

JÄTEKULJETUSREITTIEN SUUNNITTELU



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Tieto- ja viestintäteknikka, biotalous

Kevät, 2023

Viljo Väkiparta

Koulutus	Tieto- ja viestintäteknikka, biotalouden koulutus	Tiivistelmä
Tekijä	Viljo Väkiparta	Vuosi 2023
Työn nimi	Jätekuljetusreittien suunnittelu	
Ohjaaja	Anne-Mari Järvenpää	

Työn tavoitteena oli löytää sopivat työkalut jätekuljetusreittien suunnitteluun. Suunnittelun apuna käytettiin yleisesti tunnettuja konsepteja ja ideoita logistiikasta sekä yksinkertaisia reittien suunnitteluun liittyviä työkaluja. Työ perustui case-yrityksen, joka on jätekuljetusyritys, antamaan dataan. Yritys pysyi anonymina ja eikä muutoin osallistunut tämän opinnäytetyön tekemiseen. Data on muutettu anonymiksi yrityksen taholta.

Opinnäytetyön keskeinen sisältö liittyi reittien suunnittelua rajoittaviin tekijöihin. Tarkasteltavat rajoittavat tekijät olivat laiti ja aika. Opinnäytetyössä esitettiin lyhyesti myös reittien suunnitteluun liittyviä algoritmeja. Olemassa olevasta datasta tehtiin yksi lämpökartta ja kuusi videota. Kartta ja videot käytiin läpi ja selitettiin. Lisäksi opinnäytetyöhön tehtiin ohjeet samankaltaisen lämpökartan tekemiseen.

Opinnäytetyössä pohditaan oman reittisuunnitteluohjelman rakentamisen kannattavuutta verrattuna markkinoilla olevien VRP- ja analysointityökalujen käyttöön. Pohdintaan liittyy myös datan keräämisen ja informaation merkitys nyky maailman yritysten toiminnassa ja tähän tehtävät investoinnit ja näistä mahdollisesti saavutettava kilpailuetu toisiin toimialalla kilpaileviin nähden.

Avainsanat Algoritmi, jätekuljetus, lämpökartta, rajoittavat tekijät, reittien suunnittelu, vrp
Sivut 28 sivua

This thesis discussed the tools for route planning in waste management. The aim was to find the right tools for logistical planning. The design was supported by generally known logistical concepts and ideas about logistics as well as simple tools related to route planning. The work was based on data provided by a certain case company in the field of waste management. The company remained anonymous and otherwise did not participate in this thesis. The data was made anonymous by the company.

The core content was linked to the logistical planning in routing and its constraints. The constraints were legislation and time. In addition, some algorithms related to route planning were introduced. This thesis contains a heatmap and six videos based on the data. The heatmap and the videos were examined and explained. Moreover, the thesis provides instructions on creating a similar heatmap as the one introduced in the thesis.

In conclusion, the thesis offered options and examined the profitability of the construction of the own route planning programme or application tool compared to the use of commercial VRP (Vehicle Routing Problem) planning and analyzing tools on the market. The importance of data collection and information in present business operations in today's world, as well as the investments made in the area, and possible competitive advantage over other competitors in the industry, were aspects worth considering within the topic and the thesis.

Keywords Algorithm, constraints, heatmap, route planning, waste management, vrp

Pages 28 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen tietoperusta	2
2.1	Lain viitekehys	2
2.2	Optimointi	5
2.3	Päätöksentuki- ja suorituskyvyn mittaamisen järjestelmät sekä suoritusmittarit	9
2.4	Hierarkia kuljetuspäätöksissä	10
2.5	Käytännön selitys tehokkaasta reitistä	11
3	Aineisto ja menetelmät	12
3.1	Koordinaattijärjestelmä	13
3.2	Otos tilaus- ja sopimusajoista	14
3.3	R-ohjelmointikieli	15
3.4	Excel ja PowerBI	16
3.5	Datan käsittely menetelmiä käyttäen	16
3.6	Ohjeet lämpökartan luontiin R:ssä	16
4	Tulosten esittely	19
4.1	Lämpökartta	19
4.2	Bingmaps-videot	21
4.3	Vastaavia ratkaisuja	22
5	Tulosten tarkastelu, pohdinta ja johtopäätökset	22
	Lähteet	26

1 Johdanto

Ensisijaisena tarkoituksena oli opinnäytetyössä selvittää tehokkaimmat keinot vaihtolavojen reittien suunnitteluun jätteen keruussa. Tämä saavutettiin etsimällä oikeat seurattavat määreet eli ajokerrat ja luotiin tarkoitukseen soveltuvat toimintatavat, työkalut ja prosessit. Opinnäytetyön toissijaisena tarkoituksena oli toimia yksinkertaistettuna ohjeena kuljetusalan yrityksille mitä kuljetusreittioptimoinnissa tulee ottaa huomioon, pääpainopisteenä datan merkitys ja mitä hyötyä siitä on.

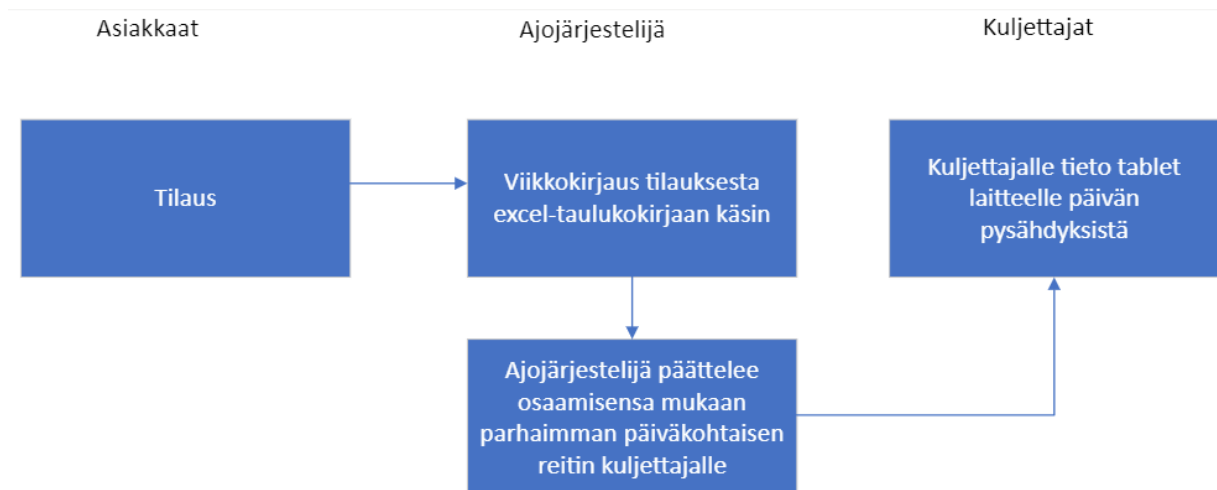
Opinnäytetyö oli toteutettu HAMK Smart -tutkimusyksikön VÄLKKY-hankkeeseen liittyen. Hankkeessa käsiteltiin kiertotalouden logistiikan optimointia, jonka parista nousi yrityksen reittisuunnittelun haaste tämän opinnäytetyön lähtökohdaksi eli caseksi. Tämä yritys jätettiin tässä opinnäytetyössä nimeämättä ja sen antama data oli käsitelty niin, ettei sitä voitu tunnistaa.

Case-yritys kerää ja käsittelee jätteitä. Yksi toiminnan pääaspekti on vaihtolavatoiminta. Tyhjiä vaihtolavoja vaihdetaan täysin vaihtolavoihin, jotka kuljetetaan jätteenkäsittelypisteisiin. Yleensä vaihtolava jätetään sovitukseksi ajaksi asiakkaalle. Vaihtolavat voivat olla tilausperusteisia tai sopimusperusteisia. Tilausperusteisissa vaihtolavoissa asiakas itse tilaa uuden tyhjän vaihtolavan, joka tuodaan asiakkaalle ja samalla kuljetusyritys ottaa jätettä sisältävä vaihtolavan mukaan. Sopimusperusteisessa vaihtolavatoiminnassa vaihdetaan asiakkaan jätelavat sovitusti esimerkiksi periodisesti eli tietyn aika välin mukaisesti. Esimerkiksi sopimus voi perustua joka toinen viikko tapahtuvaan vaihtoon.

Nykyisessä kuljetustilausjärjestelmässä eli kuvassa 1 asiakas tekee tilauksen tilausjärjestelmään. Ajojärjestelijä saa tiedon tilauksesta tilausjärjestelmästä. Tilauksen tiedot saatuaan ajojärjestelijä aloittaa kuljetuksen suunnittelun ja prosessoinnin. Tilauksen tiedot kirjataan Exceliin. Ajojärjestelijä tekee parhaan kykynsä mukaan arvion kannattavimmasta reitistä päiväkohtaisesti kuljettajalle kaikista olennaisista tilauksista. Ajojärjestelijä perustaa päätöksensä reitistä omaan kokemukseensa ja tekemiinsä laskuihin. Tieto reitistä ja pysähdyksistä välittyy kuljettajalle näyttöpäätte laitteen kautta. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin konkreettisesti siihen, että nykyisen kuljetustilausjärjestelmän

ajojärjestelijän työtaakkaa reittien aikatauluttamisesta pyrittiin keventämään tai ainakin tarjottiin vaihtoehtoja tällaisen saavuttamiseksi. Se alkaa luomalla yritykseen puite kehittää kuljetustilausjärjestelmää tietoteknisemmäksi. Tämä tarkoittaa käytännössä uusien metodien ja työkalujen implementointia osaksi organisaation toimintaa. Metodeina ovat ajojärjestelijän työjärjestyksen virtaviivaistaminen ja työkaluna analytiikan ohjelmat.

