

Pekka Mild, Harri Spoof, Janne Junes

Päällysteiden ylläpidon rahoitustarpeen optimointi

PYRO-malli

Pekka Mild, Harri Spoof, Janne Junes

Päällysteiden ylläpidon rahoitustarpeen optimointi

PYRO-malli

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 7/2011

Liikennevirasto

Helsinki 2011

Kannen kuvat: Pekka Mild

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-620-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Pekka Mild, Harri Spoof, Janne Junes: Päälysteiden ylläpidon rahoitustarpeen optimointi. Liikennevirasto, väylänpito-osasto. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 7/2011. 34 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-620-2.

Avainsanat: Päälysteet, ylläpito, tieverkko, kunto, rahoitus

Tiivistelmä

PYRO-malli (Päälysteiden Ylläpidon Rahoitustarpeen Optimointi) on päälystettyjen teiden verkkotason pitkän tähtäimen ennuste- ja optimointimalli. Tyypillisimmät mallilla laskettavat skenaariot ovat nykykunnan säilyttämiseen tarvittava rahoitus ja niukasta rahoitustasosta seuraava kuntokehitys. Laskennan keskeisimpinä tuloksina esitetään vuotuiset osaverkkokohtaiset rahoitustarpeet, päälystyspituudet eri toimenpidetyypeillä ja huonokuntoisen tiepituuden määrän kehittyminen. Mallin lähtötietojen käsittely, optimointi ja tulosten esittäminen on toteutettu erillisohjelmistoilla, joten varsinaista tietojärjestelmää ei ole tarvinnut kehittää. Tulokset saadaan Excel-tiedostoina ja yhteenvetoraportteina. Monivaiheisen kehitystyön tuloksena PYRO-malli on varsin vakiintunut ja valmius tuottaa monipuolisia analyyseja on hyvä.

Mallin toiminta vastaa pääpiirteissään aiemmin käytöstä poistettua HIPS-mallia, joskaan PYRO-mallissa ei käytetä ajokustannuksia. Uusittu mallirakenne on mahdollistanut myös kokonaan uusien ominaisuuksien mallintamisen, joilla on saatu huomiotua päälysohjelmoinnin käytännön piirteitä ja rajoitteita, ja siten parannettu verkkotason tulosten realistisuutta ja luotettavuutta. Keskeisimmät uudet ominaisuudet ovat toimenpideketjujen ja toimenpiteiden peittoprosentin huomioiminen verkkotason mallissa sekä intuitiivinen uusimismäleihin perustuva rappeutumisparametrien määrittäminen. PYRO-mallilla voitettiin Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorummin (PTL) päälystejaoksen T&K-palkinto vuonna 2009.

Työssä on kehitetty myös PYRO-mallin valtakunnallisia pitkän tähtäimen tuloksia hyödyntävä rahoituksen jakotyökalu. Siinä käyttäjä jakaa käytettävissä olevan kokonaisbudjetin ylläpitoluokille ylläpitostrategian mukaisesti, ja työkalu ehdottaa sen jakoa ELY-keskuksille tiepituus- ja liikennesuoritefaktioihin perustuen. Varsinaisen PYRO-mallin tulokset palvelevat etenkin perusteluviestintää ja pitkän tähtäimen suunnittelua, jakotyökalu puolestaan tukee jokavuotista konkreettista päätöksentekoa toiminta- ja taloussuunnittelun tasolla. Tässä raportissa keskitytään mallien toiminnan ja T&K-työn kuvaamiseen. Vähät numeeriset tulokset toimivat vain havainnollistuksina vuoden 2010 luvuilla tehdyistä laskennoista.

Kehitystyössä ja laskentatulosten tuottamisessa käytetty tietopalvelutyypinen toimintamalli on todettu erittäin toimivaksi ja tarkoituksenmukaiseksi. Kehitystyö on ollut varsin nopeaa ja mallin ominaisuuksia on pystytty muokkaamaan joustavasti kehittyvien tarpeiden mukaan. PYRO-mallin hyödyntämistä ja kehittämistä suositellaan jatkettavan, ja rahoituksen jakotyökalu on Liikenneviraston käytettävissä. Mahdollisia kehityskohteita ovat ainakin ramppien verkkotason tarkastelu, kuntojakaumasta riippuvan peittoprosentin ja kevennetyn tienpidon mallintaminen sekä mallin soveltamisen selvittäminen muihin Liikenneviraston ylläpitämiin rakenteisiin. Lisäksi paikkaustoimenpiteiden käyttöä päälysteiden ylläpitostrategioissa sekä ajokustannusten mahdollista hyödyntämistä rakenteiden teknis-taloudellisesti optimaalisen uusimismälin määrittämisessä suositellaan tutkittavaksi erillisillä malleilla.

Pekka Mild, Harri Spoof, Janne Junes: Optimering av beläggningsunderhållets finansiering. Trafikverket, Drift och Underhåll avdelningen. Helsingfors 2011. Trafikverkets undersökningar och utredningar 7/2011. 34 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-620-2.

Nyckelord: Beläggning, underhåll, vägnät, tillstånd, finansiering

Sammanfattning

PYRO-modellen är en prognos- och optimeringsmodell för långsiktig analys av beläggningsunderhåll på vägnätets nivå. De mest typiska analyserna beaktar finansieringsbehov för att upprätthålla rådande tillståndsdistribution eller tillståndsprognoser med nu gällande finansiering. Huvudsakliga beräknade resultat är årliga finansieringsbehov per delnätverk, beläggningslängder vid olika typer av åtgärder och förväntad utveckling av vägsträckor i dåligt tillstånd. Databehandling, optimering och presentation av resultaten utförs alla av en självständig mjukvara och ersätter på så sätt behovet av att utveckla ett extensivt integrerat datasystem. Resultaten presenteras i MS Excel-filer och sammanfattande rapporter. Efter att ha genomgått flera utvecklingssteg är PYRO-modellen fullt etablerad och kan användas för olika analyser.

Modellens funktionssätt är mycket likt det nedstängda HIPS-systemets, även om PYRO-modellen inte använder sig av trafikantkostnader. Den modifierade modellstrukturen har möjliggjort flera nya funktioner som förbättrar överensstämmelse mellan praktisk programmering av vägnätets underhåll och analyser på nätverksnivå. De viktigaste nya funktionerna är modellering av genomförbara underhållskedjor och underhållsplatsernas ohomogenitet, liksom en intuitiv metod för att bestämma nedbrytningsparametrarna utifrån genomsnittliga åtgärdsacykler. PYRO-modellen vann ett FoU-pris på en nordisk konferens om vägbeläggning år 2009.

Vi har även utvecklat ett allokeringsverktyg för regional finansiering som använder de långsiktiga nationella resultaten som beräknats av PYRO-modellen. Användaren allokerar den tillgängliga totala finansieringen till olika väglklasser utifrån den allmänna underhållsstrategin och verktyget allokerar den vidare till de regionala områdena utifrån fakta om vägsträckor och trafik i de olika klasserna. PYRO-modellens resultat understödjer kommunikation och berättigande av övergripande finansieringsansökningar för långsiktig planering medan allokeringsverktyget understödjer kritiskt beslutsfattande inom årlig budgetering. Denna rapport inriktar sig på själva modellerna och FoU-arbetet med utvecklingen av dem, de få numeriska resultaten är endast som illustrationer av beräkningar med data från år 2010.

Den lättare FoU-inriktningen med självständig mjukvara och utlagd verksamhet, istället för ett helt internt datasystem, har visat sig vara ett snabbt och flexibelt sätt att utveckla och utföra dessa typer av komplexa analyser. Vi rekommenderar fortsatt användning och FoU av PYRO-modellen och allokeringsverktyget på Trafikverket. Potentiella utvecklingsområden inkluderar en analys på vägnätets nivå av på-/avfarter i korsningar, modellering av underhållsstrategier som anpassar sig automatiskt utifrån vägnätets tillstånd, och förstudier av om modellen även skulle kunna användas för underhåll av andra strukturer. Dessutom skulle modeller kunna utvecklas för att analysera användningen av lappningsåtgärder för att förlänga beläggningsens livscykel och på så sätt underhållsplatsernas längd, liksom användningen av trafikantkostnader för att bestämma teknisk-ekonomiskt optimala åtgärdsacykler för olika strukturer.

Pekka Mild, Harri Spoof, Janne Junes: Optimization of pavement maintenance funding. Finnish Transport Agency, Maintenance Department. Helsinki 2011. Research reports of the Finnish Transport Agency 7/2011. 34 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-620-2.

Keywords: Pavement, maintenance, road network, condition, funding

Summary

PYRO-model is a forecasting and optimization model for long term network level pavement maintenance analysis. The most typical analyses consider funding needs to maintain the current condition distribution or condition forecasting with current limited funding. Key computed results are annual funding needs per subnetwork, maintenance lengths by different types of measures and expected development of poor conditioned road length. Data processing, optimization and presentation of the results are all run by stand alone software, thus replacing the need to develop an extensive integrated data system. Results are presented in standard MS Excel files and summary reports. Having come through multiple development steps, PYRO-model is quite established and operable for various analyses.

Functioning of the model is quite similar to the closed down HIPS-system, although the PYRO-model does not employ user costs. Modified model structure has enabled several new features that improve correspondence between practical maintenance programming and network level analyses, and thus provide more realistic results. Key new features are the modelling of feasible maintenance chains and unhomogeneity of maintenance sites as well as an intuitive method for determining the deterioration parameters based on average replacement cycles. The PYRO-model won an R&D award in a Nordic pavement conference in 2009.

We have also developed a regional funding allocation tool which utilizes the long term national results computed by the PYRO-model. The user allocates the available overall funding to different road classes according to the general maintenance strategy and the tool allocates it further to the regional districts based on facts of road lengths and traffic in the different classes. Results of the PYRO-model support communication and justification of overall funding requests for long term planning, whereas the allocation tool supports critical decision making in annual budgeting. This report focuses on the models themselves and the R&D work in their development. Thus, the few numerical results serve only as illustrations from computations with 2010 data.

The lighter R&D approach with stand alone software and outsourced operation, instead of a full in-house data system, has proven to be a rapid and flexible way of developing and running these types of complex analyses. We recommend continuing use and R&D of the PYRO-model, and the allocation tool is available for utilization at the Transport Agency. Potential developments include a network level analysis of intersection ramps, modelling of maintenance strategies that would adjust themselves automatically based on network condition and pre-studying if the model could be applied to the maintenance of other structures as well. In addition, separate models could be developed to analyze the use of patching measures to extend pavement life-cycle and thus maintenance site length as well as the use of driving cost to determine techno-economically optimal replacement cycles of various structures.

Esipuhe

Uuden PYRO-mallin (Päällysteiden Ylläpidon Rahoitustarpeen Optimointi) kehitystyön tavoitteena on ollut HIPS/Hibris-järjestelmien jättämän aukon täyttäminen ja parantaminen päällystetyn tieverkon ylläpidon pitkän tähtäimen kuntokehityksen ja rahoitustarpeiden analysoimiseksi. Sen taustalla on aiemmista järjestelmistä saatuja kokemuksia sekä tienpidon tuotteiden välisen rahanjaon tarkasteluun kehitetty monitavoiteoptimointimalli.

Kehitystyö on aloitettu vuoden 2008 lopulla ja jatkettu sarjana pieneköjä T&K-hankkeita vuoden 2009 aikana. Vuonna 2010 toteutettiin Liikennejärjestelmän taloudellisuus (TaTe) tutkimusohjelman puitteissa suurempi yhtämittainen kehityshanke, jossa myös tämä raportti on laadittu.

Liikennevirastossa kehitystyötä on ohjannut Vesa Männistö väylänpidon suunnittelusta. Mallin parametreja ja välituloksia ovat lyhyesti kommentoineet myös Olli Penttinen ja Tuomas Toivonen samasta yksiköstä. Lisäksi ensimmäisen kehityshankkeen käyntiin saattamisessa olivat merkittävässä roolissa Ossi Himanka PANK ry:n sekä Lars Forstén ja Heikki Jämsä Infra ry:n edustajina.

Tämän raportin ovat laatineet Pekka Mild ja Janne Junes, joiden lisäksi mallin kehitystyöryhmään kuuluu Harri Spoof. Koko työryhmä toimii Pöyry CM Oy:n infraomaisuuden hallinta -yksikössä.

Helsingissä tammikuussa 2011

Liikennevirasto
Väyläpito-osasto / Väylänpidon suunnittelu

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
2	PYRO-MALLIN RAKENNE JA TOIMINTA.....	10
2.1	Mallin toimintaperiaate	10
2.2	Osaverkot ja kuntomuuttajat	11
2.3	Rappeutumismalli	12
2.4	Toimenpiteiden mallintaminen.....	14
2.4.1	Toimenpidetyypit	14
2.4.2	Toimenpideketjut	15
2.4.3	Toimenpiteiden kuntovaikutukset	15
2.4.4	Toimenpiteiden hinnat.....	16
2.4.5	Toimenpiteiden peittoprosentti	17
2.5	Optimointi ja rajoitusehdot	19
3	PYRO-MALLILLA LASKETTAVAT TULOKSET	21
3.1	Laskentaskenaariot	21
3.2	Yhteenvetona esitettävät perustulokset	21
3.3	Tulosten herkkyys	23
3.4	Täydentävät tulokset	23
4	JAKOTYÖKALU YLLÄPITOLUOKILLE JA ALUEILLE.....	25
5	TUTKITTUJA JA KEHITETTYJÄ LAAJENNUKSIA.....	29
5.1	Erlaisia laajennussuuntia.....	29
5.2	Ajokustannusten hyödyntäminen.....	29
5.3	Osaverkkojen välinen priorisointi	29
5.4	ELY-kohtainen PYRO-laskenta.....	30
5.5	PYRO-mallin lisäominaisuuksia	31
5.6	Uusia kehitystarpeita ja mahdollisuuksia.....	32
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET.....	34

1 Johdanto

Päällystettyjen teiden pitkän tähtäimen verkkotason kuntokehityksen ja rahoitustarpeen mallintamisella on pitkät perinteet niin Suomessa kuin kansainvälisestikin. Liikennevirastossa (Tiehallinnossa) päällysteiden verkkotason analyysihin oli 1990-luvulla käytössä HIPS-järjestelmä, jolla laskettuja tuloksia käytettiin mm. rahoitustarpeiden perusteluviestinnässä ja tiepiirien rahoitusosuuksien määrittämisessä. HIPS-järjestelmän seuraajaksi kehitettiin 2000-luvulla Hibris-järjestelmää, jota ei kuitenkaan koskaan saatu vakiintuneeseen käyttöön. Tämän työn alkaessa tarve verkkotason analyysien päivittämiseksi oli suuri, mutta toimiva työkalu puuttui.

