VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

28-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 28th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2025 m. balandžio 24 d., Vilnius, Lietuva
24 April 2025, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-390-8
https://doi.org/10.3846/da.2025.022

Kelių ir miestų inžinerija / Road and Urban Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

LIETUVOS KELIŲ INFRASTRUKTŪROJE VEIKIANČIŲ INTELEKTINIŲ TRANSPORTO SISTEMŲ EFEKTYVUMO VERTINIMO ALGORITMAS

Jurgita RIMKUVIENĖ*, Viktoras VOROBJOVAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Kelių katedra, Vilnius, Lietuva

**El. paštas jurgita.rimkuviene@vilniustech.lt*

Gauta 2025 m. vasario 24 d.; priimta 2025 m. kovo 17 d.

Santrauka. Intelektinės transporto sistemos (ITS) yra esminis modernios kelių infrastruktūros elementas, leidžiantis didinti eismo saugumą, optimizuoti transporto srautus ir užtikrinti kelių dangos ilgaamžiškumą. Atlikta ITS analizė Lietuvos keliuose atskleidė, kad esamas ITS diegimas Lietuvoje yra fragmentuotas, o tai riboja eismo valdymo efektyvumą ir didina kelio dangos nusidėvėjimo tempą. Šiame straipsnyje aptariamas ITS diegimo netolygumas ir jų tarpusavio sąveikos stoka, kuri riboja technologijų potencialą efektyviai valdyti eismo srautus ir užtikrinti infrastruktūros ilgaamžiškumą. Remiantis tarptautine praktika, siūlomas ITS efektyvumo vertinimo algoritmas, kuris leistų objektyviai įvertinti ITS sprendimų naudą ir jų taikymo efektyvumą.

Reikšminiai žodžiai: duomenų valdymas, eismo saugumas, intelektinės transporto sistemos, kelio danga, kelių infrastruktūra, transporto efektyvumas.

1. Įvadas

Augant transporto paklausai ir eismo intensyvumui, ITS tampa pagrindiniu modernios kelių infrastruktūros valdymo įrankiu, padedančiu spręsti eismo saugumo, transporto efektyvumo ir aplinkos taršos problemas. Remiantis Europos Komisijos 2023 m. transporto sektoriaus apžvalga prognozuojama, kad iki 2050 m. keleivių pervežimo apimtys Europoje išaugs 42 %, o krovinių pervežimas – net 60 %, todėl būtina diegti inovatyvias ir duomenimis pagrįstas transporto valdymo technologijas (European Commission, 2023b). Per pastarąjį dešimtmetį Lietuvos kelių transporto srautai nuolat augo. 2023 m. iš viso šalyje buvo registruota 1,9 mln. kelių transporto priemonių (Įregistruotų kelių transporto priemonių parko duomenys, 2024). Lyginant 2020 m. ir 2023 m. laikotarpį kelių transporto priemonių skaičius padidėjo beveik 10 proc. Prognozuojama, kad iki 2035 m. tiek keleivinio, tiek krovininio transporto srautai Lietuvoje ir toliau augs (European Commission, 2023b).

ITS yra modernios informacinės ir ryšių technologijos, skirtos transporto srautams optimizuoti, saugumui didinti ir infrastruktūros ilgaamžiškumui gerinti. Europos Sąjungoje ITS technologijos taikomos vis plačiau, tačiau Lietuvoje jų diegimas tebėra fragmentuotas ir nepakankamai integruotas į bendrą kelių infrastruktūrą (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024a).

Lietuvoje, kaip strategiškai svarbioje Europos transporto tinklo (TEN-T) dalyje, 2023 m. duomenimis, transporto sektorius sudaro apie 11 % bendrojo vidaus produkto (Verslo sukurtas BVP šalies ūkyje 2024). Tačiau susiduriama su iššūkiais, tokiais kaip didelis avaringumas, mažas transporto junglumas regionuose, infrastruktūros efektyvumo trūkumas bei didelės šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijos (European Commission, 2016; Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija 2024a).

Atsižvelgdama į technologijų poreikį ir spartų jų vystymąsi, Europos Sąjunga 2023 m. lapkritį patvirtino atnaujintą ITS direktyvą (ES) 2023/2661 (The European Parliament and The Council, 2023). Naujoji direktyva siekia skatinti susieto ir automatizuoto judumo plėtrą, daugiarūšį transportą bei užsakomąsias judumo paslaugas (*Mobility-as-a-Service*, *MaaS*). Joje taip pat numatytas greitesnis ir labiau sąveikus skaitmeninių duomenų prieinamumas, tai leidžia efektyviau naudotis

© 2025 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

navigacijos ir eismo valdymo paslaugomis bei gerinti transporto priemonių ir kelių infrastruktūros tarpusavio komunikaciją. Lietuvai ITS diegimas suteikia galimybę ne tik išnaudoti esamos infrastruktūros potencialą, bet ir efektyviai planuoti bei valdyti transporto sistemas, siekiant atliepti dabartinius bei ateities poreikius.