Kuva 1. Esimerkkiyrityksen nykyinen kuljetustilausjärjestelmä.



2 Tutkimuksen tietoperusta

Tässä luvussa käytiin läpi ensinnäkin case-kohtaista lain viitekehystä eli mitkä lait koskettivat ja rajasivat kuljetustoimintaa jätehuollossa. Samalla katsottiin lakitermejä. Toiseksi tutkittiin optimointiin liittyviä mahdollisesti hyödyllisiä algoritmeja. Kolmanneksi huomioitiin logistiikasta tunnettua hierarkiateoriaa kuljetuspäätöskontekstissa.

2.1 Lain viitekehys

Ennustusmallia ja optimointia tehdessä täytyy huomioida ja määritellä rajoittavat tekijät. Merkittävät rajatekijät muodostavat lait, työsopimukset ja työehtosopimukset. Merkittävät lait ovat jätelaki mikä määrittelee jätteiden käsittelyyn liittyvät pakotteet ja työaikalaki työntekijän eli tässä tapauksessa kuljettajan lepoon liittyvät työnantajan velvollisuudet.

Ensiksi on ymmärrettävä mikä on jätelain tarkoitusperä. Jätelain tarkoituksena on edistää kiertotaloutta ja luonnonvarojen käytön kestävyyttä, vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle, varmistaa toimiva jätehuolto sekä ehkäistä roskaantumista. (Jätelaki 646/2011 1 §) Eli jätehuolto pitää suorittaa niin, ettei siitä aiheudu ylimääräistä rasitetta ympäristölle tai terveydelle.

Tärkeää on ymmärtää opinnäytetyössä käytetyt termit ja niiden konteksti. Ensiksi mitä on jäte ja miten se määritellään lain viitekehyksessä. Seuraavana jätelain antama selitys ja kuvaus termistä ”jäte”. Jäte on ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä (Jätelaki 646/2011 5 §). Kansanomaisesti ilmaistuna roskakoreihin tai jätteenlajitteluastioihin menevät roskat. Se voi olla esimerkiksi biojätettä, metalliromua, sekajätettä, paperijätettä, kartonkijätettä, muovijätettä tai lasijätettä (Termipankki, 1998). Näitä tulee asianmukaisen henkilön käsitellä jätehuoltolain mukaisesti, niin kuin aiemmassa kappaleessa on mainittu.

Työaikalaki kertoo työajan olevan työhön käytetty aika ja aika, jolloin työntekijä on velvollinen olemaan työntekopaikalla (Työaikalaki 872/2019 3 §). Työaika lakia sovelletaan työ sopimuksen ja virkasuhteen perusteella tehtävään työhön, jollei muualla laissa toisin säädetä (Työaikalaki 872/2019 1 §).

Moottoriajoneuvon kuljettajan vuorokautinen työaika saa olla enintään 11 tuntia vuorokausilepoa seuraavan 24 tunnin yhdenjaksoisen ajanjakson kanssa. Tai jos ei töiden sen hetkisen luonteen mukaisesti onnistu niin enintään 13 tuntia (pidennetty työaika), kunhan työaika ei mene yli 22 tuntia pidennetyn työajan jälkeistä vuorokausilepoa seuraavan 48 tunnin ajanjakson aikana. (Työaikalaki 872/2019 9 §) Työaikalaki antaa tarkat vaatimukset moottoriajoneuvon kuljettajan enimmäistyöajasta ja vähimmäisvuorokausilevoista. Työaikalaki siis määrittelee moottoriajoneuvon vuorokautisen työajan. Seuraavaksi tarkemmin selitetty vuorokautinen työaika, pidennetty työaika ja vuorokausilepo esimerkkeineen luettelomaisesti. Ensinnäkin työntekijän on saatava 11 tuntia keskeytymätöntä lepoa. Toiseksi lepoajan jälkeisen seuraavan 24 tunnin ajan työaika saa olla enintään 11 tuntia. Kolmanneksi pidennetty työaika muodostaa poikkeuksen tästä

normaalista työajasta. Pidentetyssä työajassa vuorokautinen työaika on enintään 13 tuntia. Tässä tilanteessa ei saada kuitenkaan ylittää yhteensä 22 tuntia työaika 48 tunnin sisällä pidennetyt työajan ja siitä alkavan vuorokausilevon jälkeen. Esimerkiksi ensiksi kuljettaja tekee 13 tuntia töitä, sitten alkaa vuorokausilepo 11 tuntia. Vuorokausilevon loppumisen jälkeen alkaa 48 tunnin aikaikkuna, jolloin työntekijä voi tehdä esimerkiksi 11 tuntia töitä, 11 tuntia lepoa ja 11 tuntia töitä ja 13 tuntia lepoa.

Päivittäinen tauko on vähintään 30 minuutin pituinen ajanjakson 5 tunnin 30 minuutin pituista työpäivän kohden moottoriajoneuvon kuljettajalla. Tämä tauko voidaan pitää yhdessä tai kahdessa erässä. (Työaikalaki 872/2019 24 §) Työaikalaki antaa tarkat vaatimukset moottoriajoneuvon kuljettajan päivittäisestä tauosta.

Muulle kuin 2 §:n 2 momentissa tarkoitettulle moottoriajoneuvon kuljettajalle on 25 §:ssä säädetystä poiketen annettava vähintään 10 tuntia kestävä yhdenjaksoinen lepoaika jokaisena 24 peräkkäisen tunnin jaksona. Kuljetustehtävän niin vaatiessa 1 momentissa tarkoitettu vuorokautinen lepoaika saadaan enintään kahdesti lyhentää vähintään seitsemäksi tunniksi seitsemän peräkkäisen 24 tunnin jaksona. (Työaikalaki 872/2019 26 §) Täsmentää moottoriajoneuvon kuljettajan lepoaika 24 tunnin ajan jaksolla eli miten pystytään lain puitteissa vähentämään vuorokautista lepoaika, kun pitää saada enemmän ajoa per työntekijä.

Poikkeaminen työehtosopimuksella 26 §:ssä moottoriajoneuvon kuljettajan vuorokausilevosta ja kun on kyse 2 §:n 2 momentissa tarkoitettun moottoriajoneuvon kuljettajan työstä, edellä 2 momentin ja 6 kohdista poiketen valtakunnallisessa työehtosopimuksessa voidaan sopia teknisistä tai työn järjestämistä koskevista syistä: 8 §:ssä säädetystä vuorokautisesta enimmäistyöajasta ja yötyöajan tasoittumisesta, 18 §:n 1 momentissa säädetyn tasoittumisjakson pidentämisestä kuuteen kuukauteen, 18 §:n 2 momentissa säädetystä viikoittaisen 60 tunnin enimmäistyöajan ylittämistä. (Työaikalaki 872/2019 34 §) Poikkeaminen vuorokausilevosta työehtosopimuksella eli milloin voidaan sopia joustavammasta vuorokausilevosta, jos pitää ajaa pidempää matkaa pienemässä ajanjaksossa.

Lain ohella työntekijän ja näin ajoreittien kompleksisuuteen vaikuttavat työntekijän tekemä työ sopimus ja työehtosopimus. Työehtosopimus koskee usein koko alaa ja työ sopimus yksittäisen työntekijän ja työnantajan välistä sopimusta (Työehtosopimuslaki 436/1946 1 §).

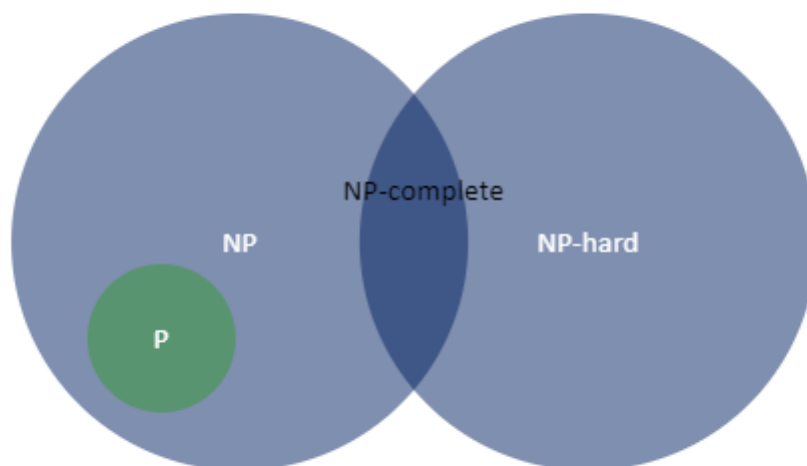
Lain näkökulma oli otettu huomioon tässä opinnäytetyössä sen vuoksi, että optimointia tullaan kehittämään pidemmälle sellaiseen muotoon missä on enemmän rajoitteita. Tällaisen rajoitteen olemassaolo perustuu työntekijän lain suojaamaan oikeuteen viettää taukoja ja pitää työpäivät tietyn mittaisina. Vaikka lain vaikutus rajatekijänä oli merkittävä, jäi sen vaikutus huomioimatta tässä opinnäytetyössä.

