

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
BOLONIJOS UNIVERSITETAS
VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS
LIETUVOS ENERGETIKOS INSTITUTAS

ALINES DINGIL

**SOCIALINIAI IR TECHNINIAI VEIKSNIAI, SKATINANTYS
MIESTO TRANSPORTO TVARUMĄ: PASAULINĖ ANALIZĖ**

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, Aplinkos inžinerija (T 004)

2019, Kaunas

Disertacija rengta 2015–2019 metais Kauno technologijos universiteto Aplinkos inžinerijos institute. Disertacija parengta Kauno technologijos universitete ir Bolonijos universitete pagal dvigubo laipsnio sutartį.

Moksliniai vadovai:

Prof. Dr. Žaneta STASIŠKIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004).

Prof. Dr. Federico RUPI (Bolonijos universitetas, technologijos mokslai, transporto inžinerija, T 003).

Redagavo: RM Vertimu pasaulis ir KO

Aplinkos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Prof. dr. Jolanta DVARIONIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, – T 004) – pirmininkė,

Doc. dr. Claudio LANTIERI (Bolonijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – T 004),

Prof. dr. Dainius MARTUZEVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, – T 004),

Doc. dr. Filippo PAGANELLI (Bolonijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija – T 004),

Dr. Laurencas RASLAVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, transporto inžinerija, – T 003).

Disertacija bus ginama viešajame Aplinkos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje 2020 m. sausio 9 d. 10 val. Kauno technologijos universiteto disertacijų gynimo salėje.

Adresas: K. Donelaičio g. 73 (73-403), 44249 Kaunas, Lietuva. Tel. nr. (+370) 37 300 042; faks. (+370) 37 324 144; e. paštas doktorantura@ktu.lt.

Disertacijos santrauka išsiųsta 2019 m. gruodžio 9 d. Su disertacija galima susipažinti internete <http://ktu.edu>, Kauno technologijos universiteto (K. Donelaičio g. 20, Kaunas), Vytauto Didžiojo universiteto (K. Donelaičio g. 52, Kaunas) bibliotekose ir Lietuvos energetikos institute (Breslaujos g. 3, Kaunas).

IVADAS

Tyrimo pagrindas ir aktualumas

Visame pasaulyje 55% pasaulio gyventojų gyvena miesto teritorijose, ir prognozuojama, kad dabartinis miesto gyventojų skaičius nuo 2050 m. padidės nuo 4 milijardų iki 6 milijardų [1]. Daugiausia dėl migracijos iš kaimo vietovių didėja miestų gyventojų ir miesto plotas ir susidaro naujos gyvenamosios zonos už miesto ar toliau nuo miesto centro. Tačiau dėl urbanizacijos greičio kyla tokių iššūkių, kaip patenkinti augančią transporto infrastruktūros paklausą, transporto energijos suvartojimą ir susijusias išlaidas, oro taršą, visuotinį atšilimą ir spūstis. Be abejo, vienas iš pastaruoju metu didėjančių globalių rūpesčių yra visuotinis atšilimas. Paryžiaus sutartis, ryšium su visuotiniu atšilimu, buvo parengta 2015 m., siekiant išlaikyti vidutinį pasaulinės temperatūros padidėjimą, kuris yra žemesnis nei 2 °C, palyginus su iki pramoninio laikotarpio lygmeniu. Po vienerių metų, 2016 m., trečius metus iš eilės buvo matuojama rekordinė vidutinė paviršiaus temperatūra (GMST) [2]. Tuo tarpu nėra abejonių, kad pagrindinė globalinių temperatūros pokyčių priežastis yra antropogeninė, nes transportas yra vienas iš svarbiausių žmogaus veiklos padarinių visuotiniam atšilimui. Remiantis Tarptautinės energetikos agentūros (TEA) duomenimis, 2010 m. bendras energijos suvartojimas pasaulyje sudarė 28% viso galutinio energijos suvartojimo pasaulyje, iš kurio maždaug 40% sudaro miesto transportas [3, 4]. Be to, transporto sektoriuje 2009 m. buvo išmesta daugiau kaip 6500 milijonų tonų CO² ekvivalento išmetamųjų teršalų (tai sudaro 22,5% viso su energija susijusio CO² išmetimo), iš kurio maždaug 75% sudaro kelių transportas [5]. Taigi, su transportu susijusios energijos suvartojimo mažinimas yra vienas iš pagrindinių transporto planuotojų tikslų, siekiant darnesnio judrumo. Be to, augant gyventojų skaičiui, vienas didžiausių miesto transporto iššūkių yra spūstys. Remiantis skaičiavimais, piliečiai kamščiuose praleis tris kartus daugiau nei dabar, o tai 2050 m. per metus sudarys 106 valandas [6]. Miesto transporto spūsčių išlaidos sudaro 557 milijonus JAV dolerių per metus Jungtinių Valstijų (JAV) ekonomikoje ir 13 milijardų svarų sterlingų per metus Jungtinės Karalystės (JK) ekonomikoje [7, 8]. Be to, prognozuojamos spūsčių išlaidos Jungtinėje Karalystėje iki 2030 m. sieks 21 milijardą svarų sterlingų per metus. Socialinės judrumo mieste išlaidos Pekine siekė 7,5–15% miesto BVP, nes tai yra bendras spūsčių, avarių ir taršos poveikis [9].

Tvarų mobilumą galima apibrėžti kaip dabartinių transporto poreikių tenkinimą, neprarandant ateities kartų sugebėjimo tenkinti transporto sistemų, kuriose galima išlaikyti socialinį, aplinkos ir ekonominį, prieinamumą [10]. Tinkamų šių trijų aspektų tikslų lygis rodo darnaus judrumo laipsnį. Miesto vietovės sudaro tie patys komponentai ir tarpusavio ryšiai, kai atskiros

kadravimo sąlygos sudaro skirtingas miesto sistemų charakteristikas [11]. Miestų zonos įgyja skirtingas vartotojo privilegijas ir apibūdina miestus atsižvelgiant į socialinių ir techninių veiksmų skirtumus: kultūrinių, švietimo, pajamų lygio, demografijos pobūdžio, technologinių, žemės naudojimo ir infrastruktūros. Pavyzdžiui, JAV žmonės linkę gyventi nedidelio tankio vienkiemiuose ir važiuoti automobiliu į darbą. Japonijoje, atvirkščiai, dominuoja daugiaaukščiai gyvenamieji pastatai, o darbuotojai važinėja viešuoju transportu (dažniausiai geležinkeliu) [12]. Vietos valdžios institucijos ir miesto transporto planuotojai nori žinoti, ar planuojamos investicijos į transportą atsipirks. Kai kuriems aukščiau paminėtiems svarbiausiems uždaviniams ir pastangoms skatinti tvarų judrumą reikia integruoto ir strateginio planavimo, nes Judumas mieste susideda iš daugialypių veiksmų. Vietos planavimas yra būtinas, kadangi kiekviena miesto zona pasižymi skirtingomis socialinėmis ir techninėmis sąlygomis. Šie klausimai nagrinėjami čia: *Kaip judrumo mieste sistema veikia skirtingose aplinkose ir kaip sistemos variantai yra tarpusavyje susiję? Savo ruožtu, kurios transporto strategijos būtų tvarios ir kokiomis sąlygomis?* Norint atsakyti į šiuos klausimus, yra būtina sistemingai išnagrinėti visus socialinius ir techninius veiksmus. Atliekant daugiamatę analizę, pasitelkiant loginę architektūrą, identifikuojami rodikliai ir jų sąveika [10]. Reikėtų nustatyti šių veiksmų ryšius ir vidinius ryšius, kaip šie veiksniai daro įtaką vartotojams ir transporto našumui ir kuo pasitarnaus visi šie santykiai. Siekiant tai padaryti, būtina atlikti pasaulinę miestų teritorijų analizę ir palyginimą, nes tai yra nepaprastai svarbu norint sudaryti ar iš naujo įvertinti holistinį transporto planavimą. Holistinės socialinės ir techninės judrumo mieste analizė dar nėra pateikiama literatūroje, o vien vietinė analizė negali pateikti holistinio aspekto. Miestų teritorijų panašumų ir skirtumų tyrimas bei naujausių mobilumo mieste strategijų vertinimas visame pasaulyje padeda suprasti, kuri alternatyvi darni sistema gali būti sėkminga ir kokiomis socialinėmis bei techninėmis sąlygomis to yra siekiama. Be to, samprata, kaip formuojami miestai nustatant tinkamus transporto prioritetus, gali padėti pasiekti darnaus judrumo tikslus [13].

Tyrimo tikslas: Tyrimo tikslas yra nustatyti socialinių ir techninių veiksmų vaidmenį didinant judrumo mieste sistemos tvarumą; asociacijų schema bus naudojama siekiant išsiaiškinti, kurios transporto strategijos gali sumažinti miesto transporto sistemos socialines ir ekonomines sąnaudas bei ekologinį aspektą.

Užduotys:

1. Pateikite daugialypės informacijos, kuri turi būti renkama ir apdorojama pasaulinei analizei, nustatant identifikuotas ir trūkstamas

socialinių ir techninių veiksnių sąsajas ir kaip sistemingos literatūros apžvalgoje veikia mobilumo mieste sistema skirtingose aplinkose.

2. Atlikite pasaulinę analizę, norėdami nustatyti koreliacijas ir kiekybiškai įvertinti šiuos ryšius, kalibruodami modelius, pagrįstus socialiniais - techniniais veiksniais ir transporto efektyvumo rodikliais, tokiais kaip kelionių modulių pasiskirstymas, grūstys ir transporto energijos suvartojimas.

3. Padarykite išvadą dėl koreliacijų identifikuotų modelių, veiksnių ir literatūros indėlio sąsajų; sudarykite asociacijos schemą, pagal kurią būtų galima nustatyti, kurios transporto planavimo strategijos būtų tvarios.

Tyrimo objektas ir metodika

Tyrimo objektas yra miesto transportas. Tyrimą sudaro sisteminė literatūros apžvalga ir kiekybinė statistinė analizė. Pagrindinis šio darbo tikslas yra rinkti, apdoroti, koreliuoti ir modeliuoti. Miestų teritorijų analizei ir palyginimui visame pasaulyje reikia didelės ir įvairios daugiamatės duomenų bazės. Atviri duomenys gaunami iš regioninių statistikos tarnybų, vyriausybės šaltinių, savivaldybių ir atliktų tyrimų. „Python“ programinės įrangos paketas „OSMnx“ buvo naudojamas kiekvienai transporto infrastruktūros informacijai išgauti ir konvertuoti norimose miesto vietose, taip pat atlikti kai kuriuos su infrastruktūros projektavimu susijusius skaičiavimus. „Excel“ duomenų bazė buvo sukurta atlikus konkrečių transporto duomenų apdorojimą ir rinkimą. Kai kurių miesto rodiklių apskaičiavimui yra naudojama „Excel“ duomenų bazė. Statistinei duomenų analizei atlikti buvo naudojama programinė įranga: „IBM SPSS Statistics V25.0“.

Mokslinė naujovė ir praktinė vertė

Tai yra pirmoji, sisteminė daugiamatė transporto analizė, naudojant naujausius, tiesiogiai stebimus atviro kodo duomenis iš įvairių pasaulio miestų. Remiantis pasauline analize ir sisteminė literatūros apžvalga, buvo sukurta integruota socialinė-techninė schema su palaikymu. Šios disertacijos rezultatus ir parengtą palaikomąją socialinę-techninę judrumo mieste schemą gali naudoti vietos valdžios institucijos, miesto transporto planuotojai ir politikos formuotojai formuodami būsimas miesto strategijas.

Disertacijos struktūra ir turinys

Disertaciją sudaro įvadas, literatūros apžvalga, metodika, šeši pagrindiniai analizės skyriai, išvados ir literatūros sąrašas.

LITERATŪROS PERŽIŪROS IŠVADOS

Miesto zonos yra inovacijų, žinių, ekonominio vystymosi ir užimtumo variklis, o judrumo mieste sistemos yra gyvybiškai svarbios ekonominiam miestų funkcionavimui ir gyventojų gerovei, kadangi jos suteikia galimybę naudotis darbu, prekėmis ir vykdyti visą socialinę veiklą [14]. Miesto vietovės teikia transporto paslaugas dviem pagrindiniais infrastruktūros tipais: kelių ir geležinkelių sistemomis. Kai kurie miestai, tokie kaip Tokijas, Berlynas ir Honkongas, priėmė judėjimą mieste geležinkeliu, o kiti (ypač JAV miestai) - mobilumą keliais (automobilių ir autobusų sistemos). Danijos, Nyderlandų ir kai kurių kitų ES šalių miestuose dviračių infrastruktūra įsitvirtino nuo 1970 m.

Miestų socialinė ir ekonominė pertvarka paskatino didėjančią miestų plėtrą, kadangi tvarių transporto rūšių plėtra vyko ne tokiu greičiu; savo ruožtu asmeninių automobilių nuosavybės augimas pasiekė aukščiausią tašką [14]. Ši padėtis atsirado dėl didėjančios socialinės nelygybės, socialinių ir ekonominių išlaidų bei poveikio aplinkai. Tvariam mobilumui yra būtini aplinkos (oro taršos ir ŠESD), socialiniai (prieinamumas, teisingumas) ir ekonominiai (išlaidų) aspektai, įtraukti į sprendimus, turinčius įtakos judrumo sistemai [10]. Sociotechniniai veiksniai atpažįsta žmonių sąveiką su techniniais veiksniais sudėtingose sistemose, susietose daugialypėje plotmėje. Miestų zonos įgyja skirtingas vartotojo privilegijas ir apibūdina miestus pagal socialinių ir techninių veiksmų skirtumus: kultūrinius, švietimo, pajamų lygio, demografijos pobūdžio, technologinius, žemės naudojimo ir infrastruktūros. Apžvelgti socialiniai veiksniai, tokie kaip kultūra, išsilavinimas, pajamų lygis ir demografijos pobūdis. Įvertinta jų įtaka transporto vartotojų įpročiams. Kultūra yra aiškinamasis visuomenės kodeksas, kuris gali paaiškinti bendras preferencijas vietoje. Prognozuojant alternatyvias transporto sistemas, kurios galėtų būti pritaikytos mieste, miesto transporto planuotojai ir politikos formuotojai gali tvariau derinti miesto aplinką. Tačiau socialinės vertybių asociacijos ir kultūra, apie kurią mažai kalbama transporto elgsenos analizėje, išryškina literatūros spragą, dėl kurios sunku suprasti transporto ir kultūros ryšį. Šiuo metu nerasta nė vieno tyrimo, kuris holistiniu būdu analizuotų kultūros vaidmenį miesto transporto modeliuose. Kultūra yra paveldima visuomenės savybė ir vartotojo privilegijų pagrindas. Kai kurias politikos ir miesto transporto strategijas galima sudaryti atsakius į šį klausimą: *kokias alternatyvias transporto sistemas galima išlaikyti esant tokioms kultūrinėms sąlygoms?* Sekančiame skyriuje kultūra bus analizuojama visame pasaulyje ir bus modeliuojama kultūros įtaka transportui. Išsilavinimo lygis gali būti vadinamas įgytu visuomenės bruožu. Asmeniniai pasirinkimai keičiami ugdant piliečius visuomenėse. Švietimas yra lemiamas veiksnys, galintis dinamiškai formuoti visuomenės kolektyviniu būdu, o aukštasis išsilavinimas yra svarbus

pakaitalas vertinant visuomenės supratimo lygį, atsižvelgiant į dabartines problemas. Tuo tarpu literatūroje taip pat trūksta holistinio švietimo ir transporto analizės. *Švietimo ir transporto modelių susiejimas gali įtakoti būsimą miesto politiką ir strategijas*. Sekančiame skyriuje bus analizuojamas švietimo lygio poveikis pasirenkant keliavimo būdą bei siekiant pabrėžti švietimo svarbą. Pajamų lygis yra svarbus veiksnys, kuris yra vertinamas daugelyje darbo vietų. Literatūra parodė, kad didesnes pajamas gaunančios visuomenės linkusios turėti automobilį ir daugiau vairuoti. Pajamų lygis bus naudojamas sekančiame skyriuje atliekant skirtingas analizes kaip variantą, siekiant suprasti ekonominio lygio įtaką vartotojo elgesiui ir tai, koku mastu jis įtakoja infrastruktūros plėtrą globaliu lygmeniu. Demografijos pobūdis apibūdina sudėtingą struktūrą: lyties, amžiaus, namų ūkio sudėties, šeimyninės būklės ir kitų kintamųjų pasiskirstymą visuomenėse. Literatūra parodė, kad vartotojų fizinės būklės, būsto ir laiko vertės skirtumai, taip pat kai kurie įsipareigojimai dėl atsakomybės keičia žmonių įpročius. Tokie veiksniai kaip senėjimas, santuoka, vaiko auginimas, skatina vartotojus dažniau naudotis automobiliu. Prieš rengiant naujas strategijas, svarbus yra demografijos pasiskirstymas.

Techniniai veiksniai, tokie kaip infrastruktūra, žemės naudojimas, tinklo projektavimas, technologijos ir politika, buvo apžvelgti aukščiau. Jų įtaka vartotojo profiliui ir transporto našumui bei šių veiksmų sąveikai buvo įrodyta visame pasaulyje. Technologija ir politika yra sistemos optimizavimo priemonės, užtikrinančios judrumą mieste. Infrastruktūra ir žemės naudojimas yra du pagrindiniai vienas su kitu susiję techniniai veiksniai. Iš literatūros matyti, kad miestai, kuriuose yra didelis gyventojų tankis, suteikia didelę prieigą prie viešojo transporto tranzito ir aktyvių transporto rūšių, tuo tarpu žmonės vairuoja daug mažiau nei kituose regionuose; o šių miestų viešojo transporto režimo dalis yra didesnė. Naudojant viešojo transporto ir nemotorizuotas sistemas, gali padaugėti veiklos rūšių ir artumo miestuose, sumažinant žemės atskyrimą; be to, tai sumažina su transportu susijusios energijos sąnaudas ir kaštus. Daugelyje darbo vietų yra pabrėžiamas transporto infrastruktūros plėtros ir gyventojų skaičiaus augimo, teritorinės plėtros ir žemės naudojimo pokyčių santykis. Glaudus transporto ir miesto plėtros ryšys buvo aptariamas ankstesniuose darbuose. Be to, ryšys tarp infrastruktūros, žemės naudojimo ir keliavimo būdo pasirinkimo yra įrodytas daugelyje aukščiau paminėtų tyrimų empiriniu aspektu. Iš literatūros aiškiai matyti, kad miestai, augantys su miesto geležinkelių sistema ir atnaujinant miesto struktūrą, tuo pačiu padidino ekonomikos augimą ir sumažino priklausomybę nuo automobilių [15]. Be to, miestuose, turinčiuose dideles ir nusistovėjusias geležinkelių sistemas, yra žymiai didesnis tranzito keliavimo viename gyventojui skaičius, mažesnė vidutinė transporto priemonių nuosavybės dalis viename gyventojui ir metinė rida, mažesnė transporto spūstis, mažesnis eismo

įvykių procentas, mažesnės vartotojų išlaidos transportui ir didesnės tranzito paslaugų sąnaudų susigrąžinimas nei kituose palyginamuose miestuose, teikiančiuose mažiau arba visai neteikiančiuose geležinkelio tranzito paslaugų [16]. Dėl šių padarinių toliau didėja transporto infrastruktūros paklausa, kuri dažnai vadinama „sukeltąja paklausa“ [17]. Dėl transporto spūsčių ir automobilių pertekliaus lėtėja nuo autobusų priklausančios viešojo transporto sistemos, o miesto viešojo transporto efektyvumas mažėja ir sukelia dažnus eismo įvykius, keliančius grėsmę žmonių saugai ir sveikatai [18]. Todėl tokios esamos nuo autobusų priklausančios kelių sistemos negalėjo patenkinti nei augančio gyventojų kelionių poreikio, nei miesto ekonominės plėtros poreikio. Pasitelkiant geležinkelio transportą yra pateikiami geriausi rezultatai keičiant transporto rūšis ir vairuojant. Tačiau BRT infrastruktūra atrodo konkurencingesnė nei geležinkelių transporto rūšys, pasižyminčios mažesnėmis infrastruktūros sąnaudomis ir mažesnio nei 1600 keleivių per valandą ekonominio naudingumo pranašumais. Be to, BRT infrastruktūra leidžia sutaupyti daug daugiau laiko nei geležinkelių transportas, tačiau literatūroje nėra pakankamai įrodymų, kad ši sistema palengvina miesto eismą. Visų pirma, pasitelkiant literatūrą buvo įrodyta, kad naudojant bėgių sistemas, geležinkelio transportas dažniausiai yra perpildomas. BRT infrastruktūrą paprastai taiko Pietų Amerikos miestai, kuriuose, palyginti su ES ir JAV, ekonominės sąlygos yra prastesnės. Važiavimas dviračiu yra aukščiau paminėtas kaip alternatyva trumpoms kelionėms automobiliu, pasižymintis nauda fizinei ir psichinei sveikatai, eismo mažinimui, triukšmo ir išmetamųjų teršalų mažinimui bei prieinamomis kainomis. Gerai sukurta alternatyvios mobilumo sistemos taupo kelionės laiką; modalinis perėjimas nuo automobilio prie kitų transporto priemonių savo ruožtu palengvina kelių spūstis; taigi tai daro teigiamą poveikį ekonominiam efektyvumui ir aplinkos kokybei miestuose. Be to, didėjant automobilių mobilumui alternatyvių transporto galimybių galimybėms miesto lygyje yra skatinamas socialinis teisingumas.