Tyrimai rodo, kad ITS gali reikšmingai prisidėti prie transporto sistemos optimizavimo. Pavyzdžiui, realiuoju laiku stebint ir valdant eismo spūstis, naudojant ITS, galima sumažinti spūstis iki 80 % (Zadobrischi, 2022). Ukrainos mokslininkai išanalizavę pasaulinę ITS kūrimo patirtį priėjo prie išvados, kad ITS yra vienas iš veiksmingiausių būdų spręsti eismo saugumo ir transporto problemas tiek miestuose, tiek užmiesčio keliuose (Stepanov & Venger, 2021).

Šio straipsnio tikslas – įvertinti ITS diegimo situaciją Lietuvoje, jų funkcionalumus ir iššūkius, pasiūlyti ITS efektyvumo vertinimo algoritmą, kuris leistų objektyviai įvertinti ITS diegimo poveikį ir padėtų optimizuoti šių sistemų veikimą.

2. ITS diegimo Lietuvos keliuose situacijos analizė

Nors Europos Sąjungos direktyvos ir strateginiai susisiekimo sektoriaus numatyti pasiekti tikslai yra orientuoti į ITS diegimą, jų įgyvendinimas Lietuvoje vis dar susiduria su reikšmingais iššūkiais. Pagrindinės problemos apima fragmentišką technologijų diegimą, nepakankamai išplėtotas duomenų valdymo sistemas bei ribotą esamos infrastruktūros pritaikymą pažangioms transporto valdymo priemonėms. Šie veiksniai mažina ITS integracijos efektyvumą ir apsunkina jų praktinį pritaikymą nacionaliniu mastu. Lietuvos keliuose jau veikia įvairūs ITS komponentai – nuo eismo stebėjimo kamerų ir greičio matavimo sistemų iki kintamos informacijos ženklų ir transporto duomenų valdymo platformų.

2024 m. „Kurk Lietuvai“ programos dalyvių atlikta analizė atskleidė išsamią ITS diegimo situaciją Lietuvos keliuose (žr. 1 lentelę).

Siekiant užtikrinti ITS veiksmingumą ir išnaudoti jų potencialą Lietuvos kelių infrastruktūroje, būtina įvertinti esamus trūkumus ir spręsti jų keliamas problemas, kurios detaliau nagrinėjamos šiame skyriuje.

Atlikta ITS diegimo Lietuvos keliuose situacijos analizė atskleidė šiuos ITS diegimo Lietuvoje trūkumus.

Fragmentuotas ITS diegimas ir tarpusavio sąveikos trūkumas. Lietuvos keliuose įdiegtos įvairios ITS priemonės, tačiau jų diegimas vyko fragmentuotai ir be vienos bendros strategijos. Dėl šios priežasties skirtingų sistemų, tokių kaip eismo stebėjimo kameros, greičio matuokliai ir kintamos informacijos ženklai, tarpusavio sąveika yra ribota. ITS elementai dažnai veikia izoliuotai, nesikeičiant duomenimis su kitomis transporto valdymo sistemomis. Dėl nesuderintos infrastruktūros vairuotojai negauna nuoseklios ir operatyvios informacijos apie eismo sąlygas, kelyje esančius pavojus ar spūstis.

1 lentelė. Lietuvos keliuose įdiegtos ITS ir jų funkcijos

ITS	Skaičius	Funkcija
Eismo stebėjimo kameros	794	Naudojamos realiuoju laiku eismo srautams stebėti, pažeidimams identifikuoti ir transporto srautams valdyti, taip pat informacijai teikti vairuotojams apie spūstis ar įvykius keliuose
Momentiniai greičio matuokliai	77	Skirti greičio viršijimo atvejams fiksuoti tam tikruose kelio ruožuose, prisidedant prie eismo saugumo didinimo
Kelių oro sąlygų stotelės	173	Renka duomenis apie kelio dangos būklę, oro sąlygas ir galimus pavojus (pvz., slidumą), siekiant įspėti vairuotojus ir užtikrinti tinkamą kelių priežiūrą
Eismo apskaitos įrenginiai	673	Fiksuoja transporto priemonių srautus, padeda analizuoti eismo intensyvumo tendencijas ir priimti pagrįstus sprendimus dėl infrastruktūros plėtros
Kintamos informacijos ženklai	794	Naudojami dinaminei informacijai teikti vairuotojams apie kelio sąlygas, spūstis, greičio apribojimus, įvykius ir nukreipimus
Viršsvorio kontrolės įrenginiai	8	Skirti sunkiasvorių transporto priemonių viršsvorio pažeidimams stebėti ir kontroliuoti, taip prisidedant prie kelių dangos apsaugos
V2I (*Vehicle-to-Infra-structure*) įrenginiai	12	Sudaro galimybę keistis informacija tarp transporto priemonių ir kelių infrastruktūros, didinant eismo efektyvumą ir saugumą.
Vidutinio greičio matavimo sistemų įrenginiai	268	Fiksuoja transporto priemonių greitį ilgesniuose kelio ruožuose, skatindami vairuotojus laikytis saugaus greičio visame ruože, o ne tik prie momentinių matuoklių.
Šviesoforai	153	Padeda reguliuoti eismo srautus sankryžose ir prisideda prie saugaus eismo užtikrinimo
Elektro-mobilių įkrovimo stotelės	28	Sudaro sąlygas elektromobilių savininkams patogiai įkrauti savo transporto priemones, skatindamos tvarų transportą ir mažinant anglies dvideginio emisijas