Väyläomaisuuden hallinnan (VOH) tutkimusohjelmassa oli kehitetty tienpidon tuotteiden välistä rahanjakoa tarkasteleva monitavoiteoptimointimalli (Mild 2007). Siinä käytettiin kuntotiloihin ja Markov-ketjuihin perustuvaa mallirakennetta, joka on periaatteiltaan hyvin vastaava kuin HIPS/Hibris-malleissa, ja jota sovelletaan tyypillisesti nimenomaan päällysteille. Koska VOH-ohjelman projektin pilottimalli oli rakennettu kevyesti erillisohjelmistoilla eikä raskaaksi järjestelmäksi, sen muokkaamisessa ja kehittämisessä päästiin liikkeelle varsin nopeasti ja pienellä panostuksella. Joustava tekninen toteutus ja muutamat HIPS/Hibris-malleista poikkeavat optimointimäärittelyjen yksityiskohdat mahdollistivat lisäksi kokonaan uusien ominaisuuksien mallintamisen, joilla on saatu huomioitua päällysohjelmoinnin käytännön piirteitä ja rajoitteita, ja siten parannettu verkkotason tulosten realistisuutta ja luotettavuutta.

Uuden PYRO-mallin (Päällysteiden Ylläpidon Rahoitustarpeen Optimointi) kehitystyön tavoitteena on ollut HIPS/Hibris-järjestelmien jättämän aukon täyttäminen **päällystetyn tieverkon ylläpidon pitkän tähtäimen kuntokehityksen ja rahoitustarpeiden analysoimiseksi**. Lisäksi uudella mallilla pyritään myös korjaamaan ja parantamaan muutamia aiemmista malleista havaittuja rakenteellisia puutteita ja ominaisuuksia, jotka osaltaan rajoittivat tulosten todenmukaisuutta ja käytettävyyttä. Keskeisimmät uudet ominaisuudet ovat:

- **Toimenpideketjujen** mallintaminen. Huomioidaan esimerkiksi se, että uusi menetelmä ei voida toistaa loputtomasti vaan välillä on tehtävä myös raskaampia uudelleenpäällystystoimenpiteitä. PYRO-mallin rakenteessa tarve raskaammille toimenpiteille syntyy mallin dynamiikasta ilman erityisiä pakotteita eri toimenpiteiden osuuksista.
- Päällystyskohteiden **peittoprosentin** mallintaminen. Huomioidaan, että päällystystoimenpiteitä ei yleensä voida kohdistaa vain huonokuntoisiin osuuksiin. Suuri osa tyypillisen päällystyskohteen pituudesta on kuntoluokituksestaan ei-huonokuntoista, joka kuitenkin päällystetään.
- **Rappeutumisen arviointi** keskimääräisen uusimisvälin ja peittoprosentin perusteella. Rappeutumisparametrit johdetaan asiantuntija-arvioista ja historiatiedoista, jotka kohdistuvat hyvin yleistajuiseen ja hallittuun uusimisväliajatteluun. Parametrien estimointi ja päivittäminen eivät edellytä uusia mittauksia tai monimutkaisia rappeutumisen fysiikkaa kuvaavia millimetrimalleja.
- Erillisohjelmistoilla rakennettu **teknisesti kevyempi toteutus**, joka mahdollistaa nopean ja joustavan kehittämisen, testaamisen ja päivittämisen. Mal-

lin tulokset on saatu heti käyttöön. Tietopalvelutyypinen toimintamalli ei ole edellyttänyt Liikennevirastolta ohjelmisto- ja/tai järjestelmähankintoja.

- Myöhemmässä kehitysvaiheessa tavoitteeksi asetettiin myös työkalun rakentaminen **ELY-keskusten päällystysrahojen jako-osuuksien tarkasteluun**. Työkalu pohjautuu PYRO-mallin valtakunnallisiin tuloksiin, ylläpito-luokkien priorisointiin ja ELY-keskusten osaverkkokohtaisiin liikennesuoritteisiin.

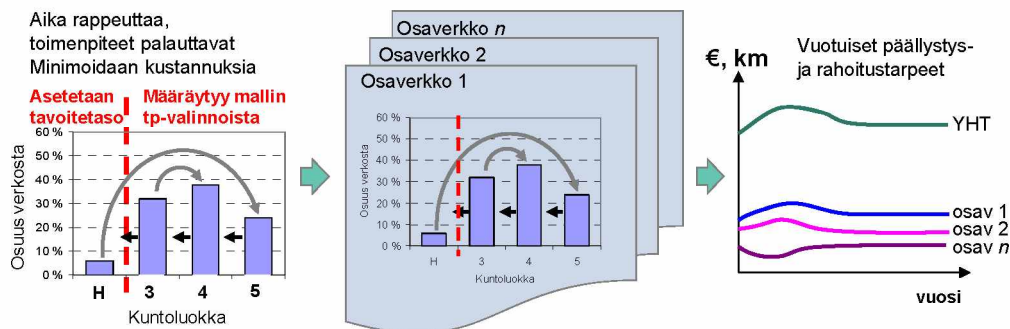
Kehitystyö on tehty sarjana T&K-projekteja vuoden 2008 loppupuolelta lähtien. Varsinaisen PYRO-mallin perusversio valmistui keväällä 2009, ja sillä voitettiin Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumin (PTL) päällystejaoksen T&K-palkinto vuonna 2009. Kehitysprojekteissa on sittemmin toteutettu parametrien ja tulosten päivytyksiä, ominaisuuksien ja toiminnallisuuksien kehitystä sekä tutkimuksia erilaista laajennuksista (mm. ELY-jako, ajokustannukset ja osaverkkojen priorisointi). Osa laajennuksista on liitetty osaksi PYRO-mallia, osa vaatii lisäselvityksiä ja osa on todettu kannattamattomiksi. Monivaiheisen kehitystyön tuloksena PYRO-malli on varsin vakiintunut ja valmius tuottaa monipuolisia analyyseja on hyvä.

Tämä raportti toimii PYRO-mallin tähänastisen kehitystyön yhteenvedona ja mallin toiminnan tiivistettynä kuvauksena. Raportti keskittyy mallin ominaisuuksiin, ei niinkään sillä laskettujen analyysien numeerisiin tuloksiin. Raportin luvussa 2 esitetään PYRO-mallin perustoiminta, ja luvussa 3 havainnollistetaan mallilla laskettavia tuloksia. Luvussa 4 kuvataan alueellisen rahanjaon tarkasteluun kehitetty työkalu. Luvussa 5 kerrotaan erilaisista jo tutkituista ja kehitetyistä laajennuksista, jotka eivät sisälly PYRO-mallin perustoimintoihin. Luvussa 6 esitetään johtopäätökset ja suositukset mallin hyödyntämisestä ja edelleen kehittämistä.

2 PYRO-mallin rakenne ja toiminta

2.1 Mallin toimintaperiaate

PYRO (Päällysteiden Ylläpidon Rahoitustarpeen Optimointi) on päällystettyjen teiden verkkotason ennuste- ja optimointimalli. Verkkotasolla tarkoitetaan sitä, että mallilla käsitellään päällystetyn tieverkon kuntojakaumaa ilman toimenpiteiden sijainnin tarkkaa kohdentamista. Mallissa ei siis käsitellä yksittäisiä teitä, vaan eri kuntoluokissa olevien teiden kilometrimääriä. Lähtöjakaumat luetaan uusimmista kuntotiedoista. Rappeutumismalli siirtää ajan kuluessa kilometrejä paremmasta kuntoluokasta huonompaan, ja päällystystoimenpiteillä kilometrejä saadaan siirrettyä takaisin parempiin kuntoluokkiin. Optimointimalli valitsee näitä toimenpiteitä siten, että budjetti ja muut rajoitusehdot sekä asetetut tavoitteet toteutuvat. Mallin tuloksina seurataan erityisesti kuntojakaumien kehittymistä ja toimenpiteisiin kulutettua rahoitusta (Kuva 1). Vastaavat verkkotason tarkastelun periaatteet ulottuvat 1980-luvulle ja niitä käytettiin myös mm. Tiehallinnon HIPS/Hibris-malleissa.



Kuva 1. PYRO-mallin yleinen toimintaperiaate.

PYRO-mallissa Liikenneviraston hallinnoima päällystetty tieverkko on jaettu kuuteen osaverkkoon liikennemäärän ja siihen liittyvän päällystetyypin perusteella. Osaverkkojen kunto kuvataan yhtenäisen kuntoluokituksen (Tiehallinto 2005) mukaisella kuntojakaumalla, jossa on neljä mahdollista kuntoluokkaa. Kuntomuuttujina ovat ura, tasaisuus ja vauriot, joista huonoin määrää yhtenäisen kuntoluokan. Koska vauriotiedon kuvaaminen ja käsittely on ollut murrosvaiheessa, malli on rakennettu siten, että laskennoissa voidaan käyttää vapaavalintaista yhdistelmää kuntomuuttujista.

Mallilla laskettavia perusskenaarioita ovat 1) asetetun kuntotavoitteen saavuttamiseen tarvittava rahoitus ja 2) kunnan kehittyminen rajoitetulla rahoituksella. Mallissa kuntotavoite asetetaan vain huonokuntoisten päällysteiden määrälle (ei koko kuntojakauman muodolle), jolloin tavoitteena on toimenpidekustannusten minimointi tavoitteen saavuttamiseksi ja ylläpitämiseksi. Tyypillinen kuntotavoite on nykyisen kuntotason säilyttäminen, eli huonokuntoisten määrän pitäminen ennallaan. Toisessa perusskenaariossa osaverkolle asetetaan vuotuinen rahoitustaso ja pyritään sillä huonokuntoisten määrän minimointiin. Tyypillisissä tarkasteluissa asetettava rahoitustaso on laskettua tarvetta alhaisempi, joten huonokuntoisten määrä lisääntyy.

Laskennan keskeisimpinä tuloksina esitetään vuotuiset osaverkkokohtaiset rahoitustarpeet, päällystyspituudet eri toimenpidetyypeillä ja huonokuntoisen tiepituuden määrän kehittyminen. Tarvittaessa tuloksia voidaan tarkastella jopa yksittäisten kuntomuuttujien, toimenpiteiden ja vuosien tarkkuudella. Mallin laskentajakson pituus on 50 vuotta. Tulokset esitetään tyypillisesti 20 vuoden ajalta, jona aikana ne yleensä vakiintuvat tasapainotilaan.

Optimointitehtävä lasketaan jokaiselle osaverkolle erikseen, eli yleensä ratkaistavana on aina kerrallaan kuusi tehtävää – yksi kullekin osaverkolle. PYRO-mallilla ei siis jaeta rahaa osaverkkojen tai alueiden välillä, vaan tähän on kehitetty erillinen PYRO-mallin tuloksia hyödyntävä jakotyökalu (luku 4). Mallissa ei myöskään käytetä ajokustannuksia ”yhteiskunnallisen optimitilan” määrittämiseksi (luku 5), vaan käyttäjä asettaa laskennoissa käytettävät kuntotavoitteet ja osaverkkokohtaiset budjetit.

Teknisesti kyse on dynaamisen optimoinnin tehtävästä, jossa dynamiikka kuvataan Markovin ketjuilla ja joka ratkaistaan lineaarisella ohjelmoinnilla. PYRO-mallin ratkaisualgoritmi on ohjelmoitu XPress-MP © optimointiohjelmistolla. Lähtötietojen muokkauksessa hyödynnetään SAS © ohjelmistolla rakennettuja ohjelmakoodeja ja tulosten esittämisessä MS Exceliin © rakennettuja raporttipohjia. Tällainen erillisohjelmistoilla rakennettu toteutus mahdollistaa mallin osien nopean ja joustavan muokkaamisen ja kehittämisen. Erilaisia analyyseja voidaan tuottaa tietopalveluna vakioituihin laskentaskenaarioihin ja raportointimuotoihin tukeutuen.

2.2 Osaverkot ja kuntomuuttujat

Mallin kuusi osaverkkoa määritellään keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) ja asfalttinormin materiaalivalintoja koskevan ohjeistuksen perusteella (Taulukko 1). Aineistoa käsitellään satametrisdatana ja kunkin satametrisen luokitteluperuste on sen KVL. Kunkin osaverkon toimenpiteet ja uusimisvälit arvioidaan asfalttinormin mukaisen oletusmateriaalin perusteella. Lähtöaineistossa oletuspäällystetyyppi on vallitseva päällystemateriaali lukuun ottamatta osaverkkoja PAB 1000 ja SMA 12000, joissa vajaa puolet päällysteistä on nykyään oletustyyppiä. Kaikki nykyiset päällystetyypit otetaan mukaan lähtöjakaumaan, joten esimerkiksi osaverkko PAB 350 sisältää lähtötilanteessa paljon muun muassa SOP-teitä. Osaverkot on muodostettu rappeutumisen ja toimenpiteiden homogeenisuuden näkökulmasta, joten toiminnallisia, alueellisia tai muita hallinnollisia luokitteluja ei huomioida.

Taulukko 1. PYRO-mallin osaverkot. Nykyinen päällystetyyppi saattaa poiketa oletuspäällystetyypistä, eli lähtöjakauma sisältää muun muassa SOP-tietä.

Osaverkon nimi	KVL	Oletuspäällystetyyppi	Ajoratapitus
PAB 350	< 350	PAB-V	14620 km
PAB 1000	350-1000	PAB-B	14957 km
AB 3000	1000-3000	AB	11102 km
AB 6000	3000-6000	AB	4429 km
SMA 12000	6000-12000	SMA	3312 km
SMA isot	> 12000	SMA	993 km
Yhteensä			49413 km

Rampit ja PPP-hankkeet eivät sisälly PYRO-malliin.

Ajoratapitus lasketaan siten, että jokainen ajoratakilometri sisältää kaksi kaistakilometriä, eli yksi kaistapari muodostaa yhden ajoradan. Suurelta osin juuri tästä syystä kokonaiskilometrimäärä poikkeaa jonkin verran tyypillisesti raportoidusta päällystetyn tieverkon pituudesta (reilut 50000 km, jossa useampiajorataiset tiet lasketaan pituuteen eri hieman tavalla). Laskennoissa on mukana useampiajorataisten teiden kaikki kaistat, mutta ei ramppoja. Ramppien lisäksi aineistosta on poistettu VT4 projektin ja E18 Muurla-Lohjan PPP-osuudet. Tulevissa laskennoissa VT4 otetaan kokonaisuudessaan mukaan ja ramppien huomioiminen nostetaan jatkokehitystarpeeksi.

Mallissa on mukana kolme kuntomuuttujaa: **ura, tasaisuus ja vauriot**. Näistä voidaan käyttää kullekin osaverkolle vapaavalintaista yhdistelmää määräämään yhtenäisen kuntoluokituksen mukainen yleiskuntoluokka. Kuntomuuttujan pois jättäminen tarkoittaa sitä, että kyseinen muuttuja ei vaikuta yleiskuntoluokkaan. Mallin kuntotavoitteet asetetaan yleiskuntoluokaltaan huonojen määrälle, joten pois jätetyt muuttujat eivät vaikuta mallin tekemiin ylläpitoratkaisuihin. Vuoden 2010 laskelmissa vauriomuuttujaa on käytetty vain kolmella alimmalla osaverkolla. Vilkasliikenteisillä osaverkoilla yleiskuntoluokka määräytyy uran ja tasaisuuden perusteella.