Vienas iš šios analizės tikslų yra geriau atskleisti ryšius tarp transporto ir socialinių bei ekonominių rodiklių ir transporto veiklos rodiklių. Manoma, kad naudojami duomenys gali būti palyginami visuose atrinktuose miestuose, kad būtų galima absoliučiai įvertinti transporto efektyvumo rodiklį. Palyginti su ankstesniais tyrimais, lyginamų miestų skaičius yra didesnis ir tikslesnis. *I tvirtą transporto politiką atsižvelgiama atsakant į šį klausimą: kokiomis sąlygomis reikia naudoti daugiau geležinkelių ir dviračių infrastruktūros, taip sumažinant spūsčių lygį?* Taip pat literatūroje trūksta daugiamatės analizės, jungiančios žemės naudojimą ir infrastruktūrą. Literatūroje yra tik du empiriniai įrodymai [19, 20], kurie parodo ypatingą ryšį tarp transporto energijos suvartojimo ir gyventojų tankio. Cituojami darbai buvo *ankstyvieji leidiniai ir buvo svarstomos tik skirtingos perspektyvos*, leidžiančios šiek tiek kritikuoti. *Reikia atnaujinti miestų transporto energijos suvartojimą ir*

suprasti, kaip tai yra susiję ne tik su gyventojų tankumu, bet ir su transporto infrastruktūra. Pagrindinis analizės tikslas bus nustatyti kiekybinį ryšį tarp gyventojų tankio, transporto infrastruktūros ir transporto energijos suvartojimo. Sekančiame skyriuje spraga yra užpildyta jungiančiąja infrastruktūra ir žemės naudojimu, siekiant giliai ištirti jų vidinius ryšius ir kaip šie veiksniai daro įtaką vartotojams ir transporto našumui.

Transporto sistemos yra sudėtingos; taigi, transportavimo tinklo funkcinės savybės gali paveikti vartotojo įpročius, o tai savo ruožtu keičia tinklo funkcionavimą. Siekiant patobulinti transporto tinklo dizainą ir pagerinti transportavimo efektyvumą, svarbu suprasti transporto tinklų topologiją. Pasitelkiant literatūrą, buvo matyti, kad tinklo dizainas daro įtaką vartotojo nuostatoms, kadangi pirmenybė yra teikiama mažesnio masto transporto tinklams. Be to, padidėjęs kelių tinklo jungiamumas gali palengvinti transporto spūstis. Tačiau *alternatyvių transporto tinklų (geležinkelio ir dviračių takų) poveikio* nepaisymas yra viena iš kliūčių, tinklų analizės būdu sukuriant bendruosius modelius [21]. Be to, dėmesys vien *vietinėms analizėms* (tos pačios šalies miestuose) nepareidytų bendro tinklo projekto poveikio. Sekančiame skyriuje bus analizuojama *skirtingų sluoksnių (kelių, geležinkelių ir dviračių takų) tinklo konfigūracijos įtaka* kelių spūstims, visame pasaulyje sujungiant infrastruktūros prieinamumą ir tinklo konfigūraciją.

Metodika

Miestų teritorijų analizė ir palyginimas visame pasaulyje yra nepaprastai svarbus dalykas, norint sudaryti ar iš naujo įvertinti palaikomąją ir integruotą socialinę-techninę schemą. Tai yra pirmoji, sisteminė daugiamatė transporto analizė, naudojant naujausius, tiesiogiai stebimus atviro kodo duomenis iš įvairių pasaulio miestų. Sekančiame skyriuje analizuojama apie 200 miestų, kurie yra paskirstyti daugiau nei 55 šalyse, naudojant šiame skyriuje pateiktą duomenų bazę. Kitame skyriuje yra analizuojama kultūros dimensijų įtaka tiriamų miestų kelionių į miestus modeliams. Šiame skyriuje bandoma ištirti Hofstede'o kultūros dimensijų (HCD) įtaką miesto kelionių modeliams 87 miesto teritorijose ir 41 šalyje. Atskleistas ryšys tarp HCD ir kai kurių miesto kelionių modelių, tokių kaip pasirinkimo būdas (individualus transportas ir viešasis transportas), automobilių nuosavybė ir infrastruktūros prieinamumas (kelių infrastruktūra vienam gyventojui). Be to, tikrinamas ryšys tarp kultūros ir kai kurių demografinių rodiklių (gyventojų tankio ir BVP vienam gyventojui), glaudžiai susijusių su kelionių pasirinkimu. Antrame skyriuje analizuojama aukštojo mokslo lygio įtaka kelionių mieste pasirinkimo būdais tiriamuose miestuose. Skyriaus analizės tikslas - įvertinti aukštojo mokslo įtaką miesto kelionių režimo pasirinkimui 45 miestuose iš 29 šalių. Parodytas ryšys tarp pasirinkto aukštojo mokslo lygio ir kelionių miestais būdo. Aukštojo

išsilavinimo lygis taip pat kontroliuojamas atsižvelgiant į gyventojų tankį ir BVP vienam gyventojui, kurie daro didelę įtaką elgsenai kelionėse. Trečiajame skyriuje pateikiama daugiamatė miestų socialinių, ekonominių, žemės naudojimo, transporto infrastruktūros ir transporto veiklos rezultatų analizė. Šiame skyriuje bandoma nustatyti svarbius transporto ir socialinius bei ekonominius rodiklius iš 151 miesto teritorijos ir 51 šalies, remiantis palyginamais, tiesiogiai stebimais atviro kodo duomenimis, tokiais kaip Openstreet Map (OSM) ir „TomTom“ duomenų bazė. Kelio kilometrų rodiklis vienam asmeniui, kartais vadinamas infrastruktūros prieinamumu, apskaičiuojamas apdorojant OSM duomenis. Informacija apie grūsčių lygius paimta iš „TomTom“ duomenų bazės, o socialiniai ir ekonominiai duomenys - iš įvairių viešai prieinamų duomenų bazių. Ryšiai tarp rodiklių nustatomi koreliacijomis ir sukalibruoti regresijos modeliai, išreiškiantys santykį tarp transporto infrastruktūros ir veiklos rodiklių. Trys skirtingų kategorijų miestų pogrupiai (maži miestai, dideli miestai ir didmiesčiai) yra apibrėžti ir tiriama atskirai. Be to, atliekama kokybinė analizė, susiejant penkis skirtingus rodiklius. Ketvirtame skyriuje pateikiama daugiamatė analizė, susijusi su miestų transporto infrastruktūra, infrastruktūros projektavimu ir transporto veiksmingumu. Šiame skyriuje bandoma nustatyti svarbius tinklo rodiklius, tokius kaip sujungiamumas, centralizavimas ir grupavimo priemonės skirtingiems tinklo tipams (keliams, geležinkeliui ir dviračiams) iš 86 miesto teritorijų ir 32 šalių, remiantis palyginamais, tiesiogiai stebimais atviro kodo duomenimis, tokiais kaip Openstreet Map (OSM) ir „TomTom“ duomenų bazė. Ryšiai tarp rodiklių nustatomi koreliacijomis ir sukalibruoti regresijos modeliai, kiekybiškai įvertinant infrastruktūros prieinamumo ir tinklo rodiklių ryšį su vėlavimo laikais. Rodiklis; vidutinis kelių jungiamumas per vidutinį kelių apskritimą (RCRC) anksčiau nebuvo nagrinėtas literatūroje, kuri yra pateikiama šioje dalyje. Galiausiai penktajame skyriuje įvertinama ir analizuojama transporto energijos vienam gyventojui per metus ir su transportu susijusių išmetamųjų CO² dujų kiekis vienam asmeniui per metus, naudojant didelę ir įvairių imčių rinkinį, pagrįstą palyginamų, tiesiogiai stebimų 57 miesto atvirų šaltinių duomenimis, paskirstytais 33 šalyse. Pagrindinis šio skyriaus tikslas yra nustatyti kiekybinį ryšį tarp žemės naudojimo, transporto infrastruktūros ir transporto energijos suvartojimo.

Pagrindinis šio darbo tikslas yra surinkti, apdoroti, koreliuoti ir modeliuoti viešai prieinamus ir palyginamus duomenis iš daugelio pasaulio miestų, atliekant skirtingas analizes. Šiame skyriuje paaiškinami visos reikalingos informacijos šaltiniai, rinkimo būdas ir pirminio apdorojimo etapai. Miestų teritorijų analizei ir palyginimui visame pasaulyje reikia didelės ir įvairios daugiamatės duomenų bazės. Šis tyrimas apima dvejus metus trukusio darbo su konkrečių transporto duomenų apdorojimu ir rinkimu iš atvirų duomenų šaltinių. Atviri duomenys gaunami iš regioninių statistikos

tarnybų, vyriausybės šaltinių, savivaldybių ir atliktų tyrimų. Apytiksliai 200 miestų, kurie pasiskirsto 55 šalyse, nagrinėjami skirtingai analizuojant 4 skyrių su šiaame skyriuje pateikta duomenų baze. Dabartinei pasaulio transporto analizei reikalinga gyventojų socialinė informacija, darbingi gyventojai, metinis augimo tempas (gyventojų skaičiaus padidėjimas %), pajamų lygis (BVP vienam gyventojui), nuosavybės teisės į automobilį (automobilis 1000 gyventojų), aukštojo išsilavinimo lygis (proc. po vidurinio išsilavinimo), ir kultūros matmenys (POD, UNC, IND / COL, MAS / FEM, LTO). Analizei atlikti taip pat reikalinga techninė informacija apie gyventojų tankį (erdvinį plotą kv. km), žemės plotą (kv. km), kiekvienos infrastruktūros prieinamumą (infrastruktūros ilgį vienam gyventojui), kiekvienos infrastruktūros projektinius parametrus (tinklo cirkuliacija, tinklo jungiamumas, tinklo centriškumas, tinklo klasterio koeficientas). Vartotojo pageidavimai vertinami atsižvelgiant į surinktą transporto rūšies naudojimą (procentinė dalis). Taip pat siekiant įvertinti transporto efektyvumą, analizės tikslais naudojami konkretūs duomenys: transporto rūšies naudojimas (procentinė dalis), spūsčių lygis (papildomas kelionės laikas per dieną atsižvelgiant į laisvai plūduriuojančio eismo scenarijų), nuvažiuotų priemiesčių atstumai pagal rūšis (km), bei specifinės energijos sąnaudos skirtingoms transporto rūšims. Dabartinis metinis transporto energijos suvartojimas apskaičiuojamas atsižvelgiant į gyventojų, dirbančių gyventojų ir sausumos ploto, nuvažiuotų priemiesčių atstumus, važiavimo būdo dalį ir specifinės įvairių transporto rūšių energijos sąnaudas 4.5. skyriuje.

„Python“ programinės įrangos paketas „OSMnx“ buvo naudojamas kiekvienai transporto infrastruktūros informacijai išgauti ir konvertuoti norimose miesto vietose, taip pat atlikti kai kuriuos su infrastruktūros projektavimu susijusius skaičiavimus. „Python“ yra aukšto lygio daugiafunkcinė programavimo kalba su dinamiška semantika. „Python“ yra į objektą orientuota programavimo kalba, apimanti aukšto lygio duomenų struktūras, turinčias dinamines spausdinimo ir įrišimo ypatybes. „Python“ turi daug modulių ir paketų, kuriuos galima apibrėžti kaip kodų biblioteką, kurioje yra funkcijos, klasės ir kintamieji norimuose laukuose. Pagrindinė idėja yra panaudoti OSMnx, kuris yra „Python“ modulis, kad būtų sukurta transportavimo schema. Pagrindinės „OSMnx“ funkcijos yra tinklo gavyba / išvalymas / supaprastinimas ir mazgų grupavimas, OSM ištrauka ir konvertavimas į JSON, mazgo aukščio nustatymas naudojant „Google API“. OSMNx paketas konvertuoja OSM duomenis į „networkx DiGraph“ objektą, o „Networkx“ keitiklis sukuria neapdorotą tinklą iš „networkx DiGraph“. Ši schema parodo transporto tinklą su kraštais, mazgais ir kai kuriais atributais. OSMNx taip pat sukuria JSON failą, kuriame yra visi konvertuotų sričių būdų ir mazgų OSM atributai.

„Excel“ duomenų bazė buvo sukurta atlikus konkrečių gabenimo duomenų gręžimą, apdorojimą ir rinkimą. Kai kurių miesto rodiklių apskaičiavimui naudojama „Excel“ duomenų bazė. Programinė įranga: „IBM SPSS Statistics V25.0“ buvo naudojama statistinių duomenų analizei apdoroti, siekiant išanalizuoti ir modeliuoti ryšius pagal įvairius veiksnius. Kadangi duomenų bazė yra originali ir skaitmeninė, rodanti normalų pasiskirstymą, koreliacijos analizei pasirinkta Pearson'o koreliacija, o buvo atsižvelgta į 95% pasiklovimo lygį, esant 0,2 koreliacijai. Siekiant geriau suvokti asociacijas, buvo naudojami kai kurie statistiniai metodai ir bandyta modeliuoti regresiją. Analizės skyriuje naudojami statistiniai metodai pateikiami matematinėje žodynėlio dalyje po nuorodomis.

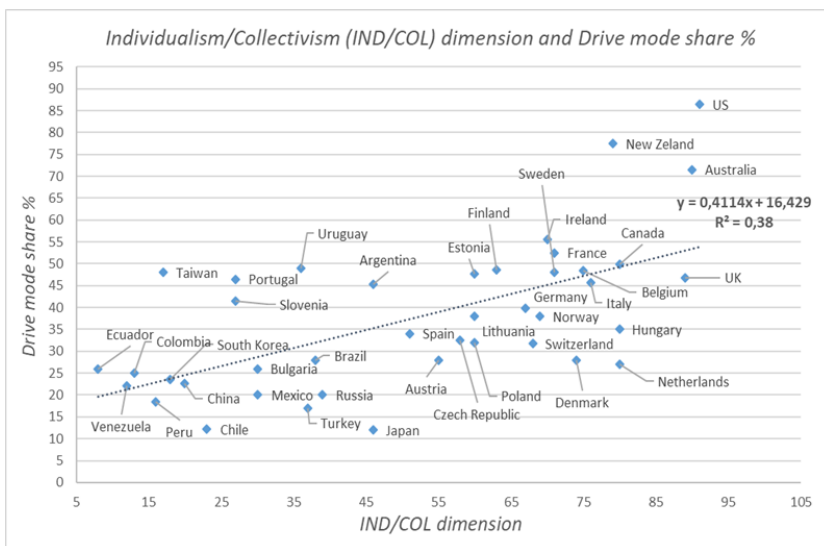
SOCIALINIAI IR TECHNINIAI VEIKSNIAI, SKATINANTYS MIESTO TRANSPORTO TVARUMĄ: PASAULINĖ ANALIZĖ

Kultūros dimensijų analizė ir rezultatai, keliaujant mieste

Šiame skyriuje aprašoma kelionių į kultūrinius miestus kultūros aspektų analizė. Pirmiausia patikrinama kultūros dimensijų ir mobilumo rodiklių koreliacija su surinktais duomenimis. Vėliau kelionių modeliai modeliuojami remiantis kultūros rodikliais.

Kadangi IND / COL matmenys ir individualistiniai transporto rodikliai yra gerai koreliuojami, kai kurie statistiniai modeliai buvo kalibruoti su visu pavyzdžių rinkiniu. Visų pavyzdžių derinimas tarp važiavimo režimo ir IND / COL matmenų geriausiai pasiekiamas naudojant formos tiesinę funkciją:

$$\text{Drive mode share \%} = c + d \text{ IND} \quad (1)$$



1 pav. Važiavimo režimo dalis individualizmo / kolektyvizmo (IND / COL) aspektu.

Visų pavyzdžių tinkamumas tarp automobilio nuosavybės ir IND / COL bei tarp RIA ir IND / COL pasiekiamas naudojant eksponentinę formos funkciją:

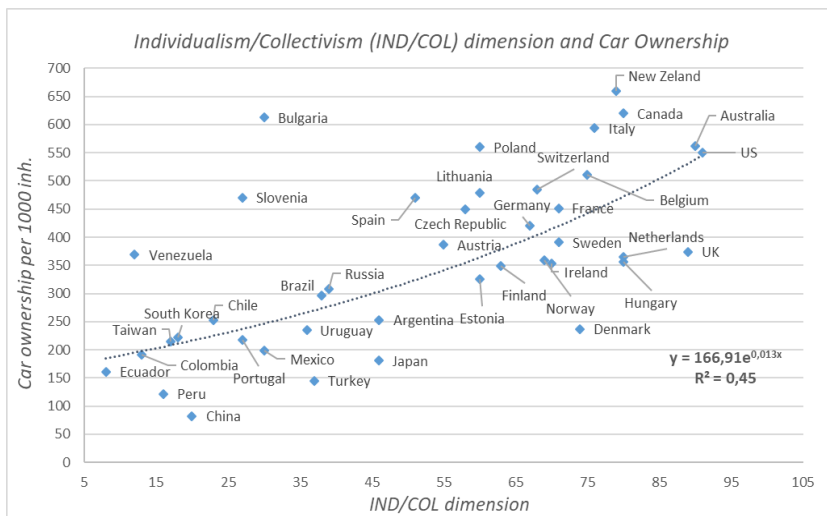
$$RIA = a \exp(b \text{ IND}) \quad (2)$$

$$\text{Car ownership} = a \exp(b \text{ IND}) \quad (3)$$

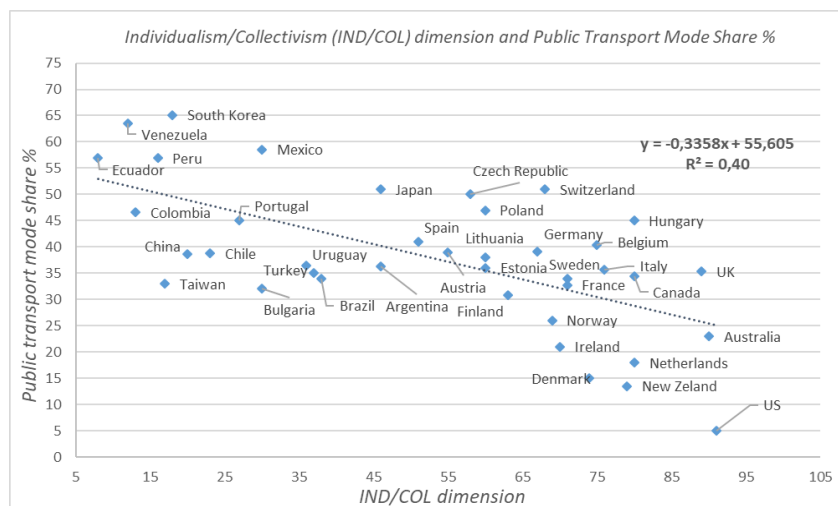
Tačiau montavimo klaidos tiesiniame modelyje yra tik šiek tiek didesnės. Taip pat neigiamai gerai koreliuojama IND / COL dimensija ir viešojo transporto dalis, taip pat viešojo transporto dalis yra labai koreliuojama su neapibrėžtumo dimensija ir vidutiniškai koreliuojama su vyriškumu, kuris skiriasi nuo individualių kelionių įpročių. Visų pavyzdžių derinimas tarp važiavimo režimo ir IND / COL matmenų geriausiai pasiekiamas naudojant formos tiesinę funkciją:

$$\text{Public transport mode share \%} = c + d \text{ IND} \quad (4)$$

Šie modeliai nubraižyti kartu su duomenų taškais Pav. 1–3, kur regresinės analizės rodo gerą atitikimą.