Neužtikrintas visapusiškas sąveikumas. Nors V2I technologijų diegimas yra pradėtas, jų skaičius vis dar yra per mažas, kad užtikrintų sklandžią sąveiką su

kitomis ITS. Šiuo metu veikiantys 12 V2I įrenginių negali aprėpti visų šalies kelių ir suteikti pakankamai duomenų, kad būtų galima efektyviai valdyti eismą. Ribotas sąveikumas tarp transporto priemonių ir infrastruktūros mažina galimybes efektyviai išnaudoti sistemas.

Pasenusi ITS infrastruktūra ir nepakankamas finansavimas. Dalis ITS komponentų, įdiegtų daugiau nei prieš dešimtmetį, neatitinka šiuolaikinių technologinių standartų ir negali iki galo išnaudoti modernių eismo valdymo sprendimų. Pavyzdžiui, dalis momentinių greičio matuoklių ar kintamos informacijos ženklų veikia senesnėmis technologijomis, kurios neleidžia efektyviai keistis duomenimis su kitais ITS elementais. Be to, ITS plėtrą riboja ir finansavimo trūkumas.

Nevienodas aprūpinimas infrastruktūra. ITS įrenginiai dažniausiai įrengti didžiuosiuose miestuose ir pagrindiniuose keliuose, o regioniniuose keliuose jų vis dar trūksta. Dėl tokio netolygumo regionų gyventojai susiduria su informacijos trūkumu apie eismo sąlygas, oro pavojus ir spūstis. Tai didina eismo įvykių riziką ir mažina kelionių efektyvumą mažesniuose miesteliuose bei kaimo vietovėse.

Duomenų valdymo ir analizės optimizavimas. Šiuo metu ITS įrenginiai, tokie kaip eismo stebėjimo kameros ir eismo apskaitos įrenginiai, generuoja didelius kiekius duomenų. Duomenų kaupimas dažnai vyksta decentralizuotai, todėl trūksta bendros platformos, kuri leistų realiuoju laiku integruoti ir analizuoti informaciją iš skirtingų šaltinių. Nepakankamai efektyvūs duomenų analizės įrankiai apsunkina šių duomenų apdorojimą ir pritaikymą realiuoju laiku. Tai riboja galimybes greitai reaguoti į spūstis, avarijas ar oro sąlygų pokyčius.

Atsižvelgiant į šiuos trūkumus, ITS diegimo Lietuvoje veiksmingumas priklauso ne tik nuo naujų technologijų plėtros, bet ir nuo sistemingo jų integravimo bei valdymo. Siekiant spręsti šiuos iššūkius, būtina reguliariai matuoti ir vertinti ITS veikimo efektyvumą, analizuojant jų poveikį eismo saugumui, transporto srautų valdymui ir kelionių efektyvumui.

3. ITS veikimo efektyvumo rodikliai

ITS veikimo efektyvumo rodikliai (angl. *Key Performance Indicators* – KPIs) – tai kiekybiniai ir kokybiniai matavimo vienetai, naudojami vertinant ir stebint ITS diegimo poveikį bei veiksmingumą transporto sektoriuje. Šie rodikliai padeda objektyviai įvertinti, ar ITS prisideda prie transporto srautų optimizavimo, eismo saugumo didinimo, išmetamųjų teršalų mažinimo ir kitų tikslų įgyvendinimo.

Kaip parodė „Kurk Lietuvai“ programos dalyvių atlikta analizė, ITS veikimo efektyvumo rodikliai yra plačiai naudojami Europos šalyse ir laikomi labai naudingais pokyčiui ir naudai įdiegus ITS vertinti. Jie suteikia galimybę įvertinti ITS efektyvumą, paskirstyti išteklius, užtikrinti atskaitomybę bei planuoti sistemų plėtrą ateityje.

Europos Sąjunga taip pat yra nustačiusi pagrindinius ITS veiklos efektyvumo rodiklius, siekdama užtikrinti koordinuotą pokyčių transporto sistemoje vertinimą. Rodiklių sąrašas nėra baigtinis ir jie gali būti pritaikomi pagal kiekvienos šalies prioritetus ir poreikius.