PYRO-mallissa kullekin kuntomuuttujalle (ja yleiskunnolle) käytetään **neljää kuntoluokkaa**. Luokituksessa noudatetaan virallista yhtenäistä kuntoluokitusta, mutta kuntoluokat erittäin huono (1) ja huono (2) on yhdistetty kuntoluokaksi huono (KLH). Tämä pienentää mallin kokoa ja siten laskenta-aikaa huomattavasti. Ohjauksessa ja tuloseurannassakin keskitytään vain huonokuntoisten yhteismäärään, joten luokkien pudottaminen viidestä neljään on siinäkin mielessä perusteltua.

2.3 Rappeutumismalli

Rappeutumismallin rakenne on perinteinen Markov-ketju, jossa tietty osuus määrättyssä kuntoluokassa olevasta tiepituudesta siirtyy vuoden kuluessa yhtä luokkaa alemmas. Kyseessä on periaatteessa todennäköisyysmalli, eli yksittäisten satametristen kohdalla puhutaan tilansiirtotodennäköisyyksistä. Mallilla kuvataan koko verkon keskimääräistä kehitystä, jolloin voidaan puhua siirtävistä prosenttiosuuksista. Mar-

kovin ketjuja käytetään hyvin laaja-alaisesti, ja niiden taustalla olevasta teoriasta löytyy hyvin vakiintuneet tulkinnot ja laskukaavat mm. ketjun kiertonopeudelle.

PYRO-mallissa käytetään uudenlaista tapaa rappeutumismallin parametrien määrittämisessä. Perinteisesti tilansiirtotodennäköisyyksiä on estimoitu esimerkiksi tilastollisilla analyyseillä mittaushistoriasta tai tieteellisillä fysikaalisilla malleilla. Tällaiset tieteelliset estimointitavat ovat toki hyvin perusteltuja, mutta ne voivat olla huomattavan työläitä, hankalasti päivitettäviä ja herkkiä mm. mittaustietojen laadulle ja luokittelulle. PYRO-mallin parametrien määrittämisessä tukeudutaan päällystysasiantuntijoiden kokemukseen osaverkkojen ylläpidon käytännöistä.

Rappeutumismallia varten määritetään kullekin osaverkolle seuraavat parametrit:

1. **Uusimisväli:** kuinka monen vuoden välein päällyste keskimäärin uusitaan?
2. **Peittoprosentti:** mikä on tyypillisten päällystyskohteiden peittoprosentti, eli kuinka suuri osa uusittavasta päällysteestä on keskimäärin huonokuntoista?
3. **Kuntomuuttujien osuudet peittoprosentista:** kuinka suuri osa peittoprosentista (huonokuntoisuudesta) syntyy kustakin kuntomuuttujasta, eli minkä muuttujien suhteen tie yleensä ajautuu huonokuntoiseksi?

Näillä kysymyksillä pureudutaan kolmeen keskeiseen seikkaan, joista ylläpidon asiantuntijoilla on varsin hyvä kokemusperäinen tuntuma. Mikä on osaverkon keskimääräinen päällystyskierto, kuinka (epä)homogeenista rappeutuminen on ja millaisia tyypilliset päällystyskohteet ovat, mikä kuntotekijä ”ajaa” rappeutumista ja ”laukaisee” huonokuntoisuuden? Laskennoissa käytettävät luvut (Taulukko 2) on määritetty asiantuntija-arvioina, joiden tueksi on tehty monipuolisia data-analyysejä osaverkkojen päällystyshistoriasta. Lisäksi lukuja on verrattu PMSpron kuntoennustemallien tuloksiin ja niille on tehty erilaisia herkkyystarkasteluja.

Taulukko 2. Rappeutumismallin parametrit

Osaverkko	PAB 350	PAB 1000	AB 3000	AB 6000	SMA 12000	SMA isot
Uusimisväli	17 v	14 v	11 v	9 v	6 v	4 v
Peittopros.	30 %	30 %	30 %	30 %	35 %	40 %
Kuntotekijöiden osuudet peittoprosentista keskimäärin						
Ura	0 %	5 %	40 %	80 %	>85 %	>90 %
Tasaisuus	20 %	15 %	10 %	5 %	<5 %	<5 %
Vauriot	80 %	80 %	50 %	15 %	10 %	<5 %

Esimerkiksi osaverkko AB 6000 päällystetään keskimäärin 9 vuoden välein. Tällöin yhtenäisen kuntoluokituksen mukainen peittoprosentti on 30 %. Tästä 30 % huonokuntoisesta osuudesta 80 % on huonokuntoista uran takia. Kuvitteellisella 10 kilometrin osuudella, joka on vuonna 0 uudenveroisessa kunnossa (kuntoluokka 5), on siis 9 vuoden kuluttua 2400 m uran suhteen huonokuntoista ($0.3 \cdot 0.8 = 0.24$) + 150 m tasaisuuden suhteen huonokuntoista ($0.3 \cdot 0.05 = 0.015$) + 450 m vaurioiden suhteen huonokuntoista ($0.3 \cdot 0.15 = 0.045$). Kuntomuuttujat oletetaan toisistaan riippumattomiksi. Lisäksi oletetaan, että eri muuttujien suhteen huonokuntoiset osuudet eivät osu päällekkäin, kuten esimerkissä havainnollistetaan. Myös lähtöaineistot tukevat

riippumattomuusoletusta, eli useamman kuin yhden kuntomuuttujan suhteen samanaikaisesti huonokuntoiset osuudet ovat hyvin harvinaisia.

Rappeutumismallin parametrit (Taulukko 2) muunnetaan Markovin tilansiirtomatriiseiksi siten, että syntyvä malli käyttäytyy määritettyjen lukujen mukaisesti. Tekniset muunnokset perustuvat Markovin ketjujen teorian mukaisiin laskentakaavoihin.

Perusparametrit (Taulukko 2) on määritetty uudelleenpäällystykseen perusteella (kts. erilaiset toimenpidetyypit, alaluku 2.4). Uusiomenetelmällä tehdyn päällystykseen jälkeen rappeutuminen oletetaan 20 % nopeammaksi, eli uusimisväliä (kestoikää) lyhennetään 20 %.

Uusiomenetelmien keston päivittäminen on esimerkki PYRO-mallin mahdollistamasta joustavuudesta ja jatkuvasta kehittämisestä. Ensimmäisissä malliversioissa uusiomenetelmien suhteellinen kestoikä oletettiin hieman paremmaksi, mutta uusimpien tutkimustulosten (Rantanen ja Suikki 2009) valmistuttua malli saatiin helposti päivitettyä niiden mukaiseksi. Muiden parametrien osalta ei ole ilmaantunut perusteltuja päivitystarpeita, mutta tarvittaessa esimerkiksi erilliselvityksissä syntyvä uusi tieto saadaan sujuvasti huomioitua PYRO-mallissa.

2.4 Toimenpiteiden mallintaminen

2.4.1 Toimenpidetyypit

PYRO-mallissa käytetään kolmea toimenpidetyyppiä, jotka kuvaavat päällystystoimenpiteen raskautta. Toimenpiteillä on erilaiset kuntovaikutukset, ja edellinen toimenpide vaikuttaa rappeutumisnopeuteen ja seuraavaksi sallittuihin toimenpiteisiin. Optimoinnissa on siis käytössä kolme vaihtoehtoista toimenpidettä. Edellisen toimenpiteen lähtöjakaman muodostamisessa PMSPrön työmenetelmäkoodit niputetaan kolmeksi toimenpidetyypiksi (Taulukko 3).

Taulukko 3. Toimenpidetyypit. Koodit viittaavat PMSPrön työmenetelmäkoodeihin.

Toimenpidetyyppi mallissa	Lyhenne	Kattaa työmenetelmät (koodit)
Uusiomenetelmät	REM	ART, HJYR, KAR, NC, REM, REM+, REMO, SIP, UP, VP, UREM *
Uudelleen päällystäminen	LTA/MP	LTA, MP, MPK, MPKJ, puuttuvat
Rakenteen parantaminen	RP **	Jos <i>Tekn_pvm</i> tai <i>Alusta_vuosi</i> on uudempi tai sama kuin <i>Tp_pvm</i>

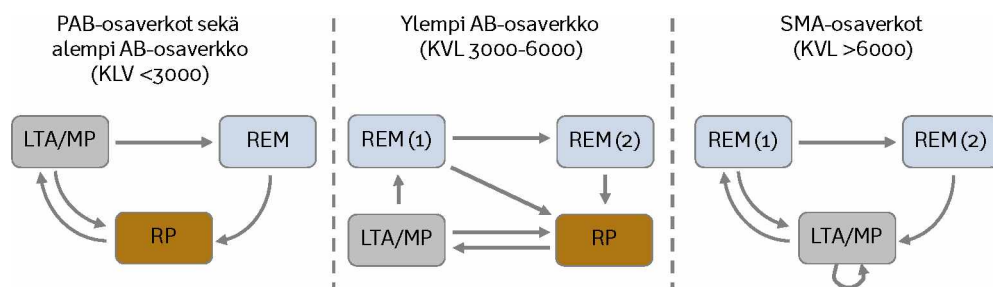
*UREM-työmenetelmää oletetaan mallissa käytettävän ainoastaan molempiin ajouriin koko tiepituudelle sovellettuna, jolloin se vastaa oleellisesti REM-menetelmää. Varsinaisia urapaikauksia ei mallinnetta erillisenä toimenpiteenä.

**Mallissa RP:llä tarkoitetaan alustan parantamista ja uudelleen päällystämistä.

2.4.2 Toimenpideketjut

Yksi PYRO-mallin keskeisistä parannuksista aiempiin verkkotason malleihin verrattuna on toimenpideketjujen mallintaminen, jolla estetään verkon ”optimaalinen” ylläpitäminen pelkkää uusiomenetelmään jatkuvasti toistaen. Kuntotilojen (ura, tasaisuus, vauriot) lisäksi jokaisen satametrisen osalta pidetään yllä tietoa edellisestä toimenpiteestä. Näin optimointimallissa voidaan rajoittaa sitä, mitkä toimenpiteet ovat sallittuja tietyn toimenpiteen jälkeen. Edelliselle toimenpiteelle on neljä mahdollista tilaa (vrt. Taulukko 3): RP, LTA/MP, REM(1) ja REM(2). Esimerkiksi, jos tila *edellinen toimenpide* on REM(1) ja tähän tehdään toimenpide LTA/MP, siirtyy *edellinen toimenpide* tilaan LTA/MP. Jos tilan REM(1) päälle tehdään toimenpide REM, siirtyy *edellinen toimenpide* tilaan REM(2). Tilan REM(2) päälle ei saa enää tehdä toimenpidettä REM, joten seuraavaksi toimenpiteeksi, ja siten uudeksi *edellinen toimenpide* tilaksi, on pakko valita joko LTA/MP tai RP.

Sallitut toimenpideketjut määritetään osaverkoittain. Vähäliikenteisillä PAB-osa-verkoilla sekä alemmalla AB-osa-verkolla uusiomenetelmän käytön jälkeen vaaditaan aina raskaampi toimenpide, eli edes tilaan REM(2) ei päästä. Lisäksi joka toisen tai joka kolmannen toimenpiteen on oltava rakenteen parantaminen (noin 30 vuoden välein, vrt. Taulukko 3). Ylemmillä osaverkoilla uusiomenetelmiä saa käyttää kahdesti peräkkäin ennen tarvetta raskaammille toimenpiteille. Ylimmillä SMA-osa-verkoilla ei tehdä RP-toimenpiteitä verkkotason kannalta merkittäviä määriä.



Kuva 2. Sallitut toimenpideketjut osaverkoittain.

2.4.3 Toimenpiteiden kuntovaikutukset

Toimenpiteiden vaikutuksesta verkon kuntotila paranee. Verkkotason mallissa tarkastellaan toimenpiteiden määriä, esimerkiksi 100 km tietyssä tilassa olevan tiepituuden uudelleen päällystämistä. Toimenpiteen seurauksena tämä 100 km siirtyy parempaan tilaan toimenpiteiden vaikutusten mukaisesti. PYRO-mallissa toimenpiteet vaikuttavat erikseen jokaiseen kuntomuuttajaan ja sitä kautta yleiskuntoluokkaan, joka määrytyy huonoimman yksittäisen kuntomuuttujan tilan perusteella.

Esimerkiksi tasaisuus ei parane, jos verkolle tehdään vain uraan vaikuttavia toimenpiteitä. Otetaan esimerkiksi tilanne, jossa kuntomuuttujista on käytössä ura ja tasaisuus. Jos uran suhteen kuntoluokka on huono ja tasaisuuden suhteen ollaan luokassa 4, riittää uran korjaaminen nostamaan yleiskuntoluokan pois luokasta huono. Jos tasaisuudenkin kuntoluokka heikkenee huonoksi, tarvitaan raskaampi tasaisuuden korjaava toimenpide nostamaan yleiskuntoluokkaa. Koska optimoinnissa pyritään kontrolloimaan yleiskuntoluokaltaan huonon tiepituuden määrää, saadaan erilaisten toi-

menpidevaikutusten mallintamisella luontevasti laukaistua tarve myös raskaammille toimenpiteille. Toimenpiteiden kuntovaikutusten ja toimenpideketjujen mallintamisen johdosta PYRO-mallissa ei tarvitse asettaa keinotekoisia ulkoisia vaatimuksia raskaampien toimenpiteiden osuuksille, vaan kaikkia toimenpidetyyppejä tarvitaan mallin sisäisen dynamiikan perusteella.

Osa PYRO-mallin toimenpidevaikutuksista on deterministisiä, eli kunto paranee varmasti määrätyn verran. Osa vaikutuksista on epävarmempia ja vaikutus kuvataan todennäköisyyksinä. Esimerkiksi LTA/MP-toimenpide parantaa PAB- ja AB-osaverkoilla tasaisuuden ja vaurioiden kuntoa yhdellä luokalla 75 prosentissa kohteista ja kaksi luokkaa (jos mahdollista) 25 prosentissa kohteista. Toimenpidevaikutukset ovat samat PAB ja AB osaverkoilla (Taulukko 4). SMA-osaverkkojen toimenpidevaikutukset poikkeavat näistä jonkin verran (Taulukko 5).

Taulukko 4. Toimenpiteiden kuntovaikutukset PAB ja AB-osaverkoilla.

Toimenpide	Kuntomuuttuja		
	Ura	Tasaisuus	Vauriot
REM	Siirtyy luokkaan 5	Ei vaikutusta	+1 luokka
LTA/MP	Siirtyy luokkaan 5	75 % +1 luokka 25 % +2 luokkaa	75 % +1 luokka 25 % +2 luokkaa
RP	Siirtyy luokkaan 5	Siirtyy luokkaan 5	Siirtyy luokkaan 5

Taulukko 5. Toimenpiteiden kuntovaikutukset SMA-osaverkoilla.

