VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

MIESTŲ STATYBOS KATEDRA

Simonas Puzonas

ELEKTRONINIŲ ATLIEKŲ SURINKIMO VAŽIAVIMO MARŠRUTŲ OPTIMIZAVIMAS

OPTIMISATION OF ELECTRONIC WASTE COLLECTION TRANSPORT ROUTES

Baigiamasis magistro darbas

Civilinė inžinerija, valstybinis kodas 61202T104

Miesto statyba ir planavimas

Statybos inžinerija

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

MIESTŲ STATYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

_____

(Parašas)

_____

(Vardas, pavardė)

_____

(Data)

Simonas Puzonas

ELEKTRONINIŲ ATLIEKŲ SURINKIMO VAŽIAVIMO MARŠRUTŲ OPTIMIZAVIMAS

OPTIMISATION OF ELECTRONIC WASTE COLLECTION TRANSPORT ROUTES

Baigiamasis magistro darbas

Civilinė inžinerija, valstybinis kodas 61202T104

Miesto statyba ir planavimas

Statybos inžinerija

Vadovas _____ _____ _____

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas _____ _____ _____

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas _____ _____ _____

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2011

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
VGTU Aplinkos inžinerijos fakultetas
MIESTŲ STATYBOS KATEDRA

Civilinės inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Elektroninių atliekų surinkimo važiavimo maršrutų optimizavimas

Autorius: Simonas Puzonas
Vadovas: doc. dr. Marius Jakimavičius

Kalba – lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe ”Elektroninių atliekų surinkimo važiavimo maršrutų optimizavimas” susipažinta su GIS programine įranga, skirta racionalių važiavimo maršrutų modeliavimui ESRI ArcLogistics, ir atlikta atliekų surinkimo įmonės UAB ”EMP recycling” racionalių važiavimo maršrutų optimizacija. Bendrojoje darbo dalyje išanalizuoti važiavimo maršrutų planavimo metodai, nustatyti privalumai bei identifikuoti trūkumai. Atlikus modeliavimą suplanuoti važiavimo maršrutai palyginti su faktiniais tos dienos įmonės maršrutais. Lyginamosios analizės metu nustatytas maršrutų planavimo efektyvumas. Pateiktos su darbu ir tyrimo rezultatais susijusios išvados ir apibendrinimas. Darbo apimtis – 72 p. teksto be priedų, 46 iliustr., 6 lent., 46 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.

Raktiniai žodžiai: Maršrutų optimizavimas, modeliavimas, planavimas, kaštai.

Vilnius Gediminas Technical University
VGTU Faculty of environmental engineering
DEPARTMENT OF URBAN ENGINEERING

Master degree studies Civil Engineering study programme final work

Optimisation of electronic waste Collection Transport Routes

Author: Simonas Puzonas
Academic supervisor: doc. dr. Marius Jakimavičius

Thesis language – lithuanian

Annotation

In the final master work "The optimization of itinerary of electronic waste collecting drive" it was acquainted with GIS software, which is designed for modeling of rational travel routes ESRI ArcLogistics and the rational travel route optimization of waste collecting company JSC "EMP recycling" was done. In the general part of the work the planning methods of travelling routes were analysed, advantages were appointed and disadvantages were identified. After making the pattening, the planned travelling routes were compared with the factual that day routes of the company. When making the comparative analysis, the effectiveness of route planning was assessed. The conclusions concerned with the work and the research results and the generalization were presented. Work coverage is 72 pages of text without any supplements, 46 illustrations, 6 tables, 46 sources of bibliography. The work supplements are added separately.

Keywords: Optimization of routs, patterning, planning, expenses.

Užduotis

TURINYS

ĮVADAS **10**

1. TRANSPORTO INFRASTRUKTŪROS SAMPRATA **13**

1.1. Kelių tinklas **14**

1.1.1. Lietuvos kelių tinklas 14

1.1.2. Vilniaus susisiekimo sistema 16

1.2. Intelektualiosios transporto sistemos (ITS) **21**

1.3. Maršrutų planavimo metodai **24**

2. INFORMACINIŲ SISTEMŲ TAIKYMO TRANSPORTO ORGANIZACIJOSE PATIRTIS **31**

2.1. GIS realizavimo programinės priemonės maršrutų planavime **31**

2.2. GIS ir GPS įrankių komplektas rinktinei maršruto analizei **33**

2.3. Komunalinių atliekų surinkimo ir transporto maršrutų optimizavimas **34**

2.4. Transporto priemonių maršruto planavimas didelėse gamtinėse vietovėse su neaiškia informacija **35**

2.5. Programinė įranga, turinti maršrutų planavimo funkcionalumą **36**

2.6. Maršrutų optimizavimo patirtis užsienio valstybėse **36**

3. ELEKTRONINIŲ ATLIEKŲ SURINKIMO VAŽIAVIMO MARŠRUTŲ OPTIMIZAVIMAS **52**

3.1. Tyrimo metodika **52**

3.2. Maršrutų sudarymas **58**

3.3. Tyrimo lyginamoji analizė **60**

IŠVADOS **68**

NAUDOTA LITERATŪRA **69**

PRIEDAI **72**

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Lietuvos transporto tinklas 15
2 pav. Vilniaus gyventojų kelionių struktūra (%) 17
3 pav. Vilniaus miesto automobilizacijos lygis 17
(lengvųjų automobilių skaičius 1000 gyventojų) 17
4 pav. Tarptautiniai kelių transporto koridoriai Lietuvos teritorijoje 18
5 pav. Vilniaus miesto magistralinių gatvių struktūra 2015 m. (km) 20
6 pav. ITS informacija grandinėje 23
7 pav. Vairuotojo susipažinimo su maršrutu modeliavimas 25
8 pav. Dijkstros algoritmo pavyzdys 28
9 pav. Keliaujančio pirklio uždavinio sprendinys, kai reikia apeiti penkiolika didžiausių Vokietijos miestų ir briaunų svoriai lygūs atstumams tarp miestų 30
10 pav. *PLANTOUR®* programos langas 39
11 pav. *LocLogistics* maršrutų planavimo programos darbalaukis 41
12 pav. Maršruto pavyzdys 41
13 pav. Maršruto planavimas 42
14 pav. Klientų sąrašas 42
15 pav. Resursų valdymas 42
16 pav. Planavimo parametrai 43
17 pav. “Meniu” eilutė 43
18 pav. Klientai žemėlapyje 44
19 pav. Klientų sąrašas 44
20 pav. Maršrutai optimizuoti su „*ArcLogistics Route*“ programa 45
21 pav. Keliai ir gatvės su įmonės „lokacija 45
22 pav. Sunkvežimių parkas 46
23 pav. Importuojami užsakymai nr. 1 46
24 pav. Importuojami užsakymai nr. 2 46
25 pav. Adresų identifikavimas 47
26 pav. Transporto priemonių ir vairuotojų ypatybės 47
27 pav. Sumodeliuoti maršrutai kiekvienai transporto priemonei, atsižvelgiant į užsakymus ir transporto darbo laiką 48
28 pav. Įvairios ataskaitos nr. 1 48
29 pav. Įvairios ataskaitos nr. 2 49
30 pav. Supaprastintas gatvių tinklo pavyzdys su koeficientais 55

31 pav. Gatvių tinklo pavyzdys su koeficientais 55
32 pav. Trumpiausias maršrutas 56
33 pav. Gatvių tinklo pavyzdys su važiavimo laiko koeficientais 57
34 pav. Greičiausias maršrutas 58
35 pav. Kelių ir gatvių tinklas 59
36 pav. Transportinis tinklas 60
37 pav. Faktiniai dienos maršrutai 61
38 pav. Optimizuoti maršrutai (*ArcLogistics*) 61
39 pav. ESRI pateikti kaštai (per metus): 63
41 pav. Faktinis maršrutas (*LocLogistics*) 64
42 pav. Optimizuoti maršrutai (*LocLogistics*) 65
43 pav. *LocLogistics* kelionės išklotinė nr. 1 66
44 pav. *LocLogistics* kelionės išklotinė nr. 2 67
45 pav. UAB “Hnit-Baltic” duomenys 67
46 pav. “Google Maps” duomenys 67

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentele. Apytikslės taisyklės. 25
2 lentelė. Trumpiausio maršruto paieškos uždavinio sprendimas 56
3 lentelė. Greičiausio maršruto paieškos uždavinio sprendimas 57
4 lentelė. Skaičiavimų rezultatai su *ArcLogistics* 62
5 lentelė. Skaičiavimų rezultatai su *LocLogistics* 65
6 lentelė. Lyginamoji analizė 66

ĮVADAS

Vienas pagrindinių šalies ūkio infrastruktūros elementų – transportas, turintis esminės įtakos tiek ekonominiams, tiek socialiniams procesams. Neatsitiktinai Lietuvos Respublikos vyriausybių programose pabrėžiama transporto, kaip prioritetinės šalies ūkio šakos, reikšmė. Transporto reikšmę Lietuvos ūkiui didina ir patogi šalies geografinė padėtis, kadangi du iš dešimties svarbiausių Europos transporto koridorių kerta Lietuvos teritoriją. Antra vertus, transportas – tai daug resursų reikalaujanti ūkio šaka, kurios normaliam veikimui reikalingi milžiniški darbo, materialiniai ir energetiniai ištekliai, o jo modernizavimui bei tolimesnei plėtrai – didelės investicijos. Todėl labai svarbu šias sąnaudas mažinti, naudojant tiek informacines, tiek technines, tiek organizacines bei kitas priemones. Tam būtina optimizuoti vežimus transporto tinkle, užtikrinti racionalią visų transporto rūšių sąveiką, atitinkamai paskirstant keleivių ir krovinių vežimo apimtis, paruošti pagrįstas transporto sistemos rekonstravimo bei jos tolesnio plėtojimo programas. Tokių programų rengimą palengvina egzistuojančios informacinės sistemos, gebančios modeliuoti situacijas ir spręsti transporto uždavinius. Vienas svarbiausių tokių uždavinių yra racionalaus transporto srautų paskirstymo transporto tinkle uždavinys, kurio sprendimas yra raktas ir daugelio kitų uždavinių sprendimui (Dievulis 2000:3).

Tyrimo aktualumas. Esant ekonomoniam nuosmukiui labai svarbu išlaikyti pačius mažiausius kaštus įmonėms, tiekiančioms prekes ir paslaugas vartotojams. Vis tobulėjančios technologijos ir gerėjančios gyvenimo sąlygos skatina populiacijos mobilumą, motorizacijos lygį ir transporto srautų didėjimą šalies gatvėse ir keliuose. Didėjant kiekvieno Lietuvos piliečio gerbūviui ir plečiantis didžiųjų Lietuvos miestų infrastruktūrai, yra labai svarbu palengvinti įmonių logistinius sprendimus.

Transporto įmonėse reikia didinti automobilių darbo efektyvumą, t. y. jų darbo našumą ir mažinti eksploatavimo išlaidas. Tam būtina tobulinti transportavimo darbų operatyvųjį planavimą ir valdymą. Krovininių automobilių darbo našumas didėja ir vežimo išlaidos mažėja optimizuojant vežimo maršrutus, sumažinus darbo laiko nuostolius, susidarančius dėl organizacinių nesklandumų, tuščių automobilių prastovų krovimo metu ir vežimo atstumo, geriau naudojant transporto priemonių įkrovumą.

Transporto sistemų optimizavimas yra vienas svarbiausių šiuolaikinio transporto uždavinių, kurio sėkmingas sprendimas leistų žymiai sumažinti sąnaudų dydį transporte bei efektyviai transportui atlikti savo funkcijas. Didelės praktinių uždavinių apimtys bei sudėtingi ryšiai transporto sistemose reikalauja ir adekvačių metodų transporto sistemai optimizuoti. Be šiuolaikinių modelių ir metodų panaudojimo, transporto tinklo plėtra bei srautų planavimas

šiandieninėse transporto sistemose negali būti pakankamai efektyvus. Šiandieną yra žinoma nemaža metodų transporto tinklams bei srautams optimizuoti. Atsižvelgiant į problemos svarbą ir aktualumą, reikšmingi ir nauji šios srities rezultatai, ypač jei jie gali būti panaudoti praktiniams, tai yra didelės apimties uždaviniams spręsti. Tokie tyrimai yra aktualūs ir plačiai atliekami daugelyje šalių, iš jų ir tokiose Europos šalyse, kurios savo dydžiu artimos Lietuvai, pavyzdžiui, Olandijoje, kurios patirtis gali būti ypač reikšminga.

Tyrimo problema. Esant šiandieninei ekonomikos situacijai Lietuvoje, sunkiomis įėjimo į rinką ir išėjimo iš jos sąlygomis, dideliam vartotojų ir konkurentų skaičiui, prekių ir paslaugų įvairovei, įmonei svarbu išlikti konkurentabiliai, t. y. teikti rinkai kokybiškas prekes ar paslaugas, išlaikyti aukštą aptarnavimo lygį ir patrauklią kainą, tuo pačiu metu siekiant pelno maksimizavimo. Ši problema aktualesnė paslaugas teikiančioms įmonėms, nes paslaugos teikėjas tiesiogiai sąveikauja su paslaugos vartotoju. Todėl įmonėms svarbu rasti apyvartos optimizavimo modelį, kuris sumažintų kaštus, ir jį pritaikyti savo veikloje. Šiuo metu didžiausioje Baltijos šalyse elektroninių atliekų perdirbimo įmonėje UAB „EMP recycling“ (EMP) nėra patikimos informacinės sistemos, gebančios optimizuoti atliekų surinkimo važiavimo maršrutus.

Tyrimo tikslas: susipažinti su GIS programine įranga, skirta racionalių maršrutų modeliavimui, ESRI ArcLogistics ir atlikti atliekų perdirbimo įmonės UAB „EMP recycling“ racionalių važiavimo maršrutų optimizaciją.

Darbo objektas: elektroninių atliekų perdirbimo įmonės UAB „EMP recycling“ (EMP) atliekų surinkimo važiavimo maršrutai.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti mokslinės literatūros analizę;
2. Atlikti atliekų perdirbimo įmonės UAB „EMP recycling“ racionalių važiavimo maršrutų optimizaciją;
3. Išanalizuoti suplanuotus važiavimo maršrutus ir palyginti su faktiniais įmonės tos dienos maršrutais;
4. Nustatyti maršrutų planavimo efektyvumą.

Darbo rengimo metodai:

- Mokslinės literatūros analizė;
- Optimizavimo metodai;
- Duomenų analizė programine įranga.

Darbo struktūra. Darbą sudaro teorinė ir praktinė dalys. Teorinėje dalyje pateikiama transporto infrastruktūros samprata ir esama situacija Lietuvoje bei Vilniaus mieste, informacinių sistemų taikymo transporto organizacijose patirtis, darbo realizavimui reikalinga

programinė įranga bei maršrutų planavimo pavyzdžiai užsienyje. Praktinėje dalyje aprašomas atliekų surinkimo važiavimo maršrutų optimizavimo kūrimo procesas, maršrutų panaudojimo galimybės. Pateikiamos su darbu ir tyrimo rezultatais susijusios išvados ir apibendrinimai.

1. TRANSPORTO INFRASTRUKTŪROS SAMPRATA

Transporto infrastruktūra – sausumos ir vandens kelių, eismo valdymo sistemų, su jais susijusių statinių (tarp jų ir pastatų), specialiai įrengtų teritorijų ir įrenginių bei konstrukcijų visuma, skirta transporto veiklai užtikrinti (LR Transporto veiklos pagrindų įstatymas, 2002).

Lietuvos transporto infrastruktūros tinklas yra palyginti tankus, tačiau nėra tinkamai subalansuotas, per silpna atskirų transporto rūšių sąveika. Planuojama, kad augant vidaus, tarptautiniams ir tranzito srautams, atitinkamų transporto infrastruktūros tinklo dalių apkrovimas sparčiai didės. Dėl neužtikrintos sąveikos su Vakarų Europos geležinkelio tinklu bei apkrautų Lenkijos kelių - susisiekimas per Lenkiją su kitomis ES valstybėmis nėra kokybiškas. Modernios Šiaurės - Pietų transporto ašies, formuojamos I visos Europos transporto koridoriaus Varšuva-Kaunas-Ryga-Talinas pagrindu, nebuvimas neleidžia Lietuvos gyventojams ir verslo subjektams patogiai ir su mažiausiomis laiko sąnaudomis susisiekti su kitų ES šalių kultūros, turizmo ir verslo centrais. Be to, techniniai ir technologiniai geležinkelių infrastruktūros parametrai šalyje neleidžia visiškai patenkinti augančios paklausos krovinių vežimui, užtikrinti reikiamą keleivių aptarnavimo kokybę. Taip pat ir automobilių kelių (ypač valstybinės ir vietinės reikšmės), vandens transporto ir civilinės aviacijos infrastruktūra savo techniniais parametrais dar gerokai atsilieka nuo ES šalių senbuvių lygio. Dėl silpnai išvystyto viešojo keleivinio transporto tinklo Lietuva gerokai atsilieka nuo ES vidurkio pagal keleivių apyvartos rodiklį. Kartu Lietuvoje sparčiai auga individualių automobilių skaičius, kurių didžioji dalis yra senesni nei 10 metų. Tai kelia transporto kamščių didžiausiuose miestuose ir jų prieigose problemą, prisideda prie kitų opių problemų – patiriami dideli laiko ir degalų nuostoliai, didėja kelių transporto (ypač lengvųjų automobilių) avaringumas, oro užterštumas ir žuvusiųjų keliuose skaičius, tuo tarpu pagal saugaus eismo priemonių kiekį ir jų diegimo tempus Lietuva atsilieka nuo Vakarų Europos valstybių. Silpnai išvystytas infrastruktūros pajėgumas logistikos paslaugoms teikti stabdo efektyvią atskirų transporto šakų sąveiką, plėtojant multimodalinio transportavimo paslaugas.

Atsižvelgiant į šalies geografinės padėties teikiamus privalumus, daugiausia dėmesio šiuo atveju tenka subalansuoto transporto infrastruktūros tinklo, atitinkančio mobilumo poreikius bei sudarančio palankias sąlygas tranzitui, plėtrai. Tęsiant Sanglaudos fondo strategijoje suformuluotų TEN-T tinklo Lietuvoje modernizavimo prioritetų įgyvendinimą, toliau bus tobulinamos susisiekimo įvairiomis transporto rūšimis sąlygos, plėtojamos nepakankamos sausumos transporto jungtys su kitomis ES valstybėmis ir trečiųjų šalių transporto tinklais Šiaurės-Pietų transporto ašyje (Via Baltica, Rail Baltica) ir Rytų-Vakarų transporto ašyje (IX multimodalinis transporto koridorius ir Klaipėdos valstybinis jūrų

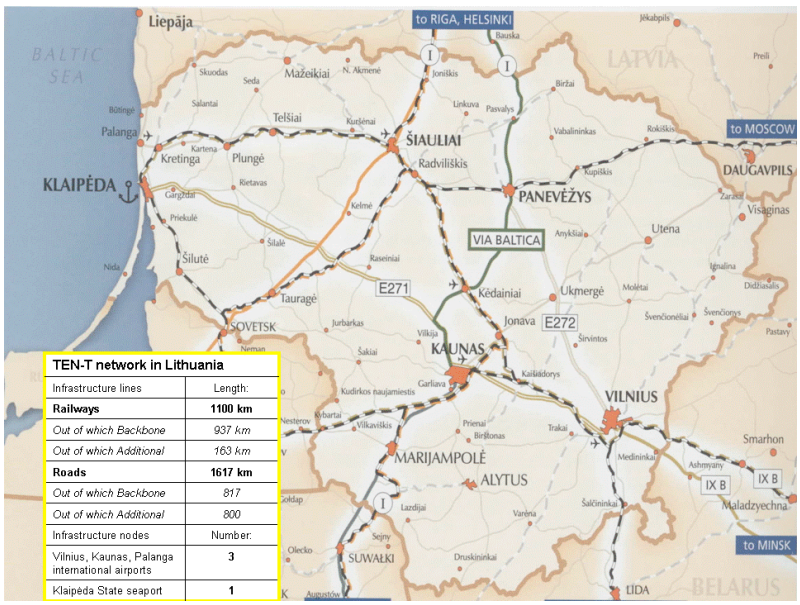
uostas). Be to, bus investuojama į kitus tarptautinės ir regioninės reikšmės automobilių kelių, geležinkelių, civilinės aviacijos, vandens transporto infrastruktūros objektus bei gerinamas saugus eismas ir mažinamas neigiamas transporto poveikis aplinkai. Kartu bus siekiama efektyvios tarpusavio sąveikos tarp atskirų transporto rūšių plėtojant multimodalinį transportą, išnaudojant jūrų magistralių iniciatyvos atveriamas galimybes. Tai sudarys sąlygas toliau didinti transporto paslaugų eksporto apimtį (Lietuvos 2007–2013m. ES struktūrinės paramos panaudojimo strategija, 2006).

1.1. Kelių tinklas

Keliai pirmiausiai yra labai svarbus veiksnys padedantis susisiekti atskiriems šalies regionams per kuo įmanoma mažesnį laiko tarpą. Kelių tinklas yra vienas iš rodiklių rodančių šalies išsivystymo lygį. Gerai išvystytas kelių tinklas parodo šalies ekonominę būklę, o tuo pačiu ir ekonominio augimo laipsnį. Dėl šių priežasčių gerai išvystyta kelių tinklo infrastruktūra ir yra vienas prioritetinių Lietuvos veiklos sričių. Europos Sąjungos didėlė teikiamos paramos dalis pagal Lietuvos strateginį planą yra nukreipta į kelių tinklo renovavimą bei tolimesnę plėtrą.

1.1.1. Lietuvos kelių tinklas

Lietuvos keliai laikomi vienu svarbiausių Lietuvos, kaip tranzitinės šalies, pranašumų. Palanki tranzitui geografinė padėtis, neužšąlantis Klaipėdos valstybinis jūrų uostas, turintis modernius terminalus, išplėtotą infrastruktūrą, trumpiausias sausumos kelias iš Rusijos Federacijos rytinės dalies per Lietuvą į Kaliningrado sritį daro Lietuvą patrauklia tarptautiniams vežimams valstybe. Lietuvoje pakankamai gerai išvystytas automobilių kelių tinklas. Valstybinės reikšmės kelių ilgis yra 21325 km, iš jų magistralinių kelių – 1750 km, nacionalinių kelių – 4946 km rajoninių kelių – 14626 km. Panaudojant ES struktūrinių fondų lėšas, nuolat vykdomi kelių plėtros ir priežiūros darbai. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklo tankumas 1000-iui gyventojų sudaro 6,3 km, o 1000-iui kv. km teritorijos – 326,4 km. Šalies valstybiniuose keliuose yra 1530 tiltų ir viadukų, iš jų 1447 gelžbetoniniai tiltai, kurių bendras ilgis 45 789 m, 80 plieninių – 5008 m. (V. Puodžiukas, 2007). Lietuvos transporto tinklas pateikiamas 1 paveiksle (A. Mačiulis, 2006).



1 pav. Lietuvos transporto tinklas

(A. Mačiulis, 2006)

Lietuvai įstojus į Europos Sąjungą keliuose smarkiai padidėjo transporto srautai. Tenka nuolat gerinti eismo sąlygas – stiprinti kelio dangas, platinti kelius, – vykdyti patvirtintus transeuropinius projektus. Tai daroma sėkmingai: per praėjusius 5 metus kelių infrastruktūros sektoriuje įgyvendinti 9 dideli investiciniai projektai (šeši iš jų patikrinti nepriklausomo audito), bendrai finansuoti ES ir Lietuvos Respublikos lėšomis. Tai rodo, kad kelių sektorius yra pajėgus tinkamai ir laiku panaudoti ES teikiamą paramą.

Siekiant užtikrinti gerą kelių būklę ir nuoseklų susisiekimo sąlygų gerinimą, buvo patikslinta „2002–2015 metų kelių priežiūros ir plėtros programa 2006–2015 metams“. Įvertinant dabartinę padėtį keliuose, patikslintoje programoje siūloma saugaus eismo sąlygų gerinimą pateikti kaip prioritetinį tikslą. Į programą įtrauktas ir papildomas tikslas – Nacionalinės darnaus vystymosi strategijos principų įgyvendinimas, kuris formuluojamas Lietuvos bei svarbiausiuose ES dokumentuose.

Lietuvai tapus ES nare, iškyla būtinybė kelius projektuoti ir tiesti pagal tarptautinius standartus: kad įvažiavimai ir nuvažiavimai automagistralėse vyktų per skirtingų lygių sankryžas, pasiekiamas aplinkiniais keliais (kartais važiuojant keliolika kilometrų), o aplinkkeliai visų pirma skirti tranzitiniam eismui. Iš viso saugaus eismo priemonėms įgyvendinti iki 2015 m. planuojama skirti apie 512 mln. Lt, iš kurių apie 420 mln. sudarytų ES parama.

Kitas svarbus tikslas – kelių ir tiltų tinklo priežiūra. Ir toliau bus siekiama gerinti kelių tinklo būklę, tobulinti kelių tinklo priežiūros valdymą. 2006 m. naudojant Kelių priežiūros ir plėtros programos lėšas bei ES paramą buvo pasiekta didelių rezultatų – suremontuoti ir

rekonstruoti tiltai ir viadukai, kurių plotas sudarė 29,1 tūkst.. kv. m. Iki 2015 m. numatoma suremontuoti ar rekonstruoti visus tiltus, kurių naudojimo trukmė 25-eri ir daugiau metų.

Įgyvendinant Nacionalinės darnaus vystymosi strategijos principus, siekiama mažinti triukšmingumo lygį prie pagrindinių kelių, aplinkos taršą, jos poveikį pasaulio klimatui, autotransporto keliamą pavojų žmonių sveikatai, išsaugoti kraštovaizdžio biologinę įvairovę. Pagrindinės kelių transporto sektoriaus silpnybės yra nepakankamai laidžios miestų gatvės ir aplinkkelių stoka, biotransporto takų trūkumas, didelis avaringumas, tačiau šios problemos sprendžiamos jau dabar, kadangi transporto poveikio aplinkai mažinimas yra šalies darnaus vystymosi prioritetas (V. Puodžiukas, 2007).

Transporto infrastruktūros objektas - transporto infrastruktūros elementas, kuris gali būti atribotas nuo kitų infrastruktūros objektų ir savarankiškai funkcionuoti.