2 lentelėje pateikiami Jungtinėje Karalystėje taikomų ITS veikimo efektyvumo rodiklių pavyzdžiai ir rodiklių rezultatai.

2 lentelė. M42 greitkelio (TEN-T tinklo dalis) Jungtinėje Karalystėje rodikliai (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024b)

Sritis	Veiklos efektyvumo rodiklis – KPI	Pokytis – nauda įdiegus ITS
Saugumas	Įvykių kelyje skaičius	–56 %
	Nustatyto greičio laikymasis	Padidėjo
Eismo efektyvumas	Spūsčių trukmė	–16 %
	Numatyta kelionės trukmė	+22 %
Tvarumas	Triukšmo lygis	–2,1 dB(A)
	Išmetamųjų teršalų ir sunaudojamo kuro kiekis	–4%
Kiti rodikliai	Vairuotojų streso lygis	Sumažėjo

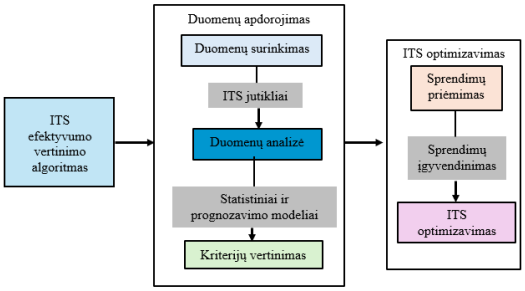
Atsižvelgiant į tarptautinę patirtį, ITS veikimo efektyvumo rodikliai yra svarbi priemonė vertinant pažangiųjų transporto sistemų poveikį ir jų diegimo sėkmę. Šiuo metu Lietuvoje nėra vienos bendros metodikos ar oficialiai patvirtintų ITS veikimo efektyvumo rodiklių, o tai apsunkina sistemingą ITS diegimo poveikio vertinimą ir palyginimą su kitomis šalimis ir situacija keliuose iki įdiegiant ITS. Todėl būtina sukurti nacionalinę ITS veikimo stebėsenos sistemą, pagrįstą patikimais duomenimis ir tarptautine praktika, kuri užtikrintų ITS technologijų diegimo efektyvumą.

4. ITS efektyvumo vertinimo algoritmas

ITS efektyvumo vertinimas yra daugiakriteris procesas, kuriame atsižvelgiama į įvairius transporto, aplinkosaugos ir infrastruktūros rodiklius. Šis vertinimas turi būti grindžiamas kiekybiniais ir kokybiniais duomenimis, gautais iš ITS jutiklių, transporto valdymo sistemų bei kitų duomenų šaltinių. ITS efektyvumo vertinimo algoritmo schema pateikiama 1 paveiksle.

4.1. Siūlomi kriterijai ITS efektyvumui vertinti

Išanalizavus užsienio šalių taikomą praktiką ir Lietuvos keliuose įdiegtų ITS funkcionalumus, siūlomi 4 pagrindiniai vertinimo kriterijai.



1 paveikslas. ITS efektyvumo vertinimo algoritmo schema

Eismo saugumas apima avaringumo mažėjimą, žuvusiųjų, sužeistųjų ir pavojingų situacijų keliuose sumažėjimą bei vidutinio greičio pokyčius. Šie rodikliai parodo, kaip ITS prisideda prie saugaus eismo užtikrinimo, prevencinių priemonių veiksmingumo ir nelaimingų atsitikimų skaičiaus mažinimo.

Eismo saugumas yra vienas iš esminių transporto politikos prioritetų tiek ES, tiek Lietuvoje. Remiantis 2023 m. Europos transporto saugos tarybos (ETSC) duomenimis, Lietuvoje žuvusiųjų keliuose skaičius siekė 56 atvejus milijonui gyventojų (European Commission, 2023a), o tai yra žymiai didesnis rodiklis už ES vidurkį ir kelių žūčių skaičius Lietuvoje gerokai padidėjo net iki 33 % (European Transport Safety Council, 2024). Pagal šį rodiklį Lietuva užima septintą vietą ES tarp šalių su didžiausiu žuvusiųjų skaičiumi keliuose. Šie skaičiai atskleidžia, kad Lietuvai būtina skubiai tobulinti eismo saugos priemones ir infrastruktūrą.

Lietuvos užsibrėžti strateginiai tikslai eismo saugumo srityje išlieka ambicingi: iki 2025 m. siekiama sumažinti žuvusiųjų keliuose skaičių iki 45 atvejų milijonui gyventojų, o iki 2030 m. – iki 30 atvejų milijonui gyventojų (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2022). Viena pagrindinių eismo saugumo problemų – inžinerinių eismo saugumo priemonių trūkumas ir esamos infrastruktūros neatitiktis šiuolaikiniams saugumo standartams. Daugelyje Lietuvos kelių trūksta modernių eismo valdymo priemonių, kurios, derinamos su inžinerinėmis infrastruktūros priemonėmis, padėtų gerinti eismo saugumą. Nemažai jau yra atlikta tyrimų, įrodančių ITS naudą mažinant eismo įvykių skaičių, didinant eismo efektyvumą ir gerinant infrastruktūros valdymą.

