mitä tapahtuu jos ei tehdä mitään. Taloudellisia analyysejä ja vertailuja suhteessa ”ei tehdä mitään” politiikkaan ei pystytä tekemään eikä taloudellisia vertailuja ylipäätään. Myöskään eri budjettitasojen vaikutuksia kuntoennusteisiin ei pystytä tuottamaan eikä siten taloudellisia analyysejä eri vaihtoehtojen seurauksista eikä paremmuudesta. Tavoitteiden ja budjettien määräytymistä ei siten pystytä pohjaamaan todellisiin tarpeisiin eikä niiden valinnan hyvyttä voida analysoida kunnolla.

Nykytilan säilyttämiseen tähtävä vaihtoehtoa ei pystytä tuottamaan eikä sen edellyttämää rahoitustarvetta siten pystytä ennustamaan. Tästä seuraa, ettei tiedetä kovin tarkasti, miten paljon resursseja nykytilan säilyttäminen edellyttäisi. Myöskään

alueiden välisiä rahantarpeita ei tiedetä tarkasti eikä tavoitteiden painotuksia ja budjetteja pystyttyä asettamaan siten, että niillä tuettaisiin kuntoyhtenäisyyden parane-
mista. Kuntovaje tulisi pystyä tuottamaan myös suoraan järjestelmästä.

Yhtenä puutteena on, ettei nykyistä järjestelmää ole käytetty kovin aktiivisesti, mikä on johtanut tilanteeseen, missä toimenpideohjelmoinnin perusteet vaihtelevat käyttä-
jästä riippuen. Käytön vähäisyyteen ovat olleet syynä monet yksittäiset seikat kuten toiminnalliset puutteet, versionhallintavaikkeudet sekä tyytymättömyys käytettävissä oleviin kunto- ja tarveindekseihin.

Vaatusmäärittelyssä on todettu rautatiesiltojen hallinnasta mm. että toimenpide-
suunnitteluun tarvittavia laskelmia on tehty siirtämällä tarvittavia tietoja perusvaras-
tosta Exceliin ja tekemällä tarveanalyysit sillä. Eri taitorakenteiden korjaustarpeiden
hallintaan on kehitetty tarveindeksejä, jotka ovat samantapaisia kuin maantiesilloilla
käytettävät vastaavat indeksit. Kohteiden priorisointi on suoritettu niiden avulla. Prio-
risoinneissa ei ole huomioitu kustannuksia eikä kustannustehokkuutta muutoin kuin
asettamalla budjettirajoituksia. Rautateilla olevien taitorakenteiden vähyyden vuoksi
kaikki analyysit on suorittanut yksi ja sama henkilö, mikä on omalta osaltaan paran-
tanut ohjelmoinnin yhtenäisyyttä. Lopputuloksena on synnytetty rautateiden taitora-
kenteiden hallintaraportteja, joissa on esitetty tarpeet ja priorisoinnit. Haasteina rau-
tatierakenteiden hallinnalle ovat siltojen ikääntyminen, suuret liikenteen nopeudet,
suuret akselipainot, ja korjaustöiden ohjelmoiminen tapahtuvaksi turvallisesti liiken-
teen seassa. Käyttäjien kustannukset ja eräisiin taitorakenteisiin liittyvät riskit (tun-
nelit) tulisi pystyä hallitsemaan paremmin.

Vesiväylien taitorakenteiden hallintaa ei ollut käsitelty vaatimusmäärittelyssä ollen-
kaan, mutta niiden suhteen on todettavissa, että niiden määrä on suhteellisen vähäi-
nen muiden liikennemuotojen taitorakenteiden määriin verrattuna ja niihin liittyy
enemmänkin laitteita ja koneita, joiden hallinta on merkittävää ja ensisijaista. Vesiväylien taitorakenteita on hoidettu hyvin, koska niiden tulee olla aina toimintakuntoi-
sia ja toisaalta niiden määrät ovat helpommin hallittavissa.

Ulkopuoliset käyttäjät

Viraston sisäisten käyttäjien lisäksi järjestelmälle tulee tulevaisuudessa myös ulko-
puolisia käyttäjiä mm. konsulttien ja kuntien organisaatioista. Konsultit käyttävät jo
nyt siltajärjestelmää tarkastustiedon syöttämisessä ja sillan korjaussuunnittelussa.
Lisäksi saattaa käyttäjäryhmäksi tulla sillankorjausurakoitsijoita, jotka mm. syöttävät
toteutumatieta rekisteriin.

Ulkopuolisten käyttäjien tarpeita ei ole varsinaisesti kartoitettu. Toimenpide-
ohjelmien laadinta on tulevaisuudessa yhä enemmän myös konsulttien työtä, joten
heillä tulee olemaan siihen liittyviä tarpeita.

Tietojärjestelmän ylläpito

Hanketason siltojen hallintajärjestelmä, Hanke-Siha, otettiin käyttöön 1995 ja sen
käyttöjärjestelmä uusittiin vuonna 2000. Ohjelmointityökalut ja tietojärjestelmien eri
osien tuki alkaa vanhoille välineille loppua, mikä tekee järjestelmän uusimisen tai
korjaamisen vanhalle pohjalle mahdottomaksi. Toiminnallisuuden täydentäminen
vanhaan järjestelmään ei liene tarkoituksenmukaista.

Järjestelmän suunnitteleminen puhtaalta pöydältä mahdollistaa toiminnallisuuden
muodostamisen kokonaan uudelta pohjalta ja helpottaa uusien ominaisuuksien li-

säämistä siihen. Tietojärjestelmäinvestointi on pitkäaikainen investointi ja kun järjestelmää uusitaan, niin uusiminen on suunniteltava myös tulevaisuutta ajatellen. Seuraava uusimismahdollisuus lienee yli kymmenen vuoden päässä tulevaisuudessa.

3.1.3 Parannustarpeet

Edellisissä määrittelyvaiheissa on tunnistettu useita toiminnallisuuteen liittyviä parantamistarpeita, jotka uudessa järjestelmässä tulisi olla mukana. Pääasialliset toiminnallisuuteen liittyvät tarpeet ovat seuraavat:

Hanke-Sihaan liittyvät liiketoimintavaatimukset:

- Toiminnansuunnitteluun liittyvien järjestelmien tulee toimia yhdessä kerroksittaisena kokonaisuutena siten, ettei niissä ole päällekkäisiä toimintoja.
- Järjestelmän tulee tukea Liikenneviraston eri organisaation osien erilaisia toimintatapoja, mutta samalla sen tulee tarjota mahdollisuus niiden yhtenäistämiseen. Tulostavoitteiden rakenne voi vaihdella liikennemuodoittain. Maantiesiltoihin liittyvät tavoitteet ovat erilaisia rautatiesiltoihin liittyvien tavoitteiden kanssa. On olemassa myös tarve yhtenäistää suunnittelukäytäntöjä ja jopa häivyttää liikennemuotoulottuvuus mikäli mahdollista.

Hanke-Sihaan liittyvät toiminnalliset vaatimukset:

- Järjestelmällä tulee pystyä tekemään toimenpideohjelmointia monitavoiteoptimointia käyttäen. Tarve monitavoitteelliseen suunnitteluun on tunnistettu ja asetettu. Tulostavoitteiden laadinta on ollut melko kunto-tavoitepainotteista, mutta voisi laajentua kattamaan useampia tavoitteita. Toimintalinjoissa painotetaan useiden tavoitteiden ja näkökulmien huomioimista. Liikenneturvallisuuden asema vaihtelee liikennemuodoittain ja voisi olla monitavoitteen yksi osa. Erityistä lähtökohtaa tavoitteille ei ole asetettu missään aiemmassa tarpeiden määrittelyprojektissa. Minkä tasoisia tavoitteiden tulisi olla? Olisivatko ne niitä, joita Liikennevirasto kaiken kaikkiaan tavoittelee vai olisivatko ne vain tulostavoitteita vai jotain siltä väliltä? Eräänlainen haaste olisi saada tulosohejaus pysymään riittävän muuttumattomana ja hallintajärjestelmä vastaavasti riittävän joustavana, jotta ne sopisivat toisiinsa sallien pieniä muutoksia. Järjestelmän tulisi tuottaa hankekorin hankkeita maksimoimalla hyötyjä tai vaikutuksia annetulla budjetilla tai minimoimaan tarvittavaa budjettia ja toteuttaa annetut tavoitteet ja rajoitukset.
- Käyttäjien tulee pystyä hallitsemaan useita versioita ohjelmista ja hankeko-reista.
- Järjestelmän tulee pystyä hyödyntämään SAMPO-järjestelmän tuottamaa tietoa. Tämä tulee täsmentää ensin mitä tällä tarkasti ottaen tarkoitetaan. Jos SAMPO-järjestelmässä on kustannustietoa usean eri kohteen kokonaissummina, niin niiden käyttö kohdekohtaisissa vertailuissa on melko hankalaa.
- Järjestelmän tulee pystyä käsittelemään kaikkia taitorakenteita. Kaikki taitorakenteet tulee ensin määritellä ja olla olemassa jossain tietokannassa ja niiden tilaa tulee päivittää, jotta saatua tietoa voidaan hyödyntää järjestelmässä toimenpideohjelmiä suunniteltaessa. Toimenpideohjelmien suunnitteluosan tulee pystyä käsittelemään kaikkia taitorakenteita.

- Järjestelmän tulee tuottaa kuntovaje.
- Järjestelmän tulee tuottaa yksittäiselle rakenteelle sen optimaalinen toimenpidevuosi. Elinkaarianalyysissä tarvitaan kuntoennusteita, jotka tulee olla laadittuna kaikista rakenteista ja rakenneosista. Elinkaaren analysoinnissa tarvitaan monivuotisen optimointiongelman ratkaisemista.
- Järjestelmän tulisi tuottaa verkkotason laskelmia tukevia tuloksia. Tarvitaan määrittelyä ja täsmennyksiä, mitä tässä halutaan. Tarvitaan perusstrategioiden mukaisia tarpeiden analysointiin liittyviä toimintoja, joissa tuotetaan erilaisia ”mitä tapahtuu – jos ...” tapaisia skeraarioanalysejä.

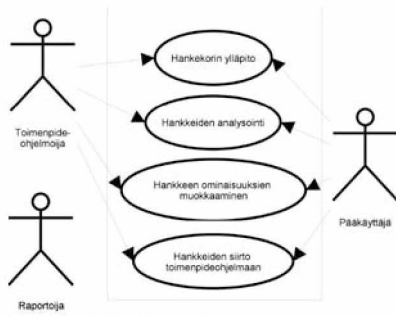
Siltajärjestelmien toiminnallinen määrittely

Markus Mieltulan diplomityössä kartoitettiin siltojen toimenpideohjelman laatimises- sa tarvittavia toiminnallisuuksia ja se on nimetty myös toiminnallinen määrittely - nimiseksi. Työ on tehty vuonna 2008–2009 ja sitä on ohjannut ohjausryhmä, jossa on ollut sekä Liikenneviraston että ELY-keskusten edustus.

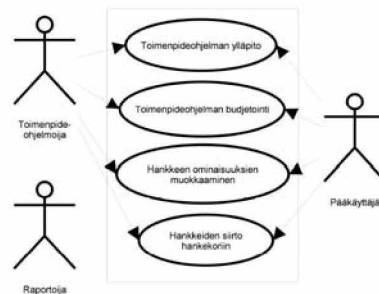
Yksi työn osa oli kartoittaa siltojen hallintajärjestelmän käyttäjien tarpeita. Sen mukaan tunnistettiin kolme eri käyttäjätilannetta; pääkäyttäjä, toimenpidesuunnittelija ja raportoija (Kuva 5). Käyttäjäkysely oli suunnattu kymmenelle käyttäjälle. Kyselyssä ilmenneet tarpeet on listattu oheiseen taulukkoon. Kyselyn jälkeen tuloksista oli tehty yhteenveto ja se oli käsitelty käyttäjille järjestetyssä yhteistilaisuudessa, joten maantiesiltojen järjestelmän käyttötarpeita on selvitetty melko kattavasti.

Pääasialliset tarpeet liittyivät toimenpideohjelman laadinnassa versioiden hallintaan, hankekorin valintaan ja kohteiden priorisointiin. Tarvelistalle oli tullut sellaisiakin ominaisuuksia, jotka nykyisessä järjestelmässä jo ovat.

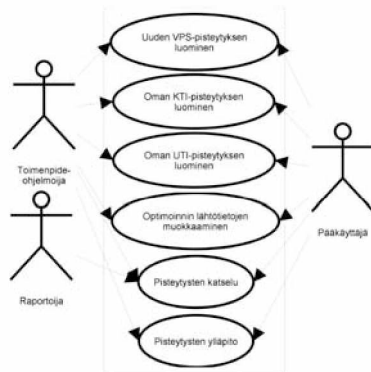
Käyttäjät toivovat, että hankekorien muodostamisperiaatteita kehitettäisiin ja omien pisteytysten antamismahdollisuuksia lisättäisiin. Lisäksi toivotaan kohteiden priorisointiin ja optimointiin liittyvää automatiikkaa. Yhteenvetona voitiin todeta, että käyttäjien tarvekartoituksesta kävi esille hanketason hallintajärjestelmän keskeiset perustekijät eli hankekorin hallintaan ennakoivan (elinkaari-)mallinnuksen ja suunnittelun toiminnot ja kohteiden valintaan matemaattisen optimoinnin toiminnot.



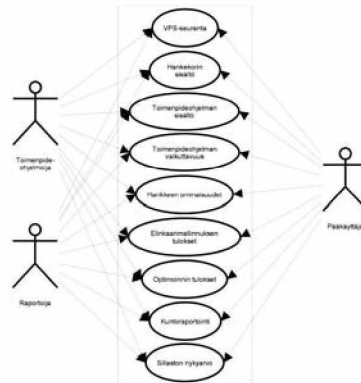
Kuva 10. Hankekorin käyttötapaukset.



Kuva 11. Toimenpideohjelman käyttötapaukset.



Kuva 12. Pisteytyksen käyttötapaukset.



Kuva 13. Raportoinnin käyttötapaukset.

Kuva 4. Siltojen korjausohjelmoinnin käyttötilanteet.

Taulukko 4. Käyttäjätarpeita käyttötilanteittain.

Käyttötilanne	Prioriteetti 1	Prioriteetti 2
Pääkäyttäjä	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pääkäyttäjällä on kaikki am. käyttäjien toiminnot käytössään. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pääkäyttäjällä on kaikki am. käyttäjien toiminnot käytössään
Toimenpidesuunnittelija	<ul style="list-style-type: none"> ○ Käyttäjakohtaisten hankekorien muodostaminen ○ Hankkeiden siirtäminen hankekoriin ○ Hankkeen siirtäminen toiseen koriin ○ Hankkeiden haku toimenpideohjelmaan ○ Budjetointi hankeelle ○ Kuntoennusteet ○ Omien kuntoindeksien pisteytys ○ Monikriteerianalyysin omat painotukset ○ Hankkeiden muodostaminen SQL-lauseilla ○ Sillan optimaalinen toimenpidevuosi 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hankekorin luominen ja versioiden hallinta ○ Hankekorin muodostaminen optimoimalla ○ Hankekorin muodostaminen elinkaarianalyysillä ○ Elinkaarianalyysien tallentaminen ○ Toimenpideohjelman luominen ○ Toimenpideohjelmien versionhallinta ○ Hankkeiden esittäminen kartalla ○ Toimenpiteen vaikutusten näyttäminen ○ Hankkeen siirtäminen toiseen ohjelmaan ○ Hankkeen toimenpiteen muokaus ○ Hankkeiden lajittelumahdollisuus ○ Hankkeen siirtäminen tp-ohjelmaan
Raportoija	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rappeutumismallien katselu ○ Näytön tulostaminen 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tietokannan valinta ○ Siirtyminen siltarekisteriin ○ Siltakuvien esittäminen ○ Hankekorin esittäminen kartalla ○ Hankekorin raportointi eri kriteereillä ○ Toimenpideohjelman hakeminen ○ Toimenpideohjelman raportointi ○ Vaikuttavuusraportit ○ Kuntoraportit ○ Hankekorin raportointi ○ Elinkaari raportit ○ Seurantaraportteja

RPM-kokeilut

Tiehallinnossa on kokeiltu TKK:n systeemilaboratoriossa kehitettyä RPM-menetelmää (Robust Portfolio Modeling) siltojen korjausohjelman teossa *“Monitavoiteoptimointi siltojen korjausohjelmien laatimisessa Kaakkois-Siomen tiepiirissä. RPM-menetelmän soveltaminen. Tiehallinnon selvityksiä 5/2006”*. Menetelmä perustuu arvopuu-analyysiin, jossa hankkeet pisteytetään arviointikriteerien suhteen erilaisilla painokertoimilla ja optimoidaan näin saatua kokonaisarvoa. Hankkeet jaetaan kolmeen ryhmään, joita ovat ydin-, rajatapaus- ja ulkohankkeet. Menetelmän etuna on, että siinä ei tarvitse kiinnittää kovin paljon huomiota painokertoimien määrittelyyn, koska se on muutenkin epävarmaa. Sen haittana taas on, että käyttäjä saa lukemattoman määrän erilaisia ohjelmia, joista sen tulisi valita jollain perusteella paras.

Menetelmää on myöhemmin kokeiltu myös usean muun tiepiirin siltaohjelmiin. Tulokset ovat olleet lupaavia ja kiinnostus useampien tavoitteiden huomiointiin on herännyt. Epäkohdaksi taas on todettu puutteita menetelmän robustisuudessa. Pienetkin muutokset esim. budjetissa ovat heilauttaneet hankejoukon sisältöä merkittävästi. Tämä on herättänyt epäilystä menetelmän käyttökelpoisuudesta.

Kriteereiksi valittavilta tavoitteilta vaaditaan yleensä tiettyjä ominaisuuksia, jotka eivät noissa kokeiluissa näytä toteutuvan. Osa kriteereistä oli vahvasti korreloivia ja osa kriteereistä oli muita kuin tavoiteltavia asioita vieläpä niin, ettei niihin voida vaikuttaa. Toistensa kanssa korreloivat tavoitteet (kriteerit) aiheuttavat matemaattiseen ongelmaan epälinearisuutta, joka haittaa sen tuloksia ja voi aiheuttaa juuri epärobustisuutta.

SMAA-kokeilu

Tiehallinnossa on tehty toinenkin monitavoiteoptimointiin liittyvä kokeilu SMAA (Stokastinen Arvostusanalyysi) siltojen korjausohjelman tekemiseen *“Siltojen hallintajärjestelmän määrittely. D-työ. Markus Miettula. Turun Yliopisto. 2009”*. Diplomityö käsitteli siltojen hallintajärjestelmän käyttäjätarpeita sekä tarjosi yhden käyttäjien toivoman ominaisuuden, optimointimenetelmän, korjausohjelmien laadintaan.

Malli oli rakennettu samalle kriteeristölle kuin edellinen RPM-kokeilukin ja siihen pätevät siten myös samat kriteereihin liittyvät arviot. Toimenpideohjelman muodostamisen optimointi suoritettiin SMAA-III menetelmällä, missä ratkaistaan optimointitehtävä ns. outranking-menetelmällä käyttäen simulointitekniikkaa. **Käyttäjät pitivät menetelmää hyvänä siltojen toimenpideohjelman laatimiseen.** Testiaineistona oli kuitenkin vain 10 siltaa, joten sen nopeudesta isoilla aineistoilla ei voida olla varmoja.

Molemmat edellä luetellut kokeilut ovat herättäneet kiinnostuksen laittaa korjausohjelmien laatimiseen enemmän matemaattisia toimintoja ja siihen viittaavia tarpeita siten selvästi on olemassa.

Monitavoiteoptimoinnin soveltamisessa ovat kaksi tärkeintä osaa, jotka ovat itse ongelman muotoileminen ja tavoitteiden valinta. Piloteissa päähuomio on kiinnitetty ratkaisumenetelmiin, koska kyseessä ovat olleet systeemianalyysin opinnäytetyöt.

3.2 Toiminnansuunnittelun tarpeet

3.2.1 Yleiskuvaus

Väylänpito koostuu useista eri tehtävistä, joita hallitaan prosessimaisesti toistuvien toiminnansuunnitteluvaiheiden avulla. Pääasialliset toiminnansuunnitteluvaiheet ja niiden laatimissyklit ovat seuraavat:

- Toiminta- ja taloussuunnitelma joka vuosi viideksi vuodeksi
- Toimintalinja joka viides vuosi toistaiseksi
- Tulosohjaus joka vuosi vuodeksi kerrallaan

Liikenneviraston toiminta- ja taloussuunnitelman (TTS) tarkoitus on esittää sen hallinnassa olevan liikenneväylästä hoidon, ylläpidon ja kehittämisen strategiset linjat ottaen huomioon toimintaympäristöstä tulevat vaatimukset ja valtion käytettävissä olevat resurssit seuraaville viisivuotiskaudelle. Toiminta- ja taloussuunnitelma päivitetään joka vuosi.

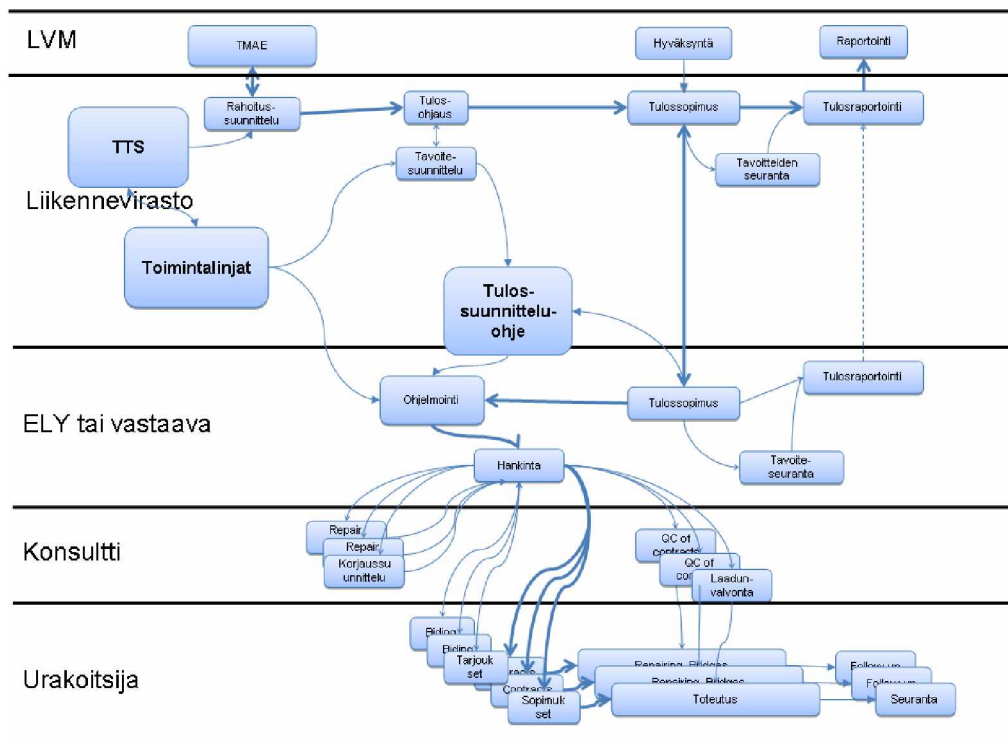
Toimintalinjat ovat tuotekohtaisia dokumentteja, joissa esitetään tavoiteltavan toiminnan linjat ja toimenpiteet sovitettuna käytettävissä oleviin resursseihin. Toimintalinjoja päivitetään noin kerran viidessä vuodessa. Siltojen ylläpidon toimintalinjat on päivitetty edellisen kerran vuonna 2009 (johtoryhmän hyväksyntä 23.11.2009). Mainittu toimintalinja koskee vain maantiesiltoja. Yksityiskohtaisempia ohjeita annetaan erillisissä laatuvaatimuksissa.

Tulosohjaus on väyläviraston vuosisuunnittelun ja ohjauksen väline, jolla se ohjaa väylien hoidon, ylläpidon ja kehittämisen tavoitteita kohti toiminta- ja taloussuunnitelman strategisia tavoitteita ja noudattaen toimintalinjoissa määritettyjä linjauksia. Tulosohjauksessa strategiset tavoitteet ohjataan yhteen resurssien ja alueellisten erityispiirteiden kanssa. Yllä mainitut kolme suunnittelutasoa muodostavat väylänpidon perustan.

Kuvassa 5 on esitetty yleiskuvaus toiminnansuunnitteluprosessista prosessikaaviona, mistä käy ilmi päätoiminnot sekä toimijat. Prosessissa on pääasiassa viisi toimijatasoa, jotka ovat seuraavat:

- Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM)
- Liikennevirasto
- ELY-keskukset (ELY)
- Konsultit
- Urakoitsijat

Toimijat liikennevirastosta konsultteihin käyttävät samaa järjestelmää. Hallintatapa on suunniteltu yleisten teiden toiminnansuunnitteluun, mutta sitä voidaan hyvin laajentaa myös kuntien ja kaupunkien toimintaan.



Kuva 5. Väyläomaisuuden hallinnan toiminnansuunnittelun yleiskuvaus prosessikaaviona.

3.2.2 Strateginen suunnittelu

Toimintalinjat

Siltojen ja taitorakenteiden hoidon ja ylläpidon keskeinen tehtävä on varmistaa niiden liikenneturvallisuus, kuormankantokyky ja toimivuus rakenteen käyttöaikana sekä pitää huolta siitä huomattavasta kansallisesta pääomasta, joka on sijoitettu niihin. Tavoitteena on myös rakenteiden säilyminen ulkonäöltään siisteinä ja ympäristöönsä sopivina.

Toimintalinjojen suunnittelussa tarvitaan teknis-taloudellista analyysiä siitä, mikä on taloudellista ylläpitoa. Toimintalinjojen tulos on listata tärkeimmät ylläpidossa huomioonotettavat asiat, jotka myös toimenpideohjelmoinnissa ja tarkemmassa suunnittelussa on otettava huomioon. Pääsuositukset ovat seuraavat (silloille sovellettuna):

- siltojen suunnittelukäyttöikä
- siltojen palvelutaso
- yleiset linjaukset
- liikenneturvallisuus
- sillankorjaustöiden hankinta

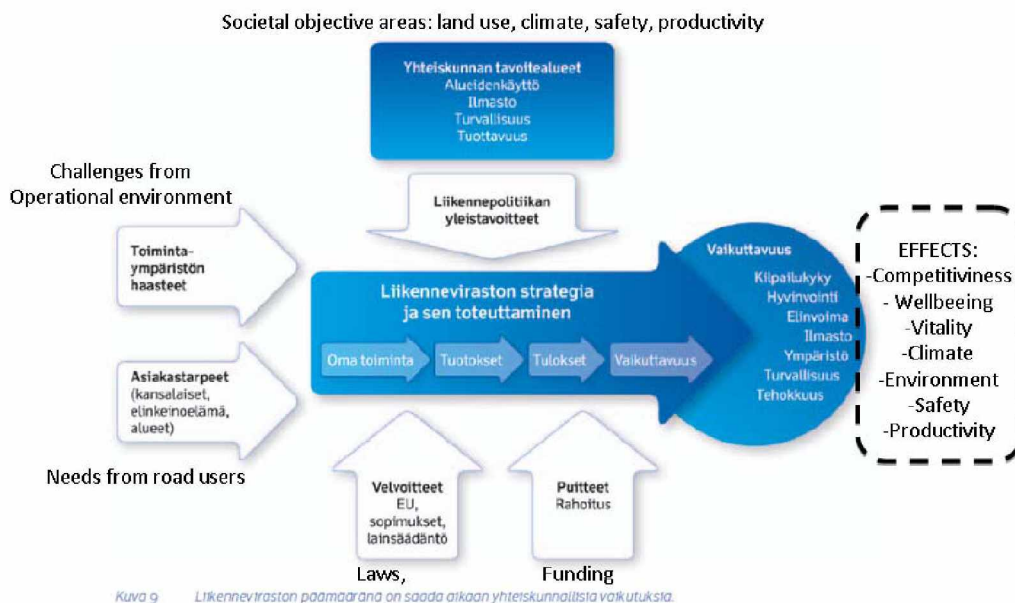
Toiminta- ja taloussuunnitelma

Nelivuotinen toiminta- ja taloussuunnitelma (TTS) on dokumentti, jolla Liikennevirasto osoittaa sidosryhmilleen, miten se huolehtii väylästä ja minkälaisia yhteiskunnallisia vaikutuksia se tavoittelee (Kuva 6). Tällä dokumentilla osoitetaan, miten Liikennevirasto maksimoi väylänpidolla aikaan saatavat hyödyt yrittäen minimoida vastaavas-

ti koituvat haitat. Perusväylänpidon toimenpiteet on priorisoitu siten, että seuraavat tavoitteet toteutuvat:

- o päivittäinen liikennöitävyys
- o liikenteen sujuminen
- o toiminnallisuus ja turvallisuus
- o negatiivisten ympäristövaikutusten välttäminen

TA has a goal to achieve societal effects



Kuva 6. Liikenneviraston toiminnan tavoitteena on tuottaa yhteiskunnallisia vaikutuksia.

Toiminta- ja taloussuunnitelmassa esitetään liikennemuodoittainen rahoituksen jako, joka on pohjana myöhemmälle suunnittelulle. Sen valmistelussa tarvitaan verkkotasolla tehtäviä strategisia analyysejä, joiden tekemisessä hallintajärjestelmillä on keskeinen rooli. Kehysrahoituksen niukkuus edellyttää TTS:n mukaan ”perusväylänpidon toimenpiteiden priorisointia, kohdentamisen tarkkaa harkintaa ja palvelutasotavoitteiden asettamista liikennejärjestelmän kaikille osille sekä sen pohtimista, missä nykyisestä palvelutasosta voidaan tinkiä”.

3.2.3 Tulohajaus

Virastotason tulohajaus

Liikenneviraston toiminta pohjautuu tulohajaukseen, jolla Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) johtaa oman hallinnonalansa virastoja. LVM asettaa vuosittaiset tulostavoitteet ja myöntää siihen tarvittavan rahoituksen. Nämä tavoitteet tukevat niitä päämääriä, joita liikennesektorille on kansallisesti asetettu.

Maanteitä koskevat toiminnalliset tulostavoitteet on jaettu kolmeen ryhmään, joita ovat tuotokset, toiminnallinen tehokkuus ja henkilöresurssien hallinta. Tuotososaan kuuluvat väylien kunto, turvallisuus ja ympäristöasiat.

Kuntotavoitteet jaetaan yleensä ryhmiin väyläomaisuuden määrän perusteella. Tulostavoitteita asetetaan yleensä siltojen, päällysteiden, sorateille ja kevyen liikenteen väylille. Tavoitemittari on yleensä huonokuntoisen omaisuuden määrä tai sen muuttuminen. Huonokuntoisuus määritetään viisiportaisella kuntoluokituksella kahden huonoimman luokan summana.

Taustalla on kuitenkin tavoite minimoida väyläomaisuuden huonokuntoista määrää ja maksimoida väylänkäyttäjien tyytyväisyyttä annetulla rahoituksella. Vuodelle 2011 maanteitä koskevaksi tulostavoitteeksi on asetettu, että päällystettyjen päätteiden kunto säilyy ennallaan, alemman tieverkon ja siltojen kunto saa heikentyä. Tavoitteen vaatimattomuus johtuu rahoituksen alhaisuudesta. Tienkäyttäjien tyytyväisyyden väylien kuntoon oletetaan säilyvän ennallaan.

Tulostavoitteiden tarkempi sisältö on esitetty vuosittain laadittavissa tulossuunnitteluohjeessa ja tulossopimusasiakirjoissa. *“Tulossuunnitteluohje 2011 ELY-keskusten L-vastuualueelle. Liikenneviraston esikunta 30.9.2010. Liikenneviraston ohjeita 8/2010.”*

Aluetason tulosohtaus

Liikennevirasto asettaa tulostavoitteita alueellisille ELY-keskuksille niihin tavoitteisiin ja rahoitukseen perustuen, jotka se on saanut LVM:ltä. Tavoitteiden laatimisen taustalla on myös kaikki se, mitä toiminta- ja taloussuunnitelmassa on esitetty.

Jokainen ELY-keskus tekee dokumentin, joka hyväksytään tulossopimuksena. Tämä sopimus sisältää toimintasuunnitelman, tavoitekortit sekä rahoituslaskelmat. Toimintasuunnitelmassa esitetään väylänpidon ja liikennejärjestelmän kehittämisen pääkohdat sekä sovitaan niihin tarvittavasta rahoituksesta.

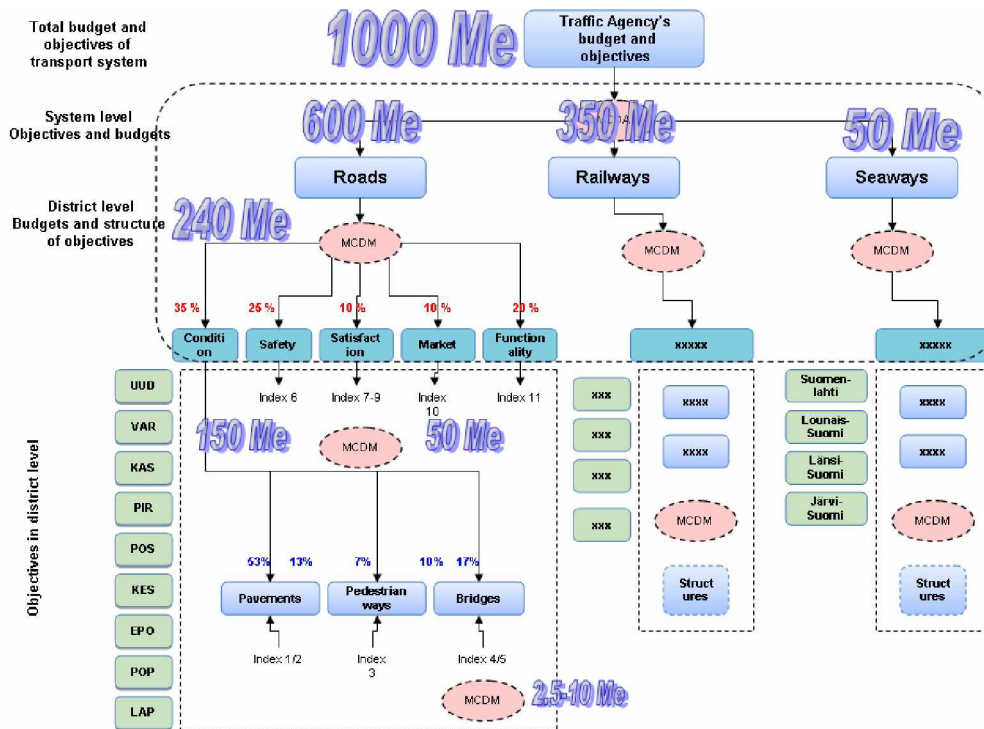
Tavoitekortteissa esitetään tavoitteet, mittarit, painot, sekä tuloksen ja tulospisteiden määräytyminen. Tavoitealueita on yleensä viisi. Vuodelle 2011 maanteiden perustienpitoon on sovittu seuraavat tavoitealueet:

- tieverkon kunto
- liikenneturvallisuuden parantaminen
- tienkäyttäjien tyytyväisyys
- markkinoiden kehittäminen
- liikennejärjestelmän toimivuus

Jokainen tavoitealue sisältää alatavoitteita. Kuntotavoite on priorisoitu tärkeimmäksi tavoitealueeksi painolla 35 % ja se sisältää viisi alatavoitetta. Seuraavaksi tärkein on liikenneturvallisuus.

Tulostavoitteiden asettaminen on monitavoitteellinen päätöksenteko-ongelma, missä useita kilpailevia tavoitteita tulee analysoida ja tasapainottaa. Ongelma tulee vielä vaikeammaksi, kun liikennemuodot ja alueelliset erityispiirteetkin tulisi huomioida. Liikenneviraston vuosibudjetti on luokkaa 1 Mrd.€. Tuo määrä jaetaan ensin liikennemuotojen kesken ja sitten tuotteiden tai väyläryhmien kesken ja lopuksi alueiden kesken. Samassa yhteydessä myös tavoitteet tulee vyöryttää yhä pienempiin osiin alueil-

le saakka (Kuva 7). Rahoitus ja tavoitteet ovat kiinteästi sidoksissa toisiinsa. Niiden tulee toisaalta sopia yhteen, mutta olla silti riittävän haasteellisia ja ohjata toimintaa haluttuun suuntaan.



Kuva 7. Tulostavoitteiden muodostumisen rakenne ja joitakin rahoituslukuja. (MCDM=multi-criteria decision making situations).

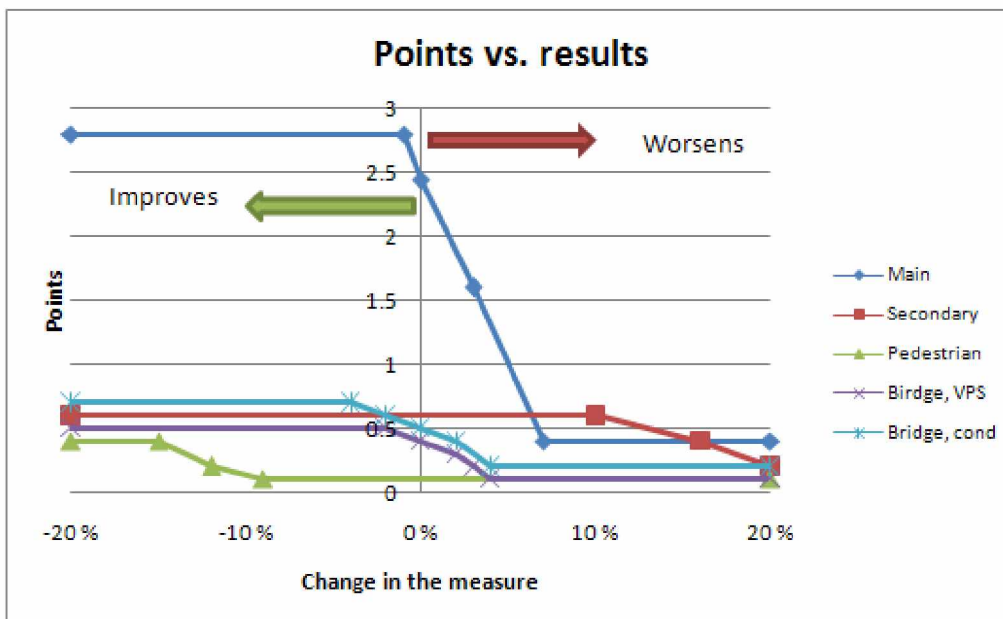
Tulostavoitteiden asettaminen ja rahoituksen jakaminen ovat strategisen tason tehtäviä, joissa tarvitaan tietoa vaikutusten tai hyötyjen ja rahoituksen suhteesta virastotasolla. Tavoitteiden välinen kilpailu tekee tehtävän vaikeaksi. Monitavoitteellisuuden lisäksi on huomioitava monialueellisuus ja alueiden erilaiset tavoitteet.

Tulosohjauksessa asetetaan tavoitteet ja niiden tärkeys. Liikennevirasto asettaa tärkeysien perusarvot, joita alueilla voidaan periaatteessa muuttaa. Käytännössä muutoksia ei juurikaan tehdä. Tulossopimus sisältää lisäksi rahoitustaulukot, joista esimerkkinä seuraava taulukko. Maanteiden siltojen kokonaisrahoitus on luokkaa 50 M€/v. Muiden liikennemuotojen taitorakenteiden rahoituksen arvioidaan olevan noin 10 M€/v. Taitorakenteiden ylläpidon kokonaisrahoitus on luokkaa 60 M€/v.

Taulukko 6. Tulostavoitekortti - toimenpideohjelmoinnin lähtökohta.

Tieverkon kunto – Tulostavoitekortti			
Tavoite	ELY-keskus suunnittelee maanteiden ylläpidon siten, että pääteiden kunto pysyy ennallaan ja alemman verkon kunto voi heikentyä. Toimenpiteiden valinnassa noudatetaan toimintalinjoja siten, että tieverkon ylläpito olisi mahdollisimman taloudellista. Kokonaistavoite on 3.0 pistettä.		
Tausta	ELY-keskus huolehtii tieverkon kunnosta ja liikenneturvallisudesta.		
Paino	35%		
Mittari	Tavoitteena on viisi aluetta, joista jokaiselle sovitaan tavoite, joka tulee saavuttaa.		
Tavoitealue	Mittari	Tavoite	Max tulos, pisteet
Pääteiden kunto	Huonokuntoisten määrä, km	Lisääntyy max 3 %	1.6
Alemman verkon kunto	Huonokuntoisten määrä, km	Lisääntyy max 15 %	0.4
Kevyen liikenteen väylien kunto	Huonokuntoisten määrä, km	Vähenee vähintään 12 %	0.2
Sillat, VPS	Vauriopistesumma	Lisääntyy enintään 2 %	0.3
Sillat, kunto	Huonokuntoisten määrä	Pysyy ennallaan	0.5
Yhteensä			3.0

Seuraavassa kuvassa on esitetty, miten tulospisteet riippuvat kunkin osatavoitteen tuloksesta. Tärkein osatavoite on pääteiden kunto, koska siitä on mahdollisuus saada eniten tulospisteitä. Muiden osatavoitteiden tärkeys on melko yhtenäinen. Tulos on muutos tavoitemittarissa (%) verrattuna lähtötilanteeseen (vuoden alku). Pisteet summataan yhdeksi numeroksi. Tulos voi vaihdella välillä 1-5. Tieverkon kunnan ennallaan pitäminen (Y-akseli) tuottaisi 4 tulospistettä. (Tulospisteitys on tavallaan viisi skaalaamatonta hyötyfunktioita).



Kuva 8. Osatavoitteiden tulosten vaikutus tulospisteisiin.

Tavoitteiden asettaminen on yksi päätöksentekotilanne, missä monikriteerinen optimointi olisi suureksi avuksi. Toimenpideohjelmien laatiminen kohti asetettuja tavoitteita käytettävää rahamäärää minimoiden olisi toinen vastaavaa menetelmää edellyttävä tilanne. Tämän yhden tulostavoitekortin tuloksen maksimointi olisi melko vaikeaa ilman matemaattisia apuvälineitä puhumattakaan tilanteesta, jossa pitäisi maksimoida kaikkien tuloskorttien tulos.

Toimintalinjojen huomiointi

Tulosohjauskäytännön tavoitteet ja mittarit pidetään mahdollisimman yksinkertaisina. Sen seurauksena ohjaus on melko yksinkertaista ja se ei ota huomioon kaikkia tarvittavia näkökohtia. Sen takia kunkin rakenteen ylläpidosta on olemassa toimintalinjat, jotka määräävät miten sen osan ylläpitoa tulisi toteuttaa. Toimintalinjat ovat asiakirjoja, joiden laatimisessa on analysoitu ja harkittu erittäin tarkkaan minkälaista hyvä ylläpito olisi ja ne ovat viraston johdon hyväksymiä noudatettaviksi tarkoitettuja ohjeita. Ne tuovat siten lisää pysyväisluontoisia tavoitteita toimintaan ja ne tulee huomioida toimenpidesuunnittelussa.

Maanteiden siltojen ylläpidon toimintalinjoissa on mm. seuraavia linjauksia:

- Siltojen suunniteltu käyttöikä. Sillat on suunniteltu kestävämmän tietyn käyttöiän mutta se edellyttää, että niitä hoidetaan ja ylläpidetään asianmukaisesti. *(Vaurioiden korjausten kiireellisyys on viite siitä, että jotain tulee korjata mahdollisimman nopeasti. Kiireellisyytekijä on mukana myös vauriopistesummasa).*
- Rakenneosien suunniteltu käyttöikä. Jokainen rakenneosia on suunniteltu kestävämmän tietyn käyttöiän, mutta se edellyttää, että niihin tarvittavat hoito- ja ylläpitotoimenpiteet on suoritettu asianmukaisesti. *(Rakennesatasoinen tarkastustoiminta on siten välttämätöntä).*
- Siltojen palvelutaso ja kunto. Pitkän tähtäyksen tavoite on saavuttaa alueellisesti yhtenäinen kuntotaso ja palvelutaso siten, että ylläpitokustannukset minimoituvat ja siltojen elinkaari optimoituu. *(Tämä vaikuttaa mm. osien painoihin ja tavoitteiden suuruuksiin, joiden tulisi vaihdella alueellisten erojen mukaan).* Lyhyellä tähtäyksellä tavoitteena on pysäyttää kunnan heikkeneminen *(Suuri määrä siltoja on tulossa korjausikään).* Pääteillä ei saa olla kantavuusrajoituksia. Alemmalla verkolla korjaustoimenpiteiden ajoitusta voidaan kuitenkin lykätä jos on tarpeen. Erikoiskuljetusverkolla kaikki kuormituskapasiteettia heikentävät puutteet tulee korjata niin pian kuin mahdollista. *(Pääteillä siltojen toiminnallisuus on tärkeä tavoite korjaustoimenpiteitä ajoitettaessa. Alemmalla verkolla toiminnallisuus tulisi huomioida ottamalla huomioon kiertotien käytön kustannukset taloudellisissa laskelmissa).*
- Linjaukset. Korjaustoimet tulee priorisoida kunnan ja liikenteen mukaan.
- Liikenneturvallisuus. Siltojen hoidon ja ylläpidon tärkein päämäärä on varmistaa liikenneturvallisuus. Liikenneturvallisuutta vaarantavat vauriot on korjattava viipymättä. Kaiteet tulee uusien reunapalkkien uusimisen yhteydessä.
- Hankinta. Hankintamalleilla pyritään tukemaan myös pienten urakoitsijoiden mahdollisuuksia.

Samantyyppinen lista on olemassa tai tulisi olla kaikille rakenteille ja niiden listojen tärkeimmät kohdat tulisi ottaa toimenpidesuunnittelun lähtökohdiksi muuntamalla ne monitavoiteoptimoinnin tavoitteiksi tai rajoituksiksi. Toimintalinjojen viesti voidaan kiteyttää oheisen taulukon muodossa.

Taulukko 7. Taitorakenteiden toiminnalle keskeisiä tavoitealueita.

Rakennee	Liikennemuoto		
	Maantiet	Rautatiet	Vesiväylät
Sillat	<ul style="list-style-type: none"> • Kunto, yhtenäisyys • Toiminnallisuus • Turvallisuus • Ylläpidon kustannukset • Elinkaarikustannukset 	<ul style="list-style-type: none"> • Kunto • Toiminnallisuus • Turvallisuus • Käyttäjien kustannukset 	<ul style="list-style-type: none"> • Kunto • Turvallisuus • Väylänpito-kustannukset • Käyttäjien kustannukset
Putkisillat	<ul style="list-style-type: none"> • Kunto • Ylläpitokustannukset 	Kunto Ylläpitokustannukset	-
Tunnelit	<ul style="list-style-type: none"> • Turvallisuus • Toiminnallisuus • Riskit 	<ul style="list-style-type: none"> • Turvallisuus • Toiminnallisuus • Riskit 	-
Laiturit	<ul style="list-style-type: none"> • Toiminnallisuus, kunto 	-	Toiminnallisuus, kunto
Kanavat	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Toiminnallisuus, kunto
Tukimuurit	<ul style="list-style-type: none"> • Kunto 	<ul style="list-style-type: none"> • Kunto 	-
Paalulaatat	<ul style="list-style-type: none"> • Kunto 	<ul style="list-style-type: none"> • Kunto 	-

Suunnitteluvälineiden tarve

Hallintajärjestelmän tarkoitus

Väyläomaisuuden hallintaan liittyvien analyysien ja päätösten tekemisessä tarvitaan apuvälinettä, jolla voidaan hallita omaisuuden olemassaoloa ja tilaa. Tyypillisimpiä hallintajärjestelmän käytöstä saatavia hyötyjä ovat mm. seuraavat:

- **Tiedot omaisuuden olemassaolosta ja sen tilasta ja sen kehittymisestä mahdollistavat suunnittelijaa käyttämään niitä aina tarvitessaan ja perustamaan päätöksensä yhtenäiseen objektiiviseen tietoon.** Tarvitaan yhteinen tietojärjestelmä, missä on omaisuutta koskeva ajantasainen tieto: hallinnollinen tieto, tilaa ja toimivuutta kuvaava tieto sekä joitakin tilan kehittymisen ennustamisessa tarvittavia parametreja.
- Päämäärien, tavoitteiden, linjausten ja strategioiden suunnittelussa tarvitaan yhteismitallista tietoa ja tietoon pohjautuvia analyysejä. Päämäärien ja tavoitteiden suunnittelussa tarvitaan useiden eri näkökulmien ja tietojen (kunto, kustannukset, vaikutukset) samanaikaista analysointia.
- **Vuosityöohjelmien ohjelmoinnissa tarvitaan eri vaihtoehtojen taloudellisuuteen liittyviä analyysejä ja tunnuslukuja, jotka pohjautuvat objektiiviseen tietoon.** Vuosityöohjelman suunnittelu edellyttää suunnitellun ohjelman ja sillä saavutettavien tavoitteiden välistä vertailua. Jos kaikille omaisuusryhmille olisi samat tavoitteet, olisi mahdollista vertailla kohteita yli omaisuusryhmärajojen. Kokonaisbudjetti tulisi jakaa kaikille omaisuusryhmille kokonaisvaltaisen analyysin perusteella. Tarvitaan priorisointimenetelmiä, jotta ohjelmaan saadaan tehokkaimmat kohteet. Priorisoinnissa tarvitaan kustannuksiin suhteutettuja hyötyjä tai vaikutuksia. Ohjelmointivälineessä tulisi olla tietyt yleiset toiminnallisuudet, joilla kohteiden hallinta suhteessa muiden omaisuusryhmien kohteisiin olisi mahdollista. Tarpeiden analysointiosalla tuotetaan ennusteita siitä, mitkä tulevaisuuden tarpeet olisivat ja tuotetaan perustrategioiden mukaisia tuloksia (mm. nykytilan ylläpito, ei-tehdä mitään). Hankekorin hallintaan tarvitaan toiminnallisuuksia, joilla pystytään seulomaan tärkeimmät kohteet ei-tärkeistä kohteista ja tut-

kimaan vaihtoehtoisia malleja. Kannattavuusanalyysillä tuotetaan vaihtoehtojen hyvyttä kuvaavia tunnuslukuja ja haetaan parasta mahdollista ohjelmaa suhteessa rajoituksiin. Vaikutusanalyysillä tarkastellaan, miten suunniteltu ohjelma toteuttaisi tavoitteet ja verrataan ohjelmia alueellisesti tai ajallisesti toisiinsa.

- **Yhteinen suunnittelumenetelmä ja tietopohja kehittävät organisaatiossa työskentelevien henkilöiden asiantuntemusta systemaattiseen ja yhtenäiseen suuntaan ja vähentävät suunnittelukäytäntöjen henkilöriippuvuutta.** Kokenut toiminnansuunnittelija voi hallita oman alueensa rakenteet niin hyvin, ettei koe mitään tarvetta järjestelmille tai ainakaan kovin sofistikoituille järjestelmille. Monimutkaisten menetelmien käyttöön liittyy usein pelkoja. Kokemukseen perustuva kohteiden valinta on kuitenkin kaikessa täydellisyydessään subjektiivista eikä ole kovin toistettavaa. Lisäksi se kasvattaa suunnittelukäytännön henkilöriippuvuutta, mikä tuo yllätyksiä, kun henkilövaihdoksia tulee eteen. Kokemus on kertynyt aikanaan kuntoon keskittyneen käytännön kautta eikä perustu siten monipuolisuuteen. Järjestelmään ja sen tunnuslukuihin perustuva suunnittelukäytäntö helpottaa kansallista vuorovaikutusta ja parhaiden käytäntöjen leviämistä. Priorisointi tuottaa aina paremman tuloksen kuin asiantuntijan arviointi. Optimointi tuottaa aina paremman tuloksen kuin priorisointi. Monitavoiteoptimointia ei voi edes verrata edellisiin, koska niistä puuttuu vertailuun tarvittavia näkökulmia.
- **Luotettava toiminnan seuranta voidaan järjestää järjestelmän tietojen vaaraan.**
- Kansallisen ja kansainvälisen kehitystyön käyttöönotto on helppoa kehittämällä ja parantamalla hallintajärjestelmää pienin askelin sitä mukaa kuin käyttökelpoisia parannuksia on käytettävissä.

Hallintajärjestelmän olemassaololla on kaiken kaikkiaan monitahoiset heijastusvaikutukset, jotka tekevät siitä yhtenäistävän, systemaattisen, vuorovaikutteisen, kehittävän ja tehokkuutta parantavan suunnittelun apuvälineen. Sen tulisi olla ominaisuuskiltaan sellainen, että sitä on helppo käyttää ja sen käyttö siten on itsestään selvyyttä.

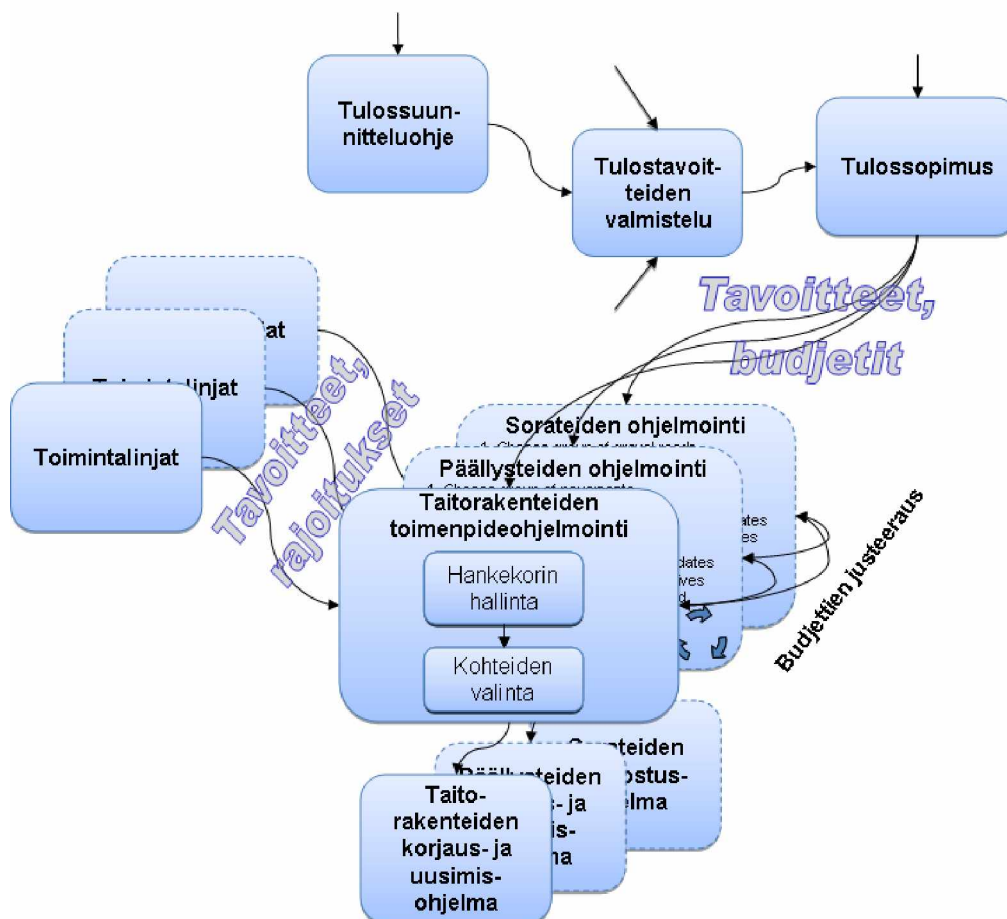
Toimenpideohjelmointi

Toimenpideohjelman laatiminen on yksi osa hallintajärjestelmän toiminnallisuutta. Ohjelmoinnin kaksi pääosaa ovat hankekorin hallinta sekä sen pohjalta tapahtuva vuosityöohjelman muodostaminen. Hankekori sisältää luettelon sellaisista kohteista, joille on tietyn aikaikkunan aikana hyvin todennäköisesti tulossa joku toimenpide. Resurssit eivät kuitenkaan riitä hankekorin kaikkien kohteiden ohjelmointiin ja siitä on vuosittain priorisoitava ne kohteet, jotka tuottavat tuloksia tehokkaimmin ja mahduttavat budjettiin. Hankekorin hallintaan ja kohteiden valintaan on tarjolla useita eri menetelmiä. Kummassakin ovat keskeisiä ne tavoitteet, joita ohjelmoinnilla haetaan.

Toimenpideohjelmien suunnittelemisessa on huomioitava sekä tulostavoitteiden vaatimukset että toimintalinjojen keskeiset viestit (Kuva 9). Toimintalinjoista saadaan yleiset pitkän aikavälin toiminnan ja hyvän ylläpidon periaatteet. Suositukset liittyvät yleensä taitorakenteiden toiminnallisuuteen, palvelutasoon ja turvallisuuteen ja edellyttävät ylläpidolta taloudellisuutta ja käyttäjien moninaisten tarpeiden huomioimista. Liikenteeseen suhteutetun toiminnallisuuden ja palvelutason tulisi olla eri osissa maata yhtäläinen. Tulostavoitteet osoittavat tavoitteet sellaisenaan ja ne tulisi pystyä huomioimaan ohjelmoinnissa.

Hallintajärjestelmän tulee auttaa suunnittelijaa ottamaan eri suunnista tulevat tavoitteet huomioon siten, että toimenpideohjelma toteuttaa tavoitteita mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Yksinkertainen yhden tunnusluvun priorisointi olisi käypä menetelmä, jos kyseessä olisi yksivuotisen ohjelman priorisointi. Todellisuudessa on otettava huomioon useita yhteismitattomia tavoitteita ja tarkastelufokus on monivuotinen. Yksinkertaisella priorisoinnilla ei pystytä ratkaisemaan ongelmaa tehokkaasti jos ollenkaan. Siksi tarvitaan järjestelmä, jolla pystytään käsittelemään useita ristiriidassa olevia, ei-yhteenlaskettavia tavoitteita kustannustehokkaasti huomioiden toimenpiteiden kustannukset ja valitsemaan kohteet systemaattisella, tietoon pohjautuvalla ja käyttäjästä riippumattomalla tavalla.

Toimenpideohjelmien laatimisessa on väistämättä läsnä myös tuote/omaisuusryhmäulottuvuus (hoito, päällysteet, taitorakenteet, varusteet jne), koska eri tulostavoitealueiden tavoitteiden ja rahankäytön tasapainon hakemisessa joudutaan arvioimaan miten budjetti kannattaa jakaa eri osien kesken ja millä osa-alueella tulostavoite on saavutettavissa edullisimmin. Pelkän tulostavoitteen tehokkaimman toteuttamisen etsiminen on haastava tehtävä, ja sen lisäksi on samalla koko ajan huolehdittava toimintalinjojen taustalla olevien ja pysyvien tavoitteiden toteutumisesta.



Kuva 9. Toimenpideohjelmointi on monitavoiteoptimointitehtävä, jossa on otettava huomioon tulostavoitteiden lisäksi myös toimintalinjojen vaatimukset sekä käytävä "kauppaa" muiden tuote/tavoitealueiden tavoitteiden ja rahoituksen kesken parhaan tuloksen saavuttamiseksi.

Optimointimenetelmien tarve

Kohteiden valinta voidaan tehdä ohjelmoinnissa monella eri tavalla. Menetelmät vaihtelevat yksinkertaisista monimutkaisempiin ja ne voidaan listata esimerkiksi seuraavasti:

- subjektiivinen asiantuntijan tekemä paremmuusjärjestys
- yhteen indeksiin perustuva rankkaus (worst case first)
- kustannuksiin suhteutetun indeksin rankkaus (most efficient first)
- monivuotinen optimointi (monipuolisen matemaattisen optimointimenetelmän avulla)
- monitavoiteoptimointi (monipuolisten tavoitenäkökulmien huomioiminen)
- stokastinen monitavoiteoptimointi (epävarmuuden huomiointi analyysissä)

Järjestelmän kannalta yksinkertaisin menetelmä on asiantuntijan subjektiiviseen arvioon perustuva järjestäminen. Sen heikkoutena on, että se ei ole kovin toistettava eikä ainakaan kovin uusittava (vertailu toisen asiantuntijan tekemään järjestykseen). Se voi olla hyvin kaukana optimista ja jopa vääristynyt. Sen hyvyys riippuu paljon asiantuntijan kokemuksesta.

Yhteen indeksiin perustuvia rankkauksia ovat mm. nykyisin käytettävät ohjelmoinnin menetelmät, missä kohteet valitaan jonkun indeksin, VPS, KTI, UTI, yms. perusteella. Niiden etuna on, että ne ovat järjestelmän tuottamina toistettavia, mutta heikkoutena, etteivät ne ole kovin lähellä optimia, koska valintaindeksejä ei ole suhteutettu kustannuksiin eikä kohteiden järjestys vastaa kannattavuusjärjestystä.

Nykyinen korjaushankkeiden valinta noudattaa jompaakumpaa edellisistä riippuen siitä, käyttääkö suunnittelija olemassa olevaa järjestelmää (indeksiin perustuva valinta) vai ei (asiantuntijan subjektiivinen arvio). Yleisenä heikkoutena nykyisissä kohteiden valintatavoissa on, etteivät ne kumpikaan suhteuta hyötyä kustannuksiin eivätkä siten voi maksimoida käytettävällä budjetilla saatavia hyötyjä.

Ohjelmalla saatava hyöty tulee suhteutettua kustannuksiin, kun kohteiden valinnan perusteena käytetään ns. Incremental Benefit Cost indeksia, joka kuvaa miten paljon kriteerinä olevan indeksin hyötyä rahayksikköä kohti kukin kohde tuottaa. Kun kohteet järjestetään tämän suhdeluvun mukaan alenevaan järjestykseen, saadaan jo paljon lähempänä optimia oleva tulos. Sen heikkoutena on kuitenkin se, ettei hyötyjä pystytä arvioimaan niiden koko vaikutusaikana. Vauriopisteitä vähenee tietty määrä, muttei tiedetä välttämättä, kuinka pitkäksi aikaa ne vähenevät.

Optimointimenetelmillä pystytään huomioimaan useita vuosia ja useita toimenpidevaihtoehtoja, jolloin tehokkuus saadaan huomattavasti paremmaksi. Siltojen korjauskohteiden valintamenetelmien vertailuista ei näytä olevan tutkimuksia helposti saatavana, sen sijaan päällysteiden kohdevalinnasta on muutamia tutkimuksia. Kuvassa 10 on erään päällysteiden hankevalintaa koskevan tutkimuksen (Thomas, 1994) tulos, missä oli verrattu kolmen eri valintamenetelmän tuottamia hyötyjä eri budjettirajoituksilla. Vaaka-akselin prosenttiluku kuvaa käytettävissä olevan budjetin osuutta tarpeen mukaisesta budjetista ja pystyakselilla on vastaavasti kullakin valintamenetelmällä saatu hyöty suhteessa maksimihyötyyn. Nollabudjetilla ei saada hyötyä millään valintamenetelmällä ja täydellä budjetilla saadaan täysi hyöty kaikilla menetelmillä. Sen sijaan, kun käytettävissä oleva budjetti on vähemmän kuin tarve, niin valintame-

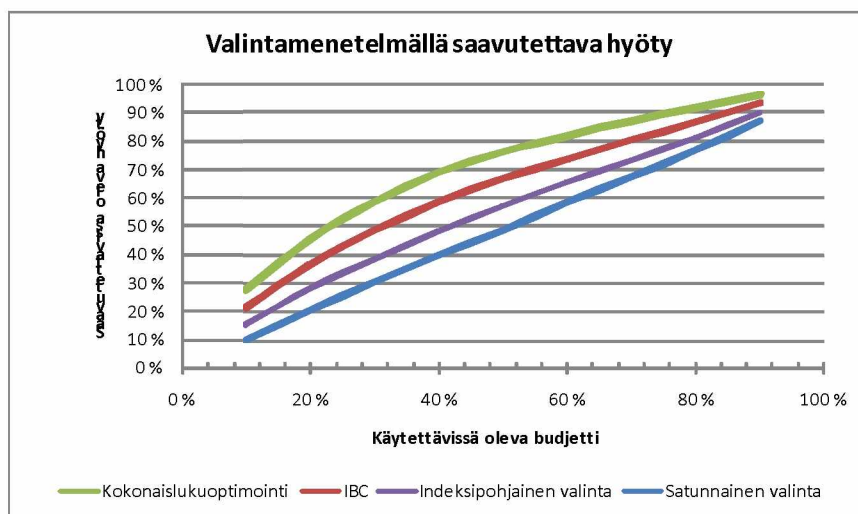
netelmän sofistisuus tuottaa aina paremman hyödyn yksinkertaisiin menetelmiin verrattuna.

Valintamenetelmävaihtoehdot ovat a) pelkkä satunnaisvalinta, b) yksinkertainen rankkaus jonkun indeksin mukaan ja c) kokonaislukuoptimointi. Optimointimenetelmä tuottaa samalla budjetilla maksimissaan kaksinkertaisen hyödyn satunnaiseen valintaan verrattuna ja maksimissaan noin 50 % paremman hyödyn yksinkertaiseen rankkaukseen verrattuna. Kun käytettävissä oleva budjetti yleensä on luokkaa 60–80 % tarpeesta, niin optimointi tuottaa saman hyödyn rankkaukseen verrattuna noin 10 %-yksikköä pienemmillä kustannuksilla. Illinoisin osavaltiossa tehty toinen päällysteitä koskenut tutkimus (Mosheni et al. 1993) tukee tässä saatuja tuloksia.

Jos ajatellaan tulosta taitorakenteiden hankevalinnan kohdalla, niin budjettitaso lie-nee jossain 70 %:n kohdalla. Nykyinen siltojen kohdevalinta toiminee jossain satunnaisen valintamenetelmän ja kuntorankkauksen puolivälissä eli optimoinnilla saatava hyöty olisi 10 % parempi tai toisinpäin että sama hyöty saataisiin noin 30 % pienemmällä (70%→50%) budjetilla.

Nykyinen taitorakenteiden korjaamiseen ja uusimiseen käytettävä budjetti on 60–70 M€/v. Kun ajatellaan, että uusittavan järjestelmän käyttöaikana, esimerkiksi 10 vuoden aikana, taitorakenteisiin käytetään noin yhteensä 700 M€ (kustannustaso nousu mukana), niin optimoinnilla saatava hyöty seuraavien kymmenen vuoden aikana kustannusten säästöinä olisi 200 M€. Vaikka käytettäisiin jotain vähemmän sofistikoitua valintamenetelmää optimoinnin ja rankkauksen välistä, esimerkiksi Incremental Benefit Cost-menetelmää, olisivat kehittyneestä valintamenetelmästä saatavat hyödyt erittäin merkittävät ja kertaluokkaa suuremmat kuin järjestelmän kehittämis- ja ylläpitokustannukset.

Vaikka tutkimukset ovatkin päällysteiden ylläpidosta, ne ovat kuitenkin melko suuntaa-antavia ja niiden perusteella voidaan todeta, että valintamenetelmällä on mahdollista vaikuttaa ohjelman tehokkuuteen, ja niitä kannattaa todella kehittää.



Kuva 10. Valintamenetelmän vaikutus saavutettavaan hyötyyn (Thomas, 1994).

Kehittyneempi valintamenetelmä tuottaa paremman hyödyn kuin yksinkertainen valintamenetelmä. Mitä vähemmän on käytettävissä rahaa tarpeeseen nähden sitä suuremman suhteellisen hyödyn kehittyneet valintamenetelmät tuottavat. Rahoitus on tyypillisesti noin 70 % tarpeesta, jolloin optimointi tuottaa saman tuloksen 30 % pienemmillä kustannuksilla tai samalla rahalla 10 % paremman hyödyn.

Jos tämän lisäksi jouduttaisiin huomioimaan useita erillisiä yhteismitattomia tavoitteita, niin kehittyneet menetelmät olisivat manuaaliseen menetelmään verrattuna ylivoimaisia.

Monitavoiteoptimoinnin tarve

Aiempana esitetyistä toiminnansuunnitteluvaiheista nähdään, että Liikenneviraston toiminnassa on päätöksentekotilanteita, joissa kilpailevat tavoitealueet on yritettävä suunnitella ja toteuttaa siten, että käytössä olevilla resursseilla saadaan tuotettua parhaat mahdolliset tulokset. Parempien toiminnansuunnittelumenetelmien ja -välineiden tarve on entistä tärkeämpää, koska julkisen sektorin toteuttamalta väyläomaisuuden hallinnalta edellytetään, että se on entistä monipuolisempaa, tehokkaampaa ja uskottavampaa. Julkisen sektorin rahoitusmahdollisuudet eivät parane vaan pikemminkin huononevat.

Todelliset päätöstilanteet ovat jatkuvia monitavoitteisten, monivuotisten ja monialueittaisten valinta- ja tasapainottamistilanteiden hallintaa, joissa tulisi alkaa pystyä huomioimaan lisäksi epävarmuus ja erilaiset keskinäiset riippuvuudet. Monitavoiteoptimointia voidaan käyttää hallintajärjestelmässä useissa eri päätöksentekotilanteissa. Tärkeimpiä niistä ovat seuraavat:

- **Strateginen suunnittelu:** Virastossa suunnitellaan väyläomaisuuden verkko-tason palvelutasoa, jolloin tarvitaan analyysiä, jossa monivuotisella ja monitavoitteisella optimoinnilla tuotetaan omaisuuden ylläpidon palvelutason ja rahantarpeen välinen yhteys ja perusteet niiden asettamiselle.
- **Strategioiden jalkautus:** Väyläomaisuuden ylläpitostrategia jalkautetaan alueille siirtämällä ylitason strategisen analyysin tulokset alueiden väyläomaisuudelle huomioimalla alueiden erityispiirteet. Suunnittelujakson mille tahansa vuodelle voidaan tuottaa budjetti ja vastaavat tavoitteet ratkaisemalla yksi-vuotinen, moni-alueittainen ja monitavoitteiden malli lähtien ylemmän tason tuottamasta ratkaisusta.
- **Hankkeiden valinta:** Yksivuotisen, monialueellisen ja monitavoitteellisen mallin tuloksia voidaan käyttää hankkeiden valintamallin lähtörajoituksina ja tuottaa tulosten suhteen optimoitu hankejoukko toteutettavaksi.
- **Hankekorin valinta:** Hankkeiden valinnan lähtökohtana ovat hankekorin kohteet. Kohteiden valinta toimii monivuotisessa aikaikkunassa valiten sellaisia kohteita, joiden elinkaarikustannukset minimoituvat tarkasteltavana olevana vuotena. Hankekoriin tulee mukaan siten vain elinkaariedullisia kohteita. Monitavoiteoptimoinnin tavoitteita olisivat ylläpito- ja käyttäjäkustannukset ja rajoitteina turvallisuus- ja kuntonäkökohdat. Esimerkiksi kymmenvuotinen aikaikkuna toimisi erittäin sopivana hankekorin valinnan pohjana ja karsisi turhia kohteita pois jatkotarkasteluista.

Tämän projektin aihealueeseen liittyvät edellä esitetystä listasta kaksi viimeistä kohtaa. Toisaalta omaisuuden hallinta edellyttäisi koko listan hallintaa lähtien strategisista päätöksistä jalkauttaen ne toteutettaviin kohteisiin. Hankekorin hallinnalla tuo-

tetaan rajallinen joukko kohteita analysoitaviksi kohteiden priorisoinnissa 1-3 vuoden aikajänteellä monipuolisemmin.

Kirjallisuudessa on useita esimerkkejä monitavoiteoptimointimenetelmien soveltamisesta eri tilanteisiin. Noin 35 esimerkkiä löytyy tienpidon alueelta. Niistä noin 15 liittyvät päällysteiden hallintaan ja noin 10 siltojen hallintaan ja loput muiden rakenteiden hallintaan. Tavoitteet ovat yleensä melko samantyyppisiä eivätkä välttämättä riipu kovin paljon omaisuusryhmästä, koska väylänpidolla haetaan samoja yhteiskunnallisia vaikutuksia riippumatta siitä, mitä väylän osaa ollaan tarkastelemassa. Yleisimmin käytettyjä tavoitealueita ovat seuraavat:

- kunto tai säilyvyyteen liittyvät indikaattorit
- turvallisuus tai siihen liittyvät riskit
- ylläpitokustannukset tai elinkaarikustannukset
- käyttäjien kustannukset, mukavuus, tai tyytyväisyys
- ympäristöön liittyvät asiat
- toiminnallisuus

Taitorakenteiden hallinnassa on mukana useita tavoitteita. Tarvitaan menetelmää, jolla useat erilaiset yhteismitattomat tavoitteet voidaan yhdistää, jotta voidaan arvioida kohteiden tehokkuutta ja tuottaa tehokkaita toimenpideohjelmia. Tällainen tavoitteiden yhdistäminen on mahdollista monitavoiteoptimoinnin menetelmillä. Monitavoiteoptimoinnin ensimmäinen osa onkin tavoitteiden yhteen kytkeminen ja toinen osa kokonaisuhyödyn optimointi.

3.3 Hallintajärjestelmän käyttötilanteet

Taitorakenteiden hallintajärjestelmällä tulee olemaan käyttäjiä useista eri organisaatioista ja useissa eri tarkoituksissa. Järjestelmän periaatteellisen toiminnan määrittelyn kannalta on tunnistettu erityisesti neljä erilaista käyttötapausta, joita ovat pääkäyttäjä, ylläpidon suunnittelija, ohjelmoija ja korjaussuunnittelija. Kolme tärkeintä käyttötilannetta ovat ylläpidon suunnittelija, ohjelmoija ja korjaussuunnittelija, joiden käyttötilanteisiin jäljempänä on kiinnitetty enemmän huomiota.

Käyttötilanteet kuvataan tässä yhteydessä ns. SIPOC-kaavioilla, joilla esitetään se käyttötilanteen toimintojen ketju, jota käyttötilanteessa ajatellaan noudatettavan. SIPOC-kaavioilla kuvataan lisäksi toiminnoissa tarvittavat lähtötiedot ja tulosteet. Näiden kaavioiden yksityiskohtia täsmennetään luonnollisesti järjestelmän toiminnallisessa määrittelyssä sekä toteutuksen alussa. Kaavioissa on käytetty taitorakenteiden hallintajärjestelmästä kokonaisuutena nimitystä TAITO (minkä ei tarvitse olla järjestelmän lopullinen nimi).

3.3.1 Pääkäyttäjä

Pääkäyttäjän käyttötilanteesta voidaan mainita, että hänellä tulee olla mahdollisuus valvoa ja hallinnoida järjestelmän kaikkea käyttöä. Pääkäyttäjän oikeuksien alle ohjataan kaikki ne asetuksiin, painoihin, malleihin jne. liittyvät asiat, joilla ei haluta vaivata muita käyttäjiä ja jotka järjestelmän yhtenäisyyden takaamiseksi tulee pitää yksissä käsissä. Pääkäyttäjän käyttötilanteiden yksityiskohtaisemmat määrittelyt täsmennyvät tietojärjestelmän kehittämisen edistyessä eikä niihin tarvitse tässä yhteydessä enempää puuttua.

Pääkäyttäjän käyttötapaus on kuvattu SIPOC-kaaviona oheassa.

Taulukko 8. Pääkäyttäjän SIPOC-kaavio.

Pääkäyttäjä - Main user							
SIPOC	Kuka tekee? Supplier	Mitä on käytettävissä? Input	Mitä tekee? Process	Mitä saadaan tuloksellisesti? Output	Kenelle tulos menee? Client	Mitä vaatimuksia tulokseen liittyy? Requirements	Milloin tulee suorittaa? Timing
MIRO	S	I	P	O	C	R	T
1							
2							
3							
4							
5							
6			Tutkimus- ja kehystoiminta - projektit				
7							
8		Tutkimustuloksia	Mallien päivittäminen	Uusia malleja, kertoimia yms.			
9		Tutkimustuloksia	Hyötyfunktioiden päivittäminen	Uusia päivitettyjä hyötyfunktioita			
10		Tutkimustuloksia	Skaalausten päivittäminen	Uudet skaalaukset			
11	Pääkäyttäjä	Tutkimustuloksia	Painojen päivittäminen		Järjestelmä - Käyttäjät	painoja tarkastelemissa on hyvä nähdä kaikki siihen asiaan liittyvät painot, koska ne pitää normalisoida	
12			Rakenneseosien päivittäminen				
13			Päästöpuiden päivittäminen				
14			Järjestelmän käytön ja tilan valvonta				
15	Koodaaja		Koodimuutokset				
16							
17							
18							
19							

Valmistelvat toimet

Päivitys

Hv.

3.3.2 Ylläpidon suunnittelija

Ylläpidon suunnittelija käyttää taitorakenteiden hallintajärjestelmää koko maan tasolla. Hän tarkastelee taitorakenteiden tilaa ja toimenpidetarpeita kokonaisuutena tai pienempinä osina joko taitorakenneryhmittäin tai alueittain. Taitorakenteiden tilaan, valintaehtoihin, malleihin, painokertoimiin, elinkaarianalyysihin jne. liittyvät yksityiskohdat ovat kaikki jo olemassa järjestelmässä eikä hän todennäköisesti halua paneutua niihin erityisemmin. Hänen kannaltaan on tyypillistä vain luottaa siihen, että järjestelmä on valmis käytettäväksi. Ylläpidon suunnittelijan antamia lähtötietoja ovat vain karkean tason painokertoimet, budjettitasot sekä kuntorajoitukset.

Ylläpidon suunnittelijan päätavoite on saada järjestelmästä ulos järkevän ylläpidon suuntaviivat ja tunnusmerkit. Tämä tarkoittaa lähinnä sitä, että hän päättää miten budjettitasot, tulostavoitteet, toimintalinjojen suuntaviivat ja alueelliset jaot tulisi tehdä. Ylläpidon suunnittelu on kytköksissä viraston vuotuisen tulosohjaukseen. Järjestelmän käyttö ajoittuu sen määräämän syklin perusteella.

Valmistelemina toimina ylläpidon suunnittelija tarkastelee viimeisimmän toiminta- ja taloussuunnitelman mukaisia tuotteiden välisiä painotuksia ja muodostaa yhdessä tulosohjauksen asiantuntijoiden kanssa käsityksen siitä, minkä verran taitorakenteiden ylläpitoon ja uusimiseen on tulevassa valtion tulo- ja menoarviossa mahdollista panostaa ja miten panostukset ylipäätään jakaantuvat koko väyläverkoston alueella. Samalla hän tekee alustavia analyyskejä taitorakenteiden tilasta ja toimenpidetarpeista sekä alueellisista eroista käyttäen järjestelmää. Tämä vaihe on vuosiaikataulultaan vapaa ja se tapahtuu hyvissä ajoin ennen varsinaista tulossuunnittelua.

Ylläpidon valmistelu etenee siten, että tietyssä vaiheessa tulosohjauksyksikkö määrää tulossuunnitteluajankäytön ja varsinaisen tulossuunnittelun aloituksesta. Tätä varten tarkistetaan kaikkien suunnittelua tukevien tietojärjestelmien päivitystilanne ja tehdään tarvittaessa päivitykset.

Varsinainen tulossuunnittelu tietojärjestelmää käyttäen voidaan aloittaa. Ylläpidon suunnittelija tekee lopullisia tarveanalyyskejä tulostaen raportteja ja kuvia taitorakenteiden ylläpito- ja uusimistarpeista. Samalla hän tekee budjettisimulointeja antaen erilaisia budjettirajoituksia tarkastelleen mitä niillä saadaan lyhyellä tähtäyksellä aikaan. Tulosteena saadaan kuntotilasta, toiminnallisuudesta ja haluttavista palvelutaso- tai vaikutusmuuttujista 5-10 vuotisskenaarioita, entä-jos -analyyskejä jne. Näiden perusteella hän valitsee taitorakenteille myönnettävän kokonaisbudjetin. Saadulla kokonaisbudjetilla hän tekee vaikutustarkasteluja siitä, mitä taitorakenteiden verkon eri osilla olisi mahdollista saada aikaan. Hän päättää kokonaisbudjetin tason ja siihen liittyvien vaikutustavoitteiden tason ja jalkauttaa saadut tulokset aluetasolle siten, että eri alueiden rahanjako ja tavoitteiden taso määräytyvät toisaalta yleisten reunaehtojen ja toisaalta alueellisten paikallisten ominaispiirteiden kautta. Näiden tulosten avulla hän valmistele omalta osaltaan tulossuunnitteluohjeen. Tulossuunnitteluohje käy läpi tietyn hyväksymisprosessin viraston sisällä ja lopulliset tavoitteet ja resurssit laitetaan ohjeeseen tulostavoitekorttien muodossa. Tämän jälkeen tulossuunnitteluohje on valmis lähetettäväksi tulosyksiköille eli alueorganisaatioille. Tämä tapahtuu loppukesästä.

Tulosyksiköt tekevät oman suunnittelutyönsä ja lopputulos on Liikenneviraston ja tulosyksikön välinen tulossopimus, missä sovitaan tulostavoitteista, resursseista ja

tulospalkkion määräytymisperusteista. Tulossopimukset allekirjoitetaan vuodenvaihteen paikkeilla.

Ylläpidon suunnittelija kerää allekirjoitettujen tulossopimusten tulostavoiteasiakirjat ja valmistautuu ohjaamaan sen mukaista tulosraportointia, joka tuotetaan järjestelmällä.

Kuluvan tulosvuoden aikana voi tulla lisäbudjetteja tai muita tulosohjaukseen liittyviä lisäyksiä, missä mahdolliset muutokset on sovittava sopimusten ja paikallisten tarpeiden mukaisesti. Näiden valmistelussa ja päättämisessä saatetaan tarvita hallintajärjestelmää.

Tulosohjauksen lisäksi ylläpidon suunnittelija osallistuu ylläpidon toimintalinjojen laatimiseen noin 5 vuoden välein, missä yhteydessä jälleen käytetään myös taitorakenteiden hallintajärjestelmää erilaisten analyysien muodossa. Toimintalinjojen uusimistyössä päivitetään hyvän ylläpidon linjaukset sekä itse toimintalinjaan että tavalla tai toisella takaisin hallintajärjestelmään, jotta toimintalinjojen viesti olisi järjestelmässä oletusarvoisesti vaikuttamassa, kun sitä käytetään kohteiden ohjelmoinnissa.

Ylläpidon suunnittelijan käyttötapaus on kuvattu SIPOC-kaaviolla Liitteessä 1.

3.3.3 Ohjelmoija

Ohjelmoijalla tarkoitetaan tässä pääasiassa alueorganisaation suunnittelijaa, joka suunnittelee alueensa taitorakenteiden korjaus- ja uusimisojelmia. Yhtä hyvin ohjelmoija voi olla joku muukin henkilö, joka suunnittelee taitorakenteille ohjelmia.

Käyttötilanne jaetaan valmisteleviin toimiin ja varsinaiseen käyttövaiheeseen. Valmistelevia toimia tehdään väljemmällä aikataululla ja varsinaista ohjelmointia melko pienen aikaikkunan aikana. Luonnollisesti alueen taitorakenteiden asiantuntija käyttää järjestelmää, kokoaa asiakaspalautteita ja muodostaa käsityksen oman alueensa rakenteiden tilasta ja tarpeista ennakkoon. Tätä varten hän tekee erilaisia listauksia rakenteiden tilasta ja odotettavissa olevien tarpeiden kehittymisestä.

Ajallisesti seuraava vaihe ennen varsinaista ohjelmointia on päivittää taitorakenteiden elinkaarianalyysit. Ohjelmoija tai korjaussuunnittelija voi tehdä tätä työtä pitkin vuotta. Taitorakenteiden kunto, ennustemallit ja päätöspuut ja muut käsittelysäännöt tuottavat eräänlaisen oletuselinkaarianalyysin, jota asiantuntijat saavat täydentää. On toivottavaa, että paikalliset asiantuntijat tekevät kaikkien niiden taitorakenteiden elinkaarianalyysit läpi, jotka ajoittuvat seuraavien kymmenen vuoden aikaikkunaan. Näin yksityiskohtaisemmat elinkaarianalyysit ovat odottamassa tarpeeksi ajoissa kun kohteet lähenevät ohjelmointivaihetta.

Ohjelmoijan valmistelevia toimia ovat erilaisten hankekorien tarkastelu. Heillä on omia hankekorivaihtoehtoja, elinkaarianalyysien tuottamia hankekoreja ja muilla perusteilla tuotettuja koreja. Lisäksi ohjelmoija on selvillä kulloinkin voimassa olevan ja noudatettavan toimintalinjan keskeisistä linjauksista ja tietää, miten niiden viesti välitetään järjestelmän kautta ohjelmiin.

Toimenpideohjelmointi alkaa varsinaisesti käynnistyä, kun tulossuunnitteluohje saadaan Liikennevirastosta loppukesällä, mahdollisesti elo-syyskuussa. Tulossuunnit-

teluohje tulee tulosityksikön esikunnan kautta ja esikunnan tulosohjausyhdyshenkilöt tulkitsevat tulossuunnitteluohjeessa yksikölle tarjolla olevia tavoitteita ja resurssien määrää. He määrittävät eri tuotealueille (kunto-turvallisuus-sujuvuus-talvihoitopäällysteet-taitorakenteet-varusteet ja laitteet- jne) tulevat painotukset ja asettavat tulostavoitteet ja resurssit. Ne annetaan lähtötiedoiksi ohjelmoijalle, joka tarkastelee oman alueensa taitorakenteiden tilaa näiden tulostavoitteiden valossa ja antaa mahdollisesti palautetta tulosohjausyhdyshenkilölle tai sitten aloittaa ohjelmoinnin. Ohjelmoinnin lähtökohdat asetetaan saatujen tavoitteiden perusteella. Taitorakenteiden ylläpitoon ja uusimiseen on tulossa tietty määrä (tai vaihtelualue) rahaa ja ohjelmoijan tulisi selvittää mitä sillä saadaan aikaan ja riittääkö saatu raha asetettujen tavoitteiden saavuttamiseen.

Ohjelmoija rajaa ohjelmoitaviksi haluamansa joukon taitorakenteita ja määrittää tavoitealueiden (MTO-kriteerit) suhteelliset painot. Sitten hän tarkastelee niillä saatua hankekoria ja päivittää sitä tarvittaessa. Sitten hän antaa budjettirajoituksen ja ohjelmoi siihen mahtuvat kohteet haluamallaan reunaehdoilla. Ohjelmoija tarkastelee saatua ohjelmaa sekä sen vaikutuksia ja tarkistaa miten saatavat vaikutukset suhtautuvat annettuihin tulostavoitteisiin. Lopputuloksena hän saa toimenpideohjelman kohdelistan sekä sen edellyttämät kustannukset ja vaikutusennusteet. Todennäköisesti hän haluaa tehdä useita eri versioita useilla eri painotuksilla ja muodostaa käsitksen siitä millä painoilla lopullinen ohjelma kannattaa tehdä.

Sitten hän lähettää tai esittelee alustavan ohjelman organisaationsa hyväksyttäväksi, minkä jälkeen se on lähetettävissä hankinnasta vastaaville henkilöille.

Ohjelmaan saattaa vuodenvaihteessa tulla muutoksia, kun tulossopimus hyväksytään. Tavoitteita, budjettia ja painotuksia voidaan muuttaa ja se saattaa heijastua ohjelmaan. Tällöin ohjelmaa täydennetään ja se hyväksytetään uudelleen. Kun tulossopimus ja sen mukainen toimenpideohjelma on hyväksytty, ohjelmointivaihe on suoritettu valmiiksi.

Ohjelmoija on todennäköisesti myös se henkilö, joka seuraa annettujen tulostavoitteiden toteutumista ja hoitaa omalta osaltaan väliraportoinnin. Väliraportoinnissa hän käyttää apunaan hallintajärjestelmää, mikä huomioi hyväksytyin ohjelman (ja mahdolliset kesän aikana tehtävät uudet tarkastukset) tulosraportteja laadittaessa.

Ohjelmoijan käyttötapaus on kuvattu SIPOC-kaaviolla Liitteessä 1

3.3.4 Korjaussuunnittelija

Sillan tai muun taitorakenteen korjaussuunnittelu on enemmän suunnittelua kuin analysointia ja sen takia taitorakenteiden hallintajärjestelmän käyttö korjaussuunnittelussa vähäisempää kuin muissa käyttötilanteissa. Korjaussuunnittelija on kiinnostunut lähinnä niistä syistä, miksi kyseinen taitorakenne on tullut korjausohjelmiin. Nämä perusteet tulisi olla järjestelmässä korjaussuunnittelijan saatavilla.

Lisäksi korjaussuunnittelija on kiinnostunut niistä erikoistarkastusten tiedoista, jotka rakenteelle on tehty korjaussuunnittelua varten.

Korjaussuunnittelijan käyttötapaus on kuvattu SIPOC-kaaviolla Liitteessä 1.

4 Optimointimenetelmän valinta

4.1 Tausta

Monitavoiteoptimointi on tulossa väyläomaisuuden hallintaan sen toiminnan suunnittelun eri tasoille. Sen yleistymiseen ovat vaikuttaneet asiakasnäkökulman korostuminen, tietotekniikan kehittyminen ja itse menetelmien kehittyminen. Menetelmien kehittyminen etenee 10–15 vuotta käytännön sovellusten edellä ja on tässäkin tapauksessa edennyt niin. Ensimmäisiä sovelluksia väyläomaisuuden hallintaan on esiintynyt kirjallisuudessa tutkimusraportteina ja opinnäytteinä jo 1990-luvulla. Viime vuosina on tehty erilaisia pilotteja joko opinnäytetöiden yhteydessä tai erikseen ja niissä on käytetty jonkun väyläorganisaation lähtötietoja. Ensimmäiset väyläorganisaatiot ovat ottaneet menetelmät jo käyttöön.

Työssä esitetään taitorakenteiden (enimmäkseen siltojen) hallinnassa monitavoiteoptimointien (MTO) suuntaan tapahtunutta menetelmäkehitystä lähtien kirjallisuudesta ja päätyen käytännön sovelluksiin. Vaikka päähuomio onkin taitorakenteiden toimenpideohjelman laatimisosassa, käsitellään aluksi hallintajärjestelmän kokonaisuutta. Kokonaisuus on tärkeä sen takia, koska MTO:n elementtejä on useassa kohtaa hallintajärjestelmää ja sen tulee sisältää muitakin osia kuin pelkästään hanke-ehdokkaiden priorisointia.

MTO:n suunnittelun lähtökohtana ovat Liikenneviraston ja ELY-keskusten liiketoimintaprosessit, nykyjärjestelmien tila ja käyttäjien tarpeet. MTO:n käyttöönottoa puoltavat taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjojen edellyttämien tavoitteiden huomioiminen tulosoikeuksien rinnalla. Tämän ovat myös käyttäjät tunnistaneet esittämällä toiveensa useiden eri näkökulmien huomioimisen tarpeesta. Taitorakenteita hallitaan tulevaisuudessa yhdellä järjestelmällä, joka sisältää aiempaa erilaisempia rakenteita. Aiempien väylämuotojen taitorakenteet ovat samassa järjestelmässä ja kenties saman ohjauksen piirissä, jolloin niihin ohjelmoitavat resurssit kilpailevat toistensa kanssa. Tämä edellyttää niiden hyötyjen ja resurssien rinnakkain laittamista, mihin monitavoitteellinen menetelmä sopii hyvin.

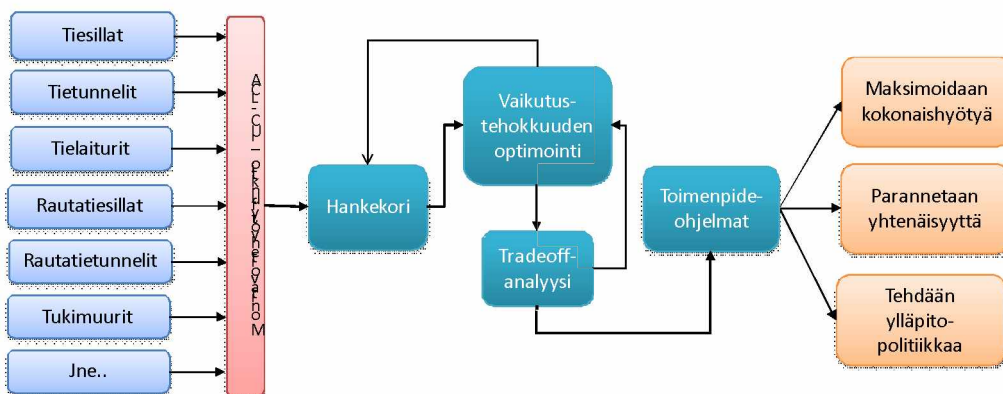
MTO-menetelmien esittelyssä vältetään liian teoreettisten ominaisuuksien esittelyä ja suunnataan esittelyä käytännön suuntaan. Kirjallisuudesta on löydettävistä useiden eri menetelmien sovellusesimerkkejä, mutta menetelmien kirjo suppenee huomattavasti, kun kriteeriksi otetaan, että sovellusten tulee pystyä käsittelemään Liikenneviraston taitorakenteiden koko määrää (sillat, putkisillat, tunnelit, laiturit, tukimuurit ja paalulaatat) ja siitä tulee olla olemassa käytännön kokemuksia. Keskeistä on, että järjestelmää tulee pystyä käyttämään monessa eri organisaatiossa ja siihen tulee pystyä kytkemään kolmen eri väylämuodon taitorakenteet niin kuin Liikenneviraston visiokin edellyttää.