Toimenpide	Kuntomuuttuja		
	Ura	Tasaisuus	Vauriot
REM	Siirtyy luokkaan 5	Ei vaikutusta	+1 luokka
LTA/MP	Siirtyy luokkaan 5	50 % +2 luokkaa 50 % +3 luokkaa	50 % +2 luokkaa 50 % +3 luokkaa

2.4.4 Toimenpiteiden hinnat

Toimenpiteiden hinnat määritetään kilometrihintoina sisältäen tiemerkinnot. PYRO-mallissa käytettävät hinnat (Taulukko 6) perustuvat 2000-luvun historiatietoihin, urakoitsijoilta kerättyyn tietoon neliöhinoista, arvioon tiemerkinnotien osuudesta ylläpitokustannuksista sekä päällysteasiantuntijoiden arvioihin aineistoista laskettujen hintojen luotettavuudesta.

Taulukko 6. Toimenpiteiden kilometrihinnan sisältäen tiemerkinnot.

Osaverkko	Toimenpide		
	RP	LTA/MP	REM
PAB 350	44900 €/km	30000 €/km	17000 €/km
PAB 1000	51500 €/km	33800 €/km	22900 €/km
AB 3000	63700 €/km	38900 €/km	25200 €/km
AB 6000	72800 €/km	48500 €/km	27300 €/km
SMA 12000		55000 €/km	29400 €/km
SMA ISOT		60000 €/km	30000 €/km

Hintojen päivittäminen PYRO-malliin on helppoa, tosin nykyisiä hintoja on selvitetty varsin perusteellisesti. Kahdella erilaisella laskentatavalla (keskimääräiset neliöhinnat ja tien käsittelyleveydet sekä päällystyshistoriasta saadut kilometrihinnat) määritetyt hinnat ovat osoittautuneet hyvin yhteneviksi. Koska mallilla lasketaan koko päällystetyn tieverkon pitkän tähtäimen ylläpitoa, ei pienillä yksittäisillä hintamuutoksilla ole merkittävää vaikutusta kymmenissä miljoonissa euroissa liikkuviin kokonaistuloksiin.

2.4.5 Toimenpiteiden peittoprosentti

Peittoprosentin mallintaminen on toimenpideketjujen ohella toinen PYRO-mallin keskeisimmistä rakenteellisista uudistuksista verrattuna aiempiin verkkotason malleihin. Todellisuudessa päällysteiden ylläpitoa tehdään erittäin harvoin 100 % peitolla, eli siten, että toimenpiteet kohdistettaisiin vain huonokuntoisiin osuuksiin. Päällystysohjelmoinnissa tehdään pidempiä kohteita, joiden pituudesta osa on huonokuntoista, osa tyydyttävää (KL3) ja osa hyvääkin (KL4 ja jopa KL5). Ilmiö on toki tiedostettu ennenkin, mutta ainakin HIPS/Hibris-malleissa verkkotason laskentaa käsiteltiin 100 % peitolla ja tuloksina saadut toimenpidetarpeet kerrottiin kolmella kuvaamaan sitä, että X km huonokuntoisen osuuden poistamiseksi on tehtävä 3*X km päällystystoimenpidettä. Tällainen lähestymistapa jättää huomioimatta sen, että myös ei-huonojen osuuksien kunto paranee (periaatteessa ennenaikaisesti toteutettujen) toimenpiteiden seurauksena. PYRO-mallissa huomioidaan koko toimenpidepituuden kuntovaikutukset. Lisäksi peittokuviot saadaan määritettyä osaverkoittain kuvaamaan mm. liikennemäärien aiheuttamia eroja rappeutumisen (epä)homogeenisuudessa.

PYRO-mallissa peittoprosentin mallintaminen on toteutettu toimenpidetyypeittäin siten, että osaverkon vuotuisesta toimenpidepituudesta määrätty osa kohdistuu yleiskuntoluokaltaan huonokuntoisiin tiloihin. Lisäksi huono- ja tyydyttäväkuntoisten summalle on asetettu enimmäisosuus. Näillä ehdoilla saadaan turvattua kaksi ratkaisujen realistisuuden kannalta merkittävää ylläpidon käytännöistä kumpuavaa ominaisuutta: 1) toimenpiteet eivät voi kohdistua vain huonokuntoisiin osuuksiin ja 2) toimenpiteet eivät voi kohdistua vain ei-huonokuntoisiin osuuksiin. Molemmat ominaisuudet ovat tärkeitä: ensimmäisellä estetään 100 % peitto ja jälkimmäisellä huomioidaan se, että toimenpiteen laukaisemiseksi osa kohteesta on oltava huonokuntoista. Aiempien mallien tuloksissa esiintyi tilanteita, joissa verkkoa ylläpidettiin edullisesti

kohdistamalla vain kevyitä toimenpiteitä toistuvasti esimerkiksi kuntoluokkaan KL4 ja näin estettiin kunnan heikkeneminen heti alkuunsa. Tällainen ainakin Suomen olosuhteissa käytännössä epärealistinen ylläpitostrategia ei ole PYRO-mallissa mahdollinen, vaan toimenpiteen laukaisemiseksi tarvitaan osittainen huonokuntoisuus.

Peittoprosentit on määritetty asiantuntija-arvioina osaverkoittain (Taulukko 7). Oteetaan esimerkiksi osaverkko AB 6000, johon kohdistetaan vuodessa noin 600 km toimenpiteitä. Tästä pituudesta on kohdistuttava huonokuntoisiin $0,30 \cdot 600 = 180$ km, tyydyttäviin enintään $0,65 \cdot 600 - 180 = 210$ km, ja hyviin vähintään $600 - 210 - 180 = 210$ km. Toisaalta voidaan ajatella, että keskimääräisestä AB 6000 -osaverkon päällystyskohteesta 30 % on huonokuntoista, 35 % tyydyttävää ja 35 % vielä hyvää. Rappeutuminen on siis varsin epähomogeenista, mutta 9 vuoden välein tehtävät toimenpiteet pyritään kuitenkin toteuttamaan melko pitkinä yhtenäisinä kohteina.

Taulukko 7. Peittoprosentit.

Osaverkko	Kokonaispituudesta kuntotilaa	
	KLH	KLH+KL3
PAB 350	30 %	≤ 60 %
PAB 1000	30 %	≤ 60 %
AB 3000	30 %	≤ 65 %
AB 6000	30 %	≤ 65 %
SMA 12000	35 %	≤ 70 %
SMA ISOT	40 %	≤ 75 %

Koska PYRO-mallia ohjataan oleellisesti huonokuntoisten määrän kautta (kuntavoitteet tai huonokuntoisten minimointi), malli kohdistaa toimenpiteet ensisijaisesti huonokuntoisiin tiloihin tehdäkseen niistä ei-huonokuntoisia. Peittoprosentti voidaan siis käsittää myös niin, että jos esimerkiksi osaverkolta AB 6000 halutaan poistaa 180 km huonokuntoisia, on mallin tehtävä yhteensä 600 km toimenpiteitä edellä esitetyn peittokuvion mukaisesti. Ei-huonokuntoisiin osuuksiin kohdistettujen toimenpiteiden kuntovaikutukset kuitenkin huomioidaan, eli koko 600 kilometrin kunto paranee.

Peittoprosentti tarkoittaa yleiskuntoluokaltaan huonokuntoisista osuutta koko toimenpidepituudesta. Peittoprosentit (Taulukko 7) on arvioitu kaikkien kolmen kuntotekijän (ura, tasaisuus, vauriot) mukaisesti. Kuntotekijöiden osuudet peitosta vaihtelevat osaverkoittain (Taulukko 2). Peittoprosentit pienenevät, jos kaikkia kuntotekijöitä ei huomioida yleiskuntoluokassa. Jos laskennassa käytetään vain uraa ja tasaisuutta, näiden suhteen määritetty peittoprosentti esimerkiksi osaverkolla AB 6000 on $(0,8 + 0,05) \cdot 30 \% = 25,5 \%$. Koska vaurioita ei tässä tapauksessa huomioida yleiskuntoluokassa, niiden suhteen huonokuntoista osuutta $0,15 \cdot 30 \% = 4,5 \%$ ei lasketa (yleis) huonokuntokuntoiseksi, joten yleiskuntoluokkaan kohdistuva peittoprosentti on alempi. PYRO-malli sopeuttaa peittoprosentit automaattisesti käyttäjän asettaman kuntotekijöiden yhdistelmän mukaisesti (hyödyntäen parametreja Taulukko 2 ja Taulukko 7).

Mallin kehitystyön edetessä peittoprosentin mallintamista on vielä relaxoitu siten, että peittoprosentti on vähintään puolet peruspeittoprosentista (Taulukko 7). Esimerkiksi osaverkon AB 6000 peittoprosentin tulee siis olla välillä 15 % - 30 %. Tällä ei

kuitenkaan ole ollut vaikutusta tuloksiin, koska optimointimalli pyrkii mahdollisimman tehokkaisiin toimenpiteisiin ja toimii siten korkeimmalla mahdollisella peitolla. Osaltaan tämä havainnollistaa sitä, että (ainakaan PYRO-mallissa) ennakoiva kunnonosapito ei ole erityisen optimaalista, vaan toimenpiteillä kannattaa tavoitella mahdollisimman korkeaa peittoprosenttia. Tulos poikkeaa jossain määrin aiemmista verkkotason pitkän tähtäimen malleista ja yleisistä uskomuksista, mikä selittynee PYRO-mallin rakenteella, joka on rakennettu Suomen olosuhteiden ja tyypillisten toimenpideohjelmoinnin käytäntöjen näkökulmasta.

2.5 Optimointi ja rajoitusehdot

Teknisesti PYRO on suuri lineaarisen ohjelmoinnin (LP) malli. Edellä kuvatut ominaisuudet on ohjelmoitu XPress-MP © LP-ratkaisimeen kohdefunktion, päätösmuuttujien ja rajoitusehtojen avulla. Mallia käytettäessä hinta-, rappeutumis- ym. parametrit pidetään pääsääntöisesti vakioina, joten käyttäjä määrittää vain laskettavan osaverkon ja sille budjetin tai kuntotavoitteen. Mallissa on myös paljon erilaisia päällä/pois-asetuksia joita vaihtelemalla voidaan testata erilaisten muutosten vaikutuksia tuloksiin. Perusasetukset on kuitenkin selkeästi määriteltä, joten vertailukelpoisten tulosten päivittäminen on suoraviivaista. Lähtöjakaumat luetaan ja muokataan vuosittain uusimmista kuntotiedoista SAS © ohjelmistolla rakennetuilla vakioituilla ohjelma-koodeilla.

Mallin tilakuvaus koostuu kuudesta komponentista (Taulukko 8). Toimenpidepätösmuuttujissa on lisäksi seitsemäs komponentti, joka kertoo toteutettavan toimenpiteen (RP, LTA/MP, REM). Vuotuinen tilajakauma ilmaistaan kilometrimäärinä, esimerkiksi a (10, AB 6000, KLH, KL4, KL3, LTA/MP) = 150 km, missä a viittaa jakaumasta käytettävään muuttujanimeen ja suluissa oleva lista kertoo mistä tilasta on kysymys ao. taulukon mukaisessa järjestyksessä. PYRO-mallissa toimenpiteet ovat erillisiä päätösmuuttujia. Esimerkiksi x (10, AB 6000, KLH, KL4, KL3, LTA/MP, REM) = 100 km, missä x viittaa toimenpiteistä käytettävään muuttujanimeen, kertoo, että em. tilaan a (10, AB 6000, KLH, KL4, KL3, LTA/MP) kohdistetaan 100 km toimenpidettä REM. Seuraavana vuonna tämä 100 km lisätään tilaan a (11, AB 6000, KL5, KL4, KL4, REM) toimenpidevaikutusten mukaisesti (Taulukko 4). Tilaan a (11, AB 6000, KLH, KL4, KL3, LTA/MP) jää jäljelle 50 km plus/miinus ylempää/alempaan rappeutumisen johdosta tippuva tiepituus.

Taulukko 8. Mallin tilakuvaus koostettuna. Sarakeotsikko "Ed. TP" viittaa edelliseen toimenpiteeseen.

Vuosi	Osaverkko	Ura	Tasaisuus	Vauriot	Ed. TP
0	PAB 350	KLH	KLH	KLH	RP
1	PAB 1000	KL3	KL3	KL3	LTA/MP
2	AB 3000	KL4	KL4	KL4	REM(1)
...	AB 6000	KL5	KL5	KL5	REM(2)
50	SMA 12000	yleiskuntoluokka (KLH, KL3, KL4, KL5)			
	SMA isot				

Mallin vuosikello on synkronoitu siten, että kunkin vuoden kuntojakauma edustaa vuoden *lopun* tilannetta. Näin ollen esimerkiksi huonokuntoisten määräksi on mahdollista saada 0 km, jos kaikki vuoden *alun* tilanteessa huonokuntoiset on korjattu kyseisen vuoden aikana. Tuloksissa esimerkiksi vuoden 2015 luvut viittaavat kuntojakautuksen osalta tilanteeseen 31.12.2015, ja toimenpiteiden osalta vuoden 2015 aikana tehtyihin toimenpiteisiin. Vuoden 2015 aikana syntyvä rappeutuminen näkyy vasta kuntojakaumassa 1.1.2016 (jota ei näytetä PYRO-mallin tuloksissa), jonka ”päälle” malli tekee vuoden 2016 toimenpiteet ja synnyttää siten tuloksissa raportoitavan 31.12.2016 kuntojakauman.

PYRO-malli on teknisesti kooltaan varsin suuri. Vaikka malli ratkaistaankin jokaiselle 6 osaverkolle erikseen, siinä on pelkästään tilamuuttujia $50 \times 1 \times 4 \times 4 \times 4 = 12800$ kpl ja toimenpidemuuttujia vielä kolminkertaisesti lisää. Muuttujia on siis yhteensä yli 50000 kpl per osaverkko. Myös rajoitusehtoja on kymmeniä tuhansia, koska esimerkiksi dynamiikkayhtälöt määritetään jokaiselle tilamuuttujalle ja peittoprosenttirajoitukset jokaiselle toimenpidetyypille.

Mallin koosta johtuen sen ratkaisemiseen tarvitaan erillinen optimointiohjelmisto, mutta ei erityisen tehokasta tietokonetta. Tavallisella nykyaikaisella kannettavalla yhden osaverkon ratkaiseminen kestää lähes 30 minuuttia, kun kaikki kuntomuuttujat ovat aktiivisina. Vauriomuuttujan (tai muun kuntomuuttujan) poisjättäminen pienentää mallin koon neljäsosaan ja pudottaa osaverkkokohtaisen laskenta-ajan alle 1 minuuttiin. Osaverkkojen ratkaiseminen on ohjelmoitu automatisoiduksi ketjuksi siten, että kaikki osaverkot saadaan laskettua yhdellä napin painalluksella. Tarvittaessa erilaisten skenaarioiden laskenta voidaan myös ketjuttaa valmiiksi ja jättää malli laskemaan tuloksia esimerkiksi yön yli.