Szczepanik ir Besta atliktame tyrime analizuojamas ITS diegimas Lenkijos valstybinės reikšmės keliuose, ypač Podhalės regione. Įdiegus ITS gerokai pagerėjo eismo sauga optimizuojant infrastruktūros priežiūrą, vykdant eismo stebėseną realiuoju laiku ir diegiant pažangiąją kelių eismo valdymo sistemą. Tyrimo metu nustatyta, kad dėl šių ITS priemonių pastebimai sumažėjo susidūrimų keliuose ir žuvusiųjų skaičius (Szczepanik & Besta, 2018).

Kitame Oskarbski ir kt. mokslininkų tyrime buvo vertinamas ITS paslaugų veiksmingumas Lenkijos greitkeliuose. Tyrimas, paremtas 2013–2015 m. eismo įvykių duomenimis, parodė, kad greitkeliuose, kuriuose įdiegta daugiau ITS sprendimų, pavyzdžiui, eismo stebėjimo, eismo įvykių aptikimo ir kintamų pranešimų ženklų, eismo įvykių skaičius buvo gerokai mažesnis. Tyrime pabrėžta, kad ITS integravimas į Nacionalinę kelių eismo valdymo sistemą (KSZR) lėmė geresnius eismo saugos rodiklius (Oskarbski et al., 2017).

Eismo efektyvumas apima transporto srautų pralaidumo didėjimą, kelionės laiko mažėjimą, spūsčių trukmės sutrumpėjimą. Šie aspektai leidžia įvertinti, kaip ITS padeda optimizuoti kelių tinklą ir sumažinti transporto srautų vėlavimus. Lietuvoje nuolat augantis lengvųjų automobilių skaičius ir jų dominuojanti dalis bendrame kelių transporto priemonių parke rodo, kad asmeninių automobilių naudojimas išlieka pagrindiniu keliavimo būdu. Ši tendencija ypač ryški didžiuosiuose šalies miestuose, kur dėl intensyvaus automobilių naudojimo kyla nuolatinės transporto spūstys, ypač piko valandomis. Naujausi tyrimai rodo, kad ITS gali padidinti eismo efektyvumą ir sutrumpinti kelionės laiką.

Dui et al. atliktame tyrime buvo nagrinėjama, kaip daiktų internetu pagrįstos ITS pagerina eismo stebėseną realiuoju laiku ir spūsčių valdymą. Tyrime pasiūlytas optimizuotas eismo valdymo modelis, leidžiantis palaikyti ryšį tarp transporto priemonių (V2X), todėl transporto priemonės gali realiuoju laiku koreguoti maršrutą pagal spūsčių situaciją. Modeliavimo rezultatai parodė, kad daiktų interneto integravimas į ITS gerokai pagerino eismo srauto efektyvumą, sumažino spūstis ir sumažino bendrą kelionės laiką (Dui et al., 2024).

Akopovas ir kiti mokslininkai pristatė naują eismo optimizavimo metodą, naudojant genetinius algoritmus ITS sistemoje. Jų tyrime daugiausia dėmesio skirta šviesoforų sistemų efektyvumui miestuose didinti, transporto priemonių laukimo trukmei mažinti ir kelių tinklo pralaidumui didinti. Imitacinis modelis parodė, kad šviesoforų optimizavimas realiuoju laiku naudojant genetinius algoritmus leido gerokai sumažinti kelionių vėlavimą ir degalų sąnaudas, taip prisidedant prie tvaresnės ir efektyvesnės miesto transporto sistemos (Akopov et al., 2024).

Aplinkos poveikis apima išmetamųjų teršalų kiekio sumažėjimą, degalų sąnaudų efektyvumą, triukšmo lygio mažėjimą. Tai svarbūs rodikliai, rodantys, kaip ITS gali prisidėti prie tvarios transporto sistemos kūrimo. Transporto sektorius generuoja didžiausią šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir transportui būdingų oro teršalų dalį Lietuvoje. Didėjantis asmeninių ir komercinių

