



20-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2017 m. gegužės 12 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 12 May 2017, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 20-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 12 мая 2017 г., Вильнюс, Литва

LIETUVOS GELEŽINKELIŲ PERVAŽŲ EISMO SAUGUMO VERTINIMAS

Marek Komaiško, Gintautas Bureika

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Geležinkelių transporto katedra
El. paštas: m.komaisko@gmail.com; gintautas.bureika@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje aprašomas Lietuvos geležinkelių pervažų eismo rizikos lygio įvertinimas. Išanalizavus Lietuvos bei užsienio pastarųjų metų geležinkelių eismo įvykių statistinius duomenis, nustatyta, kad pervažose įvyksta apie 30 % visų geležinkelių transportui priskiriamų eismo įvykių. Tiriant šalies pervažų saugumą, vertinami jų techniniai kriterijai. Pritaikius binarinės logistinės regresijos modelį, apskaičiuojamos eismo įvykio tikimybių reikšmės šalies pervažose. Nustatoma pavojingiausių Vilniaus, Kauno, Šiaulių bei Klaipėdos regionų pervažų rizika. Pagal gautus rezultatus, atsižvelgiant į eismo įvykio tikimybę, pervažos sureitinguojamos. Pabaigoje pateikiami tyrimo rezultatai bei išvados.

Reikšminiai žodžiai: geležinkelio pervaža, eismo įvykis, grėsmė, pažeidžiamumas, rizikos valdymo modelis.

Įvadas

Lietuvos geležinkeliais kiekvienais metais pervežama apie 50 tūkst. t krovinių bei beveik 5 tūkst. keleivių (Lietuvos geležinkeliai...). Didėjant vežimų apimtis ir intensyvėjant riedmenų eismui, padidėja ir geležinkelių transporto eismo rizika.

2010–2016 metų laikotarpiu Lietuvos geležinkelių infrastruktūroje įvyko 576 eismo įvykiai, iš kurių 83 geležinkelio pervažose (Valstybinė geležinkelių...).

Nepaisant to, jog 2010–2016 m. laikotarpiu kasmet vidutiniškai pervažose žūsta 3 žmonės, kas sudaro tik nedidelę dalį (apie 1,5 %) visų mirčių sausumos keliuose, bet jie sudaro apie 18 % visų mirčių geležinkeliuose.

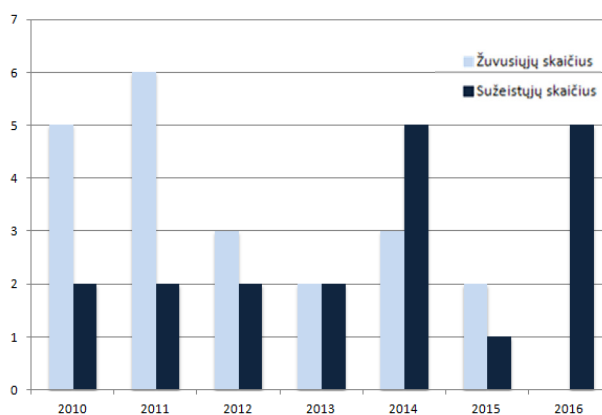
Lietuvos geležinkelių pervažose žuvusiųjų bei sužeistųjų pervažose skaičius per 7 metus pervažose pateiktas 1 paveiksle.

Siekiant užtikrinti veiksmingą pervažų saugumo priežiūrą, būtina nustatyti jose kylančią riziką. Pagal rizikos lygį išskiriamos pavojingiausios pervažos, kuriose būtina taikyti neatidėliotinas eismo saugumo didinimo priemonės.