Lähtötietojen päivittämistä ei tehdä erikseen jokaisen laskennan yhteydessä, vaan esimerkiksi kerran vuodessa. Myös lähtötietojen päivittämistä on automatisoitu, joskin se vaatii edelleen jonkin verran manuaalista tietojen kopiointia ja määrättyjen ohjelmakoodien ajamista. Laskentatulokset siirtyvät optimointiratkaisimesta MS Exceliin © käytännössä automaattisesti päivitys-napin painalluksella Excelin puolelta. Kaiken kaikkiaan prosessi ja erillisten ohjelmaosien käytettävyys on hioutunut varsin hyväksi ja sujuvaksi, joten tietokantoihin integroidun tietojärjestelmän ja käyttöliittymän rakentaminen ei ole ainakaan tästä näkökulmasta tarpeen.

3 PYRO-mallilla laskettavat tulokset

3.1 Laskentaskenaariot

Keskeisimmät mallilla laskettavat skenaariot ovat 1) **nykykunnan säilyttämiseen tarvittava rahoitus** ja 2) **nykyisestä rahoitustasosta seuraava kuntokehitys**. Ensimmäisessä tapauksessa asetetaan vaatimus, että jokaisen osaverkon yleiskuntoluokaltaan huonokuntoinen tiepituus pysyy samana kuin lähtötilanteessa ja minimoidaan kustannuksia. Tuloksissa huonokuntoisten määrä pysyy siten vakiona ja kiinnostuksen kohteena on ylläpitoon tarvittava rahamäärä. Jälkimmäisessä tapauksessa kullekin osaverkolle asetetaan vuotuinen budjetti ja pyritään minimoimaan huonokuntoista tiepituutta. Jos budjetti tarvetta alhaisempi, huonokuntoisten määrä pääsee kasvamaan lähtötilanteesta. Tällöin rahamäärä pysyy tuloksissa vakiona (koko budjetti käytetään joka vuosi) ja kiinnostuksen kohteena on huonokuntoisten määrä.

Mallilla voidaan laskea myös muita skenaarioita lähes rajattomasti. Kuntotavoite voidaan asettaa nykytasoa tiukemmaksi ja esimerkiksi siten, että tietty kuntotaso on saavutettava 10 vuoden kuluessa. Toisaalta voidaan laskea hallittuun kunnon heikkenemiseen tarvittava rahoitus siten, että kuntotavoitteen annetaan löystyä tasaisesti esimerkiksi seuraavan 10 vuoden ajan kunnes kunnon heikkeneminen on pysäytettävä tietylle tasolle. Mallilla voidaan laskea myös esimerkiksi mahdollisten elvytyspiikkien vaikutuksia eri osaverkoilla tai kääntäen ylläpidon tason tilapäisen laskemisen pitkän tähtäimen vaikutuksia. Osaverkoille voidaan laskea valmiiksi tuloksia erilaisista rahoitustaso – kuntotaso -yhdistelmistä, joita voidaan hyödyntää osaverkkojen priorisointia koskevassa päätöksenteossa. Lisäksi voidaan tutkia ostovoiman heikkenemisen ja vaikkapa toimenpiteiden kestoajan parantamisen vaikutuksia. Erilaisia hyödyntämismahdollisuuksia ja analyyseja on siis lukemattomia.

3.2 Yhteenvetona esitettävät perustulokset

Yksi laskentaskenaario käsittää yleensä kaikki 6 osaverkkoa. Laskennan tulokset esitetään käyttäjälle Excel-tiedostolla, jossa on oma välilehti jokaiselle osaverkolle sekä yhteenvedo koko maan tuloksista. Tulokset esitetään sekä numeerisina taulukoina että niistä piirrettyinä kuvaajina. Perustuloksia ovat:

Osaverkkokohtaisesti, vuosittain seuraavan 30 vuoden ajalta:

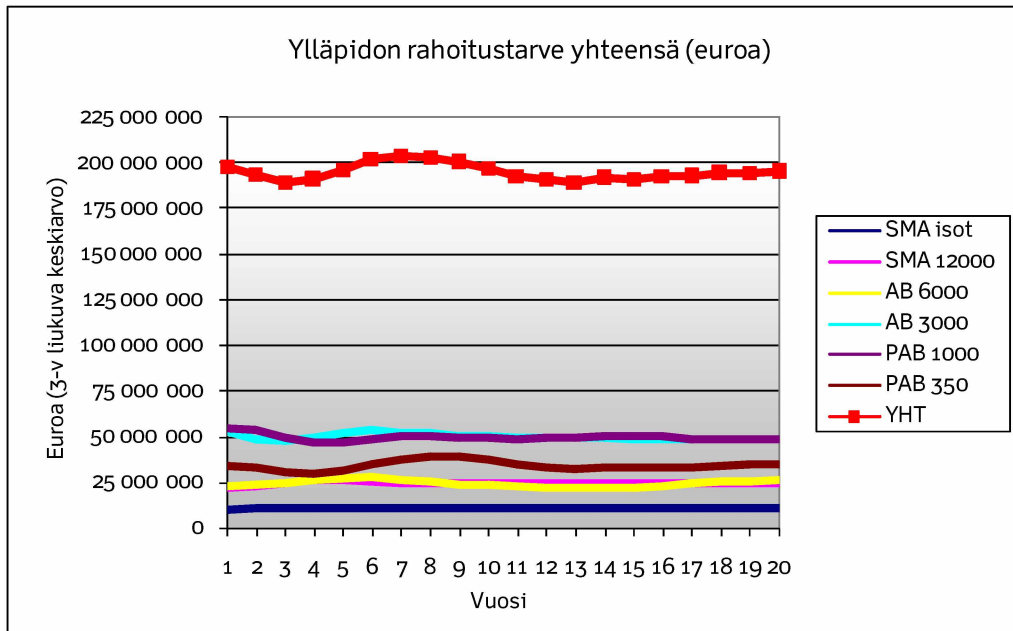
- Yleiskuntojakauman kehitys.
- Toimenpidepituudet eri toimenpidetyypeillä sekä yhteensä.
- Toimenpidekustannukset eri toimenpidetyypeistä sekä yhteensä.
- Huonokuntoisen tiepituuden erittely kuntomuuttujittain.

Koko verkon yhteenvetona, vuosittain seuraavan 30 vuoden ajalta:

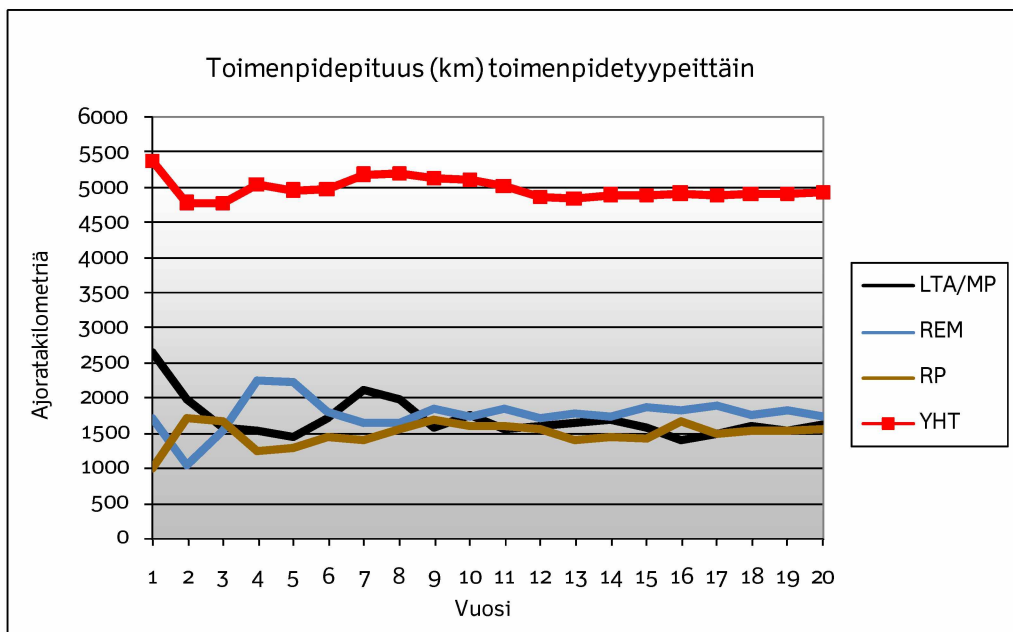
- Ylläpitoon käytetty rahoitus kolmen vuoden liukuvana keskiarvona.
- Huonokuntoinen tiepituus yhteensä.
- Päällystysohjelman pituus eroteltuna toimenpidetyypeittäin.
- Ylläpidon keskimääräinen kilometrihintana.

Lisäksi yhteenvedossa esitetään rahoituksen keskiarvot vuosille 1–10 ja 10–30, joilla tiivistetään lyhyen tähtäimen (1-10 vuotta) ja pitkän tähtäimen (vakiintunut taso 10–30 vuotta) rahoitustarpeet yksiksi luvuksi.

Esimerkkikuvaajissa (Kuva 3 ja Kuva 4) esitetään ylläpidon rahoitustarve ja päällystystarve seuraavan 20 vuoden ajalta. Vuoden 2010 tiedoilla lasketuissa havainnollistavissa tuloksissa nykykunnon säilyttämisen edellyttämä rahoitustarve on yhteensä hieman alle 200 M€/v ja tarvittava päällystysohjelman pituus on noin 5000 km.



Kuva 3. Havainnollistus rahoitustarpeen yhteenvetokuvaajasta.



Kuva 4. Havainnollistus toimenpidetarpeiden yhteenvetokuvaajasta.

3.3 Tulosten herkkyys

Edellä kuvatuissa esimerkeissä esiintyvät tarpeet verkon nykykunnan säilyttämiseksi (noin 200 M€/v ja 5000 km/v) ovat pysyneet hyvinkin muuttumattomina PYRO-mallin kehitystyön edetessä, vaikka hinta- ja rappeutumisparametreihin, toimenpideketjuihin ja toimenpiteiden vaikutuksiin on tehty pieniä tarkennuksia ja päivityksiä. Tuloksissa tulee ottaa huomioon, että malli toteuttaa varsin *ideaalista tienpitoa pitkällä aikajänteellä*. Esimerkiksi toimenpideketjut on määritetty sillä perusteella, miten ylläpitoa *pitäisi* tehdä, jos rahoitus sen mahdollistaisi. Paikkauksia, kevennettyjä toimenpiteitä tai muuta *"tekohengitystä"* ei ole mallinnettu. Mallin tuloksissa esimerkiksi alemmalle verkolle tarvitaan suhteellisen paljon rakenteen parantamista, koska tien ikäjakaumasta ja ylläpidon jälkeenjäämästä johtuen se on toimenpideketjuissa vuorossa seuraavaksi. Käytännössä näitä raskaita toimenpiteitä ei välttämättä tehdä, mutta (ainakaan mallin valossa) se ei ole kestävää tienpitoa 50 vuoden aikajänteellä. Näin ollen lasketut tarpeet saattavat vaikuttaa korkeilta verrattuna viime vuosien rahoitustasoihin ja niistä seuranneeseen verkon kunnon lyhytaikaiseen kehittymiseen.

Tulosten herkkyys mallin parametreille on varsin lineaarinen. Perusteellisissa herkkyysanalyyseissa on todettu, että esimerkiksi $\pm 10\%$ muutos toimenpidehinnoissa (kaikissa hinnoissa samaan aikaan ja samaan suuntaan) muuttaa kokonaisrahoitustarvetta samaiset $\pm 10\%$. Myös rappeutumisparametrien muuttamisella on samankaltainen vaikutus, eli uusimisvälien muuttaminen $\pm 10\%$ (vastaa osaverkosta riippuen 0.4-1.7 vuotta) muuttaa kokonaisrahoitustarvetta $\pm 10\%$. Jos siis esimerkiksi kaikkia hintoja lasketaan 10% ja samalla kaikkia kiertoaikoja pidennetään 10% , tippuu kokonaisrahoitustarve noin 20% . Yksittäisten osaverkkojen toimenpideketjujen tai -vaikutusten muutokset eivät heijastu merkittävästi kokonaistuloksiin, eli rakenteellistenkin muutosten suhteen PYRO-malli on hyvin robusti.

3.4 Täydentävät tulokset

Varsinaisen Tulos-Excelin perustulosten lisäksi laskennasta on mahdollista tallentaa vielä paljon yksityiskohtaisempaa dataa. Esimerkiksi mallin kaikkien tilojen ja niiden välillä siirtyneiden kilometrien kehitys saadaan tallennettua Excelin pivot-taulukoiksi, joiden toiminnoilla myös tulosten tarkastelu on helppoa. Mallin kehitys- ja verifiointityössä on siis päästy katsomaan tulosten "sisään" erittäin yksityiskohtaisesti, esimerkiksi kuinka monta kilometriä REM-toimenpidettä tehdään vuonna 10 kuntotilaan KLH, KL4, KL3, jossa edellinen toimenpide on LTA/MP. Näin on voitu varmistua, että mallin dynamiikka, toimenpideketjut ja peittoprosentit toimivat suunnitellusti.

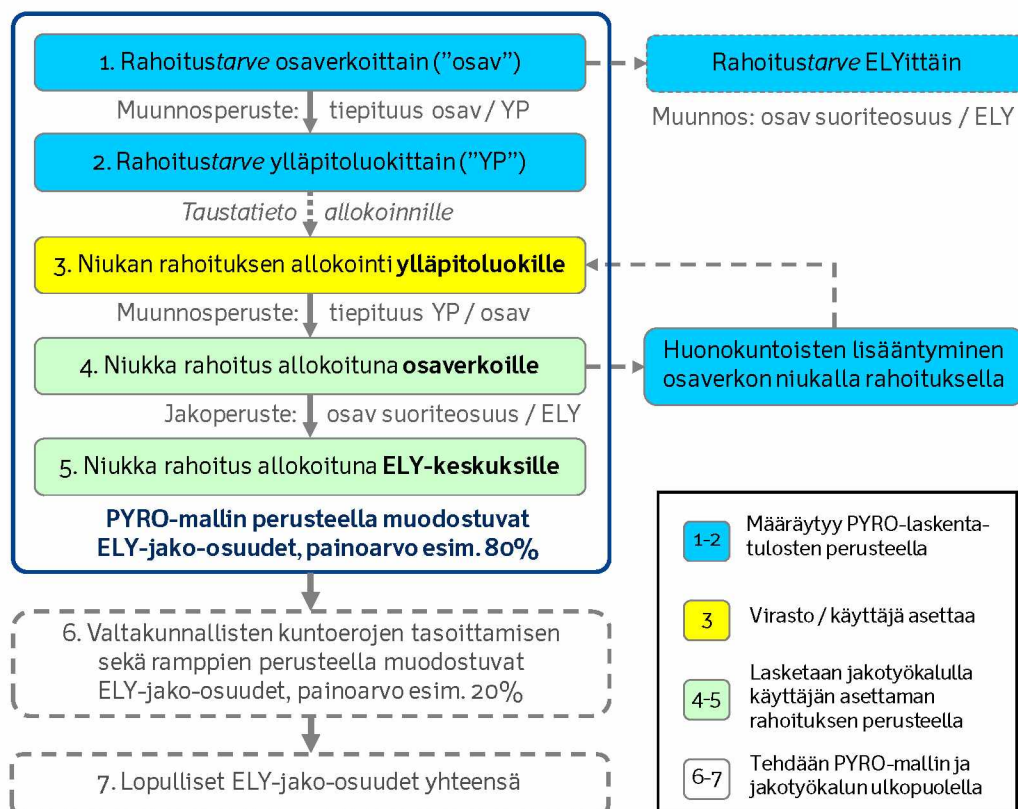
PYRO-mallin tuloksia voidaan pitää monitasoisina. Tuloksista raportoidaan kuhunkin tarpeeseen tarkoituksenmukaisin taso. Tiivistetyimmillään tämä voi tarkoittaa yhtä lukua, esimerkiksi seuraavan 10 vuoden rahoitustarpeen vuotuista keskiarvoa nykykunnan säilyttämiseksi tai huonokuntoisten määrää 10 vuoden kuluttua nykyisellä rahoitustasolla. Tarkempia raportteja varten voidaan erotella osaverkot, toimenpidetyypit ja vuotuinen kehitys. Erityistapauksissa ja/tai yhteenvetotasolla poikkeuksellisten tulosten ilmaantuessa voidaan tutkia myös yksittäisten muuttujien tasolle ulottuvia tuloksia havaitun ilmiön selittämiseksi ja ymmärtämiseksi.