2.2 Optimointi

Ongelmat optimoinnissa voidaan jakaa sen perusteella minkä tyyppisiä muuttujat ovat. Muuttujat voivat olla joko jatkuvia tai diskreettejä. Epäjatkuvia eli diskreettejä muuttujia sisältävä tapaus on kombinaationaalinen optimointiongelma (kombinaatio tarkoittaa joukon osajoukkoa) eli optimointiongelma missä etsitään tapausta määreellisestä määrästä tapauksia ja tämä tapaus on ratkaisuksi käyvien tapausten sisällä. Useimmat tällaiset ongelmat ovat NP-kovia eli englanniksi NP-hard-ongelmia, jotka ovat vaikeita ratkaisemattomia ongelmia. Ne ovat vähintään yhtä vaikeita kuin NP-ongelmat (MIT OpenCourseWare, 2016). Globaalin optimin löytäminen vaatii kaikkien muiden ratkaisujen dominointia todistettavasti. (Labadie ym., 2016, s. 6) Toisin sanoen muiden ratkaisujen dominointi todistettavasti tarkoittaa yhden ratkaisun olevan ylitse kaikkien muiden ratkaisujen, jolloin dominoiva ratkaisu on myös optimaalisin. Oikeassa maailmassa tämä todistaminen ei ole kustannustehokasta, sillä vaikka optimoivat reitit eivät ole äärettömiä pitävät ne silti sisällään useita kohteita ja rajoituksia. Yksi tällainen on kauppamatkustajaongelman optimointi, joka on NP-kova ongelma, vaikka kauppamatkustaja ongelma itsessään on NP-täydellinen eli englanniksi NP-complete. Ongelma on NP-täydellinen, kun kaksi ehtoa täyttyy. Ehdot ovat, että ongelma on NP:n sisällä ja ongelma on NP-kova. VRP eli vehicle routing problem on kauppamatkustajaongelmasta kuljetuksiin keskittyneempi ja jalostuneempi ongelma. VRP-ongelmissa keskitytään enemmän oikean elämän rajoitteisiin kuten kysynnän muutoksiin, pysähdyksen kestoihin ja liikenteen aiheuttamiin viivästyksiin (Braekers ym., 2016, s. 1)

Kuvassa 2 nähdään Venn diagrammin muodossa P = deterministic polynomial time taking algorithm; NP = non-deterministic polynomial time taking algorithm. Esimerkiksi merge sort oli aiemmin NP , mutta nykyään P . Eli aiemmin merge sortista tiedettiin osat, mutta osat, joita ei tiedetty teki siitä non-deterministic. (Bari, 2018) Kuvan 2 tarkoitus on selittää näiden ongelmien sijainti toisiinsa nähden. Aiheeseen tutustuminen vaati paljon aikaa ja ymmärrystä, eikä sen tarkempi käsittely tässä kontekstissa ollut tärkeää. Lyhyesti esiteltynä P = helpot ongelmat, NP = vaikeammat ongelmat, NP -täydellinen = vähintään yhtä vaikeita kuin NP -ongelmat samoin NP -kova = vähintään yhtä vaikeita kuin NP -ongelmat, lisäksi ne eivät välttämättä kuulu NP -täydellisten joukkoon (Järvenpää & Talvitie, 2014, ss. 1–8).

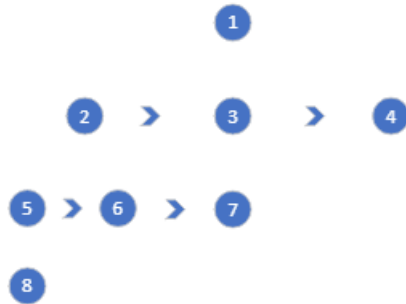
Kuva 2. NP , mukailten (Bari, 2018).



Reittien suunnittelussa voidaan hyödyntää erinäisiä päätöksentekoa tukevia algoritmeja: Ensinnä Branch and Bound, joka sopii minimointiongelmiin, muttei maksimointiongelmiin, ellei maksimointiongelmiä saa käännettyä minimointiongelmiksi. Branch and Bound tutkii vaihtoehdot ensiksi nykyisestä syvyydestä eikä syvyyssuunnassa niin kuin Back Tracking. (Bari, 2018). Kuvassa 3 FIFO eli First In First Out on yksi metodi, jolla etsitään ratkaisua

branch and bound -algoritmin avulla. Eli käydään ensin 2 solmukohtan vaihtoehdot 5, 6 ja 7. Sitten siirrytään 3 solmukohtaan ja käydään sen vaihtoehdot ja niin edelleen. Tavoitteena on liikkua horisontaalisesti solmukohta kerrallaan eli ensimmäisenä tullut solmukohta käydään ensimmäisenä läpi.

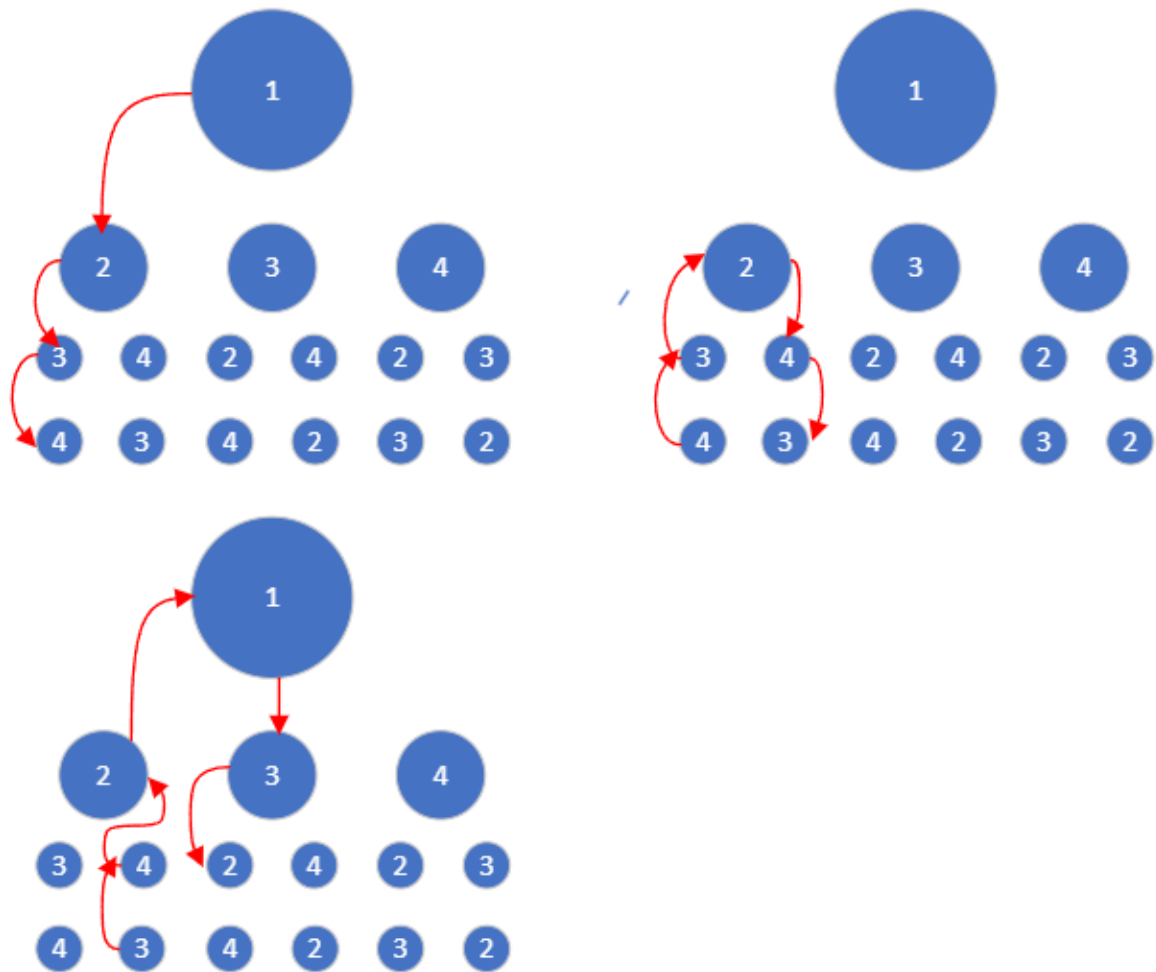
Kuva 3. FIFO Metodina jonotus, mukaillen (Bari, 2018).



