

Opinnäytetyö (AMK)

Liiketoiminnan logistiikka

Kuljetus-, varastointi- ja logistiikkapalvelujen kehittäminen

2012

Alexi Elo

REITTIOPTIMOINNIN HYÖDYNTÄMINEN YMPÄRISTÖNHUOLLOSSA

Case: Rasion kaupunkijäteastiat



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Liiketoiminnan logistiikka/Kuljetus-, varastointi- ja logistiikkapalvelujen kehittäminen

Kesäkuu 2012 | 42 s.

Kari Jalkanen

Aleksi Elo

REITTIOPTIMOINNIN HYÖDYNTÄMINEN YMPÄRISTÖNHUOLLOSSA

CASE: RAISION KAUPUNKIJÄTEASTIAT

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella reittioptimoinnin hyödyntämistä ympäristöhuoltoon liittyvässä projektissa. Varsinaisen kuljetussuunnittelun lisäksi myös jäte- ja ympäristöhuoltoon liittyvissä tehtävissä optimoinnin käyttö on alkanut yleistyä. Lisäksi kunnallisissa projekteissa on alettu kiinnittää huomiota erilaisten kuljetusten ja reittien optimointiin ja yhdistämiseen kustannussäästöjen aikaansaamiseksi.

Työssä käsitellään kuljetusten kustannuslaskentaa yleisellä tasolla. Mitä pienemmästä yrityksestä on kyse, sitä merkittävämmäksi nousee yksittäisen kuljetuksen suorittavan ajoneuvon ajosuoritteiden kannattavuus. Yhdessä taloudellisen ajotavan kanssa kuljetusten tehokkaalla suunnittelulla saavutetaan kustannussäästöjä, joiden hyöty riippuu myös optimoitavan reittimassan määrästä. EU:n jätelainsäädännössä määritellään jätteiden kuljetus tuottajan vastuulle. Koska tarkasteltavassa urakassa on kyseessä Raision kaupungin kaupunkijätehuolto, on yksi työssä tarkasteltava osa-alue julkisten hankintojen lainsäädäntö. Tämän lainsäädännön tarkoituksena on taata julkisia palveluja ostavien tahojen mahdollisimman edulliset hankinnat julkisen kilpailutuksen kautta. Toisena tarkoituksena lainsäädännöllä on taata kaikille tarjouskilpailuihin osallistuville tahoille yhdenmukaiset ja tasavertaiset lähtökohdat.

Työn varsinainen käytännön osuus tehtiin reittioptimointiin tarkoitetulla ArcLogistics-ohjelmistolla. Tarkoituksena oli selvittää, miten työurakkana olevaa tyhjennysreitit suorittamista voitaisiin tehostaa. Toinen tavoite oli saada selville todelliset kustannukset ja verrata niitä nykyiseen hintaan. Reitin raja-arvoiksi on määritelty tarjouskilpailun yhteydessä eri pisteiden tyhjennysväleiksi 1-2 viikkoa, minkä pohjalta reitit oli rakennettava. Optimoinnin seurauksena reittiä saatiin lyhennettyä sekä kilometreissä että käytetyssä työajassa. Näin ollen tavoitteissa onnistuttiin teoriassa, mutta työn varsinaista käytännön toteutusta ei ole vielä ehditty suorittaa.

ASIASANAT:

reittioptimointi, julkiset hankinnat, kuljetussuunnittelu, ympäristöhuolto

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Business Logistics / Development of transport, storage and logistic services

June 2012 / 42 pages

Instructor Kari Jalkanen

Aleksi Elo

ROUTE OPTIMIZATION IN ENVIROMENTAL SERVICES

CASE: URBAN TRASH COLLECTION IN RAISIO

The purpose of this bachelor's thesis was to investigate the application of route optimization into an environmental services project. Alongside transport companies, waste collection and environmental service companies have started to apply optimization. Moreover, many municipal services have started to look into optimizing their transportation vehicles and routes to gain savings in logistics costs.

The thesis discusses how to calculate the costs of transportation in general. The smaller the company in question, the more it will have to pay attention to single vehicles transport costs and income. Together with economical driving habits, effective transport planning will result in cost savings. The European Union legislation governs the waste collection as the responsibility of the waste producer. Since the case study of the thesis handles urban trash collection of Raisio municipality, an introduction is made into public procurement and its legislation. This legislation is set to provide the framework for successive, cost-effective public procurement by public bidding. On the other hand, this legislation also provides a fair and equal starting point for parties involved in public bidding competitions.

The practical case study of the thesis was operated by ArcLogistics software. The purpose was to find out how collection route under investigation could be streamlined. The second object was to calculate the current costs of the route and compare them with the fixed price. The optimized route was built of different collection points limited by a weekly or bi-weekly collection constraint. As a result of optimization cost savings were achieved both in terms of kilometers and working hours. It can be stated that in theory optimization was successful, but it has not yet been put into practice by the publication of this thesis.

KEYWORDS:

route optimization, public procurement, transport planning, environmental service

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Tutkimusaiheen merkittävyys	6
1.2 Yritysesittely Piikkiön Tehoapu Oy	6
2 LOGISTIIKKA JA KULJETUSTALOUS	8
2.1 Logistiikan ja kuljetusten määrittely	8
2.2 Logistiset päävirrat	8
2.3 Kuljetuskustannusten seuranta	9
2.4 Kuljetusten kysynnän mittareita	10
2.5 Ajoneuvokustannukset	10
2.6 Taloudellinen ajotapa ja kuljettamisen päästöt	11
2.7 Tavarankuljetukseen tarkoitetut ajoneuvot ja luvanvarainen tavaraliikenne	12
3 YMPÄRISTÖLOGISTIIKKA JA JÄTEKULJETUKSET	14
3.1 Jätehuollon logistiikkaa	15
3.2 Julkiset hankinnat	16
4 KULJETUSTEN SUUNNITTELU JA OPTIMOINTI	19
4.1 Kuljetusten optimointi julkisella sektorilla	19
4.2 Kuljetusten suunnittelun erilaiset päätökset	21
4.3 Reitti- ja kalustovalinnan merkitys kuljetuskustannuksille	22
4.4 Optimoinnin hyödyt	23
4.5 Reitin suunnittelun ratkaisumenetelmät	26
5 REITTIOPTIMOINNIN HYÖDYNTÄMINEN YMPÄRISTÖHUOLLOSSA	29
5.1 Työn lähtökohdat	30
5.2 Optimoinnin toteutus ja eteneminen	31
5.3 Työkustannukset	35
5.4 Polttoaine- ja kalustokustannukset	36
5.5 Materiaali- ja muut kustannukset	37
5.6 Kokonaiskustannukset ja tuotto	38
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	39
LÄHTEET	41

KUVAT

Kuva 1. Jättemateriaalin tavaravirrat.	15
Kuva 2. Kaluston reittioptimoinnin hyödyt Bräysyn (2007) mukaan.	24
Kuva 3. Vanhat reitit.	33
Kuva 4. Optimoidut reitit.	35

TAULUKOT

Taulukko 1. Julkisten hankintojen kynnysarvot	17
Taulukko 2. Reittien vertailu	34

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan, miten logistisen ajattelun periaatteita ja käsitteitä voidaan hyödyntää varsinaisen kuljetusalan ulkopuolella taloudellisesti järkevien kuljetussuunnitelmien luomiseksi ja käyttöönottamiseksi. Työn tavoitteena on osoittaa, miten logistinen ja kuljetustaloudellinen ajattelu voi tuoda hyötyjä myös perinteisen logistiikka-alan ulkopuolella toimiville yrityksille tai yhteisöille, kuten julkiselle sektorille.

1.1 Tutkimusaiheen merkittävyys

Opinnäytetyön konkreettisenä lopputuloksena Piikkiön Tehoapu Oy:lle tuotetaan kustannuslaskelma tutkimuksen kohteena olevasta työurakasta, Raision kaupungin alueella sijaitsevien kaupunkijäteastioiden tyhjentämisestä. Tavoitteena on tuottaa ehdotelma optimaaliseksi reitiksi kustannussäästöjen aikaansaamiseksi vähentämällä hukka-ajoa ja työhön käytettyä aikaa.

Lisäksi tarkoituksena on selvittää toimeksiannon kohteena olevan urakan todellisia kustannuksia ja verrata niitä voimassaolevaan sopimuksen hintatasoon. Tavoitteena on selvittää mahdollinen tarve hinnan tarkistukseen uuden tarjouskilpailun yhteydessä.

1.2 Yritysesittely Piikkiön Tehoapu Oy

Piikkiön Tehoapu Oy on vuonna 1994 perustettu kiinteistön- ja ympäristönhuollon yritys, jonka toimialueena on pääasiassa Kaarinan kaupungin alue. Yhdessä samoissa tiloissa toimivan sisaryrityksensä Piikkiön Rauta ja LVI Oy:n kanssa yritys työllistää vakituisesti seitsemän henkilöä sekä vaihtelevan määrän kausityöntekijöitä. Tiiviisti yhdessä toimivat yritykset tarjoavat kiinteistö- ja ympäristönhuoltoon, rautakauppaan ja rakennustarvikkeisiin sekä kuljetuksiin liittyviä

palveluja. Yrityksen kuljetuskalustoon kuuluu Volvo FH12 -kuorma-auto, kaksi pakettiautoa ja kaksi traktoria sekä näiden lisälaitteita.

2 LOGISTIikka JA KULJETUSTALOUS

2.1 Logistiikan ja kuljetusten määrittely

Logistiikka on monitahoinen termi, joka voidaan määritellä materiaali-, tieto- ja pääomavirtojen, tuotannon, jakelun ja kierrätyksen sekä lisäarvopalvelujen kokonaisvaltaiseksi johtamiseksi ja kehittämiseksi. Kuljetus sisältää tuotteen tai materiaalin siirtämisen paikasta A paikkaan B. (Karrus 2005, 13; Karhunen 2004, 83.)

2.2 Logistiset päävirrat

Logistiikka voidaan nähdä myös erilaisia virtoja yhdistävänä ajattelutapana, jossa tavaran arvo syntyy arvoketjussa. Logistiikan päävirtoja ovat materiaalivirta, kierrätysvirta ja pääomavirta. (Karrus 2005, 27.)

Näiden lisäksi nykyajan tietoyhteiskunnassa tietovirta ja organisaatiovirta ovat merkittävässä roolissa logistisen toiminnan ja johtamisen vaatiman tiedonvälittämisen kannalta. Santala (2011, 22) nostaa tietovirran jopa tärkeimmäksi logistiseksi virraksi, jonka voi hänen mukaansa katsoa olevan alku koko logistiikka-prosessille.

Karruksen (2005, 29) mukaan logistisen ajattelun keskeinen haaste on virtojen ja varantojen tunnistaminen, hallinta ja tehokas hyödyntäminen. Logististen virtojen nopea läpimenoaika on suoraan verrannollinen niihin sidotun pääoman kiertonopeuteen.

2.3 Kuljetuskustannusten seuranta

Kuljetustehtävissä on viisi perusmuotoa: keruu-, siirto-, runko-, jakelu- ja paluukuljetukset (Karrus 2005, 122). Yrityksen oman kuljetuskaluston tehokkaan kustannusseurannan kannalta on olennaista, että ajoneuvokohtainen kustannusseuranta tapahtuu yrityksen yleisistä ja ajoneuvon omista lähtökohdista (Karhunen 2008, 94). Tällä tarkoitetaan, että kustannusseurannassa on otettava huomioon ajoneuvoilla suoritettavien erilaisten työtehtävien laatu, määrä, frekvenssi sekä näiden tehtävien katetuottotavoitteet.