Didžiausias Lietuvos miestas ir sostinė kasdien sutraukia didelius vidaus ir tarptautinius transporto srautus. Miesto gyventojų skaičių kasdien papildo iki 120-150 tūkstančių kitų Lietuvos regionų gyventojų bei užsienio turistų. Tai reikalauja gerai išvystytos ir subalansuotos Vilniaus miesto susisiekimo sistemos, kuri teigiamai įtakotų miesto socialinį – ekonominį gyvybingumą ir tuo pačiu užtikrintų saugias eismo sąlygas ir neužterštą aplinką.

Vilniaus miestas, turintis gerus transportinius ryšius ir europinio lygio automagistrales ir geležinkelius, patogiai jungia Lietuvos sostinę su Lietuvos regionais, Baltijos jūros miestais ir uostais. Pakelės infrastruktūros išvystymo ir aptarnavimo lygis atitinka šiuolaikiniams gyventojų ir vairuotojų poreikiams. Tačiau Vilniaus miesto susisiekimo sistema dar nėra pakankamai integruota: bendrų integruotų transporto koridorių ir aplinkkelių nebuvimas sukelia diskomfortą miesto teritorijoje vykstant tranzitiniams srautams.

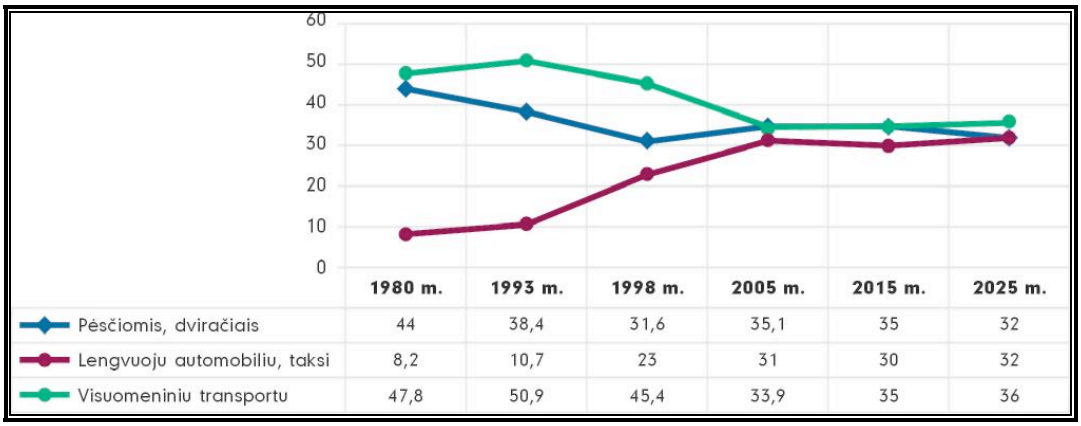
Vilniaus miestas turi vieną iš labiausiai išvystytų miesto visuomeninio transporto tinklą, kuris atskirose trasose sėkmingai konkuruoja su lengvųjų automobilių pervežimais, nors mieste ir trūksta greito eismo maršrutų. Vyksta pastovus autobusų ir troleibusų parkų transporto priemonių atnaujinimas (Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 metų, 2006).

1.1.2. Vilniaus susisiekimo sistema

Sparčiai augant automobilizacijos lygiui, kuris šiuo metu sudaro 515 lengvųjų automobilių 1 tūkstančiui gyventojų, miesto susisiekimo infrastruktūros plėtra (tiltų, gatvių tiesimas, sankryžų rekonstrukcija, stovėjimo aikštelių įrengimas) fiziškai jau negali būti užtikrinta reikiamais resursais, o transporto poveikis aplinkai ir eismo pasekmės pateisintos ekonominėmis prielaidomis. Miestui būtina turėti šiuolaikinę ir subalansuotą Vilniaus miesto susisiekimo sistemą, kuri darytų įtaką miesto socialiniam - ekonominiam gyvybingumui, užtikrintų aplinkos kokybę ir saugias eismo sąlygas.

Daugiafunkcinė Vilniaus miesto susisiekimo sistemos plėtra tarptautiniu, valstybiniu ir regiono lygiu iki 2015 metų sprendžiama kompleksiškai plėtojant visas susisiekimo rūšis, pirmenybę teikiant pėstiesiems, dviratininkams ir miesto visuomeniniam transportui, kuris, trūkstant teritorijų ir resursų susisiekimo infrastruktūros plėtrai, yra vienas iš svarbiausių galimų ekonominių ir ekologinių sprendimų.

Susisiekimo sistemos plėtros modelis yra tiesiogiai susietas su realizuojamu kompaktiško miesto modeliu, mažesniu investicijų susisiekimo infrastruktūros ir visuomeninio transporto maršrutinio tinklo plėtros poreikiu bei transporto poveikiu aplinkai.

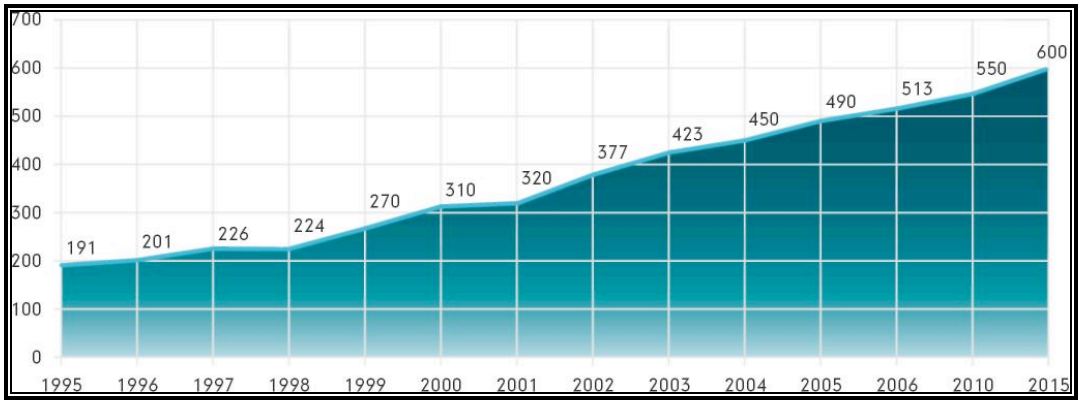


	1980 m.	1993 m.	1998 m.	2005 m.	2015 m.	2025 m.
Pėsčiomis, dviračiais	44	38,4	31,6	35,1	35	32
Lengvuoju automobiliu, taksi	8,2	10,7	23	31	30	32
Visuomeniniu transportu	47,8	50,9	45,4	33,9	35	36

2 pav. Vilniaus gyventojų kelionių struktūra (%)

(Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 metų, 2006)

Planuojamu laikotarpiu būtina įgyvendinti svarbiausių Vilniaus miesto gatvių ir išorės kelių tinklo karkasą, kad būtų galima realizuoti pagrindinius transporto srautus ir visuomeninio transporto maršrutinį tinklą tarp pagrindinių miesto rajonų, tarptautinio Vilniaus oro uosto ir užmiesčio kelių. Planuojamas miesto automobilizacijos lygis 2015 metais – 600 lengvųjų automobilių 1000 gyventojų.



3 pav. Vilniaus miesto automobilizacijos lygis

(lengvųjų automobilių skaičius 1000 gyventojų)

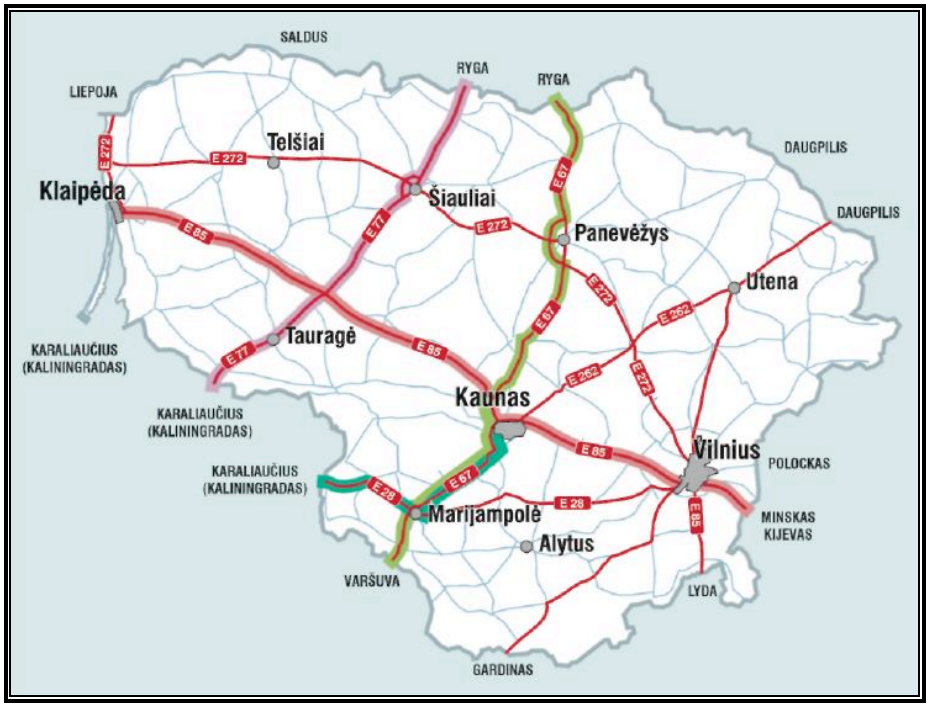
(Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 metų, 2006)

Išorės susisiekimo tinklas

Sėkminga miesto urbanistinė ir ekonominė plėtra yra tiesiogiai susijusi su Vilniaus miesto susisiekimo sistemos integracija į Lietuvos ir Europos transporto tinklą. Numatoma toliau užtikrinti anksčiau parengtų projektų tęstinumą ir jų realizavimą, sujungiant miesto greito eismo gatvių karkasą su išorės jungtimis ir formuoti transporto koridorių sistemą:

- inicijuoti tarptautinio Vilniaus oro uosto infrastruktūros modernizavimą ir pagerinti transporto ryšių realizavimą su Vilniaus miesto terotorija ir užmieščio keliais. Numatoma po 2015 metų tiesti naują lėktuvų kilimo ir tūpimo taką, kuris galėtų nukreipti skrydžius nuo esamų miesto gyvenamųjų rajonų;
- nutiesti Vakarinę greito eismo gatvę nuo Oslo gatvės iki Ukmergės automagistralės, sujungiant išorės automagistralių tinklą;
- nutiesti tiesioginį transporto įvadą iš Kauno automagistralės į šiaurinę Vilniaus miesto dalį per Pilaitės rajoną, nukreipiant dalį transporto priemonių nuo Grigiškių rajono;
- modernizuoti IXB transporto koridoriaus atkarpą Grigiškėse, įrengiant dubliuojančias gatves ir skirtingo lygio transporto mazgus bei pėsčiųjų perėjas;

Ateityje geležinkelio transportas perveš daugiau keleivių ir ypač krovinių. Geležinkelis yra viena iš alternatyvų automobilių transportui sprendžiant aplinkos apsaugos ir ekologijos problemas Vilniaus regione. Norint padidinti pervežimus šia transporto rūšimi, būtina modernizuoti infrastruktūrą, padidinti susisiekimo greitį ir įjungti geležinkelį į europinį tinklą.



4 pav. Tarptautiniai kelių transporto koridoriai Lietuvos teritorijoje

(Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 metų, 2006)

Miesto vidaus susisiekimo sistema

Siekiant konkuruoti regione ir Europos Sąjungoje, būtina gerinti ne tik išorinius miesto ryšius, bet ir turėti aiškią vidaus susisiekimo sistemos plėtros strategiją. Šiuo metu esamas nepakankamo tankio gatvių tinklas jau pasiekė laidumo ribą daugelyje Vilniaus miesto sankryžų ir tapo viena iš svarbiausių miesto problemų. Dėl to mieste kyla pavojus žmonių sveikatai, gamtos ir paveldo apsaugai. Reikalingos radikalios priemonės transporto ir pėsčiųjų, dviratininkų eismo sąlygoms pagerinti, visuomeninio transporto konkurencingumui didinti.

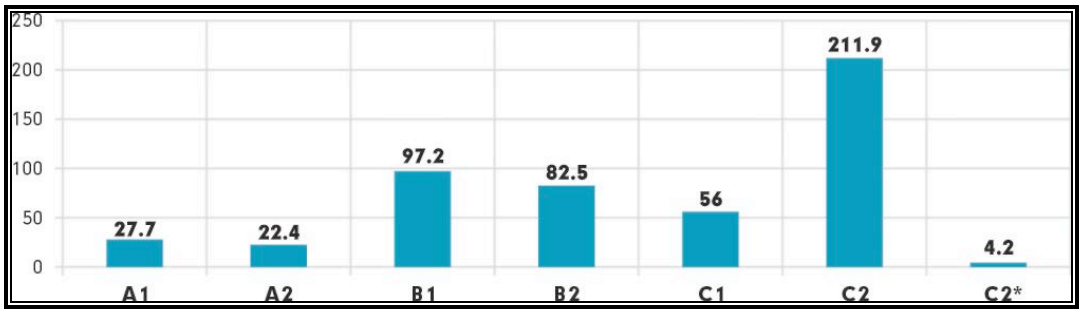
Svarbiausi miesto vidaus susisiekimo objektai yra:

- miesto greito eismo gatvių tinklo karkasas, kuris turėtų tiesiogines jungtis su išorės keliais (eitų Šiaurine, Žvalgų, Žirmūnų, Olandų, Zarasų, P. Višinskio, Sukilėlių, Dunojaus, Liepkalnio, Žirnių, Pietine, Oslo, Vakarine gatvėmis. Vidinės jungtys – Pilaitės prospektu, T. Narbuto gatve, Konstitucijos prospektu, Šeimyniškių, Geležinio Vilko gatvėmis). Svarbiausias sektorius yra pietrytinis, kuris įvardytas kaip Centro apvažiavimas;
- miesto ir regiono greito eismo visuomeninio transporto maršrutinis tinklas, kurį formuotų modernaus tramvajaus ir geležinkelio linijos (jas gali papildyti ekspresiniai autobusai). Rytų–vakarų kryptimi kursuotų traukiniai maršrutu Trakai–Lentvaris–Naujoji Vilnia–Mickūnai, šiaurės - pietų kryptimi kursuotų modernusis tramvajus maršrutu Santariškės – Stotis – (oro uostas). Kitos taikomos priemonės: prioritetinės eismo organizavimo priemonės, visuomeninio transporto juostų tolimesnė plėtra;
- troleibusų kontaktinio tinklo formavimo užbaigimas šiaurinėje miesto dalyje. Tinklo plėtra numatoma Šiaurine ir Žvalgų gatvėmis nuo Justiniškių iki Žirmūnų bei Laisvės prospektu ir Ateities gatve iki Fabijoniškių galinio žiedo, kuriame numatomas visuomeninio transporto šiaurinis terminalas (kartu su priemiestine autobusų stotimi);
- šiuolaikinės eismo reguliavimo ir valdymo sistemos įdiegimas ir pagrindinių sankryžų geometrinių parametrų pagerinimas;
- pėsčiųjų ir dviratininkų eismui žaliųjų takų tinklas, kuris siejamas su eismo dalyvių saugumo užtikrinimu bei šios transporto rūšies propagavimu. Vienas iš svarbesnių objektų – Eurovelo 11 trasos miesto teritorijoje įrengimas;
- transporto eismo sumažinimas pagrindinėje senamiesčio zonoje, centre, pirmenybę teikiant pėstiesiems, dviratininkams ir visuomeniniam transportui.

Taikomos šios priemonės: visuomeninio transporto aptarnavimo gerinimas, mokesčio nustatymas už transporto įvažiavimą ir stovėjimą;

- automobilių stovėjimo vietų plėtra miesto gyvenamuosiuose rajonuose (ar šalia jų), mokamų automobilių saugyklų įrengimas ir draudimas statyti automobilius pagrindinėse gatvėse.

Planuojamo gatvių tinklo laidumo ir miesto visuomeninio transporto maršrutinio tinklo plėtrai užtikrinti reikalingas tankesnis magistralinių gatvių tinklas, kurio tankis 2015 metais turėtų sudaryti 2,6 km/1 km^2.



5 pav. Vilniaus miesto magistralinių gatvių struktūra 2015 m. (km)
(Gatvių kategorijos: A - greito eismo, B - pagrindinės, C - aptarnaujančios, C2* - riboto transporto eismo)

(Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 metų, 2006)

Realizavus numatytą susisiekimo subalansuotos infrastruktūros plėtros programą ir visuomeninio transporto plėtrą ir modernizavimą galima tikėtis, kad 2015 metais metinis kelionių skaičius privačiais lengvaisiais automobiliais sumažės 6,2 mln. – o visuomeniniu transportu išaugs 6,9 mln. kelionių.

Priimtas miesto urbanistinės plėtros modelis leis formuoti ekonomišką susisiekimo sistemą. Kompaktiška miesto plėtra užtikrins geresnį ir patogesnį transportinį aptarnavimą, visuomeninio transporto maršrutinį tinklą, sumažins kelionės trukmę. Vidutinis vienos kelionės ilgis sumažės nuo 1,7 – 2,0 km (lyginant su esama dabartine miesto plėtros schema).

Koordinuoto eismo reguliavimo sistemos įvedimas pagrindinėse miesto gatvėse (numatoma pakeisti esamus UK ir Fiskars tipo šviesoforus), dviratininkų eismo atskyrimas nuo transporto srautų, sunkiojo transporto srautų nukreipimas į transporto koridorius įgalins sumažinti esamas neigiamas transporto pasekmes: padidins transporto srautų greitį ir eismo saugumą. 2015 metais transporto srauto greitis piko valandomis pagrindinėse gatvėse turėtų padidėti nuo 29,3 km/val. (2005 m.) iki 31,0 km/val., žuvusių skaičius mieste turėtų sumažėti nuo 106 iki 75 (žuvusių skaičius tenkantis vienam milijonui gyventojų) (Vilniaus miesto bendrasis planas iki 2015 metų, 2006).

1.2. Intelektualiosios transporto sistemos (ITS)

Transporto sistemos komponentai

Pagrindiniai transporto sistemos elementai yra transporto infrastruktūra, transporto priemonės, transporto priemonių vairuotojai, vežami daiktai (krovinių, asmenų) ir transporto logistika, pareigūnai, dalyvaujantys transporto srityje, transporto kontrolės centrai, tranzito terminalai ir vežimo dokumentai.

Transporto sistema gali būti sudaryta iš trijų rūšių sistemų su papildomais tikslais, kurie yra struktūriškai, funkciškai ir informacionaliai integruoti. Šios sistemos yra skirstomos į operacines, valdymo ir informacines.

Pažangios transporto sistemos gali būti struktūrinės, atsižvelgiant į funkcinį sudėtingumą ir taikymo sritį, kaip pažangios eismo valdymo sistemos, pažangių transporto sistemų valdymo priemonės, pažangių sistemų informacija keliautojams, pažangios visuomeninio transporto sistemos, sistemos komerciniam transporto priemonių naudojimui, avarinių situacijų valdymo sistemos, elektroninių mokėjimų sistemos. (Eng. George Dionisie Mihai, 2005).

Pažangiosios transporto sistemos yra kitas žingsnis transporto sistemos raidoje nacionaliniu, Europos ir tarptautiniu lygmeniu. Pažangiosios transporto sistemos yra „santuoka“ tarp informacijos ir komunikacijos technologijų ir transporto priemonių bei transporto tinklo, kurių tikslas - sukurti pažangų krovinių ir asmenų judėjimą, nes ITS teikia papildomą praktinę patirtį keliautojams ir vežėjams. Pažangios transporto sistemos posistemių surinkimas, paremtas naujausiomis informacijos technologijomis, ryšių ir elektronikos srityse transporto procesų valdymu, įgalinančiu padidinti transporto efektyvumą ir saugumą.

Vienas iš transporto kamščių ir autotransporto keliamos oro taršos mažinimo būdų – kurti intelektualias transporto priemones bei didinti jų efektyvumą. Šių sistemų kokybės parametrai – duomenų surinkimo sistemos efektyvumas, valdymo apimtis, operatyvumas, adaptyvumas, valdymo algoritmų efektyvumas.

Daugėjant miestuose automobilių, didėja gatvių sankryžų apkrovimas, mažėja jų pralaidumas, automobiliams ilgiau stovint sankryžose teršiama aplinka, be reikalo deginami degalai. Šias problemas galima spręsti keliais būdais: platinti kelius, didinti eismo juostų skaičių, branginti degalus, tobulinti visuomeninio transporto sistemą bei kurti intelektualias transporto valdymo sistemas. Sparčiai tobulėjant kompiuterinei technikai, automatikos sistemoms ir optinėms duomenų perdavimo sistemoms, kuriamos ir intelektualios transporto valdymo sistemos (ITVS), didinamas jų darbo efektyvumas. Taigi norint optimaliai parinkti ITVS sistemos sandarą, posistemius, pastatymo ir valdymo vietas, svarbu įvertinti jų sistemų

efektyvumą. ITVS paskirtis: kaupti informaciją apie eismo sąlygas ir transporto srautus keliuose ir pateikti ją neiškraipytą (korektišką) valdymo sistemoms (GPS, maršrutų valdymo ir sudarymo, viešojo transporto valdymo sistemoms, komercinio transporto valdymo sistemoms, elektroninio apmokėjimo ir mokesčių rinkimo sistemoms ir kt.). Pačias valdymo sistemas galime apibrėžti tokiais kokybiniais parametrais: valdymo apimtimi, operatyvumu, adaptyvumu, valdymo algoritmų, duomenų surinkimo sistemų efektyvumais ir jų pateikiamos informacijos įvairumu bei naudingumu.

Intelektualioji elektroninė transporto valdymo sistema paprastai būna sudaryta iš tokių pagrindinių dalių: 1) duomenų surinkimo posistemio; 2) duomenų apdorojimo posistemio; 3) duomenų perdavimo posistemio; 4) valdymo posistemio; 5) atskirų hierarchinių lygių tarpusavio sąsajų posistemių (Marma ir kt. 2005).

Intelektualiųjų transporto sistemų technologijų tyrimai ir ITS efektyvumas

ITS - tikslas rinkti informaciją apie eismo sąlygas ir eismo srautų kelius ir pateikti jį be iškraipymų kontrolės sistemoms. Valdymo sistemos gali pačios nustatyti kokybinius parametrus: kontrolės taikymo sritį, ekspedicija, adaptacija, valdymo algoritmas ir surinkimo sistemos veiksmingumą, veislės ir naudingumo informaciją.

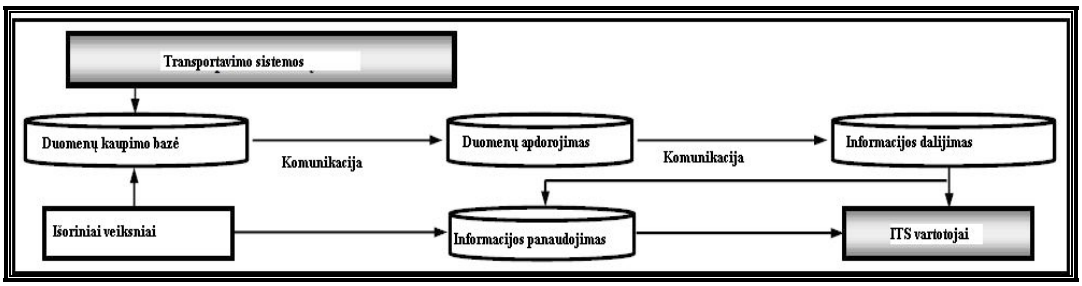
Elektroninės ITS apima techninių priemonių kompleksą, susijusį su bendros informacijos apdorojimu. Kai dirba pagal bendruosius algoritmus bent dvi sistemos, sujungtos sąsaja – jos gali būti laikomos minimalia integruota sistema. Tokiu būdu elektroninė ITS taip pat gali būti laikoma integruota sistema (vaizdo stebėjimo signalų apdorojimo, kontrolės sistema ir pan.)

Pagrindinė sistemos dalis, kuri surenka informaciją iš vaizdo kameros, yra skaitmeninių vaizdo kamerų ir specialiųjų vaizdo signalo apdorojimo ir perdavimo stotelės, kurios yra įdiegtos kelio ruožuose ir kelių kryžkelėse. Tokia sistema padeda gauti realaus laiko informaciją apie eismo sąlygas kelių ruožuose, todėl visa ši informacija gali būti efektyviai naudojama siekiant kontroliuoti transporto eismą. Skaitmeninis vaizdas iš visų kamerų signalais yra perduodamas į centrines sistemas, kurios analizuoja transporto srautus. Ši statistinė informacija yra renkama, realiame laike stebint veiklos objektus vaizdo kameromis, kurių programinės įrangos palaikymas yra susijęs, kad galėtų atpažinti automobilių ir jų valstybinius numerius. Kai gaunama ši informacija, galima išsamiai įvertinti posisteminį informacijos rinkimo efektyvumą.

ITS komponentų funkcijos

Pažangiosios transporto sistemos yra skaitmeninės informacijos ir ryšių technologijų revoliucijos produktas ir skaitmeninio amžiaus požymis. Dabar ITS remia tinklų integruotą transporto priemonių kontrolę, veikiančių tinklų ir efektyviai planuoja operacijas, kurios naudoja šias transporto priemones (įskaitant individualų kelionės planavimą ir laivyno logistiką). Jos turi dideli spektrą vartotojo pagalbos funkcijų - nuo paprastos informacijos įspėjimų iki labai sudėtingų kontroliavimo sistemų.

Iš esmės šios ITS paslaugos gali būti suvokiamos kaip informacinė grandinė, kaip parodyta 6 paveiksle. Grandinės informacija apima duomenų įsigijimą (nuo transportavimo sistemos), komunikaciją, duomenų apdorojimą, informacijos platinimą ir informacijos panaudojimą (sprendimų ir valdymo parama vartotojams.) Atkreipkite dėmesį, kad tam tikrų išorės veiksnių, tokių kaip orų prognozės taip pat patenka į informacinę grandinę.



6 pav. ITS informacija grandinėje

(Jarašūnienė, 2007)

Grandinės koncepcijos informacija nėra nauja tiems, kurie tvarko visapusiškas eismo sistemas. Technologijos ir sistemos koncepcijos sąvokos palyginimas:

- keitimasis informacija ir sprendimų koordinavimas su kelių centrais (pvz., tarp srauto ir tranzito valdymo centrų, įvairiarūšės transporto paslaugos);
- informacijos gavimas ir integracijos tarp transporto priemonių ir kelių infrastruktūros (tokios funkcijos kaip dinamiškas maršruto nurodymas);
- informacijos keitimasis su naujomis privataus sektoriaus organizacijomis (pvz., informacijos paslaugų teikėjus skatinti platinti informaciją apie eismą per mobiliuosius telefonus ar internetu);
- informacijos keitimasis su trečiosiomis transporto organizacijomis (pvz., elektroninės mokėjimo sistemos, apimančios finansines institucijas, ir sienos kirtimo punktai, susiję su muitinės ir migracijos tarnybomis) (Jarašūnienė, 2007).

