



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Kurjerio maršruto analizė ir optimizavimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Paulius Dailidonis

Projekto autorius

Doc. dr. Mantas Landauskas

Vadovas / Vadovė

Doc dr. Akvilė Čibinskiienė

Vadovas / Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Kurjerio maršruto analizė ir optimizavimas

Baigiamasis magistro studijų projektas
Didžiųjų verslo duomenų analitika (6213AX001)

Paulius Dailidonis

Projekto autorius

Doc. dr. Mantas Landauskas

Vadovas

Doc. dr. Akvilė Čibinskienė

Vadovė

Doc. dr. Kęstutis Lukšys

Recenzentas

Doc. dr. Valentas Gružas

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Paulius Dailidonis

Kurjerio maršruto analizė ir optimizavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Paulius Dailidonis

Patvirtinta elektroniniu būdu

Paulius Dailidonis. Kurjerio maršruto analizė ir optimizavimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovai Doc. dr. Mantas Landauskas ir Doc. dr. Akvilė Čibinskienė; Kauno technologijos universitetas, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Taikomoji matematika (Matematikos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: Kurjeris, maršrutas, optimizavimas, siunta.

Kaunas, 2022. 69 p.

Santrauka

Baigiamajame magistro darbe „Kurjerio maršruto analizė ir optimizavimas“ tiriama kurjerio siuntų pristatymo maršruto kokybė, efektyvumas, lyginami skirtumai tarp žmogiško faktoriaus ir matematinio algoritmo optimizuoto maršruto. Lyginami ekonominiai verslo rodikliai tokie kaip kuro išlaidos, transporto priemonių nusidėvėjimas, siuntos pristatymo greitis, kliento pasitenkinimas. Analizė atliekama su Power BI įrankiu, matematiniam modeliavimui pasirinkta R programinė įranga. Tyrimas atliekamas su realiais siuntų pristatymo duomenimis. Bendrojoje darbo dalyje išanalizuoti važiavimo maršrutų planavimo metodai, nustatyti privalumai bei identifikuoti trūkumai. Atlikus modeliavimą lyginami faktiniai siuntų pristatymo maršrutai su optimizuotais maršrutais. Lyginamosios analizės metu nustatytas maršrutų planavimo efektyvumas. Pateiktos su darbu ir tyrimo rezultatais susijusios išvados ir apibendrinimas.

Paulius Dailidonis. Courier route analysis and optimisation. Master's Final Degree Project / supervisors Doc. dr. Mantas Landauskas and Doc. dr. Akvilė Čibinskienė; Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Applied Mathematics (Mathematical sciences).

Keywords: Courier, route, optimisation, parcel.

Kaunas, 2022. 69

Summary

The final master's thesis "Courier route analysis and optimization" investigates the quality and efficiency of the courier delivery route, compares the differences between the human factor and the optimized route of mathematical algorithm. Economic indicators of business are compared, such as reduction of fuel costs, wear and tear of vehicles, speed of shipment delivery and customer satisfaction. The analysis is performed with the Power BI tool, R software selected for mathematical modeling. The study is conducted with real consignment delivery data. In the general part of the work, the methods of driving route planning are analyzed, the advantages are identified and the disadvantages are identified. After modeling, the actual delivery routes are compared with the optimized routes. The efficiency of route planning was determined during the comparative analysis. Conclusions and summary related to the work and research results are presented.

Turinys

Turinys	6
Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas	11
1. Logistikos ir skubių siuntų reikšmė ekonomikoje	13
1.1. Tyrimai apie kurjerių elgseną ir siūlomi maršutų optimizavimo sprendimai.....	14
1.2. Skubių siuntų bendrovių koncepcija ir veikimo principas Lietuvoje.....	15
1.2.1. 2021m. IV ketv. Lietuvos siuntų rinkos apžvalga.....	18
1.3. Skubios siuntos ateityje	20
1.4. Paskutinės mylios pristatymas ir kurjerio eglės maršruto metu.....	23
2. Matematiniai maršrutų optimizavimo algoritmai	25
2.1. VRP – transporto priemonės maršruto nustatymo problema	25
2.2. Matematinė VRP formuluotė	25
2.3. VRP tipai	26
2.4. Matematinis TSP aprašymas	27
2.5. Matematinė TSP formuluotė	27
2.6. Klasikinis TSP problemos sprendimo pavyzdys su R.....	29
2.7. Dijkstros algoritmas.....	31
2.7.1. Dijkstros algoritmo matematinė formuluotė	31
2.7.2. Dijkstros algoritmo iliustracija.....	31
3. Kurjerio maršruto analizė ir optimizavimas	33
3.1. Tiriamojoje dalyje naudojami duomenys	33
3.1.1. Bendro duomenų rinkinio žvalgomoji analizė.....	33
3.1.2. Tyrimui atrinkto duomenų rinkinio žvalgomoji analizė.....	35
3.2. Tyrimas ir rezultatai	36
3.2.1. Tyrimo metodas ir eiga.....	36
Išvados	45
Literatūros sąrašas	47
Informacijos šaltinių sąrašas	52
Priedai	53
1 priedas. Kauno miesto ir maršruto pristatymo taškai	53
2 priedas. Kauno miesto neoptimizuotas maršrutas	53
3 priedas. Kauno miesto optimizuotas maršrutas	54
4 priedas. Kauno rajono maršruto pristatymo taškai	54
5 priedas. Kauno rajono neoptimizuotas maršrutas 1/2.....	55
6 priedas. Kauno rajono neoptimizuotas maršrutas 2/2.....	55
7 priedas. Kauno rajono optimizuotas maršrutas 1/2	56
8 priedas. Kauno rajono optimizuotas maršrutas 2/2	56
9 priedas. Kauno miesto ir rajono maršrutų eiliškumas	57
10 priedas. Klaipėdos miesto maršruto pristatymo taškai	58
11 priedas. Klaipėdos miesto neoptimizuotas maršrutas.....	58

12	priedas. Klaipėdos miesto optimizuotas maršrutas	59
13	priedas. Klaipėdos rajono maršruto pristatymo taškai	59
14	priedas. Klaipėdos rajono neoptimizuotas maršrutas	60
15	priedas. Klaipėdos rajono optimizuotas maršrutas	60
16	priedas. Klaipėdos miesto ir rajono maršrutų eiliškumas.....	61
17	priedas. Panevėžio miesto maršruto pristatymo taškai.....	62
18	priedas. Panevėžio miesto neoptimizuotas maršrutas	62
19	priedas. Panevėžio miesto optimizuotas maršrutas	63
20	priedas. Panevėžio rajono maršruto pristatymo taškai	63
21	priedas. Panevėžio rajono neoptimizuotas maršrutas.....	64
22	priedas. Panevėžio rajono optimizuotas maršrutas.....	64
23	priedas. Panevėžio miesto ir rajono maršrutų eiliškumas	65
24	priedas. Šiaulių miesto maršruto pristatymo taškai.....	66
25	priedas. Šiaulių miesto neoptimizuotas maršrutas.....	66
26	priedas. Šiaulių miesto optimizuotas maršrutas	67
27	priedas. Šiaulių rajono maršruto pristatymo taškai	67
28	priedas. Šiaulių rajono neoptimizuotas maršrutas	68
29	priedas. Šiaulių rajono optimizuotas maršrutas.....	68
30	priedas. Šiaulių miesto ir rajono maršrutų eiliškumas.....	69

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Vilniaus miesto ir rajono maršruto taškų pristatymo eiliškumas	41
--	----

Paveikslų sąrašas

1 pav. Dažniausios siuntų pristatymo lokacijos [8]	17
2 pav. Pašto siuntų skaičius, mln. vnt., 2019 m. IV ketv. – 2021 m. IV ketv.	19
3 pav. Pašto paslaugos teikėjų rinkos dalis pagal siuntų ir korespondencijos skaičių, proc. (1)	19
4 pav. Pašto paslaugos teikėjų rinkos dalis pagal siuntų ir korespondencijos skaičių (2)	19
5 pav. Pašto paslaugos teikėjų rinkos dalis pagal siuntinių skaičių, proc. (1)	20
6 pav. Pašto paslaugos teikėjų rinkos dalis pagal siuntinių skaičių, proc. (2)	20
7 pav. Paskutinės mylios pristatymo schema	24
8 pav. Siuntų pristatymo lokacijos Kauno mieste	30
9 pav. Siuntų pristatymo Kauno mieste optimalus maršrutas. (13,59km)	30
10 pav. Grafas su taškais ir jų svoriais	31
11 pav. Trumpiausio maršruto medis	32
12 pav. Unikalūs kurjeriai pagal depus 2021 m. lapkričio mėn.	33
13 pav. Unikalūs siuntų gavėjai pagal depus 2021 m. lapkričio mėn.	34
14 pav. Pristatyti paketai pagal depus 2021 m. lapkričio mėn.	34
15 pav. Pakuočių ir unikalių gavėjų pasiskirstymas pagal savaitės dienas 2021 m. lapkričio mėn.	35
16 pav. Siuntų pasiskirstymas pagal savaitės dienas 2021 m. lapkričio mėn.	35
17 pav. Tyrime naudojamų duomenų rinkinio santrauka	36
18 pav. Siuntų pristatymo vietos Vilniaus mieste	37
19 pav. Neoptimizuotas maršrutas Vilniaus mieste	37
20 pav. Optimizuotas maršrutas Vilniaus mieste	38
21 pav. Siuntų pristatymo vietos Vilniaus rajone	39
22 pav. Neoptimizuotas maršrutas Vilniaus rajone	39
23 pav. Optimizuotas maršrutas Vilniaus rajone	40
24 pav. Vilniaus miesto ir rajono maršrutų rezultatai	41
25 pav. Išanalizuotų ir optimizuotų maršrutų rezultatai	42
26 pav. Teorinis visų maršrutų rezultatų modeliavimas	43
27 pav. CO ₂ išmetimo apskaičiavimo pagal tirtus duomenis pavyzdys	44

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

PDA – (angl. Personal Digital Assistant) – duomenų kaupiklis

VRP – (angl. Vehicle Routing Problem) – transporto priemonių maršruto parinkimo problema

TSP – (angl. Traveling Salesman Problem) – keliaujančio pirklio problema

UAVs – (angl. Unmanned Aerial Vehicles) – bepilotės oro skraidyklės, dronai

OSM – (angl. Open Street Map) – atviri žemėlapiai

ACO – (angl. Ant Colony Optimisation) – skruzdžių kolonijos optimizacija

PUDO – (angl. Pick Up Drop Off) – pristatymo-paėmimo taškas

PM – (angl. Parcel Machine) – paštomatas

RRT – ryšių reguliavimo tarnyba

Terminai:

Klientas – fizinis arba juridinis asmuo, kuris naudojasi įmonės teikiamomis paslaugomis

Kurjeris – asmuo, dirbantis ar atstovaujantis siuntų tarnybą, surenkantis siuntas iš siuntėjo ir pasirašytinai pateikiantis jas gavėjui

Logistika – efektyvus materialijų, finansinių ir informacinių srautų planavimas, organizavimas

Įvadas

Darbo problema – daug įmonių Lietuvoje teikia skubių siuntų pristatymo paslaugas, didelė dalis jų naudoja transporto sekimo sistemas, tačiau šios sistemos nėra skirtos optimizuoti maršrutus, o tik sekti transporto judėjimą, nuvažiuotus kilometrus, sunaudotą kurą, darbo valandas ir pan.

Darbo aktualumas – pasitelkus didžiuosius duomenis, matematinius algoritmus bei duomenų mokslą, išanalizuoti kurjerio siuntų pristatymo maršrutą ir parodyti, kad bet koks matematinis būdas sudarytas maršrutas bus trumpesnis, greitesnis ir optimalesnis.

Tikslas ir uždaviniai – apžvelgti ir išanalizuoti Lietuvoje veikiančias skubių siuntų bendroves, skubių siuntų pristatymo tendencijas ir ateities perspektyvas. Apžvelgti matematinius algoritmus ir būdus optimizuoti maršrutus. Išanalizuoti kurjerio maršrutus, juos optimizuoti, palyginti rezultatus bei padaryti išvadas

Transporto veikla yra vienas iš svarbiausių daugelio ekonominių veiklų veiksmų, todėl transporto tyrimas yra patrauklus tiek teoriniu, tiek praktiniu požiūriu. Logistikos ir transporto veikla gali sudaryti didžiąją dalį išlaidų. Šiame amžiuje daugybė naujovių ir inovacijų, įmonių siūlančių savo produktus ir paslaugas tokias kaip pristatymas nuo durų iki durų, pristatymas į paštomatus arba siuntos gražinimų platformos, kurios padeda mažinti ir optimizuoti kaštus susijusius su transporto išlaidomis. Pastebima, jog dažnai įmonės, kurių tiesioginis verslas yra logistika, o krovinių surinkimas ir pristatymas yra pagrindinis pajamų šaltinis, supranta, kad reikia optimizuoti daugybę procesų norint pasiekti kuo didesnę pelną, tačiau dažnai tai daroma netinkamais būdais. Pavyzdžiui, bandoma spausti darbuotojus dirbti viršvalandžius neatlygintinai, mažinti atlyginimus, išskaičiuoti už klaidas, apgadinimus ir panašiai. Kalbant apie transporto sektorių Lietuvoje, įmonės, kurių specializacija sunkusis transportas, dauguma jų turi sekimo įrenginius transporto priemonėse. Tačiau Lietuvos atveju, dažniausiai tai reikalinga ne optimizuoti maršrutus, o tiesiog vykdyti darbuotojų kontrolę, darbo laiką, sekti kuro sąnaudas, taip apsisaugant, kad nebūtų vagiamas kuras, arba darbuotojas, žinodamas, kad transporto priemonė turi sekimo įrenginį, dirbs sąžiningai ir atsakingai. Tą patį galima pasakyti ir apie įmones, kurių pagrindines pajamas generuoja smulkusis transportas. Sakykime, galima būtų paminėti Lietuvoje esančias skubių siuntų bendroves. Žinoma tik viena įmonė Lietuvoje, kuri turi įsidiegusi siuntų pristatymo kurjerio maršruto optimizavimo programą, sinchronizuotą su siuntų pristatymo sistema, kuri ne tik taupo įmonės kaštus, padeda greičiau aptarnauti klientus, padeda kurjeriui greičiau susiorientuoti, kokių keliu važiuoti, lengviau integruoti naujus žmones į darbą, bet lygiai taip pat ir pakelti paslaugų teikimo kokybę ir klientų pasitenkinimo lygį. Todėl yra labai keista, kodėl įmonės tokiam amžiuje investuoja į automobilių sekimo sistemas, kuro sekimo sistemas, bet vengia rinktis maršrutų optimizavimo sprendimų. Daugelis įmonių pasikliauja žmonėmis. Priskiriami maršrutai pagal miestus ar regionus Lietuvoje ir viskas paliekama žmogaus sugebėjimams. Kaip kurjeris supras ar nuspręs važiuoti maršrute pagal nusistovėjusias nerašytas taisykles, taip ir važiuos, svarbu, kad visi klientai laiku gautų savo siuntas. Tačiau toks sprendimas nėra geras ir daugelis tą supranta, tačiau sunku pasakyti, kodėl nebando keisti. Todėl magistrinio darbo tikslas yra išanalizuoti, įvertinti ir pateikti skaičiais, koks yra skirtumas tiek teorinis, tiek praktinis, ar piniginis, kai siuntos pristatomos tiesiog pasikliaujant kurjerio kompetencija ir įgūdžiais ir koks skirtumas, kada žmogaus įtaka yra minimali, o siuntų pristatymo maršrutai sudaromas pagal gavėjo pašto kodus ir yra optimizuotas pagal matematinius algoritmus.

Daugybė informacijos, straipsnių ir apžvalgų pateikiama apie logistiką, procesų optimizavimą, kaštų mažinimą. Todėl toliau kitoje dalyje apžvelgsime, kokios yra šiuolaikinių siuntų verslo skubių siuntų pristatymo alternatyvos, bei kaip būtų galima, pasitelkiant didžiuosius duomenis, matematinius algoritmus bei duomenų mokslą, optimizuojant kurjerio siuntų pristatymo maršrutus, mažinant darbo laiką, kuro sąnaudas, nuvažiuotus kilometrus, CO2 emisiją, tuo pačiu metu didinti klientų pasitenkinimo ir jų aptarnavimo lygį.

1. Logistikos ir skubių siuntų reikšmė ekonomikoje

Logistika kaip mokslo sritis yra labai intensyvi, ypač technologijų, tokių kaip telekomunikacijų ir informatikos, kontekste. Tiek logistikoje, tiek informacinėse technologijose paskutiniu metu pasiekiami didelė ir greita pažanga, o šios dvi sritys yra stipriai tarpusavyje susijusios. Transportas ir logistika laikomi vieni iš svarbiausių ekonominių veiksnių, nulemiančių pramonės veiklos plėtrą ir bendrą ekonomikos raidą. Jei logistika veikia efektyviai ir organizuotai, tai padeda ir kitoms ekonomikos sritims.

2013 – 2016 m. pašto sektorius, kuriam pirklauso ir skubios siuntos pasižymėjo dviem pagrindiniais dalykais: laiškų kiekio mažėjimu ir elektroninės prekybos paketų / siuntinių apimtys augimu. Dėl šių skirtingų veiksnių visoms pašto sektoriaus suinteresuotosioms šalims iškilo įvairių iššūkių. Laiškų kiekio mažėjimas išlaiko pašto rinką ir toliau skatina pokyčius, auganti elektroninės prekybos pramonė sukuria naujų galimybių ir poreikių pašto rinkai reaguoti ir sumažinti neigiamą laiškų kiekio mažėjimo poveikį. Didelis laiškų kiekio mažėjimas ir siuntų kiekio augimas turi svarbių operatyvinių ir ekonominių pasekmių pašto tinklams. Kai kuriais atvejais ji taip pat paragino iš esmės pakeisti pašto reglamentavimą [1].

Kurjerių kompanijų veikla yra taip pat gyvybiškai svarbus šiuolaikinės prekybos komponentas. Elektroninės prekybos paslaugos keičia pirkimo būdą. Kartu keičiasi ir kurjerių tarnybos, kurios tampa pažangesnės. Kurjerinių kompanijų klientai geriau supranta kokybę, kurios jie turėtų tikėtis iš paslaugų teikėjo. Beveik visų kurjerių tarnybų atliekamos funkcijos yra labai panašios. Esmė – organizuoti logistikos procesus. Primityvaus proceso schema būtų tokia, kad siunta galėtų būti paimta bet kokioje lokacijoje ir būtų pristatoma į bet kurią vietą. Praktiškai tai reiškia, kad nei siuntėjas, nei gavėjas neatlieka jokių tiesioginių logistinių operacijų ar procesų norėdami parduoti klientui prekę ar atvirkščiai – įsigyti ir gauti prekę iš tiekėjo. Autorius savo publikuotame straipsnyje apžvelgia ir analizuoja daugybę su skubių siuntų verslo šaka susijusių aspektų, problemų, analizuoja tiekimo grandinės silpnąsias vietas ir pateikia sprendimus, kurie gali pagerinti pristatymo procesų kokybę. Straipsnis apima Lenkijos lyderiaujančių skubių siuntų kompanijų darbo principus, požiūrį į klientą, darbuotoją ir visą skubių siuntų, kaip verslo šakos, kultūrą [2].

Kurjeris, pristatinėdamas siuntas, įvairius sprendimus turi priimti labai greitai ir dažnai. Kurjeris nuolat turi reaguoti į tokius faktorius kaip darbo dienos laikas, turimas darbo krūvis, esamos lauko sąlygos, nuolatinis skubėjimas ir informacijos srauto keitimasis. Iš tiesų, kurjerio darbas yra labai įtemptas, atsakingas ir intensyvus. Vienu metu kurjeris atlieka daugybę funkcijų – planuoja maršrutą, vairuoja, stebi eismą ir aplinką, atsako į vadybininkų ir klientų telefoninius skambučius, aptarnauja klientus, tvarko dokumentus ir tuo pačiu metu turi visada būti mandagus ir reprezentuoti įmonę ir išlaikyti aukštą aptarnavimo kokybę. Dažnai visus šiuos procesus atlikti kurjeriui yra didelis iššūkis. Daug ką lemia asmeniniai žmogaus būdo bruožai. Patį kurjerio maršrutą bei greitą jo aptarnavimą dažniausiai lemia prieš tai turėta kurjerio patirtis konkrečioje situacijoje. Tačiau, kaip žinoma, kur vyrauja žmogiškasis faktorius, ten dažniausiai įvyksta klaidos. Todėl labai svarbu, kiek įmanoma mažinti žmogiškosios klaidos faktorių. O norint sumažinti žmogiškosios klaidos faktorių reikėtų kuo mažiau apkrauti darbuotoją įvairiais procesais ir jei tik galima juos optimizuoti pasitelkus išmaniąsias technologijas.

Verslo žinių publikuotame straipsnyje rašoma apie Lietuvoje veikiančią skubių siuntų bendrovę, kuri buvo apdovanota už įgyvendintą maršruto optimizavimo sistemą savo tiesioginėje veikloje. Šiuo metu jie yra vienintelė tokius sprendimus turinti siuntų pristatymo bendrovė Lietuvoje. Jų naudojama programa „*Predict*“ automatiškai sudėlioja optimaliausią pristatymo maršrutą kurjeriui ir SMS žinute ar elektroniniu laišku informuoja kiekvieną gavėją apie numatomą (1 val. intervalu) pristatymo laiką.

Tai technologiškai sudėtingas sprendimas, kuris kiekvieną dieną paskirsto apie 30 tūkst. pakuočių 350 kurjerių visoje šalyje. Įvertinusi kasdien besikeičiančias darbo sąlygas (siuntų kiekis, jų svoris, gavėjų adresų išsidėstymas, kelių ir oro sąlygos), programa kiekvienam iš kurjerių sudaro optimaliausią visos dienos pristatymų maršrutą. Klientai realiu laiku žemėlapyje mato siuntos pristatymo kelią bei tai, kiek sustojimų (siuntų pristatymų) dar liko kurjeriui iki bus pristatyta būtent jiems adresuota pakuotė. Šie duomenys leidžia tinkamai planuoti savo laiką. Kartu šis įrankis padeda optimizuoti procesus įmonės viduje, pagerina darbų organizaciją. Daugiau siuntų pristatoma iš pirmo karto. Tokiu būdu ne tik didinama klientų aptarnavimo kokybė, bet ir mažinama CO2 emisija.¹

1.1. Tyrimai apie kurjerių elgseną ir siūlomi maršrutų optimizavimo sprendimai

Amerikoje, Indianapolyje buvo atliktas tyrimas apie vairuotojų elgseną, reakcijas bei sprendimo priėmimus esant įvairioms modeliuojamoms situacijoms siuntų pristatymo metu. Duomenys buvo surinkti iš 95 vairavimo simulatoriaus eksperimentų dalyvių, skirtų tikroviškam maršrutui modeliuoti. Buvo naudoti skirtingų charakteristikų maršrutai (kelionės trukmė, vairavimo aplinkos sudėtingumas). Pasitelkus išmaniąsias technologijas buvo atlikta daugiau nei 290 eksperimentų. Fiksuota dalyvio sprendimų priėmimai, po to, kai dalyvis susipažindavo su simuliacijos metu pateikiama esama situacija. Tyrimo rezultatai atskleidė reikšmingą vairuotojo savybių ir informacijos įsisavinimo poveikį. Nustatyta, kad dalyviai, kurie yra dėmesingesni ir labiau susikoncentravę, labiau linkę keisti maršrutą žinodami, kad vienur ar kitur susidarę transporto spūstys, autoįvykis ar vyksta kelio remontas [3].

Viena iš Amerikoje esančių įmonių *OptimaRoute*, siuntų bendrovėms teikia maršrutų optimizavimo sprendimus ir savo internetiniame puslapyje aprašo, kas yra „Traveling salesman problem“. Jie teigia, kad keliaujančio pardavėjo problema yra nepaprastai brangus dalykas bet kuriam siuntų pristatymo, aptarnavimo verslui. Norint išspręsti keliaujančio pardavėjo problemą, reikia patikimų algoritmų ir matematinių skaičiavimų. Įmonės darbuotojų parengtame straipsnyje aprašoma, kaip galima ištirti keliaujančio pardavėjo problemos (TSP – angl. Traveling Salesman Problem) atsiradimo priežastis ir kaip verslas gali panaudoti išmaniuosius programinės įrangos sprendimus jai išspręsti, sumažinant nuvažiuojamus kilometrus ir pagerinant transporto parko efektyvumą.²

Dar viena Amerikos įmonė *AltexSoft*, siūlanti maršruto optizavimo sprendimus bei produktus savo interneto svetainėje, paskelbė straipsnį apie transporto priemonių maršruto problemas bei jų sprendimo būdus. Jie teigia, kad maršruto optimizavimas yra ekonomiškiausio maršruto nustatymo procesas. Tai reiškia rasti trumpiausią kelią tarp dviejų taškų, tačiau tai dažniausiai nelengva padaryti, nes reikia atsižvelgti į visus susijusius veiksnius, tokius kaip visų maršruto sustojimų skaičius ir vieta, atvykimo-išvykimo laiko tarpas, efektyvus pakrovimas. Maršruto optimizavimas yra vadinamųjų transporto priemonių maršruto problemų (VRP) sprendimas. Pirmoji klasikinė VRP yra žinoma kaip keliaujančio pirklio problema (TSP), suformuluota 1800 m. pradžioje ir išplitusi tais laikais, kai pardavėjai nuo durų iki durų pardavinėjo dulkių siurblius ir enciklopedijas.³

¹ <https://www.vz.lt/prekyba/2017/06/15/dpd-lietuva-ismanieji-sprendimai-ivertintimetu-paslauga-apdovanojimu>

² <https://optimoroute.com/travelling-salesman-problem/>

³ <https://www.altexsoft.com/blog/business/how-to-solve-vehicle-routing-problems-route-optimization-software-and-their-apis/>

1.2. Skubių siuntų bendrovių koncepcija ir veikimo principas Lietuvoje

Kalbant apie Lietuvą ir čia veikiančios skubių siuntų bendroves, galima teigti, kad visas jas sieja panašūs dalykai, būdingi šiuolaikinėms skubių siuntų bendrovėms. Nekalbama apie smulkias vietinės reikšmės įmones ar fizinius asmenis teikiančius siuntų pristatymo paslaugas. Turimos galvoje lyderiaujančios įmonės, kurios klientams siūlo aukščiausią kokybę ir plačiausią paslaugų spektrą bei pačius naujausius sprendimus pasitelkus išmaniąsias technologijas. Tarp įmonių skiriasi tik tai, kokio lygio ir kvalifikacijos darbuotojai dirba, koks įmonės požiūris, filosofija. Svarbu, žinoma, ir tai, kokios šalies kapitalo siuntų bendrovė yra. Aiškiai skiriasi darbuotojų požiūris ir filosofija, kai skubių siuntų įmonė yra Estijos kapitalo, Lietuvos kapitalo, Suomijos ar kurios kitos šalies. Tas aiškiai matyti kiekvieno administracijos darbuotojo, vadovo ar kurjerio kasdieniame darbe, bendravime.

Jokia šiuolaikinė skubių siuntų bendrovė Lietuvoje neįsivaizduojama be rūšiavimo centrų didžiuosiuose Lietuvos miestuose: Vilniuje, Kaune, Klaipėdoje, Šiauliuose ir Panevėžyje. Didesnės ir labiau išsivysčiusios siuntų bendrovės dažnai turi papildomus terminalus Tauragėje, Marijampolėje, Utenoje, Alytuje. Visi šie miestai patogiai išsidėstę strategiškai ir puikiai padeda išspręsti siuntų pristatymo iššūkius net ir tolimiausiuose Lietuvos miesteliuose ir kaimuose.

Kitas svarbus faktorius yra transporto parkas. Lietuvoje dažniausiai jį sudaro sunkusis ir lengvasis transportas. Šiuos du segmentus būtų galima dar išskaidyti į kitas dedamąsias, tačiau apsiribokime ties tuo, kad sunkusis transportas skirtas pervežti išrūšiuotoms siuntoms tarp terminalų, o smulkusis transportas – mikroautobusai, skirti atlikti paskutinės mylios pristatymus galutiniams siuntų gavėjams pagal terminalus. Žinoma, kiekvienas terminalas pagal darbo krūvi privalo turėti tiek darbuotojų bei transporto priemonių, kad užtikrintų, jog visi to miesto, rajono ar regiono klientai būtų laiku aptarnaujami. Tęsiant transporto parko temą svarbu paminėti, kad yra ne vienas būdas įmonės administracijai savo transporto parką atnaujinti, prižiūrėti ir t. t. Kai tik Lietuvoje pradėjo veikti pirmosios siuntų bendrovės dažniausiai įmonės lizingo būdu pirkdavo apy naujas transporto priemones. Vėliau – taip pat lizingo būdu, tačiau tiesiai iš tiekėjo, salono. Po kurio laiko atsirado įvairių praktikų, kai įmonės samdydavo kurjerius iš karto su darbuotojo asmenine transporto priemone, žinoma, jeigu tokią žmogus turėdavo ir sutikdavo, kad už didesnę atlyginimą darbuotojas pristato siuntas su savo mikroautobusu. Tokiu atveju įmonei labai sunku užtikrinti, kad transporto priemonė būtų techniškai tvarkinga, atitiktų visus įmonės keliamus standartus ir reikalavimus. Taigi metams bėgant, siuntų verslas nuolat augo, daugėjo klientų, didėjo siuntų apimtys. Automobilių parkas – ne išimtis. Todėl padidėjus automobilių parkui, įmonėms dažnai iškildavo iššūkis suvaldyti daugiau kaip 50 transporto priemonių. Draudimai ir draudiminiai autoįvykiai, laiku atliekamas techninis aptarnavimas, kasmetinė techninė apžiūra, kelių mokestis, sezoninis padangų keitimas ir daug kitų kasdienių iššūkių. Visus šiuos darbus atlikti būdavo sunku, atsirasadavo daug klaidų, didėjo išlaidos. Reikėjo skubaus sprendimo. Prieš keletą metų atsirado įmonių, kurios pasiūlė transporto parko paslaugas ir sprendimus iš vienu rankų už mėnesinį mokestį. Vienos pirmųjų Lietuvoje tokias paslaugas pradėjo teikti *AVIS*⁴ ir *Hertz*⁵. Sudarę sutartis su partneriais, jie teikia naujus automobilius su visu draudimo paketu, bei technine priežiūra ir techniniu aptarnavimu, padangų aprūpinimu ir kita. Siuntų bendrovėms belieka tik pilti kurą ir pristatyti siuntas. Ši paslauga labai išpopuliarėjo ir dauguma Lietuvoje veikiančių įmonių naudoja bei sutapo ir užtikrina aukštą automobilių parko lygį bei, žinoma, klientų aptarnavimo kokybę.