Logistinen ajattelu tarkoittaa kuljetusten kohdalla mahdollisimman taloudellisesti toteutettua tavaroiden oikea-aikaista saatavuutta. Ympäristölogistiikkaan kuuluu jätteiden keräys, kuljetus, siirtokuormaus ja varastointi. (Ympäristöyritysten liitto 2011). Kuljetuskustannusten seuranta on osa minkä tahansa yrityksen taloudellisen kannattavuuden seurantaa sekä hinnoittelua. Yleistä kuljetuskustannusten kehityksen seurantaa voi tehdä kilpailuttamalla kuljetuksia, tutkimalla erilaisia markkinahintoja ja toimitusehtojen välisiä hintaeroja.

Suomen Tilastokeskuksen kuukausittain julkaisemasta kuljetuskustannusindeksistä voidaan seurata kuorma-autoliikenteen kokonaiskustannusindeksiä, kustannuskehitystä ja -jakaumaa. Kuljetuskustannusindeksistä voidaan seurata erikseen perävaunuyhdistelmien, keskiraskaiden ja raskaiden kuorma-autojen sekä kevyiden kuorma-autojen ja pakettiautojen kustannuksia. Myös linja-autoliikenteelle on olemassa oma kustannusindeksinsä. Kuorma-autoliikenteen kokonaiskustannusindeksi koostuu kuljettajien palkan, välillisen palkan, päivärahan, polttoaineen, korjausten ja huollon, renkaiden, pääoman poistojen, korkojen, vakuutusten, liikennöimismaksujen, hallinnon ja ylläpidon kustannusten seurannasta. Näistä kustannuksista ehdottomasti voimakkaimmin on kohonnut viime vuosina polttoainekustannus.

2.4 Kuljetusten kysynnän mittareita

Kuljetustalouden kannalta on olennaista seurata kuljetusten kysyntää ja niiden kustannuksia kuljetuksia koskevien päätöksien tekemiseksi. Mitä pienempi kuljetusyritys on, sitä suuremmaksi tekijäksi taloudellisen menestymisen kannata nousevat yksittäisen ajoneuvon tehokkuus. (Karhunen 2008, 90.)

Kuljetusmääriä voidaan mitata useilla eri tavoilla. Kuljetettavan tavarän määrä voidaan ilmaista tavarän erilaisina yksikköinä riippuen tavarän muodosta tai tilavuudesta, esimerkiksi standardisoidut kuljetusyksiköt (kontit, lavat jne.), kuutiometrit, litrat jne. tai suoraan kuljetusyksiköinä, esim. täysinä puoliperävaunu-kuormina.

Kuljetussuoritteella tarkoitetaan kuljetun matkan ja kuljetetun tavaramäärän suhdetta tonnikilometreinä (tkm). Yksi tonnikilometri vastaa kuljetussuoritetta, jossa tonni tavaraa on kuljetettu kilometrin pituinen matka tai vastaavasti kilogramma tavaraa on kuljetettu tuhat kilometriä. Kuljetussuorite on yleinen tapa kuvata kuljetusyrityksen toiminnan kehitystä, tehokkuutta sekä siihen liittyviä kustannuksia, esim. polttoaineen kulutuksen tai työajan käyttönä tonnikilometriä kohti.

Liikennesuoritteen seurantayksikkö on kilometri, jolla mitataan erilaisten ajoneuvojen ajokilometrimääriä. Liikennesuoritteiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä kuljetusten tehokkuudesta vertaamalla niitä eri tuotteiden kuljetuksiin.

Kuljetusten tehokkuutta mittaa myös ajoneuvon täyttöaste, joka määräytyy joka kuljetusyksikön maksimaalisen kokonaispainon tai kuormatilan täyttöasteen perusteella ottaen huomioon kuljetettavan tavarän kuljetusvaatimukset.

2.5 Ajoneuvokustannukset

Karhusen (2008, 91) mukaan kuljetusalalle vakiintuneen käytännön mukaisesti ajoneuvokohtaiset kuljetuskustannukset jaetaan työkuormaan sekä muuttu-

viin ja kiinteisiin kustannuksiin. Oksasen mukaan jako kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin riippuu siitä, onko kustannus sidoksissa toiminta-asteeseen. Tämä jako ei aina ole yksiselitteinen, sillä pitkällä aikavälillä kaikki kustannukset ovat jossain määrin muuttuvia (Oksanen 2003, 41).

Työkustannukset koostuvat kuljettajien palkasta, välillisistä työkustannuksista sekä päivä- ja ruokarahoista.

Muuttuvat kustannukset ovat suoraan ajoneuvon käytöstä aiheutuvia kustannuksia. Tähän sisältyvät polttoaine-, voiteluaine-, korjaus- ja huoltokustannukset sekä rengaskustannukset.

Kiinteitä kustannuksia ovat taas pakolliseen kaluston ylläpitoon, hallintoon ja sitoutuneeseen pääomaan liittyvät kustannukset. Näitä ovat muun muassa pääoman poistot, pääomankorko, käyttöpääoman koko, liikennöimismaksut, vakuutukset, hallintokustannukset, ylläpitokustannukset ja korvaukseton ajo.

2.6 Taloudellinen ajotapa ja kuljettamisen päästöt

Reitin suunnittelun lisäksi ajoneuvon kuljettajan ajotavalla on merkitystä kuljetuskustannusten muodostumisessa. mitä suurempi ajoneuvo on kyseessä, sitä merkittävämmäksi taloudellinen ajotapa kasvaa. Hyvänä esimerkkinä tästä ovat raskaan kaluston kuljettajien ammatilliseen pätevyyteen vaadittavat pakolliset taloudellisen ajotavan kurssit.

Ottamalla huomioon taloudellinen ajotapa yhdessä hukka-ajoa vähentävän reitinsuunnittelun kanssa, voidaan ajoneuvon energiankäyttöä vähentää huomattavasti. Tällä tarkoitetaan muun muassa sitä, että ajoneuvo on säännöllisesti huollettu, pidetty puhtaana ja valmisteltu ajoon tarpeellisin toimenpitein (sopiva rengastus, lämmittimet). Kuljettajan on noudatettava ennakoivaa ajotapaa ja asianmukaista vaihteiden käyttöä sekä vältettävä joutokäyntiä. Kuormauksessa on otettava huomioon painon tasainen jakautuminen ja asiallinen sidonta. Lisäksi ajoneuvon ilmanvastusta voidaan vähentää erilaisin tuuliohjaimin ja kuormatilan peitteillä.

Kuljettamisesta aiheutuu aina liikenteen ympäristöpäästöjä, jotka kasvavat kuljetusten määrän noustessa. EU on asettanut vuoteen 2020 mennessä tavoitteeksi leikata kasvihuonepäästöjä 20 %:lla. Maantiekuljetusten päästöjen vähentäminen on merkittävä osa tätä hanketta, sillä EU:n liikenteen kasvihuonepäästöistä 18 % syntyy maantieliikenteestä. Vuonna 2007 VTT arvioi kuorma- ja pakettiautojen tuottavan 36 % tieliikenteen hiilidioksidipäästöistä (Sakki 2007, 102).

2.7 Tavarankuljetukseen tarkoitetut ajoneuvot ja luvanvarainen tavaraliikenne

Ajoneuvon kokonaismassalla tarkoitetaan auton alustan, kuormakorin, polttoaineen, varusteiden ja kuorman yhteenlaskettua massaa. Tavarankuljetukseen tarkoitetut autot jaetaan ajoneuvolain mukaan seuraaviin luokkiin (Santala 2011, 116):

- pakettiauto: tavarankuljetukseen käytetty auto, jonka kokonaismassa on enintään 3500 kg
- kuorma-auto (N2): tavarankuljetukseen käytetty auto, jonka kokonaismassa on yli 3500 kg, mutta enintään 12000 kg
- kuorma-auto (N3): tavarankuljetukseen käytetty auto, jonka kokonaismassa on yli 12000 kg

Luvanvaraisella tavaraliikenteellä tarkoitetaan lain mukaan sellaista yleisellä tiellä korvausta vastaan tehtävää kuljetusta, jota varten tarvitaan laissa määritelty liikennelupa.

Liikenneluvan piiriin kuuluvat kuljetukset autolla tai autoon kytketyllä perävau-
nulla tapahtuvat kuljetukset, jos ajoneuvon tai ajoneuvoyhdistelmän suurin sallit-
tu kokonaismassa on yli 1700 kg. Lisäksi luvanvaraista on elinkeinotoiminnan
yhteydessä siihen tavanomaisesti liittyvät tavarankuljetus ko. elinkeinonharjoit-
tajan hallinnassa olevalla ajoneuvoilla, jos kuljetukset osuus on yli 30 % koko
elinkeinotoiminnasta tai työurakoihin tms. -kokonaisuuksiin liittyvä tavarankulje-

tus, joka tapahtuu ko. tehtävästä vastaavan hallinnassa olevilla ajoneuvoilla kun kuljetuksen osuus ko. tehtävästä on yli 30 %

Luvanvaraisten tavarankuljetuksen piirissä eivät taas ole autolla tai ajoneuvoyhdistelmällä tapahtuvat kuljetukset, kun kuljetusyksikön kokonaismassa on korkeintaan 1700 kg. Myöskään luvanvaraisten kuljetusten piiriin eivät kuulu elinkeinotoiminta tai työurakat, jossa tavarankuljetuksen osuus on enintään 30 %

Luvan varaisten kuljetusten ulkopuolelle on rajattu myös konsernin tai siihen verrattavan yhtymän sekä kunnan, kuntayhtymän tai kuntakonserniin kuuluvan yhteisön kuljetukset niiden hallinnassa olevilla ajoneuvoilla tai palkansaajan hallinnassa olevalla ajoneuvolla tapahtuva tavarankuljetus, kun se liittyy työtehtäviin. (Karhunen 2008, 52.)

Tässä työssä tarkasteltavassa urakassa tapahtuva kuljetus ei ole luvanvaraisten kuljetusten piirissä, sillä varsinaisen yleisellä tiellä tapahtuvan kuljetuksen osuus jää urakasta alle 30 %:n.

3 YMPÄRISTÖLOGISTIIKKA JA JÄTEKULJETUKSET

Jätelain 17.6.2011/646 5§ mukaan jäte on aine tai esine, jonka sen haltija aikoo poistaa, on poistanut tai on velvollinen poistamaan käytöstä. Jätelainsäädännön keskeinen tavoite on ehkäistä jätteen syntymistä, edistää jätteen hyödyntämistä ja vähentää sen jätehuollosta aiheutuvia haittoja. Tällä tavoin edistetään luonnonvarojen kestäväää käyttöä ja torjutaan ympäristöongelmia.

Suomessa tuotettiin vuonna 2010 yhteensä 1,5 milj. tonnia sekajätettä, josta 1,1 milj. tonnia päätyi sijoitukseen kaatopaikalle ja vain 0,4 milj. tonnia kierrätysmateriaaliksi tai energiakäyttöön. Erilliskerättyjen jätteiden (paperi-, kartonki-, bio-, lasi-, metalli-, puu-, muovi-, sähkö- ja elektroniikkaromu) kohdalla suhdeluku on toisenlainen, sillä miljoonasta tonnista vain 0,038 miljoona tonnia päätyi kaatopaikalle. Peräti 96 % hyödynnettiin kierrätyksessä tai energiakäytössä (Suomen virallinen tilasto 2010). Lajitellun jätteen määrään nostaminen on kiinteästi kytköksissä EU:n ja valtioneuvoston tavoitteisiin vähentää kaatopaikkojen määrää ohjaamalla jätteet hyötykäyttöön. Vuoden 2005 alusta alkaen kaatopaikoille on saanut sijoittaa vain esikäsiteltyä jätettä. (Suomen virallinen tilasto: Jätetilasto 2010.)