1.3. Maršrutų planavimo metodai

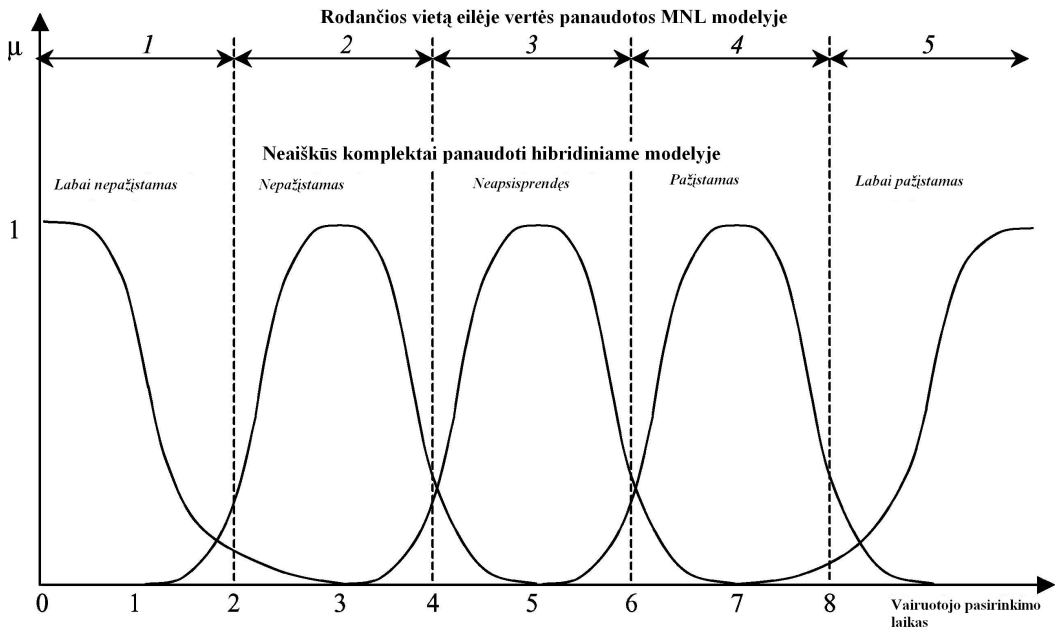
Vairuotojas, kuris kelyje priima sprendimus, turi asmeninių požymių - tai reagavimas į pateiktą informaciją ir situacinius faktorius, tokius kaip dienos laikas, gamtinės sąlygos, kelionės tikslas ir supančios eismo sąlygos. Gauti tikslius vairuotojų pasirinkimus į galimus maršrutus yra tipiškai sudėtinga todėl, kad jie labai paveikti praėjusios patirties, subjektyvios eismo informacijos interpretacijos, jei ir asmeniniai požiūriai dinamiškai keičiasi nuo eismo sąlygų. Dažniausiai pasirenkami modeliai yra apriboti jų gebėjime surasti kartu veikiančius padarinius įvairių situacinių faktorių ir tipiškai negali reguliuoti pavyzdinių parametrų dienos metu. Paskutinis gebėjimas yra kritiškas pastovumą tikrinančioms procedūroms, skubiai atliekamam naudojamam pažangių informacijos sistemų išdėstymui.

Kiti faktoriai, tokie kaip inercija, sutikimas, klydimas, šaltis, eismo informacijos suvokimas ir pažinimas keičiasi ilgainiui ir yra reikšmingesni kasdieniniame kontekste. Manoma, kad atskiri vairuotojai turi savo savitą praėjusio laiko dalijimą, kuris rodo jų praėjusio laiko suvokimą. Šitas suvokimas yra atnaujinamas praėjusio laiko informacija, pateikta specifinę dieną ir praeities patyrimu.

Kelyje vairuotojo maršruto problema po informacijos peržiūros yra charakterizuota subjektyvių/kalbinių požymių, situacinių faktorių, ir apriboto duomenų tinkamumo. Standartinis metodas tikimybiniuose atskiruose rinktiniuose modeliuose įtraukia subjektyvius ar kalbinius kintamuosius, taip pat pavadintus kokybiniais kintamaisiais, turi panaudoti rodančius vietą eilėje ir/ar padirbtus kintamuosius. Abu duoda suprasti atskirą požymio verčių pavaizdavimą.

Tai tinkama kintamiesiems (tokiems kaip giminė), kurie yra atskiri iš esmės. Tačiau, jie yra apribojantys kokybinius kintamiuosius, kurie yra nuolatiniai. Pavyzdžiui, kaip 7 paveiksle (kur μ reiškia galimybę), pažinimas yra nuolatinis kintamasis, duodantis suprasti, kad toks kaip “labai pažįstamas” (rodantis vietą eilėje 5 vertės) ir “pažįstamas” (rodantis vietą eilėje 4 vertės).

Ir tai toliau blogėja, nes siena tarp “labai pažįstamų” ir “pažįstamų” gali keistis per asmenis suprantama kaip subjektyvumas. Tam tikriems kalbiniams požymiams diskretizacija galbūt net nėra tinkama. Pavyzdžiui, žinutės, rodytos informacijos eismo sistemos, kad apibūdintų eismo situaciją, gali būti “susigrūdimas priekyje”, ar “laukia užlaikymas”, ir tai trukdo reikšmingai diskretizacijai. Tokiuose pavyzdžiuose rodanti vietą eilėje padėtis rangų skalėje jungtiniam požymiui (eismo informacija) nėra reikšminga.



7 pav. Vairuotojo susipažinimo su maršrutu modeliavimas

(Srinivas Peeta, Jeong Whon Yu 2005)

Neaiškus modelis paverčia kokybinius duomenis į nuolatines neaiškias kintamas vertes, manydamas, kad rinktiniai vairuotojo maršruto sprendimai yra pagrįsti paprasta taisykle, kaip parodyta 1 lentelėje (Srinivas Peeta, Jeong Whon Yu, 2005).

1 lentelė. Apytikslės taisyklės.

Požymis	LHS	RHS
Pažinimas	Jei vairuotojas yra “labai pažįstamas” su maršrutu	Jis ar ji pasirinks maršrutą
	Jei vairuotojas yra “pažįstamas” su maršrutu	Jis ar ji turbūt pasirinks maršrutą
	Jei vairuotojo pažinimas yra “neapsisprendęs”	Jis ar ji bus neutralus
	Jei vairuotojas yra “nepažįstamas” su maršrutu	Jis ar ji turbūt nepasirinks maršruto
	Jei vairuotojas yra “labai nepažįstamas” su maršrutu	Jis ar ji nepasirinks maršruto
Sunkumas	Jei maršrutas yra paprastas	Jis ar ji turbūt pasirinks maršrutą
	Jei maršrutas yra normalus	Jis ar ji bus neutralus
	Jei maršrutas yra sudėtingas	Jis ar ji turbūt nepasirinks maršruto
Kokybinė eismo informacija	Jei eismo sąlygos yra geros	Jis ar ji turbūt pasirinks maršrutą
	Jei eismo sąlygos yra normalios	Jis ar ji bus neutralus
	Jei eismo sąlygos yra blogos	Jis ar ji turbūt nepasirinks maršruto

1 lentelės tęsinys

Sutikimas:		
Oras	Jei oras yra geras	Jis ar ji turbūt seks rekomenduotą maršrutą
	Jei oras nėra geras	Jis ar ji turbūt neseks rekomenduoto maršruto
Dienos laikas	Jei dienos laikas yra diena	Jis ar ji turbūt seks rekomenduotą maršrutą
	Jei dienos laikas nėra diena	Jis ar ji turbūt neseks rekomenduoto maršruto
Kelionės tikslas	Jei vairuotojas yra komandiruotės metu	Jis ar ji turbūt seks rekomenduotą maršrutą
	Jei vairuotojas yra laisvalaikio kelionėje	Jis ar ji turbūt neseks rekomenduoto maršruto
Inercija:		
Oras	Jei oras yra geras	Jis ar ji turbūt nukryps nuo einamojo maršruto
	Jei oras nėra geras	Jis ar ji turbūt nenukryps nuo einamojo maršruto
Dienos laikas	Jei dienos laikas yra diena	Jis ar ji turbūt nukryps nuo einamojo maršruto
	Jei dienos laikas nėra diena	Jis ar ji turbūt nenukryps nuo einamojo maršruto
Kelionės tikslas	Jei vairuotojas yra komandiruotės metu	Jis ar ji turbūt nukryps nuo einamojo maršruto
	Jei vairuotojas yra laisvalaikio kelionėje	Jis ar ji turbūt nenukryps nuo einamojo maršruto

Dijkstros algoritmas

Dijkstros algoritmas – Edgar Dijkstra sukurtas algoritmas, randantis trumpiausius kelius nuo vienos viršūnės iki kitų svoriniame grafe su neneigiamais svoriais. Pavyzdžiui, jei grafo viršūnės vaizduoja miestus ir kraštinių svoriai vaizduoja atstumą tarp tų miestų, sujungtą tiesioginiu keliu, Dijkstra algoritmas naudojamas surasti trumpiausius kelius tarp tų miestų.

Algoritmo pradiniai duomenys yra kryptinis grafas G su kraštinių svoriais ir šaltinių viršūne S grafe G. Mes pavadinsime V visų viršūnių rinkinį grafe G. Kiekviena grafo kraštinė yra sutvarkyta viršūnių pora (u, v), parodanti ryšį tarp viršūnių u ir v. Visų kraštinių rinkinys yra E. Kraštinių svoriai yra numatomi pagal svorių funkciją w:E; čia u(u, v) yra ne neigiama kaina tiesiogiai einant nuo viršūnės U iki viršūnės V. Kraštinės kaina yra laikoma atstumu tarp šitų dviejų viršūnių. Kelio kaina tarp dviejų viršūnių yra kraštinių kainų suma tame kelyje.

Porai viršūnių s ir t visų viršūnių rinkinyje V algoritmas suranda kelią nuo s į t su mažiausia kaina (trumpiausias kelias). Jis taip pat gali būti naudojamas rasti trumpiausių kelių kainai nuo vienos viršūnės s iki kitų viršūnių grafe.

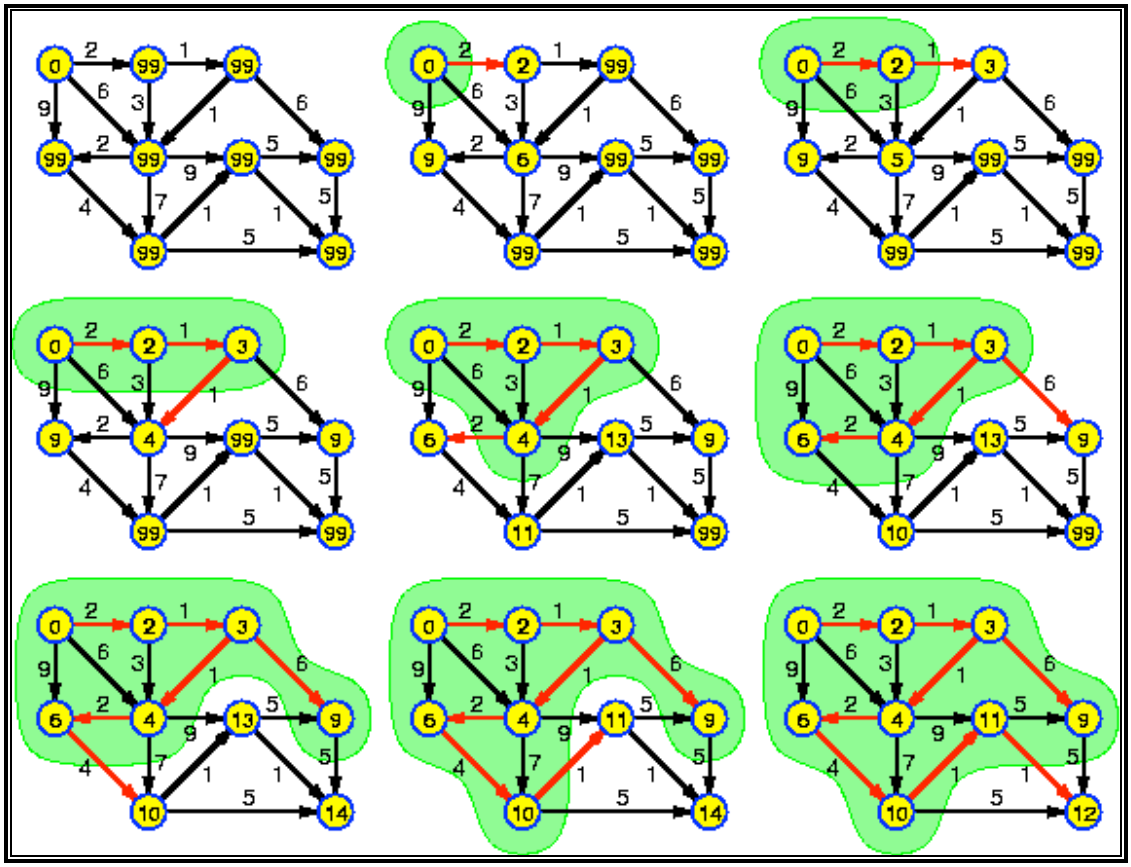
Algoritmas dirba surasdamas kiekvienai viršūnei trumpiausio kelio kainą d[v], rastą tame kelyje tarp s ir v. Iš pradžių ši vertė yra 0 šaltinio viršūnei s (d[s]=0) ir begalybė kitoms viršūnėms, pripažįstant faktą, kad mes nežinome jokių kelių iki tų viršūnių (d[v]=∞ kiekvienam v iš V, išskyrus s). Kai algoritmas baigsis, d[v] bus trumpiausias kelias nuo s iki v, ar begalybė, jei toks kelias neegzistuoja.

Pagrindinė Djikstros algoritmo operacija yra kraštinių atlaisvinimas, jei yra kraštinė nuo u iki v, tai trumpiausias žinomas kelias nuo s iki u (d[u]) gali būti išplėstas į kelią nuo s iki v, pridedant kraštinę (u, v) prie galo. Toks kelias turės ilgį d [u]+w(u, v). Jei tai yra mažiau negu esamas d[v], mes galime pakeisti esamą vertę d[v] nauja verte. Kraštinių atlaisvinimas yra taikomas, kol visos vertės d[v] atitinka trumpiausio kelio kainą nuo s iki v. Algoritmas yra organizuojamas taip, kad kiekviena kraštinė yra atlaisvinama tik vieną kartą, kai d[u] pasiekia savo galutinę vertę.

Paprasčiausias Djikstros algoritmo įvykdymas laiko rinkinio Q viršūnes paprastame tiesiniame sąraše ar masyve, ir operacija Išrinkti mažiausią yra paprasta tiesinė paieška per visas viršūnes Q. Šiuo atveju algoritmo sudėtingumas yra $O(V^2)$.

Retiems grafams, tai yra grafams su mažiau nei V^2 kraštinių, Dijkstros algoritmas gali būti pritaikytas žymiai efektyviau, tai yra laikant grafą kaimyniniuose sąrašuose ir naudojant dvejetainę piramidę (angl. *heap*) arba Fibonačio piramidę pritaikant „Išrinkti mažiausią" operaciją. Su dvejetaine piramide algoritmas reikalauja O((E+V)lgV) sudėtingumo, ir Fibonačio piramidė sumažina sudėtingumą iki O(E + VlgV).

Vienas pranašumas Dijkstra žymėjimo algoritmu yra toks, kad algoritmas gali būti užbaigtas, kai maršruto mazgas yra ilgam pažymėtas. Dauguma kitų algoritmų garantuoja optimalius trumpiausius kelius tiktai terminuotam laikui, kai visas trumpiausias kelio medis yra ištirtas (prieiga per internetą: http://lt.wikipedia.org/wiki/Dijkstros_algoritmas).



8 pav. Dijkstros algoritmo pavyzdys

(prieiga per internetą: http://lt.wikipedia.org/wiki/Dijkstros_algoritmas)

Simetriškas Dijkstra algoritmas

Pohl pritaikė Dijkstra trumpiausią kelio algoritmą, kad sumažintų paieškos erdvės dydį. Pohl algoritmas buvo pirmas panaudojęs dvikryptį paieškos metodą. Šis algoritmas susideda iš priekinės paieškos nuo kilmės mazgo į maršruto mazgą ir atgalinė paieška nuo maršruto mazgo į kilmės mazgą. Tai buvo padaryta pasiekiant sumažinti paieškos sunkumą iki O ($b^{d/2}$) palygintą su O (b^d) kaip su Dijkstra algoritmu. Šis paieškos metodas reiškia, kad dvi paieškos auga simetriškai ir turi susitikti kažkokiame viduriniame rajone. Kartais tai taip nenutinka ir tęsiasi dvi O (b^d) paieškos.

Simetriško ar dvikrypčio Dijkstra algoritmas prie Pohl augina du paieškos medžius, vienas nuo kilmės, medį apimantį komplektą mazgų L_F, dėl kurių minimalus atstumas/laikas nuo kilmės yra žinomas, ir sekundė nuo maršruto, kuris duoda komplektą mazgų L_B, dėl kurių minimalus atstumas/laikas į maršrutą yra žinomas. Mes pasikartojančiai pridedame vieną mazgą ar prie L_F ar prie L_B, kol ten neegzistuoja arka, susikertanti nuo L_F į L_B.

Kaip Dijkstra algoritmas Pohl dvikryptė paieška pasirenka mazgą su mažiausia kainos etikete, kad pažymėtų ilgam. Rinkdami naują ilgam pažymėtą mazgą ar iš priekinių, ar iš atgalinių fazių mes palaikome Dijkstra kriterijų, reikalingą optimizavimui.

A* Paieška

Pasirinkdami tinkamą multiplikacinį faktorių mes galime padidinti apskaičiuoto komponento viršūnės įnašą etiketės skaičiavime (t.y. padidinti įvertinimo funkcijos įnašą). Iš intuityvaus požiūrio tai atitinka tolimesnį nuteikimą priekinės paieškos į maršrutą ir atgalinės paieškos į kilmę. Euristinis yra parametrizuotas faktoriaus, kurį pavadinama "perdėtu" parametru, panaudotu, kad apkrautų įvertinimo funkciją. Šis pasikeitimas apskritai neduos optimalių kelių, bet mes lauktume to toliau sumažinti paieškos erdvę. Tikslas suranda "optimalų" multiplikacinį ar faktorių, kuriam trukmė yra žymiai pagerinta tuo metu, kai sprendimo kokybė yra vis dar priimtina. Tokiu būdu bus empirinės laiko/atlikimo prekybos, kaip perdėto parametro funkcija (Faramroze Engineer, 2000).

Keliaujančio pirklio uždavinys

Keliaujančio pirklio uždavinys arba komivojažieriaus uždavinys – grafų teorijos uždavinys, kai pilnajame svoriniame grafe ieškoma mažiausio svorio Hamiltono ciklo. Neformaliai jis nusakomas taip:

Turint tam tikrą kiekį miestų, taip pat kelionės iš vieno miesto į kitą kainas, reikia rasti pigiausią maršrutą, kad aplankius kiekvieną miestą maršrutas baigtųsi pradiniame mieste.

Akivaizdžiausias uždavinio sprendimas – visų įmanomų maršrutų perrinkimas. Tačiau tokio sprendimo sudėtingumas N! (miestų skaičiaus faktorialas), taigi didėjant miestų skaičiui sprendimas pasidaro nepraktiškas.

Tikslų atsakymą pateikiantys algoritmai sprendžia problemą tik su nedideliu miestų skaičiumi:

- Įvairūs skaldyk ir valdyk algoritmai, dažniausiai tinkami suskaičiuoti sprendimą daugiausiai 40-60 miestų.
- Geriau veikia algoritmai, kurie remiasi tiesiniu programavimu. Tokie algoritmai gali būti efektyviai naudojami tikslaus maršruto tarp 120-200 miestų radimui.

Hamiltono maršrutai. Keliaujančio pirklio uždavinys yra atskiras atvejis bendresnio uždavinio apie Hamiltono maršrutų radimą. Maršrutas, apeinantis visas grafo viršūnes po vieną kartą vadinamas *Hamiltono maršrutu*. Jei pradinė ir galinė maršruto virūunės sutampa, tai toks maršrutas vadinamas *Hamiltono ciklu*. Grafas turintis bent vieną Hamiltono maršrutą vadinamas *Hamiltono grafu*. Norėdami įrodyti, kad grafas yra Hamiltono, turime rasti bent vieną maršrutą. Dažnai sprendžiame ir sudėtingesnį uždavinį – ieškome visų hamiltono maršrutų. Pavyzdžiui, suradę visus ciklus nesunkiai galime išspręsti keliaujančio pirklio uždavinį (prieiga per internetą: http://www.techmat.vgtu.ly/konspektai/Algoritmai/Paskaita11.pdf).

Keliaujančio pirklio uždavinys fomuluojamas pagal tokį matematinį modelį:

$$\textit{Rasti} \qquad \min\ f(x) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}, \tag{1}$$

$$\textit{Kai} \qquad \sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1,\ j = 1,\dots,n,\ i \neq j; \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1,\ i = 1,\dots,n,\ j \neq i; \tag{2}$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n-1,\ i,j = 2,\dots,n,\ i \neq j; \tag{3}$$

$$x_{ij} = 0\ \ arba\ \ x_{ij} = 1,\ i,j = 1,\dots,n. \tag{4}$$

Papildomos sąlygos $\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1$ *ir* $\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1$ reiškia ribojimą, jog kiekviena viršūnė būtų aplankyta tik vieną kartą. Tačiau šių ribojimų nepakanka paprastam ciklui, einančiam per visas viršūnes, gauti. Viršūnių apėjimas gali išsiskirti į keletą tarpusavyje nesusietų ciklų, einančių per mažesnį už n viršūnių skaičių. Tad sąlygos $u_i - u_j + nx_{ij} \leq n-1,\ i,j = 2,\dots,n,\ i \neq j$ yra įvedamos tam, kad išvengti tokio atvejo ir užtikrinti, jog apėjimo maršrutas būtų vientisas.

2001 metais buvo suskaičiuotas tikslus maršrutas 15 112 Vokietijos miestų naudojant tiesiniu programavimu paremtą metodą. Skaičiavimui buvo naudojama 110 procesorių tinklas, vienam 500 MHz procesoriui būtų prireikę apie 22,6 metų tiems patiems skaičiavimams atlikti (žr. 9 pav.).

9 pav. Keliaujančio pirklio uždavinio sprendinys, kai reikia apeiti penkiolika didžiausių Vokietijos miestų ir briaunų svoriai lygūs atstumams tarp miestų

(prieiga per internetą: http://lt.wikipedia.org/wiki/Keliaujančio_pirklio_uždavinys)

2. INFORMACINIŲ SISTEMŲ TAIKYMO TRANSPORTO ORGANIZACIJOSE PATIRTIS

2.1. GIS realizavimo programinės priemonės maršrutų planavime

Realaus pasaulio atvaizdavimas kelių tinklo maršruto planavime su GIS

Bėgant metams realus pasaulis tapo per daug sudėtingas, kad modelis tinkamai atvaizduotų pateiktą informaciją, tokią kaip GIS. Yra sukurta daugelis metodikų, tačiau tai viena iš jų, kad tinkamai pateikti kelių tinklą geografinėje informacijos sistemoje (GIS) tinklo analizei. Idealiai, kai realų vaizdą vizualizuojama tiek tiksliai kiek galima, GIS gali interpretuoti atsakymą savo virtualiame pasaulyje vienaip ar kitaip, kuris gali ir nesutapti su tiksliu realaus pasaulio atvaizdavimu. Tačiau, egzistuojantys metodai, susieti su modeliavimu kiekvienai daliai kelių tinklo maršruto planavimo analizėje, kuri apima tiktai atstumą ar laiko kintamąjį, neduoda deramų rezultatų. Vadinasi, šis analizavimas nagrinėja, kaip kelių tinklas gali atitikti realybę GIS ir pasiūlyti maršruto planavimo įrankius. Siekiant išspręsti šią problemą, pirma, reikia atsižvelgti į papildomus realistinius kintamuosius. Jie apima orą, kelionių informaciją, kelių tipą, ir taip toliau. Antra, kad sukombinuotų šituos kintamuosius, impedanso modelis (IM) siūlo naudoti analitinio hierarchinio proceso (AHP) metodą. Pagaliau, visi modeliai yra įgyvendinti ir patikrinti su jautrumo analize. Modeliai buvo sėkmingai įgyvendinti. Visi maršruto planavimo analizės keliai buvo sėkmingai suderinti su vairuotojų keliais, kurie iš tikrųjų bus tinkamai parenkami. Laukiama, kad naudojimas kitos technologijos, tokios kaip analitinis tinklo procesas (ATP) be AHP būtų naudingas įveikti anksčiau minėtą problemą (Abolghasem Sadeghi-Niaraki ir kt., 2010).

GIS kartu su eismo modeliavimu ir optimizavimu reaguojant į eismo incidentus

Dabartinėse gatvėse, kai šiuo metu didelis automobilizacijos lygis, susidaro labai didelis kiekis įvairių konfliktinių situacijų, kurios apsunkina vairuotojų keliones. Šių incidentų priežastys yra įvairios, nuo nelaimingo atsitikimo, gamtinių salygų iki šviesoforo neveikimo ar kitų ypatingų sąlygu trukdančių pasiekti kelionės tikslą.

Incidentų atsiradimo ir sprendimo priežastys yra be perstojo tiriamos, kad išsiaiškinti apie kiekvieną incidentą veiksmingais ir savalaikiais metodais. Viena sudėtinga sudedamoji reagavimo į incidentą detalė veiksmuose yra tokia, kad atitinkamai reaguoti ir panaikinti incidentą tiek skubiai kiek tik įmanoma. Bo Huang ir Xiaohong Pan pristatė naują metodą, kuris skubiai praneštų apie sprendimus, kurie įtraukia optimizavimo procesą daugialypių

incidentų sprendimų valdymui. Incidento sprendimo valdymo įrankis (ISVĮ) buvo išvystytas pajungiant geografinės informacijos sistemą (GIS) su eismo modeliavimo ir optimizavimo varikliais. GIS buvo panaudotas aprūpinti pirminę vartotojų sąveiką ir proceso tinklo duomenis, gauti trumpiausio laiko kelią ir vizualizuoti rezultatus. Eismo modeliavimo variklis buvo panaudotas, kad modeliuotų incidentus proceso tinkle, sujungtų kelionės laikus reguliariais tarpais ir perduotų informaciją apie šiuos laikus į GIS. Pagaliau, optimizavimo variklis buvo panaudotas, kad gautų optimalią skubaus pranešimo strategiją, mažindamas visą visų sprendimo vienetų praėjimo laiką. Palyginus su tradicinėmis strategijomis, pagrįstomis vietos artimumu, manoma, kad ISVĮ žymiai sumažina sprendimo laiką ir palengvina išteklių optimizavimą (Bo Huang and Xiaohong Pan, 2007).

