

Joona Litmanen

Optimointi logistiikan kuormansuunnittelussa

R²-Optimointipalvelun kehittäminen Tuoretie Oy:lle

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Tietoverkkotekniikka

Tekijä: Joonas Litmanen

Työn nimi: Optimointi logistiikan kuormansuunnittelussa

Ohjaaja: Pasi Mikkonen

Vuosi: 2020

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyössä perehdyttiin Tuoretie Oy:n logistiikan toiminnanohjausjärjestelmään ja sen alla toimivaan R²-SiSu-järjestelmän simulointi ja suunnittelukokonaisuuteen sekä optimointipalveluun. Ohjelman tarjosi Procomp Solutions Oy, jonka kanssa toimittiin yhteistyössä. R²-Optimointi on automatisoitu tekoälyyn perustuva laskentapalvelu, jonka yhtenä tehtävänä on muodostaa logistiikkakuormia. Palvelu oli tarkoitus ottaa käyttöön kuljetussuunnittelijan kuormansuunnitteluun, jossa reititetään asiakkaiden tilauksia. Optimointi tukisi kuormansuunnittelua vaihtoehtoisilla reiteillä, jotka palvelu on laskenut mahdollisimman kustannustehokkaaksi.

Työssä syvennyttiin R²-Optimoinnin perusteisiin ja järjestelmän rakenteisiin. Optimoinnin teoriaosassa käytiin läpi muuttujia, joita palvelu ottaa huomioon kuormia perustaessa. Tilausrivejä voitiin optimoida kolmella ja kuormia kahdella tavalla. Pääsääntöisesti testauksissa käytettiin uusia kuormia perustavia Optimoi autoille -valintaa.

Ohjelmistotestauksissa annettiin optimointipalvelulle tietty määrä autoja ja tilauksia käsiteltäväksi. Testivaiheet tehtiin kolmessa osassa, niissä lisättiin jokaisessa vaiheessa tilausrivien määrää sitä mukaan, kuinka optimointi suoritui. Kuormia verrattiin Tuoretie Oy:n alkuvuoden jo ajettuihin kuljetussuunnittelijan tekemiin kuormiin ja palvelun optimoituihin kuormiin. Testauksen aikana muuttamalla eri optimointiasetuksia saatiin erinäköisiä lopputuloksia aikaiseksi. Näillä testattiin optimointipalvelun toimivuutta ja suorituskykyä.

Tuloksista katsottiin, montako kuormaa optimointipalvelu teki. Kuormista kirjattiin tulokset taulukoihin kokonaiskilometreistä ja ajoista. Näitä tuloksia verrattiin suunnittelijan tekemiin kuormiin ja pohdittiin kustannustehokkainta vaihtoehtoa. Testauksien alkuvaiheessa tulokset olivat samanlaisia. Testauksien edetessä ja tilausten kasvaessa verrattavat tulokset muuttuivat keskenään. Optimointitestauksista otettiin toimintatilanteita ylös, jotka voidaan toistaa ja tarkistaa optimointipalvelun lokeista. Työn lopputuloksena tehtiin kehitysmäärityslista palvelun kehittämiseksi ohjelman tarjoajalle.

Avainsanat: optimointi, toiminnanohjausjärjestelmä, logistiikka, ohjelmistotestaus, kuormansuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Networking Technology

Author: Joonas Litmanen

Title of thesis: Optimizing the Load Design of Logistics

Supervisor: Pasi Mikkonen

Year: 2020

Number of pages: 46

Number of appendices: 0

The thesis examined the enterprise resource planning system of the logistics of Tuoretie Oy, and the optimization service of R²-SiSu simulation and planning system operating within it. The program was provided by Procomp Solutions Oy which operated as a partner during the thesis. R²-Optimization is an automated AI based computation service whose one task is to form logistical loads. The service was introduced to the transport planner's load design for routing customers' orders. Optimization would support load designing on alternative routes that the service has calculated as cost-effective as possible.

The thesis studied the basics of R²-Optimization and its system structures. The theory section described the variables that the service had to consider when setting up loads. Customers' orders could be optimized in three ways and the loads in two ways. As a rule, the new load forming optimization method was used for all orders and cars in testing.

In the software testing process a certain number of cars and orders was given for the optimization service to handle. The test stages were carried out in three sections, increasing the number of order lines step by step depending on how the optimization performed. The optimized loads were compared with the loads already made by the transport planner earlier this year. During testing, new alternative results were made by changing different optimization settings. With these changes the functionality and performance of the optimization service were tested.

From the results, it could be seen how many loads the optimization service made. The total kilometres and times of the loads were recorded in tables. These results were compared with the loads made by the transport planner and it was considered which were the most cost-effective options. In the early stages of testing, the results were similar. As testing progressed and orders increased, the results started to differ from each other. Operational situations were registered from the optimization tests, so that they could be repeated and verified from the optimization service logs. As the result of the thesis, a development specification list was made to develop the optimization service for the program provider.

Keywords: optimization, enterprise resource planning system, logistics, software testing, load design

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO.....	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoite.....	11
1.3 Työn rakenne	12
1.4 Tuoretie Oy	12
1.5 Procomp Solutions Oy.....	13
2 R²-TOIMINNANOHJAUSJÄRJESTELMÄ	14
2.1 R ² -SiSu	15
2.1.1 Alusta	16
2.1.2 Palvelimet	18
2.2 Optimointi.....	18
2.3 Heuristiset algoritmit.....	19
2.4 R ² -Optimointi.....	20
2.4.1 Optimointiasetukset.....	21
2.4.2 Optimointivaihtoehdot	23
3 OHJELMISTOTESTAUS	26
3.1 Testauksen lähtökohta	26
3.2 Testauksen tavoite	26
3.3 Testausvaiheet.....	27
3.3.1 Testausvaihe 1 – terminaalit	28
3.3.2 Testausvaihe 2 – kapasiteetit.....	32
3.3.3 Testausvaihe 3 – kaikki alueen tilaukset.....	37
4 TULOKSET	39
4.1 Testausvaihe 1	39
4.2 Testausvaihe 2.....	40

4.3 Testausvaihe 3.....	42
5 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	43
LÄHTEET.....	45

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. R ² -järjestelmän tuotekokonaisuus.....	14
Kuva 2. Reittejä R ² -SiSun kartalla	22
Kuva 3. R ² -SiSu-optimointivaihtoehdot	23
Kuva 4. R ² -SiSu-kuorman optimointi.....	24
Kuva 5. R ² -SiSu optimoi käyntijärjestys	25
Kuva 6. Optimointivalinnat	27
Kuva 7. Optimointinäyttö	28
Kuva 8. Optimoitu kuorma, jakelualue 150 km.....	29
Kuva 9. Kuljetussuunnittelijan kuorma	30
Kuva 10. Optimoidut kuormat, vasen jakelualue 150 km, oikea 200 km	31
Kuva 11. Optimoidut kuormat, vasen jakelualue 150 km, oikea 200 km, terminaalit huomioitu	32
Kuva 12. Optimoidut kuormat.....	33
Kuva 13. Kuorman reitin käyntipaikat.....	34
Kuva 14. Suunnittelijan tekemät kuormat.....	35
Kuva 15. Kuorman täyttöaste.....	35
Kuva 16. Optimoidut kuormat, kapasiteetti 110 %	36
Kuva 17. Optimointivalinnat 24 h, 150 km.....	37
Kuva 18. Kuljetussuunnittelijan kuormat vasen, optimoidut kuormat oikea	38

Kuvio 1. Kuormansuunnittelu.	11
Kuvio 2. ERP-järjestelmän tiedonsiirto	15
Kuvio 3. Monikerrosmalli	17
Kuvio 4. RDP-yhteys yksinkertaistettuna	18
Taulukko 1. Testausvaihe 1, optimoinnin tulokset.....	39
Taulukko 2. Testausvaihe 1, kuljetussuunnittelijan tulos.....	40
Taulukko 3. Testivaihe 2, optimoinnin tulokset.....	41
Taulukko 4. Testivaihe 2, kuljetussuunnittelijan tulos.....	42
Taulukko 5. Testivaihe 3, kuormat.	42

Käytetyt termit ja lyhenteet

.NET Framework	Microsoftin kehittämä ohjelmistokomponenttikirjasto Windows-pohjaisille sovelluksille.
Aliohjelma	Toisen ohjelman sisällä toimiva itsenäinen ohjelma.
Asynkroninen	Jonossa oleva viesti ei tarvitse välitöntä vastausta edetäkseen.
C++	Alustariippumaton ohjelmointikieli.
DLL	Dynamic Link Library. Jaettu kirjasto, joka sisältää ohjelmakoodia ja dataa muiden ohjelmien käytettäväksi.
ERP	Enterprise Resource Planning. Toiminnanohjausjärjestelmä yrityksen resurssien ja eri toiminnanosien suunnitteluun.
Etäisyysmatriisi	Taulukko, joka näyttää kohdeparien etäisyyden.
Geokoodaus	Prosessi, jolla selvitetään haluttu sijainti paikalle.
Heuristinen algoritmi	Menetelmä, jolla tavoitellaan mahdollisimman optimia ratkaisua annetulle tehtävälle, jolle ei saada laskettua tarkkaa vastausta.
Integraatiotestaus	Useiden komponenttien yhteistestaus ohjelmassa.
Iterointi	Toistuvia suorituskertoja työvaiheessa halutun lopputuloksen saavuttamiseksi.
Logistiikka	Materiaalivirtojen ohjaus ja kuljetus.
Lyhin polku	Algoritmi, jolla lasketaan lyhin reitti kahden pisteen välille.
Moduuli	Ohjelman itsenäinen osa, joka voidaan liittää osaksi järjestelmän kokonaisuutta.

RDP	Remote Desktop Protocol. Microsoftin kehittämä etätyöpöytäyhteysprotokolla etähallintaan.
RDS	Remote Desktop Service. Microsoftin kehittämä etäyhteyspalvelu.
Regressiotestaus	Varmistetaan ohjelman toimivuus toistetuilla testauksilla uusien komponenttien asennusten jälkeen.
Työaikasäännös	Sääntö, jonka mukaan määräytyy työvuoron työtunnit ja tauot.
Validointitestaus	Testataan ohjelman vaatimusten mukainen toimivuus käytännön tilanteissa.
WCF	Windows Communication Foundation. Microsoft .NET -sovelluskehityksen osa palvelukeskeisen sovelluksen rakentamiseen.
Windows Server 2008	Microsoftin kehittämä palvelinkäyttöjärjestelmä.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

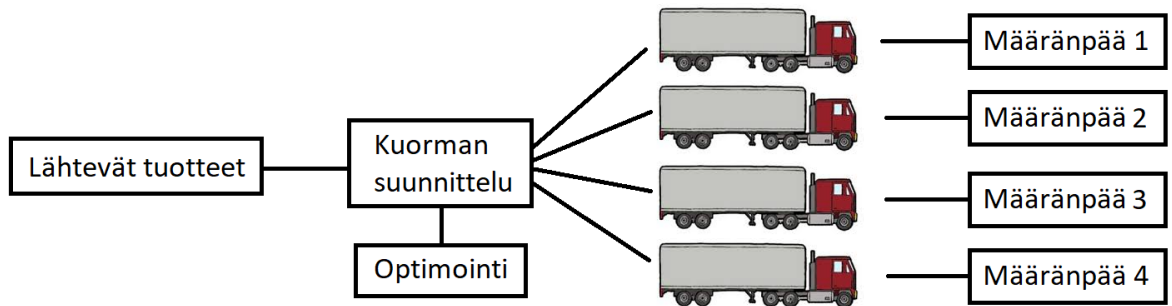
Teknologian jatkuva kehittyminen haastaa yrityksiä ja organisaatioita nousemaan edelläkävijöiksi omalla toimialallaan. Nykyiset ohjelmistot mahdollistavat tietokoneavusteisia palveluja, jotka ovat tukena koko yrityksen liiketoiminnalle. Kova kilpailu yritysmaailmassa vaatii ottamaan käyttöön hyvin edistyneitä analytiikan ratkaisuja. Ohjelmat voivat esimerkiksi automatisoida työvaiheita sekä vähentää inhimillisiä virheitä. Optimoinnin avulla on mahdollista löytää paras vaihtoehto toiminnalle sekä tuoda uusia näkökulmia jo rutiiniksi muodostuneille toimintatavoille (Kaleva 1993, 10). Opinnäytetyön idea sai alkunsa työnantajan tarpeesta optimoida yrityksen käytössä oleva ERP-toiminnanohjausjärjestelmän osa.

Opinnäytetyössä tutustutaan logistiikka- eli kuljetuspalveluja tarjoavan Tuoretie Oy:n toiminnanohjausjärjestelmän tekoälyyn perustuvaan optimointiosioon. Optimointitapahtumat toimivat järjestelmän sisällä olevassa simulointi- ja suunnitteluohjelmassa. Toiminnanohjausjärjestelmän on toimittanut ohjelmistojen suunnitteluun ja valmistukseen erikoistunut yritys Procomp Solutions Oy.

Logistiikkasuunnitteluun tuo haasteita kuljetussuunnittelijan vastuulla olevat suuret alueet kuljetuksien hallinnassa ja suunnittelussa. Työtehtävät vaativat erittäin paljon järjestelmällisyyttä sekä nopeita ratkaisuja. (Ammattinetti, [viitattu 11.4.2020].) Tämän takia suunnittelija tarvitsee tuekseen luotettavan ja toimivan järjestelmän, jolla ohjata logistiikan toimintaa. Jotta toiminta olisi kannattavaa, pitää kuljetuksien hoitua mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti.

Opinnäytetyössä keskitytään yhteen suurimpaan kuljetussuunnittelijan työn osa-alueeseen, kuormiensaunitteluun Tuoretie Oy:n kuljetusverkostossa ja kehitetään yrityksen toiminnanohjausjärjestelmän sisällä tapahtuvaa kuljetusreittien optimointia. Optimoinnin periaatteena on tukea ajojärjestelyn kuormansuunnittelua vaihtoehtoisilla reiteillä, jotka järjestelmä on laskenut optimaaliseksi. Reitit saattavat erota eri muuttujien mukaan ja tätä tullaan vertailemaan testausvaiheessa.

