

Optimoinnin hyödyt kunnallisissa kuljetuksissa ja palveluissa

Olli Bräysy

Jyväskylän yliopisto

2007

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
1. Taustaa.....	4
2. Tutkimusaiheen merkittävyys	5
3. Lyhyt johdatus kuljetusten optimointiin	6
4. Optimoinnin hyödyt.....	10
5. Kaupalliset optimointiohjelmat	12
6. Kunnallisan sovellusten haasteet ja mahdollisuudet	14
6.1. Katujen kunnossapito	14
6.2. Kotihoitopalvelut.....	15
6.3. Jätteiden keräys	17
6.4. Vanhusten kuljetukset	19
6.5. Koulukuljetukset.....	19
6.6. Muut sovellukset	20
7. Case-tutkimuksia	21
7.1. Ateriakuljetus-case.....	22
7.2. Kotisairaanhoido-case	23
7.3. Materiaalikuljetus-case	26
7.4. Koulukuljetus-case.....	27
7.5. Päiväkeskuskuljetus-case	28
8. Toteutettu menetelmäkehitys.....	28
Viitteet.....	33

Tiivistelmä

Tässä raportissa kuvataan 2006-2007 toteutetun KAKS-säätiön rahoittaman post doc tutkimushankkeen ”Kuntien logististen operaatioiden tehostaminen optimoinnin avulla” tuloksia. Tutkimushankkeen teemana oli tunnistaa ja analysoida mahdollisia optimoinnin kohteita kunnallisalalla, liittyen erityisesti kuljetuksiin ja liikkuviin palveluihin.

Teeman puitteissa perehdyttiin aikaisempaan tutkimukseen, kehitettiin uusia kuntien tarpeisiin soveltuvia optimointityökaluja ja demonstroitiin optimoinnin potentiaalia case-tutkimuksin. Tutkimuksen ajankohtaisuutta korostaa useat meneillään olevat palvelujen uudistamisprosessit ja kuntaliitokset, verkostokaupunkihankkeet ym., jotka kaikki myös lisäävät suunnittelutehtävien kompleksisuutta niin manuaalisen suunnittelun kuin automaattisen optimoinnin näkökulmasta.

Tehty tutkimus osoittaa, että kunnallisalalla on lukuisia eri sovelluksia, joihin optimointi soveltuisi hyvin. Tätä vahvistaa myös kartoitettujen aiempien tutkimusten osoittamat tulokset. Hankkeen puitteissa toteutetut case-tutkimukset osoittavat joissakin tapauksissa dramaattista 50-70% säästöpotentiaalia kustannuksissa. Optimointimenetelmien tunnettavuus ja soveltaminen kunnallisalalla on kuitenkin vielä erittäin vähäistä.

Tulosten pohjalta voi päätellä seuraavaa:

1. Nykyisistä toimintojen jakamisista erillisiin maantieteellisiin alueisiin tulisi luopua
2. Nykyistä toimintatapaa ei tulisi pitää suunnittelun lähtökohtana.
3. Tehtävien suunnittelua tulisi tehdä koko kunnan tasolla keskitetysti, optimointimenetelmiä ja tietotekniikan ja tietoliikennetekniikan apuvälineitä hyödyntäen
4. Optimointia tulisi hyödyntää kaikilla eri suunnittelun tasoilla strategisesta operatiiviseen.
5. Toimintojen ja alueiden ulkoistamisen tulisi perustua optimointiin ja myös yksityisen palveluntarjoajan kannalta mahdollisimman optimaalisiin kokonaisuuksiin, ei nykyisin määriteltyihin kokonaisuuksiin.
6. Optimoinnissa tulisi ottaa huomioon sekä tavoiteltu palvelun laatu että sen vaatimat kustannukset.

Optimointia varten on saatavilla lukuisia kaupallisia ohjelmistoja. Ne perustuvat lähes poikkeuksetta erilaisiin heuristisiin menetelmiin, joiden suorituskyvyssä ja kyvyssä ratkaista eri ongelmia on huomattavia eroja. Tämän tutkimuksen yhtenä tärkeänä tavoitteena oli kehittää mahdollisimman tehokkaita ja mahdollisimman hyvin kunnallisalan tarpeisiin soveltuvia uusia optimointialgoritmeja ja työkaluja. Toteutetuista työkaluista mainittakoon mm. eri palvelujen tai asiakkaiden kustannusvaikutusten analysointiin soveltuva menetelmä, josta on hyötyä mm. kustannusanalyysissä ja esimerkiksi palveluja hinnoiteltaessa tai ulkoistettaessa.

Tehty menetelmäkehitys sisältää mm. ongelmien koon pienentämiseen ja erilaisten optimoinnin rajoitteiden tehokkaaseen käsittelyyn soveltuvia menetelmiä, erilaisia aluesuunnitteluun ja -jakoon soveltuvia menetelmiä, kalustojen määrän ja tyyppin optimointiin soveltuvia algoritmeja samoin kuin erittäin tehokkaan ja hyvin skaalautuvan reittien ja aikataulujen suunnitteluun soveltuvan algoritmin.

1. Taustaa

Tässä raportissa kuvataan 2006-2007 toteutetun post doc tutkimushankkeen ” Kuntien logististen operaatioiden tehostaminen optimoinnin avulla” tuloksia. Hankkeen rahoitti KAKS-säätiö ja se jakautui kolmeen kokonaisuuteen:

1. Tietojen keräys kunnista ja kirjallisuudesta ja saatujen tietojen analysointi
2. Kunnallisan alan kuljetustehtävien mallintaminen ja uusien optimointialgoritmien kehittäminen
3. Optimoinnin hyötyjen demonstroiminen realistisin case-tutkimuksin

Tietojen keräys tehtiin ottamalla yhteyttä neljän suuren kunnan (Helsinki, Tampere, Kuopio ja Jyväskylä) asiantuntijoihin kuudella relevantiksi määritellyllä osa-alueella¹:

1. Katujen kunnossapito
2. Vanhusten kotihoito (sisältäen ateriakuljetukset)
3. Vanhusten kuljetuspalvelu
4. Logistiikkatoiminnot (sisältäen mm. materiaali- ja sisäpostikuljetukset)
5. Koulukuljetukset
6. Jätteiden keräys

Kunkin kaupungin asiantuntijoille esitettiin kysymyksiä, joiden avulla pyrittiin määrittämään mahdollisimman tarkkaan, mistä eri toiminnoista on kyse, miten suuren mittaluokan toiminnoista on kyse, mitä eri asioita suunnittelussa pitää ottaa huomioon ja mitä suunnittelun apuvälineitä tällä hetkellä on käytössä. Saadun informaation pohjalta pystyttiin paitsi analysoimaan optimoinnin potentiaali kussakin tapauksessa myös mallintamaan ongelmat ja luomaan siten pohjaa ratkaisumenetelmien kehittämiselle ja lisätutkimuksen houkuttelemiselle aiheesta. Samalla pystyttiin myös todentamaan alueita, joilla tutkimustarve on suurin. Edellisten lisäksi tarkasteltiin pienessä mittakaavassa kirjastojen kuljetuksia, hätäkuljetuksia ja Lääninhallitusten vastuulle kuuluvaa huoltovarmuutta.

Tehdyn kyselytutkimuksen lisäksi alan kansainvälisestä tieteellisestä kirjallisuudesta pyrittiin kartoittamaan kaikki em. alueita koskeva tutkimus, ja toisaalta myös vastaavia optimointimalleja ja

¹ Kaikkien kuntien osalta ei saatu palautetta kaikilta osa-alueilta. Jätteidenkeräystä koskevat tiedot saatiin pääasiassa jätehuoltoyhtiöiltä.

soveltuvia optimointimenetelmiä koskeva tutkimus. Saatuja tuloksia on esitelty tarkemmin kappaleessa 5 ja viitteissä [10] ja [12].

Toisessa vaiheessa keskityttiin em. analyysin pohjalta mallintamaan kunnallisalan ongelmat, ja kehittämään mm. tehokkaita tapoja eri tavoitteiden ja rajoitteiden käsittelyä varten ja erilaisia käyttökelpoisia työkaluja päätöksenteon tueksi. Selkeästi tärkein osa-alue oli uusien optimointialgoritmien kehitys. Tehtyä työtä kuvataan tarkemmin kappaleessa 8.

Kolmannessa vaiheessa toteutettiin viisi eri case-tutkimusta, joiden tuloksia on esitelty kappaleessa 7. Case-tutkimukset toteutettiin Jyväskylästä ja Kuopiosta saaduilla datoilla² ja käyttäen kaupallista SPIDER-optimointiohjelmaa. Case-tutkimusten tarkoitus oli osoittaa optimoinnin toimivuus käytännössä ja sillä saatavat potentiaaliset hyödyt.

Tämä raportti on organisoitu seuraavasti: seuraavassa kappaleessa tarkastellaan tutkimusaiheen merkittävyyttä kuntien näkökulmasta ja yleisestikin. Kappaleessa 3 kerrotaan tarkemmin optimoinnista aihepiirinä, sen vaikeudesta ja peruseriaatteista ja asioista joita optimoitaessa pitää ottaa huomioon. Kappaleessa 4 esitellään optimoinnin avulla saatavia etuja ja kappaleessa 5 kaupallisten optimointiohjelmien ominaisuuksia. Kappaleessa 6 tarkastellaan kunnallisalan eri sovelluksia ja niiden optimoinnissa huomioon otettavia tekijöitä samoin kuin suositeltavia optimoinnin kohteita. Tehtyjen case-tutkimusten tuloksia esitellään kappaleessa 7 ja viimeisessä kappaleessa 8 kerrotaan tehdystä menetelmäkehityksestä ja sen merkityksestä.

2. Tutkimusaiheen merkittävyys

Logistiikka on merkittävin elinkeinoelämän alue sekä Suomessa että kansainvälisesti. Myös kunnallissektorilla logistiikka muodostaa erittäin merkittävän osa-alueen lukuisine sovelluksineen. On itsestään selvää, että näiden logististen operaatioiden hoitaminen mahdollisimman tehokkaasti on ensiarvoisen tärkeää paitsi kuntien taloudelle, myös asukkaiden viihtyvyyden, turvallisuuden ja ympäristön kannalta. Tässä suhteessa optimoinnilla on merkittävä rooli; optimointi tarkoittaa parhaimman mahdollisen toimintavaihtoehdon löytämistä. Kaupallisella sektorilla yhä kovenevat vaatimukset ovat saaneet yhä useammat logistiikkayritykset hyödyntämään optimointia. Kunnallissektorilla optimointityökalujen hyödyntäminen on sen sijaan vielä toistaiseksi harvinaista.

² Muut kaupungit kieltäytyivät antamasta dataa.

Yksi syy tähän on, että vaikka erilaisia kaupallisia optimointityökaluja on saatavana valtavasti, niitä ei ole suunniteltu ottamaan kuntien erityistarpeita huomioon. Kuntien logistiset optimointiongelmat ovat hyvin usein kooltaan suuria ja niillä on erityisvaatimuksia normaaleihin kaupallisiin kuljetuksiin verrattuna. Toisaalta, vaikka erilaisia optimointiohjelmistoja on saatavilla paljon ja kuljetusten optimointia on tutkittu laajalti jo yli 50 vuoden ajan, tutkimus ja alan osaaminen on edelleen hyvin heikkoa. Tämä johtuu pääosin ongelmien erittäin suuresta kompleksisuudesta ja monimuotoisuudesta. Logistiikan optimoinnin kenttä on epäilemättä yksi maailman vaikeimmista tutkimusalueista. Suuresta työmäärästä ja rajallisista resursseista johtuen, tutkimus on toistaiseksi keskittynyt kaupallisiin sovelluksiin, siitäkin huolimatta, että kunnallissektorilla saavutettavat potentiaaliset säästöt on arvioitu erittäin merkittäviksi. Esimerkiksi laajoissa jäte-logistiikan ongelmissa, tietokoneavusteisella optimoinnilla on saavutettu jopa 70% säästöjä pelkästään yksittäisen reitin keräysjärjestyksen optimoinnilla, verrattuna aiempiin käsin tehtyihin suunnitelmiin, kts. viite [15]. Kuljetustehtävien suunnittelu on yleensäkin erittäin vaativa tehtävä. Erilaisissa tutkimuksissa on osoitettu, että jo silloin jos ohjattavia ajoneuvoja on viisi, ihmisellä on vaikeuksia määrittellä ajoneuvoille optimaalista tehtäväluetteloa, reittiä ja aikataulua. Vasta viime aikoina on useissa Euroopan maissa noussut enemmän mielenkiintoa tutkimushankkeiden kohdistamiseen kunnallisan logististen operaatioiden tehostamiseen. On arvioitu, että tietokoneavusteinen optimointi sisältää suurimman, vielä käyttämättömän potentiaalilin kuljetusten tehokkuuden lisäämiseen niin kunnalliselalla kuin yleensäkin.

3. Lyhyt johdatus kuljetusten optimointiin

Optimoinnilla viitataan yleensä parhaimman ratkaisun tai toimintaperiaatteen etsimiseen ja löytämiseen. Tiekuljetusten yhteydessä optimoinnilla on luultavasti merkittävämpi rooli kuin minkään muun sovelluksen yhteydessä. Valitsemalla optimaalisin eli paras tai tehokkain mahdollinen toimintatapa on mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä. Säästöt eivät ole pelkästään rahallisia, vaan myös mm. ympäristökuormituksen pieneneminen, ruuhkien väheneminen ja liikenneturvallisuuden paraneminen ovat merkittäviä etuja. Käytännössä logististen operaatioiden optimointi on ainoa tapa säilyttää Suomen kilpailukyky tulevaisuudessa. Tämä koskee yhtä lailla myös kuntasektoria.