Medienos pervežimas, nustatantis maršrutą Airijoje: analizė, panaudojant GIS ir GPS

Nuo 1980-ųjų pabaigos GIS (geografinės informacijos sistemos) vystėsi, kad visiškai įgalintų šios srities pajėgumus, būtinus transporto nukreipime, tyrinėjime ir valdyme. Buvo iškeltas tikslas išanalizuoti pervežimo maršrutų žymėjimus nuo vieno centrinio sandėlio į įvairius maršrutus aplink Airijos šalį, atsižvelgiant į kelių kategoriją, atstumą, greitį, kelionių laiką ir palyginti rezultatus su modeliuotais maršrutais, sukurtais GIS programine įranga. Į analizę įtrauktas ir pervestas į skaitmeninę formą Airijos kelių žemėlapis, kur GPS maršrutai galėjo būti persidengę, kartu su ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc., CA) ArcGIS programinės įrangos duomenimis. ArcInfo įrankis „Network Analyst Tool“ (NAT) buvo panaudotas, kad palygintų maršrutus, sukurtus Dijkstra nukreipimo algoritmo pagalba su tikrais GPS maršrutais išreiškiant kelių kategorijomis, atstumu, greičiu ir kelionės laiku išrinkto maršruto, t.y. maršruto planavimo trukme, terminai buvo naudojami apibūdinti trumpiausią optimalų maršrutą, pagrįstą kelių kategorija, ilgiu, greičiu ir maršruto kelionės laiku. Rezultatai parodė, kad trumpiausias kelias (išreiškiant atstumu) nustatytas NAT, nekopijavo tikrų GPS maršrutų. Tačiau, kai NAT buvo valdytas ir panaudotas, kad nustatytų maršrutus, pagrįstus kelių kategorijomis, t.y. nustatantis maršrutą į aukštesnes kelių karegorijas, o ne atstumą (taikydamas kainos padidinimą geometrinio tinklo viduje), tada GPS maršrutai buvo daugiau kaip 90 % panašūs į tuos, kurie buvo modeliuoti GIS programine įranga. Tai gali leisti GIS panaudoti vien tinklo analizei su sunkvežimių nukreipimais ir ypač medienos sunkvežimių, nustatant maršrutą nuo miško, žaliavos nuėmimo vietos, ir įtraukti GPS naudojimą kitos informacijos gavimui, tokiai kaip skubiai atliekamas sekimas ir medienos judėjimo kontroliavimas (Devlin ir kt., 2008).

2.2. GIS ir GPS įrankių komplektas rinktinei maršruto analizei

Galima teigti, kad kiekvienas pilietis prieš pradėdamas bet kokią savo kelionę iš pradžių planuoja kelionės maršrutą, kad jis butu trumpiausias laiko atžvilgiu. Ši hipotezė dažnai netinka kai planuojama poilsinė, ekskursinė kelionė. Viena iš svarbiausių ir dažniausiai pasitaikančių kelionių yra kelionė į darbo vietą ir atgal į namus. Pakalbėkime apie maršruto pasirinkimo analizės (MPA) rinkinio plėtojimą ir taikymą. Šis GIS priemonių rinkinys generuoja daugiau kaip 40 kintamųjų, apibūdinančių maršruto savybes tokias kaip atstumas, kelionės trukmė, greičio statistika, susikirtimų skaičius, posūkių skaičius, sustojimų skaičius. Įvestis į rinkinio įrankių komplektą gali būti vienas ar daugiau maršrutų, kurie gali būti gauti iš globalios pozicionavimo sistemos (GPS) duomenų ar kažkokios kitos priemonės. Tuo metu, kai įrankių komplektas yra suprojektuotas, kad palaikytų rinktinį maršruto modeliavimą, kurdamas kintamuosius, kurie buvo išbandyti ankstesniuose modeliavimuose, D. Papinski ir D. M. Scott nustatė jo naudą, pagal iškeltą hipotezę, kad darbuotojai pasirenka maršrutus, kad sumažintų arba kelionės laiką arba atstumą tarp namų ir darbo. Iš didelio duomenų rinkinio, 237 stebėtų kelionių maršrutų nuo namų iki darbo, automobilių vairuotojai Halifakse, Naujojoje Škotijoje, Kanadoje maršrutą rinkosi pagal jų analizę. Manoma, kad negaliojanti hipotezė yra paneigta – tai yra, palyginimas esamų maršrutų ir jų trumpiausio kelio alternatyvų, atsižvelgiant į laiko ir atstumo statistiką, rodo, kad vairuotojų pasirenkami maršrutai yra žymiai ilgesni palyginti su savo alternatyvomis. Ši išvada rodo, kad darbuotojai gali pasirinkti maršrutus, pagrįstus kitais maršruto požymiais. Pagrindinis sukurto MPA įrankių komplekto požymis – jis palygina trumpiausio laiko ir trumpiausius atstumo maršrutus, to pasekoje yra pastebėti reikšmingi skirtumai. Tokiam pasirinkimui įtaką gali padaryti vairuotojų vengimas gatvių, kuriose gali susidaryti spūstys, ar net vengimas kokių nors pavojingų atkarpų, kuriose daug pavojingų manevrų (Dominik Papinski ir Darren M. Scott, 2011).

Kelionės sprendimai yra sudėtingi ir apima pasirinkimą veiklos tikslo, būdo ir galiausiai kelionės maršruto. Panašią problemą D. Papinski ir D. M. Scott bandė išspręsti kitame moksliniame leidinyje, kuriame pateikiama išsami informacija apie planuojamą ir laikomasi maršruto pasirinkimą iš namų į darbą važinėti ir atvirkščiai. Tiksliau, nagrinėjama, kaip žmonės formuluoja savo maršruto planus ir apibūdina jų požiūrius ir pirmenybę jų išrinktiems maršrutams. Geografinė informacijos sistema (GIS) įrašo suplanuotą maršruto informaciją su maršruto planavimo seka. Maršruto pasirinkimo stebėjimas yra sudėtinga procedūra, tačiau, naudojant globalią pozicionavimo sistemą (GPS), kiekvienas gali tiksliai įrašyti maršruto pasirinkimą. Savarankiškas veiklos kelionės susekimo algoritmas apdoroja GPS duomenis ir

rodo rezultatus internetu pagrįsta dienotvarkės sąsaja. Dienotvarkė yra panaudota, kad patikrintų kelionės pradžios ir pabaigos laiką. Ši GPS, GIS ir dienotvarkės atsakymų kombinacija suteikia puikų supratimą maršruto pasirinkimo sprendimų priėmimo procese. Trisdešimt vienas asmuo iš Ontarijo, Kanados dalyvavo apklausoje ir sutiko pateikti atsakymus apie GPS duomenų rinkinių kaupimą. Rezultatai rodo, kad pirmenybę jie teikia kelionės laikui, kad maršrutas butų trumpiausias laiko atžvilgiu. Dalyviai taip pat patvirtino norą sumažinti sustojimų skaičių prie sankryžų ar šviesoforų, taip pat išvengti spūsčių ir maksimizuoti maršruto tiesumą. Palyginimui tarp suplanuotų ir taikytų maršrutų, parodo apie penktadalį dalyvių, kurie nukrypo nuo jų suplanuoto maršruto. Šis tyrimas rodo, kiekybinius bei kokybinius tyrimo metodus, kuriuos būtina tyrinėti planuoti ir stebėti būdingus pasirinkimus (Dominik Papinski ir kt., 2009).

2.3. Komunalinių atliekų surinkimo ir transporto maršrutų optimizavimas

Kiekvieno miesto ar miestelio gana didelė problema yra komunalinių atliekų surinkimas. Racionalizuoti komunalinių atliekų surinkimą ir tvarkymą bei optimizuoti rinkliavos panaudojimą - tokius siekius stengiamasi įgyvendinti, siekiant atitikimo veiklos sąnaudoms.

Kietųjų komunalinių atliekų surinkimas gali sudaryti daugiau kaip 70 % visų atliekų tvarkymui skirto biudžeto, kurio didžioji dalis yra kuro kainoms. Todėl labai svarbu optimizuoti maršrutų tinklą naudojamą atliekų surinkimui ir transportavimui. G. Tavares, Z. Zsigraiova ir kt. savo straipsnyje siūlo geografinių informacijos sistemų (GIS) 3D maršrutų modeliavimo programinę įrangą atliekų surinkimui ir transportavimui, kuri dar labiau pagerina sistemos funkcijas ir leidžia optimizuoti maršrutus minimaliam kuro suvartojimui. Modelis atsižvelgia į kelių pokrypio ir transporto priemonės svorio parametrus. Tai pritaikoma dviem skirtingiems atvejams: tiesiausiam atliekų surinkimui mieste ir atliekų transportavimui į deginimo gamyklą. Miesto sričiai, 3D modelis, kuris sumažino kuro vartojimą, sumažino išlaidas 8 % palyginti su metodu, kuris tiesiog apskaičiavo trumpiausią 3D maršrutą. Nepaisant to, tai buvo teisinga atsižvelgiant į tai, kad GIS rekomenduoto maršruto kuro sumažėjimas buvo iš tikrųjų 1,8 % didesnis negu trumpiausias kelionės maršrutas. Santjago Salos atvejui, skirtumas buvo net reikšmingesnis: 12 % kuro sumažėjimas panašiu kelionės atstumu. Šitie skaičiai rodo, kad atsižvelgiant tiek į vietovę, tiek į degalų suvartojimą, transporto priemonių nukreipimo optimizavimas yra labai svarbus (G. Tavares ir kt., 2009).

Atliekų surinkimo problemų yra, tačiau, viena iš sudėtingiausių veiklos problemų yra išspręsti jas. T. Nuortio, J. Kytöjoki ir kt. aprašė transporto priemonės maršrutų ir tvarkaraščių optimizavimą renkant kietąsias komunalines atliekas rytų Suomijoje. Sprendimas buvo sukurtas remiantis nesena patirtimi, vadovaujantis kintamu apylinkių žymėjimu metaeuristiniu metodu, kuris yra pritaikytas spręsti realiame gyvenime atliekų surinkimo problemas. Buvo aptarti keli sprendimo metodai, kad pagreitintų darbą ir sumažintų atminties vartojimą. Atliekų surinkimo socialiniai tyrimai dvejose rytinės Suomijos srityse rodo, kad reikšmingas kainos sumažėjimas gali būti gautas palyginus rezultatus su dabartine praktika (Teemu Nuortio ir kt., 2006).

2.4. Transporto priemonių maršruto planavimas didelėse gamtinėse vietovėse su neaiškia informacija

2002-ais metais pasirodžiusiame S. Al-Hasan ir G. Vachtsevanos straipsnyje, kuriame jie pristato 2D maršruto planavimą, siekiama palaikyti operacijas transporto priemonėms esant kelyje, kurios juda dideliais greičiais ir didelėse gamtinėse teritorijose. Konfiguruojama paieškos sistema buvo sukurta, kad ieškotų iš anksto parengtuose natūralių vietovių skaitmeniniuose žemėlapiuose ir sukurtų optimalų maršrutą atsižvelgiant į atstumą, saugumą, ir manevravimą. Optimalus maršrutas yra daugiau optimizuotas ir atrinktas maršruto filtro, kuris planuoja optimalų maršrutą su tam tikromis sąlygomis. Protingas, aukšto lygio kontroliuojantysis modulis formuoja paieškos sistemą ir paveda trims maršruto svoriams, kainos komponentams, įvykdyti misijos tikslus ir misijos laiko apribojimus. Pasinaudodamas ankstesne maršrutų planavimo patirtimi, protingas analizavimo palaikymo variklis naudojamas, kad rinktų duomenis apie išlaidas ir kurti žinių bazę, kuri yra naudojama, kad pateiktų geresnę euristiką paieškos sistemai. Pristatyti metodai ir rezultatai prisideda prie visiškai savarankiškos transporto priemonės, galinčios atlikti sudėtingas misijas efektyviai ir tiksliu laiku (S. Al-Hasan ir G. Vachtsevanos, 2002).

Tuo tarpu savarankiškos transporto priemonės vairavimas per neaiškią zoną, kurios savybės gali pasikeisti nenuspėjamai yra svarbi problema, kuri praeityje susilaukė daug dėmesio. To pasekoje buvo sukurtas projektas maršruto planavimo sistemos, pavadintos RUTA-100, kuri dirba su neužbaigta informacija, gauta iš daugelio nepatikimų žinių šaltinių, ir planuoja optimalų maršrutą, mažindamas ir pavojų ir atstumą. Maršruto planavimo operacija turi du pagrindinius etapus: pradinis maršruto planavimo etapas ir dinaminis plano vykdymas. Kai tik išvykimo ir atvykimo punktai yra identifikuojami, maršruto planuotojas nustato optimalų maršrutą pagal pagrįstą informaciją, pasiekiama tuo laiku. Jei per maršruto

vykdymą pasikeičia maršruto sąlygos, maršrutas yra atitinkamai iš naujo perskaičiuojamas. Tai pakartojama tol, kol maršruto punktas yra pasiektas. Dempster-Shafer tikėjimo teorija yra panaudojama kaip pagrindinis formalizmas, kad sujungti ir atstovauti abejotiną informaciją ir jos priežasties atsiradimą (Forouzan Golsahni ir kt., 1996).

2.5. Programinė įranga, turinti maršrutų planavimo funkcionalumą

AutoDispatch transporto maršrutų optimizavimo sistemos

AutoDispatch transporto maršrutų optimizavimo sistema yra sukurta kartu su automatine optimalia transporto priemonės pristatymo branduolio strategija, kuri aprūpina labai efektyvų maršruto pristatymo planavimą. Aprūpinta protingu grafiko pristatymo planavimu ir optimaliu apdirbimo branduolio varikliu, *LUCINA* padeda logistikos firmoms sinchroniškai priimti optimalų pristatymo planą per jų užimtą darbo laiką, kad pagerintų pristatymą laiku ir transportavimo sutarties panaudojimą, kad sumažintų išlaidų kainą. Įvertinama, kad šiuo produktu sumažinama 10% - 20% krovinio apimties ir žymiai padidinamas veiklos efektyvumas.

Funkcijos:

1. Protinga žemėlapio navigacija ir išsidėstymas:
   - Užtikrina geras sistemos veikimo galimybes, kurios leidžia lengvai orientuotis žemėlapyje;
   - Sinchroniškai susijungia su "Google Earth" ir suteikia realiame laike žiūrėti 3D maršrutus;
   - IP adreso įtraukimas automatišką elektroninės svetainės žemėlapį.
2. Automatinis optimalaus maršruto pristatymo planavimas:
   - Bendradarbiavimas su atnaujintu eismo tinklu vertina žemėlapį, kuris planuoja optimalų judančio atstumo derinį su laiku, automatiškai apskaičiuoja optimalų pristatymo maršrutą ir tiksliai numato išvykimo ir atvykimo laiką;
   - Daugialypiai krovimo būdai ir funkcijos leidžia planuoti pristatymo ir surinkimo maršrutus.
3. Vizualizuotai lankstus grafiko planavimo ir redagavimas:
   - Lankstus grafiko sudarymas arba savarankiškai sukurtas pristatymo planas atsižvelgiant į optimalų transporto priemonės modelį ir numerį;
   - Galimybė taisyti planą pagal pridėtus grafikus, mažinti transporto priemonių skaičių ir laikinas transporto priemonių pakeitimo paskirstymas;

- Pranešimų spausdinimas ir duomenų importas / eksportas Pateikiamos importo / eksporto sąsajos greitai klientų, prekių ir užsakymų informacijos peržiūrai, transporto priemonių naudojimo ir prekių rūšiavimui.

Ypatybės:

- Vartotojo sąsaja:
  - Įvairių kalbų vartotojo sąsaja, kad būtų lengva naudoti, kad lanksčiau taikyti charakteristikas;
  - Per pelės spragtelėjimą optimalus pristatymo sprendimų priėmimas, kuris tenkina klientų pageidavimus.
- Didelės spartos automatinio apdorojimo pagrindinis variklis:
  - Optimalus sprendimas daugialypiams pristatymo modeliams, apribojimui, ir įsigijimo sąlygoms;
  - Nekeičiant užbaigto pristatymo plano, greitas pristatymo skaičiavimas gali būti padarytas, kai klientas daro daugiau užsakymų;
  - Optimalus transporto tiekimas, eilė, pristatymo laikas, gali būti automatiškai ieškomas kontrolės išlaidų pokytis pridedant naujus pristatymo punktus;
  - Kai yra daugiau paskirstymo užsakymų, sistema automatiškai ieško transporto priemonės netoliese esančiame maršrute, nedidinant transporto priemonių skaičiaus.
- Sinchroninio pristatymo ir paėmimo plano palaikymas:
  - Suvokdami verslo planą pateikia ir pasiūlo įvykdyti užsakymą viena transporto priemone;
  - Automatiškai nustatoma vieta ir atstumas tarp klientų ir prioritetinių pristatymo užsakymų ir maršrutų;
  - Maksimalus transporto priemonės pristatymo termino palaikymas (klientų skaičius).

Privalumai:

1) Gerinamas rūšiavimo našumas ir sutrumpinamas krovimo laikas;
2) Automatiškas transporto priemonių skaičiaus planavimas, būtinam pristatymui ir optimalaus pristatymo planavimui, nustato maršrutą, kad sumažintų pristatymo kainą 10% - 25 %;
3) Automatiškai skaičiuojamas atvykimo, išvykimo ir pakrovimo laikas, didinamas veiklos efektyvumas;
4) Tikslūs pristatymo laiko skaičiavimai laivo laiku, taip pat gerinama paslaugų kokybė.

Tinkami klientai:

- Gamybos: automobilių, maisto, buitinės technikos, farmacijos ir chemijos pramonė;
- Logistika: kurjerių, nuo durų iki durų paslauga, konteinerių gabenimas, logistikos, sandėliavimo ir paskirstymo sektoriaus paslaugos;
- Pavojingų krovinių: naftos autocisternos, chemijos autocisternos (prieiga per internetą: http://www.iisigroup.com/en/products/tra-lucina.html).

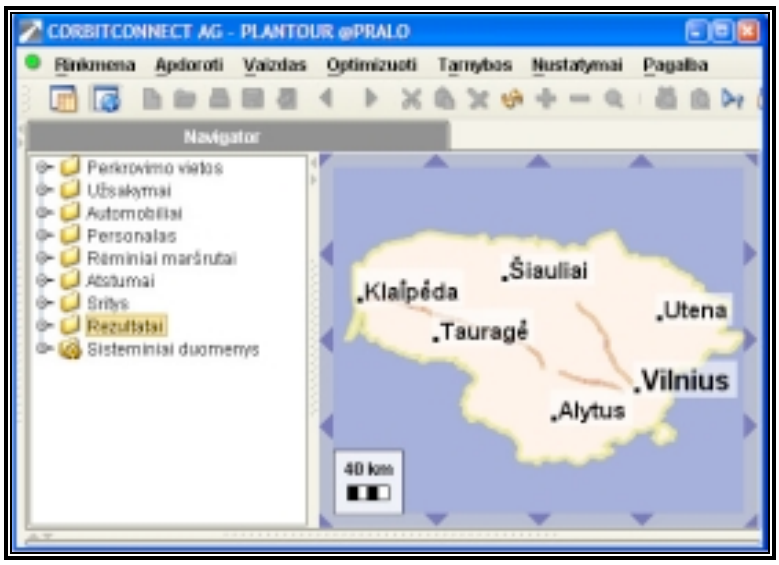
IT sistemos pramonei ir logistikai - „*Plantour*“

PLANTOUR® - tai efektyvus sprendimas kasdieniam maršrutų planavimui ir modeliavimui. Jame kaupiama informacija apie klientus, užsakymus, automobilius bei personalą.

PLANTOUR® funkcijos:

- duomenų valdymas;
- tvarkaraščių planavimas;
- strateginis planavimas;
- vežimų istorija krovinių gabenimo kaštų kontrolė;
- savų ir nuomojamų automobilių valdymas;
- daugelio sandėlių planavimas;
- buvimo vietos optimizavimas ataskaitos.

PLANTOUR® planuodamas maršrutą atsižvelgia į pristatymo datą, laiką, klientų priėmimo valandas, užsakymo charakteristikas, automobilių galimybes. Vektorinis žemėlapis suteikia galimybę tiksliau įvertinti greičius keliuose bei važiavimo kryptis. Kartu su rezultatais pateikiami preliminarūs išlaidų grupių skaičiavimai, bendros išlaidos, automobilio galimybių panaudojimo suvestinė.



10 pav. *PLANTOUR*® programos langas

(prieiga per internetą: http://www.pralo.eu/index.php?id=355)

PLANTOUR® nauda:

- kaštų sumažinimas, optimizuojant laiko ir nuvažiuotų kilometrų sanaudas;
- efektyvus transporto priemonių planavimas;
- operatyvesnis klientų aptarnavimas;
- darbo jėgos poreikio optimizavimas;
- nedidelės sistemos palaikymo išlaidos.

PLANTOUR® plačiai naudojamas gėrimų, dienraščių ir spaudos, bakalėjos prekių, plataus vartojimo prekių, farmacinių gaminių išvežiojimui, baldų, pinigų ir vertingų krovinių transportavimui, atliekų surinkimui ir t.t. (prieiga per internetą: http://www.pralo.eu/index.php?id=355).

„LocLogistics“

Darbų optimizavimo ir maršrutizavimo sistema *LocLogistics*. Sistema, leidžia optimaliai paskirstyti įmonės vadybininkų, išvežiotojų ar kito personalo, kuris turi lankyti klientus ar objektus, darbus. Sistema paskirsto ir suplanuoja darbus taip, kad kiekvienas darbuotojas per darbo dieną spėtų atlikti visus jam pavestus darbus, kad visi klientai ar objektai būtų aplankyti laiku, kad įmonė minimaliai naudotų resursų visoms užduotims atlikti. Sistema susieta su transporto kontrolės sistema *LocTracker*. Tai leidžia kontroliuoti kaip vykdomos užduotys ir pranešti apie nukrypimus nuo maršruto, grafiko.

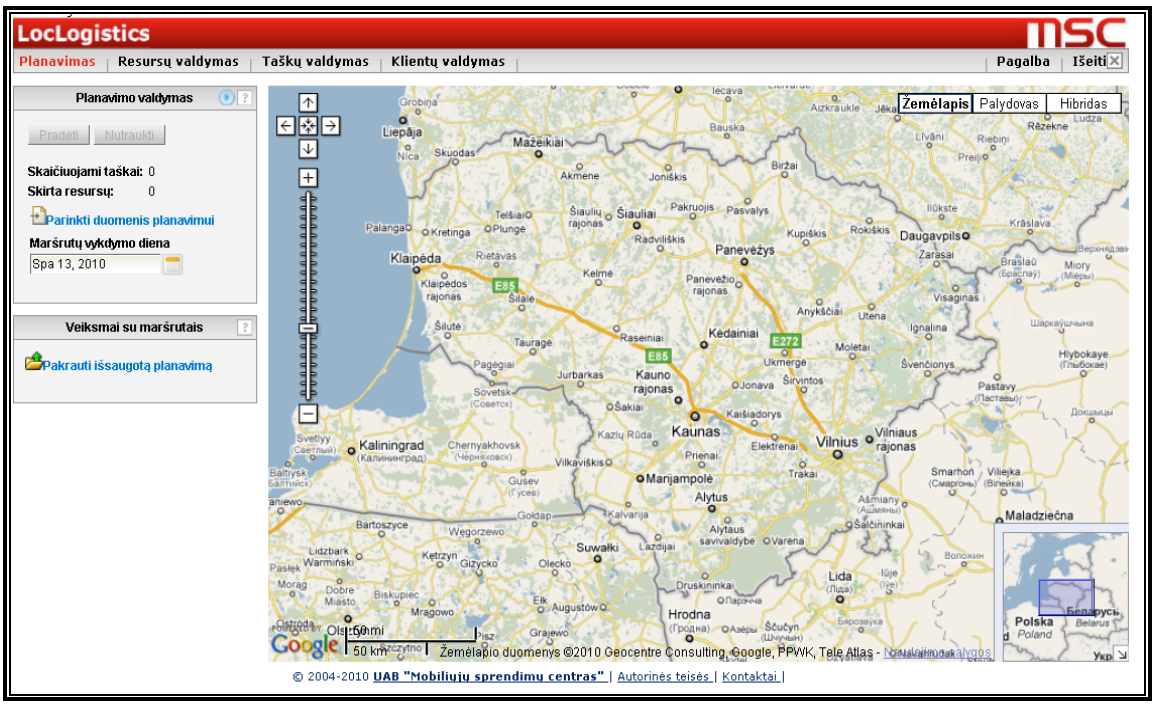
LocLogistics savybės:

- autoatinis objektų koordinačių suradimas pagal adresus;
- maršruto sudarymas naudojant pažangius maršrutizavimo algoritmus;
- itin detalūs žemėlapiai. Patys detaliausi globalūs žemėlapiai – „*Google Maps*“;
- galimybė įkelti užduotis iš Microsoft Office Excel;
- darbui atlikti galimų naudoti resursų (darbuotojų/automobilių) pasirinkimas;
- galimybė atsižvelgti i kliento darbo valandas;
- atsižvelgiama į buvimo objekte laiką;
- suplanuotų maršrutų – užduočių pateikimas tekstiniu būdu bei žemėlapyje;
- kilometražo bei laiko poreikio suplanuotoms užduotim atlikti ataskaitos;
- galimybė minimizuoti darbuotojų poreikį reikiamoms užduotims atlikti, suplanuojant užduotis visai darbo dienai;
- interneto prieiga užtikrina tai, kad duomenis galėsite stebėti bet kada ir bet kur. Be to, nereikės įdiegti jokios programinės įrangos, rūpintis žemėlapių atnaujinimų, išvengsite kitų nepatogumų;
- suderinta su transporto kontrolės sistema *LocTracker.*

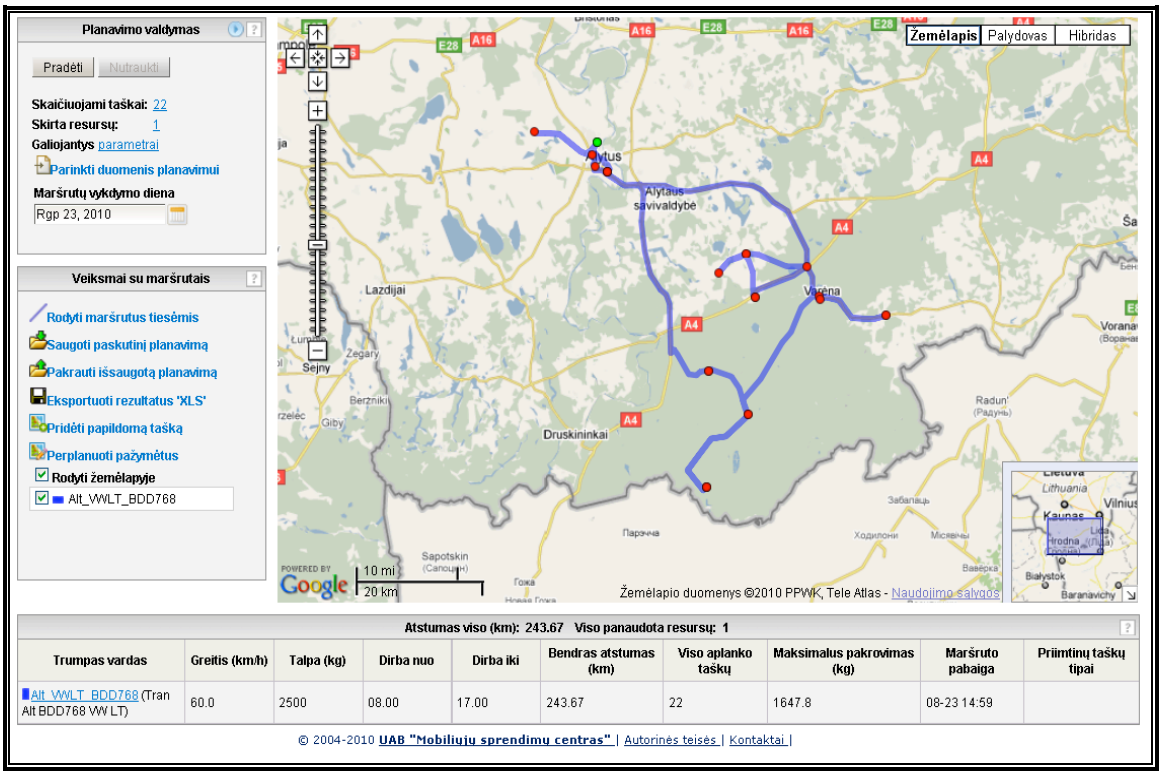
LocTracker sistemoje galima generuoti suplanuotų maršrutų įvykdymo ataskaitas. Šiuo metu *LocLogistics* maršrutus planuoja į realiai egzistuojantį kelių tinklą. Toks planavimas leidžia tiksliai įvertinti kilometražą, vienpusio eismo įpatumus, automagistrales ir t.t.