automobilių skaičius lemia transporto sektoriaus įtaką klimato kaitai ir oro taršai. 2019 m. lengvieji automobiliai išmetė 60 % viso kelių transporto sektoriaus ŠESD kiekio. Transporto sektoriuje siekiama palaipsniui pereiti prie alternatyviųjų degalų ir elektros energijos naudojimo. Visgi, Lietuva turi sunkumų siekdama įgyvendinti transporto sektoriui keliamus tikslus. 2021 m. atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) dalis transporto sektoriuje sudarė 6,69 % ir buvo mažesnė nei ES vidurkis. Siekiama, kad 2030 m. šalies transporto parke būtų ne mažiau kaip 262 tūkst. elektra varomų transporto priemonių (apie 15 % viso transporto priemonių parko). Švedijoje buvo diegiamos Elektrinių kelių sistemos (ERS) ir atliktame tyrime buvo įvertintas galimas elektrifikuotų greitkelių poveikis energijos suvartojimui ir CO_2 išmetimui. Atliktas tyrimas E4 maršrute tarp Stokholmo ir Jönköpingo parodė, kad ERS gali gerokai sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro, nes suteikia galimybę dinamiškai įkrauti elektrines transporto priemones, taip sumažinant bendrą išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir padidinant transporto sektoriaus tvarumą (Taljegard et al., 2017).

Kelių infrastruktūros ilgaamžiškumas apima kelio dangos nusidėvėjimo mažinimą, priežiūros darbų dažnio mažinimą ir remonto kaštų optimizavimą. Šis kriterijus padeda įvertinti, kaip ITS gali prisidėti prie kelių tinklo išlaikymo ir jo ilgaamžiškumo.

Kelio dangos ilgaamžiškumas tiesiogiai priklauso nuo efektyvios stebėsenos ir tinkamos priežiūros. ITS technologijos, tokios kaip pažangūs jutikliai ir dirbtinio intelekto algoritmai, leidžia realiuoju laiku fiksuoti dangos pažeidimus ir nusidėvėjimą, taip užtikrinant laiku atliekamus priežiūros darbus. Lietuvoje kelių būklės stebėsenai vis dažniau naudojami pažangūs jutikliai, kurie fiksuoja kelio dangos būklės parametrus, tokius kaip drėgmė, temperatūra ir apkrovos.

Šalies keliai, tiltai ir viadukai yra pritaikyti ribotoms apkrovoms, todėl perkrautos sunkiasvorės transporto priemonės daro reikšmingą žalą kelių infrastruktūrai, didina priežiūros išlaidas ir kelia pavojų eismo saugumui. Pagal Lietuvos transporto saugos administracijos (Lietuvos transporto saugos administracija) duomenis, 2023 m. buvo nustatyta 25 % daugiau sunkiasvorio transporto pažeidimų bei 5 % daugiau didžiagabaričio transporto pažeidimų lyginat su 2022 m. (LTSA, 2023). Tokie pažeidimai dažnai lemia ankstyvą kelių dangos nusidėvėjimą, tiltų deformacijas ir net eismo įvykių riziką, kurią dar labiau didina ekstremalios klimato sąlygos bei intensyvėjantys transporto srautai. Susisiekimo ministerija yra iškėlusi strateginį tikslą, kad 2018–2035 m. prastos būklės kelių dalis sumažėtų nuo 41 % iki 15 %, o tam reikalinga geresnė kelių transporto svorio kontrolė.

Nepaisant to, kad Lietuvoje įrengti 8 viršsvorio kontrolės įrenginiai, iš kurių 3 daugiafunkcių pažeidimų kontrolės sistemų (DPKS) punktai, kurie atlieka automatinį sunkiasvorių transporto priemonių svėrimą bei matmenų nustatymą, jų veikimo efektyvumas išlieka ribotas dėl technologinių trūkumų ir nepakankamos priežiūros.

Moksliniai tyrimai patvirtina, kad pažangesnių sprendimų, tokių kaip dinaminės svėrimo technologijos (*Weigh-in-Motion*, WIM), integracija į kelių infrastruktūrą padeda sumažinti pernelyg didelį krūvį kelių dangoms, veiksmingai prailgina jų tarnavimo laiką ir sumažina priežiūros išlaidas (De Coning, 2022; Mihaila & Barsanescu, 2022). Pateikdami realaus laiko duomenis apie eismo apkrovą, WIM leidžia optimizuoti kelių priežiūros planavimą ir geriau paskirstyti išteklius, užkertant kelią ankstyvam infrastruktūros nusidėvėjimui (Jacob & Feypell-de La Beaumelle, 2010).

4.2. ITS efektyvumo vertinimas

ITS veikimo principai, nors ir gali skirtis priklausomai nuo jų paskirties, yra grindžiami nuosekliu duomenų valdymo procesu. ITS yra neatskiriamos nuo didžiųjų duomenų kiekių („big data“) ir pažangių analitikos metodų, tokių kaip mašininis mokymasis, dirbtinis intelektas ir prognozavimo modeliai. Duomenų valdymo procesas paprastai apima kelis pagrindinius etapus: duomenų rinkimą, analizę, modelių testavimą ir validavimą.

ITS efektyvumo vertinimas vykdomas etapais, kurių kiekvienas apima specifinius duomenų analizės ir sprendimų priėmimo procesus.