Eismo saugos rizika, jos valdymas

Bendru atveju rizika – tai potenciali galimybė įvykti eismo įvykiui su tam tikra tikimybe. Paprastai rizika susijusi su tikimybe, grėsme bei žala:

$$RIZIKA = Pažeidžiamumas \times Grėsmė \times Žala .$$

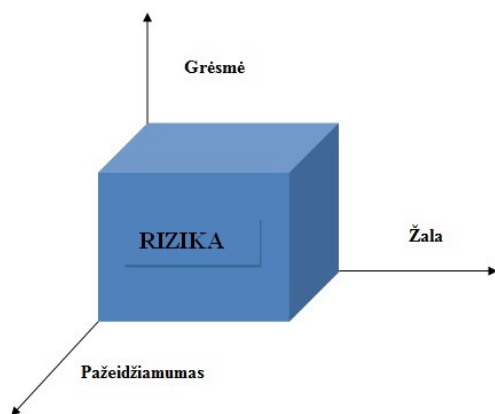


1 pav. Žuvusių bei sužeistų žmonių skaičius Lietuvos geležinkelių pervažose 2010–2016 m.

Rizikos valdymo procesas susideda iš rizikos vertinimo bei jos analizės. Rizikos vertinimas yra kiekybinių ir kokybinių reikšmių nustatymas, susijusių su tam tikra situacija bei nustatyta grėsme (Rizikos vertinimas...).

Rizikos tūrinė išraiška pateikta 2 paveiksle.

Pažeidžiamumas – tai tam tikrų nepageidaujamų pervažos saugumo kriterijų visumą, įtakojančių grėsmių atsiradimą. Geležinkelio pervažų pažeidžiamumas tai: blogas pervažos matomumas, didelis eismo intensyvumas, didelis leistinas traukinių judėjimo greitis, žema pervažos kategorija, signalizacijos priemonių nebuvimas, blogas apšviestumas nakties metu ir t. t.



2 pav. Rizikos tūrinė išraiška

Kaip matyti iš 2 paveikslą rizika gali būti išreikšta tūrine grėsme, pažeidžiamumo ir žalos išraiška.

Grėsmė – tai tam tikrų aplinkybių visuma, dėl kurių gali įvykti įvykis ir būtų patiriama žala. Dažniausios geležinkelių pervažose kylančios grėsme, tai:

1. Geležinkelio riedmenų susidūrimas pervažose su jas kertančiomis transporto priemonėmis.

2. Geležinkelio riedmenų susidūrimas pervažose su jas kertančiais pėsčiaisiais.

3. Geležinkelio riedmenų susidūrimas pervažose su jose esančiais pašaliniais objektais.

4. Susidūrimas su pašaliniais asmenimis ar objektais, esančiais geležinkelių apsaugos zonose.

Taip pat, norint įvertinti riziką geležinkelio pervažose, nustatomos potencialios žalos ir nuostoliai, kuriuos patiria geležinkelių infrastruktūros valdytojai, keleiviai ir vežėjai.

Žala įvertinama remiantis LR Susisiekimo ministro birželio 12 d. įsakymu Nr. 3-238: „Dėl Bendrųjų geležinkelių transporto eismo saugos rodiklių nustatymo“.

Žalų identifikavimo duomenys, pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Žalų identifikavimo duomenys

Įvykis	Asmens sužalojimai	Materialinė žala	Žala balais
Riktas	Gali sužeisti 1–5	1–5 tūkst. €	1
Eismo įvykis	Sužeistųjų > 5	≤ 150 tūkst. €	2
	Grupė sužeistųjų ir 1 mirtis	> 150 tūkst. €	3
Katastrofa	2 mirtys	300 tūkst. €	4
	> 2 mirtys	> 500 tūkst. €	5
	Grupė žuvusiųjų	< 2 mln. €	6
	> 5 mirtys	2 mln. €	7

Eismo įvykio tikimybės geležinkelio pervažoje nustatymas

Nustatant riziką geležinkelio pervažose, pirmiausia, apskaičiuojama eismo įvykio tikimybė jose. Šiai tikimybei apskaičiuoti įvertinami pervažų kriterijai, įtakojantys jos saugumą.