2 pav. Automobilių nuosavybė individualizmo / kolektyvizmo (IND / COL) aspektu.



3 pav. Viešojo transporto būdo dalis individualizmo / kolektyvizmo (IND / COL) aspektu.

Siekiant paaiškinti geresnį viešojo transporto pasirinkimą visuomenėje, sudarytas tolesnis modelis su visu pavyzdžių rinkiniu, apimantis

individualizumą, netikrumą ir vyriškumą, kurie daro didelę įtaką viešojo transporto naudojimui:

$$\text{Public transport mode share \%} = c + d \text{ IND} + e \text{ MAS} + f \text{ UNC} \quad (5)$$

Koeficientai d , e ir f apibūdina poveikį viešojo transporto naudojimui dėl padidėjusių / sumažėjusių nepriklausomų kintamųjų. Toliau, 1 lentelėje yra pavaizduotas kiekybinis vertinimas kaip tiesinės regresijos modelių t-testų rezultatai.

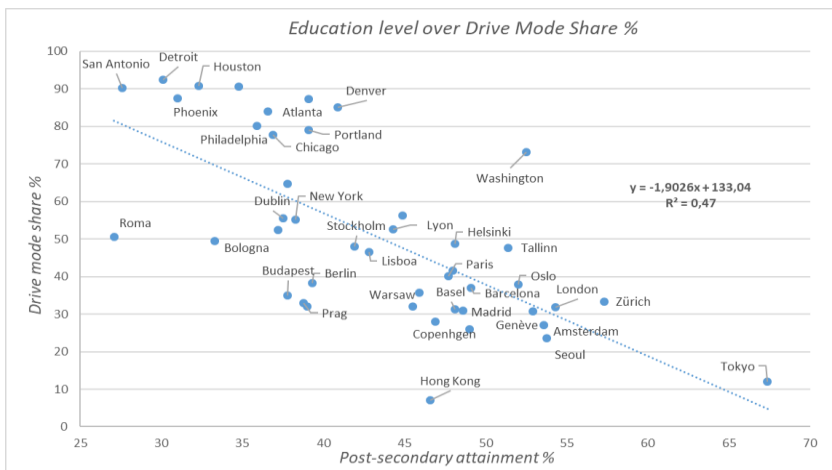
Kaip matyti iš rezultatų, IND / COL dimensija daro didelę įtaką miesto kelionių modeliams, kurie turi didelę reikšmę. Didžiausia individualizmo įtaka pastebima automobilių nuosavybėje. Bendruomenės, pasižyminčios dideliu individualizmu, formuoja kelionių aplinką individualiam transportavimui, o šias sritis savo ruožtu plėtoja individualistiniai kelionių poreikiai. Individualizmo sumažėjimas reiškia kolektyvizmo padidėjimą visuomenėje. Taip pat padidėjęs kolektyvizmas lemia didesnę viešojo transporto naudojimą. 1 lentelėje parodyti daugialypės tiesinės regresijos modelio rezultatai prognozuojant viešojo transporto rūšių R^2 dalį. yra didesnis nei tiesinis funkcijos modelis Eq. (4) ir visi koeficientai yra reikšmingi. Tiesinės funkcijos modelio standartizuotas regresijos likutis parodo, kad daugialypės regresijos liekanos yra normalios. Modelio rezultatai rodo, kad tautoms padidėjus medžių kultūros dimensijoms: kolektyvizmui, neapibrėžtumui ir vyriškumui, daugiau naudojamas viešuoju transportu. Vyriškumo ir neapibrėžtumo dimensijos daro panašų poveikį viešojo transporto naudojimui, tačiau mažesnis nei individualizmo padidėjimas sumažina viešojo transporto naudojimą.

1 lentelė Tiesinės funkcijos modelio Eq rezultatai. (5). $R^2 = 0,55$, mėginio dydis $N = 35$.

	Coef	Std Err	Beta	T	P> t >
C	32.018	8.155		3.926	0.000
D	-0.267	0,067	-0,504	-3,979	0,000
E	0,154	0,072	0,249	2.147	0.039
F	0,180	0,084	0,279	2.152	0,038

Aukštojo mokslo įtakos pasirinkimo keliavimo būdams analizė ir rezultatai

Šiame skyriuje aprašoma aukštojo mokslo lygio įtakos kelionių mieste pasirinkimo būdams analizė tiriamuose miestuose. Pirmiausia buvo patikrintos aukštojo mokslo lygio ir pasirinkimo būdo sąsajos su surinktais duomenimis. Vėliau modelio pasirinkimas buvo modeliuojamas atsižvelgiant į aukštojo mokslo lygį, kontroliuojant gyventojų tankį ir BVP vienam gyventojui.



4 pav. Bendras vairavimo režimo išsilavinimo lygis.

4 paveiksle pavaizduota išsklaidyta diagrama su miesto etiketėmis, kuriose pateikiama vairavimo būdo dalis aukštojo mokslo lygyje. Taip pat 4 paveiksle pavaizduotas linijinis modelis, nes linijinė linija parodė geriausią atitiktį R^2 . Panašus tiesinis ryšys pastebimas tarp viešojo transporto rūšių dalies su šiek tiek mažesne R^2 . Po tvirtų koreliacijos verčių, toliau siūlomas du kalibruotas daugialypės regresijos modelis, apibūdinantis santykį tarp skirtingų modelių, išsilavinimo lygio (EDU), gyventojų tankio (PD) ir BVP vienam gyventojui.

$$\text{Drive mode share \%} = c + d \text{ EDU} + e \text{ PD} + f \text{ GDP} \quad (6)$$

$$\text{PublicTransportmodeshare \%} = c + d \text{ EDU} + e \text{ PD} + f \text{ GDP} \quad (7)$$

2 lentelė Tiesinės funkcijos modelio Eq rezultatai. (6). $R^2 = 0,62$, mėginio dydis $N = 44$.

	Coef	Std Err	Beta	T	P> t
C	99,600	15,344		6,491	0,000
D	-1,372	0,313	-0,493	-4,382	0,000
E	-0,003	0,001	-0,315	-2,734	0,009
F	0,000	0,000	0,232	2,347	0,024

Koeficientai d , e ir f kiekybiškai apibūdina režimų dalies sumažėjimą dėl padidėjusių / sumažėjusių nepriklausomų kintamųjų 2 ir 3 lentelėse. Kadangi vienetai yra skirtingi, vertindami atsižvelgiame į standartizuotus Beta koeficientus. Tiesinės funkcijos modelio Eq rezultatai. (6) rodo, kad

išsilavinimo lygio padidėjimas daro didžiausią įtaką sumažėjusiai vairavimo režimo daliai miestuose, o padidėjęs gyventojų tankis sumažina vairavimo režimo dalį, o ne tuo gali pasigirti padidėjęs BVP vienam gyventojui R^2 yra didesnis nei 4 paveiksle pateiktas tiesinis modelis, o koeficientai yra reikšmingi. Be to, įvertinus viešojo transporto rūšių dalį, duomenys buvo panašūs, tačiau statistinis reikšmingumas yra mažesnis.

4 lentelė Tiesinės funkcijos modelio Eq rezultatai. (7). $R^2 = 0,52$, mėginio dydis $N = 43$.

	Coef	Std Err	Beta	T	P> t
C	3,700	13,368		-0,277	0,783
D	0,919	0,278	0,430	3,308	0,002
E	0,002	0,001	0,312	2,327	0,025
F	0,000	0,000	-0,201	-1,762	0,086

151 miesto teritorijos transporto rodiklių analizė ir rezultatai

Šiame skyriuje atliekama skirtinga analizė ir jų rezultatai aptariami žemiau. Ryšiai tarp rodiklių nustatomi koreliacijomis ir sukalibruoti regresijos modeliai, išreiškiantys santykį tarp transporto infrastruktūros ir veiklos rodiklių. Trys skirtingų kategorijų miestų pogrupiai (maži miestai, dideli miestai ir didmiesčiai) yra apibrėžti ir tiriami atskirai. Be to, atliekama kokybinė analizė, susiejant penkis skirtingus rodiklius. Kad miestų palyginimas būtų labiau palyginamas, miestai yra suskirstyti į tris pogrupius: miestai, kuriuose gyventojų skaičius mažesnis nei 800 000, yra apibrėžiami kaip „maži miestai“ (51 miestas), miestai, kuriuose gyvena nuo 800 000 iki 3 milijonų gyventojų, yra nubausti „subrendę miestai“ (56 miestai) ir miestai, kuriuose gyvena daugiau kaip 3 milijonai gyventojų, kaip apibrėžta „metropolijoje“ (44 miestai). Atminkite, kad mažų miestų rodiklių koreliacijos dažnai yra žemos, tikriausiai dėl jų nevienalyčių dydžių, žemės naudojimo ir transporto tinklų.

Aiškiai teigiama koreliacija tarp erdvinės miesto teritorijos ir didėjimo rodiklių didmiesčiuose, brandaus amžiaus miestuose ir visuose miestuose yra nereikšminga, nes naujų gyventojų skaičius yra proporcingas gyventojų skaičiui. Taip pat faktas, kad spūsių lygis (ADETT) didėja padidėjus gyventojų tankiui, nestebina ir patvirtina, kad miestai stengiasi išlaikyti transporto infrastruktūrą, atsižvelgiant į didėjančią eismo intensyvumą (keliones vienam kv. km). Įdomus yra neigiamas santykis tarp gyventojų tankio ir BVP, tenkančio vienam gyventojui, rodo, kad ekonomiškai silpnesni miestai patiria daugiau spūsių - tai ypač pasakytina apie metropolijas. Ryšys tarp BVP vienam gyventojui ir kelių infrastruktūros prieinamumo (IA) yra stiprus

metropolijose, o šiek tiek silpnėsnis subrendusiuose miestuose. Santykis tarp BVP vienam gyventojui ir geležinkelio IA bei tarp BVP vienam gyventojui ir ciklo IA nėra toks ryškus.

Tvirtas ryšys tarp IA kelio ir ADETT aiškiai matomas visų dydžių miestuose. Metropolijose geležinkelių infrastruktūros padidėjimas rodo panašų grūstį mažinantį poveikį nei kelių infrastruktūros padidėjimas, o mažuose miestuose geležinkelio infrastruktūra yra mažiau susijusi su spūstimis. Viena iš hipotezių galėtų būti ta, kad mažesni miestai yra mažiau perpildyti ir mažesnis slėgis pereiti nuo automobilio prie geležinkelio. Derinant ryšius tarp kelių / geležinkelių IA, spūščių ir BVP vienam gyventojui, galima būtų kelti hipotezę, kad ekonomiškai stiprios metropolijos gali sau leisti išplėsti kelių, geležinkelių ir dviračių infrastruktūrą ir labiau sėkmingai mažina spūstis.

Kadangi IA ir ADETT paprastai yra gerai koreliuojami, kai kurie statistiniai modeliai buvo kalibruojami atsižvelgiant į visą miestų rinkinį, taip pat į konkrečius pogrupius. Visų miestų kelių infrastruktūros prieinamumas RIA ir ADETT geriausiai suderinamas su eksponentine formos funkcija:

$$ADETT = a \exp(b \text{ RIA}) \quad (8)$$

Tačiau montavimo klaidos tiesiniame modelyje yra tik šiek tiek didesnės. Žvelgiant į šio kalibravimo rezultatus, nepaisant aukšto triukšmo lygio duomenyse, koeficientas b yra neigiamas, o tai reiškia, kad spūstys mažėja didėjant kelio IA. Šis modelis buvo pritaikytas trims miesto pogrupiams ir nubraižytas kartu su duomenų taškais Fig. 5, 6, 7.

Kuriamas kitas modelis, apimantis ir kelių infrastruktūros prieinamumą RIA, ir traukinių infrastruktūros prieinamumą TIA:

$$ADETT = c + d \text{ RIA} + e \text{ TIA} \quad (9)$$

Kadangi RIA ir TIA turi tą patį vienetą, koeficientai d ir e rodo transporto spūščių sumažėjimą atitinkamai padidėjus / sumažėjus kelių arba traukinių infrastruktūrai. Įdomus klausimas yra tai, kaip koeficientai d ir e yra naudojamas miestuose, kuriuose yra didelis ir mažas gyventojų tankis. 4 lentelėje pateikiami d ir e koeficientų kalibravimo rezultatai miestuose, kuriuose didelis gyventojų tankis (daugiau kaip 1500 kvadratiname km), o 5 lentelėje - tas pats kalibravimas miestuose, kuriuose mažas gyventojų tankis (mažesnis kaip 1500 kvadratiname km). Gyventojų tankio pasiskirstymas esant 1500 kv. Km yra pasirinktas savavališkai. Pagrindinė idėja buvo išskirti ekstremalius į kosmosą orientuotus JAV ir Australijos miestus. Tačiau

padalijimą esant 1500 kv. Km galima pagrįstai pakeisti nekeičiant pagrindinio rezultatų pranešimo, kaip aprašyta toliau.

Didelio tankio rezultatai iš 4 lentelės rodo, kad e yra žymiai daugiau neigiamų nei d (keturis kartus daugiau neigiamų) ir kad abu koeficientai yra reikšmingi. Šis rezultatas reiškia, kad padidėjus traukinio infrastruktūrai vienam asmeniui sumažėja daugiau spūsčių nei padidėja kelių infrastruktūra vienam asmeniui. Viena iš priežasčių, kodėl geležinkelio linijos veiksmingiau kovoja su grūtimis, tikriausiai yra dėl to, kad geležinkelių infrastruktūra pirmiausia buvo įgyvendinta labiausiai perpildytuose miesto koridoriuose. Todėl modelio rezultatas nereiškia, kad išplėtus geležinkelių tinklą už pagrindinių transporto koridorių ir toliau sumažės transporto spūstys.

5 lentelėje parodyta mažo tankio miestų padėtis nėra tokia aiški: e yra tik šiek tiek daugiau neigiama nei d , o e statistškai nėra reikšminga (aukšta P vertė). Tai reiškia, kad mažo tankio miestų geležinkelio tiesimas atrodo mažiau efektyvus mažinant spūstis miestuose, kuriuose yra didelio tankio miestai.

4 lentelė Linijinio funkcijos modelio Eq kalibravimo rezultatai. (9) miestams, kuriuose gyventojų tankis didesnis kaip 1500 kvadratiniam km. $R^2 = 0,27$, mėginio dydis $N = 88$.

Kalibravimo rezultatai	Coef	Std Err	t	P> t	[95,0% konf. Int.	
C	45.3582	2.122	21.375	0,000	41.139	49.577
D	-0,2386	0,083	-2,880	0,005	-0,403	-0,074
E	-0,9706	0,246	-3.950	0,000	-1.459	-0.482

5 lentelė Linijinio funkcijos modelio Eq kalibravimo rezultatai. (10) miestams, kuriuose gyventojų tankis yra mažesnis kaip 1500 vienam / km², $R^2 = 0.64$, imties dydis $N = 39$.

Kalibravimo rezultatai	Coef	Std Err	t	P> t	[95,0% konf. Int.	
C	45.3582	2.122	21.375	0,000	41.139	49.577
D	-0,2386	0,083	-2,880	0,005	-0,403	-0,074
E	-0,9706	0,246	-3.950	0,000	-1.459	-0.482

Keleto variantų palyginimas:

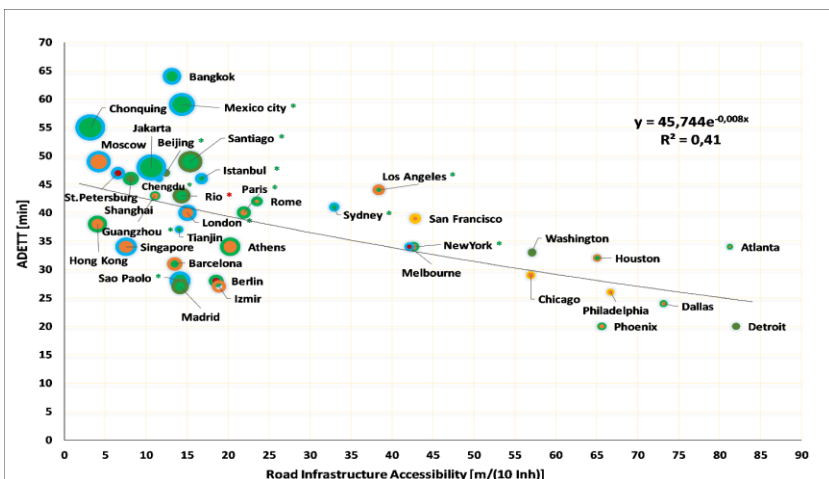
6 lentelė Kelių variantų grafikų mastelio keitimas 5-7 pav.

Miesto traukinio IA [geležinkelio km per 10 colių]:	<i>Burbulo užpildymo spalva:</i> <i>raudona = traukinio IA > 1100 ></i> <i>oranžinė = 223 < traukinio IA < 1100</i> <i>žalia = traukinio IA < 223</i> <i>bespalvis = nėra miesto bėgio</i>
--	---

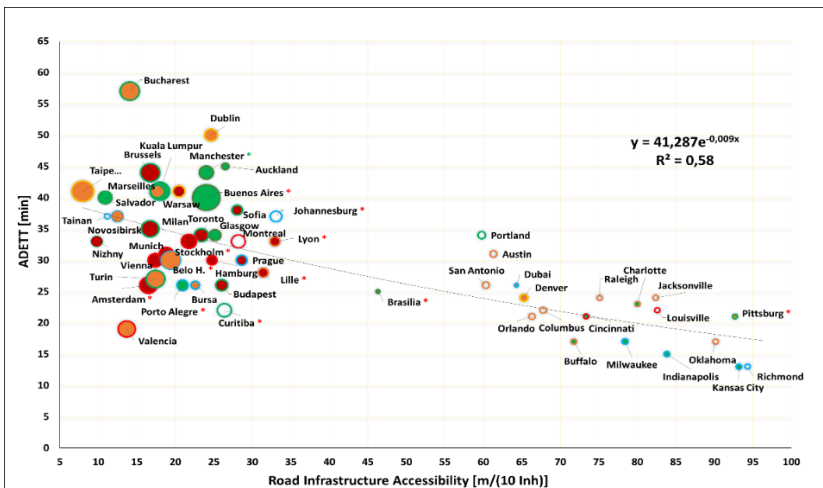
<i>IA ciklas [m dviračio per 10000 colių]:</i>	<i>Burbulo kraštinės spalva:</i> raudona = ciklas $IA > 1500$ oranžinė = $200 < IA \text{ ciklas} < 1500$ žalia = $10 < \text{ciklas } IA < 200$ mėlyna = ciklas $IA < 10$
<i>BRT IA [m BRT už 10000 colių]:</i>	<i>Miesto etikečių spalva pažymėta žvaigždute (*):</i> raudona = $BRT IA > 150$ žalia = $BRT IA < 150$

Bandant laikytis holistinio požiūrio, ryšiai tarp penkių skirtingų rodiklių pateikiami burbulo tipo diagramoje, kurioje kiekvienas debesėlis žymi miestą: x ašis žymi kelią IA, o y ašis žymi ADETT, užpildymo spalva rodo Traukinio IA, burbulo krašto spalva nurodo ciklą IA, žvaigždute pažymėtų miesto etikečių spalva nurodo BRT IA. Spalvų mastelio apibendrinimas pateiktas 6 lentelėje. Burbulų diagrama buvo sukurta kiekvienai miesto grupei: didmiesčių miestams 5pav., Subrendusiems miestams 6 pav. Ir mažiems miestams 7 pav. Kiekvienai miesto grupei modelis iš ekv. (8) buvo sukalibruotas, nes eksponentinė kreivė geriausiai atitiko. Regresijos kreivė ir R^2 taip pat nurodomi kiekviename burbulo diagramoje.