Alla olevassa kuviossa 1 on yksinkertaistettu kuormansuunnittelun osa-alue. Tällä hetkellä suunnittelut tehdään ilman optimointia, jolloin ajojärjestelijät suunnittelevat itse kuljetusreittejä, joiden kautta tuotteet kulkevat lähettäjiä vastaanottajille. Kuormiensuunnittelussa otetaan muun muassa huomioon kuljetusetäisyyksiä ja tuotteiden eräkokoja sekä kuljetukseen vaadittavia kustannuksia (Ammattinetti, [viitattu 11.4.2020]).



Kuvio 1. Kuormansuunnittelu.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää R²-optimointipalvelua Tuoretie Oy:n käyttöön. Projekti oli pitkäkantoinen ja sitä tullaan jatkamaan myös opinnäytetyön jälkeenkin. Testausten perusteella oli tarkoitus tarkistaa sovelluksen toiminta ja katsoa, toimiko se toivotulla tavalla. Testauksilla kartoitettiin mahdollisia suurempia ongelmia, joita ei haluttaisi seuraaviin ohjelmapäivityksiin. Testauksista oli tarkoitus myös tehdä kehitys- ja korjausmäärityksiä, jotka myöhemmin tarkistetaan ohjelman tarjoajan kanssa.

Työn periaatteena oli testausten avulla löytää optimaalisin ratkaisu kuormansuunnitteluvaiheeseen. Optimointipalvelulla ei pyritty korvaamaan täysin kuormansuunnittelua, vaan se haluttiin kuljetussuunnittelun tueksi tehostamaan työvaiheprosesseja ja auttamaan reittisuunnittelun päättelytyössä. Optimoinnilla voitaisiin tehdä valmis suuntaa antava kuormakokonaisuus, jota on helppo muokata lopulliseksi ratkaisuksi.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyö alkaa ohjelmistoaineiston sekä optimoinnin teoriasta. Teoriaosassa perehdytään myös toiminnanohjausjärjestelmän ohjelmistoarkkitehtuuriin ja käydään läpi optimointimenetelmiä sekä toimenpidesarjoja. Ohjelmistotestausosiossa käsitellään koko kuormansuunnittelu käyttäen hyväksi optimointipalvelua. Testausaineistona toimii Tuoretie Oy:n kuormansuunnittelun jo ajetut oikeat tuotannon kuormat sekä tilaukset testipalvelimella. Testausten jälkeen tehdään tuloksien yhteenveto sekä pohditaan mahdollisia kehitysmäärittäyksiä, joita voidaan ehdottaa ohjelman tarjoajalle. Raporteista on rajattu pois kaikki yrityksiin tai asiakkaisiin liittyvät arkaluontoiset tiedot tietosuojan säilyttämiseksi.

1.4 Tuoretie Oy

Tuoretie Oy on vuonna 1992 perustettu elintarvikelogistiikan yritys. Yritys on suomalainen Atrian, Poutun ja Saarioisen omistama tytäryhtiö. Tuoretien tehtävänä oli alun perin hoitaa omistajiensa kuljetustoiminnot. Nykyään organisaatio tarjoaa myös muille asiakkaille monenlaisia logistiikkapalveluja, kuten alkutuotannon eläin- ja rehukuljetuksia, elintarvikekuljetuksia sekä kattavia sähköisiä palveluja. Näiden lisäksi se tuottaa palveluihin liittyvät Tullin sähköiset asiointit. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Seinäjoella ja sen toiminta-alue autokuljetuksina kattaa Pohjoismaat ja Euroopan sekä lisäksi lentorahdit ja konttikuljetukset kaikkialle. (Tuoretie Oy, [viitattu 24.3.2020].)

Vienti- ja tuontikuljetuksen ohjauksessa Tuoretie Oy käyttää R²-toiminnanohjausjärjestelmää. Järjestelmä kattaa koko toimitusprosessin tilausten käsittelystä kuormansuunnitteluun ja siitä mobiililaitteeseen kuljettajalle. Elintarvikejakelua ohjaa tällä hetkellä oma erillinen järjestelmänsä, johon liittyvät reittiylläpidot, sanomavälitykset ja niiden muunnokset. Kyseinen järjestelmä ylläpitää myös asiakkaan virheselvityksiä ja reklamaatioiden käsittelyä. (Lehtisaari 13.3.2020.)

1.5 Procomp Solutions Oy

Procomp Solutions Oy on perustettu vuonna 1995 ja yrityksen pääkonttori sijaitsee Oulussa. Procomp toimittaa ohjelmistoratkaisuja logistiikan lisäksi työvoimanhallintaan ja kotihoitoon. Tämän lisäksi yritys tarjoaa projektipalveluja integrointi- ja ohjelmointipalveluina. Procomp palvelee Tuoretien lisäksi monia muita yrityksiä, kuten Veikkausta, Keskoa ja Polaria. (Procomp Solutions Oy, [viitattu 24.3.2020].) Logistiikassa yhdistyvät reaaliaikaiset optimointi-, suunnittelu- ja simulointiohjelmat yhdeksi toiminnanohjausjärjestelmäksi. Yritys tarjoaa monipuolisilla ohjelmillaan asiakkailleen mittavia säästöjä taloudellisesti ja ajallisesti. (Procomp Solutions Oy, [viitattu 25.3.2020].)

Procompin ja Tuoretien yhteistyö alkoi vuonna 1999, jolloin järjestelmiä kehitettiin toimitusten reitittämiseen sekä datan siirtämiseen. Tuolloin Tuoretien elintarvikelogistiikan suunnittelujärjestelmäksi otettiin käyttöön Procompin tekemä Rahti-toiminnanohjausjärjestelmä. Tuoretien rehupuolen logistiikkapalvelut siirrettiin ensimmäisenä uuteen R²-toiminnanohjausjärjestelmään. Viime vuosien aikana koko toimintaa on siirretty saman R²-tuoteperheen SiSu-järjestelmän alle, sekä ohjelmaa on räätälöity yrityksen toiminnalle sopivaksi. (Procomp Solutions Oy, [viitattu 26.3.2020].)

2 R²-TOIMINNAHOJAUSJÄRJESTELMÄ

R²-toiminnanohjausjärjestelmä on Procomp Solutions Oy:n rakentama modulaarinen ERP-ratkaisu, joka räätälöidään yrityksen tarpeiden mukaisesti. Logistiikan R²-toiminnanohjausjärjestelmään sisältyy:

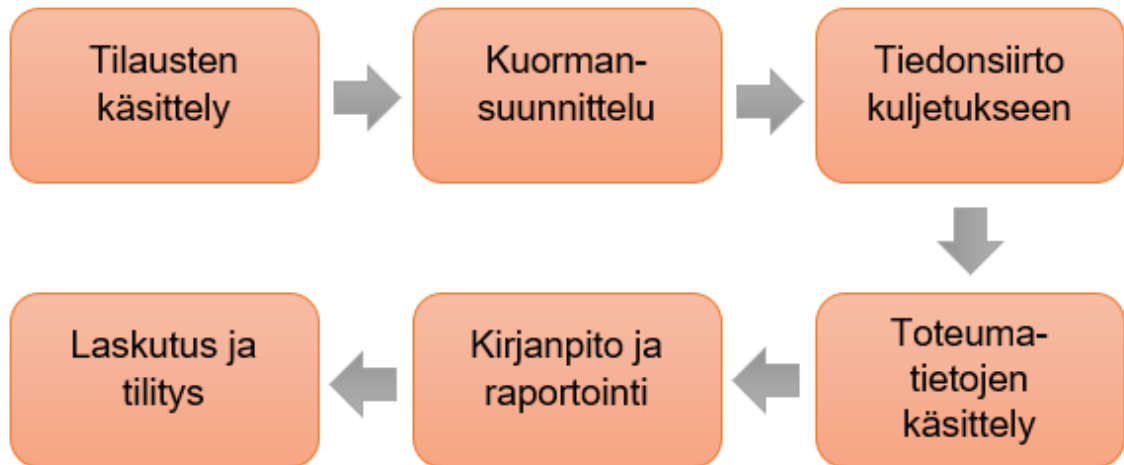
- R²-SiSu
- R²-Optimointi
- R²-Mobiili
- R²-Työajanseuranta
- R²-Asiakas- ja liikennöitsijäportaali. (Procomp Solutions Oy, [viitattu 25.3.2020].)

Alla olevassa kuvassa 1 on tarkennettu tuotekokonaisuus myös muista R²-järjestelmän osista.



Kuva 1. R²-järjestelmän tuotekokonaisuus (Procomp Solutions Oy, [viitattu 13.4.2020]).

Opinnäytetyössä syvennytään tarkemmin R²-SiSu- ja R²-Optimointi-osioon. ERP-järjestelmän tiedonsiirto tapahtuu sähköisesti alla olevan kuvion 2 mukaisesti. Se demonstroi koko logistiikan tiedonsiirron elinkaaren.



Kuvio 2. ERP-järjestelmän tiedonsiirto (Procomp Solutions Oy, [viitattu 13.4.2020]).

2.1 R²-SiSu

R²-SiSu on järjestelmäkokonaisuus logistiikan hallintaan. Ohjelmassa simuloidaan ja suunnitellaan resursseja, eli asiakkaan tilauksia kalustoille sekä tehdään niistä reittejä. Visuaalinen käyttöliittymä sisältää monenlaisia näkymiä esimerkiksi tilausriveille ja kuormille. Reittien hahmottamiseksi nämä näkyvät kartalla, jonka avulla kuormansuunnittelu on helppoa. Tilausrivejä tai palveluja lisätään kuormalle, josta sen eri tietoja voidaan lukea. Kuorman pituus havaitaan kartalla janaviivana ja numeerisena arvona. Kaikkien tilausrivien tiedot on mahdollista saada näkyviin ajojärjestelijälle, kuten tuottajan tavaranimikelajit, niiden määrät ja yksiköt. R²-SiSu pitää yllä perusrekistereitä, jotka toimivat samalla ohjelman tietopankkina. Rekistereihin kuuluu muun muassa sopimukset, hintatariffit, tuotenimikkeet sekä kalusto- ja käyntipaikkarekisterit. Kuormansuunnittelussa tietoja haetaan suoraan rekistereistä, jotka minimoivat toistuvia käsin tehtyjä toimenpiteitä. (Procomp Solutions Oy, [viitattu 25.3.2020].)

2.1.1 Alusta

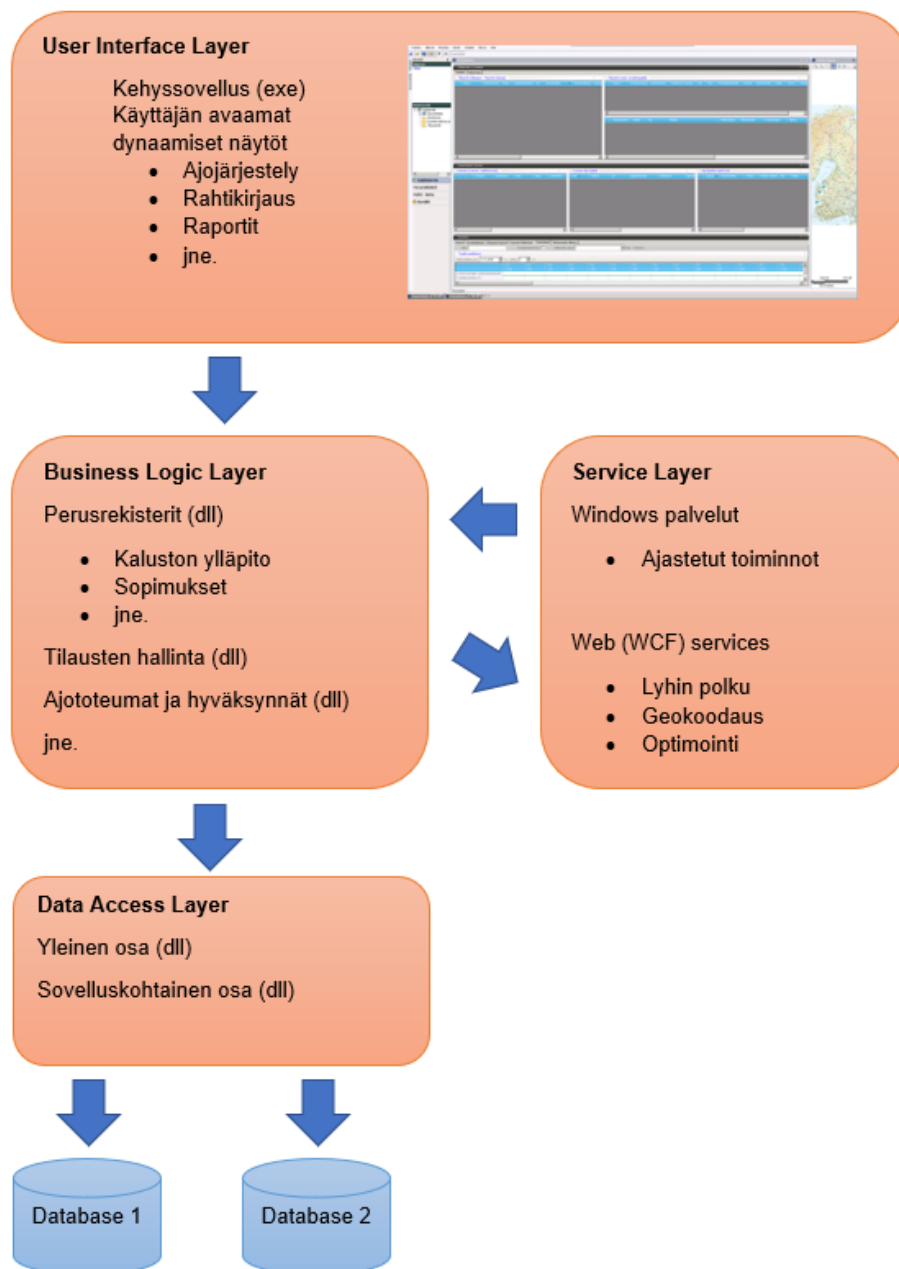
R²-SiSu toimii Microsoftin .NET Framework -tekniikalla toimivalla ohjelmistoalustalla. Alusta hoitaa perustoiminnallisuudet, jonka rakenteen päälle Procomp on tehnyt oman ohjelmistoalustansa. Alustalla tarjotaan valmiita sovelluskerroksen moduulikomponentteja projekteille ja siten muokataan käyttöliittymää eri toimialoille sopivaksi. (Mattila 2020.)