Kysymys ei kuitenkaan ole pelkästään päätöksestä hyödyntää optimointia, ja sopivien teknisten apuvälineiden valinnasta. Tiekuljetusten optimointi on matemaattisesta näkökulmasta erittäin vaikea ongelma. Monissa sovelluksissa mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja on enemmän kuin atomeja

maailmankaikkeudessa. On selvää, että niiden kaikkien läpikäynti ja siten optimaalisen ratkaisun löytäminen on mahdotonta. Käytännössä on turvauduttava ns. heuristisiin optimointimenetelmiin, jotka erilaisilla älykkäillä säännöillä pyrkivät rajaamaan tarkasteltavien ratkaisujen määrää ja siten löytämään lähellä optimia olevan ratkaisun mahdollisimman nopeasti. Näiden heurististen algoritmien kehittäminen todella suurilla ja monimutkaisilla käytännön ongelmia varten on erittäin haastava ja vaikea tutkimusaihe, mutta samalla yksi tärkeimmistä kuviteltavissa olevista tutkimusaiheista valtavan käytännön merkityksensä vuoksi. Jo 1%:n säästötkin olisivat merkitykseltään valtavia, ottaen huomioon, että kuntien käyttökustannusten suuruusluokka on lähes 30 miljardia euroa vuodessa, puhumattakaan 10-30% säästöistä, jotka ovat optimoinnilla mahdollisia useissa kunnallisan sovelluksissa.

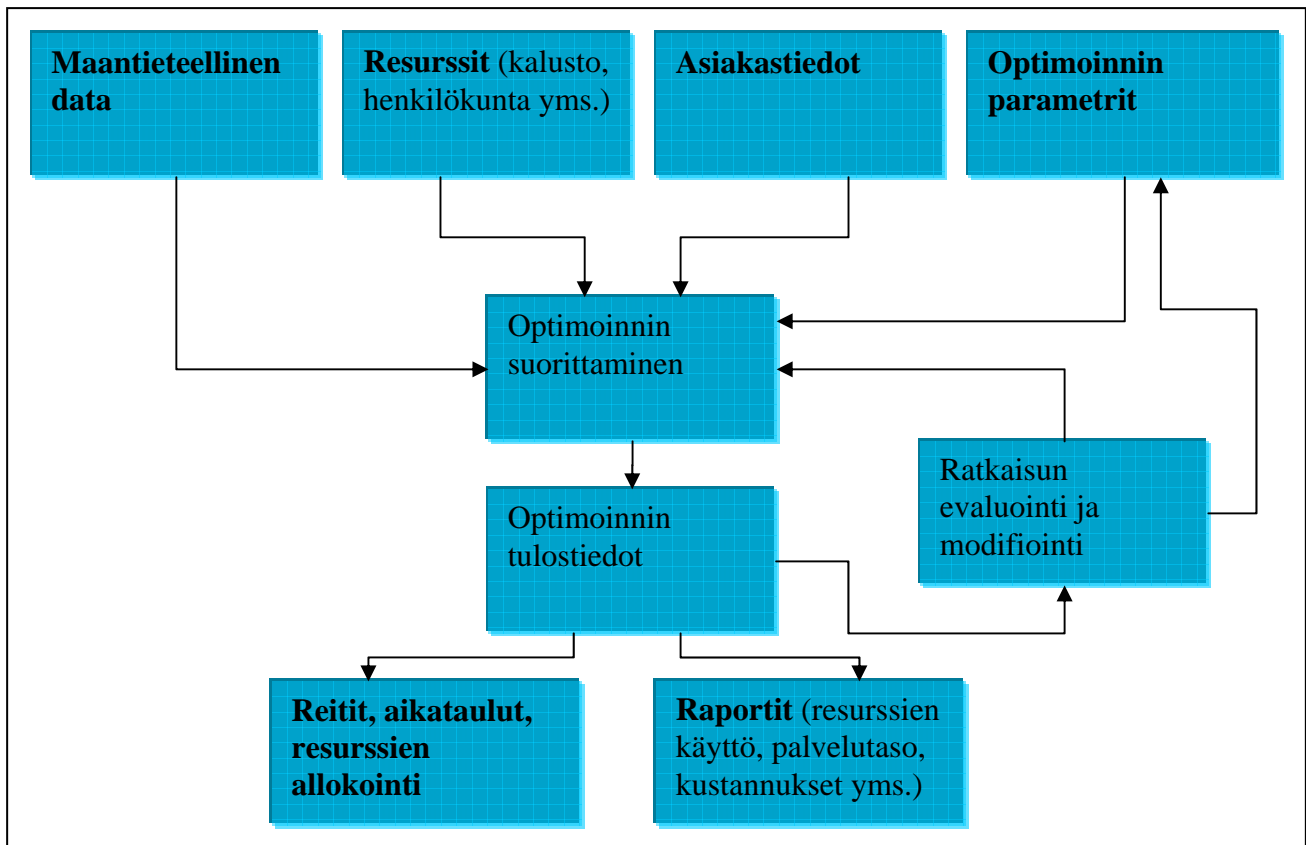
Tarkemmin heuristiset optimointimenetelmät jaetaan yleensä ns. rakentamis-, parantamis-, ja metaheuristisiin menetelmiin. Rakentamismenetelmissä idea on rakentaa ratkaisu alusta alkaen vaihe vaiheelta, käyttäen erilaisia ”ahneita” sääntöjä. Esimerkkinä mainittakoon ns. lähin naapuri menetelmä, joka sijoittaa aina reitin loppuun pisteen joka on lähimpänä edellisenä sijoitettua pistettä. Yleensä rakentamismenetelmillä saadut ratkaisut ovat 30-50% optimista. Saatua tuloksia on mahdollista parantaa parantamismenetelmillä. Niissä ideana on tyypillisesti pienten lokaalien muutosten tekeminen ratkaisuihin. Esimerkiksi ns. vaihto operaattori valitsee kaksi reittiä ja niistä kaksi pistettä ja vaihtaa ne keskenään, kokeillen kaikkia mahdollisia kombinaatioita. Vaihto tehdään vain jos se parantaa ratkaisua. Parantamismenetelmilläkin jäädään usein yli 10%:n päähän optimista. Ongelmana on ns. lokaaliin minimiin kiinnijääminen. Eli saadaan ratkaisu, joka ei ole optimaalinen, mutta jota menetelmä ei kykene parantamaan. Asian korjaamiseksi viimeisen 20 vuoden aikana huomattava osa tutkimusta on keskittynyt ns. metaheuristisiin menetelmiin, joissa ideana on erilaisten ohjaussääntöjen avulla ohjata rakentamis- ja parantamismenetelmiä ja saada siten parempia ratkaisuja. Yksi tyypillinen strategia on ratkaisua huonontavien siirtojen hyväksyminen tiettyjen ehtojen vallitessa. Metaheurististen menetelmien ongelmana on tyypillisesti niiden hitaus. Ne ovat liian hitaita soveltuakseen esimerkiksi kompleksisiin kunnallisan ongelmiin.

Tässä raportissa keskitytään ns. kaluston³ reitioptimointiin, jonka avulla on mallinnettavissa käytännössä kaikki kunnallisan kuljetus- ja palvelusovellukset. Kaluston reititysoptimoinnissa pyritään määrittämään optimireitit ja aikataulu, sekä kalusto eri kohteiden välillä erilaisia

³ Kalusto voi viitata ajoneuvojen sijasta myös esimerkiksi palveluja tarjoaviin työntekijöihin.

kuljetustehtäviä ja kiertäviä palveluja varten. Kaluston reititysoptimointi on lähellä kahta muuta tunnettua ongelma-aluetta: lyhimmän polun ongelmia ja kauppamatkustajan ongelmaa. Lyhimmän polun ongelmissa tavoitteena on löytää lyhin tai jollain muulla kriteerillä optimaalisin reitti annetun kahden pisteen välillä. Kaluston reitinoptimoinnissa tavoite on sen sijaan määrittää, että millainen ajoneuvo käy kunkin kohdepisteen luona, missä järjestyksessä ja mihin aikaan. Lyhimmän polun ongelma on kaluston reititysoptimoinnin osaongelma, jota tarvitaan määrittäessä reittejä kunkin annetun pisteen välillä. Kauppamatkustajan ongelmassa tavoite on puolestaan määrittää ainoastaan optimaalinen järjestys annetulle joukolle pisteitä, ei jakaa pisteitä eri ajoneuvojen kesken tai määrittää ajoneuvon tyyppiä. Käytännössä kaluston reititysoptimointiongelmat ovat huomattavan vaikeita, käsittäen lukuisia eri tavoitteita ja rajoitteita. Esimerkkeinä rajoitteista mainittakoon ajoneuvojen kapasiteetti, reittien maksimipituus, kuljettajien maksimityöaika, aikarajat joiden sisällä tuote on toimitettava perille, erilaiset toimitus- tai keräyspisteiden palvelujärjestystä rajoittavat tekijät ja yhteensopimattomuudet toimituspisteen ja ajoneuvon välillä.

Kuljetusten suunnittelua ja hallintaa varten on ollut jo pitkään saatavilla erityyppisiä suunnittelua avustavia työkaluja, jotka esimerkiksi graafisen näytön avulla helpottavat suunnittelijan työtä. Näissä työkaluissa varsinaisen suunnittelutyön tekee kuitenkin ihminen. Reitinoptimointiohjelmistoissa sitä vastoin lähtökohtana ovat ongelman määrittävät syöttötiedot, joiden pohjalta ohjelmisto muodostaa ratkaisun ja monipuoliset tulosraportit automaattisesti. Tämä toimintamalli on esitetty kuviossa 1. Käyttäjällä on mahdollisuus muokata ratkaisua halutessaan, esimerkiksi optimoida vain osa ongelmasta, mutta yleensä nykyohjelmistoissa lähtökohtana on pieni tarve käyttäjän vuorovaikutukseen.



Kuva 1. Reitinoptimointiohjelmisto muodostaa ratkaisun syöttötietojen pohjalta automaattisesti

Suomessa on käytössä varsin hyviä ja ajantasaisia maantieteellisiä data-aineistoja tieverkosta ja nopeusrajoituksista sekä kattava osoiterekisteri. Tulevaisuudessa on yhä enemmän tarvetta myös liikennevirtojen analyysien kautta luotaviin reaali-aikaisiin nopeus- ja ruuhkatietoihin kullakin tiesegmentillä matka-aikojen arvioimiseksi luotettavammin. Resurssit voidaan joko määrittää lähtötietona, esimerkiksi käytettävissä olevien ajoneuvojen ja toimipisteiden määrän ja tyyppin, ja kuljettajien määrän mukaan, tai ohjelmistolla laskemalla optimaalinen resurssien määrä ja tyyppi. Asiakastiedoista on tärkeä määrittää mm. asiakkaan sijainti, palvelun laatu (haku, toimitus, huoltopalvelu tms.), tuotteen määrä ja tyyppi, toivomukset tai vaatimukset palvelun ajankohdan suhteen, kuljetuksen tärkeysaste ja mahdolliset vaatimukset käytettävän kaluston ja henkilökunnan suhteen. Juuri nämä asiakastiedot ovat se tärkein kunnilta tarvittava tieto, jotka pitäisi pystyä keräämään mahdollisimman luotettavasti ja tarkasti. Toinen tärkeä tieto on luonnollisesti nykyinen toimintatapa, ja sitä vastaavat kustannukset optimoinnin hyötyjen todentamiseksi.

Tyypillisiä optimoinnin parametreja ovat optimointikriteeri (matka, aika, kustannukset, täyttöaste jne.) etäisyys- ja nopeusyksiköt, ajajien työvuorojen ja taukojen pituudet, tunti- ja ylityökorvaukset,

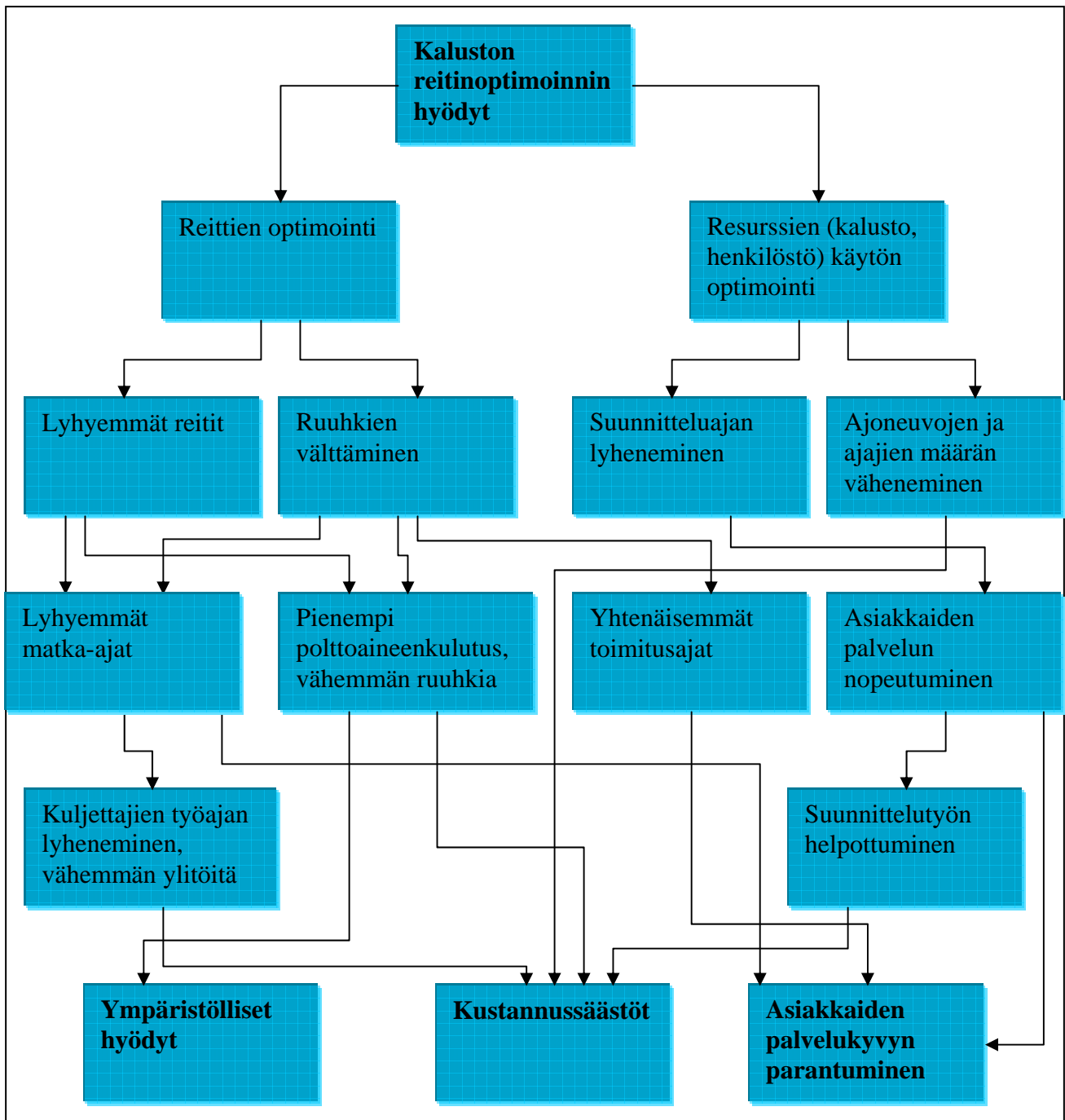
varastojen, varikkojen, terminaalien yms. aukioloajat, suunnitteluperiodin pituus, työpäivien alkamis- ja päättymisaajat ja mahdolliset optimointialgoritmeille annetut parametrit, kuten esimerkiksi laskenta-ajan maksimipituus. Itse optimointi tapahtuu käyttäjistä riippumatta yleensä useassa vaiheessa ja useita eri algoritmeja hyödyntäen.