⁴ <https://www.avis.lt/>

⁵ <https://www.hertzlease.lt/lt>

Dar viena svarbi alternatyva, kurią būtina paminėti, jog dažnai siuntų bendrovės Lietuvoje renkasi subkontraktorius. Subkontraktoriai – tai įmonės, kurios turi savo transporto parką ir siūlo ne tik transporto priemones ir jų techninį aptarnavimą, tačiau kartu ir savo darbuotojus. Žinoma, tokiu atveju atsiranda kitų iššūkių kasdieniniuose darbuose, nes žmogus atstovauja skubių siuntų įmonės ženklą, tačiau dirba kitoje įmonėje, todėl dažnai atsiranda nesusikalbėjimas ir daugybė iššūkių ir nesutarimų tarp vadybininkų, kurjerių bei klientų ir galiausiai nukenčia siuntų bendrovė ir prekinis ženklas. Tačiau, kaip nurodo autorius savo straipsnyje, [4] 80 % mieste skirtų pristatymų įmonės atlieka savo transportu.

Visos šios transporto parko alternatyvos yra realizuojamos Lietuvoje ir puikiai atradusios savo vietą bei puikiai gelbsti esant intensyviems laikotarpiams, tokiems kaip prieškalėdinis siuntinių laikotarpis ar kitos didelės akcijos, kai pardavimai išauga kelis kartus, o kartu išauga ir siuntų skaičius.

Paštomatai – per paskutinius 5 metus itin išpopuliarėjusi paslauga, be kurios kiekvienas siuntos siuntėjas ar gavėjas Lietuvoje neįsivaizduoja siuntų tarnybos ar skubių siuntų kaip verslo šakos. Paštomatų atsiradimas kaip alternatyva pristatymui į namus turi du pagrindinius pranašumus: sumažinamos kelionės išlaidos ir toje pačioje vietoje pristatoma daugiau siuntų, todėl kurjeriai gali važiuoti trumpesnius maršrutus. Paštomatų paslauga sprendžia ir kurjerių poreikio trūkumą ir taip pat suteikia klientams daugiau lankstumo pristatymo prasme, kai įdėjus siuntą į paštomatą klientas atsiima jam patogiu metu, todėl sumažėja nesėkmingų siuntos pristatymo atvejų skaičius [5].

Lietuvoje yra 5 lyderiaujančios įmonės, kurios labiausiai konkuruoja tarpusavyje paštomatinių siuntų rinkoje. Paštomatai – tai alternatyva, kuri išsprendžia tiek kurjerio, tiek siuntos gavėjo iššūkius esant situacijai, kada kurjeris fiziškai negali sukontaktuoti ir perduoti siuntos, ir bendru sutarimu patalpina krovinį į paštomatą. Žinoma, yra daug klientų, kurie prekes užsisako į paštomatą. Atsiranda ir nesusipratimų, kada kurjeriai net ir nesutarę su klientu patalpina siuntą į paštomatą, nors klientas buvo užsisakęs pristatymą į namus.

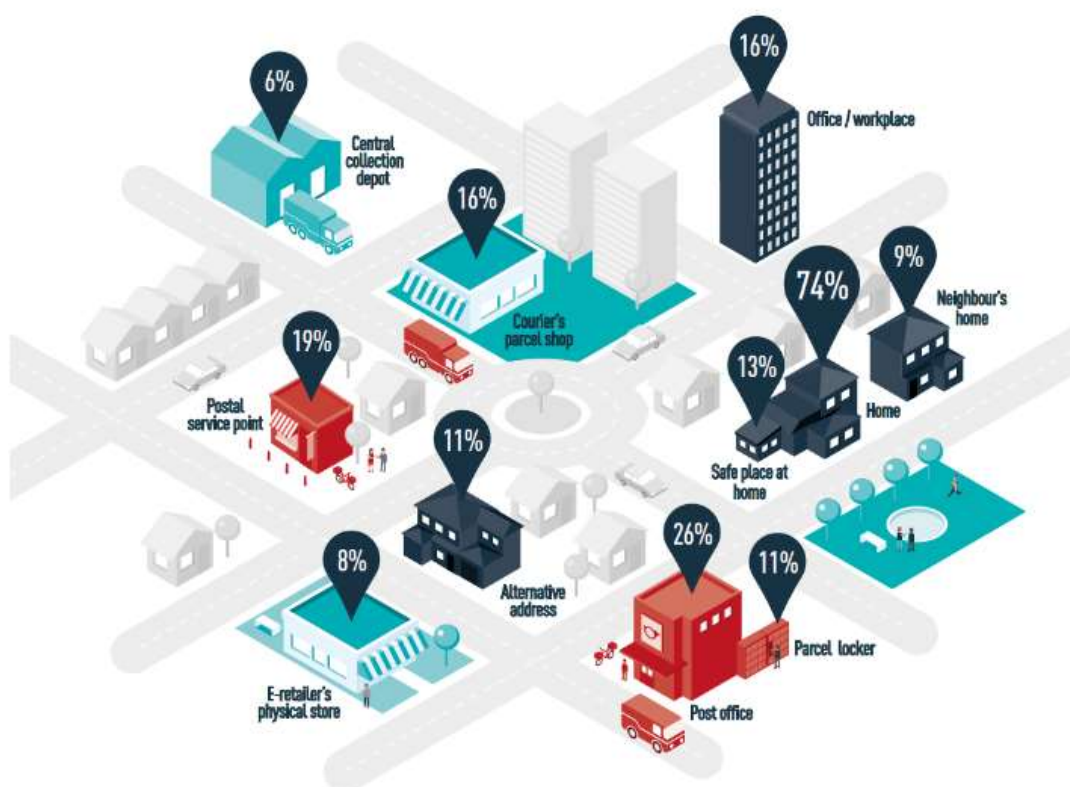
E-komercijos siuntų pristatymas klientui sektoriuje B2C – (angl. Business To Customer) pagrįstas pristatymu gavėjo namų adresu. Didėjanti tokių siuntų pristatymo paklausa turi tiesioginės įtakos eismo ir spūsčių problemoms centrinėse miesto zonose, todėl inovatyvus paštomatų sprendimas labai padeda. Ši naujovė ekologiškai priimtinesnė, nes, viena vertus, sumažina transporto priemonių judėjimą centrinėse miesto zonose, o iš kitos pusės – suteikia lankstumo paslaugų vartotojams. Straipsnyje [6] analizuojama pristatymo įtaka, lyginant klasikinę siuntų pristatymo sistemą (60 siuntų per dieną ir 150 km įveiktas atstumas) ir pristatymo paslauga su inovatyviais paštomatais (600 siuntų per dieną ir 70 km įveikiamas atstumas).

Paštomatų paslauga ypač išpopuliarėjo ir išaugo per paskutinius 2 metus, kai pasaulyje, taip pat ir Lietuvoje, prasidėjo *COVID-19* pandemija ir reikėjo sprendimų, kurie padėtų pristatyti siuntas esant minimaliam kontaktui su žmogumi arba jo nebūtų. O pati naujausia technologija, kuri atsidaro mažiau nei prieš metus, tai įmonė sukūrusi sprendimą, kai į paštomatą (kuris nepriklauso jokiai siuntų bendrovei), betkuri siuntų bendrovė gali įdėti siuntinį į skyrelį, jeigu atsitinka taip, kad pritrūksta vietos įmonės valdomuose paštomatuose.⁶ Taigi, siuntų verslas yra labai dinamiškas ir įdomus ir kiekvienas metais atsiranda vis naujų sprendimų, technologijų, paslaugų ir naujovių. Siuntų verslas Lietuvoje net skatina startuolius pradėti įvairius smulkius verslus. Įkūrus el. parduotuvę ir skubių siuntų bendrovės suteikia jiems nemokamą siuntų pristatymą į paštomatus sutartą laikotarpį, taip plečiant ir reklamuojant savo paštomatų tinklą, bei padedant jauniems verslams išibėgėti ir įsitvirtinti rinkoje.

⁶ <https://ve.lt/verslas/lietuvoje-naujas-pastomatu-tinklas-lockers>

Dauguma atliekamų tyrimų, kuriuos dažniausiai užsako organizacijos dirbančios skubių siuntų rinkoje, dažniausiai susiję su siuntų pristatymo klausimais. Siekiama rasti efektyvių ir nebrangių būdų kaip sumažinti išlaidas. Ieškoma priemonių maršrutų optimizavimui arba diegiamos šiuolaikinės technologijos ir naujovės. Šis teiginys buvo patvirtintas tyrimus atlikusių autorių [7]. Šiame darbe taip pat pristatomas atliktas tyrimas ir pateikti rezultatai apie optimizavimo algoritmo efektyvumą mažinant sąnaudas, didinat darbo našumą ir kokybę siuntų pristatyme, kurie tiesiogiai siejasi su įmonių pelnu.

Žemiau 1 pav. pateikiama 2017 m. atlikto tyrimo „*CROSS-BORDER E-COMMERCE SHOPPER SURVEY 2017*“ apie klientų įpročius perkančius prekes internetu iš užsienio ir jų pristatymų lokacijų pasiskirstymas.



1 pav. Dažniausios siuntų pristatymo lokacijos [8]

Trys ketvirtadaliai (74%) apklaustųjų per pastaruosius metus buvo užsisakę siuntinį į namus. Ketvirtadalis (26%) pasirinko atsiimti siuntinius iš pašto, 19% iš pašto paslaugų punkto, 16% iš kurjerio siuntų parduotuvės ir 16% turėjo siuntinį pristatyti į jų biurą ar darbo vietą.

Kalbant apie skirtumus pagal šalį didžiausias pristatymas į pašto skyrius buvo Rusijoje (76%), Islandijoje (67%), Kipre (65%), Suomijoje (50%) ir Graikijoje (44%). Pašto paslaugų lokacija dažniausiai naudotasi Norvegijoje (71%), Švedijoje (70%), Suomijoje (65%) ir Danijoje (50%). Biuras ar darbo vieta dažniausiai buvo naudojama kaip pristatymo vieta Kinijoje (44%) ir Indijoje (41%). Kurjerio siuntų parduotuvė (PUDO – angl. Pick Up Drop Off) dažniausiai naudota Prancūzijoje (54%). Paštomatai populiariausi buvo Suomijoje (43%), Danijoje (41%) ir Kinijoje (33%) [8].

Dažniausios siuntų pristatymo lokacijos Lietuvoje yra pristatymai į paštomatus, darbovietes-ofisą ir į namus. Rečiau klientai atvyksta atsiimti iš sandėlio-terminalo ar paprašo palikti pas kaimyną. Dar kai kurios įmonės siūlo galimybę tiek išsiųsti, tiek atsiimti siuntas iš PUDO vietų. PUDO vietos, tai įmonės partneriai, kurie užtikrina siuntų surinkimą ir perdavimą klientams. Tai gali būti degalinės ar įvairios kitos smulkios parduotuvės prekybos centruose. Klientai dažnai keičia pristatymo adresą arba prašo palikti saugioje vietoje prie namų, tačiau pastarasis pristatymo būdas nepriimtinas, nes pristatymo momentas turi būti patvirtintas gavėjo parašu, nebent siunta užsakyta į paštomatą.

1.2.1. 2021m. IV ketv. Lietuvos siuntų rinkos apžvalga

Kadangi duomenys, su kuriais darbe atliekamas tyrimas yra 2021m. lapkričio mėn., todėl remiantas RRT – ryšių reguliavimo tarnybos pateikta ataskaita pateikiama to laikotarpio Lietuvos siuntų rinkos apžvalga ir tendencijos.

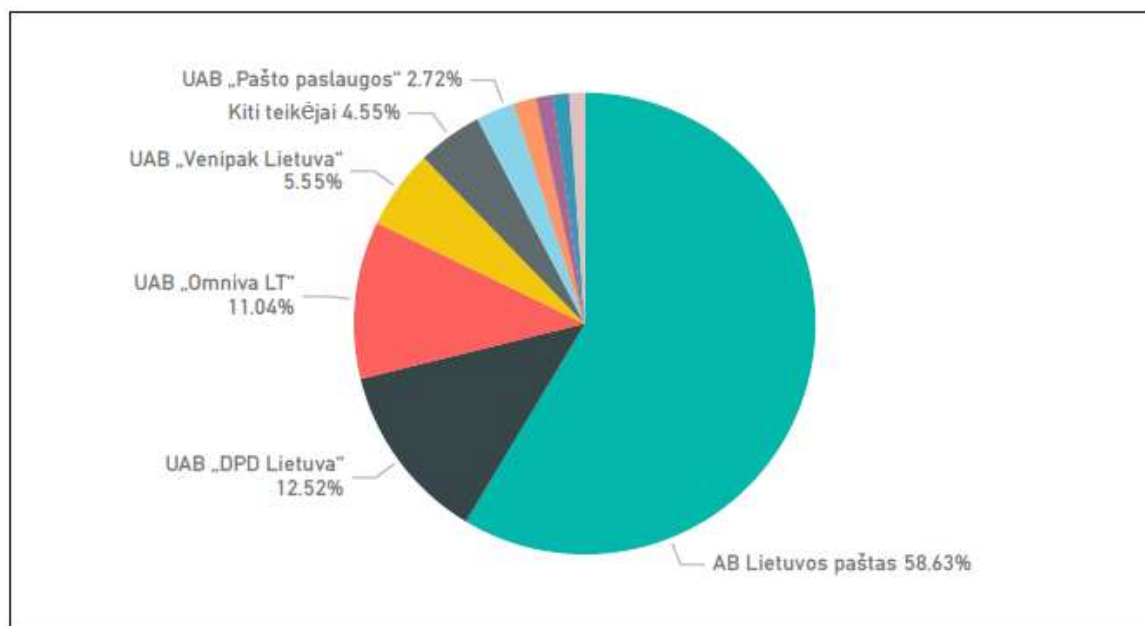
2021 m. gruodžio 31 d. pašto paslaugos rinkoje iš viso veikė 49 ūkio subjektai. Bendra pašto paslaugos rinka, vertinant pagal pajamas, 2021 m. IV ketvirtį, palyginti su 2020 m. IV ketvirčiu, padidėjo 2,4 proc. nuo 62,09 mln. Eur iki 63,60 mln. Eur. 2021 m. IV ketvirtį pajamos, gautos už korespondencijos siuntų pristatymą, palyginti su 2020 m. IV ketvirčiu, sumažėjo 28,7 proc. – iki 12,84 mln. Eur, o pajamos, gautos už pašto siuntinių pristatymą, per metus išaugo 17,5 proc. – iki 49,53 mln. Eur ir sudarė 77,9 proc. visų pašto paslaugos teikėjų pajamų. Bendroje pašto paslaugos rinkoje pagal 2021 m. IV ketv. gautas pajamas didžiausią rinkos dalį užėmė AB Lietuvos paštas – 27,3 proc., UAB „DPD Lietuva“ – 20,3 proc., UAB „Venipak Lietuva“ – 10,7 proc. ir UAB „Omniva LT“ – 10,6 proc. Pagal pajamas, gautas už pašto siuntas, siunčiamas naudojant neuniversalią pašto paslaugą, 2021 m. IV ketv. UAB „DPD Lietuva“ užėmė 22,2 proc. rinkos, AB Lietuvos paštas – 20,6 proc. rinkos, UAB „Venipak Lietuva“ – 11,6 proc. 2021 m. IV ketv. iš viso pristatyta 23,52 mln. vnt. pašto siuntų, t. y. 6,8 proc. mažiau nei 2020 m. IV ketv.; korespondencijos siuntų kiekis sumažėjo 23,2 proc. nuo 14,45 mln. vnt. iki 11,10 mln. vnt.; pašto siuntinių kiekis išaugo 15,3 proc. nuo 10,77 mln. vnt. iki 12,42 mln. vnt. Lietuvos teritorijoje siųstų korespondencijos siuntų kiekis 2021 m. IV ketv., palyginti su 2020 m. IV ketv., sumažėjo 2,6 proc., pašto siuntinių kiekis išaugo 15,4 proc. Tarptautinių siunčiamųjų korespondencijos siuntų skaičius 2021 m. IV ketv., palyginti su 2020 m. IV ketv., sumažėjo 10,4 proc., tarptautinių gaunamųjų – mažėjo 66,4 proc., o tarptautinių siunčiamųjų pašto siuntinių skaičius augo 19,1 proc., tarptautinių gaunamųjų išaugo 12,8 proc. Universaliosios pašto paslaugos kiekis 2021 m. IV ketv., palyginti su 2020 m. IV ketv., sumažėjo 59,4 proc. – nuo 5,39 mln. vnt. iki 2,19 mln. vnt. Pajamos, gautos už universaliosios pašto paslaugos teikimą, 2021 m. IV ketv., palyginti su 2020 m. IV ketv., mažėjo 56,1 proc. – nuo 11,19 mln. Eur iki 4,92 mln. Eur. Daugiausia (48,6 proc.) korespondencijos siuntų 2021 m. IV ketvirtį buvo įdėtos į gaunamųjų laišku dėžutes, 26,2 proc. – atsiimtose pašto skyriuose; daugiausia (53,4 proc.) pašto siuntinių buvo atsiimti pašto siuntų savitarnos terminaluose, 45,5 proc. įteikti gavėjui jo gyvenamojoje ar buveinės vietoje [9].

Pašto paslauga	2019 IV	2020 I	2020 II	2020 III	2020 IV	2021 I	2021 II	2021 III	2021 IV
Korespondencijos siuntos	18.6	13.5	12.3	11.0	14.5	13.5	12.1	9.9	11.1
Pašto siuntiniai	6.0	5.9	8.0	7.6	10.8	12.4	11.0	9.9	12.4
Iš viso	24.6	19.4	20.2	18.6	25.2	25.8	23.1	19.8	23.5

2 pav. Pašto siuntų skaičius, mln. vnt., 2019 m. IV ketv. – 2021 m. IV ketv.

Paslaugos teikėjai	2019 IV	2020 I	2020 II	2020 III	2020 IV	2021 I	2021 II	2021 III	2021 IV
AB Lietuvos paštas	73.3	65.8	61.1	57.9	58.8	54.7	54.7	51.6	49.9
DHL Lietuva, UAB				2.1	1.5	1.3	1.5	1.6	1.7
Kiti teikėjai	5.4	6.1	4.5	4.6	3.8	4.9	3.9	4.1	3.7
UAB „DPD Lietuva“	7.9	9.4	12.0	11.6	12.5	15.4	14.4	14.3	15.2
UAB „Itella logistics“	1.0	1.0	1.0	1.2	1.5	1.5	1.9	2.6	2.7
UAB „Omniva LT“	5.0	7.8	10.9	11.4	11.2	12.8	12.9	13.1	14.3
UAB „Pašto paslaugos“	1.5	2.5	2.4	2.6	3.0	2.9	2.5	3.8	3.3
UAB „Šiaulių naujienos“	1.1	1.4	1.6	1.7	1.3		1.2	1.0	1.0
UAB „Skubios siuntos“	1.0	1.1	1.1	1.4	1.1	1.0	1.2	1.3	1.2
UAB „Venipak Lietuva“	3.9	4.9	5.5	5.6	5.4	5.4	5.8	6.6	6.9

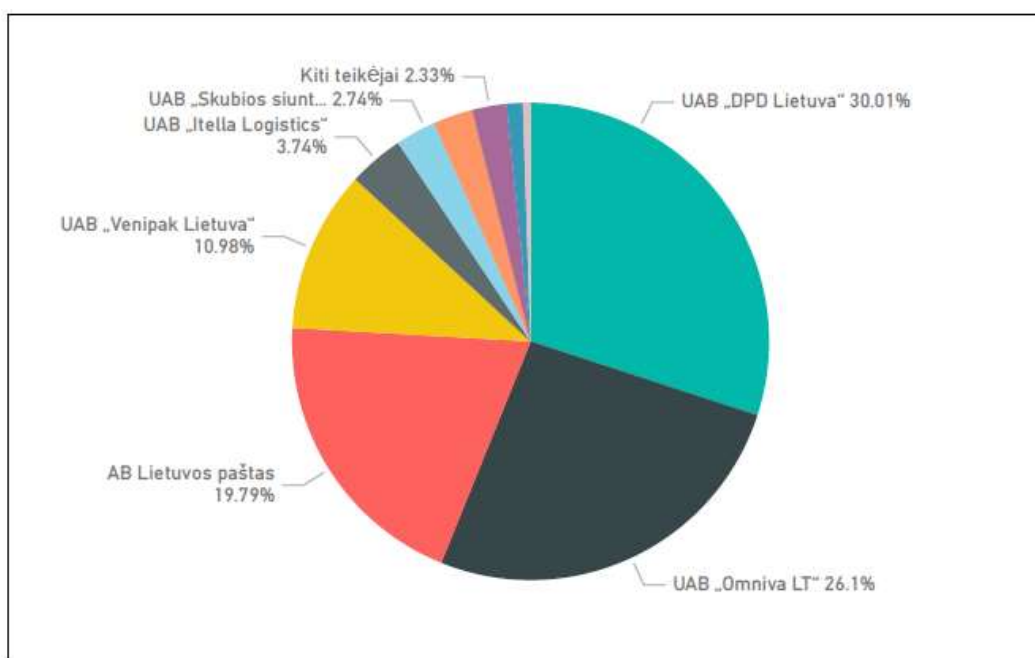
3 pav. Pašto paslaugos teikėjų rinkos dalis pagal siuntų ir korespondencijos skaičių, proc. (1)



4 pav. Pašto paslaugos teikėjų rinkos dalis pagal siuntų ir korespondencijos skaičių (2)

Paslaugos teikėjai	2019 IV	2020 I	2020 II	2020 III	2020 IV	2021 I	2021 II	2021 III	2021 IV
AB Lietuvos paštas	21.4	18.2	20.6	17.9	21.1	20.7	18.9	19.5	19.8
Kiti teikėjai	1.8	1.9	2.0	2.8	1.9	2.6	2.1	2.4	3.5
UAB "Miesto logistika"					1.1	1.2	1.3	1.0	
UAB „DHL Lietuva“	1.3	2.2	1.5	4.8	3.2	2.5	2.8	3.0	2.9
UAB „DPD Lietuva“	32.1	30.7	30.3	28.1	29.2	32.1	30.3	28.5	28.8
UAB „Itella Logistics“	4.0	3.3	2.5	3.0	3.4	3.2	4.1	5.1	5.1
UAB „Nėgė“	1.8	1.8	1.4	1.5	1.1		1.1	1.1	
UAB „Omniva LT“	20.5	25.6	27.8	27.7	26.1	26.7	27.2	26.1	27.2
UAB „Skubios siuntos“	3.8	3.3	2.7	3.2	2.6	2.1	2.3	2.5	2.2
UAB „Venipak Lietuva“	13.3	13.0	11.1	11.1	10.2	9.0	10.0	10.7	10.4

5 pav. Pašto paslaugos teikėjų rinkos dalis pagal siuntinių skaičių, proc. (1)



6 pav. Pašto paslaugos teikėjų rinkos dalis pagal siuntinių skaičių, proc. (2)

1.3. Skubios siuntos ateityje

Technologijos be perstojo keičia pramonės šakas, įskaitant ir logistikos sritį bei tiekimo grandinę. Pažiūrėjus atgal, sunku įsivaizduoti, kaip daugelio darbas vyktų be interneto, skaitmeninių ir elektroninių prietaisų ir kitų priemonių. Tačiau daug įdomiau žvalgytis į dar nematytas technologijas negu į praeitį. Viešojoje erdvėje vis daugiau kalbama būtent apie tai, ką atneša išmaniosios technologijos. Vertindami didžiulius informacijos srautus galima prognozuoti, su kokiais patobulinimais ir naujovėmis pasaulis susidurs artimiausiu metu skubių siuntų versle.⁷ Vieną kaip iš ateities naujovių autorius pristato savo straipsnyje [10] apie siuntų pristatymo metodą, paremtą saviorganizavimu. Metodas apima decentralizuotą ir autonomišką siuntų pristatymo priėmimo sprendimą. Metodas leidžia žymiai pagerinti paskutinės mylios pristatymo našumą, veiklos sąnaudas ir išmetamą anglies dioksido kiekį.

⁷ <https://venipak.lt/blogas/2021-05-31/kas-siuntu-pristatymo-laukia-ateityje-5-technologines-ateities-tendencijos/>

- Siuntiniai autonominiai automobiliai
- Siuntos skraidinamos dronais
- Kurjeris sekamas realiu laiku
- Siuntos pristatymo stebėjimas tiesiogiai
- Siuntio būklė
- Kliento pasitenkinimas ir lojalumas

Siuntiniai autonominiai automobiliai – mokslinėje literatūroje [11] autorius pabrėžia, kad nuolat augant ekonomikai, vis dažniau kyla energetikos krizės ir aplinkosaugos problemos. Labiau pastebimas ekologiškas ir mažai anglies dioksido į aplinką išskiriantis ekonomikos augimo būdas, kuris tapo nauja tendencija. Transportas yra vienas iš pagrindinių anglies dvideginio išmetimo šaltinių. Tarptautinės energetikos agentūros (IEA) duomenimis, transportas sudaro apie 26 % viso pasaulio CO₂ emisijų 2018 m., o didžiausias šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo šaltinis Jungtinėse Valstijose – tris metus iš eilės yra transportas. Todėl labai svarbu skatinti tvarų ekonomikos vystymąsi ir mažinti globalinį atšilimą. Sparčiai augant elektroninei prekybai, logistika tapo viena iš didžiausių aplinką teršiančių pramonės šakų. Jos sukelta miestų tarša privertė žmones atkreipti dėmesį į šią problemą, o ekologiška logistika pamažu sulaukė didelio valdžios ir logistikos įmonių dėmesio. Transportas užima daugiau nei 80% logistikos, todėl ekologinė aplinkos apsauga tapo svarbiu veiksniu, į kurį reikia atsižvelgti ir transporto priemonių maršrutų optimizavime. Tyrimų duomenimis, pasaulinė autonominių transporto priemonių rinka 2019 m. sudarė 68,7 mlrd. dolerių, o iki 2029 m. skaičiuojama, kad ji turėtų pasiekti 196,2 mlrd. dolerių. Taigi, šios technologijos po truputį vystosi ir atveria ypatingai daug galimybių greitam siuntų pristatymui.⁸ Šiuo metu tokios kompanijos kaip Amazon, Tesla, Gatik ir daugelis kitų atlieka skirtingų autonominių transporto priemonių testavimus, kurios netolimoje ateityje bus naudojamos inovatyviems siuntų pristatymo sprendimams. Tarp jų – ne tik savaime keliu važiuojantys mikroautobusai, bet ir sunkvežimiai bei šaligatviams pritaikytos autonominės transporto priemonės. Šių technologijų tobulėjimą ypač spartina pandemijos metu padidėjęs bekontakčių sprendimų poreikis.⁹

Siuntos skraidinamos dronais – autorius straipsnyje [12] pateikia, kuom dronai yra patraukūs logistikoje. Efektyvumas, greitis ir izoliuotų vietų pasiekiamumas vieni iš pagrindinių faktorių. Kitame straipsnyje [13] aprašoma, kaip dronai buvo pradėti naudoti siuntų pramonėje. Dronai iš pradžių buvo naudojami karinėse srityse. Pastaraisiais metais, padidėjus prieinamumui ir nukritus kainai, jie buvo plačiai naudojami ir civilinėse srityse, pvz. kaip infrastruktūros patikrinimas. Pastaruoju metu daugelis mokslininkų ir tokios įmonės kaip Google ir Amazon pradėjo skirti ypatingą dėmesį bepiločių orlaivių panaudojimui, kad atliktų paskutinės mylios pristatymą bepiločiais orlaiviais sveikatos priežiūros paslaugas teikiančioms organizacijoms. Pasitelkus pažangias technologijas ir nuotoliniu būdu valdant ir sekant bepilotį orlaivį, pristatoma siunta klientui. Dronas paleidžiamas iš depo, skrenda pas klientą atiduoti siuntinį, o paskui grįžta į sandėlį. Palyginti su

⁸ <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2020/06/12/2047504/0/en/Global-Autonomous-Delivery-Vehicle-Market-is-estimated-to-be-US-196-2-Billion-by-2029-with-a-CAGR-of-11-2-during-the-Forecast-Period-PMI.html>

⁹ <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-mobility/future-outlook-of-autonomous-delivery-vehicles/>

įprastu siuntos pristatymu transporto priemone, toks būdas yra itin taupus ir ekologiškas. Tačiau didelis apribojimas yra mažas pristatymo diapazonas nuo dronų paleidimo depo iki pristatymo vietos, kadangi drono akumulatoriaus talpa nedidelė. Norėdami padidinti šios dronų sistemos pristatymo diapazoną, kai kuriose vietose, buvo siūlomi būdai rasti vietas įkrovimo stotelių įrengimui.

Kol dronai taps masiškai naudojami siuntų pristatymo tikslams praeis dar nemažai laiko, tačiau tokia galimybė tampa realybe – skaičiuojama, kad 2025 m. pasaulyje dronų bus parduodama apie 322 proc. daugiau¹⁰ nei 2020 m., o 2023 m. pristatymo paslaugų dronais rinkos dydis sieks¹¹ 1,68 mlrd. dolerių. Tai, jog dronai užims didelį vaidmenį siuntų pristatyme, rodo ir įmonės Amazon gautas Federalinės aviacijos administracijos pritarimas pradėti naudoti dronus siuntų pristatymui klientams. Kaip teigia Forbes¹², šis patvirtinimas leis pristatyti klientams siuntas greičiau nei per pusvalandį nuo užsakymo atlikimo.