4.1.1 Monitavoitteellisuuden tarve

Kaikessa päätöksenteossa on tärkeää pystyä vertaamaan erilaisia laadullisia ja määrällisiä tavoitteita. Eri päätöksentekotasolla edustetaan eri näkökulmia joko ongelman kohdistumisen tai alueellisen kattavuuden suhteen. Taitorakenteiden hallinnassa on perinteisesti painotettu kuntoon ja toiminnallisuuteen liittyviä tekijöitä. Toisaalta turvallisuus on yleensä se tärkein asia.

Taitorakenteista käytettävissä olevat tiedot poikkeavat toisistaan johtuen rakenteiden erilaisuudesta ja väylämuodoittain kehittyneestä tarkastustoiminnasta. Tarkastustiedoista muodostetaan erilaisia yleisindeksejä, jotka eivät ole yhteismitallisia. Yhteismitallisuuden kehittymistä on haitannut rakenteiden erilaisuus, ts. jos yhden rakenteen ylläpidossa korostuu kunto niin toisen rakenteen ylläpidossa voi korostua turvallisuus. Väylävirastojen yhdistyminen tuo taitorakenteet samaan hallintajärjestelmään ja luo tarpeen pystyä käsittelemään niitä yhtenäisesti.

Liikennevirastossa suunnitellaan resursseja ja tavoitteita kaikelle väyläomaisuudelle ja resursseista kilpailevat nyt paitsi taitorakenteet yhdessä myös muu väyläomaisuus. Alueille jaetut resurssit ja tavoitteet kilpailevat niin ikään keskenään. Päätöksentekotilanteet ovat muuttumassa laajemmiksi ja samalla tulee tarve käsitellä useampia erilaisia yhteismitattomia ominaisuuksia. Resurssien niukkuudesta johtuen niiden jakamiselle tulee lisää vaatimuksia, jotta niiden käyttö olisi tehokkaampaa. Erilainen väyläomaisuus ei saa enää suoraviivaisesti budjettiaan yhtä erillistä putkea pitkin, vaan joutuu yhteisen priorisoinnin alaisuuteen (Kuva 11). Lopullinen resurssien määräytyminen syntyy vasta yhdessä tehdyn priorisoinnin jälkeen. Koska erilaisista vaikutuksista syntyviä hyötyjä on hankala muuttaa rahalliseksi arvoiksi, niitä on käsiteltävä jollain muulla yhteismitallisella tavalla. Monitavoitemenetelmät tarjoavat tällaisen yhdistelytavan. Hankevaihtoehtojen priorisoinnin onnistuminen yhdessä edellyttää monitavoitteellisuuden käyttöönottoa. Monitavoitteellisuus mahdollistaa hyödyn maksimoinnin laajemmalla alueella, yhtenäisyyden lisäämisen ja erilaisten politiikkojen vertaamisen ja kytkemisen.



Kuva 11. Väyläomaisuuden hallinnan integroinnin rakenne. Integrointi edellyttää hyötyjen yhteismitallisuutta.

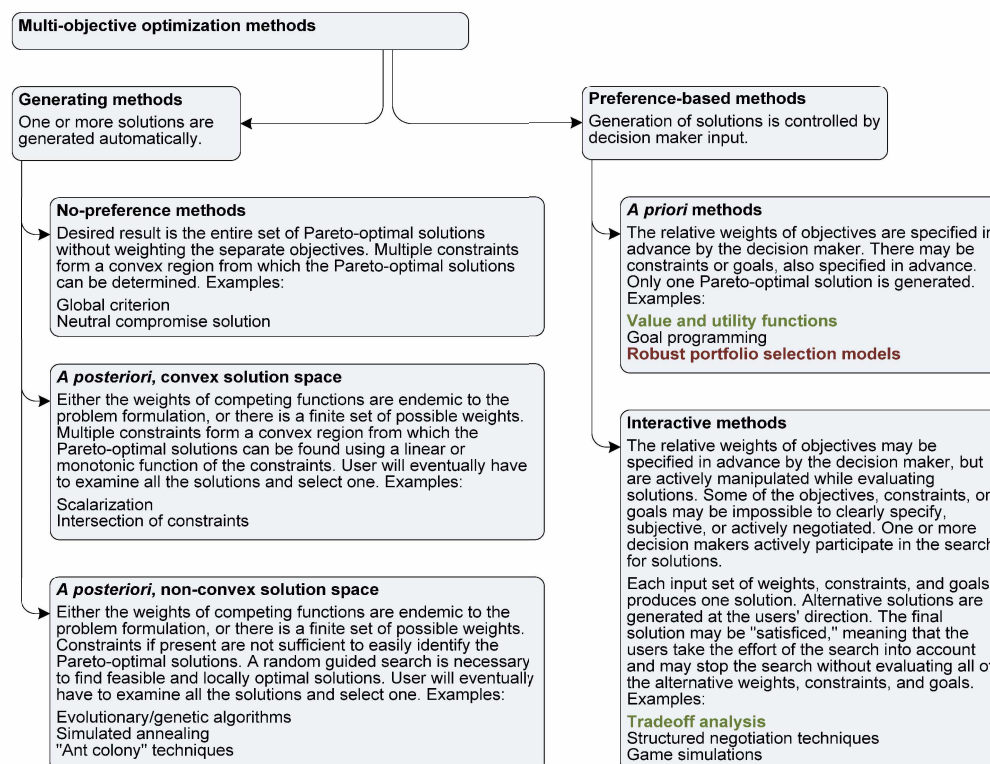
Matemaattinen optimointi on aiemmin perustunut rahamääräisiksi muutettuihin tavoitefunktioihin, jotka ovat olleet eräällä tavalla piilossa käyttäjiltä. Nykyaikaisessa hallintajärjestelmässä ei ole enää tilaa "mustille laatikoille", vaan käyttäjien tulee pystyä käsittelemään erilaisia vaihtoehtoja ja näkemään valintojensa seuraukset. Tällainen läpinäkyvyys mahdollistuu, kun erilaisten väyläomaisuusryhmien käsittely kytketään yhteen ns. "löysällä kytkennällä". Erilaisten omaisuusryhmien hyöty ja kustannukset käsitellään yhdessä ja priorisoinnin jälkeen saadaan ohjelma, joka sisältää useita eri rakenteita sekaisin. Tämä yhteen kytkentä luo mahdollisuuden avoimemmalle suunnittelulle ja päätöksenteolle.

4.1.2 Monitavoiteoptimoinnin lähestymistavat

Menetelmien luokittelu

Monitavoitteellisen optimointiongelman muodostamiseen ja ratkaisemiseen on olemassa useita (kymmeniä) lähestymistapoja ja menetelmiä ja niitä syntyy kehitystoiminnan tuloksena koko ajan lisää. Menetelmiä on luokiteltu useilla eri tavoilla, ja yksi tapa luokitella niitä on esitetty kuvassa 12. Luokittelu perustuu käyttäjän osallistumismahdollisuuteen. Vasemmalla puolella kuvassa on ns. luovat menetelmät ”*generating methods*”, missä optimointi luo joukon ratkaisuja, joista käyttäjän on valittava haluamansa. Luovat menetelmät luokitellaan usein kahteen luokkaan, joita ovat *no-preference*-menetelmät ja *a posteriori* -menetelmät. Näissä menetelmissä käyttäjän ei tarvitse määrittellä omaa preferenssirakennetta ts. tavoitteiden ja vaihtoehtojen paremuusarviota etukäteen tai hänellä on vain rajoitettu vaikuttamismahdollisuus vaihtoehtoihin. Tällaiset menetelmät ovat yleisiä automaatiojärjestelmissä, missä mahdollisten ratkaisujen määrä on ongelman luonteesta johtuen vähäinen. Muutamia tällaisista menetelmistä, kuten geneettiset algoritmit ja neuraalilaskenta, on sovellettu suppeassa mitassa myös siltojen hallintaan.

Kuvan oikealla puolella olevissa menetelmissä, ”*Preference-based methods*”, päätöksentekijän vaikutusmahdollisuudet vaihtoehtoihin ovat suuremmat. Etukäteispreferenssimenetelmissä, *a priori*, päätöksentekijä määrittää preferenssinsä etukäteen, ja optimointimenetelmä valitsee yhden siihen sopivan tuloksen. Vuorovaikutteisissa menetelmissä päätöksentekijä osallistuu aktiivisesti optimivaihtoehdon etsimiseen ja toimii optimointimenetelmän kanssa vuorovaikutteisesti. Päätöksentekijän haluamaa yksittäistä ratkaisua on etsittävä sen takia, että monitavoiteoptimoinnissa saadaan useiden ratkaisujen paretopinta, missä tulos on kaikissa yhtä hyvä, mutta tavoitteiden väliset painot vaihtelevat.



Kuva 12. Eräs optimointimenetelmien luokittelutapa (Rangaiah 2009).

Eri luokkiin sisältyvien menetelmien yleisten ominaisuuksien vertailu on tiivistetty Kuvan 13 taulukkoon. Taulukossa on vain kymmenen menetelmää. Menetelmän käyttökelpoisuuteen liittyy useita ominaisuuksia, joista tärkeimpiä ovat:

- yksinkertaisuus
- nopeus
- tarkkuus
- robustisuus
- ymmärrettävyys
- vuorovaikutteisuus

Lisäksi monissa tilanteissa on tärkeää tulosten visualisointimahdollisuus. Useimpia menetelmiä on sovellettu opinnäytetasolla, mutta harvempia käytännössä. Käyttöön otetut menetelmät ovat osoittaneet käyttökelpoisuutensa sellaisenaan. Yleensä tulisi välttää monimutkaisia ja liian hitaita menetelmiä. Robustisuus ja tarkkuus ovat hyviä ominaisuuksia, koska robustisuus auttaa saamaan parempia tuloksia jo mallinuksen alkuvaiheessa, jolloin malliin liittyvien parametrien tietämys on vielä puutteellista. Tarkkuus on sikäli hyvä asia, että sen kautta voidaan välttyä hitaan täysoptimoinnin käytöltä ja pitäytyä riittävän tarkkoissa, mutta nopeissa ja heuristiikkoihin perustuvissa ratkaisumenetelmissä.

Property - ominaisuus	Theory		Usability		Computational goodness			Experiences		
	Ratkaisujen määrä # of Solutions	Lähes-tymistapa Principle	Käyttäjän osallistuminen Interactivity	Mallin monimutkaisuus Complexity	Tulosten visualisointi-mahdollisuudet Visualisation	Ratkaisu Solution	Nopeus Speed		Robustisuus Robustness	Tarkkuus Accuracy
Methods	Global criterion, Neutral compromise	Organize feasible solutions without optimizing	Not interactive	Use of results is difficult unless the problem itself is very simple	Difficult, multi-dimensional solution space	Requires a problem with few constraints	Slow	Robust	Very accurate	Not used in BMS
	A posteriori, convex	Linear or non-linear programs	Not interactive	Convex space limits the number of results, but useful results are excluded	Moderate, linear multi-dimensional solution space	NP-hard; intractable for 20,000 bridges	Slow	Robust	Very accurate	Not used in BMS
	A posteriori, non-convex	Directed random search	Not interactive	Only a sample of results is returned, but useful results are excluded	Difficult, complex solution space	NP-hard; intractable for 20,000 bridges	Slow	Not robust	Acceptably accurate	Not used in BMS
A priori	Value and utility functions	Linear ranking	User must specify all objectives and constraints in advance	Simple linear objective and constraints	Easy, one- or two-dimensional solution space	Time order of $n(\log n)$; can handle 20,000 bridges	Fast	Robust	Very accurate	Often used in capital programming
	Goal programming	Linear or integer programming	User must specify all objectives and constraints in advance	Hard to specify objectives and constraints. Results are hard to understand	Moderate, linear multi-dimensional solution space	Potentially can be simplified to n^2 squared time, but requires abstraction	Medium	Robust	Acceptably accurate	Not used in BMS
	Robust portfolio selection	Weight factor method	User must specify all objectives and constraints in advance	Hard to specify objectives and constraints. Results are hard to understand	Difficult, non-linear multi-dimensional solution space	Potentially can be simplified to n^2 squared time, but requires abstraction	Medium	Pilot testing in Finland showed lack of robustness	Acceptably accurate	Not used in BMS but in 2 pilots
Interactive	Trade-off analysis	Pivoting based on marginal benefit/cost	Interactive: User can change weights and constraints	Easy objectives and constraints. Moderate user time to interact with model	Easy, two-dimensional tradeoff	Time order of $n(\log n)$; can handle 20,000 bridges	Fast	Robust	Acceptably accurate	Pontis, KUBA, Bridgit, Stanlec BMS, OBMS
	Structured negotiation techniques	Game theory	Interactive: User actively participates in evaluation of solutions	Easy objectives and constraints. Extensive user time to interact with model	Easy, since users are active participants	Limited by the number of alternatives users can consider	Slow	Not robust	Not accurate	Not used in BMS
	Game simulations	Game theory	Interactive: User competes against a simulated foe	Easy objectives and constraints. Extensive user time to interact with model	Easy, since users are active participants	Limited by the number of alternatives users can consider	Slow	Not robust	Not accurate	Not used in BMS

Kuva 13. Optimointimenetelmien vertailua. Epäedullisiksi arvioidut ominaisuudet on esitetty punaisella taustavärillä ja positiivisiksi arvioidut vihreällä, keltaiset solut siltä väliltä.

Interaktiivisiin menetelmiin kuuluva trade-off analyysi on käytetyin menetelmä siltojen optimoinnissa, mutta sitä on käytetty enimmäkseen vain yksikriteerisiin ongelmiin kuten elinkaarikustannusten minimointiin. Hyötyfunktioita on käytetty laajasti hankkeiden seulontaan, mutta sellaisenaan sillä on rajallinen kapasiteetti verkkotason tarpeita (budjetti vs. tulossmittarit) ajatellen.

Mainitut kaksi mallia, hyötyfunktio ja trade-off analyysi, ovat kehittyneet ja yleistyneet kahta eri tietä. Ne ovat lupaavimmat lähestymistavat erityisesti niiden käytettä-

vyyden ja kapasiteetin kannalta. Niiden kapasiteetti riittäisi Suomen taitorakenteiden koko määrän käsittelyyn yhtä aikaa.

Päätöksentekijän rooli

Kuvan 12 vasemmalla puolella olevat menetelmät kuten myös *a priori* menetelmät, ovat luokiteltavissa ns. "black box" -menetelmiksi johtuen päätöksentekijän vähäisestä osuudesta ratkaisun löytämisessä. Ne ovat "Pareto-optimaalisia", koska kaikki niiden tuomat ratkaisut ovat sellaisia, joita ei pystytä enää parantamaan muuttamalla yhtä tavoitetta huonontamatta jonkun toisen tavoitteen tulosta.

Koska ne tuottavat useita ratkaisuja, päätöksentekijällä on valinnan vapautta. Nämä menetelmät sopivat erityisesti tilanteisiin, missä hyväksyttävien ratkaisujen määrä on vähäinen ja joissa päätöksentekijä voi luottaa siihen, että kaikki Pareto-optimaaliset ratkaisut on luotu.

Interaktiivisten menetelmien erikoisuutena on, että ne sallivat useiden päätöksentekijöiden aktiivisen osallistumisen. Yleensä jokaisella päätöksentekijällä on oma suosituimmusrakenteensa heijastaen hänen omaa tehtäväaluettaan ja vastuutaan. Tämä suosituimmusrakenne voidaan laittaa lähtötietona ratkaistavalle tehtävälle ja vertailla saatuja tuloksia ja niihin liittyviä indeksejä. Päätöksentekijä voi oppia mallin tuottamista tuloksista ja siten muuttella painotuksiaan. *A priori -menetelmät* puolestaan edellyttävät, että suosituimmusrakenteet ovat jo valmiiksi pohditut ennen ratkaisuja, ja eivät mahdollista tulosten vertaamisesta saatavaa hyötyä.

Vaikka luovia menetelmiä, erityisesti geneettisiä algoritmeja, on kokeiltu siltojen hallintaan, niin niistä ei ole kuitenkaan käytännön sovelluksia. Yhtenä syynä on ratkaisumenetelmän hitaus, mikä tekee siitä huonon vaihtoehdon suurten siltakantojen hallintaan. Lisäksi ko. menetelmät tuottavat vain rajallisen määrän ratkaisuja. Yleensä ensimmäinen asia, jonka jokainen päätöksentekijä tekee, on tutkia myös sellaisia ratkaisuja, joita malli ei ole tuottanut. Tällaiset "entä jos" analyysit ovat kuvan vasemman puolen menetelmillä tehottomia.

A priori menetelmät ovat yleisimpiä MTO-menetelmiä väyläomaisuuden hallinnassa. Monissa tunnetuissa siltojen hallintajärjestelmissä, esimerkiksi Pontis ja KUBA, käytetään menetelmää, joka on yksinkertaistettu versio yleisestä Portfolion valintatehtävästä palauttamalla se lineaariseksi ongelmaksi tai järjestämistehtäväksi niin, että sillä saavutetaan koko taitorakenteita koskeva analyysi kerralla. RPM-menetelmä (Robusti Portfolio Mallinnus) on myös tällainen.

Neuvottelun rooli

A priori -menetelmien suurimpana puutteena on, että päätöksentekijän voi olla vaikeaa määrittää kaikkia tavoitteita ja rajoitteita etukäteen etenkin kun eri päätöksentekotasoilla olevien henkilöiden tulisi kaikkien hyväksyä ne. Päätökset syntyvät jokaisessa organisaatiossa enemmän tai vähemmän neuvottelemisen ja sopimisen kautta. Päätöksentekoon osallistuva henkilö ei ole välttämättä heti alussa tietoinen kaikista tarpeellisista kriteereistä tai rajoitteista ja oppii tunnistamaan ne vasta muiden tuodessa ne esiin. On helpompi arvioida ohjelmavaihtoehtoja niille ennustettujen tulostulosten kautta. Rajoitteita on helpompi määrittää sen perusteella, mitä muutoksia käyttäjä haluaa saatuun lopputulokseen tehdä. Toisaalta tulostavoitteiden painot asetetaan Liikennevirastossa tietyn suuruiseksi ja ne oikeastaan sanelevat pääosan painokertoimista. Kun kuntotavoitteen paino on vaihdellut välillä 25–35 % ja liikenne-

turvallisuustavoitteen paino välillä 20–30 % on niiden painotus melko hyvin jo määritetty. Loppu painotusvara voidaan jakaa muiden tavoitteiden kesken.

Vaikka ylläpitoa koskevat tavoitteet ja rahanjako tehdään Liikennevirastossa, niin alueittainen tilanne ja alueorganisaatioiden paikallistuntemus vaikuttavat tavoitteiden painojen suuruuteen ja sitä kautta tuovat uusia preferenssejä ohjelmointiin. Alueorganisaation päätöksentekotehtävä on eräänlainen pelitilanne, missä sillä on eri näkökulma kuin virastolla, joka tulostavoitteet asettaa. Yhdellä alueella taitorakenteiden kunto voi korostua muihin rakenteisiin verrattuna ja toisella alueella ei.

Jos kuntotavoitteen paino on 35 % ja liikenneturvallisuuden paino 25 % niin ohjelmoija saa yhden toimenpideohjelman, jolla niiden tuoma vaikutus maksimoituu. Jos taas painot muuttuvat, niin ohjelmoija saa uuden toimenpideohjelman. Ohjelmointivaihe onkin suunnittelun ja neuvottelun muodostamaa vuorottelevaa toimintaa, missä lopullinen ratkaisu syntyy useiden vaiheiden kautta. Tällainen iteratiivinen vuorovaikutus mahdollistuu, jos suunnitteluväline tuottaa vaihtoehtoisia tuloksia nopeasti.

Tavoitteet, rajoitteet ja yksinkertaisuus

Optimointiongelma rakennetaan yleensä **päätösmuuttujien** (päätösmuuttujien arvot), **tavoitefunktion** (ne asiat, joita halutaan joko maksimoida tai minimoida) ja **rajoitteiden** (rajoitteet, jotka rajoittavat joko resursseja, päätösmuuttujia) avulla. Taitorakenteiden kohdalla päätösmuuttujia ovat vaihtoehtoiset hankkeet (kandidaatit), jotka joko tulevat ohjelmaan tai sitten eivät tule. Maksimoitava tavoitefunktio on ohjelmalla saavutettava kokonaishyöty. Yleisin rajoite on budjettirajoite.

Ongelman muodostamisessa on joskus käytetty rajoitteina virheellisesti ei-toivottuja tulostavuuksia. Optimointiongelman muodostamisessa tulisi noudattaa seuraavia perussääntöjä:

- Tulostavuuksia ei tulisi koskaan käyttää rajoitteina, ellei toiminnassa nimenomaan haluta rajoittaa juuri niitä.
- Kriteerien ja rajoitteiden ei tulisi korreloida toistensa kanssa liikaa.

Tulostavuuksien laittaminen rajoitteeksi heijastaa päätöksentekijän tarvetta painottaa kyseistä mittaria ja se pitäisikin tehdä asettamalla kyseinen mittari itse kriteeriksi (tavoitteeksi). Rajoitteiden vähäinen määrä tekee ongelman ratkaisemisen yksinkertaisemmaksi, nopeammaksi ja robustimmaksi.

Kriteerien keskinäinen riippuvuus aiheuttaa ratkaistavaan ongelmaan sille epäluontaista epälineaarisuutta, mikä vääristää ratkaisun tuloksia. Se vahvistaa mallin herkkyyttä juuri sillä alueella, millä sen epävarmuus on suurinta (Patidar, 2007). Todellinen robustisuus on sitä, että malli käyttäytyy vakaasti ja loogisesti ja käyttäjän ymmärtämällä tavalla kun lähtötietoja muutetaan.

4.1.3 Monitavoiteoptimoinnin kehittyminen

Aiemmat MTO-tavat

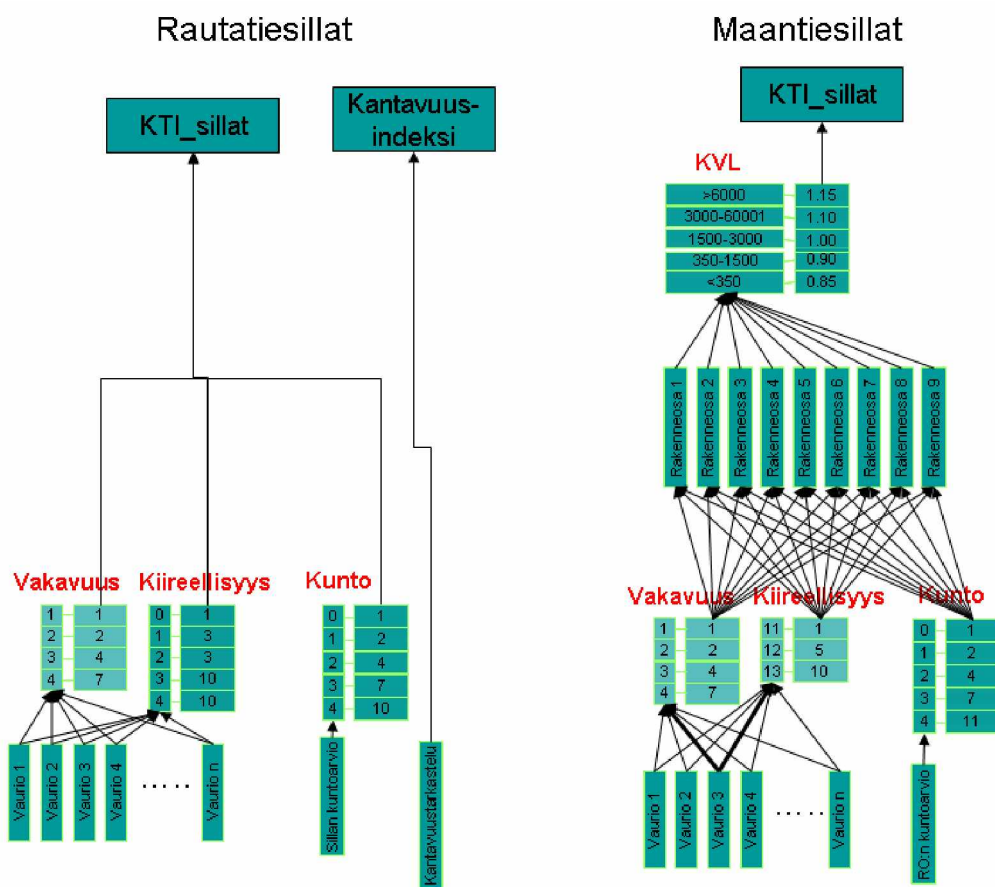
Väyläomaisuuden hallinnassa on toimittu pitkään erilaisten indikaattoreiden avulla. Ensimmäisiä esimerkkejä indikaattoreiden käytöstä siltojen hallinnassa oli, kun Yhdysvalloissa perustettiin siltojen tarkastusjärjestelmä 1970 (US National Bridge Inventory, NBI). Sen tarkoituksena oli tuolloin päästä selville siltojen kuntopuutteista ja

nähdä kuntotrendejä. Osana NBI:tä luotiin myös eräänlainen hyötyfunktio, jotta pystyttäisiin yhdistämään useita eri kriteereitä. Tämä hyötyä kuvaava indeksi (Sufficiency Rating, SR), kattoi kunnan, kuormituskapasiteetin, geometrian, suuntauksen, kierotiepituuden ja liikenteen. NBI otettiin käyttöön nopeasti ja on edelleen käytössä. SR on myös käytössä, mutta sen rooli on vähäisempi.

Eri maissa väyläomaisuudessa käytettäviä indeksejä on kartoitettu useissa tutkimuksissa, (mm OECD 1997, US Poister, 1997) ja todettu, että niitä on kaiken kaikkiaan 75. OECD-tutkimuksessa oltiin skeptisiä yhdistelmäindikaattoreiden käyttöön, koska niille ei ollut kovin hyviä ennustemalleja eikä painoja.

Suomessakin on käytetty taitorakenteiden hallinnassa eräänlaisia hyötyindeksejä, jotka ovat kooste useista eri tekijöistä (Kuva 14). Niiden lähteenä ovat kuntotarkastuksista saatavat tiedot ja usein niihin liitetään toiminnallisuuden tai turvallisuuden liittyviä osia.

Vaikka monitavoiteanalyysiin ei ole nähty tarvetta, hyötyfunktion tapaisen tarkastelun idea on koko ajan ollut taustalla. Se on toiminut kuntoindeksinä ja priorisoinnin välineenä, kun on tarkasteltu vain yhtä taitorakenteiden osa-aluetta.



Kuva 14. Kohteiden ranking-indeksit ovat syntyneet väyläomaisuuden osille eri teitä eräänlaisiksi kiinteäpainoisiksi yhdistelmäindekseiksi, jotka eivät ole vertailukelpoisia. Indeksien muodostamisessa on haettu selvästi monitavoitteellisuutta.

Asiaksnäkökulman huomiointi

Viime vuosina väyläorganisaatiot ovat alkaneet kehittää politiikoille herkempiä indikaattoreita. Lemer (2004) kuvaa hyvin tyypillisen lähestymistavan ja sanoo sen olevan käytössä 20 eri USA:n osavaltiossa ja kahdessa eri rautatievirastossa (McNeil et al. 2002). Indikaattorit lähtevät palvelutasosta ja ovat suhteessa asiakastytyväisyyssmittareihin. Asiakastytyväisyyttä ennustettiin malleilla, joissa palvelutaso oli selittäjänä. Näistä indekseistä muodostettiin hyötyfunktioita, joita käytettiin hankkeiden priorisoinnissa. Tarkempi esitys tästä lähestymistavasta on esitetty NCHRP:n raportissa 511 (Hyman 2004). Siinä on yhteensä 14 päälysteiden kuntoon, viisi siltojen kuntoon, 10 liikennemerkkeihin ja 9 turvallisuuteen liittyvää mittaria. Lisäksi oli 59 kunnossapitoon ja sen palvelutasoon liittyvää mittaria. Väylävirastot voivat valita niistä omiin käyttötarkoituksiinsa ja mittauksiin sopivimmat.

Esitetyt menetelmät olivat suosittuja tarpeiden esittämisessä ja kohteiden priorisoinnissa ja ovat edelleen käytössä ympäri maailmaa. Niiden suurin hyöty on ollut suunnata päätöksentekoa subjektiivista ja poliittisista lähestymistavoista kohti asiakaslähtöisyyttä. Sidosryhmät hyväksyvät tulokset kuitenkin vain sillä edellytyksellä, että asiakkaiden mieltymysten mittaaminen on suoritettu oikein.

Sitä mukaa kun asiakaslähtöiset mittarit on otettu eri organisaatioissa käyttöön, on myös huomattu niissä olevat puutteet. Asiakkaat eivät yleensä tiedosta haluamiensa vaatimusten täyttämistä aiheutuvia kustannuksia. Asiakaslähtöisyys ei ole siten paras tapa esimerkiksi määrittää rahoitustarpeita tai etsiä kustannusten minimiä. Lisäksi väylien ominaisuudet vaikuttavat moniin pieniin asiakasryhmiin kuten mm. raskaiden ajoneuvojen kuljettajiin, joiden tarpeet eivät nouse riittävästi esille. Asiaksnäkökulma ei tuo ilmi riskejä.

Asiakaslähtöisyys on ymmärrettävä mittareiden valinnassa laajemmin kuin tien käyttäjien tarpeiden kannalta, jotta kustannus-, turvallisuus- ja riskinäkökulmat saadaan tarkasteluihin mukaan.

Taloudellisten mittareiden ennustemenetelmät ovat kehittyneet ja erityisesti elinkaarianalyysit (Hawk 2003) ovat tulleet siltojen hallinnassa suosituiksi mm. Pontiksessa ja Ontarion Siltojen Hallintajärjestelmässä (OBMS) (Thompson et al. 2003). Siltojen toiminnallisuuspuutteista johtuvien kiertokustannusten ja onnettomuuskustannusten huomiointi ovat yleistyneet (Thompson et al. 1999) ja riskienhallintaohjeistoja on kehitetty mm. New Yorkin osavaltiossa (Shirolé 1995).

Pontis on maailman eniten käytetty siltojen hallintajärjestelmä ja sillä hallitaan nykyisin noin 500 000 sillan väyläomaisuutta. Vuonna 2006 tehdyn selvityksen mukaan noin puolet käyttäjäorganisaatioista käytti sen elinkaarianalyysimoduulia. Vuonna 2007 Pontiksen kehitysryhmä päätti sisällyttää uuteen versioon monitavoiteoptimoinnin. Sen uusi versio tulee olemaan USA:ssa kaikkien 52 osavaltion käytössä.

Optimoinnin rajoitukset

Kehitystyön seurauksena yhä enemmän informaatiota tulee päätöksentekijän käyttöön. Ohjelmointia on kuitenkin haitannut erilaisen informaation yhdistämisen puute varsinkin kun sitä ei pystytä muuttamaan rahamääräiseksi. 1990-luvun lopussa ja 2000-luvun alussa tehtiin useita yrityksiä yhdistää ja mallintaa erilaisia mittareita. Monet tutkijat ja kehittäjät yrittivät käsitteellistää erilaisia mittareita eräänlaiseksi

epävarmuudeksi. Tämä johti erilaisiin matemaattisiin optimointiongelmiin, joista esimerkkejä ovat mm. lineaarinen ja kokonaislukuoptimointi, tavoiteoptimointi, robustit portfoliomenetelmät, geneettiset algoritmit, asiantuntijajärjestelmät, neuroverkot ja monet muut. Ne eivät kuitenkaan yltäneet väylävirastojen käyttöön saakka johtuen seuraavista kolmesta syistä:

- Eri osapuolten (stakeholder) kannalta katsottuna kyvyttömyys yhdistää erilaisia näkökulmia ei ole todellista epävarmuutta. Näkökulmia kuvaavat mittarit ovat sidosryhmien kannalta päätösmuuttujia, joista tulee keskustella ja jotka tulee päättää. Sidoryhmät kokivat optimointimenetelmät ikään kuin niillä estettäisiin heidän osallistumisensa päätöksentekoon ja he eivät hyväksyneet sitä.
- Monet matemaattiset menetelmät olivat tavalliselle ihmiselle vaikeita ymmärtää. Sidoryhmät ja yleinen mielipide näkivät monimutkaisuuden tapana peittää ongelman käsittely eivätkä he siten uskoneet menetelmiin. Vääristyneet ja vaikeasti ymmärrettävät tulokset heikensivät uskottavuutta entisestään.
- Monet optimointialgoritmit olivat liian hitaita. Niillä oli eksponentiaalisesti kasvava vasteaika tehden ne käytännön päätöksentekotilanteiden kannalta aivan liian hitaiksi. Yritykset pienentää ongelmanasettelua otoksilla olivat tehottomia, koska niistä jäi pois liian usein tärkeitä osia.

Ekspontiaalisesti kasvavasta laskenta-ajasta on esimerkki, jossa laskenta-algoritmi käsittelee tuhannen sillan aineiston minuutissa, mutta 12 000 siltaa kolmessa päivässä tai 50 000 siltaa 45 päivässä. Vastaavasti polynomisesti käyttäytyvä laskenta-algoritmi suoriutuu tuhannen sillan aineistosta minuutissa, ja 12 000 sillan aineistosta 2,5 tunnissa ja 50 000 sillan aineistosta 1,7 päivässä. Jos laskenta-algoritmi pystytään muuntamaan yksinkertaiseksi järjestämiseksi, muuttuu laskenta-aika " $n(\log n)$ "-tyyppiseksi, missä minuutin ja 1000 sillan tilanne vastaisi 12 000 sillan tilanteessa 13 minuuttia ja 50 000 sillan tilanteessa 31 minuuttia. Esimerkiksi $n(\log n)$ -algoritmien tyyppisillä laskentamenetelmillä, jossa tavoitefunktio on lineaarinen (Incremental Utility Cost, IUC) laskenta voidaan jakaa useaan eri ajankohtaan ja saada vieläkin nopeammaksi. Myöhemmin esitettävässä MTO-menetelmässä ongelma jaetaan kolmeen eri osaan, joita ovat hyötyfunktion muodostaminen, itse priorisointi ja lopuksi painoilla tapahtuva tradeoff-analyysi. Nämä vastaavat kolmea eri aikaa tapahtuvaa päätöksentekoprosessin osaa. Kukin käyttäjä näkee vain osan laskennasta ja kokee siten laskenta-ajat lähes reaaliaikaisina.

Reaaliaikaisuus mahdollistaa tehokkaamman käyttötavan, missä useita eri vaihtoehtoja on mahdollista tehdä sujuvasti ja vuorovaikutteisesti. Useiden vaihtoehtojen mahdollisuus tuottaa käyttäjälle tunteen hallita asettamaansa tehtävää ja tuottaa siten paremmin toiveita vastaavia ratkaisuja.

Vuorovaikutteisuuden tarve

Samalla kun päällysteiden ja siltojen hallintaan kehitetään yhä monimutkaisempia ennuste- ja optimointimenetelmiä, myös yksinkertaisempia menetelmiä kehitetään suunnittelun ja ohjelmoinnin tarpeista käsin. Yksinkertaisemmissa menetelmissä optimointitapana on pelkkä priorisointi tai IBC-menetelmät (Incremental Benefit Cost). Niiden etuna on nopeus. Taulukkolaskentasovellukset ovat tulleet yleisimmiksi ja sitä kautta myös yksinkertaisten priorisointimenetelmien suosio on kasvamassa. Sekä

lähtötieto että tulokset ja niiden visualisointi oli helposti saatavilla. Tämä mahdollistaa ”entä jos” -tyyppiset tarkastelut.

2000-luvun puolivälin jälkeen alkoi tulla yleisemmäksi liittää yhteen useita erilaisia tavoitteita, indikaattoreiden ennustemalleja ja entä jos -analyysijä. Tästä muodostui kahden NCHRP-selvityksen kautta (Nro 551, Cambridge, 2006, ja Nro 590 Patidar 2007) nykyisin käytössä oleva hyötyfunktioon perustuva tradeoff-analyysi. Tärkeä piirre jälkimmäisessä työssä oli ns. digitaalisen kojelaudan käyttöönotto. Se mahdollistaa tulosten helpon visualisoinnin, jota mm. Miettinen (1999) peräänkuuluttaa interaktiivisten menetelmien yhteydessä. Hän toteaa edelleen, että monista aiempien menetelmien vaikeuksista päästään yli sillä, kun käyttäjälle tarjotaan mahdollisuus olla optimointimenetelmän kanssa vuorovaikutuksessa ja olla osa vaihtoehtojen muodostamista ja analysoimista.

Kahtena esimerkkinä voidaan mainita, että Pennsylvanian ja Minnesotan DOT ovat kehittäneet riskipohjaisen laskentamenettelyn, jota he ovat täydentämässä monitavoiteoptimoinnilla. Myös Floridan DOT:lla on käynnissä samanlainen työ. Pontiksessa on digitaalisen kojelaudan ominaisuus. Vuorovaikutteisuus on tulossa hallintajärjestelmiin.

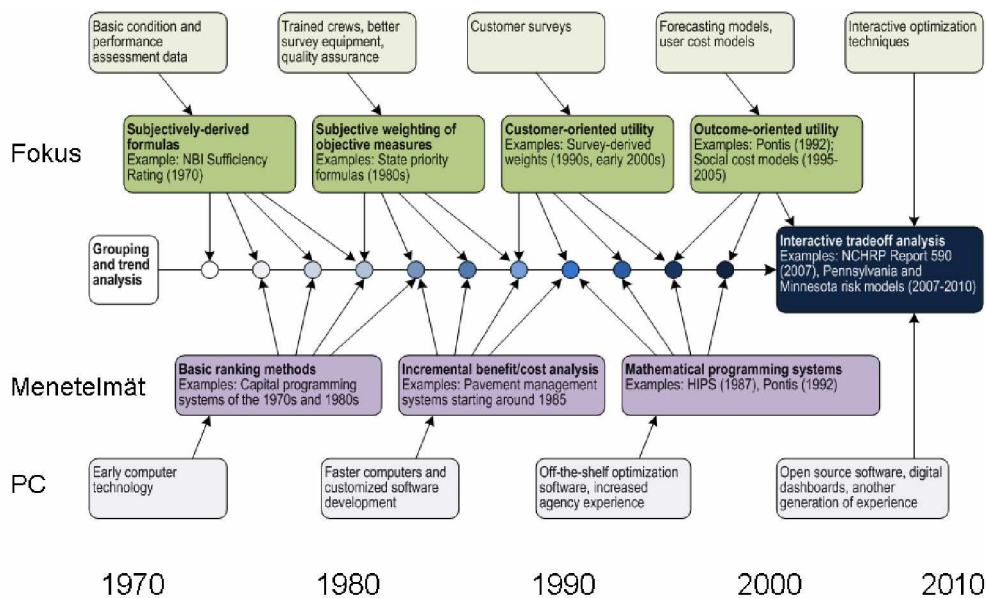
MTO-menetelmät nyt

NCHRP-raportissa 590 (Patidar et al. 2007), tarkasteltiin monitavoiteoptimoinnin lähestymistapoja ja menetelmiä. Siinä haettiin *a priori* -etukäteispreferenssimenetelmien joukosta sellaista yksinkertaistusta, joka on niin nopea ja yksinkertainen, että sitä voitaisiin käyttää interaktiivisesti. Mallin ratkaisualgoritmi luo vain yhden ratkaisun, mutta on muunneltavissa ja toistettavissa niin nopeasti, että useiden erilaisten vaihtoehtoisten preferenssirakenteiden (painojen) ja rajoitteiden tarkastelu mahdollistuu ”lennossa”.

Raportissa päädyttiin suosittelemaan etukäteispreferenssi- ja vuorovaikutteisen menetelmän yhdistelmää. Etukäteispreferenssimenetelmä perustuu hyötyfunktioon tuottaen alustavat arvot kunkin tavoitteen painoille. Itse optimointimenetelmän tulee olla mahdollisimman nopea, että se pystyy tuottamaan riittävän tarkan ohjelman. Vuorovaikutteisessa osassa huomioidaan useiden eri henkilöiden toiveet, muodostamalla sellainen lopullinen ohjelma, missä rahoitukseen, tavoitteisiin ja muihin tarvittaviin näkökohtiin liittyvät toiveet ovat mukana. Aktiivisen vuorovaikutteisen laatimisprosessin tuloksia ovat siten sekä itse toimenpideohjelma että sen laatimisessa esiin noussut tärkeysjärjestys.

Tutkimuksen johtopäätökset ymmärretään paremmin seuraavan kuvan 15 avulla. Siinä on tiedon keruun, analysointimenetelmien ja tietotekniikan kehitysjanat sen mukaan, miten kutakin on erillisesti sovellettu käytännön toiminnassa. Kuvassa on useita saavutuksia. Osa kuvan menetelmistä on edelleenkin käytössä, mutta se osoittaa kokonaisuutena kuitenkin sen kehityspolun, joka näyttää uusien hallintajärjestelmien suunnan. Kehityspolulla on mm. sellaisia asioita kuten tietojen käsittelyn kapasiteetti, aiemmat optimointitavat, asiakasnäkökulma ja vuorovaikutteisuuden tarve.

Viimeisten kymmenen vuoden aikana monitavoiteanalyysien kehitys- ja tutkimustoiminta on tuottanut useita esimerkkejä ja pilotteja, joita alkaa olla käytössä jo. Menetelmät tulevat väyläorganisaatioiden käyttöön sitä mukaa, kun hallintajärjestelmiä uusitaan.



Kuva 15. Monitavoiteoptimoinnin kehittyminen väyläomaisuuden hallinnassa.

4.2 Optimointimenetelmien vertailu

4.2.1 Vertailuun valinta

Saatavilla olevat menetelmät

MTO-menetelmien kirjo on laaja, eikä kaikkia menetelmiä pystytä eikä kannata vertailla tässä yhteydessä. Erilaisia vertailuja menetelmien ominaisuuksista on tehty operaatiotutkimuksen alueella lukuisia, mutta niiden perusteella on melko hankala päätellä sopivuutta taitorakenteiden hallintaan. Vertailun pohjaksi otetaan siten ne menetelmät, joita on joko kehitetty tai sovellettu taitorakenteiden hallintaan. Taulukossa 12 on esitetty joukko menetelmiä, joita on sovellettu väyläomaisuuden hallintaan. Väyläomaisuuden alueelle on sovellettu vähintään tutkimuksen tai opinnäytteen tasolla ainakin 38 eri sovellutusta. Niistä päällysteiden hallintaan kohdistuu 18 esimerkkiä, siltojen hallintaan 17 esimerkkiä ja loput väyläomaisuuden muille osaluueille. Käyttötarkoitus on ollut pääasiassa joko resurssien allokointi tai hankkeiden priorisointi. Taulukon lista tuskin on kuitenkaan kattava.

Eniten kokeiltuja menetelmiä ovat hyötyteoria, geneettiset algoritmit, painotettu summamenetelmä, tavoiteoptimointi ja hybridimenetelmät. Menetelmien nimissä hämmentää sekava nimeämiskäytäntö, joka välillä tarkoittaa matemaattisen optimointiongelman muodostamisperiaatetta ja välillä sen ratkaisutapaa. Esimerkiksi Multi Attribute Utility Theory (MAUT) on matemaattisen ongelman muodostamisperiaate ja sen ratkaisutapa voidaan valita usean ratkaisutavan joukosta. Stokastinen monikriteerinen arvostusanalyysi (SMAA) puolestaan on matemaattisen ongelman ratkaisutapa ja sen muodostamisperiaate voi olla vaikka MAUT. Koska ongelman muodostaminen ja ratkaisumenetelmä yhdessä määräävät laskennan vasteajan, on ne molemmat suunniteltava samanaikaisesti.

Maantiesiltojen MTO-menetelmät soveltuvat periaatteessa myös rautatiesiltojen hallintaan. Rautatiesiltojen hallinnasta ei ole kirjallisuutta kovin helposti saatavassa muodossa. McNeil (2002) on todennut, että rautateiden hallinnassa on otettu joitakin kehitysaskelaita, mm. USA:ssa menty tulosohjaukseen, mutta optimointimenetelmien käytöstä ei ole julkaisuja. Rautatievirastojen kanssa käytyjen keskustelujen perusteella on todettavissa, että rautatieomaisuuden hallinta pohjautuu säännöllisiin kuntotarkastuksiin, mutta mitään ennustemalleja eikä optimointimenetelmiä ei ole käytössä. Rataverkon hallintaan liittyy tiettyjä erityispiirteitä, jotka poikkeavat maanteiden hallinnasta. Tällaisia ovat erilaiset toiminnalliset kuten aukeaan tilaan ja kuormituskapasiteettiin liittyvät tarpeet.

Muiden taitorakenteiden kuin siltojen kohdalla on menetelty yleensä siten, että ne sisällytetään siltojen hallinnan yhteyteen. Useimmat väyläorganisaatiot hallinnoivat siltojen lisäksi tunneleita, opastuslaitteita, liikenteen ohjauslaitteiden mastoja, tukimuureja ja pieniä rumpuja, joiden tarkastusjärjestelmät ovat samantyyppisiä ja ohjelmointi tapahtuu samaan tapaan kuin varsinaisten siltojenkin. MTO:n kannalta eri taitorakenteiden käsittely on hyvin samantapaista, ainoastaan osatavoitteisiin liittyvät mittarit ja lähtötiedot vaihtelevat. Siksi osatavoitteet tuleekin valita niin kattavasti, että niihin sisältyvät kaikkien tarvittavien taitorakenteiden vaikutukset.

Taulukko 9. Yhteenveto väyläomaisuuden hallintaan kehitetystä MTO-menetelmästä

Summary of Multi-Objective Optimization Applications in Highway Asset Management										Evolution phase			
Nr	Preference Category	MOO-Techniques	Reference	Year	Problem	Formulation	Objectives			Paper	Thesis	Pilot with Transport	In use
							Highway	Bridge	Other				
32	Priori Articulation of preferences	AHP	Gafiso et al. (2001)	2001			Comfort, Environment, Safety, AgencyCosts, UsersCosts			2001			
37	Posteriori Articulation of preferences	Compromise Programming (Euclidean distance Metric)	Lounis (2006)	2006				Condition, MaintCosts, UserCosts		2006			
25	Posteriori Articulation of preferences	e-constraint method	Chowdhury et al. (2003)	2003	Highway safety resource allocation	Nonlinear programming	loss disutility			2003			
28			Chowdhury and Tan (2005)	2005				x		2005			
17	Posteriori Articulation of preferences	Genetic Algorithm	Liu et al. (1997)	1997				x		1997			
18			Pilson et al. (1999)	1999				x		1999			
8			Chan et al. (2003)	2003				x		2003			
20			El-Rayes and Kandil (2005)	2005				x		2005			
38			Herabat et al. (2005)	2005				Condition, UsersCosts		2005			
21			Liu and Frangopol (2005)	2005				Condition, Safety, Cost		2005		2005	
19			Zheng et al. (2005)	2005					x	2005			
23			Neves et al. (2006)	2006					Pres.costs Condition, Safety	2006			
27	Posteriori Articulation of preferences	Genetic Algorithm + Compromise Programming	Fwa et al. (2000)	2000				x		2000			
1	Priori Articulation of preferences	Goal Programming	Sinha et al. (1981)	1981				x		1981			
2			Ravirala and Grivas (1995)	1995	Ranking of pavement and bridge projects	Nonlinear programming	Condition, Costs, ADT	Condition, Costs, ADT		1995			
3			Ravirala et al. (1996)	1996	Investment on planning and construction of bridges	Nonlinear Knapsack selection		x		1996			
24	Posteriori Articulation of preferences	Hybrid: (e-constraint + Compromise Programming)	Lounis and Vanier (1998)	1998					x	1998			
26	Posteriori Articulation of preferences	Hybrid: (e-constraint + Genetic Algorithm)	Miyamoto et al. (2003)	2003					Condition, Safety, Cost	2003			
7	Priori Articulation of preferences	Hybrid: (Fuzzy set + weighting sum method)	Tanon and Bernardini (1999)	1999					x	1999			
16	Priori Articulation of preferences	Hybrid: (Goal Programming + AHP)	Wu et al. (2008)	2008				PreservCosts, PreservBenef		2008			
5	Priori Articulation of preferences	Hybrid: (Grey relation + Goal Programming)	Hsieh and Liu (1997)	1997					x	1997			
30	Priori Articulation of preferences	Hybrid: (K-mean+AHP + Integer Linear Programming)	Zheng Wu (2008)	2008	Selection of pavement preservation projects	Linear integer programming	PreservCosts, Importance, Condition			2008			
	Priori Articulation of preferences	Multi-attribute utility theory	Mashruor et al. (2002)	2002				Mobility, Congestion, Safety		2002			
9			Pesti et al. (2003)	2003					x	2003			
12			U and Sinha (2004)	2004	Selection of pavement preservation projects	IUC + Integer MCM/DRP	SystemPreserv, AgencyCost, UserCost, Mobility, Environment, Safety,	SystemPreserv, AgencyCost, UserCost, Mobility, Environment, Safety,	SystemPreserv, AgencyCost, UserCost, Mobility, Environment, Safety,			2004	
15			Patidar et al. (2007)	2007	Prioritizing bridges in repair program	IUC + Integer MCM/DRP		Condition, Safety, Protection, Agency costs, Users costs				2007	PONIS 5.2, KUBA, OBMS
14			Gharalbeh et al. (2007)	2007					x	2007			
36			Johnson (2008)	2008	Project selection			RehabNeeds, ScoutNeeds, RailNeeds, SeismicNeeds, MobilityNeeds				2008	
33			Rashid et al. (2008)	2008	Project selection			Service, Condition, Safety, Costs, Socioecon, Energy	Service, Condition, Safety, Costs, Socioecon, Energy			2008	
38			Dabous et al. (2010)	2010	Project selection			Condition, Load carrying capacity, Seismic risk, ADT, Supporting Road, VertClearance, ApproachCond, Drainage		2010			
34	Priori Articulation of preferences	RPM method (weighted sum + linear integer optimization)	Uesô (2004)	2004	Project selection			x		2004			
35			Finish Road Administration (2006)	2006	Project selection				Condition, Importance, Functionality1, Functionality2, Salt, Aesthetic		2004-2006	2006-2007	
29	Posteriori Articulation of preferences	Simple Multi Attribute Rating Technique	Horrocks et al. (2005)	2005				x		2005			
31	No preference	Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis (SMAA with MAUT or outranking)	Miettula (2009)	2009	Project selection				Condition, Importance, Functionality1, Functionality2, Salt, Aesthetic	2007	2007	2009	
4	Priori Articulation of preferences	Weighting sum method	Davis and Campbell (1995)	1995	Project selection	Integer linear programming	M&R effectiveness, M&R disturbance costs			1995			
6			Dissanayake et al. (1999)	1999	Resource allocation	Integer nonlinear programming	Costs, Value			1999			
10			Wang et al. (2003)	2003	Project selection	Nonlinear programming	RemLife, Condition, Costs			2003			
11			Sadek et al. (2003)	2003					x	2003			
13			Xiong and Shi (2004)	2004					Safety, Costs,	2004			
22			Gabriel et al. (2006)	2006					x	2006			

Vertailtavat menetelmät

Siltojen hallintaan on sovellettu kirjallisuudesta saatavien tietojen mukaan yhdeksää erilaista menetelmää, joista suosituimmat ovat hyötyteoria ja erilaiset hybridimenetelmät. Hybridiryhmä sisältää erilaisia useamman menetelmän yhdistelmiä ja ne ovat toisiinsa verrattuna erilaisia. Yhdistelmä siltojen hallintaan kokeilluista menetelmistä on taulukossa 13, joka on muodostettu edellä esitetystä taulukosta 12.

Yhdeksän erilaista menetelmää on melko heterogeeninen joukko verrattavaksi ja sen takia tarkempaan vertailuun on valittava niistä tärkeimmät. Projektiryhmä suositteli niihin menetelmiin keskittymistä, joita on otettu menestyksekkäästi jo käyttöön, mikä karsii vertailtavien menetelmien määrää. Vertailtavien menetelmien valinta on tehty seuraavin perustein:

- Yhtään *no-preference*-menetelmää ei ole löytyneen kirjallisuuden perusteella sovellettu siltojen hallintaan, joten niitä menetelmiä ei oteta vertailuun. Lisäksi *no-preference*-menetelmässä käyttäjän mielipidettä ei huomioida, josta mm. Miettinen (1999) on todennut, että sillä tuskin saadaan käyttäjää tyydyttävää ratkaisua.
- *A posteriori*-menetelmissä tuotetaan joukko Pareto-optimaalisia ratkaisuja, joista käyttäjän tehtäväksi jää valita haluamansa. Menetelmän heikkoutena on laskennallinen hitaus (Miettinen, 1999) ja käyttäjälle jäävä valintaongelma, joten niitä ei oteta vertailuun mukaan.
- Tässä työssä vertaillaan niitä *a priori*-menetelmiä, joita on sovellettu (pilotoitu tai käytössä) joko useita kertoja tai joita on sovellettu Suomessa. Nämä ehdot täyttyvät menetelmillä Multi Attribute Utility Theory, Robost Portfolio Modeling ja Stokastinen monikriteerinen arvostusanalyysi.

Lopullisiksi vertailtaviksi menetelmiksi jää Suomessa tehdyt pilotit ja ainut maailmalla siltojen hallinnassa käyttöön otettu menetelmä, MAUT.

Taulukko 10. Siltojen hallintaan kehitettyjä MTO-menetelmiä (TA-pilotti tarkoittaa, että menetelmää on pilotoitu jonkun väyläviraston tarpeisiin, Käytössä tarkoittaa, että menetelmä on integroitu jonkun organisaation järjestelmiin).

Nro	Preferenssi	MCO-Menetelmä	LYH.	kpl	TA pilotti ^(*)	Käytössä ^(*)	Vertailuun
1	posteriori	Compromise Programming	CP	1			Ei
2	posteriori	e-constraint method	e-c	1			Ei
3	posteriori	Genetic Algorithm	GA	3			Ei
4	priori	Goal Programming	GP	1			Ei
5	priori/post	Hybrid	Hyb	2			Ei
6	priori	Multi-attribute utility theory	MAUT	6	5	60	Kyllä
7	priori	RPM method	RPM	1	1		Kyllä
8	priori	Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis	SMAA	1	1		Kyllä
9	priori	Weighting sum method	WSM	1			Ei
Total				17	7	60	3

(* Kaikista menetelmistä ei löytynyt mainintoja niiden käytöstä)

Vertailun kriteerit

Menetelmien vertailussa pääasialliseksi kriteeriksi on noussut menetelmän soveltaminen käytännön toimintaan, mikä karsii menetelmien lukumäärän vain muutamaan. Muita kriteerejä ovat nopeus, tarkkuus ja robustisuus sekä vuorovaikutteisuus. Menetelmiä arvioitaessa on laitettava painoa sille, miten valmiita tarjolla olevat menetelmät olisivat käyttöönotettaviksi.

Eri menetelmiin liittyvä tieto ei ole kovin yhtenäistä johtuen eri aikoina kehitetyistä ja eri tavoilla raportoiduista menetelmistä. Ennen vertailua menetelmät esitellään lyhyesti saatavilla olevan aineiston perusteella. Menetelmien vertailu on sanallisia arvioita eri kohdista ja lopputulos on niiden pohjalta syntyvä mielikuva paremmuudesta.

4.2.2 Menetelmien esittely

Monitavoiteoptimoinneista käytetään usein erilaisia nimityksiä, joista osa liittyy ratkaisumenetelmään ja osa monitavoitteellisen hyötyfunktion muodostamiseen. Saman hyötyfunktion voi usein ratkaista monella eri menetelmällä. Hyötyfunktio on se osa monitavoiteanalyysiä, joka näkyy käyttäjälle ja itse matemaattisen ongelman ratkaisu on taustalla tapahtuva mahdollisimman nopea toimenpide, joka yleensä automatisoidaan järjestelmään näkymättömäksi.

Taitorakenteiden hallinnassa toimenpideohjelmoinnin kannalta menetelmien vertailussa on lisäksi kiinnitettävä huomiota siihen, miten taitorakenteita käsitellään ylipäätään ja minkälaisilla kriteereillä hankkeita vertaillaan. Optimointitehtävän pohjaksi muodostettava hankekori ja sen aikana jollain kriteerillä tapahtuva vertailu ovat keskeisiä optimointimenetelmästä riippumattomia, mutta tärkeitä, tekijöitä, jotka vaikuttavat itse menetelmän käyttökelpoisuuteen. Menetelmän käyttöönoton onnistuminen riippuu siitä kokonaisuudesta, joka on kyseistä käyttötarkoitusta varten rakennettu. MTO-menetelmien esittelyssä kiinnitetään huomio viiteen eri asiaan, joita ovat menetelmän:

- taustalla oleva teoria
- tavoiterakenne
- hanke-ehdokkaiden muodostaminen
- optimointikriteeri
- ja optimointimenetelmä

Tavoiterakenteella tarkoitetaan rakennetta, jolla taitorakenteiden tilaa kuvaavista ominaisuuksista muodostetaan lopullinen optimoitava vaikutusmuuttuja. Optimointikriteerillä tarkoitetaan sitä tekijää, jonka avulla hankkeiden paremmuus toimenpideohjelman muodostumisessa määräytyy ja optimointimenetelmällä sitä, millä algoritmilla, millä sovelluksella ja miten tehokkaasti itse optimointi suoritetaan.

Robusti Portfolio Mallinnus, RPM

Teoria

Robusti Portfolio Mallinnus, RPM-menetelmä, on TKK:n Systeemianalyysin laboratoriossa vuosina 2004–2005 kehitetty monitavoiteoptimointimenetelmä, jota on sovellettu Suomessa päällysteiden ja siltojen hankejoukon valintaan (Liesiö, 2005 ja Mild, 2004, Mild 2006). Se laajentaa Preference Programming -menetelmien ominaisuuksia kombinatorisiin tehtäviin, joissa valittavana on osajoukko kymmenistä tai sadoista

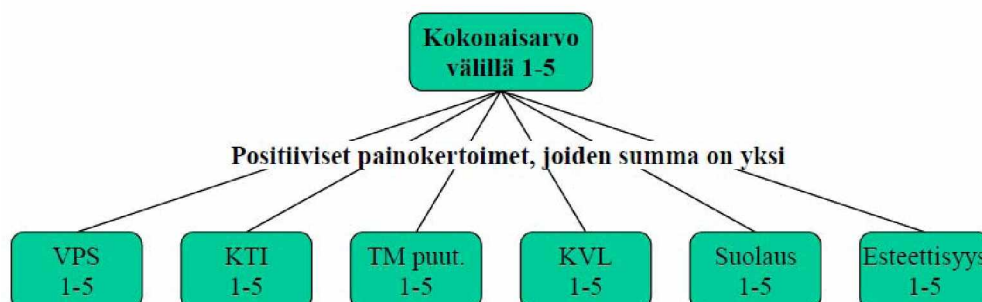
monikriteerisistä hanke-ehdokkaista. Lähestymistavaltaan RPM-menetelmä kuuluu painokerroinmenetelmien luokkaan: kokonaisarvon muoto kiinnitetään (painotettu summa), mutta kaikkia parametreja (painoja) ei kiinnitetä tarkasti. Menetelmä perustuu arvopuuanalyysiin, missä hankkeet pisteytetään arviointikriteerien suhteen ja niiden monikriteerinen kokonaisarvo mallinnetaan pisteiden painotettuna summana. Yksi hanke voi saada kokonaisarvoja välillä 1-5.

RPM-menetelmän keskeinen ominaisuus on, että painokertoimia ei tarvitse kiinnittää tarkoin numeroarvoin. Lähestymistavan ideana on huomioida ja mallintaa painotukseen liittyvä epävarmuus ja etsiä erilaisia robusteja osaratkaisuja, joita voidaan pitää varmasti suositeltavina painokertoimien epävarmuudesta huolimatta.

Tavoiterakenne

Pisteytyksen avulla arviointikriteerit yhteismitallistetaan, ja kriteerikohtaiset pisteet skaalataan samalle vaihteluvälille (Kuva 16). Pisteytykset voidaan muodostaa skaalaamalla mittasuureita (VPS ja KTI) erityisten arvofunktioiden avulla tai niitä voidaan antaa suoraan ”arvosanoina” erilaisia laadullisia ja/tai luokittelutyypisiä kriteereitä koskien (Mild, 2006).

Tavoiterakenne sisältää kuntoinformaation, toiminnallisten puutteiden informaation sekä informaatiota liikenteellisestä tärkeydestä, suolattavuudesta ja esteettisyydestä.



Kuva 16. Hankkeen kokonaisarvon mallintaminen arvopuumenetelmää käyttäen (Mild, 2006).

Kriteerien painokerroin kuvaa yhden kriteerikohtaisen pisteen vaikutusta hankkeen kokonaisarvoon. Kunkin kriteerin painokerroin on positiivinen. Painotuksessa ovat merkitseviä painokertoimien väliset suhteet. Esitetty tavoiterakenne on pilotissa käytetty rakenne, mutta se voidaan muodostaa vapaasti kulloinkin halutulla tavalla.

Hanke-ehdokkaiden muodostaminen

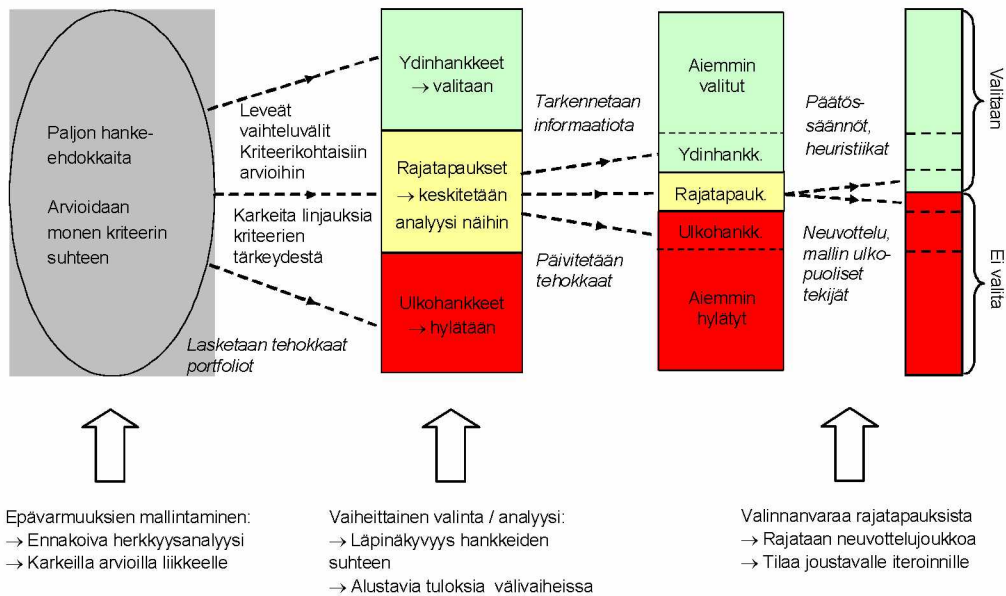
Hanke-ehdokkaat oli muodostettu pilotissa yhden tiepiirin kokonaiskunnoltaan kolmeen alimpaan kuntoluokkaan kuuluvista silloista, joita oli 313 kpl. Hanke-ehdokkaiden määräytymisen kriteeri oli yhtenäisen kuntoluokituksen kuntoluokka, joten hankekorin tuli sellaisia siltoja, joilla kunto oli tyydyttävä tai sitä huonompi. Toiminnallisia puutteita ei huomioitu hankekorin valinnassa, mutta hankkeiden ohjelmoinnissa kyllä. Esitetty hankekorin muodostamistapa on pilotissa käytetty, mutta se voidaan muodostaa millä tahansa halutulla tavalla.

Optimointikriteeri

RPM-menetelmä on kolmivaiheinen, missä ensin painoille annetaan niiden vaihtelualueet, joiden suhteen lasketaan alustavat tulokset (Kuva 17). Hankkeet jaetaan kolmeen osaan, joita ovat ydinhankkeet, rajatapaushankkeet ja ulkohankkeet. Ydinhankkeet ovat ohjelmassa itsestään selvinä ja ulkohankkeet pois ohjelmasta itsestään selvinä. Optimointi kohdistuu rajatapaushankkeisiin, joiden määrää pienennetään seuraavassa vaiheessa tarkentamalla painojen arvoja tai suuruusjärjestystä. Lopullinen toteutettava ohjelma on ydinhankkeet ja valitut rajatapaushankkeet. Optimoinnin tuloksena syntyy ydinlukuja, joiden perusteella hankkeet on lajiteltavissa paremmuusjärjestykseen. Ydinluku on suhteellinen mitta hankkeen soveltuvuudesta ohjelmaan muihin hanke-ehdokkaisiin nähden. Ydinlukuihin vaikuttavat hankemassan (kohde-ehdokkaat), painokertoimien tai rajoitusten (budjetti) muuttuminen (Mild, 2006).

Optimointikriteerinä oli käytetty pilotissa kokonaisarvoa. Korjaushankkeet tulevat korjausohjelmaan kokonaisarvon määräämässä järjestyksessä. Osatavoitteiden tuottamia arvoja ei suunnata mitenkään erikseen. Kokonaisarvo muuttuu sen mukaan, kun painoja muutetaan. Useita painorakenteita käytettäessä hanke osuu korjausohjelmaan vaihtelevasti. Tätä osumisen vaihtelevuutta kuvaamaan on muodostettu ydinluku, joka kuvaa miten moneen painojen vaihtelusta aiheutuvaan ohjelmakombinaatioon hanke tulee. Se kuvaa hankkeen varmuutta olla ohjelmakelpoinen.

Kriteeri ei ota hankkeen kustannusta mitenkään huomioon. Kallis ja halpa hanke voivat tulla ohjelmaan samalla todennäköisyydellä kun niillä on sama kokonaisarvo. Kriteerin muodostamisessa on pilotissa käytetty lisäksi muitakin vaihtoehtoja.



Kuva 17. RPM-menetelmän ydinlukuanalyysi (Mild, 2006).

Optimointimenetelmä

RPM-menetelmän käyttöön on kehitetty systeemianalyysin laboratorioissa kaksi ohjelmistomodulia (ratkaisinmoduuli RPM-Solver ja Internet-pohjainen RPM-Explorer). Molemmat moduulit ovat olleet kehitysvaiheessa vuonna 2006.

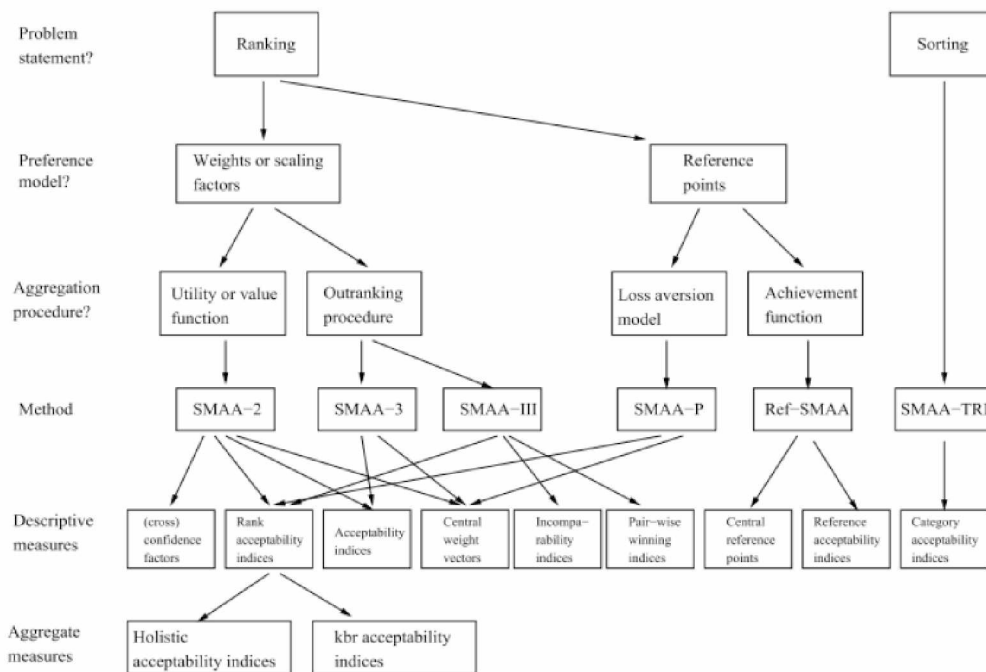
Ainoastaan ydinlukuja 0 ja 1 vastaavia hankkeita voidaan pitää varmoina hankkeina. Muiden varmuus riippuu monista tekijöistä. Suurilla aineistoilla voi syntyä kymmeniä tuhansia tehokkaita ohjelmia, eivätkä käytettävät laskenta-aproksimaatiot välttämättä löydä niitä kaikkia.

Pilotissa käytetty 313 hankkeen, 6 kriteerin ja 3 rajoitusehdon tehtävä edustaa kooltaan keskitasoa. Tämän kokoisen laskentatehtävän laskentaan kuluu aikaa noin yksi tunti. Laskentamenetelmät vaativat kuitenkin vielä kehitystyötä, jotta tehokkaan ohjelmajoukon ja siten hankkeiden ydinlukujen päivitys saadaan toimimaan riittävän nopeasti suurissakin tehtävissä (Mild 2006).

Stokastinen Monikriteerinen Arvostusanalyysi, SMAA

Teoria

Stokastinen Monikriteerinen Arvostusanalyysi on monikriteeristen optimointimenetelmien perhe, joka sisältää muunnoksia erilaisiin järjestämis- ja luokittelutehtäviin. Menetelmillä voidaan laskea erilaisia tunnus- ja vertailulukuja jatkotarkastelu- ja varten. Ne on kehitetty 1990-luvulla, ja ne sallivat epävarmuuksien mallintamisen sekä mallien käytön myös tilanteissa, joissa päätöksentekijät eivät pysty kertomaan mielipiteitään ts. preferenssejään. Eri SMAA-menetelmät soveltuvat kaiken tyyppisille päätöksenteko-ongelmille ja mahdollistavat epävarmojen, epätarkkojen, ja puuttuvien parametrien käytön. Menetelmää on esitelty tarkemmin Tommi Tervosen väitöskirjassa, joka koostuu SMAA-menetelmäperheen osa-alueita käsittelevistä artikkeleista (Kuva 18).



Kuva 18. SMAA-menetelmän valintapuu, (Tervonen, 2008).

SMAA-menetelmät laskevat erilaisia ongelmaa kuvaavia indeksejä, joiden laskutehtävästä muodostuu teoriassa moniulotteisten integraalien ratkaisutehtävä. SMAA käyttää näiden integraalien estimointiin Monte Carlo -simulointia, jonka avulla laskennan kompleksisuus saadaan käytännön sovellutukset mahdollistavalle tasolle (Tervonen, 2007).

Tavoiterakenne

SMAA-menetelmää on sovellettu siltojen toimenpideohjelman laatimiseen Markus Miettulan diplomi-työssä vuonna 2009. Siinä oli käytetty RPM-pilottien mukaista kriteeristöä ja laadittu toimenpideohjelmat yhden tiepiirin tasolla kymmenelle sillalle. Menetelmän erikoisuutena on epätäydellisen informaation käyttö simuloimalla painokertoimien arvojen tietyllä arvoalueella tietyn tiheysfunktion mukaan. Pilotissa on käytetty mainittua tavoiterakennetta, mutta se voidaan periaatteessa muodostaa millä tahansa halutulla tavalla.

Optimointikriteeri

Optimointikriteerinä käytetään hankkeen kokonaisarvoa. Optimoinnissa ei suhteuteta kokonaisarvoa kustannuksiin. Halpa tai kallis hanke voivat tulla ohjelmaan samalla todennäköisyydellä jos niillä on sama kokonaisarvo. Optimointikriteeri on pilotissa käytetty kriteeri, mutta se voidaan periaatteessa muodostaa millä tahansa halutulla tavalla.

Optimointimenetelmä

Kullekin mallirakenteelle on käytettävissä oma ratkaisumoduulinsa. Hyötyfunktion perustuva malli ratkaistaan SMAA-2-menetelmällä ja poisrankkaukseen perustuva malli SMAA-3/III-menetelmällä. Jälkimmäiset mahdollistavat yksinkertaisemman

mallirakenteen. Pilotissa oli käytetty jälkimmäistä. Optimoinnissa annetaan osatavoitteiden välisten painojen muuttua tietyn tiheysfunktion mukaan. Optimointi tapahtuu simuloimalla. Menetelmän suorituskyvystä pilottiolosuhteissa (nopeus, tarkkuus, robustisuus) ei ole esitetty sen tarkempia tietoja. Myöskään siltakannan suuruuden vaikutusta optimoinnin tehokkuuteen ei ole esitetty.

Monikriteerinen Hyötyteoria MAUT

Teoria

Monikriteerinen hyötyteoria (MAUT) ja monikriteerinen arvoteoria (MAVT) pohjautuvat monitavoiteoptimoinnissa skaalattuun ja painotettuun hyöty- tai arvofunktioon. Erilaiset ja yhteismitattomat tavoitteet/kriteerit on ensin kukin skaalattu yhdeksi funktioksi ja sitten summattu painottamalla niitä painokertoimilla, jonka arvoa pyritään maksimoimaan. Menetelmissä oletetaan, että on olemassa käyttäjän preferenssejä edustavat hyöty- tai arvofunktiot. (Guitouni et al. 1998). Arvofunktioita tarvitaan päätöksenteko-ongelmassa käyttäjän kokemien epälineaaristen hyötyjen muuntamisessa lineaarisiksi (Miettinen 1999).

Hyötyteoria tarjoaa päätöksentekijälle menetelmän, jolla hän saa yksinkertaistettua useista erilaisista tavoitteista koostuvan päätöksenteko-ongelman yhden lineaarisen funktion muotoon. Ongelman matemaattinen ratkaisu on toinen asia, ja se voidaan tehdä millä tahansa siihen soveltuvalla optimointimenetelmällä.

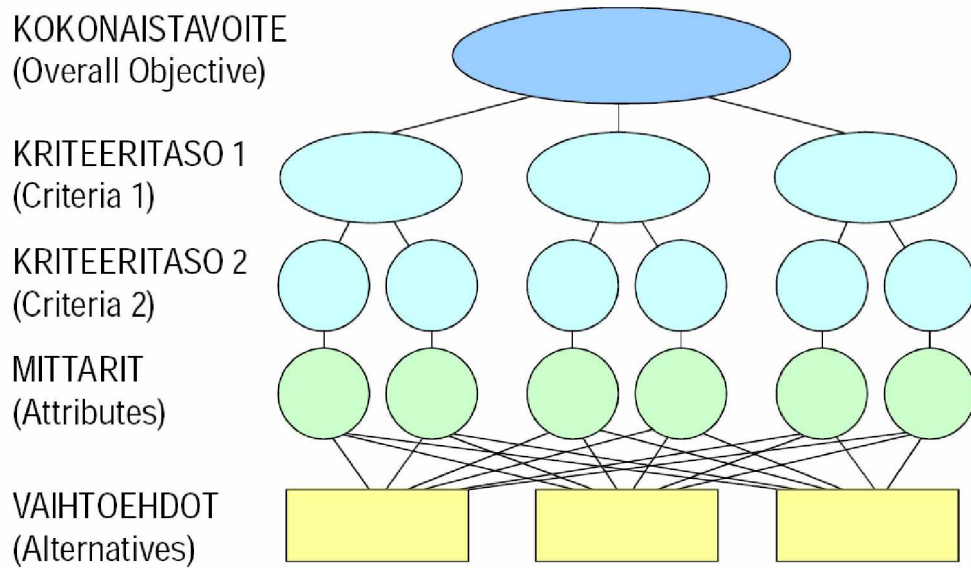
Tavoiterakenne

Tavoiterakenteen muodostamisessa tavoitteet (kriteerit) ovat päätöksentekijän pääasiallisen kiinnostuksen kohteena ts. ne osa-alueet, joiden suhteen hän saa päätöksensä seurauksena hyötyä. Hyötyteorian mukainen päätöstuki suuntaa päätöksentekijää kiinnittämään huomionsa päätösmuuttujista ulostuloon ja arvioimaan eri kriteerien painotuserojen vaikutusta.

Tavoiterakenteen muodostamisessa on noudatettava tiettyjä peruseriaatteita, joita ovat mm. hierarkisuus ja riippumattomuus. Tavoiterakenne on muuten vapaasti määriteltävissä. Pää tavoite on kaiken kaikkiaan saavuttaa mahdollisimman suuri hyöty (Kuva 19). Pää tavoite muodostuu painottamalla osatavoitteita. Osatavoitteet muodostetaan erillisistä, päätöstilanteen kannalta tärkeistä, toisistaan riippumattomista osista, jotka on skaalattu arvofunktioiden avulla kuhunkin osatavoitteeseen eniten vaikuttavista alemman tason lähtötiedoista. Osatavoitteet voivat tarvittaessa muodostua useasta tasosta. Ykköstason osatavoitteet muodostuvat joko suoraan mittareista tai välillisesti mittareista kakkostason osatavoitteiden kautta.

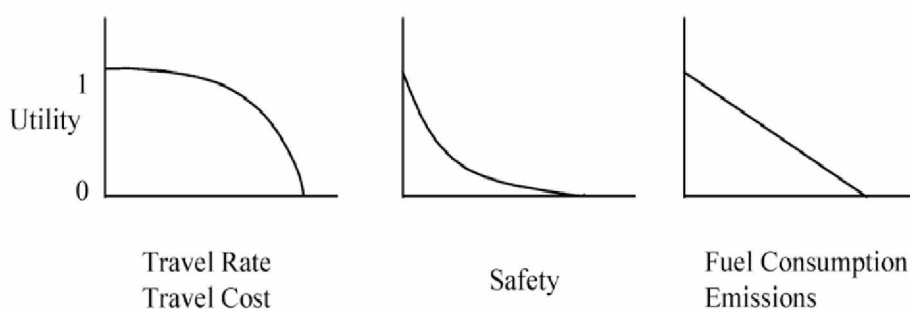
Patidarin (et al.) selvityksessä tavoitealueet muodostuivat seuraavista tavoitelohkoista:

- Siltojen säilyvyys, kunto
- Liikenneturvallisuuden parantaminen
- Suojautuminen yllättäviin olosuhteisiin
- Tienpitäjän kustannusten minimoiminen
- Käyttäjien kustannusten minimoiminen



Kuva 19. Esimerkki hyötyfunktion muodostumisesta. Kriteeritasoja (tavoite-tasoja) voi olla yksi tai useampia. (Mustajoki).

Arvo- tai hyötyfunktio on skaalattavissa vapaasti, mutta yleensä käytetään arvoasteikkoa 0-1 tai 0-100 (Kuva 20). Hyötyfunktiota käyttävä menetelmä on erinomainen menetelmä, jos päätöksentekijä tietää funktion matemaattisen muodon. Erinomaisuus perustuu sen ratkaisemisen helppouteen, joka voidaan suorittaa yhtä funktiota optimoitaessa millä tahansa sopivalla algoritmilla. Hankaluutena pidetään arvofunktioiden määrittämistä. Tiedyt kriteerit noudattavat tietyn muotoisia hyötyfunktioita, mikä on hyvä ottaa lähtötiedoksi.



Kuva 20. Esimerkki hyötyfunktion muodoista. Hyötyfunktiot ovat usein epälineaarisia.

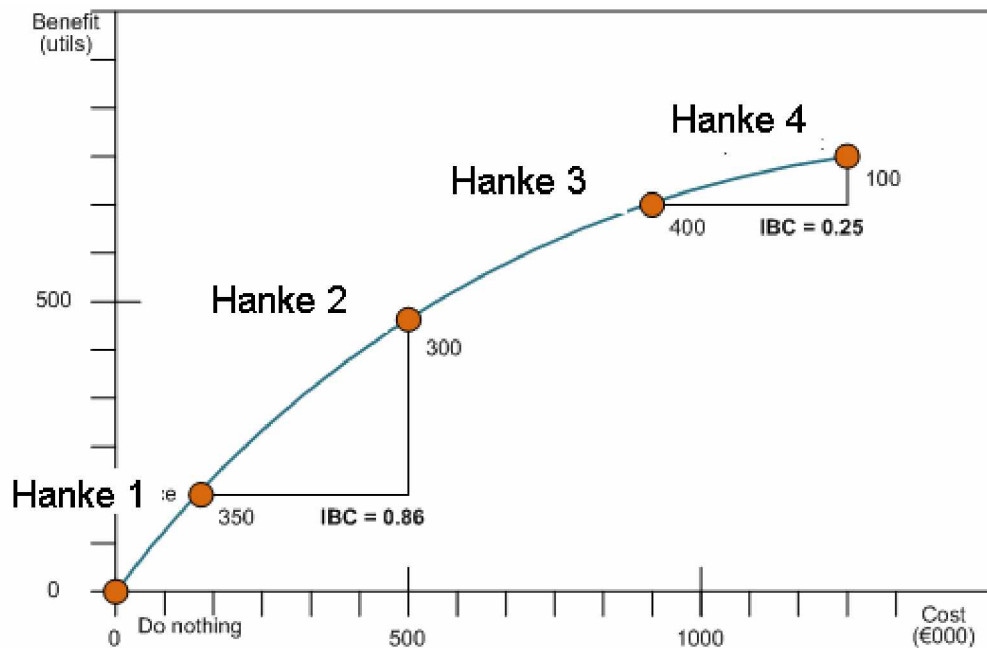
Taitorakenteiden suhteen tilannetta helpottaa se, että arvofunktiota ei määritä käyttäjä vaan kehittäjä, joka perustaa funktiot joko empiiriseen tutkimustietoon tai asiantuntijaryhmän muodostamaan yhteiseen näkemykseen. Tällöin niiden muoto ei enää olekaan henkilöstä riippuva vaan tulee (oikein tutkittuna) todellisuudesta. Kun kehittäjä määrittää lisäksi alustavat tavoitteiden väliset painotkin, jää käyttäjälle vain tulosten tutkimisen vaiva. Toisaalta hänelle jää sen lisäksi mahdollisuus asettaa tavoitteiden keskinäiset painot niin kuin haluaa, mikä tekee menetelmästä kiinnostavan.

Hanke-ehdokkaiden muodostaminen

Hanke-ehdokkaat muodostuvat taitorakennekohtaisen elinkaarianalyysin perusteella. Elinkaarianalyysissä lasketaan kullekin rakenteelle elinkaarikustannusten perusteella sen optimaalinen toimenpide ja sen ajoitusvuosi. Elinkaarianalyysiin valittu aikaikkuna rajaa sen aikavälin, jolle ajoittuvat hanke-ehdokkaat valitaan hankekoriin. Hankekoriin valinta tapahtuu siten yksilöllisten rakenteille lasketun elinkaarianalyysin perusteella.

Optimointikriteeri

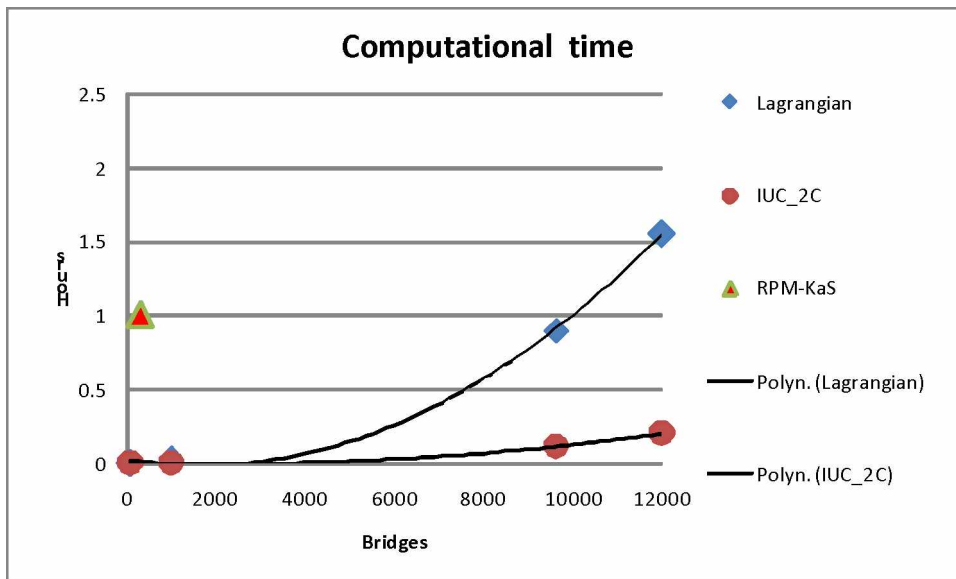
Optimointikriteerinä on toimenpideohjelmoinnissa lisärahalla saavutettu lisähyöty. Kunkin rakenteen oletustoimenpide on ei tehdä mitään -toimenpide. Muiden toimenpidevaihtoehtojen lisähyöty lasketaan niiden kustannusjärjestyksessä edelliseen verrattuna. Tunnuslukuna on siten kahden kustannusjärjestyksessä peräkkäin olevan toimenpidevaihtoehdon tuottaman lisähyödyn suhde niiden kustannuseroon (Kuva 21). Kaikkien rakenteiden kaikkia toimenpidevaihtoehtoja verrataan siten analyysissä samanaikaisesti. Kriteerin etuina ovat mm, että se huomioi toimenpiteen taloudellisuuden ja sen tuottama tulos on budjettirajoituksen suhteen robusti, koska erihintaiset kohteet eivät tule ohjelmiin yllättäen.



Kuva 21. Vähenevän rajahyödyn periaate. Hanke pääsee ohjelmaan sen tehokkuuden määräämässä järjestyksessä. Suhteellinen tehokkuus vähenee mitä kalliimmista toimenpiteistä on kyse.

Optimointimenetelmä

Optimointimenetelmä voi olla mikä tahansa kokonaislukuoptimointi. Yhden tai kahden rajoituksen ongelmatilanteisiin riittää pelkkä järjestäminen, mikä tekee toimenpideohjelman muodostamisesta nopean.

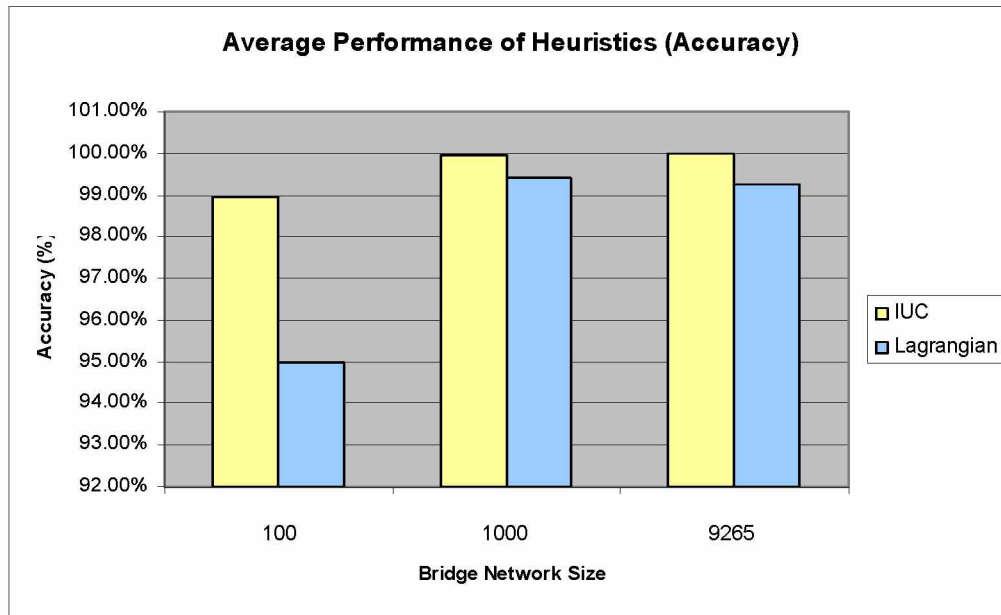


Kuva 22. Eri menetelmien ajoaikoja siltakannan koon funktiona. IUC- ja Lagrangian heuristiikat ajettu neljän CPU:n tietokoneilla ja kahdella rajoitusehdolla. RPM ajettu eri aineistolla ja kolmella rajoitusehdolla.

NCHRP-selvityksessä tehtyjen nopeustestien mukaan IUC-heuristiikka oli nopein ja suoritui 12 000 sillan tilanteessa noin 13 minuutissa kun taas täysoptimointi olisi kestänyt kolme päivää. Kuvassa 22 on esitetty eri optimointialgoritmien tuottamia nopeuksia siltakannan koon funktiona kahden rajoituksen optimointiongelmahan. Lagrangian heuristiikka alkoi hidastua merkittävästi yli 10 000 sillan kohdalla. IUC-heuristiikka oli 44 % kaupallista ILOG CPLEX-ratkaisinta (ei kuvassa) nopeampi.

Kuvaan on laitettu lisäksi RPM-heuristiikan yksi nopeusarvo, joka oli todettu kolmen rajoituksen ja 313 sillan optimointiongelmalle Kaakkois-Suomen tiepiirin pilotissa. SMAA-menetelmän siltajoukko oli niin pieni, ettei sen nopeuden vertaaminen ole mielekäästä. Nopeustestit eivät ole välttämättä vertailukelpoisia, mutta suuruusluokkatietona tunnin ajoaika kolmeasataa siltaa kohti on hidas.

Eri heuristiikkojen tarkkuuksia on verrattu NCHRP-selvityksessä täysoptimoinnilla saatuun tarkkaan tulokseen ja saatu Kuvan 23 mukaisia tuloksia. Niistä voidaan todeta, että likimääräiset laskentaheuristiikat ovat riittävän tarkkoja siltojen toimenpideohjelmointiin. Samassa selvityksessä oli testattu myös heuristiikkojen robustisuutta. Robustisuutta oli testattu kolmella eri skenaariolla, missä budjetti- ja kuntorajoitukset oli muutettu. Eri skenaarioiden tarkkuutta ja ajoaikoja oli vertailtu eri algoritmeilla saatuihin. Tuloksena oli todettu, että skenaariot eivät vaikuttaneet ajoaikoihin eivätkä tarkkuuksiin. Menetelmiä pidetään siten riittävän robusteina.



Kuva 23. Optimointialgoritmien tarkkuudesta (Patidar 2007).

4.2.3 Vertailu

Menetelmien vertailussa korostuu tarve suunnitella sen komponentit kattavasti ja tasapainoisesti. Matemaattisen optimointimenetelmän suhteen valinnassa on liikkumavaraa, kunhan varmistetaan siitä, että laskenta on tehokas. Käyttäjä tarvitsee vastuksen pelitilanteeseensa heti. Menetelmän määrittämisessä on tärkein tavoiterakenne, jonka tulisi olla kattava ja oikein laadittu. Tavoiterakennetta ei saa määrittää puutteelliseksi, koska silloin hanke-ehdokkaan potentiaalisia hyötyjä jää pois priorisoinnista, vaikka kustannukset ovat mukana täysimääräisinä. Puutteellisesti määritetyn rakenteen mukaista ongelmaa ei kannata edes ratkaista (saati sitten ratkaista tarkasti). Koska hankkeet ovat erikokoisia, niitä ei voi vertailla keskenään pelkän kokonaishyödyn tai -arvon perusteella, vaan ne tulee suhteuttaa vastaaviin kustannuksiin. Kustannuksiin suhteuttamaton valintakriteeri tuottaa erittäin tehottomaa resurssien käyttöä. Lopullinen priorisoinnin perusteena oleva kriteeri tulee olla lisäkustannuksilla saatu lisähyöty. Toisaalta IBC:hen liittyvät toimivuusongelmat kalliille toimenpiteille tulee tiedostaa ja yrittää ratkaista.