Reitinoptimointiohjelmistojen suoritusajat vaihtelevat valtavasti ohjelmistosta, ongelman koosta ja ratkaisun halutusta hyvyydestä riippuen. Mitä kauemmin ohjelmalle annetaan suoritusaikaa, sitä parempi saatu ratkaisu yleensä on. Eri ohjelmistojen välillä on kuitenkin yleensä huomattavia eroja niiden tuottamien ratkaisujen hyvyydessä.

Nykyohjelmistot kykenevät tuottamaan monentyyppisiä raportteja ja graafisia esityksiä saadusta ratkaisusta. Itse reitit aikatauluineen esitetään yleisesti graafisesti digitaalisella karttapohjalla. Sen lisäksi luodaan yksityiskohtaiset tehtäväluettelot, ajo- lastaus- ja purkuohjeet, ja erityyppisiä yhteenvetoraportteja mm. kustannuksista, käytetystä ajasta, ylitöistä, ajetusta matkasta, käytetyistä ajoneuvoista ja kuljettajista, resurssien käytön tehokkuudesta, palvelun luotettavuudesta jne. Yleensä käyttäjä voi vaikuttaa paljon esitettävien raporttien määrään, tyyppiin ja ulkoasuun, sekä muokata niitä halutessaan.

4. Optimoinnin hyödyt

Optimoimalla resurssien käytön ja ajatut reitit, optimointiohjelmistot mahdollistavat monentyyppisiä hyötyjä ja säästöjä kuten kuva 2 osoittaa. Kuntien kannalta merkittävin hyöty on usein varmasti kustannussäästöt. Saavutetuista kustannussäästöistä on olemassa lukemattomia raportteja, selvityksiä ja tieteellisiä tutkimuksia. Prosentuaalisesti raportoidut kustannussäästöt vaihtelevat yleensä 5%–60% välillä.



Kuva 2. Optimoinnilla saavutettavat hyödyt.

Kustannussäästöt koostuvat useasta eri tekijästä. Tärkein näistä on yleensä ajetun kokonaismatkan lyhentäminen, mikä puolestaan pienentää polttoainekustannuksia, kaluston käyttöä ja kulumista, kuljettajien työaikaa, ja joskus tarvittavien ajoneuvojen ja kuljettajien määrää. Merkittäviä kustannussäästöjen aiheuttajia ovat myös tarvittavan suunnittelutyön ja hallinnon kustannusten pienentyminen, ylitöiden vähentyminen ja ajoneuvojen käyttöasteen parantuminen.

Kustannussäästöjen lisäksi reitinoptimoinnilla voidaan merkittävästi vähentää ympäristön kuormitusta ja saavuttaa myös erilaisia laadullisia hyötyjä mm. asiakkaiden palvelukyvyn parantumisena.

Kuljetusten määrän lisääntyessä paineet ympäristötekijöiden huomioonottamiseksi kuljetuksissa kasvavat jatkuvasti. On selvää, että merkittävin mahdollisuus pienentää ympäristökuormitusta (ja myös kuljetuskustannuksia) on jo suunnitteluvaiheessa, ennen kuin kilometriäkään on ajettu. Kuljetus, jota ei tarvitse tehdä, on varmasti ympäristön kannalta edullisempi kuin kuljetus, joka tehdään ympäristöystävällisimmällä teoreettisesti mahdollisella tavalla ja kalustolla. Kuljetusten optimoinnilla onkin mahdollista merkittävästi vähentää kuljetussuoritteiden kokonaismäärää ja tätä kautta pakokaasupäästöjä, meluhaittoja ja ruuhkia. Optimoinnilla on mahdollista tuottaa yksilöllisempää ja luotettavampaa palvelua asiakkaille, reagoida nopeammin asiakkaiden toiveisiin, vähentää inhimillisiä virheitä, mahdollistaa parempi informaation kulku ja läpinäkyvyys toimitusketjussa, parantaa kuljettajien työskentelyolosuhteita mm. yhtenäistäen ja tasapuolistaen työaikoja. Myös työntekijöiden erilaiset muut toiveet on mahdollista ottaa huomioon entistä paremmin, mikä lisää viihtyvyyttä työssä. Optimointiohjelmistoilla on mahdollista tehdä monipuolisia analyysejä ja testilla erityyppisiä ”mitä-jos” vaihtoehtoisia skenaarioita, visualisoida ratkaisut ja muutosten vaikutukset, tuottaa yksityiskohtaiset ajo- ja työskentelyohjeet sekä erityyppisiä suunnittelua ja päätöksentekoa helpottavia raportteja. Kuljetusten optimoinnin hyötyjä on käsitelty tarkemmin mm. tutkimushankkeen puitteissa kirjoitetussa artikkelissa [2].

5. Kaupalliset optimointiohjelmat

Markkinoilla on saatavilla kansainvälisesti yli 100 kuljetusten ja palvelujen suunnittelun optimointiin soveltuvaa ohjelmaa. Myös Suomesta löytyy useita ohjelmistojen toimittajia. Tarkemman maantieteellisen datan ja jatkuvan kehitystyön ja tutkimuksen tuloksena nämä ohjelmat ovat kehittyneet huomasti viime vuosina, ja tarjoavat moneen tilanteeseen kunnallisalallakin käyttökelpoisen ratkaisun, kuten voidaan todeta kappaleessa 7 esitetyistä case-tutkimuksista. Toisaalta, ohjelmien hinnoittelussa, ominaisuuksissa, tuotetuessa ja ennen kaikkea suorituskyvyssä eri ongelmien optimoinnin suhteen on huomattavia eroja. Näitä ohjelmia ja niiden ominaisuuksia esitellään tarkemmin mm. viitteessä [21].

Tyypillisesti alan huippuohjelmat kykenevät optimoimaan kuljetuksia niin reaaliajassa kuin pidempää useita päiviä, viikkoja tai kuukausia kestävästä periodista varten, määrittellen optimaalisen

kuljetuksen tai palvelun ajoituksen. Ohjelmat osaavat luonnollisesti optimoida myös käytettävien kulkuneuvojen tyypit, kulkuneuvojen ja työntekijöiden määrät, ja erilaisten varastojen ja toimipisteiden sijainnit, samoin kuin maantieteelliset palvelukokonaisuudet. Ohjelmat on mahdollista integroida suoraan käytössä olevaan tietojärjestelmään rajapintojen kautta, ja ne osaavat myös käsitellä tietoa suoraan esimerkiksi tietokannoista, Excel-tiedostoista ja perus tekstitiedostoista. Ohjelmissa on mahdollista käyttää erilaisia realistisia Suomen karttapohjia yksityiskohtaisine katu- ja osoiterekistereineen. Ohjelmistoissa on myös usein automaattinen osoitteidenkorjausmekanismi, esim. kirjoitusvirheiden käsittelemiseksi ja ne on mahdollista yhdistää ajoneuvotietokoneiden, kämmentietokoneiden tai älypuhelinien kanssa tiedon välittämistä ja ohjausta varten. Samalla työsuoritteiden etenemistä on mahdollista seurata reaaliajassa. Mainittakoon, että tieverkkoa on mahdollista säätää myös käsin ja esimerkiksi sulkea teitä pois käytöstä väliaikaisesti.

Työsuoritteen tyyppi voi vaihdella palvelusta jakeluun, keräykseen tai näiden yhdistelmiin. Kutakin asiakasta varten on mahdollista määrittää juuri tätä asiakasta koskevat erityisominaisuudet, vaatimukset ajoneuvon ja työntekijän suhteen, ja kustannukset eri palvelun osatekijöille samoin kuin palvelematta jättämiselle. Eri asiakkaiden välisiä prioriteetteja on mahdollista säädellä tarvittaessa reaaliaikaisesti. Kunkin asiakkaan luona tarvittava pysähdysaika on mahdollista räätälöidä yksilöllisesti eri asioista riippuvien tekijöiden funktiona. Asiakaskäynnin ajoitukselle on myös mahdollista määrittää yksi tai useita vaihtoehtoisia aikaikkunoita, joita voi tai ei voi rikkoa määriteltyjen sakkokertoimien mukaisesti (riippuen halutusta palvelun luotettavuustasosta). Preferoitujen aikaikkunoiden lisäksi on mahdollista määrittää erikseen esimerkiksi aukioloajat tai mahdolliset käyntiajat esim. talo tai aluekohtaisesti. Asiakkaalle on myös mahdollista määrittää erikseen eri osoite sisäänkäynnille kuin annettu postiosoite on ja kutakin asiakasta varten voidaan määrittää mitä tahansa lisätietoja, jotka voidaan välittää työntekijän ohjeistamiseksi.

Vastaavasti kuljettajille/työntekijöille sekä ajoneuvoille voidaan määrittää erilaisia ominaisuuksia, aikaikkunoita, kustannuksia, töiden aloitus- ja lopetuspaikat, reittien määrä per päivä ym. Ajoneuvojen osalta on esimerkiksi erikseen mahdollista määrittää mahdollisen perävaunun tai lisälaitteen käyttö ja esimerkiksi kuormatilan jakamisen erillisiin lokeroihin. Yksittäinen asiakaskäynti tai tehtävä on myös mahdollista jakaa optimaalisesti eri osiin, joista pitää huolen eri työntekijät. Ajoneuvoille tai määritellyille kulkuvälinetyypeille on mahdollista määrittää omat erityisnopeutensa kullakin tietyyppillä, ja esimerkiksi ruuhka-aikoina tai yöaikaan tai teiden

ulkopuolisilla alueilla. Eri kuljetuksia on myös mahdollista yhdistellä ja ketjuttaa esimerkiksi terminaalien kautta.

Optimoinnin tavoite on myös määriteltävissä varsin vapaasti, ja voi kustannusten minimoinnin lisäksi sisältää esimerkiksi työntekijöiden työmäärän tasapainoisuuden. Tulokset voidaan esittää graafisesti näytöllä, Gantt-taulukoina, erilaisina yksityiskohtaisina raporteina tai esim. palvelun kulkua ajallisesti kunkin päivän sisällä kuvaavana videona tai ne voidaan välittää suoraan käytössä olevaan tietojärjestelmään.

6. Kunnallisan sovellusten haasteet ja mahdollisuudet

Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin eri kunnallisten sovellusten optimointikohteita ja haasteita sekä huomioonotettavia tekijöitä. Yleensä ottaen optimointimenetelmien soveltamisen ja tutkimus kunnallisalalla on hyvin vähäistä. Tutkimuksen näkökulmasta kunnallisalalla on useita erittäin merkittäviä ja mielenkiintoisia sovelluksia, jotka asettavat optimointimenetelmille todellisia haasteita suuren kokonsa, ja useiden eri tekijöiden, tavoitteiden, epävarmuuden ja inhimillisten tekijöiden huomioonottamisen vuoksi. Tutkimuksen ajankohtaisuutta korostaa useat meneillään olevat palvelujen uudistamisprosessit ja kuntaliitokset, verkostokaupunkihankkeet sekä yksityisten palveluntarjoajien ketjuuntuminen ym., jotka kaikki myös lisäävät suunnittelutehtävien kompleksisuutta niin manuaalisen suunnittelun kuin automaattisen optimoinnin näkökulmasta.

6.1. Katujen kunnossapito

Katujen kunnossapito on optimoinnin näkökulmasta todennäköisesti merkittävin tarkastelluista sovellusalueista. Se voidaan jakaa kesä- ja talvikunnossapitoon. Tutkimuksen päähuomio keskittyy talvikunnossapitoon, joka koostuu lumenaurauksesta, lumen poiskuljettamisesta ja erilaisten materiaalien levittämisestä (hiekkä, suola, ja erilaiset kemikaalit) teille.