Taip pat savo darbo resursus ir užsakymo taškus galima valdyti patogiau ir greičiau. *LocLogistics* programoje yra įdiegta patogi vartotojo objektų valdymo sistema, kuri leidžia grupavimo būdu valdyti didelį vartotojo duomenų kiekį.

Daugelis įmonių, valdančių transporto parką, ieško sprendimų didinančių darbo efektyvumą ir mažinančių transporto eksploatacijos kaštus. Sistema leidžia optimaliai paskirstyti įmonės vadybininkų, išvežiotojų ar kito personalo, kuris turi lankyti klientus ar objektus, darbus. Sistema paskirtsto ir suplanuoja darbus taip, kad kiekvienas darbuotojas per darbo dieną spėtų atlikti visus jam pavestus darbus, kad visi klientai ar objektai būtų aplankyti laiku, kad įmonė minimaliai naudotų resursų visoms užduotims atlikti (prieiga per internetą: http://www.locator.lt/LocLogistics/GUI/login.jsf).



11 pav. *LocLogistics* maršrutų planavimo programos darbalaukis



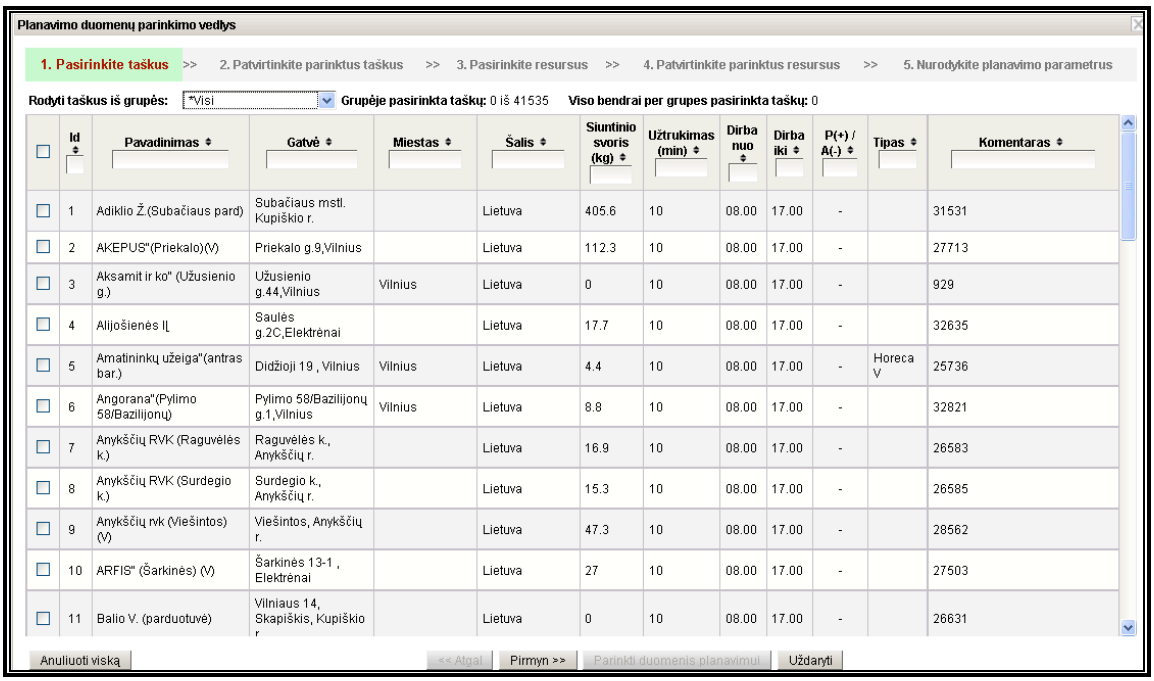
12 pav. Maršruto pavyzdys

Maršruto planavimo eiga:

Specialiame planavimo vedlyje pasirenkami atitinkami duomenys, resursai, užsakymai ir t.t.

13 pav. Maršruto planavimas

1) pasirenkami klientai, kuriems reikės pristatyti prekes. Žinoma, tie visi klientai prieš tai importuojami (arba suvedami ranka) į *LocLogistics* programą. Klientams priskiriamos specialios koordinatės (t.y. atliekamas klientų geokodavimas žemėlapyje).



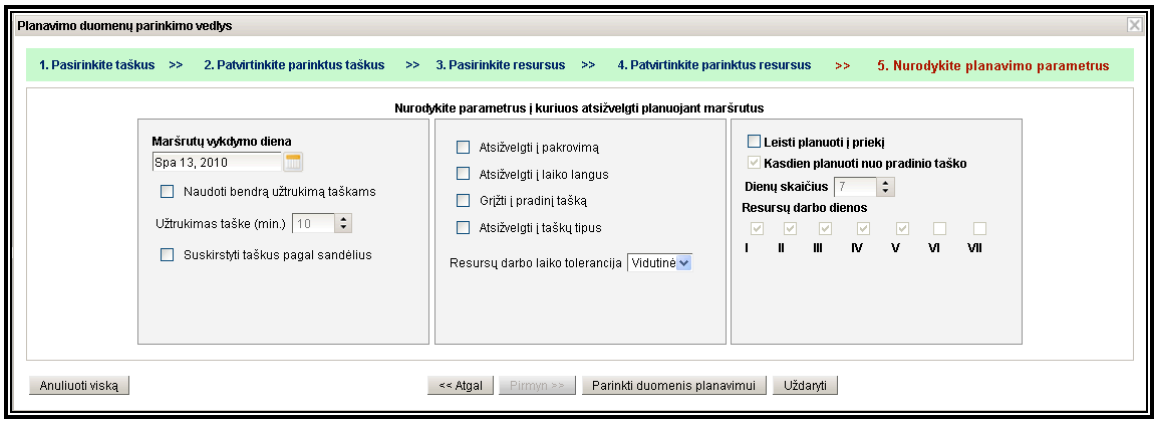
Id	Pavadinimas	Gatvė	Miestas	Šalis	Siuntinio svoris (kg)	Užtrukimas (min)	Dirba nuo	Dirba iki	P(+) / A(-)	Tipas	Komentaras
1	Adiklio Ž.(Subačiaus pard)	Subačiaus mstl. Kupiškio r.		Lietuva	405.6	10	08.00	17.00	-		31531
2	AKEPUS"(Priekalo)(V)	Priekalo g.9,Vilnius		Lietuva	112.3	10	08.00	17.00	-		27713
3	Aksamit ir ko" (Užusienio g.)	Užusienio g.44,Vilnius	Vilnius	Lietuva	0	10	08.00	17.00	-		929
4	Alijošienės IĮ	Saulės g.2C,Elektrėnai		Lietuva	17.7	10	08.00	17.00	-		32635
5	Amatininkų užeiga"(antras bar.)	Didžioji 19 , Vilnius	Vilnius	Lietuva	4.4	10	08.00	17.00	-	Horeca V	25736
6	Angorana"(Pylimo 58/Bazilijonų)	Pylimo 58/Bazilijonų g.1,Vilnius	Vilnius	Lietuva	8.8	10	08.00	17.00	-		32821
7	Anykščių RVK (Raguvėlės k.)	Raguvėlės k., Anykščių r.		Lietuva	16.9	10	08.00	17.00	-		26583
8	Anykščių RVK (Surdegio k.)	Surdegio k., Anykščių r.		Lietuva	15.3	10	08.00	17.00	-		26585
9	Anykščių rvk (Viešintos) (V)	Viešintos, Anykščių r.		Lietuva	47.3	10	08.00	17.00	-		28562
10	ARFIS" (Šarkinės) (V)	Šarkinės 13-1 , Elektrėnai		Lietuva	27	10	08.00	17.00	-		27503
11	Balio V. (parduotuvė)	Vilniaus 14, Skapiškis, Kupiškio r.		Lietuva	0	10	08.00	17.00	-		26631

14 pav. Klientų sąrašas

2) po to parenkami automobiliai (resursai), kurie bus naudojami prekių pristatymui (resursai prieš tai suvedami į programą, į specialų lauką „resursų valdymas“).

15 pav. Resursų valdymas

3) paskutinis planavimo žingsnis yra nurodyti planavimo parametrus: užtrukimo laiką pas klientą ir kt.



16 pav. Planavimo parametrai

PASTABA: planavimo parametrai yra unikalūs atsižvelgiant į produkcijos išvežiojimo planavimą. Nagrinėjamu atveju, šiuos parametrus reikėtų atitinkamai keisti, tobulinti, kai kuriuos visai panaikinti.

4) pradedamas maršruto planavimas.

Prieš planuojant maršrutus reikalinga informacija suvedama “MENIU” eilutėje:

17 pav. “Meniu” eilutė

1) Planavimas – jau mūsų aptartas planavimas, kuriame vykdomas jau konkretaus maršruto planavimas.

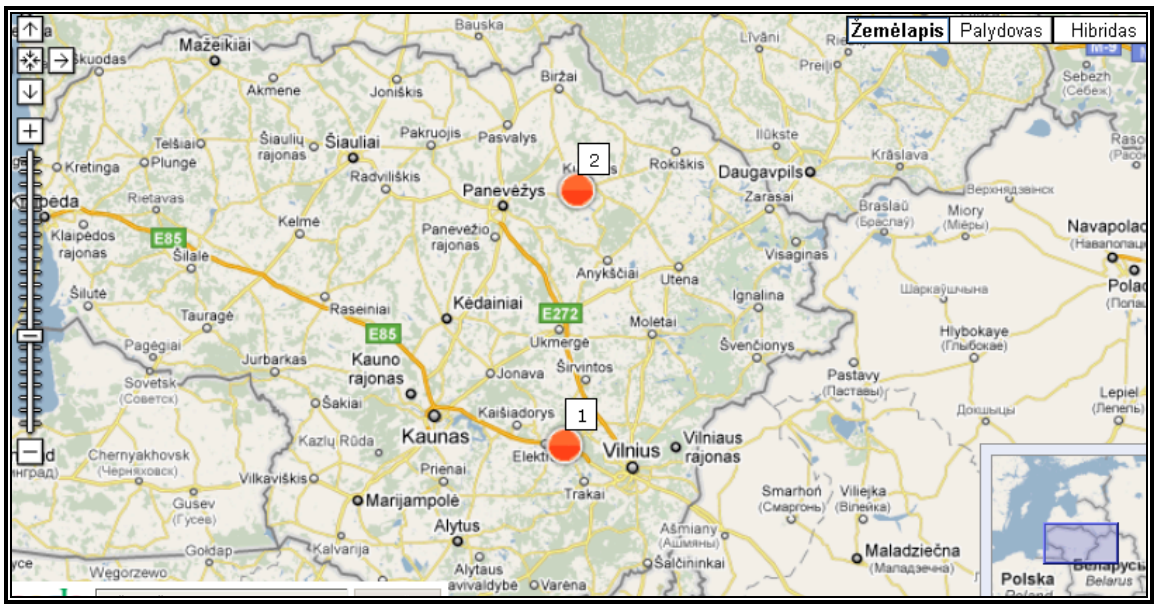
2) Resursų valdymas – suvedama informacija apie automobilius.

3) Taškų valdymas – suvedama informacija apie užsakymus.

4) Klientų valdymas – suvedama informacija apie klientus.

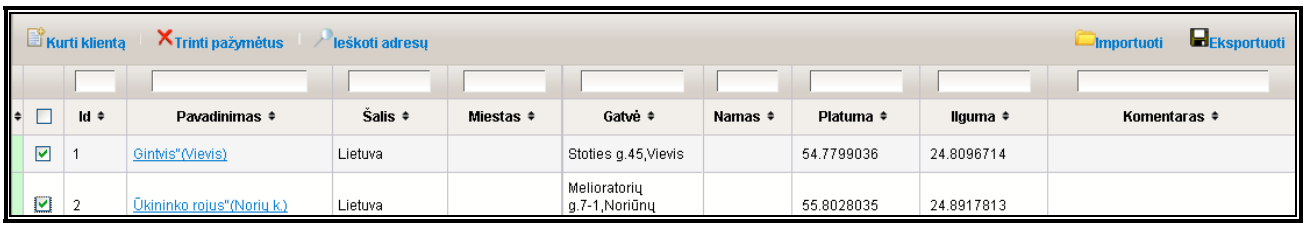
Visa informacija gali būti atvaizduojama žemėlapyje, failuose xls., txt., pdf. formatais.

Klientų atvaizdavimas žemėlapyje (žr. 18 pav.).



18 pav. Klientai žemėlapyje

Klientų atvaizdavimas lentelėje (žr. 19 pav.).



Kurti klientą | Trinti pažymėtus | Ieškoti adresų | Importuoti | Eksportuoti

	Id	Pavadinimas	Šalis	Miestas	Gatvė	Namas	Platuma	Ilguma	Komentaras
☑	1	Gintvis"(Vievis)	Lietuva		Stoties g.45,Vievis		54.7799036	24.8096714	
☑	2	Ūkininko rojus"(Noriūnų k.)	Lietuva		Melioratorių g.7-1,Noriūnų		55.8028035	24.8917813	

19 pav. Klientų sąrašas

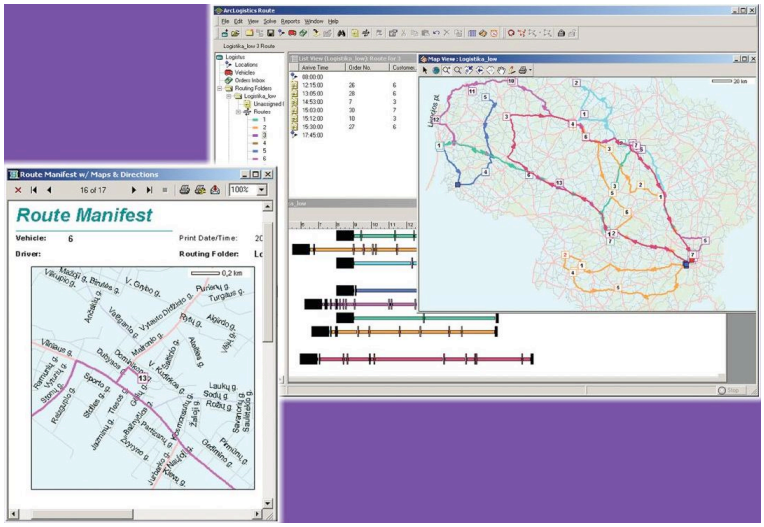
"ArcLogistics Route"

ArcLogistics Route - programinė įranga, skirta logistikos uždaviniams spręsti naudojant geografinių informacinių sistemų (GIS) technologijas. Norėdami užtikrinti, kad prekė užsakovą pasiektų laiku bei nurodytu adresu, krovinius galite paskirstyti atsižvelgiant į transporto priemonės darbo laiką, tonažą, tūrį, darbo valandas ir kt. Be to, pagal esamą miesto gatvių tinklą, *ArcLogistics Route* pagalba yra galimybė kiekvienai transporto priemonei sudaryti optimaliausius maršrutus. Taip užtikrinti vidinių sąnaudų mažinimą ir teikiamų paslaugų kokybę.

Panaudojant *ArcLogistics* programinę įrangą galima:

- Efektyviai ir kokybiškai sudaryti maršrutus, atsižvelgiant į jūsų verslo taisykles ir procesus.
- Modeliuoti vykdomo maršruto planą tam tikru laiko momentu.
- Laiku įvykdyti visus įsipareigojimus.

- Mažinti sąnaudas.
- Didinti klientų pasitenkinimą.



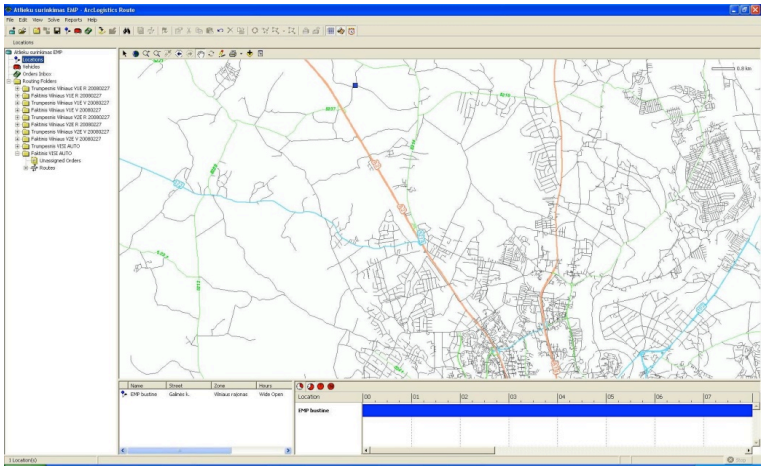
20 pav. Maršrutai optimizuoti su „*ArcLogistics Route*“ programa

(prieiga per internetą: http://www.hnit-baltic.lt/hbgis/Documents/ArcLogistics_2_20080926_3.pdf)

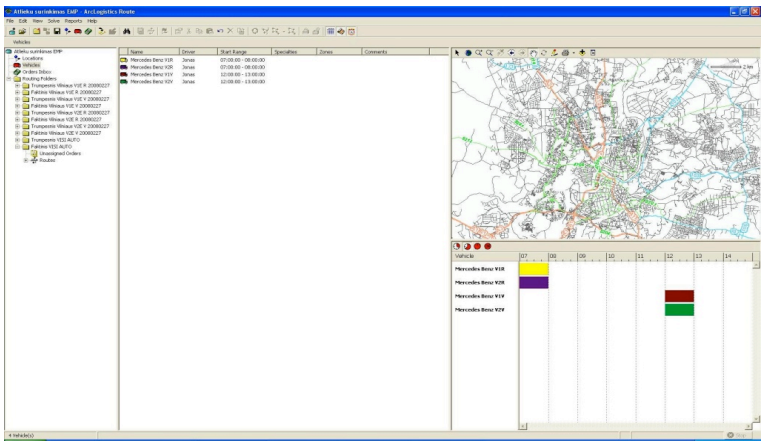
Nesvarbu, kokio tipo maršrutai yra atliekami versle, *ArcLogistics* gali sumodeliuoti ir rekomenduoti pačius optimaliausius maršrutus arba leisti vartotojams suformuoti savus maršrutus, atsižvelgiant į transporto priemonės galimybes ir pristatymo laiko „langą“. Su *ArcLogistics* nereikia iš naujo kurti klientų duomenų bazės (prieiga per internetą: http://www.esri.com/software/arclogistics/index.html).

Kad programa galėtų suskaičiuoti maršrutus, reikia užpildyti užsakymų katalogą, sukurti autotransportą atsižvelgiant į vairuotojų ir transporto priemonių ypatybes:

➢ 1. Transporto priemonių maršrutų modeliavimas vyksta pagal nustatytus pravažiuojamus kelius ir gatves, sukuriama vieta kurioje pradedamas ir baigiamas maršrutas („*Location*“), taip pat autotransportas (žr. 21, 22 pav.).

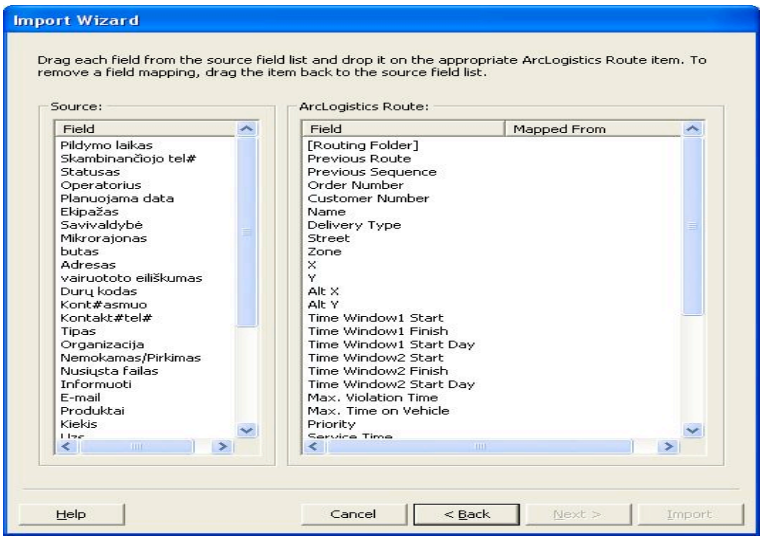


21 pav. Keliai ir gatvės su įmonės „lokacija

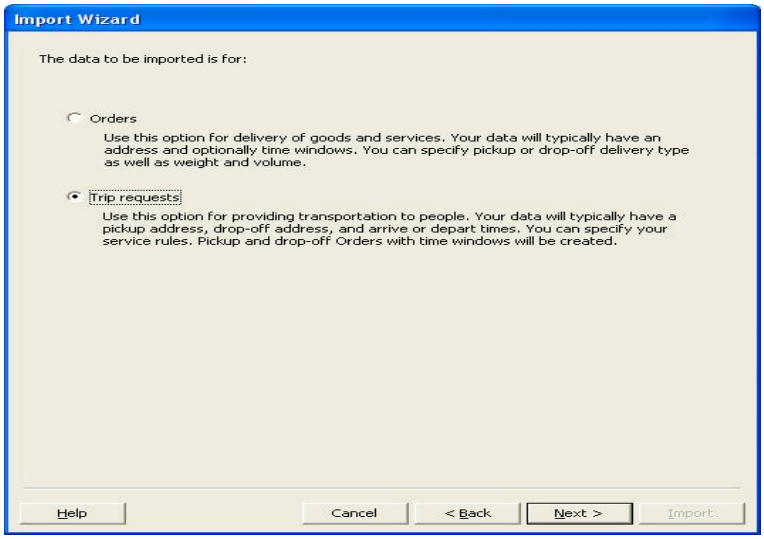


22 pav. Sunkvežimių parkas

- 2. Importuojami kliento užsakymai iš bet kurios suderinamos duomenų bazės, šiuo atveju Microsoft Office Excel (žr. 23, 24 pav).

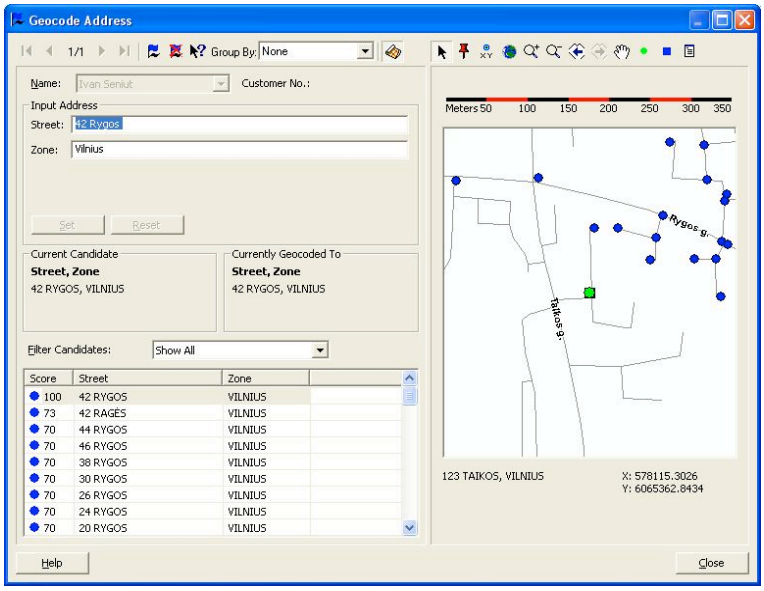


23 pav. Importuojami užsakymai nr. 1



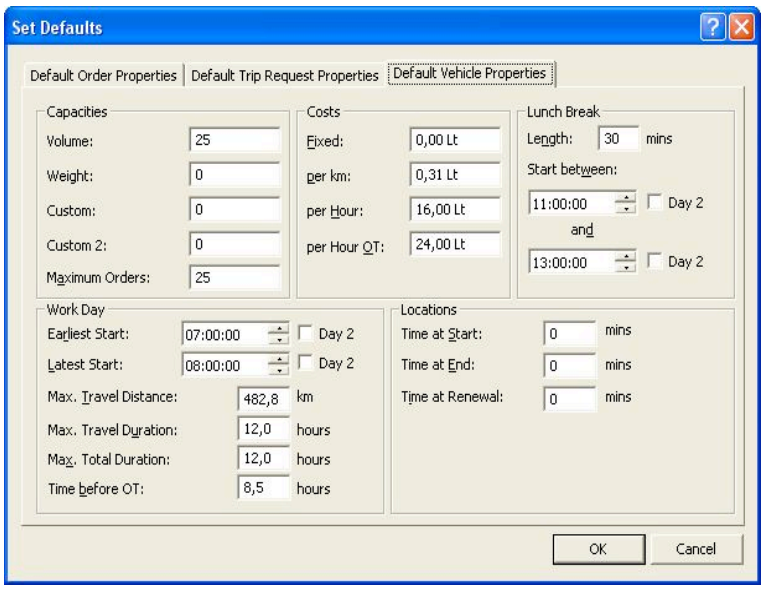
24 pav. Importuojami užsakymai nr. 2

➢ 3. Importavus užsakymus randami ir atvaizduojami adresai pagal geokodavimą (žr. 25 pav.).