Brute Force Approach käy läpi luonteensa mukaisesti kaikki ongelman mahdolliset permutaatiot eli erilaisten alkioiden järjestykset. Alkiota vastaa solmukohta englanniksi node. Tapa on hidas, mutta se antaa optimaalisimman ratkaisun. (Violina, 2021, s. 1226)

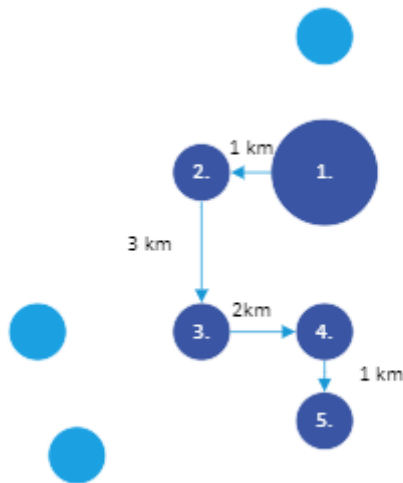
Kuvassa 4 Back Tracking käyttää Brute Force Approachia ratkaisun löytämiseen. Tavassa käydään syvyysuunnassa jokainen solmukohta läpi, kunnes saavutetaan luotu este tai solmukohdat loppuvat. Vasta sitten siirrytään seuraavaan solmuketjuun. (Bari, 2018).

Kuva 4. Backtracking, mukailten (Bari, 2018).



Nearest neighbor -metodia käytetään usein silloin, kun on kyse numeerisista arvoista (Cost & Salzberg, 1993, ss. 57–58). Esimerkkinä voidaan pitää etappien välimatkoja. Metodissa valitaan aina lähimmän, pienimmän tai lyhyimmän reitin mukainen kohde. Tämä toistetaan niin kauan, kunnes kokonaistavoite on saavutettu. Voidaan ajatella esimerkkinä, kuvassa 5, että sähköskootterilähetillä on kaupungissa seitsemän kohdetta ja yksi aloituspaikka. Skootterin akussa on kuitenkin virtaa vain 7 kilometrille. Kilometrit tulevat täyteen viidennessä kohteessa. Tässä esimerkissä olemme asettaneet tavoitteet eli kohteet, joita on seitsemän ja rajoitteet eli kilometrit. Näiden rajoitteiden sisällä pyritään toteuttamaan tavoitteet parhaalla mahdollisella tavalla nearest neighbor -metodia käyttäen. Kuvassa 5 nähdään vaaleansinisten jäävän ulkopuolelle. Ilman rajoitteita kävisi lähetti lopulta kaikki seitsemän kohdetta läpi, myös vaaleansiniset.

Kuva 5. Nearest neighbor.



2.3 Päätöksentuki- ja suorituskvyn mittaamisen järjestelmät sekä suoritustittarit

Muita tapoja edesauttaa optimointia ovat ensinnäkin päätöstitijärjestelmät (DSS eli decision support systems), jotka pitävät sisällään useita tapoja ja tekniikoita, kuten analyyseja taulukoista, tilastoista tai tietokannoista. Lisäksi hyödyksi käytetään tiedonlouhintaa, matemaattisia optimointimallinuksia ja simulaatioita. (Miller & Liberatore., 2020, s. 7). Toinen tapa on käyttää suorituskvyn mittaamisen järjestelmiä eli englanniksi PMS performance measurement systems, jotka tarjoavat mittareita toiminnan seuraamiseen. (Miller & Liberatore, 2020, s. 7)

Yrityksissä on avainmenestystekijöitä. Niistä pitää yrityksen määritellä yksityiskohtaiset tunnusluvut. Näitä avainmenestystekijöitä mittaavia tunnuslukuja kutsutaan nimellä KPI eli Keyperformance Indicators. (Järvenpää ym., 2015 s. 332) Ajojärjestelyn uudistamisen yhtenä tavoitteena ja näin ollen avainmenestystekijä on usein kustannuksien karsiminen yritystoiminnassa. Ajojärjestelyn kustannustehokkuuden mittaamisesta vastaa suorituskvymittarit eli englanniksi KPI Key Performance Indicator mittarit, joissa voidaan verrata aiempaa dataa tulevaan dataan. Tällöin nähdään konkreettisesti saavutettu hyöty. Tähän soveltuu muun muassa ajojen €/km vertailu tulevan ja historiallisen datan kanssa.

Näitä mittareita hyödynnetään liiketoimintaan liittyvissä laskuissa. Kaavassa 1 kilometrimaksun kaava (Skal ry, n.d., s. 11).

Kaava 1. Kilometrimaksun kaava.

$$\text{Kilometrimaksu (€/km)} = \text{kokonaiskustannukset (€/a)} / \text{ajosuorite (km/a)}$$

2.4 Hierarkia kuljetuspäätöksissä

Suunnittelu kuljetuspäätöksissä on hierarkkinen, joka jaetaan kolmeen erinäiseen aikaikkunaan. Nämä aikaikkunat leikkaavat toisiaan: strategiseen suunnitteluun, taktiseen suunnitteluun ja operationaaliseen suunnitteluun. Strateginen suunnittelu koskee kokonaisten kuljetusverkkojen suunnittelua. Taktinen suunnittelu koskee pitkän ajan jakson reitityksiä. Operationaalinen koskee yksittäisten kuljetusten ajoittamisen suunnittelua. (Miller & Liberatore, 2020, s. 15)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pitkälti taktiseen suunnitteluun ja operationaaliseen suunnitteluun. Nämä tukevat toisiaan kuljetuspäätösten kokonaisrakenteessa, jolloin yrityksen toiminta pysyy vahvana.

Kuva 6. Suunnittelu, mukailten (Explorescm, 2021).



2.5 Käytännön selitys tehokkaasta reitistä

Reitinmallissa tulee ottaa huomioon se, että alueen sisäinen reitti on mahdollisimman lyhyt, jolloin se on myös todennäköisesti tehokkain. Lisäksi matkoihin ja aikoihin vaikuttavat rajoitteet ovat seuraavat: työntekijäkohtainen rajoite, asiakaskohtainen rajoite ja materiaalkohtainen rajoite. Työntekijäkohtainen rajoite on työaika, asiakaskohtainen rajoite on asiakkaan tahto tilauksesta palvelun toimitukseen ja materiaalkohtainen rajoite on materiaalin kuljetukseen liittyvät mahdolliset ehdot ja vaatimukset. Nämä rajoitteet lisäävät reitityksen kompleksisuutta. Kuvassa 7 on yksinkertainen kuvaus työntekijän työtunneista eli rajoitteesta ja miten työntekijä käy kohteissa ja vaihtaa vaihtolavoja tyhjästä täysiin. Kysymyksessä on, miten työaika käytännössä käytetään.

kaltaisissa projekteissa, analyysissä ja mallinuksissa. R-ohjelmointikielen osalta annettiin ohjeet lämpökartan luomiseen luvussa 3.6. Exceliä käytettiin datan puhdistamiseen ja havainnollistavien videoiden luontiin. ExpertGPS:ssä muutettiin koordinaatisto oikeaan muotoon.

3.1 Koordinaattijärjestelmä

Data sisälsi paikkatiedot postinnumeroalueittain, esim. Forssa 30100. Datan visualisointiin vaadittiin koordinaatit postinnumeroalueittain. Postinnumeroalueiden koordinaatit saatiin tilastokeskuksen tilastopalvelun kautta. Aineiston nimenä oli Paavo. Paavo postinnumeroalueet olivat EUREF-FIN koordinaatiston mukaisia, ETRS89-TM35FIN (Stat, n.d.).

Esimerkkidatan koordinaatit käännettiin oikean koordinaatiston mukaiseksi, jolloin niitä pystyttiin hyödyntämään analyysissä. Tällaisia koordinaatiston käänntöohjelmia löytyi verkosta ilmaiseksi. Tässä opinnäytetyössä käytettiin ExpertGPS:n ilmaista muutaman päivän kokeilua.

Kuvassa 8 esimerkkidatassa on merkittynä ajot. Ajojen samankaltaisuus oli tärkeää analysoinnin kannalta. Ajojen ollessa samankaltaisia voitiin luoda johdonmukainen analyysi toiminnan tueksi. Esimerkki datan seuraavat ajot olivat samankaltaisia. Lavan tyhjennys: biojäte, energiajäte, kuivattu, lasi, metalli, muovi, pahvi, puhdas puu, puujäte, rakennusjäte, sekajäte. Näitä voitiin täten käyttää analyysissä. Tässä analyysissä tutkittiin useimmin vierailut kohteet.

Kuva 8. Esimerkkidata ”lavantyhjennys”.

- ... Lavan tyhjennys, biojäte
- ... Lavan tyhjennys, energijäte
- ... Lavan tyhjennys, KUIVATTU
- ... Lavan tyhjennys, lasi
- ... Lavan tyhjennys, metalli
- ... Lavan tyhjennys, muovi
- ... Lavan tyhjennys, pahvi
- ... Lavan tyhjennys, PUHDAS PUU
- ... Lavan tyhjennys, puujäte
- ... Lavan tyhjennys, rakennusjäte
- ... Lavan tyhjennys, sekajäte

3.2 Otos tilaus- ja sopimusajoista

Tutkimusaineiston muodosti kuljetustapahtumien tiedot ja tämä annettu otos koski lyhyen aikavälin tapahtumia. Otos oli koko vuodelta 2021. Otokseen sisältyi useampia erityyppisiä kuljetustilauksia. Otos eriteltiin kohdistetusti vaihtolavoihin liittyviin vaihtoihin. Auto ajaa kohteeseen, vaihtaa täyden lavan tyhjään ja palauttaa täyden lavan lähimpään prosessointipisteeseen.