Talvikunnossapidon tekee optimoinnin kannalta haasteelliseksi paitsi ongelmien suuri koko (paljon kalustoa ja aurattavia teitä ja alueita) myös sen dynaamisuus (tehtäviä vaikea ennakoida) ja lukuiset erityyppiset tehtävät ja huomioonotettavat asiat. Samat asiat tekevät toisaalta myös käsin suunnittelun vaikeaksi ja lisäävät oikeiden eli optimaalisten ratkaisujen merkitystä. Esimerkiksi Helsingissä puhtaana pidettävä alue koostuu n. 2000 hehtaarista ja n. 5000 kadusta. Kunnossapidon kokonaisbudjetti on Helsingissä n. 33 miljoonaa euroa.

Suunnittelussa huomioon otettavista tekijöistä mainittakoon mm. teiden prioriteetti-alueet (jotka pitää olla aurattuna määriteltyihin aikoihin mennessä), lämpötila, lumen määrä ja tyyppi (vaikuttavat kalustoon ja tehtävään operaatioon), työaikasäännökset ja erilaiset vaihtoehtoiset lastaus- ja purkupaikat esim. suolalle ja hiekalle ja lumelle, sekä tauko- ja huoltovarikot, ajoneuvojen erilaiset ominaisuudet ja varusteet ja kääntymisten välttäminen sekä useilla ajoneuvoilla yhtä aikaa suoritettavat operaatiot. Yhdessä nämä tekijät muodostavat erittäin kompleksisen optimointitehtävän.

Suunnittelun helpottamiseksi, käytännössä kaupungit on usein jaettu erillisiin kunnossapitoalueisiin, joiden operaatiot suunnitellaan erikseen. Kuten myöhemmin tässä raportissa tullaan osoittamaan tämä, samoin kuin siihen perustuva sokea ulkoistaminen ovat harvoin optimaalisia strategioita.

Nykyisillä optimointimenetelmillä tätä kokonaisuutta on tuskin mahdollista käsitellä jakamatta sitä osiin. Potentiaalisia optimoinnin kohteita ovat mm. urakka-alueiden suunnittelu, optimaalisen kaluston määrän ja tyyppien määrittäminen, reittien ja aikataulujen määrittäminen kalustolle ja suola- ja suolasiilojen, huoltovarikoiden ja lumenkaatopaikkojen sijainnin ja koon optimointi.

Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa optimoinnilla on osoitettu saatavan varsin huomattavia säästöjä. Esimerkiksi Perrier ym. [17-20] survey-tutkimuksissa viitataan useisiin optimoinnin case-tutkimuksiin, joissa säästöjä on saatu niin tarvittavan kaluston määrässä kuin niiden ajamassa matkassa, vaihdellen 3%:n ja 96%:n välillä. Nykyisin käytössä olevilla ajoneuvotietokoneilla ja tietoliikennetekniikalla ajoneuvoihin on mahdollista myös välittää tarkkoja toimintaohjeita erikoistilanteita yms. varten, mikä pienentää nykyistä ajajien kokemuksen kriittisyyttä tehtävien hoidossa ja lisää joustavuutta.

6.2. Kotihoitopalvelut

Kotihoitopalvelut voidaan jakaa kotipalveluun ja kotisairaanhoidon. Yhdessä ne muodostavat rahamääräisesti erittäin merkittävän sovellusalueen. Esimerkiksi Helsingissä vuosibudjetti on n. 76.5 miljoonaa euroa ja palvelun piirissä on 1700 hoitajaa ja n. 15 000 asiakasta. Kotipalvelu käsittää erilaisia avustustehtäviä, kuten ruoanlaitossa tai pukeutumisessa avustaminen, siivous, pyykinpesu, asioilla käynti ym. Kotisairaanhoidon puolestaan sisältää mm. hoitotoimenpiteitä sekä näytteiden ja kokeiden ottoa. Varsin vaativaakin sairaanhoitoa voidaan toteuttaa kotona.

Kotipalvelun ja kotisairaanhoidon toteuttamisesta vastaavat eri tavoin koulutetut hoitajat, ja osa palveluista annetaan erillisissä päiväkeskuksissa, joihin vanhuksia voidaan kuljettaa.

Tyypillisesti kotihoitopalvelut on suuremmissa kaupungeissa jaettu erillisiin alueisiin (esimerkiksi Tampereella kuusi aluetta) ja alueiden sisällä vielä tiimeihin. Tiimien sisällä pyritään vielä siihen, että sama hoitaja hoitaa samoja asiakkaita. Asiakkaiden luona käyntien määrä, tiheys ja ajankohdat määritellään hoitosuunnitelmaa laadittaessa, ja ne voivat vaihdella tapauksesta riippuen huomattavasti. Eri hoitajilla voi olla erityistaitoja, jotka pitää ottaa huomioon, samoin kuin se, että joskus palvelun suorittamiseen tarvitaan useampi hoitaja.

Kotipalvelua toteutetaan yleensä useassa vuorossa, ja hätätilanteita varten on mm. erillinen yöpartio. Kotisairaanhoidon sijaan on tyypillisesti päivätyötä, joka jakaantuu aamu- ja iltapäivävuoroon. Esimerkiksi Jyväskylässä kotisairaanhoidon on kuitenkin mahdollista saada myös öisin ja viikonloppuisin. Hoitajat käyttävät kulkemiseen erilaisia ajoneuvoja tilanteesta riippuen, vaihdellen jalkaisin kulkemisesta pyörään, julkisiin ja henkilöautoon, mikä myös pitää ottaa suunnittelussa huomioon.

Optimoinnin näkökulmasta suunnittelutehtävän hankaluus riippuu määrittelystä. Jos keskitytään vain optimoimaan käyntijärjestykset eri asiakkaiden luona annettuina päivinä ja määriteltynä kellonaikoina, kyseessä on helppo tehtävä, johon soveltuu mikä tahansa ohjelma. Sen sijaan, jos alue- ja tiimirajat halutaan määrittää optimaalisesti uudelleen, ja jos samalla määritellään optimaalisesti hoitotarpeiden kanssa yhteensopivat käyntipäivät ja -ajat kaikille hoitajille ja asiakkaille samanaikaisesti, päädytään erittäin kompleksiseen optimointitehtävään. Tämä edellyttää tehokkaiden optimointimenetelmien käyttöä, vaikuttaen samalla dramaattisesti palvelun tehokkuuteen, kuten kappaleessa 7 osoitetaan.

Kotihoitoa varten on saatavilla useita räätälöityjäkin kaupallisia ohjelmistoja, kuten LAPSCARE, SCHEDULER ja ClickSchedule. Ne mallintavat itse kotihoidon ongelmakentän varsin tarkasti, mutta eivät sovellu kuntien muihin suunnittelutehtäviin. Esimerkiksi LAPSCARE:lla on osoitettu Ruotsissa tehdyssä case-tutkimuksessa 7% säästöt kokonaiskustannuksissa ja 20% kuljetuskustannuksissa, kts. viite [9].

Oleellinen osa kotihoitopalveluja on lounasaterioiden kuljetukset vanhusten kotiin. Ideana on tyypillisesti, että keskuskeittiössä valmistettuja aterioita viedään valmiiksi pakattuna vanhusten

koteihin lounasaikana, eli 10 ja 13.30 välillä. Sen lisäksi on suositus, että yksittäisen aterian kuljetus keittiöltä asiakkaalle saa kestää korkeintaan kaksi tuntia, ettei ruoka jäähdy matkalla. Suuntaus on kuitenkin siihen, että ruoka voidaan toimittaa kylmänä ja lämmittää uudelleen asiakkaan kotona. Tätä tukee se, että ateriapalvelun piirissä olevat vanhukset saavat usein myös kotihoitopalvelua. Aterioita kuljettavia autoja on suuremmissa kaupungeissa varsin huomattava määrä. Esimerkiksi Jyväskylässä käytössä on 9 autoa päivittäin, jotka palvelevat keskimäärin 279 asiakasta päivässä. Kuukaudessa aterioita toimitetaan keskimäärin 7900. Kaikkien autojen lastaaminen samanaikaisesti ei ole mahdollista, vaan tarvitaan lähtöaikojen porrastus keittiöltä. Asiaa monimutkaistaa vielä se, että toimitusaikarajojen vuoksi on usein tarpeen, että kukin jakeluauto tekee useamman kuin yhden jakelureitin keittiöltä. Toisaalta, esim. Jyväskylässä käytössä on ns. kestopakkaukset, jotka kuljettaja ottaa aina välittömästi mukaan aterian toimituksen jälkeen ja palauttaa reitin päätteeksi keittiölle. Ottaen huomioon, että ateriakuljetukset on tyypillisesti ulkoistettu yksityisille toimijoille, jotka voivat jatkaa muita toimeksiantoja ateriakuljetusten jälkeen, palautukset keittiölle lisäävät heidän ajankäyttöään ja kulkemaansa matkaa. Toimituksen yhteydessä kuljettaja voi auttaa asiakasta ruokailun aloittamisessa, lääkkeiden ottamisessa ym. Tästä seuraa, että yksittäiset toimitusajat asiakkaille muodostavat huomattavan osan ajankäytöstä (yli 60%), kts. viite [1]. Tavoitteena voidaan pitää paitsi tarvittavien jakeluautojen määrän minimointia, myös niiden ajaman matkan minimointia. Optimointimenetelmillä on mahdollista määrittää optimaaliset reitit ja aikataulut, käytettävän kaluston määrä ja tyypit, ja tarvittaessa reaaliaikaisesti uudelleen jakaa tehtäviä. Tätä kautta muodostuu myös automaattisesti tehtävien jako ilman tarvetta jakaa kaupunkia alueisiin manuaalisesti. Kokonaisuutena kyseessä on varsin haasteellinen kokonaisuus. Optimoinnin hyötyjä demonstroidaan Jyväskylässä tehdyn case-tutkimuksen pohjalta kappaleessa 7.

6.3. Jätteiden keräys

Jätteiden keräyksestä huolehtiminen on kuntien vastuulla, mutta tyypillisesti ulkoistettu yksityisille palveluntarjoajille. Ulkoistamisesta huolimatta keräysoperaatioiden optimointi on relevanttia kunnille ja kuntayhtymille. Ensinnäkin optimointi antaa eräänlaisen kustannusmittarin, jota vasten tehtyjä tarjouksia voi verrata. Toisaalta, kunta voi velvoittaa ulkoisen palveluntarjoajan käyttämään valitsemaansa optimointityökalua tehokkuuden ja palvelun laadun takaamiseksi.

Yleensä ottaen jätteiden keräys on suunnittelun ja optimoinnin näkökulmasta kunnallisalan ongelmista selkeästi vaikein. Erityisenä hankaluutena on ongelmien suuri koko ja tarve päivittäisten reittien lisäksi määrittää keräyspäivät kullekin asiakkaalle. Suuremmissa kaupungeissa on

Suomessakin kymmeniä tuhansia jäteastioita, ja Helsingin seudulla jopa yli sata tuhatta. Esimerkiksi kuukauden suunnitteluperiodin aikana monet astioista pitää tyhjentää useaan kertaan, moninkertaistaen käyntien määrän ja siten ongelman koon. Näin suurissa ongelmissa nykyisistä tietokoneista loppuu jo muistikin kesken, puhumattakaan siitä, että optimointi olisi mahdollista standardimenetelmillä riittävän nopeassa ajassa. Käytännössä saatavilla olevat kaupalliset ohjelmat perustuvat kaupunkien käsittelyyn pienempinä osina urakka-alueiden mukaisesti ja toisaalta kunkin kadunpätkän astioiden käsittelyyn yhtenä kokonaisuutena, mitkä pienentävät ongelman kokoa huomattavasti, mutta toisaalta estävät löytämästä todellista optimia ja soveltamasta tarkempaa asiakaskohtaista palvelua. Hankaluudeksi tulevat myös erilaiset jätelajit ja erikokoiset astiat erilaisine keruutiheyksineen. Näitä aihepiirejä käsitellään viitteessä [15].

Edellä mainittujen lisäksi jätteiden keräyksen haasteena on vaihteleva, yhä useammin monilokeroinen kalusto, ja toisaalta vaihtelevat tyhjennyspaikat jätetyypistä riippuen. Erillisellä puntareilla varustetut autot ovat myös suunnittelun kannalta erityisen hankalia, koska ne voivat ajaa vapaasti eri urakka-alueilla. Toisaalta, niiden kautta on todennäköisesti mahdollista löytää tehokkaampi toimintatapa. Monesti tietyt keruutehtävät vaativat autoon erityisvarusteita. Jätteiden keräykselle voi olla myös määritettyä tietyt aikaikkunat. Myös mm. työaikasäännökset ja epävarmuus jätteiden määrästä astioissa vaikeuttaa suunnittelua.

Tarvetta optimointityökalujen käyttöön jätteidenkeräyksessä puoltaa aiemmin tehdyt case-tutkimukset, joiden mukaan optimoinnilla on mahdollista saada huomattavia säästöjä käsin tehtyihin suunnitelmiin verrattuna. Esimerkiksi Kuopion ja Jyväskylän yliopistojen yhteistyössä tehdyssä case-tutkimuksessa saatiin 44% säästöt Pieksämäen alueella, kts. viite [15]. Vastaavia säästöjä on raportoitu useissa muissakin tutkimuksissa, kts. viite [12].

Optimointia voi reittien ja keruuaikataulujen suunnittelun lisäksi käyttää mm. kaluston määrän ja tyyppin määrittämisessä ja urakka-alueiden määrittämisestä, käsittelypaikkojen tai esim. jätteidenpolttolaitosten sijoittelussa. Optimoinnilla on myös mahdollista esim. todentaa esim. kuntien välisellä yhteistyöllä saatavat hyödyt.