Tyrimo naudojami vertinimo kriterijai:

1. Pervažos kategorija.

2. Pervažos matomumas iš nelyginio traukinio mašinisto kabinos, m.

3. Pervažos matomumas iš lyginio traukinio mašinisto kabinos, m.

4. Traukinių eismo intensyvumas per parą pagrindiniu keliu (abiem kryptimis).

5. Transporto priemonių (kartu su autobusais, kinokomuoju transportu) eismo intensyvumas per parą abiem kryptimis.

6. Pervažos plotis, m.

7. Didžiausias leistinas traukinių judėjimo greitis pervažose, km/h.

Kriterijams įvertinti skaitine reikšme naudojamos 337 šalies geležinkelių pervažų kriterijai. Pervažos suskirstytos į Vilniaus, Kauno, Šiaulių bei Klaipėdos regionus.

Geležinkelių pervažos pagal transporto priemonių intensyvumą yra skirstomos į 4 kategorijas (Pervažų įrengimo...). Saugiausiomis laikomos IV kategorijos geležinkelio pervažos, jas prilyginu 0,9. Atitinkamai III kategorijos – 0,7, II – 0,5 ir I – 0,3. Įvertinus pervažos kategorijas matematine išraiška nustatoma saugumo vertinimo kriterijaus X_1 reikšmė.

Remiantis pervažų įrengimo ir naudojimo taisyklėmis saugus pervažos matomumas iš mašinisto kabinos yra laikomas 1000 m. Šis ir didesnis atstumas prilyginamas 1,0. Mažesnio atstumo saugumo vertinimo kriterijai apskaičiuojami pagal formulę:

$$X_{2,3} = \frac{M_{mašin.}}{1000}, \quad (1)$$

čia: $M_{mašin.}$ – pervažos matomumas iš mašinisto kabinos, m; 1000 – saugus pervažos matomumas.

Tokiu būdu apskaičiuojami saugumo vertinimo kriterijai X_2 ir X_3 . Kriterijus X_2 – pervažos matomumas iš lyginio traukinio mašinisto kabinos, X_3 – nelyginio traukinio.

Įvertinant traukinių eismo intensyvumo saugumo kriterijų imame mažiausią bei didžiausią traukinių skaičių per parą pervažoje. Traukinių skaičius per parą pervažoje svyruoja nuo 1 iki 202. Saugus traukinių intensyvumas yra 1 arba 0 ir prilyginamas 1,0. Didesnio traukinių skaičiaus saugumo vertinimo kriterijus apskaičiuojamas pagal formulę:

$$X_4 = 1 - \frac{N_{trauk.}}{202}, \quad (2)$$

čia: $N_{trauk.}$ – traukinių intensyvumas pervažoje per parą abiem kryptimis; 202 – didžiausias traukinių eismo intensyvumas pervažoje per parą abiem kryptimis.

Taip nustatomas traukinių intensyvumo pervažoje saugumo vertinimo kriterijus X_4 .

Transporto priemonių skaičius pervažoje per parą svyruoja nuo 0 iki 28695. Saugiu priimu transporto priemonių intensyvumą nuo 0 iki 100 ir prilyginu jį 1,0. Didesnio transporto priemonių intensyvumo saugumo vertinimo kriterijus apskaičiuojamas formulę:

$$X_5 = 1 - \frac{N_{ekipaž.}}{28695}, \quad (3)$$

čia: $N_{ekipaž}$ – ekipažų eismo intensyvumas pervažoje per parą abiem kryptimis; 28695 – didžiausias ekipažų eismo intensyvumas pervažoje per parą abiem kryptimis.

Taip apskaičiuojamas ekipažų eismo intensyvumo saugumo vertinimo kriterijus X_5 .

Įvertinant pervažos pločio saugumo vertinimo kriterijų, nustatyta, kad siauriausia pervažą yra 4,3 m, o plačiausia – 50,3 m pločio. Saugiausia pervažą yra laikoma siauriausia, ji prilyginama 1,0. Didesnio pervažos pločio saugumo vertinimo kriterijus apskaičiuojamas pagal formulę:

$$X_6 = 1 - \frac{P}{50,3}, \quad (4)$$

čia: P – geležinkelio pervažos plotis, m; 50,3 – plačiausia pervažą, m.

Taip apskaičiuojamas pervažos pločio saugumo vertinimo kriterijus X_6 .