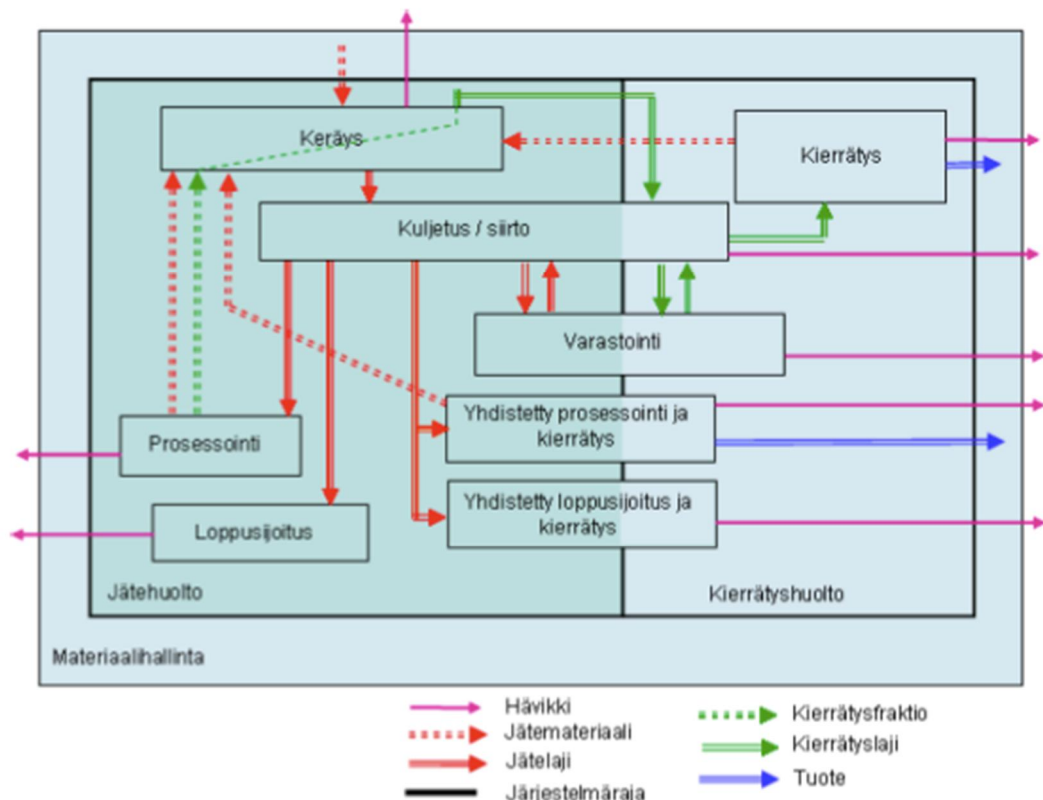
EU:n jätepolitiikan tavoitteena on ehkäistä jätteiden syntyä, hyödyntää niitä aineena ja energiana, vähentää loppukäsittelyä sekä vähentää ja valvoa jätteiden siirtoa. Jättemäärien vähentäminen on tehokkain tapa tehostaa jätteidenkäsittelyä. Kuitenkin yhteiskunnassa jätteiden syntyminen on jatkuvaa ja pysäyttämätöntä, jolloin myös jätehuollon järjestäminen on jatkuvasti läsnä yhteiskunnan ja ympäristön tilaa koskevissa keskusteluissa ja päätöksissä. Jätehuollon järjestäminen on kiinteästi yhteydessä myös sosiaaliseen hyvinvointiin ja terveydenhuoltoon liittyvään toimintaan. Historiallisesti kaupungistumisen ja teollistumisen kautta syntynyt taloudellinen kasvu on lisännyt myös jätteiden määrää, jolloin niiden haittavaikutuksiin kiinnitetään yhä enemmän huomiota.

3.1 Jätehuollon logistiikkaa

Jätehuollon järjestämisvastuu on jätteiden aiheuttajilla eli yrityksillä, yhteisöillä ja yksilöillä (Hokkanen 2007, 289). Jätelain mukaan jäte on ensisijaisesti pyrittävä hyödyntämään aineena ja toissijaisesti energiana. Kaatopaikoille jäte voidaan sijoittaa vain, jos sen hyödyntäminen ei ole teknisesti tai taloudellisesti mahdollista. (Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2012.)

Jätelogistiikan merkittävimmät funktiot ovat lajittelu, keräily, kuljetus ja välivarastointi. Kaupunkialueella lajittelija on jätteen tuottaja. Lajittelun onnistuneisuus taas riippuu keräilyjärjestelmästä, johon vaikuttavat kerättävän jätteen laatu, jätekertymät, noutotaajuus ja jätteen varastoitavuus. (Hokkanen 2007, 291.)

1970-luvulta asti moderni jätehuolto on siirtynyt kohti monimutkaisempaa, useiden järjestelmien muodostamaa kokonaisuutta. Kuvasta 1 käy ilmi, kuinka lukuisista eri materiaalivirroista puhutaan, kun tuote joutuu jäte- ja kierrätyshuollon muodostamaan kuljetusketjuun:



Kuva 1. Jättemateriaalin tavaravirrat (Nuortio & Isohaho 2005, 7)..

Vuoden 2012 toukokuussa voimaan tullut jätelakiuudistus aiheuttaa muutoksia jätehuollon järjestämiseen ja vastuukysymyksiin. Uudistuksen tarkoituksena on tehostaa etusijajärjestyksen toteutumista ja noudattamista jätehuollossa. Tällä tarkoitetaan sitä, että ensisijaisesti pyritään vähentämään jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä syntyy, haltijan on ensisijaisesti valmisteltava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä jäte. Ellei kierrätys ole mahdollista, jäte on hyödynnettävä toisin tavoin, esimerkiksi energiana. Vasta jos tämäkin on mahdotonta, jäte voidaan sijoittaa kaatopaikalle tai loppukäsitellä. Ensisijaisuusjärjestys sitoo uudistuksen myötä kaikkia ammattimaisia toimijoita, joihin kuuluvat myös kunnat. Kuntien on siten huolehdittava asuinkiinteistöjen kunnallisesta jätehuollosta joko keskitetysti tai osoittamalla jätteenkuljettajalle vastaanotto- tai käsittelypaikan. Lisäksi uudistus tuo mukanaan kunnille vaatimuksen valvonnan ja seurannan tehostamisesta, millä edellytetään jätteenkuljettajien ja -kerääjien ilmoittamista jätehuoltorekisteriin laiminlyöntimaksun uhallalla. (Ympäristöministeriö 2012.) Tässä työssä käsiteltävä urakka kuuluu myös toukokuusta 2012 jätehuoltorekisterin piiriin.

3.2 Julkiset hankinnat

Julkisten organisaatioiden hankintaa säädellään hankintalainsäädännöllä, jonka tarkoitus on tehostaa julkisten varojen käyttöä sekä turvata yritysten ja muiden yhteisöjen tasapuolinen kohtelu julkisten hankintojen tarjouskilpailussa. Julkiseen hankintaan kuuluu myös julkisuus ja avoimuus. (Laki julkisista hankinnoista 30.3.2007/348.) Avoimuuden periaate edellyttää muun muassa, että hankinnoista ilmoitetaan riittävän laajasti. Kun yritykset saavat riittävästi ja tasapuolisesti tietoja meneillään olevista tarjouskilpailuista, tarjouspyynnöllä tavoiteltu kilpailu toteutuu julkisissa hankinnoissa. Tämä taas tarkoittaa, että kilpailu julkisista hankinnoista antaa hankintayksikölle mahdollisuuden tehdä mahdollisimman taloudellinen hankinta. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012.)

Päätös siitä, mitä tehdään itse omana työnä, mitä ostetaan ulkoa ja milloin hankintoja tehdään, kuuluu julkiselle sektorille itselleen, mutta hankintalaki säätelee, miten hankinta tehdään. Hankintalaki velvoittaa kilpailuttamaan aine-, tarvi- ke- ja tavarahankinnat, erilaiset palveluhankinnat ja urakalla teetättämiset, jos ne ylittävät kansalliset kynnyksarvot (Laki julkisista hankinnoista 30.4.2010/321 15 §):

Taulukko 1. Julkisten hankintojen kynnyksarvot.

Hankintalaji	Hankintaviranomainen
	Kynnyksarvo (euroa)
Tavara- ja palveluhankinnat	30 000
Käyttöoikeussopimukset	30 000
Liitteen B (ryhmä 25) terveydenhoi- to- ja sosiaali-palvelut ja koulutus- palvelut yhteishankintana	100 000
Rakennusurakat	150 000
Käyttöoikeusurakat	150 000
Suunnittelukilpailut	30 000

Julkisen hankinnan vaatimukset on määriteltävä julkisessa tarjouspyynnössä julkisen hankinnan vaatimusmäärittelyn mukaisesti:

. . . tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa laatua tai ympäristönsuojelun ta- soa, suunnittelua, vaatimustenmukaisuutta ja käyttöön soveltuvuutta sekä tuot- teen käytön arviointia, tuotteen turvallisuutta ja mittoja, myyntinimityksiä, termis- töä, tunnuksia, testausta ja testausmenetelmiä, pakkauksen merkitsemisen, eti- ketöinnin, käyttöohjeiden ja tuotantoprosessien ja menetelmien sekä vaatimuk- senmukaisuuden arviointimenetelmiä koskevat vaatimukset; julkisissa rakennus- urakoissa teknisin eritelmin määriteltäviä ominaisuuksia ovat lisäksi suunnitte- luun, kustannuslaskentaan, testaukseen ja tarkastukseen liittyvät säännöt, työn hyväksymisehdot, rakennusmenetelmät sekä rakennustekniikat ja muut valmii- seen työhön ja materiaaleihin tai niiden osiin liittyvät tekniset edellytykset

(Laki julkisista hankinnoista 30.3.2007/384, 5.§. Määritelmät)

Tarjouspyynnöstä seuranneen tarjouksen on oltava esitettyjen vaatimusten mu- kainen, sillä hankintalain 46. §:n mukaan ~~tarjouspyyntöä~~ tai tarjousmenettelyn ehtoja vastaamattomat tarjoukset on suljettava tarjouskilpailusta~~+~~. Tämä tarkoit- taa, että tarjouspyyntöä vastaamattomat tarjoukset ovat automaattisesti virheel- lisiä tai puutteellisia, mikä aiheuttaa paljon vaivaa hankintayksiköille, mutta

myös tarjouksia tekeville tarjoajille. Kerran jätettyyn tarjoukseen ei ole mahdollista pyytää tai tehdä täydennyksiä.

Julkisten hankintojen kilpailutuksen tarkoituksena on hankkia tavaroita ja palveluja, jotka hinta-laatu suhteeltaan parhaiten vastaavat ostajan tarpeita. Jätetyistä tarjouksista on valittava joko kokonaistaloudellisesti edullisin tai hinnaltaan halvin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012). Liian kallis hinta saattaa olla hyväksyttävä peruste hylätä muutoin hyväksyttävä tarjous. Tarjouksia punnittaessa myös huonoa kokemusta tai tarjoajan huonomainaisuutta voidaan myös käyttää perusteena tarjouksen hylkäämiseen (Piekkola 2011).

4 KULJETUSTEN SUUNNITTELU JA OPTIMOINTI

4.1 Kuljetusten optimointi julkisella sektorilla

Optimointi tarkoittaa parhaimman mahdollisen toimintavaihtoehdon löytämistä. Viime vuosina Suomessa on herätty myös kuntatasolla logistiikkakustannusten nousuun ja lähdetty tutkimaan optimoinnin hyötyjä julkisen sektoriin kuuluvien kuljetusten ja niihin rinnastettavien urakoiden piirissä. Tällaisia kunnan hoitamia kuljetuksia ovat

- kotihoitopalvelu ja kotisairaanhoido
- koulukuljetukset
- vanhusten kuljetukset
- vammaisten kuljetukset
- ateriakuljetukset
- materiaalikuljetukset
- sisäpostikuljetukset
- jätteiden keräys
- katujen kunnossapito.