Tuotemoduulit ovat sovelluksen aliohjelmiä eli DLL-tiedostoihin tallennettuja prosesseja ohjelman jaetuissa kirjastoissa. Tällöin ohjelma käyttää jo muistissa olevaa ohjelmakoodia eikä sitä tarvitse ladata uudelleen. Jaetut kirjastot säästävät koodin uudelleen kirjoitukselta ja luovat palvelimelle levytilaa sekä säästävät keskusmuistia. Kun moduulit ovat eritelty, sovelluksen käyttönopeus on huomattavasti parempi, koska moduulit ladataan vasta sitten kun niitä tarvitaan. (Microsoft 18.12.2019.)

Koko R²-järjestelmä perustuu kerrosarkkitehtuuriin, joka jaetaan neljään osaan:

1. User Interface Layer – Käyttöliittymäkerros, joka esitetään käyttäjän näytöllä. Kerros koostuu kehyssovelluksesta, joka sisältää logiikan ohjelman tietojen näyttämiseksi, jossa voidaan navigoinnilla jatkaa eri dynaamisiin ikkunoihin sovelluksen sisällä.
2. Business Logic Layer – Toimintalogiikkakerros, jossa on sovelluksen kaikki välttämättömät toiminnallisuudet. Tämä kerros toimii yhteytenä käyttöliittymän ja tietokannan välillä. Se käsittelee ohjelman datan valmistelusta, siirrosta ja muunnosta. Logiikkakerros sisältää kaikki järjestelmän olennaiset toiminnot ja on riippumaton muiden kerrosten toteutustiedoista.
3. Data Access Layer – Tietokantakerros tarjoaa sovelluksen pääsyn tietokantoihin. Kerros koostuu yleisestä ja sovelluskohtaisesta osasta, joka muun muassa sisältää valmiit toiminnot tietokannan käsittelyn lukemiseen ja kirjoittamiseen.
4. Service Layer – Palvelukerros sisältää toiminnallisuutta, jonka toteutusta ei esimerkiksi sovelluksen ylläpidettävyyden kannalta olisi järkevää säilyttää toimintalogiikkakerroksessa. Palvelut kuten eri laskentapyynnöt ja optimoinnit valmistetaan suoritettavaksi tässä kerroksessa, kun toimintalogiikkakerros sitä pyytää. (Procomp Solutions Oy, [viitattu 1.4.2020].)

Kuviossa 3 on hahmoteltuna R²-järjestelmän ohjelmistoarkkitehtuuri. Nuolet osoittavat pyyntöjärjestyksiä sovelluksen kutsuista. Käyttöliittymän pohjana toimii kehyssovellus, jonka sisällä voidaan navigoida omiin dynaamisiin näyttöihin. Kun esimerkiksi käyttäjä haluaa suorittaa näytöllä optimointipalveluun liittyviä tehtäviä, käynnistyvät siihen liittyvät prosessit, joita pyydetään toimintalogiikkakerrokselta. Toimintalogiikkakerros hakee tarvittavat tiedot tietokannasta sekä valmistelee optimointipalvelun käyttöön. Tämän jälkeen käyttäjälle aukeaa optimoinnin ikkuna ja tehtäviä voidaan suorittaa. (Procomp Solutions Oy, [viitattu 1.4.2020].)

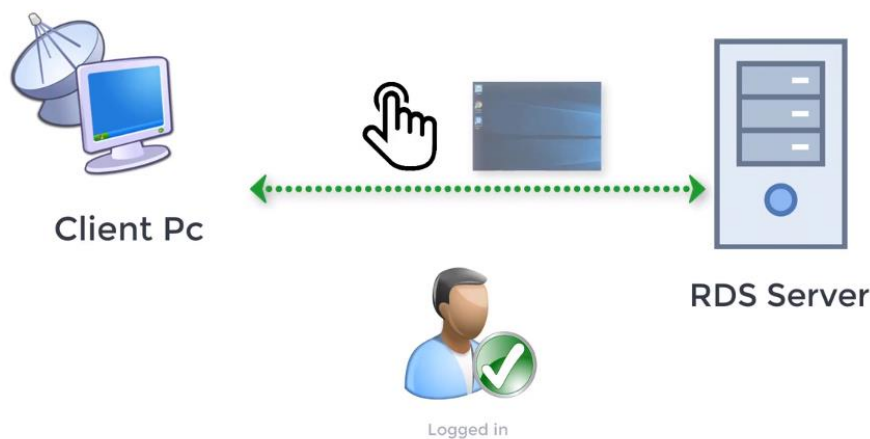


Kuvio 3. Monikerrosmalli (Procomp Solutions Oy, [viitattu 1.4.2020]).

2.1.2 Palvelimet

Procompin palvelinympäristönä toimii Windows Server 2008 R2 -versio. Nämä palvelinkäyttöjärjestelmät toimivat etäkäytön perusteena asiakkaalle. Etäyhteys palvelimeen tehdään kaksivaiheisen kirjautumisen kautta. Jokaisella käyttäjällä on mahdollisuus omaan istuntoon. (Microsoft 15.11.2009.)

SiSua käytetään Windowsin RDP-etätyöyhteyttä käyttäen Procompin palvelinympäristöstä. Heidän palvelimensa ovat jaettu tuotanto-, kehitys- ja testipalvelimiin. Tällä estetään voittuneen version päivittämistä tuotantoon, jos se aiheuttaisi ohjelman rikkoutumisen. (Procomp Solutions Oy, [viitattu 1.4.2020].)



Kuvio 4. RDP-yhteys yksinkertaistettuna (H-Educate 7.3.2020).

2.2 Optimointi

Optimointi tarkoittaa parhaan ratkaisun valintaa mahdollisten ratkaisujen joukosta. Optimointi määritellään tietyillä kustannus- tai hyötyfunktioilla, joilla resurssi käytetään mahdollisimman tehokkaasti. (Kaleva 1993, 11.)

Logistiikassa optimointia voidaan tehdä kolmella eri tasolla. Strateginen taso sijoittaa rakennukset, kuten varastot tai toimitilat tehokkaasti. Taktinen taso optimoi tarvittavan kuljetuskaluston määrän ja koon. Toiminnallinen taso optimoi ajoreittejä ja

aikatauluja. (Suomen kuljetusopas, [viitattu 1.4.2020].) Reitinhaut perustuvat erilaisiin algoritmeihin, jotka etsivät syötetyn datan perusteella mahdollisimman kustannustehokkaita reittejä lähtöpaikasta määränpäähän (Mattila 30.3.2015).

2.3 Heuristiset algoritmit

Heuristisen algoritmin tavoitteena on ratkaista annettava tehtävä lähelle optimaalisinta ratkaisua. Heuristiikkaa käytetään tehtäviin, joille ei voida selvittää tarkkoja ratkaisuja tai niihin menisi liian kauan aikaa. Ongelmanratkaisussa lasketaan valituilla funktioilla lopputulos ja tarvittaessa uusitaan yritys eri arvoilla, jotta päästään kohti haluttua lopputulosta. (Polya 2014, 112.)

Heuristiset menetelmät voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin:

- Rakentamismenetelmä, jossa algoritmi perustaa valmiin ratkaisun tyhjästä ja päättyy siihen.
- Korjaava menetelmä, jossa olemassa olevaa ratkaisua korjataan paremmaksi.
- Yhdistetty ja toistettu menetelmä, jossa perustetaan useita alkuratkaisuja ja erilaisilla korjaavilla toimenpiteillä valitaan parhain ratkaisu. (Bräysy & Porkka 2007, 38-39.)

Logistiikassa osa kuormansuunnittelusta toimii heuristisesti, jossa etsitään lopputulokseksi mahdollisimman kustannustehokasta reittiä. Kaikki kuormat eivät ole valmiita päivittäisiä kuljetusrutiineja, vaan reitit itse suunnitellaan ja päätellään mahdollisimman kannattaviksi, sekä tarvittaessa korjataan tai uusitaan ratkaisuja paremmiksi (Ammattinetti, [viitattu 11.4.2020]).

2.4 R²-Optimointi

R²-Optimointi on SiSun rinnalla toimiva .NET-sovelluskehityksen WCF-service eli palveluohjelma, joka toimii järjestelmän taustalla eikä sillä ole omaa käyttöliittymää. WCF:n avulla voidaan lähettää dataa asynkronisina viesteinä päätepiesteiden välillä, kun toimintalogiikkakerros sitä kutsuu (Microsoft 30.3.2017). Optimointilaskennat tapahtuvat aliohjelman sisällä. Service käyttää aliohjelman DLL-kirjastoa ja muokkaa optimointidatan sovelluksen käyttämän ohjelmointikielen C++ vaatimaan muotoon. Muokkaukseen kuuluu erilaisia tarkistuksia ja pyyntöjä, joiden jälkeen palvelu palauttaa aliohjelman tuottaman datan SiSun käyttöliittymän rajapinnan puolelle käyttäjälle nähtäväksi. Optimointipalvelua käytetään moniin eri laskentatarpeisiin parametreja muuttamalla. Aliohjelman tekniikka on teoreettista optimointia, jossa etsitään parhain mahdollinen teoreettinen lopputulos valituista muuttujista. Aliohjelma kirjaa optimoinnin aikana tuloksia historiatietoihin, jolloin optimointi ei jää silmukkaan tekemään samoja siirtoja edestakaisin. Historiatiedot eivät jää talteen seuraavalla optimointikerralla, jolloin ohjelma vapauttaa kaikki tulokset käytettäväksi. (Arola 2020.)

Optimoinnissa käytetään heurististen algoritmien yhdistettyä ja toistettua menetelmää, joka on kokeellisesti etenevä. Sen tarkoituksena on parantaa toistuvilla suorituskierroksilla, eli iteraatioilla, alkuratkaisuja kohti haluttua lopputulosta. Alkuratkaisut tarkoittavat tässä tilanteessa tilausaineiston liittämistä kuljetuskuormiin kaikki muuttujat huomioon ottaen. Optimointipalvelu laskee viisi rinnakkaista suoritusta samaan aikaan. Sen jälkeen lasketaan uudet viisi ja valitaan niistä parhain ratkaisu. Ratkaisu julkaistaan suunnitelman optimointitulokseen käyttäjän näytölle. Jokainen optimointikerta ei ole sama, koska laskentaa tehdään eri vaihtoehtojen kautta. Kun iterointia toistetaan tarpeeksi useasti, päädytään silti samaan parhaimpaan lopputulokseen kuin aikaisemminkin. (Arola 2020.)

Suoritus alkaa, kun optimointipalvelu laskee ensimmäisenä kaikista valituista resursseista etäisyysmatriisiin. Etäisyysmatriisiin lasketaan tilauspisteiden väliset etäisyydet. Tämän jälkeen resursseista ja tilausaineistoista luodaan mahdollisimman hyvät alkuratkaisut etäisyysmatriisiin ja muun optimointiasetusten perusteella. Tilaukset tulevat reiteille kohtuullisen suoraviivaisesti, jolloin sovellus hyväksyy huo-

nommankin ratkaisun, jotta iterointivaihe voidaan aloittaa. Tällä tavoin optimointi nopeutuu, eikä aikaa kulu alkuratkaisujen etsimiseen. Suorituksen aikana optimointi tekee erinäköisiä algoritmiohjattuja muutoksia. Näitä ovat esimerkiksi etäisyysäänöt iteroinnin keskivaiheella, jossa läheisyysrajaa nostetaan eli tilauksia otetaan laskentaan laajemmalta alueelta reitin mukaan. Laskentasääntöjä muuttaessa voidaan joissakin tapauksissa sallia yhden tai usean iterointivaiheen huonontavia tuloksia, mikä johtaisi parempaan lopputulokseen. (Arola 2020.)

2.4.1 Optimointiasetukset

Optimointia ohjaavia asetuksia eli muuttujia on useita kymmeniä. Osa asetuksista on asetettu palvelun taustalle ja niitä muutetaan vain Procompin toimesta, koska niiden vaikutukset koko palveluun ovat merkittävät. Tärkeimpiä optimointilaskentaa ohjaavia tekijöitä ovat:

- Aikaikkunat
- Lastaus- ja purkupaikan palveluajat
- Ajomatkat
- Kaluston kapasiteetti
- Lastauspaikkojen aukioloajat
- Työaikasäännökset. (Mattila 30.3.2015.)

Reittimatriisia luodessa kartta-aineisto hyväksyy vain kulkureiteiksi kelpaavat tiet ja tekee niistä reitit. Tällöin huomioidaan esimerkiksi tie- ja siltaosuudet, kun kalusto on maksimissaan. Lähtökohtaisesti suositaan lyhintä ajoreittiä, mutta ajoreitin valinta yritetään tehdä suurempia teitä käyttäen, jos se ei pidennä ajoaikaa merkittävästi. (Mattila 30.3.2015.)

Kuvassa 2 nähdään R²-SiSun käyttöliittymän kartta, jota optimoinneissa käytetään. Karttaa voidaan tarkentaa aina katutasolle asti ja liikkua haluttuun suuntaan. Kartta on yksi kuljetussuunnittelijoiden käytetyimmistä ohjelmaikkunoista, jota hyödynnetään kuormansuunnittelussa päivittäin.