Mažiausias nustatytas traukinių greitis pervažoje yra 10 km/h, o didžiausias – 120 km/h. Greitis nuo 10 km/h iki 20 km/h priimamas saugiu ir prilyginamas 1,0. Didesnio nei 20 km/h greičio saugumo vertinimo kriterijus apskaičiuojama pagal formulę:

$$X_7 = 1 - \frac{V}{160}, \quad (5)$$

čia: v – maksimalus nustatytas traukinių judėjimo greitis pervažoje, km/h; 160 – didžiausias leistinas traukinių judėjimo greitis pervažoje, km/h.

Tokiu būdu įvertinamas traukinių eismo intensyvumo saugumo vertinimo kriterijus X_7 .

Binarinės logistinės regresijos taikymas rizikai apskaičiuoti

Logistinė regresija aprašo vieno kintamojo priklausomybę nuo kitų kintamųjų. Tiriant geležinkelio pervažų saugumą nustatoma, kaip ir nuo kokių saugumo vertinimo kriterijų jis priklauso.

Geležinkelio pervažų saugumas vertinamas binarine logistine regresija. Ją atlikus gaunama lygtis, kurią sudaro keletas kintamųjų ir kuri išreiškia pervažų eismo saugumo priklausomybę nuo keleto kiekybinių rodiklių, t. y. tiriamą, kaip dvireikšmis kintamasis Y (pervažų saugumas) priklauso nuo vieno ar keleto kitų kintamųjų. Kintamasis Y vadinamas priklausomu (regresuojamu) kintamuoju, o kintamieji X_1, X_2, X_3 , vadinami *nepriklausomais kintamaisiais* (regresoriais) (Logistinė regresija...).

Logistinės regresijos modelis, taikomas pervažų eismo saugumui vertinti:

$$P(Y = 1) = \frac{e^{z(x)}}{1 + e^{z(x)}}, \quad (6)$$

čia: $z(x) = a + k_1 X_1 + k_2 X_2 + k_3 X_3 + k_4 X_4 + k_5 X_5 + k_6 X_6 + k_7 X_7$; Y – priklausomas kintamasis (pervažos eismo saugumas); $k_1 - k_7$ – logistinės regresijos koeficientai; $X_1 - X_7$ – nepriklausomi kintamieji (pervažos saugumo rodikliai išreikšti matematine išraiška); a –

konstanta (apskaičiuojama panaudojus imties duomenis) (Čekanavičius 2011).

Pirmausia, surandama $z(x)$ reikšmė, o tada tikimybė $P(Y = 1)$. Atlikus skaičiavimus tikslinga patikrinti modelio tinkamumą duomenims. Tinkamumas vertinamas pagal šiuos rodiklius: klasifikacinė lentelė, didžiausio tikėtino chi kvadrato statistika, Hosmerio-Lemešou chi kvadrato statistika, determinacijos R^2 koeficientas.

Binarinės logistinės regresijos skaičiavimų rezultatai

Pritaikius logistinės regresijos modelį duomenims apskaičiuojami nepriklausomų kintamųjų (pervažos saugumo vertinimo kriterijų) koeficientai. Pagal kuriuos galima nustatyti, nuo kurių rodiklių labiausiai priklauso pervažos saugumas. Koeficientų reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Logistinės regresijos modelio nepriklausomų kintamųjų koeficientų reikšmės

Kintamieji	Koeficientas	Standartinė paklaida	Wald'o statistika	Eksponentė
X_1 – perv. plotis	2,987	1,902	2,468	19,836
X_2 – perv. kategorija	5,606	1,795	9,752	272,044
X_3 – trauk. greitis	0,517	1,815	0,081	1,677
X_4 – trauk. skaičius	0,824	2,245	0,135	2,280
X_5 – transp. priem. skaičius	2,869	1,673	2,939	17,616
X_6 – nelyg. trauk. matomumas	2,543	1,348	3,559	12,723
X_7 – lyg. trauk. matomumas	1,246	1,295	0,926	3,477
a – konst.	-10,053	3,193	9,933	0,000

Kaip matyti iš 2 lentelės didžiausią įtaką pervažų saugumui turi pervažos kategorija, kurios svarbos koeficientas $X_2 = 5,606$. Taip pat didelę reikšmę turi pervažos plotis ir transporto priemonių, kertančių pervažą per parą, skaičius, kurių koeficientai $X_1 = 2,987$ ir $X_5 = 2,869$ atitinkamai. Pagal turimus duomenis mažiausiai įtakos pervažos saugumui turi traukinių greitis $X_3 = 0,517$ ir traukinių, kertančių pervažą per parą, skaičius $X_4 = 0,824$.