Tavoiterakenteen lisäksi merkittävä vaikutus on malleilla, eli kunkin osatavoitteen muodostaminen useista eri mittareista mallien kautta. Malleihin tulee saada mukaan tarvittavat selittäjät, koska ne ovat tekijöitä, joihin hankkeiden toteuttamisen vaikutukset välittömästi kohdistuvat. Mallien skaalaus on myös määritettävä oikein. Tämä lienee järjestelmän kehittämisen haastavin osa, mutta onneksi se voi kuitenkin tapahtua vaiheittain.

Yhteenvedo menetelmien vertailusta on esitetty seuraavassa taulukossa. Hyötyteorian mukainen lähestymistapa IUC-heuristiikalla ratkaistuna näyttää parhaalta menetelmältä, koska se on pisimmälle kehitetty ja se on yltänyt käyttöönottopäätöksiin asti. Sen valintaa tukevat mm. seuraavat seikat:

- Siitä on eniten sovellutuksia kirjallisuudessa. Sen valinta on syntynyt operaatiotutkimuksen asiantuntijoiden tekemänä.

- Se on käytössä useissa eri organisaatioissa. Kanadassa kahdeksassa eri organisaatioissa ja se tullaan rakentamaan maailman yleisimmän hallintajärjestelmän (PONTIS) sisälle ja se tulee valmistuessaan siten kaikkien Yhdysvaltain osavaltioiden käyttöön.
- Sen suorituskyky on testattu nopeuden, tarkkuuden ja robustisuuden suhteen ja todettu hyväksi.
- Ratkaisumenetelmissä on valinnan varaa.
- Toimenpideohjelman laatiminen perustuu taitorakenteiden elinkaari-analyysiin ja kustannuksiin suhteutettuihin hyötyihin, mikä parantaa ohjelmoinnin tuloksena syntyvien ohjelmien tehokkuutta.
- Käytännön kokemukseen perustuva asiantuntemus menetelmän kehittämiseen ja käyttöönottoon on käytettävissä.

Suomessa kehitettyjä menetelmiä RPM ja SMAA, on pilotoitu useain kertaan käytännön tilanteisiin. Pilotit ovat olleet kokeiluja eivätkä varsinaisia hallintajärjestelmiksi rakennettuja, joten niissä on enemmän kehittämistä ja testaamista, jos ne haluttaisiin integroida hallintajärjestelmään. Menetelmiä ei suositella sellaisinaan käyttöönotettaviksi mm. seuraavista syistä johtuen:

- Molemmat menetelmät ovat melko menetelmäpainotteisia ts. ne ovat matemaattisen optimointiongelman ratkaisumenetelmiä, joka on vain yksi osa monitavoiteoptimointia. Hallintajärjestelmä on suurempi kokonaisuus kuin pelkkä optimointi.
- Kummassakin pilotissa käytetty tavoiterakenne on määritetty vastoin siihen olevia ohjeita. Piloteissa se sisältää toistensa kanssa korreloivia kriteerejä sekä rakenteiden rappeutumiseen liittyviä parametreja, jotka eivät ole tavoitteita, joihin taitorakenteiden korjauksilla pyritään. Menetelmä priorisoi jotain sellaista, mihin fyysisellä korjaustoiminnalla ei voida vaikuttaa, ts. rahaa kuluu, mutta vaikutuksia ei synny. Pilottien tavoiterakenteet tulisi suunnitella uudestaan.
- Molemmat menetelmät on lähtökohtaisesti kehitetty käyttäjän epävarmoiksi väitettyjen preferenssien hallintaan. Oikeampi lähestymistapa olisi rakentaa tavoiterakenne monipuolisesti ja oikeaoppisesti, luottaa käyttäjän antamiin preferensseihin ja tarjota nopea ja vuorovaikutteinen laskentaväline. Stokastisuus on asia, jota ei välttämättä tarvita järjestelmässä ensimmäisenä ja se voi tulla mukaan myöhemminkin jos sille on tarvetta.
- Arvofunktioina on käytetty lineaarisia funktioita, joita ne eivät Miettisen mukaan todellisuudessa ole. Tavoiterakenteen uusimistarpeen johdosta myös kaikki mallit tulisi uusia.
- Tavoitteista laskettu kokonaisarvo vaikuttaa kohteiden valintaan, mutta toimenpiteiden vaikutusta saati sitten kustannuksiin suhteutettua vaikutusta ei käytetä mitenkään, mikä ei edistä taloudellista ylläpitoa. Valinnan kriteeri tulisi siten suunnitella uudestaan.
- Kummankaan pilotin suorituskyvystä ei ole olemassa riittävästi tuloksia. Suorituskyky on tärkeä asia ja siitä tulee olla varmuus.
- Menetelmiä tulisi kehittää ja testata enemmän, jotta niiden käyttökelpoisuudesta varmistuttaisiin.

Taulukko 11. MTO-menetelmien vertailu

Ominaisuus	MAUT	RPM	SMAA
Menetelmän ymmärrettävyys	Käyttää joko hyötyfunktioita tai arvofunktioita. Hyötyteoria on hyvin ymmärrettävä, koska ihminen käyttää sitä jokapäiväisissä päätöksissään jatkuvasti.	Menetelmä perustuu arvopuuanalysiin, mikä on helppo ymmärtää.	Käyttää sekä hyötyfunktioita että arvofunktioita, mutta sisältää kokonaisen menetelmäperheen, jota voidaan soveltaa erimuotoisiin tilanteisiin.
Optimoitavan arvo- tai hyötyfunktion sisältö ja käyttökelpoisuus	Hyötyfunktio on yksinkertainen huolellisesti määritettyjen osatavoitteiden painotettu summa tai tulo, jonka sisältöä voidaan helposti muuttaa tai jonka sisältöä voidaan säädellä helposti painokertoimilla. Arvofunktiot muodostetaan kehittäjien toimesta epälineaarina todenmukaisina funktiona eikä niihin tarvitse käyttäjän puuttua. Hyötyfunktio on yhteensopiva minkä tahansa muun alueen vastaavien kanssa. Hyötyfunktio mahdollistaa epätäydellisen tarkastustiedon käytön ja reagoi sen paranemiseen hallitusti.	Arvofunktio muodostettu asteikolla 1-5 osatavoitteista. Piloteissa valitut osatavoitteet eivät noudata niille asetettuja vaatimuksia ja ne on siten muodostettava uudestaan. Osatavoitteiden valinta ei tee oikeutta menetelmälle. Ei sovellu käsittelemään useita toimenpidevaihtoehtoja eikä koko taitorakenteiden kantaa. Menetelmässä pidetään käyttäjän antamia painoja epäluotettavina ja aliarvioidaan käyttäjän mielipidettä.	Arvofunktio muodostettu asteikolla 1-5 osatavoitteista. Piloteissa valitut osatavoitteet eivät noudata niille asetettuja vaatimuksia ja ne on siten muodostettava uudestaan. Osatavoitteiden valinta ei tee oikeutta menetelmälle. Menetelmässä huomioidaan painokertoimien stokastisuus. Ei sovellu kyseessä olevan ongelman rakenteen kanssa yhteen (määrä vaihtoehdot).
Menetelmän integroitavuus	Menetelmä on helposti integroitavissa hallintajärjestelmään, koska se on suunniteltu sitä ajatellen. Menetelmällä on kuitenkin useita rajapintoja järjestelmässä, koska sitä tarvitaan hallinnan useissa kohdissa. Menetelmä on integroitu jo seköä siltojen että muiden rakenteiden järjestelmiin ja PONTIS 5.2-järjestelmään ja Stantecin PMS-järjestelmään ja siitä on olemassa tietoa.	Menetelmä lienee integroitavissa hallintajärjestelmään, vaikka sen käyttö on ollut enemmän konsultin apuväline. Menetelmää ei ole suunniteltu koko hallintajärjestelmää ajatellen vaan ainoastaan ohjelmointiin.	Menetelmän integroitavuudesta ei ole tietoa. Voi olla integroitavissa, mutta asiantuntemusta integrointiin ei ole. Integroinnin määrittelyyn ei ole henkilöä jonka kanssa sitä suunnittelisi. Menetelmään liittyvä tekninen tuki on epävarma..
Ratkaisutekniikat	Yksinkertainen hyötyfunktio on ratkaistavissa millä tahansa siihen sopivalla kokonaislukuoptimoinnilla. Täysoptimointia ei tarvita ja voidaan käyttää IUC heuristiikkaa.	Ratkaistaan Xpress-solverilla	Ratkaistaan SMAA-tuoteperheeseen kuuluvilla algoritmeilla.
Nopeus	Tutkittu kolmella eri heuristiikalla ja täysoptimoinnilla ja todettu, että IUC-heuristiikka on nopein ja soveltuu interaktiiviseen käyttöön ja erityisesti Suomen taitorakenteiden määrään.	Nopeudesta ei ole sen tarkempaa tietoa. Epälineaaristen optimointiongelmiin ratkaiseminen ei ole kovin nopeaa.	Testattu vain 10:llä sillalla eikä ole näyttöä sen nopeudesta suurilla sillamäärillä.
Tarkkuus	Tutkittu täysoptimointia vasten ja todettu tarkkuuden olevan hyvä.	Tarkkuutta ei liene tutkittu muita menetelmiä vasten.	Tarkkuutta ei liene tutkittu muita menetelmiä vasten.
Robustisuus	Robusti	Menetelmän pitäisi olla robusti, mutta tulosten mukaan se ei ole ollut sitä.	Nykytietämyksen valossa ei pystytä sanoamaan.
Sovellusten määrä			
- kehitetty väylänpidon alueelle	8	2	1
- kehitetty siltojen hallintaan	5	1	1
- käytössä väyläorganisaatiossa	Hyötyfunktioita on käytetty paljon eri tilanteissa. IUC-menetelmää käyttää 60 väyläorganisaatiota. Yksin PONTIS 5.2 kattaa 52 organisaatiota.	-	-
Hankekorin muodostamisperiaate	Taitorakennekohtaisen elinkaarianalyysin 10 v ikkuna ja siinä kullekin vuodelle asetuvat hanke-ehdokkaat.	Kuntoluokka.	Määrittelemättä, ehkä VPS. Tulee määrittellä uudelleen.
Toimenpideohjelman muodostamisperiaate	Ehdokkaat laitetaan järjestykseen niiden tehokkuuden perusteella. Tehokkuus lasketaan lisärahalta saadun lisähyödyn mukaan. Käyttäjä voi todeta, miten hänen muodostamansa painotukset vaikuttavat. Optimointi toimii käyttäjän kanssa vuorovaikutteisesti ja nopeasti.	Muodostaa kohteille ydinlukuja, joita sorttaamalla hakee suuruusjärjestyksessä budjettiin mahtuvan ohjelman. Ydinlukuja ei suhteuteta kustannuksiin. Myöskään toimenpidevaihtoehtoja ei käytetä yksittäiselle rakenteelle yhtä enempää. Elinkaarianalyysi ei sovi menetelmään.	Kohteille lasketaan suosituimmuustodennäköisyyksiä, joiden perusteella ne järjestetään paremmuusjärjestykseen. Kohdepareja on myös mahdollista verrata toisiinsa. Elinkaarianalyysi ei sovi menetelmään.
Implementoinnin edellyttämä työmäärä ja aika sekä sen riskit	Menetelmä on osoittautunut käyttökelpoiseksi sen implementointi on suoraviivaista. Alhainen riski.	Menetelmän soveltavuudesta ei ole muuta tietoa kuin yksittäiset konsultin tekemät pilotit. Vaatii lisäkehittämistä. Suuremmat riskit.	Menetelmän soveltavuudesta ei ole muuta tietoa kuin yksi opinäytetyössä tehty pilotti. Vaatii lisäkehittämistä. Suuremmat riskit.
Soveltuvuus eri rakenteille	Todistettu että sopii.	Todennäköisesti.	Todennäköisesti.
Yhteenveto	Vahva taustateoria, yksinkertainen ymmärtää, joustava muunneltava, toimii yleisimmillä ratkaisimilla, on nopea ja pystyy käsittelemään koko siltakantaa, on kehittynyt sovellusteelle saakka, on integroitunut siltojen hallinnan kenttään.	Kotimainen tuote, yksinkertainen ymmärtää, on pilotoitu Suomessa. Tarvitsee edelleen kehittämistä. Tavoiterakenne ja mallit tulisi uusia. Suorituskyky tulisi testata.	Kotimainen tuote, yksinkertainen ymmärtää, on pilotoitu Suomessa. Tavoiterakenne ja mallit tulisi uusia. Tarvitsee kehittämistä. Suorituskyky tulisi testata.

4.3 Suositeltava hallintajärjestelmä

4.3.1 Hallintajärjestelmän rakenne

Taitorakenteiden hallintajärjestelmällä tuetaan ylläpidon toiminnasuunnittelussa esiin nousevia päätöstilanteita. Hallintajärjestelmän toiminnallisuuden kolme osaa ovat ylläpidon suunnittelu, toimenpideohjelman suunnittelu ja rakennekohtainen käyttöikäsuunnittelu. Hallintajärjestelmän pääkomponentit, tiedonhankinta, tietovarasto ja analyysivälineet muodostavat kokonaisuuden, jolla edellä mainittuja päätöstilanteita tuetaan. Kunkin suunnitteluvaiheen sisällä voidaan käyttää enemmän tai vähemmän matemaattisia laskentoja, joista matemaattinen optimointi (joko yksi- tai monitavoitteisena) on yksi menetelmä. Periaatteellinen toiminta sisältää ne matemaattista käsittelyä sisältävät osat, joilla suunnitellaan ja ohjelmoidaan taitorakenteiden ylläpitoa.

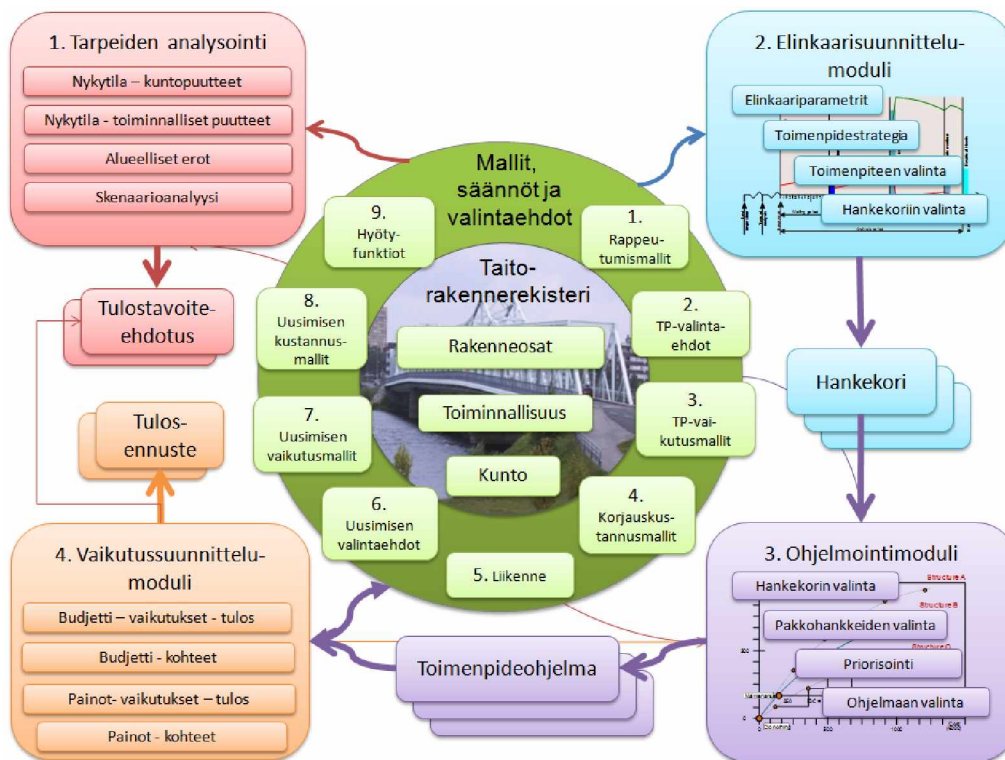
Järjestelmään liittyvien tarpeiden kartoituksessa on tullut esille, että päähuomio periaatteellisen toiminnan suunnittelussa tulee kiinnittää toimenpideohjelman laatimisosaan, missä valitaan toimenpideohjelmaan optimaalinen hankejoukko rajatulle tai rajaamattomalle taitorakenteiden osalle (maan noin 20 000 taitorakenteen joukosta). Sen lisäksi on myös edellytetty, että rakenteiden elinkaarianalyysiä ja ylläpidon suunnittelua tukevia toimintoja määritellään.

Edellä mainitut tavoitteet edellyttävät koko järjestelmäkokonaisuuden hahmottamista, mistä on esitetty esimerkki Kuvassa 24. Perinteisesti hallintajärjestelmän tulisi sisältää mm. seuraavia osia:

- **Rakenneosakohtainen tieto**
 - Inventointi- ja tarkastustieto jokaisesta taitorakenteesta ja sen pää-rakenneosasta ja toimiva päivityskäytäntö tietojen ylläpitämiseksi.
 - Yleensä rakenneosakohtainen tarkastelu auttaa huomion kohdistamisessa sellaisiin osiin, jotka tarvitsevat säännöllistä kunnossapitoa, kuten liikuntasauamat, kuluvat kansirakenteet ja vesieristykset.
 - Päivityskäytännöllä tarkoitetaan sitä kokonaisuutta, joka muodostuu syklisen tarkastuskäytännön ja ennustemallien käytön avulla.
- **Toiminnallisuustieto**
 - Sellaisten tietojen inventointi ja tarkastus, jotka osoittavat, miten hyvin rakenne ja päärakenneosa palvelevat niiden käyttöä eri näkökulmista. Esimerkiksi silloilla näitä ovat tarvittava kuormituskapasiteetti, alikulkukorkeus ja leveys ja tunneleissa aukea tila tai suurin sallittu nopeus.
- **Ylläpitotarpeiden ennustaminen**
 - Sellaiset mallit, joilla rakenteiden tilaa voidaan ennustaa tulevaisuuteen ja todeta, miten ylläpitotarpeet kehittyvät ja miten paljon ne maksaisivat. Kuntoennusteiden lisäksi tulisi pystyä muodostamaan tarvittavat toimenpiteet ja arvioimaan niiden kustannukset ja kustannusten tehokkuus.

- **Toiminnallisten tarpeiden ennustaminen**
 - Sellaiset mallit, joilla analysoidaan rakenteen toimivuutta nykytilasta eteenpäin ottaen huomioon liikenteestä johtuvat, mahdollisesti kasvavat, tarpeet ja rakenteiden kestäväisyyden heikkenemisestä johtuvat tarpeet sekä tarvittavien toimenpiteiden ja niiden kustannusten ennustamismahdollisuus, jotta voidaan analysoida toimenpiteiden tehokkuutta.
- **Rakennetason tarkasteluosa**
 - Toiminnallisuus, jolla pystytään tarkastelemaan yksittäisten rakenteiden tarkempia tietoja. Sillä pystytään muodostamaan toimenpidevaihtoehtoja ja ajoittamaan niitä ja muodostamaan elinkaarianalyysi. Sen tuloksena syntyy esimerkiksi kymmenvuotinen aikaikkuna, jossa on käytettävissä kunkin rakenteen vaihtoehtoisten toimenpiteiden keskeiset kustannus- ja vaikutustiedot myöhempää analyysiä varten. Näitä tietoja käytetään myöhemmin monitavoitteellisessa hankevalinnassa.
- **Korjauksen suunnitteluosa**
 - Toiminnallisuus, jolla käyttäjä voi tehdä yksityiskohtaisempaa korjaussuunnittelua elinkaarianalyysin tuottaman alustavan tiedon pohjalta. Käyttäjä voi täsmentää toimenpidevaihtoehtoja ja niiden kustannuksia ja muuttaa niiden ajoituksia.
- **Verkkotason analyysi**
 - Analyysiosia, jonka avulla (aluetason) käyttäjä virittää rahoituksen ja tulosten välistä yhteyttä ja muodostaa käsityksen siitä, miten kohdistaa budjetin ja saada tarvittavat tulokset suhteessa tulostavoitteisiin ja toimintalinjoihin.
 - Kilpailevien tavoitemuuttujien suhteellisia painoja muuttamalla käyttäjä voi helposti arvioida preferenssirakenteensa vaikutuksia ja hakea tavoiteltavaa tilaa.
- **Tavoitesuunnitteluosio**
 - Analyysiosia, jolla Liikenneviraston käyttäjä voi analysoida koko taitorakenteiden tasolla erilaisten budjettien ja painojen vaikutusta tuloksiin ja suunnitella tavoitteita ja määrittää niitä vastaavia budjettitasoja.
- **Ohjelmointiosa**
 - Analyysiosia, jolla toimenpideohjelmoija voi laatia haluamilleen taitorakennekokonaisuuksille toimenpideohjelmiä, jotka pohjautuvat toisaalta tavoitteisiin ja toisaalta niihin lähtötietoihin, joita elinkaarianalyysi on tuottanut.
 - Sillä voidaan muodostaa sopivia hankekokonaisuuksia erilaisten kriteerien avulla ja muodostaa optimoitu hankejoukko lopulliseksi ohjelmaksi.
- **Ohjelman tarkastelu**
 - Osa, jolla toimenpidesuunnittelija voi muodostaa ja ryhmitellä kohteita urakkakokonaisuuksiksi.

Toiminnansuunnittelun eri käyttötilanteissa (ja analyysiosissa) on tarve yhdistää ja tasapainottaa useita tulosmuuttujia. Eri käyttötilanteissa väline ja sen lähtötiedot ovat samat, mutta näkökulma vaihtuu. Osa tarpeista on strategisen tason toiminnansuunnittelussa ja osa toimenpideohjelmoinnissa tai toimenpidesuunnittelussa. Optimointiin liittyviä ominaisuuksia/toiminnallisuuksia sijaitsee sekä taitorakenne-, ohjelmointi-, että verkkotasolla. MTO-periaatteiden suunnittelu on siten kiinteä osa itse järjestelmän suunnittelua eikä yksittäistä irrallista MTO-menetelmää kannata liittää järjestelmään ilman sen sovittamista järjestelmän eri osiin.



Kuva 24. Taitorakenteiden hallintajärjestelmän rakenne. Järjestelmän ydin on taitorakenteiden rekisteri. Analyysimoduulit käyttävät sitä mallikerroksen kautta.

4.3.2 Kuntopuutteiden analysointi

Kuntopuutteiden analysointi on keskeisin osa missä tahansa ylläpidon hallintajärjestelmässä eri puolilla maailmaa. Ylläpidon toiminnansuunnittelu alkaa kaikilla tasoilla tarpeiden analysoinneilla. Tarpeiden analysointiin tarvitaan ajantasainen kuntotieto kaikista rakenteista. Kuntopuutteiden analysoinnissa tärkeimmät lähtötiedot ovat seuraavat:

- Rakenteiden rakenneosatasoinen tarkastustieto erityisesti niiden päärakenteiden osalta, jotka tarvitsevat säännöllistä kunnossapitoa.
- Rappeutumismalli, jolla vanha tarkastustieto ennustetaan haluttuun ajankohtaan.
- Toimenpiteiden valintamekanismi, jolla kuntopuutteisiin valitaan tarkoituksenmukaisia toimenpiteitä, vaikutusmalli, jolla toimenpidettä edeltänyt kunto palautuu sen jälkeistä tilaa vastaavaksi ja kustannusmalli, jolla toimenpiteen toteuttamiskustannus voidaan ennustaa.

Luetellut ominaisuudet ovat rakennetason elinkaarianalyysien perusta. Ne edellyttävät kehitystyötä, mallinnusta ja välineitä, jotka kukin organisaatio valitsee haluamallaan tavalla.

Päärakenneosat

Käytössä olevat siltojen ylläpidon hallintajärjestelmät ympäri maailman perustuvat päärakenneosien kuntoluokkien käsittelyyn. Suomessa päärakenneosakohtainen tarkastusjärjestelmä on ollut käytössä maantiesilloilla jo yli kaksikymmentä vuotta ja rautatiesilloillakin yli kymmenen vuotta, joten on luontevaa ottaa se myös uuden hallintajärjestelmän perustaksi. Maantiesiltojen päärakenneosat on lueteltu taulukossa 15. Muille taitorakenteille päärakenneosat on muodostettavissa vastaavalla tavalla. Päärakenneosien tarkastuseriaatteen muodostetaan yleensä tarkastuskäsikirjaa laadittaessa. Kuntoluokkien määrittelyyn liittyvät mm. seuraavat näkökulmat:

- Sillat ja muut taitorakenteet jaetaan päärakenneosiin. Päärakenneosat erotellaan toisistaan yleensä rakenteellisten tai toiminnallisten ominaisuuksien, materiaalin, ikäkäyttötymisen, vaurioitumismekanismien, muodon tai korjaustoimenpiteiden perusteella.
- Päärakenneosille määritellään kuntoluokat. Yleensä ne ovat tiettyjen materiaaliin liittyvien vaurioiden kuten korroosion, halkeilun tai purkautumisen perusteella määritettyjä siten, että kokenut tarkastaja kykenee erottelamaan ne toisistaan. Kuntoluokkien määrittelemisessä on taustalla myös toimenpiteiden tarve ja toimenpiteiden tyyppi.

Taulukko 12. Maantiesiltojen päärakenneosat ja kuntoluokat sekä niille kohdistuneet vauriokirjaukset.

Element-level number of inspections by condition state, and defects

select i.karv_alusrak,count(*) from srt_d_tarkastus i group by i.karv_alusrak order by i.karv_alusrak;

Rakenneosa	Element	Kuntoluokka -Condition state							Total	
		0	1	2	3	4	9	null	Insp	Defects
		Uusi tai lähes uuden veroinen	Hyväkuntoinen päärakenneosa; normaalia kulumistaja ikääntymistä, mutta toimii hyvin. Ei varsinaisia vaurioita tai vauriot ovat lieviä tai laajuudeltaan vähäisiä.	On jo puutteita ja vaurioita, kuten rapautumista tai ruostumista, mutta rakenneosan korjaamista voidaan siirtää. Kuntoluokka voi olla 2, vaikka jonkin vaurion vaurioluokka on 3 tai 4.	Selvästi havaittavia korjausta vaativia vaurioita.	Vakavia ja erittäin vakavia vaurioita. Rakenneosa on jo niin huono, että se on välttämättä korjattava tai uusittava.				
karv_alusrak	Substructure	9522	31158	10115	1673	227	103	10763	63561	24465
karv_reunap	Edge beam	6068	23184	9366	2159	389	149	22246	63561	16308
karv_paallrak	Other superstructure	11943	31927	11394	3681	1038	181	3397	63561	22758
karv_paallyste	Wearing surface	9510	34848	8645	1519	220	154	8665	63561	13970
karv_pintarak	Other surface structure	8060	20199	5397	1580	237	497	27591	63561	955
karv_kaiteet	Railings	10801	29372	9545	2713	675	138	10317	63561	13247
karv_liiksaum	Joints	1541	2983	1521	535	107	120	56754	63561	1563
karv_varuste	Appurtenances	6065	21324	5146	828	88	144	29966	63561	5947
karv_paikka	Bridge site	7106	33095	17860	1813	153	177	3357	63561	28835
karv_yleis	General condition	8727	34179	14325	3536	806	90	1898	63561	
	Total	79343	262269	93314	20037	3940	1753	174954		128048

Rakenneosien kunto tulee määrittää viisiportaisen luokituksen avulla luokilla 0-4, missä luokka 0 on paras ja luokka 4 huonoin. Kun rakenneosien laajuus on suuri niin sama rakenneosa voi olla useassa eri kuntoluokassa ja kuntotietona on kuntoluokkajakauma. Maantiesiltojen tarkastuksissa on kuitenkin käytetty vain yhtä kuntoluokkaa eli koko sillan päärakenneosa on aina samassa kuntoluokassa.

Samassa yhteydessä päärakenneosat on jaettavissa alirakenneosiin, joiden lukumäärä on myös vapaasti valittavissa. Kaikille rekisterissä oleville taitorakenteille on määritelty yhteensä 178 alirakenneosaa (Taulukko 17).

Taulukko 13. Esimerkki sillantarkastuskäsikirjan vaurioluokista

Vaurio- luokka	RAKENNETYYPPI VAURIO	PÄÄLLYS- RAKENNE	MUU RAKENNE	ERIKOISRASITUS	
				reunapalkki	vesiraja
1	Betonin pinnassa on verkkohalkeamia tai pintalaasti on irronnut, mutta karkea kiviaines ei ole näkyvissä.	A	A	A	-
2	Rapautumisen tai kuluman syvyys on 0–10 mm. Karkea kiviaines on näkyvissä.	B	A	A	-
3	Rapautumisen tai kuluman syvyys on 0–25 mm. Karkean kiviaineksen ympäriltä on irronnut laastia.	C	B	B	B
4	Rapautumisen tai kuluman syvyys on yli 25 mm. Karkea kiviaines on irronnut ja raudoitus saattaa olla näkyvissä.	D	C	C	C

Tarkastuskäsikirjassa vaurioluokkiin suositellaan korjaustoimenpiteitä (A-D), jotka riippuvat mm. rakenneosasta ja olosuhteista. Päärakenneosien kuntoluokilla ei ole suoraa suhdetta niillä havaittuihin vaurioihin. Sillantarkastaja määrittää molemmat samassa tarkastuksessa ja kuntoluokkien arvioinnin taustalla ovat kuitenkin havaittujen vaurioiden määrä ja vakavuus.

Rappeutumismallit

Rakenteen tai rakenneosien kunto voidaan ilmaista joko yhdessä kuntoluokassa tai kuntoluokkajakaumana kattaa kaikki kuntoluokat. Kuntoluokka perustuu joko tarkastajan kuntoluokka-arvioon tai tarkastajan löytämiin vaurioihin. Kuntoluokan geneerointi yksittäisistä vaurioista tulee määrittää tarkemmin.

Koska taitorakenteen ja sen osien kunto ilmaistaan luokkamuuttujana, on sen kehittyminen hyvä mallintaa Markovin siirtotodennäköisyyksinä. Kirjallisuudessa raportoiduissa hallintajärjestelmissä on käytössä joko Markov-mallit tai Weibull-eloonjäämismallit.

Markov mallit

Markov malli tarjoaa yksinkertaisen ja suoran tavan ilmaista rakenteen tai rakenneosan kunnan kehittyminen. Markov-malliin liittyy muutamia oletuksia, jotka on hyvä muistaa:

- Kunto on aina sidottuna tiettyyn ajankohtaan, jota lasketaan vuosina.
- Vuoden aikana rakenteen kunto joko pysyy ennallaan samassa luokassa tai siirtyy seuraavaan luokkaan. Väli tiloja ei ole mahdollista inventoida.
- Todennäköisyys siirtyä yhdestä tilasta toiseen tilaan on aina vakio eikä riipu muista tekijöistä (sen jälkeen kun malli on muodostettu).

Taulukko 15. Esimerkki rakenneosan kunnan tarkastuksesta (Vaihtoehdossa 1 koko rakenneosa arvioitu kuntoluokkaan 2. Kunto voidaan arvioida myös jakaumana ts. jakaa 100 % kaikkien kuntoluokkien kesken sen mukaan miten suuri osuus kussakin luokassa tarkastajan mielestä on).

Vaihtoehto	Rakenneosan kunto tarkastuksessa				
	1	2	3	4	5
1	0	100	0	0	0
2	10	80	10	0	0

Kaksi ensin mainittua kohtaa liittyvät suoraan tarkastuskäytäntöön ja ne ovat siten suoraviivaisia. Kolmas kohta, mallin muistittomuusoletus, vaatii jonkun verran lisähuomiota. Muistittomuuden takia Markov rappeutumismalli on aina seuraavassa taulukossa esitetyn mukainen. Jos taitorakenteen osa on aluksi kuntotilassa 1, niin seuraavana vuonna on 95.3 %:n todennäköisyys, että se edelleen on samassa tilassa ja 4.6 %:n todennäköisyys, että se on tilassa 2. Jos kyseisen rakenneosan laajuus on, sanotaan 100 m, niin 95.3 m siitä on tilassa 1 ja 4.6 m tilassa 2. Mallimatriisin kukin rivi summautuu aina 100 %:iin.

Taulukko 16. Esimerkki Markov rappeutumismallista (luokka 1 on hyvä, luokka 5 on huono).

Kuntotila aluksi		Kuntotilojen todennäköisyys vuoden kuluttua (%)				
		1	2	3	4	5
Kuntotila aluksi	1	95.3	4.6	0.1	0	0
	2	0	93.2	3.9	1.9	1.0
	3	0	0	89.4	7.3	3.3
	4	0	0	0	82.8	17.2
	5	0	0	0	0	100

Taulukon lukuja kutsutaan siirtotodennäköisyyksiksi, koska ne ilmaisevat kustakin tilasta muihin tiloihin siirtymisen todennäköisyyksiä. Matriisi sellaisenaan kuvaa sitä, mitä yhden vuoden aikana tapahtuu, mutta sitä käytetään useampivuotisissa tarkasteluissa iteratiivisesti. Ennusteita tulevaisuuteen voidaan tehdä rajattoman pitkälle kertomalla matriisi itsellään niin monta kertaa kuin on vuosia ennusteessa. Kunto x vuoden päähän saadaan kertomalla lähtötietojakauma x -kertaa itsellään kerrotulla matriisilla.

Ympäristö

Useimmissa hallintajärjestelmissä on erilliset rappeutumismallit erilaisille ympäristöolosuhteille. Esimerkiksi Pontis-järjestelmässä tällaisia ympäristöluokkia ovat suotuisa, matala, keskimääräinen ja vakava. Vaihtoehto edelliselle on yksi malli kullekin rakenneosalle, missä olosuhteet huomioitaisiin määrittäessä siirtymäajan mediaania. Tämän tyyppinen lisätekijä voisi olla Suomessa käytettävä ympäristöluokka (maa jaettu erilaisiin ympäristörasitusluokkiin).

Rakeneosien keskinäisvaikutus

Monissa maissa sillantarkastuskäytännössä on menty perinteisen kuntotarkastuksen lisäksi rakeneosien keskinäisvaikutusten kartoittamiseen. Rakeneosat vaikuttavat toistensa käyttäytymiseen ja kestävyys ja ovat siten tärkeitä lisätietoja. Yksi rakenteen osa voi toimia toiselle rakenteelle suojaavana rakenteena ja vaikuttaa siten merkittävästi sen ikäkäyttämiseen. Esimerkkinä tällaisesta on mm. Floridan projektitason järjestelmä, missä suojaavina tekijöinä huomioitiin mm. kuivatuksen ja liikuntasaumojen toiminta ja niiden alla tai vaikutusalueella olevien rakenteiden malleissa tämä huomioitiin.

Toinen tapa suojaavan tekijän huomioimisessa on sitoa sen vaikutus toisen rakenteen mediaanisiirtymäaikaan, jolloin malli reagoi sen vaikutukseen toisen rakenteen käyttäytymiseen. Bridgit-järjestelmän malleissa on tämän tapainen ominaisuus.

Suomessa Weibull-mallien yhteyteen olisi mahdollista sisällyttää sekä ympäristömuuttujien vaikutus että suojaavien tekijöiden vaikutus. Tällaisesta Weibull-mallista käytetään nimitystä Cox Regressiomalli, jota käsitellään tarkemmin malleja koskevis- sa luvuissa. Tämän ansiosta mallien toimivuus ja luotettavuus paranisi huomattavas- ti, mikä toisi analyyseissä tarvittaviin ennusteisiin paljon kaivattua tarkkuutta.

Ylläpitotoimenpiteet

Hallintajärjestelmän tulee tuottaa taitorakenteille tarvittavat toimenpiteet halutulla tavalla eriteltynä. Sen lisäksi sen tulee tuottaa arvio toimenpiteistä aiheutuvista kustannuksista sekä toimenpiteiden vaikutuksista. Tästä syystä on oltava määrittelyt käytettävissä olevista toimenpiteistä ja niiden soveltuvuudesta kuhunkin tilantee- seen.

Toimenpiteet on hyvä lisäksi ryhmitellä ainakin kolmeen pääryhmään, joita ovat kun- nostus (ylläpitokorjaus), peruskorjaus ja uusiminen, koska niiden vaikutuksiin ja rahoitukseen liittyy rajoitteita sen mukaan, halutaanko toiminnallisia parannuksia vai ei ja rahoitetaanko ylläpitobudjetista vai erillisrahoituksella.

Taulukko 17. Hanke-Sihassa käytetyt korjaustoimenpiteet ja koodit.

KORJKUVAUS_P	NIMI
11	Uusiminen: rp., kaide
12	Uusiminen: rp., kaide, pint.rak.
13	Uusiminen: rp., kaide, pint.r., ls.lait.
14	Uusiminen: rp., pint.rak.
15	Paikkaus: rp., kaide, bet.rak.
16	Ruiskubet.: etumuuri
17	Ruiskubet.: tuet
18	Ruiskubet.: siipimuuri
19	Puhdistus, suojaus: bet.teräs
20	Impregnointi: rp.
21	Ruiskubet.: tputki
22	Paikkamaalaus: kaide
23	Uusintamaalaus: kaide
24	Paikkamaalaus: tp
25	Uusintamaalaus: tp
26	Uusiminen: puukansi, kaide
27	Uusiminen: puukansi, pinnoitus: plp
28	Pintavesien poisto: siltapaikka
29	Kunnostus: pintavedenohj. ja kourut
30	Uusiminen: ls. tukikaista
31	Kunnostus: pääty- ja sivusaumat
32	Kunnostus: keilat
33	Kunnostus: pintavedenohj., kourut, keilat
34	Rakentaminen: keilat
35	Uusiminen: päällysrakenne
36	Perusparannus
37	Uusiminen
38	Peruskorjaus

Pienten tarpeiden käsittely

Todennäköisyyspohjaisten mallien eräs epäkohta on, että ne tuottavat pieniä korjaus-tarpeita, koska huonompiin kuntoluokkiin siirtyy rakenteita pikku hiljaa pieninä erinä. Tämän kohdan hallintaan on olemassa useita tapoja:

- Sisällytetään määräpohjaisiin kustannuksiin vakiotermi, joka tekee pienten toimenpiteiden kustannukset suhteellisen korkeiksi eivätkä ne siten tule priorisoinnissa listan kärkeen.
- Päärakenneosien toimenpidetarpeille asetetaan minimikustannus.
- Kohteelle asetetaan minimikustannus.
- Karkeutetaan kuntoennusteita esittämällä kussakin kuntotilassa oleva määrä kokonaisluokina, joka estää liian pienet määrät.
- Luodaan tarpeet pitemmille kuin yhden vuoden jaksoille kuten esim. 5 v jotta rakenne ehtii rappeutua enemmän.
- Toimenpiteiden välisille ajoille määritetään lepojaksuja, jolloin niitä ei lasketa. Toimenpiteen jälkeinen lepojako voi olla esim. 5 tai 10 vuotta.

Yleensä hallintajärjestelmässä käytetään edellä esitetystä listasta yhtä tai useampaa tapaa. Tällainen karkeuttaminen nopeuttaa analyysien laskentoja. Joulukuussa pidetyssä kokouksessa todettiin, että suositeltavia menetelmiä liian pienten toimenpidesuosittelusten eliminoimiseksi olisivat tarpeiden laskeminen yli yhden vuoden ajalle ja minimikustannuksen asettaminen.

Hajallaan olevat tarpeet

Rakenteen koostuessa useista eri osista on tarve tunnistaa niiden kaikkien. Sillalla voi olla useita maalauksen tarpeessa olevia osia. Ohjelmoijan kannalta olisi hyvä jos nämä pystyttäisiin tunnistamaan ja hallitsemaan yhtenä toimenpiteenä yhtenä kustannuksena ja yhtenä hyötynä. Tämä myös mahdollistaisi sen arvioimisen onko toimenpidetarve suuri vai pieni ja tuleeko se huomioida vai jättää myöhemmäksi.

Ennakoivan ylläpidon ohjelmat

Hallintajärjestelmään kuuluvat toiminnot, joilla tietyn taitorakenteen kaikki tarvittavat toimenpiteet tunnistetaan ja ajoitetaan. Joskus on kuitenkin tarpeen muodostaa useita kohteita sisältäviä ennakoivan ylläpidon ohjelmia niin, että sama korjausyksikkö voi toteuttaa ne peräkkäin ja tehokkaasti.

4.3.3 Toiminnallisten puutteiden analysointi

Taitorakenteisiin liittyy kuntopuutteiden lisäksi myös toiminnallisia puutteita. Toiminnalliset puutteet vaikuttavat väylillä olevien rakenteiden käyttäjiin heikentäen liikkumisen turvallisuutta tai aiheuttaen ylimääräisiä rajoituksia tai kustannuksia. Sietokyky (resilience) on rakenteen ominaisuus kestää joko liikenteen aiheuttamia iskuja tai törmäyksiä tai luonnonolosuhteiden aiheuttamia ylimääräisiä kuormituksia (lumi, jää, kosteus, tulva, pakkanen). Toiminnallisten puutteiden hallinta on taitorakenteiden uusimistarpeen arvioinnin kannalta tärkeä.

Toiminnalliset puutteet

Hallintajärjestelmän tulee pystyä tuottamaan taitorakenteen toiminnalliset puutteet ja niiden kehittymisen ennuste. Puutteiksi luetaan kaikki sellaiset liikennettä tai sen turvallisuutta tavalla tai toisella rajoittavat seikat, jotka johtuvat rakenteesta. Siltoihin liittyy pääasiassa kolme eri toiminnallista puutetta, joiden olemassaolo riippuu paitsi sillan käyttötarkoituksesta myös sen mitoista ja kapasiteetista.

- Siltojen puutteellinen kuormituskapasiteetti rajoittaa raskaiden ajoneuvojen liikennöintiä ja aiheuttaa ylimääräisiä kiertokustannuksia.
- Siltojen puutteellinen alikulkukorkeus rajoittaa mitoiltaan korkeita kuljetuksia ja aiheuttaa ylimääräisiä kiertokustannuksia.
- Siltojen puutteellinen leveys rajoittaa leveitä kuljetuksia ja aiheuttaa ylimääräisiä kiertokustannuksia ja lisää onnettomuusriskejä.

Muihin taitorakenteisiin liittyviä toiminnallisia puutteita ovat mm. tilaan, nopeuteen ja toimivuuteen liittyvät puutteet:

- Tunneleiden puutteellinen aukean tilan ulottuma aiheuttaa rautateillä nopeus- ja liikennöintirajoituksia.
- Rumpujen toiminnalliset puutteet haittaavat kuivatusta ja aiheuttavat muun rakenteen rappeutumista.

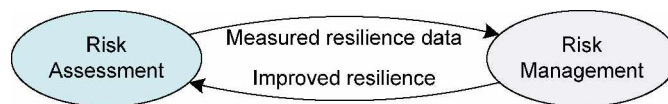
Taitorakenteissa havaitut kaikenlaiset toiminnallisuuteen liittyvät puutteet tulisi periaatteessa pystyä tunnistamaan ja tuomaan mukaan uusimistoimenpiteiden suunnitteluun. Toiminnallisten puutteiden malli on selvitettävä kullekin taitorakenteelle taitorakennetyypikohtaisesti.

Toiminnallisten puutteiden vaikutusten laskentaa havainnollistetaan kahdella esimerkillä.

Vahingonsietokyky

Riskienhallinta on tullut suosituksi tavaksi ennakoida erilaisia odottamattomia tilanteita ja niiden seurauksia. Monissa maissa on alettu päivittää myös väyläomaisuuden järjestelmiä kattamaan riskienhallintaa. Riskienhallinta tarjoaa proaktiivisen menetelytavan odottamattomien tapahtumien ja niiden seurausten tunnistamiseen ja hallintaan. Tätä proaktiivisuutta kehitettäessä on hyvä erottaa kaksi asiaa toisistaan (SAIC, 2002):

- **Riskin arviointi** on kohteen käyttötarkoitukseen liittyvien vahinkotapahtumien ja niiden seurausten kvantitatiiviseen arvioimiseen liittyvien menetelmien ja välineiden kokonaisuus. Tämä on menettely, jolla pystytään vertaamaan ja priorisoimaan eri kohteisiin liittyvien riskien määriä.
- **Riskien hallinta** on menettely, jolla toimija pystyy ennakoimaan riskejä ja ottamaan sekä niiden arvioinnin että arvioinnin mahdollistaman vaikuttamisen osaksi toimintaansa. (Kuva 25).



Kuva 25. Riskin arvioinnin ja riskinhallinnan suhde.

Tehokkaan riskinhallinnan edellytys on riskin arviointi. Siltojen ja muiden taitorakenteiden hallinnassa riskienhallinta on alettu nähdä positiivisemmassa muodossaan taitorakenteeseen liittyvänä tavoiteltavana ominaisuutena kuten vahinkokestävyys. Siinä tunnistetaan se tosiasia, että vahingot ja onnettomuudet ovat ulkoisia tapahtumia, joita tapahtuu myös taitorakenteille (myrsky, törmäys, tulva, routa, pakkanen, maanjäristys jne.). Vahingonsietokyky on ominaisuus, joka estää ulkoisten vahingollisten tapahtumien seuraukset tai pyrkii ainakin minimoimaan niitä. Vahvemmat rakenteet eivät estä vahinkotapahtumia tapahtumasta, mutta ne ehkäisevät tai lieventävät vahinkotapahtumien seurauksia.

Vahinkotapahtumia ei voida mitata, vaan niitä on arvioitava todennäköisyyksinä. Vahinkokestävyys puolestaan on mitattavissa niiden fyysisten rakenteeseen liittyvien ominaisuuksien avulla, jotka pienentävät vahingon seurauksia. Riskien arviointi kohdistuu yleensä vahinkokestävyyteen, koska mitattavissa olevien ominaisuuksien käsittely koetaan suunnittelussa luontevimpana. Kestävyiden arviointi jaetaan tyypillisesti kolmeen eri osaan, joita ovat:

- **Vahingon esiintyvyys** kuvaa sitä todennäköisyyttä, jolla jokin tietty vahinko voi tapahtua. Tämä tapahtumatodennäköisyys liittyy ulkoisiin tekijöihin eikä riipu rakenteista itsestään. Sitä ei voida tutkia tai arvioida kohdetasolla vaan se on arvioitava verkkotasolla. Se liittyy kuitenkin siihen paikkaan, missä kukin taitorakenne sijaitsee.
- **Seuraus** rakenteelle on suora, mitattavissa oleva suure, joka muodostaa rakenteen vahingonkestävyyden. Esimerkiksi kantavuus on rakenteen kykyä kestää kuormia. Ylikuormitustilanteissa se on rakenteen kykyä kestää niitä.

- **Vaikutus** ulkopuolisiin on niitä seurauksia, joita vahinkotapahtumasta aiheutuu ulkopuolisille, joko käyttäjille tai ylläpitäjille. Esimerkiksi liikenneonnettomuudesta seuraa ajoneuvo- ja henkilövahinkojen lisäksi vaikutuksia myös muuhun liikenteeseen, kun liikenne saattaa olla vahingon takia pysähdyksissä.

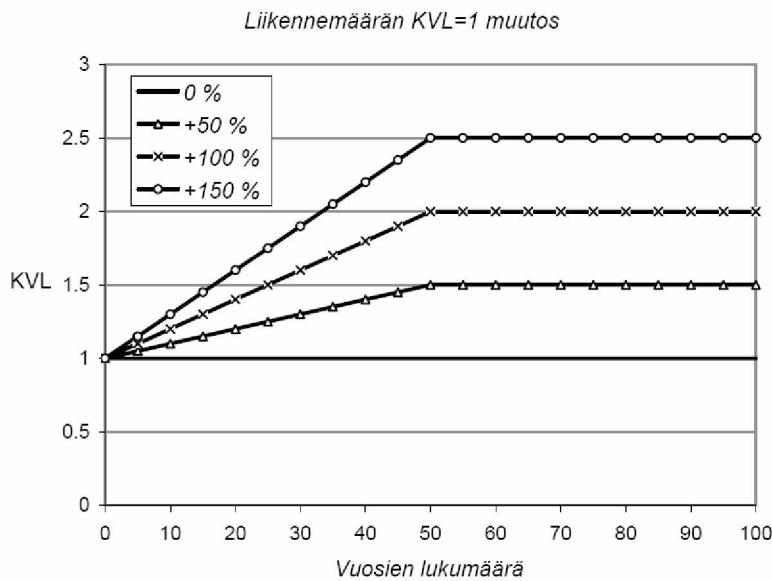
Suomen taitorakenteiden hallinnassa vahingonsietokyky otetaan yhdeksi kriteeriksi. Siihen liittyvät mm. seuraavat kohteet:

- Irtoaminen – materiaalin irtoaminen korroosion tai lohkeilun johdosta heikentäen rakenneosaa ja lisäten siten vahinkotapahtuman todennäköisyyttä.
- Murtuminen – rakenneosan toistuva kuormittuminen ja murtumisriskin kasvaminen.
- Murtumakriittisyys – yhden rakenneosan murtumisen vaikutus koko sillan toimintaan.
- Siirtymä – sillan perustusten siirtyminen ja sen toiminnallisuuden heikkeneminen. Erilaisten siirtymävaurioiden määrä on siltarekisterissä noin 500 kpl.
- Eroosiovaurio – veden aiheuttama maan kuluminen perustuksille tai tukimuureille tarpeellisista kohdista. Eroosiovaurioita on siltarekisterissä noin 4300 kpl.
- Tulva – voimakkaan vedenvirtauksen aiheuttama tilanne, missä rakenteet ovat suurten vesimassojen voimien varassa. Tulvan aiheuttamia vaurioita oli siltarekisterissä 4 kpl ja virtauksen aiheuttamia vaurioita 750 kpl.
- Maanvyörymä – suuret maanjäristykset aiheuttavat maanvyörymiä ja sortumisia. Suomessa ne ovat tosin erittäin harvinaisia.
- Törmäys – ajoneuvo tai alus törmätessään taitorakenteeseen aiheuttaa vaurioita. Törmäysvaurioiden määrä maantiesiltojen vauriotiedoissa on noin 3900 kpl.
- Ylikuormitukset – mitoiltaan ylisuuri ajoneuvo aiheuttaa liian suurta kuormitusta aiheuttaen kuormitusvaurioita tai jopa sortumisia. Viime vuonna on kaksi siltaa sortunut ylikorkean ajoneuvon törmäyksestä. Kuormituksesta johtuvia vaurioita on siltarekisterissä noin 7300 kpl.

Edellä luetelluista tilanteista olisi tiedettävä, miten riskien suuruutta arvioidaan ja minkälainen tieto tarvittaisiin tukemaan arviointia.

Liikenteen kasvu

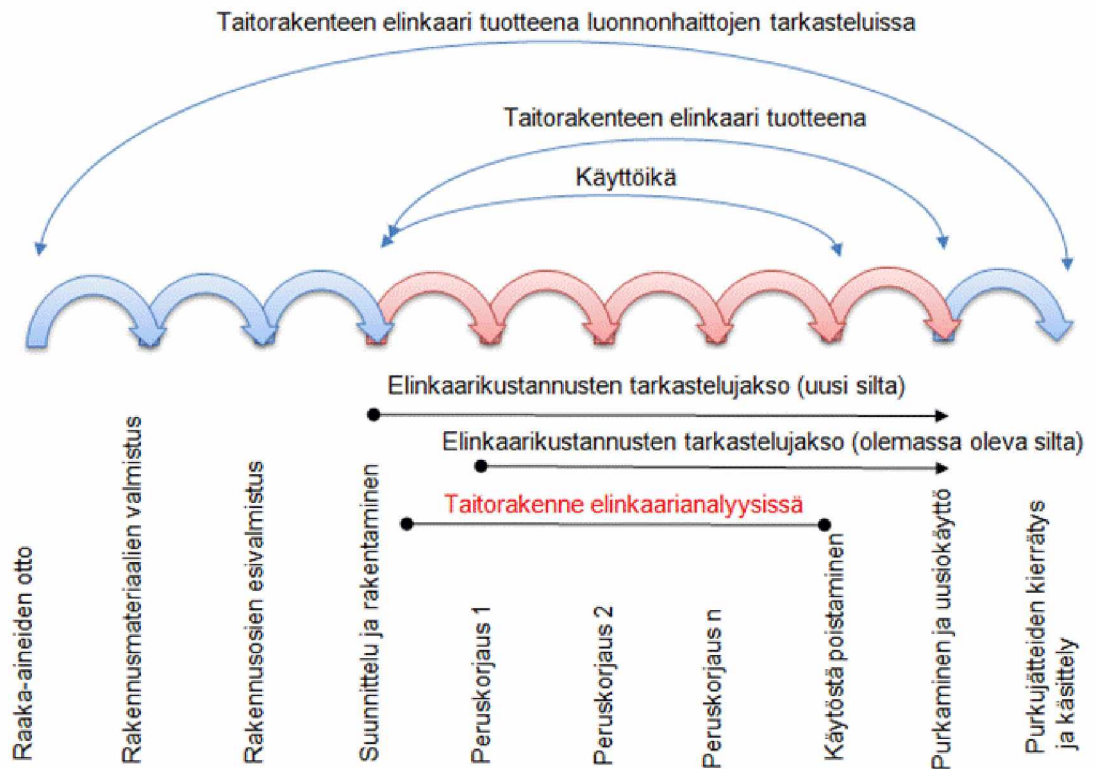
Alueilla, joilla liikenne ja kuljetusten määrä kasvaa, siltojen ja muiden taitorakenteiden toiminnallisuuteen liittyy laajentamistarpeita ja rakenteita pitää aika ajoin uusia tai parantaa. Raskaiden ajoneuvojen suurimmat sallitut kokonaispainot ovat kasvaneet ja kuljetusten tehokkuuden kannalta niitä olisi edelleen tarve kasvattaa. Tämä kasvattaa painorajoitettujen siltojen lukumäärää. Tarvitaan joko lisäkaistoja tai kokonaan uusi rakenne. Liikenteen kasvuennusteet ovat olemassa yleensä jo muista syistä, joten niiden hyödyntäminen siltojen ja taitorakenteiden hallinnassa on vain tietojen yhdistelykysymys. Taitorakenteiden kapasiteetin riittävyystarkasteluissa tarvitaan tieto liikenteestä ja sen kehittymisestä. Liikenteen kasvu voidaan ottaa kohdekohtaisista kasvuennusteista tai siltojen elinkaarilaskennan ohjeesta (Kuva 26). Liikenteen määrä kasvaa noin kaksinkertaiseksi elinkaarianalyysin tarkastelujakson aikana.



Kuva 26. Liikenteen kasvun huomiointi elinkaarikustannusten laskentaohjeessa.

4.3.4 Elinkaarianalyysi

Järjestelmällä tulee pystyä tekemään kullekin taitorakenteelle elinkaarianalyysiä. Taitorakenteet voivat olla missä tahansa vaiheessa käyttöikänsä, kun ne ovat hallintajärjestelmässä elinkaarianalyysin kohteena. Lähellä peruskorjausta tai muuta toimenpidettä olevat rakenteet saavat toimenpide-ehtotuksia ja ovat elinkaarianalyysissä se varsinainen analyysin kohde. Rakennetason analysoinnissa tarkastellaan taitorakenteiden ominaisuuksia, tarkastustietoja, arvioidaan olemassa olevia tietoja ja luodaan vaihtoehtoisia korjausskenaarioita. Saatujen vaihtoehtojen määrää kavennetaan ja täsmennetään sekä automaattisten että manuaalisten toimintojen avulla. Lopputulokset ovat käytettävissä ohjelmien laadinnassa.



Kuva 27. Sillan elinkaaritarkastelun aikakäsitteet. Olemassa olevien taitorakenteiden elinkaarianalyysin aikajakso kattaa nykyhetken ja käytöstä poistamisen välisen ajan. Elinkaarianalyysiin tuleva taitorakenne voi olla minkä ikäinen tahansa.

Elinkaarikustannuksiin kuuluvat alkuinvestoinnin lisäksi kaikki sitä seuraavat ylläpito- ja korjauskustannukset sekä jäännösarvo. Usein myös käyttäjien kustannukset on sisällytetty siihen. Elinkaaren aikana syntyy eriaikaisia kustannuksia, jotka tulee tehdä yhteismittallisiksi diskonttaamalla. Taloudellisessa päätöksenteossa lähiaikana syntyviä kustannuksia ja säästöjä arvostetaan enemmän kuin kaukaisia kustannuksia tai säästöjä. Elinkaarikustannusten keskeinen tekijä on päätöksentekijää kiinnostavan kustannusten ja hyötyjen kertymisaika.

Käyttäjille koituvia kustannuksia ovat mm. seuraavat:

- Onnettomuuskustannukset (aineelliset vahingot, henkilövahinkojen aiheuttamat hoitokulut, kuolemantapausten aiheuttamat tuotantopanosten menetykset jne.)
- Aikakustannukset (sidottuna hitaan tai ylimääräisen ajamisen aiheuttaman ajan ja ajan yksikköhinnan avulla saatavaan lisäkustannukseen)
- Lisääajoneuvokustannukset (kiertomatkoista aiheutuva polttoaineen ja ajoneuvon kuluminen)

4.3.5 Monikriteerianalyysi

Kustannus on usein paras tapa ilmaista ongelmatilanteen vaikutuksia, mutta joskus se on hankalasti määritettävissä tai muuten harhaanjohtava. Yleensä tavoitteena on minimoida elinkaaren aikaisia kustannuksia ja samalla maksimoida käyttäjille tarjottava palvelutaso. Alkuperäisissä muodoissaan kaikkia vaikutuksia ei voida pukea yhteenlaskettavaan matemaattiseen muotoon ja sen takia tarvitaan menetelmiä, joilla vaihtoehtojen paremmuutta voidaan ymmärtää helpommin.

Yksittäisten taitorakenteiden toimenpidevaihtoehtojen analysointiin on laskettava vain hyötyfunktion arvo. Hyötyfunktion laskemisessa tarvitsee laskea ainoastaan yhdistelyfunktiot käyttäen lähtötietona skaalausfunktioiden tulosta:

$$UtilityU = \sum_i (w_i \times v(z_i)) \quad (1)$$

missä w_i on osatavoitteen i paino, ja $v(z_i)$ on kriteerin z_i skaalausfunktion arvo. Hyötyfunktio tuottaa aina arvoja väliltä 0-100. Skaalausfunktiolla huolehditaan epälineaarista preferenssirakenteesta. Vaihtoehtojen vertailu voidaan suorittaa siten yksinkertaisesti.

Hyötyfunktion muodostaminen jaetaan mukavuussyistä kahteen vaiheeseen, jotka poikkeavat toisistaan muodostamistavan ja käyttötilanteen osalta. Nämä vaiheet ovat skaalaaminen ja yhdistäminen.

Skaalaaminen – Jokaiselle kriteerille/tavoitteelle muodostetaan arvoalueelle 0-100 normalisoitu lineaarinen asteikko. Joissakin tapauksissa toinen ääripää voi olla myös rajoittamaton. Jos kriteeri saa normaalisti arvoja 0-1500, niin skaalaamisen jälkeen se saa vain arvoja 0-100. Skaalaamisen tarkoitus on muodostaa kriteeristä sellainen skaalariluku, jonka avulla vaihtoehdot järjestyvät paremmuusjärjestykseen, kun verrataan mitä tahansa kahta vaihtoehtoa, ja joka myös tarkasti kuvaa päättäjälle eri vaihtoehtojen rahallisen arvon. Kuvassa 36 on esitetty miten muuttuja (Performance measure) skaalataan.

Yhdistäminen – Erilliset skaalatut kriteerit/tavoitteet yhdistetään niiden tärkeyden perusteella määräytyvän rakennepainon avulla. Esimerkiksi verkkotason vertailuissa taitorakenteita painotetaan niiden suuruuden tai merkittävyyden perusteella.

Hyötyfunktio täydentyy vastaavasti muotoon:

$$UtilityU = \sum_j \sum_i (s_{ij} \times w_i \times v(z_{ij})) \quad (2)$$

missä s_{ij} on kunkin taitorakenteen j paino kriteerille i ; w_i kriteerin i suhteellinen paino, ja $v(z_{ij})$ on kriteerin z_{ij} skaalausfunktion arvo. Tämä hyötyfunktio saa yläpäästään rajoittamattomia arvoja samaan tapaan kuin toimenpiteiden investointikustannukset, jotka nekin ovat yläpäästään rajoittamattomia. Taitorakenteen paino voi siis vaihdella kriteeristä (osatavoitteesta) riippuen. Se voisi olla esimerkiksi uusimiskustannus kun tarkastellaan elinkaarikustannuksia tai liikennemäärä kun tarkastellaan turvallisuutta tai säilyvyyttä.

Taitorakenteen paino, s_{ij} , on joissakin tapauksissa toimenpiteestä riippuva. Skaalausfunktio on aikariippuva, koska se riippuu kuntoennusteesta. Skaalausfunktion arvoa lasketaan kullekin vuodelle tarkasteluajankohdasta tarkastelujakson loppuun asti.

4.3.6 Ohjelmointi- ja verkkotason analysointi

Taitorakennetason analysointi tuottaa joukon vaihtoehtoja kustannuksineen ja kuntoennusteineen, ja niitä vertaillaan hyötyfunktion tulosten kautta. Vertailuja täsmennetään asiantuntijanäkemyksen ja muiden lähtötavoitteiden valossa. Tämä vaihe tuottaa äärellisen määrän vaihtoehtoja, joskus vain yhden, kullekin taitorakenteelle. Suurimmalle osalle taitorakenteista suositus on pelkkä ”ei tehdä mitään”. ”Jotain tehdä” -toimenpiteille saadaan yleensä erilaisia ajoitusvaihtoehtoja, joista on mahdollista valita joko paras tai yhdellä vuodella siirretty vaihtoehto rahoituksesta ja suunnitelmavalmiudesta riippuen.

Ohjelmointitasolla näistä jäljelle jääneistä vaihtoehdoista muodostetaan hankkeita priorisoimalla ne tehokkuusjärjestykseen. Koko taitorakennekannalle saadaan lista ehdolle tulevista hankkeista, kukin hanke sisältäen sille rakenteelle parhaan toimenpidevaihtoehdon. Kullakin ohjelmalla on kokonaiskustannukset ja vaikutusennusteet. Kunkin vuoden ohjelma on muodostunut annetun vuosibudjetin rajoissa kunakin vuonna saavutettavaa hyötyä maksimoiden.

Verkkotasolla tarkastellaan lähinnä ohjelmilla saavutettavia vaikutuksia, missä huomioidaan toimenpideohjelmilla ja ”ei tehdä mitään” -”ohjelmilla” saavutettavat yhteisvaikutukset.

Taitorakenteiden hallintajärjestelmässä on kolmentasoisia toimintoja lähtien rakennetasolta ohjelmointitason kautta verkkotasolle, missä voidaan tarkastella koko maan kaikkia rakenteita samanaikaisesti. Taitorakennetasolla valitaan ja ajoitetaan parhaita toimenpiteitä. Ohjelmointitasolla muodostetaan budjettiin mahtuvia tehokkaita vuosityöohjelmia ja verkkotasolla tarkastellaan aikaan saatavia vaikutuksia ja sovitaan budjettirajoituksia ja tavoitteita yhteen.

Hankkeiden muodostaminen

Hankkeita muodostetaan usein yhdistämällä useita samalla väylällä olevia kohteita mm. sen takia, jotta pystyttäisiin minimoimaan liikenteelle aiheutuvia työnaikaisia haittoja ja hyödyntämään laajempien urakkakokonaisuuksien taloudellisuutta. Esimerkiksi jos samalla tiellä on useita kohteita lähekkäin, siten, että työt edellyttävät liikenteeltä sulkemista, voidaan liikenteen ohjaus hoitaa samoilla järjestelyillä. Vastaavasti yksi massan tai elementtien valmistusasema voi tuottaa massat tai elementit kaikkiin riittävän lähellä oleviin kohteisiin.

Nykyisissä siltojen hallintajärjestelmissä ei ole sellaista toimintoa, jolla kohteiden yhdistelyn vaikutus taloudellisuuteen automaattisesti tulisi huomioiduksi. Useissa tilanteissa tämä kuitenkin tehdään enemmän tai vähemmän manuaalisesti. Jos kohteiden yhdistely tehdään hallintajärjestelmässä, niin yksittäisissä ryhmissä olevat kohteet voidaan priorisoida, ajoittaa ja budjetoida yhtenä kokonaisuutena.

Kohteiden yhdistelyn vaikutus toteuttamiskustannuksiin voi olla hyvinkin merkittävä, ja siksi yhdistelyyn tarvittavat lähtötiedot tai toiminnot tulisi olla ainakin jossain määrin hallintajärjestelmässä käytettävissä. Hallintajärjestelmän yhdistelykyky on luonnollisesti rajallinen ja riippuu siitä, miten monipuoliseksi se halutaan lähtötietojen ja toimintojen suhteen suunnitella.

Budjetin määrittäminen

Budjetointi on hyvin organisaatiokohtaista ja siksi hallintajärjestelmää suunniteltaessa onkin huomioitava se budjetointitapa, jota kulloinkin, tässä tapauksessa Liikennevirastossa, käytetään. Joissakin organisaatioissa kaikki toimenpiteet budjetoidaan samaa rahoitusputkea pitkin, mutta joissakin budjetointi taas jakaantuu useisiin eri lähteisiin.

Koska vaikutuksia tarkastellaan verkkotasolla, myös näiden osaverkkojen suhteen kunto ja muut vaikutukset tulee huomioida. Liikenneviraston suunnittelija ei kuitenkaan aseta näille rakenteille tavoitteita eikä jaa budjetteja, koska ne sisältyvät urakoihin.

Liikennevirastossa taitorakenteiden ylläpidon, korjauksen ja uusimisen rahoitus tulee yhtä kanavaa pitkin eikä edellä mainittuja erityistoimintoja siten tarvita. Käyttäjän tulee voida antaa budjettirajoituksia kulloinkin haluamilleen osajoukoille. Pitkäkestoisten urakoiden olemassaolo ja vaikutus aluetason kuntotilaan ja muihin osatavoitteisiin tulisi tavalla tai toisella pystyä huomioimaan.

Optimointi

Optimointi on se menetelmä, jolla edellä esitetyillä malleilla ja toiminnoilla muodostetuista kohteista tehdään kokonaisuhyödyn suhteen maksimoituja kokonaisia toimenpideohjelmia. Tällainen matemaattinen optimointitehtävä on ns. ”NP-hard”-tehtävä, jolla tarkoitetaan sitä, että optimointiongelman laskenta-aika ja muistin tarve kasvavat eksponentiaalisesti ongelman koon kasvaessa. Täydellinen kokonaisu-kuoptimointi voitaisiin tehdä vain rajatulle määrälle rakenteita (kun huomioidaan, että laskennan vasteajan tulisi olla kohtuullinen).

Monipuolisista ratkaisumenetelmistä johtuen se on suosittu osakesalkkujen valintamenetelmä. Täsmällisemmin ilmaistuna verkon optimointitehtävä on monivalintainen ja monidimensionaalinen salkunhallintatehtävä (Multi-Choice Multi-Dimensional Knapsack problem MCMDKP). Taustatyö tässä esitettävälle pohjautuu Patidarin ja Thompsonin NCHRP raportin 590 työhön (Patidar et al 2007).

Infrastruktuurin hallinnassa toimenpiteiden ja kohteiden valintaan on olemassa useita kokonaisu-kuoptimoinnin vaihtoehtoja, jossa valintamahdollisuuksien ja rajoitteiden määrät vaihtelevat. Koska Liikenneviraston hallinnoimien taitorakenteiden määrä on sen verran suuri, ettei kovin monimutkaisiin menetelmiin kannata mennä, ovat keskeisimmät menetelmät seuraavat:

- **Mukaan vai ei –salkunhallintatehtävä (0/1 Knapsack Problem ,KP).** Salkunhallintatehtävä on tilanne, jossa halutaan valita koriin tavaroita siten, että tavaroista saatavissa oleva hyöty koetaan mahdollisimman suureksi ja kustannukset mahtuvat käytettävissä olevaan budjettiin tai korin koko tavaroiden lukumääränä on haluttu. Salkunhallintatehtävällä ratkaistaan, mitkä tavarat tulisi valita. Tämä on yksinkertaisin salkunhallintatehtävän muoto. Taitorakenteiden hallintaan liittyen tämä edustaisi tilannetta, missä halutaan selvittää, tuleeko kohde ohjelmaan vai ei.
- **Monivalintainen salkunhallintatehtävä (Multi-Choice Knapsack Problem, MCKP).** Salkunhallintatehtävän yleisemmässä muodossa jokaisessa n:ssä luokassa on useita vaihtoehtoja, joista kuhunkin luokkaan valitaan vain yksi. Monivalintatehtävässä on paitsi päätettävä ostetaanko jotain vai ei, ja sen lisäksi kun ostetaan, niin minkälainen tuote useasta eri vaihtoehdosta ostetaan. Taitorakenteiden hallintaan liittyen tämä

edustaisi tilannetta, jossa halutaan valita kullekin kohteelle jokin useasta eri toimenpiteestä.

- **Moniulotteinen salkunhallintatehtävä (Multi-Dimensional Knapsack Problem, MDKP).** Tässä salkunhallintatehtävässä halutaan valita tarjolla olevista tavaroista ne, jotka tuottavan parhaan hyödyn ja täyttävät useita rajoitusehtoja. Esimerkiksi kori voi olla kooltaan vain tietyn painoinen, levyinen ja tilavuudeltaan tietyn kokoinen. Useiden rajoitusten mukana olo tuo ongelmaan moniulotteisuuden. Taitorakenteiden hallinnassa tämä edustaisi tilannetta, jossa halutaan tuottaa tietty skenaario, joka täyttää useita reunaehtoja kuten budjetti, palvelutaso, jne.
- **Monivalintainen moniulotteinen salkunhallintatehtävä (Multi-Choice Multi-Dimensional Knapsack Problem (MCMDKP)).** Tämä tilanne on yleistetyin salkunhallintatehtävä, missä halutaan ratkaista kaikki edellä mainittujen tehtävien ongelmat samalla kertaa. Monivalintaisuus taitorakenteiden hallinnassa kuvaa tilannetta, jossa kullekin taitorakenteelle tulee valita joku toimenpide. Moniulotteisuus kuvaa tilannetta, missä tehtävää ratkaistaessa olisi mukana useita rajoitteita.

Optimointiongelma määritetään siis siten, että muodostetaan kokonaishyötyä kuvaava tavoitefunktio, jonka arvoa maksimoidaan. Sen lisäksi annetaan joukko rajoituksia, joista budjettirajoitus on selviö, mutta sen lisäksi yksi tai useampia muita rajoituksia.

Optimointiongelman matemaattisiin muotoiluihin liittyvät seuraavat muuttujat ja käsitteet:

U_{jk} = Taitorakenteelle k toteutettavan toimenpiteen j tuottama kokonaishyöty. Kokonaishyöty saadaan osatavoitteiden painotettuna summana esimerkiksi seuraavasti:

$$U_{jk} = f(UC_{jk}, H_{jk}, V_{jk})$$

missä

UC_{jk} = rakenteen k toimenpiteellä j käyttäjiin kohdistuvat kustannukset

H_{jk} = taitorakenteelle k toteutetun toimenpiteen j tarkastelujakson lopussa tuottama kuntoindeksin arvo

V_{jk} = taitorakenteen k toimenpiteen j jälkeinen tarkastelujakson lopussa tuottama säilyvyyden arvo

T_{jk} = Liikennemäärä taitorakenteella k toimenpiteellä j

AC_{jk} = Taitorakenteelle k toimenpiteestä j aiheutuva väylänpitäjän kustannus

n = Taitorakenteiden määrä verkolla

L_k = Taitorakenteelle k tarjolla olevien vaihtoehtoisten toimenpiteiden joukko

$X_{jk} = 1$ jos toimenpide j on valittu taitorakenteelle k , 0 muutoin

B = Käytettävissä oleva budjetti

$R_{jk} = T_{jk} U_{jk}$ = Taitorakenteelle k tehtävästä toimenpiteestä j saatava kokonaistuotto

Esimerkkinä optimointiongelman muotoilusta on seuraava tavoitefunktio, jolla haetaan kokonaishyödyn maksimia kun samalla rajoitetaan käytettävissä olevaa budjettia ja sen lisäksi jotain toista tekijää. Tällä vaihtoehdolla ylläpidon suunnittelija voi tarkastella, miten verkkotason palvelutasot kehittyvät, kun sekä budjettia että tavoitteita rajoitetaan. Vastaavasti ohjelmoija voi tarkastella minkälaisia ohjelmia ja minkälaisia tavoiteskenaarioita tämä vaihtoehto tuottaa.

$$\begin{aligned}
& \max \sum_{k=1}^n \sum_{j \in L_k} (T_{jk}) U_{jk} X_{jk} \\
& s.t. \sum_{k=1}^n \sum_{j \in L_k} AC_{jk} X_{jk} \leq B \\
& \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{k=1}^n \sum_{j \in L_k} H_{jk} X_{jk} \geq H_{\min} \\
& \sum_{j \in L_k} X_{jk} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, n \\
& X_{jk} \in \{0, 1\} \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad j \in L_k
\end{aligned}$$

Ongelman muotoilu on nyt MCMDKP-tyyppiä, koska rajoitteita on kaksi.

Optimointiongelma on hyvä muodostaa siten, että käyttäjä pääsee valitsemaan useista eri vaihtoehdoista haluamansa rasti ruutuun menetelmällä siten, että vain yksi on mahdollista valita. Samalla järjestelmän tulee tietää, mitä rajoituksia kuhunkin vaihtoehtoon liittyy.

Kaikille vaihtoehdoille pätee, että käyttäjät voivat muuttaa myös hyötyfunktioon U_{jk} vaikuttavia osatavoitteiden suhteellisia painoja ja painottaa siten haluamiaan asioita. Optimointi laskee aina käyttäjän haluamilla painoilla. Vaikka tavoitefunktiossa summataan termiä U_{jk} , sitä ei kuitenkaan pidä summata osatavoitteiden j suhteen tallentamatta välituloksia ensin, koska kaikkien osatavoitteiden kehittyminen on hyvä raportoida, vaikkei niillä olisi painoja tavoitefunktiossa lainkaan. Näin päästään näkemään, mitä skenaariota pelkän yhden osatavoitteen avulla optimoiminen tuottaa muille osatavoitteille.

Käyttäjä haluaa mitä todennäköisimmin pitää yllä suhteellisista painoista muodostettuja ”politiikkoja”, joiden painorakenteet ovat hallittavissa ja ladattavissa tarvittaessa nopeasti.

Ratkaisumenetelmät

MCMDKP-tehtävän tyypistä (NP-hard) johtuu, miksi sen ratkaisut vaativat niin paljon laskentakapasiteettia. Esimerkkinä eksponentiaalisesta kapasiteetin tarpeesta on, että jos optimointi 1000 rakenteelle kestää yhden minuutin, niin se voi kestää 12 000 taitorakenteelle 3 vuorokautta ja 50 000 rakenteelle jopa 45 vuorokautta. Vastaavasti polynominen algoritmi samalle ongelmalle nopeuttaisi 12 000 rakenteen optimoinnin 3 vuorokaudesta 2.5 tuntiin ja 50 000 rakenteen optimoinnin 45 vuorokaudesta 1.7 vuorokauteen. Sopivasti määritetyille laskentatehtäville vasteajat voivat olla vieläkin parempia.

Jos ratkaisumenetelmä pystytään supistamaan yksinkertaiseksi järjestystehtäväksi, sillä olisi ns. ” $n(\log n)$ ” vaste, mikä tarkoittaa, että vasteajat edellä esitettyihin tapauksiin pienisivät 1000 rakenteen optimoinnin yhteen minuuttiin, 12 000 rakenteen optimoinnin 13 minuuttiin ja 50 000 rakenteen optimoinnin 31 minuuttiin. Luonnollisesti tämäntyyppiset nopeat algoritmit ovat suositeltavia, koska ne mahdollistavat käyttäjän lähes reaaliaikaisen työskentelyn ja useiden vaihtoehtojen käyttämisen.

Tämä tekee ohjelmoinnista ja järjestelmän käytöstä miellyttävän ja tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden oppia taitorakenteidensa käyttäytymisen.

Tämän tyyppisten laskentatehtävien ratkaisuun on olemassa käytännössä kahdentyyppisiä ratkaisualgoritmeja; tarkat menetelmät ja heuristiikat. Tarkat menetelmät tuottavat optimaalisen ratkaisun, mutta ovat vasteajoiltaan hitaita. Heuristiset menetelmät puolestaan tuottavat lähellä optimia olevia ratkaisuja suhteellisen nopeasti. Siksi onkin tärkeitä pystyä hahmottamaan, miten nopea ja miten lähellä optimia oleva menetelmä olisi sopiva.

NCHRP 590 työssä todettiin, että tarkkaa ratkaisumenetelmää ei voida hitautensa takia käyttää edes pienen osavaltion 5000 taitorakenteelle. Siksi haettiin sellainen heuristinen menetelmä, jolla tarkkuus ja nopeusvaatimus tasapainottuisivat ja menetelmä olisi siltojen hallintaan käyttökelpoinen.

Optimointitehtävän ratkaisumenetelmän valinta voidaan perustaa seuraaviin näkökohtiin:

- Ratkaisumenetelmän tarkkuus eli miten lähellä heuristiikan tuottama tulos on tarkan menetelmän tuottamaa optimaalista tulosta?
- Vasteaika eli miten kauan optimointiongelman ratkaiseminen kestää?
- Robustisuus eli miten herkkä menetelmä on lähtötietojen vaihtelulle?
- Yksinkertaisuus eli miten helppo heuristisen ratkaisumenetelmän toiminta on implementoida järjestelmään ja käyttää tehokkaasti?

Tarkkuus riippuu ratkaisumenetelmästä ja optimointiongelman muotoilusta. Laskentanopeus riippuu useista tekijöistä mm. menetelmästä, ohjelmointikielestä, ohjelmointitehokkuudesta, tietyistä erityistekijöistä kuten lähtötiedot, verkko-parametreista ja tietokoneen ominaisuuksista.

Robustisuutta on testattu herkkyyksianalyysillä. Yksinkertaisuus on melko subjektiivinen arvioitava, mutta liittyy pääosin menetelmän tarkoituksenmukaisuuteen, parametrien selkeyteen tai käytön helppouteen.

Seuraavissa luvuissa esitetään edellä mainitun raportin (Patidar et al 2007) vertailujen tuloksia.

IUC-heuristiikka

Lisärahaalla saavutettava lisähyöty (Incremental Benefit/Cost, IBC) heuristiikka on siltojen ja päällysteiden hallinnassa yleisesti käytetty MCKP-optimointiongelman ratkaisumenetelmä (McFarland et al 1983). Se tuottaa lähellä todellista optimia olevia tuloksia ja poikkeamat todellisesta optimista ovat kohtuullisen pieniä, kun ottaa huomioon, että laskennassa on muutakin malleista yms. johtuvaa epävarmuutta.

NCHRP 590 tutkijat kehittivät IBC-menetelmästä sellaisen yleistyksen, jossa rahallisten hyötyjen sijalla olivat monitavoitteellisen hyötyfunktion hyödyt (Incremental Utility Cost, IUC). Yhden kriteerin sijasta MCKP-optimoinnissa käytettiin useasta osatavoitteesta koostuvaa hyötyfunktion hyötyä. Tämä lisää optimointimenetelmän ratkaisemisen monimutkaisuutta vain lineaarisesti, hyötyfunktion laskennassa. Lisäksi

samassa työssä kehitettiin edelleen sellainen versio, jossa budjettirajoituksen lisäksi MC2DKP-ongelmassa käytetään jotain kuntoon tai vastaavaan liittyvää rajoitusta.

IUC-heuristiikka on yhteneväinen IBC-heuristiikan kanssa. Sen teoreettinen tausta nojaa havaintoon, että se on ns. KP-ongelman ”*ahne*” ratkaisumenetelmä. Lineaarisen optimointiongelman klassinen ratkaisu lähtee vaihtoehtojen järjestämisestä paremmuuden suhteen laskevaan järjestykseen ja sen jälkeen valinta voidaan tehdä suoraan viivaisesti vain tarkkailemalla rajoitinehtojen täyttymistä.

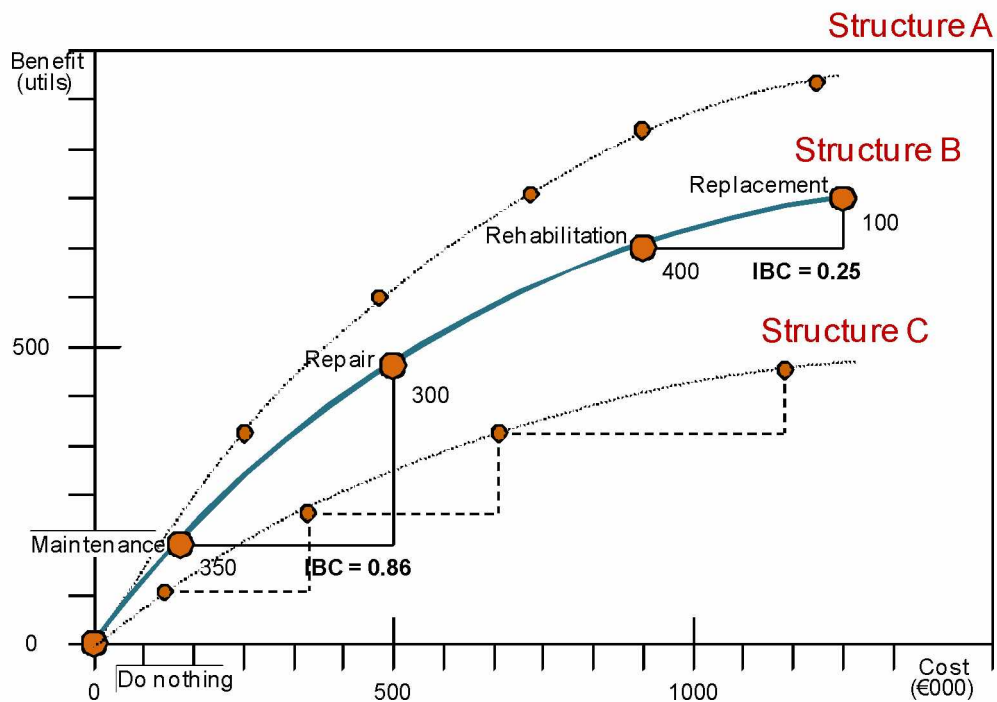
IUC-heuristiikan muoto riippuu optimointiongelman muotoilusta. KP-ongelma saattaa sisältää yhden tai useampia rajoitusehtoja. Seuraavissa luvuissa luetellaan yhden ja kahden rajoitusehdon tilanteet.

Vähenevän lisähyödyn periaate

Vähenevän marginaalihuödyn laki on taloustieteissä tunnettu sääntö erilaisten vaihtoehtojen valinnassa. Kullekin taitorakenteelle on tarjolla useita toimenpidevaihtoehtoja, joiden kustannukset ja vaikutukset ovat erilaisia. Jos rahoitus on rajoitettua, niin kuin tilanne yleensä on, niin tulee löytää sellainen vaihtoehto, jolla panostuksella saatu hyöty maksimoituu. Jos lisää rahaa on tarjolla, niin lisää toimenpiteitä voidaan tehdä samoille kohteille, jotta saavutettava hyöty kasvaa.

Jos sille tehdään kunnossapidon sijasta korjaus, niin lisäkustannukset ovat kuvassa esitetyt 350 000 € ja lisähyödyt 300 000 hyöty-yksikköä. IUC on tällöin 0.86 hy/€. Vastaavasti jos rakenteen parantaminen korvataan uusimisella niin kustannukset lisääntyvät 400 000 € ja hyödyt 100 000 hy, mistä IUC saa arvon 0.25 hy/€.

Tätä ominaisuutta, jossa jokainen lisäinvestointi tuottaa aina suhteellisesti vähemmän lisähyötyä, kutsutaan vähenevän lisähyödyn periaatteeksi. Tämän säännön perusteella kalleimmilla vaihtoehdoilla on aina pienemmät IUC-suhteet. Toisin sanoen ensimmäiset eurot tuottavat suhteessa enemmän kuin viimeiset eurot. Suurilla tai rajoittamattomilla budjeteilla viimeisimmät vaihtoehtovertailut maksavat paljon suhteessa saavutettaviin hyötyihin. Tällöin IUC-suhde on alhainen.



Kuva 28 Lisähyöty vähenee eri taitorakenteilla eri tahtiin. Kunkin taitorakenteen lisähyötykäyrä on eri tasolla. Yhdelle taitorakenteelle voi olla kannattavaa tehdä rankempi toimenpide kuin toiselle.

Vähenevän lisähyödyn periaatteeseen on todettu liittyneen liian kevyen toimenpidepolitiikan suosiminen. Optimoinnin tuloksena on saatu liian kevyitä toimenpiteitä ja tarpeeksi raskaiden toimenpiteiden mukaantulo on koettu hankalaksi. Tähän on kuitenkin käytettävissä kaksi korjaavaa toimenpidettä, jotka uudessa järjestelmässä ovat otettavissa käyttöön. Toimenpiteistä saatavia hyötyjä voidaan painottaa rakennepainoilla ja elinkaarianalyysin tarkoitus on ajoittaa oikeita toimenpiteitä.

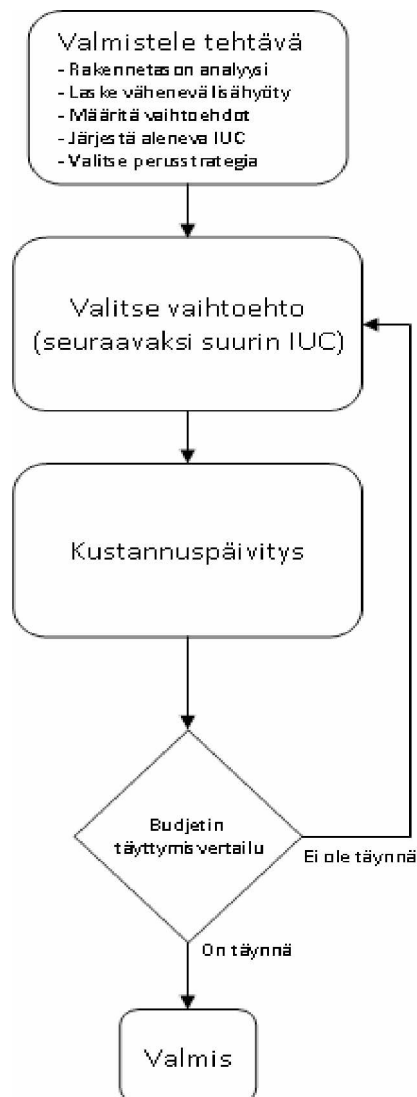
Yksirajoitteinen optimointitehtävä

Yhden rajoitteen tapauksessa heuristiikka järjestää kohteet tai vaihtoehdot alenevan lisähyödyn mukaiseen järjestykseen. Kullekin taitorakenteelle on määritetty tietty määrä vaihtoehtoja lähtien "ei tehdä mitään" -vaihtoehdosta (nollahyöty ja nollakustannukset) aina uusimiseen saakka, missä hyödyt ja kustannukset ovat suurimmat. Vähenevän lisähyödyn periaate on heuristiikan kannalta keskeinen, jotta tehottomat toimenpidevaihtoehdot saadaan karsittua pois. Ratkaisu noudattaa seuraavia vaiheita:

1. Tarkastellaan kunkin taitorakenteen toimenpidevaihtoehtoja vähenevän lisähyödyn (IUC) perusteella laskevassa järjestyksessä.
2. Kaikkien taitorakenteiden kohde-ehdokkaat yhdistetään samaan listaan, joka järjestetään laskevan lisähyödyn mukaan.
3. Kullekin taitorakenteelle valitaan alkutoimenpiteeksi "ei tehdä mitään".
4. Kohde-ehdokkaat käsitellään IUC:n määräämässä järjestyksessä ja joka välissä tehdään budjetin (tai muun rajoitteen) tarkistus.

5. Saman taitorakenteen kohdalla uusi toimenpide korvaa aiemman mikäli se on parempi ja vastaava kustannusten ja vaikutusten päivitys tehdään, joka välissä.
6. Ratkaisu pysähtyy, kun koko lista on käyty läpi tai kun rajoitteet tulevat vastaan aiemmin.

Kuvassa 29 on esitetty vastaavat toiminnot ratkaisusta kaaviona. Ratkaisun aluksi valitaan kullekin taitorakenteelle oletustoimenpide (ei tehdä mitään). Lisätoimenpiteitä vaihdetaan sen tilalle laskevan lisähyödyn mukaisessa järjestyksessä kunnes budjetti on käytetty.



Kuva 29. Yhden rajoitteen optimointitehtävän ratkaisukaavio.

Käytännöstä riippuen pysäytysehto voidaan tehdä joko siten, että budjettia ei koskaan ylitetä tai siten, että budjetti saa ylittyä tietyn määrän. Useimmiten budjettiehdon tulee täytyä ilman ylityksiä. Mahdollinen jäljelle jäävä budjetin osa jättää periaatteessa potentiaalisia hyötyjäkin pois. Tätä sanotaan ratkaisualgoritmin eräänlaisiksi vajeeksi. Vaihtoehtoinen tapa on jatkaa valintaa niin pitkään, kunnes koko budjetti on täytetty siihen täsmälleen sopivilla kohteilla.

Vaikutusrajoitteen kanssa vaihtoehtoinen tapa tämän ratkaisumenetelmän käytössä on muodostaa kustannustehokkuutta kuvaavan IUC:n tilalle hyöty-vaikutukseen liittyvä IUP (Incremental Utility Performance ratio), missä tunnusluvun laskennassa on jakajana toimenpidevaihtoehdon kustannusten tilalla aikaan saatava vaikutus, IUP. Ratkaisu aloitetaan tässä tapauksessa korkeimman vaikutustehokkuuden omaavista toimenpiteistä ja listaa käydään järjestyksessä alemman vaikutustehokkuuden suuntaan, kunnes rajoitus tulee vastaan.

Laskennallisesti työläin osa IUC-heuristiikkaa on järjestelyalgoritmi. Usein on hyvä suunnitella datarakenne binääripuuksi siten, että se mahdollistaa yksittäisten taitorakenteiden tietojen muuntelun ilman uudelleenjärjestämisen tarvetta. Monet tyypilliset toiminnot kuten kohde-ehdokkaan vaihtaminen tai budjetti- tai vaikutusrajoitteiden muuttaminen voidaan tehdä ilman uudelleenjärjestämistä, jolloin toimenpiteen optimoinnin laskennallinen suorituskyky laajenee suuremmille tietomäärille.

Monirajoitteinen optimointitehtävä

IUC-heuristiikka voidaan yleistää käsittelemään useampia rajoitteita, mikäli rajoitteiden tärkeydelle on olemassa paremmuusjärjestys. Rajoitteiden lukumäärälle ei ole olemassa ylärajaa tai sitä ei ole osattu määrittää. Epävarmuuden vallitessa on asetettava tärkeysjärjestys: yhden rajoitteista on pakko täytyä ja muiden toivottavaa muttei pakko. Tällainen ongelma voidaan ratkaista lähes optimaalisella tavalla samantapaisella ratkaisualgoritmilla kuin yhden rajoitteen tehtäväkin. Optimointi jaetaan kahdeksi yhden rajoitteen tehtäväksi, jotka ratkaistaan rinnakkain.