Erillishjelmistoilla rakennetun toteutuksen johdosta erilaisten laskentaskenaarioiden tulokset voidaan tallentaa tavallisiksi vakiomuotoisiksi Excel-tiedostoiksi, joita voidaan jakaa, tarkastella ja muokata. Tallennettuihin Tulos-Exceleihin voidaan siis tarvittaessa palata tarkempia analyyssejä varten ilman mallin uudelleen laskentaa. Tässä haasteena on luonnollisesti dokumentinhallinta. Toisaalta tietopalvelutyypiseen toimintamalliin on kuulunut yhteenvetoraporttien laatiminen PYRO-mallilla lasketuista tuloksista, jolloin Liikenneviraston käyttäjän ei ole tarvinnut perehtyä Tulos-Exceleihin vaan ainoastaan niistä laadittuun yhteenvetoon. Tällainen toimintamalli on koettu hyvin toimivaksi ja tarkoituksenmukaiseksi.

4 Jakotyökalu ylläpitoluokille ja alueille

Perusmuodossaan PYRO-malli laskee vain valtakunnallisia tuloksia ilman alueiden (ELY-keskusten) erottelua. Nämä koko päällystettyä tieverkkoa koskevat tulokset rahoitustarpeista ja kuntokehityksestä palvelevat mm. perusteluviestintää ja päällysteiden ylläpidon kokonaisrahoituksen tarkastelua. Vuotuisessa toiminta- ja taloussuunnittelussa tarvitaan kuitenkin päätöksenteon tueksi tuloksia myös niukan (tarvetta alhaisemman) kokonaisrahoituksen jakamisesta ELY-keskuksille. Tähän tarpeeseen on kehitetty PYRO-mallin valtakunnallisia tuloksia hyödyntävä jakotyökalu, jossa käyttäjä jakaa käytettävissä olevan kokonaisbudjetin *ylläpitoluokille* ylläpitostrategiian mukaisesti, ja työkalu jakaa sen edelleen ELY-keskuksille. Myös varsinaiseen PYRO-malliin on kehitetty mahdollisuus ELY-kohtaiseen laskentaan (luku 5.4), mutta käytännön päätöksenteon ja priorisointiperiaatteiden tukemisen kannalta tässä esitettävä jakotyökalu on todettu hyvin toimivaksi ja tarkoituksenmukaiseksi.

Jakotyökalun toimintaperiaate esitetään seuraavassa tiivistetysti (Kuva 5) ja sitä avataan esimerkkitaulukoiden avulla kuvan jälkeen. PYRO-mallin laskennoissa käytetään toimenpiteiden ja rappeutumisen luonteen perusteella muodostettuja liikennemäärä-osaverkkoja (Taulukko 1, luku 2.2). Ylläpidon ohjausta tehdään puolestaan liikennemäärästä ja toiminnallisesta luokasta määräytyvän ylläpitoluokituksen kautta. Osaverkot ja ylläpitoluokat eivät vastaa täysin toisiaan, joten niiden välille tarvitaan muunnoksia. Nämä muunnokset ja käyttäjän asettama ylläpitoluokkien priorisointi tehdään Exceliin rakennetulla jakotyökalulla.



Kuva 5. Jakotyökalun toimintaperiaate (painoarvot esimerkkejä vuodelta 2010).

Työkalu toimii siis siten, että aluksi lasketaan PYRO-mallilla osaverkkojen rahoitustarpeet (vuosien 1-10 keskiarvot), jotka syötetään jakotyökaluun (Taulukko 9).

Taulukko 9. Jakotyökalu, vaihe 1: PYRO-mallilla laskettu rahoitustarve osaverkoittain (rivi ”tarve, vapaa, milj. €”) ja muita taustatietoja.

Osaverkko	SMA isot	SMA 12000	AB 6000	AB 3000	PAB 1000	PAB 350	YHT
ajoratapituus (km)	993	3 312	4 429	11 102	14 957	14 620	49 412
osuus pituudesta (%)	2 %	7 %	9 %	22 %	30 %	30 %	100 %
suorite (mrd. ajon. km/v)	7.3	8.3	6.8	7.1	3.4	1.0	33.8
osuus suoritteesta (%)	22 %	25 %	20 %	21 %	10 %	3 %	100 %
kvl	20 130	6 860	4 190	1 750	620	190	1 880
tarve, vapaa, milj. €	10.9	24.6	25.4	51.9	50.7	34.5	198.0
Osuus tarpeesta	5.5 %	12.4 %	12.8 %	26.2 %	25.6 %	17.4 %	100.0 %

Vaiheessa 2 PYRO-mallilla lasketut osaverkkojen rahoitustarpeet muunnetaan ylläpitoluokkien rahoitustarpeiksi (Taulukko 10). Muunnos tehdään ajoratapituuden perusteella, eli osaverkon rahat jaetaan ylläpitoluokille sen perusteella kuinka suuri osuus osaverkon pituudesta kuuluu kuhunkin ylläpitoluokkaan. Osaverkot ja ylläpitoluokat korreloivat liikennemäärän myötä siten, että esimerkiksi SMA-osaverkkojen pituudesta suurin osa kuuluu ylläpitoluokkaan YP1a, ja PAB 1000 -osaverkosta suurin osa on puolestaan ylläpitoluokkien YP2a ja YP2b teitä. Muunnoksen tuloksena nähdään kuinka suuri summa koko verkon nykykunnan säilyttämiseen tarvittavasta rahoituksesta kohdistuu kuhunkin ylläpitoluokkaan, ja kääntäen paljonko rahoitusta tarvitaan kunkin ylläpitoluokan nykykunnan säilyttämiseen.

Taulukko 10. Jakotyökalu, vaihe 2: PYRO-mallilla lasketun rahoitustarpeen muuntaminen osaverkoilta ylläpitoluokille pituuden jakautumisen perusteella.

tarve, vapaa, milj. €	Y1a (1)	Y1b (2)	Y1c (3)	Y2a (4)	Y2b (5)	Y3a (6)	Y3b (7)	YHT
A: SMA isot	10,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9
B: SMA 12000	16,5	6,6	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	24,6
C: AB 6000	5,4	11,5	6,6	1,8	0,2	0,0	0,1	25,4
D: AB 3000	1,4	11,8	16,8	18,3	3,3	0,3	0,2	51,9
E: PAB 1000	0,0	0,6	4,4	20,0	21,1	4,3	0,3	50,7
F: PAB 350	0,0	0,0	0,2	1,9	7,7	18,6	6,1	34,5
YHT	33,4	31,1	29,3	42,1	32,2	23,2	6,6	198,0
Osuus	16,8 %	15,7 %	14,8 %	21,3 %	16,3 %	11,7 %	3,4 %	100,0 %

Vaiheessa 3 käyttäjä jakaa niukan kokonaisrahoituksen ylläpitoluokille (Taulukko 11) käyttäen apuna ylläpitoluokkien kunnan säilyttämiseen tarvittavaa rahoitusta. Jaettavan kokonaisrahoituksen ja ylläpitoluokkien priorisointiperiaatteet voi määrittää vapaasti. Esimerkissä kokonaisrahoitus on 115 M€/v ja ylläpitostrategiana on säilyttää ylläpitoluokkien Y1a ja Y1b nykykunto. Näin ollen luokille Y1a ja Y1b jaetaan niiden tarvitsema rahoitus (33.4 ja 31.1 M€/v), ja muille ylläpitoluokille jaetaan loput rahat (115-33.4-31.1 = 50.5 M€/v) niiden tarpeiden mukaisessa suhteessa. Luokat Y1c-Y3b saavat siten vain 38 prosenttia rahoitustarpeestaan ja niiden kunto heikkenee.

Taulukko 11. Jakotyökalu, vaihe 3: Käyttäjän jakama niukka rahoitus ylläpitoluokille (rivi "Myöntö M€/v").

YP-luokka	Y1a (1)	Y1b (2)	Y1c (3)	Y2a (4)	Y2b (5)	Y3a (6)	Y3b (7)	YHT
pituus (km)	4 377	5 635	6 304	10 951	10 207	9 216	2 723	49 412
osuus pituudesta (%)	9 %	11 %	13 %	22 %	21 %	19 %	6 %	100 %
suorite (mrd. ajon. km/v)	14,1	7,6	5,0	4,2	2,0	0,8	0,2	33,8
osuus suoritteesta (%)	42 %	22 %	15 %	12 %	6 %	2 %	0 %	100 %
kvl	8 820	3 700	2 160	1 050	530	240	150	49658
Tarve M€/v	33,4	31,1	29,3	42,1	32,2	23,2	6,6	198,0
Myöntö M€/v	33,4	31,1	11,1	16,0	12,1	8,8	2,5	115,0
Osuus myönnöstä	29,0 %	27,0 %	9,7 %	13,9 %	10,5 %	7,7 %	2,2 %	100,0 %

Vaiheessa 4 muunnetaan ylläpitoluokille vaiheessa 3 myönnettyt rahat takaisin osaverkoille (Taulukko 12) jälleen pituuden perusteella (vrt. vaihe 2 käänteisesti ja pienemmällä kokonaisrahoituksella). Ylläpitostrategiasta seuraavaa osaverkkojen kunnon kehitystä voidaan nyt arvioida ajamalla PYRO-laskenta osaverkoittain näillä budjeteilla. Strategiaa (allokointia ylläpitoluokille) voidaan tarvittaessa muokata näiden kuntoennusteiden perusteella ja laskea uudet kuntoennusteet jne. Toisaalta varsinaiseen PYRO-malliin ei ole välttämätöntä palata, vaan tarkastelussa voidaan edetä pelkän jakotyökalun avulla.

Taulukko 12. Jakotyökalu, vaihe 4: Ylläpitoluokille jaetun niukan rahoituksen muuntaminen osaverkoille (sarake "YHT") pituuden jakautumisen perusteella.

Osaverkko YP-luokka	Y1a (1)	Y1b (2)	Y1c (3)	Y2a (4)	Y2b (5)	Y3a (6)	Y3b (7)	YHT
A: SMA_isot	10,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9
B: SMA_12000	16,5	6,6	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	23,7
C: AB_6000	5,4	11,4	2,5	0,7	0,1	0,0	0,0	20,1
D: AB_3000	1,4	11,8	6,4	6,9	1,2	0,1	0,1	27,8
E: PAB_1000	0,0	0,6	1,7	7,6	7,9	1,6	0,1	19,5
F: PAB_350	0,0	0,0	0,1	0,7	2,9	7,0	2,3	13,0
Myöntö M€/v	33,4	31,1	11,1	16,0	12,1	8,8	2,5	115,0

Vaiheessa 5 osaverkkojen rahoitus jaetaan ELY-keskuksille kunkin osaverkon liikennesuoritteiden jakautumisen perusteella (Taulukko 13). Esimerkiksi osaverkon AB 6000 valtakunnallisesta liikennesuoritteesta 22% syntyy Uudenmaan ELY-keskuksessa, joten sille jaetaan 22% kyseisen osaverkon rahoituksesta ($4.4 \approx 0.22 \cdot 20.1$, Taulukko 13, sarake "01 UUD", rivi "AB 6000").

Taulukko 13. Jakotyökalu, vaihe 5: Osaverkoille muunnetun niukan rahoituksen jakaminen ELY:ille kunkin osaverkon liikennesuoritteiden jakautumisen perusteella.

Vuodet 1-10	01 UUD	02 VAR	03 KAS	04 PIR	08 POS	09 KES	10 EPO	12 POP	14 LAP	YHT
A: SMA_isot	6.7	0.9	0.3	1.3	0.5	0.4	0.1	0.6	0.0	10.9
B: SMA_12000	6.9	3.6	2.1	2.7	2.7	1.7	1.6	1.6	0.8	23.7
C: AB_6000	4.4	3.0	1.3	1.9	2.2	1.8	2.5	2.2	0.9	20.1
D: AB_3000	3.9	3.4	1.5	2.1	5.5	2.0	4.2	3.0	2.2	27.8
E: PAB_1000	2.5	2.4	1.0	1.2	3.6	1.2	2.8	2.5	2.4	19.5
F: PAB_350	1.4	1.7	0.7	0.7	2.4	0.6	1.4	1.8	2.2	13.0
YHT	25.8	15.0	6.8	9.9	16.9	7.6	12.7	11.6	8.6	115.0
Osuus	22.4 %	13.1 %	5.9 %	8.6 %	14.7 %	6.6 %	11.0 %	10.1 %	7.4 %	100.0 %

Osaverkkokohtaisen liikennesuoritteiden perusteella tehtävä osaverkon rahojen alueellinen jako ei juurikaan poikkea pituuden perusteella tehtävästä jaosta, koska osaverkon määritelmän mukaisesti sen liikennemäärä on jokseenkin sama eri ELY:issä. Jos

esimerkiksi AB 6000 osaverkon pituus ja keskimääräinen KVL ovat kahdessa ELY:ssä samat, ELY:jen osuuksien suhde kyseisen osaverkon rahoituksesta on sama tehtiinpä jako pituuden tai suoritteen perusteella. Jos osaverkkopituudet ovat samat, mutta toisessa ELY:ssä on kyseisellä osaverkolla enemmän liikennettä, se saa hieman suuremman osuuden kyseisen osaverkon koko maan rahoituksesta. Tämä on perusteltua, koska maan keskiarvoa korkeammalla liikennemäärällä rappeutumisen voidaan olettaa olevan hieman nopeampaa ja vastaavasti alhaisemmalla liikenteellä hieman hitaampaa kuin koko maan keskiarvoja edustavissa PYRO-mallin parametreissa.