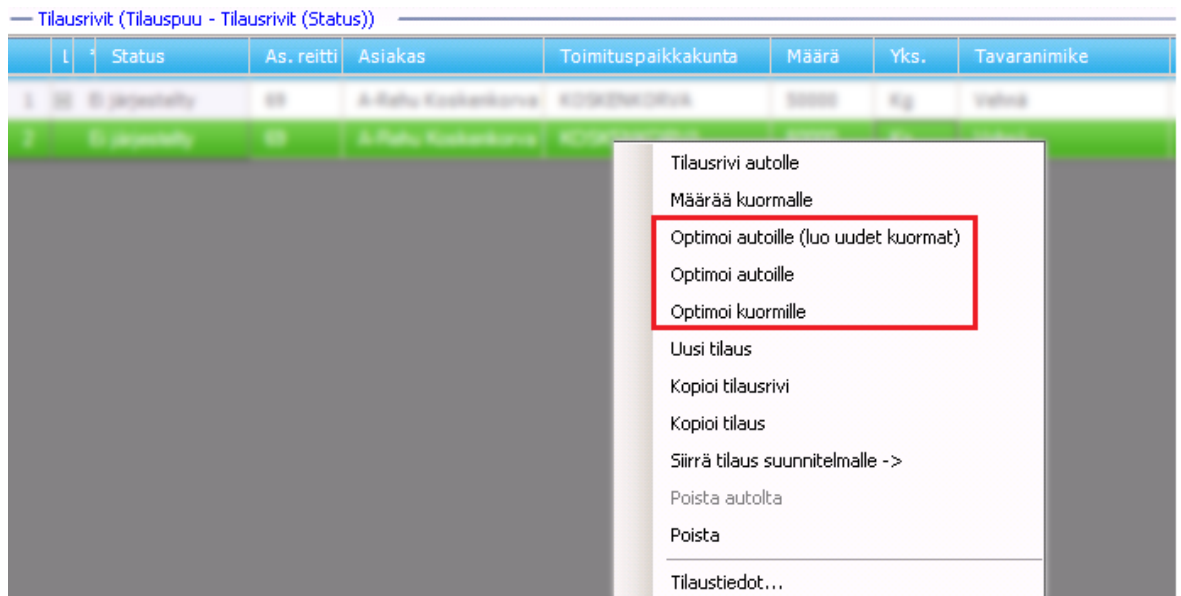
Kuva 2. Reittejä R²-SiSun kartalla (Procomp Solutions Oy 2020).

Optimointiin vaikuttaa R²-SiSun perusrekisterissä oleva Terminaalit-sovellus, johon perustetaan lähtöpaikkaosoitteet autokohtaisesti. Järjestelmä lisää reitin aluksi ja lopuksi kyseisen osoitetiedon, kun kuorma perustetaan auton tiedoilla. Kun autot lähtevät määrätyistä terminaaleista, mahdollistuu koko kuormansuunnittelun oikea ajoaikojen ja etäisyyksien laskenta. SiSulla voidaan myös luoda virtuaalisia terminaaleja, joissa kuormia voidaan aloittaa ja lopettaa muistakin kuin autoille määritetyiltä omilta terminaaleilta. (Mattila 30.3.2015.)

2.4.2 Optimointivaihtoehdot

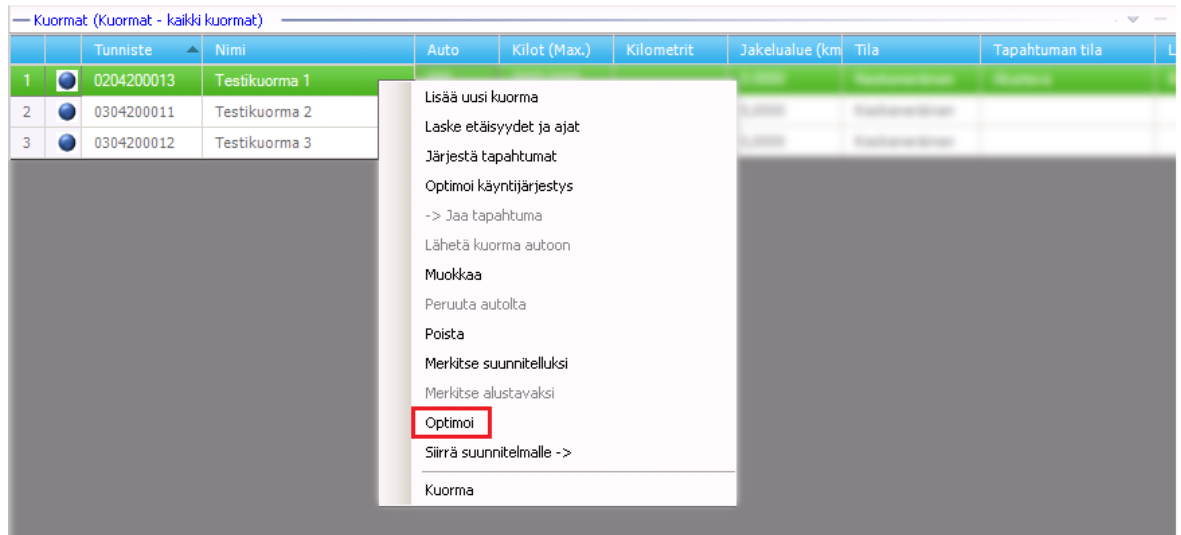
Optimoinnin kannalta on tärkeää valita oikea optimointitehtävä, jotta se toimisi mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkiksi käyttäjä voi yrittää optimoida liian paljon tilauksia olemassa oleviin kuormiin, jolloin niitä ei ole työaikasäännösten puitteissa mahdollista ajaa. Asetusten vaatimusten jäädessä täyttymättä ohjelma voi keskeyttää koko optimoinnin ilman mitään tulosta. Oikeaa optimointivaihtoehtoa käyttäessä se tekee mahdollisimman parhaat loppuratkaisut ja luo ylimääräisistä tilauksista uudet kuormat tai jättää tilaukset käyttäjälle manuaaliseen käyttöön. Tilausrivien optimointiin on kolme vaihtoehtoa:

- Optimoi autoille (luo uudet kuormat), jossa ohjelma perustaa valituista autoista sekä tilauksista kuormat.
 - Optimoi autoille, jossa ohjelma optimoi tilaukset valittujen autojen kuormille.
 - Optimoi kuormille, jossa ohjelma optimoi tilaukset valittuihin kuormiin.
- (Mattila 30.3.2015.)



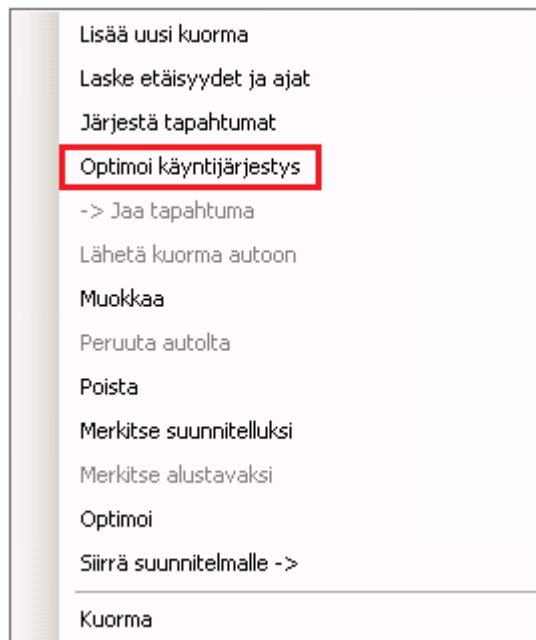
Kuva 3. R²-SiSu-optimointivaihtoehdot (Procomp Solutions Oy 2020).

Kuormalle voidaan suorittaa uudelleenoptimointi, jos esimerkiksi käyttäjän toimesta kuormaan on manuaalisesti lisätty tilauksia. Myös uudelleen suoritettuna optimointikerran on täytettävä optimointiasetusten vaatimukset. Jos optimointiasetukset eivät täyty, voidaan palauttaa kuorman alkuperäinen tilanne tai korvata se kokonaan uudella optimaalisella tuloksella. (Mattila 30.3.2015.)



Kuva 4. R²-SiSu-kuorman optimointi (Procomp Solutions Oy 2020).

Kuormasta voidaan myös optimoida sen käyntipaikkojen järjestys. Toiminto ei noudata optimointiasetuksia, vaan se tekee reitistä mahdollisimman virtaviivaisen kuorman auton lähtöpaikkaan ja viimeiseen purkupaikkaan nähden. Tällä toiminnallisuudella on mahdollista muodostaa vaatimuksista poikkeavia kuormia, joita satunnaisesti tehdään. (Mattila 30.3.2015.)



Kuva 5. R²-SiSu optimoi käyntijärjestys (Procomp Solutions Oy 2020).

3 OHJELMISTOTESTAUS

Testausmenetelmänä käytettiin käytännön tilanteeseen verrattavia jo tuotannossa ajettuja kuormia ja tilauksia. Testauksissa otettiin 2020 alkuvuoden aineistosta yksi viikko ja tutkittiin millaiset reitit optimointipalvelu olisi ehdottanut käsin tehdyn kuorman sijasta. Testaukset suoritettiin Procompin testipalvelimella, jolloin järjestelmässä ei ollut muita aktiviteetteja kuin optimointiprosessit.

3.1 Testauksen lähtökohta

Procompilla oli optimointisovelluksesta alustavat muutokset jo työn alla. Muutokset eivät vaikuttaneet optimoinnin peruskäyttöön, jolloin ohjelman toimintaa voitiin tutkia jo ennen täyttä validointitestausta. Kun uusia komponentteja lisätään, suoritetaan integraatio- ja regressiotestauksia, joissa toistetuilla testauksilla varmistetaan uusien päivitysten toiminnallisuus ohjelmistovirheiden varalta.

Ohjelmaan toteutetut vaatimusmäärittelyt:

1. Aukioloajat lastaus- ja purkupaikan ylläpitoon.
2. Optimointi-palveluun aukioloajan huomioiva kuormaratkaisu.
3. Optimointi-palveluun vaatimus yhdistää vain saman tyyppisiä tilauksia ja autoja. (Mattila 6.4.2020.)

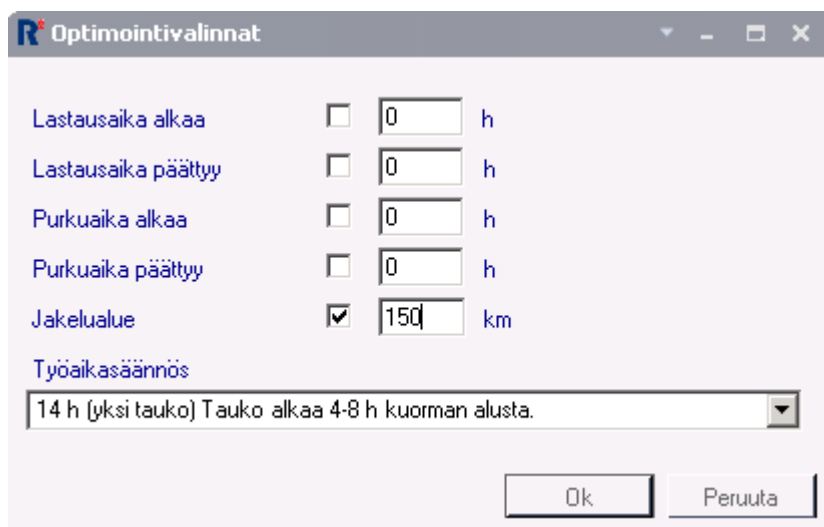
3.2 Testauksen tavoite

Tavoitteena oli testata järjestelmän vaatimusten mukaista toimivuutta käytännön tilanteissa. Työssä tarkasteltiin, voidaanko optimoinnilla lisätä kustannustehokkuutta vertaamalla reittien pituutta, kestoja ja määrää. Optimoinnin piti pystyä toimimaan samojen pelisääntöjen mukaan kuin suunnittelijalle oli annettu kuorman teon ehdoiksi. Tavoitteena oli löytää mahdollisia uusia optimointiasetuksia, jotka olisivat välttämättömiä kuorman optimoinnin suhteen.

3.3 Testausvaiheet

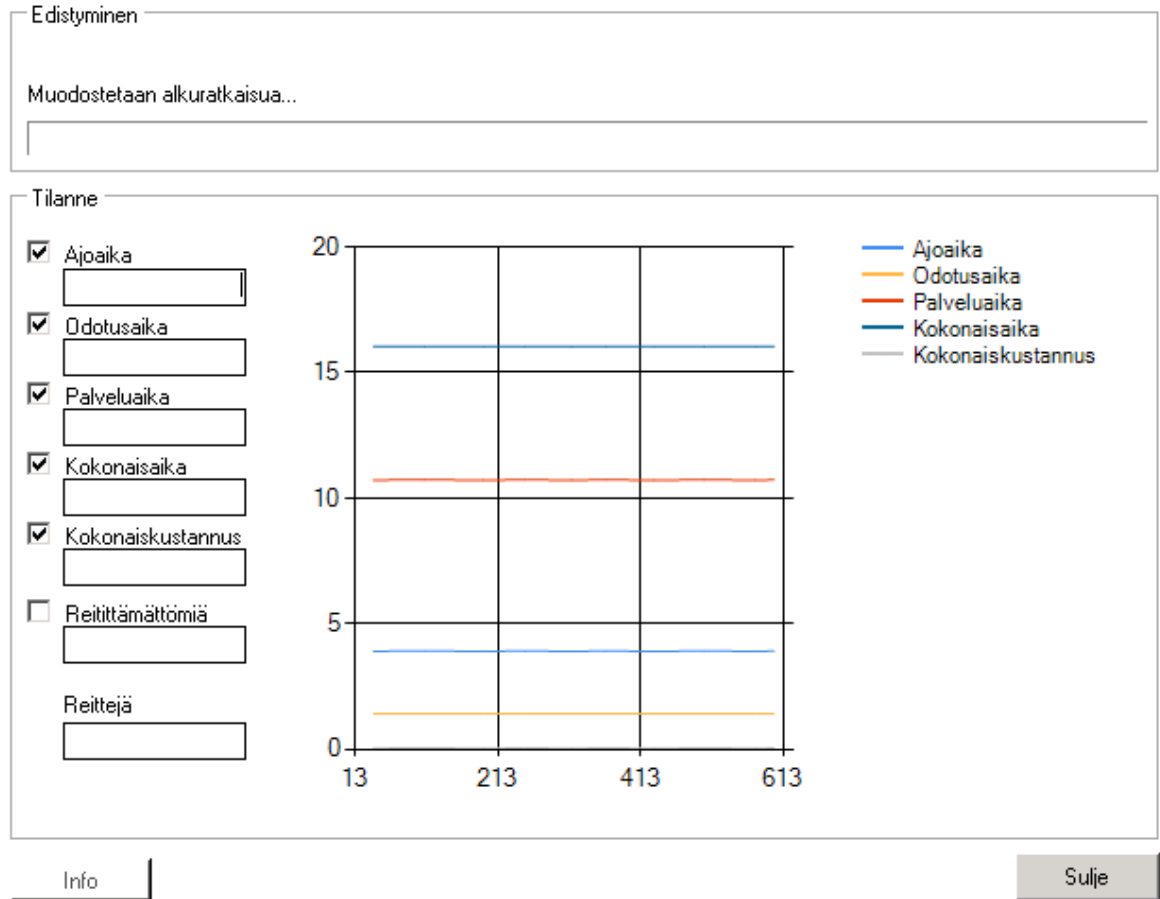
Testaukset suoritettiin vaiheittain kasvavassa järjestyksessä, joissa tilausrivien ja autojen määrää kasvatettiin sitä mukaan, kuinka optimointi suoritui. Lopuksi tarkoituksena oli valita koko alueen tilaukset ja optimoida ne alueen käytössä oleville autoille. Viimeisessä testauksessa meneteltiin viikonpäivän mukaisesti tehtävää suunnittelua, eli kuormien suunnittelu aloitettiin alkuvuikon tilauksista ja edettiin sitä mukaan loppuviikkoon. Kun tilauskanta ei päivittynyt testipuolella ollenkaan, ei valmiita kuormia tarvinnut uudelleen optimoida. Tilauskannan päivityksellä tarkoitetaan asiakkaan tilauksia, jotka tulisivat pienellä varoitusajalla kesken suunnittelun (Hietala 6.4.2020).