Yksittäinen budjettirajoitteinen ongelma ratkaistaan järjestämällä kohteet hyöty-kustannussuhteen mukaiseen järjestykseen listaksi A:

$$IUC(A) = \frac{\Delta Utility}{\Delta Cost} \quad (3)$$

Kahden rajoitteen tapauksessa, missä rajoitteet toimivat yhdessä muodostaen käyvän ratkaisualueen, kohteet järjestetään lisäksi listaksi B niiden vaikutustehokkuuden perusteella. Vaikutus on tässä mikä tahansa vaikutusrajoite:

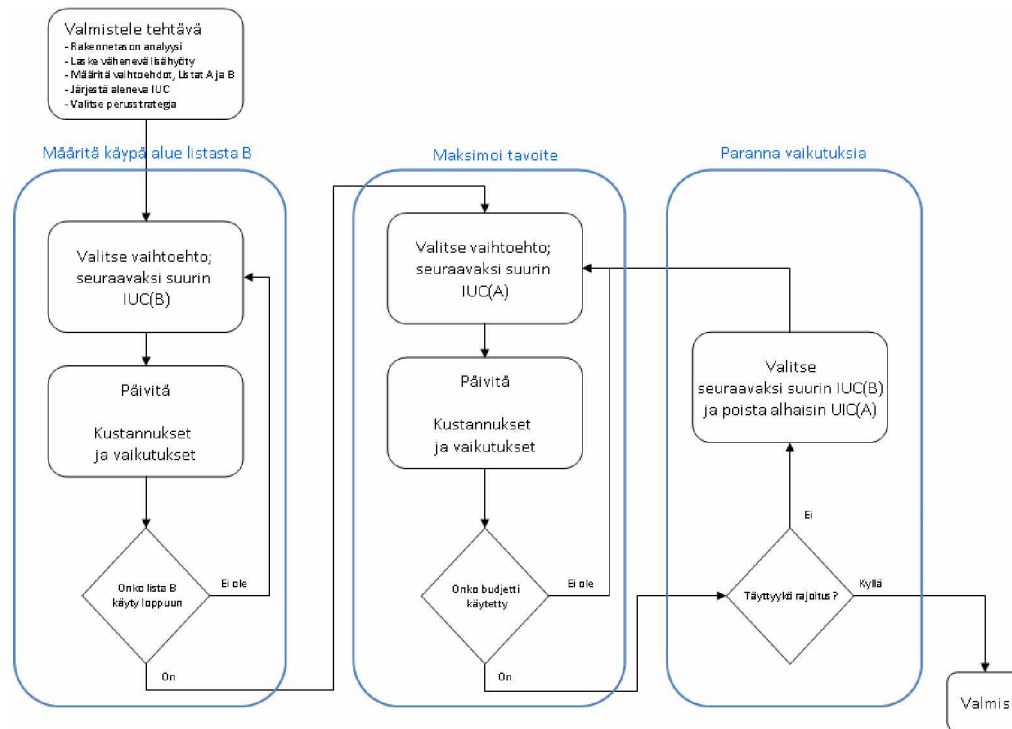
$$IUC(B) = \frac{\Delta Performance}{\Delta Cost} \quad (4)$$

B-lista kuvaa kahden kilpailevan rajoitteen välistä "kaupankäyntiä" (trade-off) tuotteen käytettävissä olevalla budjetilla parhaan mahdollisen vaikutuksen. Se edustaa tavallista MCKP-tehtävää, jolla maksimoidaan annetulla budjetilla saatavaa vaikutusta. Ratkaisu tapahtuu IUC-algoritmilla. Listan B muodostamiskriteerin, IUC(B), jaettava voi olla mikä tahansa hyötyfunktion kriteereistä. Listan B muodostamiskriteerejä tulee täsmentää tietojärjestelmän toteustusvaiheessa.

Lista A on edelleen kohteet lajiteltuna hyöty-kustannustehokkuuden mukaan.

Kuvassa 30 on esitetty vastaava ratkaisualgoritmi kaaviona. Jos budjetti- ja vaikutusrajoitteisen optimointitehtävän käypää ratkaisua ei ole löydettävissä, niin se käy ilmi listassa B ennen varsinaiseen pääoptimointiin menemistä. Kun optimointi ei löydä

listan A ensimmäisessä läpikäymisy yrityksessä käypää ratkaisua, niin käytetään listaa B suurimpana esteenä olevan kohdan etsimisessä. Tämän jälkeen palataan listaan A ja sitä toistetaan kunnes molemmat rajoitukset täyttyvät. Jos vaikutusrajoite ei ole sitova, niin optimiratkaisu on joku listasta A löydettävistä hankkeiden kombinaatioista, eikä algoritmin välttämättä tarvitse käydä listassa B.



Kuva 30. Kaksirajoitteisen optimointitehtävän ratkaisukaavio.

Yhteenveto eri heuristiikoista

Yhteenvetona eri heuristiikoiden ominaisuuksista voidaan todeta, että yhden (budjetti)rajoitteen IUC-heuristiikka on kaikkein yksinkertaisin ja nopein. Optimointitehtävän monimutkaistuessa sen ratkaisuaika pitenee ja käypien ratkaisujen määrä vähenee. Pelkän budjettirajoituksen versiossa optimointi on mahdollista tehdä lähes reaaliajassa ja sen käyttö on suhteellisen nopeaa.

Jos ominaisuuksia halutaan monipuolistaa lisäämällä rajoituksia, niin kahden rajoitteen tapauksessa IUC-heuristiikka vielä toimii, mutta on jo hitaampi. Useamman rajoitteen tapauksissa on mentävä Lagrangian-heuristiikkaan, jossa rajoitteita löysätään siirtämällä niitä tavoitefunktioon. Vasteajat kasvavat kuitenkin 7-kertaisiksi ja onkin hyvä pohtia, josko samassa ajassa yksinkertaisella heuristiikalla pystyttäisiin ajamaan puuttuvan rajoitteen suhteen useita ajoja ja korvaamaan se ajosarjoilla. Näin käytettäisiin ehkä sama aika perusongelman ratkaisuun, mutta tehtäisiin odottamisen sijasta koko ajan töitä ongelman parissa ja työskentelyyn tulisi kokeilemisen, selville saamisen ja oppimisen tuntu.

Toimenpideohjelman laatimisessa ei liene tarkoituksenmukaisinta niinkään etsiä sitä viimeistä mahdollisesti kokeilumielessä annettuja rajoitteita toteuttavaa ratkaisua vaan pikemminkin tuottaa tarkoituksen mukaisten kriteerien/indeksien suhteen paras

setti tuloksia, jotka ovat suhteellisen robusteja. Tarkoituksenmukaisilla kriteereillä/indekseillä tarkoitetaan tässä yhteydessä monipuolista (MECE-periaatteella muodostettua) hyötyfunktioita ja sen suhteuttamista kustannuksiin (IUC) ja kaiken tämän taustalla hyvää ja luotettavaa taitorakenteiden ja niiden osien kunnan ja muiden lähtötietojen hallintaa. Kustannuksiin suhteutetun hyödyn, IUC:n, rinnalla voisi olla käytökelpoinen toinen priorisointikriteeri, jossa vaikutukset on suhteutettu kustannuksiin, IPC.

Tradeoff analyysi

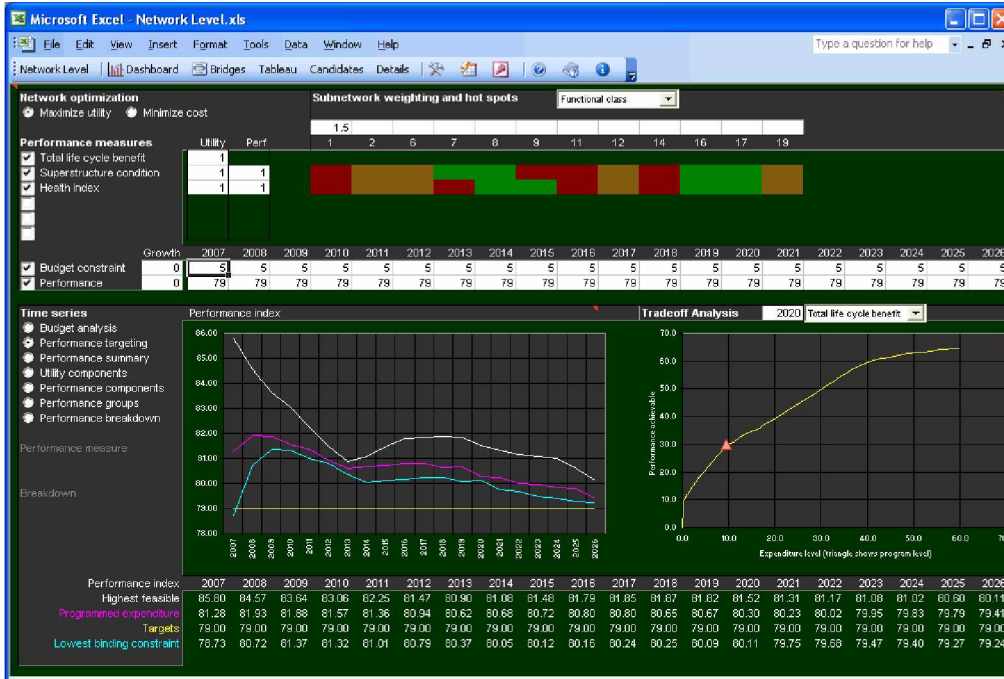
NCHRP-työn suositus monitavoiteoptimointimenetelmä oli A priori -menetelmän ja vuorovaikuteisen menetelmän yhdistelmä. A priori -menetelmää käytetään hyötyfunktion skaalausten ja painojen määrittämisessä. Lopullista toimenpideohjelmaa muodostettaessa käyttäjä vaihtelee budjettirajoituksia ja suhteellisia painoja tai jopa tavoitefunktioita.

Oheisessa esimerkissä käyttäjä on määrittänyt, että toimenpideohjelma muodostetaan kokonaishyötyjä maksimoiden. Toinen vaihtoehto olisi ollut minimoida kustannuksia. Tässä käyttäjä ottaa kantaa itse optimoitavaan tavoitefunktioon.

Sen jälkeen käyttäjä on määrittänyt hyödyt laskettaviksi kolmen eri kriteerin avulla (LCCB, Superstructure condition and Health index). Sitten hän on antanut budjettirajoituksen (5) ja yhden kuntorajoituksen (79).

Vaikutustarkasteluihin hän on valinnut vaikutuksen (Performance index), minkä avulla hän näkee, miten kyseinen vaikutus kehittyy, jos budjettirajoitus pysyy ennallaan tai miten se muuttuisi, jos budjettia kasvatettaisiin. Näiden avulla käyttäjä muodostaa käsityksen lisätarkastelujen tarpeesta tai päättää valita saadun vaihtoehdon.

IUC-algoritmi reagoi budjetti- ja painomuutoksiin järjestämällä kohteet uudelleen. Myös uuden listan mukaiset vaikutukset päivittyvät. Budjettirajoituksen kasvattaminen parantaa vaikutuksia ja pienentäminen vastaavasti vähentää vaikutuksia. Menetelyä kutsutaan kaupankäynniksi (tradeoff analysis), jossa käyttäjä tavallaan käy kauppaa erilaisten vaikutusten saavuttamiseksi. Voitaisiin puhua eräänlaisesta budjettisimuloinnista tai ”entä-jos” -analyysistä. Käyttäjä voi muuttaa painoja esimerkiksi lisäämällä elinkaarikustannusten painoa, jolloin elinkaarikustannukset laskevat mutta kunto- tai turvallisuusvaikutukset heikkenevät. Rajoituksia voidaan varioida niin kauan, kunnes käyttäjä on tyytyväinen saamaansa lopputulokseen.



Kuva 31. Esimerkki NCHRP-työssä käytetystä kojelaudasta.

Vuorovaikutteisuuden kannalta hallintajärjestelmässä on erittäin tärkeitä, että toimintojen vasteajat ovat riittävän pienet. Ohjelmointivaiheessa vasteajat ovat tärkeämmät kuin ylläpidon suunnittelussa, jossa käyttö on harvemmin tapahtuvaa ja tuloista voidaan odottaa kauemmin.

5 Tavoitteisto

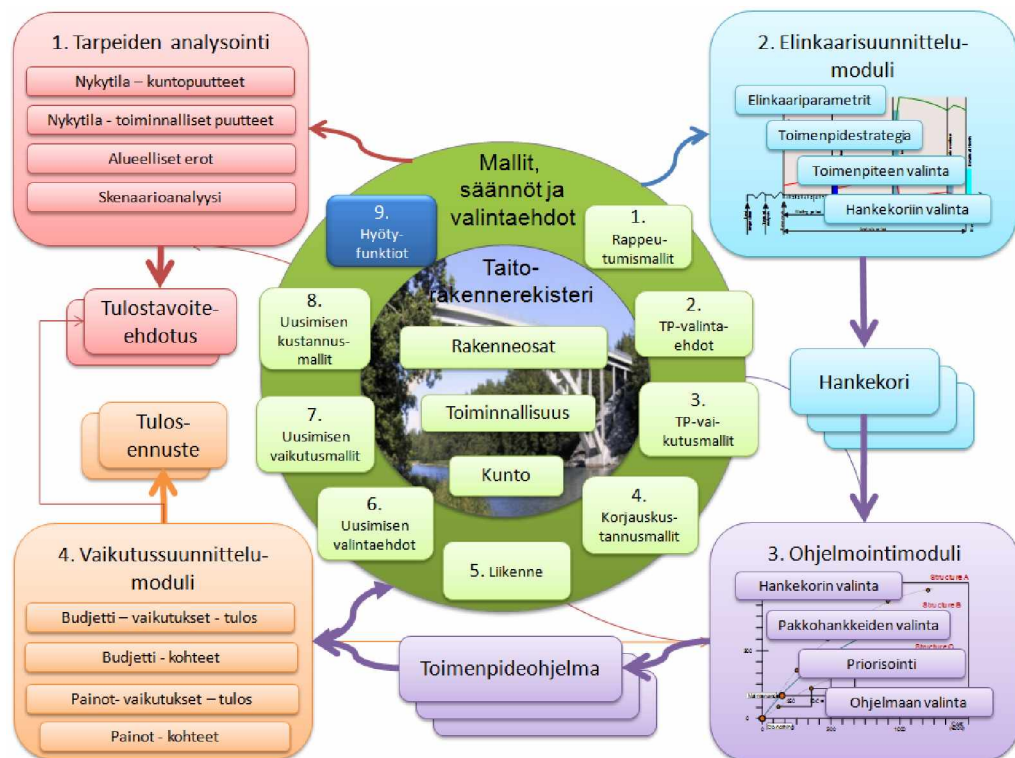
5.1 Tavoitteistorakenne

5.1.1 Laadintaperiaatteita

Päätöksenteossa tarvittavien analyysien lähtökohtana ovat selkeät tavoitteet ja mittarit. Jotta pystyttäisiin kuvaamaan toimenpiteiden vaihtoehtojen vaikutuksia ja suunnittelemaan toimintaa näiden vaikutusten suhteen, on tärkeitä määrittää yhtenäiset tavoitealueet ja niiden yksityiskohtainen määräytyminen (Patidar, 2007).

Optimointiongelma rakennetaan **päätösmuuttujien, tavoitteiden ja rajoitusten avulla**. Tavoitteet ovat niitä asioita, joihin pyritään ja joiden perusteella tuloksen hyvyys arvioidaan. Päätösmuuttujat ovat niitä tekijöitä, jotka optimointi ratkaisee ja joilla tavoitteisiin liittyvät vaikutukset saadaan aikaan ja reunaehdot ovat optimointitehtävään annettuja lisäehtoja, jotka suunnittelija asettaa sovittaakseen tehtävää käytännön tilanteeseen.

Tavoitefunktio on optimoinnissa maksimoitava tai minimoitava funktio. Monitavoiteoptimoinnissa se on hyötyfunktio. Tässä työssä optimointikriteereillä tarkoitetaan hyötyfunktion sisältöä, mutta myös päätösmuuttujat ja rajoitukset liittyvät optimointitehtävän määrittämiseen. Monitavoiteoptimoinnissa on joko monta tavoitefunktioita tai monesta eri osasta koostuva yksi tavoitefunktio. Tavoitefunktioon voidaan sisällyttää ne tekijät, joita halutaan tavoitella eikä siinä olevien termien lukumäärää rajoiteta.



Kuva 32. Monitavoiteoptimoinnin tavoitteet/kriteerit ovat hyötyfunktion keskeisin sisältö.

Perinteisesti korjausohjelmien suunnittelussa on käytetty erilaisia kuntoon liittyviä indeksejä tai sitten kunnan lisäksi muita tekijöitä huomioivia ns. komposiitti-indeksejä (VPS, KTI, Tuke-i). Erilaisilla taitorakenteilla nämä indeksit vaihtelevat eivätkä ole yhteensopivia. Yhteensopivuuden mahdollistamiseksi tavoitteet tulee määrittellä uudestaan. Tavoitteiden tulisi olla sellaisia tekijöitä, joihin voidaan ja halutaan vaikuttaa. Päätösmuuttujilla tulisi siis olla vaikutusta tavoitteisiin. Periaatteessa tavoitteiden määrittäminen on suoraviivainen tehtävä, koska ne ovat yksinkertaisesti niitä yleisiä asioita, joita tyypillisesti aina halutaan, eivätkä ne juurikaan vaihtele tilanteesta toiseen siirryttäessä.

Tavoitteiden saavuttamisella pyritään johonkin tiettyyn päämäärään. Taitorakenteiden ohjelmoinnissa pyritään valitsemaan sellaisia kohteita korjausohjelmiin, joilla kokonaishyöty maksimoituu. Päämääränä on siis kokonaishyödyn maksimoiminen. Vaikutusten hallinnan tutkimusohjelmassa kehitettiin vaikutusten mittaamista ja yleispäämäärästä käytettiin sanaa "Tiehallinnon tehtävä" (vanhan organisaation aikana). Nyt samaa asiaa voidaan tarkoittaa termillä "Liikenneviraston tehtävä". Tässä tilanteessa ei tarvitse kuitenkaan enempää pohtia kokonaishyödyille tarkempaa termiä, se olkoon vain hyöty.

Kokonaishyöty koostuu osahyödyistä, joita nimitetään tässä yhteydessä tavoitteiksi. Tavoitteet ovat niitä yhteisiä tekijöitä, jotka summautuvat kokonaishyödyksi rakenteesta riippumatta. Tavoitteita painotetaan painokertoimilla kokonaishyödyksi ja ohjelmoijalla tai suunnittelijalla tulee olla mahdollisuus muuttaa painoja sen mukaan, minkä suuntaisen ohjelman hän haluaa tehdä. Painoja muuttamalla hän pääsee näkemään, miten hänen päätöksentekovälineensä toimii ja toisaalta miten paljon eri ohjelmilla on saatavissa eri tavoitteisiin liittyviä hyötyjä.

Tavoitteet koostuvat osatavoitteista tai mittareista, joita voi olla tavoitteesta ja rakenteesta riippuen vaihteleva määrä. Tämä vaihtelevuus tarjoaa erilaisten rakenteiden yhteensovittamisen samaan päätöksentekojärjestelmään ottamalla huomioon kunkin rakenteen kohdalla ne tekijät, jotka sille ovat tärkeimpiä. Kun tavoitteet on määritetty ensin huolellisesti, niin sen jälkeen niihin vaikuttavien osatavoitteiden määrää ja sisältöä voidaan täydentää ja muuttaa sen vaikuttamatta muiden rakenteiden analyyseihin kovin merkittävästi. Tämä mahdollistaa järjestelmän vaiheittaisen täydentämisen esim. eri rakenteiden erilaisesta tietotilanteesta johtuen.

Erillisten organisaatioiden aikana käytettiin erilaisia indeksejä, esim. kunto, jota ei kuitenkaan ole eri rakenteiden suhteen yhteismitallinen. Se muuttuu yhteismitalliseksi vasta hyötyfunktion kautta. Komposiitti-indeksejä ei myöskään saada enää yhteismitalliseksi eikä niihin "leivottuja" tavoitteita saada erilleen. Siksi tavoitteet on parempi määrittää alusta lähtien.

Tavoiteltavat asiat on hyvä sisällyttää tavoitefunktioon. On mahdollista laittaa niitä myös rajoituksiksi, mutta se ei ole kovin toivottavaa. Liian suuri rajoitteiden määrä hidastaa laskentojen tekemistä sekä aiheuttaa optimointitehtävään ei-toivottua epälineaarisuutta. Ei-toivottu epälineaarisuus aiheuttaa mm. robustisuuden puutetta.

NCHRP-590 raportissa (Patidar, 2007) käsiteltiin siltojen hallinnan monitavoiteoptimoinnin menetelmiä ja suositeltiin seuraavaa tavoiterakennetta:

- sillan säilyvyys tai kunto
- liikenneturvallisuuden parantaminen
- ulkopuolisten tapahtumien ehkäisy (erilaiset riskit)
- ylläpitokustannukset
- käyttäjien kustannukset

Kuhunkin tavoitteeseen liittyy joukko mittareita tai attribuutteja, jotka määräävät tarkemmin tavoitteen sisällön kunkin rakenteen kohdalla. Näillä mittareilla välitetään toimenpiteen tilaa ja ominaisuuksia muuttava vaikutus tavoitteistoon yhteismitallistettavaksi.

Mittareihin liittyviä tavoitteita ja kriteerejä on esitetty seuraavassa taulukossa. Mittareiden muodostamisessa tulisi noudattaa kattavuuden ja riippumattomuuden periaatteita (Mutually exclusive, completely exhaustive (MECE), Watson 2004).

Taulukko 18. Mittareilta haluttavia ominaisuuksia.

(Keeney and Raiffa 1976)	(Keeney & Gregory 2005)
Completeness: A set of performance measures is complete if it is adequate in <u>indicating the degree to which the goals are met</u> .	Unambiguous: A measure is unambiguous when there is a <u>clear relationship</u> between the consequences that might or will occur and the level of performance measure used to describe those consequences.
Operational: Since the idea of decision analysis is to help the DM choose the best course of action, the performance measures must be <u>useful and meaningful to understand the implications of the alternatives</u> and to make the problem more tractable.	Comprehensive: A measure is comprehensive when its <u>levels cover the full range of possible consequences</u> and any implicit judgments appropriate for the decision problem.
Non-redundant: The performance measures should be defined to <u>avoid double-counting</u> of consequences.	Direct: When its levels <u>directly describe the consequences</u> of the fundamental goal of interest.
Minimal: It is desirable to keep the set as small as possible to <u>reduce dimensionality</u> .	Operational: When information about it can be <u>easily gathered</u> .
	Understandable: When anyone interested in the analysis <u>can understand</u> it.

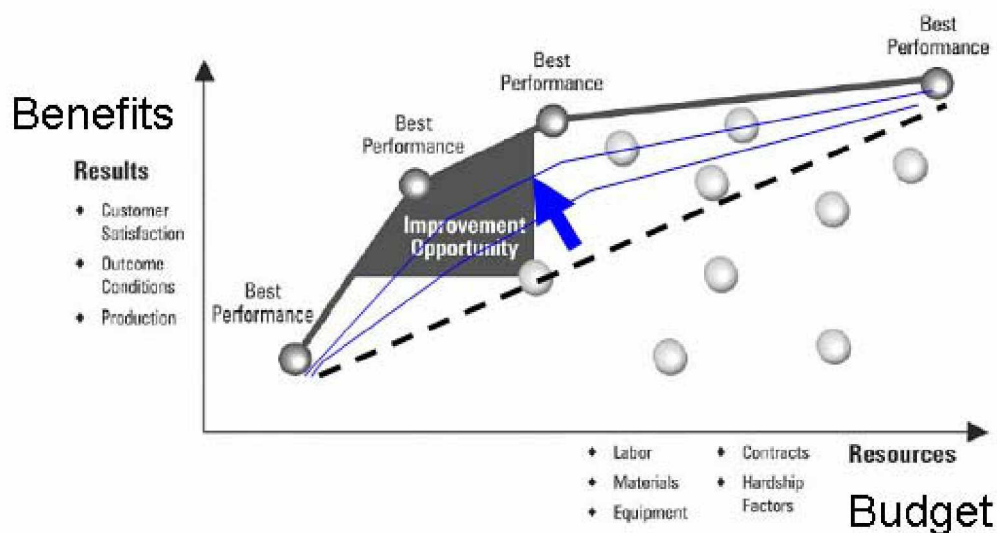
5.1.2 Asiakslähtöisyys

Väyläorganisaation toiminnan onnistumista tai suorituskykyä voidaan mitata sillä, miten hyvin sen tuottamat vaikutukset täyttävät ne tarpeet, joita eri sidosryhmillä on. Liikenneväyliltä odotetaan monenlaisia ominaisuuksia. Asiakstarpeiden tutkimusohjelmassa tätä selvitettiin monipuolisesti. Väylien ylläpitoa on perinteisesti suunniteltu teknisistä ja tuottavuuteen liittyvistä sisäisistä lähtökohdista, koska ne on saatu erilaisilla mittauksilla ja järjestelmillä ensiksi hallintaan.

Ohjelmoinnin tehokkuutta tai vaikuttavuutta voidaan parantaa lähinnä kahdella eri tavalla, joihin tämä työ tuottaa vaihtoehtoja: laajentamalla ohjelmoinnin näkökulmaa enemmän asiakkaiden tarpeiden huomioimiseen ja kehittämällä tehokkaampia valintamenetelmiä.

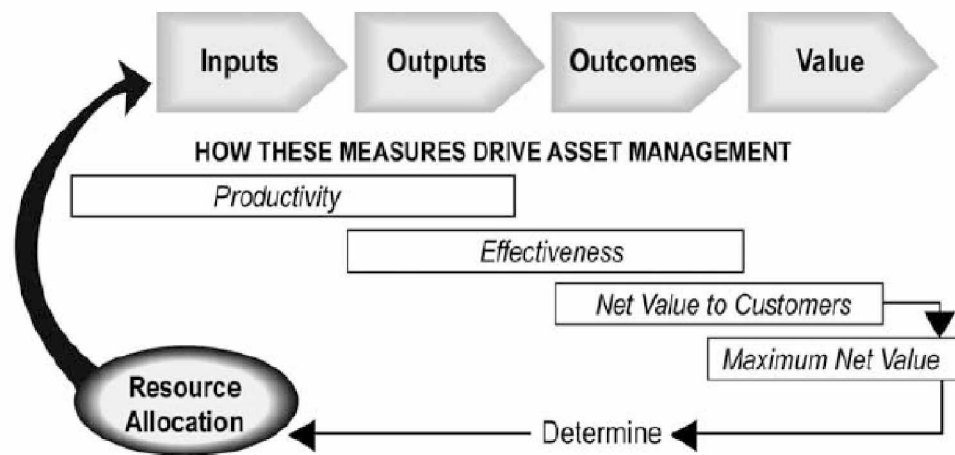
Laajentamalla näkökulmaa hanke- ja toimenpidevalinnan yhteydessä asiakaslähtöisemmäksi siirrytään kokonaishyötyjen saavuttamisessa kuvan 2 käyrästä sille käyrälle, jota hankevalinnassa muuten noudatetaan ja parannetaan niiden tulosten ja vaikutusten saavuttamista, jotka eri tahojen mukaan ovat tärkeitä. Ellei tärkeitä asiakaslähtöisyyteen liittyviä tekijöitä ole hankevalinnan pohjana, toimii hankevalinta sen ominaisuuden kohdalla suoralla $y=x$ ts. satunnaisesti. Satunnaisesti toimiva valinta ei sisällä mitään ylimääräistä ”viisautta”, jota valinnassa kuitenkin haluttujen vaikutusten saavuttamiseksi tarvittaisiin.

Sekä tavoitemäärittelyn täsmentäminen että valintamenetelmien parantaminen ovat parannusmahdollisuuksia, joihin organisaation kannattaa tarttua, ja ne ovat tämän projektin pääasialliset tavoitteet.



Kuva 33. Parhaiden käytäntöjen mukainen vaikutuskäyrä. Mitä enemmän laite- taan resursseja sitä enemmän saadaan vaikutuksia. Mitä enemmän vaikutuskäyrä on suoran yläpuolella, sitä tehokkaampi organisaation toiminta on, (Hyman, 2004).

Asiakaslähtöisyyden rakentaminen päätöksentekojärjestelmiin on siinä käytettävien muuttujien rakentamista siihen suuntaan, että ne mittaavat asiakkaille tärkeitä asioita. Asiakkaille tärkeitä asioita voidaan mitata analysoimalla, mitkä vaikutukset tuottavat niille lisäarvoa (Kuva 34). Mittareita voidaan suunnitella mittaamaan lähtötietoja, ulostuloa, vaikutuksia tai arvoa (Inputs, Outputs, Outcomes, Values). Mittarin informaatio ja sen käytön fokuusoituminen riippuvat siitä, mitä ollaan mittaamassa.



Source: Minnesota Department of Transportation and Booz-Allen & Hamilton

Kuva 34. Mittaaminen suuntaa väyläomaisuuden hallintaa, (Hyman, 2004).

Inputit ovat niitä resursseja, joilla tuote tai palvelu toimitetaan. Siltojen hallinnassa ja ylläpidossa näitä olisivat materiaaleista ja työstä koostuvat panokset, joista voidaan ohjelmointitasolla käyttää vain käsitettä toimenpide tai siihen panostettava rahamäärä. Taitorakenteiden hallinnassa näitä ovat yksinkertaisesti ohjelmaan valittavat hankkeet. Input tason tietoja organisaatio käyttää arvioidessaan omaa tuottavuuttaan. Tämän tason tiedon epäkohtana on, että se kohdistaa näkökulman organisaation sisälle sen sijaan, että se olisi ulkopuolinen.

Outputit ovat niitä suoritteenomaisia tekijöitä, joilla mitataan tehtyä määrää. Siltojen ylläpidossa niitä ovat mm. pinta-ala korjattua kansilaattaa, uusitun reunapalkin tai kaiteiden pituus jne.

Outcomit ovat tuloksia, vaikutuksia tai muutoksia, joita on saatu aikaan toteuttamalla tuote tai palvelu. Siltojen ylläpidossa tällainen outcome on kannen korjauksen tuoma tasainen päällyste, vahva reunapalkki, oikean korkuinen kaide, tai määräysten mukainen kuormituskapasiteetti. Vaikutukset suuntaavat näkökulmaa jo lähelle asiakkaan odotuksia. Suhteuttamalla vaikutuksia kustannuksiin voidaan nähdä ohjelman tehokkuutta asiakkaiden tarpeiden kannalta.

Jotkut organisaatiot ovat menneet vielä askeleen eteenpäin ja alkaneet käyttää uusia mittaria eli lisäarvoa. **Lisäarvo** mittarina on lähimpänä asiakkaiden tarpeita. Lisäarvo pitää sisällään jo asiakastyytyväisyyttä tai asiakkaalle koituvaa positiivista hyötyä. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi säästynyt matka-aika, pienemmät elinkaarikustannukset jne. Kun huomio kiinnitetään vaikutuksista lisäarvoon, niin näkökulma muuttuu organisaation tehokkuudesta asiakkaisiin ja mahdollistaa haluttujen tarpeiden paremman täyttymisen.

Hardship factorit ovat sellaisia tekijöitä, joihin ei voida vaikuttaa kuten sää, maasto-olosuhteet, liikenne jne. Näitä tekijöitä ei tulisi valita tavoitteiksi eikä mittareiksi. Taitorakenteiden monitavoiteoptimoinnin piloteissa käytetty suolaus on tämän tyyppinen hardship-muuttuja, koska se tulee ohjelmointivaiheessa annettuna ja määräytyy talvihoidon laatuvaatimuksista. Nämä voivat olla vaikuttamassa muihin mittareihin mallien kautta, mutta eivät itsenäisinä tavoitteina tai kriteereinä.

Kun organisaatio ottaa askeleen asiakaslähtöisiin tavoitteisiin niin resurssien jako ja hankkeiden valinta pääsevät määräytymään asiakaslähtöisesti. Sen seurauksena alkaa näkyä mm. seuraavia positiivisia vaikutuksia:

- asiakkaiden kokemus lisäarvo kasvaa
- asiakastyytyväisyys paranee
- väylien kunto paranee
- elinkaarikustannukset pienenevät
- liikenteen kokemat viivytykset vähenevät
- tienkäyttäjien kokemus turvallisuus paranee
- rakennetun ympäristön laatu paranee

Tavoitteiden valinta asiakaslähtöisesti (sidosryhmälähtöisesti) mahdollistaa resurssien jaon suunnittelemisen tietoisena siitä, mitä vaikutuksia mikin painotus tuottaa ja parantaa. Kiinteät komposiitti-indeksit, kuten VPS ja KTI, joissa suunnittelijan preferenssirakenne on lyöty lukkoon, eivät mahdollista edellä mainittuja ominaisuuksia.

5.1.3 Elinkaarikustannusten laskentaohje

Liikenneviraston vuonna 2010 valmistuneessa siltojen elinkaarikustannusten laskentaohjeessa määritetään huomioitaviksi seuraavan taulukon mukaiset kustannuserät. Väylänpitäjän suorat kustannukset ovat tyypilliset rakentamis- hoito- ja ylläpitokustannukset. Epäsuoriin riskikustannuksiin luetaan kuuluviksi mm. rakenteen toimivuuteen kuten kantavuuteen ja mittoihin liittyvät puutteet. Käyttäjien kustannuksina huomioidaan vain työnaikaisista liikennejärjestelyistä aiheutuvat aikakustannukset. Yhteiskunnan kustannuksina laskentamallissa huomioidaan ympäristö-, työturvallisuus- ja liikenneonnettomuuksien aiheuttamat kustannukset (Sillan elinkaarikustannusten laskentaohje, 2010).

Taulukko 19. Sillan elinkaarikustannusten laskentaohjeessa huomioitavat kustannuslajit.

	<i>Suorat kustannukset</i>	<i>Epäsuorat kustannukset</i>
Tienpitäjän kustannukset	– rakennuskustannukset – kunnossapidon (hoito, käyttö ja ylläpito) kustannukset	– riskit
Käyttäjien kustannukset		– ajokustannukset aikakustannusten osalta – riskit
Yhteiskunnan kustannukset		– ympäristökustannukset – riskit

5.1.4 Kirjallisuus

Kirjallisuudessa on useita esimerkkejä monitavoiteoptimointiin valituista tavoite-muuttujista. Taulukossa 24 on listattu joitakin väyläomaisuuden hallintaan tehtyjä monitavoiteoptimointeja, joista siltojen hallintaan kohdistuu noin 17 kpl. Monitavoiteoptimointi on siksi kiinnostava alue, että siihen liittyviä uusia sovelluksia syntyy koko ajan lisää. Menetelmien listaa on hankala pitää ajan tasalla, koska se uudistuu niin nopeaan tahtiin.

Taulukossa on yhteensä 34 eri sovellusesimerkkiä, joista siltojen hallintaan liittyy 17 kpl. Kolmannes esimerkeistä on hyötyteorian mukaisen menetelmän (MAUT) soveltamisesimerkkejä. Joistakin esimerkeistä oli mahdollista löytää tavoitteena käytetyt muuttujat. Tavoitteet ovat yleensä melko samansisältöisiä. Tyypillisimpiä ovat seuraavat:

- kunto, säilyvyys, ylläpitotarpeet
- turvallisuus
- elinkaarikustannukset, ylläpitäjän kustannukset
- käyttäjien kustannukset
- toiminnallisuus

Joissakin esimerkeissä on tyydytty vain muutama tavoitealueeseen ja joissakin on käytetty enemmän. Minimilista sisältää yleensä kolme tärkeintä tavoitetta, jotka ovat kunto tai säilyvyys, turvallisuus ja kustannukset jossain muodossa. Jos tätä halutaan täydentää, niin sitten mukaan tulee yleensä toiminnallisuus, käyttäjien kustannukset tai tyytyväisyys ja toisinaan myös ympäristöön liittyvä tavoite.

Tienkäyttäjää ajatellen tavoitteet ovat, että väylää pääsee kulkemaan turvallisesti ja mahdollisimman vähillä kustannuksilla. Siltoihin liittyen se tarkoittaa lähinnä, että sillan yli pääsee ajamaan täydellä kuormalla ilman kiertoteitä ja turvallisesti. Väylänpitäjä tuo siihen sitten taloudellisuusvaatimuksen. Se lienee makuasia, miten eritellysti tuon kokonaisuuden haluaa pysyvän suunnittelussa mukana ts. miten moniin eri osiin suunnittelija haluaa tavoiterakenteen jakaa. Pääasia on, että tarvittavien sidosryhmien ”ääni” on mukana tavoitteissa ja eri rakennetyyppien vaikutukset yhteismittallistuvat osahyötyjen kautta kokonaishyödyksi, jotta hankkeet voidaan laittaa rinnakkain ja valita niistä budjettirajoituksen puitteissa eniten hyötyä tuottavat.

Taulukossa 24 ja 25 on erään sovelluksen mukaan listattuja tavoitteita ja indikaattoreita painoineen sekä hyötyfunktioita. Hyötyfunktio muodostuu kunkin osatavoitteen tai siihen liittyvän osaindikaattorin kohdalla useista, tarvittavista muuttujista. Kullakin indikaattorille on muodostettavissa hyötyfunktio erillisestä selittävien muuttujien joukosta. Jos selittäviä muuttujia on useita, niin niitä voidaan käyttää useita, mutta ellei ole niin sitten malli voi olla karkeampi. Hyötyfunktiossa mahdollistuu sen joustavuus ja täydennettävyys.

Taulukko 9. Yhteenveto liikenneväyliin sovelletuista monitavoiteoptimoinneista ja niissä käytetyistä tavoitteista.

Summary of Multi-Objective Optimization Applications in Highway Asset Management									
Nr	Preference Category	MOO-Techniques	Reference	Year	Problem	Formulation	Objectives		
							Highway	Bridge	Other
32	Priori Articulation of preferences	AHP	Cañiso et al. (2001)	2001			Comfort, Environment, Safety, Agency Costs, Users Costs		
37	Posteriori Articulation of preferences	Compromise Programming (Euclidean distance Metric)	Lounis (2006)	2006				Condition, Maint Costs, User Costs	
25	Posteriori Articulation of preferences	e-constraint method	Chowdhury et al. (2000)	2000	Highway safety resource allocation	Nonlinear programming	loss desirability		
28			Chowdhury and Tan (2005)	2005				x	
17	Posteriori Articulation of preferences	Genetic Algorithm	Liu et al. (1997)	1997				x	
18			Pilson et al. (1999)	1999			x		
8			Chan et al. (2003)	2003			x		
20			El-Rayes and Kandil (2005)	2005			x		
38			Herabat et al. (2005)	2005			Condition, Users Costs		
21			Liu and Frangopol (2005)	2005				Condition, Safety, Cost	
19			Zheng et al. (2005)	2005					x
23			Neves et al. (2006)	2006				Pres. costs Condition, Safety	
27	Posteriori Articulation of preferences	Genetic Algorithm + Compromise Programming	Fwa et al. (2000)	2000			x		
1	Priori Articulation of preferences	Goal Programming	Sinha et al. (1981)	1981			x		
2			Ravirala and Grivas (1995)	1995	Ranking of pavement and bridge projects	Nonlinear programming	Condition, Costs, ADT	Condition, Costs, ADT	
3			Ravirala et al. (1996)	1996	Investment on planning and construction of bridges	Nonlinear Knapsack selection		x	
24	Posteriori Articulation of preferences	Hybrid: (e-constraint + Compromise Programming)	Lounis and Vanier (1998)	1998				x	
26	Posteriori Articulation of preferences	Hybrid: (e-constraint + Genetic Algorithm)	Miyamoto et al. (2000)	2000				Condition, Safety, Cost	
7	Priori Articulation of preferences	Hybrid: (Fuzzy set + weighting sum method)	Tanon and Bernardini (1999)	1999					x
16	Priori Articulation of preferences	Hybrid: (Goal Programming + AHP)	Wu et al. (2008)	2008			Preserv Costs, Preserv Benefit		
5	Priori Articulation of preferences	Hybrid: (Grey relation + Goal Programming)	Hsieh and Liu (1997)	1997					x
30	Priori Articulation of preferences	Hybrid: (K-mean+AHP + Integer Linear Programming)	Zheng Wu (2008)	2008	Selection of pavement preservation projects	Linear integer programming	Preserv Costs, Importance, Condition		
	Priori Articulation of preferences	Multi-attribute utility theory	Mashruri et al. (2002)	2002			Mobility, Congestion, Safety		
9			Pesti et al. (2003)	2003				x	
12			Li and Sinha (2004)	2004	Selection of pavement preservation projects	IUC + integer MCMDKP	System Preserv, Agency Cost, User Cost, Mobility, Environment, Safety,	System Preserv, Agency Cost, User Cost, Mobility, Environment, Safety,	System Preserv, Agency Cost, User Cost, Mobility, Environment, Safety,
15			Patidar et al. (2007)	2007	Prioritising bridges in repair program	IUC + integer MCMDKP		Condition, Safety, Protection, Agency costs, Users costs	
14			Gharalbeh et al. (2007)	2007					x
36			Johnson (2008)	2008	Project selection			Rehab Needs, Sour Needs, Rail Needs, Seismic Needs, Mobility Needs	
33			Rashid et al. (2008)	2008	Project selection			Service, Condition, Safety, Costs, Socioecon, Energy	Service, Condition, Costs, Socioecon, Energy
38			Dabous et al. (2010)	2010	Project selection			Condition, Load carrying capacity, Seismic risk, ADT, Supporting Road, Vert Clearance, Approach Cond, Drainage	
34	Priori Articulation of preferences	RPM method (weighted sum + linear integer optimization)	Liesio (2004)	2004	Project selection		x		
35			Finnish Road Administration (2006)	2006	Project selection			Condition, Importance, Functionality1, Functionality2, Salt, Aesthetic	
29	Posteriori Articulation of preferences	Simple Multi Attribute Rating Technique	Horrocks et al. (2005)	2005			x		
31	No preference	Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis (SMAA with MAUT or outranking)	Miettula (2009)	2009	Project selection			Condition, Importance, Functionality1, Functionality2, Salt, Aesthetic	
4	Priori Articulation of preferences	Weighting sum method	Davis and Campbell (1995)	1995	Project selection	Integer linear programming	M&R effectiveness, M&R disturbance costs		
6			Dissanayake et al. (1999)	1999	Resource allocation	Integer nonlinear programming	Costs, Value		
10			Wang et al. (2003)	2003	Project selection	Nonlinear programming	Rem Life, Condition, Costs		
11			Sadek et al. (2003)	2003					x
13			Xiong and Shi (2004)	2004				Safety, Costs,	
22			Gabriel et al. (2006)	2006					x

Taulukko 21. Tavoitteiden ja indikaattoreiden painoja (Rashid, 2008).

Facility	Objective	Weight (%)	Performance Indicator	Weight in Objective (%)	Overall Weight (%)
Bridges	Service	20.556	Traffic volume	38.889	12.562
			Traffic speed	38.889	7.994
	Condition	28.333	Load capacity	34.444	9.759
			Remaining service life	27.778	7.870
			Deck, superstructure, and substructure deterioration	37.778	10.704
	Safety	20.000	Load capacity	35.556	7.111
			Clear deck width	26.667	5.333
			Occurrences of accidents	37.778	7.556
	Cost	18.333	Agency costs	60.000	11.000
			User costs	40.000	7.333
	Socioeconomic Factor	8.333	Travel time savings	38.571	3.214
			Visual quality	25.714	2.143
			Saving in accident costs	35.714	2.976
Energy	4.444	Fuel consumption	100	4.444	
Roadside Elements	Service	21.111	Travel speed	36.667	7.741
			Clear roadway width	63.333	13.370
	Condition	20.556	Deflection/displacement	56.667	11.648
			Ditch erosion	43.333	8.907
	Safety	28.889	Occupant risk	20.556	5.938
			Road side slope	19.444	5.617
			Roadside hazardous	28.333	8.185
			Sight distance	31.667	9.148
	Cost	13.889	Agency costs	48.889	6.790
			User costs	51.111	7.099
	Socioeconomic factor	15.556	Saving in accident costs	64.444	10.025
Visual quality			35.556	5.531	
Traffic Control Devices	Service	23.131	Traffic volume	44.444	10.281
			Delay time	55.556	12.851
	Condition	24.141	Visibility	64.444	15.558
			Physical deterioration	35.556	8.584
	Safety	24.798	Sight distance	57.778	14.328
			Luminance	42.222	10.470
	Cost	11.909	Agency costs	61.111	7.278
			User costs	38.889	4.631
	Socioeconomic factor	9.677	Travel time delay	43.333	4.193
			Fuel waste	21.111	2.043
Pollution			15.000	1.452	
Energy	6.343	Driver satisfaction	20.556	1.989	
			Fuel consumption	100	6.343

Taulukko 22. Siltojen eri tavoitteille muodostettuja hyötyfunktioita (Rashid 2008).

Objective	Utility Function
Service	$U_s = 3.383(\ln X_1) - 0.00066X_2^2 + 0.1701X_2 - 32.517$ U_s is the utility value of service X_1 is traffic volume in AADT X_2 is traffic speed in km/h
Condition	$U_c = -0.00014X_1^2 - 0.0206X_1 - 0.00028X_2^2 + 0.0549X_2 - 0.4392X_3 + 7.627$ U_c is the utility value of condition X_1 is load capacity in sufficiency rating (SR) $SR = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$ S_1 = structural adequacy and safety S_2 = special reduction S_3 = essentially S_4 = serviceability and functional obsolescence (excellent condition = 100 and worst = 0) X_2 is remaining service life in year X_3 is bridge structure inventory and condition appraisal, SI&A
Safety	$U_a = -0.00014X_1^2 - 0.0213X_1 + 2.278(\ln X_2) - 0.451X_3 - 1.32$ U_a is the utility value of safety X_1 is load capacity in SR X_2 is clear deck width in meters X_3 is number of accidents per year
Cost	$U_{co} = -1.44 \cdot 10^{-6}X_1 + 1.95X_2 - 4.4634$ U_{co} is the utility value of cost X_1 is agency cost in Baht/km X_2 is vehicle operating cost in Baht/km/PC
Socioeconomic Factor	$U_{so} = 0.1783X_1 - 0.0123X_2 + 6.286 \cdot 10^{-6}X_3 + 3.986$ U_{so} is the utility value of socioeconomic factor X_1 is travel time savings after maintenance in minutes X_2 is visibility distance in meters X_3 is savings in accident costs after maintenance in Baht
Energy	$U_e = 4.575X_1 - 8.225$ U_e is the utility value of fuel consumption X_1 is fuel consumption in Baht/km/PC

5.2 Nykyiset indikaattorit

5.2.1 Tarkastusjärjestelmä

Maantiesillat ja putkisillat

Maantiesiltojen tarkastustoiminta aloitettiin systemaattisesti dataa keräten jo 1970-luvulla. Tarkastustoiminta sisältää useita erilaisia tarkastuksia tilanteesta riippuen, mutta yleistarkastus on se tarkastus, jolla tieto hallintajärjestelmiin ja hankkeiden valintaan hankitaan. Tarkastuslajit ovat seuraavat:

- vastaanottotarkastus
- vuositarkastus (ei kirjata rekisteriin)
- **yleistarkastus**
- perustarkastus
- erikoistarkastus
- tehostettu tarkkailu

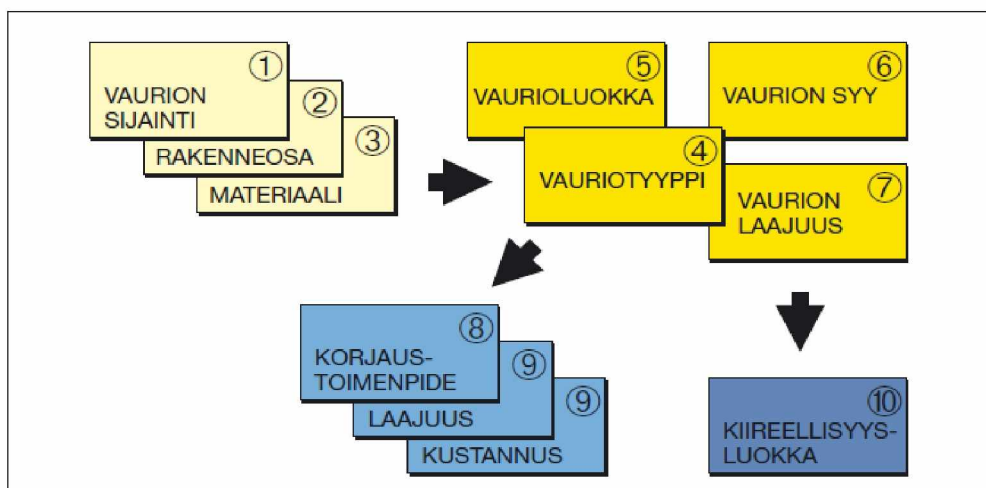
Taulukossa 26 on esitetty tarkastusten määrät aikavälillä 1997–2008. Noin 3000 siltaa tai putkisiltaa tarkastetaan vuosittain ja yleistarkastus kattaa siitä määrästä noin 2500. Yleistarkastus ajoittuu noin 5 vuoden välein.

Taulukko 23. Tarkastetut maantiesillat 1997–2008 (vuositarkastuksia ei kirjata Silta- rekisteriin)

Tarkastus- vuosi	Tarkastustyyppi							Tarkastuksia yhteensä
	Vastaanotto- tarkastus	Vuosi- tarkastus	Yleis- tarkastus	Perus- tarkastus	Erikois- tarkastus	Sukellus- tarkastus	Tehostettu tarkkailu	
1997	170	1	2 201	20	103	3	4	2 502
1998	155	2	2 517	24	34	9	14	2 755
1999	124	4	2 401	25	57	10	15	2 636
2000	124	0	2 498	29	55	14	2	2 722
2001	59	5	2 549	23	60	11	1	2 708
2002	128	2	2 629	21	39	8	0	2 827
2003	155	1	2 749	23	96	2	0	3 026
2004	200	0	2 545	24	68	10	0	2 847
2005	198	0	2 754	20	91	6	0	3 069
2006	222	1	2 635	23	116	10	0	3 007
2007	254	0	2 784	19	57	3	0	3 117
2008	229	0	2 584	25	58	14	1	2 911

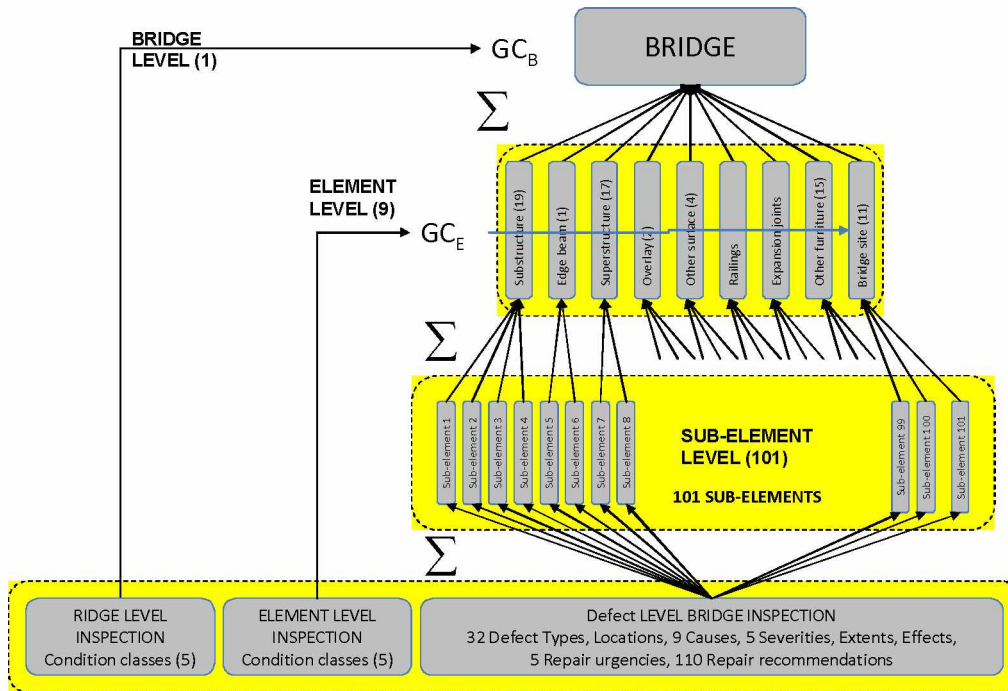
Yleistarkastuksessa kerätään seuraavat tiedot:

- yleiset hallinnolliset tiedot
- kuntoluokkatiedot
 - silta kokonaisuudessaan (0-4)
 - sillan rakenneosat (0-4)
- rakenneosien vauriot
 - vaurio (tyyppi, paikka, laajuus, vakavuus, syy)
 - korjaustarpeen kiireellisyys
 - tarvittava korjaustoimenpide (tyyppi, määrä, kustannus)



Kuva 35. Vaurioille kirjattavat tietotyypit sillantarkastuksessa.

Jokaiselle sillalle (ja putkisillalle) tuotetaan sen yleiskuntoluokka asteikolla 0-4. Sil- lan jokaiselle päärakenneosalle tuotetaan myös sen kuntoluokka-arvio 0-4. Rakenne- osat voivat sisältää pienempiä alirakenneosia. Erialaisten alirakenneosien kokonais- määrää ei ole rajoitettu. Rakenneosilla ja alirakenneosilla voi olla useita vaurioita. Vauriotyyppejä on 32, vaurioiden syykoodeja on 36 kpl.



Kuva 36. Maantiesiltojen tarkastusten vaurio- ja kuntotietojen rakenne. Vauriotieto kerätään alirakennetasolla. Kuntoarvioita annetaan päärakenne- ja taitorakennetasolla.

Erikoistarkastus tehdään silloille, joille on odotettavissa korjaustarvetta lähiaikoina ja aina ennen korjausta. Tehostettu tarkkailu tehdään niille silloille, jotka ovat tehostetun tarkkailun piirissä. Siltarekisterissä on tällä hetkellä 63500 tarkastusta sisältäen yli 128 000 vauriokirjausta. Yli 10 000 sillalle on olemassa 4 tai useampi tarkastus.

Taulukko 24. Maantiesiltojen tarkastustietoja (koko tarkastusajalta, yhteensä 63 561 tarkastusta, 128 048 vauriokirjausta, koodi 9 tarkoittaa, että tarkastusta ei voida tehdä).

Rakenneosa	English	Condition state						Total		
		0	1	2	3	4	9	null	Insp	Defects
karv_alusrak	Substructure	9522	31158	10115	1673	227	103	10763	63561	24465
karv_reunap	Edge beam	6068	23184	9366	2159	389	149	22246	63561	16308
karv_paallrak	Other superstructure	11943	31927	11394	3681	1038	181	3397	63561	22758
karv_paallyste	Wearing surface	9510	34848	8645	1519	220	154	8665	63561	13970
karv_pintarak	Other surface structure	8060	20199	5397	1580	237	497	27591	63561	955
karv_kaitteet	Railings	10801	29372	9545	2713	675	138	10317	63561	13247
karv_liiksaum	Joints	1541	2983	1521	535	107	120	56754	63561	1563
karv_varuste	Appurtenances	6065	21324	5146	828	88	144	29966	63561	5947
karv_paikka	Bridge site	7106	33095	17860	1813	153	177	3357	63561	28835
karv_yleis	General condition	8727	34179	14325	3536	806	90	1898	63561	
	Total	79343	262269	93314	20037	3940	1753	174954		128048

Taulukko 25. Vaurioiden määrä tyypeittäin ja syykoodeittain.

Number of defects by defect type			
ID	Defect type	English	Count
11	Rapautuminen	Weathering	15576
12	Halkeilu	Cracking	17352
13	Ruostuminen	Corrosion	17793
14	Vesivuoto	Water leakage	10518
15	Verkkohalkeilu	Web cracking	4072
16	Purkautuminen	Discharge	3294
17	Kuluma	Wear	4023
18	Valuvika	Casting error	2538
19	Erosiovaurio	Erosion damage	4947
20	Deformaatio	Strain	186
21	Lahoaminen	Rot	1611
22	Hilseily	Exfoliation	738
23	Kupliminen	Blistering	39
24	Taipuma	Deflection	3385
25	Murtuma	Fracture	2503
26	Lohkeama	Cleft	4197
27	Painuma	Dent	2573
28	Siirtymä	Transition	1115
29	Sortuma	Cave-in	1348
30	Löystymä	Loosening	236
31	Irtoama	Detachment	5450
32	Tukos	Blockage	796
33	Kiertymä	Rotation	115
34	Kokoonpuristuma	Shrinkage	23
35	Puuttuminen	Lack of	8663
36	Lommahdus	Buckling	50
37	Töhrerys	Botch	4152
38	Ulkonäkövirhe	Appearance error	89
39	Liian matala	Too low	3929
40	Liian lyhyt	Too short	6737
		Total	128048
Number of defects by reason			
ID	Reason	English	Count
100	Ympäristö tai ikääntyminen	Environmental or aging	47194
101	Pakkasvaurio	Frost	698
102	Kloridien vaikutus	Chloride effect	853
103	Karbonatisoituminen	Carbonation	42
104	Ilmansaasteet	Air pollution	7
200	Kuormitus	Load	5302
201	Liikennekuorma	Transport truck	2003
202	Jääkuorma	Ice load	74
203	Virtauspaine	Flow pressure	31
204	Maanpaine	Earth pressure	207
205	Tukien liikkeet	Aid movement	200
206	Lämpöliike	Thermal motion	339
207	Kutistuminen	Shrinkage	1617
208	Viruminen	Creep	64
300	Kuluminen	Wear	1843
301	Kuluminen/liikenne	Wear / traffic	2769
302	Kuluminen/jää	Wear / ice	146
303	Kuluminen/virtaus	Consumption / flow	752
400	Erosio	Erosion	4319
500	Onnettomuus	Accident	1183
501	Törmäys	Collision	2730
502	Tulva	Flood	4
503	Tulipalo	Fire	1
600	Suunnitteluvirhe	Design error	9483
601	Perusratkaisuvirhe	Basic solution error	4141
602	Detaljisuunnitteluvirhe	Detailing error	794
603	Materiaalinvalintavirhe	Material selection error	109
700	Rakennusvirhe	Construction error	21575
701	Työvirhe	Workmanship	8416
702	Materiaalvirhe	Material flaw	238
703	Elementin valmistusvirhe	Element manufacturing defect	289
800	Kunnossapitovirhe	Maintenance error	2461
801	Puhtaanapitovirhe	Cleaning error	311
802	Huoltovirhe	Maintenance error	93
803	Kunnossapitokaluston törmäys	Maintenance equipment collision	1703
900	Ilkivalta	Vandalism	6057
		Total	128048

Rautatiesillat, rummut ja tunnelit

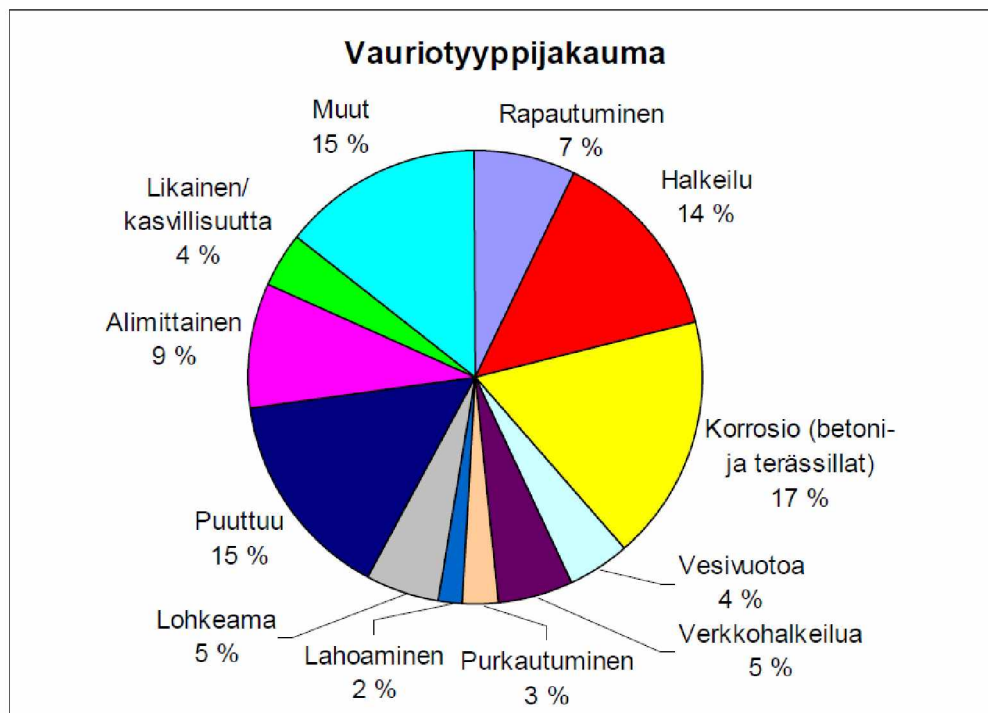
Rautatiesiltojen tarkastusjärjestelmä sisältää myös useita tarkastuksia, joita ovat seuraavat:

- käyttöönotto- ja takuutarkastukset
- päätarkastukset
- vuosi- ja erikoistarkastukset
- tarkkailu

Päätarkastuksilla saatava tieto on hallintajärjestelmän pääasiallinen tietopohja. Noin 400 rautatiesiltaa tarkastetaan vuosittain. Tarkastusyksi toistuu noin 7 vuoden välein. Erikoistarkastuksia tehdään 10–14 kpl vuosittain.

Päätarkastuksessa tarkastetaan kunto, vauriot ja toiminnalliset puutteet. Rautatiesilloilla merkittävimmät toiminnalliset puutteet ovat:

- kapeus
- liikenneteknisiin mittoihin liittyvät puutteet (leveys, korkeus)
- kantavuus (rajoittaa akselipainoja)
- kaiteiden ja siirtymälautojen puuttuminen
- tukikerroksen puuttuminen (rajoittaa nopeuksia)
- siltäpölkkyjen ja päiden vaatima ylimääräinen kunnossapito



Kuva 37. Vuosina 2003–2009 kirjatut ja korjaamatta olevat vauriot tyypeittäin (3893 vauriota).

Vuositarkastuksista (joita tekee kunnossapitourakoitsija) tulee siltojen hallintajärjestelmään tietoa vaurioista ja korjausten toteutumisesta.

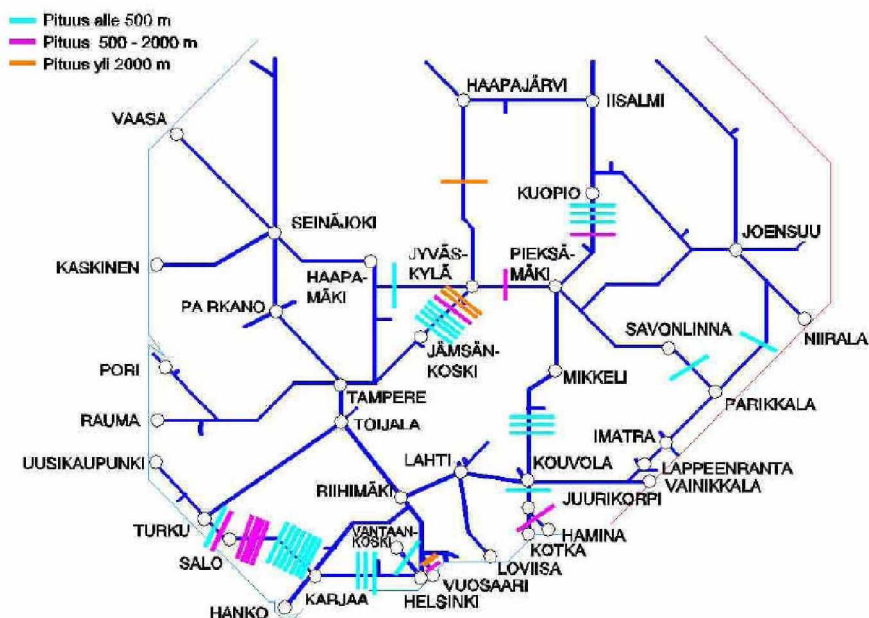
Rautatietunneleiden tarkastusjärjestelmä sisältää kävelytarkastukset, vuosi-tarkastukset, päätarkastukset ja erikoistarkastukset.

Kävelytarkastus kuuluu peruskunnossapitoon ja siinä tarkastetaan rakenteiden, laitteiden ja varusteiden toiminta silmämääräisesti.

Päätarkastus tehdään tunnelikohtaisesti määritetyn aikataulun mukaisesti, mutta enintään 7 vuoden välein. Päätarkastus tehdään raidevarausten ja jännitekatkojen aikana tarvittavia teknisiä apu- ja mittauslaitteita käyttäen. Tunnelin kaikki rakenteet, laitteet, varusteet ja teknisten järjestelmien toiminta tarkastetaan.

Erikoistarkastus tehdään silloin, kun muissa tarkastuksissa ilmenee aihetta erikois-asiantuntemusta tai erikoislaitteita vaativan tarkastuksen suorittamiseen. Erikoistarkastus tehdään myös jokaisen häiriö- tai onnettomuustilanteen jälkeen.

Rautatietunnelit on (pää)tarkastettu vuosina 1997–2004. Tarkastuksen ovat tehneet kunnossapitohenkilöt. Muutamia tunnelitarkastuksia on lisäksi tilattu erillisinä ja niissä on pyritty tekemään myös laser-skannaus. Tarkastukset on tehty rakenneosittain. Rautatietunneleiden tarkastuksissa kirjataan vaurion vakavuusluokka, korjauksen kiireellisyysluokka sekä arvioidaan tunnelin aukkomittaluokka ja turvallisuusluokka. Uutena tarkastustietona ollaan kehittämässä tunneleiden laser-skannausta, jolla saadaan jatkuvaa kuvaa tunnelin seinämistä ja niissä olevista vaurioista (sähköinen huoltokirja).



Kuva 38. (Pääraideosuuksilla sijaitsevat rautatietunnelit).

Taulukko 27. Rautatietunneleissa olevia rakenneosia.

Rautatietunneleiden rakenneosat

Lujitusrakenteet
Tiivistysinjektointi
Lujitusputitus
Ruis kubetonnoinnin salaojitus
Ruis kubetonnointi

Teräs betonirakenteet
Teräs betoniholvi
Teräs betonielementit
Päliarit
Palkit
Tukimuurit

Verhousrakenteet
Vedeneriste
Lämmöneriste
Verhousrakenteen palosuojaus

Ratapohjat
Betonointi
Eristys
Täinäneriste
Runkoäänieriste

Rautateiden rumputarkastuksia ovat kunnossapitäjän tekemät vuositarkastukset, sekä asiantuntijoiden tekemät yleis- tai erikoistarkastukset. Muita tarkastuksia ei käytännössä ole, sillä niitä on hieman hankala hankkia, kuka seuraa, mitä seurataan jne. Rumpujen hallinta tapahtuu vuositarkastustietojen perusteella. Tulokset syötetään rumpurekisteriin ja niiden perusteella lasketaan rummuille korjaustarveindeksi.

Vuodesta 2008 lähtien rekisteristä on valittu vuosittain 30–50 huonokuntoista rumpua, joille on tehty asiantuntijatarkastus. Kolmen vuoden kokemuksen perusteella voidaan jo sanoa, että huonokuntoiset rummut ovat aika hyvin tiedossa.

Haastetta on saada niitä korjauslistoille, hallinnan kannalta myös korjausten kerääminen rekisteriin on tärkeää. Esim. radan perusparannusprojekteilla yleensä korjataan kymmeniä rumpuja.

Haastetta rumpujen vuositarkastuksissa on se, että rumpujen tarkastajat vaihtuvat eivätkä osaa pisteyttää vaurioita oikein. Tosin sanoen yhtenä vuotena rumpu on pahoin rikki, seuraavan kunnossa ja sitten taas rikki. Sen takia seurannassa rekisterimielessä on pidettävä tarkastustuloksia usealta vuodelta

Muut taitorakenteet

Vesiväylien avattavat sillat tarkastetaan samalla tavalla kuin muutkin sillat. Maanteiden laiturirakenteiden tarkastusohje on vasta valmistunut. Tarkastustietoa on olemassa jonkun verran, muttei kattavasti. Maanteiden tukimuureista ei ole toistaiseksi vielä tarkastustietoa. Myöskään paalulaatoista ei ole kerätty tietoja.

5.2.2 Tarkastustieto ja indeksit

Maantiesillat ja maanteiden putkisillat

Uusimistarveindeksi – UTI

Uusimistarveindeksin tekijät jaetaan kolmeen ryhmään, jotka ovat kunto, kantavuus ja toiminnallisuus. Indeksit lasketaan painottamalla edellä mainittuja tekijöitä kertoimilla ja korjaamalla saatua lukua sillan pinta-alasta ja liikennemäärästä riippuvilla korjauskertoimilla. Kuntoa painotetaan painokertoimella 50 %, kantavuutta 30 % ja toiminnallisuutta 20 %. Liikennemääräluokan vaikutus on 30 %.

Kukin edellä mainituista tekijöistä lasketaan omilla kaavoilla, joissa on useita eri tekijöitä. Tekijät ja niistä tulevat pisteet on esitetty seuraavassa taulukossa.

Uusimistarveindeksillä valitaan korjattavien siltojen uusimiskohteet.

Taulukko 28. Maantiesiltojen uusimistarveindeksin tekijät ja niiden painotukset.

			<u>Min.</u>	<u>Maks.</u>
Kuntopisteet	Ikäpisteet		0	50
	Ikäraajat	Putkisillat	5	40
		Puusillat	5	40
		Terässillat	10	40
		Teräsbet. sillat	10	40
Kivisillat	50	100		
Vauriokm-kerron		0,80	1,20	
Laskettu yleiskunto		1,50	4,00	
Lask. yleiskunnan pisteet		0	180	
Kantavuuspisteet	Painorajoitus Kantavuusluokka		<u>Pisteet</u>	
		<= 2	70	
		3a	54	
		3b	38	
		3c	22	
>= 4	5			
Tehostettu tarkkailu		30		
Toiminnallisuus- pisteet	Hyödyllinen leveys	Hyöd. lev. - 1 m	50	
		Hyöd. lev. + 1 m	0	
	Kevyen liikenteen väylän leveys	<= 1,5 m	50	
		1,5 - 3,0 m	5	
		> 3,5 m	0	
	Maksimi leveyspisteet		50	
	Kulku korkeus	<= 4,2 m	50	
4,2 - 4,4 m		40		
4,4 - 4,6 m		30		
4,6 - 5,0 m		15		
> 5,0 m		0		
Pinta-ala ja liikennemäärä- kertoimet	Liikennemääräskerron	KVL <= 350	0,85	
		350 - 1500	0,80	
		1500 - 3000	1,00	
		3000 - 6000	1,10	
		> 6000	1,15	
			<u>Alaraja</u>	<u>Yläraja</u>
	Pinta-alakerron	Pinta-ala	200	600
	Kerron	0,80	1,10	

$$UTI = kp * kl * (Kuntopisteet + Kantavuuspisteet + Toiminnallisuus pisteet)$$

Kuntopisteet = vaurioiden määräkerron * lasketun yleiskunnan pisteet + ikä ja rakennusmateriaalipisteet

Kantavuuspisteet = tehostetun tarkkailun pisteet + Max (painorajoituksen pisteet, kantavuusluokan pisteet)

Toiminnallisuuspisteet = hyödyllisen leveyden pisteet + sallitun kulku korkeuden pisteet + alikulkukorkeuden pisteet

Korjaustarveindeksi – KTI

Korjaustarveindeksi, KTI, lasketaan rakenneosittaisista vaurioista painottamalla vaurioiden vakavuuden ja sen korjauksen kiireellisyyden tuloa erilaisilla painokertoimilla. Vakavuutta ja korjauksen kiireellisyyttä painotetaan luokista johtuvilla kertoimilla.

Korjaustarveindeksiä käytetään korjattavien siltojen valintaan.

$$\begin{aligned}
 \text{KTI} = & \text{KVL-kerroin} * \\
 & [\text{Max}_i (\text{rakenneosaryhmän_painokerroin}_i * \\
 & \quad \text{rakenneosaryhmän_kuntoarviopisteet}_i * \\
 & \quad \text{korjauksen kiireellisyydpisteet}_i * \\
 & \quad \text{vaurioluokkapisteet}_i) + \\
 & k * \sum_{j=j_{\text{min}}}^{j_{\text{max}}} (\text{rakenneosaryhmän_painokerroin}_j * \\
 & \quad \text{rakenneosan_kuntoarviopisteet}_j * \\
 & \quad \text{korjauksen kiireellisyydpisteet}_j * \\
 & \quad \text{vaurioluokkapisteet}_j)]
 \end{aligned}$$

Keskimääräinen vuorokausiliikenteen KVL-kerroin on:

Liikennemäärä (ajon./vrk)	KVL-kerroin
> 6 000	1.15
3 000 - 6 000	1.10
1 500 - 3 000	1.00
350 - 1 500	0.90
< 350	0.85

Rakenneosaryhmän painokertoimien arvo on oletusarvoisesti 1:

Rakenneosaryhmä	Painokerroin
Alusrakenne	1.0
Reunapalkki	1.0
Muu päällysrakenne	1.0
Paällyste	1.0
Muu pintarakenne	1.0
Kaiteet	1.0
Liikuntasaumalaitteet	1.0
Muut vanusteet	1.0
Siltapaikka	1.0

Rakenneosaryhmän kuntoarviopisteet saadaan taulukosta:

Rakenneosaryhmän kuntoarvio	Kuntoarviopisteet
0 = Uuden veroinen	1 p
1 = Hyvä	2 p
2 = Välttävä	4 p
3 = Huono	7 p
4 = Erittäin huono	11 p

Korjauksen kiireellisyydpisteet saadaan taulukosta:

Vaurion korjauksen kiireellisyys	Kiireellisyydpisteet
11 = korjataan 2 vuoden kuluessa	10 p
12 = korjataan 4 vuoden kuluessa	5 p
13 = korjataan myöhemmin	1 p

Vaurioluokkapisteet saadaan taulukosta:

Vaurioluokka	Vaurioluokkapisteet
1 = Lievä	1 p
2 = Merkittävä	2 p
3 = Vakava	4 p
4 = Erittäin vakava	7 p

Kuva 39. Maantiesiltojen korjaustarveindeksin laskentaperusteet.

Vauriopistesumma – VPS

Vauriopistesumma lasketaan rakenneosittain niiden vauriotietojen perusteella. Vaurion vakavuusluokan ja korjauksen kiireellisyysluokan pisteiden tuloa painotetaan päärakenneosien painokertoimilla ja kuntoarviopisteillä. Indeksi on koosteindeksi useasta erilaisesta kuntoa kuvaavasta tekijästä.

Vauriopistesummaa käytetään mm. tulostavoitteena ja hankekorin muodostamisen perusteena. Se huomioi vain sillan kuntoon liittyvät tekijät.

$$\text{VPS} = \sum (\text{rakenneosaryhmän_painokerroin} * \text{rakenneosaryhmän_kuntoarviopisteet} * \text{korjauksen_kiireellisyyspisteet} * \text{vaurioluokkapisteet})$$

Taulukko 29. Vauriopistesumman laskentaperusteet (vaurion kiireellisyyteen liittyvien tekijöiden painoja on muutettu. Oikeat painot ovat 5,0, 4,5, 3,0, 1,5 ja 0,5)..

Pisteytyskerroin			1,00
Päärakenneosien painokertoimet		Alusrakenne	70
		Reunapalkki	20
		Muu päällysrakenne	100
		Päällyste	30
		Muu pintarakenne	50
		Kalteet	40
		Liikuntasaumalaitteet	20
		Muut varusteet	20
		Siltapaikka	30
Liikennemääräkertoimet	KVL	<= 350	1,00
		350 - 1500	1,00
		1500 - 3000	1,00
		3000 - 6000	1,00
		> 6000	1,00
Vaurion pisteet	Rakenneosan kuntoarvio	0 Uudenveroinen	1,0
		1 Hyvä	2,0
		2 Valtava	4,0
		3 Huono	7,0
		4 Erittäin huono	11,0
	Vaurion kiireellisyys	10 Heti	5,0
		11 < 2 v	5,0
		12 2 - 4 v	3,0
		13 > 4 v	1,0
		14 Ei korjata	0,5
	Vaurioluokka	1 Lievä	1,0
		2 Merkittävä	2,0
		3 Vakava	4,0
4 Erittäin vakava		7,0	

Korjaustarveindeksi ja vauriopistesumma ovat sellaisia indeksejä, joiden laskennassa käytetään yksittäisiä havaittuja vaurioita. Vauriopistesummassa käytetään kaikkia havaittuja vaurioita ja korjaustarveindeksissä painotetaan pahinta vauriota.

Hyödyntämätön tieto on yksittäisten vaurioiden vakavuusluku, joka saadaan vaurion määrään, vakavuuden ja korjaamisen kiireellisyyden tulona.

Taulukossa 33 on esimerkki, miten vakavuuden ja korjauksen kiireellisyyden ja niille annettujen painokertoimien avulla saataisiin vauriolle eräänlainen riskiluku, joka vähentäisi dimensiota ja olisi helpommin luokiteltavissa. Riskiluvun luokittelu kolmeen luokkaan voisi tapahtua esimerkiksi luokkarajoilla 5 ja 20 tai vastaavasti viiteen luokkaan luokkarajoilla 3, 10, 15 ja 25.

Taulukko 30. Maantiesillan vakavuusluokan ja kiireellisyysluokan painokertoimien tulot. Käytetään KTI:n ja VPS:n laskemisessa.

		Urgency class					
		cl	10	11	12	13	14
Severity class	cl	p	5	5	3	2	0.5
	1	1	5	5	3	2	0.5
	2	2	10	10	6	4	1
	3	4	20	20	12	8	2
	4	7	35	35	21	14	3.5

Kuntoluokka

Siltojen kunnon kehittymistä ja sen trendejä vertaillaan viisiportaisen kuntoluokituksen perusteella. Silta voi olla kokonaisuutena vain yhdessä kuntoluokassa. Kuntoluokka määräytyy lasketun yleiskunnon ja arvioidun yleiskunnon sekä muutaman lisätekijän perusteella Taulukon 34 mukaisesti.

Taulukko 31. Maantiesiltojen viisiportaisen kuntoluokituksen luokkien kuvaukset ja luokkarajat.

Kuvaus kunnosta	Luokittelukriteerit		
	Varsinaiset sillat	Putkisillat	Rautatiesillat
5 ERITTÄIN HYVÄ Uusi tai lähes uuden veroinen silta.	LYK = 0,00–0,50 ja YKA = 0	LYK = 0,00–0,50 ja YKA = 0	KTI = 0
4 HYVÄ Hyväkuntoinen silta, jossa on normaalia kulumista ja ikään- tymistä. Sillan yleiskunto voi olla hyvä, vaikka jonkin pää- rakenneosan kuntoarvio on tydyttävä tai huono.	LYK = 0,51–1,25 tai YKA = 1 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 0,51–1,25 tai YKA = 1 eikä kumpikaan huonompi	KTI = 0,1 - 49,9
3 TYYDYTTÄVÄ On jo puutteita ja vaurioita, kuten rapautumista tai ruos- tumista, mutta korjaamista voidaan vielä siirtää. Yleis- kunto voi olla tyydyttävä, vaikka jonkin päärakenne- osan kuntoarvio olisikin huono tai erittäin huono.	LYK = 1,26–2,00 tai YKA = 2 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 1,26–2,00 tai YKA = 2 tai jompikumpi on huonompi mutta teräsputkessa ei ole vaurioluokan 4 korroosiovau- riota	KTI = 50 - 139,9
2 HUONO Useita selvästi havaittavia korjausta vaativia vaurioita tai jokin yksittäinen vakava vaurio. Erikoistarkastuksen ja peruskorjauksen tarve on ilmeinen.	LYK = 2,01–2,75 tai YKA = 3 eikä kumpikaan huonompi tai kansilaatan vesivuotovau- rio vaurioluokassa 4 tiel- lä, jota ei suolata	LYK = 2,01–3,25 tai YKA = 3 eikä kumpikaan huonompi ja teräsputkessa on vaurioluokan 4 korroosiovaurio	KTI = 140 - 299,9 Sillassa on kor- keintaan 2 va- kavaa vauriota (Vlk = 3 tai 4) tai vaurio aihe- uttaa nopeusra- joituksen
1 ERITTÄIN HUONO Silta on täydellisen peruskor- jauksen tai jopa uusimisen tarpeessa. Kunto ei ole hy- väksyttävissä. Vaurioita on niin paljon, että pelkästään niiden kirjaaminen on työläs- tä.	LYK = 2,76–4,00 tai YKA = 4 tai kansilaatan vesivuotovau- rio vaurioluokassa 4 suo- latulla tiellä (hoitoluokat Isk, Is ja I)	LYK = 3,26–4,00 tai YKA = 4	KTI = 300 tai yli Silta on juna- turvallisuus- riski

LYK = laskettu yleiskunto

YKA = sillantarkastajan antama yleiskuntoarvio

KTI = rautatiesiltojen korjaustarveindeksi, joka on eri kuin tiesiltojen

Maanteiden muut taitorakenteet

Maanteiden laitureille on olemassa samat tietolajit ja sama tarkastusjärjestelmä kuin silloillekin. Minkäänlaisia kuntoindeksejä tai vastaavia ei ole vielä kehitetty.

Maantietunneleista ei ole toistaiseksi myöskään tarkastustietoihin perustuvia indeksejä käytössä.

Rautatiet

Rautateiden sillat

Rautatiesiltojen tarkastustiedoista tuotetaan ohjelmoinnissa käytettäväksi perusindeksiksi korjaustarveindeksi, joka on ns. yhdistelmäindeksi sillan vaurioista. Korjaustarveindeksi lasketaan vaurioiden vakavuuden ja kiireellisyyden perusteella painotamalla pahinta vauriota muita enemmän.

Korjaustarveindeksillä kuvataan mm. seuraavia asioita:

- kohteiden priorisointi korjausohjelmassa
- sillaston kunnan kehittymisen seuranta
- siltojen keskinäinen vertailu ja arvostelu
- trenditarkastelut ja ennustaminen
- tavoitteiden asettelu

Korjaustarveindeksin laskentaan liittyy seuraavia yksityiskohtia:

- ei suosi sellaisia siltoja, joilla on paljon lieviä vaurioita
- ei huomioi sillan kokoa ja laajuutta eikä mahdollista kunnan paraneman suhteuttamista korjauskustannuksiin
- painottaa vaurion tärkeyttä ja kiireellisyyttä

Taulukko 32. Rautatiesiltojen korjaustarveindeksin laskentaperusteet.

Kriteeri	Pisteet
Vaurioluokka	
1 lievä	1
2 kohtuullinen	2
3 vakava	4
4 erittäin vakava	7
Toimenpiteen kiireellisyys	
4 korjataan HETI	10
3 korjataan 1-2 vuoden sisällä	10
2 korjataan 3-5 vuoden sisällä	3
1 korjataan peruskunnossapitotoimenpiteenä	3
0 korjausta voidaan siirtää	1
Rakenneosaryhmän kuntoarvio EI TEHDÄ RAUTATIESILLOILLE. Oletetaan, että rakenteen vaurioluokka = rakenneosan kuntoarvio.	
Rakenteen vaurioluokka	1
0 rakenneosa kunnossa	2
1 lievä	4
2 kohtuullinen	7
3 vakava	10
4 erittäin vakava	

Sillat voidaan luokitella viiteen kuntoluokkaan samaan tapaan kuin maantiesillatkin. Kuntoluokituksen luokkarajat. On vastaava kuin tiesilloilla pienin eroin. Lisäksi rekisterin aineistosta on laskettavissa yleiskuntoarviot niin sillalle kuin rakenneosille. Ker- toimet ja päärakenneosat on alustavasti mietitty ja ne poikkeavat hieman tiesiltojen vastaavista.

Rautateiden rummut

Rautatierumpujen tarkastustiedoista on tuotettu perinteisiä hallintaraportteja varten ohjelmoinnissa käytettäväksi perusindeksiksi korjaustarveindeksi, joka on ns. yhdis- telmäindeksi rumpun vaurioista ja kuivatuksen toimivuudesta. Korjaustarveindeksi lasketaan vaurioiden vakavuuden ja kiireellisyyden perusteella painottamalla pahinta vauriota muita enemmän ja lisäämällä kuivatuksen toimivuudesta saatavat lisäpisteet (Taulukko 36, Kuva 40).

Korjaustarveindeksillä kuvataan mm. seuraavia asioita:

- kohteiden priorisointi korjausohjelmassa
- rumpujen kunnan kehittymisen seuranta
- rumpujen keskinäinen vertailu ja arvostelu
- trenditarkastelut ja ennustaminen
- tavoitteiden asettelu

Taulukko 33. Rautatierumpujen korjaustarveindeksin laskentaperusteet (Rautatierumpujen hallintaraportti, 2009),

Kriteeri	Pisteet	Kriteeri	Pisteet
Vaurioluokka		Rummun täyttöaste	
1 lievä	2	0 Rumpu tyhjä	0
2 kohtuullinen	8	1 Liettynyt hieman (alle 10 cm)	5
3 vakava	28	2 Liettynyt paljon (yli 10 cm)	10
4 erittäin vakava	70	3 Rumpu tukossa	50
		4 Rumpu veden peitossa	120
Toimenpiteen kiireellisyys		Ojien kunto	
4 korjataan HETI	10	0 Ojat kunnossa	0
3 korjataan 1-2 vuoden sisällä	10	1 Ojat liettynyt	5
2 korjataan 3-5 vuoden sisällä	3	2 Ojat pusikoituneet	20
1 korjataan peruskunnossapitotoimenpiteenä	3	3 Ojat padottavat	60
0 korjausta voidaan siirtää	1		

$$R_{kti} = \text{Pahimman vaurion pisteet} + k * \text{muiden vaurioiden pisteiden summa} + \text{täyttöaste- ja ojien kuntopisteiden summa}$$

eli

$$R_{kti} = \text{Max}_i (\text{kiireellisyys}_i * \text{vaurioluokka}_i) + k * \sum_{j,j < j_{\max}} (\text{kiireellisyys}_j * \text{vaurioluokka}_j) + \text{täyttöaste pisteet} + \text{ojien kuntopisteet}$$

missä $k=0,1$ (määritelty kokemuseräisesti).

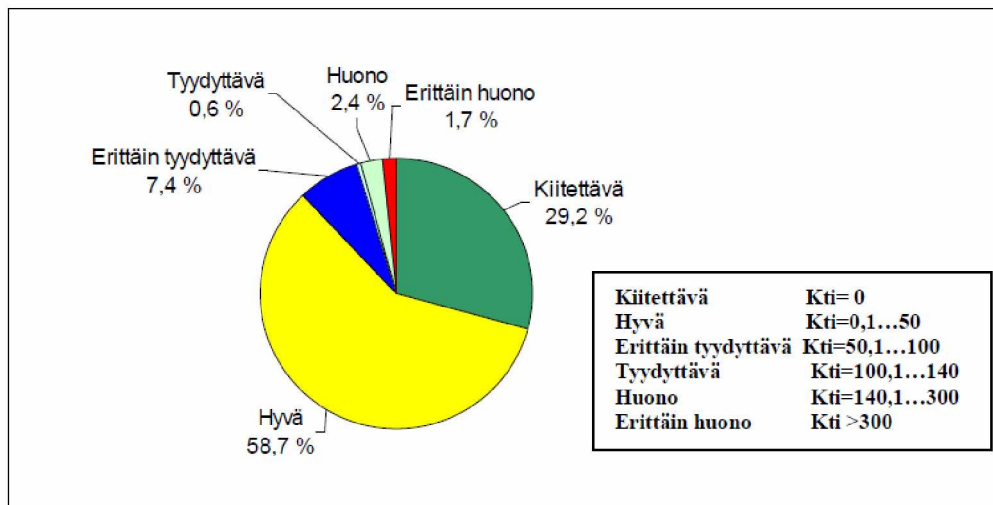
Kuva 40. Rautatierummun korjaustarveindeksin laskenta.

Rumpujen kuntoon vaikuttaa erityisesti kuivatuksen toimivuudesta saadut lisäpisteet (Taulukko 37). Rumpujen kunto luokitellaan kuusiportaisella luokituksella korjaustarveindeksin perusteella (Kuva 41).

Rumpujen toiminnallisia puutteita ovat joko mittoihin liittyvät tai käyttöä rajoittavia puutteet.

Taulukko 34. Rautatierumpujen korjaustarveindeksin pistekertymiä 2001-2009.

	rumpuja	Vauriopisteet	Oja ja täyttöastepisteet	Rkti Yhteensä
2001	2357	14 399	26 120	40 519 (ka 17,18)
2002	3514	24 167	32170	56337 (ka 16,03)
2003	3783	36 362	55 696	92 057 (ka 24,33)
2004	4281			96 774 (ka 22,61)
2005	4956	40 070	93 145	133 215 (ka 26,88)
2006	5018	61 696	99 840	161 536 (ka 32,19)
2007	5111	45 866	101 525	147 391 (ka 28,84)
2008	5326	62 257	134 495	196 752 (ka 36,94)
2009	4497	34 739	100 280	135 019 (ka 30,02)



Kuva 41. Rumpujen kuntoluokittelu korjaustarveindeksin perusteella.

Rautatietunnelit

Ratatunneleiden tarkastustiedoista lasketaan kelpoisuusindeksiä, *tukei*, joka koostuu rakenneosien vaurioiden vakavuusluokasta ja korjaamisen kiireellisyydestä sekä turvallisuuteen ja aukkomittaan liittyvistä osista. Vaurioiden vakavuus arvioidaan neljään ja kiireellisyys viiteen luokkaan. Turvallisuuteen ja aukkomittoihin liittyvät tekijät arvioidaan kumpikin neljään luokkaan (Taulukko 38).

Pahimman vaurion pisteet lasketaan sellaisenaan painokertoimilla ja muiden vaurioiden pisteet lisätään painokertoimella 0.1. Lopuksi lisätään turvallisuuteen ja aukkomittoihin liittyvät pisteet oheisen taulukon mukaisesti (Kuva 42). Indeksien rakenne on sama kuin maantiesilloillakin. Jopa vaurioiden vakavuuskertoimet ja kuntoarvioiden kertoimet ovat samat.

Kelpoisuusindeksiä voidaan käyttää mm. seuraavissa tilanteissa:

- kohteiden priorisointi korjausten ohjelmoinnissa
- kunnan seuranta ja tunneleiden keskinäisen tilan vertailu
- tavoitteen asettelu

Taulukko 35. Tunneleiden kelpoisuusindeksin osatekijät.

Kriteeri	Pisteet	Kriteeri	Pisteet
Vaurioluokka		Toimenpiteen kiireellisyys	
1 lievä	2	0 ei korjaustoimenpiteitä	1
2 kohtuullinen	8	1 korjataan peruskunnossapitotoimenpiteenä	3
3 vakava	28	2 korjattava 4-7 vuoden sisällä	3
4 erittäin vakava	70	3 korjattava 1-3 vuoden sisällä	10
		4 uusittava / korjattava HETI	10
Turvallisuuspisteet			
0 Tunneli täyttää turvallisuusvaatimukset			0
1 Tunnelissa lieviä turvallisuuspuutteita			20
2 Tunnelissa runsaasti turvallisuuspuutteita			100
3 Tunneli turvallisuusriski			300
Aukkomittapisteet			
0 Tunneli ei este erikoiskuljetuksillekaan			0
1 Tunneli este erikoiskuljetuksille, mutta muuten ATU:n mukainen			20
2 Tunnelin takia kaksikerrosvaunuilla asetettava nopeusrajoituksia			100
3 Tunnelin takia kaikille junille asetettava nopeusrajoituksia			300

Tunneleiden kelpoisuusindeksiksi esitetään laskukaavaa:

$$\text{Tuke-i} = \text{Pahimman vaurion pisteet} \\ + k * \text{muiden vaurioiden pisteiden summa} \\ + \text{turvallisuuspisteet} + \text{aukkomittapisteet}$$

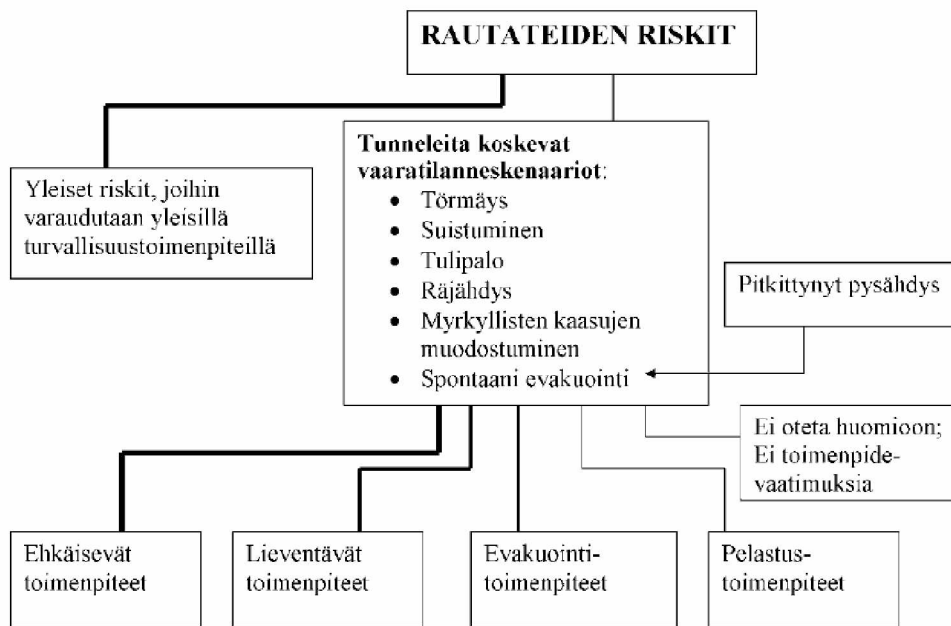
eli

$$\text{Tuke-i} = \text{Maxi} (\text{kiireellisyys} * \text{vaurioluokka}) \\ + k * \sum_{j,j < j_{\max}} (\text{kiireellisyys}_j * \text{vaurioluokka}_j) \\ + \text{turvallisuuspisteet} + \text{aukkomittapisteet}$$

missä $k=0,1$ (määritelty kokemukseräisesti).