Jakoperusteissa on tärkeää huomioida, että liikennemäärä vaikuttaa vasta osaverkkojen sisäisessä jaossa. Tiepituudella on vähintään yhtä suuri vaikutus lopputulokseen, mutta ELY:n alueen kokonaistiepituuden lisäksi huomioidaan mistä ylläpitoluokista ja osaverkoista tuo kokonaispituus koostuu. Rahat jaetaan ensisijaisesti ylläpitoluokille ja siitä muunnoksella osaverkoille. Sen jälkeen osaverkon rahat jaetaan ELY:ille osaverkon liikennesuoritteiden (tai lähes samoin tuloksin pituuden) suhteessa. Esimerkiksi SMA-osaverkkojen tiepituudesta (ja siten myös suoritteesta) suurin osa on Uudenmaan ELY-keskuksen alueella, joten se saa suurimman osan SMA-osaverkkojen rahoituksesta. Jos niukkojen resurssien allokoinnissa priorisoidaan ylläpitoluokkien Y1a ja Y1b (ja siten SMA-osaverkkojen) kunnon säilyttämistä, siitä seuraa, että esimerkiksi Uudenmaan ELY-keskus saa suuren osuuden pienestä kokonaispotista.

On myös syytä muistaa, että kun jaettava kokonaispotti on laskettua tarvetta pienempi, jokainen ELY saa absoluuttisena summana vähemmän kuin niiden tarve on. ELY-kohtainen tarve nykykunnan säilyttämiseksi voidaan laskea samoilla muunnosperiaatteilla vaiheen 1 PYRO-mallilla lasketusta kokonaisrahoitustarpeesta (Taulukko 14). Kun jaettava kokonaispotti kasvaa, myös 100%:iin summautuvat osuudet muuttuvat verrattuna pienemmästä kokonaispotista laskettuihin osuuksiin.

Taulukko 14. Jakotyökalu, sivutulostulos vaiheesta 1: PYRO-mallilla laskettu rahoitustarve jaettuna osaverkoilta ELY:ille kunkin osaverkon liikennesuorituksen jakautumisen perusteella.

Vuodet 1-10	01 UUD	02 VAR	03 KAS	04 PIR	08 POS	09 KES	10 EPO	12 POP	14 LAP	YHT
A: SMA_isot	6.7	0.9	0.3	1.3	0.5	0.4	0.1	0.6	0.0	10.9
B: SMA_12000	7.2	3.8	2.2	2.8	2.8	1.7	1.7	1.7	0.9	24.6
C: AB_6000	5.6	3.8	1.6	2.4	2.7	2.3	3.2	2.8	1.1	25.4
D: AB_3000	7.2	6.4	2.8	3.9	10.3	3.6	7.9	5.5	4.1	51.9
E: PAB_1000	6.5	6.2	2.5	3.2	9.2	3.2	7.3	6.4	6.1	50.7
F: PAB_350	3.7	4.6	1.9	1.9	6.4	1.6	3.8	4.7	5.9	34.5
YHT	37.0	25.6	11.3	15.5	32.0	12.8	23.9	21.7	18.2	198.0
Osuus	18.7 %	12.9 %	5.7 %	7.8 %	16.2 %	6.5 %	12.1 %	11.0 %	9.2 %	100.0 %

Jakotyökalun toimintaperiaatteessa (Kuva 5) esiintyvät vaiheet 6 ja 7 havainnollistavat sitä, että rahoituksen jakoperiaatteiden mahdollisessa uudistamisessa on myös mahdollista soveltaa tässä esitettyjä PYRO-malliin, ylläpitoluokkiin ja osaverkkoihin perustuvia periaatteita vain osaan koko päälylystettyjen teiden ylläpidon rahoituksesta. Loppuosa, esimerkiksi 20 % voidaan jakaa muilla perusteilla, esimerkiksi valtakunnallisten kuntoerojen tasoittamiseksi. Myös ramppien osuus pitää nykyisellään huomioida erikseen. PYRO-mallillakin olisi mahdollista laskea esimerkiksi skenaarioita, joissa vaaditaan kullekin osaverkolle yhtenäinen kuntotaso kaikissa ELYissä esimerkiksi 5 vuoden kuluttua (luku 5.4), mutta jakojen pyörittelyyn ja kokonaisbudjetin joustavaan muokkaamiseen tässä luvussa esitetty jakotyökalu on varsin toimiva, läpinäkyvästi perusteltu ja tarkoituksenmukainen väline.

5 Tutkittuja ja kehitettyjä laajennuksia

5.1 Erilaisia laajennussuuntia

Vakiintuneen perustoiminnan kehittämisen ja perustulosten laskennan rinnalla PYRO-mallin kehitystyössä on ehditty tutkia myös erilaisia laajennuksia. Tutkimukset ovat käsitelleet niin mallin rakenteen ja käyttötarkoituksen laajentamista (alaluvut 5.2 ja 5.3) kuin mallin sisäisten toiminnallisuuksien ja ominaisuuksien kehittämistäkin (alaluvut 5.4 ja 5.5). Seuraavassa esitellään lyhyesti rakenteellisista laajennusselvityksistä saatuja kokemuksia ja listataan PYRO-malliin kehitettyjä toiminnassa olevia lisäominaisuuksia, joita ei kuitenkaan käytetä mallin perustoiminnassa. Lopuksi mainitaan muutamia esiin nousseita, vielä tutkimattomia kehityskohteita (alaluku 5.6).

5.2 Ajokustannusten hyödyntäminen

Aiemmat HIPS/Hibris-mallit nojasivat vahvasti ajokustannuksiin ja niiden perusteella laskettuun ”yhteiskuntataloudelliseen optimitilaan”, joka kertoisi missä kunnossa verkko kannattaisi pitää. Näin ollen olikin luonnollista selvittää samankaltaisten periaatteiden soveltamista PYRO-mallissa, vaikka sen yhtenä vahvuutena onkin alusta alkaen pidetty juuri sitä, että (epävarmoja ja kiistanalaisia) ajokustannusparametreja ei tarvita vaan ohjaus tehdään huonokuntoisten määrän kautta.

Selvityksen suositus on varsin selkeästi se, että *ajokustannukset eivät sovellu PYRO-malliin*. Tulokset ovat kansainvälisestäkin katsoen mielenkiintoisia, koska vaikuttaa vahvasti siltä, *ettei ajokustannusten käyttö ole yleisestikään kovin perusteltua* lineaarisissa kuntotiloihin perustuvissa malleissa (esim. HIPS/Hibris). Tällaiset mallirakenteet johtavat väistämättä portaittasiin tuloksiin, jotka eivät kuvasta epälineaaristen ylläpito- ja ajokustannuskäyrien summaa minimoivaa yhteiskuntataloudellista optimia. PYRO-mallin rakenteessa havainto tulee esiin selkeämmin kuin HIPS/Hibris-malleissa, koska siinä kuntotilat ja toimenpiteet on eroteltu selkeämmin toisistaan. Selvityksestä on laadittu erillinen tarkempi työmuistio, jossa ajokustannuksiin liittyvää rakenteellista problematiikkaa pohditaan ja perustellaan yksityiskohtaisemmin.

Ajokustannus selvityksen työmuistiossa hahmotellaan myös toisenlaista mallirakennetta, jolla ajokustannuksia voitaisiin hyödyntää ”optimaalisen” toimenpidekierron ja sitä kautta verkkotason kuntojakautaman tarkastelemiseksi. Toisaalta aihe on varsin laajasti tutkittu, ja ajokustannusparametrien määrittäminen on erittäin työlästä ja epävarmaa, joten ajokustannuksiin perustuvien mallien kehittämistä on syytä tarkastella kriittisesti vaadittuja panoksia ja saavutettavia hyötyjä puntaroiden.

5.3 Osaverkkojen välinen priorisointi

Laskentamallin ominaisuuksia ja hyödyntämistä laajennettaessa osaverkkojen välinen priorisointi kuuluu luontevasti toivomuslistan kärkipäähän hieman samaan tapaan kuin yhteiskuntataloudellisen optimitilan etsiminen. Äärimmilleen vietynä tähänkin tarvittaisiin ajokustannuksia tai muita osaverkkojen kuntoon sidottuja hyötymittareita, joita optimoimalla rajalliset resurssit saataisiin allokoitua osaverkoille.

Vaihtoehtoinen tapa on asettaa osaverkoille eri suuruisia sakkoja määrättyjen kuntorajojen rikkomisesta. Tällainen, teknisesti paloittain lineaarisiin sakkofunktioihin perustuva, menettely olisi kuitenkin hieman keinotekoinen: kuntorajat ja siten osaverkkojen priorisointi pitäisi asettaa käyttäjän toimesta, ja tuloksissa osaverkkojen kunto heikkenisi vuorotellen portaittain sakkorajalta toiselle. Jos osaverkkoja ei priorisoida ”käsin” sakkojen avulla vaan kaikkia huonokuntoisia kilometrejä käsitellään samanarvoisina, rahoitus ohjautuu alimmille verkoille (mikä ei ole realistista). Tämä johtuu siitä, että alimmilla verkoilla on pituutensa johdosta eniten (huonokuntoisiakin) kilometrejä ja hitaasti rappeutuvan verkon ylläpito edullisempaa kuin nopeasti rappeutuvan ja tiestöltään leveämmän vilkasliikenteisen verkon. Periaatteessa sakot voitaisiin yrittää johtaa ajokustannuksista, mutta tällaisten parametrien määrittämiseen panostaminen ei vaikuta kokonaisuuden kannalta kovin tarkoituksenmukaiselta.

Osaverkkojen rinnastamista rajoittaa myös laskentateho. Jos kaikki osaverkot lasketaan yhdellä PYRO-mallilla, mallin koko kuusinkertaistuu perustilanteeseen verrattuna ja kompleksisuus kasvaa huomattavasti. Tämän seurauksena laskenta-aika kasvaa kestävämmäksi (kun käytetään kaikkia kuntomuuttujia), joten osaverkot on suositeltavaa laskea erillisinä.

PYRO-mallilla voidaan parhaiten tukea osaverkkojen välistä priorisointia esimerkiksi laskemalla valmiiksi erilaisia rahoitustaso – kuntokehitys -yhdistelmiä osaverkoista. Tulokset voidaan tiivistää yksiksi luvuiksi esimerkiksi käyttämällä 10 ensimmäisen vuoden rahoituksen keskiarvoa ja huonokuntoisten määrää 10 vuoden kuluttua. Kun tällaisia raha-kunto -pareja on käytettävissä laajalla skaalalla kaikista osaverkoista, nähdään määrätyn resurssipotin erilaisista allokaatioista seuraava kuntokehitys nopeasti. Periaatteessa tämän monikriteerisen päätösongelman, jossa kriteereinä ovat eri osaverkkojen huonokuntoisten määrä ja vaihtoehtoina erilaiset käyvät allokaatiot, tukemiseen voitaisiin soveltaa myös esimerkiksi erilaisia painotusmenetelmiä. Ongelma palautuu kuitenkin tässäkin tapauksessa eri osaverkkojen huonokuntoisten arvostukseen samaan tapaan kuin ajokustannus- ja sakkomenetelmissä.

5.4 ELY-kohtainen PYRO-laskenta

PYRO-mallin uusimpia ominaisuuksia on laskentojen mahdollistaminen yksittäisten ELYjen tarkkuudella. Jokainen ELY jakautuu mallissa edelleen kuuteen osaverkkoon, joten ”ELY-laskennassa” on siis ratkaistavana $9 \times 6 = 54$ tehtävää. Alkujakaumina laskennassa käytetään kunkin ELYn todellisia kuntojakaumia. ELY-laskennassa kuntotavoitteet tai budjettirajoitukset asetetaan erikseen jokaiselle ELY:lle osaverkoittain. Tulokset saadaan samantapaisina Excel-tiedostoina kuin luvussa 3.2 on kuvattu. Lisäksi saadaan yhteenvedot ELYittäin ja osaverkoittain. Kiinnostavia ELY-laskennan mahdollistamia skenaarioita ovat ainakin:

- Yksittäisen ELYn nykykunnan säilyttämiseen vaadittava rahoitus.
- Yksittäisen ELYn kuntokehitys erilaisilla budjeteilla.
- ELY-kohtaiset rahoitustarpeet, kun tavoitteena on valtakunnallisesti yhtenäisen kuntotaso osaverkoittain esimerkiksi 5 vuoden kuluttua.

Kun nykyisen kuntotilan säilyttämiseen tarvittava rahoitus ratkaistaan jokaiselle ELYlle erikseen, ei tarvita verkon pituuteen ja liikennesuoritteisiin perustuvaa jakotyökälyä. Lähtötilana toimii kunkin ELYn todellinen kuntojakauma. Tässä on hu-

mioitava se, että jos tavoitteena on nykyisen kuntotilan säilyttäminen ELYittäin, heijastuu ELYn nykykunto sen rahoitustarpeisiin.

Kiinnostava ominaisuus onkin ELY-budjettien ratkaiseminen siten, että tavoitteeksi asetetaan yhtenäinen kuntotavoite koko maassa osaverkoittain. Yhtenäinen kuntotila voi olla koko maan nykyinen huonokuntoisten osuuden keskiarvo tai sitä huonompi tai parempi tila. Tällöin niiden ELYjen, joiden nykykunto on tavoitetta parempi, rahoitustarve pienenee alkuvuosina. Vastaavasti tavoitetta huonompi kuntotila johtaa rahoitustarpeen kasvuun. Huomattavaa on, että tavoite asetetaan osaverkoittain. Tällöin ELYllä voi olla sekä tavoitetilaa paremmassa että tavoitetilaa huonommassa kunnossa olevia osaverkkoja.

Mallissa olisi myös mahdollisuus asettaa ELY-kohtaisia kertoimia esimerkiksi hinnoille ja rappeutumisajoille. Toisistaan poikkeavien kertoimien käyttöön tarvitaan kuitenkin painavat perusteet, eikä tätä ominaisuutta ole toistaiseksi käytetty.

5.5 PYRO-mallin lisäominaisuuksia

PYRO-malliin on kehitetty lukuisia erilaisia lisäominaisuuksia, joiden avulla päästään tutkimaan muitakin ilmiöitä ja laskentaskenaarioita kuin perusmallilla. Näihin ominaisuuksiin tutustuminen ei ole välttämätöntä mallin toiminnan ymmärtämisen kannalta, mutta luvusta saa kuvan siitä, millaisia skenaarioita ja tuloksia mallilla voidaan laskea perustoiminnan lisäksi.