Yksinkertaistamisen vuoksi tunteja ja tonneja käsiteltiin kertoina eli yksi ajo vastasi yhtä kertaa luvun 4 lämpökartassa. Oletuksena oli täysi lava. Kuvassa 9 voidaan nähdä ote lavantyhjennyksen tiedoista. Nimike-sarakkeessa jätteenlaatu, maara-sarakkeessa määrä, Yksikkö-sarakkeessa yksikkö.

Kuva 9. Lavan tyhjennys.

Nimike	maara	Yksikkö
Lavan tyhjennys, rakennusjäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, puujäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, puujäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, puujäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, sekajäte	1.50	h
Lavan tyhjennys, puujäte	1.00	h
Lavan tyhjennys, sekajäte	1.50	h
Lavan tyhjennys, rakennusjäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, energiajäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, biojäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, rakennusjäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, sekajäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, biojäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, biojäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, puujäte	1.00	krt
Lavan tyhjennys, KUIVATTU	30.86	tn

3.3 R-ohjelmointikieli

R-ohjelmointikieli on suurien datamäärien käsittelyyn ja tilastoanalyysien tekemiseen tarkoitettu ohjelmointikieli. Kieli vaatii paljon perehtymistä, mutta antaa laajan työkalupakin analyysien tekemiseen. Ohjelmointikielenä ja ympäristönä tunnettua R:ä käytetään tilastolliseen laskemiseen ja graafien luontiin. (R-project, n.d.) R:stä on maksuton versio yksityiskäyttöön. R toimii selainpohjaisena tai työpöytäversiona. (Cran, 2022). R-ohjelmointikieltä käytetään tässä apuna lämpökartan luomiseen.

R-ohjelmointikielillä ja internetistä saaduilla ohjeilla ja tiedoilla saatiin luotua lämpökartta, joka esitellään luvussa 4.1. Lämpökartassa käytetään kartta objekteja (Stamen, n.d.) ja taustakarttaa (Openstreetmap, n.d.). Taustakartan tiedot ovat maanmittauslaitokselta (maanmittauslaitos, n.d.). Lämpökarttaa tehdessä ei tarvitse ladata karttaa maanmittauslaitokselta, vaan se ladataan R-näkymän kautta openstreet.org-sivustolta.

3.4 Excel ja PowerBI

Excelissä datan muokkaus mahdollista, kun määrät eivät paisu valtavaksi. Excelin karttasovellus käyttää vakiopohjana Bingmapsia ellei kustomoitua karttaa ladata erikseen. Vaihtoehtoisesti visualisointi voidaan toteuttaa PowerBI-työkalulla.

PowerBI-työkalu mahdollistaa yksinkertaisemman lähestymistavan visualisoida verrattuna R-ohjelmointikielen. PowerBI käyttää Bingmapsia pohjana karttasovelluksia tehdessä samoin kuin Excel. PowerBI on Microsoftin kehittämä liiketoiminnan analysointi työkalu organisaatioille. PowerBI pystyy tekemään vaivattomasti mittareita johdon avuksi eri tarkoituksiin (PowerBI, n.d.).

3.5 Datan käsittely menetelmiä käyttäen

Data oli alunperin CSV (comma separated values) muodossa. Puhdistettu data yhdistettiin Excel-työkirjana R-ohjelmointikielineläkymään. Excelissä muokattiin postinumerot vastaamaan oikeita koordinaatteja, sillä suoraan postinumerolla ja Excelin Bing-kartalla tehdyt mallit antoivat vääriä osoitteita muun muassa osoitteita Ruotsista, vaikka osoitteiden piti olla vain Suomesta.

R-ohjelmointikielen avulla saatiin muokattua dataa lisää, poistettiin esimerkiksi turhat välit tiedoista ja tehtiin muutenkin datasta yhdenmukaista ja helposti käsiteltävää. R-ohjelmointikielen sijasta olisi voitu käyttää myös PowerBI-työkalua tai Exceliä. Molemmat soveltuvat erinomaisesti datan puhdistamiseen. Ongelmia ilmenee Excelissä vasta kun datan määrä ylittää kriittisen pisteen (Microsoft, n.d.). PowerBI-työkalu skaalautuu hyvin datan määrän kanssa (Microsoft, n.d.).

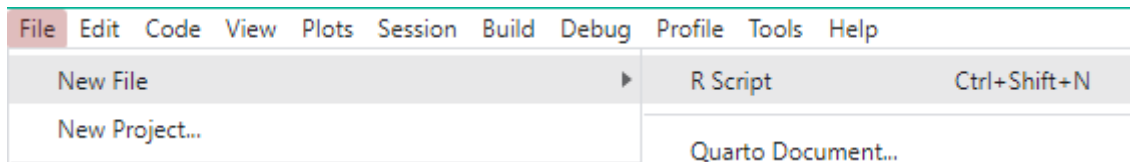
3.6 Ohjeet lämpökartan luontiin R:ssä

Tehdään lämpökartta Leafletin ohjeita mukaillen (Rstudio, n.d.). Lämpökartta luodaan R-ohjelmointikielineläkymään käyttämällä eri pakettien komentosarjoja. Ensin tehdään skripti, johon kerätään komennot järjestykseen. Toiseksi ladataan oikeat paketit ja kirjastot.

Kolmanneksi puhdistetaan dataa poistamalla tuplamerkinnot ja negatiiviset arvot. Neljänneksi annetaan karttaan liittyvät komennot, jonka jälkeen visualisointi on valmis.

Luodaan R-ympäristössä R-Script, johon sijoitetaan komennot. Kuvassa 10 avataan ensiksi uusi skripti valitsemalla ylhäältä oikealta File > New File > R Script.

Kuva 10. Ohjeet lämpökartan luontiin osa 1.



Tämän työn lämpökartan luomiseen R:ssä tarvitaan paketit "tidyverse" ja "tibble". Nämä voidaan R-ympäristössä ladata komennolla "install.packages" kuvassa 11 malli.

Kuva 11. Ohjeet lämpökartan luontiin osa 2.

```
1 install.packages("tidyverse")
2 install.packages("tibble")
```

Lisäksi tarvitaan näistä paketeista seuraavat kirjastot, kuten kuvassa 12 näkyy. Tämä suoritetaan komennolla: library(kirjaston_nimi). Esimerkki kuvassa #. Tarvittavat kirjastot ovat "tidyverse", "leaflet", "readxl", "dplyr" ja "stringr". Tidyverse on yleinen datan siistimiseen luotu yleiskirjasto, jota käytetään hyvin usein. Leaflet-kirjasto liittyy tarkemmin kartan luomiseen. Readxl-kirjasto tarvitaan Excel-tiedostojen lukemiseen. Stringr-kirjasto käytetään merkkijonomanipulaatiota varten ja se on osa Tidyverse-kirjasto, mutta joskus pelkkä tidyverse-kirjaston lataaminen ei lataa Stringr-kirjastoa. Dplyr-kirjasto on myös osa Tidyverse-kirjastoa ja sen tehtävä on yksinkertaistaa datan manipulointia käyttäjäystävällisemmäksi.

Kuva 12. Ohjeet lämpökartan luontiin osa 3.

```
1 library(tidyverse)
2 library(leaflet)
3 library(readxl)
4 library(dplyr)
5 library(stringr)
```

Hyvän tapa tarkistaa tuplamerkintöjen (double records) määrä on käyttää komentosarjaa `sum(duplicated(tiedoston nimi))`. Kuten kuvassa 13 näkyy. Tuplamerkinnyt haittaavat tulosten arviointia uskottavasti.

Kuva 13. Ohjeet lämpökartan luontiin osa 4.

```
sum(duplicated(tapahtuma))
```

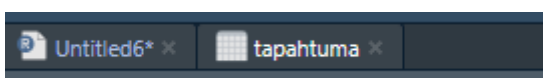
Luodaan putkioperaatio, missä poistetaan negatiivisia-arvoja. Nämä negatiiviset arvot muutetaan ensin NA arvoiksi, komennolla `mutate` ja `replace`, jonka jälkeen ne pudotetaan pois `dplyr` funktiolla: `drop_na`. Kuvassa 14 esimerkki.

Kuva 14. Ohjeet lämpökartan luontiin osa 5.

```
tapahtuma <- tapahtuma %>% mutate(maara = replace(maara, which(maara<0), NA))
tapahtuma <- tapahtuma %>% drop_na(maara) # NA pudotetaan dplyr funktiolla dro
```

Lopuksi koko R-script maalataan ja painetaan `Ctrl+Enter`. Tämä lukee R-Scriptin kohta kohdalta järjestyksessä ja tuloksena on lista tapahtumista. Listaa voidaan selailla painamalla tiedostonäkymään ilmestyneitä tiedostoja. Esimerkkinä kuvassa 15 näkyy R-Script nimellä `Untitled6*` ja vieressä luotu lista tapahtumista nimellä `tapahtuma`. Komento `View(tapahtuma)` luo tällaisen tiedoston ja vie automaattisesti näkymään listasta.