Kuva 42. Tunneleiden kelpoisuusindeksin laskenta.

Kunnon ja kelpoisuuden lisäksi tunneleiden riskejä kartoitetaan monipuolisesti. Kuvassa 12 on esitetty tärkeimmät riskinarvioinnin osatekijät. Tunneleita on määrällisesti sen verran vähän, että esitetyn kaltainen riskien arviointi kannattanee jättää erilliseksi alueellisille organisaatioille eikä tuoda siinä laajuudessa taitorakenteiden hallintajärjestelmään. Rakenteelliseen kuntoon ja toimivuuteen liittyvien puutteiden aiheuttamat riskit saattavat olla kuitenkin sellainen osa, joka kannattaisi huomioida hallintajärjestelmän tavoiterakenteessa.



Kuva 43. Rautatietunneliympäristössä mahdolliset riskitekijät.

5.2.3 Nykyisten indeksien arviointia

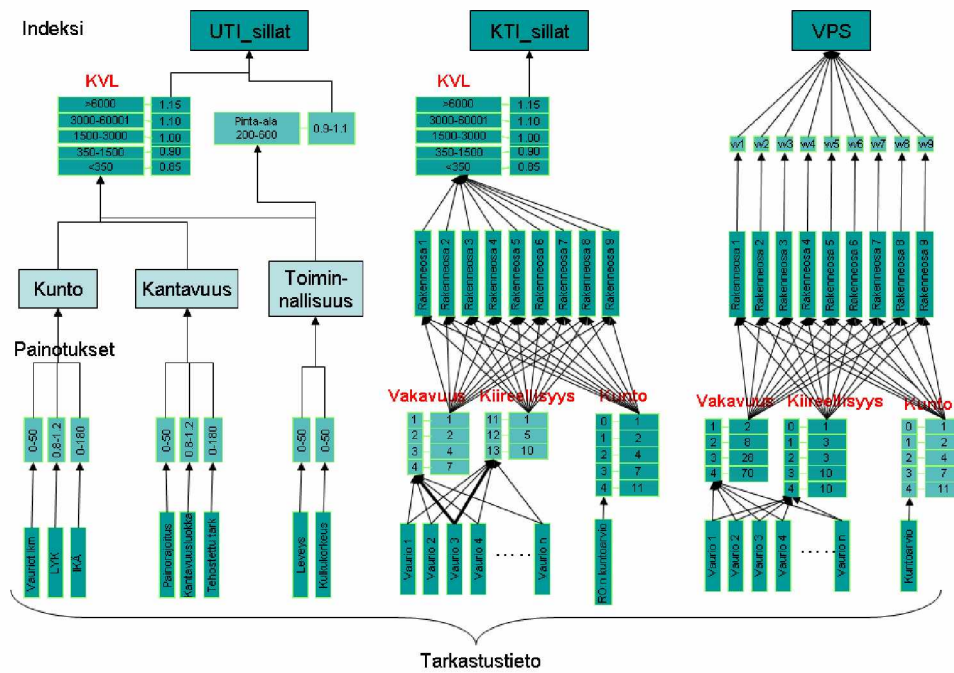
Yhteenvedona taitorakenteille laskettavista indekseistä voidaan todeta seuraavien kuvien (Kuvat 44 & 45) mukaisesti, että silloille, rummuille ja rautatietunneleille on olemassa yhteensä noin kymmenen erilaista indeksiä tai kuntoluokitusta, joita on käytetty toiminnansuunnittelussa sekä kuntotilan tarkasteluun että korjauskohteiden valintaan.

Indeksit ovat peräisin perinteisestä organisaation sisäisestä tarveharkinnasta lähinnä siltaisiinöörin näkökulmasta ja kohdistuvat pääasiassa rakenteiden kunnan hallintaan, mutta ottavat jossain määrin erilaisia toiminnallisia tekijöitäkin huomioon. Indekseissä käytettävien erilaisten korjauskerrointaulukoiden määrä on välillä 15–20 (tosin osa samoja) mistä voidaan päätellä, että insinöörille painokertoimien määrittäminen ei ole ongelma.

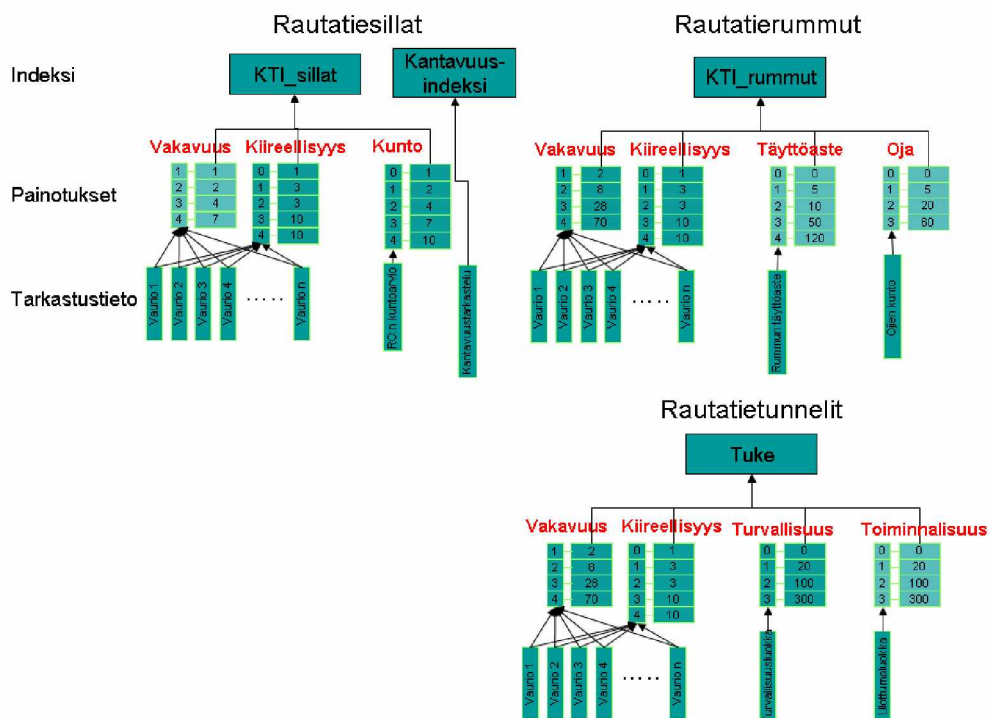
Eri taitorakenteiden indeksit eivät ole vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Ne kattavat vaihtelevasti tarvittavien tavoitealueiden näkökulmia. Kunto näyttelee pääosaa. Osa indekseistä on hyvin päällekkäisiä. Niistä ei käy ilmi, mikä on toiminnallisuuden tai kunnan osuus indeksin arvossa. Indeksit ovat toisaalta melko suoraviivaisia, mutta taas toisaalta niitä on varmaan vaikea erottaa toisistaan ts. arvioida mitä milläkin indeksillä voi tehdä suhteessa muihin. Useiden erillisten organisaatioiden aikana syntyneet indeksit ovat kokonaisuutena uuden yhdistyneen organisaation käytössä seka-vauttaa aiheuttavia.

Niissä indekseissä, joissa on useita tavoitealueita, on suunnittelijan mahdollista vertailla erilaisten painojen vaikutuksia laittamalla jonkun osa-alueen kertoimet nolliksi. Tällöin pystytään periaatteessa erottelemaan eri tavoitealueiden vaikutuksia. Tämä on kuitenkin käyttäjän kannalta melko hankala tapa ja sisältää lisäksi virhelähteen kertoimien ennalleen asettamisessa.

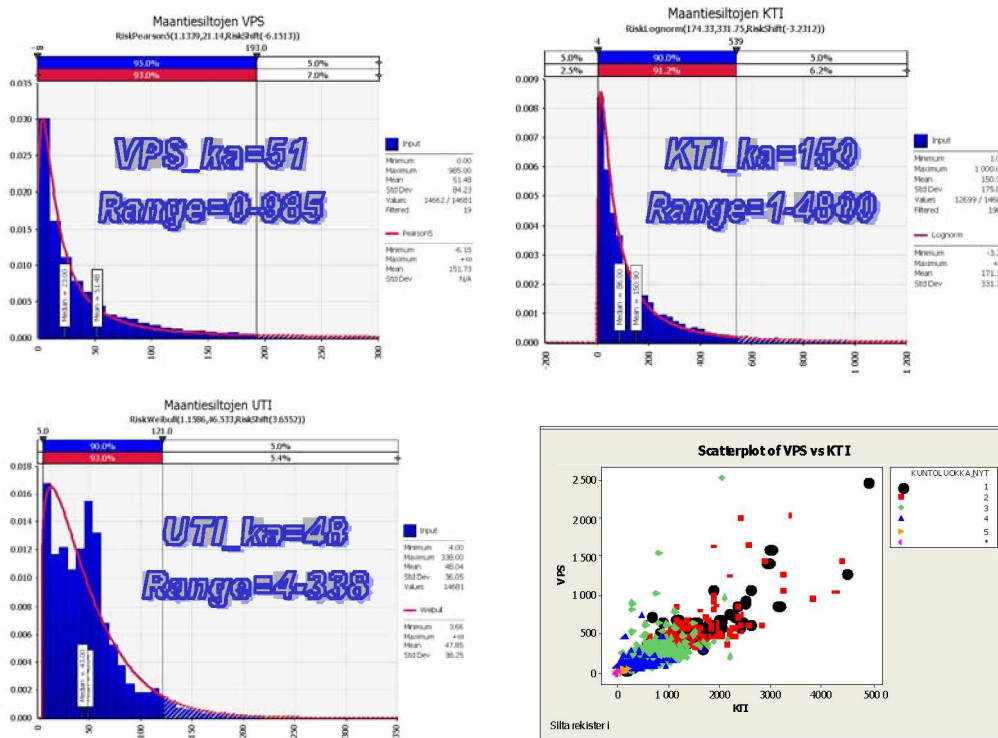
Muita nykyisten indeksien sisältämiä epäkohtia ovat korjauskustannusten kannalta itse taitorakenteen koon tai vaurioiden suhteellisen osuuden puuttuminen sekä hyötyjen tai haittojen arvioimisen kannalta liikenteen määrän huomiointi.



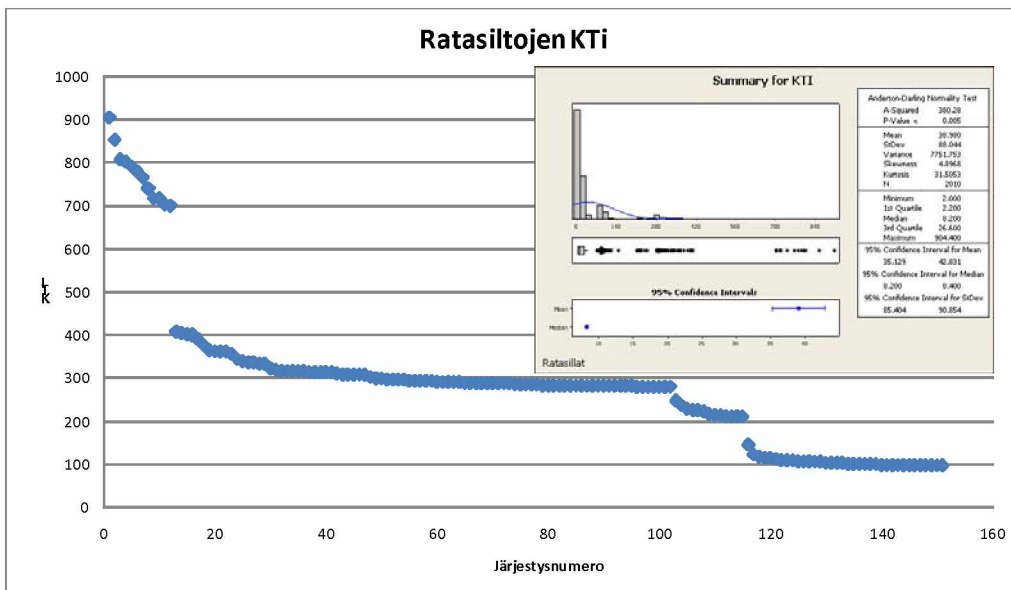
Kuva 44. Maantiesiltojen kunto- ja tarveindeksit. UTI:n ja KTI:n perusteella määrättyvät uusimis- tai korjaustoimenpide. Putkisilloille VPS- ja KTI-indeksien rakenne on sama.



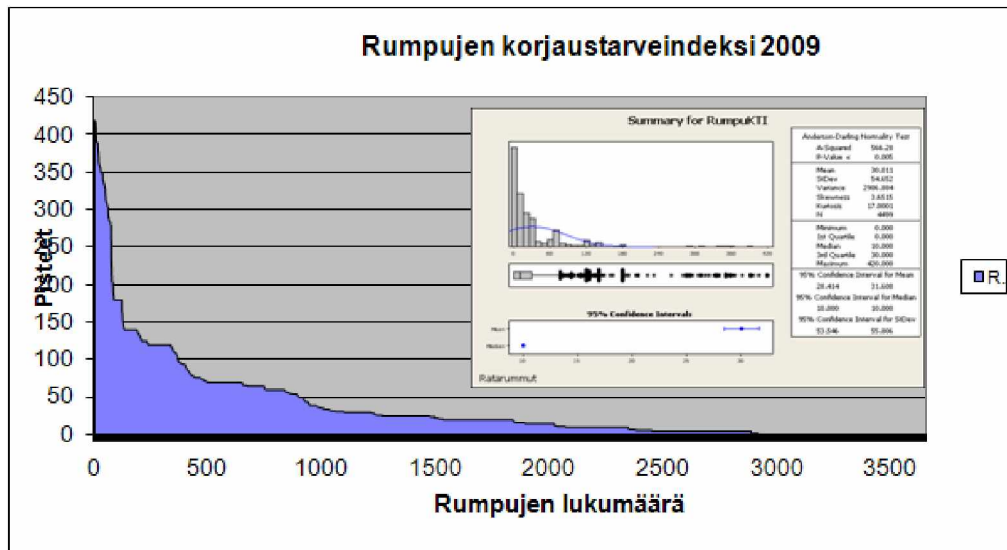
Kuva 45. Rautateiden taitorakenteiden tarveindeksit ovat syntyneet maantiesiltojen KTI:n pohjalta. Rakenneosien käsittely on kuitenkin kevyempi.



Kuva 46. Maantiesiltojen indeksien jakaumia ja vaihtelualueita.



Kuva 47. Ratasiltojen korjaustarveindeksiltään 150 suurinta siltaa. Vaihtelualue 0-900, keskiarvo 39.



Kuva 48. Ratarumpujen korjaustarveindeksi. Vaihtelualue 0-420, keskiarvo 30.

5.3 Pilottitutkimusten tavoiterakenteet

Suomessa tehdyissä pilottitutkimuksissa oli käytetty taulukon 40 mukaisia tavoiterakenteita. Tavoitteiden kriteerejä voidaan arvioida niille yleisesti asetettavien vaatimusten kautta. Tällaisia vaatimuksia ovat ymmärrettävyys, hankittavuus, vaikutettavuus, korreloivuus, kattavuus ja haluttavuus.

Vaikutettavuudella tarkoitetaan sitä, miten paljon kyseiseen kriteeriin pystytään taitorakenteiden korjaustoimilla vaikuttamaan. Haluttavuudella tarkoitetaan sitä, onko kyseiselle kriteerille asiakasta, joka sitä ominaisuutta haluaa.

Piloteissa käytetyt kriteerit ovat pääasiassa oikeita muutamaa poikkeusta lukuunottamatta. Verkollinen asema ja suolalle altistuminen ovat ns. Hardship-tekijöitä, joihin ei pystytä korjaustoimenpiteillä vaikuttamaan ja toiseksi niille ei ole asiakastahoa, joka toivoisi niihin muutoksia. Nämä kriteerit vaikuttavat hankkeiden priorisointiin ja nostavat niitä toimenpideohjelmiin, mutta ne eivät siitä muutu miksikään. Ne toimivat eräänlaisina muuttuvina painokertoimina.

RPM-pilotissa on lisäksi kaksi muuttujaparia, joissa kummatkin tekijät korreloivat toistensa (VPS/KTI 88 % ja VERKAS&SUOLA) kanssa ja aiheuttavat lineaariseen optimointitehtävään epälineaarisuutta. Epälineaarisuus näkyy seuraavassti:

Jos lineaarisen optimointiongelman tavoitefunktio on muotoa:

$$Y=a*X_1+b*X_2, \text{ missä } X:t \text{ ovat tavoitteita/kriteerejä}$$

niin epälineaarinen tavoitefunktio on yleensä muotoa:

$$Y=a*X_1+b*X_1^2+c*X_2 + d*X_2^2$$

Lineaarinen tavoitefunktio muuttuu epälineaariseksi jos sen osat korreloivat keskenään ts. niillä on keskinäistä riippuvuutta:

$$Y=a*X_1+b*X_2+c*X_1*X_2,$$

Lisäksi komposiitti-indeksit (VPS & KTI) ovat muodostuneet niin monesta eri osasta monien erilaisten kertoimien kautta, että on syytä epäillä, miten ymmärrettäviä ne lopulta ovat.

Taulukko 36. Piloteissa käytettyjen tavoitteiden analyysi.

Indeksi\Vaatimus		Ymmärrettävyys	Hankittavuus	Vaikutettavuus	Korreloivuus	Kattavuus	Haluttavuus
RPM-pilotti	Vauriopistesumma (VPS)	??	OK	OK	KORR	OK	OK
	Korjaustarveindeksi (KTI)	??	OK	OK	KORR	OK	OK
	Toiminnalliset puutteet TM	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Verkollinen asema (VERKAS)	OK	OK	EI	KORR	OK	EI
	Suolalle altistuminen (SUOLA)	OK	OK	EI	KORR	OK	EI
	Esteettisyys (ESTETS)	OK	OK	OK	OK	OK	OK
SMAA-pilotti	Vauriopistesumma (VPS)	??	OK	OK	OK	OK	OK
	Verkollinen asema (VERKAS)	OK	OK	EI	KORR	OK	EI
	Puute leveydessä (LEV)	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Puute kantavuudessa (KANT)	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Suolalle altistuminen (SUOLA)	OK	OK	EI	KORR	OK	EI
	Esteettisyys (ESTETS)	OK	OK	OK	OK	OK	OK

5.4 Suositukset

5.4.1 Vertailtavuuden lisääminen

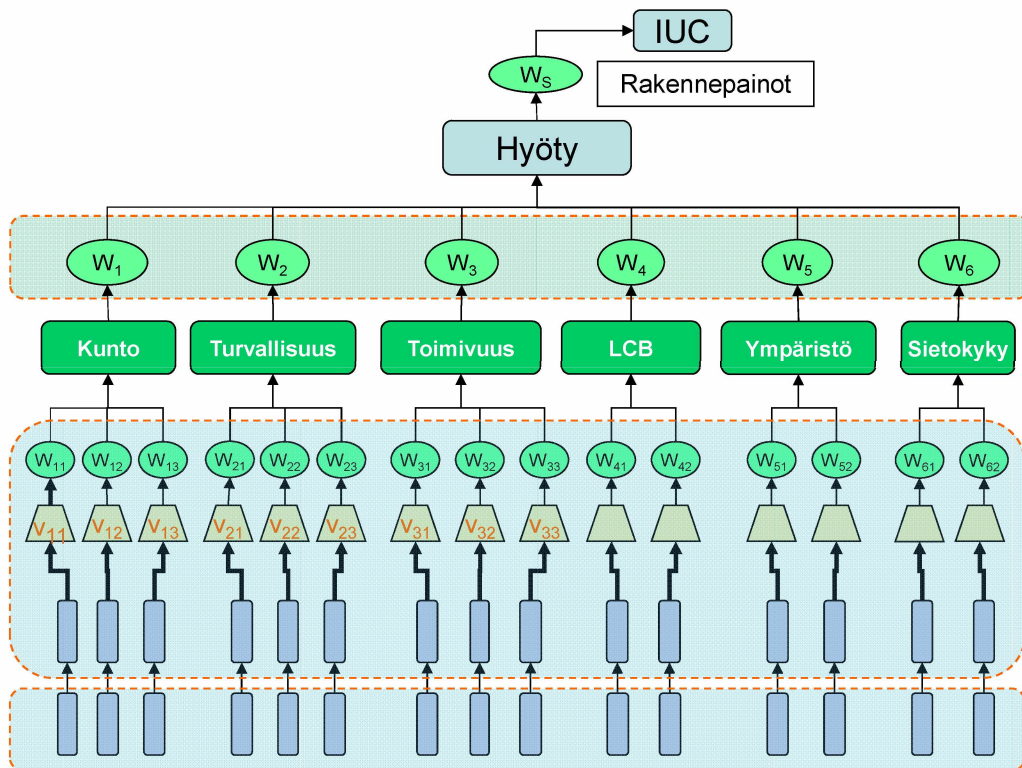
Toiminnansuunnittelun akuuttien yhtenäisystarpeiden kannalta kannattaisi luoda yhtenäinen viisiportainen kuntoluokittelu kuvaamaan pelkästään taitorakenteiden kuntotilaa. Tämä mahdollistaa kaikkien rakenteiden (ei ainoastaan taitorakenteiden) kunnan keskinäisen vertailun karkealla tasolla. Tämä asia ei liity tähän projektiin ja on todennäköisesti selvä jo ennestään.

5.4.2 Suositeltava tavoiterakenne

Hankkeiden valintamenetelmän kehittäminen edellyttää laajemman alueen kattavia kriteerejä ja optimointia. Optimoinnin perustana olevat kriteerit, tavoitteet kannattaa pitää toisistaan erillään, jotta suunnittelu monipuolistuu ja tulee läpinäkyvämmäksi. Tämä edellyttää monitavoiteoptimointimenetelmien käyttöönottoa. Monitavoiteoptimointia varten laadittava kriteeristö kannattaa suunnitella sen edellyttämistä lähtökohdista.

Monitavoiteoptimoinnin kannalta seuraavaksi kannattaisi rakentaa yhtenäinen kaikkien osapuolten kannalta kuvattu hyötyyn tähtäävä monipuolinen tarkastelukehikko, joka sisältää monitavoiteoptimoinnin kannalta tarpeelliset (tärkeimmät tavoitealueet) osat (Kuva 49). Nämä osat kannattaa pitää toisistaan erillään niin, että niiden painoja

voidaan suunnittelussa muuttaa ja painojen vaikutus voidaan koko ajan nähdä. Hyötyjen ja kustannusten vertaamisen kannalta olisi tärkeää saada mukaan liikenteen määrä ja taitorakenteen ja sen vaurioiden laajuus.



Kuva 49. Ehdotettu tavoiterakenne sisältää kuusi päätavoitealuetta, joiden sisältö voidaan määrittellä alatavoitealueiden ja niihin liittyvien mallien avulla vapaasti mahdollisuuksien mukaan.

Minimivaatimus tavoitealueiksi on neljä tavoitetta; kunto, turvallisuus, toiminnallisuus ja kustannukset. Kunto-osalla huolehditaan omaisuuden tilasta ja säilyvyydestä, turvallisuusosalla tärkeästä turvallisuusnäkökulmasta, toiminnallisuudella uusimistarpeiden näkökulmasta ja kustannuksilla ylläpidon taloudellisuudesta. Toiminnallisuuspuutteista johtuvat lisäajokustannukset voisivat olla yhtä hyvin myös kustannusten alla. Edellisten lisäksi yleensä ympäristöön liittyvät vaikutukset ovat mukana, joten se olisi viides tavoitealue. Lisäksi tulee olla mukana kuudes näkökulma, joka on rakenteiden kestävyys/haavoittuvuus erilaisia ei-toivottuja ylikuormitus yms. kohtaan. Tavoitealue halutaan pitää luonteeltaan positiivisena, jolloin kestävyys on positiivinen kuvaus ja esim. haavoittuvuus tai vahingoittuvuus ovat negatiivisia.

Tavoitealueiden keskinäisten painojen käyttö pidetään erillään malleista. Keskinäiset painot ovat suunnittelijan pelivälineitä, joilla hän voi tarkastella, mitä vaikutuksia niiden muuttamisella on ja oppia tuntemaan omaa päätöksentekotilannetta paremmin. Painojen muuttaminen ei liene niin tärkeää desimaalitasolla, vaan enemmänkin pois/päälle tasolla, jolloin nähdään, mitä osaa kukin yksittäinen tavoite: toiminnallisuus, kunto, turvallisuus jne. näyttävät ja opitaan tuntemaan päätöksentekotilannetta paremmin. Lisäksi saadaan vaikutuksia esim. liikenneturvallisuuden tulostavoitteeseen, mitä ei aiemmin ole saatu tehtyä. Tavoitealueiden koostuminen osatavoitealueista ja niiden koostuminen lähtötiedoista erilaisten mallien kautta ovat kehitystyön yhteydessä suoritettavan mallinnuksen aluetta eikä malleja tarvitse päästä

muuttamaan enää käyttövaiheessa. Malleja toki aina parannetaan ja kehitetään, mutta sitä työtä tehdään askelittain ja tulokset otetaan käyttöön hallitusti.

Hyötyteorian mukainen monitavoiteoptimointi pystytään ottamaan käyttöön strukturoimalla taitorakenteiden toiminnansuunnittelun pohjaksi vähintään neljän (tai viiden) osa-alueen kattava kriteeristö ja laatimalla siihen tarvittavat alitavoitteet ja niiden määräytymiseen tarvittavat mallit. Skaalaukset ja painojen valinta ovat yksi osa monitavoitteisten tekijöiden keskinäisen järjestyksen arviointia.

Hyötyfunktio on summafunktio, johon on helppo lisätä tekijöitä. Tämä mahdollistaa sen käyttöönoton aluksi suppeampana ja tarpeen mukaan myöhemmin laajennettuna. Monitavoitteellisen tarkastelutavan käytöllä on jo sinänsä monia positiivisia vaikutuksia kuten:

- suunnittelija oppii tuntemaan päätöksentekotilanteensa paremmin
- suunnittelu/päätöksentekotilanteesta tulee tekijälleen mielenkiintoisempi
- päätösten seurauksia pystytään tarkastelemaan systemaattisemmin
- omat tavoitteet pystytään pohtimaan ja ilmaisemaan täsmällisemmin
- tehtyjen päätösten perusteet saadaan läpinäkyvämmiksi
- taitorakenteiden hallinta yhtenäistyy ja monipuolistuu
- hyötyjen arviointi lähenee asiakastahoja
- tietotekniikan käyttö monipuolistuu (verrattuna nykyiseen käyttöön)
- tehtyjen päätösten ja suunnitteluvalintojen seuranta mahdollistuu

Taulukko 37. Tavoitealueiden suhde elinkaarikustannusten laskentaohjeeseen.

Tavoitealueet (MTO) ↓	Kustannusten kohdistuminen (Ohje)		
	Väylänpitäjä	Väylän käyttäjä	Yhteiskunta
	Suunnittelu-, rakentaminen ja kunnossapito	Työmaan aikakustannukset	Työturvallisuus-, ympäristö- ja liikenneonnettomuudet
Kunto	-	-	-
Turvallisuus	-	-	Onnettomuusriskit
Toimivuus	-	Toiminnallisista puutteista aiheutuvat lisäajokustannukset	-
Elinkaarikustannukset	Ylläpito- ja uusimiskustannukset	-	-
Ympäristö	-	-	Työmaasta ja toiminnallisista puutteista aiheutuvat lisäpäästöt
Sietokyky	Riskit	-	-

5.4.3 Esimerkki alatavoitealueista ja malleista

Kokonaishyöty lasketaan osavaiheen 2 raportissa kuvatulla kaavalla $U = \sum w_i \cdot v(z_i)$, missä w on tavoitealueen painokerroin ja $v(z)$ on skaalattu hyötyfunktio ja z on skaalattoman hyötyfunktion, z , määrittäminen ja sen jälkeen sen skaalaaminen v . Oheisessa esimerkissä kuvataan skaalaamattoman hyötyfunktion, z , määräytymistä.

Esimerkkinä alatavoitealueista on toiminnallisuuteen liittyvät alatavoitteet, jotka ovat sillan mittoihin tai kantavuuteen liittyvät liikennettä rajoittavat puutteet (Kuva 50). Nämä jaotellaan yleensä kolmeen osaan, mikä olisi suoraan osatavoitejako:

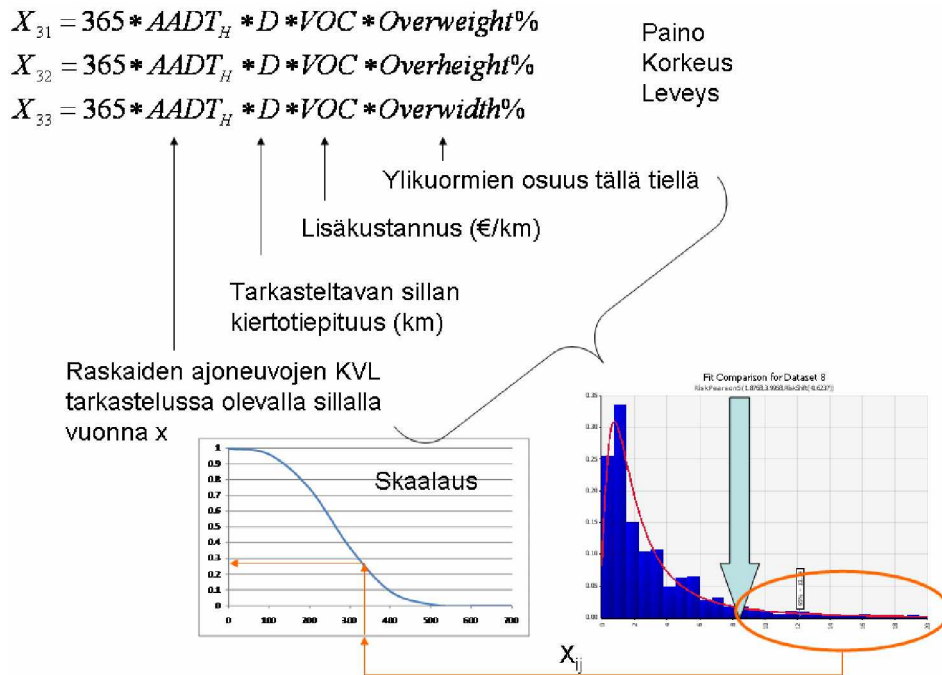
- Kuormituskapasiteetin puutteesta tai painorajoituksesta aiheutuva lisäajokustannukset
- Alikulkukorkeudesta aiheutuvat lisäajokustannukset
- Leveydestä aiheutuvat lisäajokustannukset

Edellisessä luvussa esitetyn kuvan päätavoitealue 3 sisältää luetellut osatavoitealueet. Lähtötietoina tarvitaan ao. sillan raskaiden ajoneuvojen liikennemäärät (yli ja ali), raskaiden ajoneuvojen paino-, leveys- ja korkeusjakaumat, sillan rajoittavat mitat sekä kiertotiepituus ja sen ajamiseen kuluva aika(arvio).

Sillan rajoite (esim. painorajoitus) määrää sen osuuden, joka raskaasta liikenteestä joutuu kiertämään sillan. Lisäajokustannus voidaan laskea Liikenneviraston normaalien ajokustannusten laskentaperusteiden mukaan ja lopputulos on kunakin vuonna kertyvien lisäkustannusten määrä euroina. Tämä lisäajokustannus tulee lisäksi skaalata välille 0-1. Skaalauksessa kannattaa harkita, josko siinä käytettäisiin esim. kansineliölle laskettua kustannusta, koska toimenpidekustannuksetkin useimmiten arvioidaan pinta-alaa kohden. Useiden vuosien tarkastelussa liikenteessä tapahtuva kasvu tai vähenemä sekä kustannusten diskonttaus tulee luonnollisesti ottaa mukaan.

Painojakauma voi olla yhteinen tietyn tieluokan teille ja ainoastaan liikennemäärä ja kiertonopeus ovat siltakohtaisia. Painoihin, ja ajoneuvon mittoihin liittyvät rajoitukset saattavat korreloida toistensa kanssa ja siksi onkin syytä poistaa se osuus laskennasta kaksoislaskennan välttämiseksi.

Vaihtoehtoinen tapa huomioida lisäajokustannukset on ottaa toiminnallisuustavoitteeseen mukaan ainoastaan kiertotarpeen kokonaismäärä, aika, epämukavuus yms. ja kohdistaa varsinaiset lisäajoneuvokustannukset kustannustavoitteeseen, jolloin ne olisivat mukana elinkaarianalyysin kustannustarkastelussa.



Kuva 50. Sillan rajoituksista aiheutuvien lisäajokustannusten laskentaperiaate. Sillan painorajoitus määrää miten suuri osuus raskaiden ajoneuvojen painojakaumasta ylittää painorajoituksen ja siten sen liikenteen määrän, johon kiertotarve kohdistuu.

Taulukko 38. Tavoitealueiden laskentaesimerkki maantiesilloille.

Taitorakenne	Tavoitealue		Skaalattavan funktion abskissa z	
	Tavoite	Paino	Malli	Osapaino
Maantiesillat	Kunto	W_1	$Z_{11} = \sum w(e) * [Kuntoarvio(e)]$ missä $Kuntoarvio(e) = \sum Vauriok * Kiireellisyys * Määrä$ (Mietittävä miten vaurioiden määrä pystytään huomioimaan)	$w(e)$
	Turvallisuus	W_2	$Z_{12} = \sum w_i * v(X_i)$ X_1 =kannen kuntoluokka (deck cond) X_2 =kaiteiden kuntoluokka (railing) X_3 =tulosuuntaus (0/1) (alignment) X_4 =liikuntasauvojen kuntoluokka (joints)	w_i
	Toiminnallisuus	W_3	$X_1 = 365 * ADT_H * ylipaino\%(L_B) * DET_B$	w_1
			$X_2 = 365 * ADT_H * ylikorkeus\%(H_B) * DET_B$	w_2
			$X_3 = 365 * ADT_H * (W_B) * DET_B$	w_3
	Ympäristö	W_4	$z = f(ELU \text{ tai } \text{haittaluku})$	w
Kestävyys	W_5	$z = \sum f(Occ, Sev, Resil)$	w	
Elinkaaritalous	W_6	$z = f(LCC(\text{Short term}), LCC(\text{Long term}))$	w	

Taitorakenteen 1 kokonaishyöty $U_1 = \sum w_i * v(z_i)$, skaalausfunktiot $v(z)$ puuttuvat

Taulukossa 42 on esitetty esimerkki maantiesiltojen eri tavoitealueiden hyötyfunktion laskennasta. Esimerkissä on periaatteellisen tason malli siitä, miten hyödyn laskenta rakentuu. Taulukossa näkyy, miten kuhunkin osatavoitteeseen vaikuttavat tekijät voidaan listata. Itse mallinnus on kuitenkin tehtävä erikseen. Mallinnuksen jälkeen on lisäksi muodostettava skaalausfunktiot $v(z)$, joiden parametria oheisessa taulukossa vasta lasketaan.

Maantiesiltojen kunnan hyötyfunktio muodostuu suoraviivaisesti rakenneosien kunto-
luokkien jakaumista. Jakaumien taustalla taas ovat kuntoluokat ja niiden muodostamiseen olisi hyvä kytkeä yksittäisten vaurioiden määrä, vakavuus ja korjaamisen kii-
reellisyys. Tällöin saataisiin hyödynnettyä vauriotieto ja kuntoluokka-arviot olisivat tarkempia. Rakenneosien painokertoimina voidaan käyttää vauriopistesumman las-
kentakaavan painoja tai ne voidaan määrittää uudelleen.

Kun skaalattu ja painotettu hyötyfunktio, U_i , on laskettu, niin sen jälkeen tulee vuo-
roon sen painottaminen yhteismitalliseksi taitorakenteen koon tai sen palveleman
liikennemäärän avulla, jonka määräytymistä esitetään tarkemmin luvussa 8.

Seuraavassa taulukossa on esimerkki hyötyfunktion muodostamisesta raitatierum-
muille.

Taulukko 39. Esimerkki hyötyfunktion muodostamisesta kahdelle rautatierummulle.

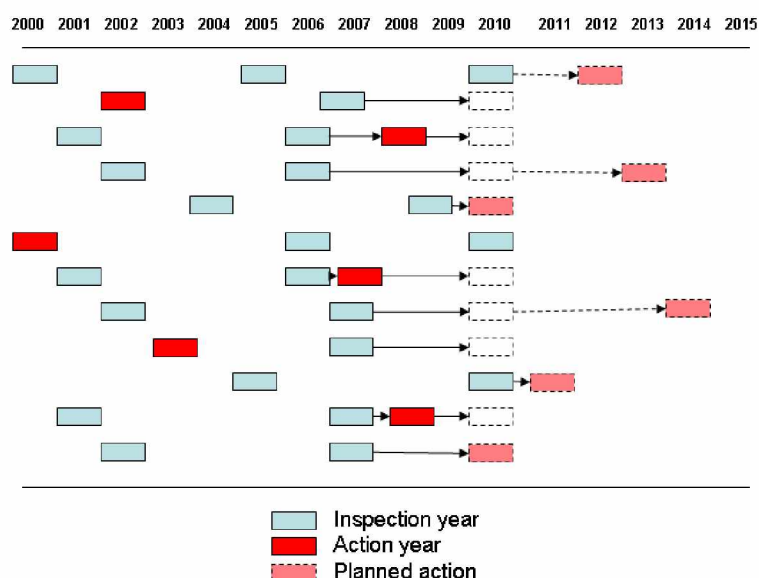
Tavoitealue		Tavoite	Paino	Malli	Osapaino	Mahdolliset arvot	Rakenteen data	Osapaino w _{ii}	Skaalat vi=prosenttisesti kunnossa	wi*vi	MTO-kriteeri (summa)	Politiikka paino Wi	IUC (hyöty)
Taitorakenne Rumpu Kuo-Ilm 525+890	Kunto	W ₁	Vauropisteet = \sum Vaurokkireiellisyys	Yleisarvosana	w11	0...1000	700	60 %	0.3	0.18	0.26	0.25	0.065
					w12	0...1000	= Erittäin huon	40 %	0.2	0.08			
	Tunvallisuus	W ₂	Karttaisuus, painorajoitus	Nopeusrajoitus	w21	kyllä/ei	Ei	30 %	1	0.3	1	0.35	0.35
					w21	kyllä/ei	Ei	70 %	1	0.7			
	Toiminnallisuus	W ₃	Riittävä aukkomitta	Rummun täytföaste	w31	% aukkomitasta	80 %	30 %	0.8	0.24	0.395	0.1	0.0395
					w32	0...4	3	30 %	0.25	0.075			
Ympäristö	W ₄	Radan virheet rummun kohdalla	A,B,C,D tai *	w33	A,B,C,D tai *	D	40 %	0.2	0.08				
				w41	0...3	2	60 %	0.5	0.3	0.7	0.1	0.07	
Kestävyys	W ₅	Rakennetyypin varmuus kestävyydelle	Rakennetyypin varmuus kestävyydelle	w42	kyllä/ei	Ei	40 %	1	0.4				
				w51	heikko, tyyd. hyvä	Kivi (heikko)	75 %	0.33	0.2475	0.3225	0.1	0.03225	
Ei linkeä	W ₆	Uusimiskustannus €/rakenne korjauskustannus €/vuosi kunnossapitokustannus €/vuosi		w52	0...120v	80	25 %	0.3	0.075				
				w61	60 000 €	60 000 €	50 %	1	0.5	0.85	0.1	0.085	
				w62	10 000 €	10 000 €	40 %	0.75	0.3				
				w63	1 500 €	1 500 €	10 %	0.5	0.05				
Yhteensä													0.64175
Tavoitealue													
Taitorakenne Rumpu Äki-Hpi 539+965	Kunto	W ₁	Vauropisteet = \sum Vaurokkireiellisyys	Yleisarvosana	w11	0...1000	283	60 %	0.72	0.432	0.592	0.25	0.148
					w12	5...1	2 = huono	40 %	0.4	0.16			
	Tunvallisuus	W ₂	Karttaisuus, painorajoitus	Nopeusrajoitus	w21	kyllä/ei	Ei	30 %	1	0.3	1	0.35	0.35
					w21	kyllä/ei	Ei	70 %	1	0.7			
	Toiminnallisuus	W ₃	Riittävä aukkomitta	Rummun täytföaste	w31	% aukkomitasta	100 %	30 %	1	0.3	0.775	0.1	0.0775
					w32	0...4	3	30 %	0.25	0.075			
Ympäristö	W ₄	Radan virheet rummun kohdalla	A,B,C,D tai *	w33	A,B,C,D tai *	-	40 %	1	0.4				
				w41	0...3	3	60 %	0.25	0.15	0.55	0.1	0.055	
Kestävyys	W ₅	Rakennetyypin varmuus kestävyydelle	Rakennetyypin varmuus kestävyydelle	w42	kyllä/ei	Ei	40 %	1	0.4				
				w51	heikko, tyyd. hyvä	Betoniputki	75 %	0.75	0.5625	0.6875	0.1	0.06875	
Ei linkeä	W ₆	Uusimiskustannus €/rakenne korjauskustannus €/vuosi kunnossapitokustannus €/vuosi		w52	0...120v	60	25 %	0.5	0.125				
				w61	60 000 €	60 000 €	50 %	1	0.5	0.85	0.1	0.085	
				w62	30 000 €	30 000 €	40 %	0.75	0.3				
				w63	500 €	500 €	10 %	0.5	0.05				
Yhteensä													0.78425

6 Rappeutumismallit

6.1 Yleisiä periaatteita

6.1.1 Kuntoennusteiden merkitys

Hallintajärjestelmässä on useita toimintoja, joissa tarvitaan kuntoennusteita. Ensimmäiseksi halutaan tietää taitorakenteiden nykytila ja sen perusteella määräytyvät korjaustarpeet. Eri taitorakenneryhmien kunnan tarkastuskierrat vaihtelevat huomattavasti ja kuntotilat eivät ole ilman ennustemalleja ajan tasaisia ja yhteismitallisia (Kuva 51).



Kuva 51. Kuntoennusteilla päivitetään vanha tarkastustieto vastaamaan samaa hetkeä. Kuntoennustet käytetään myös lähitulevaisuuden toimenpiteiden ajoittamisessa.

Hallintajärjestelmä toimii rakenteiden hallinnassa ennakoivasti siten, että nykyhetkestä eteenpäin analysoidaan rakenteiden tilan kehittymistä ja lasketaan taloudellisia tunnuslukuja erilaisten toimintastrategioiden paremmuudesta. Ennusteet tarjoavat mahdollisuuden suunnata huomiota menneen perusteella reagoivasta tavasta tulevaisuuteen reagoivaan tapaan. Tällä ominaisuudella on monia etuja:

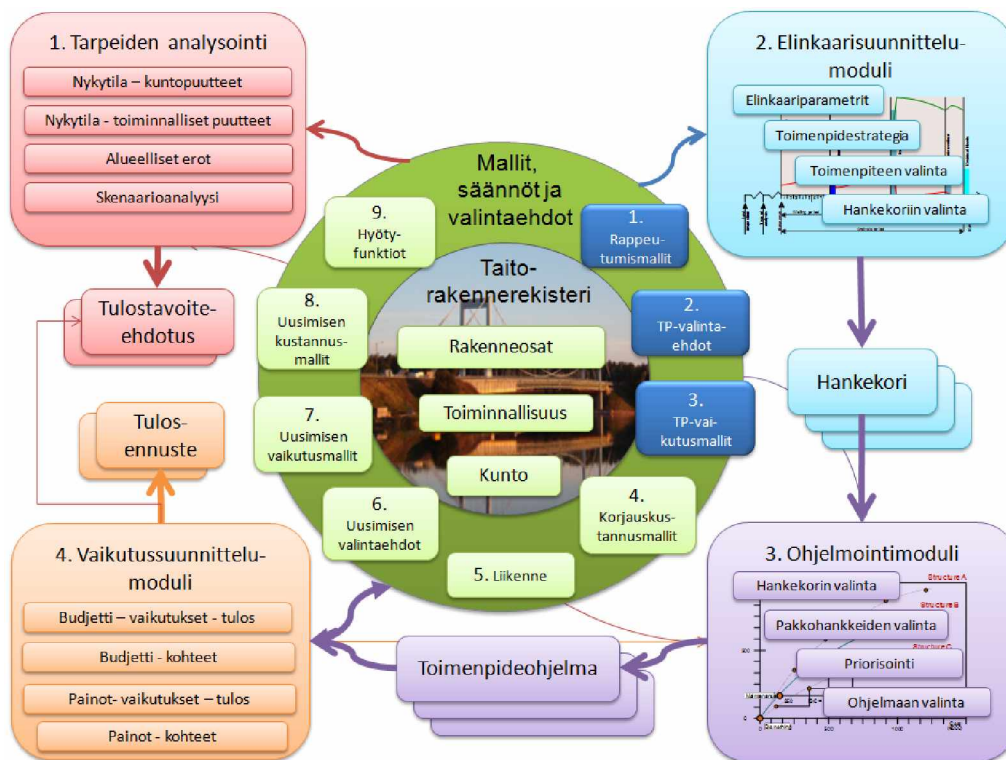
- Väylänpitäjälle tulee mahdolliseksi toteuttaa toimenpiteitä ajoissa sen sijaan, että toimenpiteiden ajoitus myöhästyy ja samalla tulee kalliimmaksi.
- Jos budjetti tai muut rajoitukset rajoittavat korjaustoimintaa, niin siirrettäväksi pystytään valitsemaan sellaisia rakenteita, joiden kuntokehitys mahdollistaa sen vähimmillä seurauksilla.
- Pitkätähhtäyksen toimenpiteiden suunnittelu paranee, koska pystytään hallitsemaan rakenteiden tulevaa käyttäytymistä. Tämä parantaa myös rahoituksen suunnittelua.

- Kuntoennusteet mahdollistavat taloudellisten analyysien tekemisen ja lisäävät siten tietämystä toimenpiteiden vaikutuksista ja taloudellisuudesta. Tämä tietämys on tärkeää myös toimintalinjojen ja muiden ohjeiden laatimisessa.

Hallintajärjestelmässä tarvitaan useita eri malleja, jotka voidaan ryhmitellä seuraavasti:

1. Taitorakenteiden päärakenteiden rappeutumismallit
2. Korjaustoimenpiteiden valintaehdot ja päätöspuut
3. Korjaustoimenpiteiden vaikutusmallit (päärakenteiden kuntoon)
4. Korjaustoimenpiteiden kustannusmallit
5. Liikenne-ennusteet
6. Uusimistoimenpiteiden valintaehdot ja päätöspuut
7. Uusimistoimenpiteiden vaikutus toiminnallisuuteen
8. Uusimistoimenpiteiden kustannusmallit
9. Hyötyfunktion mallit

Tässä luvussa keskitytään pääasiassa ensimmäiseen ja kolmanteen.



Kuva 52. Taitorakenteiden hallintajärjestelmä ja siinä tarvittavia ennustemalleja. Ennustemalleilla (1&3) tarkoitetaan rappeutumista ja toimenpiteiden vaikutusta kuntoon. TP-valintaehdot (2) ovat sääntöjä ja päätöspuita, joiden avulla määräytyy, mitkä toimenpiteet ovat mahdollisia mihinkin kuntotilaan.

Rakennetason analyysissä rappeutumismallit ja toimenpiteiden vaikutusmallit määrittävät tarpeiden suuruuden ja ajoituksen. Kuntoennusteita käytetään yhdessä päätöspuiden ja valintaehtojen kanssa, jotta toimenpide-ehdotukset sopisivat kuhunkin tilanteeseen. Rakenteet käyvät elinkaarensa aikana useita toimenpide-kuluminen-

toimenpide -ketjuja. Elinkaaren aikana toistuvia toimenpiteitä kutsutaan elinkaari-kustannusanalyyseissa toimenpideprofiileiksi. Kuntoennusteet ovat elinkaarianalyy-sien perusta.

Todennäköisyyspohjaiset mallit ovat väyläomaisuuden rakenteiden käyttäytymisen mallintamisessa käytetyimpiä. Tämä johtuu siitä, että deterministisiin malleihin tar-vittavia todellisia syitä ja niiden vaikutuksia ei vielä hallita tarpeeksi eikä niiden in-ventointi ole tässä vaiheessa taloudellista. Todennäköisyyspohjaiset mallit mahdol-listavat puuttuvista selittäjistä johtuvan vaihtelun sisällyttämisen malleihin epävar-muutena. Ne sopivat myös parhaiten luokiteltuun kuntotietoon.

6.1.2 Mallien tarve

Jotta taitorakenteita voitaisiin hallita yhtenevällä tavalla, tarvitaan mallien hallin-taan niiden kokonaisuutta kuvaava rakenne. Mallirakenne voidaan kuvata seuraavalla tavalla:

- Ensimmäinen lähtökohta on taitorakenne itsessään. Samanlaiset rakenteet mal-linnetaan yhtenä ryhmänä. Ryhmät muodostetaan sillä tavalla, että niihin kuulu-vat rakenteet noudattavat samanlaista rappeutumismallia. Yhdistävänä tekijänä voi olla rakenteen tyyppi, päämateriaali jne, jota kuvataan tunnuksella M. Taitora-kenne koostuu useista rakenneosista jaoteltuna joko päärakenteeseen tai niiden lisäksi alirakenneosiin. Rappeutumismallit ulotetaan päärakenteeseen, joista käy-tetään tunnusta E. Näin rakenteiden kannalta mallien hallinnassa käsitellään M-E-ryhmiä.
- Toinen lähtökohta on itse malli eli mallinnettava asia. Rappeutumisen malli-tunnus on DET, vaikutusten mallitunnus on EFF, kustannusmallien mallitunnus on AC ja käyttäjien kustannusten mallitunnus on UC.
- Kolmas mallien rakenteen lähtökohta on hyötyfunktio. Se määrää mitkä asiat on mallinnettava toisistaan erillään. Kuusi kriteeriä on valittu hyötyfunktioon. Ne ovat kunto, turvallisuus, toiminnallisuus, ympäristö, sietokyky ja elinkaari-kustannukset. Nämä kriteerit on kytkettävä rakenteiden tilaan ja toiminnallisiin ominaisuuksiin.
- Lueteltujen kohtien perusteella pystytään arvioimaan miten monta eri mallia hal-lintajärjestelmässä tarvitaan. Tarkastustiedon tulee tukea näitä mallinnuksen tar-peita. Lisäksi tarkastustiedon tulee tuottaa sellaisia olosuhde yms. tietoja, joilla hallitaan mallien käyttäytymistä.

Eri väylämuotojen taitorakenteita tulee tarkastella erillään omina kokonaisuuksinaan ja malliryhmät tulee päättää sen jälkeen tarkemmin. Maanteiden sillat ovat eniten mallinnettu taitorakenteiden osa. Taulukossa 43 on suoisteltu mallien ryhmitely maantieslloille. Taulukossa on yhteensä 63 solua eli periaatteessa tarvittaisiin 63 eri-laista rappeutumismallia. Taulukon soluissa on taustatietona lukumäärätieto siitä, miten monessa sillassa on olemassa kuntoluokka-arvio. Tämä kuvaa siltojen koko-naismäärää melko hyvin kussakin solussa. Mallinnus kannattaa kohdistaa niiden solu-jen osiin, joita on eniten. Lisäksi kannattaa harkita, mitä ryhmiä on mahdollista yhdis-tää samaan malliin. Mallien tarve vähenee näin pienemmäksi.

Taulukko 40. Maantiesiltojen malliryhmät. Seitsemän materiaalityyhmää (M) ja yhdeksän päärakennososaa (E).

Ajoneuvoliikenteen sillat - Bridges for traffic		Rakennososa- Element	Kuntoluokka on tiedossa (kpl) - Condition class is known									Overall condition Yleiskunto
			Substructure	Edge beam	Other superstructure	Wearing surface	Other surface structure	Railings	Joints	Appurtenances	Bridge site	
			Alus- rakenteet	Reuna- palkki	Päälly- rakenne	Päällyste	Pinta- rakenne	Kaiteet	Liikunta- saumat	Varusteet	Paikka	
Materiaali - Material			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	
Varsinaiset sillat - Bridges	Teräsbetoni - Concrete	M1	8486	8071	8510	7940	7973	8033	585	6557	8509	8499
	Jännitetty teräsbetoni - prestressed concrete	M2	1082	1079	1082	1078	1067	1080	399	1046	1081	1081
	Teräs - Steel	M3	846	444	847	546	411	845	258	737	847	845
	Puu - Wood	M4	631	22	631	140	31	627	1	287	631	631
	Kivi - Stone	M5	186	119	185	156	77	160	0	50	186	186
	Yhteensä - Total		11231	9735	11255	9860	9559	10745	1243	8677	11254	11242
Putkiillat - Culverts	Teräksinen putkisilta - Steel culvert	M6	272	15	2916	2389	130	450		552	2916	2909
	Teräsbetoninen putkisilta - Concrete	M7	2	1	12	9	2	1		4	12	12
	Kaikki yhteensä		283	16	2928	2398	132	451		428	2928	2921
Ajoneuvoliikenteen sillat yhteensä			11514	9751	14183	12258	9691	11196	1243	9105	14182	14163

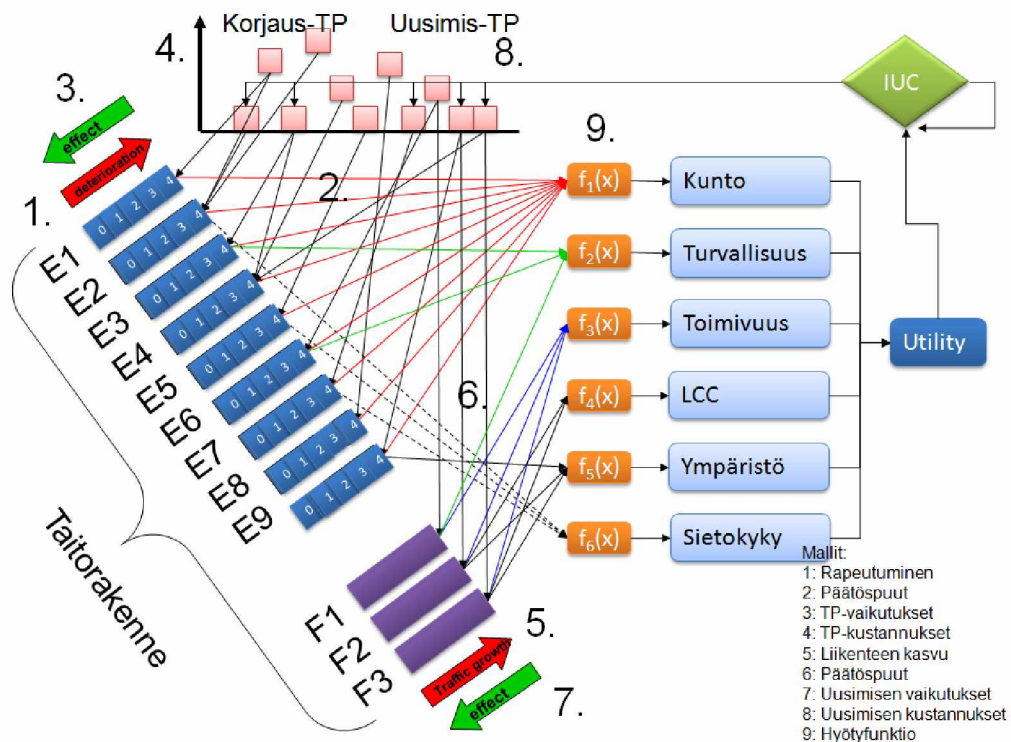
Muille taitorakenteille tarvitaan samalla periaatteella taulukko tilanteista, joihin tarvitaan malli (Taulukko 44). Määrä riippuu siitä miten ne ryhmittyvät materiaalien ja käyttäytymisen perusteella. Tämä määrätään pääasiassa niiden tarkastuskäsikirjoissa, joista ei ole vielä kattavasti laadittu.

Taulukko 41. Muiden taitorakenteiden kuin maantiesiltojen mallirakenne tulee laatia erikseen

Tunnels, railway bridges, piers, retaining walls, and pilar decks		Rakennososa- Element	Overall condition Yleiskunto								
Materiaali - Material			E1	E2	E3	En
		M1 M2 M3 . Mn	Inspection manual, Material categories, Elements, Condition classification, Deterioration models, Action categories, Action effect models								

Kuvassa 53 esitetään eri mallien kytkytyminen monitavoiterakenteeseen ja sitä kautta toimenpiteen valintaprosessiin. Taitorakenteiden kuntotila päivittyy päärakennosien kuntoluokkiin rakennettujen rappeutumismallien avulla. Päätöspuiden ja valinta-ehdojen kautta päärakennosille mahdollistuu toimenpiteitä, joiden vaikutukset parantavat sekä päärakennosien kuntoluokkia että taitorakenteen toiminnallisia ominaisuuksia. Vaikutukset huomioidaan hyötyfunktion kautta toimenpiteiden valintaan vaikuttavaksi kriteeriksi, jonka avulla taitorakenteelle löytyy paras toimenpide ja ajoitus sekä lopullinen ajoitus kun budjettirajoitus ja muiden taitorakenteiden tarve käsitellään yhdessä.

Toiminnallisuus heikkenee liikenteen määrän ja tarpeiden kasvaessa ja paranee uusimistöimenpiteiden vaikutuksesta samaan tapaan kuin kuntokin. Molemat huomioidaan samanaikaisesti hyötyfunktion kautta. Järjestelmään liittyy yhteensä yhdeksän erilaista mallinnustilannetta, joista osat 1-8 kuuluvat mihin tahansa hallintajärjestelmään ja vain osa 9 monitavoiteoptimointiin.



Kuva 53. Hyötyfunktioon tarvitaan päärakenneosittain kuntotieto sekä taitorakenteen toiminnallisuuteen vaikuttavat ominaisuudet ja mitat. Rappautumisessa päärakenneosan kuntoluokka (0,1,2,3,4) siirtyy huonommaksi. Päästöpuut tuovat päärakenneosille toimenpiteitä, jotka palauttavat kuntoluokkia paremmiksi. Paremmat kuntoluokat ja toiminnalliset ominaisuudet vaikuttavat hyötyfunktion kautta kokonaishyötynä, jota verrataan kustannusten kanssa muihin toimenpiteisiin.

6.1.3 Mallien taso

Taitorakenteiden tarkastusprosessit tuottavat eritasoista tietoa rakenneosien kunnosta. Karkeat kuntoarviot tuotetaan sekä taitorakenteelle kokonaisuutena että sen päärakenneosille. Koko rakenteelle kohdistuvat kuntoarvioita ovat D1-tason tietoa. Päärakenneosille kohdistuvaa kuntotietoa on D2-tason tietoa. Alirakenteille kohdistuvat yksittäiset vaurioita sisältävät tiedot ovat D3-tason tietoa.

D1-tason tiedolla ei hallita kovin tarkasti esim. 100 m pitkän sillan kuntoa vaan se on palasteltava vähintään päärakenneosiin. Pienempiä taitorakenteita kuten tukimuurit tai paalulaatat saatettaisiin pystyä hallitsemaan karkeammallakin tiedolla.

Päärakennekohtaisilla tiedoilla kunto hallitaan paremmin, koska ne on jo alun perin jaoteltu tarkoituksen tai käyttäytymisen kannalta yhtenäisiin ryhmiin. Se parantaa myös kustannusten ja vaikutusten hallintaa.

Taulukko 42. Käytettävissä olevat kuntoindeksit sisältävät eri tasolle menevää tarkastustietoa. Hyötyfunktioon tarvitaan päärakenneosakohtaista tietoa.

Datataso	Kuntoarvio	Yhdistetyt tarveindeksit			Hyötyfunktio
		VPS	KTI	UTI	
D1. Rakennetaso luokat 0-4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ verkkotason tarkasteluis- sa ▪ ennustettava 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ rakenneta- son toimin- nallisuusomi- naisuudet ja kuntotieto ▪ ennustettava 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ toiminnalli- suus selittävi- nä muuttujina ▪ ennustettava
D2. Päärakenne- taso luokat 0-4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ painotettu keskiarvo ▪ ennustetta- va 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rakenne- päära- kenne- ja vauriotas o ▪ ei ennus- tettava 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rakenne- päära- kenne- ja vauriotas o ▪ ei ennus- tettava 	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ selittävinä muuttujina ▪ predictable
D3. Alirakenne- ja vauriotaso määrä, vaka- vuus, kiireelli- syy, syy	-			-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mahdollisia selittäviä teki- jöitä ▪ ennustettava

Alirakenneseisiin kohdistuva vauriodata (D3-taso) sisältää yksittäisiä vaurioita, joista tiedetään sijainti, määrä, vakavuus, kiireellisyys, syy ja korjaus ehdotus. Uudistettava oleva siltarekisteri sisältää noin 128 000 vauriokirjausta. Vauriotietoja käytetään komposiitti-indeksien (VPS, KTI) muodostamisessa. Komposiitti-indeksiesissä on monenlaista tietoa ja monenlaisia kertoimia, mikä tekee niiden mallintamisesta vaikean. Myös vauriotason tiedon mallintaminen on osoittautunut melko hankalaksi.

Hyötyfunktion kannalta sopivin tiedon taso olisi päärakenneosien kuntoluokkatieto, jonka muodostamisessa voisi olla vauriotieto mukana.

6.1.4 Tiedon tarve

Kunto

Rappeutumismallien lähtökohtana tulee olla inventointitietoja päärakenneosien luokitellusta kunnosta. Minimivaatimus on, että olisi edes yksi inventointikerta ja sen lisäksi rakenteen ikätieto, jolloin pystyttäisiin mallintamaan rakenteen rappeutumisenopeus. Parempi mallinnuspohja olisi kuitenkin usea tarkastustieto, jolloin kunkin rakenteen todellinen kehitys saataisiin näkyviin.

Mallien laatiminen on osoittautunut iteratiiviseksi prosessiksi, missä aluksi laaditaan malleja vaatimattomammilla tiedoilla ja niitä parannetaan tietojen karttuessa. Mallien pohjana oleva data voidaan luokitella esim. seuraavasti:

- taso 0: rakenteesta ei ole numeerista tietoa tai ainoastaan sen ikä tiedetään
- taso 1: ikätiedon lisäksi yksi tarkastustieto on käytettävissä
- taso 2: kaksi tai useampia tarkastustietoja on käytettävissä
- taso 3: suunnitellun kokeen mukainen tarkastustieto sekä siihen tarvittavien selittävien muuttujien keruu
- taso 4: jatkuvaa mittaus- tai tarkastustietoa lähes reaaliajassa

Tason 0 tilanteessa voidaan tehdä malleja asiantuntijakyselyllä, jota kutsutaan Delphi-menetelmäksi. Rakenteiden ikäkäyttäytyminen saadaan kokeneen asiantuntijaryhmän mielipiteiden avulla. Mallien rakenne on yleensä yksinkertainen ja mal-

lien luotettavuus on vaihteleva. Menetelmä on kuitenkin suhteellisen nopea ja sen avulla päästään kokeilemaan järjestelmää nopeasti. Tätä menetelmää on usein käytetty kun on tehty hallintajärjestelmää ensimmäisen kerran.

Tasolla 1 mallinnus on numeroiden ja kuvien avulla tapahtuva graafinen iteratiivinen menetelmä, missä tarkastellaan samanlaisten taitorakenteiden kuntojakaumia niiden iän funktiona. Samaan kuvaan datan kanssa voidaan sovittaa malleja suoraan ja lopuksi nähdään mikä malli näyttää sopivan dataan parhaiten. Kukin ikäryhmä sisältää eri taitorakenteet ja olosuhdetekijät. Tätä menetelmää voidaan luonnehtia seuraavasti:

- Menetelmällä saadaan luotua kohtalaisen hyviä malleja, mutta selittävien muuttujien sisällyttäminen on hankalaa.
- Mallinnusmenetelmä olettaa, että rakenteiden kunto uutena on aina hyvä, mikä ei ole täysin totta.
- Käytettävää data joudutaan siivoamaan tai sen käytössä tarvitaan hyvää datahistorian tuntemusta, jotta mahdollisten raportoimattomien korjaustoimenpiteiden vaikutus saadaan poistettua. Yleensä poistaminen ei onnistu täydellisesti.
- Suomen päällysteiden vastaavasta mallinnustyöstä on todettavissa, että tällä menetelmällä luotavien mallien laatu on vaihtelevaa. Yksi ongelma on, ettei kaikkiin tilanteisiin löydy dataa.

Tasolla 2 mallinnus tapahtuu enemmän tai vähemmän tilastollisia menetelmiä käyttäen. Mallit muodostetaan tarkastelemalla kahden peräkkäisen tarkastuksen tuottamaa kuntotietoa tietystä yhtenäisestä taitorakenneryhmästä kerrallaan ja mallin siirtymätodennäköisyydet mallinnetaan joko ristiintaulukoimalla tai erilaisia tilastollisia menetelmiä käyttäen (logistinen regressio, general linear model). Muutaman tarkastuskierron jälkeen tämän tasoinen mallinnus on mahdollista. Mallinnusta voidaan luonnehtia seuraavasti:

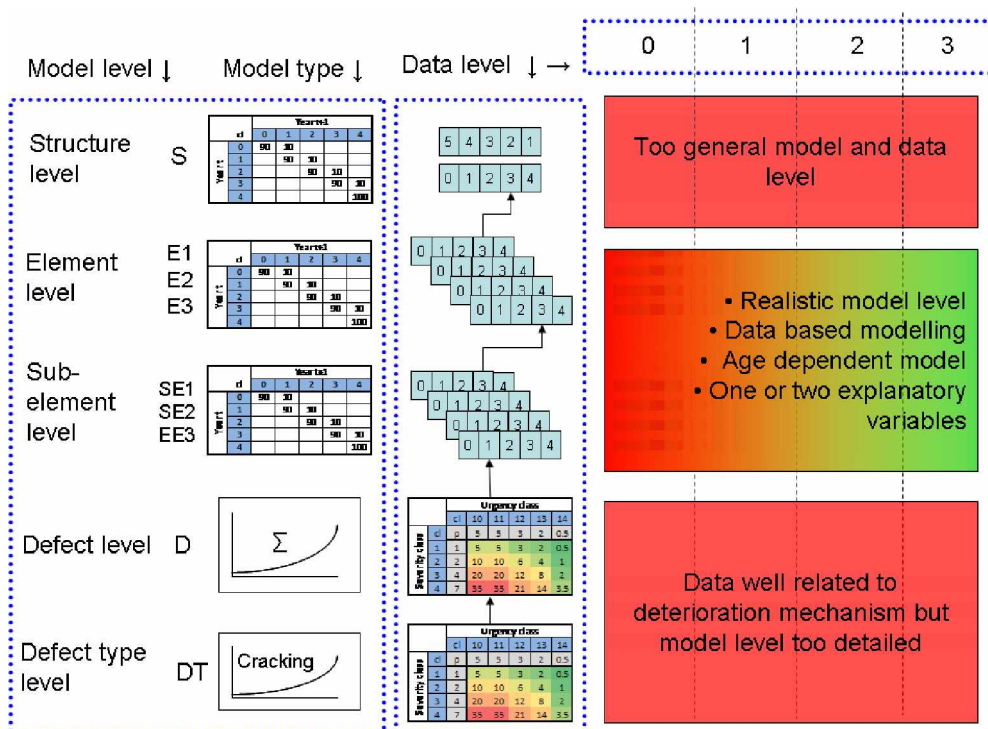
- Tarkastusten väliin osuneiden raportoimattomien toimenpiteiden olemassaolo pystytään toteamaan tarkastelemalla data. Data tarvitsee siis jonkinlaista siistimistä ennen mallinnuskäyttöä. Raportoimattomat toimenpiteet aiheuttavat vääristymää malleihin.
- Jos tarkastukset on tehty lyhyessä aikavälissä niin tarkastusten uusittavuusvirhe voi vaikuttaa datan luotettavuuteen ja sitä kautta vääristää malleja.
- Pitkä tarkastushistoria mahdollistaa ikäriippuvien Weibull-mallien laatimisen. Weibull-malleilla saadaan malliin lisää yksittäisen taitorakenteen selittäviä muuttujia. Yleisistä malleista saadaan siis paikallisia olosuhteita huomioivia, mikä olisi erittäin toivottavaa.

Kaikkiin edellä mainittuihin menetelmiin liittyy eräs epäkohta, joka liittyy selittävien olosuhde yms. tekijöiden löytymiseen. Niillä saadaan mallinnettua ns. päävaikutukset, muttei välttämättä keskinäisvaikutuksia. Tämä johtuu siitä, että selittäviin muuttujiin ei tule ortogonaalisuutta ts. kohtisuoruutta, jolloin niiden päävaikutukset vääristyvät ja peittävät alleen keskinäisvaikutukset. Taitorakenteiden elinkaari on niin pitkä, että luotettavien ennusteiden tekemiseksi mallinnuksen tarkkuusvaatimukset edellyttävät keskinäisvaikutusten hallintaa. Tason 3 dataa saadaan vain silloin kun sen pohjana on suunniteltu keruu. Mallinnusta varten tarvitaan koesuunnitelma, jossa valitaan kohteet sen mukaan kuin koesuunnitelma edellyttää. Tämän jälkeen kerätään tietoa koesuunnitelman mukaan toistokohteita unohtamatta. Tällainen koesuunnitelma tarvitsee otoskohteet, jotka on valittu huolellisesti ja joita seurataan niin kun-

non, toimenpiteiden kuin selittävien olosuhdetekijöidenkin suhteen pitkällä aikavälillä. Suomen tarkkailusiltaverkko saattaisi tuottaa tässä mainittua menetelmän mukaista mallinnusdataa. Käyttökelpoisuus riippuu selittävien muuttujien ortogonaalisuuden toteutumisesta. Suunniteltuihin kokeisiin perustuvaa mallinnusta voidaan luonnehtia seuraavasti:

- Paras ja tehokkain mallinnusmenetelmä kun verrataan tiedon keruuta ja saatujen mallien kattavuutta ja luotettavuutta. Kohteiden lukumäärä voi olla pieni ja silti tulokset ovat hyviä.
- Voidaan soveltaa vaiheittaista mallinnusstrategiaa. Tiedon keruu riippuu siitä mitä mallia ollaan tekemässä. Selittäjiä etsitään yleensä karkeimmilla kolmannen resoluution (R-III) kokeilla. Löydettyjen selittäjien todelliset vaikutukset mallinnetaan tarkemman resoluution (R-IV, R-V) kokeilla. Resoluutiota voidaan täydentää lisäämällä kohteita suunnitellusti. Hierarkkinen mallinnustapa sisältää mallien validoinnin, mikä tyypillisesti jää muuten puuttumaan. (Sleeper, 2006).
- Tilastolliseen mallinnukseen on useita menetelmiä. Käytetyimmät tilastolliset mallinnusmenetelmät ovat lineaarinen/epälineaarinen regressio, varianssianalyysi ja yleiset lineaariset mallit. Jos mallinnusta tehdään vaiheittain, niin optimoidut mallit saadaan vastepinta-analyysillä.

Neljännän tason datan keruuseen ja mallinnusmahdollisuuksiin ei tässä yhteydessä puututa.



Kuva 54. Yhteenvedo mallien ja datan tasoista. Mallien tulisi olla päärakennneosien kuntoluokkien tilasiirtymiin liittyviä malleja, joiden pohjana olisi mahdollisimman hyvä tarkastustieto.

Mallien tasoa ja niiden pohjana olevan datan laatua voidaan kuvata kuvan 59 avulla. Mallien tulisi olla päärakenneosien kuntoluokkien tilasiirtymiin liittyviä malleja, joiden pohjana olisi mahdollisimman hyvä tarkastustieto. Taitorakennetason mallit ovat liian karkeita. Vauriotason mallit ovat turhan tarkkoja. Suositeltava alue on kuvassa vihreällä.

Toiminnallisuus

Toiminnallisuuteen liittyviä malleja ei käsitellä tässä yhteydessä erityisesti. Lyhyesti kuitenkin todetaan, että toiminnallisuus pitää sisällään ne tekijät, jotka rajoittavat liikennettä tavalla tai toisella. Sillalla siihen kuuluvat leveys, alikulkukorkeus ja kuormankantokyky. Tunnelleihin liittyy alikulkukorkeus tai aukean tilan ulottuma. Toiminnallisuuspuutteet aiheuttavat liikenteelle nopeusrajoituksia, ylimääräisiä kiertotiekustannuksia tai estävät liikenteen kokonaan tai osittain. Toiminnallisuuspuutteiden hallitsemiseksi tarvitaan tietoa liikenteen määrästä, mitoista, paino-kaumasta ja nopeudesta sekä siltojen kiertotiepituuksista.

Parametrit

Taitorakenteet joutuvat erilaisille rasituksille sijaintinsa ja muiden olosuhteiden mukaan. Rappeutumisen mallintamisessa saatetaan tarvita parametrinomaisia tietoja selittäviksi muuttujiksi. Taulukossa 46 on esitetty Liikenneviraston elinkaari-laskennan ohjeessa mainitut olosuhdeparametrit. Suolalle ja vedelle altistuminen ovat eräitä tärkeimmistä teräs- ja teräsbetonisiltojen ikäkäyttämiseen vaikuttavista olosuhdeparametreista.

Taulukko 43. Elinkaarikustannusarviossa eriteltävät olosuhteet.

Olosuhde	Luokka	Kuvaus
Sillapaikkaluokka	I II III IV	Erittäin vaativa Vaativa Huomattava Tavallinen
Liikennemäärä	KVL	Keskimääräinen vuorokausiliikenne. KVL eritellään sillan alittaville ja ylittävälle väylille
Liikennemäärän muutostenuste 50 v. aikana	±0% +50% +100% +150%	Vähäliikenteiset tiet (KVL ≤ 200) Yhdystiet, tiet yleisesti Kanta-, valta- ja seututiet Kasvukeskusten sisääntuloväylät
Sillan sijainti	M1 M2 M3	Kaupunki Taajama Maaseutu
Tien talvikunnossapidon suolarasitus ¹	S1 S2 S3 S4	Runsas suolaus (tien hoitoluokka 1 ja 1S) Suolattu Suolasumu Ei suolan vaikutusta
Veden vaikutus ¹	W1 W2 W3 W4 W5	Merivesi: veden ja jään vaikutus Merivesi: vedenalainen rakenneosa Makea vesi: veden ja jään vaikutus Makea vesi: vedenalainen rakenneosa Ei vaikutusta
Vahingonteon (ilkevallan) riski ^{1,2}	R1 R2 R3	Suuri riski Kohonnut riski Tavanomainen tai olematon riski
Teräsputkisiltojen olosuhdeluokka	L1 L2 L3 L4	Julkaisun Teräsputkisillat, Suunnitteluohje TIEH 210054-07, Tiehallinto 2008, mukaan

¹ Eritellään sillan sijaintikoodeittain. Koko siltaa koskeva olosuhde esitetään sijaintikoodin ”000” yhteydessä

² Olosuhde R1 esiintyy silloissa joilla, tai joiden lähistöllä, liikkuu paljon ihmisiä. Näitä ovat taajamien ja kaupunkien oleskelupaikat ja asemat sekä näiden sisääntuloraitit. Olosuhdeluokkaan R3 kuuluvat sillat jotka sijaitsevat maaseutuympäristössä, joissa ei ole jalkakäytävää, ja joissa töherryksen näkyvyys muille väylille on rajallinen. Tähän olosuhdeluokkaan kuuluvat myös rakennusosat, joihin pääsy vahingontekotarkoituksessa on vaikeaa. Olosuhdeluokkaan R2 kuuluvat sillat jotka eivät kuulu luokkiin R1 tai R3.

Toimenpiteet

Toimenpidehistoria on tarpeellinen tieto, jotta tarkastustietoa voitaisiin käyttää tehokkaasti. Rappeutumisen mallintamisessa ei saa tarkastusten välissä olla toimenpiteitä ja vaikutusten mallintamisessa taas tulee olla toimenpide tarkastusten välissä.

6.2 Nykyisten mallien arviointi

6.2.1 Siltojen mallit

Siltoja koskevia rappeutumis- ja vaikutusmalleja on tehty vain maantiesilloille. Mallinnushistoria alkaa 1990-luvun alusta, jolloin tehtiin ensimmäiset rappeutumis- ja vaikutusmallit. Ensimmäiset mallit tehtiin asiantuntijakyselyn avulla. Sen jälkeen on tehty useita mallisettejä (Taulukko 47), joita arvioidaan tässä tarkemmin.

Taulukko 44. Maantiesilloille tehtyjä malleja.

Mallinnusprojekti	Tietopohja	Tulokset
Siltojen rappeutumismallit 1992. Verkko-Sihan mallit. Erkki Vesikari.	Asiantuntijakysely	Verkkotason mallit. Mallisetti 1992.
Vaikutusmallit. Erkki Vesikari 1993.	Asiantuntijakysely.	Verkkotason vaikutusmallit Mallisetti 1993.
Hankesihan rappeutumismallit, 2003.	Tarkastustieto.	Hankesihan rappeutumismallit. Mallisetti 2003.
Hibris-mallit. Jaakko Dietrich 2004.	Yhteenveto malleista.	Rappeutuminen, vaikutukset ja käyttäjän kustannukset.
Elinkaarisihan mallit. Erkki Vesikari, 2004.	Vauriotason tarkastustieto.	ElinkaariSihan vauriomallit. Mallisetti 2004.
Verkkotason/hanketason mallit. A-Insinöörit. 2006	Silta- ja päärakennetason tarkastustieto.	Verkko- ja hanketason rappeutumis- ja vaikutusmallit. Mallisetti 2006.

Mallisetti 1992

Mallisetti 1992 on Erkki Vesikarin vuonna 1992 kehittämät mallit verkkotason rappeutumiselle. Mallinnusmenetelmänä on ollut asiantuntijakysely ja mallien siirtotodennäköisyydet on mallinnettu asiantuntijoiden arvioiden keskiarvoista.

Mallisetti sisältää 50 erillistä mallia seuraavan taulukon mukaisesti. 25 erilaista päärakennososaa on mallinnettu sekä suolatuille päätteille että suolaamattomille muille teille. Mallinnus on kohdistunut vaurioiden vakavuusluokkiin. Mallit kohdistuvat siis eri vauriotyyppeihin, joita ovat olleet seuraavat:

- pintavauriot
- halkeiluvauriot
- rakenteelliset vauriot
- vesivuotovauriot
- erittelemättömät vauriot

Mallit ovat tilanteesta riippuen useampidimensioisia ts. on mallinnettu useita vauriotyyppejä yhtä aikaa. Mallit on esitetty monidimensioisina matriiseina.

Mallisetistä on tehtävistä seuraavat arviot ja johtopäätökset:

- mallisetti kattaa melko laajan alueen tärkeimmistä alirakenneosista
- mallit ovat kaikkein yksityiskohtaisemmalla tasolla olevia vauriomalleja
- mallit ovat lähellä rappeutumisprosessia
- mallien laatimismenetelmä on asiantuntijakysely
- malleissa on 1-3 dimensiota
- malleja ei ole validoitu
- malleja ei ole käytetty

Mallisetti on raportoitu raportissa "*Siltojen rappeutumismallit 1992. Verkko-Sihan mallit. VTT Rakennusmateriaalilaboratorio, Tutkimusselostus n:o RAM805/92*".

Mallisetti 1993

Mallisetti kattaa verkkotason vaikutusmallit, jotka on laadittu edellisen mallisetin yhteydessä samalla menetelmällä. Mallisetissä on 34 vaikutusmallia, mikä sisältää 3-4 toimenpiteen vaikutukset 1-3 vaurioon. Toimenpideluokat ovat A,B,C ja D, jotka ovat sillantarkastusohjeen mukaisia toimenpidesuosituksia. Tähän mallisettiin pätevät samat arviot kuin edelliseenkin.

Taulukko 47. Yhteenvedo mallisetistä 1993.

Code Kaodi	Model Malli	Dimension Dimensio	Surface Pinta		Cracking Halkeilu	Structural Rakenne		Leak Vuoto	Defects Vauriot
			Dimension	Surface		Cracking	Structural		
A1TP	TERÄSBETONISET ALUSRAKENTEET (A1)	2		x		x			
A2TP	KIVISET ALUSRAKENTEET (A2)	1							x
A3S	PUISET ALUSRAKENTEET (A3)	2		x		x			
A4TP	TERÄKSISET ALUSRAKENTEET (A4)	2		x		x			
A5TP	SILTAPAIKAN RAKENTEET (A5)	1				x			
P1YTP	TERÄSBETONISET PAIKALLAVALLETUT KANTAVAT LAATAT (P1)	3		x		x		x	
P1ATP	TERÄSBETONISET PAIKALLAVALLETUT KANTAVAT LAATAT (P1)	3		x		x		x	
P1BTP	TERÄSBETONISET PAIKALLAVALLETUT KANTAVAT LAATAT (P1)	3		x		x		x	
P1CTP	TERÄSBETONISET PAIKALLAVALLETUT KANTAVAT LAATAT (P1)	3		x		x		x	
P2TP	TERÄSBETONISET PAIKALLA VALETUT MUUT PÄÄLLYSRAKENTEET (P2)	2		x		x			
P3TP	TERÄSBETONISET ELEMENTTIRAKENTEET PÄÄLLYSRAKENTEET (P3)	2		x		x			
P4TP	JÄNNITETYT BETONISET PAIKALLA VALETUT PÄÄLLYSRAKENTEET (P4)	2		x		x			
P5TP	JÄNNITETYT BETONISET ELEMENTTIRAKENTEET PÄÄLLYSRAKENTEET (P5)	2		x		x			
P6TP	TERÄKSISET PÄÄLLYSRAKENTEET (P6)	2		x		x			
P7TP	RIIPUKÖYDET (P7)	2		x		x			
P8TP	PUISET PÄÄLLYSRAKENTEET (P8)	2		x		x			
P9TP	KIVISET PÄÄLLYSRAKENTEET (P9)	1		x		x			x
P10TP	TERÄKSISET PUTKISILLAT (P10)	2		x		x			
R1TP	KANNEN PINTARAKENTEET (R1)	3		x	x				x
R2TP	OHUTKERROSPÄÄLLYSSTEET (R2)	1							x
R3ATP	TERÄSBETONISET REUNAPALKIT (R3)	3		x		x		x	
R3CTP	TERÄSBETONISET REUNAPALKIT (R3)	3		x		x		x	
R3BTP	TERÄSBETONISET REUNAPALKIT (R3)	3		x		x		x	
R3YTP	TERÄSBETONISET REUNAPALKIT (R3)	3		x		x		x	
R4ATP	TERÄSBETONISET KANSILAATAT (R4)	3		x		x		x	
R4BTP	TERÄSBETONISET KANSILAATAT (R4)	3		x		x		x	
R4CTP	TERÄSBETONISET KANSILAATAT (R4)	3		x		x		x	
R4YTP	TERÄSBETONISET KANSILAATAT (R4)	3		x		x		x	
V1TP	LIIKUNTA-OSAT (V1)	1							x
V2TP	KAITTEET (V2)	2		x		x			
V3TP	TERÄKSISET LAAKERIT (V3)	2		x		x			
V4TP	KUMILAAKERIT (V4)	2		x		x			
V5TP	KUMI-OSAT (V5)	2		x		x			
V6TP	MUUT VARUSTEET JA LAITTEET (V6)	2		x		x			

Taulukko 48. Esimerkki 2-dimensionaalisesta vaikutusmallista P2TP.

Vlk (a)	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4		
Vlk (b)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4		
(a)	(b)																										
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	2	0.65	0	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	3	0.8	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	4	0.73	0	0	0	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0.74	0	0	0	0	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	1	0	0.74	0	0	0	0	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	2	0.48	0	0.26	0	0	0	0.17	0	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	3	0.59	0	0	0.15	0	0	0.21	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	4	0.54	0	0	0	0.2	0.19	0	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	1	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0.46	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0.57	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	4	0.52	0	0	0	0.19	0	0	0	0	0.21	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	1	0	0.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	2	0.5	0	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0.62	0	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	0.56	0	0	0	0.21	0	0	0	0	0	0.17	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0	0	0	0		
4	1	0	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0	0	0		
4	2	0.55	0	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.06	0	0		
4	3	0.67	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0	0	0.03	0		
4	4	0.61	0	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0	0	0	0.04		

Mallit on raportoitu raportissa "Siltojen toimenpidemallit 1993. Verkko-Sihan mallit. VTT Rakennusmateriaalilaboratorio, Tutkimusselostus n:o RAM282/93".

Malliseti 2003

Malliseti 2003 on niin ikään Erkki Vesikarin luoma vuonna 2003. Mallinnusmenetelmänä on käytetty tarkastustietoon pohjautuvia tilastollisia malleja. Mallien käyttökohde on pääasiassa hanketaso. Osa malleista on yleisen tason malleja ja osa päärakennetason malleja. Tarkastustiedoista on ollut käytettävissä kaksi peräkkäistä tarkastusta.

Mallien kokonaismäärä on 77. Siinä on yleisen tason, siltatason, malleja päärakennetason malleja. Materiaalityypikohtaisia malleja on seitsemän ja päärakennosille E1 ja E3 kummallekin Maliinsa. Siltatason malleja on yhdeksän kullekin materiaalityypille ja kullekin päärakennosalle.

Malleissa on kaksi siltatason parametria; materiaalityppi ja suolausluokka.

Taulukko 49. Mallisetin 2003 kattavuus.

Ajoneuvoliikenteen sillat - Bridges for traffic		Rakennosa- Element	Kuntoluokka on tiedossa (kpl) - Condition class is known											Overall condition
			Substructure Alus- rakenteet	Edge beam Reuna- palkki	Other superstru- cture Päälly- rakenne	Wearing surface Päälyste	Other surface structure Pinta- rakenne	Railings Kaiteet	Joints Liikunta- saumat	Appurten- ances Varusteet	Bridge site Paikka			
Materiaali - Material			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9			
Varmaiset sillat - Bridges	Terasbetoni - Concrete	M1			M1_E3							M1		
	Jännitetty teräsbetoni - prestressed concrete	M2	M1-3,5_E1		M2_E3							M2		
	Teräs - Steel	M3			M3_E3							M3		
	Puu - Wood	M4	M4_E1		M4_E3							M4		
	Kivi - Stone	M5	M1-3,5_E1		M5_E3							M5		
Yhteensä - Total														
Putkiiilat - Culverts	Teräksinen putkisiila - Steel culvert	M6			M6_E3							M6		
	Teräsbetoninen putkisiila - Concrete	M7			M7_E3							M7		
Yhteensä - Total														
All material types together			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	M1_M7		

Arvioina ja johtopäätöksinä mallisettistä 2003 voidaan sanoa seuraavaa:

- Mallien lukumäärän suhteen kattavin mallisetti.
- Ensimmäinen tarkastustietoon pohjautuva mallinnustyö.
- Malleja on validoitu mutta hyvin vähän. Osa malleista oli sen mukaan hyviä, osa ei.
- Yleinen ongelma on havaintojen epätasainen jakaantuminen ja selvä puute tietyissä luokissa. Puutteelliset tilanteet on mallinnettu asiantuntijoiden arvioina.
- Mallit on muodostettu siltatason ja päärakennetason kuntoluokille.
- Osa malleista ei käyttäydy loogisesti (Taulukko 53).
- Mallit eivät sisällä vauriotason tietoa.
- Mallien laadintaa ei ole kovin hyvin dokumentoitu.
- Mallisetti kattaa vain rappeutumisen.

Taulukko 50. Esimerkkejä datan epätasaisuudesta ja mallien epäloogisuudesta.

Edge beam, salted bridge							Edge beam, not salted bridge						
Class	0	1	2	3	4	# of obs	Class	0	1	2	3	4	# of obs
0	0.933	0.067	0	0	0	1165	0	0.940	0.060	0	0	0	3909
1	0	0.863	0.137	0	0	644	1	0	0.890	0.110	0	0	1376
2	0	0	0.836	0.164	0	158	2	0	0	0.806	0.194	0	301
3	0	0	0	0.748	0.252	30	3	0	0	0	0.648	0.352	43
4	0	0	0	0	1		4	0	0	0	0	1	

Substructure, salted bridge							Substructure, not salted bridge						
Class	0	1	2	3	4	# of obs	Class	0	1	2	3	4	# of obs
0	0.934	0.066	0	0	0	1486	0	0.945	0.055	0	0	0	5296
1	0	0.844	0.156	0	0	483	1	0	0.877	0.123	0	0	1388
2	0	0	0.743	0.257	0	44	2	0	0	0.797	0.203	0	296
3	0	0	0	0.944	0.056	3	3	0	0	0	0.683	0.317	62
4	0	0	0	0	1		4	0	0	0	0	1	

Tämä mallisetti on kattavin maantiesilloille tehty mallisto. Mallisetti on dokumentoitu raportissa "*Siltojen päärakenkohtaiset rappeutumismallit: Mallit&selostus 20030613.doc*" (not published) and in a work report "*Vesikari, Erkki: Hanke-Sihan ikäkäyttämismallien laskeminen siltarekisteritietojen pohjalta. Tutkimusselostus RTE3176/03.VTT*".

Mallisetti 2004

Mallisetti 2004 on myös Erkki Vesikarin vuonna 2004 kehittämä. Mallinnuksen pohjana on tarkastusdata ja menetelmänä tilastollinen mallinnus. Mallien käyttötarkoitus on elinkaarianalyysi. Malleissa mallinnetaan vauriotyypin esiintymistä. Mallit käsittelevät jopa alirakenneseosia.

Lopulliset mallit ovat vaurioiden vakavuusluokkien Markov-malleja, mutta mallit muodostuvat determinististen vauriomallien kautta. Malleissa on paljon parametreja. Yksityiskohdat malleista ovat Elinkaari-Sihan sisällä eikä niitä pääse tarkastelemaan ja arvioimaan.

Mallisetti on dokumentoitu raportissa "*Elinkaari-Siha 2004. Sisäinen raportti 25.11.2004. VTT. Liite Elinkaari_Siha_raportti_Lopullinen.pdf*". malleissa on kiinnitetty päähuomio pintavaurioihin ja halkeamavaurioihin. Malleissa on myös käyttäjien

kustannuksiin ja ympäristöön liittyviä malleja (Environmental Load Unit ELU), joka saattaa olla käyttökelpoinen uudessakin järjestelmässä.

Mallisetti 2006

Mallisetti 2006 sisältää sekä verkkotason että hanketason malleja. Ne on kehittänyt Markku Äijälä A-Insinööreistä vuonna 2006. Malleissa on sekä rappeutuminen että vaikutukset. Lisäksi työssä on laadittu päätöspuita. Päätöspuut ovat käyttökelpoisia sellaisenaan. Mallit on dokumentoitu raportissa "Tiehallinnon selvityksiä 27/2006. Siltojen verkko- ja ohjelmointitason hallinnan kehittäminen. Hanke- ja verkkotason mallit".