Duomenų surinkimas. ITS jutikliai ir transporto valdymo sistemos renka duomenis apie transporto srautus, eismo intensyvumą, avarijas, orų sąlygas ir infrastruktūros būklę. Surinkti duomenys yra integruojami į vieną transporto duomenų valdymo platformą. Duomenų rinkimas ITS vykdomas naudojant įvairius jutiklius, kameras, GPS sekimo įrenginius, eismo valdymo centrus ir transporto priemonių sistemas. Pavyzdžiui, eismo kameros ir radaro jutikliai gali teikti informaciją apie eismo intensyvumą, greitį ir eismo sąlygas keliuose.

Duomenų analizė. Naudojant statistinius modelius ir dirbtinio intelekto algoritmus, analizuojamos eismo tendencijos, avaringumo priežastys ir transporto efektyvumo rodikliai. Prognozavimo modeliai taikomi siekiant įvertinti ITS poveikį ateityje, remiantis istoriniais duomenimis. Duomenų analizė leidžia nustatyti eismo spūstis, optimaliausius maršrutus, kelių priežiūros poreikius ir eismo įvykių riziką.

ITS efektyvumo rodiklių skaičiavimas. Kiekvienas kriterijus (eismo saugumas, eismo efektyvumas, aplinkos

poveikis, kelių infrastruktūros ilgaamžiškumas) yra kiekybiškai įvertinamas, naudojant nustatytus rodiklius. Skaičiavimų rezultatai lyginami su iš anksto nustatytais tikslais ir užsienio šalių taikoma praktika.

Sprendimų priėmimas ir ITS sistemų optimizavimas. Remiantis analizės rezultatais, parengiamos rekomendacijos dėl ITS veikimo tobulinimo. Identifikuojamos prioritetinės sritys, kuriose ITS gali būti toliau plėtojamos siekiant geresnių rezultatų.

5. Išvados

Nors Lietuvos keliuose veikia įvairūs ITS komponentai (eismo stebėjimo kameros, momentiniai ir vidutinio greičio matuokliai, kintamos informacijos ženklai ir kt.), jų diegimas vyko fragmentuotai. Tai lemia neefektyvią duomenų integraciją ir ribotas transporto srautų valdymo galimybes.

Jungtinės Karalystės atliktas ITS veiklos rodiklių efektyvumo vertinimas M42 greitkelyje rodo, kad pažangios eismo valdymo sistemos (pvz., išmanūs šviesoforai, V2X komunikacija, realaus laiko informacijos analizė) gali sumažinti įvykių kelyje skaičių iki 56 % bei sumažinti eismo spūsčių trukmę iki 16 %. Lietuvos keliuose, kur eismo saugumo rodikliai vis dar viršija ES vidurkį, šios technologijos galėtų turėti reikšmingą teigiamą poveikį.

Automatinės kelio dangos būklės stebėsenos sistemos ir dinaminės svėrimo technologijos (WIM) kitose šalyse leido sumažinti pernelyg didelės apkrovos poveikį kelių dangai ir optimizuoti priežiūros darbus. Lietuvoje šių priemonių skaičius išlieka labai mažas (veikia tik 8 viršsvorio kontrolės įrenginiai), todėl kelių tinklas nėra pakankamai apsaugotas nuo ankstyvo nusidėvėjimo.

Šiuo metu Lietuvoje ITS generuojami duomenys yra kaupiami decentralizuotai, o tai riboja jų efektyvų panaudojimą. Vienos bendros transporto duomenų valdymo platformos sukūrimas leistų optimizuoti eismo valdymą, sumažinti avaringumą ir geriau planuoti infrastruktūros priežiūrą.

Remiantis transporto srautų, eismo saugumo, aplinkosaugos ir infrastruktūros priežiūros rodikliais, sukurtas algoritmas suteikia galimybę tiksliai įvertinti ITS sprendimų efektyvumą ir jų integracijos poveikį. Jo taikymas padėtų planuoti tikslingas ITS investicijas ir optimizuoti jų diegimo strategiją Lietuvoje.

Atsižvelgiant į tarptautinę patirtį, būtina užtikrinti sistemingą ITS plėtrą, integruojant inovatyvius eismo valdymo sprendimus, tobulinant duomenų analizės sistemas ir stiprinant transporto infrastruktūros stebėseną. Tik kompleksinis požiūris gali užtikrinti ITS technologijų efektyvumą ir ilgalaikę naudą Lietuvos kelių infrastruktūrai.