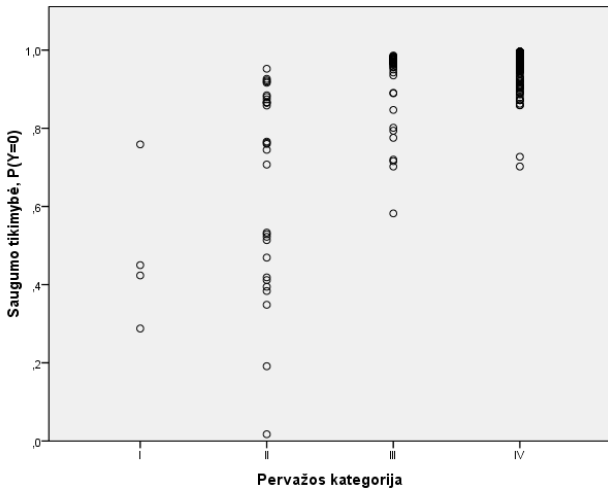
Pritaikius binarinės logistinės regresijos modelį bei apskaičiavus tikimybę neįvykti eismo įvykiui, grafiškai išreiškiami saugumo priklausomybė nuo didžiausią įtaką pervažos saugumui turinčių saugumo vertinimo kriterijų.

Pervažos saugumo priklausomybė nuo pervažos kategorijos pateikta 3 paveiksle.

Iš 4 pav. matyti, kad didžiausias reikšmių išsibarsymas yra ties 2-a pervažų kategorija, saugumo reikšmė svyruoja nuo 0,2 iki 0,9. Mažėjant pervažos kategorijai, mažėja ir jos saugumas ir atvirkščiai. Esant 4-ai pervažos kategorijai saugumo reikšmė svyruoja nuo 0,7 iki 1, o 1-ai – nuo 0,2 iki 0,7.

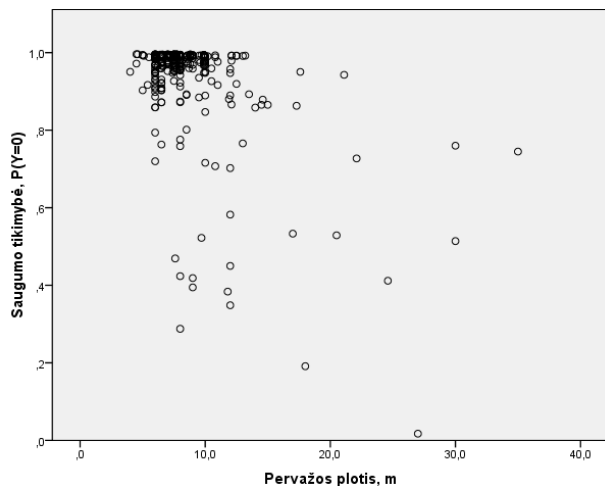
Palyginus pervažos pločio bei saugumo tikimybės reikšmės nustatyta, kad didžiausias tikimybės išsibarsymas yra tada, kai pervažos plotis 5–20 m. Tikimybė svy-

ruoja nuo 0,3 iki 0,9. Atsižvelgiant į tikimybę galima teigti, kad kuo mažesnis pervažos plotis, tuo jos saugumas didesnis.



3 pav. Tikimybės, kad neįvyks eismo įvykis $P(Y = 0)$ ir pervažos kategorijos X_2 koreliacinis laukas

Pervažos saugumo priklausomybė nuo pervažos pločio pateikta 4 paveiksle.