Visų miesto grupių regresinė analizė (1 pav. 5-7) parodyti R^2 reikšmės nuo 0,4 iki 0,6, kurios rodo gerą atitikimą, atsižvelgiant į daugelį minėtų klaidų šaltinių ir gatvių išdėstymo įvairovę, viešojo transporto paslaugų charakteristikas ir judrumo kultūrą. Visų trijų miestų grupių skaičiavimais miestai gali būti suskirstyti į dvi grupes, kai IA kelias yra maždaug 35 m / (10Inh): daugumoje miestų, nesiekiančių šios ribos, yra didesnis gyventojų tankis, palyginti su miestais, viršijančiais šią ribą. Akivaizdu, kad daugelis miestų, kuriuose gyventojų tankis mažas, nutiesė didelius kelių tinklus ir jiems pavyko sumažinti spūstis. Kita vertus, atrodo, kad miestai, kuriuose gyventojų tankis didesnis, yra suvaržyti ir negali išplėsti savo kelių tinklo.



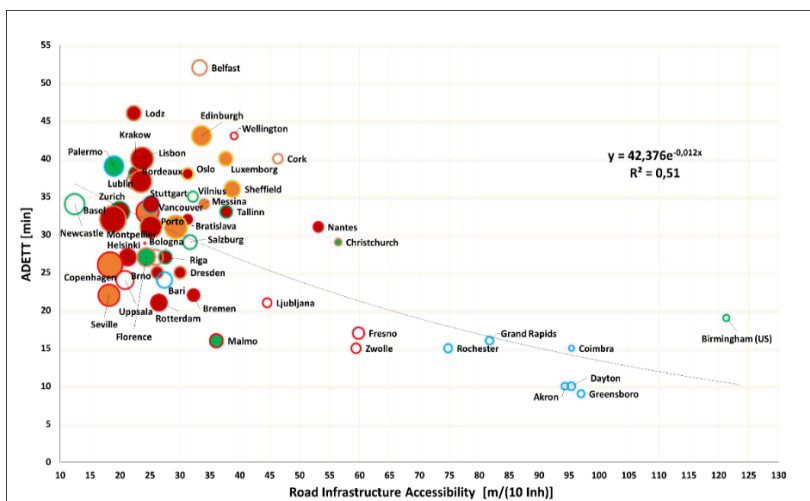
5 pav. Kelių variantų metropolijų schema. Spūsčių lygis (ADETT) IA kelyje; Burbulo dydis yra proporcingas gyventojų tankumui; užpildyta spalva rodo traukinio IA, burbulo krašto spalva nurodo ciklą IA, žvaigždute pažymėtų miesto etikečių spalva nurodo BRT IA. Punktyrinė linija žymi pritvirtintą eksponentinę kreivę iš lygties (8).



6 pav. Kelių variantų subrendusių miestų schema.

Pažvelgus į miestus, kuriuose gyventojų tankis didesnis, akivaizdu, kad miestuose, kuriuose yra platesnis traukinių tinklas vienam asmeniui (raudonos

ir oranžinės spalvos), paprastai būna mažesnės spūstys. Šis rezultatas atitinka paskutiniame skyriuje pateiktus modelius. Tačiau taip pat yra daug išimčių: Dubline ir Bukarešte yra didelis traukinių IA, bet taip pat didelis spūsčių lygis, o Madride ir San Paulo traukinių IA yra žemas ir spūstys yra žemos. Be to, maži miestai pateikia ne tokį aiškų vaizdą apie traukinio IA ir spūstis. Kai kurie maži miestai, kuriuose gyventojų tankis didesnis, išsiskiria mažomis spūstimis, greičiausiai dėl aukšto dviračių transporto infrastruktūros lygio; pavyzdžiai yra Malmė, Zvolė ir Fresnas, tačiau nepakanka miestų, kuriuose važinėjama dviračiais, kad būtų galima parodyti bendrą tendenciją.

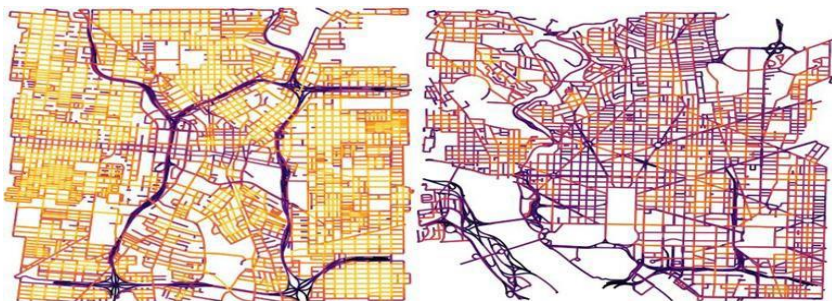


7 pav. Kelių variantų mažų miestų schema.

Tinklo projektavimo įtakos miesto transporto našumui analizė ir rezultatai

Šiame skyriuje bandoma nustatyti svarbius tinklo rodiklius, tokius kaip sujungiamumas, centralizavimas ir grupavimo priemonės skirtingiems tinklo tipams (keliams, geležinkelui ir dviračiams) iš 86 miesto teritorijų ir 32 šalių, remiantis palyginamais, tiesiogiai stebimais atviro kodo duomenimis, tokiais kaip OpenstreetMap (OSM), ir „TomTom“ duomenų bazę. Ryšiai tarp rodiklių nustatomi koreliacijomis ir sukalibruoti regresijos modeliai, kiekybiškai įvertinant infrastruktūros prieinamumo ir tinklo rodiklių ryšį su vėlavimo laikais. Rodiklis; vidutinis kelių jungiamumas per vidutinį kelių apskritimą (RCRC) nebuvo tirtas anksčiau ir yra siūlomas šiame tyrime. Šiame skyriuje atliekama skirtinga analizė ir jų rezultatai aptariami žemiau.

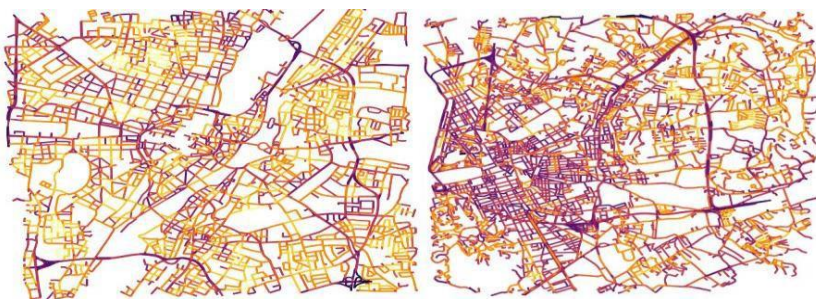
Kai kurių miestų kelių tinklo jungiamieji žemėlapiai (50 km² branduolių) yra pavaizduoti dvejopa grafika, kai gatvės pavaizduotos kaip mazgai, o sankryžos pavaizduotos kaip briaunos 1 pav. 8–9. Šios miestų poros buvo pasirinktos palyginimui, nes kiekviena pora turi panašius bendraamžių sociodemografinius ir infrastruktūros rodiklius, kaip parodyta 7 lentelėje. Jų panašumas leidžia įrodyti tinklo struktūros įtaką. Siekiant efektyviau interpretuoti grafikus, naudojami kokybiniai spalvų žemėlapiai, didinantys mėlynos, violetinės ir geltonos spalvos atspalvius. Kaip aiškiai matyti nubraižytuose žemėlapiuose ir 7 lentelėje, miestai, kuriuose didesnis RCRC ir didesnis kelių tinklo ryšys, sudaro mažesnes spūstis.



8 pav. Kelių tinklo jungiamieji San Antonijaus ir Vašingtono žemėlapiai.

Kai kurie statistiniai modeliai buvo sukalibruoti tarp ADETT ir atstumo grindžiamų kelių sujungimo priemonių (DBRC) su visais miestais. ADETT kaip DBRC funkcija atrodo eksponentine forma:

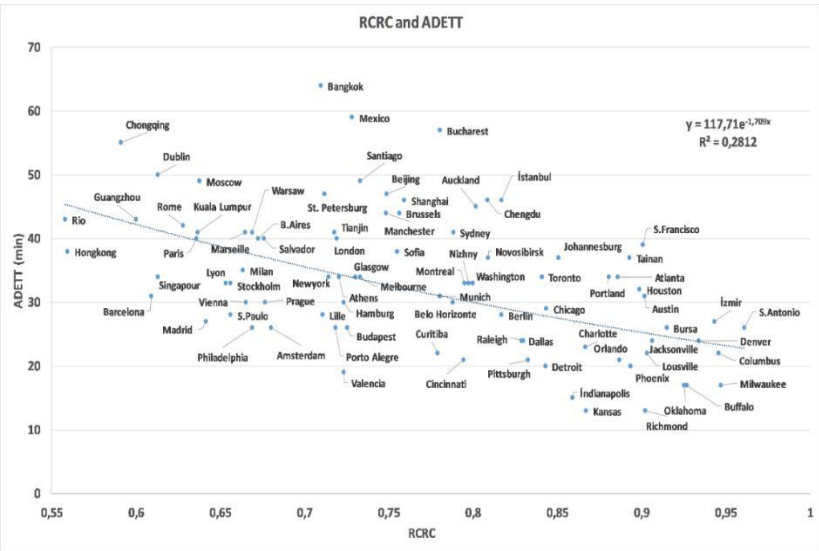
$$ADETT = a \exp(b \text{ DBRC}) \quad (10)$$



9 pav. Berlyno ir Marselio kelių tinklo jungiamieji žemėlapiai.

7 lentelė Pasirinktų miestų palyginimas.

Miestai	RIA	TIA	CIA	ADETT	Populiaci ja Tankis	ARC	ANC	Γ	RCRC
San Antonio	60.309	2.613	0.387	26	1312	1.0216	5.887	0.9817	0.9609
Vašingtonas	57.105	1.893	0.344	33	1446	1.0284	4.932	0.8225	0.7998
Berlynas	18.550	6.477	0.080	28	3700	1.0276	5.032	0.8392	0.8166
Marselis	17.651	3.177	0,025	41	4040	1.0608	4.229	0.7050	0.6646



10 pav. Išsklaidyta diagrama, vidutinis kelių sujungiamumas per vidutinį kelių apskritimą (RCRC) ir spūsčių lygį (ADETT) miestuose; punktyrinė linija žymi pritvirtintą eksponentinę kreivę iš Eq. (10).

Tačiau montavimo klaidos tiesiniame modelyje yra tik šiek tiek didesnės. 10 pav. parodytas eksponentinis modelis, kuris buvo sukalibruotas atsižvelgiant į eksponentinį santykį Eq. (10), geriausiai tinkanti eksponentinė kreivė taip pat parodyta 10 pav. Nors $R^2 = 0.28$ jis nėra ypač didelis, jis parodo pagrįstą tinkamumą ir parametrai yra statistiškai reikšmingi. Atminkite, kad panašus pagrįstas tinkamumas taip pat buvo pasiektas ADETT kaip ARCC funkcija. Atsižvelgiant į tai, kad paklausai ir kelių spūstims įtaką daro daugybė skirtingų tinklo savybių, šios konstrukcijos kokybė yra pagrįsta. Miestuose, kuriuose labai didelis gyventojų tankis, tokiuose kaip Bankokas ir Meksika, DBRC įtaka grūstims yra nedidelė (žr. 10 pav.).

Kyla klausimas, kaip kelio koeficientai elgiasi miestuose esant skirtingoms alternatyvoms infrastruktūroms, tokioms kaip geležinkeliai ir skirtingo ilgio bei topologijos dviračiai. Tinklo struktūrų geometriniai skirtumai, nes tankis ir apskritimas tampa labiau matomi, kai tinklo sudėtingumas yra subrendęs. Dėl to infrastruktūros tankis yra tinkamas pakaitalas infrastruktūros brandos lygiui nustatyti. Atsižvelgiant į alternatyvių tinklų sistemų brandos lygį, sudaromi du miestų pogrupiai. Geležinkelių infrastruktūros tankio padalijimas nustatytas $1 \text{ km} / \text{km}^2$, o dviračių infrastruktūros tankio padalijimas - $0,4 \text{ km} / \text{km}^2$. Abi ribos buvo pasirinktos savavališkai. Pagrindinė idėja buvo atskirti nesubrendusias alternatyvių tinklų sistemas miestuose. Tai padės tiksliau suprasti su tinklu susijusius alternatyvių tinklo sistemų veiksnius. Visuose miestuose yra kelių tinklas, kurio tankis didesnis nei $10 \text{ km} / \text{km}^2$. Kadangi IA ir ADETT, taip pat DBC ir ADETT yra labai koreliuojami, buvo bandoma naudoti keletą daugialypės tiesinės regresijos modelių su visu miestų rinkiniu, taip pat ir su konkrečiais pogrupiais (miestai subrendę geležinkeliu - 53 miestai ir miestai subręsta dviračių takais - 28 miestai), o žemiau pateiktose lentelėse pateikiami tik modeliai, kurių kiekvieno atributo P vertė yra mažesnė kaip 0,2. Buvo sukurti kiti modeliai, apimantys infrastruktūros prieinamumo rodiklius (infrastruktūra vienam gyventojui) ir DBC rodiklius:

$$ADETT = c + d \text{ RIA} + e \text{ TIA} + f \text{ ARCC} \quad (11)$$

$$ADETT = c + d \text{ RIA} + e \text{ TIA} + f \text{ ARCC} + g \text{ AWRCC} \quad (12)$$

$$ADETT = c + d \text{ RIA} + e \text{ TIA} + f \text{ CIA} + g \text{ ACCC} \quad (13)$$

Koeficientai d , e , f ir g išreiškia eismo spūsčių sumažėjimą dėl padidėjusių / sumažėjusių nepriklausomų kintamųjų lentelėse. 8-10. Kadangi vienetai skiriasi, atsižvelgiama į standartizuotus beta koeficientus. Tiesinės funkcijos modelio rezultatai iš Eq. (11) rodo, kad padidėjus vidutiniam kelių uždarumui, transporto spūstys sumažėja panašiai, kaip padidėja TIA. Tai yra naudinga išvada, parodanti, kad tinklo projektavimas yra toks pat svarbus kaip ir alternatyvių tinklų infrastruktūros ilgio didinimas. Reikšmė e , f , g ne tokia aiški. Tačiau tiesinės funkcijos modelio Eq rezultatai. (12) rodo, kad *padidėjus* AWTCC sumažėja kelių spūstis, panašiai kaip padidėja vidutinis kelių uždarumas. Tiesinės funkcijos modelio Eq rezultatai. (13) rodo, kad RIA įtaka grūstims išlieka šiek tiek mažesnė, palyginti su pavyzdžiu Nr. 12 (12), o CIA daro didžiausią įtaką grūsties mažinimui, palyginti su RIA ir TIA padidėjimu, atsižvelgiant į miestus, kuriuose daugiau nei $0,4 \text{ km} / \text{km}^2$ dviračio kelio tankis. Be to, padidėjus ACCC spūstims, efektyviau sumažėja nei padidėja TIA. Tačiau padidėjimas ACCC yra šiek tiek mažiau efektyvus mažinant spūstis nei padidėjęs RIA. Šiame modelyje TIA įtaka nėra tokia reikšminga.

8 lentelė Linijinio funkcijos modelio Eq kalibravimo rezultatai. (11) visiems mėginiams. $R^2 = 0.53$, mėginio dydis $N = 85$.

Kalibravimo rezultatai	Coef	Std Err	Beta	t	P> t
C	68.192	10.034		6.796	0, 000
D	-0.222	0.034	-0.556	-6.603	0, 000
E	-0.682	0,312	-0.179	-2.186	0.032
F	-109818.3	46148.044	-0.193	-2.380	0.020

9 lentelė Linijinio funkcijos modelio Eq kalibravimo rezultatai. (12) miestams, kurių brandos laikotarpis yra geležinkelis. $R^2 = 0.48$, Imties dydis $N = 53$.

Kalibravimo rezultatai	Coef	Std Err	Beta	t	P> t
C	71.287	16.076		4.434	0, 000
D	-0.161	0.041	-0.488	-3.926	0, 000
E	-0.847	0.423	-0.206	-2.002	0.051
F	-121553	72324.044	-0.180	-1.681	0.099
G	-1017.27	764.075	-0.164	-1.331	0.189

10 lentelė Linijinio funkcijos modelio Eq kalibravimo rezultatai. (13) miestams, kurių brandos laikotarpis yra geležinkelis. $R^2 = 0.59$, Imties dydis $N = 28$.

Kalibravimo rezultatai	Coef	Std Err	Beta	t	P> t
C	46.366	2.803		16.163	0, 000
D	-0.167	0.054	-0.461	-3.039	0.006
E	-0.684	0.393	-0.229	-1.571	0.130
F	-2.833	0.797	-0.472	-3.486	0,002
G	-20519.7	9563.210	-0.321	-2.127	0.044

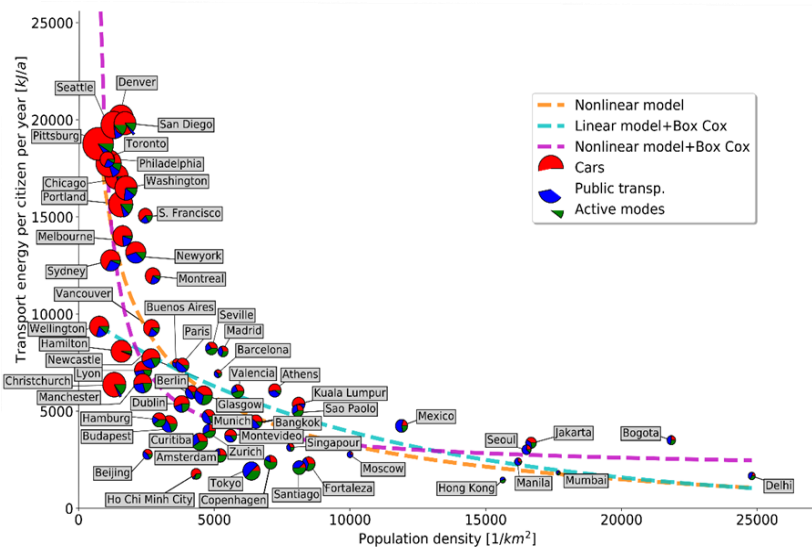
Miesto vietovių transporto energijos suvartojimo analizė ir rezultatai

Šiame skyriuje aprašoma tiriamų miestų transporto energijos suvartojimo vienam gyventojui analizė. Pirmiausia iš surinktų duomenų kiek įmanoma tiksliau apskaičiuojama miestų transporto energija. Po to transporto energija modeliuojama atsižvelgiant į infrastruktūros prieinamumą ir gyventojų tankį.

Atsižvelgiant į turimus duomenis, tiksliausią transporto energijos, tenkančios vienam asmeniui per metus važinėjant važiuojamaisiais maršrutais, $W_-(T, i)$ apskaičiavimą mieste i galima apskaičiuoti taip:

$$W_{T,i} = SWP_i(DC_i \cdot MSC_i \cdot WCC_i + DPT_i \cdot MSPT_i \cdot WCPT_i) \cdot 261 \quad (14)$$

kur SWP_i yra darbingo amžiaus gyventojų dalis tarp visų gyventojų, DC_i yra vidutinis kasdienis atstumas iki kelionės į darbą asmeniniu automobiliu per dieną, DPT_i yra vidutinis kasdienis atstumas iki kelionės į darbą viešuoju transportu dienos metu, MSC_i yra asmeninių kelionių $MSPT_i$ pagal transporto rūšis dalis, yra transporto rūšių dalis kelionės viešuoju transportu, WCC_i yra vidutinis energijos sunaudojimas vienam asmeniui nuvažiuotam kilometrui vienam asmeniui, $WCPT_i$ yra vidutinis energijos suvartojimas vienam asmeniui km nuvažiavus viešąjį transportą ir vieneri metai atitinka 261 darbo dieną.