Hanketason mallit

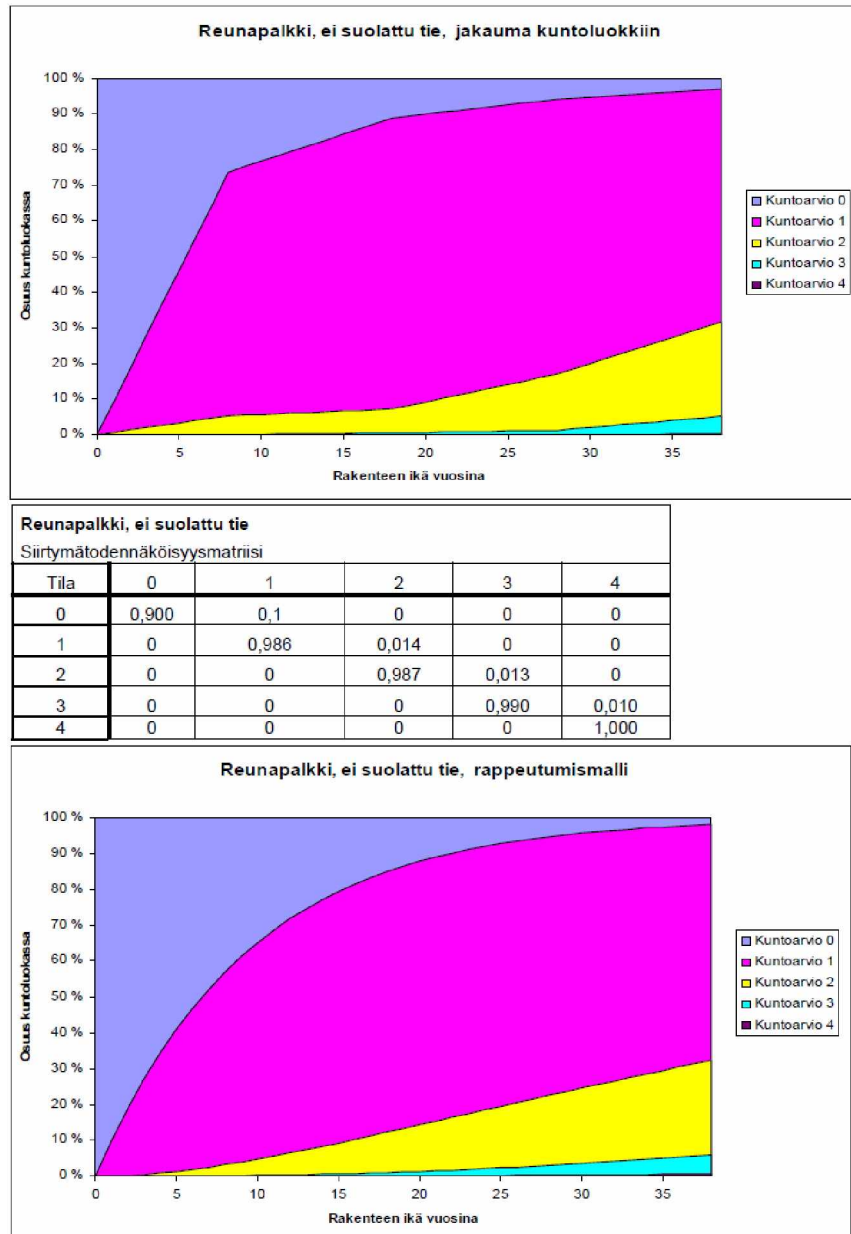
Hanketason rappeutumismallit on laadittu kymmenestä eri tilanteesta (Taulukko 54). Mallinnusmenetelmä on ollut tilastollinen mallinnus tarkastustiedosta.

Taulukko 51. Hanketason mallit 2006

Ajoneuvoliikenteen sillat - Bridges for traffic		Rakenneselementti - Element	Kuntoluokka on tiedossa (kpl) - Condition class is known									
			Substructure	Edge beam	Other superstructure	Wearing surface	Other surface structure	Railings	Joints	Appurtenances	Bridge site	Overall condition
Materiaali - Material			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	
Varsinaiset sillat - Bridges	Teräsbetoni - Concrete	M1	M1_E1	M1_E2					M1_E7			
	Jännitetty teräsbetoni - prestressed concrete	M2										
	Teräs - Steel	M3			M3_E3							
	Puu - Wood	M4	M4_E1		M4_E3							
	Kivi - Stone	M5	M5_E1		M5_E3							
Yhteensä - Total								E5				
Putkikat - Culverts	Teräksinen putkisilta - Steel culvert	M6			M6_E3							
	Teräsbetoninen putkisilta - Concrete	M7										
	Yhteensä - Total											
All material types together												

Taulukko 52. Rakenneselementtejä malleja.

Material Materiaali	Code Koodi	Element Rakenneselementti	Type Tyyppi	Parameter Parametri
TB Concrete	301	TB-laattojen alapinnat		
	302	TB- ja jännitetyt palkit		
	201	Reunapalkki rannikko		Suola/sijainti Salt/location
	100	TB-alusrakenne	Risteys/vesistö	Suola / Salt
Teräs Steel	302	Teräspalkki		
	600	Kaide		
	701	Liikuntasäula		
	307	Teräsputki	Vesistö	Lisäsuojaus / Extra coverage
	307	Teräsputki	Kuiva	
Puu Wood	301	Puukansi	Ajon/kevyt	
	302	Liimapuupalkki		
	302	Puupalkki		
	100	Puinen alusrakenne		
Kivi Stone	300	Kivinen päällysrakenne		
	100	Kivinen alusrakenne		
	Code Koodi	Element Rakenneselementti	Action Toimenpide	Parameter Parametri
	300	Päällysrakenne	Paikattu	
	201	Reunapalkki	Impregnoitu	Sijainti/Location
	100	Alusrakenne	Paikattu	
	100	Alusrakenne	Ruiskubetonoitu	
	100	Alusrakenne	Suojattu	Risteys / Cross section



Kuva 55. Esimerkki suolaamattoman reunapalkin rappeutumismallista.

Mallisetistä 2006 voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset ja arviot:

- Mallit on tehty melko kattavasta tarkastustiedosta ja osa niistä on päärakennetaso malleja, jotka saattavat sopia uuteenkin järjestelmään.
- Mallien nopeus on kuitenkin paikoin hidas, mikä saattaa johtua 85 %:n varmuustasosta.
- Alirakennetaso mallit lienevät liian yksityiskohtaisia käytettäviksi uudessa järjestelmässä.

Päätöspuut

Mallinnustyössä 2006 oli tehty 14 eri tilanteeseen myös päätöspuut. Päätöspuut ovat käyttökelpoisia uudessakin järjestelmässä. Yhteenvedo niiden kattavuudesta on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 53. Mallisetin 2006 päätöspuut.

Ajoneuvoliikenteen sillat - Bridges for traffic		Rakennesa- Element	Kuntoluokka on tiedossa (kpl) - Condition class is known									
			Substruct ure	Edge beam	Other superstruc ture	Wearing surface	Other surface structure	Railings	Joints	Appurtena nces	Bridge site	Overall condition
			Alus- rakenteet	Reuna- palkki	Päälyys- rakenne	Päälyste	Pinta- rakenne	Kaiteet	Liikunta- saumat	Varusteet	Paikka	Yleistunto
Materiaali - Material			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	
Varmaiset sillat - Bridges	Teräsbetoni - Concrete	M1	100	201	301, 302			600	700			
	Jännitetty teräsbetoni - prestressed concr	M2	100	201				600	700			
	Teräs - Steel	M3			302, 207			600	700			
	Puu - Wood	M4	100		301			600	700			
	Kivi - Stone	M5	100		304			600	700			
Yhteensä - Total												
Putk sillat - Culverts	Teräksinen putkisilta - Steel culvert	M6										
	Teräsbetoninen putkisilta - Concrete	M7										
	Yhteensä - Total											
All material types together												

Verkkotason mallit

Mallisetissä 2006 on 13 verkkotason rappeutumis- ja vaikutusmallia. Ne ovat kuitenkin liian karkean tason malleja hallintajärjestelmään.

Taulukko 54. Siltatason malleja mallisestissä 2006.

Rappeutumismalli

Siirtymätodennäköisyysmatriisi

Tila	5	4	3	2	1
5	0,850	0,150	0	0	0
4	0	0,965	0,035	0	0
3	0	0	0,980	0,020	0
2	0	0	0	0,940	0,060
1	0	0	0	0	1,000

Toimenpiteiden vaikutusmallit

Peruskorjaus

	A Peruskorjaus				
	5	4	3	2	1
5	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
3	0,10	0,90	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,90	0,10	0,00	0,00
1	0,00	0,70	0,30	0,00	0,00

Uusiminen

	B Uusiminen				
	5	4	3	2	1
5	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
2	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Kustannusmallit

Kustannukset €/m2

Toimenpidetaso

Kuntoluokka	0	A	B
	Hoito ja kunnostus	Perus- korjaus	Uusiminen
5	3		
4	3		
3	3	350	
2	3	450	1300
1		500	1300

Muut taitorakenteet

Muista taitorakenteista ei ole olemassa malleja. Rautateiden siltoihin saattavat sopia maanteiden silloille kehitetyt mallit ainakin osittain. Rautatiesiltojen mallinnukseen liittyy mm. seuraavia haasteita:

- rakenteet poikkeavat jonkun verran, erityisesti kansirakenteet
- rakennusmateriaalit vaihtelevat – erilaisia eri maissa
- tarkastusjärjestelmä – yleensä erilainen maantiesiltojen vastaavaan verrattuna,
- vaurioitumismekanismien erot
- korjaustöiden toteuttaminen junaliikenteen seassa.

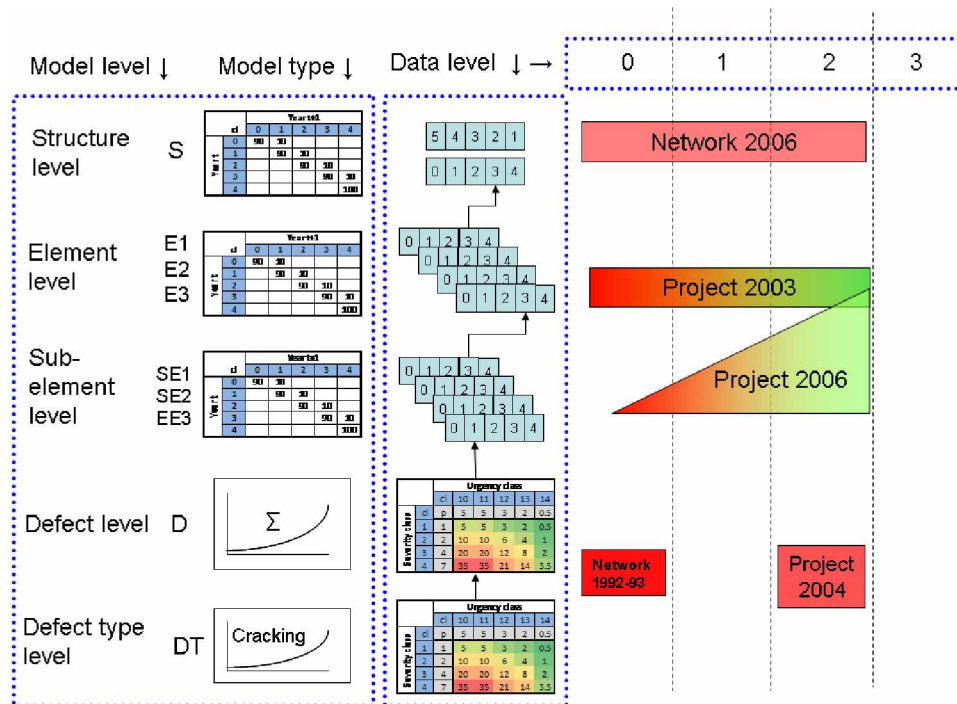
Suosittelavaa on, että rautatiesiltojen mallit tehdään olemassa olevan tarkastustiedon perusteella mallintamalla pääraakeneosien kuntoluokat yksittäisvaurioista tavalla tai toisella.

Muista taitorakenteista ei ole myöskään malleja rapeutumisesta eikä toimenpiteiden vaikutuksista.

6.2.2 Nykyisten mallien soveltuvuus

Yhteenvedona nykyisten mallien soveltuvuudesta on seuraava lista sekä seuraava kuva:

- Verkkotason mallit 1992–1993 on tehty ilman tarkastusdataa ja eivät ole sen takia luotettavia.
- Osa 2003 mallisetin malleista on muodostettu tarkastudataan perustuen ja voivat olla käyttökelpoisia. Niissä on kuitenkin epäloogisuuksia ja sen takia ne kannattaisi tarkistaa uuden datan kautta ennen käyttöönottamista.
- Projektitason mallit 2004 on tehty liian detaljitasonoisina eivätkä ne sen takia sovi uuteen järjestelmään.
- Projektitason mallit 2006 on tehty osittain tarkastustietoon ja osittain arvioihin perustuen. Mallien nopeus tulee tarkistaa.
- Verkkotason ja hanketason malleista puuttuu kytkentä rapeutumismekanismiin.
- Uusia malleja suositellaan kehitettäväksi useista eri syistä:
 - rakenneosien kuntoluokka tulisi sitoa jotenkin vaurioiden syntyyn, jolloin kunto kytkeytyisi rapeutumismekanismiin
 - vauriotietoa tulisi käyttää toimenpidekustannusten arviointiin
 - uusiin malleihin tulisi liittää ikäriippuvuus
 - toimenpiteiden vaikutuksiin on nyt käytettävissä aiempaa enemmän ja parempaa tarkastustietoa
- Niille rakenteille, joilla ei ole malleja ollenkaan olisi kehitettävä uudet mallit käyttäen käytössä olevan tiedon mahdollistamia menetelmiä.



Kuva 56. Yhteenveto olemassa olevien mallien soveltuvuudesta. Soveltuvuutta haittaavat mm. tekijät kuten että osa kehitetyistä malleista on liian karkealla tasolla, osa liian yksityiskohtaisella tasolla ja osa on tehty ilman tarkastusdataa ja osa on toimivuudeltaan epäloogisia. Mallien kehitystyössä tulisi tunnistaa oikea taso ja oikea data.

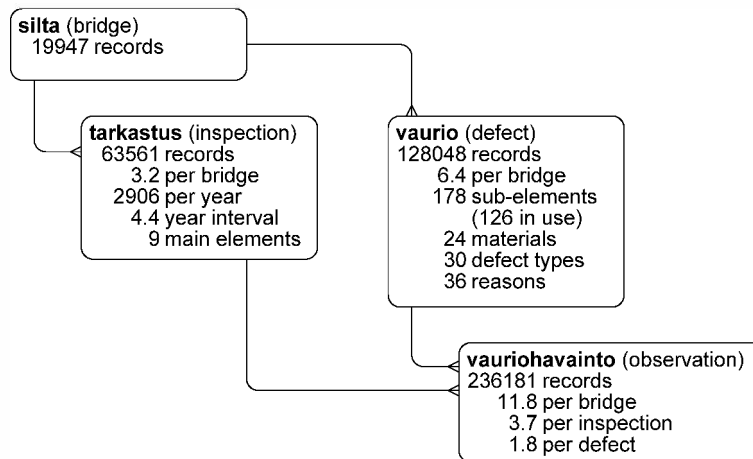
6.3 Tarkastusdata

Tarkastustiedon arviointi käsittää tässä työssä vain maantiesiltojen tarkastuksia, koska niistä oli saatavana tietoja tämän työn yhteydessä. Rautatiesiltojen tarkastukset toimivat suurin piirtein samaan tapaan kuin maantiesiltojenkin. Muilta taitorakenteilta tullaan saamaan samantyyppistä tarkastustietoa myöhemmin.

6.3.1 Maantiesillat

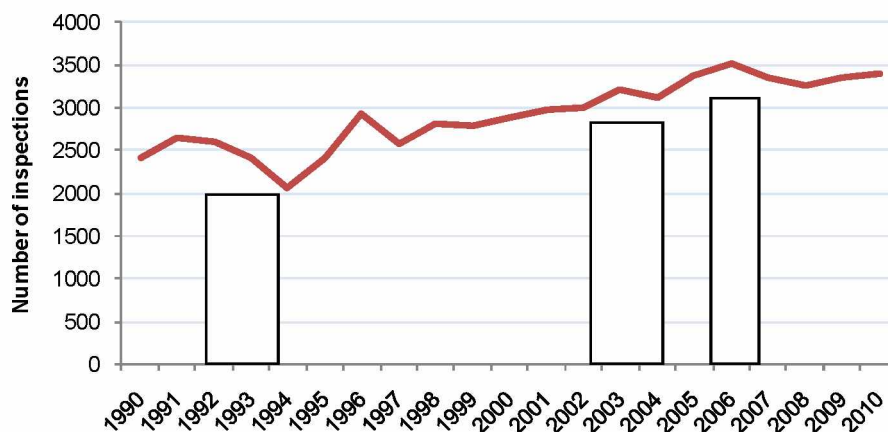
Tarkastuskierto

Liikennevirastossa on tehty sillantarkastuksia vuodesta 1989 lähtien. Maantiesiltojen tarkastuksista on siten melko pitkä historia käytettävissä. Kuvassa 66 on yhteenvetotietoa tarkastusten määristä. Tarkastuksia on kertynyt 63561 kpl ja niissä on kirjattu 128048 vauriota. Yksittäisten vaurioiden määrä on 236181 kpl.



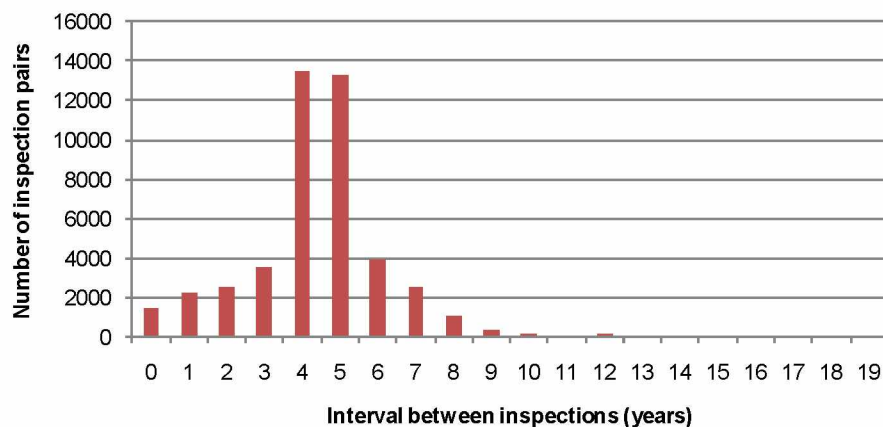
Kuva 57. Yhteenvetotietoja sillantarkastuksista.

Tarkastuskierto on ollut keskimäärin 4,4 vuotta, mikä on pitänyt vuotuiset tarkastusmäärät noin 3000 sillassa.



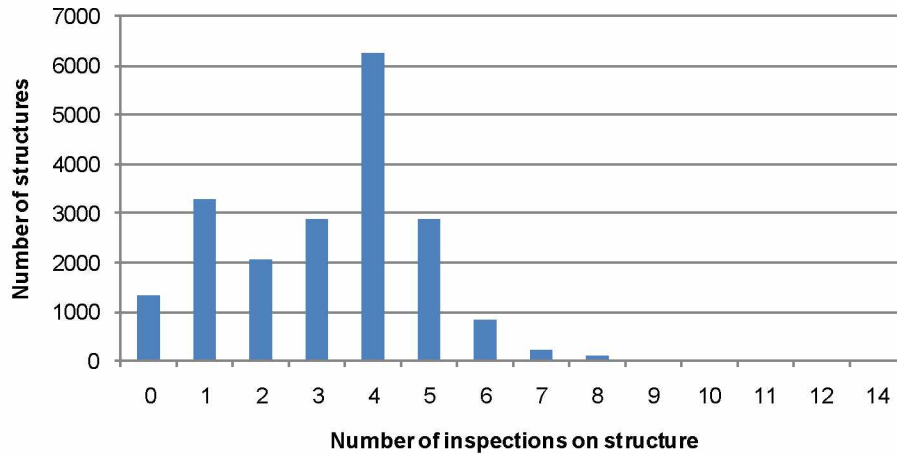
Kuva 58. Vuotuisten sillantarkastusten määrä 1990-2010.

Useimmista silloista on 4-5 tarkastustietoa. Määrät vaihtelevat kuitenkin välillä 0-10 vuotta. Keskimääräinen tarkastusväli on 4,4 vuotta, mikä on pitempi kuin kansienväläinen 2-3 vuotta.



Kuva 59. Tarkastusvälin jakauma.

Useimmiten tarvitaan kaksi tai useampia tarkastuksia rakennetta kohti, jotta syntyviä tietoista kannattaa lähteä muodostamaan malleja. Tämä siitä syystä, että rappeutumisenopeuden mallintamiseen tarvitaan vähintään kaksi havaintoa.



Kuva 60. Tarkastusten lukumäärän jakauma (kpl/silta).

Tietosisältö

Tarkastus sisältää kustakin päärakenneosasta kuntoarvion viisiportaisena kuntoluokattietona ja lisäksi kaksi erilliskoodia seuraavasti:

- 0 Uuden veroinen
- 1 Hyvä
- 2 Tyydyttävä
- 3 Huono
- 4 Erittäin huono
- 9 Kuntoluokkaa ei määritetty
- null Rakenneseosa ei ole olemassa tai kuntoarviota ei tehty

Kuntoarvioiden lisäksi tarkastuksissa saadaan monipuolista tietoa vaurioista. Taulukossa 58 esitetään maantiesiltojen päärakenneosien kuntoluokat ja tarkastuksissa havaittujen vaurioiden määrä. Vaurioita löytyy kaikista päärakenneosista ja niiden eri kuntoluokista. Päärakenneosista on suhteellisen paljon tarkastustietoa liikuntasaumalaitteita lukuun ottamatta, joista on vain noin 10 % tarkastettu.

Taulukko 55. Maantiesiltojen päärakenneosien kuntoluokat.

Element		Condition state							Total	Percent	Defects
Finnish	English	0	1	2	3	4	9	null	Insp	non-null	
karv_alusrak	Substructure	9522	31158	10115	1673	227	103	10763	63561	83.1	24465
karv_reunap	Edge beam	6068	23184	9366	2159	389	149	22246	63561	65.0	16308
karv_paallirak	Other superstructure	11943	31927	11394	3681	1038	181	3397	63561	94.7	22758
karv_paallyste	Wearing surface	9510	34848	8645	1519	220	154	8665	63561	86.4	13970
karv_pintarak	Other surface structure	8060	20199	5397	1580	237	497	27591	63561	56.6	955
karv_kaitteet	Railings	10801	29372	9545	2713	675	138	10317	63561	83.8	13247
karv_liiksaum	Joints	1541	2983	1521	535	107	120	56754	63561	10.7	1563
karv_varuste	Appurtenances	6065	21324	5146	828	88	144	29966	63561	52.9	5947
karv_paikka	Bridge site	7106	33095	17860	1813	153	177	3357	63561	94.7	28835
karv_yleis	General condition	8727	34179	14325	3536	806	90	1898	63561	97.0	
	Total	79343	262269	93314	20037	3940	1753	174954			128048

Vauriot kohdistuvat pääasiassa alirakenneosille, jotka puolestaan kuuluvat aina johonkin päärakenneosaa. (Taulukko 59). Osa vauriokirjauksista on kohdistunut suoraan päärakenneosille.

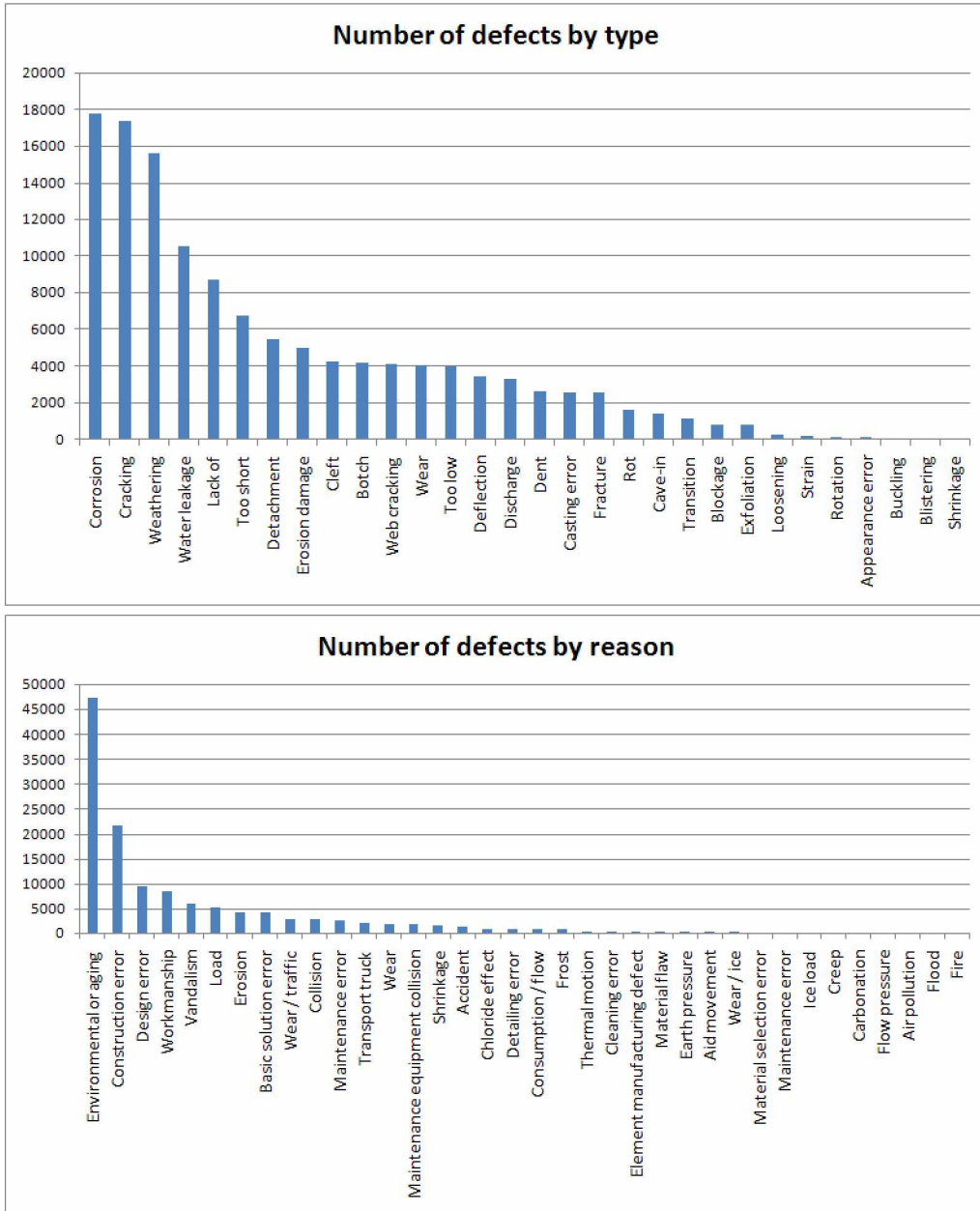
Taulukko 56. Alirakenneosille kohdistuneet vauriot.

ID	Sub-element	English	Count	ID	Sub-element	English	Count
100	Alusrakenne	Substructure	308	800	Muut varusteet/laitteet	Appurtenances	127
101	Peruslaatta	Based tile	138	803	Laakeri	Bearing	967
102	Arkku	Chest	23	804	Nivel	Joint	13
103	Antura	Shoe	443	805	Syöksytörvi	Waterspout	612
104	Kantamuuri	Stem wall	353	806	Tippuputki, tippureikä	Downspout	1897
105	Sivumuuri	Side wall	661	807	Salaoja	Drain	19
106	Etumuuri	Front wall	7390	808	Kosketussuoja, meluseinä	Protective touch, noise wall	65
107	Tukiseinä	Support wall	302	809	Reunus sillalla	Border bridge	145
108	Siipimuuri	Wing wall	6656	810	Valaisin	Lamp	1210
109	Otsamuuri	Forehead wall	514	811	Kaapelihylly	Cable tray	100
110	Laakeritaso	Bearing level	423	812	Suojaputki	Tube	258
111	Laakeripalkki	Bearing bar	144	813	Liikennemerkki	Traffic sign	44
112	Niska	Neck	122	814	Hoitosilta	Bridge maintenance	27
113	Alusrakenteen reuna-palkki	Substructure edge beam	2873	815	Hoitosillake	Maintenance	7
114	Ukkopylväs	Old man bar	673	816	Tikkaat	Ladder	13
115	Pilarituki	Pillar support	1290	817	Kulkaukon ovi	Clear opening door	57
116	Paalutuki	Pile support	366	818	Panostila	Input mode	109
117	Seinämainen tuki	Wall support	986	819	Panoskoukku	Input bar	22
118	Vinotuki	Brace	59	820	Vedenpoistoputki	Drainage pipe	37
119	Ankkurointi	Anchorage	14	821	Hoitosilta	Observation point	0
120	Alusrakenteen reuna-kaista	Substructure edge lane	29	822	Kontaktitappi	Contact pin	0
121	Alusrakenteen sauma-us	Substructure seaming	506	823	Tippulista	Drop list	5
122	Hirsiarina	Log Grate	3	824	Laivajohde	Boat handrail	2
123	Kynnysparru	Threshold bar	160	825	Uittojohde	Float post	3
124	Tunnelin suuaukkora-kenteen seinä	Foot hole struc-ture tunnel wall	0	826	Kiinnike	Fastener	57
125	Tunnelin suuaukkora-kenteen katto	Foot hole struc-ture tunnel roof	0	827	Ajoneuvoyhdystunneli	Single vehicle tunnel	0
126	Kasuuni	Caisson	7	828	Henkilöyhdystunneli	Pedestrian tunnel	0
127	Kulmatukimuuri	Retaining wall angle	5	829	Työ- tai huoltotunneli	Work or service tunnel	0
128	Ponttiseinä	Tongue wall	2	830	Muu tunneli kuilu tai tekninen tila	Other tunnel gap or technical access	0
129	Ponttoni	Pontoon	14	831	Poistumistie	Escape	0
130	Settiparru	Set bar	0	832	Poistumistien valo	Exit light	0
131	Ankkurointiketkinki	Anchoring chain	3	833	Hätävalaistus	Emergency lighting	0
132	Ankkurointikumikaapeli	Anchoring cable	0	834	Alkuseräilylaite	Fire extinguishing equipment	0
133	Ankkuripaino	Anchor weight	0	835	Hätäpuhelin	Emergency phone	0
134	Ankkurointikuilu	Anchor gap	0	836	Valvontakamera	CCTV	0
200	Reunapalkkirakenteet	Edge Beam Structures	2969	837	Ilmanvaihto- tai savunpoistopuhallin	Ventilation or smoke extraction fan	0
201	Reunapalkki	Edge beam	8477	838	Ilmanvaihtokanava	Ventilation duct	0
202	Reunakaista	Edge lane	530	839	Generaattori	Generator	0
203	Reunapalkin liikun-tasauma	Edge beam joints	1859	840	Pumppaamo	Pumping station	0
204	Juurikoroke	Root booster	2455	841	Pesuvesien keräilyallas	Wash water collection pool	0
205	Reunamuuri	Edge wall	19	842	Ovi tai luukku	Door or hatch	2
300	Muu päällysrakenne	Other superstructure	141	843	Sulkupuomi	Proliferation boom	1
301	Kansilaatta	Cover plate	12706	844	Paloposti	Fire hydrant	0
302	Pääkannattaja, palkki	Main supports, beam	2542	845	Sadevesikaivo, -viemäri tunnelissa	Stormwater drain or tunnel	1
303	Pääkannattaja, kaari	Main supports, arch	92	846	Jätevesikaivo, -viemäri tunnelissa	Sewer drain or tunnel	0
304	Pääkannattaja, holvi	Main supports, vault	1305	847	Tarkastuskaivo tunnelissa	Inspection wells in the tunnel	0
305	Pääkannattaja, kotelo	Main supports, case	759	848	Laiturin alatasanne	Pier lower platform	16
306	Pääkannattaja, ristikko	Main supports, puzzle	124	849	Laituriportaat	Pier stairs	26
307	Pääkannattaja, putki	Main supports, pipe	3399	850	Hengenpelastusvälinesarja	Lifesaving equipment series	15
308	Sekundaarinen pituus-kannattaja	Secondary length supporter	102	851	Pollari	Bollard	11
309	Poikkikannattaja	Cross-supporter	576	852	Fenderi	Fender	25
310	Poikkiside	Cross-tie	145	853	Reunateräs	One of the edges	3
311	Vinoside	Diagonal-tie	59	854	Puusuojalaite	Wood protection device	51
312	Pyloni	Pylon	16	855	Nosturi	Crane	0
313	Riippuköysi	Pendant rope	16	856	Tasonvaihtolaite	Level change device	0
314	Pidätinköysi	Cable retainer	8	857	Rengasfenderi	Tire fender	0
315	Riipputanko	Hanger	23	858	Pelastusrengas	Life buoy	0
316	Vinoköysi	Cable Stay	9	859	Heittoiliina	Heaving line	0

ID	Sub-element	English	Count	ID	Sub-element	English	Count
317	Päälylsrakenteen saumaus	Superstructure Seaming	735	860	Venehaka	Boat hook	0
318	Ruiskubetonoitu kallioseinä tunnelis	Shotcrete? rock wall tunnel	0	861	Pelastustikkaat	Rescue ladders	0
319	Ruiskubetonoitu kallio-katto tunnelis	Shotcrete? rock roof tunnel	0	862	Paalun suojakuori	Protective shell of the pile	0
320	Ruiskubetonoitu erillisverhousrakenn	Shotcrete cladding	0	900	Siltapaikan rakenteet	Bridge site	4124
321	Ruiskubetonoitu erillisverhousrakenn	Shotcrete cladding	0	901	Etuluiska	Front ramp	2519
322	Asennettu erillisverhousrakenne tunn	Installed shotcrete cladding ID	0	902	Keila	Pin	3616
323	Asennettu erillisverhousrakenne tunn	Installed shotcrete cladding ID	0	903	Tie siltapaikalle	The road to the bridge site	3075
400	Päälysteet	Wearing surfaces	2667	904	Tieluiska	Road ramp	1484
401	Päälyste	Wearing surface	6413	905	Reunus tiellä	Border roads	144
402	Päälysteen saumaus	Pavement Sealing	4890	906	Pintavesikaivo	Surface water drain	78
500	Muu pintarakenne	Other surface structure	20	907	Pintavesiputki	Surface water pipe	19
501	Suojakerros	Protective Layer	75	908	Pintavesikouuru	Gutter surface	615
502	Vedeneristys	Waterproofing	159	909	Oja	Ditch	73
503	Kansilaatan yläpinta	Cover the top surface of the slab	202	910	Pengerkaide	Embankment railing	12809
504	Pintarakenteen saumaus	Surface structure folding	499	911	Portaat	Stairs	142
600	Kaiteet	Railings	6029	912	Saumaus	Seaming	78
601	Kaidepylväs	Newel	2621	913	Välituen eroosiosuojaus	Mid-term erosion protection	30
602	Siltakaiteen Johde Ja säleet	Bridge railing handrail and blades	2175	914	Kivisilmä	Stone Eye	3
603	Tiekaiteen johde	Roadside guidepost	933	915	Portaali	Portal	0
604	Suojaverkko tai suoja-levy	Chafing or shield	526	916	Korkeusrajotin	Height damper	1
605	Tuiskukaide	Filter railing	5	917	Häikäisysoja	Visor	0
606	Melukaide	Noise railing	120	918	Liikennevalo	Traffic signal	0
607	Yläjohteen liikuntajatkos	Upper post splice support	20	919	Kaistaopaste	Bandwidth instruction	1
608	Matala sillankaide	Low bridge railing	793	920	Informaatiotaulu	Information table	2
609	Törmäyssuoja	Impact protection	2	921	Tekninen rakennus	Technical building	1
610	Betonikaide	Concrete railing	23	922	Kallioleikkaus	Rocky cutting	0
700	Liikuntasaumalaitteet	Joints	325	923	Arkkutihtaali	Coffin tihtaali	0
701	Liikuntasaumalaite	Expansion joint device	639	924	Kasuunitihtaali	Caisson tihtaali	0
702	Massaliikuntasauama	Mass movement joint	130	925	Pilari-/Paalutihtaali	Column or pile tihtaali	5
703	Tukikaista	Band aid	469	926	Veneluiska	Boat ramp	5
704	Ponttoniliitos	Pontoon mount	0	927	Köysivinssi	Rope winch	0
705	Ponttonin liitoskenkä	Pontoon mount shoe	0	928	Pengeraallonmurtaja	Breakwater terrace	1
				929	Aallonmurtajaponttoni	Breakwater pontoon	0
				930	Jäteastia	Trash can	1
				931	Maatuen eroosiosuojaus	Abutments erosion protection	4
				932	Tausta-Alueen eroosiosuojaus	Background area of erosion protection	6
				933	Laiturin edustan eroosiosuojaus	Security platform	0
				934	Laiturikytti	Pier signboard	1
				935	Vesiliikennemerkki	Water road sign	0

Vauriokirjauksissa on lisäksi myös tyyppi-, syy- ja materiaalikoodit.

Vauriotyyppi määrittää yksikön, missä vaurion laajuutta arvioidaan. Laajuus on käytökelpoinen vaurioiden korjauskustannusten arvioinnissa. Vauriotieto voi sijaita poikisuunnassa Jormalla kummalla puolella ja pituussuunnassa eri jänteillä.



Kuva 61. Vaurioiden määriä tyypeittäin ja syittäin. Yleisin vauriotyyppi on sillan korroosio- tai halkeiluvaurio. Yleisimmät syyt ovat ympäristö/ikäntyminen tai erilaiset työ- tai suunnitteluvirheet.

Taulukko 57. Vauriot materiaaleittain.

ID	Material	English	Count
11	Betoni	Concrete	59018
12	Teräs	Steel	34599
13	Puu	Timber	4419
14	Kivi	Stone	3520
15	Alumiini	Aluminum	97
16	Bitumi	Bitumen	765
17	Kumibitumi	Rubber bitumen	5358
18	Kumi	Rubber	579
19	Muovi (PVC, PE)	Plastic (PVC, PE)	951
20	Polymeerisementtibetoni	Polimer-reinforced concrete	158
21	Polymeerikomposiitti	Polymer	140
22	Muu polymeeri	Other Polymer	1699
23	Asfalttibetoni	Asphalt concrete	9528
24	Valuasfaltti	Mastic asphalt	350
25	Öljysora	Oil gravel	1405
26	Turve	Peat	125
27	Nurmi	Grass	559
28	Sora	Gravel	4327
29	Pehmeä asfalttibetoni	Soft asphalt concrete	113
30	Soratien pinta	Gravel-surfaced road	11
31	Ruostumaton teräs	Stainless steel	199
33	Polymeerimodifioitu sementtilaasti	Polymer modified cement mortar	120
34	Kupari	Copper	4
35	Murskattu kiviaines	Crushed rock	4

Taulukko 58. Vauriot vauriotyyppittäin.

ID	Defect type	English	Count	Units
11	Rapautuminen	Weathering	15576	sq.m
12	Halkeilu	Cracking	17352	m
13	Ruostuminen	Corrosion	17793	sq.m
14	Vesivuoto	Water leakage	10518	sq.m
15	Verkkohalkeilu	Web cracking	4072	sq.m
16	Purkautuminen	Discharge	3294	sq.m
17	Kuluma	Wear	4023	sq.m
18	Valuvika	Casting error	2538	sq.m
19	Eroosiovaurio	Erosion damage	4947	sq.m
20	Deformaatio	Deformation	186	sq.m
21	Lahoaminen	Rot	1611	sq.m
22	Hilseily	Exfoliation	738	sq.m
23	Kupliminen	Blistering	39	sq.m
24	Taipuma	Deflection	3385	mm
25	Murtuma	Fracture	2503	each
26	Lohkeama	Cleft	4197	cu.m
27	Painuma	Dent	2573	mm
28	Siirtymä	Displacement	1115	mm
29	Sortuma	Cave-in	1348	cu.m
30	Löystymä	Loosening	236	each
31	Irtoama	Detachment	5450	each
32	Tukos	Blockage	796	each
33	Kiertymä	Rotation	115	each
34	Kokoonpuristuma	Shrinkage	23	mm
35	Puuttuminen	Lack of	8663	each
36	Lommahdus	Buckling	50	mm
37	Töherrys	Botch	4152	sq.m
38	Ulkonäkövirhe	Appearance error	89	each
39	Liian matala	Too low	3929	mm
40	Liian lyhyt	Too short	6737	m

Taulukko 59. Vauriot syykoodeittain.

ID	Reason	English	Count
100	Ympäristö tai ikääntyminen	Environmental or aging	47194
101	Pakkasvaurio	Frost	698
102	Kloridien vaikutus	Chloride effect	853
103	Karbonatisoituminen	Carbonation	42
104	Ilmansaasteet	Air pollution	7
200	Kuormitus	Load	5302
201	Liikennekuorma	Transport truck	2003
202	Jääkuorma	Ice load	74
203	Virtauspaine	Flow pressure	31
204	Maanpaine	Earth pressure	207
205	Tukien liikkeet	Aid movement	200
206	Lämpöliike	Thermal motion	339
207	Kutistuminen	Shrinkage	1617
208	Viruminen	Creep	64
300	Kuluminen	Wear	1843
301	Kuluminen/liikenne	Wear / traffic	2769
302	Kuluminen/jää	Wear / ice	146
303	Kuluminen/virtaus	Consumption / flow	752
400	Eroosio	Erosion	4319
500	Onnettomuus	Accident	1183
501	Törmäys	Collision	2730
502	Tulva	Flood	4
503	Tulipalo	Fire	1
600	Suunnitteluvirhe	Design error	9483
601	Perusratkaisuvirhe	Basic solution error	4141
602	Detaljisuunnitteluvirhe	Detailing error	794
603	Materiaalinvalintavirhe	Material selection error	109
700	Rakennusvirhe	Construction error	21575
701	Työvirhe	Workmanship	8416
702	Materiaalivirhe	Material flaw	238
703	Elementin valmistusvirhe	Element manufacturing defect	289
800	Kunnossapitovirhe	Maintenance error	2461
801	Puhtaanapitovirhe	Cleaning error	311
802	Huoltovirhe	Maintenance error	93
803	Kunnossapitokaluston törmäys	Maintenance equipment collision	1703
900	Ilkivalta	Vandalism	6057

Kun rakenteessa on havaittu vaurio ensimmäisen kerran, sen kehittymistä seurataan peräkkäisten kirjausten avulla. Kukin vaurio voi sisältää useita havaintoja. Kun vaurio on korjattu, sitä ei enää kirjata vaurioksi.

Vaurioilla on vakavuus- ja kiireellisyysluokat:

- 1 Lievä
- 2 Kohtalainen
- 3 Vakava
- 4 Erittäin vakava

Nämä vakavuusluokat vastaavat niitä kuntotiloja, joita voidaan mallintaa. Vakavuusluokkien lisäksi myös määriä voidaan mallintaa. Tarkastuksissa kirjataan lisäksi mui-

takin tietoja, jotka ovat; kiireellisyys, vaikutus kuormituskapasiteettiin, toimenpide-ehdotus, määrä ja kustannus.

Vauriotason rappeutumisen mallintaminen edellyttää yksityiskohtaisten aikasarjojen muodostamista ja niiden tarkempaa tutkimista ja arviointia. Mallinnustyössä tulee selvittää millä tasolla malleja kannattaa tehdä. Olisi hyvä jos vaurioista pystyttäisiin mallintamaan kuntoarvioluokat.

Tarkastustiedon tarkkuus

Siltojen tarkastustiedon tarkkuutta valvotaan Liikenneviraston järjestämien sillantarkastuspäivien avulla. Koulutuksissa tehdään tarkastuksia tietyille koulutuskohteen silloille. Tämä tieto mahdollistaa tarkastustiedon tarkkuuden analysoinnin. Koska kukin sillantarkastaja tekee tarkastuksen vain yhteen kertaan, tarkastustiedon tarkkuutta analysoidaan vertaamalla tarkastusparien tarkastustuloksia toisiinsa. Tässä yhteydessä tarkastellaan vain päärakenneosien kuntoarvioiden tarkkuutta, koska se on pääasiallinen mallinnuksen kohde.

Tarkastuskoulutusten tarkastuksia on käytettävissä noin 1300 kpl, jotka ovat kertyneet viimeisten yhdeksän vuoden aikaisista tarkastuskoulutustilaisuuksista. Tämä tarkastusdata on jaettavissa noin 650 tarkastuspariin, missä kahden eri tarkastajan tuloksista on muodostettu pari. Näiden parien vertailusta saadaan tarkastusten uusittavuus eli henkilöriippuvuus. Vertaamalla parien tarkastuksia toisiinsa saadaan arvio tarkastustiedon kuntoarvioiden tarkkuudesta.

Sillan laskettu yleiskunto

Sillan päärakenneosien kuntoarvioiden perusteella laskettujen yleiskuntoarvioiden tarkkuutta ei tutkita normaalissa sillantarkastuksen laadunvalvonnassa, mutta koska se on jatkuva muuttuja, sille voidaan helposti tehdä ns. mittausjärjestelmän toimivuusanalyysi, GageRR-testi. Vuosien 2002–2010 tarkastuksista muodostettiin edellä mainitut tarkastajaparit ja laskettiin yleiskuntoarviot. Parien tulosten erot kertovat miten tarkkaa tarkastus on. Erojen vaihtelua (hajontaa) verrataan kokonaishajontaan, jolla tarkoitetaan kohteena olleiden siltojen yleiskunnon vaihtelua (hajontana). Tuloksena saadaan tunnusluku, joka osoittaa miten suuri osuus kokonaisvaihtelusta tulee tarkastajan tarkastusvirheestä. Analyysin tulos oli noin 60 %, mikä on huomattavasti suurempi kriteerinä olevaan 30 % rajaan. Tämän perusteella on todettavissa, ettei laskettu yleiskunto ole kovin tarkka tieto mallinnuksen pohjaksi. Toisaalta parempi arvio tarkkuudesta saataisiin jos tarkastettaisiin laajemmalla kuntoskaalalla olevia siltoja kahteen kertaan. Näin saataisiin toistettavuusvirhe ja uusittavuusvirhe erotettua toisistaan ja kokonaisvaihtelu olisi laajempaa.

Päärakenneosien kuntoarviot

Päärakenneosien kuntoarviotieto on luokiteltua viisiportaista tietoa ja siksi sen tarkkuutta voidaan analysoida helpoimmin vertaamalla arvioiden yhdenmukaisuutta kussakin luokassa. Tarkastajaparin arvioiden ristiintaulukointi kuntoluokkien suhteen paljasta samalla tavalla tai eri tavalla menneet arviot ja tarkastuksen hyvyttä kuvaava tunnusluku, samalla tavalla menneet arviot, on helposti laskettavissa.

Taulukossa 63 on yhteenveto eri päärakenneosien tarkastusten samalla tavalla ja eri tavalla menneistä tarkastuksista. Kokonaisuutena tarkastukset menevät samalla ta-

valla keskimäärin 64 % ja se vaihtelee rakenneosittain välillä 54–83 %. Liikuntasaumojen tarkastustarkkuus on sen mukaan kaikkein parasta, 83 %, ja vastaavasti huonointa varusteiden tarkastustarkkuus. Muilla kuin liikuntasaumoilla samaan kuntuokkaan arvioituja on välillä 54–67 %.

Valtaosa eri tavalla luokituneita kuntoarvioita menee vain yhden luokan verran (30 %) eri tavalla. Kahden luokan verran erilaisia arvioitakin on 4 %.

Taulukko 60. Yhteenveto tarkastustiedon tarkkuudesta.

Precision of element level condition rating in inspection

Päärakenneosa	Element	Correct	# of classes wrong			
			1	2	3	4
Alusrakenne	Substructure	55 %	40 %	4 %	1 %	0 %
Reunapalkki	Edge beam	67 %	29 %	2 %	2 %	0 %
Päällysrakenne	Other superstructure	67 %	31 %	3 %	0 %	0 %
Päällystre	Wearing surface	64 %	31 %	4 %	0 %	0 %
Pintarakenne	Other surface structure	61 %	33 %	5 %	1 %	0 %
Kaiteet	Railings	65 %	31 %	4 %	0 %	0 %
Liikuntasaumat	Joints	83 %	7 %	7 %	3 %	0 %
Varusteet	Appurtenances	54 %	36 %	9 %	2 %	0 %
Siltapaikka	Bridge site	62 %	36 %	2 %	0 %	0 %
Yleiskunto	General condition	64 %	31 %	4 %	1 %	0 %
Keskimäärin	In average	64 %	30 %	4 %	1 %	0 %

Vaurioihin pohjautuva kuntoarvio

Päärakenneosien kuntoarviot olisi mahdollista mallintaa riippuviksi tarkastajan havaitsemista vaurioista. Tällä toimenpiteellä saattaisi olla kuntoarvioiden tarkkuutta parantava vaikutus. Tällaista mahdollisuutta ei kuitenkaan tämän työn yhteydessä tehty, koska siinä olisi ensin laadittava kuntoarvioiden ja vaurioiden välinen yhteys.

Johtopäätökset

Suomessa sillantarkastusmenetelmä on sikäli poikkeuksellinen, että se tarjoaa eräitä mahdollisuuksia, mutta toisaalta myös aiheuttaa eräitä ongelmia. Merkittävin mahdollisuus on, että kunkin alirakenneosan vauriotilannetta seurataan koko ajan ja että se luokitellaan aina vain yhteen kuntuokkaan. Niinkin pitkän tarkastushistorian kuin 20 vuotta tarkastustiedoilla pitäisi olla mahdollista mallintaa sekä pää- että alirakenneosien rappeutuminen melko hyvin. Tämä mahdollistaisi aikasarja-analyyysien tekemisen ja sitä kautta ikäriippuvien mallien (Weibull) muodostamisen. Tämän raportin kirjoittajien tiedossa ei ole, että tällainen olisi mahdollista missään muussa maassa.

Toinen, yhtä merkityksellinen, mahdollisuus on, että tarkastuksilla saadaan ote siltujen vaurioitumismekanismeihin. Kukin vaurioitumismekanismi olisi mahdollista mallintaa erikseen ja yhdistää ne rakenneosien rappeutumismalleiksi. Vaikka se ei olisi-kaan puhdas mekanistinen malli, niin se kuitenkin perustuisi syy- ja seuraustietoon, mikä olisi yleensä mahdotonta pelkän visuaalisen tarkastustiedon avulla (Thompson ja Sobanjo, 2010).

Yhteenvedona voidaan todeta, että Suomen sillantarkastusten pitkä historia mahdollistaa tavanomaisten Markov-mallien päivittämisen ikäriippuviksi Weibull-malleiksi. Merkittävin hyöty olisi, että mallien yli- ja aliennustusominaisuudet vähenisivät.

Toinen mahdollisuus olisi sitoa päärakenneosien kuntoarviot vauriotietoon. Vaurioiden määrätiedot tulisi kuitenkin lisätä mukaan.

Vaikeutena saattaisi toisaalta tulla eteen se, ettei aikasarjahistoria olisi kovin yhtenäistä eri rakenteille. Puutteellisten aikasarjojen analysointiin on onneksi olemassa kuitenkin menetelmiä, joilla aikasarjoja ikään kuin sensuroidaan ja analyysit onnistuvat silti.

Toinen vaikeus saattaa liittyä siihen, ettei menneisyydessä tehtyjä toimenpiteitä kaikkia ole raportoitu. Tarkastustiedon lopullinen käyttökelpoisuus käy ilmi vasta kun tietoa käsitellään ja analysoidaan.

6.3.2 Rautatiesillat

Rautatiesiltojen tarkastukset aloitettiin nykyisessä muodossaan 1996. Rautatiesilloille on määritetty yhteensä kahdeksan päärakenneosaa (Taulukko 64). Vuosittain tarkastettavien siltojen määrä on noin 400. Rautatiesilloilta on tällä hetkellä keskimäärin kaksi tarkastustietoa.

Taulukko 61. Rautatiesiltojen päärakenneosat.

Koodi	Päärakenne	Element
00	Alusrakenne	Substructure
10	Päällysrakenne	Superstructure
20	Sillan varusteet	Furniture
30	Sillan laitteet	Equipments
40	Pintakäsittelyt	Surface
50	Siltapaikan rakenteet	Site structures
60	Raidarakenteet	Rail structures
70	Asemarakenteet	Station structures

Siltatyyppjä on kaiken kaikkiaan 141 (Taulukko 65) ja alirakenneosia 54. Tarkastuksissa ei anneta kuntoarvioita päärakenneosille vaan inventoidaan ainoastaan niiden vauriot. Vauriotyyppjä on 26 ja vauriokoodeja 9 (Taulukko 66). Toimenpidekoodeja on 102 (Taulukko 67). Vaurioiden vakavuus- ja kiireellisyysluokat saavat arvoja 0-4. Vakavuusluokat ovat yhteneväiset maantiesiltojen vastaavien kanssa.

Taulukko 62. Rautatiesiltojen siltatyypit.

Numero	Tyyppi	Nimi	Numero	Tyyppi	Nimi
1	Bhe	Teräsbetoninen holvisilta, elementtirakenteinen	71	jBukau	Jännitetty betoninen ulokekukulopalkkisilta
2	Bjkau	Teräsbetoninen jatkuva kukulopalkkisilta	72	jBukp	Jännitetty betoninen ulokekotolopalkkisilta
3	Bjkip	Teräsbetoninen jatkuva kotolopalkkisilta	73	jBul	Jännitetty betoninen ulokelaattasilta
4	Bjl	Teräsbetoninen jatkuva laattasilta	74	jBuol	Jännitetty betoninen ulokeontelolaattasilta
5	Bjle	Teräsbetoninen jatk. laattasilta, elementtirakenteinen	75	jBup	Jännitetty betoninen ulokepalkkisilta
6	Bjlk	Teräsbetoninen jatkuva laattakehäsilta	76	jBvlk	Jännitetty betoninen vinojalkainen laattakehäsilta
7	Bjop	Teräsbetoninen jatkuva ontelopalkkisilta	77	jBvpk	Jännitetty betoninen vinojalkainen palkkikehäsilta
8	Bjip	Teräsbetoninen jatkuva palkkisilta	78	pBl	Teräspalkkibetoninen laattasilta
9	Bjpe	Teräsbetoninen jatk.palkkisilta, elementtirakenteinen	79	pBlj	Teräspalkkibetoninen jatkuva laattasilta
10	Bjukau	Teräsbetoninen jatkuva ulokekukulopalkkisilta	80	Kh	Kivinen holvisilta
11	Bjul	Teräsbetoninen jatkuva ulokelaattasilta	81	Pjlp	Puinen jatkuva liimattu palkkisilta
12	Bjuol	Teräsbetoninen jatkuva ulokeontelolaattasilta	82	Pjäyp	Puinen jäykistetty palkkisilta
13	Bjuop	Teräsbetoninen jatkuva ulokeontelopalkkisilta	83	Pkr	Puinen kaarisilta
14	Bjup	Teräsbetoninen jatkuva ulokepalkkisilta	84	Plp	Puinen liimattu palkkisilta
15	Bkau	Teräsbetoninen kukulopalkkisilta	85	Pp	Puinen palkkisilta
16	Bkip	Teräsbetoninen kotolopalkkisilta	86	Pr	Puinen ristikkosilta
17	Bkr	Teräsbetoninen kaarisilta	87	Pra	Puinen riippuansassilta
18	Bl	Teräsbetoninen laattasilta	88	Pta	Puinen tukiansassilta
19	Ble	Teräsbetoninen laattasilta, elementtirakenteinen	89	Tjkpbl	Teräksinen jatk.kotolopalkkisilta,bet.kant.,liittorak
20	Bllel	Teräsbetoninen elementtirakenteinen laattasilta I	90	Tjkpt	Teräksinen jatkuva kotolopalkkisilta,teräskantinen
21	Bllell	Teräsbetoninen elementtirakenteinen laattasilta II	91	Tjpa	Teräksinen jatkuva levypalkkisilta, ajorata alhaalla
22	Blk	Teräsbetoninen laattakehäsilta	92	Tjpy	Teräksinen jatkuva levypalkkisilta, ajorata ylhäällä
23	Blkl	Teräsbetoninen laattakehäsilta I	93	Tjpb	Teräksinen jatkuva palkkisilta, betonikantinen
24	BlklI	Teräsbetoninen laattakehäsilta II	94	Tjpbl	Teräksinen jatkuva palkkisilta,bet.kant.,liittorak.
25	Bnp	Teräsbetoninen nivelpalkkisilta	95	Tjpp	Teräksinen jatkuva palkkisilta,puukantinen
26	Bop	Teräsbetoninen ontelopalkkisilta	96	Tjpt	Teräksinen jatkuva palkkisilta,teräskantinen
27	Bp	Teräsbetoninen palkkisilta	97	Tjupb	Teräksinen jatkuva ulokepalkkisilta, betonikantinen
28	Bpe	Teräsbetoninen palkkisilta, elementtirakenteinen	98	Tjupbl	Teräksinen jatk. ulokepalkkisilta,bet.kant.,liittorak.
29	Bpk	Teräsbetoninen palkkikehäsilta	99	Tjupp	Teräksinen jatkuva ulokepalkkisilta,puukantinen
30	Bputki	Teräsbetoninen putkisilta	100	Tjupt	Teräksinen jatkuva ulokepalkkisilta,teräskantinen
31	Brhe	Teräsbetoninen elementtirakenteinen rengasholvisilta	101	Tkau	Teräksinen kukulopalkkisilta
32	Bukau	Teräsbetoninen ulokekukulopalkkisilta	102	Tkehä	Teräksinen kehäsilta
33	Bukp	Teräsbetoninen ulokekotolopalkkisilta	103	Tkpbl	Teräksinen kotolopalkkisilta,bet.kant.,liittorak.
34	Bul	Teräsbetoninen ulokelaattasilta	104	Tkpt	Teräksinen kotolopalkkisilta,teräskantinen
35	Buol	Teräsbetoninen ulokeontelolaattasilta	105	Tkr	Teräksinen kaarisilta
36	Bup	Teräsbetoninen ulokepalkkisilta	106	Tkrb	Teräksinen kaarisilta,betonikantinen
37	Bh	Teräsbetoninen holvisilta	107	Tkäntö	Teräksinen kääntösilta
38	Bvlk	Teräsbetoninen vinojalkainen laattakehäsilta	108	Tlanger	Teräksinen Langer-palkkisilta
39	Bvpk	Teräsbetoninen vinojalkainen palkkikehäsilta	109	Tläppä	Teräksinen läppäsilta
40	TOBI	TOBI-alkukukäytävä	110	Tnosto	Teräksinen nostosilta
41	jBe	Jännitetty elementtisilta	111	Tnp	Teräksinen nivelpalkkisilta
42	jBel	Jännitetty elementtisilta I	112	Tpll	Teräsbetonikantinen liittopalkkisilta II
43	jBell	Jännitetty elementtisilta II	113	Tpa	Teräksinen levypalkkisilta, ajorata alhaalla
44	jBellI	Jännitetty elementtisilta III	114	Tpy	Teräksinen levypalkkisilta, ajorata ylhäällä
45	jBeIV	Jännitetty elementtisilta IV	115	Tpb	Teräksinen palkkisilta,betonikantinen
46	jBeV	Jännitetty elementtisilta V	116	Tpbl	Teräksinen palkkisilta,betonikant.,liittorak.
47	jBh	Jännitetty betoninen holvisilta	117	Tpp	Teräksinen palkkisilta,puukantinen
48	jBjkau	Jännitetty betoninen jatkuva kukulopalkkisilta	118	Tpt	Teräksinen palkkisilta,teräskantinen
49	jBjkp	Jännitetty betoninen jatkuva kotolopalkkisilta	119	Tputki	Teräksinen aaltoputkisilta
50	jBjl	Jännitetty betoninen jatkuva laattasilta	120	Tputkij	Teräksinen aaltoputkisilta, jalallinen
51	jBjol	Jännitetty betoninen jatkuva ontelolaattasilta	121	Tra	Teräksinen ristikkosilta, ajorata alhaalla
52	jBjop	Jännitetty betoninen jatkuva ontelopalkkisilta	122	Try	Teräksinen ristikkosilta, ajorata ylhäällä
53	jBjip	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	123	Trp	Teräksinen riippusilta
54	jBjukau	Jännitetty betoninen jatkuva ulokekukulopalkkisilta	124	Ttyöntö	Teräksinen työntösilta
55	jBjukp	Jännitetty betoninen jatkuva ulokekotolopalkkisilta	125	Tukpbl	Teräksinen ulokekotolopalkkisilta,bet.kant.,liittorak.
56	jBjul	Jännitetty betoninen jatkuva ulokelaattasilta	126	Tukpt	Teräksinen ulokekotolopalkkisilta,teräskantinen
57	jBjuol	Jännitetty betoninen jatkuva ulokeontelolaattasilta	127	Tupb	Teräksinen ulokepalkkisilta,betonikantinen
58	jBjuop	Jännitetty betoninen jatkuva ulokeontelopalkkisilta	128	Tupbl	Teräksinen ulokepalkkisilta,betonikant.,liittorak.
59	jBjup	Jännitetty betoninen jatkuva ulokepalkkisilta	129	Tupp	Teräksinen ulokepalkkisilta,puukantinen
60	jBkau	Jännitetty betoninen kukulopalkkisilta	130	Tuvt	Teräksinen ulokepalkkisilta,teräskantinen
61	jBkip	Jännitetty betoninen kotolopalkkisilta	131	Tvks	Teräksinen vinoköysisilta
62	jBkr	Jännitetty betoninen kaarisilta	132	pBul	Teräspalkkibetoninen ulokelaattasilta
63	jBl	Jännitetty betoninen laattasilta	133	Bnlk	Teräsbetoninen niveltantainen laattakehäsilta
64	jBlk	Jännitetty betoninen laattakehäsilta	134	Enpk	Teräsbetoninen niveltantainen palkkikehäsilta
65	jBnp	Jännitetty betoninen nivelpalkkisilta	135	Tjpb	Teräksinen jatkuva palkkisilta,bet.kant.,elementtirak.
66	jBol	Jännitetty betoninen ontelolaattasilta	136	Tjra	Teräksinen jatkuva ristikkosilta, ajorata alhaalla
67	jBop	Jännitetty betoninen ontelopalkkisilta	137	Tjry	Teräksinen jatkuva ristikkosilta, ajorata ylhäällä
68	jBp	Jännitetty betoninen palkkisilta	138	pBljI	Teräspalkkibetoninen jatkuva laattasilta, liittorak.
69	jBpk	Jännitetty betoninen palkkikehäsilta	139	pBlI	Teräspalkkibetoninen laattasilta, liittorak.
70	jBputki	Jännitetty betoninen putkisilta	140	pBull	Teräspalkkibetoninen ulokelaattasilta, liittorak.
			141	Tpe	Teräksinen palkkisilta, elementtirakenteinen

Taulukko 63. Vauriotyypit ja syykoodit.

Koodi	Yksikkö	Vauriotyyppi	Defect type
0		ei määritelty	ei määritelty
1	m2	Rapautuminen	Rapautuminen
2	m	Halkeilu	Halkeilu
3	m2	Ruostuminen	Ruostuminen
4	m2	Vesivuoto	Vesivuoto
5	m2	Verkkohalkeilu	Verkkohalkeilu
6	m2	Purkautuminen	Purkautuminen
7	m2	Kuluma	Kuluma
8	m2	Valuvika	Valuvika
9	m2	Eroosioaurio	Eroosioaurio
10	m2	Deformaatio	Deformaatio
11	m2	Lahoaminen	Lahoaminen
12	m2	Hilseily	Hilseily
13	m2	Kupliminen	Kupliminen
14	mm	Taipuma	Taipuma
15	kpl	Murtuma	Murtuma
16	m3	Lohkeama	Lohkeama
17	mm	Painuma	Painuma
18	mm	Siirtymä	Siirtymä
19	m3	Sortuma	Sortuma
20	kpl	Löystymä	Löystymä
21	kpl	Irtoama	Irtoama
22	kpl	Tukos	Tukos
23	kpl	Puuttuu	Puuttuu
24	m	Alimittainen	Alimittainen
25	m2	Likainen	Likainen
26	kpl	Kunnossapito-ongelma	Kunnossapito-ongelma
		Vaurion syyparametrit	
	Koodi Code	Syy	Cause
	100	Ympäristövaikutukset	Ympäristövaikutukset
	200	Kuormitus	Kuormitus
	300	Kuluminen	Kuluminen
	400	Eroosio	Eroosio
	500	Onnettomuus	Onnettomuus
	600	Suunnitteluvirhe	Suunnitteluvirhe
	700	Rakentamisvirhe	Rakentamisvirhe
	800	Kunnossapitovirhe	Kunnossapitovirhe
	900	Ilkivalta	Ilkivalta

Taulukko 64. Toimenpidekoodit.

Koodi	Yksikko	Selite	Selite
0	kpl/vuosi	SEURANTA	SEURANTA
101	m	Reunapalkin uusiminen	Reunapalkin uusiminen
102	m³	Rakenteen korjaaminen valamalla	Rakenteen korjaaminen valamalla
103	m²	Teräslevyjen liimaaminen	Teräslevyjen liimaaminen
104	kg	Raudoituksen liimaaminen	Raudoituksen liimaaminen
105	m²	Paikkaus ilman muotteja	Paikkaus ilman muotteja
106	m²	Paikkaus muottien avulla	Paikkaus muottien avulla
107	m²	Ejektointi	Ejektointi
108	m²	Betonipinnan ruiskubetonointi	Betonipinnan ruiskubetonointi
109	m²	Betonirakenteen ruiskubetonointi	Betonirakenteen ruiskubetonointi
110	m	Halkeaman injektointi epoksilla	Halkeaman injektointi epoksilla
111	m	Sementti-injektointi	Sementti-injektointi
112	m³	Injektointibetonointi	Injektointibetonointi
113	m	Halkeaman sulkeminen imeyttämällä	Halkeaman sulkeminen imeyttämällä
114	m²	Betonipinnan puhdistus	Betonipinnan puhdistus
115	m²	Betonipinnan pinnoitus	Betonipinnan pinnoitus
116	m²	Betonipinnan impregnointi	Betonipinnan impregnointi
117	kpl	Tartuntaterästen ankkurointi	Tartuntaterästen ankkurointi
118	m²	Betonirakenteen katodinen suojaus	Betonirakenteen katodinen suojaus
119	m³	Reunapalkin korotus	Reunapalkin korotus
120	m³	Rakenteen jatkaminen	Rakenteen jatkaminen
121	m	Kolhaisuusuojan asentaminen	Kolhaisuusuojan asentaminen
201	m	Kaitteen uusiminen	Kaitteen uusiminen
202	kg	Teräsojan uusiminen	Teräsojan uusiminen
203	kg	Teräsputken uusiminen	Teräsputken uusiminen
204	m²	Teräsojan vahventaminen	Teräsojan vahventaminen
205	kpl	Kaidepylvään juuren kunnostus	Kaidepylvään juuren kunnostus
206	m	Teräspalkin ylälaipan kunnostus	Teräspalkin ylälaipan kunnostus
207	m²	Paikkausmaalauk	Paikkausmaalauk
208	m²	Uusintamaalaus	Uusintamaalaus
209	kpl	Laakerien huoltokäsittely	Laakerien huoltokäsittely
210	kpl	Laakerien uusiminen	Laakerien uusiminen
211	m²	Kuuma- tai ruiskuinkitys	Kuuma- tai ruiskuinkitys
212	kpl	Teräsputken katodinen suojaus	Teräsputken katodinen suojaus
213	kpl	Laakerin asennon korjaaminen	Laakerin asennon korjaaminen
214	m²	Teräsrakenteen puhdistus	Teräsrakenteen puhdistus
301	m³	Puurakenteen vahventaminen ,tukeminen tai kunnostus	Puurakenteen vahventaminen ,tukeminen tai kunnostus
302	m²	Puukannen uusiminen	Puukannen uusiminen
303	m²	Puukannen vahventaminen teräslevyllä	Puukannen vahventaminen teräslevyllä
304	m	Halkeaman injektointi epoksilla	Halkeaman injektointi epoksilla
305	m²	Liimapuupalkinpinnoitus	Liimapuupalkinpinnoitus
401	m²	Betonin verhoaminen kivellä	Betonin verhoaminen kivellä
402	m	Halkeaman injektointi	Halkeaman injektointi
403	m²	Kivipinnan puhdistus	Kivipinnan puhdistus
404	m³	Kivirakenteen manttelointi	Kivirakenteen manttelointi
405	m³	Kivirakenteen uusiminen	Kivirakenteen uusiminen
406	kpl	Pulttaus	Pulttaus
407	m	Saumaus	Saumaus
501	kpl	Tippuputken teko päällysrakenteeseen	Tippuputken teko päällysrakenteeseen
502	kpl	Tippureiän teko kaidepylvään juureen	Tippureiän teko kaidepylvään juureen
503	m	Sillan reunan varustaminen salaajalla	Sillan reunan varustaminen salaajalla
504	m	Sillan varustaminen poikittaisella salaajalla	Sillan varustaminen poikittaisella salaajalla
505	m	Liikuntasauvan ja laakeritason varustaminen vedenjohtolaitte	Liikuntasauvan ja laakeritason varustaminen
506	kpl	Tippuputken jatkaminen	Tippuputken jatkaminen
507	kpl	Syöksytöiden jatkaminen (yläosa)	Syöksytöiden jatkaminen (yläosa)
508	m	Syöksytöiden jatkaminen	Syöksytöiden jatkaminen
509	m	Pintavesien ohjauslaitteiden teko	Pintavesien ohjauslaitteiden teko
510	m	Luisikan pintavesiputken teko	Luisikan pintavesiputken teko
511	m	Luisikan pintavesikourun teko	Luisikan pintavesikourun teko
512	kpl	Kivisilmän teko	Kivisilmän teko
513	m	Pengersalaojan teko	Pengersalaojan teko
514	kpl	Tippuputken avaus	Tippuputken avaus
515	kpl	Tippuputken yläpään tiivistäminen	Tippuputken yläpään tiivistäminen
516	kpl	Syöksytöiden yläpään tiivistäminen	Syöksytöiden yläpään tiivistäminen
601	m	Liikuntasauvalaitteen kunnostus	Liikuntasauvalaitteen kunnostus
602	m	Liikuntasauvalaitteen uusiminen	Liikuntasauvalaitteen uusiminen
603	m	Liikuntasauvanauhan uusiminen	Liikuntasauvanauhan uusiminen
604	m	Massaliikuntasauvan teko	Massaliikuntasauvan teko
605	kpl	Reunapalkin liikuntasauvan sulkeminen	Reunapalkin liikuntasauvan sulkeminen
606	kpl	Reunapalkin liikuntasauvan tiivistäminen	Reunapalkin liikuntasauvan tiivistäminen
607	m	Reunapalkin ja päällysteen välisen sauman tiivistäminen	Reunapalkin ja päällysteen välisen sauman tiivistäminen
608	m	Päällysrakenteen-elementtien välisen sauman tiivistäminen	Päällysrakenteen-elementtien välisen sauman tiivistäminen
609	m	Sillan ja penkereen rajan tai muun päällysteen liikuntasauvan	Sillan ja penkereen rajan tai muun päällysteen liikuntasauvan
701	m²	Pintarakenteiden uusiminen	Pintarakenteiden uusiminen
702	m²	Päällystekerrosten uusiminen	Päällystekerrosten uusiminen
703	m²	Kulutuserroksen uusiminen	Kulutuserroksen uusiminen
704	m²	Vedeneristyksen paikkaaminen	Vedeneristyksen paikkaaminen
705	m	Päällysteen halkeaman-sulkeminen	Päällysteen halkeaman-sulkeminen
706	m²	Päällysteen paikkaaminen (myös urapaikkaus)	Päällysteen paikkaaminen (myös urapaikkaus)
707	m	Ohutkerrospäällysteen halkeaman sulkeminen	Ohutkerrospäällysteen halkeaman sulkeminen
708	m²	Ohutkerrospäällysteen paikkaus	Ohutkerrospäällysteen paikkaus
709	m²	Ohutkerrospäällysteen uusiminen	Ohutkerrospäällysteen uusiminen
710	m²	Puukannen päällystäminen	Puukannen päällystäminen
801	m	Verhouksen saumaaminen	Verhouksen saumaaminen
802	m²	Kiviheitokeverhouksen teko	Kiviheitokeverhouksen teko
803	m²	Kiviiverhouksen teko	Kiviiverhouksen teko
804	m²	Betonilaattaverhouksen teko	Betonilaattaverhouksen teko
805	m²	Betonikiviiverhouksen teko	Betonikiviiverhouksen teko
806	m²	Turveverhouksen teko	Turveverhouksen teko
807	m²	Nurmiverhouksen teko	Nurmiverhouksen teko
808	m²	Molskotti- tai sepeliverhouksen teko	Molskotti- tai sepeliverhouksen teko
809	m²	Kenttäkiviiverhouksen teko	Kenttäkiviiverhouksen teko
810	m²	Kivikorirakenteiden teko	Kivikorirakenteiden teko
811	m²	Kivikoripatjan teko	Kivikoripatjan teko
812	m²	Tukimuurin teko	Tukimuurin teko
813	m²	Tulopenkereen korjaaminen	Tulopenkereen korjaaminen
814	m²	Eroosioaurion korjaaminen	Eroosioaurion korjaaminen
815	m³	Uoman puhdistus	Uoman puhdistus
901	m²	Sillan leventäminen	Sillan leventäminen
902	m²	Kantavuuden parantaminen	Kantavuuden parantaminen
903	m²	Liikenneteknisen poikileikkauksen muuttaminen	Liikenneteknisen poikileikkauksen muuttaminen
904	m²	Päällysrakenteen uusiminen	Päällysrakenteen uusiminen

6.4 Suositukset

6.4.1 Mallinnus

Taitorakenteista, joista on tehty tarkastuksia useita vuosia, on olemassa suhteellisen hyvä ja monipuolinen aineisto rappeutumisen ja toimenpidevaikutusten mallintamiseen. Niistä taitorakenteista, joista ei ole vielä tarkastustoiminnan tuottamaan tietoa, ei ole mahdollista tehdä luotettavia malleja. Ne taitorakenteet, joiden määrä ja merkitys kokonaisuuteen suhteutettuna ovat vähäisiä, voidaan mallintaa käyttäen kokeneiden asiantuntijoiden tietämystä. Niille taitorakenteille, lähinnä maanteiden ja rautateiden sillat, joista tarkastushistoria on laajempi, on useita mallinnusmahdollisuuksia, mm. seuraavat.

- Luokkasiirtymien mediaani-ikien Markov-mallit. Nämä muodostaisivat oletusmallit eri tilanteille (pää- tai alirakenneosat).
- Pää- tai alirakenneosien luokkasiirtymien mediaanien Weibull-mallit luottamuskäyttöä varten. Näissä malleissa ei tarvita vaurioita eikä niiden määriä.
- Vauriotyyppien määrien Weibull-mallit.
- Toimenpiteiden vaikutusmallit Markov-malleina.

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan edellä esitettyjä mallinnusvaihtoehtoja.

Markov-rappeutumismalli

Markov-malli on eniten käytetty rappeutumismalli siltojen hallintajärjestelmissä. Mallissa oletetaan, että tilasiirtymä luokasta toiseen riippuu ainoastaan lähtötilasta, mutta ei aikaisemmasta kuntohistoriasta eikä mistään muusta rakenteen ominaisuudesta. Malli esitetään yksinkertaisena matriisina (Taulukko 68):

Taulukko 65. Markov-rappeutumismalli.

From	To state 0	State 1	State 2	State 3	State 4
State 0	93.6	6.4			
State 1		92.0	8.0		
State 2			91.1	8.9	
State 3				98.7	1.3
State 4					100.0

All amounts in percent

Riveillä osoitetaan lähtötila vuoden alussa ja sarakkeilla tila yhden vuoden kuluttua. Tällainen poikkileikkausmalli sopii erittäin hyvin rakenteille, joiden elinikä on pitkä, 50–100 vuotta, vaikka mallinnukseen ei ole käytettävissä kovin pitkää aikahistoriaa.

Markov-mallimatriisilla on tiettyjä erikoisominaisuuksia:

- Neliömatriisi – matriisit ovat aina neliömatriiseja, esim. 5×5 .
- Oikea yläkolmio – Vain lävistäjällä ja oikeassa yläkolmiossa saa olla nolasta poikkeavia lukuja. Toisin sanottuna kunto ei voi parantua siitä mitä se lähtökellällä oli.
- Ei-negatiivinen – Matriisin luvut eivät ole negatiivisia.
- Positiivinen lävistäjä – Lävistäjällä olevien solujen tulee olla nolasta poikkeavia. Toisin sanoen, rakenteen tilassa pysymisen todennäköisyyden tulee olla suurempi kuin nolla.
- Normalisoitu – Rivisummat ovat aina tasan 100 %. Toisin sanoen siirtymät tapahtuvat rivien suunnassa ja summautuvat aina samaan lukuun..
- Viimeinen solu vakio. Johtuen edellisistä ominaisuuksista oikealla alhaalla oleva kulmasolu on aina 100 %.

Kuntoennuste lasketaan Markov-mallilla yksinkertaisesti matriisin kertolaskulla. Tilanteessa, missä ei tehdä mitään korjaustoimenpiteitä, rappeutuminen lasketaan seuraavasti:

$$y_k = \sum_j x_j p_{jk} \text{ for all } k \quad (5)$$

missä x_j todennäköisyys sille, että rakenne on vuoden alussa kuntotilassa j ; y_k on todennäköisyys sille, että rakenne on vuoden lopussa kuntotilassa k ; ja p_{jk} siirtymätodennäköisyys tilasta j tilaan k . Sama laskutoimitus toistetaan niin monta kertaa kuin on ennustettavana vuosia. Taulukossa 63 on esitetty esimerkkilaskelma 50 vuoden ajalle. Ikää, missä huonoimman kuntoluokan todennäköisyys saavuttaa arvon 50 %, kutsutaan elinajan odotteen mediaaniksi.

Jos elinajan odotteen mediaani tunnetaan, niin siitä on mahdollista laskea malli takaisinpäin. Tämä onkin usein helppo tapa muodostaa rappeutumismalleja asiantuntijoiden kestoikänäkemyksistä. Se mahdollistaa myös helpon tavan käsitellä ja säilyttää malleja. Jos populaatiosta 50 % siirtyy ajassa t tilasta j tilaan $k+1$ ja muut tilasiirtymät eivät ole mahdollisia, niin yhden vuoden siirtymätodennäköisyydet voidaan laskea kaavalla:

$$p_{ij} = 0.5^{\binom{1}{t}} \quad \text{and} \quad p_{jk} = 1 - p_{jj} \quad (6)$$

Jos mediaani on 10.23 vuotta tilasiirtymille tilasta 1 tilaan 2, niin todennäköisyydet ovat 93.4% tilalle 1 ja 6.6% tilalle 2.

Mallinnus lineaarisella regressiolla

Regressio on yleisin mallinnusmenetelmä siirtotodennäköisyyksien mallintamisessa (Cambridge 2003). Menetelmässä käytetään lineaarialgebraa kahden vektorin yhdistämiseen:

Kunto vuoden alussa on:

$$[X] = [x_1^i, x_2^i, x_3^i, x_4^i, x_5^i] \text{ for all inspection pairs } i$$

Kunto vuoden lopussa on:

$$[Y] = [y_1^i, y_2^i, y_3^i, y_4^i, y_5^i] \text{ for all inspection pairs } i$$

Ne tunnetaan ja ratkaistava yhtälö on:

$$[Y] = [P][X]$$

missä $[P]$ on siirtymätodennäköisyysmatriisi. Tuntemattomat siirtymätodennäköisyydet voidaan ratkaista:

$$[P] = [XX]^{-1}[XY]$$

Matriisi XX on:

$$[XX] = \sum_i x_j^i x_k^i \text{ for all combinations of } j \text{ and } k$$

Matriisi XY on:

$$[XY] = \sum_i x_j^i y_k^i \text{ for all combinations of } j \text{ and } k$$

Taulukko 66. *Kuntoennuste Markovin mallilla.*

Markov transition probability matrix					
State	State probability in one year				
Today	1	2	3	4	5
1	95.3	4.6	0.1	0.0	0.0
2	0	93.2	3.9	1.9	1.0
3	0	0	89.4	7.3	3.3
4	0	0	0	82.8	17.2
5	0	0	0	0	100

$$\text{Probability of state } k \text{ next year: } y_k = \sum_j x_j p_{jk} \quad \text{for all } k$$

j is the condition state this year and x is the fraction in state j
 p is the transition probability from j to k

Future condition forecasts					
Year	Percent by condition state				
	1	2	3	4	5
0	100	0	0	0.0	0.0
1	95.3	4.6	0.1	0.0	0.0
2	90.8	8.7	0.4	0.1	0.0
3	86.6	12.3	0.8	0.3	0.2
4	82.5	15.4	1.2	0.5	0.4
5	78.6	18.2	1.8	0.8	0.6
6	74.9	20.5	2.4	1.1	1.0
7	71.4	22.6	3.0	1.5	1.5
8	68.0	24.3	3.6	1.9	2.1
9	64.8	25.8	4.3	2.3	2.8
10	61.8	27.0	4.9	2.7	3.6
11	58.9	28.0	5.5	3.1	4.5
12	56.1	28.8	6.1	3.5	5.5
13	53.5	29.5	6.6	3.9	6.6
14	51.0	29.9	7.1	4.3	7.7
15	48.6	30.2	7.6	4.6	9.0
16	46.3	30.4	8.0	5.0	10.4
17	44.1	30.5	8.4	5.3	11.8
18	42.0	30.4	8.7	5.5	13.3
19	40.1	30.3	9.0	5.8	14.8
20	38.2	30.1	9.3	6.0	16.4
21	36.4	29.8	9.5	6.3	18.1
22	34.7	29.4	9.7	6.4	19.7
23	33.0	29.0	9.9	6.6	21.5
24	31.5	28.6	10.0	6.7	23.2
25	30.0	28.1	10.1	6.8	25.0

Year	Percent by condition state				
	1	2	3	4	5
25	30.0	28.1	10.1	6.8	25.0
26	28.6	27.6	10.1	6.9	26.8
27	27.3	27.0	10.2	7.0	28.6
28	26.0	26.4	10.2	7.1	30.4
29	24.8	25.8	10.1	7.1	32.2
30	23.6	25.2	10.1	7.1	34.0
31	22.5	24.6	10.0	7.1	35.8
32	21.4	23.9	9.9	7.1	37.6
33	20.4	23.3	9.8	7.0	39.4
34	19.5	22.6	9.7	7.0	41.2
35	18.5	22.0	9.6	6.9	42.9
36	17.7	21.4	9.5	6.9	44.7
37	16.8	20.7	9.3	6.8	46.4
38	16.1	20.1	9.1	6.7	48.0
39	15.3	19.5	9.0	6.6	49.7
40	14.6	18.8	8.8	6.5	51.3
41	13.9	18.2	8.6	6.4	52.9
42	13.2	17.6	8.4	6.2	54.5
43	12.6	17.0	8.2	6.1	56.0
44	12.0	16.5	8.0	6.0	57.5
45	11.5	15.9	7.8	5.9	58.9
46	10.9	15.3	7.6	5.7	60.4
47	10.4	14.8	7.4	5.6	61.8
48	9.9	14.3	7.2	5.5	63.1
49	9.5	13.8	7.0	5.3	64.4
50	9.0	13.3	6.8	5.2	65.7

<< Median life expectancy

Matriisi viimeistellään seuraavasti; Yhtä prosenttia pienemmän lävistäjän arvot asetetaan tasan 1 %:iin. Vasen alakolmio asetetaan nolliksi. Loput jäljelle jäävät numerot normalisoidaan riveittäin summautumaan tasan 100 %:iin.

$$p'_{jk} = \frac{p_{jk}}{s_j} \quad s_j = \sum_k p_{jk}$$

Jos mallin pohjaksi saatu data tulee tarkastuksista, joiden tarkastusväli on suurempi kuin yksi vuosi, niin tulos on muunnettava vastaamaan yhden vuoden tilasiirtymiä. Saatu uusi matriisi on jälleen normalisoitava.

Regressiomenetelmän etuna on, että sillä voidaan mallintaa tilasiirtymiä mistä tahansa tilasta sitä huonompaan tilaan. Menetelmän heikkoutena taas on, että siinä altistutaan useille matriisien kääntöoperaatioille, mistä aiheutuu virhettä.

Askelmenetelmä

Jos tarkastusväli on lyhyempi kuin tilasiirtymäjakso tai siirtymäaika on ainut haluttava asia, niin regressiomenetelmää voidaan yksinkertaistaa. Tällöin p_{13} ja muut lävistäjää sivuamattomat solut voidaan asettaa nolliksi. Menetelmää kutsutaan askelmenetelmäksi.

Seuraava esimerkki havainnollistaa asiaa. Tarkastusväliksi asetetaan kaksi vuotta. Yhtälö saa seuraavan muodon:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & 0 \\ & p_{22} & p_{23} & 0 \\ & & p_{33} & p_{34} \\ & & & p_{44} \end{bmatrix}^2 \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

Tarkastuksista saadut tilavektorit $[Y]$ ja $[X]$ ovat nyt kahden vuoden päässä toisistaan. Siirtymämatriisi $[P]$ esitetään aina yhden vuoden askeleelle, mutta sitä käytetään kaksi kertaa. Ratkaistaessa matriisia $[Y]$ tarvitaan seuraavia yksittäisiä laskukaavoja:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 p_{11} p_{11} \\ y_2 &= x_1 p_{11} p_{12} + x_1 p_{12} p_{22} + x_2 p_{22} p_{22} \\ y_3 &= x_1 p_{12} p_{23} + x_2 p_{22} p_{23} + x_2 p_{23} p_{33} + x_3 p_{33} p_{33} \\ y_4 &= x_2 p_{23} p_{34} + x_3 p_{33} p_{34} + x_3 p_{34} p_{44} + x_4 p_{44} p_{44} \end{aligned}$$

Koska rivisummien tulee täsmätä tasaan 100 %:iin, niin saadaan kolme lisäyhtälöä:

$$p_{12} = 1 - p_{11}; \quad p_{23} = 1 - p_{22}; \quad p_{34} = 1 - p_{33}$$

Vektorit $[X]$ ja $[Y]$ saadaan tarkastuksista. Seitsemän tuntemattoman yhtälöt ja seitsemän tuntematonta voidaan ratkaista lähtien p_{11} , sitten p_{12} , p_{22} , p_{23} , jne.

Toisen asteen yhtälöt ratkaistaan myös normaalisti. Esimerkiksi p_{33} on:

$$p_{33} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a = x_3; \quad b = x_2 p_{23}; \quad c = x_1 p_{12} p_{23} + x_2 p_{22} p_{23} - y_3$$

Molempia edellä mainittuja menetelmiä on käytetty esim. Floridan DOT:n Pontisjärjestelmässä (Thompson and Sobanjo 2010). Askelmenetelmä tuotti suunnilleen samansuuruisia selitysasteita kuin regressiomenetelmä, mutta oli robustimpi. Se tuotti malleja useammille tilanteilla ja pienemmällä havaintomäärillä.

Weibull-rappeutumismalli

Eräs Markov-mallin epäkohta on ollut useissa eri järjestelmissä se, että se yliarvioi rappeutumisen nopeuden rakenteen ollessa suhteellisen nuori (Thompson and Sobanjo 2010, Thompson and Johnson 2005, Patidar et al. 2006). Monivuotisissa optimointitilanteissa siitä aiheutuu ongelmia, koska niitä ei saada sopimaan kunnolla käytännön tilanteisiin. Monet käyttäjät ovat kuvitelleet, että Markov-malli on ikäriippuva eli

että se oli alussa hidas ja vasta lopussa nopea. Vaikka malli onkin kuntotilariippuva, se ei ole ikäriippuva. Ongelmaa onkin ehdotettu ratkaistavaksi Weibull-mallilla, johon ikäriippuvuus saadaan mukaan helposti (Agrawal & Kawaguchi 2009). Luotettavuusteoriassa Weibull-jakaumat ovat tyypillisiä laitteiden vikaantumisjakaumia, missä niillä ennustetaan vikaantumistodennäköisyyttä. Mm. päällysteiden urautuminen noudattaa Weibull-jakaumia. Se on käyttökelpoinen minkä tahansa ikäriippuvan tilasiirtymän mallintamisessa. Weibull-malliin sopii samanlainen tarkastusdata kuin Suomessa on maantiesiltojen tarkastuksissa, eli että rakenne on aina vain yhdessä kuntoluokassa kerrallaan.

Kun Markov-mallissa tilasiirtymät tilasta toiseen ovat vakioita niin Weibull-mallissa ne riippuvat rakenteen iästä siten, että uusilla rakenteilla siirtymätodennäköisyys on pieni ja vanhalla suurempi. Rappeutumisenopeus reagoi rakenteen ikääntymiseen ja sopii käytännön tilanteisiin paremmin.

Weibull-malli on muotoa:

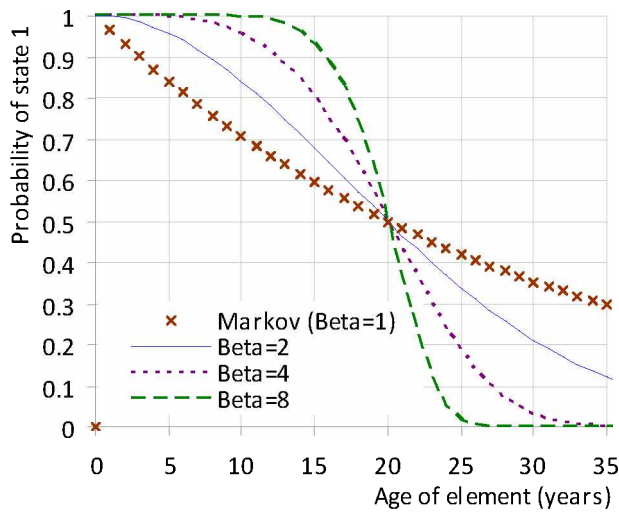
$$y_{jg} = \exp\left(-\left(\frac{g}{a}\right)^\beta\right) \quad (7)$$

missä y_{jg} on tilan j tilatodennäköisyys iässä g , kun toimenpiteitä ei ole tehty kyseisellä aikavälillä; β on muotoparametri, joka määrää rappeutumisen hidastumisen; ja α skaalaparametri, joka lasketaan seuraavasti:

$$\alpha = \frac{t}{(\ln 2)^{1/\beta}} \quad (8)$$

missä t tilasiirtymien j ja $j+1$ välisen ajan mediaani.

Tässä esitetty malli on kahden parametrin malli. Weibull-mallista on myös kolmen parametrin versio, missä kolmas parametri siirtää jakaumaa oikealle. Molempia vaihtoehtoja on mahdollista sovittaa käytännön tilanteisiin ja nähdä mikä versio kulloinkin sopii parhaiten. Kuvassa 71 on esitetty, miten muotoparametri muuttaa mallia. Muotoparametria $\beta=1$ vastaa Markov-malli ja kuvasta nähdään miten se on pienillä iän arvoilla nopea. Parametria kasvatettaessa alkupään rappeutuminen hidastuu ja nopeampi vaihe siirtyy lähemmäksi mediaani-ikää.



Kuva 62. Weibull-malli eri β -parametrin arvoilla.

Mediaani-ikä on kaikissa vaihtoehdoissa sama, koska Markov-ikä oli niiden laskenta-perusteena. Weibull-mallia voidaan käyttää myös toisinpäin mediaani-ian laskemisessa kun tiedetään tilajakauma. Tämä on käyttökelpoinen silloin kun rakenteen käyttäytymisestä jo tiedetään sellaista, mikä ei sovi sen iän puolesta malliin muuten.

Vastinikä lasketaan seuraavasti:

$$g' = a \times 10^{\left(\frac{\log(-\ln(y_1))}{\beta}\right)} \quad (9)$$

Weibull-malleja on käytetty teollisuudessa laajasti ja useita mallinnusmenetelmiä on ollut käytössä. Kaksi yleisintä on esitetty tarkemmin lähteessä (Dodson, 2006):

- Probability plotting. Weibull- kertymäfunktion logaritmin logaritmi järjestetään siten, että saadaan suora viiva. Sovitetaan havainnot suoraan viivaan ja saadaan mallin parametrit suoraan.
- Hazard plotting. Weibull-hazardifunktiolla useiden sensuroitujen aineistojen käsittely saadaan helpommaksi, ja tulokseksi saadaan mallin parametrit.

Tilastollisten ohjelmistojen yleistyminen on mahdollistanut tarkemman, MLE, (maximum likelihood estimation) menetelmän käytön. Siinä tiheysfunktio muunnetaan todennäköisyysfunktioiksi, jonka parametrit vastaavat parhaiten mallinnettavaa tilannetta. Se on iteratiivinen menetelmä, missä lopulliset malliparametrit saadaan useiden vaiheiden kautta. Mallinnustyö edellyttää aina tilastomenetelmien hallintaa. Niitä ei tässä yhteydessä juurta jaksain selitetä. Ohessa on liitettynä Dodsonin ja Abernethyn mallinnukseen liittyviä ohjeita:

While there exist very capable statistical software packages that can perform maximum likelihood estimation, nowadays it is quite common to use Excel's Solver feature. The advantage of using Excel is that all the features of Excel formulas and Visual Basic for Applications are available to automate data preparation and exploration of alternative formulations. This capability will be important for development of the Finnish structure deterioration models, because there are tens of thousands of possible models to be evaluated, given the large number of sub-elements, defect types, and materials; and the large data set available.