Optimointivaihtoehdoista käytettiin asetusta ”Optimoi autoille (luo uudet kuormat)”. Tällä tavoin annettiin optimointipalvelun itse määrätä kuinka monta kuormaa kyseisille tilauksille olisi järkevintä perustaa. Optimointipalvelulle voitiin antaa ehtoja ja tiettyjä joustoja asetuksissa ennen prosessin alkamista, jolloin voitiin määrittää esimerkiksi lastaus- ja purkupaikkojen tunteja pidemmäksi tai jakelualueetta suuremmaksi. Jakelualueella määriteltiin ensimmäisen purkupaikan välistä etäisyyttä viimeiseen (Mattila 6.4.2020). Optimoinnin kannalta jakelualueen arvoa oli hyvä pitää välillä 150–200 kilometriä, jotta kuormista tulisi säännösten puitteissa ajettavia. Työaikasäännösten pudotusvalikosta voitiin valita jo valmiiksi perusrekisteriin määritetyt työaikoja kuormalle.



Kuva 6. Optimointivalinnat (Procomp Solutions Oy 2020).

Optimoinnin suoritusta voitiin seurata näytöltä, jossa ilmoitettiin reittien määrät ja reitittömät tilaukset, jotka eivät mahtuneet kuormiin. Seurantanäytöltä nähtiin myös eri grafiikkaa ajoista ja kustannuksista.



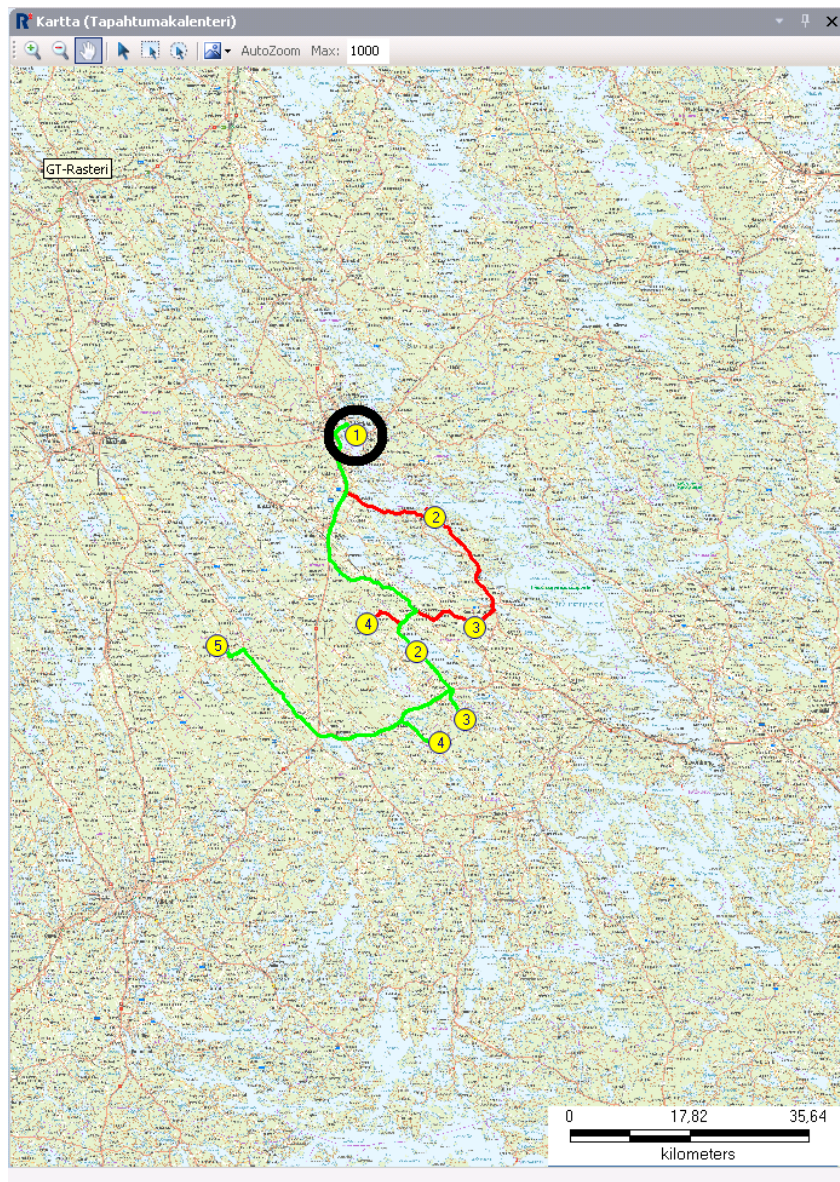
Kuva 7. Optimointinäyttö (Procomp Solutions Oy 2020).

3.3.1 Testausvaihe 1 – terminaalit

Ensimmäisessä vaiheessa optimointia suoritettiin yhdelle autolle ja seitsemälle tilausriville tietyllä rajatulla alueella. Tilausrivit olivat tässä yhteydessä asiakkaan tilaamia tuotenimikkeitä, jotka kaikki lastattiin yhdestä lastauspaikasta. Optimoinnilla haluttiin tehdä mahdollisimman hyvä reitti, joka näyttäisi, missä järjestyksessä tilaukset pitäisi toimittaa asiakkaille. Tällöin kuormat muodostuisivat yhdestä lastauspaikasta ja monesta eri purkupaikasta. Optimoinnin työaikasäännöksenä käytettiin ensin 14 tunnin asetusta ja 150 kilometrin jakelualueita.

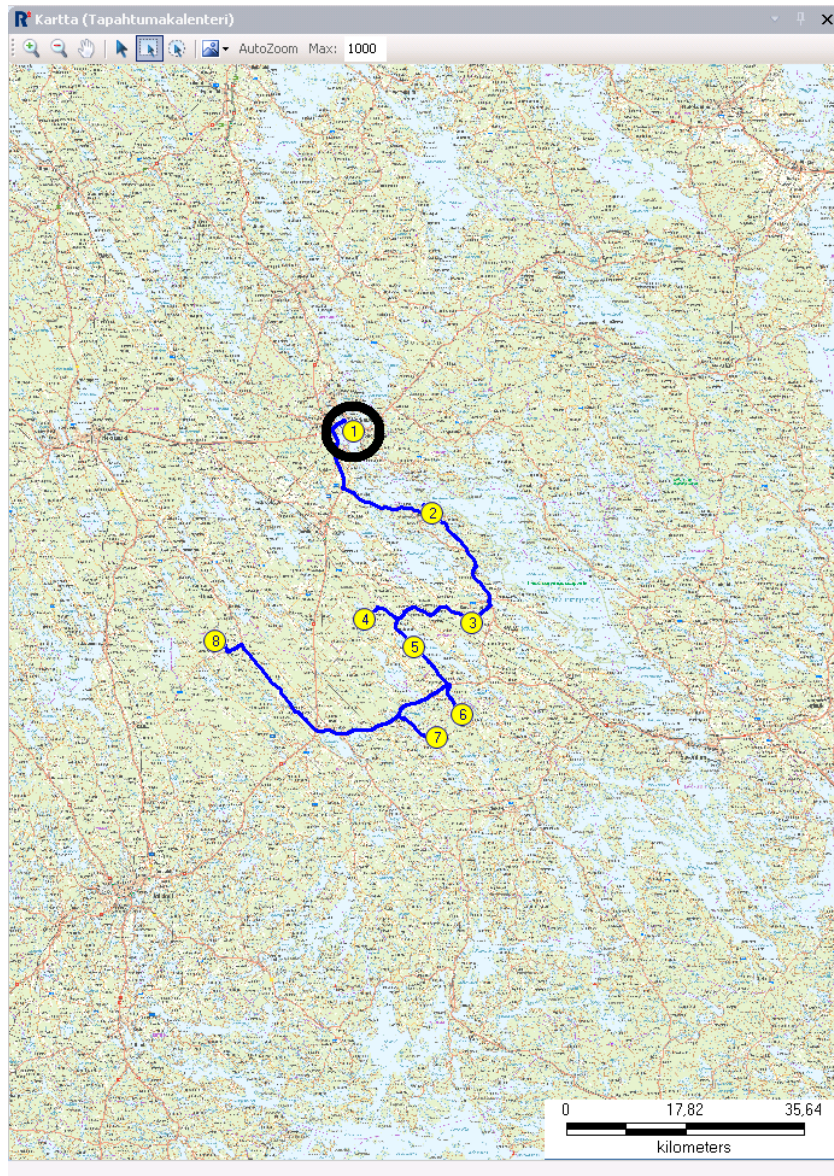
Testauksien karttakuvissa ympyröitiin mustalla autojen lastauspaikat hahmottamaan reittien alkua. Kartalla olevat numerot kuvasivat reitin ajojärjestystä sekä lastaus- ja purkupaikkoja kuormassa. Jokainen reitti oli värikoodattu erilaiseksi havainnollistamaan eri kuormia. Jos reitit myötäilivät toisiaan, piiloutui niistä toinen reitti toisen alle.

Ensimmäinen optimointi teki kaksi kuormaa, toiselle kuormalle tuli kolme purkupaikkaa ja toiselle neljä purkupaikkaa.



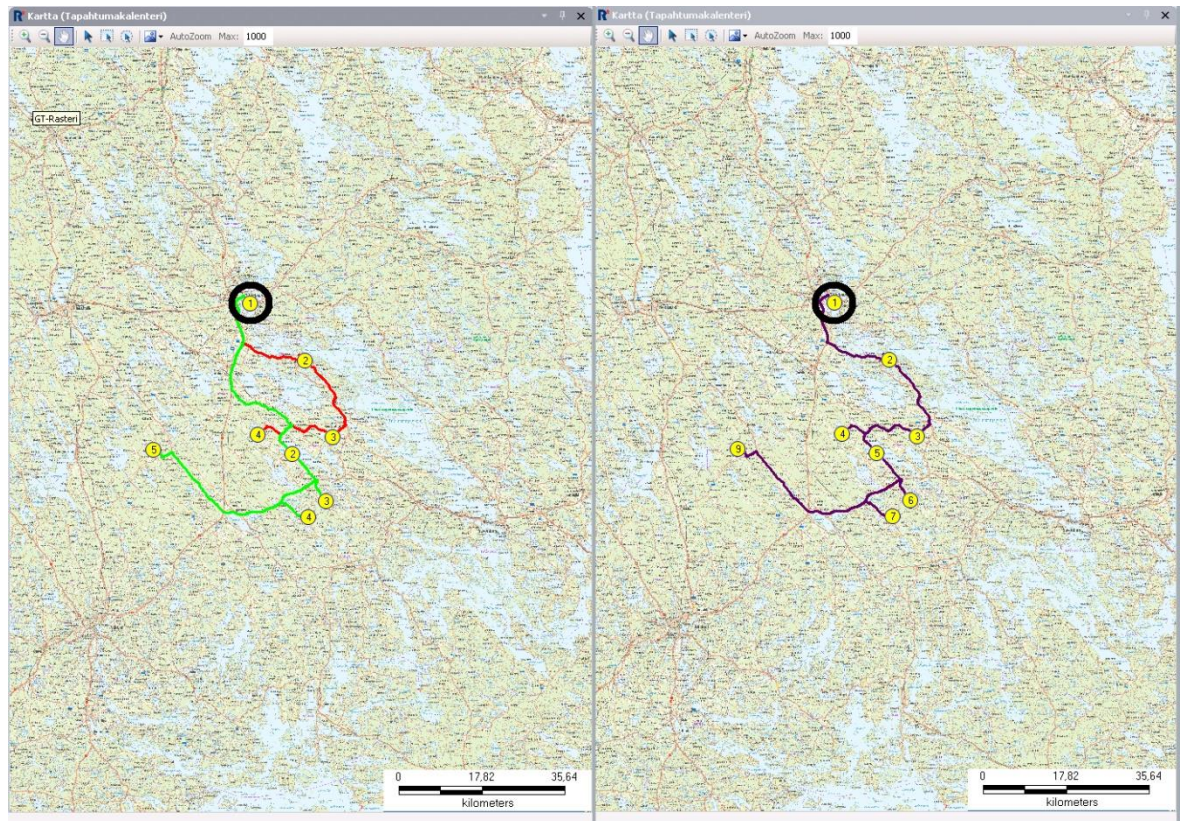
Kuva 8. Optimoitu kuorma, jakelualue 150 km (Procomp Solutions Oy 2020).

Verrattaessa kuljetussuunnittelijan tekemään kuormaan kuvassa 9 nähtiin, että kuorma oli mahdollista suorittaa yhdellä reitillä. Kaikki seitsemän tilausriviä olivat tehty yhdelle kuormalle ja tällä huomattiin, että jokin oli optimoinnissa pielessä.



Kuva 9. Kuljetussuunnittelijan kuorma (Procomp Solutions Oy 2020).