Kurjeris sekamas realiu – laiku Siuntų tarnybos jau naudojami kurjerių sekimo įrankiais, kurie realiuoju laiku rodo kurjerio buvimo laiką tiek maršrutų planuotojams, tiek vadybininkams. Tokiu būdu lengviau numatomi siuntų vėlavimai ir operatyviai sprendžiamos keblios situacijos. Kadangi prognozuojama, kad 2029 m. pasaulinė palydovinės navigacijos sistemos rinka augs¹³ iki 324,4 mlrd. eur., ateityje tai suteiks dar daugiau siuntų pristatymo procesui naudingų funkcijų, tarp kurių: kurjerių stotelių fiksavimas, automatiškai realiu laiku siunčiami atnaujinimai dispečeriams, taip pat maršruto optimizavimas, leisiantis sutaupyti kurą ir padidinti darbo efektyvumą. Su laiku visos šios funkcijos bus lengviau prieinamos, moderni įranga bus naudojama vis plačiau, todėl siuntų pristatymo procesas taps dar operatyvesnis ir lengviau valdomas.¹⁴

Siuntos pristatymo stebėjimas tiesiogiai – siuntų sekimo numeriai, kuriais vartotojai naudojami, leidžia patogiai patikrinti informaciją apie preliminarią siuntos buvimo vietą. Tai vartotojui užtikrina, kad siunta buvo išsiųsta ir preliminariai per kiek laiko ji bus pristatyta. Visgi šis siuntos statusas atnaujinamas gana retai – tik pasiekus tam tikrą miestą, rūšiavimo centrą ar kt.. Todėl šioje srityje taip pat prognozuojami technologiniai patobulinimai. Forbes duomenimis, vis daugiau susidomėjimo sulaukia „Track and Trace“ technologija, leidžianti gavėjams sekti savo krovinius realiu laiku, net jeigu šie vidury vandenyno.¹⁵ Šią paslaugą jau testuoja tokios pasaulyje žinomos kurjerių kompanijos kaip DHL. Tikėtina, jog netolimoje ateityje ir ši technologija bus prieinama vis daugiau siuntų bendrovių, o ja naudotis galės ne tik verslai, bet ir kiekvienas, prekes užsisakantis internetu.¹⁶

Siuntinio būklė – akavimas logistikoje – vienas svarbiausių faktorių, turintis įtakos siuntos kelionės sėkmei, tačiau ne ką mažiau svarbi ir pati siuntos kelionė. Kelionių aplinkybių pasitaiko įvairiausių, apie kurias technologijų kūrėjai jau atranda inovatyvių sprendimų, kaip informuoti siuntų gavėjus. Netolimoje ateityje daug tikslesnę informaciją klientams pateikti apie jų siuntų kelionę padės išmanūs patobulinimai transporto valdymo sistemose. Jų dėka ne tik stebėsime pačios siuntos būklę, bet ir gausime pranešimus, kokiomis aplinkybėmis ji buvo gabenama. Pranešimai informuos

¹⁰ <https://www.statista.com/chart/17201/commercial-drones-projected-growth/>

¹¹ <https://www.statista.com/statistics/1136500/global-drone-delivery-service-market-size/>

¹² <https://www.forbes.com/sites/ilkerkoksas/2020/08/31/amazons-prime-air-drone-delivery-service-gets-faa-approval/?sh=7a7e9f002be2>

¹³ <https://www.statista.com/statistics/1174527/gnss-market-size-worldwide/>

¹⁴ <https://computingforgeeks.com/technology-trends-in-courier-services-industry/>

¹⁵ <https://www.forbes.com/sites/dpworld/2020/12/14/track-and-trace-technology-is-the-disruption-automotive-logistics-needs/?sh=75267e7d5f82>

¹⁶ <https://www.aircargonews.net/business/supply-chains/csafe-completes-pharma-uld-track-and-trace-trial/>

apie tai, su kokia temperatūra siunta susidūrė, ar buvo supurtyta, sutrenkta bei užkrauta dideliu kitų siuntų kiekiu ir pan.¹⁷

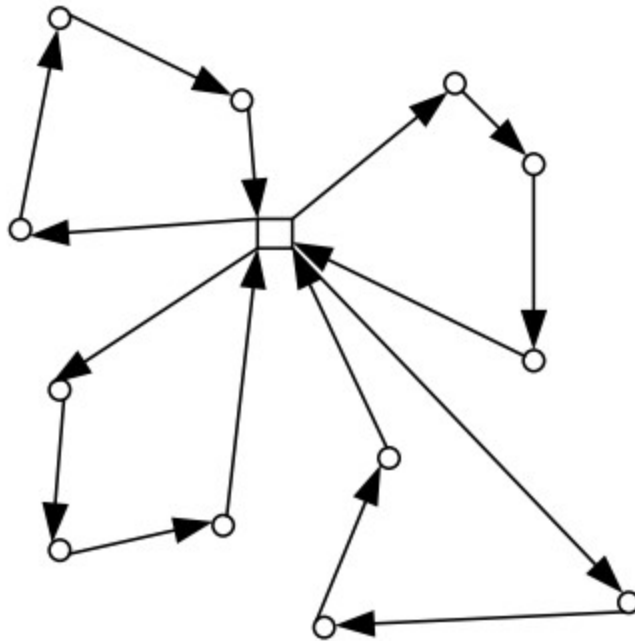
Kliento pasitenkinimas ir lojalumas – siuntų pristatymo pramonė nuolat patiria struktūrinių sunkumų, o didėjant apsipirkimui internetu, didėja ir technologijų plėtra, keičiasi vartotojų poreikiai. Siekiant užtikrinti pasitenkinimą tiek komerciniams, tiek individualiems klientams ir gauti pelno išlaikant savo konkurencinę padėtį, siuntų pristatymo pramonėje veikiančios įmonės turi įvertinti esamą savo paslaugų būklę ir nustatyti sritis, kurias reikia tobulinti. Maršruto optimizavimas, siekiant sumažinti transportavimo sąnaudas ir laiką, darbuotojų lojalumas ir profesionalumas, įmonės veiklos rezultatai paskutiniaisiais metais yra labai aktualios ir svarbios temos. Verslas suprato, kad šiuose dalykuose slypi didelė galia ir kad klientų pasitenkinimas ir lojalumas yra svarbūs pelningumui ir konkurencinei galiai. Autorius atliktame tyrime [14] aprašo kaip pritaikant *SERVQUAL* metodą galima įvertinti esamą paslaugų kokybę. *SERVQUAL* metodika skirta verslo įmonių klientams įvertinti teikiamų paslaugų kokybę. Pastaroji paslaugų kokybės vertinimo metodika remiasi prielaida, kad klientas paslaugos kokybę vertina lygindamas laukiamą konkrečios paslaugos kokybę su patirtąja, t.y., pradžioje klientas prašomas įvertinti, kiek konkretus paslaugos kokybės kriterijus yra jam svarbus, o vėliau – kaip gerai tas pats kriterijus yra išpildomas gaunant konkrečią paslaugą [15].

1.4. Paskutinės mylios pristatymas ir kurjerio eglėsys maršruto metu

Kadangi elektroninė prekyba itin populiari, klientai tikisi greitesnio siuntų pristatymo, pirkimas internetu pastaruoju metu išaugo. Sparčiai augančios internetinės platformos leidžia patogiai pirkti drabužius, elektroniką ir kitas prekes bei užsisakyti pristatymą į namus ar paštomatą. Tokios elektroninės parduotuvės kaip Pigu.lt, Senukai.lt, Varlė.lt, BigBox.lt ir kt. po užsakymo apmokėjimo gavimo tą pačią dieną gali suruošti užsakytas prekes, o klientas jau kitą, o kartais net ir tą pačią dieną gali jas gauti. Bet kuriuo atveju, vienas iš pagrindinių iššūkių pardavėjui yra laiku supakuoti ir perduoti prekes siuntų tarnybai, o iššūkis kurjeriams pristatyti laiku galutiniam gavėjui.

Siuntų pristatyme labai svarbi vairuotojo elgsena. Labai svarbu tinkamai pasirinktas ir suplanuotas važiavimo maršrutas. Tačiau vairuotojai ne visada laikosi net ir savo paties suplanuoto pristatymo eiliškumo. Vairuotojai linkę kartoti pažįstamus maršrutus ir pasikliauja savo patirtimi realiuoju laiku. Todėl darbe noriu įvertinti kaip stipriai skiriasi paskutinės mylios pristatymo rezultatai remiantis kurjerio patirtimi su siūlomu optimizuotu maršrutu. Žinoma, laikas, kurį vairuotojas praleidžia siuntos pristatymo metu būnant pas klientą, kuris vadinamas „serviso laiku“ taip pat svarbus faktorius ir dažniausiai labai neapibrėžtas. Kadangi klientų buvimo vietos dažnai yra daugiabučiai, biurų pastatai, didelės įmonės, vairuotojui reikia rasti automobilių stovėjimo vietą, nunešti siuntą į biurą ar namus. Aptarnavimo laikas skiriasi ir priklauso nuo kliento vietos bei užsakymo dydžio, kurie taip pat yra atsiktiniai [16].

¹⁷ <https://www.technologyhq.org/technology-trends-logistics-courier-industry/>



7 pav. Paskutinės mylios pristatymo schema

- - Pristatymo vieta
- - Depas

7 pav. vaizduojamas tipinė VRP maršruto parinkimo paskutinės mylios pristatymo schema. Schemoje vaizduojamas depas ir aplink jį išsidėstę pristatymo taškai. VRP sprendžia šių maršrutų sudarymo problemą. Parenka optimaliausių maršrutų skaičių bei važiavimo trajektorijas, kad kiekvienas iš maršrutų būtų optimalus ir bendrai visas rezultatas taip pat būtų optimalus. Kaip šiuo atveju matome iš vieno depo pagal turimus taškų išsidėstymus ir jų svorius parinkta aplankyti visus taškus su keturiais skirtingais maršrutais.

2. Matematiniai maršrutų optimizavimo algoritmai

Bendrai aptarti svarbiausi skubių siuntų verslo aspektai, kylantys iššūkiai, siūlomi siuntų pristatymo sprendimai, naujausios technologijos. Tačiau šio darbo tikslas nėra analizuoti kaip veikia ir dirba skubių siuntų bendrovės. Todėl toliau detaliau apžvelgsime TSP – (angl. Traveling Salesman Problem) – keliaujančio pirklio problemą bei sprendimo algoritmus. Taip pat panagrinėsime su kokiais sunkumais dažniausiai susiduriama sprendžiant tokio pobūdžio uždavinius VRP – (angl. Vehicle Routing Problem). Maršrutų optimizavimas yra didelis iššūkis daugeliui verslų, kuriems maršruto planavimas yra neatsiejama kasdienybės dalis. Turint pradinį tašką ir keletą sustojimų, maršruto planavimas jau gali pasirodyti sudėtingas, bet norint planuoti maršrutus visos šalies mastu, tai yra kur kas sudėtingiau. Galima įsivaizduoti, kiek skirtingų maršrutų variantų galima parinkti, bet visada geriausias ir svarbiausias yra toks, kuris yra optimaliausias atsižvelgiant į turimą situaciją. TSP – keliaujančio pirklio problema vis dar sunku išspręsti ir dabar 2022 metais, nors TSP buvo atrasta 1930 m. matematiko Karlo Mengerio. Tai susiję ne tik su kelionės tikslais ir atstumu, bet ir su daugeliu kitų veiksnių. Nėra paprasta turint pristatymo adresų sąrašą sudaryti optimalų maršrutą. Tiesa, daugelis šiuolaikinių įmonių Lietuvoje tokiu principu ir dirba, norėdami sutaupyti ir neatsižvelgdami į daugybę kitų veiksnių, nenaudoja maršrutų optimizavimo sistemų. O planuoti efektyvius maršrutus, kurie apimtų tiek siuntų paėmimą, tiek siuntų pristatymą yra labai svarbu. Norint padidinti savo verslo efektyvumą, reikia integruoti tiek paėmimą, tiek pristatymą į visus planuojamus maršrutus.

Keliaujančio pardavėjo problemą 18-ame amžiuje tyrė matematikas iš Airijos, vardu seras Williamas Rowamas Hamiltonas ir britų matematikas Thomas Penyngtonas Kirkmanas. Tačiau tikrai išsamų aprašymą apie Hamilton ir Kirkman darbus galima rasti knygoje Graph Theory [17]. Pirmąją bendrąją TSP formą ištyrus Karlui Mengeriui Vienoje ir Harvarde, vėliau šią problemą analizavo Hassleris, Whitney ir Merrill Prinstonas [18].

2.1. VRP – transporto priemonės maršruto nustatymo problema

Problemos, kurias reikia išspręsti realiose situacijose, paprastai yra daug sudėtingesnės nei klasikinės VRP. Transporto priemonės maršruto sudarymo problema (VRP) yra bendrinis pavadinimas, kuriame transporto priemonių skaičius nustatomas priklausomai nuo to kiek yra depų, taip pat kiek viename depe yra transporto priemonių ir kiek aplink depą yra numatyta aplankyti taškų. Pagrindinis VRP tikslas – sumažinti bendrą nuvažiuotą atstumą, bei naudojamų transporto priemonių skaičių ir įvykdyti paslaugų teikimo reikalavimus. VRP apibendrina keliaujančio pirklio problemą (TSP), kuri yra viena iš labiausiai ištirtų sudėtingų optimizavimo problemų ir dabartiniai sprendimo metodai yra labai išstobulinti. Keliaujančio pardavėjo problemos sprendimu siekiama rasti trumpiausią maršrutą, kurio metu aplankomas kiekvienas taškas bent kartą ir grįžtama į pradžios tašką [19].

2.2. Matematinė VRP formuluotė

Tegul x_{ij} yra sveikasis kintamasis skaičius, kuris gali turėti reikšmę $\{0, 1\}$, $\forall \{i, j\} \in E \setminus \{0, j\} : j \in V$ ir $\{0, 1, 2\}$, $\forall \{0, j\} \in E, j \in V$. Svarbu, kad $x_{0j} = 2$, kai maršrutas apima tik vieną klientą sprendime pasirenkamas j [20].

VRP galima suformuluoti taip:

$$\text{Minimizuojame } \sum_{i \neq j} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Atsižvelgiant į:

$$\sum_j x_{ij} = 1, \forall i \in V, \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1, \forall i \in V, \quad (3)$$

$$\sum_i x_{ij} \geq |S| - v(S), \{S: S \subseteq V \setminus \{1\}, |S| \geq 2\}, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall \{i,j\} \in E; i \neq j \quad (5)$$

kur (1), (2), (3) ir (5) apibrėžia modifikuotą priskyrimo problemą. Apribojimas (4) yra alternatyvų pašalinimas. $v(S)$ yra minimalus reikiamas transporto priemonių skaičius, kurių reikia norint aplankyti visus S viršūnių taškus [20].

2.3. VRP tipai

Atsižvelgiant į transporto maršrutų optimizavimo problemas yra daug VRP problemų variantų su kuriais susiduriame kasdien realiame pasaulyje.

VRP su talpa (CVRP) – transporto priemonės yra vienodos talpos, bet pristatyti reikia skirtingą kiekį krovinių. Tai yra viena iš pagrindinių kombinatorinio optimizavimo problemų, kurią galima pritaikyti praktiškai. Tikslas yra rasti tokią maršrutų kombinaciją ir paskirstyti krovinius taip, kad visos depe esančios transporto priemonės tik vieną kartą išvyktų iš depo, visi kroviniai tilptų į transporto priemones ir neviršytų svorio bei talpos limitų ir visi kroviniai pasiektų gavėjus tą pačią dieną [19, 21].

VRP su laiko langu (VRPTW) – tai toks VRP sprendimo būdas, kada per tam tikrą laiką kiekvienas klientas turi būti aplankytas. Transporto priemonių maršruto nustatymo problema su laiko langais yra susijusi su optimaliais transporto priemonių parko maršrutais, laiko tarpu tarp išvykimo iš depo ir klientų skaičiaus, kuriuos reikia aplankyti per tam tikrą laikotarpį [19, 22].

VRP su skirtingais išvykimo depais (MDVRP) – logistikos įmonės atstovas gali parinkti kelis skirtingus depus pristatant krovinius klientams. Tai yra taip pat klasikinio transporto priemonių maršruto sudarymo variantas. (MDVRP), kurią sudaro maršrutų parinkimas pagal tai, kurioje lokacijoje yra klientas, kokias prekes jam būtina pristyti ir kokiam arčiausiame depe yra prekės. Maršrutas parenkamas atsižvelgiant į visus užsakymus ir visus klientus, todėl uždavinys sudėtingas ir ne visada sprendimas būna optimaliausias. Pagrindinis tikslas sumažinti bendrą nuvažiuotą atstumą [19, 23].

VRP su paėmimu ir pristatymu (VRPPD) – vienas iš praktikoje kylančių iššūkių yra tas, kad prekes reikia ne tik atvežti klientams, bet taip pat jas ir paimti iš klientų. Ši problema gali būti padalinta į dvi nepriklausomas CVRP problemas. Vieną transporto priemonę naudoti prekėms pristatyti, o kitą transporto priemonę nuvykti paimti krovinių iš klientų. Siuntų tarnybose tai kasdieninė praktika, kada klientams siuntas pristato vienas kurjeris, o darbo dienos pabaigoje atvyksta siuntų paimti kitas kurjeris [19, 20, 24].

Išskirstyto pristatymo VRP (SDVRP) – tai yra VRP, kuriuo siekiama sumažinti bendras sąnaudas, o tuos pačius klientus aptarnauti skirtingomis transporto priemonėmis. Klientas, priešingai nei manoma esant klasikinėms maršruto parinkimo problemoms, gali būti aptarnaujama daugiau nei viena transporto priemone, jei tai naudinga. Tačiau tai, kad klientai gali gauti siuntas iš daugiau nei

vienos transporto priemonės, sukuria matematinio modeliavimo iššūkių, ypač formuluotėms, apimančioms dviejų indeksų kintamuosius [19, 25].

VRP su grįžtamais maršrutais (VRPB) – tai VRP, kai transporto priemonių parkas, esantis centriniame depe yra optimalus naudojant aptarnauti klientus ir yra suskirstytas į dvi grupes. Tiesioginio prekių pristatymo klientui ir tiesiog surinkimo iš kliento. Kiekvienas maršrutas prasideda ir baigiasi depe. Ši VRP panaši į VRPPD. Viena svarbi sąlyga yra ta, kad prieš atvykstant paimti krovinių iš klientų, pristatymas turi būti jau įvykdytas anksčiau [19, 26, 27].

Periodinis VRP (PVRP) – PVRP atvejis tai klasikinis VRP apibendrintas variantas tik išplečiant planavimo laikotarpį iki tam tikros skaičiaus dienų. Tai tradicinė transporto priemonių maršruto parinkimo problema, kada klientų aptarnavimo vietos yra pastovios ir iš anksto žinomos ir taip pat žinomas kasdienis prekių pristatymo poreikis. PVRP turi horizontą, t.y. dienų intervalas, per kurias tam tikru dažnumu kiekvienas klientas turi būti aptarnautas [19, 28, 29].

2.4. Matematinis TSP aprašymas

TSP galima apibrėžti pilname neorientuotame grafike [30], $G = (V, E)$ jei jis yra simetriškas arba $G = (V, A)$ jei grafikas asimetriškas. $V = \{1, \dots, n\}$ yra visų viršūnių rinkinys, $E = \{(i, j) : i, j \in V, i < j\}$ yra briaunų rinkinys ir $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ yra lanko rinkinys. Išlaidų matrica $C = (c_{ij})$ apibrėžiama ant E arba ant A . Išlaidų matrica tenkina nelygybę betkada kai $c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj}$ esant visoms i, j, k reikšmėms. Tai yra sprendimas plokštumoje, kurioje viršūnių taškai yra $P_i = (X_i, Y_i)$ yra plokštumoje, o $c_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}$ yra Euklido atstumas. Trikampio nelygybė tenkinama jei c_{ij} yra trumpiausias kelias nuo i iki j grafike.

2.5. Matematinė TSP formuluotė

Pirmiausia apibrėžiame dvejetainį kintamąjį

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jei ture naudojamas lankas } (i, j) \\ 0, & \text{jei ne} \end{cases}$$

Tada bendrą tiesinio programavimo formulę galima užrašyti taip

Minimizuojame:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

Atsižvelgiant į:

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = m \tag{2}$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = m \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 2, \dots, n \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 2, \dots, n \quad (5)$$

+ alternatyvų pašalinimo apribojimai, (6)

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A, \quad (7)$$

kur (4), (5) ir (7) yra įprasti apribojimai, (2), (3) užtikrina, kad pradžios ir pabaigos taškas yra toks pat. Apribojimas (6) naudojama siekiant užkirsti kelią alternatyvoms, kurios susiformuoja kaip netaisyklingi turai tarp optimizuotų. [18] TSP algoritmų yra aprašoma ne vienas. Žemiau pateikiamas sąrašas TSP algoritmų, kurie jau nuo senų laikų naudojami ir tobulinami. Kiekvienas verslas sprendžiantis individualią problemą, gali remtis šiais algoritmais atitinkamai kokio tikslo norima pasiekti. Algoritmai gali būti pritaikomi ir modifikuojami pagal turimą problemą ar norimą rezultatą.

Greedy Algorithm – godusis algoritmas (angl. Greedy Algorithm), šis algoritmas randa tarpusavyje du artimiausius taškus nepaisant to kaip jie išsidėstę ir nebūtinai turi būti užduotas pradinis taškas. Tokius artimiausius taškus algoritmas tarpusavyje sujungia. Šis algoritmas duoda mažiausius maršruto kaštus, tačiau šio algoritmo būdu gaunami neoptimalūs deriniai tarp paskirties miestų-taškų [30, 31].

Nearest Neighborn – šis euristinis algoritmas irgi yra artimas prieš tai aprašytam algoritmui. Algoritmas prasideda nuo vieno kažkurio priskirto miesto-taško ir jungiasi su artimiausiu neaplankytu miestu-tašku. Algoritmas kartoja tol, kol aplankomas kiekvienas miestas. Tada jis grįžta į pradinį miestą-tašką. Pats TSP išradėjęs Karlas Mengeras, kuris ir apibrėžė šį algoritmą, teigia, kad artimiausio kaimyno algoritmas yra neoptimalus metodas [32, 33].

Nearest Insertion – šis algoritmas prideda naujus miestus-taškus tarp esamų kelionės taškų. Algoritmas pradeda skaičiuoti, kai nustatomi du miestai-taškai, kuriuos reikia aplankyti. Tada algoritmas pakartotinai suranda esantį miestą iš jau apjungtų, kuris yra arčiausiai ir pateikia jį kaip artimesnį atsižvelgiant iš turimų dviejų ar daugiau lankytinų miestų-taškų atstumų. Algoritmas baigia skaičiavimą, kai nebėra naujų miestų-taškų įterpimui [33].

Cheapest Insertion – šis algoritmas taip pat labai artimas prieš tai aprašytam „Nearest Insertion“ algoritmui. Algoritmas atranda miestą-tašką, kuris dar nėra maršrute ir jungiamas tarp dviejų jau ankščiau sujungtų-susietų miestų-taškų, kad būtų gaunamas kuo trumpesnis atstumas. Algoritmas įterpia miestą-tašką tarp dviejų sujungtų miestų ir kartoja tol, kol nebelieka daugiau įterpimų [34].

Random Insertion – atsitiktinio įterpimo algoritmas taip pat prasideda dviem miestais. Tada jis atsitiktinai pasirenka miestą-tašką, kuris dar nėra maršrute ir įtraukia jį tarp dviejų maršrute esančių miestų [35].

Farthest Insertion – priešingai nei kiti minėti algoritmai, šis veikia parinkdamas toliausius atstumus tarp miestų-taškų. Algoritmas ieško miestų-taškų, kurie nėra pakliuvę į maršrutą ir yra labiausiai nutolę nuo bet kurio maršrute esančio miesto-taško ir prideda jį radus trumpiausią maršruto atstumą tarp apjungtų miestų-taškų [36].

Christofides Algorithm – šis algoritmas įdomus tuo, jog norint, kad jis veiktų, atstumai tarp miestų turi būti simetriški ir tenkinti trikampio nelygybę, kuri teigia, kad bet kokio trikampio bet kurių dviejų kraštinių ilgių suma yra nemažesnė už trečios kraštinės ilgį [30, 37].

2-Opt – pagrindinė šio algoritmo idėja yra rasti trumpiausią maršrutą tarp turimų miestų-taškų, kuris kertasi tarp savęs ir pertvarkyti jį taip, kad jame nebūtų susikirtimų [38, 39].

3-Opt – šis algoritmas yra paprastas vietinės paieškos algoritmas keliaujančio pardavėjo problemai spręsti. Palyginti su paprastesniu 2-Opt algoritmu, jis yra lėtesnis, tačiau gali duoti aukštesnės kokybės rezultata. Šio algoritmo veikimo principas yra kai trijų miestų-taškų tinklas yra ištrinamas visame maršrute, kad būtų sukurti 3 sub-maršrutai. Tada algoritmas analizuoja 7 skirtingus maršruto apjungimo būdus ir bando rasti optimalų trumpiausią maršrutą. Šis procesas vėliau kartojamas kitam 3 jungčių rinkiniui, kol tinkle bus išbandyti visi galimi maršrutų variantai ir kol bus rastas optimaliausias visų miestų-taškų maršrutas [39, 40].

Lin-Kernighan – šis algoritmas yra viena iš geriausių euristikų, leidžiančių išspręsti keliaujančio pardavėjo problemą. Tai yra 2-Opt ir 3-Opt algoritmų apibendrinimas. 2-Opt ir 3-Opt veikia naudojant du ar tris miestus-taškus, kad skaičiuoti trumpus atstumus, o šis algoritmas prisitaiko ir kiekviename žingsnyje nusprendžia, kiek atstumų tarp miestų-taškų reikia pakeisti, norint rasti trumpesnę kelionę [39, 41].

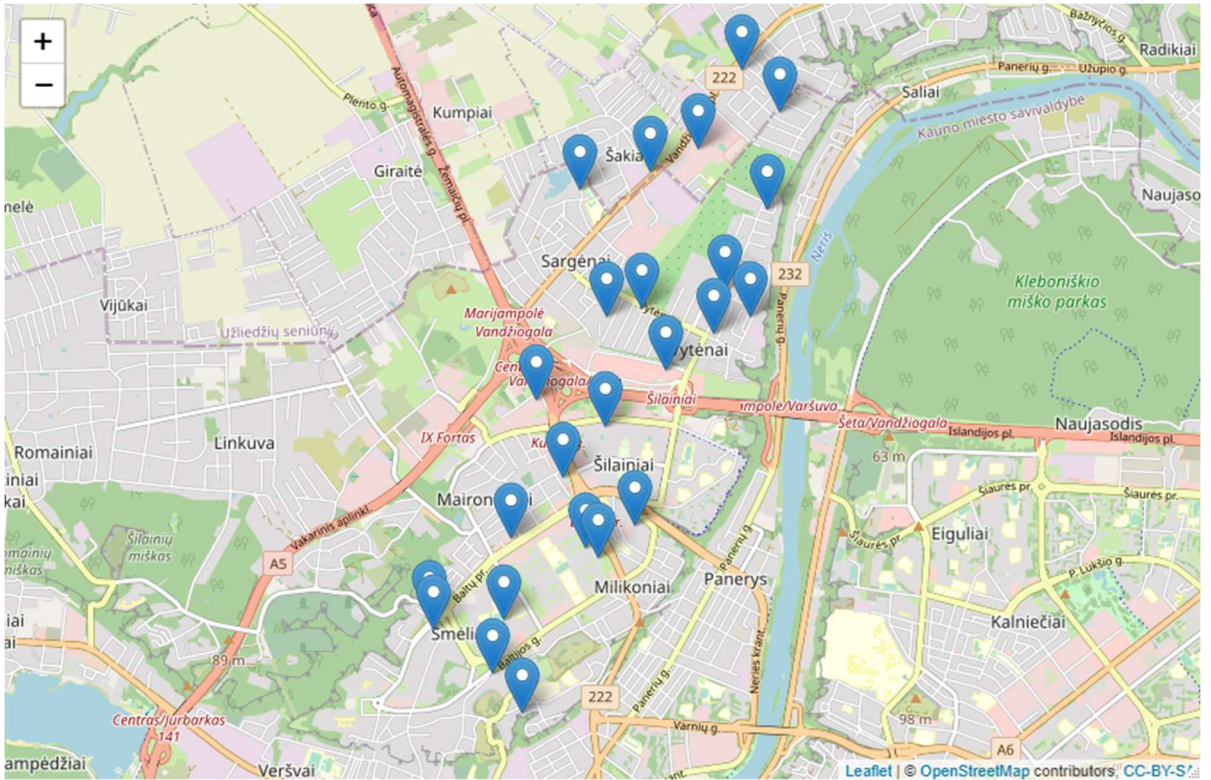
Chained Lin-Kernighan – šis algoritmas tai modifikuotas Lin-Kernighan algoritmas. Jis veikia taip, kad paimdamas Lin-Kernighan metodu gautą trumpiausią maršruto atstumą ir keisdamas sujungimus tarp kitų miestų-taškų vėl jiems pritaiko Lin-Kernighan euristiką. Jei naujas maršrutas yra trumpesnis nei prieš tai buvęs pradinis, algoritmas jį išsaugo ir toliau vėl modifikuoja įvairiais būdais ir vėl taiko Lin-Kernighan euristiką. Jei originalus maršrutas yra trumpesnis jis vėl išlaiko senąjį maršrutą ir taiko Lin-Kernighan euristinę vertę. Algoritmas gali sustoti, kai nebebus įmanoma rasti optimaliausio varianto arba kai bus pasiektas skaičiavimo laiko limitas [42].

Apžvelgta nemažai TSP algoritmų. Jie visi tarpusavyje panašūs, kadangi iš esamų algoritmų nuolat modifikuojant ir tobulinant būdavo atrandami nauji būdai ieškant optimalių maršrutų. Atliekant tyrimą baigiamajame darbe ir ieškant optimaliausių maršrutų neužteks naudoti kažkurį iš šių algoritmų, kadangi jie visi paprasčiau skaičiuoja trumpiausią atstumą tarp dviejų ar daugiau taškų. Nėra įvertinami kiti faktoriai, tokie kaip eismas, oro sąlygos, greičio apribojimai, kelių būklė (asfaltas, žvyrkelis), laiko tarpai ir kiti svarbūs dalykai, kurie daro įtaka maršruto distancijai ir jo įveikimo laikui. TSP ir VRP daug laiko buvo ir vis dar yra labai įdomūs ir svarbūs tiek moksle, tiek versle. Atrasta ir naudojama daug įvairių algoritmų, metodų ir būdų skaičiuoti trumpiausius maršrutus ir juos optimizuoti. Bet šiuolaikiniame pasaulyje viskas labai greitai keičiasi, tobulėja, juda pirmyn, todėl visi algoritmai nuolat tobulinami ir ieškomi dar efektyvesni būdai spręsti vis naujiems atsirandantiems iššūkiams.