4 pav. Tikimybės, kad neįvyks eismo įvykis $P(Y = 0)$ ir pervažos pločio X_1 koreliacinis laukas

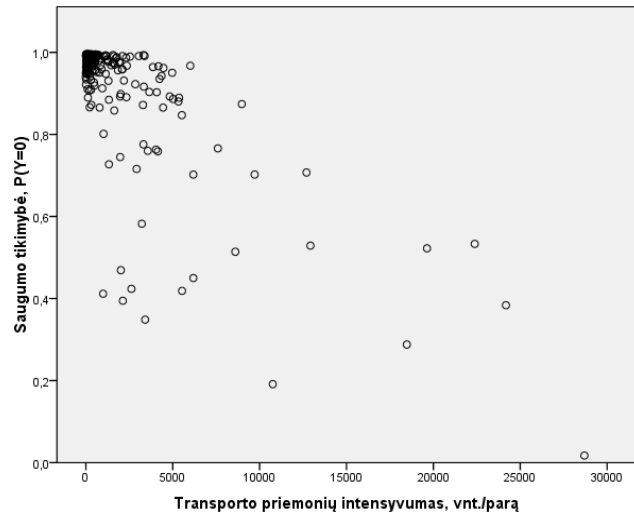
Iš 5 paveikslo taip pat matyti, kad tarp $P(Y = 0)$ ir X_1 egzistuoja gana stiprus ryšis, kadangi didėjant pervažos pločiui, mažėja tikimybių išsibarstymas.

Pervažos saugumo priklausomybė nuo transporto priemonių, kertančių geležinkelio pervažą per parą, skaičiaus pateikta 5 paveiksle.

Iš 5 pav. matyti, kad didžiausias tikimybių išsibarstymas yra, kai transporto priemonių intensyvumas svyruoja nuo 0 iki 5000 vnt./parą. Tikimybė neįvykti eismo įvykiui svyruoja nuo 0,4 iki 1,0. Galima teigti, kad esant tokiam intensyvumui pervažos saugumas yra vidutinis. Didėjant intensyvumui, reikšmių išsibarstymas mažėja.

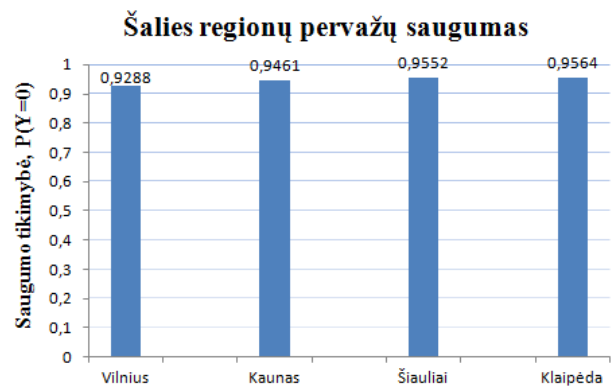
Apskaičiavus eismo įvykio tikimybę šalies geležinkelio pervažose, galima palyginti aukščiausios kategori-

jos pervažų saugumą pagal 4 šalies regionus: Vilniaus, Kauno, Šiaulių ir Klaipėdos.



5 pav. Tikimybės, kad neįvyks eismo įvykis $P(Y = 0)$ ir transporto priemonių intensyvumo X_5 koreliacinis laukas

IV kategorijos pervažų tikimybės, kad neįvyks eismo įvykis, palyginimas pagal šalies didžiausius regionus 2010–2016 metų laikotarpiu pateiktas 6 paveiksle.



6 pav. IV kategorijos Lietuvos geležinkelių pervažų saugumo palyginimas pagal šalies regionus 2010–2016 m.

Kaip matyti iš 6 paveikslo saugiausios aukščiausios kategorijos pervažos yra Klaipėdos bei Šiaulių regionuose, kurių tikimybės neįvykti eismo įvykiui yra $P(Y = 0) = 0,96$. Kauno regiono pervažose tikimybė neįvykti eismo įvykiui $P(Y = 0) = 0,95$, o mažiausiai saugiomis laikomos Vilniaus regiono IV kategorijos geležinkelio pervažose, kuriose tikimybė neįvykti eismo įvykiui $P(Y = 0) = 0,93$.