11 pav. Su transportu susijusios energijos suvartojimas vienam asmeniui per metus važiuojant į darbą ir atgal, TE, viršijant gyventojų tankį DPOP. Kiekviename mieste taip pat rodomos privataus transporto MSC (raudona) viešojo transporto MSPT (mėlyna) ir aktyvaus transporto rūšių dalis (MSA). Burbulo dydis yra proporcingas atitinkamo miesto kelių infrastruktūros prieinamumui (RIA). Punktyrinės linijos žymi skirtingus modelius, kurie yra išvedami šiuose puslapiuose.: netiesinis modelis iš Eq. (23) (punktyrinė oranžinė spalva), linijinis modelis su „Box Cox“ atgaline transformacija iš Eq. (24) (punktyrinė šviesiai mėlyna spalva) ir netiesinis modelis su „Box-Cox“ atgaline transformacija iš Eq. (25) (punktyrinė purpurinė spalva).

11 paveiksle parodyta transporto energijos WT ir transporto rūšių dalis, palyginti su kiekvieno miesto gyventojų tankiu. Tame pačiame paveiksle yra hiperbolinė WT forma, panaši į Newmano ir Kenworthy kreivę [19]. Miestų grupę galima pastebėti esant nedideliame gyventojų tankiui tarp 1000–2500 asmenų /km², kur daugiausia yra JAV ir Kanados miestai. Šie maži gyventojų tankio miestai sunaudoja daug daugiau energijos, susijusios su transportu, palyginti su didesnio gyventojų tankio miestais. Maži gyventojų tankio miestams taip pat būdinga aukšta kelių infrastruktūros prieinamumas (žr. Burbuliukų skersmenį 11 pav.) Ir didelė automobilių būdo dalis (žr. Burbulų lentelę 11 pav.). Kalbant apie kasdienio kelionių į JAV tipą dalis: asmeninių transporto priemonių dalis sudaro daugiau kaip 85% visų kelionių, po to - 5,2% viešojo transporto kelionių. Kanados, Australijos ir Naujosios Zelandijos miestuose, kur priimamos nuo automobilių priklausančios mobilumo koncepcijos, vidutiniškai yra šiek tiek mažesnė kelių infrastruktūros prieinamumas ir šiek tiek didesnis viešojo transporto naudojimas, palyginti su JAV miestais.

Klasterį, kuriame daugiausia Europos, Lotynų Amerikos ir kai kurių Azijos miestų, tokių kaip Tokijas, gyventojų tankis yra 2500–8000 žmonių / km², o kelių infrastruktūra yra pasiekama vidutiniškai. Šio klasterio miestai sunaudoja pastebimai mažiau transporto energijos, palyginti su pirmąja grupe. Akivaizdu, kad šioje klasterioje mažiausiai transporto energijos sunaudoja tie miestai, kurių dalis aktyviausia transporto rūšimis, pavyzdžiui, Tokijas, Amsterdamas ir Kopenhaga. Miestai, kuriuose gyventojų tankis didesnis kaip 8000 žmonių / km², yra daugiausia Azijos miestai, kuriuose mažai pasiekama kelių infrastruktūra ir yra didelė viešojo transporto dalis.

Ypač staigus energijos vartojimo padidėjimas mažėjant gyventojų tankiui reikalauja tam tikrų priežasčių. Netiesinis modelis, parodytas 11 pav., Yra kuriamas taip.

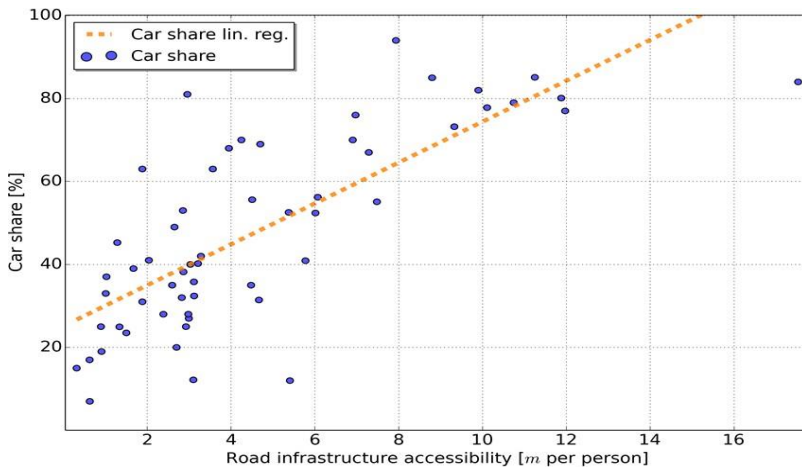
Transporto infrastruktūra, gyventojų tankumas ir transporto energijos suvartojimas

Šiame skyriuje tiriama, kaip transporto infrastruktūra ir gyventojų tankis lemia transporto energijos suvartojimą, apskaičiuotą ekvivalentais.¹⁴ Manoma, kad kelių infrastruktūros prieinamumo RIA ir kiti infrastruktūros prieinamumai (geležinkelio bėgių infrastruktūros prieinamumo TIA ir dviračių infrastruktūros prieinamumo BIA, kuriuos galima apskaičiuoti naudojant OSM duomenis) daro įtaką tik atitinkamoms transporto rūšių dalims MSC, MSPT ir MSA, o ne kiti kintamieji Eq.14. Energijos vartojimo efektyvumas asmeniniame ir viešajame transporte nebus modeliavimo dalis.

Kalbant apie MSC, 12 pav. Pateikti duomenys rodo tiesinį ryšį tarp kelių infrastruktūros prieinamumo RIA ir automobilio režimo bendro MSC. MSC apskaičiuota naudojant lygtį:

$$MSC = \beta_{C,0} + \beta_{C,1}RIA \quad (15)$$

kur parametrai buvo įvertinti tiesine regresija, žr. 11 lentelę. Pritaikymas $R^2 = 0.576$ yra gana geras, atsižvelgiant į skirtingus klaidų šaltinius nustatant RIA ir MSC. Harvey Collier testo p vertė yra 0,41, patvirtinanti, kad niekinė hipotezė, kad tiesinė specifikacija yra teisinga, neturėtų būti atmesta. Pasvirimas yra artimas nuliui (0,198), o Jarque-Bera testo p vertė yra 0,62, nurodant normaliai pasiskirstančius likučius, net jei dėl mažo mėginių skaičiaus yra neaiškumų. Tačiau priežastis, kodėl vienam gyventojui kelio ilgis proporcingai padidina automobilio režimą, nėra aiški.



12 pav. Automobilų režimas dalijasi MSC kelių infrastruktūros prieinamumu RIA. Mėlyni burbuliukai žymi automobilų dalis iš miesto duomenų bazės, o punktyrinė oranžinė linija rodo linijinės regresijos modelį iš Eq. 15 ($R^2 = 0.576$).

Nesant išsamesnės informacijos, kalbant apie viešojo transporto rūšių bendrąją JTPT, sunku nustatyti ryšį tarp TIA ir JTPT geležinkelio kelio ilgio, nes nėra išsamesnės informacijos: bėgio ilgis sudaro tik dalį visų viešojo transporto infrastruktūrų ir bet koku atveju, geležinkelis naudoja tik dalį visų viešojo transporto kelionių. Viena įdomių galimybių yra patikrinti, ar JTPT taip pat priklauso nuo kelių infrastruktūros. Ir iš tikrųjų išbandytas linijinis požiūris:

$$MSPT = \beta_{PT,0} + \beta_{PT,1}RIA \quad (16)$$

su regresijos parametrais $\beta_{PT,0}$ ir $\beta_{PT,1}$. Rezultatai rodo, kad RIA yra reikšminga, o $\beta_{PT,1}$ neigiama - didėjant RIA, kaip ir tikėtasi, sumažėja viešojo transporto rūšių dalis. Esant $R^2 = 0.469$ armatūrai yra mažiau ryškus Eq atžvilgiu. 15. Linijinė specifikacija yra teisinga, nes Harvey Collier bandymo p-vale yra lygi 0,55 ir tikėtina, kad likučiai yra normaliai pasiskirstę dėl to, kad pasvirimas yra artimas nuliui, o Jarque-Bera p-vertė yra 0,26. Tolesnis modeliavimas parodė, kad dviračio režimo dalis yra neigiamai susijusi su RIA.

Lentelė 11 Asmeninio automobilio režimo tiesinės regresijos rezultatai ekvivalente. (15).

	coef	std err	T	P> t	[95,0% konf. Int.]	
$\beta_{C,0}$	25.12	3.320	7.567	0,000	18.470	31.778
$\beta_{C,1}$	4.93	0.570	8.642	0.000	3.787	6.073

Manoma, kad gyventojų tankumas daro įtaką vidutiniams kasdieniams kelionių į darbą ir atgal atstumais, automobiliais, DC, ir vidutiniams dienos atstumams, važiuojantiems viešuoju transportu per dieną, DPT. Linijinis regresijos modelis:

$$DC = \beta_{DC,0} + \beta_{DC,1}DPOP \quad (17)$$

rodo, kad DC mažėja didėjant gyventojų tankiui, parametrai yra statistiškai reikšmingi, tačiau tinkamumas yra labai silpnas, kaip $R^2 = 0.134$. Linijinė specifikacija yra teisinga, nes Harvey Collier bandymo p-vale yra lygi 0,92. Likučiai greičiausiai bus normaliai pasiskirstę dėl įlinkio, artimo nuliui (0,165), o Jarque-Bera p-vertės 0,77. Parametras $\beta_{DC,1}$ turi santykinai mažą absoliučią vertę, o tai reiškia, kad atstumai nuo kelionės į darbą ir atgal yra šiek tiek jautrūs gyventojų tankiui. Gyventojų tankio įtaka PT maršruto atstumui nėra statistiškai reikšminga dabartiniam duomenų rinkiniui.

Atsižvelgiant tik į kelių infrastruktūros prieinamumą RIA ir gyventojų tankio DPOP kaip į nepriklausomus kintamuosius, $\hat{W}_A$ bendro miesto transporto energijos įverčiai įvertinami pakeičiant Eq modelių įverčius. (15), Eq. (16) ir Eq. (17) energijos lygtyje Eq. (14) Gautą energijos sąmatą galima pateikti tokia forma:

$$\hat{W}_A = \beta_{T1,0} + \beta_{T1,1}DPOP + \beta_{T1,2}RIA + \beta_{T1,2}DPOP \cdot RIA \quad (18)$$

kai laikoma, kad šie parametrai yra pastovūs ir nepriklausomi nuo DPOP ir RIA:

$$\beta_{T1,0} = 261 \text{ SWP } (WCC \beta_{C,0} \beta_{C,0} + WCPT \text{ DPTMSPT } \beta_{PT,0})$$

$$\beta_{T1,1} = 261 \text{ SWP } WCC \beta_{DC,1} \beta_{C,0}$$

$$\beta_{T1,2} = 261 \text{ SWP } (WCC \beta_{DC,0} \beta_{C,1} + WPT \text{ MSPT } \text{ DPT } \beta_{PT,0})$$

$$\beta_{T1,2} = 261 \text{ SWP } WCC \beta_{DC,0} \beta_{C,1} \beta_{C,1}$$

12 Lentelė Transporto energijos suvartojimo energijos, tenkančios vienam asmeniui per metus, tiesinės regresijos rezultatai, ekv. (18).

	Coef	Std Err	t	P> t	[95,0% konf. Int.]	
$\beta_{T1,0}$	5.077e+06	1.32e+06	3.854	0,000	2.43e+06	7.72e+06
$\beta_{T1,1}$	-3.628e+05	1.16e+06	-0.312	0.757	-2.7e+06	1.97e+06
$\beta_{T1,2}$	1.196e+05	1.62e+04	7.402	0,000	8.72e+04	1.52e+05
$\beta_{T1,3}$	-1.788e+05	6.98e+04	-2.562	0.013	-3.19e+05	-3.88e+04

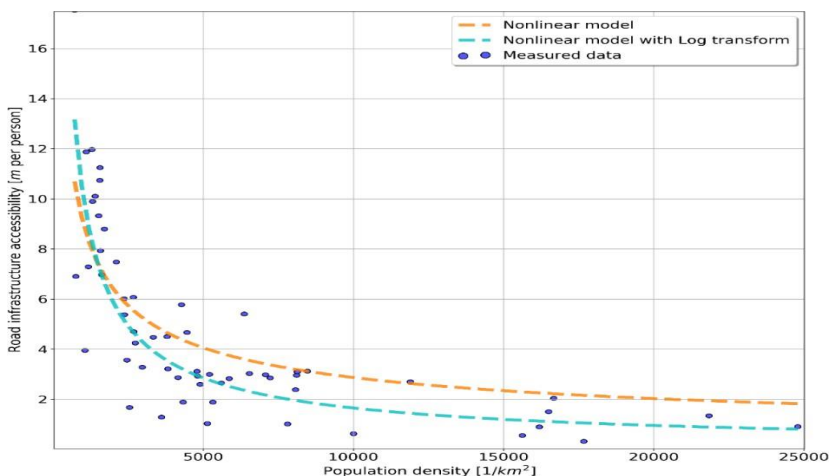
Atkreipkite dėmesį, kad įvairių parametų miesto rodyklė i , išreikšta Eq (14), buvo panaikinta, o atitinkami dydžiai buvo pakeisti vidutinėmis vertėmis. Beta parametrai Eq. (18) yra nustatomi tiesine regresija, o ne naudojant aukščiau pateiktas lygtis, nes tai padarius būtų padaugintos klaidos. Regresijos rezultatai pateikti Tab.12. Šis įvertinimas gerai atitinka energijos duomenis $R^2 = 0.684$, nes parametų ženklai atitinka lūkesčius. Tačiau su DPOP $\beta_{T1,1}$ susijęs parametras nėra statistiškai reikšmingas ir jo teigiamos vertės yra 95% pasiklovimo intervale. Be to, nepriklausomi kintamieji nėra homoscedastiniai, nes Breusch-Pagan Lagrange multiplikatoriaus testo p vertė yra maža $9.59 \cdot 10^{-5}$. Modelio „Box-Cox“ transformacija su optimalia lambda verte $\lambda = -0,036$ negali pagerinti šios būklės.

Atsisakyti aiškos priklausomybės nuo DPOP iš „Eq“. (18), pateikiamas paprastas transporto energijos apskaičiavimas:

$$\hat{W}_B = \beta_{T2,0} + \beta_{T2,1} RIA \quad (19)$$

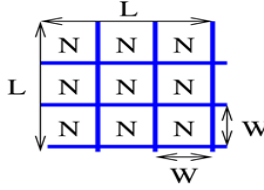
su parametrais $\beta_{T2,0}$ ir $\beta_{T2,1}$ turi būti kalibruojami. Tačiau, kaip parodyta toliau, RIA priklauso nuo DPOP. Regresijos rezultatai rodo, kad abu parametrai yra reikšmingi, $R^2 = 0.622$ o tai yra tik šiek tiek prasčiau nei modelis Eq. (18). Linijinė specifikacija yra teisinga, nes Harvey Collier bandymo p -vale yra lygi 0,30. Tačiau greičiausiai likučiai nebus normaliai pasiskirstę, nes pakrypimas skiriasi nuo nulio (0,712), o Jarque-Bera p -vertė yra 0,012, kuri yra žemiau 0,05. Bet kokie bandymai į transporto energijos sąmatą įtraukti geležinkelio bėgių ar dviračių infrastruktūros prieinamumą leido geriau suderinti energijos duomenis, tačiau trūksta statistinės reikšmės.

Belieka paaiškinti, kodėl 11 pav. Parodyta transporto energijos energija taip staigiai didėja dėl mažo gyventojų tankio. Ankstesnis skyrius rodo, kad vidutinis DC atstumas yra mažai jautrus DPOP. Todėl privačiojo automobilio režimo dalis MSC didėja netiesiškai, DPOP artėjant prie nulio. Tačiau, jei MSC didėja tiesiškai su RIA, kaip parodyta aukščiau, santykis tarp DPOP ir RIA būtinai yra netiesinio pobūdžio. Tiesą sakant, 13 pav. Parodyta, kad didėjant DPOP, miestų RIA sparčiai mažėja, panašiai kaip transporto energijos kreivė 11 pav.



13 pav. Kelių infrastruktūros prieinamumas RIA dėl gyventojų tankio DPOP. Oranžinė punktyrinė linija parodo netiesinę lygties (20) funkciją, kurios tinkamumas yra $R^2 = 0,64$. Šviesiai mėlyna brūkšniuota linija parodo atgal modifikuotą žurnalo modelį iš 21 ir 22 lygčių, kurio tinkamumas R^2 yra $= 0,69$.

Toliau pateikiami apytiksliai bandymai paaiškinti, kodėl mažo gyventojų tankio miestuose kelių žmonių ilgis paprastai taip smarkiai padidėja: darant prielaidą, kad miestas yra kvadratinis, kurio kraštinės ilgis L , ir tinklę primenantis kelių tinklas, kuriame visos gatvės yra W metrų. vienas nuo kito, kaip parodyta 14 pav., kelių skaičius yra $M = L/W$ kiekvienoje koordinatėje ir bendras kelio ilgis yra $L_{TOT} = 2ML = 2L^2/W$.



14 pav. Supaprastintas kvadratinis miestas su gatvių tinkleliu, $M = L/W$ nukreiptu x kryptimi, ir tokiu pačiu kiekiu kelių, y kryptimi. Kiekviename dydžio kvadrate $W \times W$ gyvena N piliečiai.

Dar darant prielaidą, kad gyventojų skaičius tolygiai pasiskirsto mieste, tada gyventojų tankumas yra $DPOP = N/W^2$ ir bendras gyventojų skaičius tampa $POP = NM^2 = N(L/W)^2$, kai kelių infrastruktūros prieinamumą apibrėžia $RIA = L_{TOT}/POP$: RIA gaunama W pakeičiant $W = \sqrt{N/DPOP}$:

$$\widehat{RIA}_A = \frac{2}{\sqrt{N}} \frac{1}{\sqrt{DPOP}} = \frac{2}{\sqrt{N}} \frac{1}{DPOP^{0.5}} \quad (20)$$

kur $2/\sqrt{N}$ galima laikyti kalibravimo konstanta. Aišku, ši lygtis lemia skirtingo gyventojų tankio miestų kelių ilgį, tuo pačiu ribojant kelio apskritimo konstantą $\sqrt{2} = 1.41$, kuri yra tipiška JAV miestų vertė. Atkreipkite dėmesį, kad, kaip tikimasi iš miesto duomenų, RIA smarkiai mažėja didinant $DPOP$. Taikant įprastą tiesinę regresiją miesto duomenims su $DPOP$, tenkančiam vienam kvadratiniam vienetai, $2/\sqrt{N}$ terminas buvo statistiškai reikšmingas ir buvo 0,256 ir 0,316 ribose, naudojant 95% pasikliautinąjį intervalą. Vidutinė vertė $2/\sqrt{N} = 0.286$. Nepaisant tinklo-kelio modelio miesto paprastumo, įvertis rodo tinkamumą $R^2 = 0.64$, nors likutis greičiausiai nebus normaliai pasiskirstęs, nes kreivumas skiriasi nuo nulio (0,856) ir Jarque-Bera p reikšmė yra daug mažesnė. 0,05. Linijinė specifikacija yra teisinga, nes Harvey Collier bandymo p-vertė yra lygi 0,92.