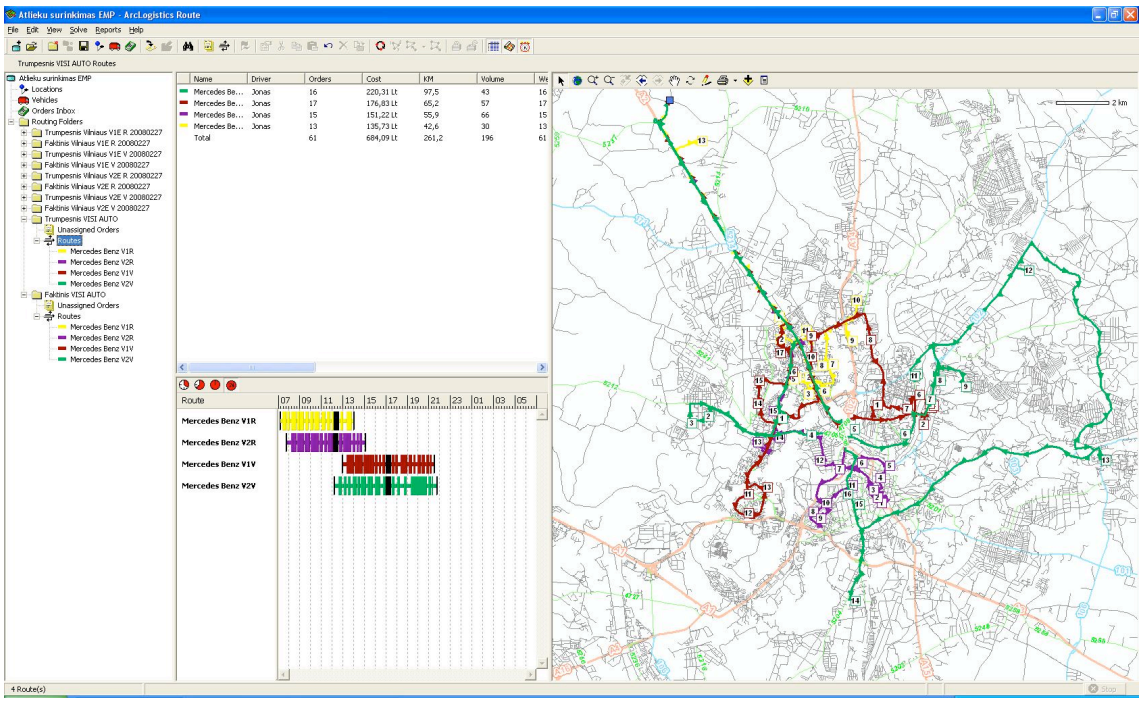
25 pav. Adresų identifikavimas

➢ 4. Taip pat yra atsižvelgiama į transporto priemonių ir vairuotojų ypatybes, tokias kaip 1 km ar 1 valandos kainą, transporto talpą, darbo dienos pradžią ir pabaigą, pietų metą ir t.t. (žr. 26 pav.).



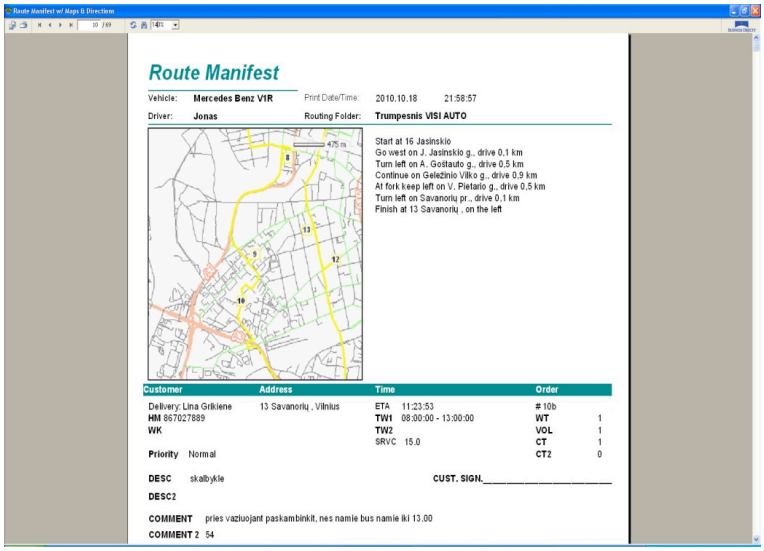
26 pav. Transporto priemonių ir vairuotojų ypatybės

➢ 5. Maršrutai kuriami pasinaudojant ne tiesaus kelio atstumu, o faktiniu važiavimo laiku ir verslo taisyklėmis (žr. 27 pav.).

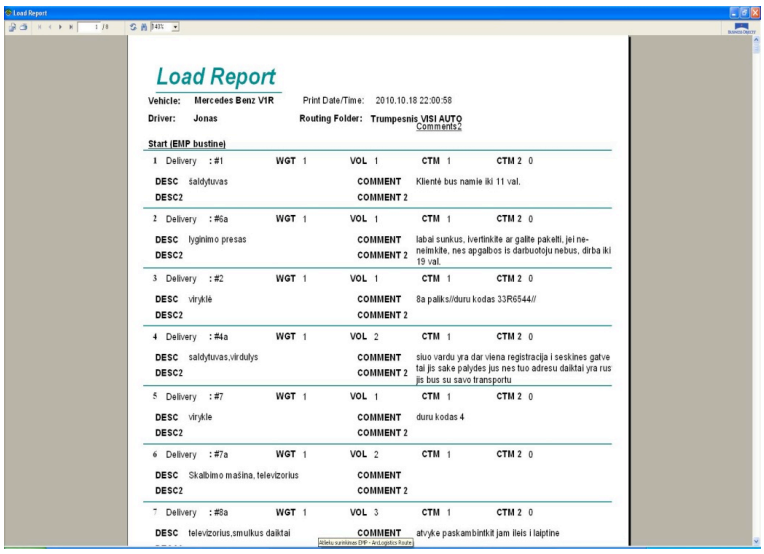


27 pav. Sumodeliuoti maršrutai kiekvienai transporto priemonei, atsižvelgiant į užsakymus ir transporto darbo laiką

➢ 6. Yra galimybė kurti operatoriaus suvestinės ataskaitas, maršrutų žemėlapius, gatvių kryptis, bei siųsti duomenis apie sustojimus į ArcLogistics navigaciją, kuri yra prieinama navigacijai transporto priemonėje (žr. 28, 29 pav.).



28 pav. Įvairios ataskaitos nr. 1



Load Report

Vehicle: Mercedes Benz V1R Print Date/Time: 2010.10.18 22:00:58

Driver: Jonas Routing Folder: Trumpesnis VISI AUTO

Comments2

Start (EMP bustine)

1	Delivery	: #1	WGT 1	VOL 1	CTM 1	CTM 2 0			
	DESC	šaldytuvas		COMMENT	Klientė bus namie iki 11 val.				
	DESC2			COMMENT 2					
2	Delivery	: #6a	WGT 1	VOL 1	CTM 1	CTM 2 0			
	DESC	lyginimo presas		COMMENT	labai sunkus, ivertinkite ar galite pakelti, jei ne-				
	DESC2			COMMENT 2	neimkite, nes apgalbos is darbuotoju nebus, dirba iki 19 val.				
3	Delivery	: #2	WGT 1	VOL 1	CTM 1	CTM 2 0			
	DESC	viryklė		COMMENT	8a paliks//duru kodas 33R6544//				
	DESC2			COMMENT 2					
4	Delivery	: #4a	WGT 1	VOL 2	CTM 1	CTM 2 0			
	DESC	saldytuvas,virdulys		COMMENT	siuo vardu yra dar viena registracija i seskines gatve				
	DESC2			COMMENT 2	tai jis sake palydes jus nes tuo adresu daiktai yra rus jis bus su savo transportu				
5	Delivery	: #7	WGT 1	VOL 1	CTM 1	CTM 2 0			
	DESC	virykle		COMMENT	duru kodas 4				
	DESC2			COMMENT 2					
6	Delivery	: #7a	WGT 1	VOL 2	CTM 1	CTM 2 0			
	DESC	Skalbimo mašina, televizorius		COMMENT					
	DESC2			COMMENT 2					
7	Delivery	: #8a	WGT 1	VOL 3	CTM 1	CTM 2 0			
	DESC	televizorius,smulkus daiktai		COMMENT	atvyke paskambintkit jam ileis i laiptine				

29 pav. Įvairios ataskaitos nr. 2

2.6. Maršrutų optimizavimo patirtis užsienio valstybėse

***AA Route Planner* – Jungtinės Karalystės ir Airijos kelionių planavimo įrankis**

AA Route Planner yra nemokama interneto maršruto planavimo svetainė, specialiai sukurta Jungtinei Karalystei, Airijai ir kitiems Europos miestams. *AA Route Planner* yra neginčijamai viena iš plačiausiai naudojamų iš patikimų šaltinių maršruto planavimo svetainių, kurioje pateikiami:

- Kelių žemėlapis;
- Gatvė, pašto kodas, miesto ir miestelio info;
- Važiavimo kryptys;
- Kelionių atstumai ir laikas.

Nors galima naudotis daugeliu AA Route Planner funkcijų: draudimo, automobilių patarimų ir vairavimo mokyklų informaciją, tačiau jūs galite naudoti sau naudingiausią maršruto planavimo paslaugą, teikiamą nemokamai apsilankius adresu www.theaa.com.

Taip pat vienas iš didžiausių šios svetainės privalumų yra „Eismo naujienos“. Galima vienu mygtuko spustelėjimu atnaujinti daugelio Europos miestų eismo naujienas, uždarytus kelius ar apkrautas atkarpas (prieiga per internetą: http://www.theaa.com).

AA Route Planner iš esmės yra tobula savo saugyklose saugomais maršrutų planais bei kelionės informacija Jungtinėje Karalystėje bei Airijoje.

„*SOMCET-Net*“ - protinga sistema, plėtojama Rumunijoje

Integruota elektroninė sistema elektroniniam verslui, transporto optimizavimui ir transporto priemonių kontrolei kelyje – „*SOMCET-Net*“.

Bendros Savybės

„*SOMCET-Net*“ yra moderni, integruota, pažangi parama transporto priemonių stebėjimui ir maršrutų optimizavimui bei interaktyvi priemonė elektroniniams komerciniams sandoriams (priklausomai nuo poreikių ir pasiūlymų) administruoti.

Ši sistema leidžia ieškoti transporto poreikių ir siūlymų bei juos registruoti, palaiko derybų procesus ir transporto susisiekimą tarp verslo partnerių, vykdo kelių optimizavimą su maršruto vizualizacija skaitmeniniame žemėlapyje, vietos ir realaus laiko transporto priemonių tyrimą.

Struktūra

Sistemą sudaro trys į vartotoją orientuoti, integruoti posistemiai:

- pirmas posistemis skirtas ekonominiams sandoriams tarp transporto klientų ir transporto paslaugų teikėjų paremiant prekybą, derybas ir sutarčių sudarymo veiklą;
- antras posistemis atlieka maršruto optimizavimą, paremtą derybų ir sutarčių veikla;
- trečiasis posistemis atlieka transporto priemonių stebėjimą keliuose.

Sistema turi taip pat "Administracijos" posistemę, sujungtą su kitomis posistemėmis.

Klasikinės komunikacijos pagrindas, ryšio priemonės: telefonas, faksas, ar elektroninis paštas buvo pakeista į internetinį ryšį ir leidžiama keistis informacija, kuri tvarkoma „*SOMCET-Net*“ (duomenų baze ir geografinių duomenų baze).

„*SOMCET-Net*“ sistemos teikia veiksmingas ir efektyvias elektronines paslaugas, kurios siekia remti konkurencingomis žiniomis paremtą ekonomikos vystymąsi krovinių vežimo keliais transporto srityje Europos lygiu ir tiesiogiai prisideda prie Europos darbo produktyvumo ir bendro konkurencingumo didinimo šioje srityje.

Apibūdinimas

Sistema teikia elektronines paslaugas, kurios remia konkrečią pagrindinės transporto grandinės veiklą:

- Rinkodara, transporto rinkos tyrimas per transporto paklausą, ir transporto pasiūlymų registravimas bei paieškos. Sistema gali valdyti transporto paklausą, kuri yra viena iš n rūšių prekių, kurios turi būti gabenamos, nurodant pradžios tašką ir pabaigą, pakrovimo datą ir vietą, iškrovimo datą ir vietą, geras savybes, reikalingas transporto paslaugų įmonėms.

- Sistema gali administruoti transporto pasiūlymus, kuriuose yra po “n” rūšių transporto priemonių, nurodančių pradžios tašką ir pabaigą, pakrovimo datą ir vietą, iškrovimo datą bei vietą (tarpines vietas tarp starto vietos ir pabaigos vietos), transporto paslaugos ir bendrąsias prekes, kuriomis gali būti remiamos.
- Derybos ir sutarčių sudarymas: dėl el. pašto teikiamos sistemos, sudaroma galimybe komunikuoti partneriams ir sistemos siūlytojams.
- Mašrutų optimizavimas: norint nustatyti maršrutą, į kurį turi įeiti nurodyta vieta, ir optimaliausias būdas nuvykti į ją atsižvelgiant į tam tikras sąlygas, sistema teikia el. paslaugos prieinamumą internetu. Yra siūlomi trys optimizavimo modeliai: greitas maršrutas, trumpas maršrutas, pageidaujamas maršrutas. Elementai, kurie turi būti nurodyti visiems modeliams yra: maršruto planuotojas, važiavimo greitis, kuras, dienos važiavimo planas.
- Transporto priemonių transporto apžvalga realiu laiku arba nurodytu laikotarpiu gali būti atliekama naudojant sukurtą mobiliąją įrangą sumontuotą transporto priemonėse tarptautiniuose arba nacionaliniuose keliuose.

Sistema naudoja atvirus pozicionavimo standartus (GPS technologija - Global Positioning System), kurios pagrindas yra palydovinė informacija skirta geografiniam informacijos valdymui (GIS - Geografinė informacinė sistema) ir Europos skaitmeninių žemėlapių ir duomenų perdavimo (GSM - globalinė judriojo ryšio sistema) tarp instaliuotos mobiliosios įrangos, sumontuotos transporto priemonėje ir sistemos stebėjimo centro. Sukurta Mobilioji įranga, susideda iš šių komponentų:

- Padėties nustatymo bei ryšio įrenginys (DPPC);
- Borto kompiuteris;
- Jutiklis GPS;
- Kuro jutikliai.

Mobilioji įranga, užtikrina:

- Realaus laiko nuotolinio transporto priemonių stebėjimą;
- Transporto priemonės parametrų įgijimą;
- Pranešimą tarp transporto priemonės vairuotojo ir vadybos centro.

Surinkta stebėjimo informaciją susideda iš:

- GPS informacijos: pozicijos (platuma, ilguma), aukščio, laiko (GPS - HHMMSS),matomų palydovų skaičiaus, sekamų palydovų, skiedimo ir tikslumo faktoriaus;
- GSM modemo statuso;

- Transporto priemonių kuro lygio, temperatūros, signalizacijos, informaciniai pranešimai, stebėjimo pranešimų.

Visi pranešimai gali būti: punktas - punktui, punktas - daugumai punktų bendrauti tarp mobiliojo ryšio prietaiso ir valdymo centro ir dauguma punktų - daugumai punktų tarp transporto paslaugų teikėjų ir transporto priemonių parkų.

Sistema funkciškai struktūrizuota ir vystoma modulio principais, siekiant, kad ji būtų atvira dėl savo lankstumo.

Techninės ir programinės įrangos komponentai, kurie buvo sukurti įgyvendinti veiksmingus, rezultatyvius ir novatoriškus sprendimus, padidina krovinių kelių transporto efektyvumą ir remia Europos informacijos visuomenės integraciją. (George Dionisie Mihai, 2005).

3. ELEKTRONINIŲ ATLIEKŲ SURINKIMO VAŽIAVIMO MARŠRUTŲ OPTIMIZAVIMAS

3.1. Tyrimo metodika

Racionalus maršrutas dažnai tapatinamas su trumpiausiu maršrutu. Tačiau skirtingi transporto sistemos subjektai kelio ilgį suvokia skirtingai ir šį suvokimą lemia šių subjektų interesai. Kelio ilgis gali būti matuojamas vežimų nuotoliu, pristatymo laiku, pristatymo sąnaudomis ar kitokiais dydžiais. Siekiant suderinti įvairių transporto sistemos subjektų interesus, trumpiausio kelio uždavinius tektų formuluoti kaip daugelio kriterijų uždavinius (A. Baublys, 1997). Tačiau toliau pateikiant trumpiausio kelio radimo algoritmus nesigilinama į kelio ilgio fizinę prasmę ir jis suvokiamas kaip apibendrintas dydis, kurį galima traktuoti nevienareikšmiškai.

Trumpiausio kelio tinkle radimo uždavinys svarbus pats savaime, tačiau jo svarbą didina ir tai, kad jis dažnai yra sudėtinė dalis uždavinių, susijusių su srautų paskirstymo tinkle optimizavimu arba transporto tinklo plėtra. Kadangi trumpiausio kelio algoritmas paprastai yra pagrindinė kitų uždavinių dalis, tai jo sprendimo efektyvumas lemia ir viso uždavinio sprendimo efektyvumą. Pasidaro aišku, kodėl dėmesys šiems uždaviniams nemažėja, nors ir yra nemaža darbų, kuriuose sprendžiami trumpiausio kelio uždaviniai (Dievulis, 2000).

Racionalaus maršruto paieškai naudojami diskrečiosios matematikos ir kombinatorikos grafų teorijos uždavinių sprendimų algoritmai. Racionalaus maršruto paieška iš esmės yra panaši į keliaujančio pirklio uždavinį, kuriame, turint tam tikrą kiekį miestų, taip pat kelionės

iš vieno miesto į kitą kainas/atstumus, reikia rasti pigiausią/trumpiausią maršrutą, kad aplankius kiekvieną miestą maršrutas baigtųsi pradiniame mieste. Įvairūs aproksimaciniai algoritmai gana greitai ir su pakankamai dideliu tikslumu sprendžia keliaujančio pirklio uždavinį. Moderniausi algoritmai gali rasti sprendimus su ypatingai dideliu kiekiu (milijonais) miestų per protingą laiką ir yra įrodyta, kad atsakymas nuo optimalaus sprendimo nėra nutolęs toliau nei 2-3%. Dažniausiai uždavinio sprendimui naudojami artimiausio kaimyno, pigiausios jungties, dviejų pasirinktųjų sukeitimo metodai (prieiga per internetą: http://lt.wikipedia.org).

Artimiausio kaimyno metodas. Pradedant nuo kažkurios grafo viršūnės, pastoviai renkamasi pati „artimiausia“ (su kuo mažesniu briaunos svoriu) iš neaplankytų viršūnių. Kai nebelieka neaplankytų viršūnių – grįžtama į pradinę.

Pigiausios jungties algoritmas. Pradedant nuo bet kurios grafo viršūnės,

1. Imama mažiausio svorio briauna (jei yra kelios vienodai mažo svorio – pasirenkama bet kuri). Pasirinkta briauna pažymima.
2. Imama ir pažymima kita mažiausio svorio briauna. Briauna yra tinkama, jei
   - ji nepažymėta;
   - ji neuždaro mažesnio ciklo;
   - ji nėra paskutinė nepažymėta briauna, išeinanti iš vienos viršūnės;
3. kartojamas antras žingsnis, kol gaunamas Hamiltono ciklas.

Dviejų pasirinktųjų sukeitimo algoritmas. Šio algoritmo veikimo principas yra dviejų briaunų panaikinimas, sujungiant viršūnes kitokiu būdu, tikintis gauti trumpesnį maršrutą. Jei pasiūlytas naujasis kelias yra trumpesnis (jei panaikintų briaunų svorių suma didesnė už sujungtų kitokiu būdu), tuomet juo pakeičiamas pradinis kelias. Visada yra tik vienas būdas perjungti lankus, kurie įeina į maršrutą, kad išliktų ciklas.

Racionalaus maršruto paieškai gali būti naudojami keletas algoritmų. Svarbiausi iš jų yra šie:

- Dijkstra algoritmas
- Bellman - Ford algoritmas
- A* algoritmas
- Floyd - Warshall algoritmas

Praktikoje naudojamos įvairios šių algoritmų modifikacijos.

Dijkstra algoritmas. Tai algoritmas, kurį sukūrė olandas kompiuterių specialistas Edgar Dijkstra. Jis sprendžia vieno šaltinio trumpiausių kelių problemą kryptiniame grafe su ne neigiamais kraštinių svoriais ir yra naudojamas rasti kelią tarp dviejų viršūnių tokiuose grafuose, kur kiekvienos briaunos svoris ne mažesnis už 0. Šiame algoritme naudojamas

godaus metodo principas: kiekviename žingsnyje pasirenkamas geriausias lokalus sprendinys. Algoritmu pakankamai efektyviai galima skaičiuoti ir trumpiausius kelius nuo pradinės viršūnės *s* iki bet kurios kitos viršūnės.

Bellman - Ford algoritmas. Sprendžia vieno šaltinio trumpiausių kelių problemą kryptiniame grafe. Ilgiau sprendžia tokį patį trumpiausio kelio radimo uždavinį kaip ir Dijkstra algoritmas, tačiau veikia, kai briaunų svoriai yra neigiami. Plačiai naudojamas kompiuterių tinkluose, pavyzdžiui RIP informacijos maršrutizavimo protokole.

A* algoritmas yra euristinis algoritmas maršrutui tarp dviejų viršūnių rasti. Pirmą kartą aprašytas 1968 metais (Peter Hart, Nils Nilsson, and Bertram Raphael). Dijkstra algoritmas yra konkretus A* algoritmo atvejis (kai visų briaunų svoriai yra teigiami).

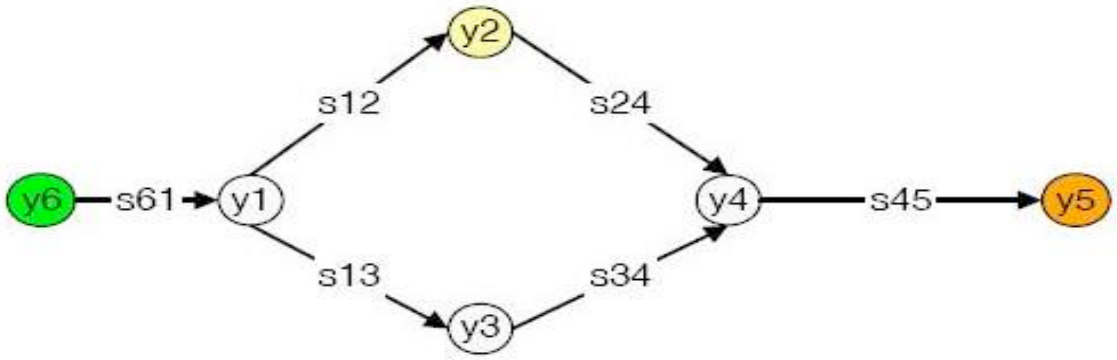
Floyd - Warshall algoritmas randa trumpiausius kelius tarp kiekvienos viršūnių poros. Naudojamas sprendžiant trumpiausių kelių problemą svertiniame kryptiniame grafe. Algoritme panaudotas dinaminio programavimo metodas (prieiga per internetą: http://www.techmat.vtu.lt).

Vienas iš šių algoritmų – Dijkstra, naudojamas ir ESRI geoinformacinėse sistemose (Eliasson ir Mattsson 2000). ArcGIS programinio paketo dalis Network Analyst leidžia vartotojams rasti trumpiausią kelią per linijų segmentus pagal jų geometrinį ilgį. Sukurtas duomenų modelis leidžia vartotojams linijų (gatvių) segmentams priskirti atributus (pvz. važiavimo laiką, eismo srautą, sąnaudas ir kt.) Taip galima apskaičiuoti ne tik trumpiausią, bet ir greičiausią, pigiausią ar mažiausiai apkrautą maršrutą. Optimizavimo kriterijus priklauso nuo vartotojo pasirinkimo. Network Analyst naudojamas sudarytiems maršrutams apskaičiuoti.

Iš esmės analizuojami trys maršrutų tipai:

- Trumpiausias maršrutas;
- Greičiausias maršrutas;
- Maršrutas, nustatytas pagal alternatyvas, naudojant apskaičiuotą apkrovą gatvės segmentui.

Racionalaus maršruto skaičiavimas atliekamas, kai kiekvieno gatvės segmento svoris (skaitinė vertė, pvz. ilgis) minimizuojamas. Supaprastintas gatvių tinklo pavyzdys pateiktas 30 paveiksle (M. Jakimavičius, A. Mačerinskienė, 2006).