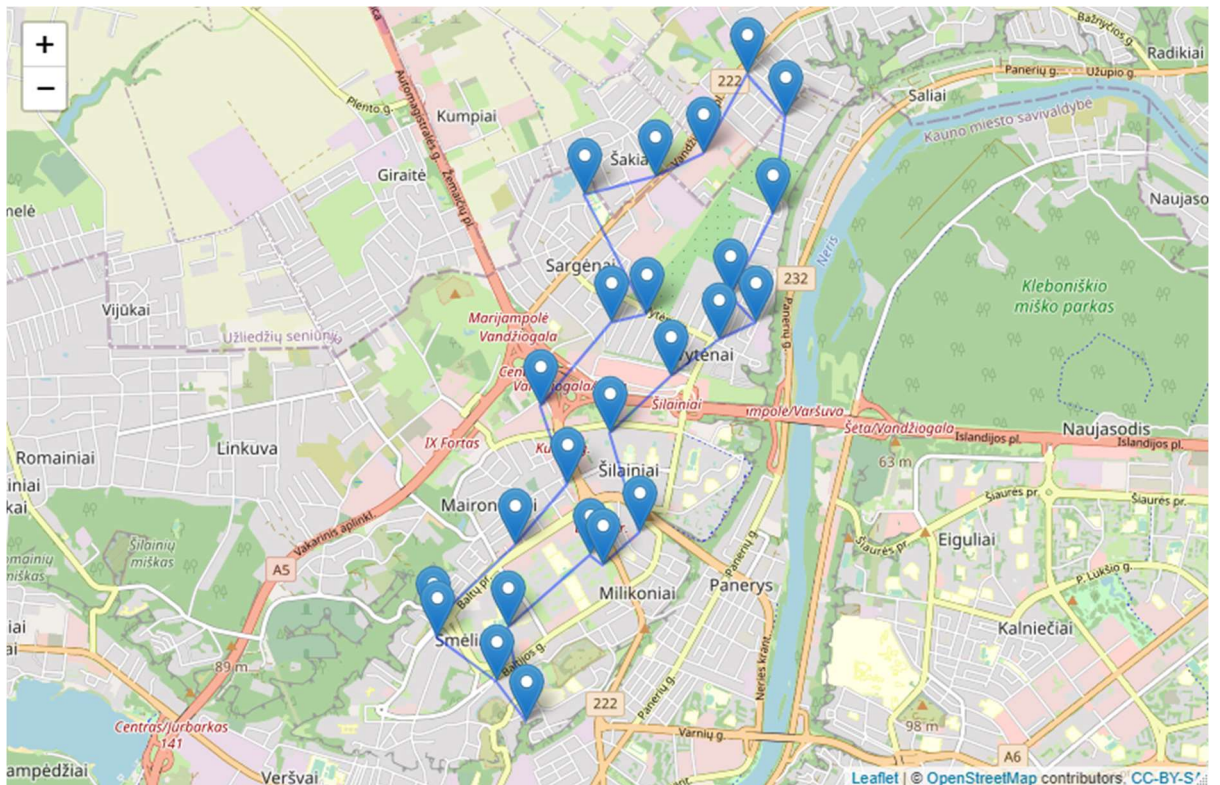
2.6. Klasikinis TSP problemos sprendimo pavyzdys su R

Naudojant 24 lokacijas Kauno mieste, reikia rasti trumpiausią kelią, aplankant kiekvieną vietą. Pradžioje mums reikia atstumų matricos, t.y. apskaičiuoti atstumus tarp kiekvienos vietos. Tam naudojamas R paketas *geosphere*. Sudarius atstumų matricą, sudaromas trumpiausio kelio paieškos modelis. Modeliui sudaryti ir išspręsti naudojamas R paketas *ompr*. Išsprendus modelį, gaunamas optimalus maršruto kelias 13,59 km. Žemiau pateikiama siuntų pristatymo lokacijos (žr. 8 pav.) ir maršruto taškai su optimizuotu maršrutu (žr. 9 pav.). Tiesa, svarbu paminėti, kad naudojant šį modelį ir paketą optimizavimas atliekamas skaičiuojant atstumus tiesiomis linijomis tarp koordinatų, neįvertinama tai, kad važiuojant gatvėmis ir keliais atstumas būtų kitas.¹⁸

¹⁸ <https://www.crowdatascience.com/travelling-salesman-problem-in-r-with-location-data/>



8 pav. Siuntų pristatymo lokacijos Kauno mieste



9 pav. Siuntų pristatymo Kauno mieste optimalus maršrutas. (13,59km)

2.7. Dijkstros algoritmas

Dijkstros algoritmas (pavadintas jo atradėjo vardu E. W. Dijkstra) sprendžia trumpiausio kelio nuo taško iki paskirties vietos problemą. Naudojant algoritmą galima rasti trumpiausius kelius nuo nurodyto šaltinio iki visų norimų taškų [43]. Dijkstros algoritmas pasižymi tuo, kad yra vienas tiksliausių algoritmų, kuris pateikia trumpiausio kelio sprendinį. Pagrindinė Dijkstros algoritmo idėja yra nustatyti viršūnių rinkinį S ir nustatyti kelio svorius nuo pradžios taško S iki aibės viršūnių. Dijkstros algoritmo veikimo metu pakartotinai pasirenkami skirtingi keliai, tai yra viršūnės, o svoriai sumuojami. Mažiausia svorių suma tarp pradžios taško iki aibės viršūnių ir bus optimalus sprendinys arba trumpiausias atstumas [44]. Šis algoritmas dažnai naudojamas maršrutams skaičiuoti ir dažnai pritaikomas kituose grafų algoritmuose. Dijkstros algoritmas gali pasirinkti optimalų kelią, kuris atitinka sąlygas iš topologinio žemėlapiu. Tradicinis Dijkstros algoritmas padalina topologinio žemėlapiu mazgus (kelio susikirtimus) į tris dalis. Pirma – visi pradiniai mazgai algoritmu tinkle yra nepažymėti mazgai. Antra – visi nepažymėti mazgai turi būti pereiti renkantis optimalų kelią ir prijungiant mazgus. Trečia – laikinajam mazgui kiekvienas atrankos ciklas optimalaus kelio parinkimo procese parenka trumpiausią kelią turintį mazgą. Dijkstros algoritmas tęsiamas iki reikiamo mazgo – taško ir nesibaigs tol, kol mazgai taps nuolatiniams trumpiausio kelio mazgais, o neoptimalūs mazgai bus eliminuoti iš algoritmo. Tiriamojame dalyje maršrutų optimizavimas bus atliekamas su R programinės įrangos paketu *googhway*, kuriame trumpiausio kelio paieškai ir optimizavimui integruotas Dijkstros algoritmas [45].

2.7.1. Dijkstros algoritmo matematinė formuluotė

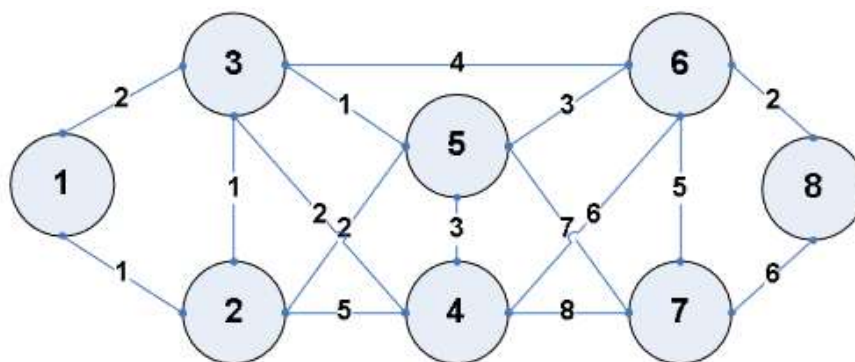
Trumpiausio kelio nuo nurodytos viršūnės s iki pagrindinės t paieškos problemą matematiškai galima aprašyti taip:

Paprastas svertinis kryptinis grafas G iš n viršūnių apibūdinamas kaip $n \times n$ matrica $D=[d_{ij}]$, kur, d_{ij} – nukreiptos briaunos nuo viršūnės i iki viršūnės j ilgis (arba atstumas arba svoris) [46].

$$d_{ij} = \begin{cases} > 0, & \text{jei } i \neq j \\ = 0, & \text{jei } i = j \\ = \infty & (\text{begalinis skaičius}), \text{jei nėra briaunos nuo } i \text{ iki } j \end{cases} \quad (1)$$

2.7.2. Dijkstros algoritmo iliustracija

10 pav. pateikiama 8 taškai, su mazgų svoriais. Vaizdinės priemonės būdu aiškinama kaip randamas trumpiausias atstumas nuo 1 iki 8 taško naudojant Dijkstros algoritmą [46].



10 pav. Grafas su taškais ir jų svoriais

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 1 & 0 & 1 & 5 & 2 & \infty & \infty & \infty \\ 2 & 1 & 0 & 2 & 1 & 4 & \infty & \infty \\ \infty & 5 & 2 & 0 & 3 & 6 & 8 & \infty \\ \infty & 2 & 1 & 3 & 0 & 3 & 7 & \infty \\ \infty & \infty & 4 & 6 & 3 & 0 & 5 & 2 \\ \infty & \infty & \infty & 8 & 7 & 5 & 0 & 6 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 2 & 6 & 0 \end{bmatrix}$$

Nuolatinė viršūnė priskiriama $P=\{1\}$

Iteracija 1: $P=\{1,2\}$, $d_{1j}=\{0,1,2,4,\infty,\infty,\infty,\infty\}$

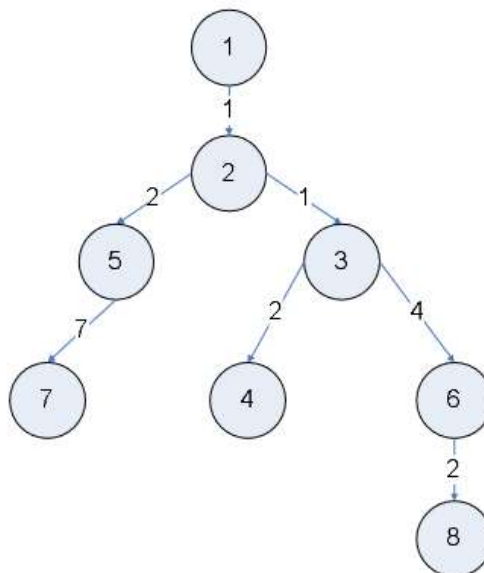
Iteracija 2: $P=\{1,2,3\}$, $d_{1j}=\{0,1,2,4,3,6,\infty,\infty\}$

Iteracija 3: $P=\{1,2,3,5\}$, $d_{1j}=\{0,1,2,4,3,6,10,\infty\}$

Iteracija 4: $P=\{1,2,3,4,5,6\}$, $d_{1j}=\{0,1,2,4,3,6,10,8\}$

Iteracija 5: $P=\{1,2,3,4,5,6,7,8\}$, $d_{1j}=\{0,1,2,4,3,6,10,8\}$

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



11 pav. Trumpiausio maršruto medis

Remiantas šiuo pavyzdžiu trumpiausias maršrutas nuo 1 iki 8 taško-mazgo yra keliaujant per 1-2-3-6-8 taškus, o bendras atstumas arba svoris yra 8 [46].

3. Kurjerio maršruto analizė ir optimizavimas

Šiame darbe, kurjerio maršruto analizę ir optimizavimą apima kurjerio nuvažiuoto atstumo ir laiko palyginimas su to pačio maršruto atstumu ir laiku po optimizavimo. Tikslas yra išsiaiškinti ir suprasti kokie yra maršruto laikų ir atstumų skirtumai, kai maršrutą sudaro, suskaičiuoja ir pasiūlo algoritmas ir tarp to, kurį nuvažiuoja kurjeris. Svarbu nustatyti ar naudojant maršrutų optimizavimą galima sumažinti nuvažiuojamus kilometrus ir laiką ar vis tik kurjerio pasirinkta važiavimo logika yra geresnė alternatyva.

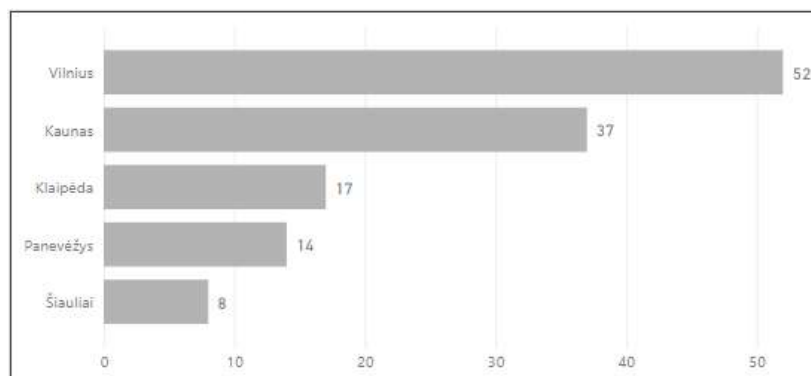
3.1. Tiriamojoje dalyje naudojami duomenys

Tiriami Lietuvos keliais įveikti kurjerių maršrutai. Darbe naudojami duomenys yra vienos didžiausių Lietuvoje veikiančių skubių siuntų bendrovių. Tyrime svarbu, kad duomenys yra surinkti esant realioms sąlygomis ir nėra seni. Tirti maršrutai nuvažiuoti Lietuvoje 2021 m. lapkričio mėn. Visą duomenų rinkinį apima 127 unikalūs kurjeriai iš 5 didžiųjų Lietuvos miestų depų iš kurių vidutiniškai per dieną miesto ribose ir užmiestyje dirbo apie 80 kurjerių ir 2021 m. lapkričio mėn. pristatė siuntų daugiau kaip 45 000 unikaliems gavėjams. Iš viso duomenų rinkinio tyrimui buvo atrinkti 10 maršrutų, kuriuos sudarė iš kiekvieno miesto po 2 kurjerius. Kiekvieno depo maršrutai paskirstyti į miesto ir užmiesčio. Kiekvieną maršrutą sudarė vidutiniškai 25 sustojimai. Atlikti tyrimui buvo reikalingi ne visi duomenys iš duomenų rinkinio, o buvo paimti tik svarbiausi, tokie kaip unikalus kurjerio kodas, gavėjo adresas, gavėjo miestas, gavėjo pašto kodas, pristatymo data ir laikas.

Bendra duomenų apžvalga ir analizė atlikta su Power BI v2.104.941.0 64-bit (April 2022) įrankiu. Detalesnė kurjerių maršrutų analizė ir optimizavimas atlikta su RStudio 2021.09.1 Build 372, R 4.1.2 Vėlesnis, gautų kurjerių maršrutų ir optimizuotų maršrutų rezultatų palyginimas taip pat buvo atliktas su Power BI v2.104.941.0 64-bit (April 2022) įrankiu.

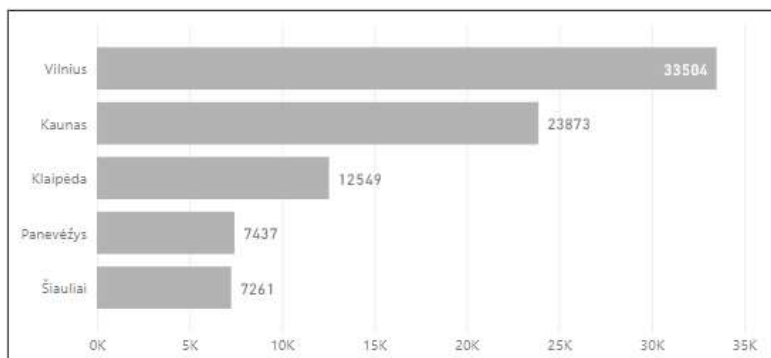
3.1.1. Bendro duomenų rinkinio žvalgomoji analizė

Iš viso duomenų rinkinį sudaro 80 103 eilučių ir 14 stulpelių. 127 unikalūs kurjeriai pasiskirstę pagal 5 skirtingus depus (12 pav.). Lapkričio mėn. buvo 83 382 unikalių gavėjų (13 pav.) ir pristatyta daugiau kaip 150 000 paketų (14 pav). Tiriamu laikotarpiu iš 11 pav. galima matyti, kad visomis darbo dienomis unikalų gavėjų skaičius labai panašus. Daugiau pristatymų unikaliesiems gavėjams tenka antradieniais (24,61%) ir ketvirtadieniais (24,21%). Siuntų tarnyboms įprastai atlieka skubius ir neužbaigtus paketų įteikimus ir savaitgaliais. Kaip matome iš 15 pav. daugiau nei 8% paketų įteikta savaitgalio dienomis.



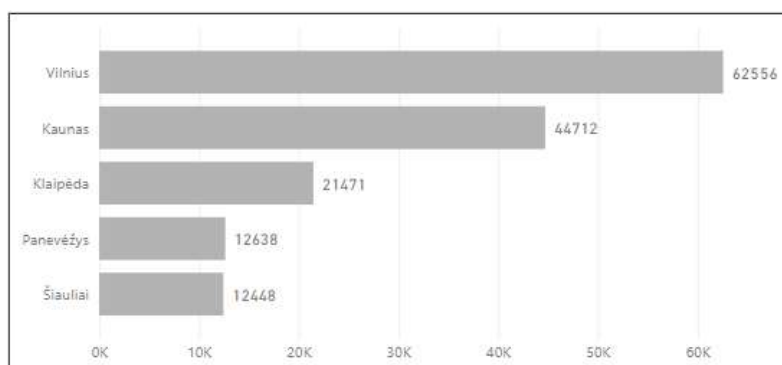
12 pav. Unikalūs kurjeriai pagal depus 2021 m. lapkričio mėn

12 pav. nurodoma, kaip pasiskirstę kurjeriai tarp skirtingų terminalų. Naturalu, kad Vilnius ir Kaunas turi daugiausiai kurjerių, kadangi didžiuosiuose Lietuvoje miestuose siuntų srautai yra didžiausi. Kaip matome iš 13 pav. Vilniaus depas pristato daugiau siuntų unikalium gavėjams negu sudėjus Klaipėdos, Panevėžio ir Šiaulių miesto ir regiono siuntų srautus. Lyginant kurjerius, Vilniuje kurjerių šiek tiek mažiau nei dvigubai lyginant su kartu sudėtais Klaipėdos, Panevėžio ir Šiaulių kurjeriais. (Vilnius – 52, Šiauliai, Panevėžys, Klaipėda – 39). Vilniaus kurjeriai su mažiau kurjerių, pristato daugiau siuntų unikalium gavėjams, nes siuntų srautas daugiau koncentruotas ir neišsibarstęs plačiai.



13 pav. Unikalūs siuntų gavėjai pagal depus 2021 m. lapkričio mėn

Kalbant apie 14 pav. galima matyti, kad Vilniaus mieste 2021 m. lapkričio mėn. buvo 62556 pakuočių. Lyginant su 13 pav. Vilniaus unikalium gavėjų skaičiumi (33504) galima teigti, kad vidutiniškai, vienam unikalium gavėjui Vilniuje pristatoma po 2 pakuotes. Klaipėdos, Panevėžys ir Šiauliai lyginant unikalium gavėjus ir jiems pristatomas pakuotes galima sakyti, kad šiuose miestuose kurjeris unikalium gavėjui vidutiniškai pristato po 1,7 pakuotės.



14 pav. Pristatyti paketai pagal depus 2021 m. lapkričio mėn.

15 pav. galima matyti, kiek pakuočių ir unikalium gavėjų yra pristatoma Lietuvoje pagal savaitės dienas. Antradienis, trečiadienis ir ketvirtadienis yra itemčiausios dienos kalbant apie pakuočių skaičių. Bendrai per mėnesį tomis dienomis pristatyta daugiau negu pusė visų lapkričio mėn. pakuočių. Kalbant apie unikalium gavėjus, antradienio ir ketvirtadienio dienomis kurjeriai turėjo daugiausiai unikalium pristatymo adresų ir šiomis savaitės dienomis pristatė beveik pusę visų lapkričio mėn. pristatytų siuntų unikalium gavėjams.

Savaitės diena	Pakuotės	Pakuočių pasiskirstymas, %	Unikalūs gavėjai	Unikalių gavėjų pasiskirstymas, %
▲ Pirmadienis	28357	18.43%	18783	22.53%
Antradienis	29564	19.22%	20522	24.61%
Trečiadienis	29658	19.28%	19551	23.45%
Ketvirtadienis	29481	19.17%	20108	24.12%
Penktadienis	25594	16.64%	18356	22.01%
Šeštadienis	7852	5.10%	4806	5.76%
Sekmadienis	3319	2.16%	2226	2.67%
Iš viso	153825	100.00%	83382	100.00%

15 pav. Pakuočių ir unikalių gavėjų pasiskirstymas pagal savaitės dienas 2021 m. lapkričio mėn.

Žemiau 16 pav. nurodoma unikalių gavėjų ir paketų mėnesio vidutinis pasiskirstymas per kurjerį ir depą. Taip pat paskutiniuose keturiuose stulpeliuose matome 2021 m. lapkričio mėn. dienos vidutines vertes. Lyginant visos Lietuvos skaičius matome, kad vidutiniškai vienam kurjeriui per mėnesį tenka pristatyti 1202 pakuotes 742 unikaliems gavėjams. Per dieną vidutiniškai pristatoma po 25 unikalius gavėjus, bei 40 pakuočių. Tiesa, vidutinį skaičių stipriai sumažina savaitgalio pristatymai. Todėl norint skaičiuoti tikslesnes mėnesio ir dienos vertes būtų tikslinga savaitgalio pristatymus pašalinti iš skaičiavimų, kadangi matome, kad daugiausiai 2021 m. lapkričio mėn. unikalių gavėjų turėjo pristatyti Kauno kurjeris t.y. 60, tuo pačiu atiduodant 128 paketus.

Depas	Vidutinis unikalių gavėjų skaičius vienam kurjeriui per mėnesį	Vidutinis paketų skaičius vienam kurjeriui per mėnesį	Didžiausias paketų skaičius vienam kurjeriui per mėnesį	Didžiausias unikalių gavėjų skaičius kurjeriui per mėnesį	Vidutinis unikalių gavėjų skaičius vienam kurjeriui per dieną	Vidutinis paketų skaičius vienam kurjeriui per dieną	Didžiausias paketų skaičius kurjeriui per dieną	Didžiausias unikalių gavėjų skaičius vienam kurjeriui per dieną
Vilnius	762	1203	3010	2078	25	40	100	69
Kaunas	717	1208	3825	1821	24	40	128	61
Klaipėda	791	1263	3196	1773	26	42	107	59
Panevėžys	563	903	2363	1401	19	30	79	47
Šiauliai	946	1556	2119	1290	32	52	71	43
Iš viso	742	1202	3825	2078	25	40	128	69

16 pav. Siuntų pasiskirstymas pagal savaitės dienas 2021 m. lapkričio mėn.

3.1.2. Tyrimui atrinkto duomenų rinkinio žvalgomoji analizė

Kaip matome iš 17 pav. tyrimui buvo atrinkta 10 unikalių maršrutų. Maršrutai buvo atrinkti taip, kad būtų skirtingi pagal depus bei maršruto tipą. Sustojimų skaičius svyruoja nuo mažiausio skaičiaus Kaune 22 iki didžiausio – 25. Miesto maršrutai buvo atlikti didžiuosiuose Lietuvos miestuose Vilniuje, Kaune, Klaipėdoje, Šiauliuose, Panevėžyje. Rajono maršrutai parinkti tokie: Kaunas-Prienai-Alytus; Vilnius-Lentvaris-Trakai-Varėna-Šalčininkai; Klaipėda-Kretinga-Skuodas; Šiauliai-Akmenė-Mažeikiai; Panevėžys-Kupiškis-Rokiškis.

Depas	Maršruto tipas	Kurjerio ID	Sustojimai
Kaunas	Miestas	91017894	22
Kaunas	Rajonas	4001990	24
Klaipėda	Miestas	91059145	24
Klaipėda	Rajonas	91057783	23
Panevėžys	Miestas	91051850	24
Panevėžys	Rajonas	91058344	24
Šiauliai	Miestas	91055233	25
Šiauliai	Rajonas	91050719	25
Vilnius	Miestas	4004444	23
Vilnius	Rajonas	4000200	25
Iš viso			239

17 pav. Tyrime naudojamų duomenų rinkinio santrauka

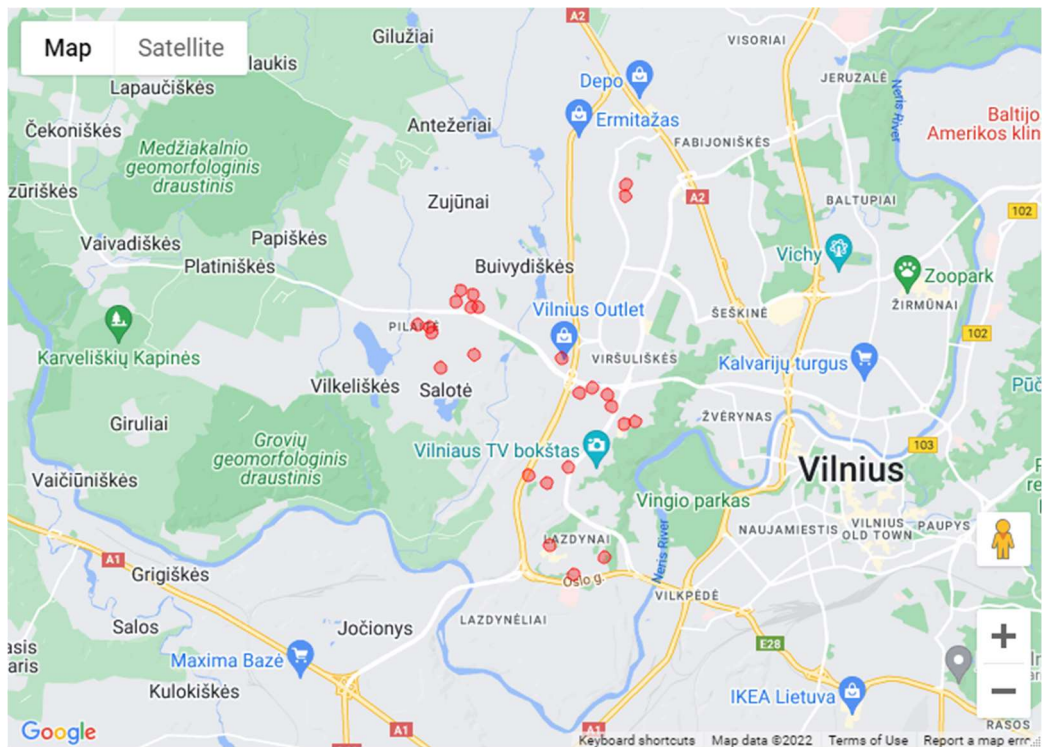
3.2. Tyrimas ir rezultatai

Kurjerio maršruto analizės ir optimizavimo tyrimas buvo pradėtas nuo maršrutų parinkimo, reikalingų duomenų apie maršrutą pasirinkimu ir jų tvarkymu. Duomenų tvarkymas apimė adresų ir pašto kodų validavimą bei geokodavimą. Geokodavimas reiškia, kai pristatymo adresai paverčiami į ilgumas ir platumas. Visi maršrutai, kurie buvo nuvažiuoti kurjerių, buvo analizuojami su R įrankio pagalba, rezultatai bei vizualizacijos išsaugomos. Vėliau tie patys maršrutai buvo optimizuojami taip pat su R programine įranga. Po optimizavimo duomenys apie maršrutų laikus ir atstumus taip pat buvo išsaugoti. Tada buvo lyginama abejais atvejais gautų maršrutų rezultatai, daromos išvalgos ir išvados, skaičiuojamos ekonominės naudos.

3.2.1. Tyrimo metodas ir eiga

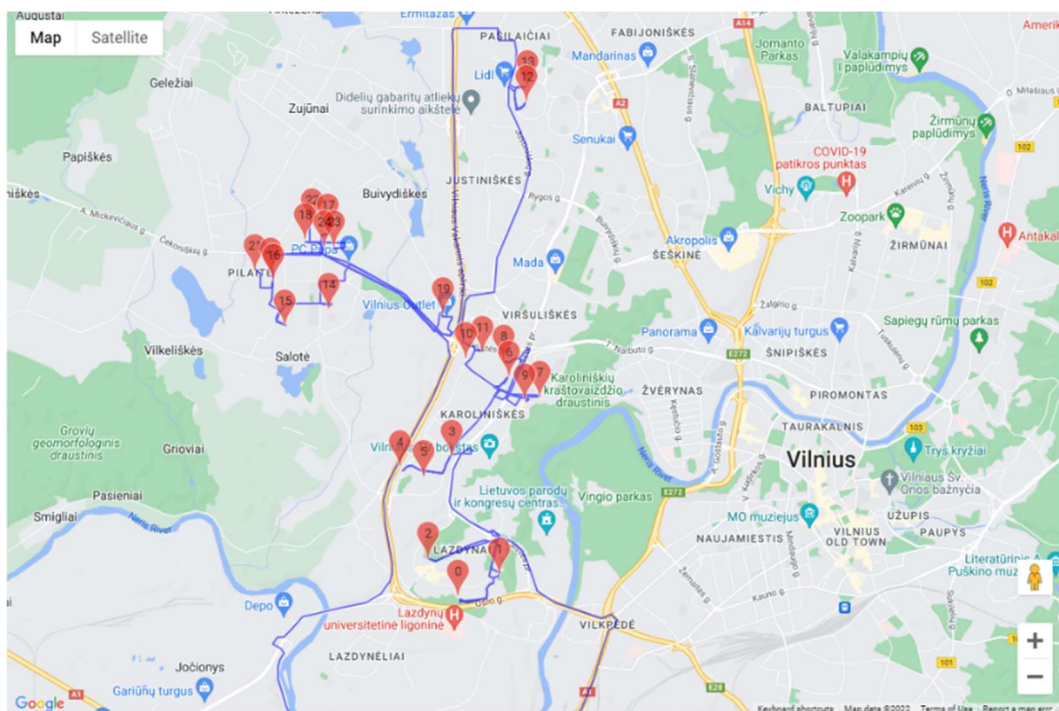
Žemiau pateikiama dviejų t.y. Vilniaus miesto ir Vilniaus rajono maršrutų analizė, optimizavimas ir rezultatai. Taip pat visų maršrutų gauti rezultatai ir jų palyginimas. Visų likusių maršrutų rezultatai ir vizualizacijos pateikiamos priedų skiltyje.

18 pav. pateikiamas pristatymo taškų vizualinis išdėstymas žemėlapyje. Vėliau 19 pav. atvaizduojamas kurjerio nuvažiuotas (neoptimizuotas) maršrutas per pristatymo vietas. 20 pav. pateikiamas vizualinis optimizuotas maršrutas ir jo eiliškumas. 1 lentelėje pateikiamas atitinkamai Vilniaus miesto ir Vilniaus rajono pristatymo vietų eiliškumas neoptimizuoto ir optimizuoto maršruto atvejais. Dėl asmens duomenų apsaugos, pristatymo adresai nurodomi ilgumos bei platumos reikšmėmis. 25 pav. nurodomi nuvažiuoti atstumai neoptimizuoto ir optimizuoto maršruto atvejais ir nuvažiuotų atstumų skirtumai ir laikai kai maršrutas optimizuotas ir neoptimizuotas. Taip pat pateikiami kiti palyginimai.