Kunnan sisäiset kuljetukset ovat usein joko pienehkön tavaran siirtoa yksiköstä toiseen, esimerkiksi ruokakuljetukset keskuskeittiöltä koulujen tai laitosten ruokaloihin tai suoraan kotihoidon asiakkaiden oville. Kuten listasta käy ilmi, monet kuntien kuljetuksista ovat sosiaali- tai terveystoimeen piiriin kuuluvia toimintoja. Perinteisesti näiden kuljetusten suunnittelu on hoidettu viraston seinällä olevan kartan ja paikallistuntemuksen avulla, mutta nykyteknologian yleistyessä siirrytään yhä enemmän paikkatietojärjestelmiin ja reittioptimointiin perustuvaan työmalliin. Suomen yksi edelläkävijä kunnallisen sektorin kuljetusten optimointitarpeen kartoittamisessa on ollut Jyväskylän yliopiston OPT-LOG-hanke, jonka nimissä on julkaistu useita artikkeleita kunnallisiin kuljetuksiin liittyvissä optimointiprojekteista.

Esimerkiksi Olli Bräysyn tutkimuksen puitteissa toteutetut case-tutkimukset osoittavat joissakin tapauksissa dramaattista 50-70 %:n säästöpotentiaalia kus-

tannuksissa, mutta optimointimenetelmien tunnettavuus ja soveltaminen kunnallisalalla on kuitenkin vielä erittäin vähäistä (Bräysy 2007).

ESRI Finland Oy tarjoaa kunnalliselle sektorille ratkaisuja, joiden avulla voidaan optimoida ja yhdistellä erilaisia kuljetuksia samaan järjestelmään, mikä tuo huomattavia synergiaetuja. Tätä järjestelmää voidaan helposti myös hyödyntää kuljetussopimuksia kilpailuttamisessa ja solmimisessa. Esimerkiksi Jyväskylässä vuonna 2008 arvioitiin, että reittioptimoinnilla voitaisiin säästää kuljetuskustannuksista 200 000-300 000 euroa sekä saada henkilökunnalle lisää työaikaa 700 000 eurolla. (ESRI 2008.)

Myös katujen ja kiinteistöjen kunnossapito voidaan tuoda optimoinnin piiriin. Esimerkiksi Vaisala tarjoaa IceCast-reittioptimointityökalua, joka suunnittelee modulaarisia katu- ja tiekunnossapitoreittejä paikkatietoon ja säänmittaukseen perustuvien parametrien perusteella luvaten, että sama toimialue voidaan kattaa 10-20% pienemmällä reittimäärällä kuin pelkkään karttapohjaan perustuvalla verkostolla (Vaisala 2011). Esimerkiksi vuonna 2011 Porissa oli tavoitteena saada aikaan jopa 40 %:n vähennys lumenpoistoon tarvittavan kaluston kilometreihin reittioptimoinnin avulla (Yle Satakunta 12.10.2011).

Jätelogistiikan optimointi- ja paikkatietoratkaisuihin taas on paneutunut iWaste-projekti, jonka ovat toteuttaneet Kuopion yliopiston ympäristöinformatiikan työryhmä ja Tampereen teknillisen yliopiston bio- ja ympäristötekniikan laitoksen materiaalivirtatutkimusryhmä yhdessä TEKES:n kanssa vuosina 2002-2004. Eräässä tutkimuksessa luotiin algoritmi jäteautojen reittien optimoimiseksi, mikä tapahtui yhdistelemällä keräyspisteitä ja aikatauluja. Käytännön toteutuksessa Kuopion kaupungin alueella saavutettiin jopa 44 %:n säästöjä pienentämällä ajettujen reittien kokonaiskilometrimääriä noin 2500 kilometrillä. Näin huikeaa lopputulosta ei tosin saavutettu vastaavassa projektissa Pieksämäen alueella, jossa keräilypisteiden lukumäärä oli merkittävästi vähäisempi ja säästetyksi matkaksi muodostui vain 106 kilometriä eli 4 % lähtökohtana olleista reiteistä. (Nuortio T., Kytöjoki J., Niska H. & Bräysy O 2005, 9)

4.2 Kuljetusten suunnittelun erilaiset päätökset

Organisaation päätökset jakautuvat niiden merkityksen, laajuuden, painoarvon sekä pitkäkestoisuuden perusteella kolmeen tasoon (Waters 2003, 60). Samat päätöksentekotavat liittyvät myös kuljetustensuunnittelun eri vaiheisiin.

Strategiset päätökset määrittävät koko organisaation suuntaan pitkälle tulevaisuuteen. Strategiset päätökset koskettavat useimpia organisaation toimintoja ja käytettävissä olevia resursseja sekä sisältäen yleensä suurimmat riskit. Kuljetusten optimointiin liittyviin ongelmiin siirrettyinä strategisen tason ongelmia ovat sijaintipaikka- ja lukumääräongelmat, jotka ratkaistaan hakemalla toimintapisteille edullisimmat sijaintipisteet ja taloudellisin lukumäärä ottaen huomioon kysyntäpisteet. (Suomen kuljetusopas 2010).

Taktiset päätökset ovat strategisten päätösten soveltamista käytäntöön keskipitkällä aikavälillä. Taktisessa päätöksenteossa kiinnitetään enemmän huomiota yksityiskohtiin, mutta kyseessä on pienempien resurssien ja riskien päätökset.

Taktisen tason ongelmat liittyvät kuljetuskustannuksiin, kaluston määrään ja laatuun sekä kaluston ja tilojen kapasiteettiin. Taktisia ongelmia ovat muun muassa kuljetusongelmat, joissa normaalisti minimoidaan kuljetuskustannuksia kiinteiden toimintapisteiden, esimerkiksi varastojen, kapasiteettien ja kuljetettavien tavaramäärien suhteen. Myös kapasiteetti-ongelmat, joissa haetaan toiminnan maksimikapasiteettia kustannusten, ajan, palvelunopeuden, tehokkuuden, tavaramäärän tai jonkin muun kriteerin suhteen ovat taktisen tason ongelmia. Lisäksi kaluston valintaongelmat, joissa pyritään minimoimaan kuljetuskustannuksia kaluston määrän ja kapasiteetin valinnalla liittyvät suoranaisesti taktisen tason päätöksentekoon.

Operationaalisella tasolla päätökset ovat lyhytmittaisia, päivittäisen tason yksityiskohtiin keskittyviä ratkaisuja, jotka koskettavat vain pientä määrää resursseista ja sisältävät vain pieniä riskejä. Operatiivisia ongelmia ovat muun muassa jakeluongelmat, joissa normaalisti minimoidaan kuljetuskustannuksia kiinteiden jakelupisteiden välillä käytettävissä olevan kaluston määrän ja kapasiteetin

suhteen. Kiinteästi operatiiviseen päätöksentekoon liittyvät myös reitinvalintaongelmat, joissa etsitään lyhintä tai edullisinta kulkutietä toimintapisteiden kautta. Reitinvalintaongelmat liittyvät yhteen jakelutoiminnan ongelmien kanssa, joissa kustannusten minimointiin pyritään kuormia yhdistelemällä ja toisaalta suuria kuormia jakamalla monelle autolle tai usealle ajokerralle auton kapasiteetin, kuljettajan työajan, vuorotteluperiaatteen tai suunnitellun reitin mukaan.

4.3 Reitti- ja kalustovalinnan merkitys kuljetuskustannuksille

Hokkasen (2007, 207) mukaan maantieliikenteen kuljetustenohjauksen tärkein osa-alue on reitti- ja kuormasuunnittelu, josta käytetään myös terminä *ajojärjestely*. Kuljetuskustannuksiin vaikuttaa merkittävimmin se, miten onnistuneesti kuljetusreitit on suunniteltu. Koska asiakkaalla ei ole väliä, mitä reittiä tavarat kulkevat, kuljetuksia hoitavalla yritykselle on tärkeintä valita vaihtoehto, joka aiheuttaa vähiten kustannuksia. Yleensä tämä vaihtoehto on suorin ja lyhyin valittavissa oleva reitti.

Myös kuljetuskaluston valinnalla on merkitystä kuljetuskustannuksiin. Puolityhjänä kulkeva auto merkitsee huonoa kalustovalintaa ja aiheuttaa lisäkustannuksia. Liian suuren kapasiteetin käyttäminen kuljetuksen hoitamiseen ei tuo lisäarvoa asiakkaalle, vaan aiheuttaa tavarankuljettajalle lisäkustannuksia. Toisaalta liian pieni kapasiteetti saattaa johtaa kuormatilan täyttymiseen reitin varrella, jolloin tavarat on noudettava jollain toisella yksiköllä, mikä taas tuottaa poikkeuksetta lisäkustannuksia. Liian kookas kalusto voi tuoda myös muita haittavaikutuksia keräily- tai jakelukuljetusten hoitamiseen, esimerkiksi kaupunkien keskustojen alueella tai liikkeissä, joissa ei ole varsinaista tavaravastaanottoon soveltuvaa purkupaikkaa tai -välineistöä.

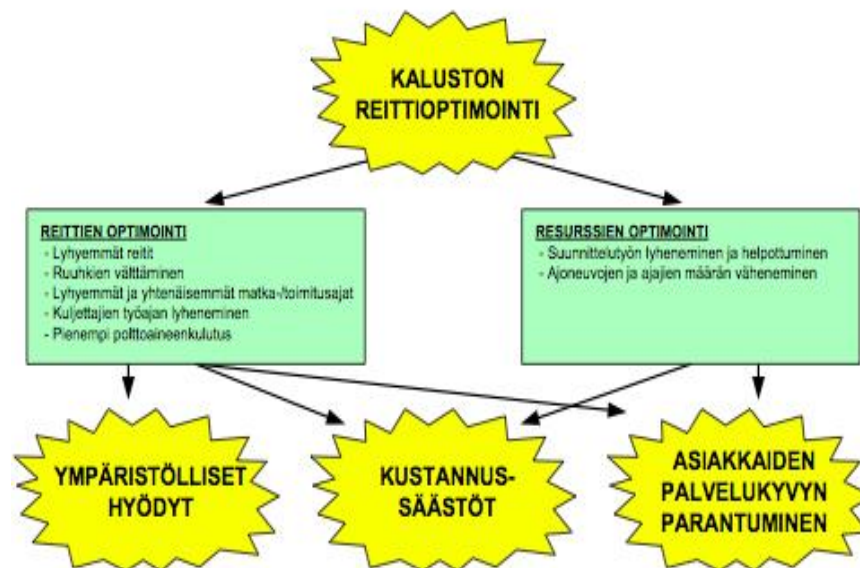
Tavarankuljettajan kannalta tehty kalustonvalinta tarkoittaa, että on varauduttava etukäteen erilaisiin käyntikohteisiin esimerkiksi varaamalla kuormakäsittelyvälineistöä auton kyytiin, mikä taas tarkoittaa menetettyä kapasiteettia kuormatilassa. Kuljetuksia ohjaavan henkilön, esimerkiksi ajojärjestelijän, on varauduttava poikkeaviin tilanteisiin. Lisäksi kuormia ja reittejä suunniteltaessa on otettava

huomioon kuljetettavien tuotteiden erityisvaatimukset lämpötilan (pakaste- tai lämpösäädely kuljetus) tai vaarallisuuden suhteen (ADR/VAK-kuljetukset), jotka vaativat sekä kalustolta että kuljettajalta ammattipätevyyttä.