6.4. Vanhusten kuljetukset

Erilaisten vanhusten kuljetuspalvelut voidaan kotihoidon ohella mieltää osana kotona asumista tukevia palveluja, jonka roolin voi ennakoida kasvavan tulevaisuudessa väestön ikääntymisen myötä. Vanhusten kuljetuspalvelut voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin:

1. Kiinteitä reittejä ja aikatauluja noudattavat palvelubussit
2. Asiakkaiden tilausten mukaisesti dynaamisesti palvelualueittain operoivat palvelubussit
3. Kuljetukset päiväkeskuksiin ja päiväsairaaloihin

Kahden ensimmäisen tarkoitus on ensisijaisesti taata vanhuksille pääsy peruspalveluihin, kuten kauppa, terveyskeskus, apteekki ja virastot, ja niitä sovelletaan vaihtoehtoisesti. Esimerkiksi Helsingissä ja Jyväskylässä on käytössä malli 1 (Jyväskylässä on käytössä myös malli 3) ja Tampereella malli 2. Jyväskylässä asiakkaita on n. 3000 kuukaudessa ja Tampereella n. 4500.

Kuljetusten suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon palvelun sopivuus asiakkaiden tarpeisiin, ajallinen täsmällisyys, palvelun yksilöllisyys, ja esimerkiksi erikuntoisten asiakkaiden priorisointi ja palvelutarpeen vaihtelevuus eri päivinä ja aikoina. Täten esimerkiksi sekä mallien 1 että 2 puitteissa voidaan poiketa reitiltä myös asiakkaiden kotiovelle. Määriteltyjen aikojen, reaaliaikaisuuden ja esimerkiksi pysähdysaikojen epävarmuuden vuoksi optimoinnin mahdollisuudet ovat rajalliset, ellei kuljetuksia tarkastella kokonaisuutena muidenkin kuljetusten (esim. koulukuljetukset) kanssa.

Optimoinnilla on mahdollista optimoida em. reittien ja aikataulujen lisäksi mm. käytettävä kalusto, pysäkkien optimaalinen määrä ja sijoittelu, toimintakustannukset eri palvelutasoilla (kuinka täsmällistä ja yksilöllistä palvelua halutaan) ja yhdistely muiden kuljetusten kanssa (esim. pidempää matkaa varten).

6.5. Koulukuljetukset

Tässä koulukuljetuksilla viitataan lähinnä ns. erityisoppilaiden kuljetuksiin. Esimerkiksi Jyväskylässä kuljetettavia oppilaita on. noin 250 ja Tampereella n. 800. Vuotuiset kustannukset esimerkiksi Jyväskylässä ovat n. 600 000 euroa.

Kuljetettavat oppilaat haetaan kotiosoitteista yleensä klo 8.00 ja 9.00 aikavälillä ja kuljetetaan kouluihin. Kuljetuksista huolehtivat yritykset hoitavat reitityksen itsenäisesti ja pyrkivät keräämään samaan kuljetukseen useampia kyyditettäviä. Koulupäivän päätteeksi oppilaat kuljetetaan klo

12.00-15.00 välisenä aikana joko kotiin tai iltapäivähoitoon. Tyypillisesti noin puolet kuljetettavista oppilaista kuljetetaan iltapäivähoitoon tai kerhoihin. Iltapäivätoiminta päättyy yleensä noin klo 17.00, jonka jälkeen oppilaat kuljetetaan erikseen sovittujen aikataulujen mukaan kotiin. Näiden matkojen kustannuksista vastaa sosiaali- ja terveystalokeskus. Opetustoimi vastaa vain kuljetuksista kotoa kouluun ja koulusta vaihtoehtoisesti kotiin tai iltapäivähoitoon. Valtaosa kuljetuksista tapahtuu kaupunkialueella. Poikkeuksen muodostavat ulkopaikkakuntalaisten kuljetukset erityiskouluihin lähikunnista. Kuljetuksia tehdään sekä pikkubusseilla että henkilöautoilla. Joidenkin oppilaiden kohdalla pitää ottaa huomioon erityispiirteitä, esim. pyörätuoli.

Optimoinnin rooli nousee merkittäväksi, jos tavoitteena on käsitellä kaikkien kaupungin tai kunnan koulujen kuljetuksia yhtenä kokonaisuutena ja yhdistellä eri koulujen kuljetuksia mahdollisimman tehokkaasti, niin että oppilaat saavat koulun alkamis- ja päättymisaikojen mukaisesti mahdollisimman toimivan kuljetuksen. Optimoinnilla on myös mahdollista määrittää esim. kouluaikojen porrastuksella saatavat edut. Aiemmissä tutkimuksissa on saatu huomattavia parannuksia mm. autojen käyttöasteeseen, tarvittavien reittien määrään ja ajalliseen täsmävytyteen. Myös kustannuksia on pystytty tyypillisesti pienentämään, kts. viite [12] ja seuraavassa kappaleessa esitetty case-tutkimus.

6.6. Muut sovellukset

Yksi merkittävä optimoinnin sovellusalue on kuntien materiaali- ja sisäpostikuljetukset, samoin kuin henkilökuljetukset kuntien sisällä ja esim. pyykkien ja ruokien kuljetukset eri toimipisteiden välillä. Näiden kuljetusten kokoluokka on tyypillisesti edellä mainittuja pienempi, päivittäisten käyntipaikkojen määrän ollessa 500-1000 luokkaa suuremmissa kaupungeissa. Osa kuljetuksista on mahdollista suunnitella etukäteen, mutta on myös paljon reaaliajassa tietoon tulevia kuljetuksia. Esimerkiksi Jyväskylässä em. operaatioiden vuosibudjetti on n. 350 000 euroa ja esimerkiksi Kuopion seudun HALO-yhteisön kuljetuskustannukset ovat n. 600 000 euroa.

Suuri osa kuljetuksista on luonteeltaan sellaisia, että kussakin pysähdyspaikassa sekä puretaan että lastataan tavaroita, ja monesti operaatiot on tehtävä tiettyjen aikataulujen mukaisesti. Käytössä on usein myös monilokeroisia autoja.

Hyvin useat erilaiset kuljetustyypit ja palvelutarpeet ja reaaliaikaiset kiireelliset kuljetukset ja tiukat aikataulurajat tekevät kokonaisuudesta vaikeasti hallittavan. Tästä vaikeudesta ja vakiintuneista toimintatavoista johtuen kuntien asiantuntijat tiedostavat itsekkin tehottomuutta toiminnoissa. Keskitetysti hallittu ja optimointiin perustuva järjestelmä mahdollistaisi paitsi eri kuljetusten tehokkaan yhdistämisen myös optimaalisen kaluston, reittien ja aikataulujen määrittämisen ja esimerkiksi varastotasojen optimaalisen määrän eri toimipaikoissa, varastojen optimaalisen sijoittamisen ja operaatioiden suunnittelun pidemmällä aikavälillä. Viitteen [11] mukaan kuntasektorin tavara- ja palveluhankintojen kokonaisarvo on lähes 37 % kuntien ulkoisista menoista. Niiden keskittämiselle suurempiin yksiköihin on vankat taloudelliset perusteet. Suuremmat toimintayksiköt antaisivat myös mahdollisuuden tietotekniikan parempaan hyödyntämiseen. Tällaisen todentamisessa on myös mahdollista käyttää optimointia. Kokonaisuutena tällainen optimointi voisi tarjota huomattavia etuja, vaikkakin aiempia akateemisia tutkimuksia aiheesta ei löytynyt.

Muista mahdollisista optimoinnin sovelluksista mainittakoon mm. seudullisten kirjastoverkostojen kirjastojen väliset lainamateriaali-kuljetukset, kuntayhtymien ja verkostokaupunkihankkeiden kautta saatavien mahdollisten säästöjen todentaminen, ja toisaalta tiiviimmän yritysyhteistyön kautta saatavat edut. Hätäkuljetuksien osalta optimointia voisi soveltaa esimerkiksi kiireettömien potilaskuljetusten ajoituksessa ja ohjauksessa, samoin kuin materiaalien, potilaiden ja henkilökunnan ohjauksessa sairaaloiden sisällä ja nopeimman reitin määrittämisessä hälytysajoneuvoille.

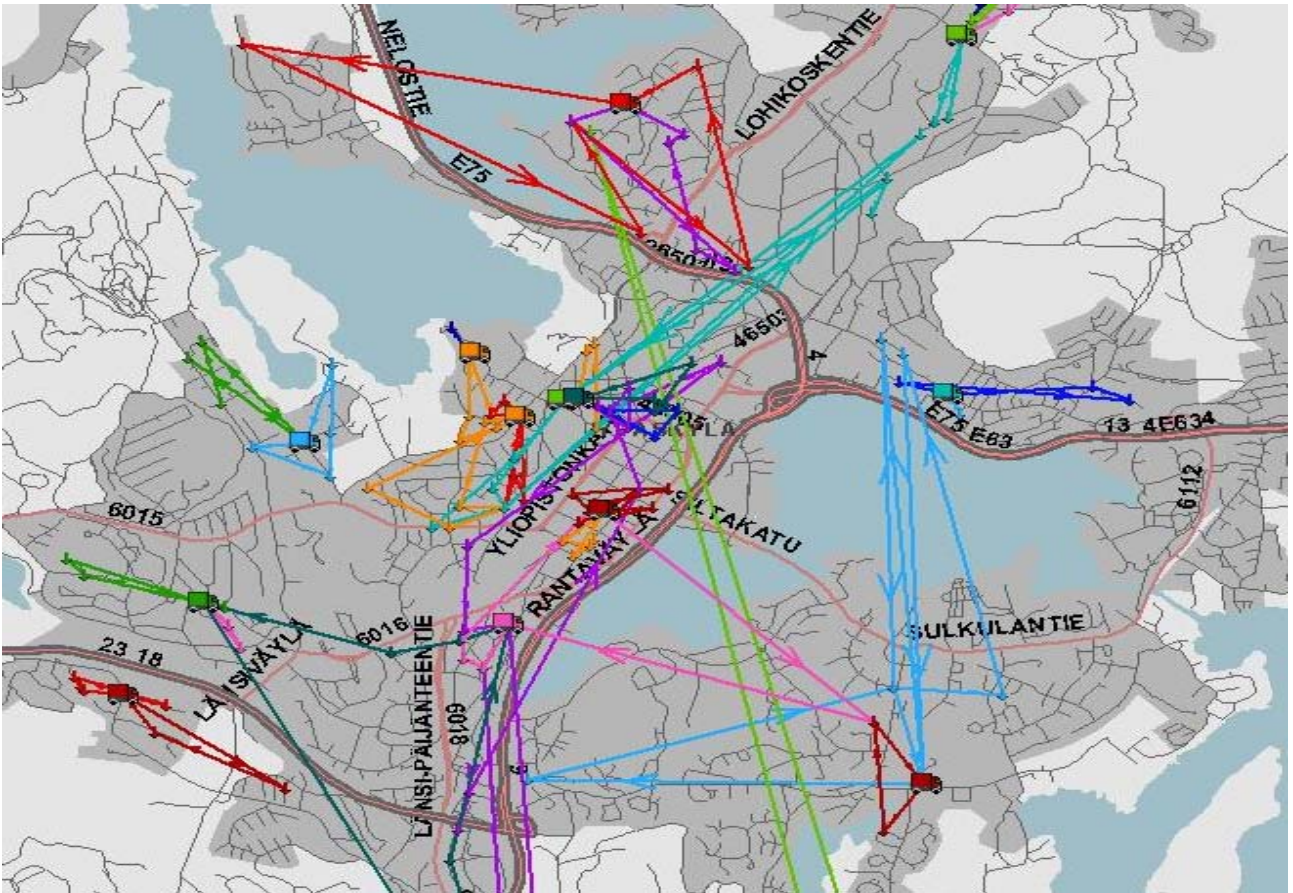
7. Case-tutkimuksia

Tässä kappaleessa esitetään tutkimusprojektin puitteissa oikeilla datoilla tehtyjen realististen case-tutkimusten tuloksia. Tutkimusta varten hankittiin tarvittavat tutkimusluvut ja saatuja dataa käsiteltiin erityisellä tarkkuudella ja luottamuksella. Tässä kappaleessa esitettyjen kuvien asiakkaiden sijainteja kuvaavien nuolien sijainnit perustuvat approksimointiin, eivätkä ole siten tarkkoja tietoturvasyistä. Ne ovat kuitenkin riittävän realistisia havainnollistamiseen. Kaikki case-tutkimukset tehtiin käyttäen kaupallista SPIDER optimointiohjelmistoa (kts. www.spidersolutions.no). Kyseinen ohjelmisto on varsin monipuolinen ja pitkän kehitystyön tulos, ja kykenee mallintamaan esimerkiksi kaikki kappaleessa 5 luetellut asiat. Käytännössä testit tehtiin tavallisella Windows pohjaisella PC:llä.