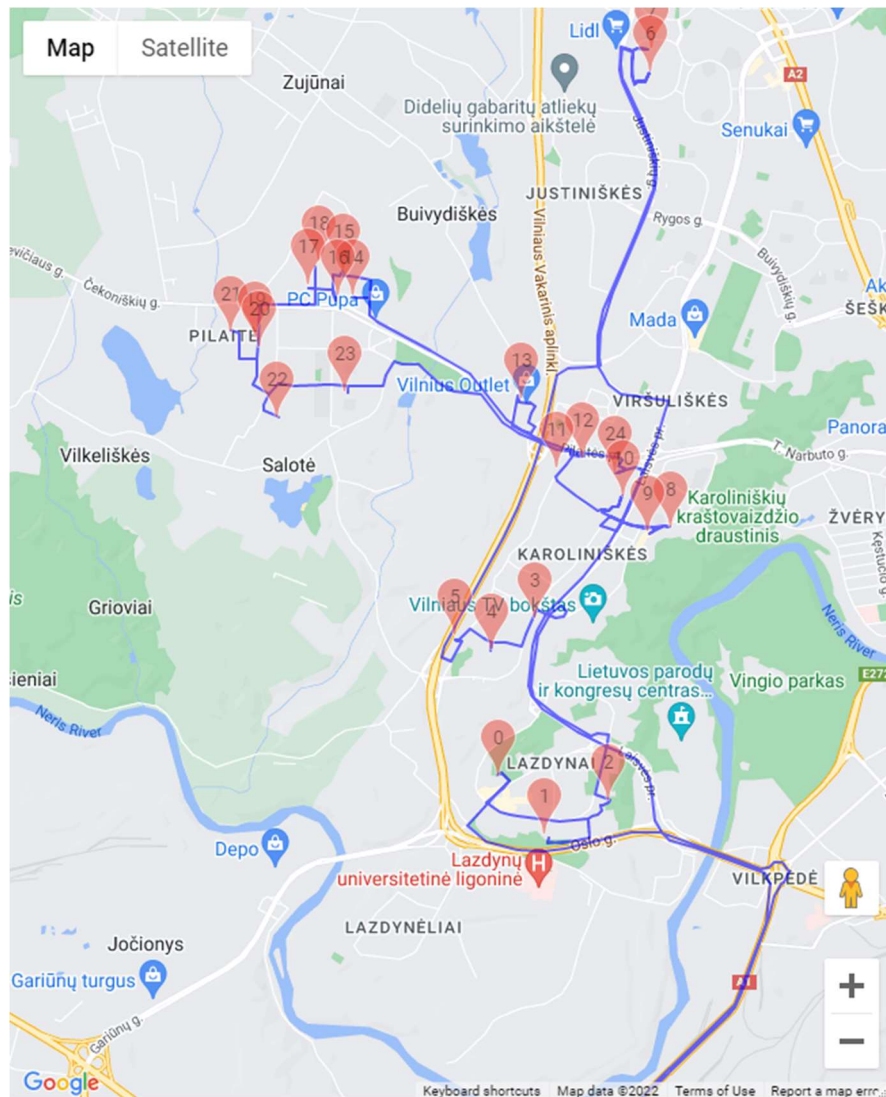
18 pav. Siuntų pristatymo vietas Vilniaus mieste

18 pav. matome Vilniaus miesto kurjerio, pristatomų taškų išsibarstymą žemėlapyje. Žiūrint į šį vaizdą, galima matyti, kuriuose šio kurjerio maršruto rajonuose yra daugiausiai pristatymų. Šiuo atveju matome, kad Pilaitės ir Karoliniškių mikrorajonuose didžiausia pristatymo taškų koncentracija, nes tai miegamieji Vilniaus rajonai. Visą šį kurjerio maršrutą galima priskirti B2C – (B2C angl. Business To Customer) segmentui, kai verslas pristato siuntas privatiems asmenims. Šiame rajone mažai įmonių.



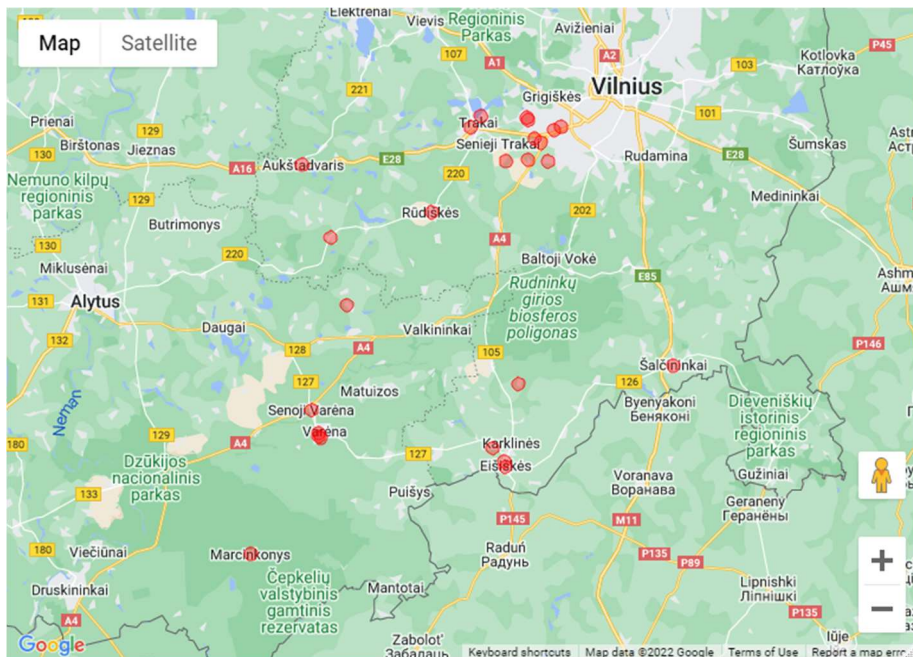
19 pav. Neoptimizuotas maršrutas Vilniaus mieste

19 pav. matome to paties Vilniaus kurjerio pristatymo taškus, tik jau su vaizduojamu siuntų pristatymo maršutu ir eiliškumu. Iš šio paveikslo galima matyti, kokia logika vadovaujasi kurjeris ir kaip važiuoja aptarnaudamas klientus. Matome, kad siuntų pristatymą pradeda nuo Lazdynų mikrorajono, toliau darbą tęsia Karoliniškių mikrorajone, o didžiąją dalį siuntų pabaigoje įteikia Pilaitės mikrorajone.



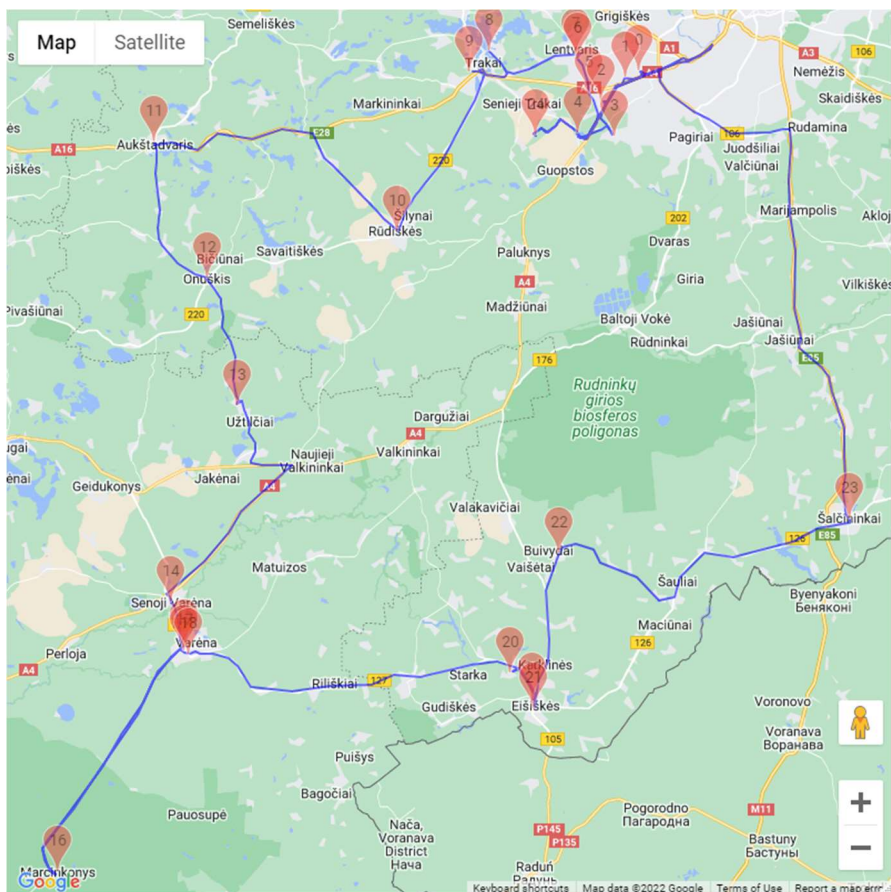
20 pav. Optimizuotas maršrutas Vilniaus mieste

20 pav. vaizduojamas matematinio algoritmo optimizuotas maršrutas. Dabar sunku būtų pasakyti, kodėl (19 pav.) kurjeris rinkosi tokį maršrutą, bet akivaizdu, kad matematinis algoritmas siūlo važiuoti kitu eiliškumu. Vieną kaip iš didesnių skirčių galima įžvelgti tai, kad 2 toliausiai nutolusius taškus Pašilaičių mikrorajone algoritmas siūlo pristatyti daug anksčiau t.y. 6, 7 numeriu, nei kad pristatė kurjeris – 12, 13 numeriais. Daugiau kitų pristatymo taškų eiliškumas panašus, Pilaitės mikrorajonas lieka paskutiniais aptarnautais taškais. Algoritmo siūlomas maršrutas yra 11,2 km. trumpesnis ir 26 minutėmis greitesnis. Tai detaliau aprašoma sekančiuose skyriuose.



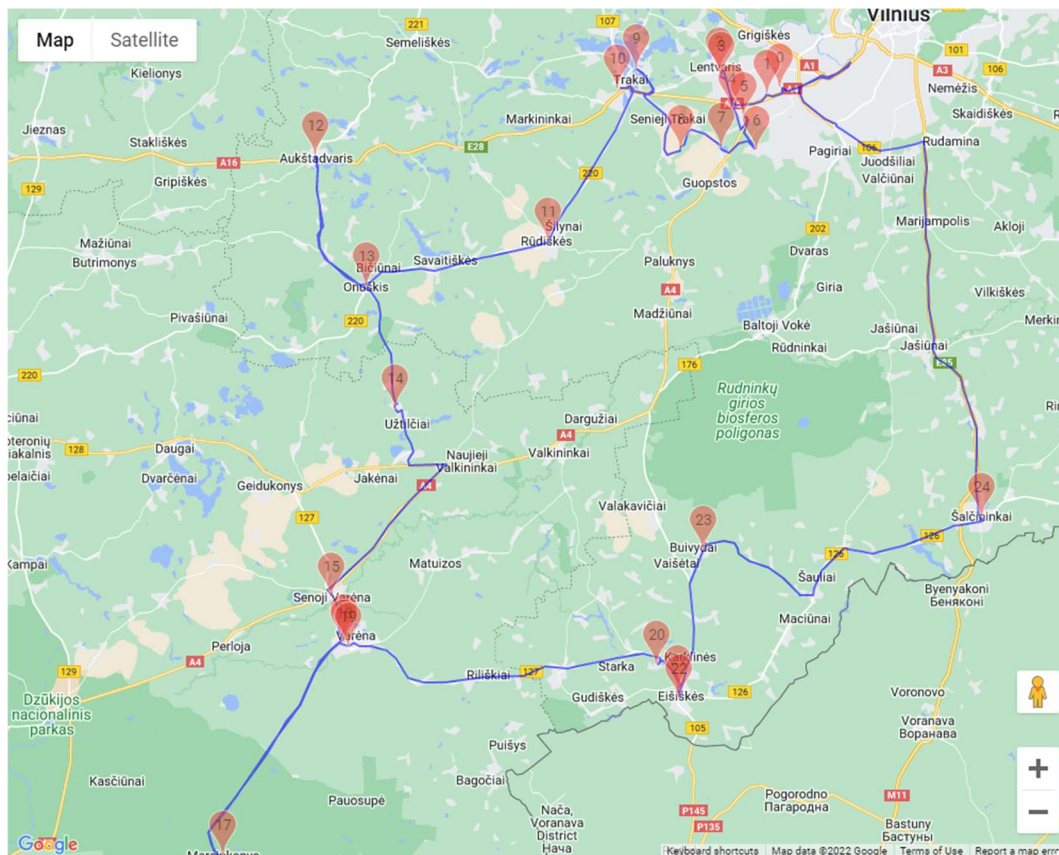
21 pav. Siuntų pristatymo vietos Vilniaus rajone

21 pav. matome informaciją analogiškai kaip 18 pav. – tai yra Vilniaus raj. kurjerio pristatymo taškų išsibarstymas. Didžioji pristatomų taškų dalis apima Trakus ir Lentvarį. Visi kiti po 1 ir 2 taškus išsibarstę po Šalčininkus, Eišiškes, Varėna ir kitas mažas gyvenvietes-kaimus. Šis maršrutas yra labai neekonimiškas, kadangi kurjeris kasdien turi apvažiuoti po 400 km. aplankant po 1-2 unikalius gavėjus išsidėsčiusius ne tik toli nuo Vilniaus, bet ir vienas nuo kito.



22 pav. Neoptimizuotas maršrutas Vilniaus rajone

22 pav. matome Vilniaus raj. kurjerio važiuotą maršrutą, o 23 pav. matome tą patį maršrutą tik jau optimizuotą. Tiesa, šis maršrutas tyrimo metu buvo nustatytas kaip vienas iš dviejų geriausių tirtų maršrutų, kadangi po optimizavimo jis sutrumpėjo 27,4 km. ir 25 min. ir buvo sutrumpintas laiko ir atstumo atžvilgiu ~10%. Žiūrėdami į abu paveikslus galime matyti, kad pristatymo taškų eiliškumas labai panašus tarp kurjerio maršruto ir alogirtmo optimizuoto maršruto.



23 pav. Optimizuotas maršrutas Vilniaus rajone

Toliau darbe pateikiami kiti su šia analizę susiję rezultatai, tokie kaip siuntų pristatymo eiliškumas su koordinatėmis 1 lentelė, bei atstumų ir laiko skirtumai 24 pav.

1 lentelė. Vilniaus miesto ir rajono maršruto taškų pristatymo eiliškumas

Miesto kurjeris				Rajono kurjeris			
Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma	Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma
1	0	54.671618	25.2088602	0	0	54.631713	25.127683
2	1	54.6741485	25.2167578	1	1	54.627211	25.111244
0	2	54.675872	25.2029103	5	2	54.610174	25.08008
3	3	54.6873512	25.2075768	6	3	54.584799	25.096982
5	4	54.6861794	25.1974956	7	4	54.587318	25.051045
4	5	54.685143	25.2020749	4	5	54.616147	25.065676
10	6	54.6964389	25.218737	3	6	54.640623	25.051209
8	7	54.6940511	25.2246517	2	7	54.643823	25.048587
24	8	54.6980936	25.2177161	9	8	54.646208	24.941498
9	9	54.6937798	25.2219029	10	9	54.630823	24.917223
11	10	54.6983682	25.2103763	11	10	54.516433	24.827642
12	11	54.6990723	25.2137083	12	11	54.580717	24.526659
6	12	54.7273618	25.2221753	13	12	54.482639	24.592384
7	13	54.7291254	25.2222877	14	13	54.391263	24.629947
23	14	54.704021	25.1836209	15	14	54.249074	24.548066
22	15	54.7021072	25.1750303	16	15	54.217918	24.564612
20	16	54.707258	25.1727613	17	16	54.053577	24.406916
15	17	54.7129282	25.1833894	18	17	54.213488	24.564486
17	18	54.7117997	25.1789684	19	18	54.211517	24.568935
13	19	54.703457	25.205852	21	19	54.17968	24.994621
19	20	54.70796	25.1721989	20	20	54.197398	24.968327
21	21	54.7084364	25.169222	22	21	54.171971	24.997308
18	22	54.7134589	25.180255	23	22	54.28441	25.027925
14	23	54.711032	25.1846065	24	23	54.309269	25.387531
16	24	54.7109846	25.1827542	8	24	54.585637	24.999731

1 lentelėje pateikiami duomenys, koku eiliškumu ir kokiomis koordinatėmis važiavo kurjeriai mieste ir rajone, bei pateikiami adresų lankymo eiliškumai neoptimizuoto maršruto atveju ir po optimizavimo.

Maršrutas	Depas	Neoptimizuotas atstumas (km)	Optimizuotas atstumas (km)	Atstumo skirtumas (km)	Neoptimizuotas laikas (min)	Optimizuotas laikas (min)	Laiko skirtumas (min)	Atstumo skirtumas, %	Laiko skirtumas, %
Miestas	Vilnius	59.3	48.1	11.2	145.0	119.0	26.0	23.3%	21.8%
Rajonas	Vilnius	359.7	332.3	27.4	380.0	355.0	25.0	8.2%	7.0%
Iš viso		419.0	380.4	38.6	525.0	474.0	51.0	10.1%	10.8%

24 pav. Vilniaus miesto ir rajono maršrutų rezultatai

Kaip matome iš 24 pav. jame pateikiami duomenys apie Vilniaus kurjerių tirtus maršrutus. Vienas maršrutas Vilniaus mieste, kitas Vilniaus rajone. Abejais atvejais matome, kad po maršruto optimizavimo rezultatai yra teigiami t.y. pavyko sumažinti nuvažiuotus kilometrus ir važiuotą laiką. Kaip matome miesto kurjerio maršrutą pavyko sutrumpinti 11,2 km, kas sudaro 23,3%. Laiko atžvilgiu maršrutą pavyko sutrumpinti 26 minutėmis, kas yra 21,8%. Žiūrint rajono maršruto rezultata, optimizuojant maršrutą, nuvažiuotą atstumą pavyko sumažinti 27,4 km, tačiau tai sudaro 8,2%. Tačiau rezultatas tenkinantis. Laiko atžvilgiu, rajono maršrutą pavyko sutrumpinti panašiai kaip ir miesto t.y. 25 minutėmis, kas sudarė 7 % užmiesčio rajono nuvažiuoto laiko maršrute.

Dabar kalbame tik apie du Vilniaus miesto ir rajono maršrutus. Abejais atvejais po optimizavimo pavyko sumažinti maršruto atstumą ir laiką. Bendrai maršrutai buvo sutrumpinti 38,6 km ir sutaupyta 51 minutė darbo laiko, kas išvertus procentiniais punktais sudarytų atitinkamai 10,1% ir 10,8%.

Šis pavyzdys aprašo, kaip buvo analizuojami ir optimizuojami maršrutai. Toliau pateikiama visų tirtų maršrutų duomenys, rezultatai, įžvalgos.

Maršrutas	Depas	Neoptimizuotas atstumas (km)	Optimizuotas atstumas (km)	Atstumo skirtumas (km)	Neoptimizuotas laikas (min)	Optimizuotas laikas (min)	Laiko skirtumas (min)	Atstumo skirtumas, %	Laiko skirtumas, %
Miestas	Kaunas	84.9	65.6	19.3	144.0	105.0	39.0	29.4%	37.1%
Rajonas	Kaunas	196.2	192.0	4.2	200.7	194.0	6.7	2.2%	3.5%
Miestas	Klaipėda	38.7	25.2	13.5	106.0	72.0	34.0	53.6%	47.2%
Rajonas	Klaipėda	374.8	263.0	111.8	379.0	266.0	113.0	42.5%	42.5%
Miestas	Panevėžys	81.7	59.6	22.1	140.0	118.0	22.0	37.1%	18.6%
Rajonas	Panevėžys	435.4	321.6	113.8	428.0	329.0	99.0	35.4%	30.1%
Miestas	Šiauliai	65.3	37.1	28.2	159.0	97.0	62.0	76.0%	63.9%
Rajonas	Šiauliai	290.0	257.0	33.0	312.0	284.0	28.0	12.8%	9.9%
Miestas	Vilnius	59.3	48.1	11.2	145.0	119.0	26.0	23.3%	21.8%
Rajonas	Vilnius	359.7	332.3	27.4	380.0	355.0	25.0	8.2%	7.0%
Iš viso		1986.0	1601.5	384.5	2393.7	1939.0	454.7	24.0%	23.5%

25 pav. Išanalizuotų ir optimizuotų maršrutų rezultatai

Žiūrint į 25 pav. galima matyti visų analizuotų bei optimizuotų maršrutų duomenis ir gautus rezultatus. Iš karto dėmesį atkreipia Klaipėdos ir Panevėžio r. maršrutai. Optimizavus šiuos maršrutus buvo pasiektas geriausias rezultatas. Atitinkamai Klaipėdos ir Panevėžio rajono maršrutai buvo sutrumpinti 111,8 ir 113,8 kilometro, kas yra labai dideli skaičiai žinant, jog tai vienos dienos ir vieno kurjerio nuvažiuotų kilometrų skaičius. Laiko atžvilgiu šie maršrutai galėjo būti nuvažiuoti daug greičiau. Klaipėdos rajono maršrutas sutrumpintas 113 min, kas yra beveik dvi valandos, o Panevėžio rajono – 99 minutėmis, kas yra pusantros valandos. Tiesa, tokie dideli skaičiai gaunami, nes šie du maršrutai pasižymi labai dideliu klientų aptarnavimo spinduliu. Tačiau skaičiai puikiai parodo, kad jei kurjeris važiuoja sau įprastu maršrutu, jis ne visada būna optimaliausias. Baigiant apie šiuos du maršrutus taip pat svarbu paminėti, kad Klaipėdos r. maršrutas, nuvažiuoto atstumo atžvilgiu sumažėjo 42,5%, o Panevėžio r. 35,4%, o laikas sutrumpėjo atitinkamai 42,5% Klaipėdos r., o Panevėžio r. net 63,9%. Analizuojant Klaipėdos miesto kurjerio maršrutą procentinis skirtumas dar didesnis nei Klaipėdos rajono maršruto. Klaipėdos miesto maršruto optimizuotas maršrutas parodė 53,6% trumpesnę nuvažiuotą atstumą ir 47,2% trumpesnę važiuoto laiką. Remiantis procentinės išraiškos rezultatais galima teigti, kad Klaipėdos miesto, bei Klaipėdos ir Panevėžio r. kurjeriai yra trys neoptimaliausiai dirbantys kurjeriai, kurie įmonei didina išlaidas.

Dar vienas labai dėmesį patraukiantis rezultatas yra Šiaulių miesto maršrutas. Nors dienos eigoje Šiaulių miesto kurjeris nenuvažiuoja ilgų distancijų, tačiau optimizavus šį maršrutą nuvažiuotą atstumą galima sumažinti 76,0 procentais, o laiką – 63,9 %.

Verta išskirti du kurjerio maršrutus. Tai yra Kauno ir Vilniaus rajonų maršrutai. Šių maršrutų procentinis pokytis po optimizavimo buvo pats mažiausias. Galima teigti, kad šie kurjeriai dirba tikrai

gerai ir optimaliai. Kauno r. maršrutas po optimizavimo sutrumpėjo tik 2,2%, kas sudaro tik 4,2 km, o Vilniaus r. kurjerio maršrutas po optimizavimo sutrumpėjo 8,2% kas sudarė 27,4 km, bei buvo 27 minutėmis trumpesnis. Dėl Vilniaus r. svarbu paminėti, jog šis maršrutas taip pat priklauso tokiai pat maršrutų kategorijai, kurioje yra labai didelis klientų aptarnavimo spindulys, kaip prieš tai aprašytuose Panevėžio ir Klaipėdos r. maršrutuose. Todėl tikrai galima teigi, kad šis Kauno r. kurjeris dirba gerai.

Taigi, kalbant apie bendrą sumini maršruto distancijos ir laiko sutrumpinimą galima pasidžiaugti, jog analizuojant šiuos maršrutus buvo suskaičiuota, kad iš viso šie 10 kurjerių nuvažiavo 1986 km per vieną dieną. Optimizavus visus maršrutus, buvo bendras atstumas sumažinas iki 1601,5 km ir sutrumpėjo 384,5 km. Visus neoptimalius važiuotus kilometrus kurjeriai užtruko nuvažiuoti 2394 minutes, o optimizavus važiavimo laikas sumažėjo iki 1939 minučių ir sudarė 455 minučių skirtumą. O tiek minučių sudaro 7,5 valandos, kas teoriškai reikštų beveik pilna darbo dieną vienam žmogui. Taigi iš gautų rezultatų galima sakyti, kad vidutiniškai kiekvieną kurjerio maršruto nuvažiuotą distanciją galėtume sumažinti 24 %, o tai sutapytų ir 23,5 % darbo dienos laiko, kas praktikoje reikštų, kad būtų galima didinti kurjerio darbo našumą ir apkrovimą arba gerinti kliento aptarnavimo kokybę, skiriant tam daugiau laiko.

Depas	Neoptimizuotas atstumas (km)	Optimizuotas atstumas (km)	Atstumo skirtumas (km)	Neoptimizuotas laikas (min)	Optimizuotas laikas (min)	Laiko skirtumas (min)	Atstumo skirtumas, %	Laiko skirtumas, %
Kaunas	2,248.8	2,060.8	188.0	2,757.6	2392.0	365.6	9.1%	15.3%
Klaipėda	3,308.0	2,305.6	1,002.4	3,880.0	2704.0	1,176.0	43.5%	43.5%
Panevėžys	4,136.8	3,049.6	1,087.2	4,544.0	3576.0	968.0	35.7%	27.1%
Šiauliai	2,842.4	2,352.8	489.6	3,768.0	3048.0	720.0	20.8%	23.6%
Vilnius	3,352.0	3,043.2	308.8	4,200.0	3792.0	408.0	10.1%	10.8%
Iš viso	15,888.0	12,812.0	3,076.0	19,149.6	15512.0	3,637.6	24.0%	23.5%

26 pav. Teorinis visų maršrutų rezultatų modeliavimas

26 pav. pateiktas teorinis vienos dienos visų kurjerių Lietuvoje nuvažiuotas atstumas pagal depus. Taip pat ir sumodeliuoti galimi vidutiniai distancijų ir laiko sutrumpinimai. Kadangi ištirta 10 unikalių maršrutų, o per vieną dieną vidutiniškai važiuoja 80 kurjerių, tai tyrimo metu gautos reikšmės buvo padaugintos 8 kartus. Taigi, iš rezultatų matome, kad per vieną dieną teoriškai būtų galima nuvažiuoti 3076 km mažiau ir trumpinti važiavimo laiką 3638 minučių, kas yra 60 valandų.

Remiantis Žemės ūkio informacijos ir kaimo verslo centro valstybės įmonės duomenimis, pateiktais Lietuvos žemės ūkio ir maisto produktų rinkos informacinės sistemos portale, 2021m. lapkričio mėnesio dyzelino kaina Lietuvos rinkoje, didmeninėje prekyboje buvo 1,264 EUR/l.¹⁹

Galima skaičiuoti, kad vidutiniškai kurjeris šimtui kilometrų nuvažiuoti sunaudoja 8 ltr. dyzelinio kuro. Įvertinus sutapytus kilometrus ir automobilio suvartojamą kurą, galima teigti, kad įmonė per dieną gali sutaupyti 246 ltr dyzelino, o tai sudaro apie 311 EUR pagal to laiko dyzelinio kuro kainas. Jei skaičiuotume per mėnesį vidutiniškai išdirbtą 21 darbo dieną, tuomet per mėnesį įmonė teoriškai galėtų sumažinti sunaudotą kurą 5166 litrais ir sutaupyti 6531 EUR. Teoriškai per metus įmonė kurui galėtų sutaupyti 78 372 EUR, kas reikią miližinišką sumą.

Kalbant apie sutauptą laiką galima taip pat paminėti, kad teoriškai per mėnesį visi 80 Lietuvos kurjerių bendrai sutaupyti 1273,16 darbo valandų, o per metus – daugiau nei 15 000 darbo valandų. Jei skaičiuojant, kad vidutiniškai kurjeris uždirba į rankas 1000 – 1100 EUR, tai valandinis atlyginimas būtų 5,5 EUR/h. Tai per metus įmonė teoriškai permoka 82 500 EUR darbo užmokesčiui į rankas ir, žinoma, dar prisideda mokesčiai valstybei.

¹⁹ <https://www.vic.lt/zumpris/2021/11/18/degalu-kainos-lietuvos-rinkoje-2021-m-46-savaite/>

Sudėjus kuro ir darbo užmokesčio sutaupymą per metus bendras sutaupymas siekia 160 872 EUR. Toks ženklus sutaupymas per metus įmonei tikrai būtų reikšmingas, kas labai rimtai priverstų pagalvoti apie maršrutų optimizavimo sistemos diegimą bei sinchronizavimą su esama sistema. Nors ir skaičiavimai yra paprasti ir apimta tik pristatomų siuntų taškus, nėra įvertinama daugybė kitų įtakančių faktorių, tokių kaip siuntų surinkimas iš gavėjų, paštomatų aptarnavimas, negalėjimas pristatyti siuntos ir t. t.. Tačiau nors jei ir ketvirtadalis sumos būtų įmanoma sutaupyti per metus, įmonei tikrai būtų didelė paspartis priimti sprendimus apie maršrutų optimizavimo sistemos įdiegimą. Žinoma, toliau galima atlikti tyrimus kas kartą įtraukiant papildomus faktorius, tokius kaip siuntų surinkimas, sustojimai prie paštomatų ir stebėti, kaip keičiasi rezultatas. Ar jis gerėja ar blogėja, o gal išlieka toks pat. Bet kuriuo atveju labai didelė tikimybė, kad kuo daugiau faktorių bus įtraukta į tyrimą, tuo tikslesnis rezultatas bus gautas ir, žinoma, rezultatas būtų tik teigiamas.