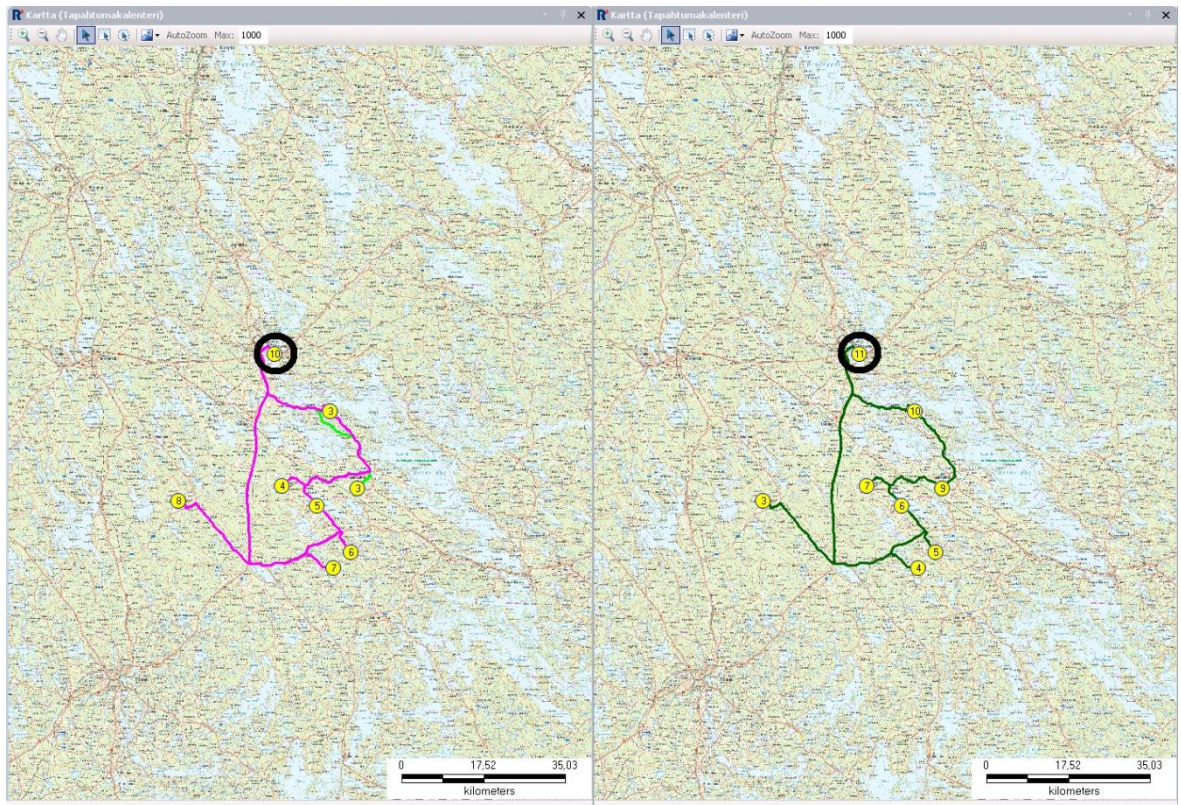
Optimointivalinnassa korjattiin jakelualueen arvoa 200 kilometriin. Optimointi suoritettiin uudestaan samoilla tilauksilla, jolloin kuormasta tuli täysin identtinen kuljetussuunnittelijan kuorman kanssa. Tämä ilmiö aiheutti sen, että optimointia oli syytä kokeilla eri arvoilla optimointivalinnassa. Testauksilla todettiin, että jakelualueen muutoksella oli selvä merkitys lopputulokseen.



Kuva 10. Optimoidut kuormat, vasen jakelualue 150 km, oikea 200 km (Procomp Solutions Oy 2020).

Testauksiin otettiin mukaan myös autojen terminaalitiedot. Reitin alkua- ja loppupäiksi asetettiin testauksissa käytettävää lastauspaikkaa, joka on merkitty kuvissa mustalla ympyrällä. Tällä huomioitiin, että auton pitää palata reitin loppuun ennen kuin uusia kuormia voitaisiin aloittaa. Terminaalirekisteristä tulee olemaan jatkossa paljon hyötyä kuormansuunnittelun optimoinnin tukena varmistamaan oikean ajoaikojen ja etäisyyksien laskennan.

Jakelualueen muutos testattiin uudelleen, kun autojen terminaalitiedot oli huomioitu. Lopputulos oli hieman erilainen verrattuna edellisiin kuormiin. 150 kilometrin jakelualueella optimointi perusti silti kaksi kuormaa, mutta tilausrivit vaihtuivat kuormien kesken, ja 200 kilometrin jakelualueella optimointi piirsi reitin päinvastaiseen suuntaan aikaisempaan verrattuna.

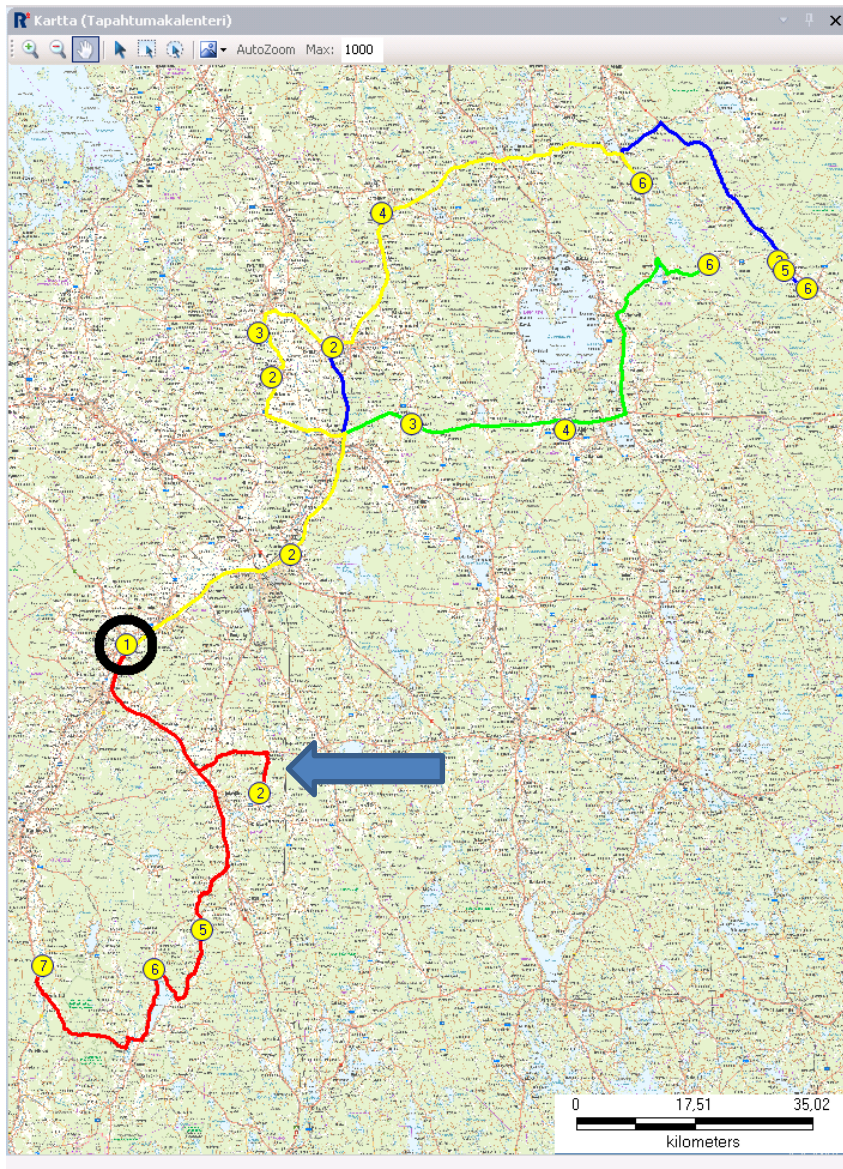


Kuva 11. Optimoidut kuormat, vasen jakelualue 150 km, oikea 200 km, terminaalit huomioitu (Procomp Solutions Oy 2020).

3.3.2 Testausvaihe 2 – kapasiteetit

Testausvaiheen toisessa osassa tilausten määrää nostettiin neljälle autolle. Tässä vaiheessa optimointi laitettiin suorittamaan uutta aluetta, jossa oli 16 tilausriviä. Testauksissa toistettiin optimoinnit jakelualueille 150 ja 200 kilometriä. Optimointivaihtoehtoihin otettiin mukaan työaikasäännöksen 37 tuntia auttamaan variaatioiden syntymistä.

Optimointi suoritui tehtävästään ja sai reititettyä kaikki tilaukset. Kuormia tuli yhteensä neljä kappaletta ja ne näyttivät ajettavilta. Kun kuormia verrattiin, löytyi niistä aika paljon eroavaisuuksia. Yksi näistä oli esimerkiksi auton valinta eri kuormille. Kuvassa 12 nuolella osoitetussa kuormassa oli määrätty pienikapasiteettinen auto, jolloin toisen purkupaikan jälkeen jouduttiin käymään uudelleen lastaamassa. Myös muut reitit erosivat kalustokapasiteetin takia.



Kuva 12. Optimoidut kuormat (Procomp Solutions Oy 2020).

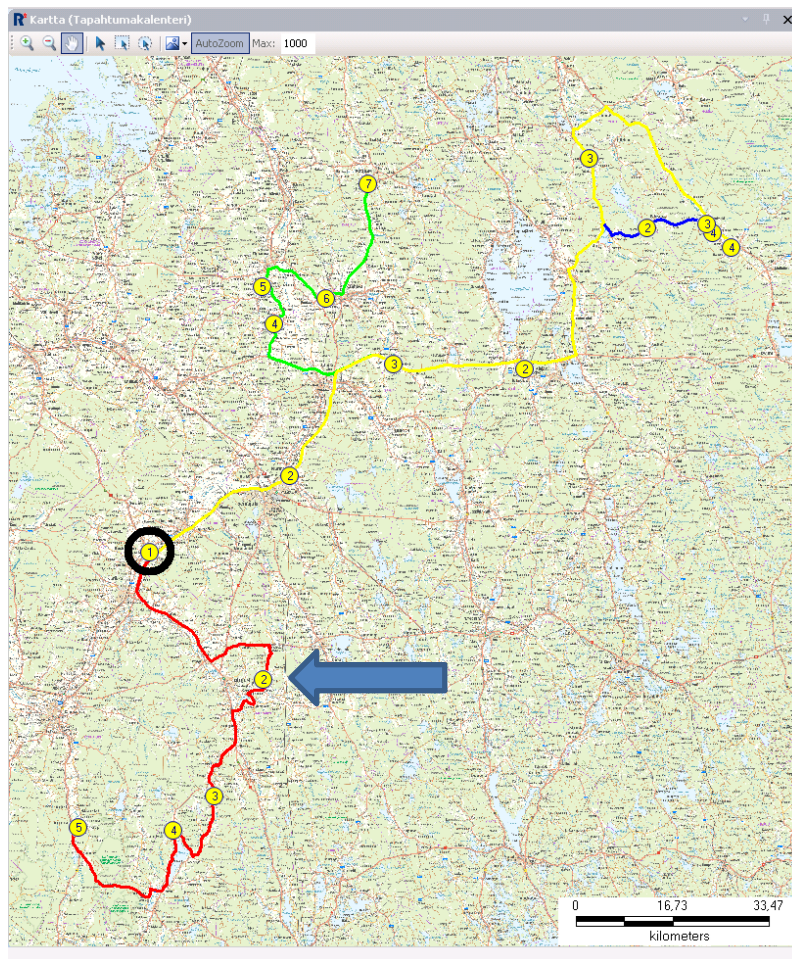
Kuten aikaisemmin mainittiin, optimointia rajoitetaan optimointiasetuksissa myös kaluston kapasiteetilla. SiSussa voidaan perusrekistereissä määrittää jokaiselle kalustolle erikseen se kapasiteetti, jota optimointi käyttää laskentoja tehdessä. Kaluston kapasiteettia näytetään kuormissa täyttöasteina, joista voidaan nopeasti katsoa, montako prosenttia autosta oli varattu (Mattila 30.3.2015).

Kuvassa 13 voitiin huomata kyseisen kuorman lastaus- ja purkutapahtumat. Lisälastaus tehtiin rivillä kolme, heti ensimmäisen purkupaikan jälkeen. Täyttöaste olisi mennyt yli sadan prosentin, jos kaikki tilaukset olisi lastattu kerralla.

— Kuorman käyntipaikat							
		Jnro	Paikka	L/P	Täyttöaste	Saapumisaika	Lähtöaika
1		1		Lastaus	37%		
2		2		Purku	0%		
3		3		Lastaus	70%		
4		4	Tauko	Ei määritelty	70%		
5		5		Purku	26%		
6		6		Purku	7%		
7		7		Purku	0%		

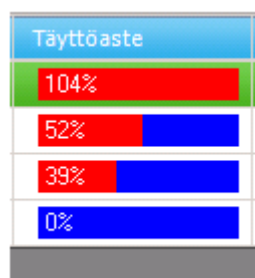
Kuva 13. Kuorman reitin käyntipaikat (Procomp Solutions Oy 2020).

Kuvassa 14 kuljetussuunnittelijan tehdyssä kuormassa huomattiin, kuinka purkupaikan jälkeen jatkettiin heti seuraaville paikoille.



Kuva 14. Suunnittelijan tekemät kuormat (Procomp Solutions Oy 2020).