Kuva 15. Ohjeet lämpökartan luontiin osa 6.



The image shows a close-up of the RStudio window tabs. There are two tabs: the first is labeled 'Untitled6*' and the second is labeled 'tapahtuma'. The 'tapahtuma' tab is currently selected and active.

Itse kartan luomisen komennot näkyvät kuvassa 16. Tehdään kartta niminen tiedosto komentosarjalla: `kartta <- leaflet(tapahtuma)`. Lisätään putkioperaattori `%>%`. Komento `addTiles()` luo taustakartan `basemaps.cartocdn.com` kautta. Komento `setView()` ja `zoom` kertovat missä on kartan perspektiivin keskipiste ja kuinka läheltä karttaa kuvataan. Komento `addCircleMarkers()` asettaa kartalle ympyränmuotoiset kohteet. Jotta kohteet menevät oikeille paikoille oikein tiedoin tarvitaan: `data=tapahtuma` eli lista tapahtumista, `lng = ~lon` eli koordinaattien pituuspiiri (longitude), `lat = ~lat` eli koordinaattien leveyspiiri (latitude).

Kuva 16. Ohjeet lämpökartan luontiin osa 7.

```

kartta <- leaflet(tapahtuma) %>%
  addTiles('http://fs}.basemaps.cartocdn.com/dark_all/{z}/{x}/{y}.png',
    attribution='Map tiles by <a href="http://stamen.com">Stamen Design</a>, <a href="http://creativecommons.org/
  setView(23.5885073, 60.805854, zoom = 7) %>%
  addCircleMarkers(data = tapahtuma,
    lng = ~lon,
    lat = ~lat,
    label = ~postitoimipaikka,
    popup = ~paste(postitoimipaikka, "<br>Määrä:", maara, "<br>Nimike:", Nimike, "<br>Ajopäivä:", Pvm))
kartta

```

`label = ~postitoimipaikka` kertoo kohteen postipaikankartalla ja `popup = ~paste()` antaa tiedot kohteesta nousevaan kuplaan, kun hiirtä pidetään kohteen päällä. Lopuksi käytetään komentoa `kartta`, jolloin saadaan aikaiseksi karttanäkymä.

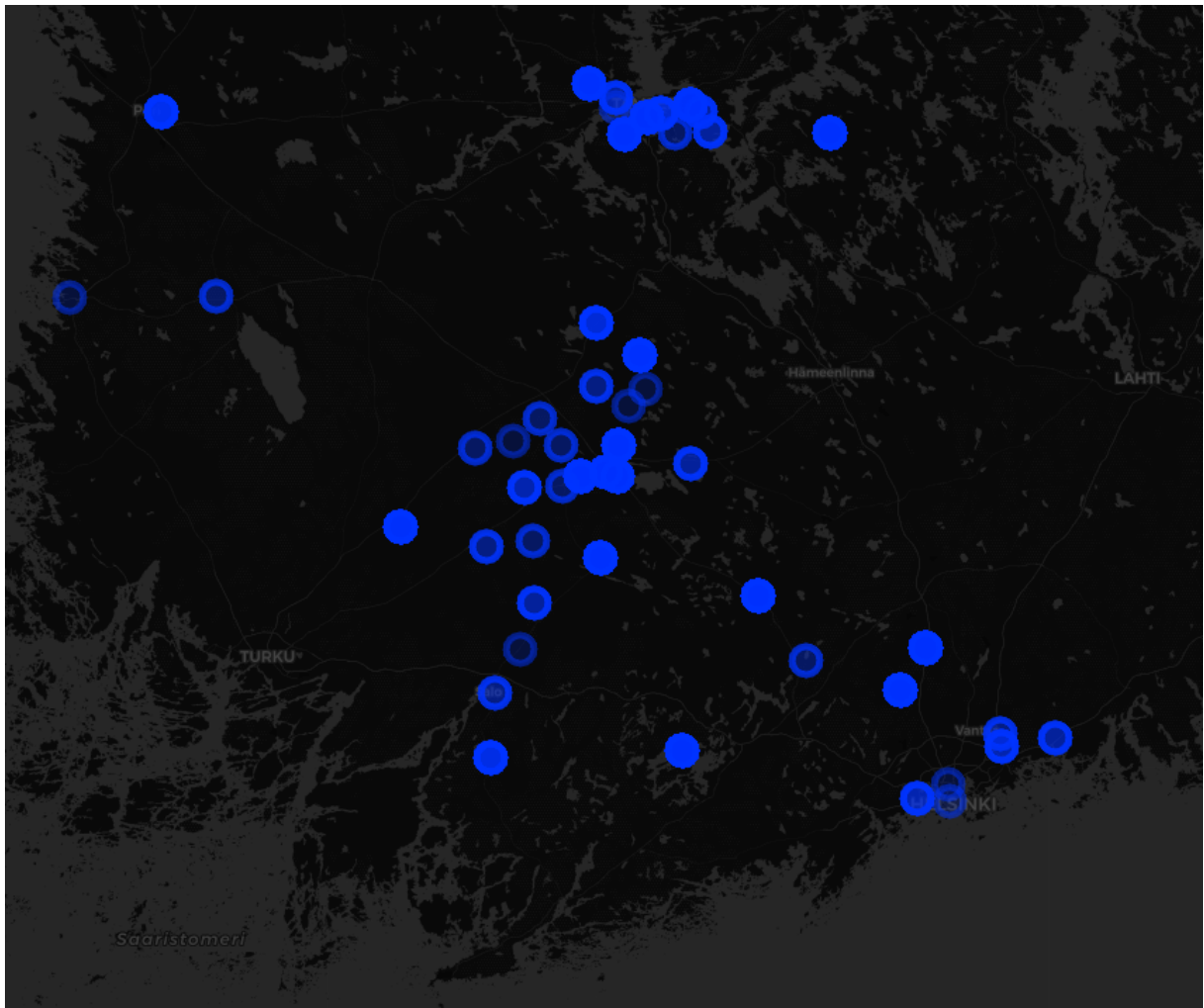
4 Tulosten esittely

Tässä luvussa esiteltiin työn konkreettiset tulokset ja vaihtoehtoisia ratkaisuja. Työntulokset eli työkalut olivat visualisointeja. Nämä olivat lämpökartta ja videot. Vaihtoehtoisissa ratkaisussa pohdittiin kaupallisia ratkaisuja.

4.1 Lämpökartta

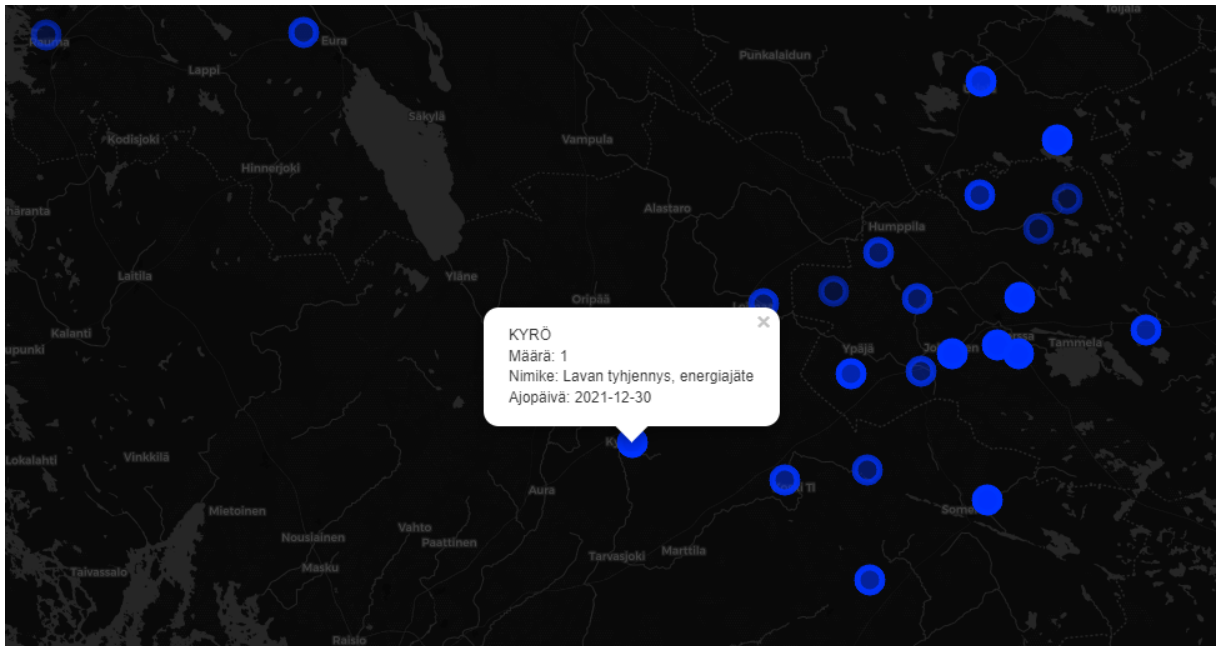
Lämpökartta on tapa visualisoida dataa värien lämpöisyyden perusteella. Mitä lämpimämpi väri sitä enemmän osumia. Työssä tehty lämpökartta kertoo käyntikertojen lukumäärän vuositason. Lämpökartan asteikko voidaan määritellä erikseen kontekstiin sopivaksi. Kuvassa 17 nähdään kartasta mitä sinisempi, sitä vierailumpi paikka on vuositason.