4.4 Optimoinnin hyödyt

Edellä esitettyihin reitin suunnittelun ongelmiin löytyy ratkaisuja reittioptimointiin tarkoitetuista työkaluista. Yrityksen kuljetustarpeista ja yleisistä toimintatavoista kuljetustenohjauksessa riippuen myös tarpeet reittien suunnittelun vaihtelevat. Pienessä kuljetusyrittäksessä kalustonohjaus ja -reititys on yksinkertaisempaa pienemmän kuljetusvolyymien ja kalustomäärän vuoksi verrattuna suurempiin toimijoihin. Toisaalta taas pienen toimijan erikoistilanteiden selvittäminen on hankalampaa samoista syistä. Suuret kuljetusliikkeet pystyvät vastaamaan muuttuviin kuljetusvolyymeihin kustannustehokkaammin suuremman kalustoresurssin sekä erilaisten runko- ja jakelureittien ansiosta. (Hokkanen 2007, 209)

Kuvassa 2 esitetään kaluston reittioptimoinnista seuraavia hyötyjä niin ympäristölle, kustannuksille kuin asiakaspalvelutasollekin. Yleistäen voidaan todeta, että mitä enemmän erilaista tavaraa kulkee ja mitä suurempi asiakasmäärä yrityksellä on, sitä vaikeammaksi kuljetustensuunnittelu muuttuu. Reitinsuunnitteluun vaikuttavat maantieteellisen sijainnin lisäksi hyvin lukuisat kuljetustekniset tekijät, kuten erityyppinen kuljetuskalusto, kuljetettavan tavaran mitat ja yhteensovittamisen ongelmat, erilaiset logistiset sijainnit ja rakennukset, toimitusten aikaikkunat sekä asiakaskohtaiset vaatimukset, toimitusnopeuteen vaikuttavat vaihtelevat keliolosuhteet, kuljettajien ajoajat ynnä muut vaihtelevat tekijät. (Waters 2003, 326.)



Kuva 2. Kaluston reittioptimoinnin hyödyt Bräysyn (2007) mukaan.

Reittioptimointi on kuljetuksen aikana tai sitä suunniteltaessa vastaan tulevien ongelmien ratkaisua käytännössä. Käytännössä ongelmanratkaisu tapahtuu usein heuristisella eli niin sanottuihin nyrkkisääntöihin perustuvalla ratkaisutavalla. Heuristinen ajattelutapa pyrkii ongelmanratkaisuun, jolla päästään tehtävän kannalta mahdollisimman tyydyttävään ratkaisutapaan.

Käytännössä reittioptimointi siis tapahtuu heuristisilla menetelmillä, jotka eivät rajoitu puhtaasti matemaattiseen ongelmanratkaisuun. Reittioptimointi kuitenkin liittyy läheisesti kahteen tunnettuun matemaattiseen ongelmaan, lyhimmän polun ongelmaan ja kauppamatkustajan ongelmaan. Kauppamatkustajan ja lyhimmän polun ongelmat kuitenkin tarjoavat ratkaisumalleja optimoinnista esiintuleviin aliongelmiin. Yhdistettynä heuristiseen lähestymistapaan päästään kohtuullisessa laskenta-ajassa riittävään ratkaisutasoon. Lyhimmän polun ongelman tavoitteena on löytää lyhin tai muuten optimaalisin reitti kahden annetun pisteen välille. Lyhin reitti sinällään ei ole ratkaisu optimoitujen reittien tekemi-

seen, sillä se rajoittuu kahden pisteen väliseen matkaan, mutta ei pisteiden erityisominaisuuksiin esimerkiksi kalustovaatimusten tai aikataulutuksen puolesta. Siksi lyhimmän polun ongelma on optimoinnin osaongelma. (Waters 2003, 326.)

Kauppamatkustajan ongelma taas liittyy optimaalisen järjestyksen luomiseen annetulle joukolle pisteitä. Pisteiden määrän kasvaessa myös mahdollisten ratkaisujen määrä kasvaa eksponentiaalisesti, jolloin muutaman pisteen välinen kauppamatkustajan ongelman vaatima laskuteho ylittää tarjolla olevan laskentakapasiteetin leikiten. Myöskään sen tarjoama ratkaisu ei ota huomioon pisteiden rajoituksia, vaatimuksia tai tarjolla olevaa kapasiteettia. Tästä syystä myös kauppamatkustajan ongelma on optimoinnissa osa-alue, jota ei voida soveltaa suoraan käytännön ongelmiin.

Heuristiset menetelmät voidaan karkeasti jakaa perinteisiin yksinkertaisiin heuristisiin menetelmiin ja kehittyneempiin metaheuristisiin menetelmiin. Laskennallisesti raskaat metaheuristiikat, kuten geneettiset algoritmit, tabu-haku ja simuloitu jäähtytys, tuottavat yleensä optimaalisen ratkaisun, mutta eivät sovellu päivittäisten, nopeita ratkaisuja vaativien ongelmien ratkaisuun (Nuortio 2005, 36). Dynaamisessa optimoinnissa, eli kun vaaditaan ajonaikaista reititystä, joudutaan lähes poikkeuksetta soveltamaan yksinkertaisia heuristisia menetelmiä. Näitä menetelmiä esitellään luvussa 4.5.

Koska nykyään jätehuoltoyritysten alueet saattavat koostua tuhansista tyhjennyspisteistä (Nuortio T., Kytöjoki J., Niska H. & Bräysy O 2005, 36) esittää vaihtoehtoja laajojen alueiden optimoimiseksi metaheuristisin menetelmin. Heidän mukaansa ongelmaa voidaan lähestyä muun muassa ongelman redusoinnin kautta. Yksinkertaisimmillaan tämä voi tarkoittaa tieverkon tarkoituksellista supistamista ja lähimpien pisteiden yhdistämistä laskentapisteen vähentämiseksi. Laskennalliset ongelmat kannattaa jakaa myös helpommin ratkeaviksi aliongelmiiksi, joihin voidaan soveltaa yksinkertaisempia algoritmeja.

Optimoinnin aloittamiseksi ongelma on ensin kuvattava loogisesti eli on etsittävä raja-arvoja, joiden puitteissa operaatiot tapahtuvat. Jätehuollon reittien muodostamisessa voidaan lähteä liikkeelle todellisen tieverkon kuvaamisesta loogi-

sen verkon avulla, joka ei pyri esittämään topologista eli reaali maailman kartastoa vastaavaa tieverkkoa. Pikemminkin looginen kartta esittää sen kuvaamaan alueen toiminnallisuutta, kuten suuntaa, keräyspisteiden puolisuutta, nopeusrajoitteita ynnä muuta toiminnallisuuden ja ongelman kannalta merkittäviä tekijöitä (Nuortio 2005, 37). Looginen tieverkko toimii ensisijaisesti solmukohtien (esimerkiksi asiakas, varasto, tienristeys) ja solmujen välisten yhteyksien perusteella. Solmuihin voidaan liittää erilaista attribuuttitietoa, jota voidaan kerätä esimerkiksi paikkatietoon perustuvilla tilastoinneilla. Lisäksi solmukohtiin voidaan liittää kapasiteetti- ja kustannustietoja kulloisenkin käsillä olevan tilanteen mukaisesti.

Loogisen verkon solmuparien avulla voidaan lähteä etsimään optimaalisia reittejä eri pisteiden välillä. Attribuuttitiedon avulla tämä optimointi voi tapahtua vaikka työaikaan tai minimaaliseen ympäristökuormitukseen perustuen. Tärkeää on kuitenkin muistaa, että loogista mallia vastaa todellisuuden tieverkosto sekä aikaikkunat, joiden asettamia rajoitteita on seurattava optimoinnin realisointikokeilla, jotta mallin ja todellisuuden välinen ero ei huomaamatta kasvaisi liian suureksi.

4.5 Reitin suunnittelun ratkaisumenetelmät

Maantieteelliseen etäisyyteen perustuvaan reittisuunnitteluun on olemassa karkeasti ottaen kaksi lähestymistapaa. Karttaa voidaan käyttää apuna etäisyyksien hahmottamiseen ja reittipisteiden optimoimiseen kiinnittämättä varsinaisen tiereitistön rajoituksiin huomiota, kuten edellä esitettiin loogisen tieverkon mallin avulla. Nykyisten, erittäin tarkkojen elektronisten kartta-aineistojen aikana on kuitenkin yhä yleisempää tehdä reitinvalintoja todellisuuteen perustuvan tieverkon asettamien rajaehtojen perusteella. Tätä mallia saattaa kuitenkin edeltää korkeammalla tasolla tapahtunut reittioptimointi, sillä kuten edelle esitin, pelkkään karttamallinnukseen perustuva optimointi on raskas urakka laajojen kokonaisuuksien optimointiin.

Waters (2003, 326) esittelee erilaisia heuristisia metodeja, jotka voidaan ottaa maantieteelliseen sijaintiin sekä kuljetusten teknisiin vaatimuksiin perustuvien haasteiden selvittämiseksi kuljetusten suunnittelussa.

Neuvottelu kuljetusketjuun osallistuvien osapuolien välillä ei ole välttämättä teknisin tai tehokkain vaihtoehto, mutta mahdollistaa eri tekijöiden osallistumisen ja mielipiteiden huomioimisen päätöksen teossa. Neuvotteluun liittyen tai sen seurauksena voidaan tehdä edeltävien suunnitelmien ~~hienosäätöä~~, mikä on tehokas lähtökohta reitinsuunnitteluun, joka on luonteeltaan melko pysyvää (esimerkiksi postinjakelu). Hyötynä on, että tällaisella suunnittelulla reitin suorittamiseen ei tule suuria häiriöitä eikä palvelutaso parhaassa tapauksessa kärsi lainkaan muutoksista. Toisaalta tällöin ongelmana on kokonaan uusien reittien suunnittelu, joka on kokonaan suunnittelijan ammattitaidon varassa ja saattaa olla hidas prosessi verrattuna matemaattisempiin malleihin.

Muut intuitiiviset menetelmät pitävät sisällään suunnittelijoiden tiedon ja kokemuksen tuomia toimintamalleja, jotka perustuvat heuristisiin ratkaisuihin, jotka ovat osoittautuneet aikaisemmin toimiviksi. Usein suunnittelun pohjana käytetään karttoja, joille luodaan suunnittelussa graafisia malleja, joita on helppo ymmärtää myös reitin toteutusvaiheessa. Lisäksi näin tehdyt suunnitelmat ja muutokset ovat helposti hahmotettavia verrattuna vaikka lukuihin perustuviin diagrammeihin. Taulukkolaskelmat ja aikatauludiagrammit taas tuovat suunnitteluun yksityiskohtaisuutta ja tarkkaa informaatiota, jota kartalla ei pystytä esittämään kaikessa laajuudessaan. Reitin suunnittelun voi aloittaa myös näiden laskelmien pohjalta ja vasta sen jälkeen siirtyä karttapohjaiseen reitin piirtämiseen.

Simulaatiomallien avulla voidaan tuottaa ja testata tietoa, joka vaikuttaa olennaisesti reittien toteutettavuuteen ja tehokkuuteen. Simuloiminen tuo suunnitteluprosessiin joustavuutta vähentäen tarvetta varsinaiselle reitin toteuttamisen tarvittavaan havainnointiin. Esimerkiksi suunnittelijan ei tarvitse istua mukana auton ohjaamossa tarkkailemassa kuljettajan nopeutta eri tilanteissa ja sijainneissa. Tämä ei usein myöskään vastaa työn todellisuutta,

koska tarkkailtava henkilö toimii eri tavalla kuin itsenäisesti työtään suorittaen. Suunnittelija voi antaa tietokoneen laskettavaksi keskiarvoja työsuoritteista reitin varrella ja näitä säätelemällä havainnoida erilaisten poikkeustilanteiden merkitystä.