Literatūra

Akopov, A., Zaripov, E., & Melnikov, A. (2024). Adaptive control of transportation infrastructure in an urban environment using a real-coded genetic algorithm. *ResearchGate*. https://doi.org/10.17323/2587-814x.2024.2.48.66

De Coning, A. (2022). *Traffic control centre optimisation through applied intelligent weigh-in-motion*. North-West University. https://repository.nwu.ac.za/bitstream/handle/10394/40139/De%20Coning,%20A.pdf?sequence=1

Dui, H., Zhang, S., Liu, M., Dong, X., & Bai, G. (2024). IoT-enabled real-time traffic monitoring and control management for intelligent transportation systems. *IEEE Internet of Things Journal, 11*(9), 15842–15854. https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3351908

European Commission. (2016a). *EU reference scenario 2016: Energy, transport and GHG emissions trends to 2050*. Publications Office of the European Union. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/full_referencescenario-2016report_en.pdf

European Commission. (2023b). *Road safety statistics 2023 in more detail*. https://transport.ec.europa.eu/background/road-safety-statistics-2023_en

European Commission. (2023). *Transport in the European Union: Statistical pocketbook 2023*. Publications Office of the European Union. https://transport.ec.europa.eu/facts-funding/studies-data/eu-transport-figures-statistical-pocketbook/statistical-pocketbook-2023_en

European Transport Safety Council. (2024). *Ranking EU progress on road safety*. https://etsc.eu/wp-content/uploads/ETSC-18th-PIN-Annual-Report-DIGITAL-V3.pdf

Įregistruotų kelių transporto priemonių parko duomenys (2024, gruodžio 10 d.). Akcinė bendrovė „Regitra“. https://www.regitra.lt/lt/paslaugos/duomenu-teikimas/atviri-duomenys-1/transporto-priemones-3

Jacob, B., & Feypell-de La Beaumelle, V. (2010). Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology. *IATSS Research*, *34*(1), 35–41. https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2010.06.003

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2022). *2022–2030 metų Susisiekimo plėtros programa*. https://sumin.lrv.lt/lt/administracine-informacija/planavimo-dokumentai/2022-2030-metu-susisiekimo-pletros-programa/

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2024). *ITS situacijos Lietuvoje analizė*. https://sumin.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2024/6/brifjbP4pfU.pdf

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2024a). *Gerosios ITS užsienio praktikos*. https://sumin.lrv.lt/public/canonical/1725453287/11439/Gerosios%20ITS%20u%C5%BEsienio%20praktikos.pdf

Lietuvos transporto saugos administracija. (2024b). *Veiklos ataskaita 2023*. https://ltsa.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2024/2/CpAfbOsdSBk.pdf

Mihaila, M., & Barsanescu, P. (2022). Weigh-in-Motion Sensors and Traffic Monitoring Systems: State of the Art and Perspectives. *Bulletin of the Polytechnic Institute. Machine constructions Section*, *68*(1). https://doi.org/10.2478/bipcm-2022-0010

Oskarbski, J., Marcinkowski, T., Mowiński, K., Oskarbska, I., Zawisza, M., & Żarski, K. (2018). Influence of Intelligent Transport Systems services on motorways road safety. *Con-*

ference: 7th Transport Research Arena TRA, Vienna, 16–19 April 2018. https://doi.org/10.5281/zenodo.1485272

Stepanov, O., & Venger, A. (2021). Intelligent transportation systems in the transport process. *Municipal economy of cities*, *1*(161).

https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-212-217.

Szczepanik, T., & Besta, P. (2018). Impact of Intelligent Transportation Systems on Road Traffic Safety. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie*, 208–2016.

https://doi.org/10.17512/znpcz.2018.1.17

Taljegard, M., Thorson, L., Odenberger, M., & Johnsson, F. (2017). Electric road systems in Norway and Sweden-impact on CO2 emissions and infrastructure cost. *2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*. Harbin, China 7–10 August 2017. IEEE. https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2017.8080779

The European Parliament and The Council. (2023). Directive (EU) 2023/2661 of the European Parliament and of the Council of 22 November 2023 amending Directive 2010/40/EU on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202302661

Verslo sukurtas BVP šalies ūkyje. (2024, gruodžio 10 d.). Oficialiosios statistikos portalas.

https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize#/

Zadobrischi, E. (2022). Intelligent traffic monitoring through heterogeneous and autonomous networks dedicated to traffic automation. *Sensors, 22*(20), Article 7861.

https://doi.org/10.3390/s22207861

THE EFFECTIVENESS OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN LITHUANIA'S ROAD INFRASTRUCTURE

J. RIMKUVIENĖ, V. VOROBJOVAS

Abstract. Intelligent Transport Systems (ITS) are an essential element of modern road infrastructure, allowing us to improve traffic safety, optimise traffic flows and ensure the longevity of pavement. The analysis of ITS on Lithuanian roads has shown that the existing ITS deployment in Lithuania is fragmented, which limits the efficiency of traffic management and increases the rate of pavement deterioration. This paper discusses the unevenness of ITS deployment and the lack of interaction between them, which limits the potential of the technologies to effectively manage traffic flows and ensure the longevity of infrastructure. Based on international practice, an algorithm for assessing the effectiveness of ITS is proposed, which would allow an objective assessment of the benefits of ITS solutions and the efficiency of their application.

Keywords: data management, Intelligent Transport Systems, pavement, road infrastructure, and transport efficiency.