Kuva 17. Yksinkertainen lämpökartta kokeilu.



Kuvassa 18 nähdään kartan havainnollistavan vierailu kertojen määrä sinisyyden perusteella. Kartta poikkeaa yleisestä lämpökartasta, jossa kuvaa tulkitaan värien lämpöisyyden perusteella. Kohdeselitteestä nähdään paikka, viimeisin ajo, nimike ja ajopäivämäärä.

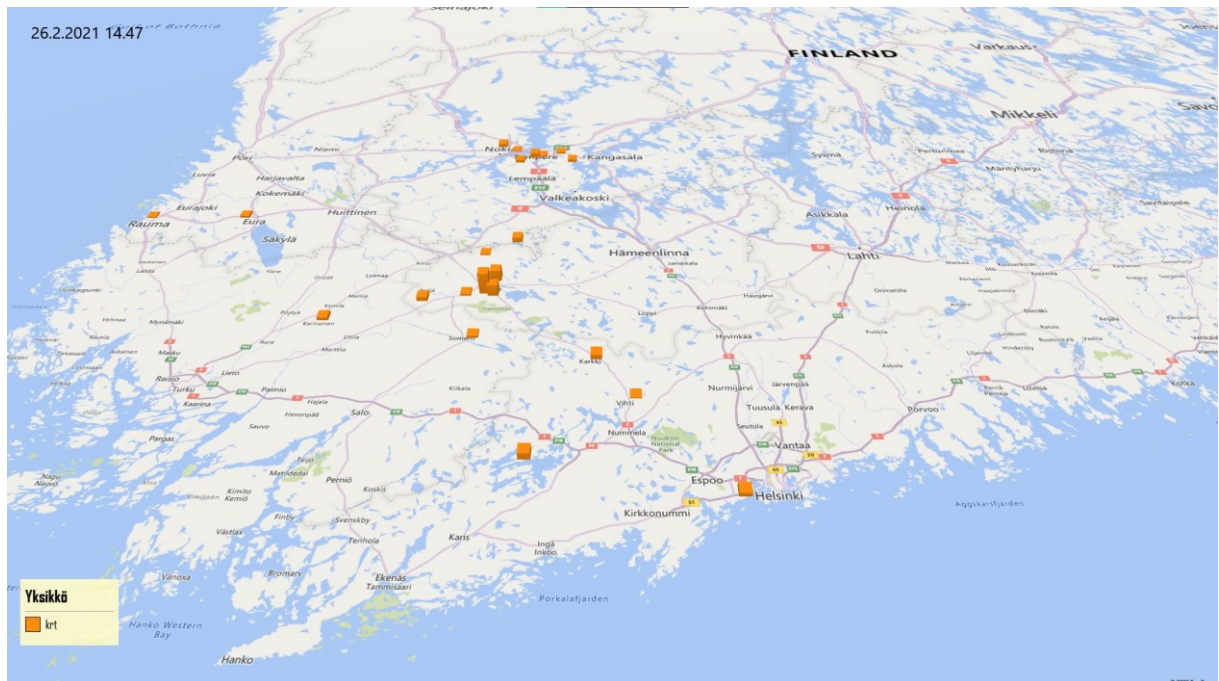
Kuva 18. Kohdeselite.



4.2 Bingmaps-videt

Case-työn alkuvaiheessa luotiin Bingmapsia hyväksikäyttäen kumulatiivinen ja päiväkohtainen videotallenne. Videot jaettiin laskutuksen mukaisiin kuvauksiin eli kertoihin, tonneihin ja tunteihin. Tämä tallenne antoi hyvän yleisnäkymän vuoden tapahtumista kartalla. Siinä missä lämpökartta oli yksityiskohtaisempi, antoi video puolestaan nopean katsauksen vuoden tapahtumista. Videoita luotiin kuusi kappaletta. Videoista poistettiin tarkat määrät ja niiden tarkoitus oli antaa suhteellinen vertaus ja käsitys vaihtolavakohteiden merkittävydestä. Eli kuinka käytyjä kohteet olivat. Kuvassa 19 kuvakaappaus yhdestä videosta. Ajokertojen lisääntyessä pykälät kasvavat korkeutta ja näin saadaan suhteellinen kuva ajojen jakaantumisesta vuoden ajalta. Lisäksi voidaan havainnoida, onko jokin kuukausi tiettyyn paikkaan vilkkaampi verrattuna muihin paikkoihin.

Kuva 19. Kuvakaappaus videosta kumulatiiviset ajokerrat vuodessa.



4.3 Vastaavia ratkaisuja

Ehtojen lisääntyessä malli monimutkaistuu huomattavasti. Aina kun yksi ehto lisätään, joudutaan optimointi suorittamaan alusta. Tästä tulee tällöin hyvin raskas ongelma ratkaistavaksi. Tämän vuoksi markkinoilla olevat kaupalliset ratkaisut käyttävät heuristiikkaa kauppataskustajaongelmaan (Travelling Salesman Problem) ja siitä johdettuun ongelmaan ajoneuvon reititysongelma (Vehicle Routing Problem). Heuristiikka mahdollistaa ongelman oikomisen, jolloin prosessista tulee virtaviivaisempi ja näin ollen vähentää vaadittuja laskentatehoja (PsychExamReview, 2017). Lisäksi eri ohjelmien kuten Exceliin on luotu pienen mittakaavan työkaluja VRP ongelmien ratkaisuun. Hiemankin suurempi kuljetustoiminta vaatisi todennäköisesti kaupallista ratkaisua kuljetustensa suunnitteluun.

5 Tulosten tarkastelu, pohdinta ja johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin yksinkertaisemman mallin luontiin siten, että reititys toteutuu maantieteellisen alueen ja aikaikkunan sisään riittävässä määrin tehokkaasti. Tämän tavoitteen lähtökohtana oli luoda mahdollisimman lyhyt reitti tähdäten tätä kautta

tehokkuuteen. Opinnäytetyössä luotiin lämpökartta, josta nähtiin kuljetusten käyntikerrat vuositasolla. Näistä voitiin päätellä käydyimmät kohteet vuoden ajalta. Säännöllisesti käydyt paikat ovat helpompi sijoittaa kuljetusjärjestelyihin heuristiikan avulla. Heuristiikan ja valitun optimointi algoritmin avulla voidaan muodostaa tehokkain reitti päivä ja viikkotasolla. Optimointi mallin luominen omiin tarkoituksiin vaatii tuntemusta algoritmeista ja niiden toimintatavoista. Optimoinnin implementointi omiin järjestelmiin on enemmässä määrin kysymys taloudellisesta kannattavuudesta ja minkälaiset ovat vaihtoehtokustannukset.

Yksi keinoista on oman optimointijärjestelmän rakentaminen. Tällaisen sovelluksen rakentaminen on kannattava, jos käyttötarkoitus kohdistuu pitkälle tulevaisuuteen ja omaan sovellukseen halutaan panostaa. Tässä on huomioitava järjestelmästä koituvat ylläpitokustannukset. Esimerkiksi mitä tapahtuu, kun sovelluksen toiminta heikkenee. Tällöin voi liiketoiminnan jatko vaarantua, kun ei esimerkiksi saada reittejä suunniteltua ajoissa. Tässä tapauksessa voidaan toki palata aiempaan toimintamalliin, ellei liiketoiminta ole paisunut niin suureksi, ettei se ole mahdollista. Suositeltavaa on käyttää markkinoilla olemassa olevia VRP-sovelluksia, sillä ne ovat tarpeeksi räätälöitävissä. Keskeistä sovelluksen valinnassa onkin räätälöitävyys ja kustannus. Tarkempi määrittely edellyttää tarkkaa kustannusarviointia, missä verrataan näiden kahden vaihtoehdon vahvuuksia ja heikkouksia.

Päätöksentekijärjestelmiä voidaan käyttää case-kontekstissa uuden tai käyttämättömän informaation keräämiseen. Esimerkiksi taloushallinnon tuottamaa informaatiota tai säätiedot ja -ennusteet. Tällaiset tiedot voidaan tuoda mukaan optimointiin ainakin sen tueksi, ei kuitenkaan uutena rajoitteena. Tällöin varmistetaan optimointimallin pysyminen mahdollisimman kevyenä.