Eksperttiohjelmistot ovat pitkälle kehitettyjä tietokoneohjelmia, joiden tietokantoihin on kerätty erilaisia tilanteita toimintamalleineen ja jotka siten pyrkivät jäljittelemään kokeneen suunnittelijan käytännön kokemusta. Ohjelmistot perustuvat matemaattisille malleille, jotka ovat tehokkaita algoritmeja, joiden avulla voidaan käydä läpi lukemattomia vaihtoehtoja lyhyessä ajassa. Niiden hyödyllisyys vaihtelee optimointitarpeen mukaan, eikä niiden tarjoamia malleja usein ole järkevää soveltaa käytäntöön käyttämättä edellä lueteltuja metodeja.

5 REITTIOPTIMOINNIN HYÖDYNTÄMINEN YMPÄRISTÖHUOLLOSSA

Työn käytännön osuutena toteutettiin optimoinnin teoriaan perustuva reititys toimeksiantajayrityksen urakalle, joka koskee Raision kaupungin alueella olevien kaupunkiroska-astioiden tyhjentämistä sekä siinä ohessa tapahtuvaa koiranjätöspussien jakeluautomaattien täyttämistä. Lähtökohtana oli yrityksessä herännyt epäily, että urakan nykyinen toteuttamistapa ei ole taloudellisesti järkevin. Urakka alkoi yrityksen voitettua Raision kaupungin järjestämän julkisen hankintakilpailun vuoden 2009 syksyllä. Tarjouspyynnössä määriteltiin tyhjentävien pisteiden lukumäärä, joista osa vaatii tyhjennyksen kerran viikossa (ydinkeskustan alue), osa taas vain joka toinen viikko. Kaupungin kanssa sovittiin silloin, että alueet jaetaan kartalla keskustaan sekä eteläiseen ja pohjoiseen reittiin. Keskusta hoidetaan joka viikko ja etelän ja pohjoisen pisteet vuoroviikkoina. Urakan toisena osana ovat koiranjätöspussien jakeluautomaatit, joiden täydennysväliksi sovittiin joka viikko, mutta joiden sijainti ei osunut rajatusti keskustan alueelle. Alueiden raja kulkee karkeasti Raision halki Nesteentietä pitkin.

Kohteita on yhteensä 243 kappaletta, joista koiranjätöspussien jakeluautomaatteja on 11 kappaletta. Joka viikko huollettavia kohteita on 76 kappaletta. Kimmoke reitin uudelleensuunnittelulle tuli, kun sopimuksen viimeiseksi vuodeksi Raision kaupunki halusi lisätä tyhjennyspisteitä ympäri kaupunkia ja huomattiin, että näiden lisähinnan sopimiseksi ei ollut olemassa työkaluja. Samalla syntyi halu tarkastella reitin todellisia kustannuksia mahdollista uutta kilpailutusta varten, jotta nähtäisiin olivatko alun perin sovitut urakkahinnan indeksikorotukset riittäviä kustannusten nousuun nähden.

Näistä selkein kustannusmuutos on tapahtunut polttoaineen hinnassa. Loppuvuodesta 2009 dieselin litrahinta oli 1,00- 1,10 euron välillä, kun alkuvuodesta 2012 hinta liikkuu jo 1,60 euron tienoilla (Polttoaine.net 2012). Reitin optimoimisella pyritään reagoimaan tähän merkittävään kustannusten nousuun.

Vuonna 2009 pidettyyn tarjouskilpailuun saapuneiden vastausten hintahaitaria tarkasteltaessa on helppo huomata, että urakan kustannusten ja hinnan laskeamiseen on käytetty hyvin erilaisia lähtökohtia ja oletuksia. Tarjouksia saapui yhteensä yhdeksältä yritykseltä. Hinnalta pienimmän ja korkeimman tarjouksen välinen hintaero oli 106 864,28 euroa. Toimeksiantaja Piikkiön Tehoapu Oy valittiin urakan toteuttajaksi halvimman hinnan perusteella.

5.1 Työn lähtökohdat

Työ suoritetaan dieselkäyttöisellä Toyota Hiace- pakettiautolla (pitkä korimalli), jonka kantavuus on 1100 kilogrammaa ja tavaratilan tilavuus 6 500 litraa. Lattian pituus on 3 metriä ja sinne on sijoitettu kierroksen ajaksi muovinen jäteastia säkkien ja roskapussien keräystä varten. Autossa on kaksi työntekijää, jotka molemmat osallistuvat tyhjennyksiin. Tämä on osoittautunut toistaiseksi parhaaksi vaihtoehdoksi, koska se mahdollistaa helpon tyhjennyksen kummalta puolelta autoa tahansa sekä nopeamman toiminnan kävelyä vaativissa kohteissa.

Koska osa tyhjennyskohteista sijaitsee puistoalueiden keskellä, kevyen liikenteen väylillä ajoa ei voida välttää, mutta siinä on noudatettava erityistä varovaisuutta. Auto on varustettu varoitusvilkulla, jota on sopimuksen mukaan käytettävä kevytväylillä ajettaessa. Huomiovaloin varustettu huoltoajo on sallittua normaalien ajoväylien ulkopuolella, ja Raision kaupungille on ilmoitettu ajoneuvon rekisterinumero mahdollisia valituksia varten. Työntekijöiden on käytettävä varoitusliiviä sekä tarvittavia suojavarusteita, erityisesti suojahanskoja. Jättesäkkejä ei saa nostaa vartaloa vasten mahdollisten pistojen varalta.

Talviaikana kevyen liikenteenväyliä pitkin kulkevat reitit aiheuttavat hankaluuksia, sillä talviylläpito ei takaa pääsyä pakettiautolla. Toisaalta talvisin myös jätettä kertyy vähemmän, esimerkiksi leikkipuistojen roska-astioihin ei välttämättä laisinkaan. Tämä nopeuttaa reitin suoritusaikaa sääolosuhteista huolimatta. Kesäisin jätettä on huomattavasti enemmän ja osa kerran kahdessa viikossa

huollettavista kohteista voisi vaatia kerran viikossa tyhjennyksen. Näitä näkökohtia ei ole otettu huomioon reittiä optimoitaessa sillä mainitut olosuhde/volyymivaihtelut tasapainottavat toisiaan työajassa, jolloin kokonaistyöaika pysyy vuoden läpi mitattuna melko samana. (A. Elo, henkilökohtainen tiedonanto 12.10.2011.)

5.2 Optimoinnin toteutus ja eteneminen

Varsinainen optimointi tapahtui ESRI® ArcLogisticsi 9.3. SP2 . ohjelmalla. ArcLogistics on suunniteltu vaativaan reititykseen ja kuljetusaikataulujen suunnitteluun tarjoamalla ratkaisuja usean auton reittioptimointiin. Tyypillisiä käyttökohteita ovat elintarvike- ja tavarakuljetukset, koululais- ja vammaiskuljetukset sekä lähetti- ja jakelupalvelut. Ohjelmisto soveltuu siis sekä tavarant- että henkilökuljetusten ohjaukseen. (ESRI 2010). Karttamateriaalina toimi Esrin Europa 2009-aineisto sekä Liikenneviraston Digiroad 2009-aineisto, joka sisältää liikenneverkoston keskilinjageometrian sisältäen kevyenliikenteenväylät sekä liikenteeseen liittyviä ominaisuustietoja, kuten kulkurajoituksia. (Liikennevirasto 2010)

Ennen optimoinnin aloittamista ohjelma tarvitsee tiedot käyntikohteista, tilauksista sekä käytettävissä olevasta kuljetuskalustosta. Paikkoja voivat olla muun muassa ajoneuvojen aloitus- ja lopetuspisteet, erilaiset lastaus- ja purkupaikat sekä muut kohteet, jotka reitin varrella vaativat poikkeamista. Tilaukset taas määrittävät, milloin missäkin kohteessa tarvitaan tietynlaista kalustoa eli niiden pohjalta ohjelmisto määrittää reitit käytettävissä olevalle kalustolle. Tilaustietoja voidaan syöttää ohjelmaan käsin tai ladata ulkoisista tietokannoista, kuten Excel-taulukoista. Nämä tiedot sisältävät muun muassa osoite- ja tilaajatietoja, kuljetettavan tavarant määriä, erikoisvaatimuksia, aikaikkunoita, palveluaikoja (lastaukseen tai purkuun kuluva aika) ja niin edelleen.

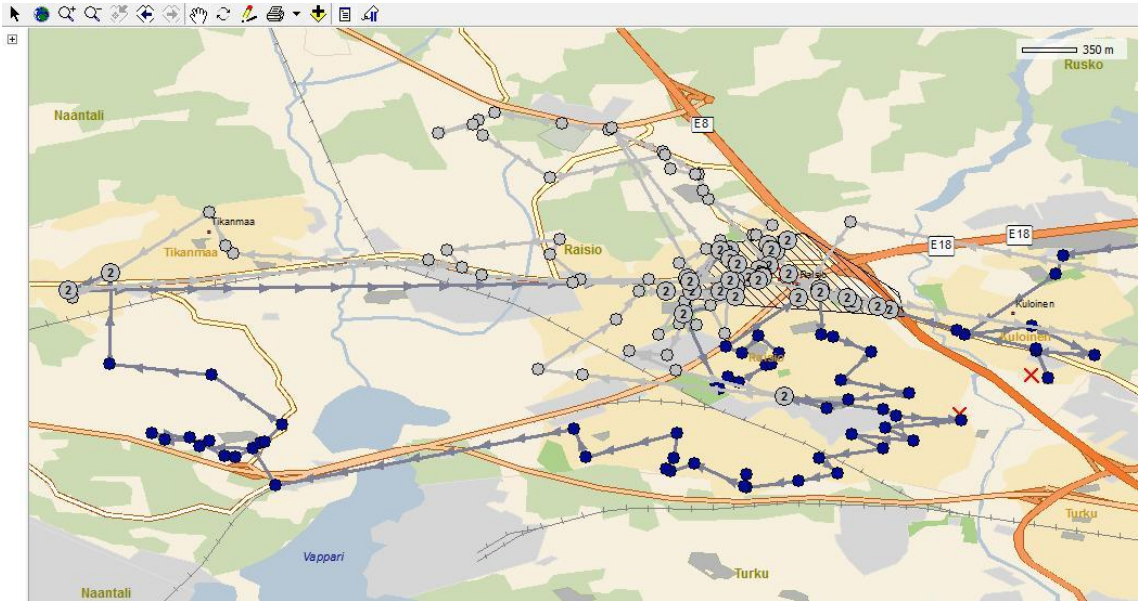
Käytännössä reittioptimointia lähdettiin toteuttamaan alkukevästä 2012. Ensimmäinen vaihe oli pisteiden taulukoiminen urakkakartalta Excelin avulla helpommin käsiteltäväksi dataksi. Kun jokainen piste oli kirjattu, kävi ilmi, että 243 eri pisteen käsitleminen tulee olemaan erittäin työlästä laskentatehon riittä-

mättömyyden takia. Seuraavassa vaiheessa pisteet niputettiin yhteen kartan ja työntekijöiden kokemuksen avulla +stopeiksi+, eli yhdellä pysähdyksellä huollettaviksi kohteiksi. Varsinkin kaupungin keskustan alueella on nopeampaa ottaa yhdellä auton pysäköinnillä useampi lähietäisyydellä oleva kohde kävellen kuin aina siirtää autoa aivan pisteiden viereen. Tällä tekniikalla stoppien määräksi saatiin 150 kpl.