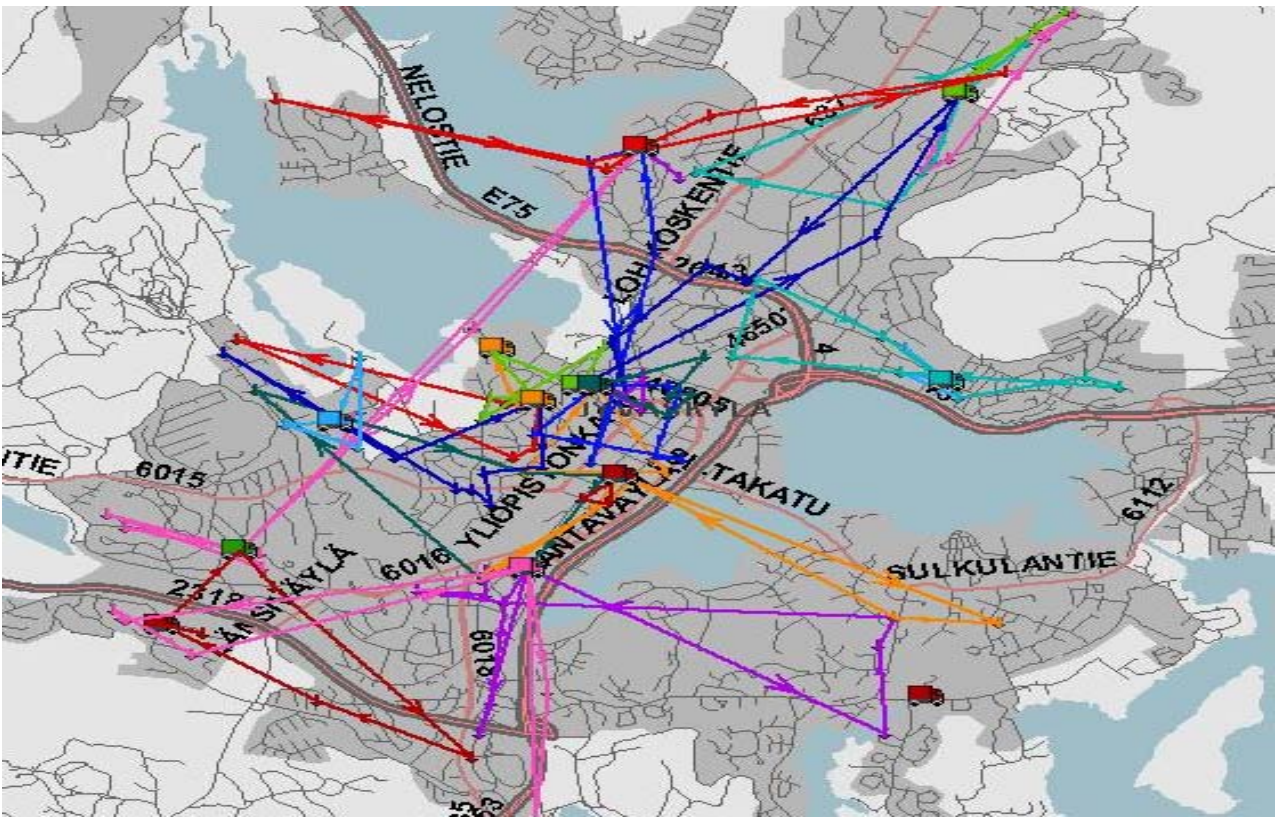
sisällä, todettiin 33.4% säästö kilometreissä ja 30.2% autojen määrässä. Toimitusajan laajentaminen 5 tuntiin, välille 8.30-13.30 näytti mahdollistavan 36.7% säästön kilometreissä ja 50.8% säästön autoissa, eli ulkoisten palveluntarjoajien määrässä. Lopuksi, pakkausten määrän lisääminen tai siirtyminen kertakäyttöpakkausten käyttöön, niin, että autojen ei tarvitse ajaa keittiölle reitin päätteeksi (vaan voivat ottaa pakkauksen mukaan vaikka seuraavan päivän reitillä) osoitti 51.2% säästöjä kilometreissä ja 30.2% autojen määrässä. Jyväskylässä ateriapalvelun vuotuiset kustannukset ovat n. 174 000 euroa, joten kyseessä olevat säästöt ovat varsin merkittäviä. Saatuja optimireittejä havainnollistetaan kuvassa 3. On merkillepantavaa, että joissakin tapauksissa on optimaalista, että reitit menevät päällekkäin ja samalla alueella kulkee useita reittejä. Täten selkeät maantieteelliset aluejaot eivät päde, mikä tekee käsin tehtävän suunnittelun vaikeaksi.

7.2. Kotisairaanhoido-case

Toisena case-tutkimuksena tarkasteltiin kotisairaanhoidon palvelua Jyväskylän alueella. Tutkimusta varten Jyväskylän kaupungilta saatiin yhden viikon data koskien marraskuuta 2006. Kyseisenä aikana kotisairaanhoidon palveluksissa oli 38 täysipäiväistä hoitajaa. Heillä oli ko. viikon aikana 765 asiakaskäyntiä, joiden palvelun keskimääräinen kesto oli n. puoli tuntia. Palvelun vuotuinen budjetti on n. 1.7 miljoonaa euroa. Kunkin hoitajan päivä jakautuu aamu- ja iltapäiväjaksoon, joiden välissä on lounastauko, eli käytännössä työpäiviä on päivittäin 76. Optimointia varten testattiin neljää eri skenaariota. Kussakin skenaariossa kunkin päivän asiakaskäyntien kestot otettiin realistisesti kerätyn datan mukaan. Ajoneuvojen nopeus asetettiin keskimääräisesti n. 20 km/h, yrittäen kuvata sitä, että todellisuudessa osa hoitajista ajaa autolla, osa kulkee jalkaisin, pyörällä tai bussilla. Kukin päivä asetettiin alkamaan ja päättymään hoitajan omalle tiimituvalle, viimeistä skenaariota lukuun ottamatta. Ensimmäisessä skenaariossa kunkin vanhuksen kanssa sovitut käyntipäivät ja käyntiajat pidettiin ennallaan ja niitä ei sallittu muuttaa yhtään. Sen lisäksi asetettiin ehto, että kutakin vanhusta saa palvella vain hänen oman tiiminsä hoitaja. Tulokset osoittivat, että hoitotyö vaatii 48 työpäivän panoksen päivittäin (keskipituus 2.3 tuntia) ja 36 hoitajaa, viitaten siihen, että suuri osa tekee kotikäyntien näkökulmasta vajaata päivää. Tässä yhteydessä pitää huomauttaa, että tutkimuksessa tarkasteltiin pelkästään kotikäyntejä ja lounastaukoa. Todellisuudessa hoitajilla on myös muita työtehtäviä, kuten asiakkaiden saattamista lääkäriin, palaverieja, suunnitelmien tekoa, lääkkeiden jakoa, hoitotarvikkeiden hakuja ym., lisätietoja esimerkiksi viitteessä [13]. Toisaalta, kuten seuraavan kolmen skenaarion tulokset osoittavat, mahdollisuuksia tehostamiseen on myös hoitotyön näkökulmasta. Mainittakoon vielä, että alustavien tulosten mukaan hoitajat kulkevat 277.2 km per päivä. Saatua tulos on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Tiimirajoitusten huomioon ottaminen.



Kuva 5. Optimointi ilman tiimirajoituksia.

Toisessa skenaariossa tiimirajoitukset poistettiin, eli hoitajien sallittiin palvella myös naapuritiimin vanhuksia. Muuten määrittelyt pidettiin samana kuin skenaariossa yksi. Tässä yhteydessä on tärkeää huomauttaa, että vaikka nykyisin onkin olemassa selkeät ”omat hoitajat” kullekin vanhukselle, ja ei ole suositeltavaa muuttaa vanhusta hoitavaa hoitajaa jatkuvasti, optimointi ei vaikuta tähän ratkaisevasti. Ensinnäkin, optimoinnin perusteella saadut kunkin hoitajan vanhukset voidaan kohdistaa mahdollisimman pitkälle nykyistä tilannetta vastaavasti, ja toisaalta, muutos pitää tehdä suuremmassa mittakaavassa vain kerran. Sen jälkeen hoitajat vakiintuvat uudelleen. Toisen skenaarion alustavien tulosten mukaan 27 hoitajaa ja 32 työjaksoa (keskipituus 3.4 tuntia) riittää, eli työjaksojen määrä pienenee lähes 58% nykyiseen verrattuna. Kuljettu matka lyhenee myös, ehkä hieman yllättävästikin ottaen huomioon eri alueilla ristiin kulkemisen 238.8 kilometriin. Optimoituja reittejä on havainnollistettu kuvassa 5. Tulokset osoittavat selkeästi, että perinteiset maantieteelliset aluejaot ja tiimitupien sijoittelut eivät ole optimaalisia, ja että ero voi olla huomattava.

Kolmantena skenaariona testattiin optimoinnin vaikutuksia, jos optimoidaan myös käyntipäivät ja käyntiajat asiakkaiden luona ja sallitaan em. hoito yli tiimirajojen. Käyntipäivien optimoinnilla tarkoitetaan tässä sitä, että vanhuksen luona käydään täsmälleen yhtä monta kertaa kuin todellisuudessa käytiin, ja tasaisin väliajoin (eli optimointi kohdistaa käynnit järkeville tasaisille väliajoille, ei esim. peräkkäisille päiville, jos pitää käydä esim. 2 tai 3 kertaa viikossa). Käyntien kestot ovat samat kuin todellisuudessa ja käyntiajat määriteltiin hoitajien työvuorojen mukaisesti. Käytännössä optimointia pitäisi tämän skenaarion mukaan soveltaa aina jonkun asiakkaan poistuessa tai uuden asiakkaan tullessa palvelun piiriin ja hoitosuunnitelmaa määritettäessä. Alustavat tulokset olivat varsin merkittäviä: niiden mukaan 23 työjakson (keskipituus 3.8 tuntia) ja 12 hoitajan työpanos riittää, ja päivittäin kuljettu matkakin lyhenee ensimmäiseen skenaarioon verrattuna 55%, 123.6 kilometriin. Viimeisenä skenaariona (4) testattiin, että mikä vaikutus on sillä, jos työpäivien ei tarvitse alkaa tai päättyä tiimituvalle, vaan hoitajat voivat aloittaa suoraan ensimmäisen vanhuksen kotoa. Muuten optimoinnin tiedot asetettiin samaksi kuin skenaariossa 3. Alustavien tulosten mukaan tällä tavoin säästettäisiin yhden hoitajan työpanos, ja kuljettava matka pienenee 51.2% skenaarioon 3 verrattuna. Saadut kotisairaanhoidon tulokset on eritelty taulukossa 1.

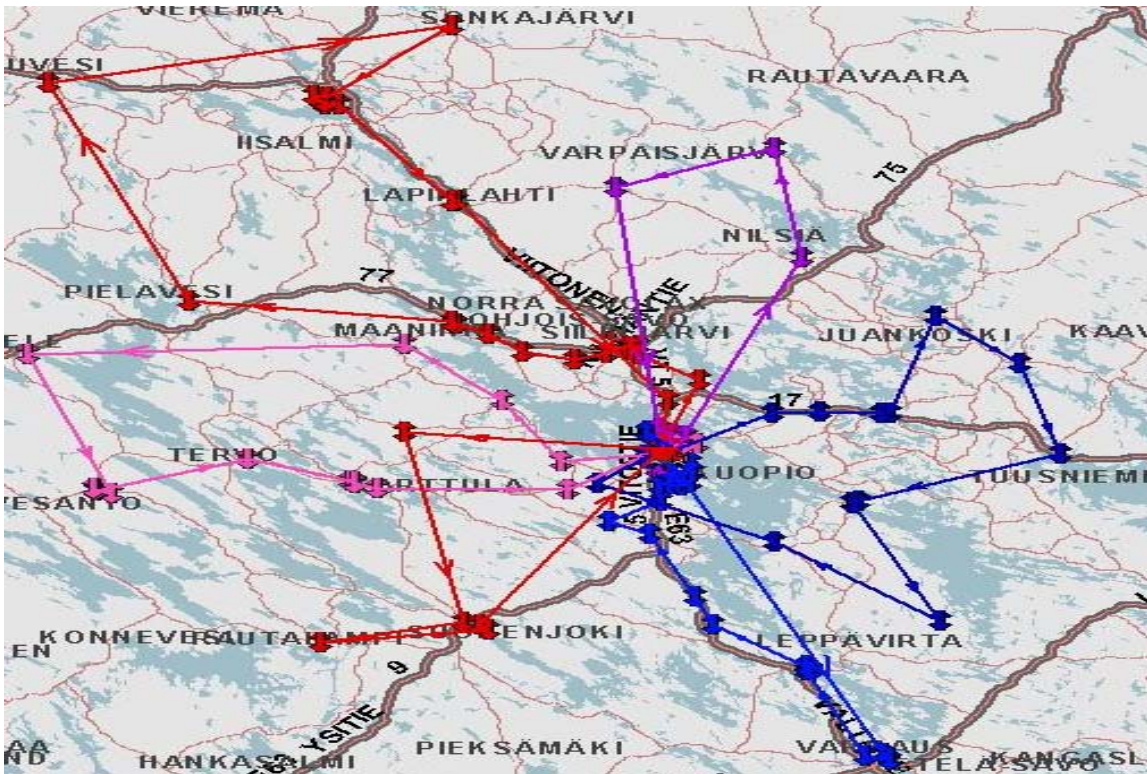
Taulukko 1. Kotisairaanhoidon tulokset

	Nykyinen	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Ajettu matka/ km	—	277.2	238.8	123.6	60.3
Työvuorojen määrä/pv	76	48	32	23	22
Prosentuaalinen säästö työvuorojen määrässä	—	36.8%	57.9%	69.7%	71.1%

7.3. Materiaalikuljetus-case

Kolmantena case-tutkimuksena tarkasteltiin Kuopion seudun HALO-yhteisön materiaalikuljetuksia, käsittäen Kuopion lisäksi lähikuntia. Kuljetukset ovat varsin monimuotoisia, käsittäen sisäisen postin kuljetukset, keskusvarasto/materiaalikuljetukset, yliopistollisen sairaalan laboratorioskuljetukset, lääkkeiden kuljetuksia, työmaatarvikkeita, apuvälinekuljetuksia, kirjaston aineistoja yms. Nykyisin kuljetukset on ulkoistettu yksityiselle palveluntarjoajalle.