Verta paminėti, kad šis įvertinimas tinka, nes kalibravimą nustato JAV miestai, turintys didelę RIA , esant mažam gyventojų tankumui, ir Azijos miestai, turintys mažą RIA ir didelį gyventojų tankį. ir tik tie, kurie dominuoja JAV miestuose, geriausiai atspindi įprastą kelių tinklą, kuris buvo laikomasi minėtame modelyje. E_q rezultatas (20) patikrinama kalibruojant netiesinį modelį su bendrojo formos β_{R1} eksponentu:

$$RIA_B = \frac{\beta_{R0}}{DPOP^{\beta_{R1}}} \quad (21)$$

ir palyginus β_{R1} su eksponentu 0,5, išreikštu ekvivalentu. (20). Taikant žurnalo transformaciją, šią problemą galima transformuoti į formos tiesinio įvertinimo

problema:

$$\log RIA_B = \alpha_{R0} + \alpha_{R1} \log DPOP \quad (22)$$

kur $\beta_{R0} = \exp(\alpha_{R0})$ ir $\alpha_{R1} = -\alpha_{R1}$. Žurnalo modelio regresijos rezultatai ekvivalente. (22) parodyti 13 lentelėje. Linijinė specifikacija yra teisinga, nes Harvey Collier bandymo p-vertė yra lygi 0,24. Tačiau greičiausiai likučiai nebus normaliai pasiskirstę, nes pakrypimas skiriasi nuo nulio (0,712), o Jarque-Bera p-vertė yra 0,012, kuri yra žemiau 0,05.

13 Lentelė Kelių infrastruktūros prieinamumo tiesinės regresijos rezultatai. (22).

	coef	Std Err	t	P> t	[95,0% konf. Int.]	
α_{R0}	-3.1318	0.408	-7.668	0, 000	-3.950	-2.313
α_{R1}	-0.7890	0.073	-10.797	0, 000	-0.935	-0.643

Matyt, eksponentas $\beta_{R1} = 0,78$ iš ekv. (21) skiriasi nuo eksponentinės vertės, lygios 0,5. (20), kuris žymi kvadratinę šaknį. Taip pat $\beta_{R0} = 0,44$ skiriasi, bet ta pačia didumo tvarka kaip $2/\sqrt{N} = 0.286$ nuo Eq. (20). Modelio tinkamumo ekvivalentiškumas (21) su $R^2 = 0.69$ yra šiek tiek didesnis, palyginti su modeliu, išreikštu ekvivalentu (21). Šie nedideli skirtumai nestebina, atsižvelgiant į paprastinančias prielaidas, padarytas išvedant ekv. (20). Dviejų modelių rezultatai pavaizduoti 13 pav.

Kaip išvestinis modelis Eq. (20) pagrįstai paaiškina miestų RIA , Eq. (20) pakeičiamas į Eq energijos vertę. (19), kuris lemia transporto energijos modelį kaip netiesinę gyventojų tankio funkciją. Šios transporto energijos sąmatos forma tampa:

$$\hat{W}_{TC} = \beta_{T3,0} + \beta_{T3,1} \frac{1}{\sqrt{DPOP}} \quad (23)$$

su parametrais $\beta_{T3,0}$ ir $\beta_{T3,1}$ turi būti kalibruojami atsižvelgiant į transporto energijos duomenis. Tiesinės regresijos rezultatas yra parodytas 14 lentelėje, kad abu parametrai yra reikšmingi, ženklas $\beta_{T3,1}$ yra teigiamas, kaip ir tikėtasi, o tinkamumas yra pagrįstas $R^2 = 0.649$. Linijinė specifikacija yra teisinga, nes Harvey Collier bandymo p-vertė yra lygi 0,24. Likučiai greičiausiai bus normaliai pasiskirstę dėl įlinkio, artimo nuliui (0,128), o Jarque-Bera p-vertė yra 0,41. Šis įvertinimas paaiškina staigų transporto energijos padidėjimą mažo tankio miestuose, kaip parodyta 11 pav.

14 lentelė Transporto energijos tiesinės regresijos rezultatai, išreikšti ekv. (23).

	coef	Std Err	t	P> t	[95,0% konf. Int.]	
$\beta_{T3,0}$	-2.735e+06	1.12e+06	-2.439	0.018	-4.98e+06	-4.88e+05
$\beta_{T3,1}$	5.983e+08	5.93e+07	10.082	0, 000	4.79e+08	7.17e+08

Norint įvertinti, ar tam tikra ne linijinė modelio forma Eq. (23) yra tinkamas, tiriami du kiti bandymo modeliai: pirma, tiesinis „Box-Cox“ formos pavyzdys:

$$\hat{W}_D(\lambda) = \alpha_{T4,0} + \alpha_{T4,1} DPOP \quad (24)$$

buvo kalibruojamas optimaliai $\lambda = -0.036$. Tiesiškumo ir normalaus pasiskirstymo bandymo rezultatai yra lygiaverčiai netiesinio modelio rezultatams iš Eq. (23). Atlikus pertvarkymą Eq. (24), gautas tinkamumas yra lygus $R^2 = 0.372$.

Antruoju bandymu buvo sukalibruotas „Box Cox“ transformuotas modelis su *DPOP* netiesiškumu, panašus į modelį Eq. (23):

$$\hat{W}_{TD}(\lambda) = \alpha_{T5,0} + \alpha_{T5,1} \frac{1}{\sqrt{DPOP}} \quad (25)$$

Anksčiau optimizavus $= -0.036$ parametrus iš Eq. (25). Tiesiškumo ir normalaus pasiskirstymo bandymo rezultatai vėl yra tapatūs netiesiniam modeliui iš Eq. (23). Atlikus pertvarkymą, tinkamumas parodė rezultatus $R^2 = 0.417$. Matyt modelis Eq. (23) geriausiai atitinka išmatuotos energijos duomenis. Visi trys transporto energijos apskaičiavimo modeliai yra parodyti 11 pav.

Rezultatų įvertinimas

Kaip teigiama EB judrumo tiksluose [14], pirmiausia buvo atsižvelgiama į žmones, o ne į techninius aspektus. Todėl analizėje nuodugniai ištirtas transporto rūšies pasirinkimas skirtingomis socialinėmis ir techninėmis sąlygomis, kad būtų galima suprasti, kaip pereiti prie švaresnių ir tvaresnių transporto rūšių. Modalinis poslinkis yra labai svarbus grandinės elementas, nes didelis perėjimas prie viešojo transporto ir dviračių transporto žymiai sumažina su transportu susijusios energijos suvartojimą ir transporto spūstis, o savo ruožtu sumažės oro taršos lygis, išmetamų teršalų kiekis ir transporto išlaidos. Sutelkiant dėmesį į techninę dalį, analizėje buvo giliai išnagrinėti du pagrindiniai techniniai veiksniai: infrastruktūra ir žemės naudojimas, siekiant

suprasti, kaip sukurti prieinamą sistemą, užtikrinančią socialinę lygybę, ir kaip sumažinti socialinį, ekonominį ir aplinkos mobilumo mieste poveikį. Šių dviejų pagrindinių veiksnių vidinis ryšys su jų ryšiu su kitais veiksniais tiriamas abejojant, kaip šios asociacijos daro įtaką transporto rūšių perėjimui, grūsčių lygiui ir su transportu susijusiai energijos suvartojimui. Tolesniuose punktuose įvertintos išvados remiantis minėtais tyrimais.

Ribota literatūros apie kultūros poveikį kelionių elgsenos analizei yra nedaug. Anksčiau nebuvo atlikta jokia makroskopinė nacionalinės kultūros ir kelionių į miestus santykio analizė. Šiame darbe išanalizuoti 87 miestai, paskirstyti 41 šalyje. Ištirtas ryšys tarp kultūros dimensijų ir kelionių po miestus modelių. Taip pat buvo parodytas ryšys tarp kultūros ir kai kurių demografinių rodiklių (gyventojų tankio ir BVP vienam gyventojui), glaudžiai susijusių su kelionių pasirinkimu. Be to, buvo parodyti ryšiai tarp pasirinkto miesto kelionės būdo (vairuoti ir viešojo transporto) ir kai kurių su transportu susijusių rodiklių.

Kai kurios šalys, pvz., Nyderlandai, Danija ir Vengrija, demonstravo labai aukštą individualumą ir labai žemą važiavimo automobiliu lygį. Olandija ir Danija jau seniai naudojasi dviračiais kaip miesto transportu. Dviračių sportą galima vadinti ekologiška individualia kelionių rūšimi. Galima daryti prielaidą, kad miestų planuotojai ir politikos formuotojai turėtų apsvarstyti galimybę pritaikyti dviračių transporto infrastruktūrą, kad būtų sumažintas transporto priemonių priklausomumas nuo šalių, kuriose yra didelis individualizmas. Galbūt kultūra gali paaiškinti, kodėl viešasis transportas nesėkmingai globojamas vietose, kuriose yra didelis individualizmas. Tačiau tyrimas kiekybiškai neapėmė dviračių transporto ir dviračių infrastruktūros vaidmens, nes daugumoje miestų dviračių dalis nebuvo prieinama, o tai trukdo daryti tam tikrą išvadą. Vengrijoje yra vienas didžiausių neapibrėžtumų tarp visų šalių, kuriose viešasis transportas naudojamas daug. Po kolektyvizmo neapibrėžtumas turi antrą didžiausią įtaką viešojo transporto naudojimui. Šis rezultatas rodo, kad investicijos į viešąjį transportą gali būti geras pasirinkimas vietose, kur didelis kolektyvizmas ir didelis netikrumas, siekiant užkirsti kelią mobilumui, priklausomam nuo automobilių.

Atsižvelgiant į daugybę klaidų šaltinių ir apribojimų, buvo gautos geros koreliacijos vertės tarp pagrindinių Hofstede kultūros dimensijų: IND / COL ir kelionių įpročiai buvo parodyti pagrįstai gerai. Analizė parodė, kad šalys, turinčios aukštesnį individualizmo balą, sukūrė labiau individualistinę su transportu susijusią aplinką, o tai savo ruožtu lemia daugiau vairavimo. Kita vertus, kolektyvinės tautos yra linkusios naudoti daugiau viešojo transporto. Taip pat pastebima, kad neapibrėžtumas ir vyriškumo kultūros aspektai daro didelę įtaką naudojimui viešuoju transportu. Yra svarių įrodymų, kad tautoms padidėjus medžių kultūros dimensijoms: kolektyvizmas, netikrumas ir vyriškumas lemia didesnę viešojo transporto naudojimą. Tačiau didžiausią

įtaką viešojo transporto naudojimui turi IND / COL matmenys. Galiausiai rezultatai parodė, kad kultūra gali būti pagrindinė miesto transporto planavimo priemonė. Jei galime numatyti, kurios alternatyvios transporto sistemos galėtų būti pritaikytos taikaus miesto mieste, galime pasiekti tvarų miesto transportą.

Aukštojo mokslo lygio įtaka pasirenkant kelionių mieste būdą buvo ištirta atliekant didelę ir įvairią atvirą 45 miesto vietovių iš 30 šalių duomenų kolekciją. Aukštojo išsilavinimo lygis taip pat kontroliuojamas atsižvelgiant į gyventojų tankį ir BVP vienam gyventojui, kurie daro didelę įtaką elgsenai kelionėse. Pagrindinis rezultatas parodė, kad išsilavinimo lygio padidėjimas daro didžiausią įtaką sumažėjusiai vairavimo režimo daliai miestuose, o padidėjęs gyventojų tankumas sumažina vairavimo režimo dalį, o ne BVP vienam gyventojui padidėjimas. Šio tyrimo rezultatas aiškiai nustatė, kad aukštojo mokslo lygis daro didelę įtaką kelionių režimo pasirinkimui miestuose. Tikėtina, kad viena hipotezė galėtų būti tai, kad labiau išsilavinusios visuomenės perka mažiau automobilių, mažiau vairuoja ir naudoja alternatyviomis judrumo sistemomis labiau dėl aplinkos ir sveikatos problemų. Apibendrinant, rezultatas parodė, kad piliečių švietimas yra svarbus būdas sumažinti priklausomybę nuo automobilių.

Anksčiau ribotas palyginamų duomenų apie miestų socialinę ir ekonominę, transporto infrastruktūrą ir transporto veiklos rezultatus prieinamumas trukdė atlikti holistinę analizę su daugeliu rodiklių, nes trūko įvairovės. Šie apribojimai buvo pašalinti, analizuojant OSM duomenis, „Tomtom“ duomenis ir duomenis iš centralizuotų interneto duomenų bazių. Iki šiol nebuvo atlikta sisteminė pasaulinės infrastruktūros analizė, pagrįsta OSM duomenimis. Naudojant „Python“ paketą, vadinamą OSMnx, buvo įmanoma išgauti skirtingus tinklo tipus iš OSM duomenų, atsiųstų iš skirtingų pasaulio miestų. 151 analizuotas miestas yra paskirstytas 51 šalyje. Buvo išnagrinėti visi miestai ir pogrupiai tarp miestų, turinčių skirtingą gyventojų skaičių (maži miestai, subrendę miestai ir didmiesčiai). Ištirti ryšiai tarp socialinių ir ekonominių rodiklių, infrastruktūros prieinamumo ir grūčių lygio.

Įrodyta, kad tinkamos infrastruktūros prieinamumo, socialinių ir ekonominių rodiklių bei grūčių lygio koreliacijos vertės yra pagrįstos. Aiškiai teigiama koreliacija tarp erdvinės miesto teritorijos ir didėjimo rodiklių didmiesčiuose, brandaus amžiaus miestuose ir visuose miestuose yra nereikšminga, nes naujagimių skaičius yra proporcingas gyventojų skaičiui. Įdomus yra neigiamas santykis tarp gyventojų tankio ir BVP, tenkančio vienam gyventojui, rodo, kad ekonomiškai silpnesni miestai patiria daugiau spūčių - tai ypač pasakytina apie metropolijas. Taip pat faktas, kad spūčių lygis (ADETT) didėja padidėjus gyventojų tankiui, nestebina ir patvirtina, kad miestai stengiasi išlaikyti transporto infrastruktūrą, atsižvelgiant į didėjantį eismo intensyvumą (keliones vienam kv. Km). Tačiau buvo įrodyta aukšta teigiama koreliacija tarp gyventojų tankio ir viešojo transporto, važiavimo

dviračių, pėsčiųjų perėjimo būdų, o tai rodo, kad tankesni miestai sėkmingai mažina priklausomybę nuo automobilių. Analizės taip pat parodė, kad miestai, kurių BVP yra didesnis, sukūrė daugiau infrastruktūros, o tai savo ruožtu lemia mažesnes grūstis. Santykis tarp infrastruktūros prieinamumo ir perkrovos lygių buvo išmatuotas naudojant regresijos modelius. Miestuose, kuriuose yra nedidelis gyventojų tankis (mažesnis nei maždaug 1500 colių / kv. Km), daugiau kelių vienam gyventojui sukelia mažesnes grūstis. Metropolijose ir brandaus amžiaus miestuose, kuriuose yra didelis gyventojų tankumas, spūsčių lygis paprastai yra mažesnis, kai geležinkelio infrastruktūra vienam asmeniui yra didesnė. Yra rimtų įrodymų, kad padidėjusio tankumo miestuose traukinių infrastruktūros prieinamumas labiau nuvargina, o ne padidina kelių infrastruktūros prieinamumą. Be to, padidėjęs dviračių infrastruktūros dydis vienam asmeniui žymiai sumažina spūstis 42 mažuose pasaulio miestuose, kuriuose gyvena mažiau nei 800 000 gyventojų.

Anksčiau tik ribota holistine analize buvo bandoma ištirti miesto tinklo topologijos įtaką transporto našumui daugiausia dėl to, kad trūko duomenų iš alternatyvių tinklų tipų. Išanalizavome topologinių rodiklių, turinčių kelių tinklų sluoksnius, įtaką tinklo našumui. 86 analizuoti miestai rodo įvairovę, nes jie pasiskirstę 32 šalyse.

Ištirti ryšiai tarp tinklo topologijos rodiklių ir perkrovos lygio. Parodytos geros topologinių variantų ir grūsčių lygio koreliacijos vertės. Keli linijinės regresijos modeliai buvo bandomi visam miestų rinkiniui, taip pat konkrečioms pogrupiams (miestai su subrendusiais geležinkeliais - 53 miestai ir miestai su subrendusiais dviračių takais - 28 miestai). Buvo pasiūlyti kalibruoti regresijos modeliai, kiekybiškai apibūdinantys ryšį tarp transporto infrastruktūros, topologijos ir veiklos rodiklių.

Buvo nustatyta naudingų grūsties ir tinklo rodiklių sąsajų. Išaiškintos su atvirojo kodo duomenimis susijusios klaidos ir duomenų apribojimai. Dėl išvadų padaryta keletas išankstinių prielaidų. Pagrindinė tyrimo mintis yra parodyti su tinklo projektavimu susijusių veiksmų įtaką kelių eismo efektyvumui. Atsižvelgiant į išvadas matyti, kad kelių tinklo jungiamumas mažais atstumais yra svarbus mažinant transporto spūstis. Kita hipotezė yra tai, kad atstumu pagrįstas alternatyvių tinklų sujungimas daro įtaką pasirinkus važiavimo būdą, o tai savo ruožtu keičia kelių eismo intensyvumą. Vienas konkretus klausimas buvo išspręstas miesto planavimo srityje: kas veiksmingiau mažinant grūstis, atsižvelgiant į tvarumą, gerai sujungtų kelių tinklų tiesimas mažu cirkuliacija ar gerai sujungtų alternatyvių tinklų, turinčių mažą cirkuliaciją, statyba? Viešojo transporto tinklai yra labiau žiediniai nei keliai, o tai yra viena iš priežasčių, kodėl automobiliui teikiama pirmenybė, o ne viešasis transportas [22]. Padidėjęs vidutinis viešojo tranzito tinklų cirkuliacija gali panaikinti važiavimą tranzitu ir paskatinti judėjimą keliais. Alternatyvioms tinklo sistemoms įsibėgėjus, kelių infrastruktūros ir DBC

rodikliai daro mažesnę įtaką spūstims. Tikriausiai dėl to, kad miestuose, turinčiuose brandaus viešojo transporto ar dviračių tinklą, mažiau žmonių naudojami automobiliai, sumažėja kelių infrastruktūros svarba. Šie naudingi duomenys rodo, kad alternatyvių tinklo sistemų, tokių kaip geležinkeliai ir dviračių takai, jungimas mažu atstumu gali pritraukti daugiau automobilių vairuotojų į alternatyvius režimus. Turint duomenis apie kiekvienos rūšies vidutinius dienos kelionių atstumus, tyrimas galėtų būti toliau naudojamas siekiant nustatyti ryšį tarp DBC rodiklių ir nuvažiuoto atstumo.

Kokybiški atvirojo kodo duomenys iš centralizuotų duomenų bazių leido nuosekliau ir išsamiau analizuoti daugelio pasaulio miestų transporto tinklus. Iki šiol iš skirtingų duomenų bazių buvo gauta informacija apie miesto teritoriją, gyventojus, vidutinius privataus ir viešojo transporto maršrutus į darbą ir atgal, konkretų energijos suvartojimą ir transporto rūšių paskirstymą. Vis dėlto buvo sunku gauti vienalyčius duomenis iš pakankamo skaičiaus miestų. Miesto ribos, mėginių ėmimo datos ir tam tikrų kiekių skaičiavimo metodai nebuvo vienodi. Užuoat pašalinus didelį miestų skaičių dėl nepakankamų duomenų, buvo nuspręsta įvertinti trūkstamus duomenis iš alternatyvių šaltinių, nors tai gali iškreipti rezultatus. Nurodyta, kokie duomenys buvo įvertinti kokiu metodu ir kuriam miestui. „Openstreetmap“ (OSM) teikiama turtinga informacija apie transporto infrastruktūrą buvo naudojama miesto transporto tinklų kelio, geležinkelio ilgio ir dviračių tako ilgio gavimui naudojant atvirojo kodo programinę įrangą, vadinamą OSMNx. Remiantis surinktais miesto duomenimis, buvo apskaičiuota su transportu susijusi energija, kuri yra svarbus miesto transporto sistemos tvarumo etalonas. Transporto energijos suvartojimas iš esmės priklauso nuo dviejų dydžių: modalinio padalijimo ir vidutinio kelionės į darbą ir atgal atstumo.