Stopeista myös kirjattiin ylös, vaatiiko stoppi tyhjennyksen auton oikealta puolelta (esimerkiksi bussipysäkki suuren tien varrella) vai onko se mahdollista hoitaa kummalta puolelta tahansa lähestyen (esimerkiksi päättyvä tie tai puistoalue). Tähän tietoon perustuen optimointiohjelma pystyy laskemaan kulkusuuntaan perustuvia reittivaihtoehtoja eikä ehdota optimaaliseksi reitiksi esimerkiksi neljäkaistaisen tien väärällä puolella olevaa pistettä. Tästä syystä myös stoppeja tehtäessä otettiin huomioon myös työturvallisuus ja pyrittiin minimoimaan suurten teiden ylitykset kävellen tai pysähdykset vilkkailla risteysalueilla.

Stopeille laskettiin myös arvioitu työaika, joka yhden roska-astian kohdalla arvioitiin 60 sekunniksi ja jakeluautomaatin kohdalla 90 sekunniksi. Näillä pystyttiin laskemaan yhden stopin +huoltoaika+.

Vertailun vuoksi nykyisin noudatettavan reitin stopit syötettiin kahdeksi reitiksi täsmälleen työn aikana muotoutuneessa ajojärjestyksessä, jotta optimoinnilla olisi vertailukohta, josta parannusta lähdettiin hakemaan. ArcLogistics hakee automaattisesti reitityille kohteilleärkevimmän käyntijärjestyksen, joten voimassaoleva järjestys oli syötettävä käsin siirtelemällä stopit tunnettuun järjestykseen.



Kuva 3. Vanhat reitit.

Tässä vaiheessa ohjelmaan syötettiin myös parametrit, joiden mukaan reitti sai kulkea kevytväyliä pitkin, mutta osa kevyen liikenteen väylistä rajattiin käytettävien väylien ulkopuolelle, sillä pääasiassa ajon on tapahduttava ajoväyliä käyttäen. Tämä tapahtui lisäämällä kartalle ohjelman mahdollistamia ~~ajokieltoja~~ eli barrier-pisteitä. Ilman lisättyjä kieltomerkkejä ohjelma laskee lyhimmät reitit pienintäkin kartassa näkyvää polkua pitkin, joka käytännössä olisi mahdoton ajaa pakettiautolla johtuen esimerkiksi alikulkuväylistä, polun kapeudesta, pohjan upottavuudesta ynnä muista rajoitteista.

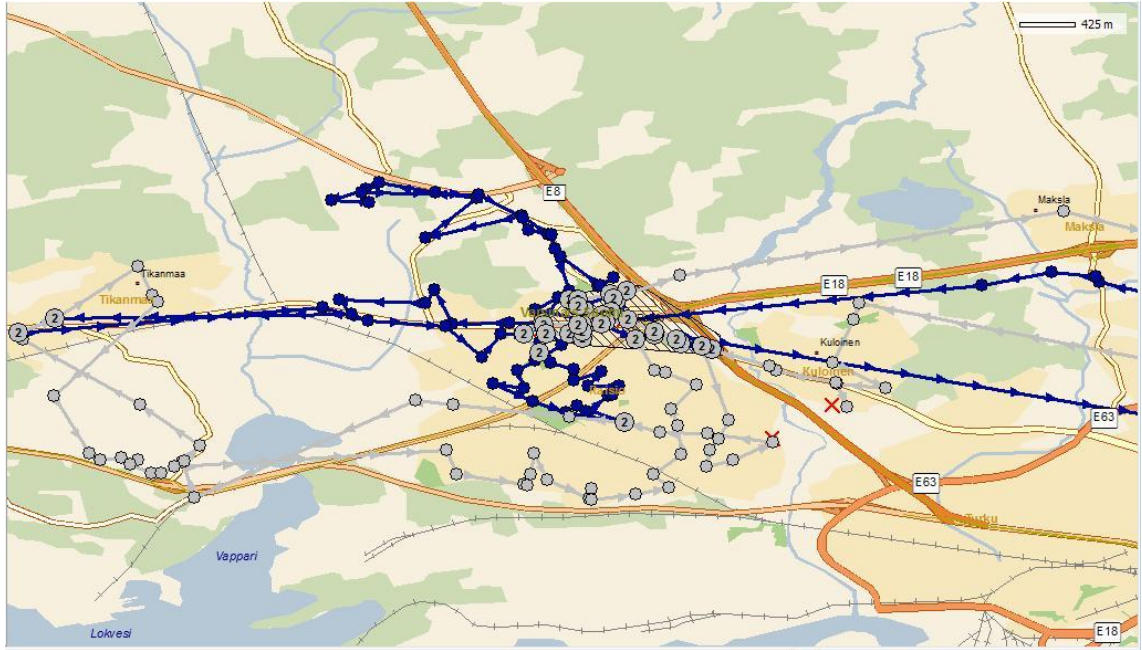
Yhdeksi vertailukohtaksi otettiin ajatus, että työn voisi toteuttaa tyhjentämällä vuoroviikoin vain pakolliset 35 stoppia ja vuoroviikoin jokaisen 150 stoppia. Taulukon 2 kohdasta 1) Uudet reitit > Pakolliset/kaikki kerralla käy ilmi, että tällä toteutustavalla lyhennettäisiin kokonaismatkaa 10,7 kilometriä 2 viikon jaksolla, mutta kokonaistyöaika lyhenisi vain 0,16 tuntia. Lisäksi todettiin, että tällä tavoin ~~työn~~ tyhjennyksen+viikko muodostuisi liian raskaaksi ja työvoimaa sitovaksi tavaksi.

Taulukko 2. Reittien vertailu

VANHAT REITIT	km	ajoaika/h	huolto aika/h	kokonaisaika/h	stopit/kpl
ETELÄ	96,6	2,25	2,86	5,11	100
POHJOINEN	101,7	2,12	2,55	4,67	85
YHTEENSÄ	198,3	4,37	5,41	9,78	185

UUDET REITIT	km	ajoaika/h	huolto aika/h	kokonaisaika/h	stopit/kpl
1) PAKOLLISET	67,9	1,18	1,34	2,52	35
1) KAIKKI KERRALLA	119,7	3,02	4,08	7,1	150
YHTEENSÄ	187,6	4,2	5,42	9,62	185
EROTUS VS. VANHA	-10,7	-0,17	0,01	-0,16	
MUUTOS %	-5,40	-3,89	0,18	-1,64	
2) UUSI ETELÄ	84	1,73	2,57	4,3	90
2) UUSI POHJOINEN	97,8	2,28	2,84	5,12	95
YHTEENSÄ	181,8	4,01	5,41	9,42	185
EROTUS VS. VANHA	-16,5	-0,36	0	-0,36	
MUUTOS %	-13,78	-11,92	0,00	-5,07	

Varsinaisen optimoidun reitin saamiseksi oli määriteltävä reitin logiikka, joka perustuu joka viikko kierrettäville pisteille. Tämän reitityksen tuloksena saadut arvot on esitetty taulukon 2 kohdassa 2) Uusi etelä/uusi pohjoinen. Vaatimus joka toinen viikko tyhjennettävistä pisteistä taas pakottaa reittien määrän kahteen ja tarkastelujakson kahdeksi viikoksi. Tältä pohjalta saatiin optimoiduksi kuvassa 4 esitetty reititys. Uusilla reittivaihtoehdoilla saatiin tasoitettua reittien stoppien määriä ja lyhennettyä ajettavien kilometrien määrää 16,5 kilometriä.



Kuva 4. Optimoidut reitit.

Kuukausitasolla matka lyhenee 33 kilometriä ja vuodessa 396 kilometriä. Käytännössä tämä säästö vastaa yhden kokonaisen kuukauden ajomäärää ($2 \times 198,3$ kilometriä) vanhaa reittiä noudattaen.

5.3 Työkustannukset

Ajokilometrien lisäksi urakan kustannukset syntyvät työ- ja materiaalikuluista. Toimeksiantajan kanssa sovitusasioiden todellisia työkustannuksia ei käsitellä tämän työn puitteissa, vaan ne jätetään osapuolten tietoon ja osaksi toimeksiantajalle toimitettavaa selontekoa.

Laskennalliseksi arvoksi työkuluilla sovittiin toimeksiantajan käytettäväksi kahden henkilön työpanosta sivukuluineen yhteensä 19,50 euroa/tunti. Optimoinnin seurauksena saatu 5 %:n säästö työajassa kahden viikon jaksolla merkitsee vuositasolla rahallisesti:

$$((9,78 \text{ h} \times 19,5 \text{ €/h}) \times 26) - ((9,42 \text{ h} \times 19,5 \text{ €/h}) \times 26) = 182,52 \text{ €} / \text{vuosi}$$

Koska laskelmissa on käytetty stabiilia 60 tai 90 sekunnin huoltoaikaa jokaiselle pisteelle, nämä laskelmat ovat suuntaa antavia. Verrattaessa ArcLogisticsin laskemaa reittiä vanhalla suoritustavalla, se osoittautui kuitenkin empiirisen kokemuksen ja ajopäiväkirjojen mukaan melko paikkansa pitäväksi.

Käytännössä työaika pitenee aluksi hetkelliseksi työntekijöiden uuden reitin opettelu myötä, mutta muuttuu nopeasti rutiininomaiseksi, jolloin ajoajan voi olettaa lyhenevän entisestään. Kuten aiemmin todettiin, todellinen huoltoaika riippuu myös muista tekijöistä, kuten materiaalin määrästä, vuodenaajasta ja sääolosuhteista.

5.4 Polttoaine- ja kalustokustannukset

Sekä vanhat että uudet reitit lähtevät aina yrityksen pihasta Piikkiöstä. Tästä syntyy 20 kilometrin siirtymä Raisioon Kuninkojalle, josta reitit alkavat sekä paluu reitin päätyttyä samaan paikkaan tyhjentämään auto.

Tälle kahden viikon jaksolla tapahtuvalle 80 kilometrin matkalle laskettu keskimääräinen polttoainekustannus (yhdistetty kulutus 8,5 l /100 km) on optimoinnista riippumatta sama:

$$((8,5 \text{ l} \times 80 \text{ km}) / 100 \text{ km}) \times 1,60 \text{ "/>$$

Reittioptimoinnilla saavutettava polttoaineen säästö varsinaisella reitillä taas muodostuu seuraavasti kahden viikon jaksolle (kulutus 12 l /100 km):

$$\text{VANHA: } \frac{((198,3 - 80 \text{ km}) \times 12 \text{ l})}{100 \text{ km}} \times 1,6 \text{ "/>$$

$$\text{YHTEENSÄ: } 10,90 \text{ "/>$$

$$\text{UUSI: } \frac{(181,8 - 80 \text{ km}) \times 12 \text{ l}}{100 \text{ km}} \times 1,6 \text{ "/>$$

$$\text{YHTEENSÄ: } 10,90 \text{ "/>$$

$$\text{UUDEN JA VANHAN EROTUS: } 33,50 - 30,40 = 3,10 \text{ "/>$$

POLTTOAINESÄÄSTÖ VUODESSA: $3,10 \text{ ”} \times 26 = 80,60 \text{ ”}$

Kalustokustannuksia urakassa käytettävälle pakettiautolle syntyy leasing-vuokrasta (sisältäen renkaat ja huollot), liikenne- ja kaskovakuutuksesta sekä veroista vuodessa yhteensä 8141,05 euroa. Koska auto ei ole sidottu tyhjennysurakkaan täysipäiväisesti, vaan sillä voidaan hoitaa meno- tai tulomatalla myös muita yrityksen juoksevia asioita, kohdistetaan urakalle tästä 75 %. Kalustokustannukseksi päivässä saadaan silloin:

$$((8141,05 \text{ ”} / 52 \text{ vk}) / 5 \text{ vrk}) \times 0,75 = 23,5 \text{ ”}$$