30 pav. Supaprastintas gatvių tinklo pavyzdys su koeficientais

Kai atliekama optimalaus maršruto nuo taško y_6 į tašką y_5 paieška, parenkamas maršrutas, kur koeficientų suma yra mažiausia. Duotame pavyzdyje yra dvi alternatyvos:

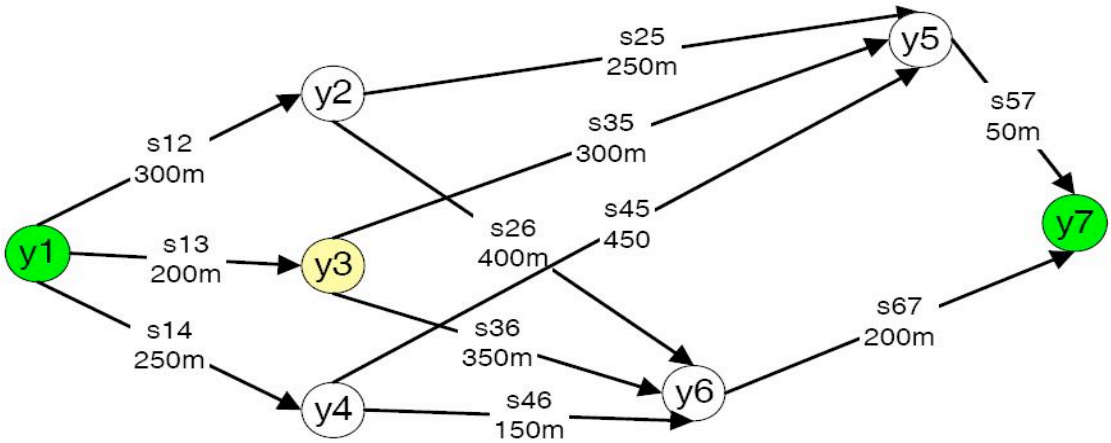
1) Maršrutas per sekcijas s_{61}, s_{12}, s_{24}, s_{45};

2) Maršrutas per sekcijas s_{61}, s_{13}, s_{34}, s_{45}.

Optimalus maršrutas bus tas, kur sekcijos svorių suma bus mažiausia: $\min \sum_{ij} s_{ij}$.

Matematinis trumpiausio maršruto nustatymo modelis

Matematiniame modelyje norint surasti trumpiausią maršrutą tarp dviejų specifinių taškų gatvių tinkle, koeficientai S_{ij}, kurių skaitinės vertės yra lygios tų sekcijų ilgiams, turi būti priskirti tam tikroms gatvių sekcijoms. Pavyzdžiui, turimos tokios sekcijos, parodytos 31 paveiksle (M. Jakimavičius, A. Mačerinskienė, 2006).



31 pav. Gatvių tinklo pavyzdys su koeficientais

Trumpiausias maršrutas randamas, kai gatvių sekcijų ilgiai ir judėjimo jomis kryptys yra žinomos. Uždavinio matematinis modelis suvedamas į funkcijos minimizavimą, esant nustatytiems atitinkamiems apribojimams. Tikslo funkcija atrodo taip:

$f(x)_{min} = s_{12} \cdot x_{12} + s_{13} \cdot x_{13} + s_{14} \cdot x_{14} + s_{25} \cdot x_{25} + s_{35} \cdot x_{35} + s_{45} \cdot x_{45} + s_{26} \cdot x_{26} + s_{36} \cdot x_{36} + s_{46} \cdot x_{46} + s_{57} \cdot x_{57} + s_{67} \cdot x_{67}$, (5)

kur: s_{ij} – gatvės sekcijos ilgis; x_{ij} – maršruto koeficientas, su galimomis reikšmėmis 0 arba 1.

Žemiau pateikta sistema apibūdina funkcijos apribojimus:

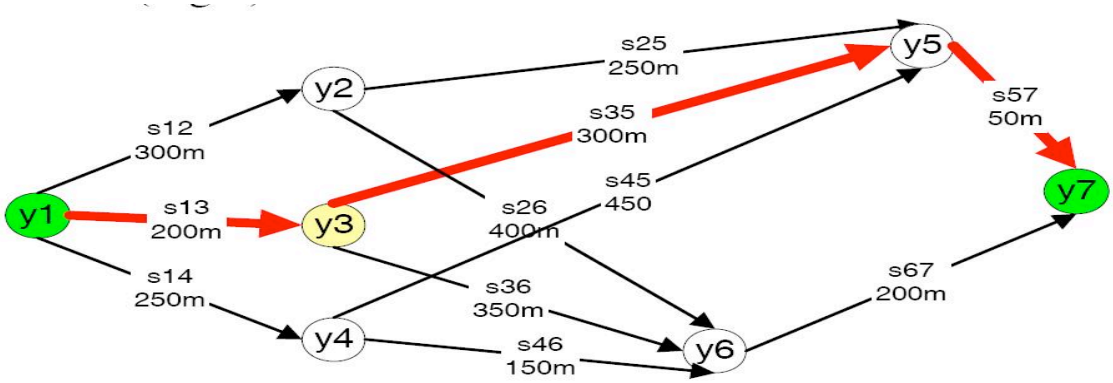
$$\begin{cases} x_{12} + x_{13} + x_{14} = 1 \\ -x_{12} + x_{25} + x_{26} = 0 \\ -x_{13} + x_{35} + x_{36} = 0 \\ -x_{14} + x_{45} + x_{46} = 0 \\ -x_{25} - x_{35} - x_{46} + x_{57} = 0 \\ -x_{26} - x_{36} - x_{46} + x_{67} = 0 \\ x_{ij} \geq 0 \end{cases} \qquad (6)$$

Septintam taškui nereikia apribojimų, kadangi lygtis turėtų tiesioginę priklausomybę. Ši užduotis sprendžiama taikant Dijkstra algoritmą. Tai pateikta 2 lentelėje.

2 lentelė. Trumpiausio maršruto paieškos uždavinio sprendimas

1) Iteracija	$y_1 = 0$
2) Iteracija	$y_2 = 300$
	$y_3 = 200$
	$y_4 = 250$
3) Iteracija	$y_5 = \min(y_2 + s_{25}, y_3 + s_{35}, y_4 + s_{45}) = \min(300 + 250, 200 + 300, 250 + 450) = 500$ m
	$y_6 = \min(y_2 + s_{26}, y_3 + s_{36}, y_4 + s_{46}) = \min(300 + 400, 200 + 350, 250 + 150) = 400$ m
4) Iteracija	$y_7 = \min(y_5 + s_{57}, y_6 + s_{67}) = \min(500+50,400+200) =$ **550 m**

Atlikus veiksmus gaunamas atsakymas: trumpiausias atstumas tarp taškų 1 ir 7 eina per taškus 1;3;5;7 ir yra 550 metrų ilgio. Tai matoma 32 paveiksle (M. Jakimavičius, A. Mačerinskienė, 2006):

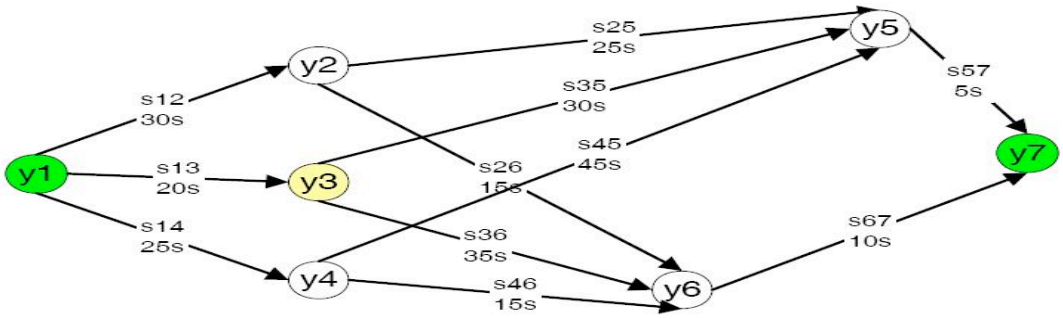


32 pav. Trumpiausias maršrutas

Matematinis greičiausio maršruto nustatymo modelis

Siekiant rasti greičiausią maršrutą tarp dviejų konkrečių taškų gatvių tinkle, gatvių segmentams turi būti priskirti koeficientai, kurių skaitinės reikšmės atitinka važiavimo tuo

segmentu laiką. Leidžiamos eismo kryptys turi būti žinomos. Pavyzdžiui, turimi tokie gatvių segmentai, kaip parodyti 33 paveiksle (M. Jakimavičius, A. Mačerinskienė, 2006):



33 pav. Gatvių tinklo pavyzdys su važiavimo laiko koeficientais

Greičiausias maršrutas randamas, kai gatvių segmentų pravažiavimo laikai ir judėjimo jais kryptys yra žinomos. Uždavinio matematinis modelis suvedamas į funkcijos minimizavimą, esant nustatytiems atitinkamiems apribojimams. Tikslo funkcija atrodo taip:

$f(x)_{min} = s_{12} \cdot x_{12} + s_{13} \cdot x_{13} + s_{14} \cdot x_{14} + s_{25} \cdot x_{25} + s_{35} \cdot x_{35} + s_{45} \cdot x_{45} + s_{26} \cdot x_{26} + s_{36} \cdot x_{36} + s_{46} \cdot x_{46} + s_{57} \cdot x_{57} + s_{67} \cdot x_{67}$, (7)

kur: s_{ij} – gatvės segmento pravažiavimo laikas; x_{ij} – maršruto koeficientas, su galimomis reikšmėmis 0 arba 1.

Žemiau pateikta sistema apibūdina apribojimus:

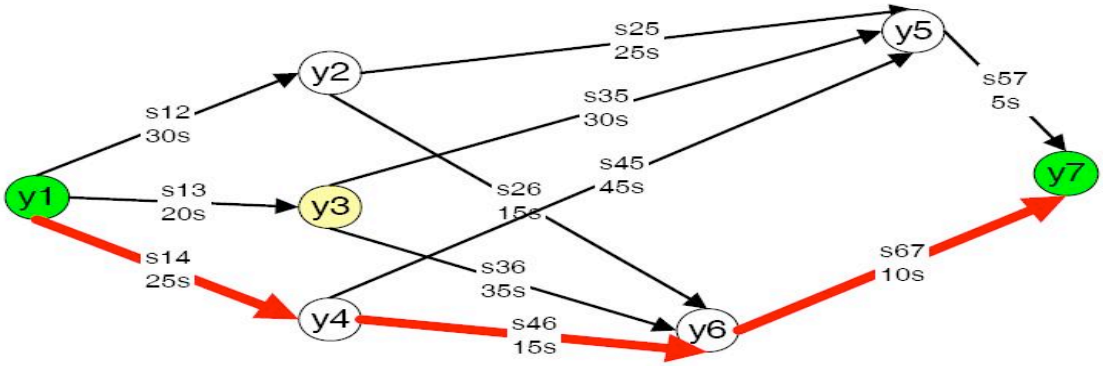
$$\begin{cases} x_{12} + x_{13} + x_{14} = 1 \\ -x_{12} + x_{25} + x_{26} = 0 \\ -x_{13} + x_{35} + x_{36} = 0 \\ -x_{14} + x_{45} + x_{46} = 0 \\ -x_{25} - x_{35} - x_{46} + x_{57} = 0 \\ -x_{26} - x_{36} - x_{46} + x_{67} = 0 \\ x_{ij} \geq 0 \end{cases} \qquad (8)$$

Septintam taškui nereikia apribojimų, kadangi lygtis turėtų tiesioginę priklausomybę. Ši užduotis taip pat sprendžiama taikant Dijkstra algoritmą. Sprendimo metu atliekamų veiksmų sąrašas pateiktas 3 lentelėje.

3 lentelė. Greičiausio maršruto paieškos uždavinio sprendimas

1) Iteracija	$y_1 = 0$
2) Iteracija	$y_2 = s_{12} = 30$
	$y_3 = s_{13} = 20$
	$y_4 = s_{14} = 25$
3) Iteracija	$y_5 = \min(y_2 + s_{25}, \underline{y_3 + s_{35}}, y_4 + s_{45}) = \min(30 + 25, \underline{20 + 30}, 25 + 45) = 50$ s
	$y_6 = \min(y_2 + s_{26}, y_3 + s_{36}, \underline{y_4 + s_{46}}) = \min(30 + 15, 20 + 35, \underline{25 + 15}) = 40$ s
4) Iteracija	$y_7 = \min(y_5 + s_{57}, \underline{y_6 + s_{67}}) = \min(50+5, \underline{40+10}) =$ **50 s**

Atlikus veiksmus, gaunamas atsakymas: greičiausias maršrutas tarp taškų 1 ir 7 eina per taškus 1;4;6;7 ir jame užtrunkama 50 sekundžių. Tai matoma 34 paveiksle (M. Jakimavičius, A. Mačerinskienė, 2006):

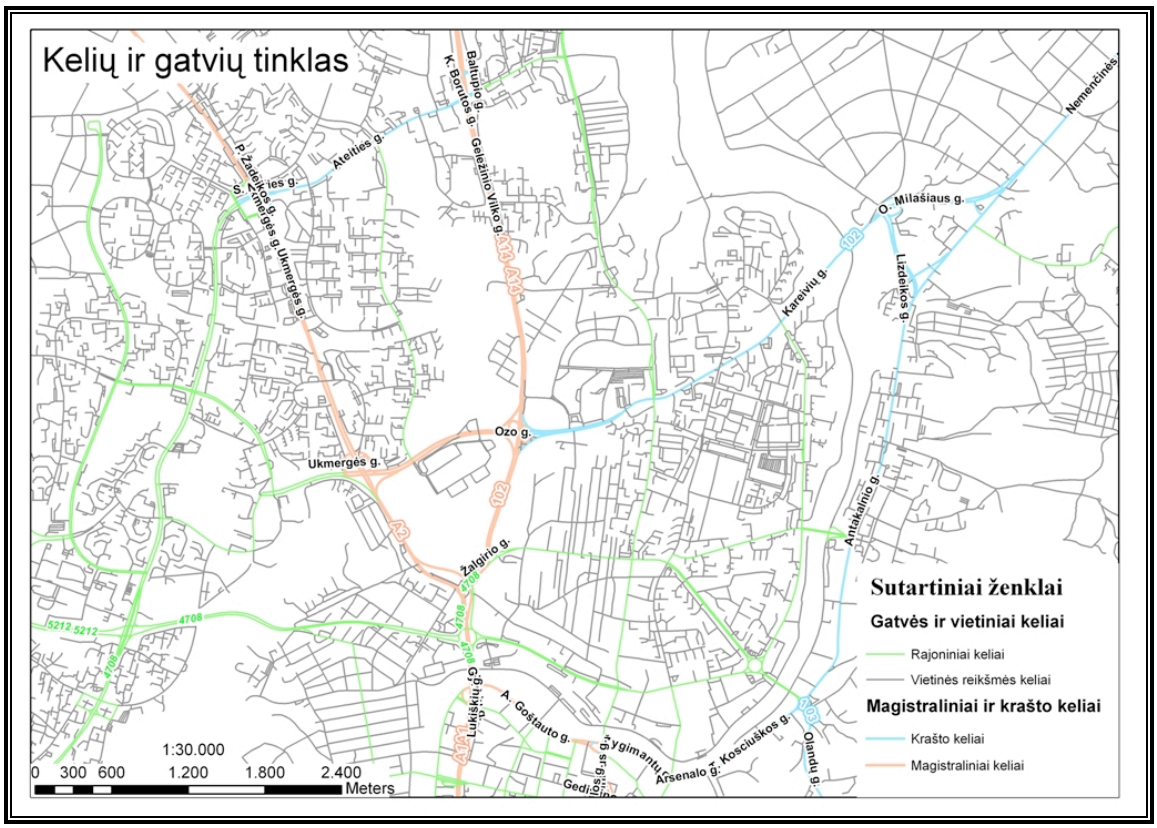


34 pav. Greičiausias maršrutas

Panagrinėjus pateiktus matematinius modelius akivaizdu, kad matematinis modelis, taikomas rasti trumpiausią ir greičiausią maršrutus gatvių tinkle, yra praktiškai vienodi. Analogiškai randamas ir mažiausiai apkrautas, pigiausias (gali būti kitas vartotojo pasirinktas kriterijus) maršrutai. Taip yra todėl, kad rasti racionaliam maršrutui naudojama minimizavimo funkcija pagal pasirinktą kriterijų.

3.2. Maršrutų sudarymas

Pirmiausia buvo sukurtas Vilniaus miesto kelių ir gatvių transportinis tinklas. Transportinis tinklas kaip ir paprastas tinklas kuriamas duomenų rinkinyje „Dataset“ (ArcMap→ArcCatalog). Jo duomenis sudaro: linijiniai ir taškiniai objektai. Pradiniai duomenys formuojant transporto tinklą buvo tik linijiniai objektai, tai kelių ir gatvių atkarpos (35 pav.), tačiau sukūrus tinklą iš pradinių duomenų buvo sugeneruoti tinkliniai duomenys, kurie turi briaunas ir viršūnes.



35 pav. Kelių ir gatvių tinklas

Tinklinių duomenų viršūnės yra sukuriamos linijinių objektų trūkių vietose, o briaunos sutampa su pradiniais įeities duomenimis.

Transporto tinkle papildomai buvo įvertintas galimų posūkių atributas. Tai linijinis sluoksnis, kuris gali nurodyti iš kokios briaunos į kurią briauną eismas yra galimas arba ne.

36 pav. Transportinis tinklas

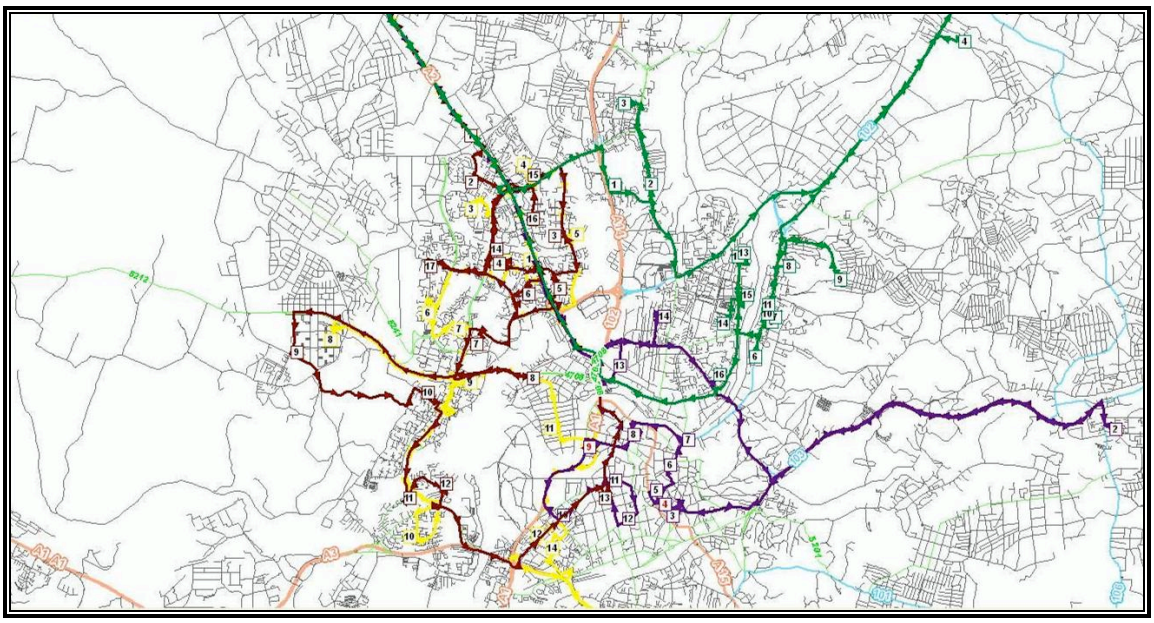
Vėliau šis sukurtas transportinis tinklas buvo įkeltas į *ArcLogistics* programą.

3.3. Tyrimo lyginamoji analizė

Buvo atliktas UAB "EMP recycling" keturių vienos dienos maršrutų optimizavimo modeliavimas. Modeliavimas atliktas naudojant *ESRI ArcLogistics* programinę įrangą. Taip pat programos efetyvumui nustatyti, tie patys maršrutai buvo sumodeliuoti *LocLogistics* programiniu paketu.

Pirmu atveju pateikiamI *ESRI ArcLogistics* pagalba sumodeliuoti maršrutai.

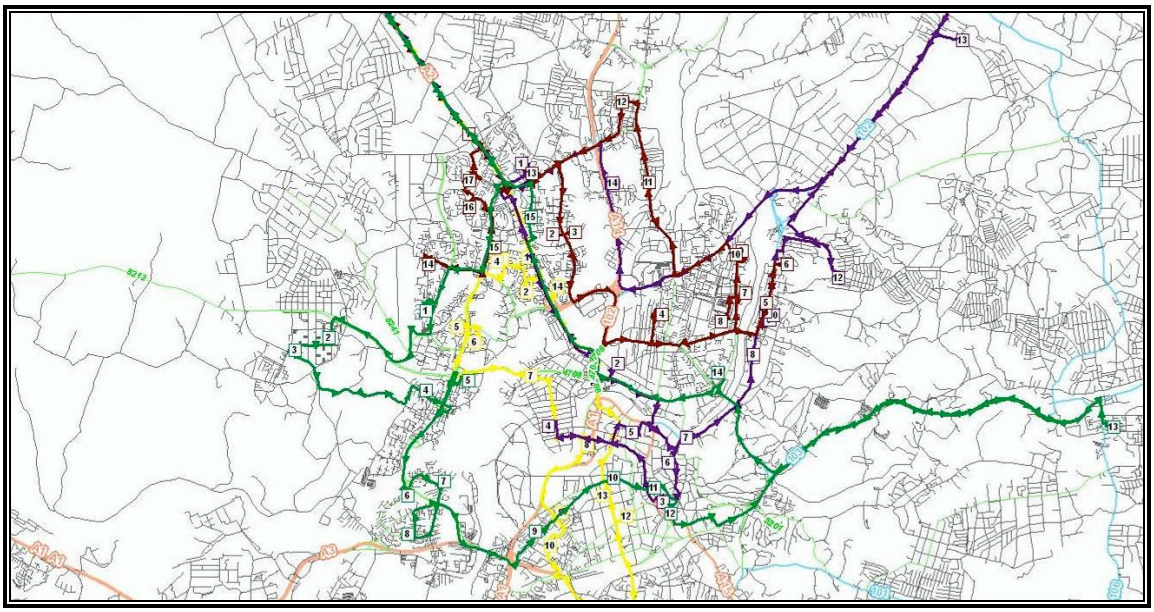
Esamos situacijos vertinimas:



37 pav. Faktiniai dienos maršrutai

Naudojant faktinius tos dienos maršrutus buvo suskaičiuota, kad nuvažiuota 305,9 km, ir tai sudarytų 920,05 Lt išlaidas. Taip pat modeliuojant buvo nustatyta, kad vienas iš ryto mašruto vairuotojų nespės pas klientą laiku atvykti. Tai yra vienas iš įrodymų, kad racionaliau maršrutus planuoti programinės įrangos pagalba.

Tuo tarpu optimizavus faktinius maršrutus galimas kaštų sutaupymas matomas akivaizdžiai. Optimizuoti maršrutai:



38 pav. Optimizuoti maršrutai (*ArcLogistics*)

Optimizavus faktinius maršrutus keitėsi užsakymų įvykdymo eilės tvarka, atstumas ir kaštai, taip pat programa nustatė, kad visiems klientams aptarnauti užteks tik 3 automobilių. Tai smarkiai mažina įmonės išlaidas. Nuvažiuota – 231,0 km, išlaidos – 807,07 Lt.

Lyginamosios analizės metu buvo nustatytas maršrutų planavimo efektyvumas (4 lentelė). Atliekant modeliavimą, programa *ArcLogistics* suplanuoti važiavimo maršrutai buvo palyginti su faktiniais įmonės tos dienos maršrutais.

4 lentelė. Skaičiavimų rezultatai su *ArcLogistics*

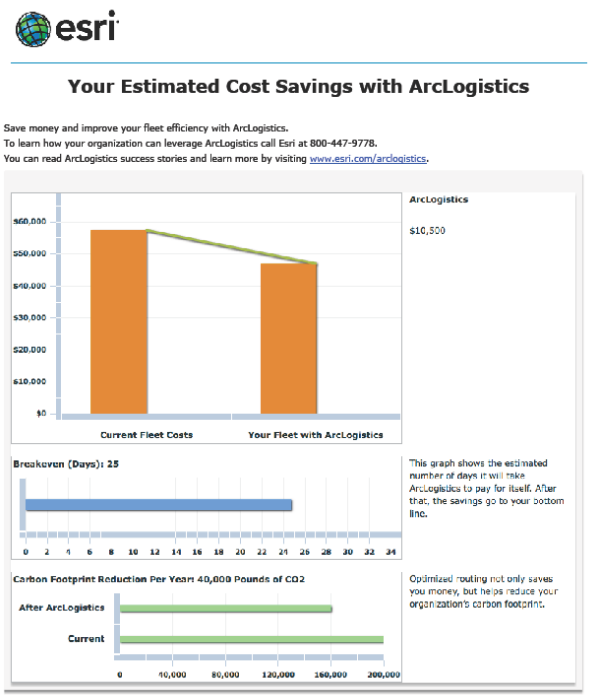
Maršrutai	Atstumas (km)	Sugaištas laikas kelyje (val.)	Išlaidos (Lt)
Faktiniai	305,9	10,09	920,05 Lt
Optimizuoti	231,0	8,28	807,07 Lt
Sutaupoma (per vieną darbo dieną)	74,9	1,81	112,98 Lt
Sutaupoma (%)	24,5%	17,94%	12,28%
Sutaupoma (per metus, jeigu metuose ya 250 d.d.)	18750	452,5	28245,0 Lt

Kompanija ESRI pateikia internetinį puslapį (prieiga per internetą http://roi.esri.com/costsavings2009/index.cfm), kuriame galima palyginti su *ArcLogistics* apskaičiuotų kaštų ir išmetamųjų dujų santaupas (39 pav., 40 pav.).

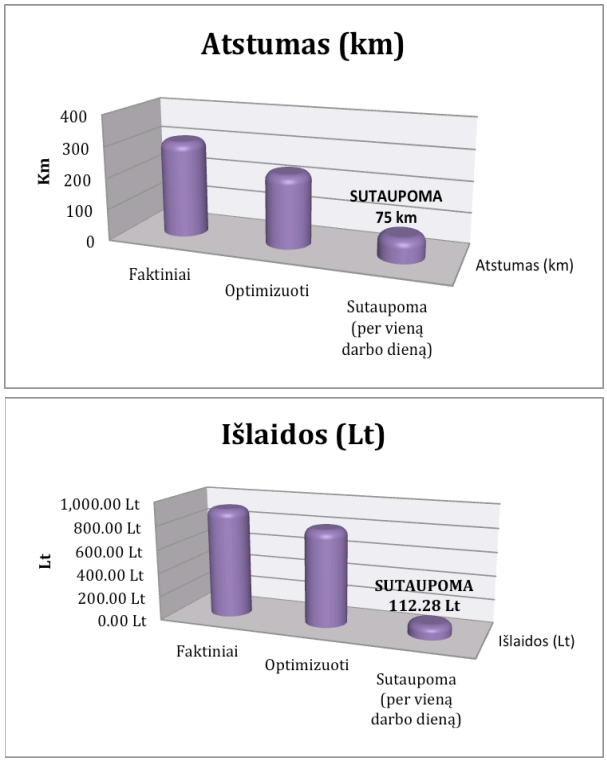
Kaštai buvo apskaičiuoti pasirenkant tokius kriterijus:

- Lengvieji sunkvežimiai - 4;
- 1 km kaina - 0,72 Lt;
- Degalų sąnaudos - 17 l/100km;
- Per metus vidutiniškai planuojama nuvažiuoti – 200000 km (su 4 sunkvežimiais).