Dodson (2006) and Abernethy (2004) describe methods of using Excel and other software for estimation of Weibull models. It is important that the method be suitable for grouped, multiply-censored data, since those are important characteristics of the Finnish inspection history.

Dodson's method in particular offers simplicity and flexibility for this type of data and for an Excel Solver implementation. It requires finding the value of β that makes the following equation true:

$$\sum_{i=1}^r \frac{\ln(x_i - \delta)}{r} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \delta)^\beta \ln(x_i - \delta)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \delta)^\beta} - \frac{1}{\beta}$$

where

- x_i is the transition time for structure i from state j to state $(j+1)$ (uncensored data point) or the time from state j to present (censored data point)
- r is the number of structures where the transition was actually observed
- n is the total number of structures that started in state j , including those that have not yet made the transition to $(j+1)$
- β is the shaping parameter of the Weibull model
- δ is the location parameter of the Weibull model, which is likely to be zero

The reader may notice that this equation is based on the second derivative of the likelihood function for the Weibull distribution, finding the value of β that approximates a second derivative value of zero, thus maximizing the likelihood function. The scaling parameter can then be found from:

$$a = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \delta)^\beta}{r} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Dodson (2006) explains the origin of these equations and also provides a procedure for testing whether δ is significantly different from zero.

With these equations it is straightforward to automate the development of a suite of Weibull models for each state transition for a collection of groupings of sub-element, defect type, and material. Similar software, for a slightly different variation of the model, was developed by Thompson (Thompson and Sobanjo 2010) to model the onset of deterioration in combination with a Markov model.

As described here, the Weibull model estimates a probability distribution of state transition times, for elements or sub-elements. It can also be used, with minor changes, to model the growth of defect quantity, even in the absence of total sub-element quantity. This would be helpful in estimating the costs of future actions.

Toimenpiteiden vaikutusmallit

Edellä esitetyt mallinnusmenetelmät koskivat tilanteita, missä tehdään ennustemalleja rappeutumista varten. Näissä ennustetaan rakenteiden tilasiirtymiä kun mitään toimenpiteitä ei tehdä. Toimenpiteiden vaikutusmallinnuksessa ennustetaan toisenlaisia tilannetta, missä jotain tehdään. Tällöin malli ja menetelmän hiukan muuttuvat. Vaikutusmalleja käytetään samalla tavalla kuin rappeutumismallejakin. Vaikutusmallin kuvaamiseen riittää pelkkä Markov-malli. Vaikutusmallien tekemiseen liittyy seuraavia näkökohtia:

- Toimenpiteiden määrä on vähäinen eivätkä ne kohdistu välttämättä alirakenteisiin ja sen takia niitä tuleekin ryhmitellä suuremmiksi kokonaisuuksiksi.

- Kaikkia toimenpiteitä ei ole rekisteröity.
- Siltojen tarkastukset on tyypillisesti tehty 4-5 vuoden välein. Jos tarkastusten välissä on tehty toimenpide niin tarkastusdata sisältää tilanteen, missä yhtenä vuotena on tehty toimenpide ja useita vuosia, jolloin ei ole. Vaikka suurin vaikutus onkin toimenpiteellä, niin periaatteessa siihen sisältyy lisäksi usean vuoden rappeutuminen, mikä jonkin verran vääristää saatua mallia.
- Voi olla vaikeaa määrittää mihin rakenneosiin toimenpide on oikeasti kohdistunut.

Esimerkki Markov-vaikutusmallista on seuraavassa taulukossa. Vaikutusmalliin pätee enimmäkseen sama mikä rappeutumismalliinkin kahta poikkeusta lukuun ottamatta. Tilasiirtymät tapahtuvat oikealta vasemmalle ja oikea yläkolmio on tyhjä. Usein on vielä niinkin, että lävistäjällä ei ole nollostakaan poikkeavia lukuja.

Taulukko 67. Markov-vaikutusmalli.

From	To state 0	State 1	State 2	State 3	State 4
State 0	100.0				
State 1	100.0				
State 2	99.0	1.0			
State 3	95.0	5.0			
State 4	90.0	8.0	2.0		

All amounts in percent

6.4.2 Mallien kytkeminen hallintajärjestelmään

Mallien toiminnasta hallintajärjestelmässä on esitetty tarkemmin seuraavassa luvussa. Keskeisimpiä mallien kytkemiseen liittyviä seikkoja ovat seuraavat:

- Rakenneosien kuntoilaa tulee pystyä ennustamaan tulevaisuuteen tarkasteltavan elinkaaren ajan.
- Tarkasteltavan elinkaaren aikana tulee vastaan rappeutumis- ja toimenpiteiden vaikutuskohtia rajattomasti.
- Ennustettu kunto on hyötyfunktioiden peruslähtökohta.
- Ennustaminen tapahtuu vuosi kerrallaan. Yhdelle taitorakenteelle voidaan tarvita noin 50 ennustetta (9 rakenneosaa, 3-6 toimenpidevaihtoehtoa)?

7 Elinkaarianalyysi

7.1 Elinkaaren hallinta

Elinkaarikustannusten laskennan avaintekijä on elinkaaren hallinta eli kyky mallintaa ja soveltaa elinkaaren aikaisia toimenpidestrategioita ja niiden kustannusvaikutuksia. Väylänpitäjän toimenpiteiden ajoitus vaikuttaa rakenteissa havaittavien puutteiden määrään ja vakavuuteen ja sitä kautta tarvittavien toimenpiteiden kustannuksiin. Toimenpiteen siirtäminen myöhemmäksi vähentää lähitulevaisuuden kustannuksia, mutta voi kasvattaa pitkän aikavälin kustannuksia. Kun väylänpitäjä on vastuussa sekä nykyhetken että tulevaisuuden kustannuksista, se huomioi päätöksenteossaan kummatkin kustannuskomponentit. Lähiajan kustannuksia arvostetaan kuitenkin enemmän kuin kauempana tulevaisuudessa syntyviä kustannuksia.

Englanninkielinen käsite elinkaaren hallinnasta on ”Inter-temporal tradeoffs”, mikä on hankalaa kääntää suoraan suomeksi. Elinkaaren hallinnan rooli korostuu ennakoivassa ylläpidossa ja käyttöikää pidentävissä toimenpiteissä. Valittavana voi olla esim. kolme strategiaa; uusia rakenne, korjata rakenne tai olla tekemättä mitään. Kaikilla strategioilla on lähiajan kustannusvaikutukset sekä myöhemmin koituvat kustannusvaikutukset. Englanninkielinen määritelmä tälle on seuraava:

”Inter-temporal tradeoffs” means the costs and benefits of changing the year of implementation of work on a bridge. For example, usually delaying preservation work causes the initial cost of the work to go up (because there is more deterioration at the time the work is done), but it is possible that the total life cycle cost could be higher or lower.

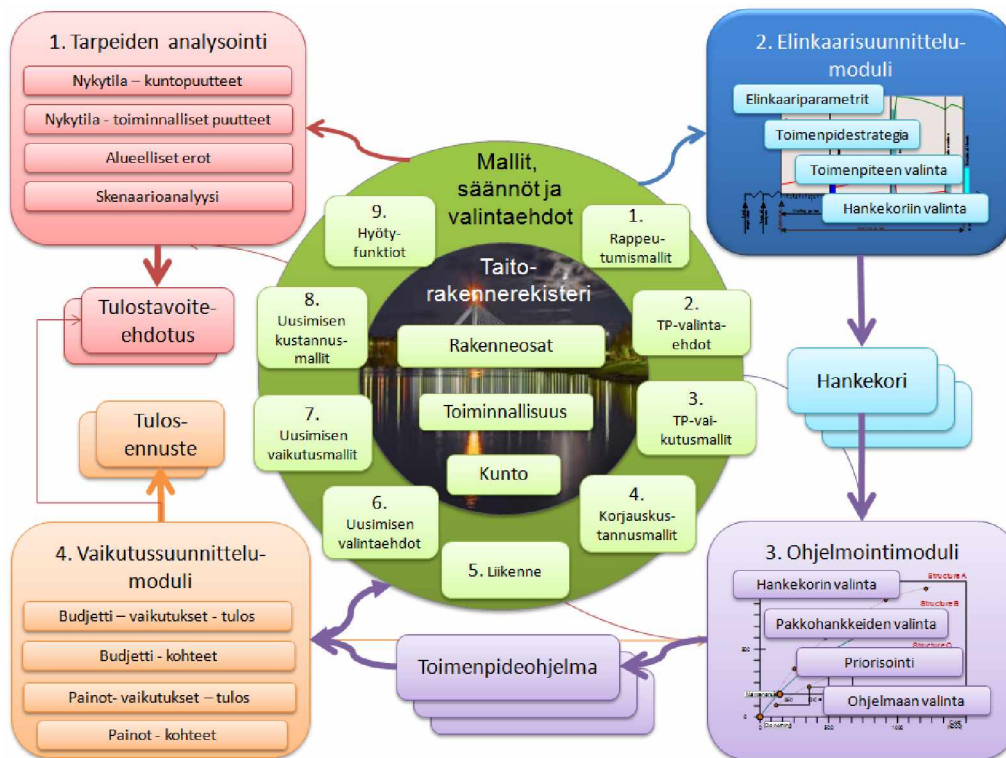
Strategian toimenpidevaihtoehtojen lukumäärä kasvaa jos/kun taitorakenteen rakenneosien toimenpiteiden sallitaan ajoittua toisistaan poikkeavasti.

Rakenteiden tyypillisen elinkaarianalyysin pääosat ovat vaihtoehtojen muodostaminen, toimenpiteiden ajoittaminen, kustannusten määrittäminen, elinkaarikustannusten laskeminen ja johtopäätösten tekeminen. Tällainen vaiheistus koskee usein yksittäiselle suunnitteluvaiheessa olevalle taitorakenteille tehtävää elinkaarianalyysia ja rakenneratkaisujen ja materiaalien valintaa. Tässä suositeltava elinkaarianalyysi poikkeaa mainituista monessa suhteessa. Ensiksi se on osa taitorakenteiden hallintajärjestelmää, toiseksi sen tulee toimia kaikille rakenteille niiden tyypistä ja elinkaaren hetkestä riippumatta ja kolmanneksi sen tarkoitus on tuottaa lista niistä taitorakenteista, joille tulisi elinkaarikustannusten perusteella tehdä toimenpide seuraavan kymmenvuotisen ohjelmajaksion aikana. Tämä lista on alustava hankekoru. Alustavaa tai lopullistakaan hankekoru ei sellaisenaan toteuteta, vaan hankekoru on lähtökohtana ohjelmoinnille, jossa budjettiin mahtuvat ja vaikutustavoitteet täyttävät kohteet pääsevät suunniteltaviksi ja toteutettaviksi.

Suosittelava laskentaperiaate on siten kohdetasolta lähtevä elinkaarikustannusten laskenta, joka tapahtuu yhdessä hallintajärjestelmän muiden toimintojen ja tunnuslukujen laskennan kanssa ja on integroituna siten hallintajärjestelmän sisään yhdeksi osaksi sitä. Elinkaarikustannuslaskennassa ovat keskeisiä seuraavat tekijät:

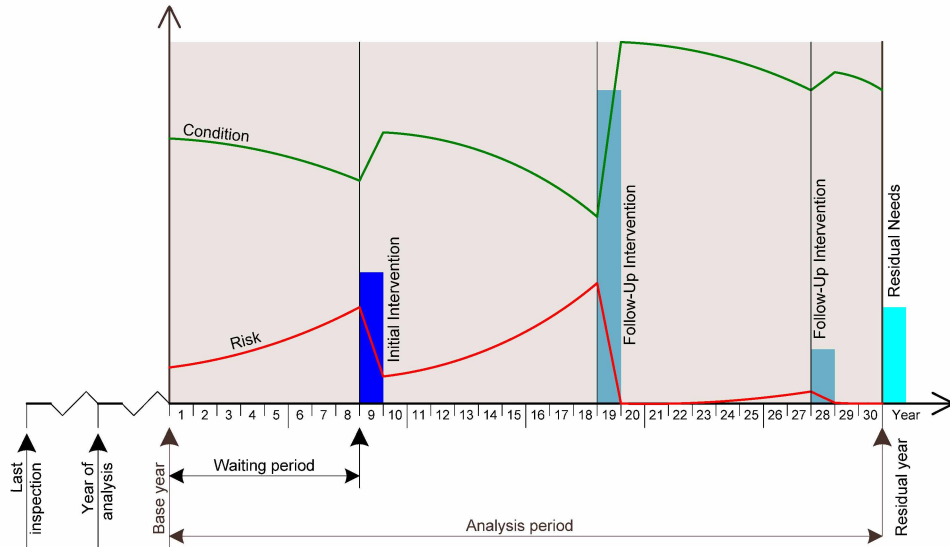
- Rappautumismalli. Malli, jolla tarpeellisten rakenneosien kunto saadaan ennustettua haluttuun ajankohtaan riittävän tarkasti. Malleja on käsitelty edellisessä pääluvussa.

- Kustannusmalli. Kaikissa hallintajärjestelmissä on joku tapa kustannusten hallintaan. Kustannukset ovat sidoksissa ennustettavaan kuntoon ja ajoittuvat ja määräytyvät sen perusteella.
- Vaikutusmalli. Toimenpiteiden vaikutukset kuntoon ja muihin tarvittaviin tunnuslukuihin ennustetaan vaikutusmalleilla.
- Käsitelysäännöt, päätöspuut. Päätöspuilla määrätään mitkä toimenpiteet ovat sopivia kulloisiinkin tilanteisiin. Nämä heijastavat väylänpidon käytäntöä ja toimintalinjoja.
- Käyttäjän kustannukset. Jos toiminnalliset puutteet ovat osa elinkaarianalyysiä, niin silloin niistä aiheutuvat käyttäjille koituvat lisäkustannukset huomioidaan kustannusmalleilla.
- Diskonttaus. Eri aikaan kohdistuvat investoinnit muutetaan yhteismitallisiksi diskonttaamalla ne samaan ajan hetkeen. Tulevaisuuden kustannuseriä ei arvosteta investointilaskelmissa yhtä suuriksi kuin nykyhetkessä aiheutuvat kustannukset.



Kuva 63. Elinkaarianalyysi hallintajärjestelmän osana.

Taitorakenteen tulevaa tilaa ennustetaan yhdessä rappeutumismalleilla, vaikutusmalleilla ja päätöspuilla. Elinkaaren aikana taitorakenteelle tehdään useita toimenpiteitä. Tällaista toimenpiteiden ketjua kutsutaan elinkaaren toimenpideprofiiliksi (LCAP). Toimenpiteiden ajoittuminen määrää sen miten rakenteen kunto ja muu toiminnallisuus palvelee käyttäjiä. Monitavoitteen kriteerit voivat aiheuttaa kukin erilaisia toimenpideprofiileja ja lopullinen suositeltava profiili määritetään minimoimalla elinkaarenaikaisia kustannuksia.



Kuva 64. Elinkaaren toimenpideprofiili. Toimenpiteet vuosina 9, 19 ja 28.

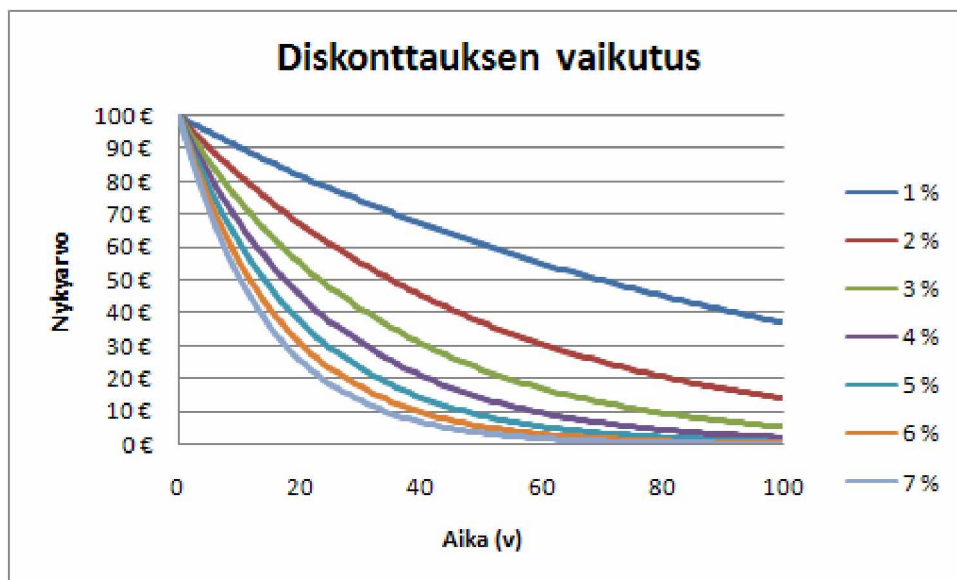
7.2 Elinkaariparametrit

Elinkaarianalyysiä varten määritetään ensimmäisenä analyysin lähtökohdat ja parametrit. Lähtökohdista ja parametreista ovat elinkaareen ja tarkasteluajankautaan liittyvät määritteet sekä itse taloudelliseen elinkaarianalyysiin liittyvät laskentaa ohjaavat alkuarvot. Useimmat parametrit ovat järjestelmässä oletusarvoisina valmiina ja niitä tarvitaan muuttamaan vain harvoin. Tällaisia ovat mm. seuraavat:

- Kannattavuuslaskelmien diskonttauskorkeus. Korkeus valitaan tyypillisesti väliltä 3–6 %. Korkokantaa ei vaihdella kovin usein, koska sillä ohjataan pitkäaikaisten investointien laskelmia. Liikenneväylien rahoitus tulee valtion budjetista ja diskonttauskorkeudella huomioidaan valtion rahoituskustannuksia ts. korkotasoa, jolla valtio saa lainaa.
- Tarkastelujakson pituus. Taitorakenteet ovat pitkäikäisiä rakenteita. Sillat suunnitellaan tyypillisesti kestäväksi 100 v. Elinkaarianalyysin tarkastelujaksoa ei valita kuitenkaan niin pitkäksi, vaan välille 30–50 vuotta johtuen seuraavista syistä:
 - Hyötyjen ja kustannusten arviointitarkkuus heikkenee sitä enemmän mitä kauemmas tulevaisuuteen mennään. Laskelmia ei kannata tehdä liian epävarmoilla tiedoilla ellei ole käytössä riskianalyysimenetelmiä.
 - Diskonttauksen takia kauas tulevaisuuteen ajoittuvien hyötyjen ja kustannusten merkitys häviää lähes olemattomiin eikä siten vaikuta lopputuloksiin merkittävästi.
 - Koko elinkaaren aikaisia tapahtumia ei tarvitse analysoida, koska on kyse jo päätetyistä ja rakennetuista rakenteista, joita pidetään kunnossa joka tapauksessa.
 - Elinkaarianalyysin päätarkoitus on ylläpitää hankekorjausohjelmointia varten ja siten mitoitetaan ja ajoitetaan kullekin taitorakenteelle seuraava toimenpide. Jos seuraava toimenpide ajoittuu ohjelmointiperiodia kauemmaksi, niin siitä ei ole enempää kiinnostuneita.
 - Tarkastelujakson pituudeksi riittää jokin arvo väliltä 30–50 vuotta ja se tulee pitää samana kaikille taitorakenteille.

- Taloudellisten laskelmien valikoimaa voidaan säädellä, mutta ne kannattaa tehdä silti kaikki. Lähtötietona annetaan pääkriteeri, jonka perusteella analyysi valitsee toimenpiteitä.
- Ohjelmointiperiodilla tarkoitetaan sitä ajanjaksoa, jolta ohjelmoinnissa haetaan kohteita. Kun elinkaarianalyysi tuottaa hankekorin ja ajoittaa toimenpiteet niin päähuomio kiinnitetään ohjelmointiperiodille ajoittuviin kohteisiin. Periodin pituutena voi olla 10 vuotta ja sekin kannattaa pitää vakiona.

Kustannusten laskemisessa tulevaisuuden toimenpiteiden huomiointiin vaikuttavat eniten tarkastelu-aika ja kustannusten diskonttaus. Elinkaarianalyysissä tarkastelu-aika on taitorakenteen elinkaari eli 50–100 vuotta. Diskonttaus lyhentää ko. tarkastelu-aikaa kuitenkin johtuen siitä, että jakson loppupäähän ajoittuvien erien nykyarvo häviää lähes merkityksettömiksi. Diskonttauskoron ollessa yli 3 % 50 vuoden päähän tai sen jälkeen ajoittuvien erien merkitys on melko pieni.



Kuva 65. Diskonttauksen vaikutus 100 €:n investoinnin arvoon eri diskonttauskoron

7.3 Toimenpidestrategia

Tapa muodostaa taitorakenteen elinkaarianalyysi vaihtelee riippuen hallintajärjestelmästä. Erot syntyvät yleensä kohteiden suunnittelun ja valinnan menetelmistä. Avaintekijöitä elinkaarianalyysin muodostamisessa ovat mm. seuraavat:

- Valintaehdot ja päätöspuut. Valintaehdoilla ja päätöspuilla määritetään mitkä tekijät laukaisevat toimenpiteitä ja jos niin minkälaisia. Toimenpidevaihtoehtoja voi olla useita ja ne voivat kohdistua pienempään tai suurempaan osaan taitorakenteen rakenteita. Valintaehdot tarvitaan erikseen kunnosta aiheutuville toimenpiteille ja toiminnallisista puutteista aiheutuville toimenpiteille.
- Ennakoivan ylläpidon tarve. Onko väylävirastolla tapana painottaa ennakoivia ylläpitotoimenpiteitä vai ei? Tämä on keskeinen asia Suomen taitorakenteiden hallintajärjestelmässä. Ennakoivien toimenpiteiden kirjo kasvattaa laskennallisten vaihtoehtojen lukumäärää.

- Toisen toimenpiteen tärkeys. Yleensä elinkaarianalyysin päätavoite on määrittää seuraava toimenpide niin laajuudeltaan kuin ajoitukseltaan mahdollisimman hyvin. Elinkaaren kustannuksiin kuitenkin vaikuttaa myös sitä seuraava toimenpide. Toisen toimenpiteen huomioimisen tärkeys riippuu tarkasteluajan pituudesta. Valintaehtojes tulisi kattaa ainakin kaksi seuraavaa toimenpidettä.
- Käyttöikäsuunnittelu. Riippuen väylänpitäjän tavasta on olemassa mahdollisuus ohjata taitorakenteen käytössäoloikää ja asettaa sille tavoitteita. Tällä on vaikutuksensa elinkaaren toimenpiteisiin. Suomessa on käytäntönä käyttää siltoja hallitusti loppuun, jolloin niitä ei uusita vaan pidetään sen verran kunnossa, että ne toimivat.

Luettelon viimeistä kohtaa on selitettävä tarkemmin. Käyttöikäsuunnittelu on tullut mahdolliseksi yhä monipuolisempien hallintajärjestelmien kautta. Tämä pätee erityisesti lyhytkestoisii rakenteisiin kuten kaiteisiin, merkkeihin ja merkintöihin.

Taitorakenteiden elinkaari on muun väyläomaisuuden elinkaariin verrattuna pitkä ja sen takia sitä ei pystytä kovin tarkasti ennakoimaan. Niiden käyttöikää pidennetään toistuvilla korjauksilla, mutta sitä ei voida kuitenkaan jatkaa loputtomasti vaan niitä on myös uusittava. Uusiminen on välttämätöntä myös toiminnallisten puutteiden kasvaessa, joten toiminnalliset puutteet määräävät ainakin jossain määrin uusimisfrekvenssin.

Suomen taitorakenteiden hallintajärjestelmässä on loogista määritellä toimenpidestrategiaa esim. seuraavasti:

- Ensiksi tarkastellaan onko taitorakenne tarpeen uusia kokonaan. Tämä voi johtua liikennejärjestelmän muuttumisesta, liikenteen kasvusta, käyttötarkoituksen muuttumisesta tai paikallisten tietojen tuomasta selvän uusimistarpeen havaitsemisesta.
- Jos uusimistarve on näköpiirissä, niin muodostetaan sen mukainen strategia järjestelmän sääntöjen avulla. Jos uusiminen ajoittuu lähitulevaisuuteen, niin ylläpitotoimet ovat melko minimaalisia. Jos taas uusimiseen on enemmän aikaa, niin sitten tarkastellaan tarkemmin, mitä korjaustoimia sitä ennen kannattaa tehdä.
- Jos uusimistarvetta ei ole näköpiirissä lähitulevaisuudessa, niin järjestelmä muodostaa ylläpitostrategian, missä korjaustoimien laajuus ja ajoitus ratkaistaan minimoimalla elinkaaren kustannuksia. Uusiminen voi olla yksi vertailuissa mukana olevista toimenpiteistä.

Jos taitorakenteelle on kirjattuna tieto viimeisestä käyttövuodesta, niin sitä voidaan käyttää analyyseissä hyväksi. Ellei tällaista tietoa ole, niin se on mahdollista ennustaa järjestelmällä. Ennustamisessa tarvitaan taitorakenteen ikää, liikennemäärää, kertyneitä kuormituskertoja, rakenteen tyyppiä jne.

Joillekin taitorakenteen päärakenteosille kuten kansirakenne, päällysrakenne, tai toiminnalliset ominaisuudet, voidaan muodostaa toimenpidestrategia automaattisesti. Tämä vähentää taitorakenteelle tehtävien muiden toimenpiteiden tarvetta ja nopeuttaa laskentoja.

7.4 Toimenpiteet

Toimenpidestrategia muodostuu erilaisista toisiaan seuraavista toimenpiteistä. Yleensä ensimmäinen tarvittava toimenpide on se tärkein. Sitä seuraavat toimenpiteet ennakoidaan, jotta pystytään ennakoimaan taitorakenteen tila ja kustannukset koko tarkastelujakson ajan.

Toimenpideprofiili

Kaikissa siltojen hallintajärjestelmissä on joku tapa muodostaa ja hallita sen eliniän aikana syntyviä tapahtumia - toimenpiteitä. Erot toimenpideprofiilien hallintatavoissa heijastavat hanketason suunnittelun erilaisia näkökulmia tai ovat sidoksissa erilaisiin optimointitapoihin ohjelmien laadinnassa. Tällaisia avaintekijöitä ovat:

- Analyysin aikajakso. Pitempi aikajakso edellyttää parempia ennustemalleja ja parempaa toimenpideseurantaa varsinkin tilanteissa, missä rakenne kuluu nopeasti kuten esim. liikuntasauamat. Liikenneviraston järjestelmälle valitaan analyysijakson pituudeksi 50 vuotta.
- Toimenpidevalikoiman kattavuus. Miten pienet ennakoivat kunnossapitotoimet otetaan mukaan analyysiin?
- Toteutuneiden toimenpiteiden seuranta. Monissa tilanteissa vain ensimmäinen toimenpide on tarkastelun kohteena ja sitä seuraavat toimenpiteet raportoidaan vain osana elinkaarianalyysiä tai jonkinlaisena varana pitkän aikavälin budjettitarkasteluissa. Tällöin ei ole yleensä tarpeen optimoida myöhempiä toimenpiteitä. Kymmenvuotisella tarkastelujaksolla ei tulevassa hallintajärjestelmässä tarvita seuranta.
- Tavoiteltava elinajan odote. Riippuen siitä, mikä näkökulma virastolla on, voi tavoiteltava elinaika vaikuttaa elinkaaren tapahtumaprofiilin muodostumiseen ja sen luontiin. Tätä ominaisuutta Liikenneviraston hallintajärjestelmälle halutaan ainakin niille silloille, jotka ovat elinaikansa lopussa.

Koska silloilla ja taitorakenteilla yleensäkin on suhteellisen pitkä käyttöikä, elinkaa- ren tarkka ennustaminen ei onnistu kovin hyvin. Siltojen ja taitorakenteiden loputon korjaaminen ei ole mahdollista, vaan ne tulee aika ajoin kokonaan uusia, vaikkei toiminnallista uusimistarvetta välttämättä olisikaan. Tosin uusimisen pääsyynä ovat yleensä toiminnalliset tarpeet.

Mikäli edellä mainittu pätee myös Liikenneviraston taitorakennejärjestelmään, niin suositellaan seuraavaa toimintalogiikkaa:

- Ensin määritetään onko sillalla tai taitorakenteella uusimistarvetta ohjelmaperiodin (10 vuotta) aikana. Tähän voi vaikuttaa liikennesuunnitelmat, liikenteen kasvu, aiempi päätös uusimisesta, tai muu tarkastelu, jolla uusimisen tarve on todettu. Kohde voi olla valittuna syystä tai toisesta jo ennalta hankekoriin.
- Jos taitorakenteelle on tulossa uusiminen ohjelmaperiodin aikana, niin se ajoitetaan ensin tarkemmin ja sen jälkeen muodostetaan uusimistoimenpiteen jälkeiset muut toimenpiteet koko analyysijaksolle. Jos uusiminen ajoittuu hyvin lähelle, niin muita toiminnallisuuden parantamisia ei kannata sitä ennen tehdä ja keskitytään minimoimaan kustannuksia ja pitämään rakennetta sen verran kunnossa, et-

tä se palvelee käyttöä uusimisajankohtaan saakka. Tätä voidaan kutsua vaikka ”tekohengitysstrategiaksi”.

- Jos uusimistarvetta ei ohjelma-ajan aikana ole, niin luodaan toimenpidevaihtoehtoja ylläpito- ja korjaustoimenpiteillä niin, että rakenne pysyy toimintakuntoisena jatkuvasti. Tosin uusiminen voi olla yhtenä vaihtoehtona mukana.

Lähestymistapa sopii parhaiten silloin kun tietojärjestelmässä on paikat myös päätöksille käyttöönsä lopettamisesta. Liikenneviraston tai ELY:n käyttäjä voi halutessaan täydentää tietoa taitorakenteen käytöstä poistamisesta tai uusimisesta. Myös sillan-tarkastaja voi täydentää tähän liittyviä tietoja.

Tapahtumaprofiilin muodostaminen voidaan laajentaa kattamaan myös taitorakenteen osiin (päärakenneosat) kohdistuvia toimenpiteitä; kuten päällysrakenteen uusiminen, kannen uusiminen, tai toiminnallisia parantamistoimenpiteitä.

Alkutoimenpide

Toimenpiteet ryhmitellään sen perusteella miten organisaatiossa on totuttu niitä ryhmittelemään. Ryhmittelyt noudattavat yleensä seuraavantapaista jakoa:

Ei tehdä mitään - tarkasteltavalle taitorakenteelle ei ohjelmoida mitään toimenpiteitä tarkastelujakson aikana. Taitorakenteen kunto ja palvelutaso pysyy ennallaan ja heikkenee rappeutumismallien määrittämällä tavalla. Tarkastelujakson lopussa rakenteiden kestävyys heikkenee ja jäännöskustannukset voivat muodostua korkeiksi. Normaalia kunnossapitoa tehdään kunnossapitolitiikan mukaisesti.

Rakenteen uusiminen – Taitorakenne uusitaan kokonaan. Uusittu rakenne tulee todennäköisesti olemaan aikaisempaa parempi täyttäen nykykäytön tarpeet täysin ja nostaa rakenteen kunnan ja kestävyuden hyvälle tasolle. Rakenne on vahva ja pystyy välittämään liikennettä hyvin. Uusimisen jälkeen ei ole tarpeen seurata kyseisen rakenteen elinkaarta paitsi jos on kyse lyhytikäisistä rakenteista tai osista. Käyttöönsä ottaessa pitkä tarkastelujakson lopussa saattaa olla tarve ylläpitotoimenpiteille.

Peruskorjaus – Taitorakenteeseen liittyvät toiminnalliset puutteet ja kestävyysvajheet korjataan ja rakenteita ylläpidetään tarpeiden mukaisesti. Kullekin rakenneosalle tehtävät toimenpiteet määräytyvät elinkaarianalyysin tai päätöspuiden perusteella.

Ylläpitokorjaus – Taitorakenteen kuntu- ja puutteet korjataan ylläpitotoimilla. Kullekin rakenneosalle tehtävät toimenpiteet määräytyvät elinkaarianalyysin tai päätöspuiden perusteella. Toiminnallisia tai kestävyysliittyviä puutteita ei korjata.

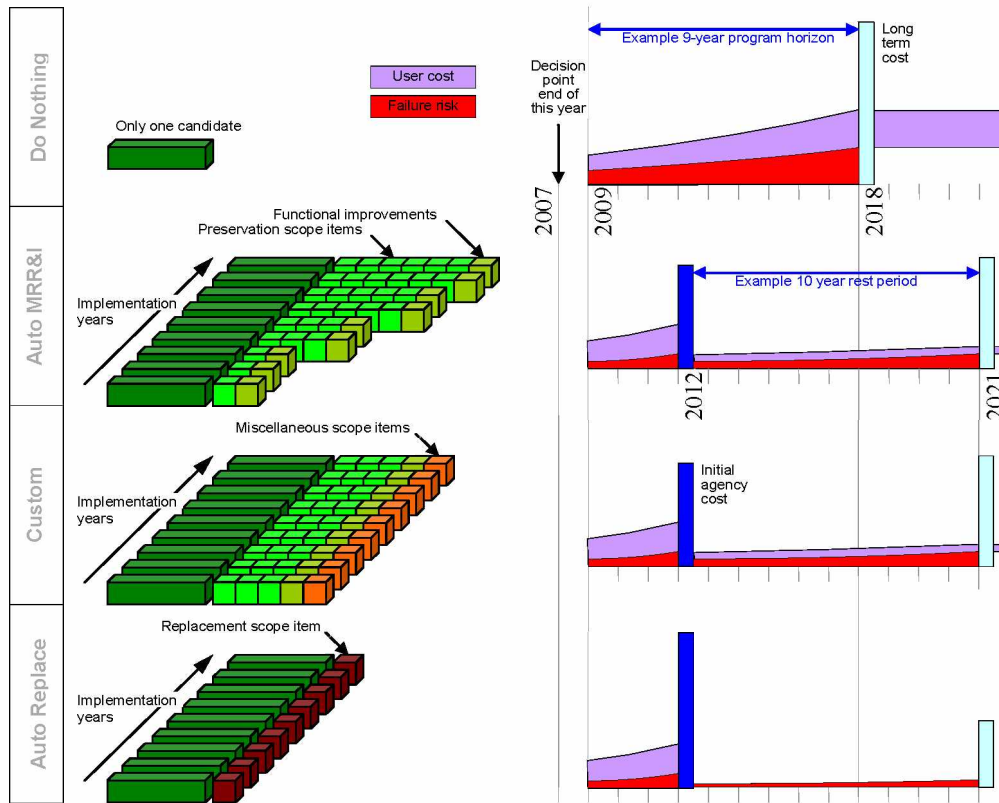
Sillan kannen tai päällysrakenteen uusiminen – Tällaiset päärakenteisiin kohdistuvat toimenpiteet korjaavat niissä ilmenneet toiminnallisuuteen, kestävyysliittyviä puutteita.

Ennakoiva ylläpito – Taitorakenteille tehdään kunnossapidon tai hoidon yhteydessä pienehköjä kuntoa ja säilyvyyttä parantavia toimenpiteitä, joita ei erityisesti ohjelmoida.

Siltojen hallintajärjestelmissä ja elinkaarianalyysissä on edellä lueteltuja toimenpide-ryhmittelyjä vaihtelevasti. Pontis-järjestelmässä on yksi peruskorjaustoimenpide uusimisen ja ei-tehdä-mitään vaihtoehtojen lisäksi. Useissa järjestelmissä käyttäjä voi määrittellä toimenpidekokonaisuuksia. Tämä edellyttää itse järjestelmään tiettyä

dynaamisuutta, jotta uusiin toimenpiteisiin liittyvät tarpeelliset kustannusten ja vaikutusten mallit saadaan mukaan (Kuva 71).

Kullekin toimenpiteelle lasketaan ajoitusvaihtoehdot, missä ajoitus vaikuttaa toimenpiteen laajuuteen ja kustannuksiin sekä rakenteen kuntotilaan.



Kuva 66. Vaihtoehtoisia toimenpiteitä (Patidar et al 2007).

Tulevaisuuden toimenpiteet

Elinkaarianalyysissä on huomioitava tarkasteltavan toimenpiteen jälkeinen aika otamalla huomioon sen jälkeen ajoittuvan toimenpiteen tarve. Sillä voi olla merkittävä vaikutus toimenpiteen valintaan. Yleensä käyttäjän ei tarvitse tehdä tuolle ajalle kohdistuvia kriittisiä valintoja, jolloin automaattisesti tapahtuva huomiointi tekee analysoinnista helpomman.

Myöhemmät toimenpiteet

Alkuinvestoinnin jälkeen taitorakenne kuluu ja sitä käyttävän liikenteen määrä kasvaa. Jos tarkastelujakso on riittävän pitkä, erilaisia toimenpiteitä saatetaan tarvita useita. Siltojen hallintajärjestelmissä järjestelmä huolehtii yleensä näiden myöhemmin tarvittavien toimenpiteiden huomioimisesta. Järjestelmään luotu automaattikka tarkasteltavana olevan toimenpiteen jälkeisten toimenpiteiden käsittelystä vähentää erilaisten vaihtoehtojen määrää ja nopeuttaa analyysijä.

Järjestelmässä tarvitaan säännöt, joiden perusteella kutakin toimenpidettä vastaavat myöhemmät toimenpiteet määräytyvät. Tämä tarkoittaa toiminnallisten ja ylläpidon suhteen valintaehtoja, jotka määräävät alustavan ajoituksen ja toimenpiteen rankkuuden.

Jäännösarvo

Hallintajärjestelmän elinkaarianalyysissä tarkastelu-aika on yleensä paljon lyhyempi kuin taitorakenteen elinkaari. Alkuinvestoinnin pitkä käyttöaika tulee ottaa laskelmissa huomioon jäännösarvon avulla. Jäännösarvon huomioimiseksi on olemassa useita vaihtoehtoja:

- Lasketaan sellainen jäännösarvo, joka vastaisi rakenteen arvoa tarkastelujakson lopussa.
- Lasketaan sellainen könttäsomma, joka vastaa pitemmällä ajalla kertyviä kustannuksia.
- Lasketaan korjauskustannus, joka tarvittaisiin tarkastelujakson lopussa rakenteen tilan palauttamiseksi alkuperäisen veroiseksi (tai ainakin saman kuntoiseksi).
- Lasketaan elinkaaren kustannukset niin pitkän ajan päähän, että rahamääräisten erien diskonttaus (ja muun epävarmuuden huomiointi) tekevät ne merkityksettömiksi.
- Muodostetaan jatkuva korjausstrategia ja toteutetaan sitä loputtomasti ja lasketaan sen elinkaaren aikaiset kustannukset.

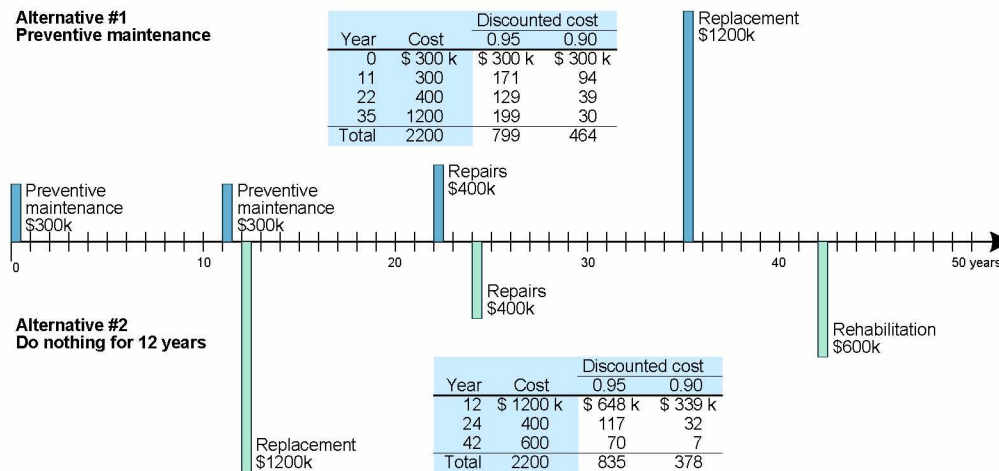
Kaikkia esitettyjä menetelmiä on käytetty hallintajärjestelmissä. Valintaan vaikuttaa usein se, millä tavalla laskenta saadaan toteutettua vaivattomimmin sekä se miten merkityksellisistä eristä on kokonaisuuden kannalta kyse.

7.5 Kannattavuuslaskelmat

7.5.1 Diskonttaus

Elinkaarikustannusten analyysi yhdistää tulevaisuuden kustannuserät yhdeksi taloudelliseksi tunnusluvuksi. Menetelmät ovat tuttuja investointi- ja kannattavuuslaskelmista. Diskonttausta käytetään sen takia, koska lähellä nykyhetkeä ajoittuvia rahallisia tapahtumia arvostetaan enemmän kuin kauas tulevaisuuteen ajoittuvia. Nykyhetken tarpeet rahalle ovat varmemmat kuin tulevaisuuden tarpeet. Rahalle ollaan valmiita maksamaan korkoa, jotta se saadaan käyttöön heti.

Kuvassa 67 on esitetty kaksi vaihtoehtoista toimenpideprofiilia ja niiden kustannukset. Molempien vaihtoehtojen kokonaiskustannukset ovat yhtä suuret eli 2200 k\$. Vaihtoehdossa 1 tehdään kevyitä ennakoivia ylläpitotoimia, joilla kallis uusiminen siirtyy kauas tulevaisuuteen. Vaihtoehdossa 2 ei tehdä aluksi mitään, mutta sen seurauksena uusiminen ajoittuu suhteellisen pian. Vaihtoehtojen paremmuus riippuu kustannusten diskonttausasteesta. Jos käytetään korkeampaa diskonttauskerrointa (0,95), niin vaihtoehto 1 on kustannuksiltaan edullisempi. Matalammalla diskonttauskerroimella vaihtoehto 2 on kustannuksiltaan edullisempi. Diskonttauskerroin on yleensä väylänpitäjälle annettu vakio taso, jota ei muutella.



Kuva 67. Esimerkki kahdesta vaihtoehdoisesta toimenpideprofiilista.

7.5.2 Laskentamenetelmät

Elinkaarianalyysin taloudellisten tunnuslukujen laskenta noudattaa perinteisiä hyvin tunnettuja menetelmiä. Diskonttauskerroin lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$d = \frac{1}{1+i} \quad (10)$$

missä i on diskonttauskorko. Yleensä diskonttauskorko sidotaan siihen tasoon, joka vastaa julkisen rahoituksen korkotasoa. Inflaatio voidaan ottaa siihen mukaan, mutta yleensä laskelmat tehdään ilman sitä. Inflaatio tulee huomioida myöhemmin kun tulevaisuuden toimenpiteiden budjettitasoja määritetään.

Tulevaisuudessa maksettavan kustannuserän nykyarvo lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$PV = d^n \times FV \quad (11)$$

missä n aika vuosina nykyhetkestä kustannuksen ajoittumishetkeen. FV on tuleva kustannuksen suuruus ja PV on nykyarvo.

Vuosittain jatkuvasti toistuvien vakiosuuruisten kustannuserien nykyarvo lasketaan geometrisen sarjan summakaavalla seuraavasti:

$$PV = \frac{FV}{i} \quad (12)$$

missä FV vuosittain toistuva maksu.

Jos toistuvat erät toistuvat jatkuvasti, mutta esim. vain joka toinen vuosi, on yksinkertaisinta laskea nykyarvo muuttamalla korko vastaamaan jokaista vuotta. Ensin muunnetaan korkokanta ja sen jälkeen sovelletaan sitä vastaavaan eksponentin arvoon halutulle aikavälille ja sitten muunnetaan se takaisin korkokannaksi.

Jos jatkuvat vakiosuuruiset maksuerät toistuvat vain tietyn ajanjakson, niin niiden nykyarvo lasketaan päättyvän geometrisen sarjan summakaavalla seuraavasti:

$$PV = FV \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \quad (13)$$

Pääoma-arvo

Pääoma-arvolla (nykyarvo) kuvataan investointiin liittyvien kustannuserien (kustannukset ja hyödyt) nykyarvojen summaa, missä kukin maksutapahtuma on diskontattu samaan tarkasteluvuoteen. Elinkaarianalyysin kustannuksilla tarkoitetaan yleensä pääoma-arvoa.

Elinkaarianalyysin kustannuslaskelmissa on yleensä kaksi tai useampia vaihtoehtoja, joita vertaillaan toisiinsa tai yhteen perusvaihtoehtoon. Perusvaihtoehtona (nolla-vaihtoehto) on yleensä "ei tehdä mitään" -vaihtoehto.

Jos molemmat vaihtoehdot sisältävät saman kustannuserän samana vuonna niin ne voidaan joko ottaa mukaan laskelmiin tai jättää pois. Jos kustannuserät ajoittuvat eri vuosiin eri vaihtoehdoissa, niin ne on aina otettava mukaan laskelmiin.

Vaihtoehtojen vertailuissa on huomioitava kaikki merkittävät kustannuserät. Jos yksi vaihtoehto sisältää alkuinvestoinnin ja sen jälkeisen kunnossapidon, niin muiden vaihtoehtojen tulee sisältää samoja kustannuseriä. Vastaavasti käyttäjien kustannuksia on käsiteltävä samalla periaatteella.

Pääoma-arvoa laskettaessa vaihtoehdoilla tulee olla sama tarkasteltava aikajänne. Jäännösarvot tai pitkän aikavälin kustannukset on lisäksi huomioitava.

Vuosikustannus

Tietyissä tilanteissa on tarpeen vertailla vaihtoehtoja niiden vuosikustannusten perusteella. Pääoma-arvo muunnetaan vuosikustannuksiksi seuraavalla kaavalla, joka on käänteinen kaava edellisestä:

$$EUAC = NPV \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad (14)$$

missä NPV on pääoma-arvo ja EUAC on vuosikustannus. Tämä tunnusluku on käyttökelpoinen esimerkiksi tilanteessa, missä verrataan väyläviraston investointihanketta ulkoa ostettuun palveluun nähden, josta ei ole käytettävissä muuta tietoa kuin vuotuinen maksu.

EUAC-tunnuslukua käytetään myös kun viestitään vaihtoehtojen taloudellisista tunnusluvuista yleisölle tai sidosryhmille. Joskus ymmärtämistä helpottaa kun jaetaan vuosikustannus käyttäjää tai veronmaksajaa kohti.

Pääoma-arvo ja vuosikustannus tuottavat saman tuloksen, mutta ne on hyvä laskea aina molemmat johtuen vertailujen esittämistilanteen edellyttämistä tarpeista.

Kannattavuuden kannalta haetaan edellä mainittujen tunnuslukujen minimiarvoa.

Sisäinen korko

Joissain tilanteissa investointilaskelmissa käytetään pääoma-arvon sijasta sisäistä korkoa. Sen laskemisessa tarvitaan kuitenkin pääoma-arvon laskenta. Ero menetelmien välillä on se, että sisäistä korkoa laskettaessa korkokanta on tuntematon, jota lasketaan. Sisäinen korko lasketaan iteratiivisesti siten, että pääoma-arvoksi saadaan nolla. Laskelmassa tavallaan kysytään miten paljon investointi kestää tuottovaatimusta. Jos sisäinen korko on suurempi kuin korkotaso markkinoilla, investointi on kannattava. Sitä käytetään erityisesti silloin kun investoinnin rahoituskulut ovat muuttuvia tai niistä vastaa useampi taho. Joskus se on helpommin ymmärrettävä kuin pienet erot pääoma-arvoissa.

Hyöty-kustannus suhde

Hyöty-kustannus suhde on erityisen käyttökelpoinen tunnusluku tilanteissa, jolloin verrataan kiinteällä rahasumalla saatavia vaihtoehtoja toisiinsa kuten esim. tärkeysjärjestystä valittaessa. Sitä käytetään yleensä toisistaan riippumattomien investointikohteiden tärkeysjärjestykseen asettamisessa. Tällöin se sopii erittäin hyvin toimenpideohjelman hankkeiden valintaan.

Hyöty-kustannus suhde lasketaan investointivaihtoehdolla saavutettavien hyötyjen ja niiden aiheuttamien kustannusten avulla. Hyötyjä ja kustannuksia käsiteltäessä eriaikaiset maksuerät yhteismitallistetaan diskonttaamalla ne vastaamaan samaa tarkasteluhetkeä.

Yleisin tilanne on investointivaihtoehdon vertaaminen ei tehdä mitään vaihtoehtoon. Investointi maksaa rahaa ja tuottaa hyötyä. Ei tehdä mitään –vaihtoehto ei maksa (ainakaan paljoa ja on aina halvempi kuin tehdään jotain vaihtoehto) eikä tuota lisää hyötyä. Lopulliset hyödyt ovat hyötyjen erotus ja lopulliset kustannukset ovat kustannusten erotus.

Hyödyt lasketaan usein vertaamalla vaihtoehtojen elinkaaren aikaisia kustannuksia. Kun tarkasteltavana on useita (ei-rahamääräisiä) tavoitteita (kunto, turvallisuus, riskit jne.) hyöty-kustannusanalyysin sijasta voidaan käyttää monitavoitteellista hyötyteoriaa, missä hyödyt saadaan useiden tavoitteiden yhteismitallisiksi tehdyistä hyötyarvoista ja tunnuslukuna käytetään Benefit-Cost suhteen sijasta Utility-Cost suhdetta. Tunnusluvun skaala ja dimensio muuttuvat €/€:sta hy/€:iin (hy=hyöty-yksikkö) (Patidar 2007).

Vaihtoehdot tai kohteet priorisoidaan hyöty-kustannus suhteen mukaiseen järjestykseen ja paras vaihtoehto valitaan.

Jos samalle kohteelle on useita eri toimenpidevaihtoehtoja, kuten on tilanne elinkaarianalyysissäkin, useita vaihtoehtoisia valintamenetelmiä on käytettävissä. Vaihtoehdot asetetaan kustannusten mukaiseen järjestykseen ja kutakin vaihtoehtoa verrataan seuraavaksi halvempaan nähden. Valintakriteeri on tällöin lisähyöty jaettuna lisäkustannuksella (IBC). Monitavoitetilanteessa vastaava tunnusluku on lisähyöty jaettuna lisäkustannuksilla (IUC).

Sisäisen koron ja kustannus-hyöty-tunnusluvulla haetaan mahdollisimman suuria arvoja.

7.5.3 Tunnuslukujen valinta

On muistettava, että edellä esitetyt tunnusluvut eivät ole toisensa poissulkevia vaan usein on hyvä tuottaa useampia tunnuslukuja. Hallintajärjestelmässä kukin käyttäjä voi valita haluamansa tunnusluvun ja käyttää sitä.

Toisaalta on muistettava, että elinkaarianalyysissä vaihtoehtoja vertaillaan usein pääoma-arvon tai sisäisen koron menetelmillä ja toimenpideohjelmiin valitaan kohteita hyöty-kustannussuhteen ja käytettävissä olevan budjetin perusteella.

7.6 Muita elinkaarilaskennan tunnuslukuja

Elinkaarilaskenta ja rappeutumismallit tarjoavat koko joukon vaihtoehtoisia tunnuslukuja, joita voidaan käyttää taloudellisten tunnuslukujen lisäksi. Taitorakenteiden hallintajärjestelmässä niitä voidaan tuottaa suhteellisen helposti.

7.6.1 Vastinikä

Rappeutumismalleja käytetään tyypillisesti muuntamaan väyläomaisuuden ikä kuntoennusteeksi. On kuitenkin tilanteita, missä tarvitaan käännteinen muunnos kuntotilasta vastinikäksi. Muunnosperiaate riippuu rappeutumismalleista. Kaksi tyypillisintä rappeutumismallin muotoa ovat Markov-malli ja Weibull-malli.

Markov malli

Jos rakenne on kullakin hetkellä vain yhdessä kuntotilassa, niin kuntotila vastaa tiettyä aikaa, jonka rakenne pysyy samassa tilassa. Tämä aika on rappeutumismallissa sisällä. Yleisemmin tilanne on se, että joukko rakenteita on tietyssä kuntotilassa tietyn ikäisenä ja siirtyy toiseen tilaan tietyn ajan kuluessa. Tällöin vastaava elinikä riippuu siitä, miten suuri osuus rakenteiden joukosta on siirtynyt toiseen kuntotilaan.

Eräs yksinkertaistettu tapa laskea tätä vastinikää on laskea Markov mallilla iteratiivisesti miten kauan kestää, että puolet rakenteiden joukosta on siirtynyt kuntotilasta toiseen.

Kuntoennuste lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$y_k = \sum_j x_j p_{jk} \quad (15)$$

missä x_j todennäköisyys olla kuntotilassa j vuoden lopussa; y_k todennäköisyys olla kuntotilassa k vuoden lopussa; ja p_{jk} siirtymätodennäköisyys tilasta j tilaan k . Laskelmaa toistetaan niin kauan kunnes puolet joukosta on siirtynyt toiseen tilaan. Saatu vuosien määrä on vastinikä.

Weibull model

Weibull mallilla vastinikä lasketaan eloonjäämismallin avulla seuraavalla kaavalla:

$$y_{1g} = \exp(-1.0 \times (g/\alpha)^\beta) \quad (16)$$

missä y_{1g} on todennäköisyys sille, että rakenne on kunnossa, "elossa", iässä g , kun mitään toimenpiteitä ei tehdä aikavälillä $0 - g$; α on mallin muotoparametri; ja β on mallin skaalaparametri, joka lasketaan seuraavasti:

$$\alpha = \frac{t}{(\ln 2)^{1/\beta}} \quad (17)$$

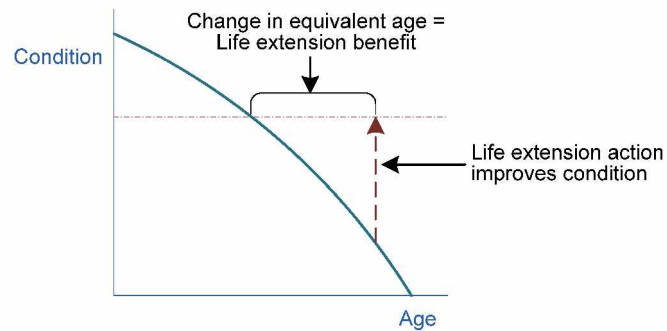
missä t on Markov mallin mediaani elinaikaodote. Käänteinen Weibull malli on:

$$g' = \alpha \times 10^{\left(\frac{\log(-\ln(y_1))}{\beta}\right)} \quad (18)$$

Tästä saadaan laskettua vastinikä, joka on sama kuin y_t .

7.6.2 Lisääntynyt käyttöikä

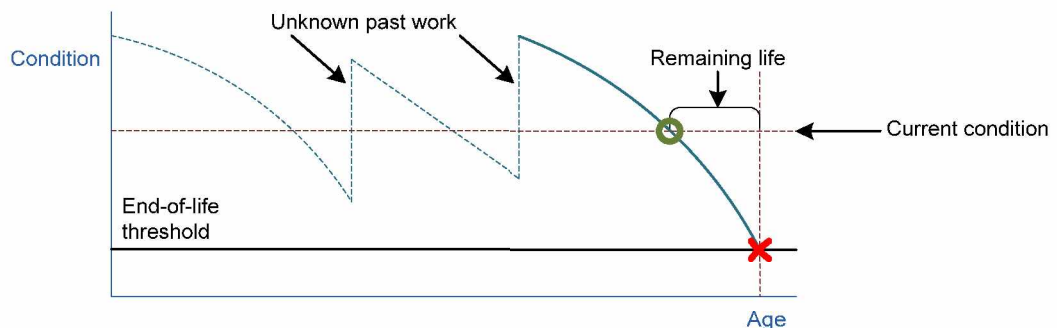
Korjaus- ja parantamistoimenpiteiden vaikutukset ilmaistaan yleensä kuntotilan muutoksina. Kun kuntotila on ennustettu, niin edellisessä luvussa esitettyä menetelmää käyttäen voidaan laskea sitä vastaava rakenteelle aiheutuva lisäikä. Eräs tapa tarkastella toimenpiteestä saatavaa hyötyä on tarkastella siitä aiheutuvaa käyttöiän kasvua (Kuva 52).



Kuva 68. Kuntoparaneman muuntaminen lisääksi.

7.6.3 Jäljellä oleva käyttöikä

Jäljellä oleva käyttöikä voidaan laskea vähentämällä rakenteen ikä sen odotettavissa olevasta iästä edellyttäen, ettei käyttöikää pidentäviä toimenpiteitä ole tehty. Jos rakenteelle on tehty käyttöikää pidentäviä toimenpiteitä tai korjaushistoriaa ei tiedetä, niin toinen tapa laskea jäljellä olevaa käyttöikää on lähteä nykykunnosta ja rappeutumismuutoksesta. Olettaen, ettei toiminnallisia parannuksia ole tehty ja kuntoon liittyviä raja-arvoja ei ole muutettu, rakenteen nykykunto voidaan muuntaa vastaamaan jäljellä olevaa käyttöikää vastiniän avulla. Sen avulla haetaan todennäköisin paikka rappeutumiskäyrällä ja käytetään sitä jäljellä olevan eliniän laskemiseen. Jäljellä oleva ikä saadaan vähentämällä odotettavissa olevasta eliniästä vastinikä (Kuva 53).



Kuva 69. Jäljellä olevan käyttöiän laskenta.

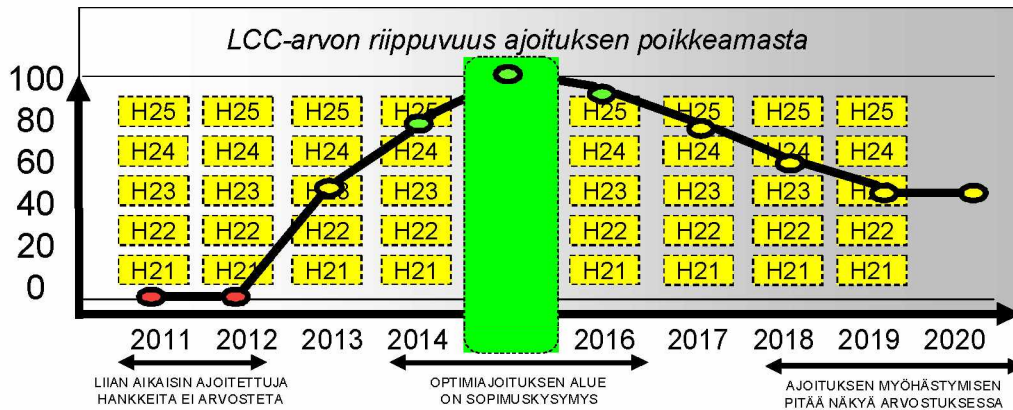
Menettely toimii siitäkin huolimatta, vaikka menneisydessä on saatettu tehdä ennakoinnin ylläpidon toimenpiteitä. Yhtenä rajoituksena on tietysti se, että oletetaan, ettei tulevaisuudessakaan tehdä ennen käyttöiän loppumista toimenpiteitä. Tätä tunnuslukua voidaan käyttää tulevien toimenpiteiden tarpeellisuuden arviointiin.

7.7 Optimiajoitus

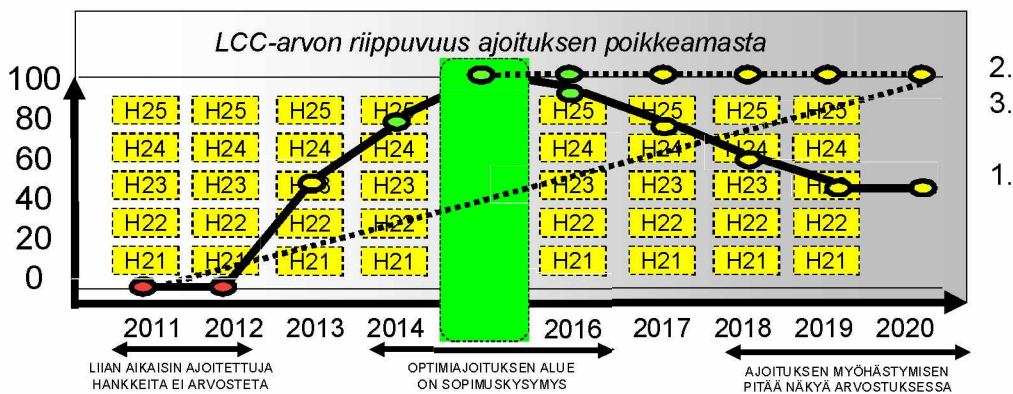
Elinkaarialyysi tuottaa kohteen toimenpiteelle optimitoteutusajankohdan. Optimiajankohdassa elinkaarikustannusanalyysin taloudelliset tunnusluvut saavat parhaan arvonsa. Sen lisäksi, että kohteelle tuotetaan sen optimiajankohta, sille voidaan

tuottaa myös tunnusluvut ohjelmointiperiodin kaikille vuosille, jolloin nähdään, miten ne muuttuvat jos ajoitusta muutetaan.

Ajoitusta voidaan arvostaa usealla tavalla. Optimivuodelle voidaan antaa paras arvostus, jolloin liian aikainen tai liian myöhäinen ajoitus eivät ole yhtä arvokkaita. Toisaalta ajoitusta voidaan arvostaa myös siten, että toteuttamatta olevien kohteiden arvostus on korkein niin kauan kuin kohde tulee ohjelmaan tai sitten niin, että ajoituksen arvostus kasvaa sitä mukaa kun kohteen toteuttamisen kiireellisyys kasvaa.



Kuva 70. Elinkaarianalyysin tuottamien ajankohtien arvostus monikriteerianalyysia varten. Mustalla viivalla kuvataan ajoituksen arvostusta. Optimiajoitus saa täyden arvostuksen, kun taas liian aikainen tai liian myöhäinen ajoitus saa matalamman arvostuksen.



Kuva 71. Elinkaarikustannusanalyysin ajoituksen arvostusvaihtoehtoja. Optimiajoitusta korostava (1), ajoittunutta huomioiva (2) ja kertyvää kiireellisyttä korostava (3).

8 Tulosohjaus

8.1 Tulosohjauksen tarpeet

Väylien ylläpidon tulosohjaus toimii melko lyhyellä syklillä kohdistuen kulloinkin haluttaviin osiin tai näkökulmiin eikä välttämättä voi perustua hyötyfunktion kriteereihin sellaisenaan. Tulosohjauksessa halutaan säilyttää vapaus kohdistaa tavoitteita haluttuihin yleisluontoisiin tunnuslukuihin. Tulosohjauksen kannalta tunnuslukuihin liittyy seuraavia ominaisuuksia:

- **Riippumattomuus** organisaatiosta. Mahdollisuus käyttää samoja tunnuslukuja eri organisaatiotasolla (LVM-LV-ELY).
- **Muunneltavuus**. Raportoitavat tunnusluvut voidaan haluttaessa vaihtaa toisiksi riippuen kulloisistakin tarpeista. Tulosohjaus voi kohdistua niille alueille, joille erityishuomiota halutaan kulloinkin kohdistaa.
- **Robustisuus**. Mahdollisuus toimia epätäydellisen tiedon pohjalta esimerkiksi siten, että joistakin taitorakenteista puuttuu tietoa, malleja tai näkökulmia.

Tulosohjaus toimii kahdessa eri organisaatiotason ohjaustilanteessa. Virastotason tavoitteet ovat Liikenne- ja viestintäministeriön ja Liikenneviraston välisiä ohjausvälineitä. Liikenneviraston ja alueiden isännöitsijöiden (lähinnä ELY-keskukset) väliset tulostavoitteet ovat vastaavasti aluetason ohjauksen välineitä. Nämä tulostavoitteet voivat olla rakenteeltaan erilaisia, mutta niiden tulee kuitenkin olla kytkettävissä yhteen. Liikenneviraston tulostavoitteet voivat olla yleisluontoisempia ja näkökulmitaan kattavampia ja aluetason tulostavoitteet enemmän paikallisia olosuhteita huomioivia. Tämä edellyttää tulostavoitteissa organisaatioriippumattomuutta.

Eri taitorakenneryhmissä on käytettävissä tietoa vaihtelevasti. Maantiesiltojen tarkastustoiminta ja aiemmat hallintajärjestelmät ovat synnyttäneet paljon tietoa, mistä on kehitettävissä pitemmälle meneviä malleja ja tunnuslukuja kun taas joillakin taitorakenneryhmillä edes niiden inventointi tai tarkastustoiminta ei ole vielä käynnistynyt ollenkaan. Käytettävissä olevan tiedon määrä ja laatu vaihtelevat ja tulosohjauksen tunnuslukujen tulisi toimia siitä huolimatta. Tiedon määrä vaikuttaa myös tulosohjausmahdollisuuteen siten, että hallitaan puutteiden määrää ja niiden poistamisen kustannuksia.

Muunneltavuuden tarvetta syntyy mm. siitä, että Liikennevirasto on yhdistynyt organisaationa kolmesta aiemmasta erilaisista käytäntöjä omaavasta organisaatiosta, jotka hakevat nyt yhtenäisyyttä toimintatapoihin.

8.2 Tulosohjaus ja monitavoiteoptimointi

Monitavoiteoptimoinnin kuusiosainen kriteeristö kattaa tärkeimmät väylien ylläpidon näkökulmat. Nämä näkökulmat integroidaan hallintajärjestelmään ja ne sidotaan taitorakenteisiin skaalattujen ja painotettujen hyötyfunktioiden kautta. Hyötyfunktion muodostamisessa on käytetty periaatteita, missä kriteerit pyritään muodostamaan näkökulmat kattavina ja toisistaan riippumattomina. Järjestelmän tuottama toimenpi-

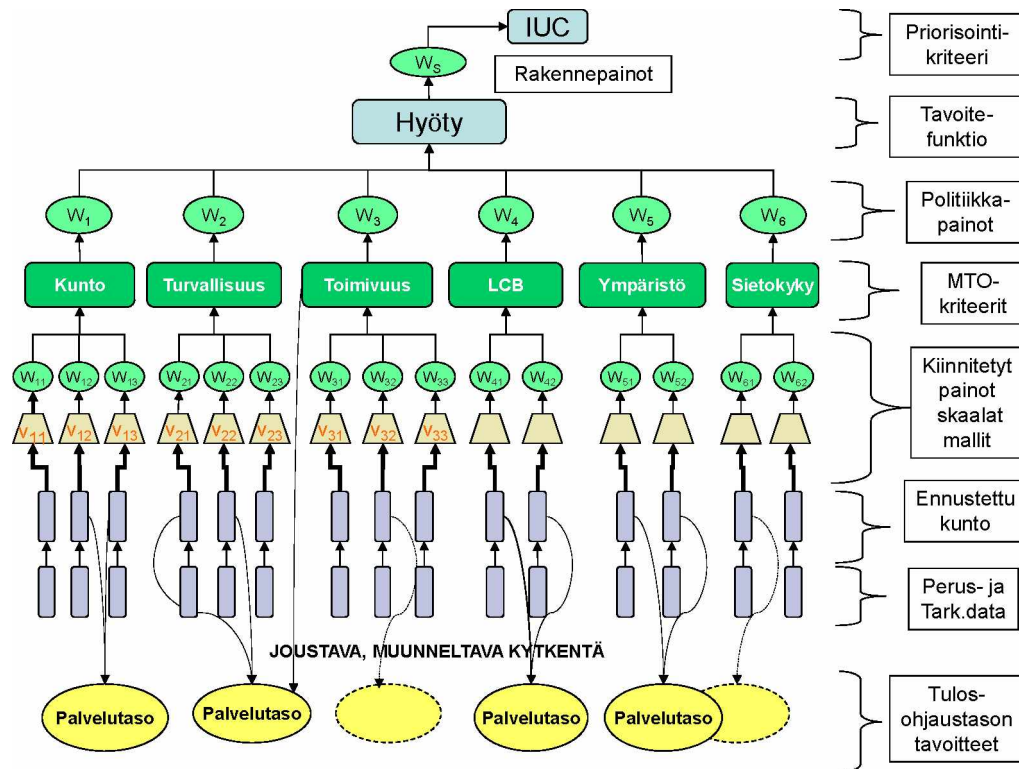
teistä saatava hyötyvaikutus pyritään näin kiinnittämään melko kiinteäksi ja muuttomattomaksi, mitä muutetaan vain mallien uudistamisen kautta. Tämä tekee hallintajärjestelmän monitavoitekriteereistä melko kiinteitä.

Riippumattomuutta, joustavuutta ja robustisuutta edellyttävä tulosohjaus voidaan kytkeä suhteellisen kiinteään, useita malleja ja skaalauksia sisältävään monitavoiterakenteeseen joustavalla kytkennällä. Kun tulosohjauksen tunnusluvut valitaan ns. verkkotason palvelutasomuuttujiksi (Level of Service, LOS), ne ovat valittavissa ja sidottavissa mihin tahansa monitavoiterakenteen näkökulmaan tai tasoon seuraavan kuvan mukaisesti.

Päärakennetason tarkastustieto ennustetaan ennustenmalleilla ajan tasalle ja ennusteita käytetään skaalattujen hyötyfunktioiden kautta toimenpiteistä saatavien hyötyjen laskennassa. Monitavoiterakenne toimii ohjelmoinnissa priorisointikriteerin määrittämisessä. Toimenpiteiden ja hankkeiden valinta perustuu monipuolisesti tuotetun hyödyn ja kustannusten suhteeseen.

Toimenpiteet vaikuttavat rakennetason kuntoon ja taitorakennetason toiminnallisuuteen ja sitä kautta kokonaishyötyyn. Hyöty on aina erotus kahdesta eri tilanteesta, joista toinen on valittavana oleva vaihtoehto vertailun pohjana olevaan perustilanteeseen. Kustannukset ovat myös näiden vertailtavien tilanteiden aiheuttamien kustannusten erotus.

Tulostavoitteet voidaan muodostaa vapaasti siten, että niihin kertyy tietoa taitorakennekohtaisesti sitä mukaa kun taitorakenteille muodostuu toimenpiteitä ja niiden aiheuttamia vaikutuksia. Tulostavoitemuuttujia kutsutaan palvelutasomuuttujiksi, jotka kuvaavat hyväksyttävän tilanteen osuutta verkolla. Esimerkiksi huonokuntoisten taitorakenteiden määrää. Jos taitorakenteen kunto on hyväksyttävällä tasolla niin palvelutasomuuttuja saa arvon 1 ja jos se on ei-hyväksyttävällä tasolla niin se saa arvon 0. Palvelutasomuuttujan keskiarvo koko tarkasteltavalle verkolle laskettuna kuvaa palvelutasoa. Jos palvelutaso halutaan käsitellä kappalemääränä prosenttiosuuden sijasta, niin saatu palvelutason hyväksyttävyyso-% kerrotaan taitorakenteiden kokonaismäärällä. Näin päädytään esimerkiksi tunnuslukuun huonokuntoisten taitorakenteiden määrää.



Kuva 72. *Palvelutasomuuttujien kytkentä monitavoiterakenteeseen. Muuttujat voidaan kytkeä monitavoiterakenteeseen useilla eri tavoilla, jolloin kytkentä on joustava. Suosittavaa olisi kytkeä niitä päärakennneosien ennustettuun kuntoon.*

Vastaavasti voidaan menetellä muiden osatavoitteiden (näkökulmien) suhteen. Jos taitorakenteelle kertyy toiminnallisia puutteita siten, että taitorakenteen toiminnallisuus ei ole enää hyväksyttävällä tasolla, se kertyy palvelutasomuuttujiin ja lopputuloksena saadaan toiminnallisuudeltaan ei-hyväksyttävällä tasolla olevien taitorakenteiden kokonaismäärä tai prosenttiosuus.

Palvelutasomuuttujat voidaan sitoa monikriteerirakenteeseen vapaasti; joko tarkastettuun vauriotietoon, tarkastettuun kuntotietoon, ennustettuun kuntotietoon tai jopa hyötyfunktion arvoon. Palvelutasomuuttujat ja niiden trendit lasketaan ja raportoidaan aina. Palvelutasomuuttujien lukumäärää ei ole mitenkään rajoitettu. Ne ovat käyttäjien vapaasti määriteltävissä. Niiden muuttaminen tai lisääminen järjestelmään on suhteellisen helppoa.

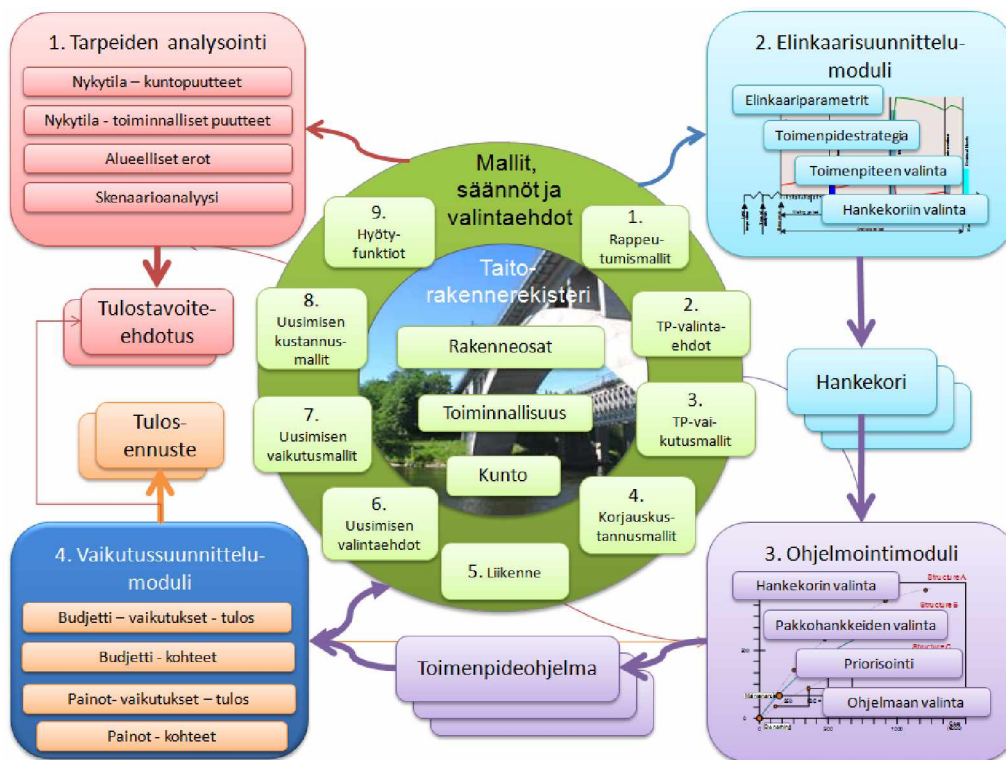
Tämä rakenne palvelee tulosohjauksen tarpeita ja täyttää niille asetetut kriteerit ja yhdistää monikriteerirakenteen tuttuihin ja käytännönläheisiin tunnuslukuihin. Lisäksi palvelutasomuuttujat toimivat verkkotason ohjauksen näkökulmasta. Riippuen optimointiongelman määrittelystä palvelutasomuuttujia voidaan käyttää jopa optimoinnissa rajoitteina tosin lukumäärältään vain yksi kerrallaan (optimoinnin vasteaikojen siitä kasvamatta).

9 Verkkotaso ja monitavoiteoptimointi

9.1 Tausta

Taitorakenteiden periaatteellinen toiminta kuvaa miten taitorakenteita hallitaan rakenne-, ohjelma- ja verkkotasolla. Kolme eri hallinnan tasoa on kytketty yhteen monikriteerisellä hyötyfunktiolla, jolla kuvataan yksittäisten rakenteiden ja eri ohjelmien nykytilaa ja tulevaisuutta.

Aiemmissa luvuissa taitorakenteiden hallinnan periaatteellista toimintaa on kuvattu bottom-up-tyyppisesti lähtien tarkastustiedoista ja päädytty ennusteiden ja hyötyfunktion kautta toimenpiteiden valinnan pohjaksi muodostettuun kokonaishyötyyn. Yksittäisille taitorakenteille tehtävien toimenpiteiden vaikutukset ja taitorakenteiden ikäkäyttäytyminen summautuvat verkkotasolla käsiteltävinä tilakuvauksina. Alhaalta ylös-tyyppistä tarkastelua täydentää ylhäältä alas tyyppinen tarkastelu, missä voidaan nähdä rahoituksen, kuntotavoitteiden ja suhteellisten painojen vaikutuksia ohjelmien muodostumiseen ja niitä seuraavaan kuntotilaan.



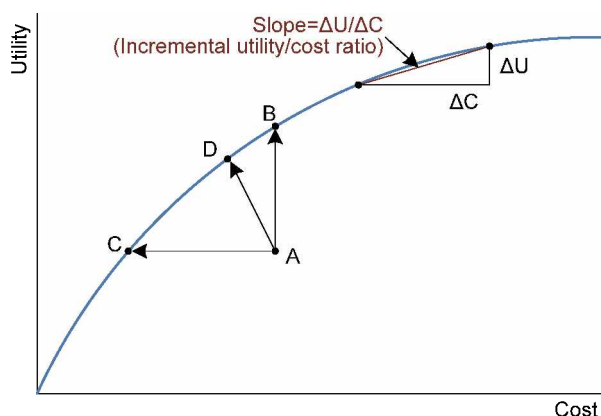
Kuva 73. Verkkotason vaikutuksia tarkastellaan vaikutussuunnittelu­moduulin kautta.

9.1.1 Tradeoff analyysi

Niin taitorakenteiden kuin muidenkin väyläomaisuuden omaisuserien hallintaan pätee, että mitä suurempi rahoitustaso on käytettävissä sitä suurempia hyötyjä ja vaikutuksia toiminnalla on saavutettavissa. Ohjelmoinnissa kohteet valitaan sen perusteella miten hyötyfunktion kokonaishyöty saadaan kullakin rahoitustasolla maksimoitua.

Toimenpidevaihtoehdot ja kohteet järjestetään lisähyödyn mukaiseen alenevaan järjestykseen kuten on aiemmin kuvattu.

Alenevaa lisähyötyä kuvaava käyrä on konvekssi johtuen siitä, että ensimmäiset panostukset tuottavat eniten hyötyä suhteessa käytettyyn rahamäärään ja ne vähenevät panostuksen kasvaessa. Tätä periaatetta, joka pätee kaikkeen hyödykkeiden arvostamiseen, kutsutaan vähenevän lisähyödyn periaatteeksi.



Kuva 74. Vähenevä lisähyöty. Kullekin taitorakenteelle on olemassa oma käyränsä, joka voi olla joko ylempänä tai alempana kuvan esimerkikikäyrää.

Jos hyötyfunktion kriteerien väliset suhteelliset painot ovat suurempia kuin nolla, niin kuvan käyrämuoto pätee silloinkin kun pystyakselilla kuvataan vain yhden kriteerin hyötyjä. Kaikkiin toimenpideohjelmiin pätee se, että niiden hyöty-kustannus sijaitsee joko yllä olevan kuvan käyrällä tai sen alla. Jos on sellainen ohjelma, joka sijaitsee hyvin kaukana käyrästä kuten piste A, niin sitä voidaan parantaa jollakin seuraavista tavoista:

- Piste B DMU-käyrällä tuottaa selvästi paremman hyödyn samoilla kustannuksilla kuin piste A.
- Piste C vastaavasti tuottaa saman hyödyn kun piste A mutta pienemmillä kustannuksilla.
- Mikä tahansa piste B:n ja C:n välissä DMU-käyrällä tuottaa joko paremman hyödyn tai on halvempi kuin piste A.

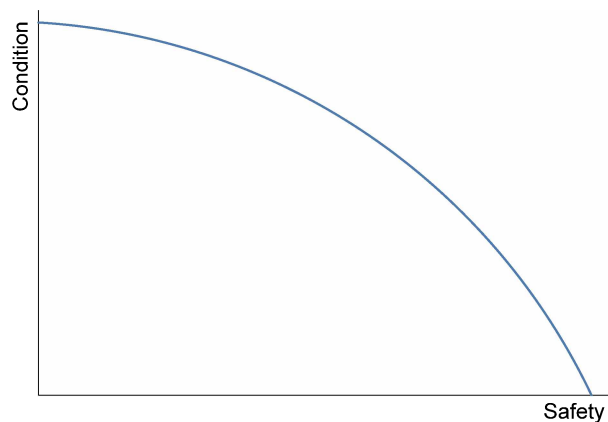
Kutakin rahoitustasoa vastaava optimoinnin tulos on paras mahdollinen silloin kun sitä kuvaava piste sijaitsee DMU-käyrällä.

9.1.2 Valintatilanne

Edellisen luvun kuvassa rahoitus oli päätösmuuttuja eli päätettävä asia, missä toimintaan voidaan päättää käytettävän enemmän tai vähemmän.

Toinen päätösmuuttuja on kullekin vaikutukselle (kriteerille tai osatavoitteelle) annettava suhteellinen paino hyötyfunktiossa. Jos esimerkiksi kuntokriteerin painoa kasvatetaan niin kohteet, jotka parantavat kuntoa tulevat ohjelmassa etusijalle. Jos rahoitusta pidetään ennallaan, niin muiden kriteerien huomiointi vähenee. Hyötyfunktion kriteerit kilpailevat rahoituksesta toistensa kanssa. Tätä kilpailutilannetta kuvataan tuotantomahdollisuuksien käyrällä seuraavassa kuvassa.

Kriteerien välisillä painoilla säädellään niiden haluttavuutta ja budjetin jakautumista eri vaikutusalueille.



Kuva 75. Tuotantomahdollisuuksien käyrä. Kilpailevat ominaisuudet kunto ja turvallisuus. Kun toisen tavoitteen toteutuma paranee niin toisen heikenee. Käyttäjää määrää tasapainon painojen avulla.

9.2 Vaikuttavuus

9.2.1 Vaikutusmittarit

Kutakin elinkaaren aikaista tapahtumaprofilia kohti lasketaan vaikutusennusteet. Vaikutusennusteet lasketaan väliperiodeittan, joiden pituus voisi olla esim. 5 v. Vaikutusmittarit (performance measures) ovat tässä samat kuin monitavoitekriteerit:

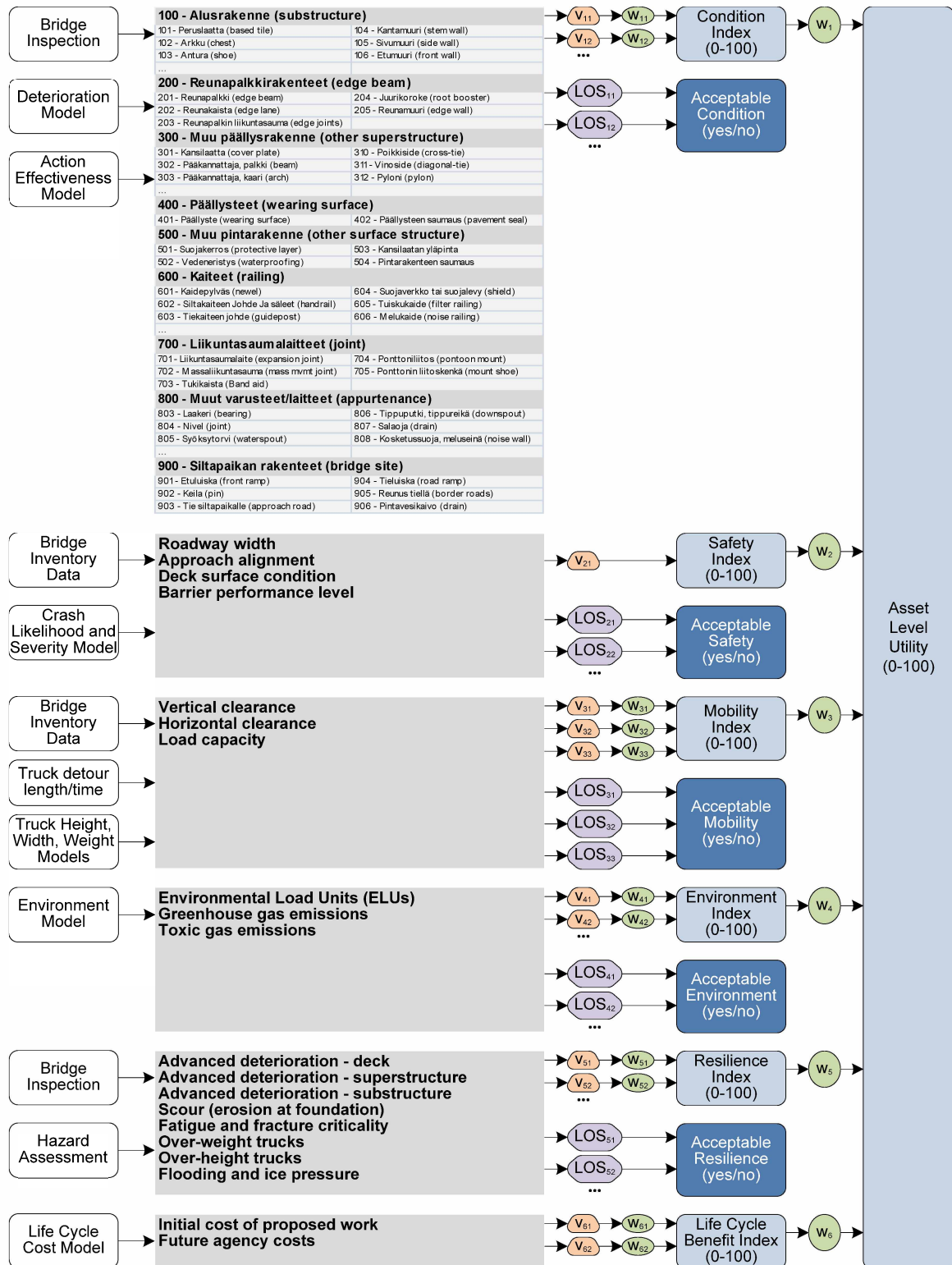
- **Kunto:** Kunkin päärakennososan (tai alirakennososan) kuntoluokkatodennäköisyydet ja vaurioiden ennustettu määrä. Ennusteissa käytetään rappeutumismalleja ja toimenpiteiden vaikutusmalleja.
- **Turvallisuus:** Taitorakenteiden tila ja ominaisuudet vaikuttavat yhdessä liikennemäärän kanssa onnettomuuksien todennäköisyyteen ja vakavuuteen. Onnettomuusriskit muuttuvat liikenteen ja taitorakenteen tilan muutuessa.
- **Toiminnallisuus:** Taitorakenteiden mitat esim. sillan leveys ja alikulkukorkeus tai kuormituskapasiteetti tai tunnelin aukean tilan ulottuma, jotka ovat taitorakennerekisterissä lähtötietoina.
- **Ympäristö:** Toimenpiteiden tai liikenteen aiheuttama ympäristökuormitus esim. ELU-yksiköissä.
- **Vahingonsietokyky:** Taitorakenteen tila ominaisuudet, jotka vaikuttavat sen kykyyn kestää erilaisia ei-toivottuja säästä, ilmastosta tai liikenteestä aiheutuvia yksittäiskuormitustilanteita.
- **Elinkaaren aikaiset säästöt:** Elinkaaren aikaiset säästöt ovat kahden toimintapolitiikan välisten kustannusten nykyarvojen erotus. Vertailupolitiikkana on yleensä ”ei-tehdä mitään” -politiikka. Vaihtoehtoisena kriteerinä on yksinkertaisesti elinkaarikustannusanalyysin perusteella löydetty optimiajoitus.

Edellä mainittuihin vaikutusmittareihin lasketaan useita erilaisia tunnuslukuja, mikä mahdollistaa niin taitorakennetasoin kuin verkkotason vaikutustarkastelut. Vaikutusten normalisointi mahdollistaa niiden monipuolisen käytön.

Vaikutusten arviointi voidaan tehdä sekä taitorakenne- että ohjelma- tai verkkotasolla. Hyödyn laskentatapa vaihtelee tarkastelutasoista riippuen. Hyötyjä lasketaan sekä kohteiden vertailuja ja priorisointia varten että verkkotason tavoitteiden saavuttamista varten.

9.2.2 Taitorakennetaso vaikutukset

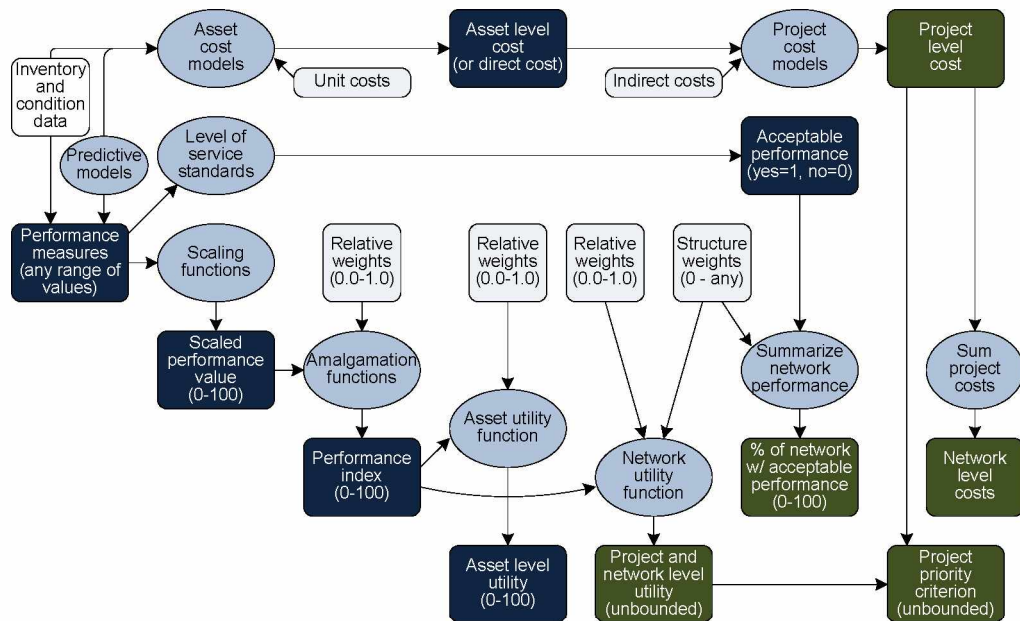
Kaikki vaikutusmittarit ovat tavalla tai toisella sidoksissa tarkastuksilla kerättyyn tietoon. Niitä lasketaan useilla eri tavoilla, jotta tarkastustiedosta saataisiin hallintajärjestelmässä mahdollisimman paljon hyötyä. Yksittäisen taitorakenteen toimenpiteen tuottama vaikutus lasketaan seuraavan kuvan laskentaperiaatteen mukaan.



Kuva 76.

Taitorakenteen vaikutuslaskennan lähtökohtana ovat monitavoitekriteerien rakenne ja taitorakenteesta inventoidut tiedot. Skaalausten (v_{ij}) ja painotusten (w_{ij}) avulla lasketaan kunkin kriteerin hyötytiloja (0-100). Kriteerien indeksit lasketaan lopuksi yhteen painottamalla niitä suhteellisilla painokertoimilla (w_{1-6}) koko taitorakenteen hyötytilaa kuvaavaksi hyötyindeksiksi. Samanaikaisesti lasketaan palvelutasomuuttujille (LOS_{ij}) arvoja ja verrataan niitä hyväksyttävyyden kriteereihin. Taitorakenteen kriteerin i palvelutaso saa arvon 1 jos sen tila on hyväksyttävä ja muulloin arvon 0.

Seuraavassa kuvassa on esitetty periaatteet, joilla erilaisia vaikutuksia kuvaavia tunnuslukuja tuotetaan.



Kuva 77. Vaikutusten laskennan periaate.

Kuvan tummansiniset laatikot kuvaavat taitorakennetason vaikutuksia ja vihreät laatikot ohjelma- tai verkkotason vaikutuksia.

Rakenteen tila (Performance measures)

Rakenteen tilaa kuvataan tarkastuksilla saatavien tietojen avulla. Nämä ovat niitä perustietoja, joita tietyn syklin mukaan tehtävillä tarkastuksilla päivitetään. Tieto päivitetty tarkastuksilla kuitenkin vain sykleittäin ja siksi tärkeimmille tarkastustiedoille on oltava ennustemallit, joilla tieto saadaan päivittymään mille tahansa ajankohdalle.