5.5 Materiaali- ja muut kustannukset

Urakassa käytettävät materiaalit koostuvat erilaisista jätensäkeistä ja -pusseista. Kallein kustannus ovat koiranjätöspussien jakeluautomaattien pussirullat, jotka maksavat 5 euroa/rulla. Keskimääräinen kulutus on ollut 250 rullaa vuodessa, mutta laskettuna mahdollisen maksimimäärän mukaan (jokainen automaatti täytettävä joka viikko), kustannukseksi voidaan laskea keskimäärin kahdeksan rullaa viikossa eli:

$$(8 \times 5.00 \text{ ”}) \times 52 = 2080 \text{ ”} / \text{vuosi}$$

Muiden jätensäkkien ja -pussien laskennallinen arvo on 350 ” / vuosi. Urakkaan kuuluu kerätyn jätteen jätehuollosta huolehtiminen, mikä tapahtuu yrityksen muun jätehuollon yhteydessä suurjäteastiassa, johon autoon kertynyt jäte tyhjennetään joka kierroksen loputtua. Laskennassa on käytetty keskimäärin 2 kilogramman jätemäärää tyhjennettyä jäteastiaa kohden, missä on otettu huomioon huomattavat vuodenaikavaihtelut. Suurjäteastian tyhjennys veloitetaan syntyneiden tonnien mukaan hintaan 120,18 ” /tonni. Näin ollen jäteurakan kustannukseksi syntyy:

$$\text{JOKA VIIKKO: } (52 \times 65 \times 0,002 \text{ t}) = 6,76 \text{ tonnia}$$

$$\text{JOKA 2. VIIKKO: } (26 \times 167 \times 0,002 \text{ t}) = 8,68 \text{ tonnia}$$

JÄTEHUOLTO YHTEENSÄ: $(6,76 + 8,86 \text{ t}) \times 120,18 \text{ ''} = 1856,05 \text{ ''}$

5.6 Kokonaiskustannukset ja tuotto

Edellä esitettyjen laskelmien mukaan optimoidun reitin mukaan toteutetun urakan kokonaiskustannuksiksi vuodessa saadaan:

TYÖT: $((9,42 \text{ h} \times 19,5 \text{ ''/h}) \times 26 \text{ vk} = 4775,94 \text{ ''}$

POLTTOAINE: $30,40 \text{ ''} \times 26 \text{ vk} = 790,40 \text{ ''}$

KALUSTO: $23,48 \text{ ''} \times 52 \text{ vk} = 1239,68$

MATERIAALIT: $2080 \text{ ''} + 350 \text{ ''} = 2430 \text{ ''}$

JÄTEHUOLTO: $1856,05 \text{ ''}$

YHTEENSÄ: $11092,07 \text{ ''}$

Optimoinnilla saavutettu säästö polttoainekuluissa ja työkustannuksissa yhteensä 265 euroa on kokonaiskustannuksista 2,3 %. Optimoidusti toteutettuna koko urakan katetuotto prosentti $(100 \times (\text{myynti}/\text{katetuotto}))$ nousee 28,5 %:sta 30,35 %:iin.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätöksenä tehdystä työstä voidaan todeta, että tietokonepohjaisella reitioptimoinnilla saavutetaan etuja jo hyvinkin pienten logististen ongelmien ratkaisussa. Työn tutkimusongelma ei laajuudeltaan anna parasta mahdollista kuvaa reitioptimoinnin todellisesta potentiaalista jäte- ja ympäristöhuollossa, mutta toimii kuitenkin mikrotason esimerkkinä sen tuomista hyödyistä. Tässä mielessä työ on onnistunut.

Vaikka saavutettu 265 euron kustannussäästö voi tuntua melko vähäpätöiseltä suuryritysten tai yhteisöjen mittakaavassa, täytyy lopputulosta peilata kuitenkin suhteessa pienen toimeksiantajayrityksen liikevaihtoon. Lisäksi syntynyttä n. 14 %:n säästöä ajetuissa kilometreissä voi pitää suhteellisen korkeana ja vertailukelpoisena muihin aiheeseen liittyviin optimointiprojekteihin. Työn pohjalta voidaan todentaa väite, jonka mukaan, mitä suurempi on optimoitava massa, sitä suurempia ovat myös optimoinnilla saavutetut tulokset. Optimoinnin tuloksissa esiintyy kuitenkin hajontaa, joten täysin vedenpitävää yhteenvetoa optimoinnin tuloksista ei voida luoda.

Jälkikäteen tarkasteltuna parannusta olisi pitänyt hakea tiiviimmin työkustannuksista, joihin ei optimoinnilla juuri pystytty vaikuttamaan. Tämä toisaalta johtuu myös urakan lähtökohdista, jotka määrittävät käyntien määrän kiinteän aikataulun mukaan, jolloin työkustannukset pysyvät samalla tasolla kuin urakan alkaessakin.

Työvälineeksi valittu ArcLogistics-ohjelma soveltui hyvin empiirisen osuuden toteuttamiseen. Erityisesti ohjelman kartassa tarkasti mallinnetut kevyen liikenteen väylät olivat todenmukaisia ja työn onnistumisen kannalta olennaisia. Ohjelman käyttö osoittautui melko helpoksi ja nopeasti omaksuttavaksi. Käyttöliittymä on tosin melko kankea varsinkin tietojen syöttämisen kannalta. Ohjelman tehot eivät täysin päässeet oikeuksiinsa tämän opinnäytetyön puitteissa, sillä kartta-aineisto ja optimointimahdollisuudet ovat huomattavasti laajemmat kuin käyttämäni ominaisuudet.

Tämän työn yhtenä tarkoituksena oli osoittaa urakan kustannusrakenne, joka tähän asti ei ole ollut selkeästi tiedossa. Lisäksi työssä syntyneillä laskelmilla voidaan tulevaisuudessa reagoida tehokkaammin kustannustason nousuun. Tämän lisäksi on luotu toimeksiantajalle työkalu, jonka pohjalta voidaan laskea ja arvioida mahdollisia tulevaisuudessa tulevia tarjouskilpailuja. Lisäksi optimoitu reititys tarjoaa vahvan lähtökohdan toimeksiantajalle, kun urakka kilpailutetaan uudestaan.

Uskoakseni tulevaisuudessa hämmöttävät kuntaliitokset ja niiden mukanaan tuomat organisaatiomuutokset yhdessä kasvavien aluekokojen ja kuntien sisäisten etäisyyksien kanssa tulevat lisäämään julkisten palvelujen ja urakoiden ulkoistamista erityisesti ympäristöhuollon ja kuljetusten sektorilla. Tämä tulee lisäämään myös tarvetta kaluston, kuljetusten ja työresurssien tehokkaalle suunnittelulle ja optimoinnille.

Kokonaisuudessa opinnäyteprosessi olisi voinut sujua osaltani tehokkaammin, sillä nyt matkan varrelle mahtui opinnäytteen aiheen kuin toimeksiantajankin muuttuminen. Tarjoutunut mahdollisuus perehtyä tiivisti rajattuun ongelmaan ja tarjota siihen ratkaisua omien opiskelujen aikana opittujen asioiden perusteella on kuitenkin ollut opettavaista ja palkitsevaa työtä.

LÄHTEET

Bräysy O., Porkka P. 2007. Kaluston reitinoptimoinnilla tehokkuutta logistiikkaan. Logistiikka, 6/07, 38-39. Saatavissa myös <http://research.jyu.fi/optlog/Pasi.pdf>

ESRI Oy. 2008. Kuntien logistiikka. Viitattu 5.2.2012. www.esri.fi > Toimialat > Kunnat > Kuntien logistiikka

ESRI Oy. 2010. ArcLogistics. Viitattu 9.6.2012. www.esri.fi > ESRIN ARCGIS-TUOTTEET > Ratkaisutuotteet > ArcLogistics

Hokkanen S., Karhunen. J, & Luukkainen, M. 2007. Logistisen ajattelun perusteet. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu 38.

Jätelaki 17.6.2011/646.

Karrus, K. 2005. Logistiikka. 5. painos. Helsinki: WSOY.

Laki julkisista hankinnoista 30.3.2007/348

Liikennevirasto. 2010. Digiroad. Viitattu 9.6.2012. www.digiroad.fi > Digiroad-aineisto

Karhunen J., Pouri R., Santala J. 2008. Kuljetukset ja varastointi. Saarijärvi: LOGY Ry.

Nuortio T., Kytöjoki J., Niska H. and Bräysy O. 2005. Improved route planning and scheduling of waste collection and transport Expert Systems with Applications. Viitattu 15.4.2012. www.envi.uku.fi > Julkaisut

Nuortio T., Isoaho S. 2005. iWaste - Jätehuollon tiedonhallinnan kehittäminen, loppuraportti Kuopion yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto.

Oksanen, R. 2003. Kuljetusten toimintolaskennan sovellukset ja toteutus. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja. 1/2003. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.

Piekkola, L 2011. Julkisen sektorin hankinnat- uusi hankilaki. Viitattu 16.4.2012. Avita Ry. www.avita.org > Artikkelit > Julkisen sektorin hankinnat . Uusi hankintalaki

Polttoaine.net. 2012. Tilastot. Viitattu 15.4.2012. www.polttoaine.net > Tilastot

Raision kaupunki. 2009. Päätöspöytäkirja 22.12.2009.

Santala, J. (Työryhmä Logistiikan maailma). 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Luku 9. 2011. Saarijärvi: LOGY ry.

Sakki, J. 2007. Tilaus-toimitusketjun hallinta. Helsinki: Jouni Sakki Oy.

Suomen kuljetusopas. 2010. Kuljetusten suunnittelu- ja ohjausmenetelmiä. Viitattu 15.3.2012. www.kuljetusopas.com > IT > Suunnittelu- ja ohjausmenetelmät

Suomen virallinen tilasto: Jätetilasto. 2010 Liitetaulukko 1. Yhdyskuntajätteet vuonna 2010. Viitattu 10.4.2012 www.stat.fi > Tilastot > Ympäristö ja luonnonvarat > Jätetilasto > Taulukot

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2012 Julkiset hankinnat. Viitattu 16.3.2012. www.tem.fi > Kuluttajat ja markkinat > Julkiset hankinnat

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2012. Kynnysarvot. Viitattu 16.3.2012. www.tem.fi > Kuluttajat ja markkinat > Julkiset hankinnat > Kynnysarvot

Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. 2012. Jätteet ja jätehuolto. Viitattu 1.4.2012. www.ymparisto.fi > Ympäristönsuojelu > Jätteet ja jätehuolto

Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. 2012. Jätealan lainsäädännön kokonaisuudistus. Viitattu 9.6.2012. www.ymparisto.fi > Lainsäädäntö > Valmisteilla oleva lainsäädäntö > Ympäristönsuojelun lainsäädäntöhankkeet > Jätealan lainsäädännön kokonaisuudistus

Vaisala Oy. 2011. IceCast-Reittioptimointi. Viitattu 15.2.2012. www.vaisala.fi > Tiet > Palvelut > Palveluratkaisut > IcestCast-reittioptimointi

Waters D. 2003. Logistics - An Introduction to Supply Chain Management. New York: Palgrave Macmillan.

Yle Satakunta Uutiset. Lumilaskuun säästöjä . tietokone laskee aura-auton reitin. 12.10.2011. Viitattu 4.4.2012. http://yle.fi/uutiset/kuntien_lumilaskuun_saastoja_-_tietokone_laskee_aura-auton_reitin/5436484

Ympäristöyritysten liitto. 2012. Keräys ja kuljetus. Viitattu 1.4.2012. www.ymparistoyritykset.fi > Ympäristöhuolto > Keräys ja kuljetus