Kilometražas:

Pasirinkite automobilį

[Nustatyti iš naujo](#)

arba įveskite naudingumo koeficientą

Apskaičiuokite ir pridėkite prie pėdsako

Bendras Automobilis pėdsakas= 160.62 tonų CO₂ **Kompensuoti dabar**

160.62 tonos: 775152 km su Average Car Diesel Car Large diesel car above 2.0 litre average value [\[pašalinti\]](#)

27 pav. CO₂ išmetimo apskaičiavimo pagal tirtus duomenis pavyzdys

Tęsiant temą apie nuvažiuoto atstumo sumažinimą labai svarbu paminėti, kad sumažinus nuvažiuotą distanciją, sumažinamas ir sudeginamo kuro kiekis. O sumažinus deginamo dyzelinio kuro kiekį, sumažinama ir išmetamų CO₂ kiekis bei mažinama aplinkos ir oro tarša. Taigi, remiantis automobilių išmetamų CO₂ kiekio skaičiuokle²⁰ vidutiniškai dyzeliniam mikroautobusui skaičiuojamas 240,17 g/km išmetamų CO₂ kiekis. Per metus vidutiniškai 80 kurjerių sutrumpintų savo maršrutus apie 775 152 km, o tai reiškia į atmosferą neišmestų papildomų 160,62 tonų kenksmingo CO₂ mišinio kaip nurodyta (27 pav.).

²⁰ <https://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx?lang=lt&tab=4>

Išvados

1. Darbe išanalizuota šių dienų Lietuvos skubių siuntų bendrovės, su kokiais iššūkiais susiduria ir kaip juos sprendžia. Literatūros apžvalgoje apžvelgti ir analizuoti veikiančių skubių siuntų bendrovių modeliai, kurie įprasti Lietuvos rinkoje ir kitokie modeliai, kurie būtų sėkmingi versle, sunkiai įsivaizduojami. Dalis literatūros apžvalgos mus nukelia į netolimą ateitį, kada siuntos Lietuvoje bus pristatomos autonominiemis transporto priemonėmis ir bepiločiais orlaiviais.
2. Literatūros Ažapžvalgoje išanalizuota daug įvairios medžiagos, knygų, straipsnių, publikacijų ir kitų darbų maršrutų optimizavimo temomis. Nuo senų laikų ši problema labai aktuali ir sprendimų tam ieškota senai.
3. Dažniausiai mokslinė literatūra apie maršrutų optimizavimą ir trumpiausio kelio paiešką apima VRP ir TSP. Maršruto sudarymo ir keliaujančio pirklio problemos yra seniausios ir jos visada pateikiamos kaip pagrindas, pradedant spręsti šį matematiškai sunkų uždavinį. VRP aprašo visas įmanomas trumpiausio maršruto sudarymo problemas, atsirandančias šiuolaikinėje transporto ir logistikos šakoje, kurios apima ne tik skubias siuntas. TSP aprašo sprendimo būdus bei pateikia juos skirtingus, nes kiekvienai problemai išspręsti, skirtingas algoritmas gali pateikti kitokius, geresnius rezultatus.
4. Apžvelgta daug VRP problemų variantų, bei TSP siūlomų algoritmų. Ne visos VRP pritaikomos skubioms siuntoms. Tarkime periodinis VRP – PVRP tikrai nepritaikomas skubių siuntų bendrovėms, kadangi skubios siuntos reguliariai nepristato produkcijos ar prekių iš savo sandėlių klientui. Problema būtų galima prilyginti atvejui, kada vienas klientas reguliariai siunčia siuntas gavėjui, o skubios siuntos yra tarpininkas pervežant siuntas.
5. Kalbant apie TSP, reikėtų atlikti ne vieną bandymą su skirtingais algoritmais, kad išsiaiškinti, kuris tinkamiausias tirti kurjerio maršrutą su turimomis sąlygomis. Analizuojant literatūrą ir algoritmus Dijkstros algoritmas pateikiamas kaip tinkamiausias iš visų algoritmų, ieškant trumpiausio kelio. Šis algoritmas dažniausiai naudojamas tokiems tyrimams ir analizei.
6. Ištyrus atsitiktinius 10 kurjerių maršrutų, vidutiniškai kiekvienas iš jų buvo optimizuotas 25%. Šis skaičius sumažino ne tik kurjerio nuvažiuotą atstumą bei ir sutrumpino laiką. Tai labai iškalbingas rezultatas, kuris priverčia galvoti, kaip kurjeris važiuoja, kaip renkasi maršrutą, kaip mąsto ir kaip elgiasi važiavimo metu. Tyrimas parodė, kad kurjerio parinktas maršrutas nėra optimaliausias.
7. Atlikus tyrimą ir analizuojant rezultatus buvo nustatyta, kurie kurjerių maršrutai važiuoti neoptimaliai, o kurie nuvažiuoti maršrutai beveik prilygo optimizuotiems. Vienas iš analizuotų Šiaulių miesto maršrutų, po optimizavimo parodė netikėtai gerą rezultatą – 76% sutrumpinta distancija ir važiavimo laikas. Tiesa, toks teigiamas rezultatas suskaičiuotas, nes šiame maršrute nuvažiuojama nedaug kilometrų, ir nedidelis skaičius sutaupyto kilometrų parodė tokį rezultatą. Geriausią rezultatą parodė Kauno r. maršrutas, Kaunas – Alytus, kurį pavyko optimizuoti tik 2,2% sutrumpinant jį tik 4,2km.
8. Apibendrinant rezultatus buvo modeliuojama, kiek optimizavus maršrutus būtų galima vidutiniškai sutaupyti per dieną, per mėnesį ir per metus. Gauti skaičiai parodė, kad maršrutų

optimizavimas gali būti didelis žingsnis į įmonės pelno augimą, klientų aptarnavimo kokybės augimą, taupymą bei oro taršos mažinimą. Analizuojant tokius tyrimo rezultatus, galima teigti, kad 25% sutaupymas įmonei atneštų didelės naudos, bet jei rezultatas būtų nors 5%, tai vistiek būtų didelė priežastis, siekiant investuoti į maršrutų sudarymo ir optimizavimo sistemas.

9. Tyrimas ir analizė buvo supaprasti ir buvo analizuojami maršrutai, kurie turėjo nuo 22 iki 25 unikalių sustojimų. Taip pat tyrime nebuvo įtraukti sustojimai, paimant siuntas iš klientų, nebuvo įtraukti sustojimai prie paštomatų ar kiti faktoriai, tokie kaip klientų aptarnavimo laikas, ar paėmimo laikas. Tačiau galima teigti, kad įtraukus trūkstantis faktorius į tyrimą, analizė pasidarytų kompleksiškesnė ir tikslesnė. Taip pat svarbu paminėti, kad šie gauti rezultatai nėra tinkami ir pritaikomi visoms siuntų bendrovėms.
10. Svarbu, kad studijų metu įgytas žinias buvo galima panaudoti atlikti šiam tyrimui, susijusiam su logistika. Didžioji dalis transporto įmonių Lietuvoje neskiria jokio dėmesio kurjerių maršrutų analizei ir optimizavimui.

Literatūros sąrašas

1. Ph.D. Henrik Ballebye Okholm, et al. *Main Developments in the Postal Sector (2013-2016) Study for the European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs*. Luxembourg: Publications Office of the European Union: EUROPEAN COMMISSION, 2018.
2. Jacek Karcz and Beata Slusarczyk. Improvements in the Quality of Courier Delivery. *International Journal for Quality Research*, Jan 01, 2016, vol. 10, no. 2. pp. 355-372. Available from: <https://search.proquest.com/docview/2555370725> Publicly Available Content Database. ISSN 1800-6450. DOI 10.18421/IJQR10.02-08.
3. ELVEBAKK, B., NÆVESTAD, T. and LAHN, L.C. Hybrid Route Choice Model Incorporating Latent Cognitive Effects of Real-Time Travel Information using Physiological Data. *Transportation Research. Part F, Traffic Psychology and Behaviour*, 2020, vol. 81. pp. 223-239. Available from: <https://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2021.05.021> CrossRef. ISSN 1369-8478. DOI 10.1016/j.trf.2021.05.021.
4. KAWA, A. Smart and Sustainable Supply Chain and Logistics – Trends, Challenges, Methods and Best Practices Cham: Springer International Publishing, Jan 01, 2020 *Out-of-Home Delivery as a Solution of the Last Mile Problem in E-Commerce*, pp. 25-40. Available from: <https://library.biblioboard.com/viewer/46238892-3db0-11eb-a885-0a9b31268bf5> ISBN 9783030619466. DOI 10.1007/978-3-030-61947-3_2.
5. Giovanni Buzzega Stefano Novellani. *Last Mile Deliveries with Lockers: Formulations and Algorithms*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-021-06592-6>: Springer Nature, Jan 27, 2022.
6. MUHAREMOVIĆ, E., ČAUŠEVIĆ, S., KOSOVAC, A. and BARAKOVIĆ HUSIĆ, J. Cost and Performance Optimisation in the Technological Phase of Parcel Delivery – A Literature Review. *Promet*, Feb 1, 2021, vol. 33, no. 1. pp. 129-139. Available from: <https://hrcak.srce.hr/253190> CrossRef. ISSN 0353-5320. DOI 10.7307/ptt.v33i1.3439.
7. Matthias Winkenbach. *The Analytics Revolution in LAST-MILE Delivery*. Framington: Peerless Media, May 1, 2018 Available from: <https://search.proquest.com/docview/2037012044> ABI/INFORM Global (Corporate). ISBN 1521-9747.
8. Holger Winklbauer. *Cross-Border E-Commerce Shopper Survey 2017 2018 Market Intelligence*. Avenue du Bourget 44 1130 Brussels, Belgium: Holger Winklbauer, 2018 Available from: <https://www.ipc.be/-/media/documents/public/markets/2018/ipc-cross-border-e-commerce-shopper-survey2017.pdf>.
9. Vilma Grigaliūnienė. 2021 M. Iv Ketvirčio Pašto Paslaugos Teikimo Veiklos Ataskaita. www.rtt.lt: LIETUVOS RESPUBLIKOS RYŠIŲ REGULIAVIMO TARNYBA STRATEGIJOS DEPARTAMENTAS EKONOMINĖS ANALIZĖS SKYRIUS, Mar 30, 2022.
10. VAN DUIN, J.H.R., et al. Smart Method for Self-Organization in Last-Mile Parcel Delivery. *Transportation Research Record*, Apr, 2021, vol. 2675, no. 4. pp. 260-270. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0361198120976062> ISSN 0361-1981. DOI 10.1177/0361198120976062.

11. WANG, Y. Research Review of Green Vehicle Routing Optimization. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, Jan 01, 2021, vol. 632, no. 3. pp. 32031. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/632/3/032031> CrossRef. ISSN 1755-1307. DOI 10.1088/1755-1315/632/3/032031.
12. EL-ADLE, A.M., GHONIEM, A. and HAOUARI, M. Parcel Delivery by Vehicle and Drone. *The Journal of the Operational Research Society*, Feb 1, 2021, vol. 72, no. 2. pp. 398-416. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01605682.2019.1671156> CrossRef. ISSN 0160-5682. DOI 10.1080/01605682.2019.1671156.
13. HUANG, H., SAVKIN, A.V. and HUANG, C. A New Parcel Delivery System with Drones and a Public Train. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Jun 25, 2020, vol. 100, no. 3-4. pp. 1341-1354. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10846-020-01223-y> CrossRef. ISSN 0921-0296. DOI 10.1007/s10846-020-01223-y.
14. ALDATMAZ, B., et al. Digital Conversion on the Way to Industry 4.0 Cham: Springer International Publishing, Jan 01, 2020 *Parcel Delivery Service Quality Assessment*, pp. 975-988. Available from: <https://library.biblioboard.com/viewer/22cb3fab-64ff-11eb-a0a3-0a9b31268bf5> ISBN 3030627837. DOI 10.1007/978-3-030-62784-3_81.
15. GEDIMINAS, B. *Paslaugu Kokybes Vertinimas*.
16. LIU, S., HE, L. and SHEN, Z.M. On-Time Last-Mile Delivery: Order Assignment with Travel-Time Predictors. *Management Science*, Jul, 2021, vol. 67, no. 7. pp. 4095-4119. Available from: <https://search.proquest.com/docview/2557546389> CrossRef. ISSN 0025-1909. DOI 10.1287/mnsc.2020.3741.
17. KNAUER, U. and KNAUER, K. *Algebraic Graph Theory*. 2nd edition ed. Berlin ; Boston: De Gruyter, 2019 ISBN 3110616122.
18. ITO, M. and HIRABAYASHI, R. Applications of the Conti-Traverso Algorithm for Traveling Salesman Problems (Mathematical Optimization Theory and its Algorithm). *数理解析研究所講究録*, Dec 01, 2001, vol. 1241, no. 2092. pp. 75-83 NDL 雜誌記事索引. ISSN 1880-2818.
19. KAJA, S.C. *A New Approach for Solving the Disruption in Vehicle Routing Problem during the Delivery : A Comparative Analysis of VRP Meta-Heuristics*. Blekinge Tekniska Högskola, Institutionen för datavetenskap, 2020 Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=#61;urn:nbn:se:bth-19576>.
20. ALPASLAN TAKAN, M. and KASIMBEYLI, R. Multiobjective Mathematical Models and Solution Approaches for Heterogeneous Fixed Fleet Vehicle Routing Problems. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 2017, vol. 13, no. 5. pp. 2073. Available from: <https://search.proquest.com/docview/2563495588> CrossRef. ISSN 1553-166X. DOI 10.3934/jimo.2020059.
21. BORCINOVA, Z. Two Models of the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Croatian Operational Research Review*, Jan 01, 2017, vol. 8, no. 2. pp. 463-469. Available from: <https://search.proquest.com/docview/2002986910> CrossRef. ISSN 1848-0225. DOI 10.17535/crorr.2017.0029.
22. KALLEHAUGE, B., LARSEN, J., MADSEN, O.B.G. and SOLOMON, M.M. *Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Springer-Verlag, -03, 2006 DOI 10.1007/0-387-25486-2_3.

23. GALINDRES-GUANCHA, L.F., TORO-OCAMPO, E.M. and GALLEGO- RENDÓN, R.A. Multi-Objective MDVRP Solution Considering Route Balance and Cost using the ILS Metaheuristic. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2018, vol. 9, no. 1. pp. 33-46. Available from: <https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=doajarticles::1735846d772cf7b21ff588570608db67> CrossRef. ISSN 1923-2926. DOI 10.5267/j.ijiec.2017.5.002.
24. MARTINOVIC, G., ALEKSI, I. and BAUMGARTNER, A. Single-Commodity Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery Service. *Mathematical Problems in Engineering*, Dec 01, 2008, vol. 2008. pp. 1-17. Available from: <https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=P20161117002-200812-201702150007-201702150007-1038-1054> CrossRef. ISSN 1024-123X. DOI 10.1155/2008/697981.
25. MUNARI, P. and SAVELSBERGH, M. Compact Formulations for Split Delivery Routing Problems. *Transportation Science*, -01-20, 2022 ISSN 0041-1655. DOI 10.1287/trsc.2021.1106.
26. MINGOZZI, A., GIORGI, S. and BALDACCI, R. An Exact Method for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. *Transportation Science*, Aug 01, 1999, vol. 33, no. 3. pp. 315-329. Available from: <http://transci.journal.informs.org/cgi/content/abstract/33/3/315> CrossRef. ISSN 0041-1655. DOI 10.1287/trsc.33.3.315.
27. JACOBS-BLECHA, C. and GOETSCHALCKX, M. *The Vehicle Routing Problem with Backhauls: Properties and Solution Algorithms*.
28. COENE, S., ARNOUT, A. and SPIEKSMAN, F.C.R. On a Periodic Vehicle Routing Problem. *The Journal of the Operational Research Society*, Dec 01, 2010, vol. 61, no. 12. pp. 1719-1728. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/jors.2009.154> CrossRef. ISSN 0160-5682. DOI 10.1057/jors.2009.154.
29. ARCHETTI, C., FERNÁNDEZ, E. and HUERTA-MUÑOZ, D.L. The Flexible Periodic Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, Sep, 2017, vol. 85. pp. 58-70. Available from: <https://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2017.03.008> CrossRef. ISSN 0305-0548. DOI 10.1016/j.cor.2017.03.008.
30. MATAI, R. IntechOpen, Jan 01, 2010 *Traveling Salesman Problem : An Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches*. Available from: <https://openresearchlibrary.org/viewer/5ac86e8e-afac-4e23-aff5-32d229f48fd2> ISBN 9533074264. DOI 10.5772/12909.
31. JAIN, V. and PRASAD, J.S. Solving Travelling Salesman Problem using Greedy Genetic Algorithm GGA. *International Journal of Engineering and Technology (Chennai, India)*, Apr 30, 2017, vol. 9, no. 2. pp. 1148-1154 CrossRef. ISSN 2319-8613. DOI 10.21817/ijet/2017/v9i2/170902188.
32. KIZILATEŞ, G. and NURIYEVA, F. *On the Nearest Neighbor Algorithms for the Traveling Salesman Problem*. Heidelberg: Springer International Publishing, 2013 Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-00951-3_11 ISBN 3319009508. DOI 10.1007/978-3-319-00951-3_11.
33. TAIWO, J. Systems Approaches to Total Quality Management. *Total Quality Management*, Dec 01, 2001, vol. 12, no. 7-8. pp. 967-973. Available from:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09544120100000022> CrossRef. ISSN 0954-4127. DOI 10.1080/09544120100000022.

34. RACHMAWATI, D. and Wilyanto. Implementation of Modified Cheapest Insertion Heuristic on Generating Medan City Tourism Route. *Journal of Physics. Conference Series*, Jun 01, 2020, vol. 1566, no. 1. pp. 12076. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1566/1/012076> CrossRef. ISSN 1742-6588. DOI 10.1088/1742-6596/1566/1/012076.

35. GHARAN, S.O., SABERI, A. and SINGH, M. *A Randomized Rounding Approach to the Traveling Salesman Problem*. IEEE, Oct 2011 Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6108216> ISBN 0272-5428. DOI 10.1109/FOCS.2011.80.

36. ROSENKRANTZ, D.J., STEARNS, R.E. and LEWIS, P.M. Fundamental Problems in Computing Dordrecht: Springer Netherlands, -09, 1977 *An Analysis of several Heuristics for The traveling Salesman Problem*, pp. 45-69. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-9688-4_3 ISBN 1402096879. DOI 10.1007/978-1-4020-9688-4_3.

37. BURILLE, S., JONES, C. and PORTER, K. *SAINT MARY'S COLLEGE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF MATHEMATICS SENIOR ESSAY Traveling Salesman Problem*. , -05-16, 2016.

38. LU, X. *Dynamic and Stochastic Routing Optimization: Algorithm Development and Analysis*. ProQuest Dissertations Publishing, Jan 1, 2001 Dissertations & Theses Europe Full Text: Science & Technology.

39. NILSSON, C. Oceanic Turbulence Dissipation Measurements in SWADE. *Journal of Physical Oceanography*, -04, 1995, vol. 25, no. 4. pp. 558 ISSN 0022-3670. DOI 10.1175/1520-0485.

40. SIERKSMA, G. Hamiltonicity and the 3-Opt Procedure for the Traveling Salesman Problem. *Applicationes Mathematicae*, 1993, vol. 22, no. 3. pp. 351-358 CrossRef. ISSN 1233-7234. DOI 10.4064/am-22-3-351-358.

41. HELSGAUN, K. *An Extension of the Lin-Kernighan-Helsgaun TSP Solver for Constrained Traveling Salesman and Vehicle Routing Problems*. 398. Jan 15, 2017.

42. APPLGATE, D., COOK, W. and ROHE, A. Chained Lin-Kernighan for Large Traveling Salesman Problems. *INFORMS Journal on Computing*, Jan 01, 2003, vol. 15, no. 1. pp. 82-92. Available from: <http://joc.journal.informs.org/cgi/content/abstract/15/1/82> CrossRef. ISSN 1091-9856. DOI 10.1287/ijoc.15.1.82.15157.

43. DIJKSTRA, E.W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik*, 1959, vol. 1, no. 1. pp. 269-271. Available from: <https://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:pure.tue.nl:publications%2F24383659-09eb-4f87-aca9-09fb227603b0> CrossRef. ISSN 0029-599X. DOI 10.1007/BF01386390.

44. ZHOU, M. and GAO, N. *Research on Optimal Path Based on Dijkstra Algorithms*. Atlantis Press, 2019 DOI 10.2991/icmeit-19.2019.141.

45. ZHOU, M. and GAO, N. *Research on Optimal Path Based on Dijkstra Algorithms*. Atlantis Press, 2019 DOI 10.2991/icmeit-19.2019.141.

46. KADRY, S., ABDALLAH, A. and JOUMAA, C. Informatics in Control, Automation and Robotics Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, -12, 2012 *On the Optimization of Dijkstra's*

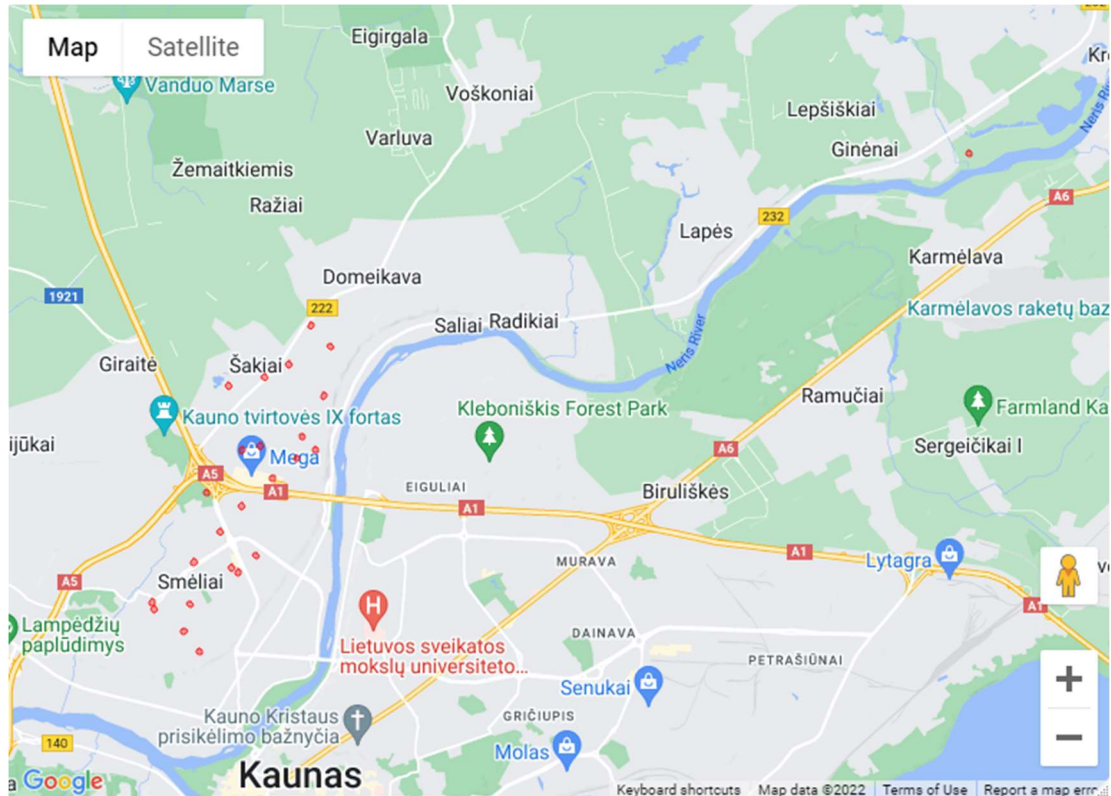
Algorithm, pp. 393-397. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-25992-0_55
ISBN 364225991X. DOI 10.1007/978-3-642-25992-0_55.

Informacijos šaltinių sąrašas

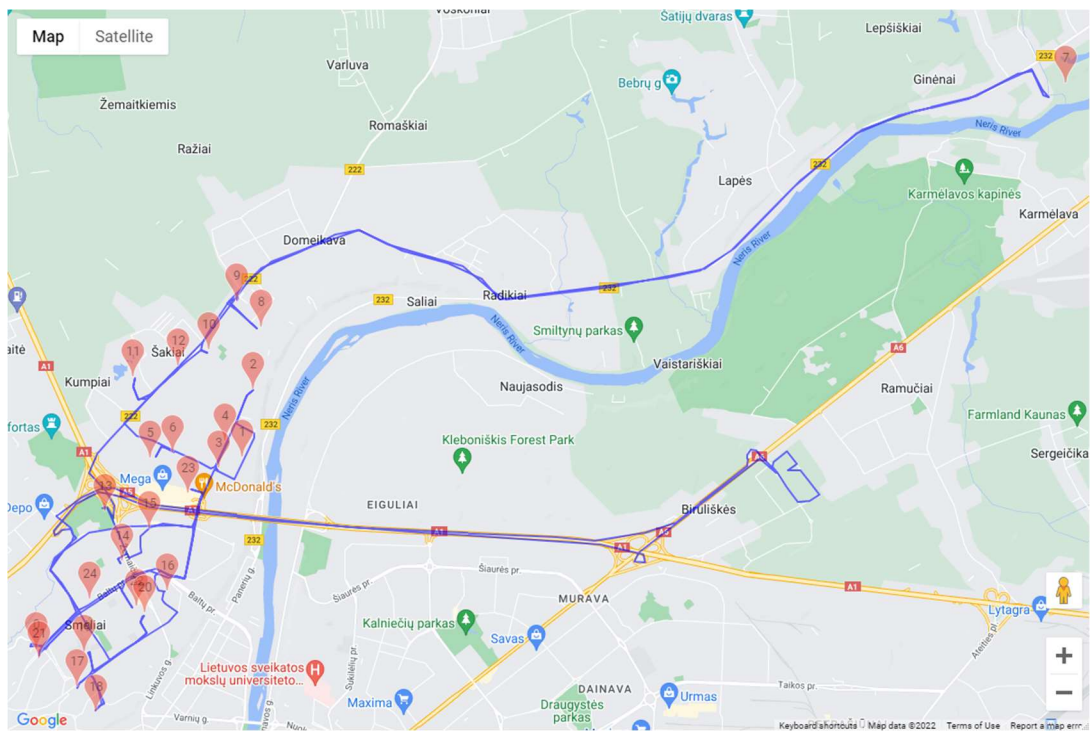
1. <https://www.vz.lt/prekyba/2017/06/15/dpd-lietuva-ismanieji-sprendimai-ivertintimetu-paslauga-apdovanojimu>
2. <https://optimoroute.com/travelling-salesman-problem/>
3. <https://www.altexsoft.com/blog/business/how-to-solve-vehicle-routing-problems-route-optimization-software-and-their-apis/>
4. <https://www.avis.lt/>
5. <https://www.hertzlease.lt/lt>
6. <https://ve.lt/verslas/lietuvoje-naujas-pastomatu-tinklas-lockers>
7. <https://venipak.lt/blogas/2021-05-31/kas-siuntu-pristatymo-laukia-ateityje-5-technologines-ateities-tendencijos/>
8. <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2020/06/12/2047504/0/en/Global-Autonomous-Delivery-Vehicle-Market-is-estimated-to-be-US-196-2-Billion-by-2029-with-a-CAGR-of-11-2-during-the-Forecast-Period-PMI.html>
9. <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-mobility/future-outlook-of-autonomous-delivery-vehicles/>
10. <https://www.statista.com/chart/17201/commercial-drones-projected-growth/>
11. <https://www.statista.com/statistics/1136500/global-drone-delivery-service-market-size/>
12. <https://www.forbes.com/sites/ilkerkoksal/2020/08/31/amazons-prime-air-drone-delivery-service-gets-faa-approval/?sh=7a7e9f002be2>
13. <https://www.statista.com/statistics/1174527/gnss-market-size-worldwide/>
14. <https://computingforgeeks.com/technology-trends-in-courier-services-industry/>
15. <https://www.forbes.com/sites/dpworld/2020/12/14/track-and-trace-technology-is-the-disruption-automotive-logistics-needs/?sh=75267e7d5f82>
16. <https://www.aircargonews.net/business/supply-chains/csafe-completes-pharma-uld-track-and-trace-trial/>
17. <https://www.technologyhq.org/technology-trends-logistics-courier-industry/>
18. <https://www.crowdatascience.com/travelling-salesman-problem-in-r-with-location-data/>
19. <https://www.vic.lt/zumpris/2021/11/18/degalu-kainos-lietuvos-rinkoje-2021-m-46-savaite/>
20. <https://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx?lang=lt&tab=4>

Priedai

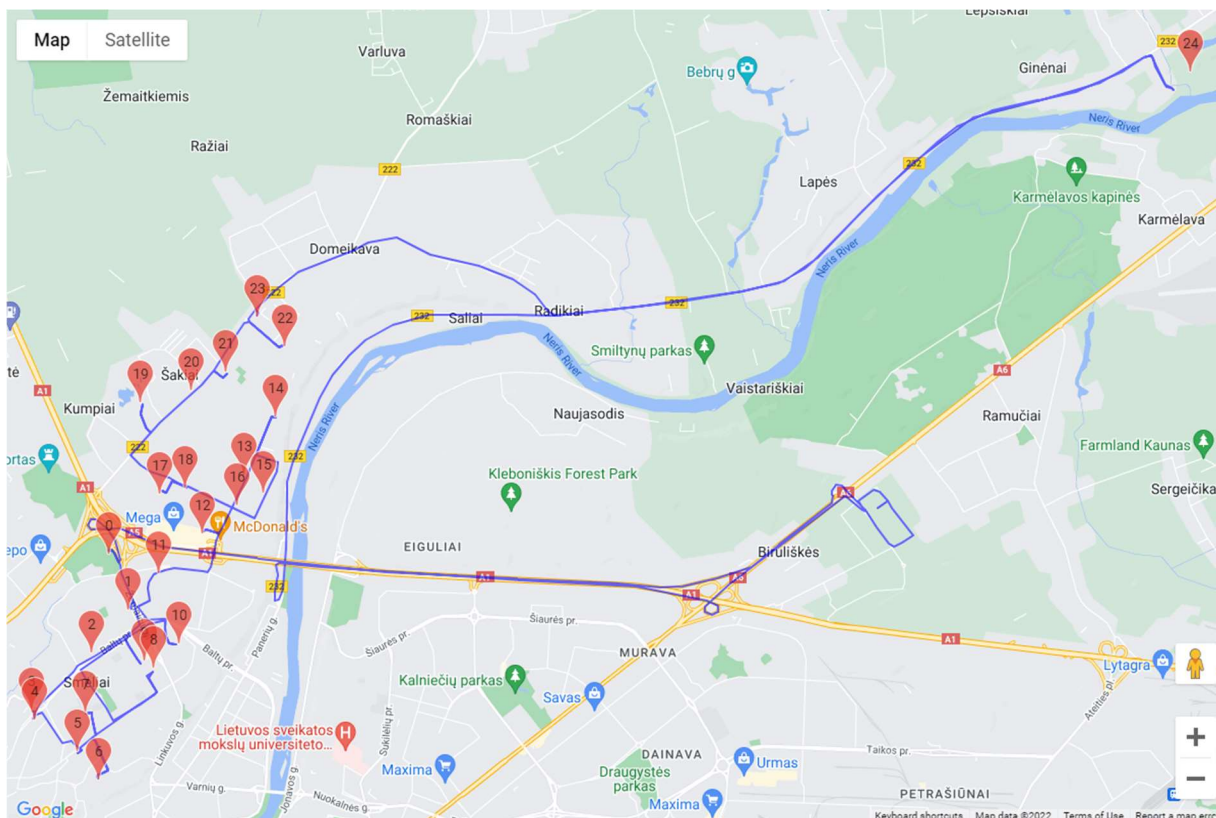
1 priedas. Kauno miesto ir maršruto pristatymo taškai