Rakenteen skaalattu tila (Scaled performance value)

Erialaisten tilamittareiden keskinäisen yhteenlaskettavuuden takia kukin mittari on skaalattu samalle arvoalueelle. Arvoalue rajataan näin välille 0-100. Tällä tasolla LCB voi olla myös -100, koska se on erotus kahdesta eri luvusta, joiden arvoalueet ovat välillä 0-100. Skaalaukseen liittyy tiettyjä periaatteita ja menetelmiä, jotka on esitetty aiemmissa luvuissa.

Rakenteen tilaindeksi (Performance index)

Tiettyä vaikutusta kuvaava tilamittari joudutaan muodostamaan yhdistämällä siihen vaikuttavia ominaisuustietoja useasta eri lähtötiedosta. Esimerkiksi sillan kunto muodostuu yhdeksän päärakenneosan kunnosta. Tarkastettavien muuttujien määrän vähentäminen vain muutamiiin muuttujiin helpottaa vuorovaikutteisen "kaupankäyntimenettelyn" ymmärtämistä ja käyttöä. Yhdistelyfunktio voi useimmiten olla pelkkä lineaarinen summafunktio, joilla skaalatut tilamuuttujat lasketaan yhteen painotettuna kunkin muuttujan suhteellisilla painoilla. Tilaindeksi saa useimmiten arvoja 0-100, paitsi LCB missä arvoalue on -100..100.

Taitorakenteen hyötytila (Asset level utility)

Yksittäisen taitorakenteen hyötytila on hyötyfunktion avulla yksittäisistä muuttujista skaalausten ja painokertoimien avulla laskettu tulojen summa. Kaavana se on seuraava:

$$UtilityU = \sum_i (w_i \times v(z_i)) \quad (19)$$

missä w_i on muuttujan/kriteerin i suhteellinen paino ja $v(z_i)$ on kriteerin z_i skaalausfunktion arvo. Hyötytila saa arvoja väliltä 0-100. Paras tila on 100 ja huonoin tila 0.

Hyväksyttävä tila (Acceptable performance)

Joissakin tilanteissa ei tarvitse laskea hyötyjä vaan riittää kun tarkastellaan onko rakenteen tila hyväksyttävällä alueella vai ei. Hyväksyttävyyttä voidaan määrittellä tapauskohtaisesti melko vapaasti. Yleensä on olemassa standardinomaiset raja-arvot sille missä hyväksyttävyyden raja on. Hyväksyttävyyttä voi määräytyä seuraavasti:

- Kansilaatta on hyväksyttävässä kunnossa jos kuntoluokka on parempi kuin 2, 3 tai 4.
- Sillan alikulkukorkeus on hyväksyttävä jos se on vähintään 4.1 m.

Koska tulos on vain hyväksyttävä tai ei-hyväksyttävä, voidaan käsittelyn helpottamiseksi muodostaa binäärinen muuttuja, joka saa arvoja 0 ja 1. Näin yksittäisten taitorakenteiden tilojen hyväksyttävyyttä voidaan käyttää verkkotasolla hyväksi laskemalla vain hyväksyttävyyksien keskiarvoja. Hyväksyttävässä tilassa (1) olevat taitorakenteet kasvattavat keskiarvoa ja ei-hyväksyttävässä tilassa (0) olevat taitorakenteet eivät kasvata sitä. Lopullinen verkon tilan hyväksyttävyyttä on suoraan saatu keskiarvo prosenttilukuna välillä 0-100 %. Tässä käytetään kuntoa sanan sijasta ilmaisua tila, koska ei tarkoiteta välttämättä kuntotilaa vaan minkä tahansa kriteerin tai palvelutason tilaa.

Kustannukset (Asset level cost)

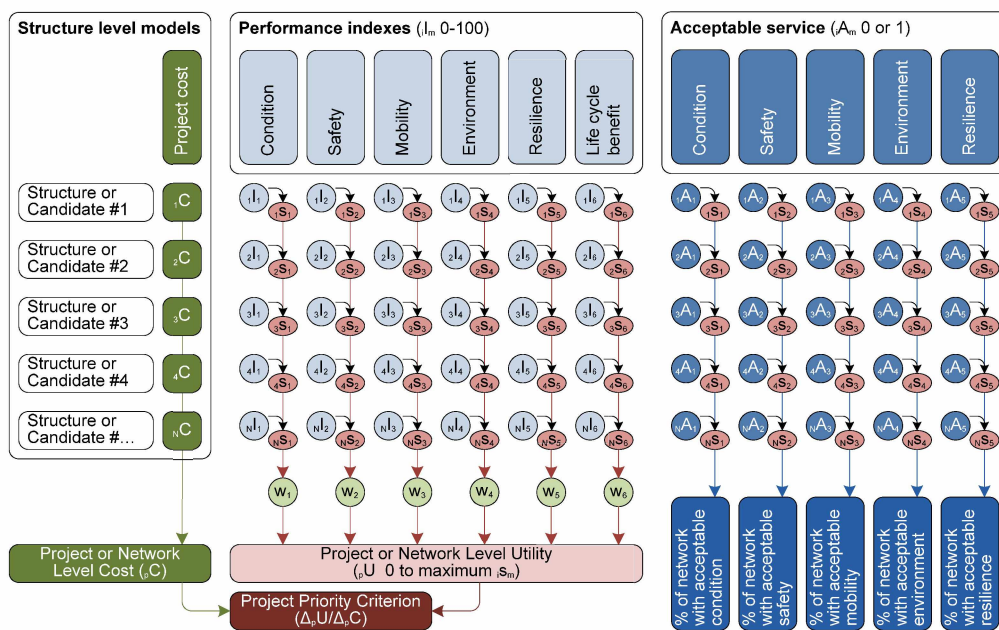
Taitorakenteen toimenpidekustannukset ovat sen toteuttamiseksi tarvittavat kustannukset haluttuun kustannustasoon korjattuna. Ne muodostuvat välittömistä toimenpidekustannuksista ja välillisistä, esim. liikennehaitat, kustannuksista. Kustannuslaskennan tulisi perustua toimenpidevaihtoehtojen sisältöön ja mahdollisimman todennukaisiin yksikkökustannuksiin. Olisi hyvä, jos toteutuneista kustannuksista olisi järjestelmässä mahdollisimman hyvä yksikkökustannustieto ja lisäksi olisi hyvä jos käyttäjä voisi halutessaan tarkentaa niitä.

Korjaustoimenpiteiden kustannukset voisivat pohjautua taitorakenteessa havaittuihin vaurioiden määrään ja vakavuuksiin. Tällöin rakenneosien laajuus ja määrä tulisi olla tiedossa. Toimenpiteiden yksikkökustannustiedon päivittämisessä voidaan joutua käyttämään tarkennusvaiheita kuten esim. toimintokustannuslaskentaa, jolla urakan toteutuneita kokonaiskustannuksia jyvitetään sisällön perusteella sen osille.

9.2.3 Verkkotason vaikutuslaskenta

Edellä mainitut mittarit on tarkoitettu vain taitorakennetason tarkasteluihin. Niitä voidaan käyttää kuitenkin ohjelma- tai verkkotason vaikutuslaskennan apuna, missä yksittäisen taitorakenteen sijasta tarkastellaan useita taitorakenteita yhdessä.

Kun tarkastellaan kahta tai useampaa taitorakennetta yhdessä, hyötykäsitettä tulee laajentaa siten, että tunnetaan yksittäisen taitorakenteen toimenpiteestä saavutettavaa hyötyä koko verkolle. Suuren rakenteen korjaaminen on paljon kalliimpaa kuin pienen rakenteen korjaaminen. Hyöty-kustannusvertailuja varten suuren taitorakenteen hyödyt suhteessa pienemmän taitorakenteen hyötyihin koko verkolla on jotenkin huomioitava. Tämä tehdään ns. rakennepainojen avulla. Rakennepainoilla huomioidaan rakenteen ja sille tehtävän toimenpiteen vaikutusten laajuus. Kuntotarkasteluisa rakennepainona voisi toimia kannen pinta-ala. LCB-tarkasteluissa painona on tyypillisesti taitorakenteen uusimiskustannus. Muille kriteereille rakennepaino muodostetaan yleensä liikenteen määrän ja/tai liikenteen kuljettaman tavaran arvon perusteella. Liikenteellä tarkoitetaan esim. silloilla sekä sillalla kulkevaa liikennettä että sillan alla kulkevaa liikennettä.



Kuva 78. Verkkotason vaikutuslaskenta. Taitorakenteille on tarjolla toimenpiteitä, joiden valinta tapahtuu lisähyötytehokkuuden perusteella. Yksittäiset toimenpiteet nostavat yksittäisten rakenteiden palvelutasoa ja kerryttävät niiden rakenteiden kokonaismäärää, joilla palvelutaso on hyväksyttävä.

Tummanvihreät laatikot edellä esitettyssä kuvassa ovat ohjelma- tai verkkotason tuloksia, joihin kaikkiin rakenteiden koko ja tärkeys tavalla tai toisella vaikuttavat.

Verkkotasolla kertyvä hyöty määräytyy yksittäisten taitorakenteiden hyötyjen ja niiden tärkeyttä kuvaavien rakennepainojen kautta.

Rakennepainojen määrittäminen on mallinnustehtävä, missä on arvioitava erilaisten taitorakenteiden ja liikennemuotojen keskinäistä yhtenäisyyttä ja erilaisuutta ja pysyttävä muodostamaan yhteismitallisuutta parantava käytäntö. Hallintajärjestelmän määrittelyssä ja toteuttamisessa on jätettävä riittävästi liikkumavaraa myöhemmin määräytyvien rakennepainojen laskennalle.

Kriteerikohtaiset rakennepainot on lisäksi pystyttävä normalisoimaan.

Verkkotason hyötytila (Network level utility)

Verkkotasolla saavutettavaa hyötyä lasketaan yksittäisten taitorakenteille saavutettavan hyödyn avulla painottaen niitä rakennepainoilla. Verkkotason hyötylaskenta pohjautuu yksittäisten taitorakenteiden hyötylaskelmiin, mutta verkkotasolla on mahdollista käyttää niin haluttaessa jopa erilaisia suhteellisia painoja. Laskentakaava on seuraava:

$$UtilityU = \sum_j \sum_i (s_{ij} \times w_i \times v(z_{ij})) \quad (20)$$

missä s_{ij} taitorakenteen j kunkin kriteerin i rakennepaino, jolla ei siis ole ylärajaa. Se eroaa yksittäisen taitorakenteen hyötyfunktioista kertoimen s_{ij} verran.

Suhteelliset painot, w_i , ovat verkkotasolla päätösmuuttujia, joita käyttäjä voi säädellä sen mukaan miten hän saa haluamansa verkkotason tavoitemuuttujat täyttymään. Kriteerit edustavat eri näkökulmia, joiden merkitys riippuu tarkastelijasta. Käytännön budjettitasot riittävät yleensä hyvin minkä tahansa yksittäisen näkökulman tavoitteiden saavuttamiseen, mutta eivät kaikkien. Lopputulos on eri näkökulmien edustajien välinen konsensus, jolla halutut tavoitteet täyttyvät painojen määräämässä laajuudessa. Painot toimivat eräänlaisina näkökulmien välisinä säätövälineinä.

Verkkotason hyötyjen laskennassa on mahdollista käyttää joko samoja tai erilaisia suhteellisia painoja kuin yksittäisten taitorakenteiden hyötylaskelmissa. Samojen painojen käytöstä olisi kuitenkin useita etuja kuten seuraavat:

This might appear desirable, because it implies consistency of preference structure. However, there are several reasons why this might not be desirable:

- Verkkotason käyttäjän preferenssirakenne on politiikka- ja budjettiorientoitunut kun taas ohjelmoijan tai korjaussuunnittelijan preferenssit lähtevät enemmänkin insinöörinäkökulmasta. Nämä edustavat erilaisia näkökulmia.
- Hallintajärjestelmän rakennetta ja toiminnallisuutta suunniteltaessa on ajateltava järjestelmän toimivuutta jos/kun suhteellisia painoja verkkotason käytössä halutaankin muuttaa. Järjestelmä toimisi tehokkaammin jos taitorakennetason laskelmia ei tarvitsisi toistaa verkkotason analyysien yhteydessä. Laskennallinen te-

hokkuus edellyttää nopeasti reagoivaa järjestelmää, jollaista käyttäjät mielellään käyttävät.

- Rakennetason käyttäjien kannalta voi olla hämmentävää jos tulokset muuttuvat vaikkei käyttäjä itse ole tehnyt mitään muutoksia. Yllättävät muutokset tuloksissa etäännyttävät käyttäjiä järjestelmästä.

Näiden näkökohtien valossa on suositeltavaa, että verkkotason suhteelliset painot ovat erillään taitorakennetason suhteellisista painoista.

Joissakin tapauksissa voi olla tarpeen rajoittaa rakennepainoja myös yläpäästään äärimmäisten tulosten välttämiseksi. Tämä ei kuitenkaan ole suositeltavaa, koska joskus on suuria kohteita ja voisi olla parempi suunnitella niiden toimenpiteet erillään.

Verkkotason hyväksyttävyyys

Yleisen tason tarkasteluissa kannattaa käydä keskustelua yksinkertaisemmilla indekseillä. Hyötyfunktio ja sen määräytymiskriteerit ovat liian abstrakti taso siihen. Suositeltava tapa, kuten Suomessakin esim. tulosohjauksessa on tehty, on käyttää verkon eri osille niiden hyväksyttävyyttä kuvaavaa tunnuslukua ts. sitä määrää tai prosenttiosuutta, joka verkosta on hyväksyttävissä kunnossa (tai joissakin tilanteissa käänteisesti ei-hyväksyttävän omaisuuden määrää tai osuutta). Huonokuntoisten teiden tai siltojen määrä on ollut käytössä tässä tarkoituksessa jo vuosia.

Käytössä olevaa hyväksi koettua periaatetta voidaan laajentaa siten, että huomioidaan pelkän kuntokriteerin lisäksi myös muut monitavoiterakenteen kriteerit ja lasketaan hyväksyttävyyttä niiden kaikkien suhteen. Hyväksyttävyyden raja-arvot ovat taitorakennekohtaisia ja niiden avulla tunnistetaan hyväksyttävissä kunnossa tai turvallisuustilassa jne. olevat yksittäiset taitorakenteet. Verkkotasolla tämä tieto summataan kattamaan sitä taitorakenteiden määrää tai osuutta, joka tarkasteltavalla verkolla on hyväksyttävissä tilassa ts. palvelutaso on hyväksyttävä.

Hyväksyttävyyys lasketaan seuraavaa kaavaa käyttäen:

$$\text{Percent acceptability } A_i = 100 \times \frac{\sum_j (s_{ij} \times x(z_{ij}))}{\sum_j s_{ij}} \quad (21)$$

missä s_{ij} on kunkin taitorakenteen ja kriteerin rakennepaino ja $x(z_{ij})$ is 1 jos tila on kriteerin z_{ij} suhteen hyväksyttävä ja muulloin 0. Hyväksyttävyyys määritetään kullekin halutulle palvelutasomuuttujalle erikseen.

Verkkotason kustannukset

Kohteiden kustannukset lasketaan suoraviivaisesti verkkotason kustannuksiksi.

Priorisointikriteeri

Jokainen lisätoimenpide tuottaa aina suuremman kokonaishyödyn kuin alhaisempi investointi. Optimointimenetelmällä ratkaistaan kulloinkin käytettävissä olevan budjetin puitteissa mitkä kohde-ehdokkaista valitaan toimenpideohjelmaan siten, että ohjelmalla saavutettava kokonaishyöty maksimoituu. Samalle taitorakenteelle on sen elinkaaren aikana valittavissa useita eri toimenpidevaihtoehtoja (toimenpideprofiileja LCAP). Kunkin taitorakenteen LCAP-profiilit optimoidaan DMU-käyrän avulla siten,

että kullekin taitorakenteelle valitaan se LCAP-profiili, joka kullakin rahoitustasolla tuottaa parhaan hyödyn.

Each increment of investment in the transportation system is expected to yield an increase in network utility. Given a list of candidate investments and a limited amount of funding, the optimization process selects the investments which satisfy the budget constraint and yield the highest total utility. On a given structure, there may be several possible LCAPs with different cost and utility. A DMU curve is generated to identify the LCAPs that optimize utility at different levels of funding. Between each two candidates on the curve, the change in utility is the incremental benefit, and the change in cost is the incremental cost. The ratio of these two quantities is called the incremental utility/cost ratio (IUC) of the more expensive LCAP.

Optimointialgoritmi järjestää kaikki tarjolla olevat kohde-ehdokkaat IUC:n mukaiseen järjestykseen. Priorisointikriteerinä on IUC.

9.2.4 Ohjelmatason vaikutuslaskenta

Kun toimenpideohjelma on muodostettu, niin sillä saavutettavat vaikutukset voidaan myös laskea (käytännössä ne vain tulostetaan erikseen, koska ne on jo laskettu ohjelman valintakriteerejä laskettaessa). Vaikutuslaskenta tapahtuu samoin kuin verkotason vaikutuslaskenta, mutta vaikutukset lasketaan vain niiden taitorakenteiden osalta, jotka mahtuvat toimenpideohjelmaan.

9.3 Laskentaesimerkki

Edellä esitettyjä vaikutuslaskennan periaatteita havainnollistetaan seuraavilla esimerkeillä. Esimerkissä on tarkasteltu kymmentä siltaa, joilla on 2-4 toimenpidevaihtoehtoa. Yksinkertaisuuden vuoksi vain kaksi vaikutusta on laskennassa mukana; turvallisuus ja elinkaarikustannukset.

Taulukon sarakkeissa on vasemmalta lukien ensin kunkin sillan uusimiskustannus ja liikennemäärä, joita käytetään sillan rakennepainojen laskemisessa. Rakennepainot lasketaan normalisoimalla ne ensin kolmanteen sarakkeeseen. Tämä tehdään sen takia, että painoilla olisi sama merkitys kunkin kriteerin kohdalla. Liikennemäärää korjataan korjauskertoimella, jotta se saadaan vertailukelpoiseksi uusimiskustannuksen kanssa. Korjauskertoimen on uusimiskustannusten ja liikennemäärien keskiarvojen suhde. Normalisoitujen liikennemäärien summa on tällöin sama kuin uusimiskustannusten summa.

In English: The bridge listing shows the replacement cost (in thousands of euros) and average daily traffic (ADT). Since these two items are used as structure weights, they must be normalized to be on comparable scales. This is necessary so that the relative weights have the same meaning for all performance categories. It is convenient to adjust ADT to make it comparable with replacement cost, by multiplying by the ratio of the means of these two data items, 1144/10620. The total normalized ADT then is equal to the total replacement cost.

Taulukko 68. Esimerkkilaskelman sillat.

Bridge	Structure weight			Current performance		
	Replacement cost	Average daily traffic (ADT)	Normalized ADT	Do-nothing life cycle cost (LCC)	Crash risk*	Acceptable safety
101	1200	12000	1293	2400	103	0
102	975	6500	700	1300	80	700
103	600	5000	539	1000	95	0
104	1540	15000	1616	2500	125	0
105	1200	10000	1077	1560	99	0
106	1500	16500	1777	2400	145	0
107	1400	13450	1449	2800	97	0
108	1050	8750	943	1500	85	0
109	925	8500	916	1500	75	916
110	1050	10500	1131	1400	89	0
Mean	1144	10620				
Sum	11440		11440	18360		1616

All costs are in €000

Level of service standards	
Safety:	81 * Annual accidents per million daily vehicles

Kolme oikeanpuoleisinta saraketta osoittavat vastaavat vaikutukset kohteittain. Elin-kaarikustannukset on laskettu ei-tehdä mitään -politiikalla. Tätä vastaavat onnettomuusriskit on laskettu vastaamaan mainittua strategiaa. Onnettomuustilanteen palvelutasovaatimukseksi on määritetty että riskin tulee olla pienempi kuin 81 onnettomuutta/milj.ajon. Sitä pienemmät riskit ovat hyväksyttäviä.

Vain kahden sillan turvallisuuteen liittyvä palvelutaso on riittävä. Suhdeluku, $100\% \cdot 1616 / 11440 = 14\%$, ilmoittaa sen osuuden liikenteestä, jolla turvallisuustilanne on riittävä.

9.3.1 Toimenpidevaihtoehdot

Kullekin sillalle on muodostettu toimenpidevaihtoehtoja seuraavan taulukon mukaisesti. Jokaiselle sillalle on ensin ei-tehdä mitään vaihtoehto (Cand=0) sekä sen lisäksi 1-3 muuta vaihtoehtoa, jotka on listattu kustannusten suhteen nousevaan järjestykseen. Lisäkustannus (Incremental) on laskettu vähentämällä kunkin vaihtoehdon kustannuksesta edellisen vaihtoehdon kustannus.

Taulukko 69. Esimerkkilaskelman toimenpidevaihtoehdot ja hyötylaskelmat.

Candidate ID		Initial cost		Life cycle benefit (LCB)				Safety			
Bridge	Cand	Total	Incremental	LCC	LCB	Scaled	Weighted	Crash		Weighted	
								risk*	Accept	Scaled	ed
101	0	0		2400	0	0	0	103	0	28	362
101	1	200	200	2000	400	33	400	103	0	28	362
101	2	700	500	1400	1000	83	1000	103	0	28	362
102	0	0		1300	0	0	0	80	0	51	357
102	1	500	500	1025	275	28	275	80	0	51	357
103	0	0		1000	0	0	0	95	0	33	178
103	1	100	100	700	300	50	300	95	0	33	178
103	2	600	500	650	350	58	350	80	1	51	275
104	0	0		2500	0	0	0	125	0	24	388
104	1	800	800	1600	900	58	900	85	0	46	743
105	0	0		1560	0	0	0	99	0	31	334
105	1	1200	1200	1300	260	22	260	55	1	90	969
106	0	0		2400	0	0	0	145	0	13	231
106	1	400	400	1975	425	28	425	100	0	30	533
106	2	1500	1100	1750	650	43	650	65	1	80	1422
107	0	0		2800	0	0	0	97	0	32	464
107	1	100	100	2330	700	50	700	97	0	32	464
107	2	1100	1000	1900	900	64	900	65	1	80	1159
107	3	1400	300	1700	950	68	950	55	0	90	1304
108	0	0		1500	0	0	0	85	0	46	434
108	1	750	750	1300	200	19	200	85	0	46	434
109	0	0		1500	0	0	0	75	0	70	641
109	1	250	250	1200	300	32	300	75	0	70	641
109	2	925	675	1000	500	54	500	70	0	74	678
110	0	0		1400	0	0	0	89	0	37	418
110	1	50	50	1300	100	10	100	89	0	37	418
110	2	1050	1000	1250	150	14	150	80	1	51	577

* Annual accidents per million daily vehicles

All costs are in €000

Elinkaarenaikaiset hyödyt (LCB) on määritetty vähentämällä ei-tehdä mitään vaihtoehdon elinkaarikustannuksista (LCC) tehdään jotain vaihtoehdon kustannukset. Hyöty on skaalattu jakamalla se sillan uusimiskustannuksella (ja kertomalla 100:lla). Elinkaarihyödyn (LCB) painotettu hyöty (U) on laskettu kertomalla skaalattu elinkaarihyöty (LCB) rakennepainolla (uusimiskustannus), joka tuottaa tietysti alkuperäisen elinkaarihyödyn (LCB).

In English: As described earlier in this report, life cycle benefit (LCB) is the savings in life cycle cost (LCC) if a candidate is selected, rather than doing nothing. It is therefore computed by subtracting the LCC of the candidate from the LCC of the do-nothing candidate. The benefit is scaled by dividing it by the bridge replacement cost, then multiplying by 100. Weighted utility of life cycle benefit is computed by multiplying the scaled LCB by the structure weight (bridge replacement cost), which of course returns the original value of LCB.

Toimenpidevaihtoehdoilla saavutettava onnettomuusriski on laskettu vastaavilla onnettomuusriskimalleilla (ei esitetä tässä) ja skaalattu vastaavilla skaalausfunktioilla (ei esitetä tässä). Kunkin vaihtoehdon kohdalla saatua onnettomuusriskiä verrataan palvelutasokriteerinä olleeseen tasoon, mistä selviää nostaako vaihtoehto kohteen turvallisuustason hyväksyttävälle tasolle vai ei. Hyväksyttävyyys ilmaistaan luvulla 1 sarakkeessa Accept. Painotettu turvallisuushyöty lasketaan kertomalla onnettomuusriski (Crash_risk) rakennepainolla (joka oli normalisoitu liikennemäärä). Painotetut hyödyt (LCB ja Safety) osoittavat kunkin toimenpiteen tuottaman hyödyn.

Suhteellisten painojen havainnollistamiseksi seuraavassa on kaksi esimerkkiä niiden vaikutuksesta loputuloksiin. Ohjelma 1 on kustannuspainotteinen ja ohjelma 2 on turvallisuuspainotteinen. Ohjelmassa 1 painotetaan kustannuksia niinkin korkealle kuin 75 % ja vastaavasti ohjelmassa 2 turvallisuutta 90 %. Painot ovat esimerkeissä hiukan liioiteltuja, mutta osoittavat sitäkin selvemmin niiden merkityksen.

9.3.2 Kustannuspainotteinen ohjelma

Seuraavassa taulukossa kuusi vasemmanpuoleisinta saraketta tulevat edellisestä taulukosta. Niiden oikealla puolella on hyötylaskelmat. Kustannusten painona on 0,72 ja loppu 0,25 jää turvallisuuden painoksi. Taitorakenne- (Asset utility) ja verkkotason (Network utility) hyödyt esitetään omilla sarakkeillaan, mutta vain verkkotason hyötyä käytetään priorisoinnissa. Priorisoinnissa käytettävä lisähyöty (IUC) lasketaan lisähyödyn ja lisäkustannusten avulla; $1500 = 1000 \cdot 300 / 200$. Toimenpidevaihtoehdot (rivit) järjestetään IUC:n määräämään laskevaan järjestykseen ja vaihtoehtojen paremmuus nähdään järjestysindeksistä (Rank). Tehokkain hanke olisi sillan nro 107 toimenpidevaihtoehto 1, jonka IUC on 5250. Ohjelmaan jäävät kohteet määräytyvät kokonaisbudjetin perusteella. Huomattakoon, että ei-tehdä mitään vaihtoehtot ovat keskeisinä hyötyjen laskennassa, mutta niitä ei siirretä optimointimalliin, koska ne eivät ole ohjelman kohteita.

Kandidaattilistan järjestyksessä on tärkeitä, että IUC laskee sitä mukaan kun kustannukset nousevat. Sellaiset vaihtoehdot, joilla tämä ei toteudu, on poistettava listasta. Esitetty lista noudattaa vähenevien lisähyötyjen periaatetta. Huomattakoon, että ei-tehdä mitään vaihtoehdot ovat keskeisinä hyötyjen laskennassa, mutta niitä ei siirretä optimointimalliin, koska ne eivät ole ohjelman kohteita.

Seuraava taulukko osoittaa toimenpidevaihtoehdot lisähyötyjen suhteen laskevaan järjestykseen järjestettynä. Tämä lista on optimointitehtävän lähtökohta. Ohjelmaan päätyvien kohteiden ja vaihtoehtojen määrä riippuu rajoitteista eli mm. budjetista. Jos budjettirajoitus on 900 000 € niin ohjelmaan päätyvät viisi ensimmäistä kohdetta. Niiden yhteenlasketut kustannukset ovat 850 000 € ja yhteenlaskettu kokonaisyhyöty 1519 hyöty-yksikköä. Listasta voidaan havaita, että ei ole muita hankekombinaatioita, jotka tuottaisivat yhtä suuren hyödyn ja mahtuisivat budjettiin.

Jos budjettirajoitusta nostetaan 1,7 milj. €, niin ohjelmaan mahtuisi vielä kuudeskin kohde ja kokonaisyhyöty on 2283 hy.

Budjetin ollessa 7 milj.€ ohjelmaan mahtuisi 13 kohdetta. Tällöin siltä nro 107 olisi ohjelmassa kahdesti, koska väljemmällä budjetilla sille sillalle kannattaa tehdä ensimmäisen toimenpiteen lisäksi muutakin.

Lista tuottaa likimääräisen ohjelman ja maksimaalisen hyödyn mille tahansa budjettirajoitukselle, koska käytetty budjetti ei ole välttämättä sama kuin budjettirajoitus ja osa budjettirajoituksesta voi jäädä vapaaksi. Tämä on kokonaisuuteen verrattuna melko pieni epätarkkuus, mutta toisaalta sekin voidaan ratkaista järjestämällä valitsematta jääneet kohde-ehdokkaat uudelleen ja tarkastelemalla mikä olisi niistä paras kohde-ehdokas täyttämään vapaaksi jääneen budjetin osan.

Taulukko 70. Kustannuspainotteisen ohjelman hyötylaskelma.

Candidate ID		Initial cost		1-criterion utility		Candidate utility				
Bridge	Cand	Total	Incremental	LCB	Safety	Asset utility	Network utility	Incremental	IUC	Rank
101	0	0		0	362	7	90			
101	1	200	200	400	362	32	390	300	1500	4
101	2	700	500	1000	362	70	840	450	900	8
102	0	0		0	357	13	89			
102	1	500	500	275	357	34	296	206	412	9
103	0	0		0	178	8	44			
103	1	100	100	300	178	46	269	225	2250	2
103	2	600	500	350	275	57	331	62	123	16
104	0	0		0	388	6	97			
104	1	800	800	900	743	55	861	764	955	6
105	0	0		0	334	8	83			
105	1	1200	1200	260	969	39	437	354	295	12
106	0	0		0	231	3	58			
106	1	400	400	425	533	29	452	394	986	5
106	2	1500	1100	650	1422	53	843	391	355	10
107	0	0		0	464	8	116			
107	1	100	100	700	464	46	641	525	5250	1
107	2	1100	1000	900	1159	68	965	324	324	11
107	3	1400	300	950	1304	73	1038	74	246	13
108	0	0		0	434	12	108			
108	1	750	750	200	434	26	258	150	200	15
109	0	0		0	641	18	160			
109	1	250	250	300	641	42	385	225	900	7
109	2	925	675	500	678	59	544	159	236	14
110	0	0		0	418	9	105			
110	1	50	50	100	418	16	180	75	1500	3
110	2	1050	1000	150	577	23	257	77	77	17

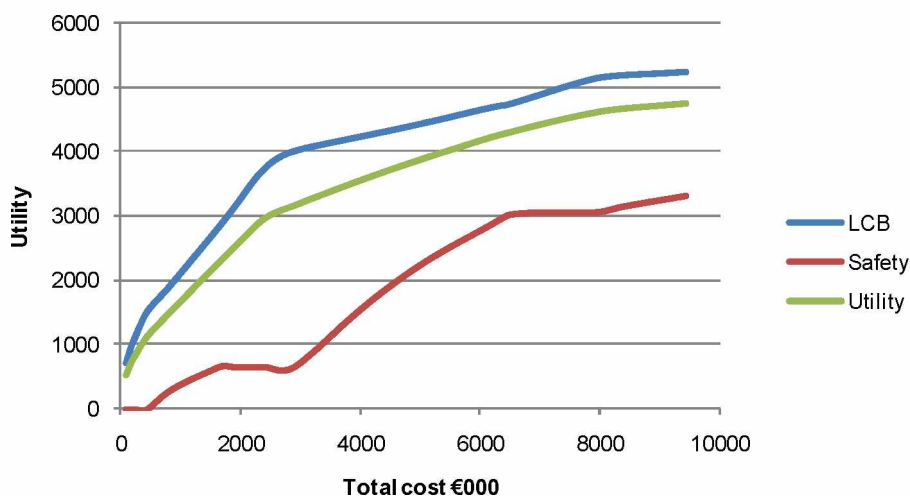
* Annual accidents per million daily vehicles
All costs are in €000

Taulukko 71. Kustannuspainotteisen ohjelman optimoitava kohdelista.

Program 1 - More weight for life cycle benefit														
Rank	Bridge	Cand	Candidate cost		Life cycle benef		Safety		Acceptability			Total		
			Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative	Accept safety	Weight	Cumulative	Cumulative	Incremental	Cumulative
1	107	1	100	100	700	700	0	0	0	0	0	14	525	525
2	103	1	100	200	300	1000	0	0	0	0	0	14	225	750
3	110	1	50	250	100	1100	0	0	0	0	0	14	75	825
4	101	1	200	450	400	1500	0	0	0	0	0	14	300	1125
5	106	1	400	850	425	1925	302	302	0	0	0	14	394	1519
6	104	1	800	1650	900	2825	355	658	0	0	0	14	764	2283
7	109	1	250	1900	300	3125	0	658	0	0	0	14	225	2508
8	101	2	500	2400	600	3725	0	658	0	0	0	14	450	2958
9	102	1	500	2900	275	4000	0	658	0	0	0	14	206	3164
10	106	2	1100	4000	225	4225	889	1546	1	1777	1777	30	391	3555
11	107	2	1000	5000	200	4425	695	2242	1	1449	3226	42	324	3879
12	105	1	1200	6200	260	4685	636	2877	1	1077	4303	52	354	4233
13	107	3	300	6500	50	4735	145	3022	0	0	4303	52	74	4307
14	109	2	675	7175	200	4935	37	3059	0	0	4303	52	159	4466
15	108	1	750	7925	200	5135	0	3059	0	0	4303	52	150	4616
16	103	2	500	8425	50	5185	97	3156	1	539	4842	56	62	4678
17	110	2	1000	9425	50	5235	158	3314	1	1131	5973	66	77	4755

Edellä esitetty lista voidaan tulostaa seuraavan kuvan tapaan, missä vaaka-akselilla on ohjelman kumulatiiviset kustannukset ja pystyakselilla aikaan saatavat hyödyt. Kuvan käyrät noudattavat aiemmin esitettyä vähenevän lisähyödyn periaatetta. Koska pääpaino ohjelman tekemisessä oli kustannuksilla, saadaan ohjelmalla suuri elinkaarikustannuksiin liittyvä hyöty. Alle 850 k€:n budjetilla turvallisuutta ei saada paranemaan ollenkaan. Vasta 4 milj. € ylittävällä budjetilla saadaan palvelutasovaikutuksia (hyväksyttävyyden parane).

Kuvan informaation perusteella voidaan asettaa vaikutustavoitteita asettamalla budjettitaso niin korkeaksi, että niitä on saavutettavissa. Samalla nähdään mitä vaikutuksia on saavutettavissa. Budjetin, painokertoimien ja vaikutusten suhde nähdään hyvin, mikä on toivottavaa informaatiota.



Kuva 79. Kustannuspainotteisen ohjelman vaikutuksia.

9.3.3 Turvallisuuspainotteinen ohjelma

Turvallisuuspainotteisen ohjelman muodostamisessa sille asetetaan painokerroin 0,9. Loppu 0,1 jää kustannusten painoksi. Laskelma lähtee samoista lähtötiedoista kuin edellinenkin mutta hyötyjen laskennassa suhteelliset painot ovat erilaiset. Toimenpidevaihtoehtojen paremmuustaulukko on ohessa. Kohteiden järjestysindeksi painottaa nyt sellaisia vaihtoehtoja, jotka tuottavat turvallisuushyötyä. Tämä nähdään myös hyötyjä esittävästä kuvasta, missä turvallisuushyötyä saavutetaan jo pienillä budjettitasoilla tosin elinkaarikustannusten kustannuksella.

Kustannuspainotteisen ja turvallisuuspainotteisen ohjelman suhteellisten painojen vaikutus nähdään selvästi vertaamalla vaihtoehtojen hyötykuvia toisiinsa. Erityisesti budjettitasolla 3,5 milj.€ vaikutus on selvästi nähtävissä. Kustannuspainotteisen vaihtoehdon turvallisuustavoite tulisi asettaa 14 %:iin ja elinkaarikustannusten hyöty 4 milj.€:oon.

Turvallisuuspainotteisen vaihtoehdon turvallisuuden vaikutustavoite tulisi asettaa 42 %:iin ja elinkaarikustannusten hyöty 2,45 milj.€:oon.

Taulukko 72. Turvallisuuspainotteisen ohjelman hyötylaskelma.

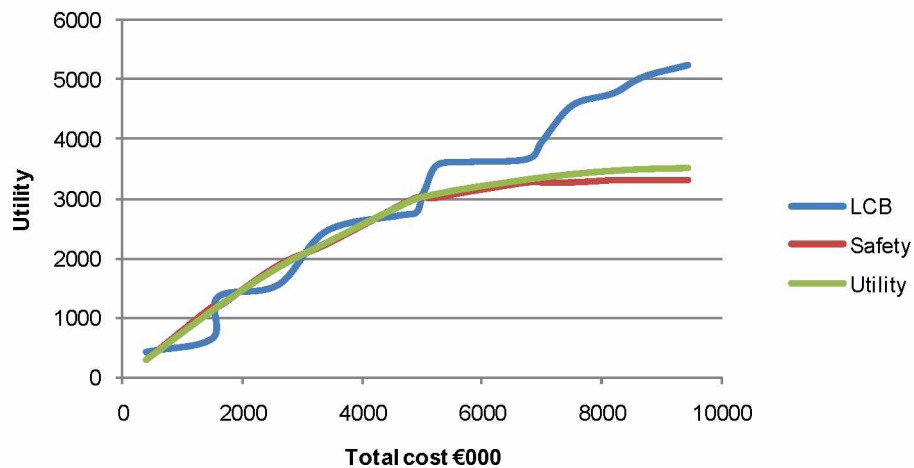
		Relative weights									
		Program 2									
		Life cycle benefit:								0.1	
		Safety:								0.9	
Candidate ID		Initial cost		1-criterion utility		Asset		Netw k		Increm	
Bridge	Cand	Total	ental	LCB	Safety	utility	utility	ental	IUC	Rank	
101	0	0		0	362	25	326				
101	1	200	200	400	362	29	366	40	200	10	
101	2	700	500	1000	362	34	426	60	120	14	
102	0	0		0	357	46	321				
102	1	500	500	275	357	49	349	28	55	16	
103	0	0		0	178	30	160				
103	1	100	100	300	178	35	190	30	300	8	
103	2	600	500	350	275	52	282	92	185	11	
104	0	0		0	388	22	349				
104	1	800	800	900	743	47	759	410	512	5	
105	0	0		0	334	28	301				
105	1	1200	1200	260	969	83	899	598	498	6	
106	0	0		0	231	12	208				
106	1	400	400	425	533	30	522	314	786	1	
106	2	1500	1100	650	1422	76	1345	822	748	2	
107	0	0		0	464	29	417				
107	1	100	100	700	464	34	487	70	700	3	
107	2	1100	1000	900	1159	78	1133	646	646	4	
107	3	1400	300	950	1304	88	1269	135	451	7	
108	0	0		0	434	41	390				
108	1	750	750	200	434	43	410	20	27	17	
109	0	0		0	641	63	577				
109	1	250	250	300	641	66	607	30	120	13	
109	2	925	675	500	678	72	660	53	78	15	
110	0	0		0	418	33	377				
110	1	50	50	100	418	34	387	10	200	9	
110	2	1050	1000	150	577	47	534	148	148	12	

* Annual accidents per million daily vehicles

All costs are in €000

Taulukko 73. Turvallisuuspainotteisen ohjelman optimoitava kohdelista

Program 2 - More weight for safety														
			Candidate cost		Life cycle benef		Safety		Acceptability			Total		
			Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative	Accept safety	Weighted	Cumulative	Cumulative	Incremental	Cumulative
Rank	Bridge	Cand	ental	tive	ental	tive	ental	tive	safety	ed	tive	pct	ental	tive
1	106	1	400	400	425	425	302	302	0	0	0	14	314	314
2	106	2	1100	1500	225	650	889	1191	1	1777	1777	30	822	1137
3	107	1	100	1600	700	1350	0	1191	0	0	1777	30	70	1207
4	107	2	1000	2600	200	1550	695	1886	1	1449	3226	42	646	1853
5	104	1	800	3400	900	2450	355	2242	0	0	3226	42	410	2263
6	105	1	1200	4600	260	2710	636	2877	1	1077	4303	52	598	2861
7	107	3	300	4900	50	2760	145	3022	0	0	4303	52	135	2996
8	103	1	100	5000	300	3060	0	3022	0	0	4303	52	30	3026
9	110	1	50	5050	100	3160	0	3022	0	0	4303	52	10	3036
10	101	1	200	5250	400	3560	0	3022	0	0	4303	52	40	3076
11	103	2	500	5750	50	3610	97	3119	1	539	4842	56	92	3168
12	110	2	1000	6750	50	3660	158	3278	1	1131	5973	66	148	3316
13	109	1	250	7000	300	3960	0	3278	0	0	5973	66	30	3346
14	101	2	500	7500	600	4560	0	3278	0	0	5973	66	60	3406
15	109	2	675	8175	200	4760	37	3314	0	0	5973	66	53	3459
16	102	1	500	8675	275	5035	0	3314	0	0	5973	66	28	3486
17	108	1	750	9425	200	5235	0	3314	0	0	5973	66	20	3506



Kuva 80. Turvallisuuspainotteisen ohjelman vaikutuksia.

9.3.4 Vaikutukset taitorakenteiden hallintaan

Edellä esitetyt laskentaesimerkit ovat yksinkertaistettuja, mutta täysimittainen laskelma toimii vastaavalla tavalla. Monitavoitteinen hyötyfunktio ja optimointimenetelmä toimivat yhdessä kytkien vaikutukset ja budjetin toisiinsa. Painot ja budjettirajoitus tarjoavat käyttäjälle mahdollisuuden kontrolloida ohjelman toimintaa ja saavuttaa haluamiaan vaikutuksia.

Monitavoiterakenne hyötyfunktiossa ottaa ohjelmilla aikaan saavutettavissa olevat hyödyt huomioon monipuolisesti. Kustannuksiin suhteutettu hyöty toimii kohteiden valinnassa tuoden rahankäyttöön tehokkuutta ja vaikutusten suunnitteluun realismia.

Liikenneviraston ja aluehallinnoijan näkökulmat ovat hallintajärjestelmässä sisällä ja tavoitteenasettelu, resurssien jako ja niihin vastaaminen toimivat yhtenä kokonaisuutena.

Järjestelmä edellyttää kaikkiin taitorakenteisiin liittyvää ajanmukaista tarkastusjärjestelmää ja järjestelmän tarvitsemien mallien päivittämistä.

10 Yhteenveto

Liikenneviraston väyläomaisuuteen kuuluu väyliä ja taitorakenteita. Taitorakenteisiin luetaan kuluviksi mm. sillat, tunnelit, laiturit, tukimuurit ja paalulaatat. Taitorakenteiden hallinta on tapahtunut aiemmin kolmessa eri virastossa. Hallinnassa on käytetty enemmän tai vähemmän kehitettyjä hallintajärjestelmiä. Taitorakenteiden perustietorekisterien yhdistyessä yhdeksi tietovarastoksi myös niiden toiminnansuunnittelun hallintajärjestelmät voivat yhdistyä. Maantiesiltojen ja rautatiesiltojen tarkastustoiminnassa on olemassa melko vakiintuneet käytännöt. Tunneleiden ja laitureiden tarkastustoiminta on kehittymässä ja muiden taitorakenteiden pääosin kehittymättä.

Väyläomaisuuden toiminnansuunnittelussa on useita eri vaiheita, joiden avulla väylien ylläpitoon liittyviä suunnitelmia ja päätöksiä tehdään. Toiminta- ja taloussuunnitelma on nelivuotinen asiakirja, jolla Liikennevirasto viestii sidosryhmilleen, miten se painottaa eri väyläverkon osia ja missä laajuudessa hoitoa, kunnossapitoa ja uusia kehittämistä tehdään. Toiminta- ja taloussuunnitelmassa esitetään, miten verkon eri osia ja väylänpidon tuotealueita painotetaan. Tällä dokumentilla osoitetaan, miten Liikennevirasto maksimoi väylänpidolla aikaan saatavat hyödyt yrittäen minimoida vastaavasti koituvat haitat. Rahoitus ja painotukset suunnataan siten, että väylien päivittäinen liikennöitävyys, liikenteen sujuminen, toiminnallisuus ja turvallisuus varmistetaan ja negatiivisia ympäristövaikutuksia vältetään.

Väylien eri alueille tehtävillä toimintalinjoilla osoitetaan, mitkä ovatärkevän toiminnan peruspiirteet. Toimintalinjat toimivat viraston sisäisinä ohjeina toimenpideohjelmien laadinnan taustana. Ylläpidon toimintalinjoilla esitetään miten väylien eri osia tulee ylläpitää, miten paljon budjetoida ja mitä palvelutasoa tarjota, jotta eri sidosryhmien tarpeisiin ja odotuksiin vastataan mahdollisimman taloudellisesti. Toimintalinjat sisältävätärkevän ylläpidon perusperiaatteet, jotka ovat syntyneet erilaisten analyysien ja asiantuntijatietämysten pohjalta.

Liikenneviraston toiminta pohjautuu tulosohjaukseen, jolla Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) johtaa oman hallinnonalansa virastoja. LVM asettaa vuosittaiset tulostavoitteet ja myöntää siihen tarvittavan rahoituksen. Nämä tavoitteet tukevat niitä päämääriä, joita liikennesektorille on kansallisesti asetettu. Maanteitä koskevat toiminnalliset tulostavoitteet on jaettu kolmeen ryhmään, joita ovat tuotokset, toiminnallinen tehokkuus ja henkilöresurssien hallinta. Tuotososaan kuuluvat väylien kunto, turvallisuus ja ympäristöasiat.

Taustalla on tavoite minimoida väyläomaisuuden huonokuntoista määrää ja maksimoida väylänkäyttäjien tyytyväisyyttä annetulla rahoituksella. Tulosohjaus toistuu vuosittain melko samanlaisena ja siinä ylempien suunnitteluvaiheiden tulokset jalautetaan konkreettisiksi toimenpideohjelmiksi, joiden avulla halutaan saavuttaa vaikutuksia. Tulostavoitteissa pääpaino on väylien kunnossa ja turvallisuudessa. Myös ympäristöön ja taloudellisuuteen liittyviä tavoitteita asetetaan.

Hallintajärjestelmien käyttöönoton myötä ylläpidon suunnittelu on painoittunut kuntotilaan pohjautuvaksi suunnitteluksi, mikä on yksipuolistanut suunnittelun näkökulmaa. Turvallisuutta ja muita näkökulmia on huomioitu ylläpidon suunnittelusta erillään tai sen yhteydessä vaihtelevasti. Sidosryhmien näkökulmien huomiointi, ympäristöasioiden ja kestäväen kehityksen edistäminen, rajallisten rahoitusmahdollisuuksi-

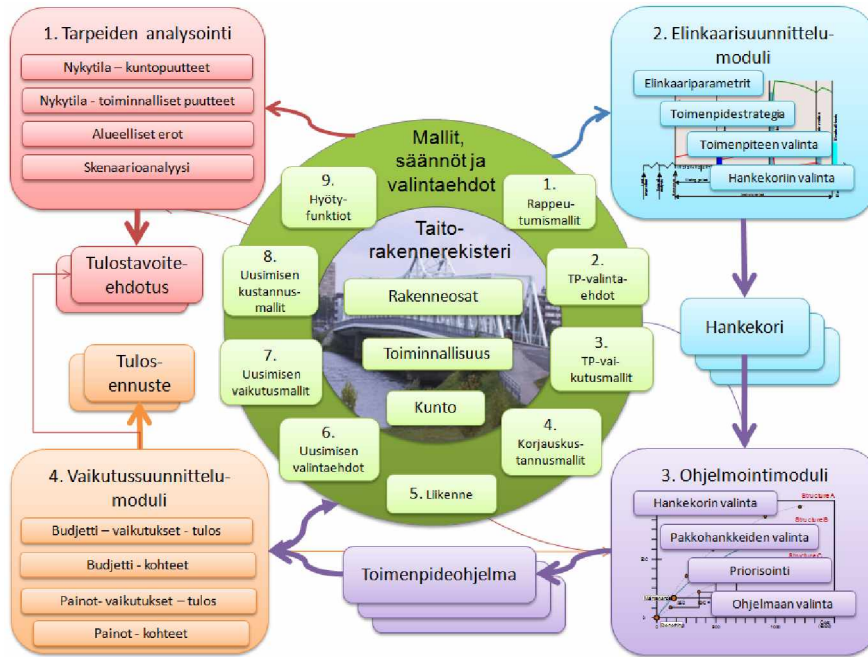
en tuoma taloudellisuuden tarve sekä valtionhallinnon valmistelutyön läpinäkyvyyden parantamistarve vievät toiminnansuunnittelua monipuolisempaan suuntaan. Suunnittelussa on pyrittävä huomioimaan useita toistensa kanssa ristiriidassa olevia näkökulmia. Tämä on käynnistänyt erilaisia monikriteerianalyysien ja monitavoiteanalyysien kokeiluja, joista ovat esimerkkeinä monitavoiteoptimoinnin käyttö tienpidossa ja siltojen toimenpideohjelmien laadinta käyttäen RPM- tai SMAA-menetelmiä. Kokeilut on tehty konsulttityönä tai opinnäytetöinä tiepiiri tai sen osa kerrallaan ja niiden perusteella mielenkiinto mintavoiteoptimoinnin käyttöönottoon on kasvanut myös hallintajärjestelmien käyttäjien kohdalla.

Monikriteerianalyysi ja optimointi kuuluvat systeemianalyysin erikoisalueeseen, mikä ei ole kovin tuttua perinteiselle tieinsinöörille. Useita vaihtoehtoisia menetelmiä on kehitetty ja kokeiltu. Jo pelkästään tarjolla olevien menetelmien hallinta edellyttää vahvaa perehtymistä kyseiseen erikoisalueeseen. Erilaisia tapauskohtaisia esimerkkejä monikriteerianalyysistä on kirjallisuudessa lukuisia. Väylien ylläpidossa tarvitaan sellaista lähestymistapaa, joka sopii integroitavaksi hallintajärjestelmän sisään ja siten käytettäväksi jatkuvasti normaalissa toiminnansuunnittelussa. Kirjallisuudessa on löydettävissä ainakin 40 eri esimerkkiä, missä monikriteerianalyysiä tai monitavoiteoptimointia on sovellettu joko opinnäytetyönä tai väyläviraston kanssa pilotoituna. Menetelmien kirjo on moninainen johtuen siitä, että opinnäytetyönä syntyy luonnostaan erilaisia kokeiluja. Siltojen ylläpidon hallintaan mainituista 40 eri esimerkistä 17, jotka jakaantuvat yhteensä yhdeksään eri menetelmään. Näitä ovat Compromise Programming, e-constraint Method, Genetic Algorithm, Multi-Attribute Utility Theory, Robust Portfolio Modelling, Stochastic Multi-Attribute Analysis, Weighted Sum Method ja erilaiset hybridimenetelmät. Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) on näistä eniten kokeiltu ja se on ainoana käytössä jo olevissa hallintajärjestelmissä.

Uuteen taitorakenteiden hallintajärjestelmään halutaan sisällyttää useiden eri tavoitteiden hallinta siten, että se palvelee useita käyttäjätasoja. Hallintajärjestelmällä tulee pystyä käsittelemään koko taitorakennekantaa, joka on noin 20 000 kpl. Monitavoitteellisuuden lisäksi siinä tulee olla elinkaarikustannusten hallintaa tukevat toiminnot. Tämä asettaa valittaville menetelmille mm. yhteensopivuus- ja tehokkuusvaatimuksia. Yhteensopivuusvaatimus tarkoittaa sitä, että perinteisen hallintajärjestelmän toimintojen lisäksi on sijoitettava myös elinkaarikustannusanalyysi sekä monitavoiteoptimointi ja niillä tulee olla omat toiminnalliset osansa kokonaisuudessa. Tehokkuusvaatimus taas edellyttää, että laskentojen vasteajat pysyvät kohtuullisina. Monitavoiteoptimoinnin sisällyttäminen hallintajärjestelmään on siten laajempi kysymys kuin pelkän monitavoiteoptimointimenetelmän valinta. Tässä työssä on tukeuduttu vuonna 2007 toteutettuun taustaprojektiin, jossa oli kyse juuri samanlaisesta tehtävästä. Sen tulokset on raportoitu raportissa NCHRP 590.

10.1 Taitorakenteiden hallintajärjestelmän rakenne

Liikenneviraston uuden taitorakenteiden hallintajärjestelmän rakenteeksi suositellaan tämän työn kautta nelimodulista järjestelmää, missä modulit ovat tarpeiden analysointi, elinkaarikustannusten analysointi, toimenpideohjelmien muodostaminen ja vaikutusten tarkastelu.

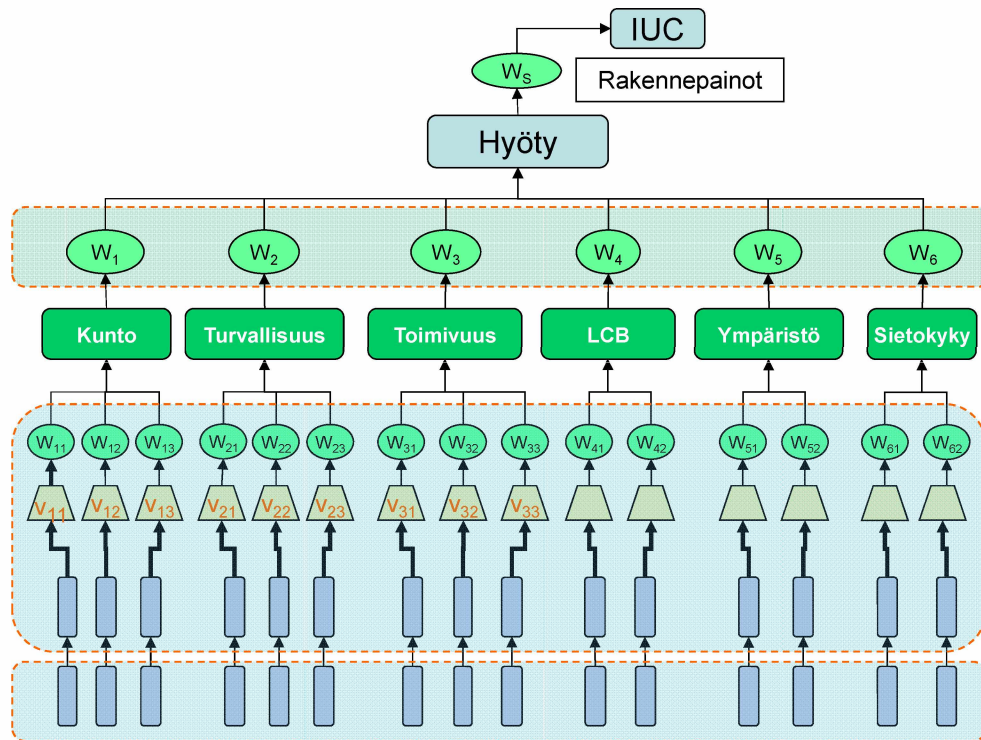


Kuva 81. Taitorakennerekisteri ja sen yhteydessä olevat hallintajärjestelmän osat muodostavat toimivan kokonaisuuden.

Hallintajärjestelmä sisältää joukon toimintoja ja analyysejä joiden toteuttamisessa tarvitaan erilaisia malleja ja valintaehdoja. Elinkaarianalyysi ulottuu useiden kymmenien vuosien päähän ja elinkaaren toimenpideprofiilin ennustamista varten tarvitaan malleja rappeutumisesta, vaikutuksista ja kustannuksista sekä valintaehdoja. Toiminnallisten tarpeiden käsittelyyn tarvitaan lisäksi liikenteeseen, toimivuuteen ja turvallisuuteen liittyviä lähtötietoja ja malleja.

10.2 Monikriteerianalyysin rakenne

Järjestelmään tulee monikriteerianalyysi, jossa tarvitaan hyötyfunktio. Monikriteerirakenne suositellaan muodostettavaksi MAUT-menetelmän mukaisesti sisältäen kuusi eri kriteeriä. Nämä kriteerit (tavoitteet) ovat kunto, toiminnallisuus, turvallisuus, ympäristö, vahingonkestävyys ja elinkaarikustannukset. Ne ovat toisistaan riippumattomia ja toiminnalla tavoiteltavia asioita ja ne muodostavat siten monikriteerianalyysille sopivan kehikon. Kunto on perinteinen ylläpidon päämuuttuja, mutta sitä käsitellään taitorakenneriippumattomasti. Kuntokriteeri muodostetaan päärakennosien kuntoluokkien avulla. Päärakennoset vaihtelevat taitorakenteesta riippuen, mutta kuntoluokkamääritykset ovat samat.



Kuva 82. Monikriteerianalyysin hyötyfunktion pää rakenne.

Kunkin taitorakenneryhmän hyötyfunktio tulee muodostaa yhtenäisiä periaatteita noudattaen. Hyötyfunktioon kuuluvat mm. seuraavat osatekijät:

- Hyötyfunktion osatekijöiden sisältö. Hyötyfunktio muodostuu kuudesta pääkriteeristä, joiden sisältö riippuu taitorakenneryhmästä. Sen muotoutuminen on vapaasti valittavissa kullekin taitorakenteelle tyypillisten ominaisuuksien perusteella. Hyötyfunktiolla tavoitellaan yhteismitallisia vaikutuksia eri taitorakenteiden ja niiden osien välillä.
- Painokertoimet. Hyötyfunktion kunkin kriteerin osatekijät lasketaan yhteen painottamalla niitä painokertoimilla. Painokertoimien suuruus määritetään mallinnusvaiheessa.
- Skaalausfunktio. Kunkin kriteerin osatekijät skaalataan ennen painottamista ja yhteenlaskemista. Skaalaus on suoritettava mallinnusvaiheessa siihen tarvittavien periaatteiden mukaan.
- Rakennepainot. Erityyppiset ja erikokoiset taitorakenteet tuottavat hyvin eritasoisia hyöty- ja kustannustasoja ja niiden yhteismitallistamiseksi on muodostettava rakennepainot.

10.3 Datapohja

Taitorakenteiden hallinnan perusta on tieto niiden olemassaolosta ja tilasta. Yhteinen tietovarasto mahdollistaa niiden toiminnansuunnitteluun liittyvän tietopohjan keruun yhtenäisin periaattein. Yhtenäinen tietopohja mahdollistaa samoilla periaatteilla tapahtuvan ohjelmoinnin. Toiminta- ja taloussuunnitelmien, toimintalinjojen ja tulostavoitteiden suunnittelu pääsee pohjautumaan samantasoiseen tietoon ja analyyseihin. Yhtenäiset toimintatavat edellyttävät tiettyjä vaatimuksia datapohjalle ja malleille.

Datapohjaan liittyy seuraavia kehitystarpeita:

- Taitorakenteiden hallintaan tarvitaan niiden yleistiedot ja kuntotiedot. Yleistietoihin ymmärretään kuuluviksi perinteisesti taitorakenteen paikkaan, tyyppiin, mittoihin, materiaaleihin, toimenpidehistoriaan, liikenteeseen yms. liittyvät tiedot.
 - Maantiesiltojen osalta tietosisältö on melko kattava. Täydennyksiä tarvitaan vain muutamiin yksityiskohtiin kuten mm. tarkastustoiminnan kuntoarvioiden/vaurioiden laajuuteen.
 - Rautatiesiltojen tarkastustoimintaa tulee laajentaa kattamaan pääraakenneosien kuntoluokat.
 - Muiden taitorakenteiden inventointi- ja tarkastustoiminta tulee käynnistää vastaavin periaattein.
- Taitorakenteiden toiminnallisuuteen liittyvä tieto tai sen laskemiseksi tarvittavat tiedot tulee olla kerättynä ja talletettuna taitorakenteiden rekisteriin.
 - Maantiesilloilla tämä edellyttää sillan ali kulkevan liikenteen ja kiertotiepituuksien selvittämistä.
 - Muiden taitorakenteiden toiminnallisuuteen liittyvät osatekijät tulee kerätä sen jälkeen kun niihin liittyvä hyötyfunktio on määritetty. Tällaisia osatekijöitä ovat mm. ulottumiin, liikenteen nopeuksiin ja turvallisuuteen liittyvät tekijät.

10.4 Mallit ja valintaehdot

Taitorakenteiden kunnon ja toiminnallisuuden ennustamiseen tarvitaan malleja. Vanhan tarkastuksen kuntotieto tulee pystyä ennustamaan ajan tasalle. Elinkaari-kustannusten analyysissä kuntoennusteita tarvitaan vieläkin pidemmälle ajanjaksolle. Maantiesiltojen kunnon ennustamisesta on jo pitkä historia. Ennustemallit ovat kuitenkin puutteellisia ja epäloogisia. Muiden taitorakenteiden kunnon ennustamisesta ei ole olemassa käytäntöjä. Kuntoennusteiden kehittäminen edellyttää m. seuraavia kehityssaskelia:

- Taitorakenteet tulee ryhmitellä mallien hallinnan kannalta sopiviin homogeneisiin ryhmiin esimerkiksi päämateriaalien ja pääraakenneosien mukaan.
- Taitorakenteille tehtävät toimenpiteet tulee ryhmitellä sopiviin yhtenäisiin ryhmiin siten, että niiden lukumäärä on hallittavissa ja mallinnettavissa.
- Taitorakenteiden pääraakenneosien kuntoennusteet tulee muodostaa Markovmallien mukaisiksi.
 - Kuntoennusteet sisältävät sekä rappeutumisen että toimenpiteiden vaikutusten mallintamisen.
 - Maantiesiltojen pitkä tarkastushistoria kannattaa hyödyntää laajentamalla Markov-malleja ikäriippuviksi Weibull-malleiksi.
 - Muiden taitorakenteiden pääraakenneosien ennustemallit tulee kehittää kokonaan alusta käyttäen tarkastustietojen määrän ja laadun mukaisia mallinnusmenetelmiä.
 - Mallien laatimisessa tulee noudattaa mahdollisimman yhtenäistä ja hyvää periaatetta ja mallien toimivuus tulee myös validoida ja koko mallinnustyö tulee dokumentoida.

Taitorakenteiden toiminnallisuuspuutteiden hallinta edellyttää sitä käyttävän liikenteen vaatimusten ja tarkastustiedolla saatavan toiminnallisuuden vertaamista. Toiminnallisuuspuutteiden määrittämiseksi on tiedettävä, miten taitorakenne palvelee ja/tai rajoittaa nykyistä liikennettä joko yli-, ali- tai läpikulun suhteen ja miten suuria haittoja kulkuesteistä koituu. Maantiesiltojen toiminnallisuuspuutteiden hallinnassa tarvitaan ainakin yli- ja alikulkevan liikenteen määrä ja koostumus sekä mahdollisen kiertotiereitin pituus. Tunnelleissa tarvitaan vastaavasti tilarajoitteet ja niistä aiheutuvien liikennehaittojen arviointi sekä turvallisuuteen liittyvien puutteiden analysointi.

Tiedonkeruu ja mallintaminen voidaan tehdä useissa eri vaiheissa ja järjestyksessä. Peruseriäteenä on, että kaikki taitorakenteet ja niiden kuntotieto tulevat ensin yhtenäisen tiedonkeruun piiriin ja kerätty tieto on samassa tietovarastossa. Sen jälkeen voidaan edetä joko mallintamalla eniten mahdollisuuksia omaavat taitorakenteet ensin tai sitten edeten askel kerrallaan mallintaen kaikkia taitorakenteita samanaikaisesti.

Ensin mainittu tapa mahdollistaisi järjestelmän aikaisemman käyttöönoton.

Taulukko 74. Yhteenvedo dataan ja mallinnukseen liittyvistä tarpeista ja kehitysvaihtoehto1.

Taitorakenneryhmä	Inventointi	Tarkastus	Rapportumis- ja vaikutusmallit	Toimenpiteiden Valintaehdot, vaikutusluokat ja kustannukset	Hyötyfunktion osatekijät	Skaalausfunktiot	Osatekijäpainot	Rakennepainot
Maanteiden sillat	OK	OK ¹	1	1	1	1	1	1
Maanteiden putkisillat	OK	OK ¹	1	1	1	1	1	1
Maanteiden laiturit	OK	OK ²	2	2	2	2	2	2
Rautateiden sillat	OK	OK ³	1	1	1	1	1	1
Rautateiden putkisillat	OK	OK ³	1	1	1	1	1	1
Avattavat sillat	OK	OK ²	3	4	4	4	4	4
Tukimuurit	1	2	5	6	6	6	6	6
Tunnelit	OK	OK ³	2	2	2	2	2	2
Paalulaatat	1	2	5	6	6	6	6	6
Muut	1	2	5	7	7	7	7	7

¹⁾ Kuntoluokkajakaumat, kiertotiepituuudet, liikenne ja sen ulottumamitat ja painojakaumat ²⁾ Kattavuus tarkistettava, ³⁾ Rakennneosien kuntoluokat, toiminnallisuustieto.

Taulukko 75. Yhteenveto dataan ja mallinnukseen liittyvistä tarpeista ja kehitysvaihtoehto 2.

Taitorakenneryhmä	Inventointi	Tarkastus	Rappeutumis- ja vaikutusmallit	Toimenpiteiden Valintaehdot, vaikutusluokat ja kustannukset	Hyötyfunktion osatekijät	Skaalausfunktiot	Osatekijäpainot	Rakennepainot
Maanteiden sillat	OK	OK ¹	2	3	4	5	6	7
Maanteiden putkisillat	OK	OK ¹	2	3	4	5	6	7
Maanteiden laiturit	OK	OK ²	2	3	4	5	6	7
Rautateiden sillat	OK	OK ³	2	3	4	5	6	7
Rautateiden putkisillat	OK	OK ³	2	3	4	5	6	7
Avattavat sillat	OK	OK ²	2	3	4	5	6	7
Tukimuurit	1	1	2	3	4	5	6	7
Tunnelit	OK	OK ³	2	3	4	5	6	7
Paalulaatat	1	1	2	3	4	5	6	7
Muut	1	1	2	3	4	5	6	7

¹⁾ Kuntoluokkajakaumat, kiertotiepituuudet, ²⁾ Kattavuus tarkistettava, ³⁾ Rakenneosien kuntoluokat, toiminnallisuustieto.

Lähteet

AASHTO, (2002). AASHTO Guide for Commonly-Recognized (CoRe) Structural Elements. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1997 and 2002.

AASHTO, (2010). AASHTO Bridge Element Inspection Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials. 2010.

Agrawal, A.K., and A. Kawaguchi, (2009): Bridge Element Deterioration Rates: Final Report. New York State Department of Transportation. 2009.

Bai Qiang, Labi, Samuel, (2009): Uncertainty-based Tradeoff Analysis Methodology for Integrated Transportation Investment Decision Making. Oct 28. 2009. USDOT Region V Regional University Transportation Center. Final Report.

Cambridge Systematics, Inc., (2003): Pontis Release 4.3 Technical Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2003.

Cambridge Systematics Inc., PB Consult Inc., and Texas Transportation Institute, (2006). Performance Measures and Targets for Transportation Asset Management. National Cooperative Highway Research Program Report 551. Transportation Research Board of the National Academies, 2006.

Ellis, R.M., Thompson, P.D., Gagnon, R. & Richard, G., (2008) : Design and Implementation of a New Bridge Management System for the Québec Ministry of Transport. *Transportation Research Circular E-C128: 77 - 86.*

De Montis, Andrea, et al., (2000): Criteria for Quality Assessment of MCDA-methods. 3th Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics, Vienna, May 3-6, 2000.

Everett, H., (1963): Generalized Lagrange Multiplier Method for Solving Problems of Optimum Allocation of Resources. *Operations Research*, Vol. 2, pp. 399-417, 1963.

FHWA, (2004). Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges. Federal Highway Administration Report FHWA-PD-96-001, 1995.

Freville, A., (2004): The multidimensional 0-1 Knapsack Problem: An Overview. *European Journal of Operational Research*, Vol. 155, pp. 1-21, 2004.

Guituine, Adel, Martel, Jean-Marc, (1998): Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA-method. *European Journal of Operations Research* 109 (1998) pp. 501-521, 1997.

Hawk, Hugh., (2003): Bridge Life Cycle Cost Analysis. National Cooperative Highway Research Program Report 483. Transportation Research Board of the National Academies, 2003.

Hearn, George, and Paul D. Thompson, (2010): National Database System for Maintenance Actions on Highway Bridges. National Cooperative Highway Research Program Report 668. Transportation Research Board of the National Academies, to be published in 2010.

Hyman, William A., (2004): Guide for Customer-Driven Benchmarking of Maintenance Activities. National Cooperative Highway Research Program Report 511. Transportation Research Board of the National Academies, 2004.

Keeney, R.L., and H. Raiffa (1976): Decision with Multiple Objectives – Preferences and Value Tradeoffs, Wiley, 1976.

Li, Z., and M. Puyan (2006): A Stochastic Optimization Model for Highway Project Selection and Programming under Budget Uncertainty.

Lemer, Andrew C. (2004): Public Benefits of Highway System Preservation and Maintenance. National Cooperative Highway Research Program Synthesis 330. Transportation Research Board of the National Academies, 2004.

Lorie, J.H., and and Savage, L.J. (1955): Three Problems in Rationing Capital. Journal of Business, XXVIII, No. 4, pp. 229-239. The University of Chicago Press, Illinois, 1955.

Magazine, M. J. and Oguz, O. (1984): A Heuristic Algorithm for the Multidimensional Zero-One Knapsack Problem. European Journal of Operational Research, Vol. 16, pp. 319-326, 1984.

McFarland, W., J. Rollins and R. Dheri (1983): Documentation for Incremental Benefit-Cost Technique, Technical Report prepared for the Federal Highway Administration by the Texas Transportation Institute, Texas A&M University System, College Station Texas, 1983.

McNeil, Sue, P.S. Sriraj, S. Pal, and L. Ogard (2002): Evaluation of Near-Transportation Private Sector Asset Management Practices. Project 01-02, Midwest Regional University Transportation Center, 2002.

Miettinen, Kaisa (1998): Nonlinear Multiobjective Optimization. Kluwer Academic Publishers, 1998.

Mild, Pekka (2004): Multicriteria Portfolio Analysis for Strategic Resource Allocation. Master's Thesis, Helsinki University of Technology. 2004.

Mild, Pekka (2007): Applications of Multicriteria Portfolio Models in Project Evaluation and Resource Allocation. Licentiate Thesis, Helsinki University of Technology. 2007.

Ministry of Transportation of Ontario. (2003). Ontario Structure Inspection Manual. Queen's Printer for Ontario, Toronto, Canada.

Moser, M., Jokanovic, D. P and Shiratori, N (1997): Algorithm for the Multidimensional Multiple-Choice Knapsack problem. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E80-A, No. 3, pp. 582-589, 1997.

National Engineering Technology Corporation (NET) (1997). BRIDGIT Technical Manual. NCHRP Project 12-28(2), TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1996.

OECD (1997). Performance Indicators for the Road Sector. Organization for Economic Cooperation and Development, IRRD No 887580, 1997.

Poister, Theodore (1997): Performance Measurement in State Departments of Transportation. National Cooperative Highway Research Program Synthesis 238. Transportation Research Board of the National Academies, 1997.

Rangaiah, Gade Pandu, editor (2009): Multi-Objective Optimization: Techniques and Applications in Chemical Engineering. Singapore, World Scientific Publishing Co. 2009.

SAIC (2002): A Guide to Highway Vulnerability Assessment for Critical Asset Identification and Protection. Prepared for the American Association of State Highway and Transportation Officials' Security Task Force, National Cooperative Highway Research Program Project 20-07/Task 151B. Transportation Research Board of the National Academies, 2002.

Shepard, Richard W. and Michael B. Johnson (2001): California Bridge Health Index: A Diagnostic Tool to Maximize Bridge Longevity, Investment. *TR News* 215, available online at <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trnews/trnews215full.pdf>, 2001.

Shirolé, Arun (1995): Development and Implementation of New York State's Comprehensive Bridge Safety Assurance Program. Fourth International Bridge Engineering Conference, Transportation Research Board of the National Academies, 1995.

Sobanjo, John O. and Paul D. Thompson (2007): Project Planning Models for Florida's Bridge Management System. Florida Department of Transportation Contract BC 352-9, 2004.

Tervonen, Tommi (2007): New direction in Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis. Doctoral Thesis. University of Turku, Finland. 2007.

Tervonen, Tommi (2008): A Survey on Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis Methods. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. November 2008.

Thompson, P.D., Ellis, R.M., Merlo, T. & Hong, K (2003). Implementation of the Ontario Bridge Management System. 9th International Bridge Management Conference. Transportation Research Board of the National Academies, 2003.

Thompson, Paul D (2006). Summary report: survey of Bridge Management System decision support. Technical memorandum to FHWA Office of Policy, 2006.

Thompson, P., Merlo, T., Kerr, B., Cheetham, A. & Ellis, R (1999). The New Ontario Bridge Management System. *Proceedings, 8th International Bridge Management Conference, Denver, Colorado, 1999.*

Thompson, Paul D., and John O Sobanjo (2010). "Estimation of enhanced Pontis deterioration models in Florida." *Proceedings of the Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety, and Management, Philadelphia, 2010.*

Thompson, Paul D. and Purdue University (2010), *Guide for Estimating Life Expectancies of Highway Assets*. Research underway for National Cooperative Highway Research Program Project 08-71, Transportation Research Board of the National Academies, 2010.

WSDOT (2010). *Washington State Bridge Inspection Manual*. Washington State Department of Transportation, 2010.

Hyman, William A. (2004). *Guide for Customer-Driven Benchmarking of Maintenance Activities*. National Cooperative Highway Research Program Report 511. Transportation Research Board of the National Academies, 2004.

Tiehallinto, (2004). *Sillantarkastuskäsikirja. Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus.*

Kettunen S, Kähkönen A., Söderqvist, M-K (2004): *Hanke-Sihan käsikirja. Tiehallinto 2004.*

Liikennevirasto (2009). *Rautatiesiltojen hallintaraportti.*

Liikennevirasto (2009). *Rautatietunneleiden hallintaraportti.*

Liikennevirasto (2009). *Rautatierumpujen hallintaraportti.*

Li Zongzhi, Sinha, Kumares. C (2004): *A Methodology for Multicriteria Decision-Making in Highway Asset Management*. TRB 2004 Annual Meeting.

Bai, Q, Labi S., Sinha K.C., Thompson P.D. (2011): *Bridge User Cost Estimation – A Synthesis of Existing Methods and Addressing the Issues of Multiple Counting, Workzones, and Traffic Capacity Limitation*. Presentation in 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, DC. USA. 2011.

Ratatekniset ohjeet (2008). Osa 18. Rautatietunnelit. Ratahallintokeskus. 5.6.2008.

Ratatekniset määräykset ja ohjeet (2000). Osa 8. Sillat. Ratahallintokeskus. 18.2.2000.

Watson, Gregory, H. (2004): *Six Sigma for Business Leaders. A Guide to Implementation*. 2004.

Abernethy, Robert B (2004). *The New Weibull Handbook: Fifth Edition*. Self-published course handbook, 2004.

Agrawal, A.K & Kawaguchi, A. (2009). *Bridge Element Deterioration Rates: Final Report*. Prepared by the City College of New York for the New York State Department of Transportation, Project #C-01-51.

Cambridge Systematics, Inc. (2003). *Pontis Release 4.3 Technical Manual*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Dodson, Bryan (2006). *The Weibull Analysis Handbook: Second Edition*. ASQ Quality Press, 2006.

Patidar, V., Labi, S., Sinha, K.C., & Thompson, P.D. (2007). *Multi-objective optimization for bridge management systems*. National Cooperative Highway Research Program Report 590. Washington: Transportation Research Board of the National Academies.

Tiehallinto (2006). Siltojen verkko- ja ohjelmointitason hallinnan kehittäminen. Hanke- ja verkkotason mallit. Tiehallinnon selvityksiä 27/2006.

Thompson, P.D. & Johnson, M.B. 2005: Markovian bridge deterioration: developing models from historical data. *Structure and Infrastructure Engineering* 1(1): 85-91.

Vesikari, E. (1992): Rakennneosaryhmien rappeutumismallit siltojen hallintajärjestelmässä. Tutkimusselostus n:o RAM805/92. VTT. Espoo, 1992.

Siltojen toimenpidemallit (1993). Verkko-Sihan mallit. Erkki Vesikari. Perustuvat Delphi-haastatteluihin. VTT Rakennusmateriaalilaboratorio, Tutkimusselostus n:o RAM282/93. Vain siirtymätodennäköisyydet sähköisessä muodossa.

VTT (2003): Hanke-Sihan kehitystyön yhteydessä laadittu pää-rakenneosakohtaiset kuntoennusteet Siltarekisteriin kirjatun tarkastusdatan perusteella 2003. Perustuvat Siltarekisterin yleistarkastusten dataan. Liite Mallit&selostus_20030613.doc.

Inframan Oy (2004), Hibriksen silta-analyysit, Tiehallinnon sisäinen selvitys 2004. Jaakko Dietrichin kirjoittama yhteenvedon omainen selostus. malleista: rappeutumis-, toimenpide-, työmaakustannusmallit. VOH:n siltamallinnusta 2005. Liite Raportti_20050317_v2.doc.

VTT (2004), Elinkaari-Siha 2004. Erkki Vesikari. Liite Elinkaari_Siha_raportti_Lopullinen.pdf.

A-Insinöörit (2006). Markku Äijälä, Jukka Lahdensivu: Siltojen verkko- ja ohjelmointitason hallinnan kehittäminen. Hanke- ja verkkotason mallit. Tiehallinnon selvityksiä 27/2006.

Cambridge Systematics, Inc.(2003): Pontis Release 4.3 Technical Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2003.

Ellis, R.M., Thompson, P.D., Gagnon, R. & Richard, G., (2008) : Design and Implementation of a New Bridge Management System for the Québec Ministry of Transport. *Transportation Research Circular E-C128*: 77 - 86.

FHWA (1996a). Bridge Management Systems, Federal Highway Administration of the U.S. Department of Transportation, Demonstration Project No. 71, Report No. FHWA-DP-71-01, 1987.

FHWA (1996b). National Highway System Designation Act; Life Cycle Cost Analysis Requirements. Federal Highway Administration of the U.S. Department of Transportation. <http://www.fhwa.dot.gov/legregs/directives/policy/lcca.htm>, 1996.

FHWA (1998). Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design: In Search of Better Decisions. Federal Highway Administration of the US Department of Transportation, Report FHWA-SA-98-079, 1998.

FHWA (2002). Life Cycle Cost Analysis Primer. Office of Asset Management, Federal Highway Administration of the US Department of Transportation. <http://www.ce.cmu.edu/~hsm/im2004/readings/DOT-LCCA-Primer.pdf>, 2002.

FHWA (2010a). Life Cycle Cost Analysis: The Pennsylvania Experience. Federal Highway Administration of the US Department of Transportation. Report FHWA-IF-03-038. <http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/dipa2.pdf>, 2003.

FHWA (2010b). FHWA Value Engineering Policy. Federal Highway Administration of the US Department of Transportation. Policy Directive 1311.1A. <http://www.fhwa.dot.gov/legregs/directives/orders/13111a.htm>, 2010.

Gordon, Mark, George Jason Smith, Paul D. Thompson, Hyun-A Park, Frances Harrison, and Brett Elston (2010). AASHTO Transportation Asset Management Guide, Volume 2: A Focus on Implementation. American Association of State Highway and Transportation Officials. Prepared under NCHRP Project 08-69, scheduled for publication in 2010.

Hawk, Hugh (2003). Bridge Life Cycle Cost Analysis. National Cooperative Highway Research Program Report 483. Transportation Research Board of the National Academies, 2003.

INGENIUM (1988): Association of Local Government Engineering New Zealand Inc. International Infrastructure Management Manual. Version 3.0, 2006; ISBN: 0 473 10685 X.

Ministry of Transportation of Ontario (1988). Structure Financial Analysis Manual, 1988.

Thompson, Paul D., Fazil T. Najafi, Roberto Soares, Hong Jae Choung (1999). Florida DOT Pontis User Cost Study: Final Report. Florida Department of Transportation, 1999.

Thompson, P.D., Ellis, R.M., Merlo, T. & Hong, K. (2003) Implementation of the Ontario Bridge Management System. 9th International Bridge Management Conference. Transportation Research Board of the National Academies, 2003.

Sillan elinkaarikustannusten laskentaohje (2010). Liikenneviraston ohjeita 11 2010. 14.10.2010.

Ellis, R.M., Thompson, P.D., Gagnon, R. & Richard, G., (2008). Design and Implementation of a New Bridge Management System for the Québec Ministry of Transport. *Transportation Research Circular E-C128*: 77 - 86.

Sobanjo, John O. and Paul D. Thompson (2004). Project Planning Models for Florida's Bridge Management System. Florida Department of Transportation Contract BC 352-9, 2004.

Söderqvist, Marja-Kaarina and Erkki Vesikari (2003). Generic Technical Handbook for a Predictive Life Cycle Management System of Concrete Structures. Lifecon deliverable D 1.1. Technical Research Center of Finland, 2003.

Hallintajärjestelmän käyttäjien käyttötilanteet (SIPOC-kaaviot)

Pääkäyttäjä - Main user							
SIPOC	Kuka tekee? Supplier	Mitä on käytettävissä? Input	Mitä tekee? Process	Mitä saadaan tulokseksi? Output	Kenellä tulos menee? Client	Mitä vaatimuksia tulokseen liittyy? Requirements	Milloin tulee suorittaa? Timing
NRO	S	I	P	O	C	R	T
1							
2							
3							
4							
5							
6			Tutkimus- ja kehitystoiminta - projektit				
7							
8		Tutkimustuloksia	Mallien päivittäminen	Uusia malleja, kertoimia yms.			
9		Tutkimustuloksia	Hyötyfunktioiden päivittäminen	Uusia päivitettyjä hyötyfunktioita			
10		Tutkimustuloksia	Skaalausten päivittäminen	Uudet skaalaukset			
11	Pääkäyttäjät	Tutkimustuloksia	Painojen päivittäminen		Järjestelmä -käyttäjät	painoja tarkasteltaessa on hyvä nähdä kaikki siihen asiaan liittyvät painot, koska ne pitää normalisoida	
12			Rakenneosien päivittäminen				
13			Päätöspuiden päivittäminen				
14			Järjestelmän käytön ja tilan valvonta				
15	Koobaaja		Koodimuutokset				
16							
17							
18							
19							

Valmisteltavat toimet

Päivitys

Hyy.

Hallintajärjestelmän käyttäjien käyttötilanteet (SIPOC-kaaviot)

Taitorakenteiden ylläpidon ja uusimisen tulossuunnittelu - MBO Planning							
SIPOC	Kuka tekee? Supplier	Mitä on käytettävissä? Input	Mitä tekee? Process	Mitä saadaan tuloksiksi? Output	Kenelle tulokset menee? Client	Mitä vaatimuksia tulokseen liittyy? Requirements	Milloin tulee suorittaa? Timing
NRO	S	I	P	O	C	R	T
1							
2							
3							
4							
5	Ylläpidon suunnittelija	Strategiat, TTS, Toimintalinjat, TMAE	Tuotteiden painotusten	Tuotteiden välinen rahanjako			
6	Ylläpidon suunnittelija, tulosohjauksen suunnittelija	Tuotteiden välinen rahanjako	Taitorakenteiden alustava tulossuunnittelu	Alustavat rahanjao ja vaikutusten tarkastelut			
	Pääkäyttäjä, Ylläpidon suunnittelija		TAITO-järjestelmän päivitystilanteen tarkastus ja päivitysten ohjaus	Yhtenäisesti päivitetty/järjestelmä	Ylläpidon suunnittelija		
7							
8		TAITO-järjestelmä	Tarpeiden analysointi	Ylläpito-, korjaus- ja uusimistarpeet			
9			Budjettisimulointi	Kuntotila, toiminnallisuus vs. budjetti 5 v skenaarioilla		Ajetaan 5 v tarkasteluja eritasoisilla budjeteilla	
10			Budjetin valinta	Taitorakenteille kohdistettava vuosibudjetti			
11	Ylläpidon suunnittelija		Vaikutusten tarkastelu	Saavutettavissa ole vien vaikutusten analyysi			
12			Budjettien ja vaikutustavoitteiden jako alueille	Tulossuunnitteluohjeen pohja-aineisto		Rahantarve tuoteryhmittäjäkkuudella ylläpito, korjaus ja uusiminen	
13			Eroanalyysi	Alueelliset erityispiirteet tavoitteiden asetamassa			
14							
15	Ylläpidon suunnittelija	Tulossuunnitteluohjeen pohja-aineisto, alueelliset erot	Tulossuunnitteluohjeen budjetit ja tavoitetaulukot				
16	Ylläpidon suunnittelija		Painotusten valinta	Tulossuunnitteluohjeen tavoitekortit	Tulosohjaus		

Valmistelevat toimet

Tulossuunnittelu

Hyv.

Hallintajärjestelmän käyttäjien käyttötilanteet (SIPOC-kaaviot)

Taitorakenteiden ylläpidon ja uusimisen toimenpideohjelman laadinta - Programming										
SIPOC	Kuka tekee? Supplier	Mitä on käytettävissä? Input	Mitä tekee? Process	Mitä saadaan tulokseksi? Output	Kenelle tulos menee? Client	Mitä vaatimuksia tulokseen liittyy? Requirements	Milloin tulee suorittaa? Timing	TAITO-	Järjestelmä	
NRO	S	I	P	O	C	R	T			
Valmistelvat toimet	1	Ohjelmoija, raportointia	Taitorakenteiden hallintajärjestelmä TAITO	ELY-alueen taitorakenteiden tilan analysointi	Tarpeet, odotukset, alustavat hankelisted, yms.	Taitorakenteiden tila ja niihin kohdistuvat tarpeet oltava tiedossa jatkuvasti		Moduuli 1		
	2	Korjaus-suunnittelija	TAITO-järjestelmä	Elinkaarisuunnittelu	Yksittäisten taitorakenteiden tilan tarkastelu, konjunktio-ohjeiden, kustannustietojen ja valintaohjeiden täsmäntäminen.	Ympäri vuoden tapahtuvaa toimintaa, jonka tulokset ovat muiden käyttäjien käytössä		Moduuli 2		
	3	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Elinkaarianalyysi	Hankekorin muodostaminen elinkaarianalyysillä. Ajoitetaan yksittäiselle rakenteelle optimaalisia toimenpiteitä 10 v aikakaudessa.	TAITO-järjestelmä	Suorittam joko edellisen vaiheen tuloksista tai automaattisesti ohittaan ne.	Mahdollistaa hankekorin ajan tasalla pysymisen eikä yllätyksellisiä kohteita näin ilmaannu.	Moduuli 2	
	4	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Hankekorin tarkastelu	Hankekorin täsmäntäminen	TAITO-järjestelmä	Hankekorista tulee olla käytettävissä useita vaihtoehtoja		Moduuli 2	
	5	Ohjelmoija	Toimintalinjat	Toimintalinjojen tulkinta	Pysyvät ohjelmoiminnin tavoitteet	Ohjelmoija				
	6	Tulossuunnitteluyhdyshenkilö	Tulossuunnitteluluohje	Tulossuunnitteluluohjeen tulkinta	Tuotteiden välinen rahanjakko Taitorakenteisiin liittyvät tulostavoitteet Tulostavoitteeseen asettaminen	Ohjelmoija		Syyskuu		
	7	Ohjelmoija, tulostavoite-yhdyshenkilö	Edellisten osavaiheiden tulokset	Ohjelmoiminnin tavoitteiden määrittäminen	Alustava budjetti, alustavat tulostavoitteet, pakkoehdotukset, yms.	Ohjelmoija	Budjetti ja tavoitteet koskevat koko ELY-aluetta tai vastaavaa			
Ohjelmointi	8	Ohjelmoija	Alustava budjetti, alustavat tulostavoitteet, pakkoehdotukset yms., Taitorakenteiden hallintajärjestelmä	Ohjelmoiminnin lähtökohtien asettaminen	Budjetit ja tulokset, tulostavoitteet, pakkoehdotukset	TAITO-järjestelmä	Tulostavoitteet annetaan tulosohjelmassa määrättyille muille muuttujille	Aikaisintaan syyskuussa	Moduuli 3	
	9	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Ohjelman rajaus	Ohjelmointien taitorakenteiden joukko	TAITO-järjestelmä	Lähtökohta voi olla myös aikaisempi ohjelma-variantti		Moduuli 3	
	10	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Tavoitealueiden painojen tarkistus	Painotkunto turvallisuus, toiminnallisuus, kustannukset, kestävyys, ympäristö	TAITO-järjestelmä	Hankekoreja voi olla useita. Vleensä elinkaarianalyysin tulos		Moduuli 3	
	11	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä, hankekori	Hankekorin tarkastelu	Ehdolla olevat kohde-ehdotukset	TAITO-järjestelmä	Hankekoreja voi olla useita. Vleensä elinkaarianalyysin tulos		Moduuli 3	
	12	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Priorisointi	Ohjelman kohteet	TAITO-järjestelmä	Maksimoidaan yhden vuoden toiminnalla saatavia vaikutuksia		Moduuli 3	
	13	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Ohjelman tarkastelu	Kohteliden sisältö	TAITO-järjestelmä	Budjettien ja tavoitteiden mahdollinen muuttaminen ja uudelleen ohjelmointi tarvittaessa	Viimeistään marraskuussa	Moduuli 4	
	14	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Tavoitteiden toteutumisen tarkastelu	Tulostavoite-ennuste	Tulostavoite-yhdyshenkilö	Sovitaan tulostavoite-yhdyshenkilön kanssa	Ennen marraskuuta		
	15	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Ohjelman hyväksyminen	Lopullinen ohjelma	ELY:n johto				
	16	Ohjelmoija	TAITO-järjestelmä	Ohjelman siirtäminen eteenpäin	Vahvistettu ohjelma	Hankinta, SAMPO	Hankintaohjelma kootaan jo syksyllä ennen tulossopimusten tekemistä	Marraskuu		
	17	Ohjelmoija	Tulossopimus	Tavoitteiden ja budjettien tarkistus	Ohjelman korjaustarve			Tammikuu		
	18	Ohjelmoija	TAITO	Lisäohjelman laatiminen	Tulostavoite-ennuste	TAITO-järjestelmä				
	19	Ohjelmoija	TAITO	Lisäohjelman hyväksyminen	Vahvistettu ohjelma	Hankinta, SAMPO	Lisäohjelma jos budjetti tai tavoitteet kasvavat tai karsintaohjelma jos vastaasti pienenevät			

Hallintajärjestelmän käyttäjien käyttötilanteet (SIPOC-kaaviot)

Korjaussuunnittelu - Bridge repair planning							
SIPOC	Kuka tekee? Supplier	Mitä on käytettävissä? Input	Mitä tekee? Process	Mitä saadaan tulokseksi? Output	Kenelle tulos menee? Client	Mitä vaatimuksia tulokseen liittyy? Requirements	Milloin tulee suorittaa? Timing
NRO	S	I	P	O	C	R	T
1							
2		Toimenpideohjelmat,	Erikoistarkastusten tarveharkinta	Erikoistarkastettavien rakenteiden luettelo			
3		Sillansuunnitteluohjeisto, arkistotietojen läpikäyntiä.	Lähtötietojen inventointi	Täydennykset			
4			Erikoistarkastus				
5							
6			Tehostetua tarkkailua edellyttävien rakenteiden määrittäminen	Tehostetun tarkkailun suunnitelma			
				Uusimisen suunnitelma			
	Ohjelmoija	Monivuotiset toimenpideohjelmat	Korjaussuunnittelun ohjelmointi	Korjattavat taitorakenteet			
7	Hankinta	Korjattavat taitorakenteet	Korjaussuunnittelun hankinta	Sopimukset			
8			Korjaussuunnittelun aloitus				
9		Sillansuunnitteluohjeisto, arkistotietojen läpikäyntiä.	Lähtötietojen inventointi	Täydennykset		Hallintajärjestelmän tulee tuottaa selkeästi ne syyt, joiden takia kohde tulee korjattavaksi.	
10	Korjaussuunnittelija	Lähtötiedot, valokuvat, erikoistarkastukset, suunnitteluohjeisto, rakennusallkaiset asiakirjat, maastokäynnit	Korjaussuunnittelu	Korjaussuunnitelma, piirustukset (TIFF)		Joskus siltä kannattaa korjata alkupeiräiseen kurtoon ja joskus vain vahvistaa tai joskus se päätetään purkaa ja asettaa tehostettuun tarkkailuun.	Jos olisi myös ympäristövaatimukset niin voisi ottaa myös sen mukaan suunnitteluun
11							
12							
13							
14							

Valmistelavat toimet

Korjaussuunnittelu