39 pav. ESRI pateikti kaštai (per metus):

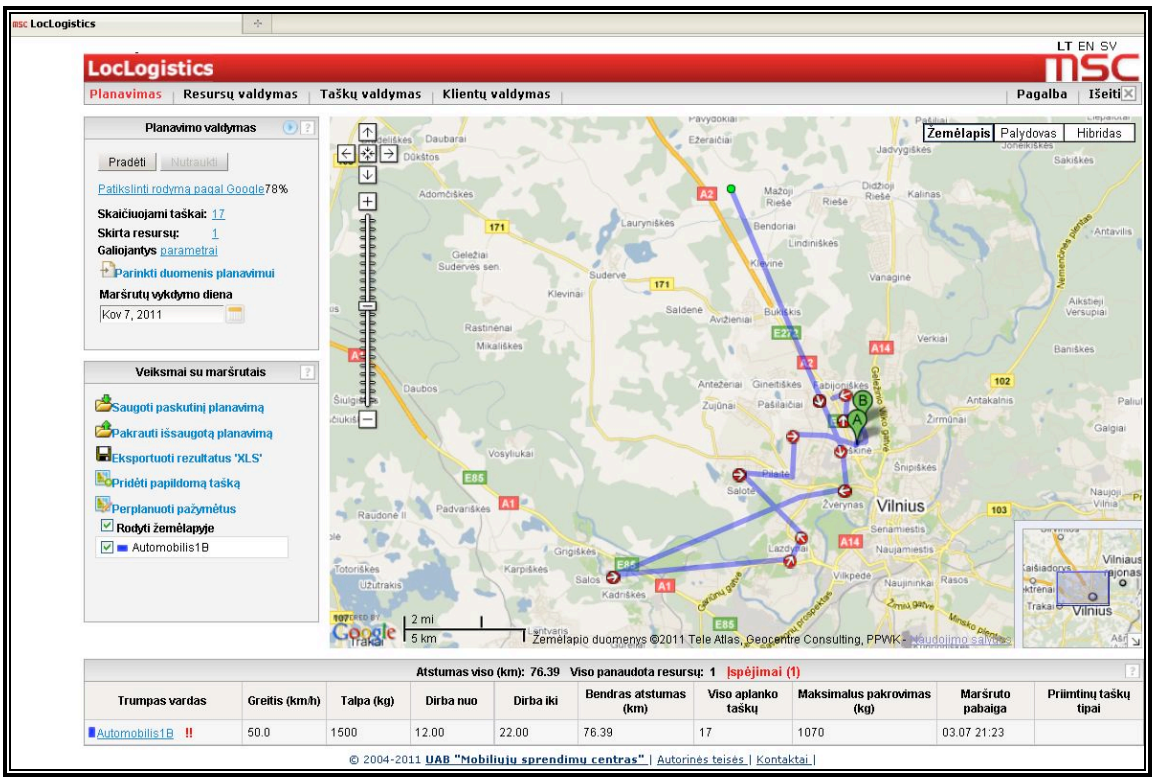


40 pav. Apskaičiuoti kaštai (per dieną):



Tiems patiems maršrutams pritaikius *LocLogistics* programinį paketą, buvo gautas toks rezultatas. Skaičiavimams buvo parinkti tokie patys parametrai kaip ir *ArcLogistics* programai - 1 h kaina = 25,60 Lt ir 1 km kaina = 0,72 Lt.

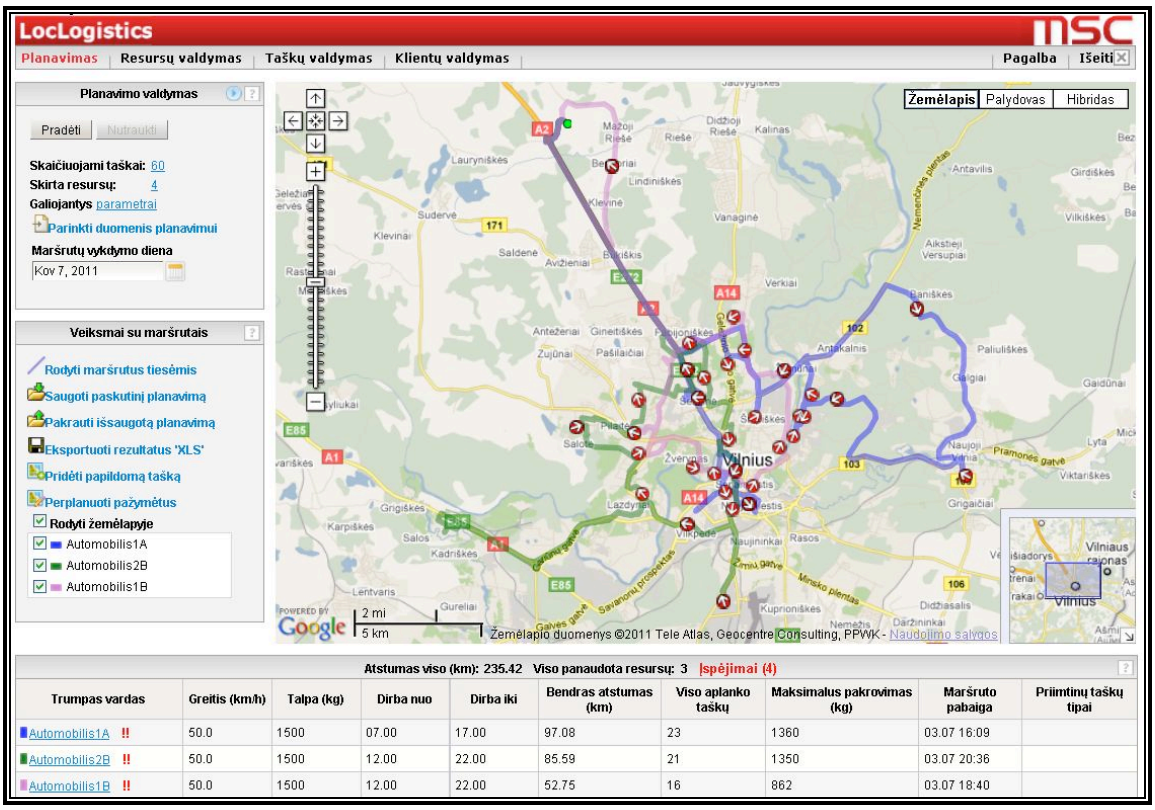
Esamos situacijos vertinimas (žr. 41 pav.):



41 pav. Faktinis maršrutas (*LocLogistics*)

Susumavus visų keturių automobilių maršrutus gauname tokį nuvažiuotą atstumą – 285,1 km. Tai sudarytų 984,79 Lt išlaidas.

Toliau pateiktas optimizuotų maršrutų išsidėtymas (42 pav.). Optimizavus maršrutus klientų eiliškumas taip pat keitėsi.



42 pav. Optimizuoti maršrutai (*LocLogistics*)

Matyti, kad optimizavus maršrutus programa parinko tik tris automobilius vietoj buvusių keturių. Tai labai mažina įmonės kaštus. Nuvažiuotas atstumas šiuo atveju yra 235,42 km, tai sudarytų 794,65 Lt išlaidas.

5 lentelėje matyti kaip pakito automobilių rida ir išlaidos.

5 lentelė. Skaičiavimų rezultatai su *LocLogistics*

Maršrutai	Atstumas (km)	Sugaištas laikas kelyje (val.)	Išlaidos (Lt)
Faktiniai	285,10	5,69	984,79 Lt
Optimizuoti	235,42	4,69	794,65 Lt
Sutaupoma (per vieną darbo dieną)	49,68	1,00	190,14 Lt
Sutaupoma (%)	17,43%	17,57%	19,31%
Sutaupoma (per metus, jeigu metuose ya 250 d.d.)	12420	250	47535,0 Lt

6 lentelėje patekti rezultatai maršrutų efektyvumo palyginimui su *ArcLogistics* ir su *LocLogistics* programomis.

6 lentelė. Lyginamoji analizė

Maršrutai	Faktiniai			Optimizuoti			**Sutaupymas (%)**		
	Atstumas (km)	Sugaištas laikas kelyje (val.)	Išlaidos (Lt)	Atstumas (km)	Sugaištas laikas kelyje (val.)	Išlaidos (Lt)	**Atstumas**	**Sugaištas laikas kelyje**	**Išlaidos**
ArcLogistics	305,9	10,09	920,05	231,0	8,28	807,07	24,5%	17,94%	**12,28%**
LocLogistics	285,1	5,69	984,79	235,42	4,69	794,65	17,43%	17,57%	**19,31%**

Lyginamosios analizės lentelėje matosi, kad *LocLogistics* yra patrauklesnė programa maršrutų optimizavimui nei *ArcLogistics* lyginant įmonės išlaidas. Tačiau tai yra tik skaičiai, kurie praktiškai neatitinka realybės. Tokią išvadą galima formuluoti panagrinėjus šios programos išvesties duomenis, tokius kaip automobilių kelionės išklotinės (žr. Priedas 3). Kaip anksčiau buvo paminėta, kad programa *LocLogistics* naudoja gana detalius globalius "Google Maps" žemėlapius, visgi jie nėra tokie detalūs kaip antai į *ArcLogistics* įkeltas kelių ir gatvių tinklas, kuris yra paremtas naujausiais kartografijos duomenimis.

Vienas iš pavyzdžių, kuris leidžia daryti prielaidą, kad verta abejoti *LocLogistics* programos racionaliais sprendimais, tai yra kelionės laikas nuo vieno kliento iki kito, kuris lygus 0 sekundžių (žr. 43 pav.) arba atstumas tarp klientų yra įveikiamas per 7 sekundes (žr. 44 pav.). 45 paveiksle matyti kokį atstumą ir kokį kelionės laiką numato UAB "Hnit-Baltic" kompanijos sukurta interneto svetainė www.maps.lt, kuri turi tikslų Vilniaus mieto gatvių tinklą.

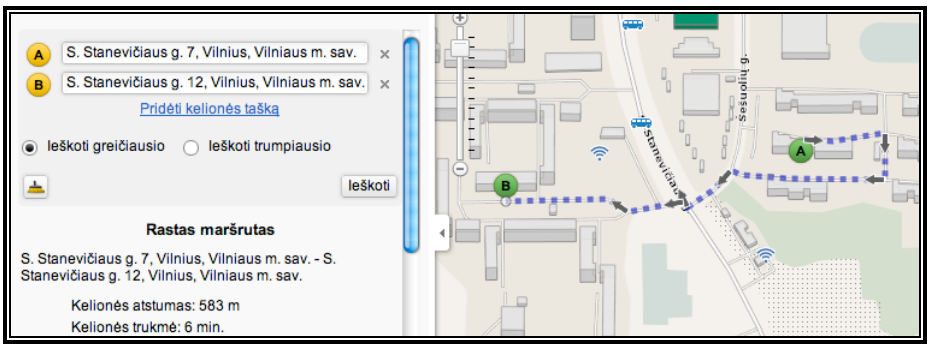
Trumpas vardas: Automobilis2B Bendras atstumas (km): 85.6 Talpa (kg): 1500

Id	Pavadinimas	Adresas	Laiko parametrai	Taško parametrai	Komentaras
24	2	Pašilaičių 20-68, Vilnius	Atvyks: 2011-03-07 12:13:32 Užtrukimas(min): 15 Dirba nuo: 08:00 Dirba iki: 22:00	Atst.(km.): 11.3 Laikas: 00:13:32 Svoris(kg.): 50 Viso(kg.): 50 Paimama	
25	22	Stanevičiaus 7-3, Vilnius	Atvyks: 2011-03-07 12:32:10 Užtrukimas(min): 15 Dirba nuo: 08:00 Dirba iki: 22:00	Atst.(km.): 3 Laikas: 00:03:38 Svoris(kg.): 65 Viso(kg.): 115 Paimama	Prieš važiuojant paskambinti
26	3	Stanevičiaus 12-35, Vilnius	Atvyks: 2011-03-07 12:47:10 Užtrukimas(min): 15 Dirba nuo: 08:00 Dirba iki: 22:00	Atst.(km.): 0 Laikas: 00:00:00 Svoris(kg.): 120 Viso(kg.): 235 Paimama	

43 pav. *LocLogistics* kelionės išklotinė nr. 1

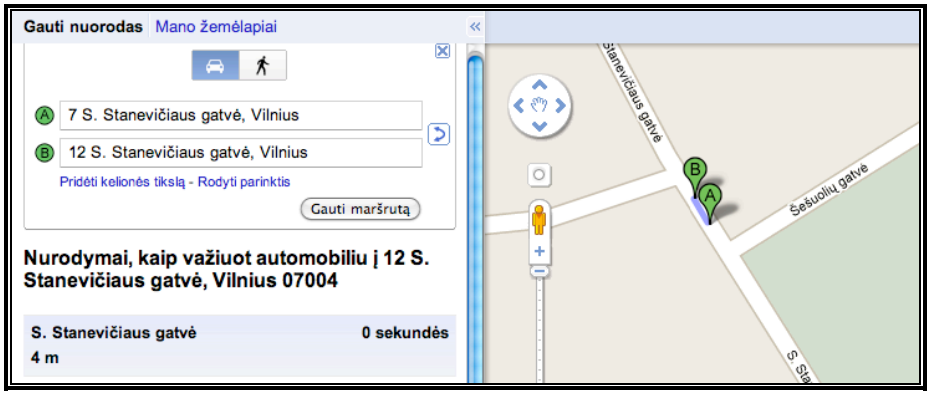
54	57	Žirmūnų 8-59, Vilnius	Atvyks: 2011-03-07 14:49:20 Užtrukimas(min): 15 Dirba nuo: 08:00 Dirba iki: 22:00	Atst.(km.): 1.9 Laikas: 00:02:17 Svoris(kg.): 120 Viso(kg.): 557 Paimama	
55	58	Žirmūnų 3-56, Vilnius	Atvyks: 2011-03-07 15:04:27 Užtrukimas(min): 15 Dirba nuo: 08:00 Dirba iki: 22:00	Atst.(km.): 0.1 Laikas: 00:00:07 Svoris(kg.): 70 Viso(kg.): 627 Paimama	Paliks 4 aukšte, laiptineje
56	59	Žirmūnų 83-31, Vilnius	Atvyks: 2011-03-07 15:23:05 Užtrukimas(min): 15 Dirba nuo: 17:00 Dirba iki: 21:00	Atst.(km.): 3 Laikas: 00:03:38 Svoris(kg.): 50 Viso(kg.): 677 Paimama	
57	60	Žirmūnų 75-60, Vilnius	Atvyks: 2011-03-07 17:15:16 Užtrukimas(min): 15 Dirba nuo: 08:00 Dirba iki: 22:00	Atst.(km.): 0.2 Laikas: 00:00:16 Svoris(kg.): 50 Viso(kg.): 727 Paimama	

44 pav. *LocLogistics* kelionės išklotinė nr. 2



45 pav. UAB "Hnit-Baltic" duomenys

Remiantis šiomis išvadomis galima teigti, kad su *ArcLogistics* galima panaudoti itin detalų kelių ir gatvių tinklą, kuris yra patikimesnis nei "Google Maps" žemėlapiai (46 pav.).



46 pav. "Google Maps" duomenys

IŠVADOS

1) Racionalaus maršruto paieškai gali būti naudojami keletas algoritmų. Svarbiausi iš jų yra šie:

- Dijkstra algoritmas;
- Bellman - Ford algoritmas;
- A* algoritmas;
- Floyd - Warshall algoritmas.

2) Transporto įmonėse reikia didinti automobilių darbo efektyvumą, t. y. jų darbo našumą ir mažinti eksploatavimo išlaidas. Tam būtina tobulinti transportavimo darbų operatyvųjį planavimą ir valdymą. Krovininių automobilių darbo našumas padidėja ir vežimo išlaidos sumažėja optimizuojant vežimo maršrutus, sumažinus darbo laiko nuostolius, susidarančius dėl organizacinių nesklandumų, tuščių automobilių prastovų krovimo metu ir vežimo atstumo, geriau naudojant transporto priemonių įkrovumą.

3) Nustatyta, kad suplanuoti vienos dienos maršrutai sutrumpėja 75 km, tai yra net 24,5% mažiau palyginus su faktiniais įmonės tos dienos maršrutais. Tos dienos kaštai sumažėja 112 Lt. Per metus sutaupoma ~28000 Lt (per 250 darbo dienų).

Per metus ESRI prognozuoja kaštų sutaupymą – 26250 Lt. Taip pat oro užterštumo anglies dioksidu (CO2) sumažinimą – 18143 kg.

Atlikus tų pačių maršrutų optimizavimą *LocLogistics* programiniu paketu, buvo pastebėtas dar didesnis jo efektyvumas, tačiau išanalizavus kelionės laiką tarp atskirų klientų, buvo pastebėti duomenys kurie neatitinka realybės. Tokiu atveju *ArcLogistics* išlieka patrauklesnė maršrutų planavimo priemonė nei *LocLogistics*.

Taigi didžiausias skirtumas tarp šių programinių paketų yra tas, kad *LocLogistics* naudodamas “Google Maps” žemėlapius labiau tinka organizuojant keliones platesnėse erdvėse, sprendžiant logistinius uždavinius keletos valstybių teritorijoje. Tuo tarpu *ArcLogistics* turėdamas savo transportinį tinklą, kuris yra tiksliai apdorotas pagal esamą situaciją, geba tiksliau planuoti maršrutus pateikdamas logiškus sprendinius visose teritorijų plotuose.

4) UAB “EMP Recycling” dispečeris tokį, 4 maršrutų darbo dienos tvarkaraštį planuoja visą darbo dieną, t.y. 8 val. Perpratus *ArcLogistics* programinio paketo ypatumus, tokiam pačiam klientų kiekiui suplanuoti maršrutų tvarkaraštį prireiktų nuo 1,5 iki 2 val. laiko tarpo. Tai suteikia galimybę plėsti įmonės autoparką ir didinti darbų našumą ~20%.

NAUDOTA LITERATŪRA

1. Dievulis G. Transporto tinklų bei srautų paskirstymo juose optimizavimas. Vilnius: „Technika“, 2000 m.
2. Dievulis G. (2000). Trumpiausių kelių radimo transporto tinkle būdai http://www.transport.vgtu.lt/upload/tif_zur/2000-1-dievulis.pdf
3. LR Transporto veiklos pagrindų įstatymas, 2002, p. 1
4. Lietuvos 2007–2013m. ES struktūrinės paramos panaudojimo strategija, 2006
5. V. Puodžiukas Kelių infrastruktūros plėtra ir saugus eismas, adresu http://www.businessandexhibitions.com/be03.html
6. Vilniaus miesto savivaldybės teritorijos bendrasis planas iki 2015 metų adresu http://www.vilnius.lt/bplanas/download.php?file_id=69
7. A. Marma, D. Eidukas, M. Žilys, A. Valinevičius. Intelektualiųjų transporto valdymo sistemų efektyvumas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 6(62). – P. 61–66.
8. A. Jarašūnienė / Transport. 2007, Vol XXII, No 2, 61–67.
9. Eng. George Dionisie Mihai, „The intelligent transport system is a reality in Romania“. 2005 m.
10. Srinivas Peeta, Jeong Whon Yu. A Hybrid Model for Driver Route Choice Incorporating En-Route Attributes and Real-Time Information Effects. Netherlands. Networks and Spatial Economics, 2005 m. 21 – 40 p.
11. Dijkstros algoritmas. Prieiga internetu: http://lt.wikipedia.org/wiki/Dijkstros_algoritmas.
12. Keliaujančio pirklio uždavinys. Prieiga internetu: http://lt.wikipedia.org/wiki/Keliaujančio_pirklio_uždavinys.
13. Keliaujančio pirklio uždavinys. Prieiga internetu: http://www.techmat.vgtu.ly/konspektai/Algoritmai/Paskaita11.pdf .
14. Faramroze Engineer, New Zealand. Fast Shortest Path Algorithms for Large Road Networks // Department of Engineering Science, University of Auckland, 2000 m.
15. S. Al-Hasan and G. Vachtsevanos, Intelligent route planning for fast autonomous vehicles operating in a large natural terrain // Robotics and Autonomous Systems. Volume 40, Issue 1, 31 July 2002, Pages 1-24.
16. Forouzan Golsahni, Enrique Cortes-Rello and Thomas H. Howell. Dynamic route planning with uncertain information // Knowledge-Based Systems. Volume 9, Issue 4, June 1996, Pages 223-232.

17. Abolghasem Sadeghi-Niaraki, Masood Varshosaz, Kyehyun Kim and Jason J. Jung. Real world representation of a road network for route planning in GIS // Expert Systems with Applications. Article in Press, Corrected Proof. Available online 27 December 2010.
18. Teemu Nuortio, Jari Kytöjoki, Harri Niska and Olli Bräysy. Improved route planning and scheduling of waste collection and transport // Expert Systems with Applications. Volume 30, Issue 2, February 2006, Pages 223-232.
19. Dominik Papinski, Darren M. Scott and Sean T. Doherty. Exploring the route choice decision-making process: A comparison of planned and observed routes obtained using person-based GPS // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. Volume 12, Issue 4, July 2009, Pages 347-358.
20. Bo Huang and Xiaohong Pan. GIS coupled with traffic simulation and optimization for incident response // Computers, Environment and Urban Systems. Volume 31, Issue 2, March 2007, Pages 116-132.
21. Ger J. Devlin, Kevin McDonnell and Shane Ward. Timber haulage routing in Ireland: an analysis using GIS and GPS // Journal of Transport Geography. Volume 16, Issue 1, January 2008, Pages 63-72.
22. Dominik Papinski and Darren M. Scott. A GIS-based toolkit for route choice analysis // Journal of Transport Geography. Volume 19, Issue 3, May 2011, Pages 434-442.
23. G. Tavares, Z. Zsigraiova, V. Semiao and M.G. Carvalho. Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling // Waste Management. Volume 29, Issue 3, March 2009, Pages 1176-1185.
24. International Integrated Systems, Inc. (IISI). Peržiūrėta 2011 m. gegužės 11 d., http://www.iisigroup.com/en/products/tra-lucina.html.
25. *ArcLogistics Route* - maršrutų modeliavimo sprendimai transporto priemonių valdymui. Prieiga internetu: http://www.hnit-baltic.lt/hbgis/Documents/ArcLogistics_2_20080926_3.pdf.
26. M. Jakimavičius, M. Burinskienė. Važiavimo maršrutų planavimo metodai Vilniaus miesto vairuotojų informacinėje sistemoje // Transport. Vilnius: Technika, 2010, t. 25, Nr. 2 , p. 171-177.
27. Gražvydas Felinksas. Euristinių metodų tyrimas ir taikymas ribotų išteklių tvarkaraščiams optimizuoti. Daktaro disertacija. Vilnius, 2007m. 124 p.
28. Baublys A. (1997). Transporto sistemos teorijos įvadas. Vilnius: Technika, 1997

29. Jakimavičius M., Mačerinskienė A. Journal of Civil Engineering and Management // A gis-based modelling of vehicles rational routes. Vilnius : Technika. Vol. 12, no. 4 (2006), p. 303-309.
30. ESRI, Geographic information system (GIS). Peržiūrėta 2010 m. spalio 11 d., http://www.esri.com/software/arclogistics/index.html
31. ESRI, Geographic information system (GIS). Peržiūrėta 2010 m. spalio 11 d., http://roi.esri.com/costsavings2009/index.cfm
32. Wikipedia, internetinė enciklopedija. Peržiūrėta 2011, balandžio 20, adresu http://lt.wikipedia.org/wiki/Trumpiausio_kelio_problema
33. Agnė Dekaminavičiūtė. Transporto įmonės automobilių techninės priežiūros ir vežimų optimizavimas // Transporto vadyba. Vilnius, 2007. Nr. 2. P. 479 – 482.
34. Simona Dmitrijeva. Daugkartinių konteinerių apyvartos optimizavimo modelio pritaikymas UAB „Švarus miestas“ veikloje // Ekonomika ir vadyba: aktualijos ir perspektyvos. 2005. Nr. 5 P. 82 – 89.
35. Miguel Garriga. Saving Money and Optimizing Routes with ArcLogistics // Geographic Systems LLC. 2009.
36. Flinsenberg, Ingrid C.M. Route planning algorithms for car navigation // Cip-data library technische universiteit Eindhoen. Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
37. A. Ferreira, A. Duarte. A GIS-Based Integrated Infrastructure Management System // Spatial Development Infrastructure Linkage with Urban Planning and Infrastructure Management. Portugal. 2005.
38. Keechoo Choi, Chungwon Lee and Youngtae Son. Traffic Information and Some Business Models // KSCE Journal of Civil Engineering. Vol.5, No. 2/June 2001. P. 113-122.
39. Ata M. Khan, Onita D. Basu, and Shahriar A. Zargari. Multi-attribute Utility Theoretic Approach to Incorporate Sustainability Criteria in Transportation System Evaluation // International Journal of Sustainable Transporation. 2009.
40. A. John Sanjeev Kumar, J. Arunadevi and V. Mohan. Intelligent Transport Route Planning Using Genetic Algorithms in Path Computation Algorithms // European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.25 No.3 (2009), pp.463-468 © EuroJournals Publishing, Inc. 2009 http://www.eurojournals.com/ejsr.htm.
41. Giacomo Nannicini, Philippe Baptiste, Daniel Krob, Leo Liberti. Fast point-to-point shortest path queries on dynamic road networks with interval data. Preprint submitted to CTW, 2007.

42. Daniel Delling, Peter Sanders, Dominik Schultes, and Dorothea Wagner. Engineering Route Planning Algorithms. Universit¨at Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe, Germany.
43. Schilling, H.: Route Assignment Problems in Large Networks. Ph.D thesis, Technische Universit at Berlin, 2006.
44. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie susisiekimo ministerijos. Valstybės įmonė Transporto ir kelių tyrimo intitutas // Automobilių kelių investicijų vadovas. Kaunas, 2006.

PRIEDAI