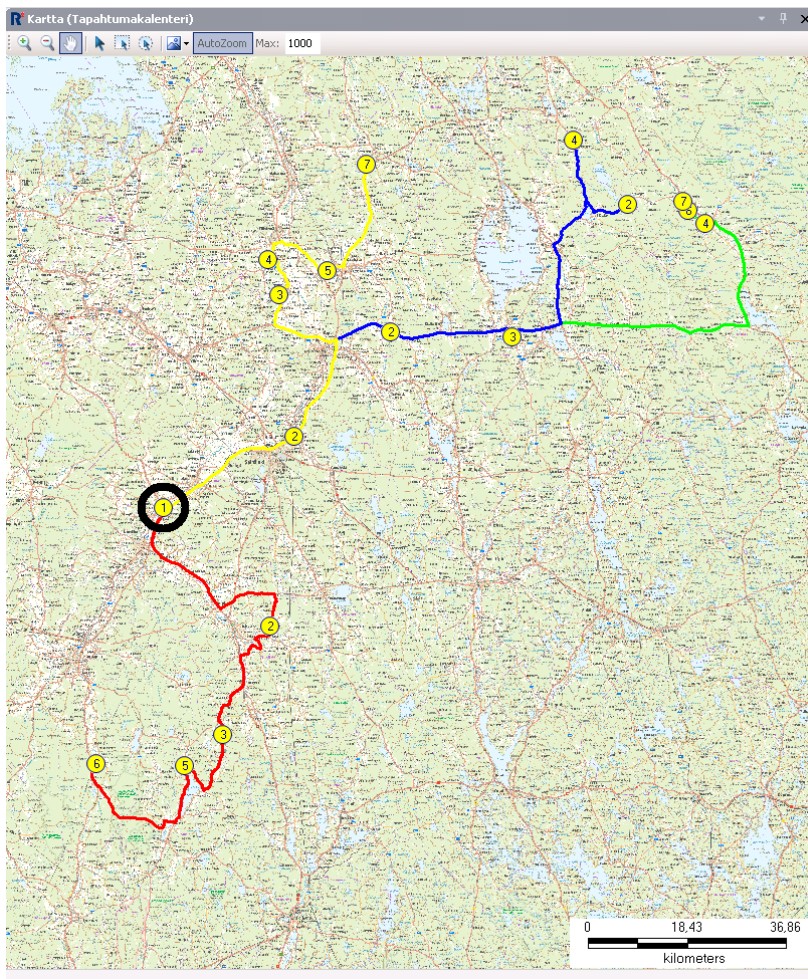
Yksi ongelma löytyi kuljetussuunnittelijan kuormia tarkastellessa. Joidenkin kuormien kapasiteetit ylittivät 100 prosentin. Näissä tapauksissa katsottiin parhaaksi pienentää jonkin kuormassa olevan purkupaikan tilausmäärää, jolloin kuorma saataisiin ajettua (Hietala 6.4.2020).



Kuva 15. Kuorman täyttöaste (Procomp Solutions Oy 2020).

Esimerkiksi, jos auton kantavuus oli 48 000 kg, ja kuorma koostui seuraavista tilauksista: 20 000 kg + 15 000 kg + 15 000 kg = 50 000 kg, vietiinkin 20 000 kg:n tilauksesta vain 18 000 kg. Tällöin kaikki tilaukset saatiin samaan kuormaan, vaikka ajo-suunnittelijalle kuorma näytti ylitäydeltä.

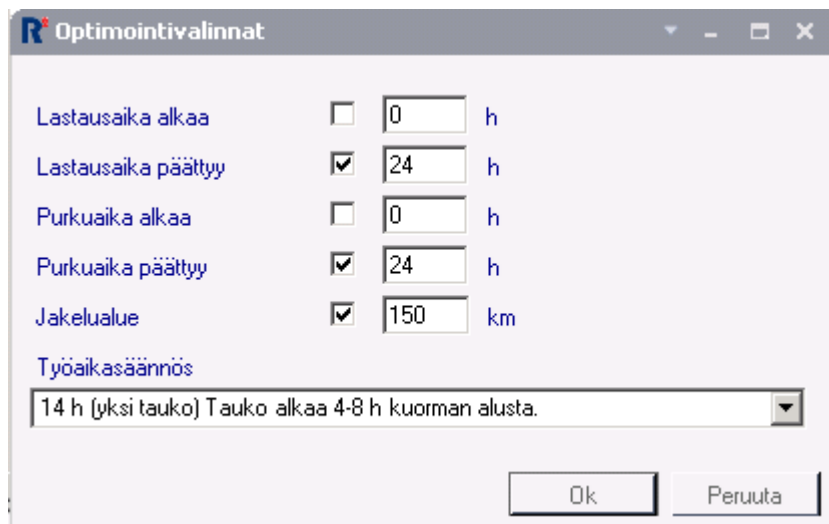
Näiden neljän auton kapasiteettia kokeiltiin nostaa hetkellisesti 10 prosenttia ja optimoinnit uusittiin. Tämän jälkeen kaksi neljästä kuormasta olivat täysin identtisiä ja loput kaksi erosivat hieman.



Kuva 16. Optimoidut kuormat, kapasiteetti 110 % (Procomp Solutions Oy 2020).

3.3.3 Testausvaihe 3 – kaikki alueen tilaukset

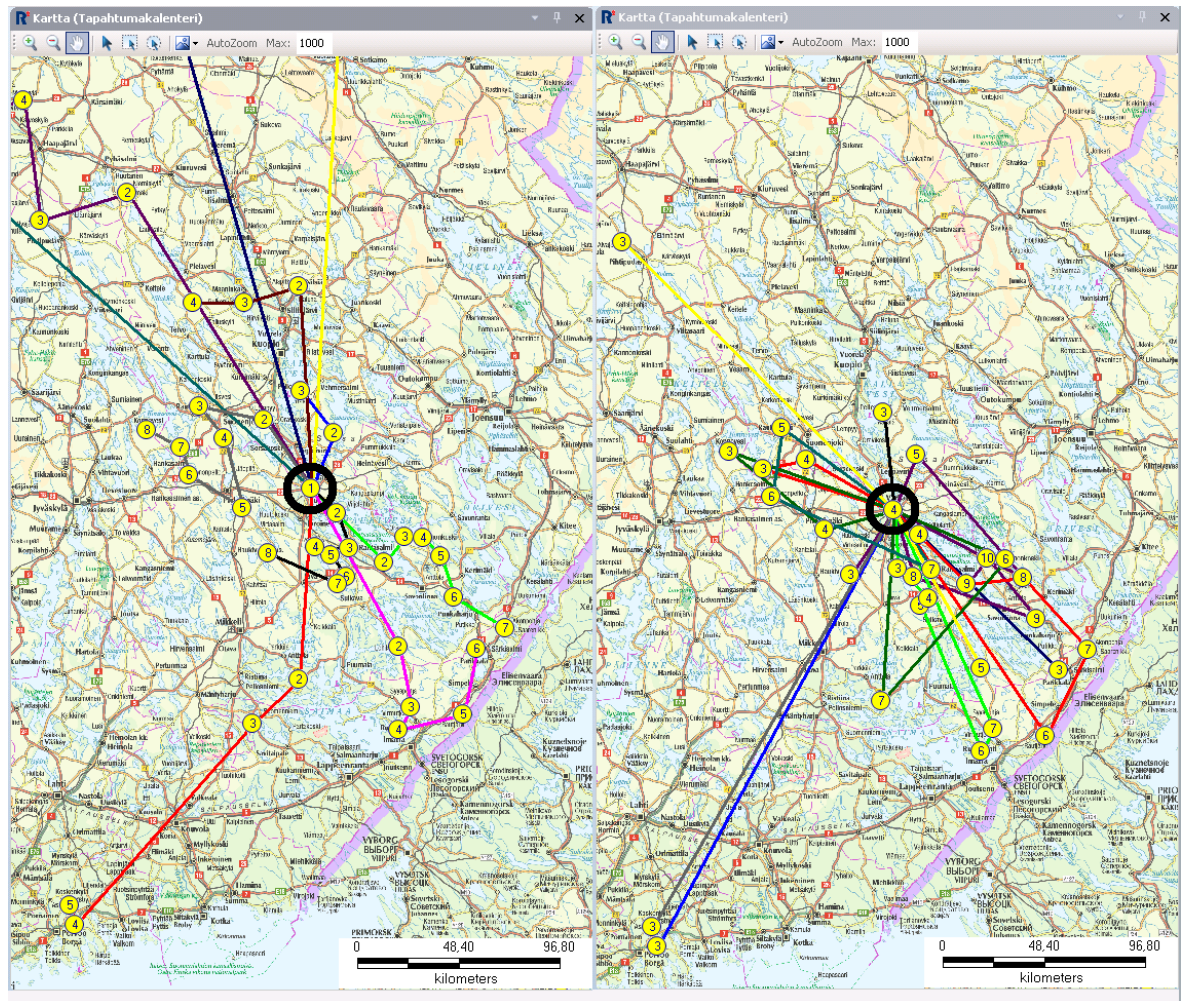
Viimeisessä vaiheessa tultiin testaamaan koko viikon tilausaineiston optimointia kuormille. Tilauksia oli yhteensä noin 110, joita lähtökohtaisesti haluttiin operoida neljällä autoa. Testauksia suoritettiin monta kertaa eri optimointivalintoja hyödyntäen ja lopuksi valittiin niistä sopivin viimeistä testausta varten. Optimointivalintoihin syötettiin tilauksille 24 tunnin jousto viimeiselle lastaus- ja purkuajalle, jolloin annettiin optimointipalvelulle enemmän mahdollisia kuormattavia tilausrivejä. Jakelualueetta pidettiin 150 kilometrissä, näin yritettiin rajata pois mahdollisia epäkäytännöllisiä kuormia, joissa reitit poikkeaisivat paljon suunnaltaan. Työaikasäännökseksi laitettiin 14 tunnin työaika.



Kuva 17. Optimointivalinnat 24 h, 150 km (Procomp Solutions Oy 2020).

Viimeisessä testauksessa ei ollut tarkoitus saada samoja kuormia, joita kuljetussuunnittelija oli tehnyt. Optimointia pidettiin nyt kuormia ehdottavana tekijänä, näin mahdollinen monen tunnin kuormiensaunnittelun päättelytyö helpottuisi.

Kuvassa 18 voitiin huomata, kuinka kuljetussuunnittelijan ja optimoinnin tekemät alkuvuikon kuormat kahdelle päivälle muistuttavat jossakin määrin toisiaan. Optimointi oli selvästi tehnyt enemmän lyhyen kantaman kuormia samalle ajalle pieneltä alueelta ja kuljetussuunnittelija vähemmän kuormia suuremmalta etäisyydeltä. Optimoitujen kuormien reitit viistivät toisiaan useasti, kun taas kuljetussuunnittelijan reitit olivat virtaviivaisempia. Hahmotettavuuden vuoksi kartalla reitit ovat linnuntietä pitkin.



Kuva 18. Kuljetussuunnittelijan kuormat vasen, optimoidut kuormat oikea (Pro-comp Solutions Oy 2020).

4 TULOKSET

Tulokset taulukoitiin jokainen testivaihe kerrallaan. Optimointipalvelun tuottamat kuormat ja verrattavat kuljetussuunnittelijan kuormat jaettiin omiin taulukoihinsa. Jokainen optimointikerta eroteltiin omalle rivilleen testausvaiheiden järjestyksessä. Vertailujen perusteella kustannustehokkaimmat tummennettiin taulukossa.

4.1 Testausvaihe 1

Ensimmäisen testausvaiheen tuloksissa voidaan nähdä, kuinka optimointi ensisijaisesti tarjosi tilaukset kahdelle kuormalle. Kuorman määrät aiheuttivat selvästi lisäkustannuksia, kun autoilija joutuisi palaamaan lähtöpisteeseen tekemään toisen lastauskerran ja aloittamaan uuden kuorman. Toisella optimointikerralla jakelualueutta suurennettiin, jolloin kokonaiskilometrit ja ajat olivat selvästi paremmat. Kahteen viimeiseen tulokseen oli huomioitu myös auton lähtö- ja loppupaikka, jolloin saatiin tarkasti oikeat kilometrit ja ajoajat kuormasta.

Taulukko 1. Testausvaihe 1, optimoinnin tulokset.

Optimoitu				
Optimointiasetukset	Kuormien lkm	Kokonais- kilometrit	Ajoaika	Kokonais- aika
Yksikkö	kpl	km	h:min:s	h:min:s
Työaikasäännös 14 h Jakelualue 150 km	2	205,467	03:03:57	09:47:11
Työaikasäännös 14 h Jakelualue 200 km	1	166,322	02:27:42	09:45:56
Työaikasäännös 14 h Jakelualue 150 km Lähtöterminaali huomioitu	2	339,194	05:02:26	12:30:44
Työaikasäännös 14 h Jakelualue 200 km Lähtöterminaali huomioitu	1	240,082	03:32:13	10:50:29

Taulukko 2 sisältää käsin tehdyn kuorman tulokset. Kuten testauksissa todettiin, kuormat olivat toisen optimointikerran kanssa identtiset, joten ajoajat ja kilometrit täsmäävät edellisen taulukon parhaimman tuloksen kanssa. Minuutin aikaero voi johtua ilmeisesti optimoinnin suorittaman jonkin käyntipaikan palveluajan tiukentamisesta. Kuljetussuunnittelijan kuormassa ei huomioitu 45 minuutin taukoa, jolloin kokonaisaika näyttää vähän pienemmältä kuin optimoidun kuorman.

Taulukko 2. Testausvaihe 1, kuljetussuunnittelijan tulos.

Kuljetussuunnittelija				
	Kuormien lkm	Kokonais- kilometrit	Ajoaika	Kokonais- aika
Yksikkö	kpl	km	h:min:s	h:min:s
Työaikasäännöstä ei huomioitu Jakelualue 135 km	1	166,746	02:28:29	09:03:29

4.2 Testausvaihe 2

Toisen testivaiheen tulokset ovat mielenkiintoiset. Ensimmäinen optimointikerta palautti hyvältä vaikuttavat kuormat, mutta kuljetussuunnittelijan kuormiin ne hävisivät selvästi. Tämä johtui siitä, että autojen kapasiteetit eivät riittäneet viemään kuormia kerralla viimeisiin purkupaikkoihin, vaan jouduttiin tekemään uusia lastauksia kuormien keskellä. Optimointiasetuksiin oli määritelty jokaisen kaluston kapasiteetit rajoittamaan ylitäyttöä.

Jakelualueen muutoksilla ei tässä testauksessa saatu järkeviä huomioon otettavia parannuksia. Kuormia kokeiltiin tehdä myös 37 tunnin työaikasäännöksellä, jolloin optimointi pudotti yhden auton kokonaan käytöstä ja teki kuormat kolmelle autolle. Nämä kuormat eivät olleet millään tavalla kustannustehokkaita, eikä 37 tunnin asetus ollut tässä kuormien optimoimisessa käytännöllinen, kun reitit olivat melko lyhyitä. Asetus sopiikin pitkiä reittejä varten, jossa reittien kestot venyvät yli määrätyn ajoajan, ja kuorma ajettaisiin kahdella henkilöllä.

Kun testauksessa kokeiltiin kapasiteetin nostoa, missä tilaukset mahtuivat kokonaan autoon, oli optimoinnin tulos parempi. Ylitetyn kapasiteetin ajoaika oli puoli-toista tuntia nopeampi verrattuna alkuperäisen kapasiteetin aikaan.