Optimoinnissa kaikkia kuljetuksia tarkasteltiin yhtenä kokonaisuutena, ottaen huomioon kuljetusten tarkat aikatauluvaatimukset. HALO-yhteisön tapauksessa yksityistämisen etuna on, että yksityinen palveluntarjoaja kykenee yhdistämään HALO-kuljetukset osaksi omaa kokonaisuuttaan, ja kuljettamaan samoilla reiteillä muutakin. Realistinen ja vertailukelpoinen optimointi edellyttäisi tässä tapauksessa tietoa kaikista yksityisen palveluntarjoajan kuljetuksista. Tätä ei ollut nyt saatavilla. Eli käytännössä tutkimuksen huomio kohdistui siihen, kuinka suurilla kustannuksilla kuljetukset olisi mahdollista hoitaa omana työnä verrattuna yksityisen veloittamaan summaan, käyttäen HALO-yhteisöltä saatuja realistisia kustannuskertoimia. Tulosten mukaan oma työ olisi n. 10% edullisempaa. Tässä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että kuljetuksiin sisältyy paljon ns. vakioimattomia, reaaliajassa tietoon tulevia kuljetuksia, joita ei voitu tarkastella tehdyssä staattisessa optimoinnissa. Ottaen huomioon vakioimattomat kuljetukset, toiminta olisi omana työnä luultavasti kalliimpaa. Ulkoistamisen kautta on HALO-yhteisön tapauksessa saatu lisäsäästöjä myös terminointikulujen ja suunnittelutyön poisjäämisellä. Tässä tosin pitää ottaa huomioon, että mikäli käytössä olisi automaattinen optimointiin perustuva suunnittelutyökalu ja ajoneuvopäätteet, suunnittelukulut jäisivät varsin pieniksi myös omana työnä. Täytyy myös muistaa, että vertailu ei ole realistinen, koska yksityinen palveluntarjoaja kykenee yhdistämään kuljetukset huomattavaan määrään muita kuljetuksia. Saadut optimireitit on esitetty kuvassa 6. Yleensä ottaen kuntien asiantuntijoilta saatujen tietojen mukaan tämäntyyppisissäkin kuljetuksissa on merkittävää tehostamispotentiaalia.



Kuva 6. Kuopion seudun materiaalikuljetusten reitit.

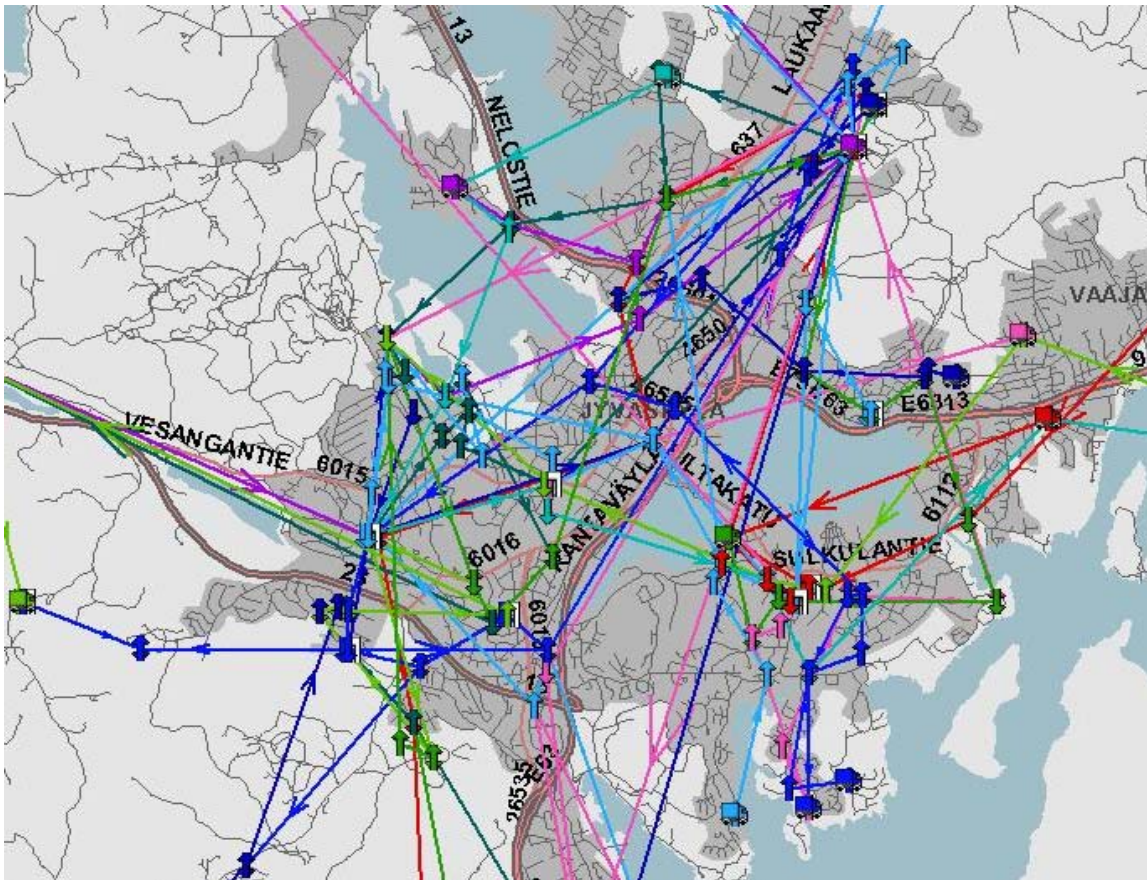
7.4. Koulukuljetus-case

Neljäntenä case-tutkimuksena tarkasteltiin Jyväskylän koulujen erityisoppilaiden kuljetuksia. Nykyisellään kuljetukset on ulkoistettu paikalliselle kuljetusyriykselle ja aluetaksille. Oppilaita on yhteensä yli 250 ja heitä kuljetetaan 18 eri kouluun. Kuljetusten kustannukset ovat vuosittain lähes 600 000 euroa. Osa oppilaista tulee varsin kaukaa Jyväskylän ulkopuolelta, esim. Suolahdesta (45 km Jyväskylästä).

Optimoinnissa kaikkia kouluja, oppilaita ja kuljetuksia tarkasteltiin yhtenä kokonaisuutena, ottaen huomioon tarkat koulujen alkamis- ja päättymisajat ja kuljetukset iltapäivähoitopaikkoihin ym. Alustavat tulokset osoittavat 48%:n säästöjä kilometrien suhteen. Tässä täytyy ottaa kuitenkin huomioon, että optimointi tehtiin olettaen, että kaikki kuljetukset tehdään pikkubusseilla. Käytännössä nykyisin käytössä on myös paljon henkilöautoja. Tällä ei kuitenkaan ole todennäköisesti suurta vaikutusta saatuihin tuloksiin. Jatkossa aikomus on optimoida myös tarvittavien ajoneuvojen määrä ja tyyppi.

Saatuja optimaalisia reittejä on havainnollistettu kuvassa 7. Kuvasta on nähtävissä, että kyseessä on varsin kompleksinen suunnittelutehtävä, jossa useat reitit risteävät kaupungin alueella. Perinteiset

maantieteelliset alue- tai tehtäväjaot eivät ole optimaalisia, ja tarkkojen aikataulujen huomioonottaminen tekee suunnittelusta ilman optimoinnin tukea hyvin haastavan ja aikaa vievän.



Kuva 7. Koulukuljetukset Jyväskylän alueella.

7.5. Päiväkeskuskuljetus-case

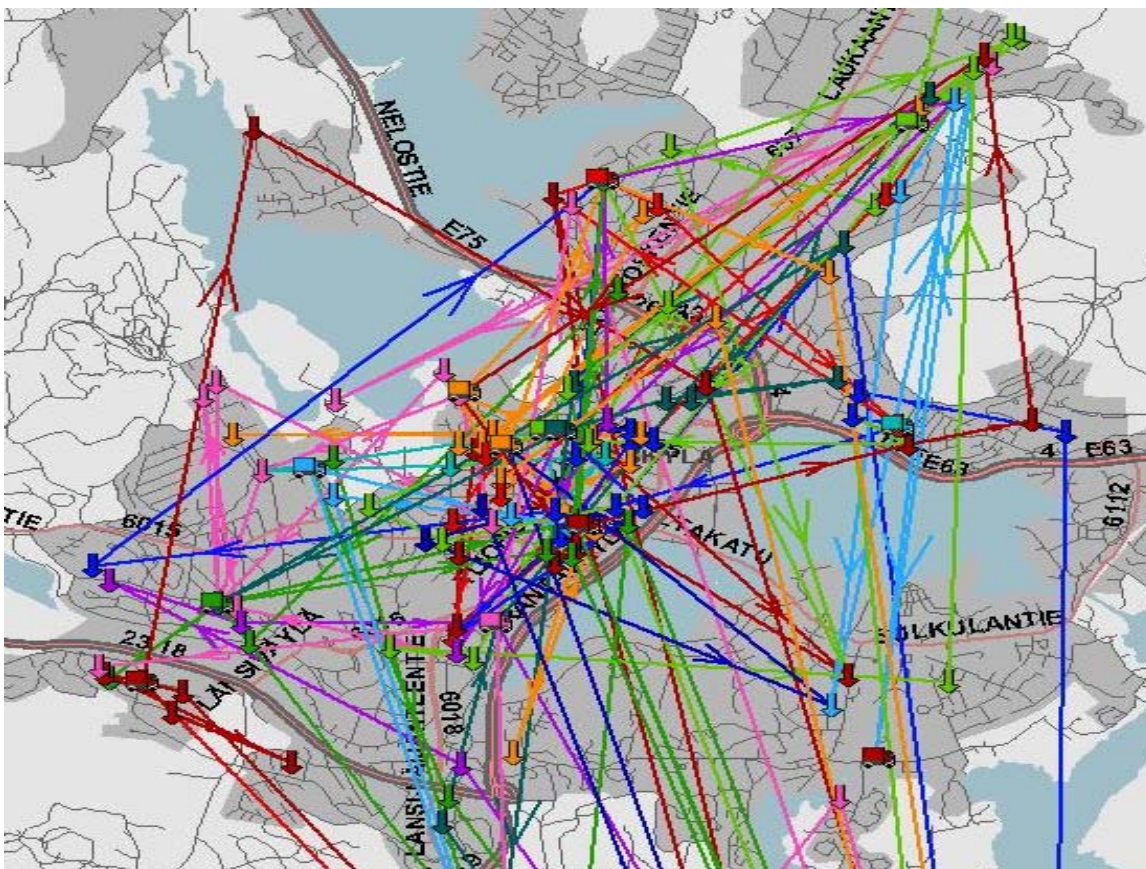
Edellisten lisäksi toteutettiin myös vanhusten päiväkeskuskuljetusten optimointi Jyväskylän seudulla. Kuljetettavien vanhusten määrä vaihtelee päivittäin sadan molemmin puolin ja heitä kuljetetaan 13 eri päiväkeskukseen. Toiminnan kokonaisbudjetti on n. 116 000 euroa. Kuljetusten optimointi sujui odotetun, ja kaupungilta saatiin luotettavat tiedot kuljetettavista vanhuksista, heidän osoitteistaan, kuljetusten ajoituksista ja päiväkeskusten sijainneista ja pysähdysajoista. Ongelmaksi tuli, että kunnollista vertailupohjaa nykyisiin kilometreihin ei saatu, ja täten vertailua ei voitu tehdä. Tavoitteena on uusia tietojen keräys lähitulevaisuudessa.

8. Toteutettu menetelmäkehitys

Merkittävä osa toteutettua tutkimustyötä oli erilaisten kunnallisia sovelluksia varten soveltuvien mallien, optimointialgoritmien ja niiden osien sekä muiden hyödyllisten työkalujen kehittäminen.

Nämä tehokkaat mallintamistavat ja algoritmit ovat tällä hetkellä kriittisin komponentti hyvien optimointityökalujen takaamisessa kuntien käyttöön. Hyvien optimointialgoritmien merkitystä on havainnollistettu kuvassa 8, jossa Jyväskylän kotihoito case on ratkaistu käyttämällä vanhanaikaisempia algoritmeja (joihin varsin monet kaupallisetkin ohjelmat edelleen perustuvat). Tuloksen mukaan esimerkiksi ajetut kilometrit ovat yli kolminkertaiset paremmalla optimointiymellä saatua verrattuna.

Vaikka algoritmien kehitystyötä on tehty paljon, työtä on edelleen paljon jäljellä. Yhä on olemassa lukuisia kunnallisan ongelmia, joita ei esimerkiksi voida optimoida lainkaan tai tulokset eivät ole hyviä tai voisivat olla paljon parempiakin. Tässä kappaleessa tarkastellaan lähinnä tehtyä tutkimustyötä ja kehitettyjä menetelmiä ja niiden merkitystä yleisellä tasolla. Tarkempien yksityiskohtien osalta viitataan kirjoitettuihin tieteellisiin papereihin.



Kuva 8. Optimoinnin haasteellisuus.

Aluksi paneuduttiin erilaisiin tehokkaisiin tapoihin mallintaa eri kunnallisan kuljetus- ja palvelusovelluksia. Tehokas ja järkevä mallintaminen on ensiarvoisen tärkeä pohja hyvien ratkaisumenetelmien kehittämiseksi. Käytännössä mallintamisessa on kyse siitä, että miten ja

millaisina kokonaisuuksina ongelmaa voisi tarkastella, ja millaisia jo olemassa olevia akateemisia tutkimusmalleja voitaisiin käyttää hyväksi. Erittäin tärkeä osa mallintamistyötä oli myös, että miten erilaisia kunnallisalalle relevantteja optimoinnin rajoitteita ja tavoitteita voidaan käsitellä tehokkaasti. Tehtyä mallintamistyötä on esitelty tarkemmin Jyväskylän yliopiston julkaisusarjoissa julkaistussa raportissa [12] sekä viitteessä [14], joka esittelee myös erilaisia kunnallisan optimointiongelmia ja niiden merkittävyyttä.

Mallintamisen yhteydessä perehdyttiin kattavasti myös relevantteihin akateemisessa kirjallisuudessa esitettyihin malleihin ja ratkaisumenetelmiin. Näitä on käsitelty raportin [12] lisäksi viitteessä [10], joka myös kirjoitettiin tuetun hankkeen puitteissa.