Prosessin kehittämisen päätöksentekotilanteet vaativat taloushallinnon tuottamaa informaatiota, jotta päätökset olisivat vankkoja ja päteviä. Taloushallinnon tuottamaa informaatiota ovat esimerkiksi laskelmat prosessin tehokkuudesta (Järvenpää ym., 2015, s. 35). Laskelmat kertovat kuinka paljon ylimääräisiä kustannuksia kehittyy prosessin tehostommuudesta. Eli case kohtaisesti paljonko työtunteja ajojärjestelijällä menee reitinsuunnitteluun verrattuna siihen kuinka paljon työtunteja, säästyy ohjelman hoitaessa reitinsuunnittelun. Tai paljonko menee resursseja itse luodussa ohjelmassa verrattuna

valmiin ohjelman implementointiin ja käyttöönottoon. Tällaisissa laskelmissa allokoidaan resursseja prosessin uudistamiseen liittyviin investointeihin.

Viime aikoina datan keruuseen ja analysointiin liittyvät investoinnit ovat lisääntynyt kuljetusalalla (Miller & Liberatore, 2020, s. 1). Datan merkitys kuljetusreittien suunnittelussa ja näin ollen yrityksen päätöksenteossa on tärkeä. Yrityksen tavoitteena tulisi olla datan keräämisen lisääminen. Tällöin useat yritystoiminnan tulevat tavoitteet ja nykyiset päämäärät voidaan tyydyttää. Nykyään informaatiolla tehtävä liiketoiminta auttaa yritystä saamaan kilpailuedun alueellaan muihin kanssatoimijoihin nähden. Tämä kilpailuetu syntyy yksinkertaisesti siitä, että yritys, joka on ensinnäkin panostanut tiedon eli datan keräämiseen useasta yrityksen liiketoiminnan aspektista on mahdollisuuksia ja näkemystä tuottaa tehokkaampaa ja voitollisempaa liiketoimintaa. Pelkkä tiedon kerääminen ei tietenkään riitä tällaisen kilpailuedun saavuttamiseksi. Mutta keräämisestä voidaan puhua tällaisena vähimmäistavoitteena, sillä tietoa on vaikea kerätä jälkikäteen, jos siitä ei ole asiaankuuluvia merkintöjä. Yleensä tällaisten tietojen kerääminen ei vaadi paljoa panostusta alkupanostusta lukuun ottamatta, vaan se on hyvin automatisoitua, kun oikeat prosessit keräämiseen on luotu. Tietojenkeräämisen ohella toiseksi, tietojen tulee olla asianmukaisesti ja lakia noudattaen hallinnoida. Kolmanneksi tietojen hyödyntäminen vaatii jalostamista ja puhdistamista johdon päätöksenteon tai niin kuin tässä opinnäytetyössä, optimoinnin tueksi. Tämä tietojenkäsittelyn prosessin vaihe on oleellista vasta analyysjä tehdessä. Tietenkin mitä siistimpi raakadata alusta asti on, sitä kustannustehokkaampaa sen hyödyntäminen myös on.

Alkuperäinen kunnianhimoinen tavoite oli itse luoda optimoituneimmalla R-ohjelmointikieltä käyttäen. Työ osoittautui haastavammaksi ja alkuperäistä tavoitetta kohti mentiin niin pitkälle kuin omat tiedot ja taidot ammattikorkeakoulun tasolla veivät. Case-yrityksen data ja toimintamalli toimivat ikään kuin demoni opinnäytetyössä. Työ keskittyi paljon data-analytiikkaan ja tästä aiheesta ei ollut aiempaa kokemusta tutkinnon osalta, muuta kuin yksi data-analytiikan perusteet kurssi. Teorian merkitys ja määrä yllättivät minut. Lisäksi eri ohjelmien käyttö vei runsaasti aikaa ja opettelua. Yleisesti paljon asioita tuli itselle täysin uutena. Eniten olisin toivonut hallitsevani R-ohjelmointikieltä paremmin, sillä lämpökartta ei onnistunut siltä osin mitä tavoittelin. Teknisiä puutteita lämpökartassa oli esimerkiksi

uusimman tiedon näkyminen päällimmäisenä, niin että se peittosi aiemmat tiedot. Arvioni mukaan tavoitteet toteutuivat 50 % alkuperäisestä suunnitelmasta. Tekemättä jäi optimoinnin toteutus, mutta opinnäytetyöni antaa hyvät lähtökohdat kuljetusyrityksille tai opinnäytetyötä tekeville opiskelijoille tutkia ja pohtia optimoinnin tuomia mahdollisuuksia pienten ja keskisuurten kuljetusyritysten toiminnassa. Osaamisen ja ymmärtämisen puutetta korjaa VÄLKKY-hankkeen yhteydessä luotu reititysmalli. Tätä mallia ovat tehneet HAMK Smart-tutkimusyksikkö.

Lähteet

Bari, A. (28.2.2018). *7 Branch and Bound Introduction* [video]. YouTube.

https://www.youtube.com/watch?v=3RBNPc0_Q6g&ab_channel=AbdulBari

Bari, A. (28.2.2018). *8 NP-Hard and NP-Complete Problems* [video]. YouTube.

https://www.youtube.com/watch?v=e2cF8a5aAhE&ab_channel=AbdulBari

Bari, A. (14.4.2018). *7.3 Travelling Salesman Problem Branch and Bound* [video]. YouTube.

https://www.youtube.com/watch?v=1FEP_sNb62k&ab_channel=AbdulBari

Braekers, K., Ramaekers, K. & Nieuwenhuys, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art and classification and review.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835215004775?via%3Dihub>

Cost, S. & Salzberg S. (1993). A Weighted Nearest Neighbor Algorithm for Learning with Symbolic Features. *Machine Learning*. Kluwer Academic Publishers.

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00993481.pdf>

Cran. (2022). *An Introduction to R*.

<https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.html>

Explorescm. (2021). *Figure 4. The pyramidic view of planning levels of supply chain management*. <https://explorescm.com/planning-in-supply-chain-management/>

Järvenpää, M., Lämsiluoto, A., Partanen, V. & Pellinen, J. (2015). *Talousohjaus ja kustannuslaskenta*. Sanoma Pro Oy.

Järvenpää, J. & Talvitie, T. (2014). *NP-täydellisyys*. Helsingin Yliopisto.

<https://www.cs.helsinki.fi/u/pklehtol/JarvenpaaTalvitieNP-t%C3%A4ydellisyys.pdf>

Jätelaki 646/2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

Labadie, N., Prins, C. & Prodhon, C. (2016). Vehicle routing problems. Teoksessa, *Metaheuristics for Vehicle Routing Problems* (s.6). Wiley-ISTE.

<https://www.wiley.com/en-us/Metaheuristics+for+Vehicle+Routing+Problems-p-9781119136781>

Maanmittauslaitos. *Katsele ja lataa karttoja.*

<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/kartat/katsele-ja-lataa-karttoja>

Microsoft. (n.d.). *Excel Specifications and limits.*

<https://support.microsoft.com/en-us/office/excel-specifications-and-limits-1672b34d-7043-467e-8e27-269d656771c3>

Microsoft. (n.d.). *What is enterprise or large-scale data?*

<https://learn.microsoft.com/en-us/training/modules/understand-scalability-power-bi/2-describe-significance-of-scalable-models>

Miller, T. & Liberatore, M. (2020). *Logistics Management: An Analytics-Based Approach.* Business Expert Press.

MIT OpenCourseWare. (5.3.2016). *R8. NP-Complete Problems [video].* Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=G7mqtB6npfE&ab_channel=MITOpenCourseWare

Openstreetmap. (n.d.). *Tervetuloa OpenStreetMapiin!* <https://www.openstreetmap.org/>

PowerBI. (n.d.). *Discover and Share Insights in Minutes.*

<https://powerbi.microsoft.com/en-au/business-analysts/>

PsychExamReview. (18.3.2017). *Problem-Solving: Algorithms vs. Heuristics (Intro Psych Tutorial #91)* [video]. YouTube.

https://www.youtube.com/watch?v=o5lzVg5vGaM&ab_channel=PsychExamReview

R-project. (n.d.). *What is R?* <https://www.r-project.org/about.html>

Rstudio. (n.d.). *Leaflet for R.* <https://rstudio.github.io/leaflet/>

Stamen. (n.d.). <https://stamen.com/>

Stat. (n.d.). https://www.stat.fi/tup/paavo/index_en.html

Termipankki. (1998). *Käsittekaavio 15. Jätteesiin liittyviä käsitteitä.*

<https://termipankki.fi/tepa/mot/mot.php?Opt=256&ListWord=@40@40ID@3DTSK@5F27@2DIDfDyyf1rJvxBcQl2XQZOziQ&SearchWord=j@C3@A4te&dic=1&page=results&UI=figr&Source=Record>

Työaikalaki 872/2019.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2019/20190872?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=ty%C3%B6aikalaki>

Työehtosopimuslaki 436/1946. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1946/19460436>

Violina, S. (20.4.2021). Analysis of Brute Force and Branch & Bound Algorithms to solve the Traveling Salesperson Problem (TSP). *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, Trabzon Vol. 12, Iss. 8, 1226-1229.

<https://www.proquest.com/openview/48388af438d35d576a0998dc22fa3478/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2045096>