Taulukko 3. Testivaihe 2, optimoinnin tulokset.

Optimoitu				
Optimointiasetukset	Kuormien lkm	Kokonais- kilometrit	Ajoaika	Kokonais- aika
Yksikkö	kpl	km	h:min:s	d:h:min:s
Työaikasäännös 14 h Jakelualue 150 km Kapasiteetti 100%	4	674,623	09:38:08	1:19:27:42
Työaikasäännös 14 h Jakelualue 150 km Kapasiteetti 110%	4	569,704	08:13:04	1:17:52:36
Työaikasäännös 14 h Jakelualue 200 km Kapasiteetti 110%	4	569,704	08:13:04	1:17:52:36
Työaikasäännös 37 h Jakelualue 150 km Kapasiteetti 110%	3	729,034	10:28:30	2:13:34:06
Työaikasäännös 37 h Jakelualue 200 km Kapasiteetti 110%	3	729,034	10:29:30	2:13:42:59

Testauksissa ilmeni, että verrattujen neljän kuorman kaksi reittiä olivat identtiset ja loput kaksi erosivat toisistaan. Optimointi sai lyhennettyä kahden eroavan reitin pituutta ja ajoaikaa vaihtamalla autojen purkupaikkoja keskenään. Tällä säästettiin noin 40 kilometrin matka ja puolen tunnin ajoaika. Kuljetussuunnittelijan tekemien kuormien kokonaisaika oli pienempi, koska niissä ei huomioitu taukoja.

Taulukko 4. Testivaihe 2, kuljetussuunnittelijan tulos.

Kuljetussuunnittelija				
	Kuormien lkm	Kokonais- kilometrit	Ajoaika	Kokonais- aika
Yksikkö	kpl	km	h:min:s	d:h:min:s
Työaikäsäännöstä ei huomioitu Jakelualueet 85–185 km Kapasiteetti 110%	4	606,086	08:42:38	1:15:23:53

4.3 Testausvaihe 3

Viimeisessä testauksessa oli tarpeetonta tehdä aikaa vertaavia taulukoita, koska tilausrivit kuormissa eivät enää täsmänneet ja optimoidut kuormat pitäisi vielä viimeistellä. Tämän takia tuloksissa näytetään vain ensimmäisen kahden päivän suoritukset, jotka optimointi ehdotti. Kuormien viimeistelyssä lisättäisiin tai siirrettäisiin mahdollisia tilauksia toisiin kuormiin kustannustehokkuuden parantamiseksi. Tilaukset, jotka eivät sopisi kuormiin, saataisiin vapautettua loppuviikon optimointeihin. Tilaukset jakautuivat eri tavalla reittien ja täyttöasteiden suhteen. Optimointi teki yhden kuorman enemmän, mutta kuormasi vähemmän tilauksia. Kun reitit leikkasivat paljon toisiaan, kuormille tuli pitkien etäisyyksien välisiä pistoja, jotka nostivat kilometrimäärää. Joidenkin optimoitujen kuormien täyttöasteet jäivät alhaisiksi, mikä laski täyttöasteen keskiarvoa merkittävästi.

Taulukko 5. Testivaihe 3, kuormat.

Optimoitu vs. kuljetussuunnittelijan kuormat				
	Kuormien lkm	Tilausten määrä	Kilometrit	Täyttöas- teen keskiarvo
Yksikkö	kpl	kpl	km	%
Optimoidut kuormat yht.	11	35	5625,859	40,41
Kuljetussuunnittelijan kuormat yht.	10	47	3088,511	93,23

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Optimointia kehitettiin Tuoretie Oy:lle yhteistyössä Procomp Solutions Oy:n kanssa. Optimointitestaukset jaettiin kolmeen eri vaiheeseen ja niistä otettiin ylös mahdollisia toimintatilanteita, jotka voidaan toistaa ja tarkistaa optimointipalvelun lokeista. Tällä nähdään, millä perusteella toiminta on laskettu ja voidaan tehdä johtopäätöksiä ennen kuin toimeenpannaan ohjelmaan liittyviä kehitysmäärityksiä.

Ensimmäisessä vaiheessa testattiin optimoinnin logiikkaa ja perusteita. Testauksissa huomattiin, että optimointi seurasi todella tarkasti sille annettuja optimointiasetuksia. Optimointi ei tee mitään poikkeuksia verrattuna siihen, mitä kuljetussuunnittelija saattaisi kuormiensaunnittelussa tehdä. Kun optimoinnin tulokseen vaikuttavat niin monet muuttujat, voidaan herkästi luulla, että optimointipalvelu ei tee niin hyvää reittiä tiettyyn tilanteeseen nähden. Tiedyt optimointiasetukset saattoivat olla täydelliset hyvän kuorman perustamiseen, mutta seuraavassa tilanteessa samat asetukset eivät enää pätsisi toiseen kuormaan ja siitä tulisi epäkäytännöllinen ajaa.

Toisessa vaiheessa käytiin enemmän optimointiasetuksia läpi ja yritettiin löytää kulmainen keskitie kuorman perustukselle. Tilausaineistoa kasvatettiin, jolloin optimoinnista saatiin enemmän hyötyä. Toisessa testauksessa keskityttiin jakelualueen ja kapasiteetin hallintaan sekä yritettiin löytää sitä kautta mahdollisia variaatioita kuorman muodostukseen. Optimoinnin ja kuljetussuunnittelijan kuormien välille alkoi selvästi muodostua eroavaisuuksia kapasiteettien ja alueiden käytössä. Lähtökohtaisesti mitään autoa ei haluttu ajattaa vajaalla kuormalla. Esimerkiksi, jos kartalla tietyllä pienellä alueella olisi neljä tilausta, joiden kapasiteetti kuormassa ylittäisi pari prosenttia, niin olisi aivan välttämätöntä, että kuorma silti tehtäisiin, koska toisen kaluston lähettäminen samalle reitille viemään vajaata kuormaa olisi erittäin kallista. Näissä tapauksissa optimointi estää ylitäytöt kuormille, joten niihin tulisi automaattisesti välilastauksia tai uuden kaluston lähettämisiä.

Kolmannessa vaiheessa käytiin läpi koko viikon tilausaineiston kuljetussuunnittelu optimointia hyödyntäen. Kun tarkasteluun otettiin kahden ensimmäisen ajopäivän kuormat, olivat tulokset melko radikaalit. Esimerkiksi monta reittiä meni useasti samaan suuntaan, vaikka tilaukset olisi voinut laittaa yhdelle kuormalle. Myös kuormien täyttöasteet erosivat, koska mahdollisesti kuormille ei löytynyt sopivia tilauksia

reitin rajoitusten mukaisesti. Optimoinnin periaatteena kuitenkin oli huolehtia, että toimitukset ovat perillä määräajassa olivatpa ne missä tahansa kuormassa.

Testauksia tehtiin monta kymmentä eri optimointiasetuksilla ja vertailtiin eri lopputuloksia. Optimointiin oli automatisoitu suoraan kuormien perustus juuri niistä autoista, jotka käyttäjä oli valinnut. Tämä oli erittäin positiivinen asia, jolloin vähennettiin toistettujen tyhjien kuormien perustusvaiheita. Tämä jo itsellään tulisi helpottamaan kuljetussuunnittelijan työtä suuria tilausmääriä optimoidessa, mutta välillä kuormien hallinta saattaa mennä todella vaikeaksi. Kun yhtäkkiä reittejä perustuu noin 10–12 kappaletta tyhjistä, voi se joillekin kuljetussuunnittelijoille luoda hämmennystä. Kun näitä kuormia tarkistetaan, optimoinnin tulee toimia täydellisesti tai kuormia pitää muokata todella paljon. Yksi vaihtoehto tähän voisi olla tilauksien rajaus optimointipalvelulle, jolloin kuormia ei mahdollisesti perusteta niin paljon, ja niiden hallinta tuntuisi paremmalta, mutta tällöin optimointi ei pääsisi täysiin oikeuksiinsa.

Kuljetussuunnittelussa tilauskanta elää koko ajan. Kuormat saattavat päivän aikana muuttua parhaimmillaan jopa viisi kertaa ja olisi todella harvinaista, että kuorma olisi kerralla valmis. Tämän takia optimointi voisi jättää kuormia vajaaksi, eikä niitä väkisin täytettäisi epäkäytännöllisillä reiteillä. Kun tilauskanta muuttuisi, voisi optimointia suorittaa joka kerta uudelleen huomioiden uudet tilaukset. (Hietala 6.4.2020.)

Opinnäytetyön alussa oli suuri kysymys, saadaanko R²-Optimoinnista hyötyä Tuoretie Oy:n kuljetussuunnitteluun. Kyllä saadaan ja kun muutamat asiat optimoinnista selvitetään, kuljetussuunnittelun monen tunnin päättelytyö kuormansuunnittelussa helpottuu kymmenen sekunnin optimointiin.

Opinnäytetyö tarjosi hyvän haasteen kokonaisuudessaan. Aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja sen käsittely toi täysin uutta tietoa palveluiden käyttämisestä tekniikoista ja toimenpiteistä. Haasteita työhön lisäsi arkaluonteisen tiedon rajaaminen opinnäytetyöstä ja vähäiset lähteet julkisessa tiedonjakelussa. Yhteistyö Procomp Solutions Oy:n kanssa avusti opinnäytetyön luotettavassa tiedonsaannissa ja ohjelman käytettävyyden hallinnassa. Yhteistyö jatkuu myös opinnäytetyön jälkeen ja jatkokehityksillä optimointipalvelu pyritään saamaan tuotantokäyttöön hyvällä aikataululla.

LÄHTEET

- Ammattinetti. Ei päiväystä. Kuljetussuunnittelija. [Verkkosivu]. Työ- ja elinkeinohallinto. [Viitattu 11.4.2020]. Saatavilla: http://www.ammattinetti.fi/amatit/detail/450_ammatti
- Arola, J. 2020. Tuotepäällikkö. Procomp Solutions Oy. Haastattelu 24.3.2020.
- Bräysy, O & Porkka, P. 2007. Kaluston reittioptimoinnilla tehokkuutta logistiikkaan. Logistiikka (6), 38-39.
- H-Educate. 7.3.2020. How RDP Connection works – simplified. [Kuvakaappaus]. Yhdysvallat: H-Educate. [Viitattu 1.4.2020]. Saatavana: <https://vimeo.com/396146449>
- Hietala, J. 6.4.2020. Kuljetusesimies. Tuoretie Oy. Rehusuunnittelu. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Joonas Litmanen. [Viitattu 10.4.2020].
- Kaleva, O. 1993. Optimointi 1. 3. p. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- Lehtisaari, J. 13.03.2020. Tuoretie Oy esittely. [PPT-tiedosto]. Seinäjoki: Tuoretie Oy. [Viitattu 24.3.2020]. Saatavana: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.
- Mattila, J. 2020. Projektipäällikkö. Procomp Solutions Oy. Haastattelu 24.3.2020.
- Mattila, J. 30.3.2015. Käyttöohje: Rehukuljetusten optimointi. Oulu: Procomp Solutions Oy. Saatavana: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.
- Mattila, J. 6.4.2020. Projektipäällikkö. Procomp Solutions Oy. Optimointi. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Joonas Litmanen. [Viitattu 10.4.2020].
- Microsoft. 15.11.2009. Install Windows Server 2008 and Windows Server 2008 R2. [Verkkosivu]. Washington: Microsoft Corp. [Viitattu 21.4.2020]. Saatavana: <https://docs.microsoft.com/en-us/iis/install/installing-iis-7/install-windows-server-2008-and-windows-server-2008-r2>
- Microsoft. 18.12.2019. What is a dll. [Verkkosivu]. Washington: Microsoft Corp. [Viitattu 3.4.2020]. Saatavana: <https://support.microsoft.com/en-us/help/815065/what-is-a-dll>
- Microsoft. 30.3.2017. What Is Windows Communication Foundation. [Verkkosivu]. Washington: Microsoft Corp. [Viitattu 6.4.2020]. Saatavana: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/wcf/whats-wcf>

- Polya, G. 2014. Ratkaisemisen taito: Kuinka lähestyä matemaattisia ongelmia. 1. p. Helsinki: Art House.
- Procomp Solutions Oy. 2020. R²-SiSu. [Kuvakaappaus]. Oulu: Procomp Solutions Oy. [Viitattu 3.4.2020]. Saatavana: Vaatii käyttöoikeuden.
- Procomp Solutions Oy. Ei päiväystä. Architectural overview. [PDF-tiedosto]. Oulu: Procomp Solutions Oy. [Viitattu 1.4.2020]. Saatavana: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.
- Procomp Solutions Oy. Ei päiväystä. Enemmän vähemmällä. [Verkkosivu]. Oulu: Procomp Solutions Oy. [Viitattu 24.3.2020]. Saatavana: <https://procomp.fi/>
- Procomp Solutions Oy. Ei päiväystä. Logistiikka. [Verkkosivu]. Oulu: Procomp Solutions Oy. [Viitattu 25.3.2020]. Saatavana: <https://procomp.fi/logistiikka/>
- Procomp Solutions Oy. Ei päiväystä. Tuoretie ja Procomp hoitavat pihvit pöytään ja makkarat grilliin. [Verkkosivu]. Oulu: Procomp Solutions Oy. [Viitattu 26.3.2020]. Saatavana: <https://procomp.fi/reference/tuoretie-ja-procomp-hoitavat-pihvit-poytaan-ja-makkarat-grilliin/?source=etusivu>
- Procomp Solutions Oy. Ei päiväystä. Tuotekokonaisuus. [PDF-tiedosto]. Oulu: Procomp Solutions Oy. [Viitattu 13.4.2020]. Saatavana: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.
- Suomen kuljetusopas. Ei päiväystä. Kuljetusten hallintajärjestelmät. [Verkkosivu]. Tampere: Suomen kuljetusopas. [Viitattu 1.4.2020]. Saatavana: <http://www.kuljetusopas.com/it/>
- Tuoretie Oy. Ei päiväystä. Luotettavaa logistiikkaa. [Verkkosivu]. Seinäjoki: Tuoretie Oy. [Viitattu 24.3.2020]. Saatavana: <https://tuoretie.fi/>