Ominaisuus *kaikki muuttujat mukana* vaikuttaa siihen, miten pois jätetyt kuntomuuttujat käsitellään. Pois jätetyillä muuttujilla tarkoitetaan muuttujia, jotka eivät vaikuta yleiskuntoluokkaan. Ne voidaan joko poistaa kokonaan laskennasta tai antaa niiden pyöriä mukana. Valinta ei vaikuta mallin antamiin tuloksiin. Jos pois jätetyt kuntomuuttujat jätetään pois koko laskennasta, mallin ratkaisuaika putoaa murto-osaan. Jos pois jätettyjen muuttujien annetaan olla mukana laskennassa, voidaan tuloksista seurata tiestön kunnan kehitystä myös niiden suhteen. Jos ominaisuus *kaikki muuttujat mukana* on päällä, voidaan esimerkiksi vaurioiden kehitystä seurata, vaikka yleiskuntoluokka (ja siten ohjaus) määrättäisiin vain uran ja tasaisuuden perusteella.

Huonojen summan minimoinnilla tarkoitetaan sitä, että optimoinnin tavoite ei olekaan sidottu yleiskuntoluokaltaan huonojen määrään vaan huonojen summaan, eli uran, tasaisuuden ja vaurioiden suhteen huonokuntoisten kilometrien yhteismäärään. Jos jokin kilometri on esimerkiksi kahden mukana olevan kuntomuuttujan suhteen luokassa huono, se lasketaan huonojen summaan kaksi kertaa. Koska yleiskuntoluokan määrää huonoin kuntomuuttuja, ei yleiskuntoluokan kannalta ole väliä onko kuntomuuttujista vain yksi vai useampi luokassa huono. Tällöin yleiskuntoluokkaa käytettäessä optimointi voi antaa ns. moniongelmaisten määrän lisääntyä verrattuna alkutilaan. Huonojen summan minimoinnissa moniongelmaiset tulevat lasketuksi summaan useamman kerran, joten niistä sakotetaan optimoinnin kohdefunktiossa.

Yksittäisrajoituksilla tarkoitetaan jokaiselle käytössä olevalle kuntomuuttujalle asetettavia erillisiä rajoituksia. Ominaisuutta voidaan käyttää huonojen summan minimoinnin yhteydessä, kun optimoinnin tavoitteena on nykytilan säilyttäminen. Yksittäisrajoitukset määräävät eri kuntomuuttujien suhteen alueen (esim. $\pm 10\%$ alkutilasta), jossa ne saavat vaihdella. Näin voidaan vaatia, että verkko pysyy esimerkiksi urautumisen suhteen lähellä alkutilaansa.

Tavoitevuosi tarkoittaa vuotta, josta lähtien kuntotavoitteet ovat voimassa. Nykytilan säilyttämisessä tavoitevuosi on laskennan ensimmäinen vuosi, eli tavoitteet ovat voimassa heti alusta lähtien. Esimerkiksi valtakunnallisten kuntoerojen tasoittamiskenaarioissa tai nykyistä tiukempia kuntotavoitteita saavutettaessa tavoitevuosi voidaan asettaa vaikkapa 5 tai 10 vuoden päähän nykytilasta.

Ominaisuutta *ei huonone* voidaan käyttää, kun tavoitevuosi on myöhemmin ja tavoitteena on nykytilaa parempi kuntotila. Ominaisuuden ollessa päällä tavoitteiden toteutuminen vaaditaan vasta tavoitevuodesta alkaen, mutta huonojen määrä ei saa lisääntyä nykytilasta tavoitevuotta edeltävinä vuosinakaan. Ominaisuus *suhteellinen muutos* on lisävaatimus edelliseen. Sen ollessa päällä kuntotilan pitää parantua tasaisesti kohti tavoitetilaa. Toisin sanoen huonojen määrän pitää vähentyä suhteellisesti yhtä paljon jokaisena vuonna ennen tavoitevuotta. Tämä estää sen, että tavoitteisiin päästäisiin tekemällä korjaukset yhdellä rysäyksellä juuri ennen tavoitevuotta.

5.6 Uusia kehitystarpeita ja mahdollisuuksia

Mallin kattavuuden näkökulmasta keskeisin kehitystarve on ramppien verkkotason tarkastelu ja integroiminen rahoituksen jakotyökaluun. Ramppien rappeutuminen ja ylläpito poikkeavat sen verran merkittävästi normaaleista ajoradoista, että niitä ei kannattane pakottaa osaksi varsinaista PYRO-mallia. Rampeille voidaan kehittää erillinen PYRO-mallin periaatteita mukaileva ja sen tuloksiin yhdistettävissä oleva verkkotason pitkän tähtäimen malli. Tällainen malli syntyy melko maltillisella kehityspanostuksella ja se on suositeltavaa laatia erillisenä selvityksenä, jonka yhteydessä tutkitaan myös esimerkiksi ramppien lähtötietojen laatua ja toimenpidehistoriaa.

PYRO-mallin ominaisuuksiin liittyen on noussut esiin kaksi tärkeää kehitystarvetta: peittoprosentin ja verkon kunnan välisen yhteyden sekä kevyemmän tienpidon mallintaminen. Nykyinen malli osaa toteuttaa vain varsin ideaalista tienpitoa ja esimerkiksi peittoprosentit perustuvat verkon nykyiseen keskimääräiseen kuntoon ja ylläpitoikäntäntöihin. Niukalla rahoituksella verkon kunto kuitenkin heikkenee, jolloin myös toimenpiteiden peittoprosentit voivat keskimäärin kasvaa. Periaatteessa peittoprosentin olisi hyvä olla sekä rahoituksen että verkon kunnan funktio, mutta tällaisen ilmiön mallintaminen on lineaarisella mallilla erittäin haastavaa, ellei mahdotonta. Ilmiö on kuitenkin todellinen ja tärkeä, ja se saattaisi tukea myös verkon teknistä-loudellisesti optimaalisen kuntojakautaman määrittämisessä.

Kevyemmän tienpidon mallintamista voidaan tutkia toimenpiteiden hintoja, vaikutuksia ja niistä seuraavan rappeutumisen parametreja muokkaamalla ja/tai toimenpiteitä lisäämällä. Periaatteessa myös osaverkkojen määrää (ja siten erottelutarkkuutta) voidaan lisätä, joskin nykyinen jako on koettu tarkkuustasoltaan varsin tarkoituksenmukaiseksi. Sekä muuttuvan peittoprosentin mallintaminen että toimenpiteiden tai osaverkkojen lisääminen on mittava kehitystyö, koska molemmat edellyttävät mallin ohjelmakoodin muokkaamista ja etenkin peittoprosenttiin liittyy myös teoreettista mallintamista. Toisaalta niillä voidaan saavuttaa merkittäviä tuloksia, jotka parantavat mallia etenkin niukan rahoituksen kuntoennusteita laskettaessa.

Urapaikkausten ja muiden ”tekoehitystoimenpiteiden” mallintamiseen PYRO-malli ei lähtökohtaisesti sovellu. Näitä voidaan kuitenkin tarkastella erillisellä kohdetasoisella ylläpitostrategiaa tarkastelevalla mallilla, jota Janne Junes kehittää diplomityönsään kevään 2011 aikana. Tämän mallin tuloksia voidaan mahdollisesti hyödyntää

myös PYRO-mallissa esimerkiksi siten, että toimenpideketjujen hinnoissa, kiertoajoissa ja peittoprosenteissa huomioidaan elinkaaren pitkittämiseksi tyypillisesti tehtävät paikkaukset. Myös ajokustannusten hyödyntämisen jatkokehityksessä on suositeltavaa keskittyä erillisen mallin rakentamiseen (vrt. alaluku 5.2) ja mahdollisesti huomioida siitä saatavia tuloksia PYRO-mallin parametrien määrittämisessä.

Erilaisia vielä testaamattomia laskentaskenaarioita on lähes rajattomasti (vrt. alaluku 3.1). Erityisen kiinnostavaa voisi olla tarkastella kuntotavoitteiden ja -rajojen muutosten lyhyen ja pitkän tähtäimen vaikutuksia ylläpidon rahoitukseen. Tämäkin toteutettaisiin PYRO-mallissa parametreja muokkaamalla: esimerkiksi urasyvyyden huonokuntoisuuden rajan kasvattaminen 2 millimetrillä heijastuu mallin näkökulmasta uusimisvälin pidentymiseen esimerkiksi 1 vuodella, mikä puolestaan heijastuu rahoitustarpeisiin. Samanlaisella lähestymistavalla voitaisiin tutkia myös esimerkiksi kalliimpien ja pitkäikäisempien tai halvempien ja lyhytikäisempien toimenpiteiden suhteellista kannattavuutta. Perusskenaarioiden päivittämisen lisäksi PYRO-mallin laskennoilla voidaan siis tutkia muitakin kiinnostavia kysymyksiä.

PYRO-mallin soveltuvuus muille rakenteille, esimerkiksi silloille tai erilaisille rata-rakenteille, riippuu pääosin mallinnettavan rakenteen rappeutumisen luonteesta ja kunnan kuvaamiseen käytettävistä mittareista. Kuntotiloihin ja Markov-keijuihin perustuva malli soveltuu parhaiten melko tasaisesti kuormituksen johdosta rappeutuville rakenteille, joiden kiertoaika on suhteellisen lyhyt. Jos rakenteet ovat luonteeltaan sellaisia, että ne toimivat (lähes) moitteetta kunnes ne pettävät kerralla ja tyypilliset elinkaaret ovat vaikkapa 30–50 vuotta, Markov-malli ei välttämättä sovi kuntokehitykseen kuvaamiseen kovin hyvin. Toisaalta tällöin tarkastelu voidaan siirtää kunnan ja kuntoluokkien kuvaamisesta enemmänkin todennäköisyyksien ja vaurioitumisriskien mallintamiseen.

PYRO-mallin kaltaista mallirakennetta on aiemmin sovellettu ainakin silloille (mm. Hibris, myös kansainvälisiä esimerkkejä) ja mitä luultavimmin myös esimerkiksi rata-kiskoille ja -pölkyille. Koska PYRO-malli ja muut päällysteiden ylläpidon verkkotason tarkasteluun tämän mallinnuskokonaisuuden yhteydessä kehitetyt ja/tai ideoidut mallit ovat teknisesti hyvin joustavia ja muokattavissa, voidaan hyvinkin harkita niiden soveltamista myös muihin Liikenneviraston ylläpitovastuulla oleviin rakenteisiin. Uusiin rakenteisiin sovellettaessa mallinnus kannattaa tehdä ensin paperilla, jotta varmistutaan mallin ominaisuuksien ja odotettavissa olevien tulosten tarkoituksenmukaisuudesta.

6 Johtopäätökset ja suositukset

PYRO-malli (Päällysteiden Ylläpidon Rahoitustarpeen Optimointi) on päällystettyjen teiden verkkotason ennuste- ja optimointimalli, joka täyttää aiemman HIPS-mallin jättämän aukon ja täydentää siinä havaittuja puutteita. PYRO-mallissa ei käytetä ajokustannuksia, joiden teoreettinenkin soveltuvuus tämän kaltaiseen mallirakenteeseen vaikuttaa kyseenalaiselta ja niiden määrittäminen on hankalaa ja kiistanalaista. Mallilla keskitytään nykykunnan säilyttämiseen tarvittavan rahoituksen ja niukasta rahoituksesta seuraavan kuntokehityksen laskemiseen.

Monivaiheisen kehitystyön tuloksena mallin perustoiminta on varsin vakiintunut ja valmius tuottaa erilaisia analyyseja on hyvä. Varsinaisen PYRO-mallin tulokset palvelevat etenkin perusteluviestintää ja pitkän tähtäimen suunnittelua. Tulokset on jalostettu yhteenvetotasolle varsin yksinkertaisiksi ja vakaiksi, mutta niiden pohjana on paljon innovatiivista mallintamista ja tarkkaa laskentaa. Ylläpitoluokkien priorisointiin ja ELY-keskusten välisen rahanjaon tarkasteluun kehitetty PYRO-mallin tuloksia hyödyntävä jakotyökalu-Excel tukee jokavuotista konkreettista päätöksentekoa toiminta- ja taloussuunnittelun tasolla. Se tarjoaa läpinäkyvän tiepituus- ja liikennesuoritefaktoriin perustuvan kaavion rahoituksen alueelliselle jaolle, mutta jättää ylläpitoluokkien priorisointia koskevat strategiset päätökset käyttäjälle.

Kehitystyössä ja laskentatulosten tuottamisessa käytetty tietopalvelutyypinen toimintamalli on todettu erittäin toimivaksi ja tarkoituksenmukaiseksi. Mallinnus ja tietojen käsittely on toteutettu konsultin toimesta erillisohjelmistoilla, jolloin Liikenneviraston ei ole tarvinnut investoida kalliisiin ohjelmistoihin, järjestelmäkehitykseen, järjestelmäintegraatioon ja käyttäjien perehdytykseen. Kehitystyö on ollut varsin nopeaa ja mallin ominaisuuksia on pystytty muokkaamaan joustavasti kehittyvien tarpeiden mukaan. Tulosten hyödyntämisen kannalta Excel-raportit ja niistä edelleen muokatut yhteenvedot ovat toimineet hyvin. Toki tällainen toimintamalli edellyttää analyysien ja laskentamallien molemminpuolista tuntemusta ja luottamusta niihin. Toimintamallia voidaan pitää suositeltavana myös muissa samantyyppisissä kehityskohteissa, etenkin jos hyödyntäjien joukko on pieni ja mallintaminen edellyttää substanssin erityisasiantuntemusta.

PYRO-mallin hyödyntämistä ja kehittämistä suositellaan jatkettavan samankaltaisella toimintamallilla kuin tähänkin asti. Rahoituksen jakotyökalu on Liikenneviraston itsensä käytettävissä ja hyödynnettävissä. Tulevista laskentapäivityksistä ovat kiinnostavia ainakin uuden vaurioinventoinnin aikaansaamat vaikutukset lähtöjakaumaan ja tuloksiin sekä erilaiset vielä testaamattomat laskentaskenaariot, joita on esitelty raportissa. Kehitysosioista päällimmäisenä on ramppien verkkotason tarkastelu. Kuntojakaumasta riippuvan peittoprosentin ja kevyemmän tienpidon mallintaminen vaatii jo laajempaa mallin rakenteisiin pureutuvaa kehityshanketta. Muihin rakenteisiin soveltaminen on suositeltavaa aloittaa esiselvityksillä, joissa varmistutaan mallirakenteen ja odotettavissa olevien tulosten tarkoituksenmukaisuudesta ja lähtöaineistojen saatavuudesta. Tämän jälkeen tekninen toteutus voidaan tehdä joustavasti erillisohjelmistoilla. Päällysteiden paikkaustoimenpiteiden ja ajokustannusten osalta suositellaan PYRO-mallista erillisten mallien rakentamista. Näistä ensimmäinen on jo käynnissä, ja jälkimmäinen voidaan yleistää myös muiden rakenteiden teknistä-taloudellisesti optimaalisen uusimisvälin tarkasteluun soveltuvaksi.

Liik
enne
virasto

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-620-2

www.liikennevirasto.fi