Išvados

1. 2010–2016 m. AB „Lietuvos geležinkeliai“ infrastruktūroje įvyko 576 eismo įvykiai, iš kurių 83 įvykiai – geležinkelių pervažose.

2. 2010–2016 m. Lietuvos geležinkelių pervažose eismo įvykių metu žuvo 21 ir buvo sunkiai sužeista 19 žmonių.

3. Aprašyta eismo saugumo riziką ir jos valdymas. Nustatyta, jog rizika priklauso nuo: pažeidžiamumo, grėsmės bei žalos.

4. Vertinant eismo saugumo riziką identifiukuotos žalos dydis balais nuo 1 iki 7.

5. Nustatytos dažniausios grėsmės, pasitaikančios geležinkelių pervažose, vertinamos balais nuo 1 iki 4.

6. Apskaičiuota tikimybė, kad geležinkelio pervažoje neįvyks eismo įvykis, ir palygintos tikimybės pagal didžiausius šalies regionus.

Literatūra

AB „Lietuvos geležinkeliai“. *Duomenys apie šalies regionų pervažų technines charakteristikas*.

Australijos pervažų rizikos valdymo modelis [žiūrėta 2016 m. sausio 13 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.intlrailsafety.com/Dublin/presentation_PM_23_OCT/10_Jay_Heavisides.pdf>.

Bureika, G.; Gaidamauskas, E.; Kupinas, J.; Bogdevičius, M.; Steišūnas, S. 2016. Modelling the assessment of traffic risk at level crossings of Lithuanian railways, *Transport*. Vilnius: Technika. ISSN 1648-4142.

Čekanavičius, V. 2011. *Taikomoji regresinė analizė socialiniuose tyrimuose*. Kaunas. 307 p.

Dėl bendrųjų geležinkelių transporto eismo saugos rodiklių nustatymo. Lietuvos Respublikos susiekimo ministro 2006 m. birželio 12 d. įsakymas Nr. 3-238. Vilnius, 2006.

Dėl rizikos valdymo valstybinėje teritorijų planavimo ir statybos inspekcijoje prie aplinkos ministerijos vadovo patvirtinimo ir rizikos valdymo valstybinėje teritorijų planavimo ir statybos inspekcijoje prie Aplinkos ministerijos komiteto sudarymo. Valstybinės teritorijų planavimo ir statybos inspekcijos prie Aplinkos ministerijos viršininko 2011 m. rugpjūčio 22 d. Įsakymas Nr. 1V-134. Vilnius, 2011.

European railway agency database [žiūrėta 2017 m. sausio 15d.]. Prieiga per internetą: <<https://eradis.era.europa.eu/default.aspx>>.

Ishak, S. Z.; Yue, W. L.; Somenahalli, S. 2010. Level crossing modelling using petri nets approach and π tool, *Asian Transport Studies* 1(2): 107–121.

Lietuvos Geležinkeliai [žiūrėta 2017 m. sausio 16 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.litrail.lt/>>.

Lingaitis L. P. 2009. *Geležinkeliai. Bendrasis kursas*. Vilnius: Technika. 280 p.

Pervažų įrengimo ir naudojimo taisyklės. LG/12. 2005. Vilnius: Gelspa.

Logistinė regresija socialiniuose tyrimuose [žiūrėta 2016 m. Balandžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/lrst/lrst.html&course_file=lrst_turinys.html>.

Pabedinskaitė A. 2005. *Kiekybiniai sprendimų metodai. I dalis. Koreliacinė regresinė analizė. Prognozavimas*. Vilnius: Technika. 102 p.

Rizikos vertinimas [žiūrėta 2017 m. sausio 22 d.]. Prieiga per internetą: <file:///B:/Downloads/5-skyrius-rizikos-vertinimas_20090201.pdf>.

Valstybinė geležinkelių inspekcija prie Susisiekimo ministerijos. 2010. *Bendrieji saugos tikslai*.