Pagrindinis analizės tikslas bus nustatyti kiekybinį ryšį tarp gyventojų tankio, transporto infrastruktūros ir transporto energijos suvartojimo. Ištirtas ypatumas, kurį jau pabrėžė Newmanas ir Kenworthy [19]: mažo gyventojų tankio miestuose iš JAV, Kanados ir Australijos transporto energijos sunaudojimas yra nepaprastai didelis (2–4 kartus didesnis nei vidutinio tankio Europos ar Azijos miestuose). Šio tyrimo rezultatai aiškiai įvardijo didelę asmeninių automobilių rūšių dalį kaip pagrindinę priežastį, kodėl tokiuose miestuose sunaudojama daug transporto energijos, o ilgesnis vidutinis važiavimo į darbą ir atgal atstumas mažo gyventojų tankio miestuose turi mažesnę įtaką jų transporto energijos suvartojimui.

Ištirti du kiekiai, kurie gali daryti didelę įtaką miestų transporto energijai, žr. (14, 15): modalinis padalijimas ir vidutinis kelionės į darbą ir atgal atstumas. Iš dabartinių miesto duomenų rinkinio yra statistinių duomenų, kad privačių kelionių į darbą ir atgal atstumas tiesiškai mažėja, atsižvelgiant į gyventojų tankį, žr. (17). Modelis rodo maždaug 50% atstumą nuo miesto iki

didžiausio ir mažiausio gyventojų tankio kelionių į darbą ir atgal atstumo. Tačiau šio atstumo modelio klaidos yra gana didelės.

Kalbant apie modalinį paskirstymą, rastas reikšmingas tiesinis ryšys tarp kelių infrastruktūros prieinamumo (RIA) ir automobilių režimo dalies (MSC), žr. (15). Šiuo atveju miestų, kurių žemiausia ir aukščiausia RIA, MSC santykis yra maždaug 400%. Šis rezultatas reiškia, kad RIA daro daug didesnę įtaką transporto rūšių daliai, nei gyventojų tankis daro atstumą į darbą ir atgal. Viešojo transporto infrastruktūrą gali parodyti tik geležinkelio ilgis, išgaunamas iš kiekvieno miesto OSM duomenų. Šios informacijos nepakanka, kad būtų galima nustatyti ryšį tarp viešojo transporto infrastruktūros ir viešojo transporto rūšių bendro JTPT, nes geležinkelis sudaro tik dalį visų viešojo transporto kelionių. Vietoj to buvo įmanoma įrodyti, kad JTPT mažėja tiesiškai su RIA. Linijiniai RIA, MSC ir MSPT santykiai buvo įrodyti tik empiriškai, o šio ryšio kiekybinio paaiškinimo modelio literatūroje nerasta. Nepaisant to, kadangi RIA reikšmingai nustato abi dalis, MSC ir MSPT, transporto energija buvo įvertinta tiesine regresija, kuri priklauso tik nuo RIA, žr. (19). Nesėkmingi bandymai į transporto energijos sąmatą įtraukti geležinkelių infrastruktūros prieinamumą (TIA) arba dviračių infrastruktūros prieinamumą (BSA) tikriausiai lemia tai, kad abu OSM duomenys yra nepakankamai tikslūs arba neišsamūs, kad paaiškintų atitinkamai viešojo transporto ar aktyvaus transporto rūšių dalį. Tačiau geležinkelio ir dviračių infrastruktūros prieinamumas sumažina modelio klaidas. Tolesni bandymai parodė, kad TIA iš tikrųjų didėja proporcingai geležinkelių transporto rūšių daliai (17 miestų $R^2 = 0.54$), o BIA yra proporcinga dviračių transporto priemonių daliai (32 miestams $R^2 = 0.27$). Labiau tinka, kai susikoncentruojama į tam tikrą sritį: pavyzdžiui, santykis tarp BSA ir dviračio režimo yra labiau tinkamas naudoti tik Europos miestuose, palyginti su visų duomenų bazėje esančių šalių miestais. Vis dėlto aktyviojo režimo dalis apima keliones pėsčiomis, o vaikščiojimo infrastruktūrą sunku įvertinti naudojant OSM duomenis, nes pėsčiųjų takai paprastai nėra pakankamai modeliuojami OSM.

Be to, remiantis supaprastintu kelių tinklo modeliu, buvo nustatyta netiesinė gyventojų tankio ir RIA funkcija, žr. Eq. (20). Šis kalibruotas modelis gerai atitinka empirinį gyventojų tankį ir RIA duomenis ir rodo ryškų RIA padidėjimą, kai gyventojų tankis artėja prie nulio. Šis modelis buvo patikrintas kalibruojant bendresnį modelį, kurio parametrai sumažėjo iki reikšmių, panašių į išvestinį Eq modelį. (20). Funkcijos derinimas Eq. (20) apskaičiuoti RIA iš gyventojų tankio, tiesinį santykį iš Eq. (19) kuris įvertina transporto energiją, buvo įmanoma sukalibruoti statistiškai reikšmingą modelį, pagal kurį transporto energija vertinama kaip gyventojų tankio funkcija, žr. (23). Šis modelis gali paaiškinti pastebimą transporto energijos padidėjimą miestuose, kuriuose gyventojų tankis mažas, kaip nustatė Newmana [19]. Nepaisant to, kai kurie miestai nedera su apskaičiuota energijos kreive: Hamiltone,

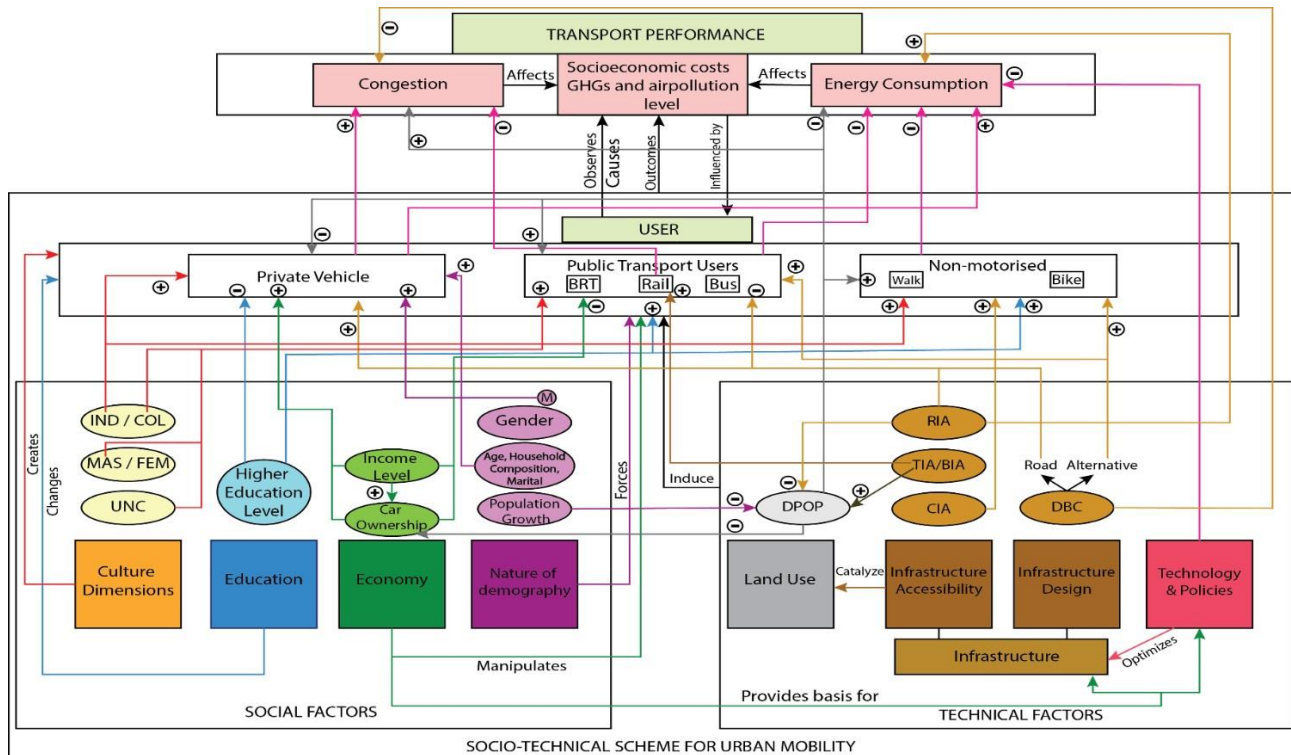
Naujojoje Zelandijoje, automobilis naudoja didelę dalį (94%), tačiau santykinai mažai energijos naudoja dėl mažo gyventojų tankio. Priežastis - santykinai mažas Hamiltono vidutinis kelionės į darbą ir atgal atstumas. Taip pat Hošiminas turi trumpus atstumus į darbą ir atgal, todėl transportui sunaudojama palyginti mažai energijos. Velingtonas sunaudoja mažai energijos dėl savo gyventojų tankio, tačiau, kadangi buvo naudojama didmiesčių teritorija, gyventojų tankis gali būti nepakankamai įvertintas, nes didžioji dalis gyventojų gyvena Velingtono mieste. Nepaisant mažo automobilių būdo, Ispanijos miestai Madridas, Sevilija ir Barselona suvartoja palyginti dideles transporto energijos sąnaudas dėl ypač didelio atstumo, važiuojančio į darbą ir atgal.

Bandomai įtraukti vidutinį važiavimą į darbą ir atgal atstumą kaip tiesinę gyventojų tankio funkciją leido šiek tiek pagerinti transporto energijos pritaikymą, tačiau parametrai tapo statistiškai nereikšmingi ir nėra tinkami paaiškinti šį reiškinį.

Taip pat buvo įvertintas su transportu susijusių išmetamų CO₂ dujų kiekis miesto teritorijose, siekiant pabrėžti poveikį aplinkai. Buvo pateiktas linijinis miesto teritorijų išmetamo CO₂ kiekio išmetimo modelis. Linijinis modelis parodo, kad didėjant RIA padidėja išmetamo CO₂ kiekis, kai padidėjęs RIA skatina miestų plėtrą ir padidina automobilių naudojimą, o transportas išmetamo CO₂ išmetimas yra didžiausias.

Miestai, kurių gyventojų tankumas yra nedidelis, vienam gyventojui turi suteikti neproporcingai ilgą kelių ilgį, kad būtų galima padengti teritoriją ir apriboti ilgesnius nuvažiavimus atsižvelgiant į regėjimo liniją. Tai gali reikšti, kad linijinis viešasis transportas negali sutapti su kelių tinklo jungiamumu mažo gyventojų tankio miestuose. Norint sumažinti energijos suvartojimą mažo tankio miestuose, turi būti padidintas automobilių energijos vartojimo efektyvumas, pavyzdžiui, naudojant akumuliatorines elektrines transporto priemones. Arba naujos paklausą reaguojančios viešojo transporto sistemos turi tapti konkurencingos mažo tankio gyvenvietėse.

Aukščiau buvo atlikta sisteminė literatūros apžvalga ir visame pasaulyje daugiamatė transporto rodiklių analizė. Rezultatai buvo įvertinti ir pateikiami kaip pasaulinės analizės ir išsamios literatūros apžvalgos rezultatų santrauka. Socialinių-techninių veiksmų tarpusavio ryšiai, jų įtaka vartotojams ir transporto našumui buvo pateikti žemiau pateiktoje scheme: **15 pav.** Holistinis ir integruotas vaizdas. Atliekant daugiamatę analizę, naudojant loginę architektūrą, identifikuojami rodikliai ir jų sąveika [10]. Sukurtos schemos rodyklės parodo, kaip padidėjęs bet koks socialinis-techninis faktorius daro įtaką sekantiems indikatoriams su pliuso ir minuso ženklais.



15 pav. Socialinė ir techninė judumo mieste schema

IŠVADOS

1. Šis darbas parodė, kaip sumažinti miesto transporto *socialinį ekonominį (nelygybė ir kelionės išlaidos) ir aplinkos (su transportu susijusios energijos suvartojimas, CO2 išmetimas ir oro tarša)* poveikį. Nagrinėjant pasaulio miestų panašumus ir skirtumus ir suprantant, kaip šiuos miestus formavo socialiniai-techniniai veiksniai, paaiškėjo, kokias judumo strategijas galima išlaikyti esant tokioms socialinėms ir techninėms sąlygoms.

2. Pirmenybė vartotojui yra gyvybiškai svarbi, nes kelionės režimo pakeitimas į viešojo transporto ir nemotorines transporto rūšis yra vienas iš pagrindinių būdų sumažinti *socialinį ir ekonominį poveikį aplinkai*. Pirmasis tvaraus transporto planavimo etapas yra supratimas, kokią alternatyvų kelionės būdą galima išlaikyti esant skirtingoms socialinėms ir techninėms sąlygoms, ir tai, kaip pritraukti kelionių vartotojus į tvarias transporto rūšis. Išvados, susijusios su tvaraus transportavimo pirmąja dalimi, pabrėžiamos taip:

* Rezultatai parodė, kad kultūra gali būti pagrindinė miesto transporto planavimo priemonė. Analizė parodė, kad šalys, turinčios aukštesnį individualizmo balą, sukūrė labiau individualistinę su transportu susijusią aplinką, o tai savo ruožtu lemia daugiau vairavimo. Kita vertus, kolektyvinės tautos yra linkusios naudoti daugiau viešojo transporto. Taip pat kai kurios šalys, pasižyminčios dideliu individualizmu, rodo polinkį į dviračių sportą. Svarbūs pavyzdžiai yra Nyderlandai ir Danija, kur vairavimo ir viešojo transporto rūšių dalis yra maža, palyginti su kitomis šalimis, tačiau individualizmo indeksai yra aukšti - atitinkamai 82 ir 74.

* Be to, Vengrija turi aukštus individualizmo indeksus, kurių vertė yra 80, ir tuo pat metu turi didelę viešojo transporto rūšių dalį (45 proc.). Pastebėta, kad neapibrėžtumo aspektas yra labai susijęs su viešojo transporto naudojimu, o Vengrijoje yra vienas didžiausių neapibrėžtumo indeksų, kurio vertė 82 yra tarp visų šalių.

* Yra svarių įrodymų, kad pateiktas daugialypės regresijos modelis *Eq. (5)* ($R^2 = 0,55$) parodė, kad tautoms išaugus trims kultūros aspektams: kolektyvizmas, netikrumas ir vyriškumas lemia, kad visuomeninis transportas yra naudojamas labiau. Prognozuoti alternatyvias transporto sistemas, kurios galėtų būti pritaikytos taikiamame mieste, svarbu tvaresniam būdu sumažinti priklausomybę nuo automobilių.

* Rezultatai parodė, kad piliečių švietimas yra svarbus būdas sumažinti priklausomybę nuo automobilių sukuriant supratimą apie aktualijas. Linijinis funkcijos modelis *Eq. (6)* ($R^2 = 0,62$) parodė, kad išsilavinimo lygio padidėjimas daro didžiausią įtaką miesto vairavimo įpročiams miestuose, palyginti su žemės naudojimo ir pajamų lygio veiksniais. Išsilavinimo lygis

mažėjantiems automobiliams daro maždaug 2 kartus daugiau, nei padidėjęs BVP vienam gyventojui padidina vairavimą.

* Rezultatai parodė neigiamą koreliaciją tarp viešojo transporto naudojimo ir BVP vienam gyventojui, o miestai, kurių BVP vienam gyventojui didesnis, paprastai važiuoja daugiau. Tačiau tarp pajamų lygio ir nemotorizuotų transporto rūšių, ypač važiuojant dviračiu, nėra ryškos koreliacijos. Įdiegus dviračių transporto infrastruktūrą, paslaugos būtų teikiamos dideles pajamas gaunančioms vietoms.

* Nustatytas reikšmingas tiesinis ryšys ($R^2 = 0,58$) tarp kelių infrastruktūros prieinamumo (RIA) ir privačių automobilių režimo dalies: automobilio režimo dalis didėja didėjant RIA, o tai yra pagrįsta visuose miestuose. Tolesni bandymai parodė, kad TIA iš tikrųjų didėja proporcingai geležinkelių transporto rūšių daliai (17 miestų $R^2 = 0,54$), o CIA yra proporcinga dviračių transporto rūšių daliai (32 miestams $R^2 = 0,27$). Dėl bet kokio tinklo prieinamumo padidėja jo naudojimas, o padidėjus gyventojų tankiui - padidėja viešojo transporto ir aktyvių transporto rūšių naudojimas. Rezultatai taip pat parodė, kad gerai sujungti alternatyvūs tinklai su trumpais tiesioginiais maršrutais gali paskatinti režimo keitimą iš automobilio į geležinkelius ar dviračius, taigi gali sumažėti kelių eismo intensyvumas.

3. Antrasis tvaraus transporto planavimo etapas yra supratimas, kokiomis techninėmis sąlygomis miesto transporto sistema gali sumažinti *socialines ir ekonomines sąnaudas bei poveikį aplinkai*. Du pagrindiniai veiksniai: žemės naudojimas ir transporto infrastruktūra bei jų tarpusavio ryšys buvo įrodytas išsamiai paaiškinant su transportu susijusios energijos suvartojimą, CO₂ išmetimą ir grūstis miestuose. Be to, paaiškėjo infrastruktūros projektavimo poveikis grūčių lygiui. Išvados, susijusios su antruoju tvaraus transportavimo etapu, pabrėžiamos taip:

* Rezultatai parodė, kad, ypač miestuose, kuriuose mažas gyventojų tankis (*mažesnis nei maždaug 1500 colių / kv. Km*), didesnis kelių prieinamumas (keliai vienam gyventojui) lemia mažesnes grūstis; miestuose, kuriuose didelis gyventojų tankis (*daugiau nei maždaug 1500 colių / kv. km*), spūčių lygis paprastai yra mažesnis, jei geležinkelių infrastruktūros santykis vienam asmeniui yra didelis. Be to, šie miestai, didinantys geležinkelių prieinamumą (geležinkelius vienam gyventojui), veiksmingiau mažina spūstis, nei padidina kelių ilgį vienam asmeniui (*maždaug 4 kartus daugiau*). Be to, maži miestai, didinantys dviračių takus vienam asmeniui, žymiai palengvina spūstis.

* Tinklo projektavimo vaidmuo įvertintas atsižvelgiant į grūstis, kontroliuojant infrastruktūros prieinamumą ir tinklo tankį. Rezultatai parodė, kad padidėjęs vidutinis kelių tinklo jungiamumas mažais atstumais (vidutinis uždarumo vidurkis ir RCRC) palengvina kelių spūstis, greičiausiai todėl, kad

kelių eismas yra tolygiau paskirstomas tinkle, kuriame yra mažiau pralaidūs droselio taškai.

* Be to, padidėjęs vidutinio trumpo atstumo jungiamumas tarp alternatyvių tinklo sistemų (vidutinis svertinis geležinkelio klasterio koeficientas, vidutinis ciklo uždarojo centrumas) palengvina kelių spūstis. Visų pirma miestuose, kuriuose dviračių takų tinklas yra subrendęs (*dviračių kelio tankis didesnis kaip 0,4 km / km²*), padidėjus dviračių takų uždarojo centrui, spūstys sumažėja beveik tokiu pat veiksmingumu, kaip padidėja kelių infrastruktūros prieinamumas.

* Netiesiniam gyventojų tankio ir RIA ryšiui paaiškinti buvo sukurtas supaprastintas fenomenologinis modelis. RIA mažėja, kai viena viršija *kvadratinę gyventojų tankio šaknį*. Iš tikrųjų RIA veikia kaip miesto žemės katalizatorius. Remiantis gyventojų tankio ir infrastruktūros prieinamumo ryšiu su jų įtaka modaliniam pasiskirstymui ir vidutiniais kelionių atstumais, buvo sukalibruota hiperbolinė funkcija ($R^{-2} = 0,65$) tarp gyventojų tankio ir transporto energijos, o tai paaiškina greitą transporto energijos suvartojimas mažo gyventojų tankio miestuose.* Apskaičiuotas su transportu susijusių išmetamųjų CO₂ dujų kiekis miesto teritorijose, siekiant įvertinti poveikį aplinkai. Kalibruotas linijinis ($R^2 = 0,57$) su transportu susijusių išmetamųjų CO₂ dujų kiekis miesto teritorijose, kai išmetamo CO₂ kiekis didėja didėjant RIA. Miestai, suskirstyti į aukščiausią RIA zoną, šie miestai išmeta vidutiniškai 4-5 kartus daugiau su transportu susijusių CO₂ dujų, palyginti su kitomis miestų grupėmis.