Kunnallisalalla on selkeä tarve useilla eri sovellusalueilla tehokkaalle aluesuunnittelulle, tehtävien ja aluekokonaisuuksien määrittämiselle ja suurempien palvelukokonaisuuksien jakamiseen pienempiin osiin mahdollisimman tehokkaasti. Kaikissa näissä voidaan soveltaa optimointia ns. klusterointialgoritmien kautta. Klusterointi on erittäin tärkeä apuväline myös mm. suuren mittakaavan reittien optimoinnissa käsiteltävien ongelmien pienentämisessä ratkaistavaan kokoon. Klusterointi oli täten yksi tutkimushankkeen keskeisiä teemoja. Aluksi perehdyttiin kattavasti olemassa oleviin klusterointimenetelmiin ja siihen miten niitä voi soveltaa reittien optimoinnissa ja aluekokonaisuuksien suunnittelussa. Tuloksia esitellään viitteessä [6]. Kyseessä on ensimmäinen tämällytyyppinen kartoitus maailmanlaajuisesti, josta uskotaan olevan alan tutkijoille merkittävää hyötyä yleisestikin. Erilaisia klusterointistrategioita ja niiden tehokkuutta testattiin myös käytännössä. Näitä tuloksia esitellään viitteessä [4]. Tärkeä osa laajojen optimointikokonaisuuksien toteutusta ovat myös erilaiset muistinhallintamenetelmät esimerkiksi eri paikkojen välisten etäisyyksien tallentamiseksi. Näitä on kehitetty ja esitelty viitteessä [14].

Klusteroinnin ohella yhtenä merkittävä tutkimusteemana tarkasteltiin eri palvelujen kustannusvaikutusta. Kyseessä on toistaiseksi käytännössä kokonaan sivuutettu tutkimusaihe yleisestikin. Niin kunnallisalalla kuin kuljetuspalveluissa yleensäkin on relevanttia tietää kuinka paljon kustannuksia kukin palvelusuorite tarkalleen aiheuttaa budjetoinnin, hinnoittelun ja yleensäkin suunnittelun avuksi, esimerkiksi erilaisten palveluvaihtojen vertailussa ja ulkoistamispäätöksiä tehtäessä. Kunnallisan kuljetusten ja kiertävien palvelujen yhteydessä tämä tarkka kustannusten laskenta on erittäin haasteellinen tehtävä. Todellisen vaikutuksen arvioimiseksi ongelma pitäisi ratkaista optimaalisesti kahdesti, tarkasteltavan asiakkaan kanssa ja ilman sitä, ja

toistaa sama kaikille asiakkaille. Tämä on käytännössä mahdotonta. Tarvitaan erilaisia estimointimenetelmiä. Hankkeen puitteissa toteutetussa viitteessä [8] kuvataan ja vertaillaan kahdeksaa eri estimointimenetelmää. Nämä menetelmät perustuvat pääasiassa saadun osaratkaisun osittaiseen ja älykkäästi keskitettyyn optimointiin.

Selkeästi merkittävin tutkimusaihe oli uusien optimointialgoritmien kehitys. Tätä varten toteutettiin Java-ohjelmointikielellä testauskäyttöön soveltuva optimointiydin. Tärkeänä suuntaviivana algoritmien kehityksessä pidettiin, että algoritmien pitää olla nopeita ja hyvin skaalautuvia ja niiden pitää kyetä ottaa erilaisia rajoitteita (kuten aikaikkunat) hyvin huomioon. Nopeus ja skaalautuvuus mahdollistavat paitsi nopean reaaliaikaisen optimoinnin, myös erittäin suurien ja hankalien tehtävien ratkaisemisen. Yhtenä erityishuomion kohteena oli ns. periodiset ongelmat, kuten kotihoito ja jätteiden keräys, joissa pitää määritellä kullekin asiakkaalle myös palvelupäivä tiettyjen sääntöjen mukaan. Kyseinen ongelma-alue yhdistettynä päivittäisten reittien ja aikataulujen muodostamiseen on luultavasti haastavin jäljellä oleva optimoinnin ongelma, jota varten ei ole vielä kunnollisia menetelmiä.

Tehty menetelmäkehitys käsittää tehokkaita rajoitteiden tarkastusmekanismeja (kts. esim. [3] ja [5]) ja kaikkien kolmen perustyyppin (rakentamismenetelmät, parantamismenetelmät, metaheuristiikat) heuristisia optimointimenetelmiä, tavoitteena kehittää aiempaa tehokkaampia ja paremmin toimivia menetelmiä.

Aluksi keskityttiin metaheurististen menetelmien kehittämiseen. Yksi tärkeimmistä innovaatioista on uuden, oppivan ja deterministisen variantin kehittäminen tunnetusta simuloitu jäähdys menetelmästä. Menetelmä kerää tietoa saaduista hyvistä ratkaisuista ja käyttää tätä tietoa hyväksi aina tehtäessä ns. uusia aloituksia, jos parannuksia ei ole löytynyt vähään aikaan. Sen lisäksi menetelmä rajaa etsintää lupaaville alueille ja hyväksyy huonontavia siirtoja aikaisemmin saadun informaation pohjalta. Menetelmä soveltuu myös ajoneuvojen määrän ja tyyppin optimointiin. Menetelmää testattiin 168 tieteellisellä benchmark ongelmalla, joista se löysi välittömästi ja nopeasti parhaimman tunnetun ratkaisun 167:een. Näistä suurin osa on vielä uusia parhaita tunnettuja ratkaisuja. Eli kyseessä on erittäin robusti ja todennäköisesti yksi tehokkaimmista olemassa olevista metaheuristiikoista. Menetelmää ja tuloksia on kuvattu tarkemmin viitteissä [3] ja [5].

Edellisen lisäksi kehitettiin tehokkaat muunnelmät tunnetuista VNS ja GRASP metaheuristiikoista, kts. viite [16]. Perusidea VNS metaheuristiikassa on soveltaa useaa eri parantamismenetelmää ketjussa, tavoitteena, että ne paikkaisivat toistensa puutteellisuuksia. Tässä erityistä huomiota kiinnitettiin parantamismenetelmien valintaan, niiden järjestykseen ja siihen milloin menetelmää pitää aina vaihtaa. GRASP metaheuristiikassa idea on luoda satunnaisesti vääristäen joukko erilaisia ratkaisuja rakentamismenetelmällä ja sen jälkeen parantaa tehtyjä ratkaisuja erikseen. Tässä kriittisessä roolissa on suunnitella, miten erilaisia alkuratkaisuja muodostetaan. Kehitettyjä metaheuristiikkoja testattiin kauppatukustajan ongelman muunnelmalla, jossa tavoitteena on saapua mahdollisimman aikaisin kunkin asiakkaan luo. Kyseessä on erittäin vähän tutkittu, mutta kunnallisalan näkökulmasta merkittävä ongelma, esimerkiksi hoitotyön tai lumenaurauksen näkökulmasta. Hankkeen yhteydessä toteutettiin myös erittäin tehokas tapa todentaa ratkaisujen parantuminen ja käyppöisyys sekä viisi eri parantamismenetelmää. Yleensä ottaen VNS havaittiin hiukan paremmaksi kuin GRASP, mutta menetelmien havaittiin täydentävän toisiaan ja menetelmien yhdistämisellä saatiin selkeästi yksittäisiä metaheuristiikoita parempia ja yleensä ottaen erittäin hyviä tuloksia akateemisiin benchmark ongelmiin.

Viimeisenä ja selkeästi merkittävimpana yksittäisenä menetelmäkehitysosiona toteutettiin rakentamis- ja parantamisvaiheesta koostuva täysin uudenlainen lähestymistapa. Ensimmäinen merkittävä innovaatio on hyödyntää tietoa siitä, millaisia optimaaliset ratkaisut ovat rakenteeltaan ja keskittyä vain niiden etsintään, mikä tehostaa ratkaisujen löytämistä valtavasti. Tässä yhteydessä rajaudutaan vielä pieniin lähekkäisten reittien muodostamiin kokonaisuuksiin, joka nopeuttaa etsintää entisestään ja mahdollistaa lähes lineaarisen skaalautumisen ongelman koon kasvaessa. Toinen merkittävä innovaatio on yhdistää perinteiset parantamismenetelmät ratkaisun osittaisen uudelleen rakentamisen kanssa. Kumpikin menetelmäkokonaisuus on erillisenä tunnettu ja hyvin toimivaksi osoitettu. Nyt osoitettiin, että niiden yhdistäminen antaa vielä huomattavan parannuksen niiden toimivuuteen ja tehokkuuteen. Yhdessä nämä kaksi menetelmäkokonaisuutta muodostavat todennäköisesti tehokkaimman olemassa olevan heuristisen lähestymistavan reittien optimointiin, ottaen täten ison askeleen kohti todellista kykyä ratkaista myös valtava isoja ja kompleksisia ongelmakokonaisuuksia, mikä alun perin asetettiin tutkimushankkeen päätavoitteeksi. Alustavia tuloksia on esitetty viitteessä [7], joka esitettiin KAKS-säätiön tukemalla konferenssimatkalla alan huippuosaajien kutsukokoukseen USA:ssa. Esitetyistä menetelmistä saatiin konferenssissa erinomaista ja positiivista palautetta. Keskustelujen pohjalta saattoi myös havaita, että kunnallisalan ongelmakenttä on vasta tuloillaan optimoinnin sovelluskohteeksi kansainvälisestikin.

Viitteet

- [1] Bräysy O., Nakari P., Dullaert W., Neittaanmäki P. (2007). An Optimization Approach for Communal Home Meal Delivery Service: A Case Study. Working paper, University of Jyväskylä. Submitted to Journal on Computational and Applied Mathematics.
- [2] Bräysy, O, Porkka P. (2007). Kaluston reitinoptimoinnilla tehokkuutta logistiikkaan. To appear in Logistiikka April/2007.
- [3] Bräysy, O., Dullaert, W., Hasle, G., Mester, D. and M. Gendreau (2007). A deterministic annealing metaheuristic for routing heterogeneous vehicles. In: Hilferink, P., Rietveld, P. and T. van den Hanenberg (Eds.). Proceedings of the BIVEC-GIBET Research Day 2007, Rotterdam, The Netherlands, pp. 37-60.
- [4] Bräysy O, Dullaert W, Hasle G. (2007). Strategies for very large-scale transport management optimization. Accepted for presentation in EUROGEN 2007.
- [5] Bräysy, O, Dullaert W, Hasle G, Mester D and Gendreau M. (2007), An Effective Multi-restart Deterministic Annealing Metaheuristic for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows”, Extended abstract accepted for presentation at Tristan 07, June, Thailand.
- [6] Bräysy O, Dullaert W, Porkka P, Hasle G. (2007). Clustering Strategies for Vehicle Routing Problems. Working paper, University of Jyväskylä.
- [7] Bräysy O, Hotokka P. (2007). An efficient incremental cluster first-route second algorithm for the capacitated vehicle routing problem. Invited talk for Route 2007 Workshop, May 13-16, Jekyll Island, USA.
- [8] Dullaert W, Bräysy O, Salehipour A. (2007). The cost of scheduling customers in routing problems. To appear in Proceedings of NECTAR 2007, Porto, Portugal. Accepted for presentation in EUROGEN 2007.
- [9] Eveborn P, Flisberg P, Rönnqvist M. (2006). Laps Care – an operational system for staff planning of home care. European Journal of Operational Research 171, 962-976.
- [10] Gendreau M, Potvin J-Y, Bräysy O, Hasle G and Lokketangen A (2007). Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and extensions: A Categorized Bibliography. To appear in Bruce Golden and Edward Wasil (Eds.) *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*.
- [11] Kunta- ja palvelurakennemuutoshanke (2005). Teknisten ja muiden palveluiden valmisteluryhmän tekemä vaihtoehtojen vertailu. Työryhmämuistio 7.10.2005.
- [12] Nakari P, Bräysy O, Dullaert W. (2007). Communal transportation: Challenges for large-scale routing heuristics. Reports of the Department of Mathematical Information Technology, Series B6/2007. Scientific Computing, University of Jyväskylä.
- [13] Nakari P. (2007). Jyväskylän kaupungin & sosiaali- ja terveystalokeskuksen logistisia prosesseja. Raportti, Jyväskylän yliopisto, tietotekniikan laitos.

- [14] Neittaanmäki P, Bräysy O. Public sector transportation operations: challenges and possible solution strategies. Presented at the International Seminar on Applied Mathematics for Real World Problems, Chiba, Japan, September 13-14, 2006.
- [15] Nuortio, T, Kytöjoki J, Niska H. and O. Bräysy (2006). "Improved Route Planning and Scheduling of Waste Collection and Transport", *Expert Systems with Applications* 30:2, 223-232.
- [16] Salehipour A, Goos P, Sörensen K and Bräysy O. (2007). A comparison of heuristic algorithms for the traveling repairman problem. Accepted for presentation in EUROGEN 2007.
- [17] Perrier N, Langevin A, Campbell JF. (2006). A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part 1: system design for spreading and plowing. *Computers & Operations Research* 33, 209-238.
- [18] Perrier N, Langevin A, Campbell JF. (2006). A survey models and algorithms for winter road maintenance. Part II: system design for snow disposal. *Computers & Operations Research* 33, 239-262.
- [19] Perrier N, Langevin A, Campbell JF. (2007). A survey models and algorithms for winter road maintenance: Part III: Vehicle routing and depot location for spreading. *Computers & Operations Research* 34, 211-257.
- [20] Perrier N, Langevin A, Campbell JF. (2007). A survey models and algorithms for winter road maintenance. Part IV: Vehicle routing and fleet sizing for plowing and snow disposal. *Computers & Operations Research* 34, 258-294.
- [21] Ruohonen T, Hallamäki A, Bräysy O, Nakari P, Brigatti J, Hotokka P, Porkka P. (2007). Vehicle routing software: a survey and case studies with Finnish data. Accepted for presentation in EUROGEN 2007.