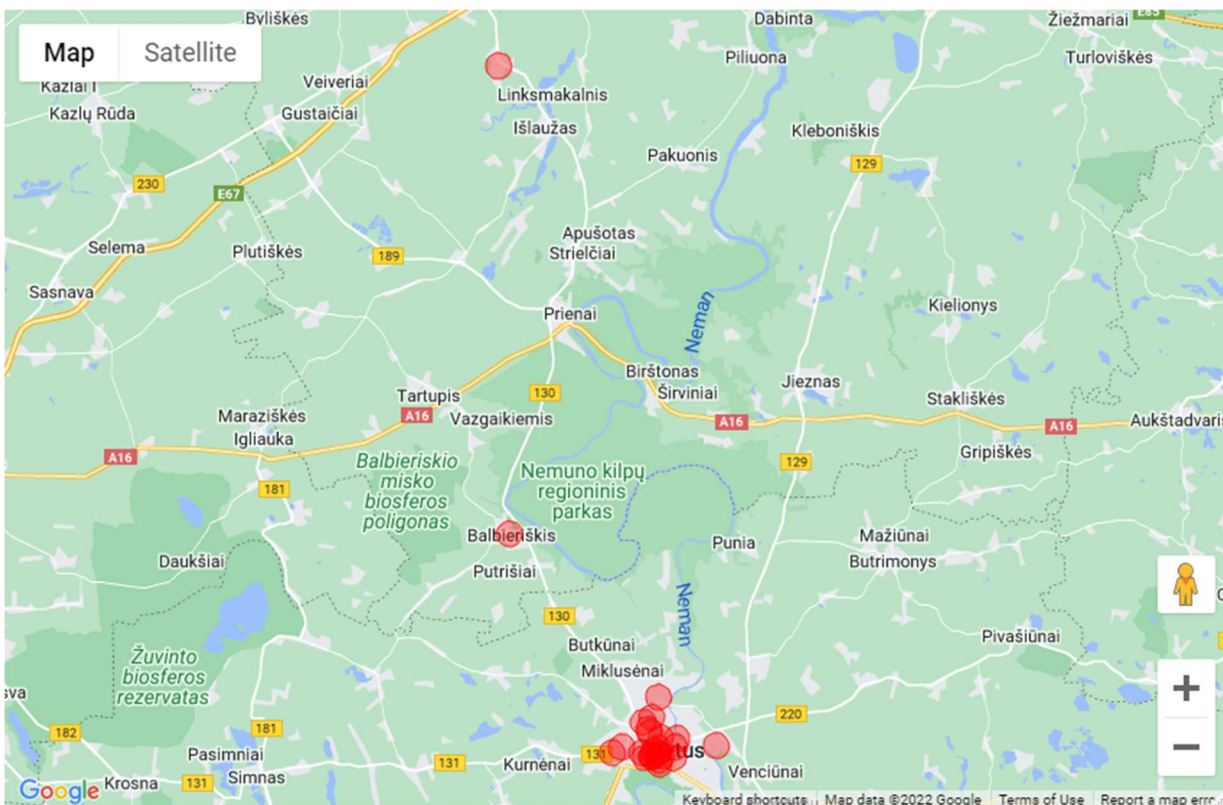
2 priedas. Kauno miesto neoptimizuotas maršrutas



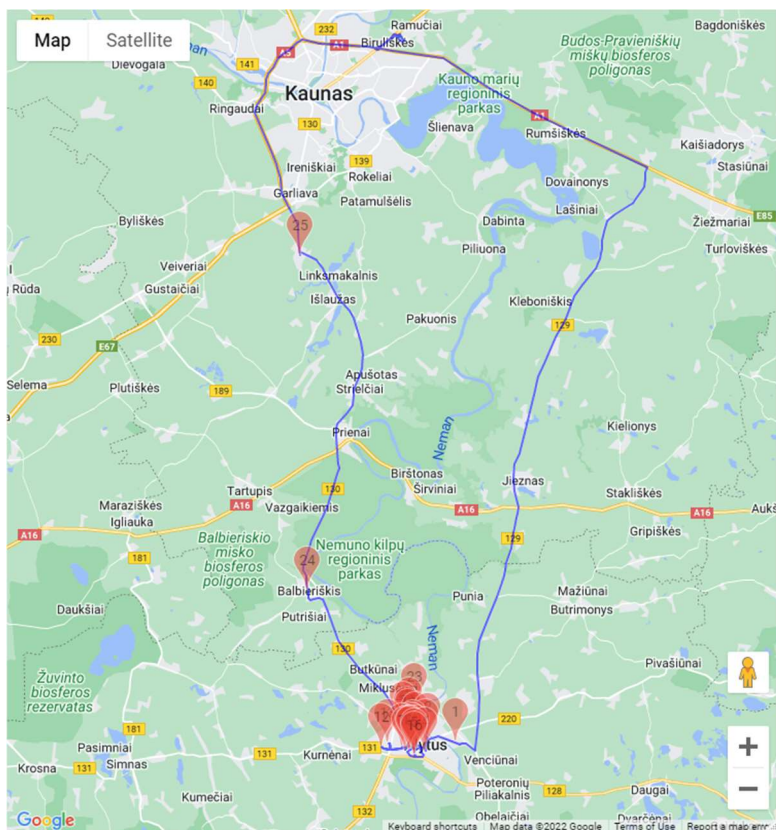
3 priedas. Kauno miesto optimizuotas maršrutas



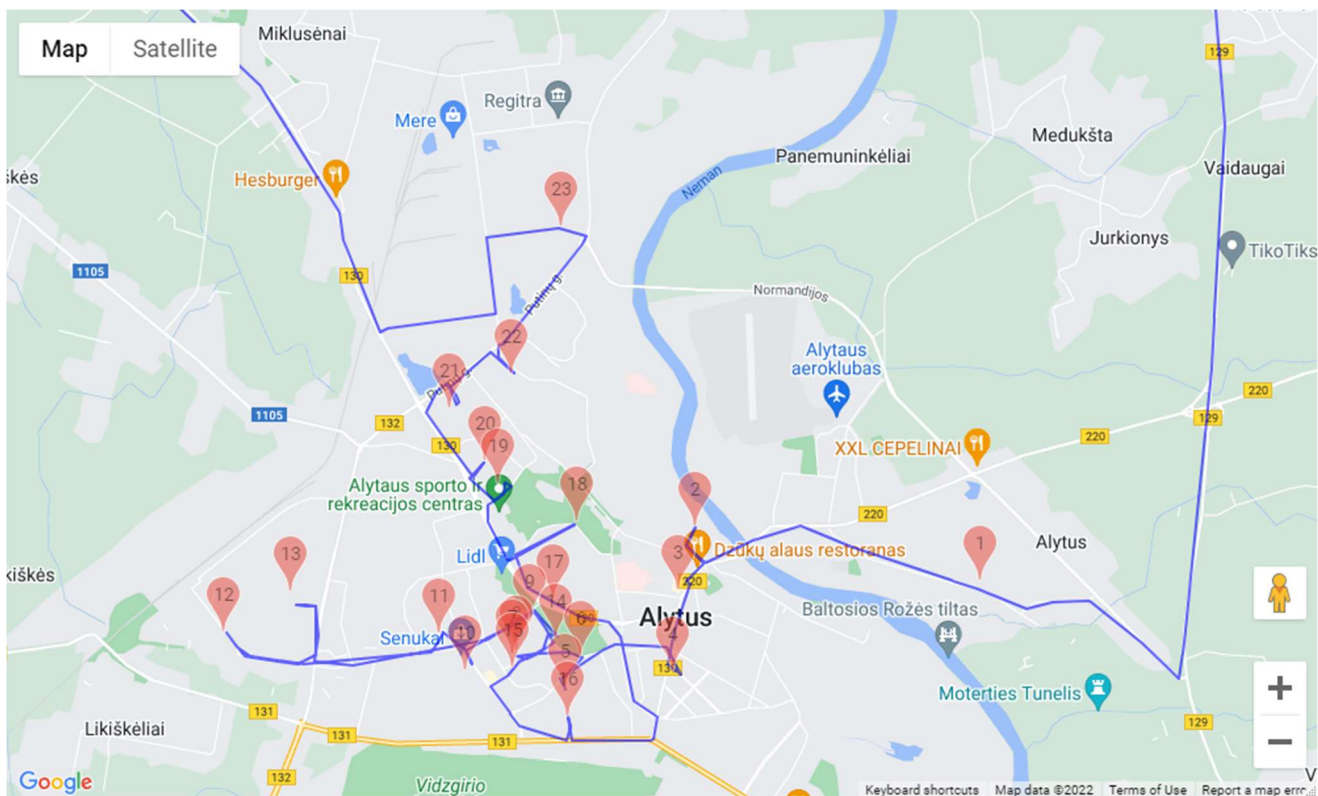
4 priedas. Kauno rajono maršruto pristatymo taškai



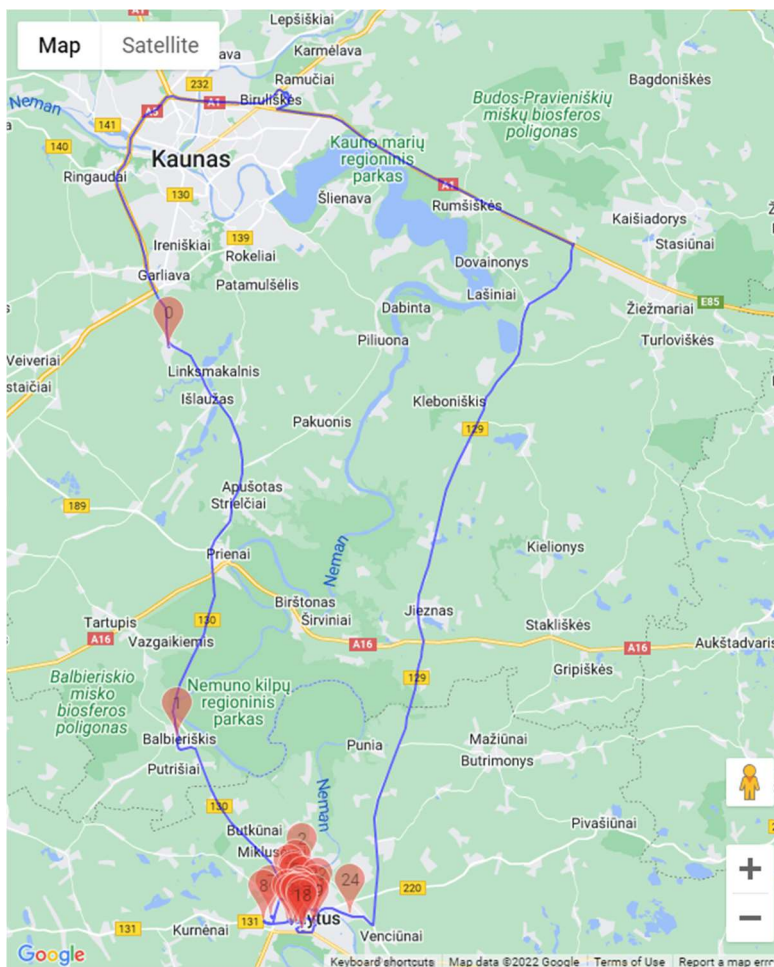
5 priedas. Kauno rajono neoptimizuotas maršrutas 1/2



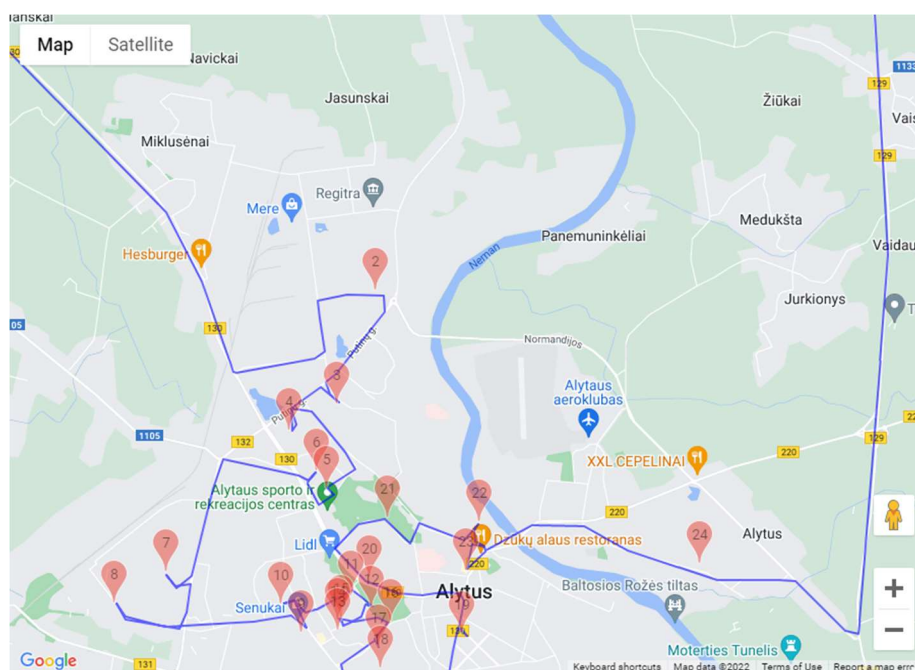
6 priedas. Kauno rajono neoptimizuotas maršrutas 2/2



7 priedas. Kauno rajono optimizuotas maršrutas 1/2



8 priedas. Kauno rajono optimizuotas maršrutas 2/2



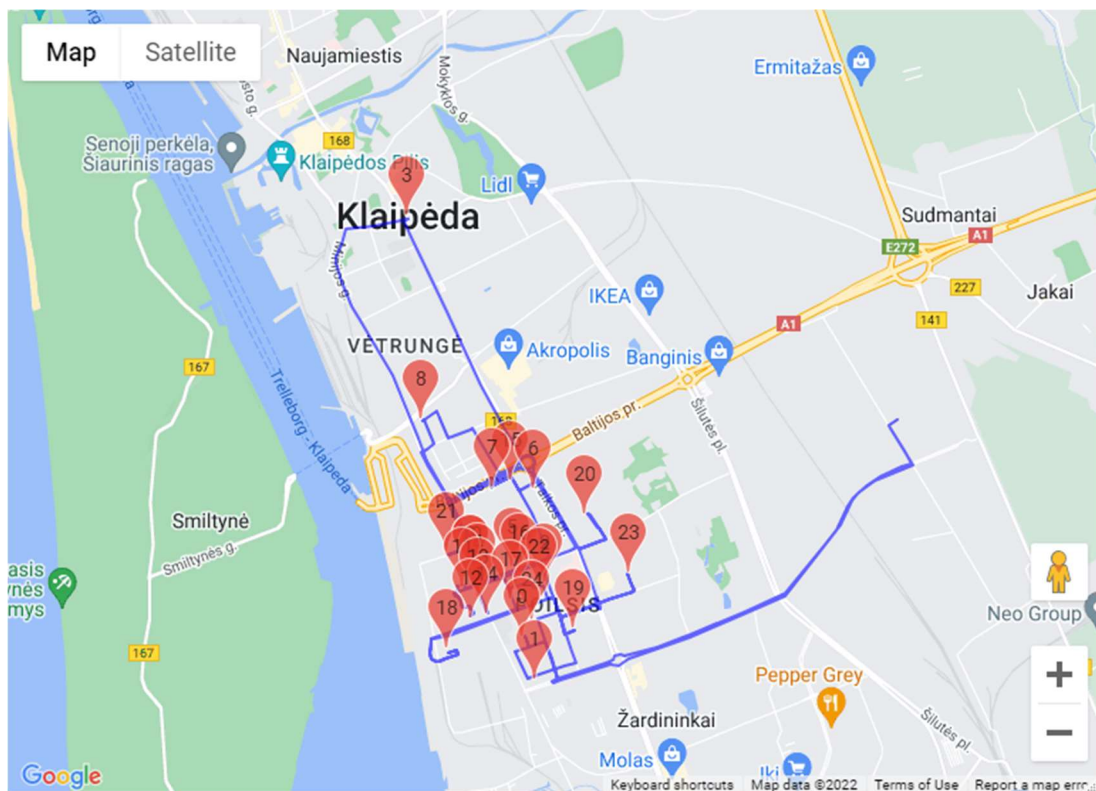
9 priedas. Kauno miesto ir rajono maršrutų eiliškumas

Miesto kurjeris				Rajono kurjeris			
Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma	Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma
3	0	54.92231	23.86820	24	0	54.39886	24.08563
15	1	54.94326	23.90733	22	1	54.40303	24.04835
14	2	54.95067	23.90933	23	2	54.39820	24.04622
16	3	54.94206	23.90280	19	3	54.39207	24.04544
13	4	54.94510	23.90411	17	4	54.39078	24.03140
17	5	54.94324	23.88969	16	5	54.39335	24.03336
18	6	54.94378	23.89407	14	6	54.39339	24.02457
24	7	54.98409	24.06387	15	7	54.39366	24.02505
22	8	54.95748	23.91087	11	8	54.39610	24.02681
23	9	54.96045	23.90620	9	9	54.39219	24.01840
21	10	54.95496	23.90100	10	10	54.39497	24.01487
19	11	54.95213	23.88649	8	11	54.39509	23.98672
20	12	54.95334	23.89511	7	12	54.39812	23.99547
0	13	54.93739	23.88118	12	13	54.39456	24.03016
1	14	54.93200	23.88449	13	14	54.39241	24.02449
11	15	54.93552	23.88957	18	15	54.38867	24.03182
10	16	54.92866	23.89315	20	16	54.39753	24.02980
5	17	54.91828	23.87580	21	17	54.40339	24.03302
6	18	54.91551	23.87949	5	18	54.40631	24.02272
7	19	54.92198	23.87732	6	19	54.40796	24.02101
8	20	54.92636	23.88882	4	20	54.41199	24.01618
4	21	54.92134	23.86865	3	21	54.41456	24.02437
9	22	54.92703	23.88722	2	22	54.42580	24.03090
12	23	54.93943	23.89700	1	23	54.51616	23.88864
2	24	54.92778	23.87816	0	24	54.77440	23.87847

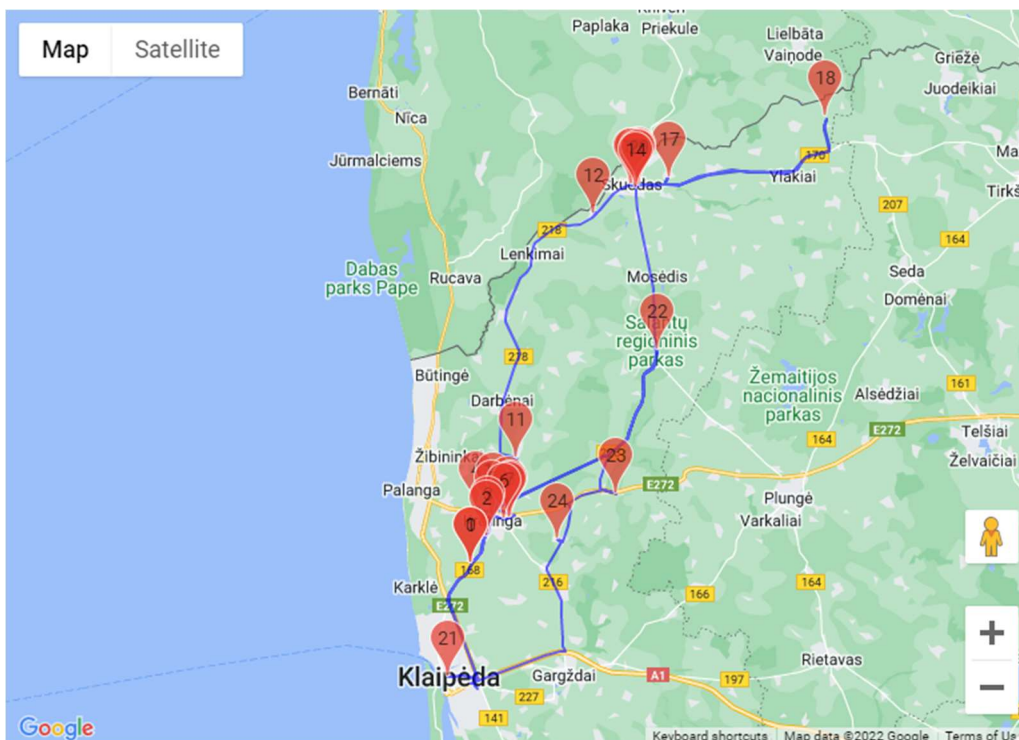
10 priedas. Klaipėdos miesto maršruto pristatymo taškai



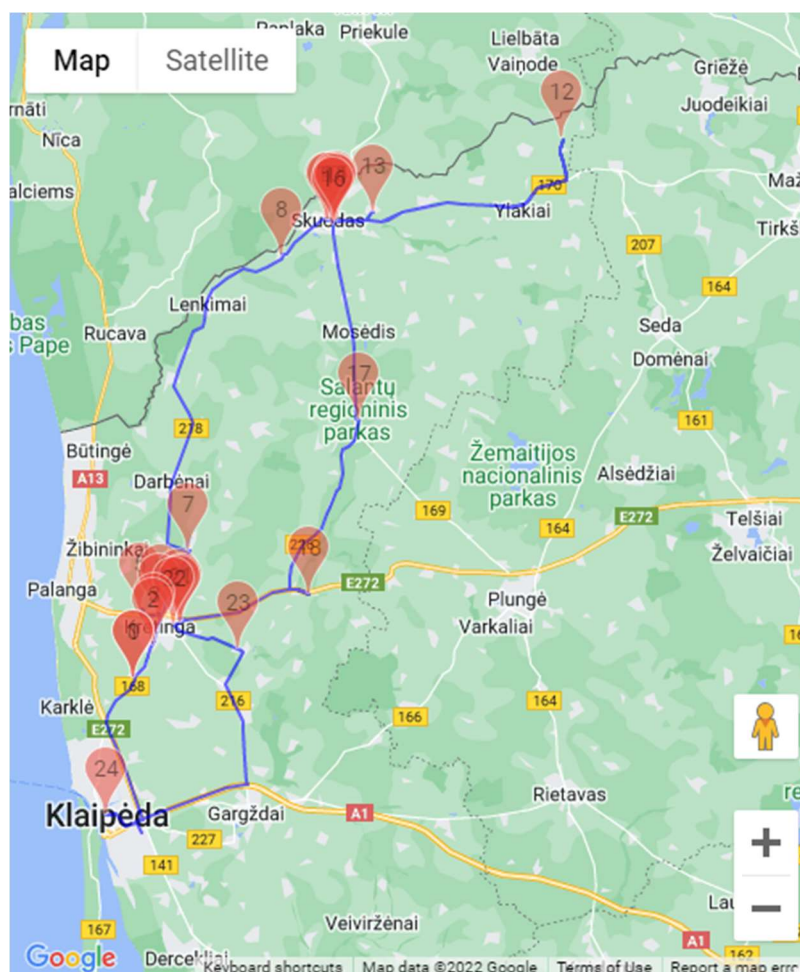
11 priedas. Klaipėdos miesto neoptimizuotas maršrutas



14 priedas. Klaipėdos rajono neoptimizuotas maršrutas



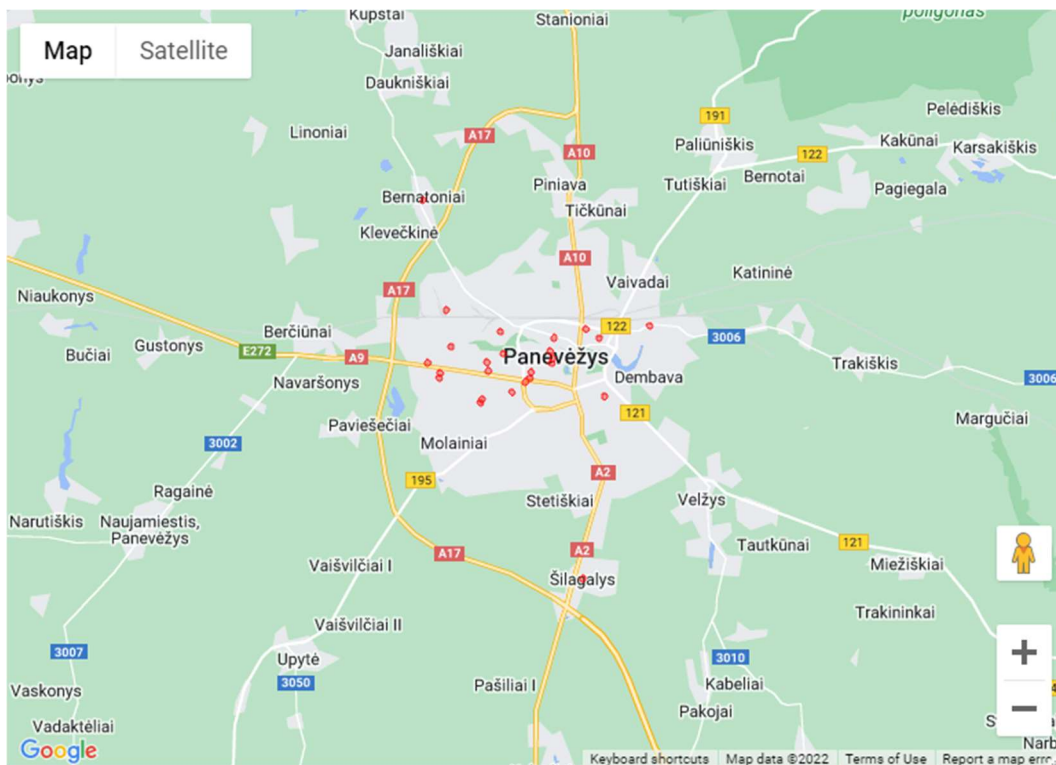
15 priedas. Klaipėdos rajono optimizuotas maršrutas



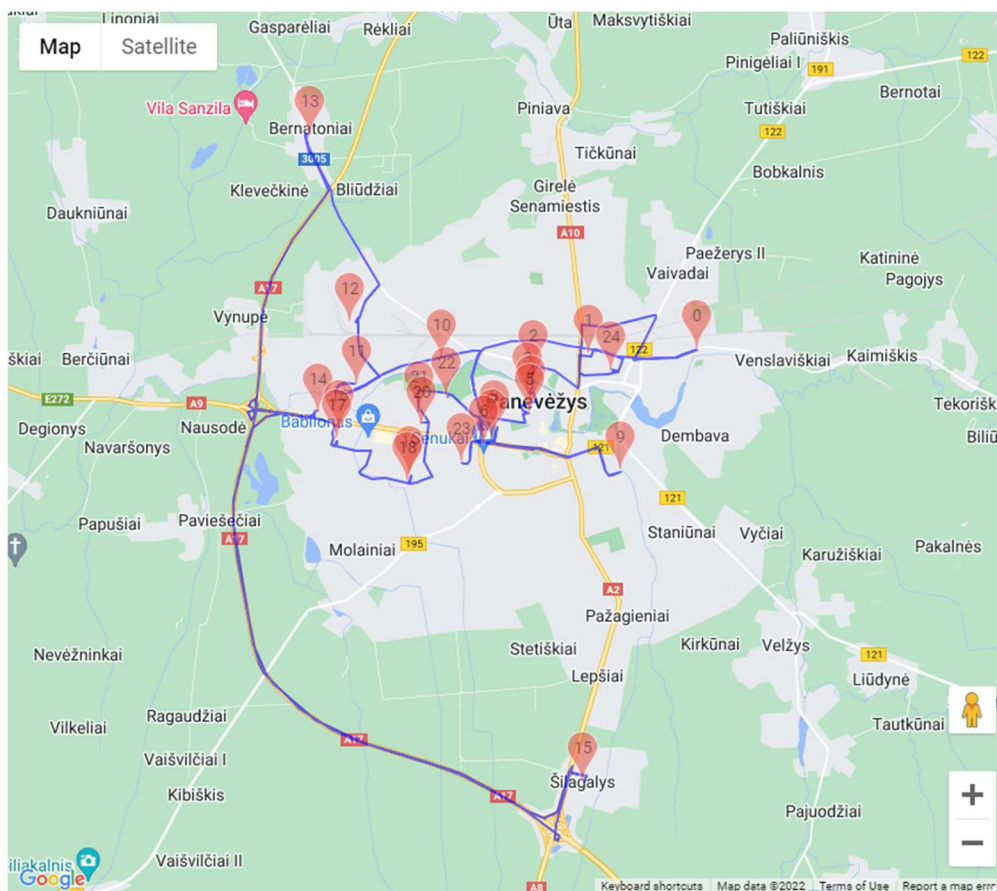
16 priedas. Klaipėdos miesto ir rajono maršrutų eiliškumas

Miesto kurjeris				Rajono kurjeris			
Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma	Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma
15	0	55.6747	21.1582	1	0	55.8353	21.1899
17	1	55.6719	21.1597	0	1	55.8353	21.1899
1	2	55.6784	21.1609	2	2	55.8662	21.2215
24	3	55.7033	21.1443	3	3	55.87	21.2262
6	4	55.6784	21.1528	5	4	55.9005	21.2015
5	5	55.6794	21.157	4	5	55.8892	21.2349
20	6	55.6847	21.1595	22	6	55.8857	21.2581
22	7	55.6848	21.1545	21	7	55.8879	21.2695
23	8	55.6895	21.1459	20	8	55.8889	21.2729
8	9	55.6789	21.1519	19	9	55.8931	21.2666
7	10	55.6789	21.1519	6	10	55.8979	21.2375
11	11	55.6781	21.1509	7	11	55.9565	21.2833
12	12	55.6759	21.1519	8	12	56.238	21.4427
10	13	55.6774	21.1528	9	13	56.2708	21.5181
14	14	55.6762	21.1539	16	14	56.2666	21.53
21	15	55.6853	21.1567	15	15	56.2712	21.5335
4	16	55.679	21.1577	14	16	56.2718	21.5372
3	17	55.6772	21.1567	13	17	56.278	21.5981
13	18	55.6739	21.149	12	18	56.3479	21.9193
0	19	55.6753	21.1643	10	19	56.2702	21.5214
19	20	55.683	21.1656	11	20	56.2696	21.5351
9	21	55.6805	21.1491	24	21	55.7033	21.1443
2	22	55.6781	21.1602	17	22	56.0814	21.5752
18	23	55.679	21.171	18	23	55.9154	21.4899
16	24	55.6758	21.1593	23	24	55.8626	21.3684

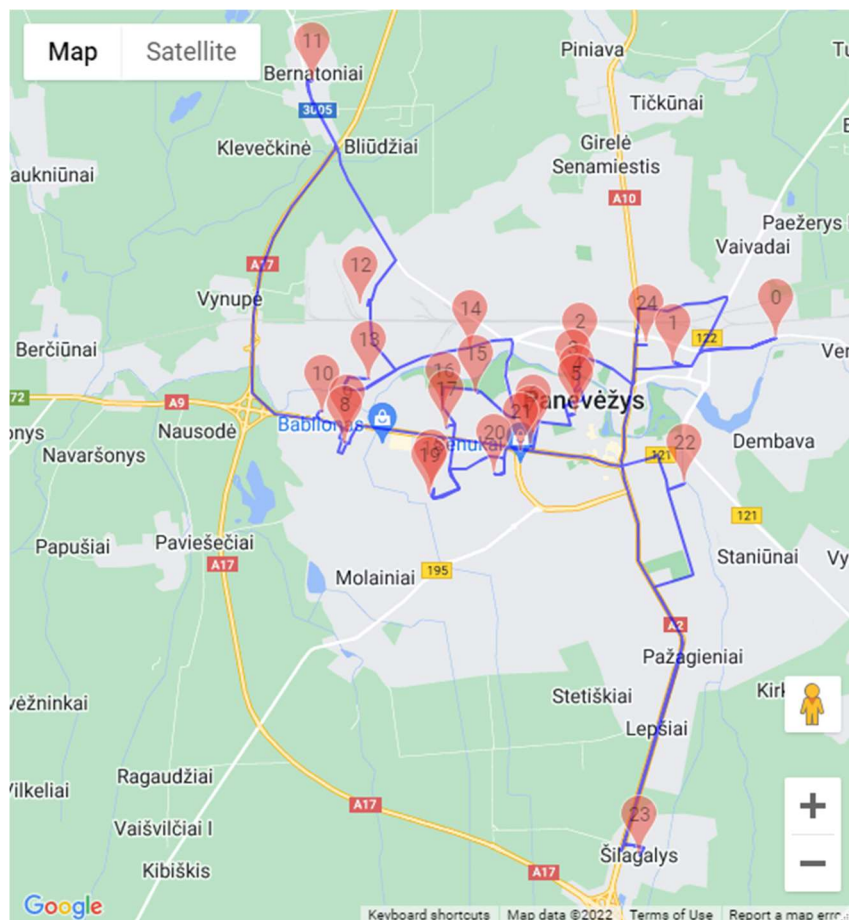
17 priedas. Panevėžio miesto maršruto pristatymo taškai



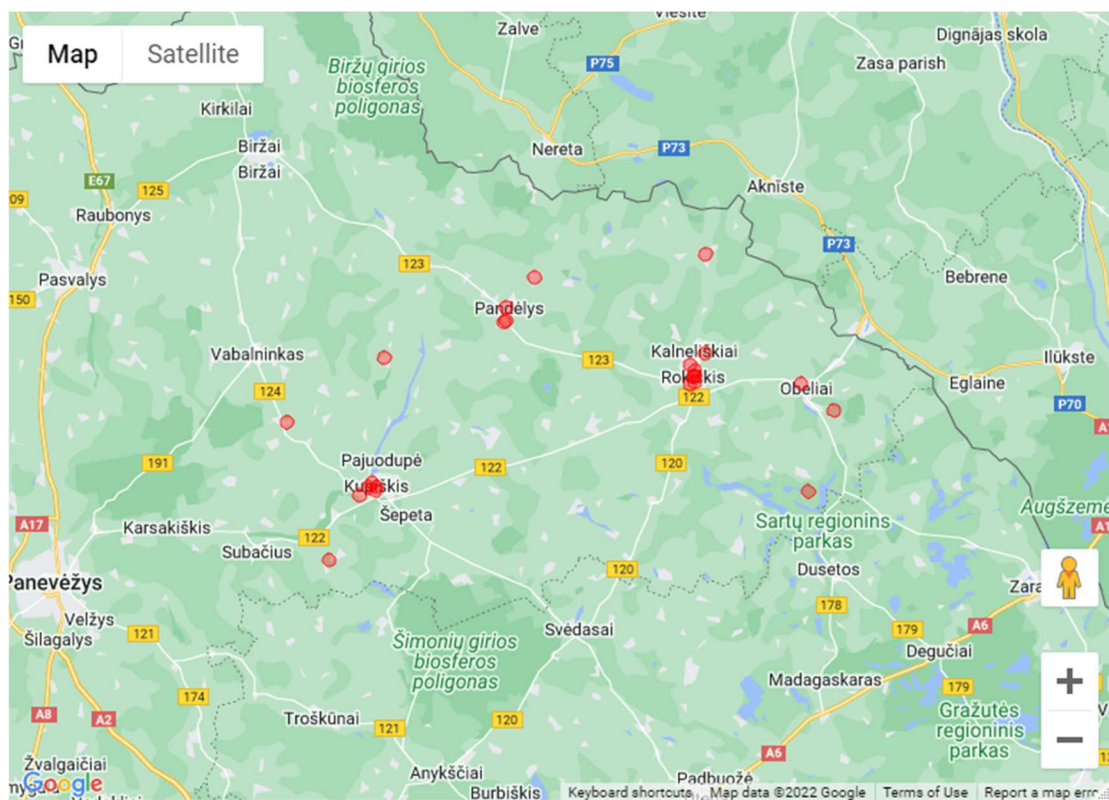
18 priedas. Panevėžio miesto neoptimizuotas maršrutas



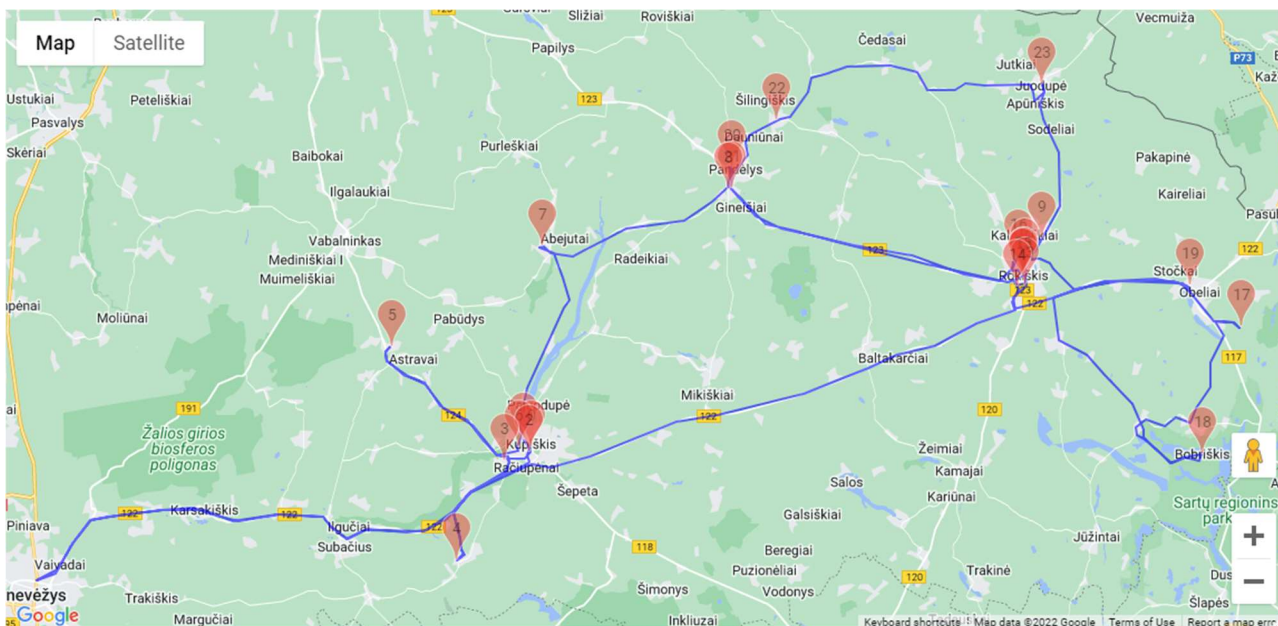
19 priedas. Panevėžio miesto optimizuotas maršrutas



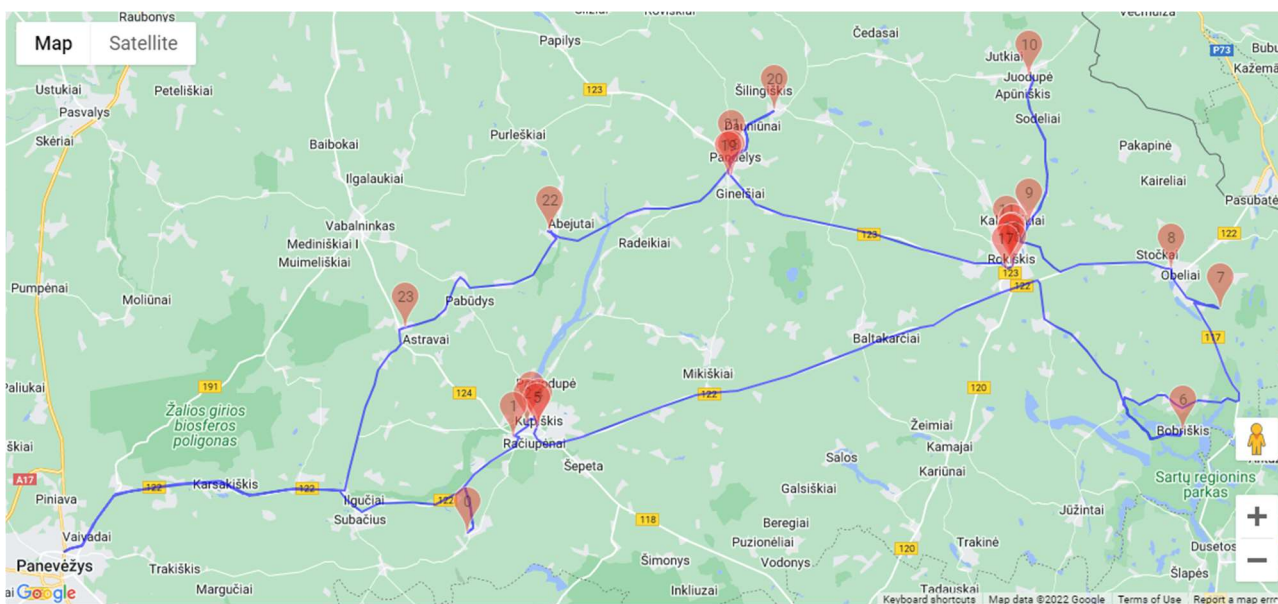
20 priedas. Panevėžio rajono maršruto pristatymo taškai



21 priedas. Panevėžio rajono neoptimizuotas maršrutas



22 priedas. Panevėžio rajono optimizuotas maršrutas



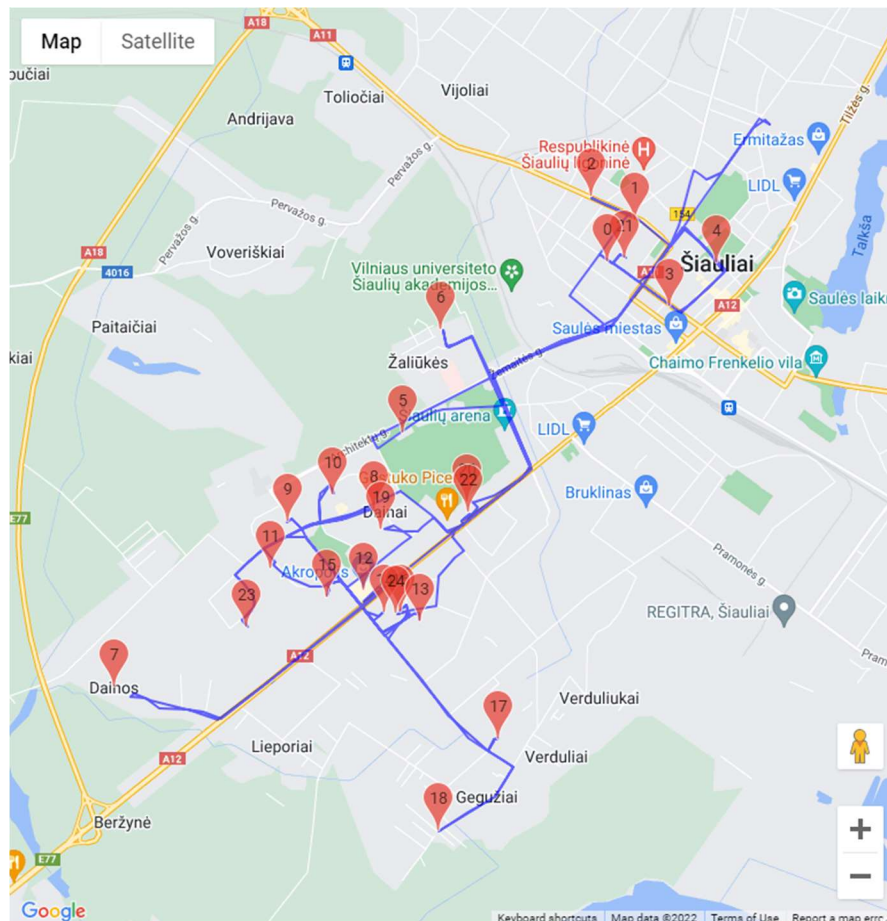
23 priedas. Panevėžio miesto ir rajono maršrutų eiliškumas

Miesto kurjeris				Rajono kurjeris			
Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma	Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma
0	0	55.74344	24.40446	4	0	55.83709	24.97963
1	24	55.73995	24.37921	3	1	55.84209	24.9711
2	2	55.74011	24.3567	5	2	55.83346	24.97738
3	3	55.73634	24.3549	1	3	55.82795	24.94686
4	4	55.73429	24.3561	0	4	55.75847	24.88807
5	5	55.73292	24.35557	23	5	55.90628	24.80792
6	8	55.73033	24.3454	2	6	55.83684	24.96439
7	7	55.72875	24.34473	22	7	55.97568	24.99409
8	17	55.72869	24.29947	19	8	56.01446	25.22313
9	16	55.73023	24.29991	9	9	55.98098	25.60854
10	14	55.73298	24.29366	12	10	55.96228	25.58835
11	13	55.77864	24.29138	13	11	55.95623	25.58766
12	12	55.74773	24.30304	14	12	55.95623	25.58766
13	11	55.73762	24.30529	16	13	55.94951	25.58831
14	10	55.74185	24.33002	17	14	55.94749	25.5794
15	22	55.73556	24.33136	15	15	55.9555	25.58592
16	21	55.73319	24.32327	11	16	55.96823	25.57975
17	20	55.73081	24.32396	7	17	55.91972	25.85473
18	19	55.72267	24.32081	6	18	55.83222	25.80645
19	18	55.7217	24.32002	8	19	55.94825	25.79196
20	23	55.72472	24.33582	21	20	56.0301	25.22751
21	6	55.72772	24.34238	18	21	56.01553	25.22716
22	9	55.72349	24.38204	20	22	56.06198	25.28217
23	15	55.67229	24.37115	10	23	56.0869	25.60941
24	1	55.74247	24.37284				

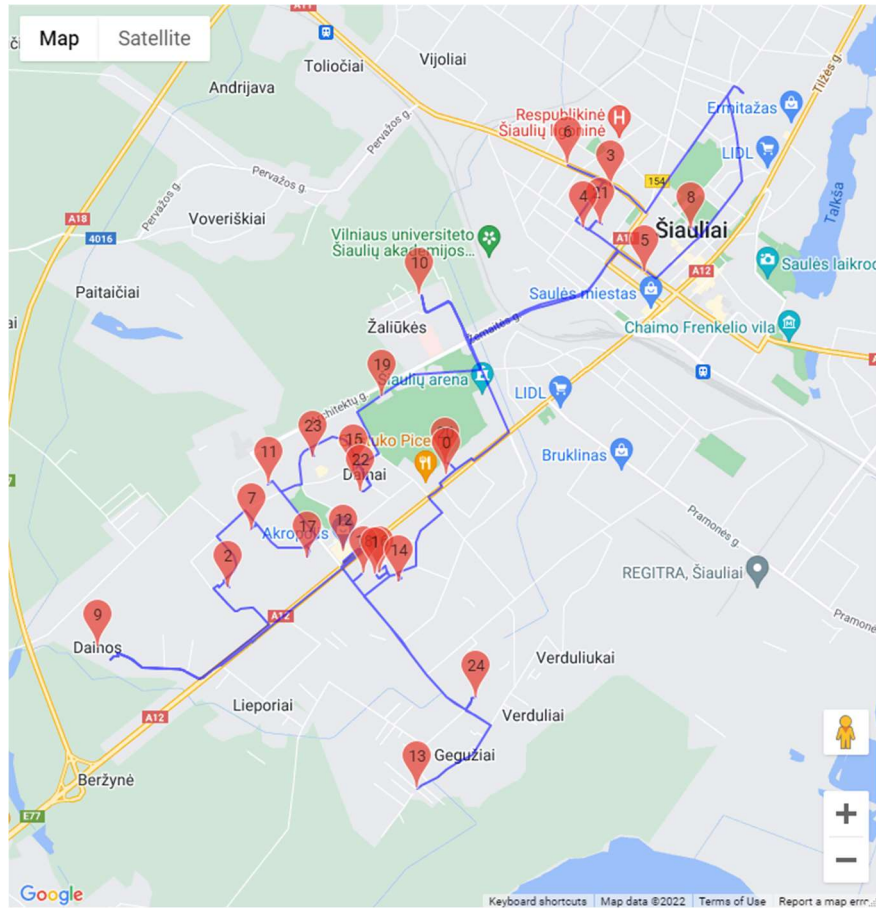
24 priedas. Šiaulių miesto maršruto pristatymo taškai



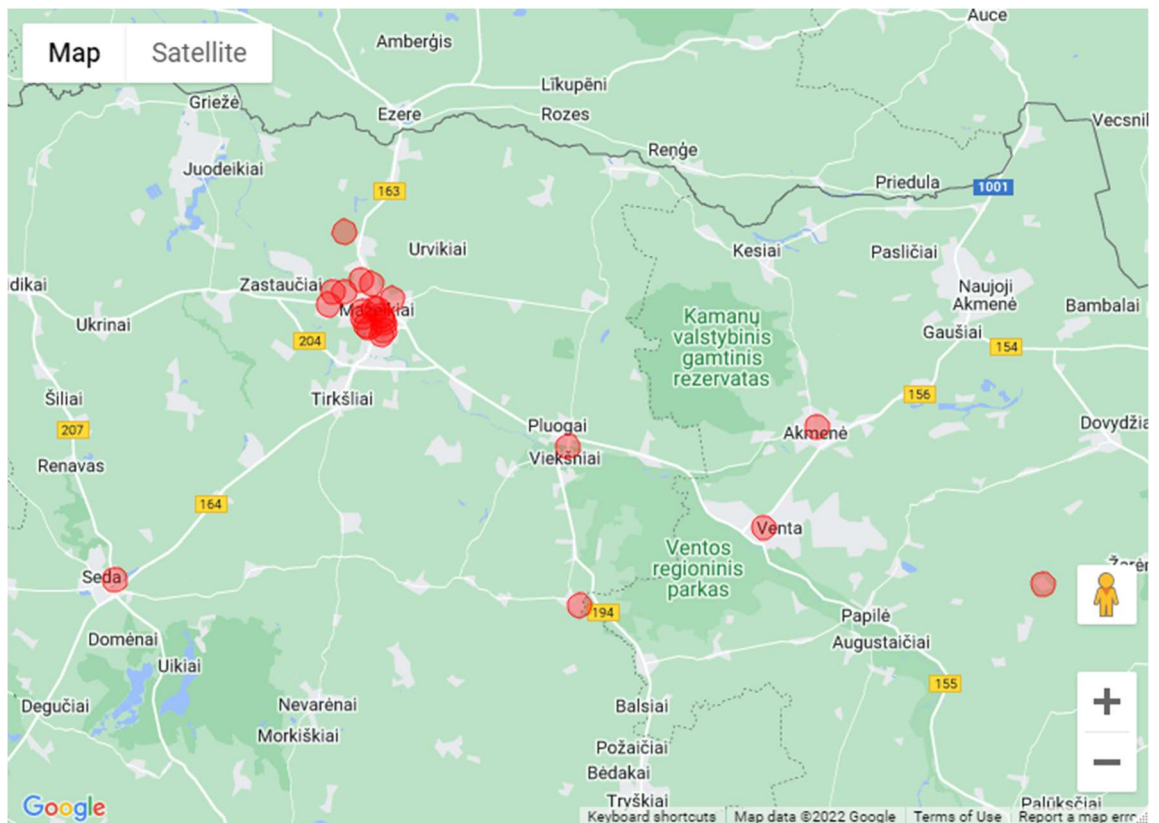
25 priedas. Šiaulių miesto neoptimizuotas maršrutas



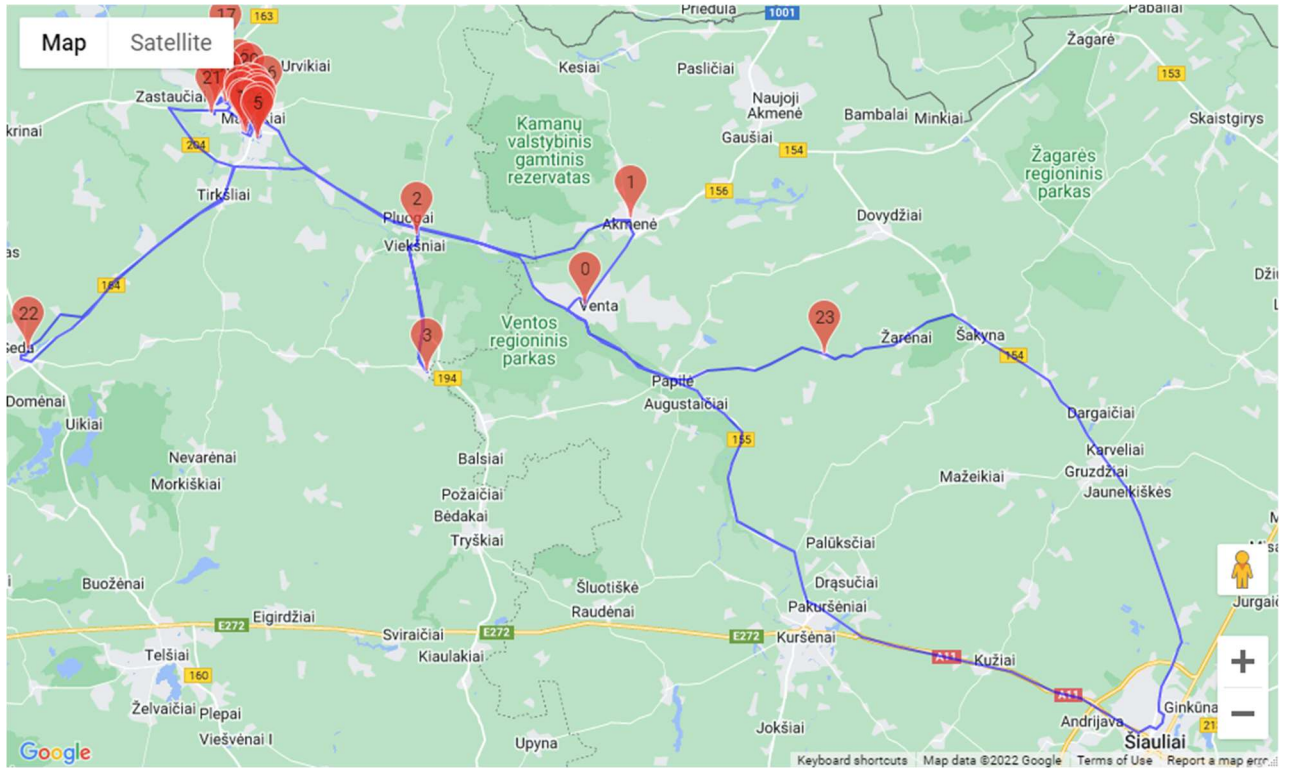
26 priedas. Šiaulių miesto optimizuotas maršrutas



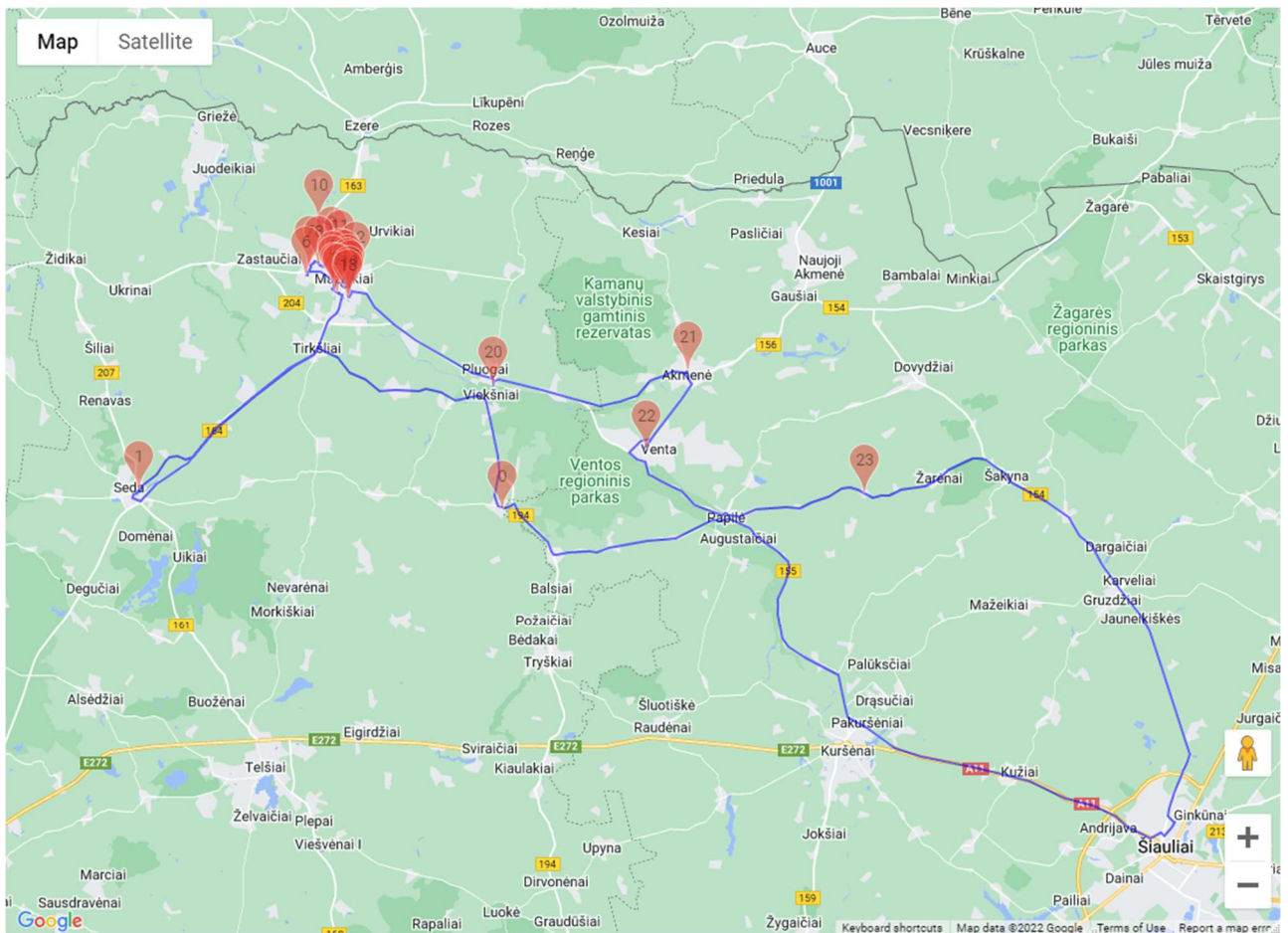
27 priedas. Šiaulių rajono maršruto pristatymo taškai



28 priedas. Šiaulių rajono neoptimizuotas maršrutas



29 priedas. Šiaulių rajono optimizuotas maršrutas



30 priedas. Šiaulių miesto ir rajono maršrutų eiliškumas

Miesto kurjeris				Rajono kurjeris			
Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma	Optimizuotas	Neoptimizuotas	Platuma	Ilguma
22	0	55.935	23.297	22	0	56.197	22.699
24	1	55.938	23.301	21	1	56.249	22.748
23	2	55.941	23.295	20	2	56.239	22.518
1	3	55.931	23.307	0	3	56.157	22.529
0	4	55.935	23.314	13	4	56.309	22.341
3	5	55.921	23.267	18	5	56.296	22.346
2	6	55.929	23.272	19	6	56.298	22.348
11	7	55.899	23.224	17	7	56.302	22.348
4	8	55.914	23.263	16	8	56.306	22.346
7	9	55.913	23.25	15	9	56.303	22.347
6	10	55.915	23.256	14	10	56.309	22.339
9	11	55.909	23.247	3	11	56.301	22.331
12	12	55.907	23.261	2	12	56.3	22.334
18	13	55.905	23.269	5	13	56.308	22.329
13	14	55.906	23.264	4	14	56.305	22.329
8	15	55.907	23.255	9	15	56.324	22.327
16	16	55.906	23.267	12	16	56.315	22.356
15	17	55.895	23.281	10	17	56.349	22.311
14	18	55.887	23.272	8	18	56.318	22.311
5	19	55.913	23.264	7	19	56.318	22.301
20	20	55.915	23.276	11	20	56.322	22.336
21	21	55.935	23.3	6	21	56.311	22.297
19	22	55.914	23.277	1	22	56.17	22.099
10	23	55.904	23.243	23	23	56.168	22.957
17	24	55.906	23.266				