* Grafiko analizė taip pat parodė, kad didėjanti RIA skatina miestų plėtrą ir skatina automobilius naudoti tuo pačiu metu, o savo ruožtu su transportu susijusios CO₂ emisijos yra didžiausia. Ši asociacija yra pagrindinis veiksnys, turintis įtakos su transportu susijusio išmetamo CO₂ kiekiui miestuose. Pavyzdžiui, Honkongas yra miestų, kurių RIA yra žemiausia, klasteryje, tuo tarpu jų tausojamasis režimas yra didžiausias ir gyventojų tankumas yra didžiausias. Vienam *gyventojui per metus mieste išmetama apie 4500 kg CO₂*. Palyginti su Filadelfijos miestu, kuris yra miestų, kurių RIA yra didžiausias, klasteryje, didžiausias automobilių vartojimas ir mažiausias miesto tankis išmeta apie 40200 kg vienam gyventojui. Maždaug 9 kartus daugiau!

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Pasaulio bankas, (2018). *Miesto plėtros apžvalga*. Gauta iš <http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>.
2. Hausteina, K. et al. (2017). Visuotinio atšilimo indeksas realiu laiku. Sci. Rep. 7, 15417.

3. Tarptautinė energetikos agentūra (TEA), 2013 m. Politikos keliai: atsinaujinusių miestų pasakojimas. Tarptautinė energetikos agentūra, Paryžius, 98 psl.
4. Tarptautinė energetikos agentūra (TEA), 2012 m. „World Energy Outlook 2012“. Tarptautinė energetikos agentūra, EBPO / TEA, Paryžius, Prancūzija, 690 p. ISBN: 978-92-64-18084-0.
5. Tarptautinė energetikos agentūra (TEA), 2011 m. Degalų deginimo metu išmetamas CO2 kiekis, svarbiausi dalykai. 66 psl.
6. Lerner, W., S. Ali, R. Baronas, A. Doyon, B. Herzog, D. Koob, O. Korniiichuk, S. Lippautz, K. Song ir M. Zintel. 2011. *Judumo mieste ateitis*. ADL ataskaita.
7. Currie, J. ir Walker R., (2011). *Eismo spūstys ir kūdikių sveikata: įrodymai iš „e-zpass“*. Amerikos ekonomikos žurnalas: Taikomoji ekonomika, 3 (1): 65–90, 2011 m.
8. Miesto transporto grupė, 2018 m. „Rail Cities UK“: *Mūsų ateities vizija*. Ataskaita Gauta iš: <http://www.urbantransportgroup.org/resources/types/reports/rail-cities-uk-our-vision-their-future>.
9. Creutzig F. and D. He (2009). *Klimato kaitos švelninimas ir įgyvendinamos transporto paklausos politikos Pekine nauda*. Transporto tyrimų D dalis: Transportas ir aplinka **14**, 120 - 131.
10. Awasthi, A., Chauhan, S. S., & Goyal, S. K. (2011). Kelių kriterijų sprendimų priėmimo metodas planuojant miesto paskirstymo centrus, esant neaiškumams. Matematinis ir kompiuterinis modeliavimas, 53 (1–2), 98–109.
11. R. Priesteris, M. Miramontesas, G. Wulfhorstas. (2014). Bendrasis mobilumo mieste kodas: kaip miestai gali skatinti tvarią plėtrą ateityje? „Transportation Research Procedia“, 4, 90–102 psl.
12. Bagan H, Yamagata Y (2014) Žemės dangos pokyčių analizė 50 pasaulio miestų, naudojant „Landsat“ duomenų derinį ir tinklo elementų analizę. Aplinkosaugos tyrimų laiškai 9 (6): 13. [101088 / 1748-9326 / 9/6/064015](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.06.015).
13. Newman, P., (2015), „Transporto infrastruktūra ir tvarumas: nauja planavimo ir vertinimo sistema“, 4 tomas, leidimas: 2, p. 140–153, <https://doi.org/10.1108/SASBE-05-2015-0009>.
14. ES Komisija. (2017). Tvarus mobilumas mieste: politikos kontekstas. Gauta iš: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2017-sustainable-urban-mobility-policy-context.pdf>
15. Newman, P., & Kenworthy, J., (2015). Automobilio priklausomybės pabaiga. Washington D.C.: Island Press.

16. Litman, T., (2005). „Geležinkelių tranzito poveikis transporto sistemos veikimui“ 1930 m. Transporto tyrimų ataskaita, Transporto tyrimų valdyba (www.trb.org), 2005, 23–29 p.
17. Litman, T., (2018). Sukurtas eismas: transporto planavimo padariniai. Ataskaita. Viktorijos transporto politikos institutas.
18. CityLab, (2012). Važiavimo skatinimas keičiant autobusus geležinkeliu. Ataskaita. Retrieved from: <https://www.citylab.com/transportation/2012/09/boosting-ridership-replacing-buses-rail/3222/>.
19. Newman, P.W.G., Kenworthy, J.R., 1988. Transporto energijos kompromisas: Ekologiškai efektyvus eismas, palyginti su daug energijos naudojančiais miestais. Transporto tyrimai 22A (3), 163–174.
20. Brownstone D, Golob TF (2009). Gyvenamųjų namų tankio įtaka transporto priemonių naudojimui ir energijos suvartojimui. Miesto ekonomikos žurnalas 65: 91–98.
21. Parthasarathi, P. (2014). Tinklo struktūra ir didmiesčių mobilumas. Transporto ir žemės naudojimo žurnalas, 7 (2), 153–170. <https://www.jtlu.org/index.php/jtlu/article/view/494>.
22. Huang, J. & Levinson, D.M. (2015). Apyvartumas miesto tranzito tinkluose. J. Transp. Geogr., 48, 145–153.



MB „Veretimų pasaulis ir Ko“

Parasas / Signature

Data / Date 2025-11-06

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

Publikacijos, išvardytos „Web of Science“ duomenų bazėje:

- **Transport indicator analysis and comparison of 151 urban areas, based on open source data**

European Transport Research Review, Open Access Journal

Ali Enes Dingil*, Joerg Schweizer, Federico Ruppi and Zaneta Stasiskiene
<https://doi.org/10.1186/s12544-018-0334-4>

Published: 13 December, 2018

- **Updated models of passenger transport related energy consumption of urban areas**

Sustainability, Open Access Journal

Ali Enes Dingil*, Joerg Schweizer, Federico Ruppi and Zaneta Stasiskiene
<https://doi.org/10.3390/su11154060>

Published: 27 July, 2018

Publikacijos kituose tarptautiniuose mokslo žurnaluose:

- **The Role of Culture on Urban Travel Patterns: Quantitative Analyses of Urban Areas based on Hofstede's Culture Dimensions**

Social Sciences, Open Access Journal

Ali Enes Dingil*, Federico Ruppi, Joerg Schweizer, Zaneta Stasiskiene, Kasra Aalipour

<https://doi.org/10.3390/socsci8080227>

Published: 29 July, 2018

- **A Macroscopic Analysis of Transport Networks: The Influence of Network Design on Urban Transportation Performance**

International Journal of Transport Development and Integration, Open Access Journal

Ali Enes Dingil*, Joerg Schweizer, Federico Ruppi and Zaneta Stasiskiene
<https://doi.org/10.2495/TDI-V3-N4-331-343>

Published: October 2019; Vol. 3, No. 4 (2019), 1–14.

- **Road network extraction with OSMNx and SUMOPy**

Published: June 25, 2018

Epic in Engineering, Open Access Journal

Ali Enes Dingil*, Joerg Schweizer, Federico Ruppi and Zaneta Stasiskiene
<https://doi.org/10.29007/t7pk>

Published: 25 June, 2018

INFORMACIJA APIE AUTORIŲ

Ali Enes Dingil gimė 1990 m. rugpjūtis 3 d. Bursa, Turkey.

Išsilavinimas

2004-2008 m. Ulubathı Hasan koledžas;

2008-2012 m. Hitit universiteto, chemijos inžinerija;

2013-2015 m. Life Sciences Prague universitetas, magistrantūros, aplinkos ir technologijos inžinerija

Kontaktinė informacija: el. paštas: ali.dingil@ktu.edu

SUMMARY

The background and the relevance of the research

Worldwide, 55% of the global population lives in urban areas and the present urban population is projected to increase from today's 4 billion people to 6 billion by 2050 [1]. Mainly as a result of migration from rural areas, cities are growing in terms of inhabitants and urban area and form new residential areas outside or further away from the city core. However, the speed of urbanization presents challenges such as meeting the growing demand for transport infrastructure, transport energy consumption and related costs, air pollution, global warming and congestion. Definitely, one of the recent growing global concern is global warming. Facing with global warming, the Paris Agreement has been drafted in 2015 with the aim to keep the global average temperature increase below 2 °C with respect to pre-industrial levels. One year after, in 2016, a record-setting global mean surface temperature (GMST) has been measured for the third year in a row [2]. In the meanwhile, there is little doubt that the main reason for global temperature change is anthropogenic with transportation being one of the major contributors to global warming by human activities. According to the International Energy Agency (IEA), the total global energy consumption for transport reached 28% of the total end-use global energy in 2010, of which urban transportation accounts for approximately 40% [3, 4]. Furthermore, the transport sector in 2009 produced over 6,500 million tonnes of CO₂-equivalent emissions (equal to 22.5% of total energy-related CO₂ emissions), of which roughly 75% are from road-based transportation [5]. Consequently, reducing transport related energy consumption is one of the main objectives of transport planners with the aim to achieve a more sustainable mobility. In addition, with growing population, one of the biggest challenge for urban transportation is congestion. According to estimations, citizens will spend three times more than now in traffic jams, which equals 106 hours per year by 2050 [6]. Costs of urban traffic congestion equal 557 million US\$ per year in the United States (US) economy, and £13 billion per year in the United Kingdom (UK)'s economy [7, 8]. Furthermore, forecasted congestion costs will reach £21 billion per year for the UK by 2030. Social costs of urban mobility in Beijing reached 7.5–15% of city GDP as a combined impact of congestion, accidents and pollution [9].

Sustainable mobility can be defined as satisfying current transport needs without sacrificing the ability of future generations to meet transport systems where social, environmental and economic accessibility can be sustained [10]. The level of satisfying objectives for these three dimensions represents the degree of sustainable mobility. Urban areas consist of same components and their interrelations in which individual framing conditions make the difference

on characteristics of urban systems [11]. Urban zones take different user privileges and urban characterizations as a result of differences on socio-technical factors: cultural, educational, income level, nature of demography, technological, land use and infrastructure. As an example, in the US, people tend to live in low-density, single-family houses and commute by car to work. In Japan by contrast, high-rise residential buildings dominate and workers commute by public transportation (mostly rail-based) [12]. Local governments and urban transportation planners want to know if planned transport investments would sustain in time. Some major challenges highlighted above and the efforts towards enhancing sustainable mobility requires an integrated and strategic planning as urban mobility bounds up with multi-dimensional factors. Local planning is necessary as each urban zone is under different socio-technical conditions. These questions are addressed here: *How the urban mobility system work under different built environments and how the system variants interrelate? In turn, which transport strategies would be sustainable and under which conditions?* To answer these questions, each socio-technical factors should be examined systematically. In multi-dimensional analysis, a series of indicators and interaction among them are identified through using logic architectures [10]. The correlations and internal relations between these factors, how these factors affect users and transport performance and what all these relations will bring should be identified. To do this, worldwide analysis and comparison of urban areas is necessary because it is of paramount importance in order to draft or reassess a holistic transport planning. Holistic socio-technical analysis for urban mobility have not yet been traced in literature and local analysis alone cannot draw a holistic view of the topic. Examining similarities and differences within urban areas and worldwide assessment of recent urban mobility strategies helps in understanding which alternative sustainable system can be successful and under which socio-technical conditions. Also, understanding how cities are shaped by setting the appropriate transport priorities can help to achieve sustainable mobility objectives [13].

Aim of the research: The aim of the research is to establish the role of socio-technical factors in enhancing sustainability of urban mobility system; associations scheme will be used to derive which transport strategies can minimise socio-economic costs and environmental footprint of urban transportation system.

Tasks:

1. To provide the multi-dimensional information, which needs to be collected and processed for the worldwide analysis through detecting identified

and missing associations among socio-technical factors and how the urban mobility system works under different built environments during systematic literature review.

2. To perform the worldwide analysis to identify correlations and quantify those relations by calibrating models based on socio-technical factors and transport performance indicators such as travel modal split, congestion and transport energy consumption.

3. To conclude, as a result of the found correlations, identified models, interrelations between factors and literature contribution; identify an association scheme that can derive which transport planning strategies would be sustainable.

Research object and research methodology details

The research object is urban transportation. The research consists in a systematic literature review and quantitative statistical analysis. The general approach of present thesis is to collect, process, correlate and model. Worldwide analysis and comparison of urban areas require large and diverse multi-dimensional database. Open data are sourced from regional statistical offices, government sources, municipalities and established studies. The Python software package OSMnx was used for extraction and conversion of each transport infrastructure information for the desired urban locations as well as to perform some infrastructure design related calculations. An Excel database was created as a result of specific transportation data drilling, processing and collection. Also, the Excel database is used for the calculation of some urban indicators. The software: IBM SPSS Statistics V25.0 was used for the processing of statistical data analysis.

Scientific novelty and practical value

This is the first, systematic transport multivariate-analysis using recent, directly observable open source data from different urban areas around the world. An integrated and supportive socio-technical scheme was created based on the worldwide analysis and systematic literature review. The results of present thesis and developed supportive socio-technical scheme for urban mobility can be used by local governments, urban transportation planners and policy makers to shape future urban strategies.

Structure and contents of the thesis

The dissertation consists of an introduction, literature review, methodology, six main analysis chapters, conclusions and references.

Conclusions

1. The present thesis have demonstrated how to minimize *socio-economic (inequity and travel costs) and environmental (transport-related energy consumption, CO₂ emissions and air pollution)* impacts of urban transportation. Examining similarities and differences within worldwide cities and understanding how these cities shaped by socio-technical factors demonstrated which mobility strategies could sustain under which socio-technical conditions.

2. User preference is vital since travel mode shift towards public-transit and non-motorised modes is one of the key path to minimize *socio-economic and environmental impacts*. Understanding which alternative travel mode can sustain under different socio-technical conditions and how to attract travel users towards sustainable modes are the first leg of sustainable transportation planning. The conclusions related to the first leg of sustainable transportation are stressed as follows:

* The results have shown that culture can be a key tool on urban transportation planning. Countries with higher individualism have built more individualistic transport-related environment which in turn results in more driving. On the other hand, collective nations tend to use more public transportation. Also, some countries with high individualism show a tendency to adapt to biking. Notable examples are the Netherlands and Denmark where driving and public transport mode shares are low compared to other countries but individualism indices are high with *the value of 82 and the value of 74*, respectively.

* Additionally, Hungary has high individualism indices with *the value of 80* and at the same time has high public transport mode share with the value of 45%. It has been noted that the uncertainty dimension is highly correlated with public transport usage and Hungary has one of the highest uncertainty indices with *the value of 82* among all countries.

* There is a significant evidence that, the presented multiple regression model Eq. (5) ($R^2=0.55$) has demonstrated in case of nations, an increase in three culture dimensions: collectivism, uncertainty and masculinity results in greater usage of public transport. Prediction of alternative transport systems which could be adopted in a city at peace is important to take down car dependence in more sustainable manner.

* The results have demonstrated that educating citizens is an important path to reduce car dependence through creating awareness with current issues. The linear function model Eq. (6) ($R^2=0.62$) have demonstrated that an increase in education level has the highest influence on dropping drive habits in cities comparing to land use and income level factors. Influence of

education level on dropping car usage is approximately 2 times more than an increase in GDP per capita boosts driving.

* The results have demonstrated a negative correlation between public transportation usage and GDP per capita while cities with higher GDP per capita tend to drive more in considerable level. However, there is not a considerable correlation between income level and non-motorised modes, especially for cycling. Implementation of biking infrastructure would render a service for the places with high-income.

* A significant linear relation ($R^2=0.58$) has been found between the road infrastructure accessibility (RIA) and private car mode share: the car mode share increases with an increasing RIA, which is reasonable for entire cities. Further tests have revealed that TIA actually increases proportionally with the rail mode share (for 17 cities, $R^2=0.54$) and CIA is proportional to biking mode share (for 32 cities, $R^2=0.27$). An increase in any network accessibility results with an increase of its usage while an increase in population density results in higher public transport and active modes usage. Also, the results showed that well-connected alternative networks with short direct routes can trigger a mode shift from car to rail or bike, thus that can lighten road traffic volumes.

3. Understanding under which technical conditions an urban transport system can minimize *socio-economic costs and environmental impacts* is the second leg of sustainable transportation planning. Two key factors: land use and transport infrastructure and their interrelation has been demonstrated with details to explain transport-related energy consumption, CO2 emission and congestion level in the cities. Additionally, the effect of infrastructure design on congestion level has shown. The conclusions related to the second leg of sustainable transportation are stressed as follows:

* The results have shown that, in particular for cities with low population density (below approximately 1500 inh. per sq.km), more road accessibility (roads per inhabitant) lead to lower congestion levels; cities with high population density (above approximately 1500 inh. per sq.km) have in general lower congestion levels if the rail infrastructure per person ratio is high. Furthermore, these cities increasing railways accessibility (railways per inhabitant) is more effective in reducing congestions than increasing road length per person (approximately 4 times more). Also, small cities increasing cycleways per person alleviate congestion considerably.

* The role of network design has been assessed on congestion performance with controlling infrastructure accessibility and network density. The results have demonstrated that an increase in average short distance connectivity of road networks eases road congestion, most likely because the road traffic is distributed more homogenously over a network.

* Furthermore, an increase in average short distance connectivity of alternative network systems (average weighted rail clustering coefficient, average cycle closeness centrality) alleviates road congestion. In particular for cities with a mature cycleway network (*cycleway density greater than 0.4 km per km²*), an increase in cycleway closeness centrality decreases congestion with nearly the same effectiveness as an increase in road infrastructure accessibility.

* A simplified phenomenological model has been developed to explain the non-linear relation between the population density and RIA. RIA is dropping with one over *the square root* of the population density. Indeed, RIA acts as catalyser for urban land. Based on relationship between the population density and infrastructure accessibility with their influence on modal split and the average travel distances, a hyperbolic function ($R^2=0.65$) between the population density and the transport energy has been calibrated, which explains the rapid increase of transport energy consumption of cities with low population densities.

* Transport-related CO₂ emissions of urban areas has been calculated to assess environmental impacts. A linear model ($R^2=0.57$) for transport-related CO₂ emissions of urban areas has been calibrated, where CO₂ emissions increase with an increasing RIA. The cities clustered in the highest RIA zone, these cities emits as average *4-5 times more* transport-related CO₂ emissions comparing to other city clusters.

* The graph analysis also showed that an increasing RIA catalyses urban sprawl and boosts car usage simultaneously in turn transport-related CO₂ emissions peaked. This association is the main factor affects transport-related CO₂ emissions level in cities. As example, Hong Kong is in the cluster of cities that have the lowest RIA meanwhile have the highest sustainable modes usage and the highest population density. The city emits around *4500 kg per capita* transport-related CO₂ emissions per year. Compared to Philadelphia city, which is in the cluster of cities that have the highest RIA, the highest car usage and the lowest urban density emits around *40200 kg per capita*. Approximately *9 times more!*

UDK 656.1:502.131.1(100)(043.3)

SL344. 2019-**-*, 2,5 * leidyb. apsk. l. Tiražas 50 egz.

Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas

Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas