



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Povilas Striuogaitis**

**MODERNIZUOTŲ GELEŽINKELIO RUOŽŲ TRAUKINIŲ  
DINAMIKOS IR PRAL AidUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

doc. dr. Vytautas Gargasas

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**AUTOMATIKOS KATEDRA**

**MODERNIZUOTŲ GELEŽINKELIO RUOŽŲ TRAUKINIŲ  
DINAMIKOS IR PRAL AidUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Valdymo technologijos (621H66001)

**Vadovas**

doc. dr. Vytautas Gargasas

**Recenzentas**

prof. dr. Donatas Levišauskas

**Projektą atliko**

Povilas Striuogaitis

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

---

Povilas Striuogaitis

---

Valdymo technologijos (621H66001)

---

Baigiamojo projekto „Modernizuotų geležinkelio ruožų traukinių dinamikos ir pralaidumo tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

2016 m. Gegužės 18 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Povilo Striuogaičio** baigiamasis projektas tema „Modernizuotų geležinkelio ruožų traukinių dinamikos ir pralaidumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

*(vardą ir pavardę įrašyti ranka)*

---

*(parašas)*

Striuogaitis, P. Modernizuotų geležinkelio ruožų traukinių dinamikos ir pralaidumo tyrimas. Valdymo sistemų magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Vytautas Gargasas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Kaunas, 2016. 50 psl.

## SANTRAUKA

Šiuo darbu norima pateikti ir išanalizuoti informaciją apie traukinių eismo intensyvumą, grafikus ir stabdymo atstumus, įdiegus naują eismo valdymo sistemą ir modernizavus geležinkelio ruožą. Lietuvos geopolitinė padėtis yra gana svarbi krovinių pervežimo srityje Rytų Europoje. Dalyvaudama transeuropiniame geležinkelio kūrimo etape, Lietuva privalo vykdyti plėtimosi ir restruktūrizavimo žingsnius tam, kad neatsiliktų nuo keliamų europinių direktyvų. Atsižvelgiant į esamą situaciją, daugiausiai nuostolių patiriama, kai dėl tarpvalstybinių sistemų nesuderinamumo priežasčių traukinys privalo priverstinai sustoti.

Tiriamas modernizuotas geležinkelio ruožas, kuriame ruošama įdiegti ETCS trečio lygio sistemų paketą. Šiuo atveju traukinių eismas vyktų nebe stacionariais blokuojamaisiais ruožais, o mobiliaisiais. ETCS **pirmasis lygis** – tai yra automatinė traukinių apsaugos ir valdymo sistema su fiksuotais mobiliaisiais ruožais, kurie turi įdiegtą lokomotyvo signalizaciją. ETCS **antrasis lygis** – šiame lygyje traukiniai toliau važiuoja pagal fiksuotus blokuojamuosius ruožus, tik čia jau atsiranda GSM-R ryšys. Tokiu būdu suteikiama galimybė traukiniui judėti maršrutu pagal mašinisto kabinos monitoriuje matomus virtualius signalus. ETCS **trečiasis lygis** yra galutinis ERTMS sistemos kūrimo tikslas. Traukinių sąstatų vientisumo kontrolė įdiegta didžiausio patikimumo lygyje, dėl to šiame lygyje atsisakoma kelio užimtumo kontrolės signalų, šviesoforų, bėgių grandinių. Traukinių eismas organizuojamas sudarant mobilizuotus blokuojamuosius ruožus (MBR), kurie sudaromi skaičiuojant saugų atstumą iki priekyje esančio traukinio.

Mobiliais ruožais judantys traukiniai užima tam tikrą vietą tarpstotyje. Atstumą tarp viena kryptimi važiuojančių traukinių sudaro saugaus traukinio stabdymo kelio atstumas ir 50 metrų atsargos konstanta. Tokį atstumą traukinys, reaguodamas į priekį esančio traukinio greičio (arba atstumo iki jo) pokyčius, turi palaikyti, kad išvengtų avaringų situacijų. Šie parametrai gaunami įvertinus sąstato dinamines charakteristikas. Siekiant sukurti pralaidumo įvertinimo

būdą, pasiūlyta patobulinti traukinių eismo grafikų atvaizdavimą: braižant grafikus įtraukti jų saugaus stabdymo atstumo kreivę, traukinio galo žymėjimą, atvaizduoti traukinio įsigreitėjimą bei stabdymą. Tam tikslui traukinio stabdymo kelio ir stabdžių paruošimo kelio skaičiavimai turi būti atlikti iš anksto ir panaudoti grafiko sudarymui. Toks grafinis-matematinis grafiko generavimo būdas yra tinkamas parametrų įvertinimui, ruožo pralaidumo nustatymui ir traukinių eismo įtakos automobilių eismui pervažose analizei. Ši idėja išbandyta ir yra tinkama įvertinus eksperimento būdu užfiksuotus traukinio judėjimo duomenis. Sumodeliuotas tikslus matematinis grafikas, kuris sudaromas pagal kiekvieno traukinio stabdymo, įsigreitėjimo pagreičius. Modeliuojant tokius grafikus galima nustatyti, koks buvo traukinio greitis kurioje kelio ruožo vietoje.

Darbo rezultatai rodo, kad mobiliais ruožais važiuojančių traukinių pralaidumas labai priklauso nuo jų greičio. Jei tarpstotyje traukiniai gali pasiekti 100 km/val. greitį, tuomet ruožo pralaidumas bus 72 traukiniai per valandą. O jei traukinių greitis bus 160 km/val., tuomet ruožo pralaidumas sumažėja iki 36 traukinių per valandą. Traukinių eismo pralaidumas prie pusiau automatinės blokuotės, kai turime 14,724 km ilgio tarpstotį ir 0,8 km ilgio traukinį, bus 6,44 trauk./val. Prie automatinės blokuotės, kai blokuojamųjų ruožų ilgis 1,2 km, pralaidumas bus 10,67 trauk./val., o kai blokuojamieji ruožai po 2,5 km, tuomet pralaidumas bus 9,38 trauk./val.

*Reikšminiai žodžiai:* ERTMS, ETCS, Geležinkelis, Pralaidumas, Intensyvumas, Valdymas, Sistema.

Striuogaitis, P. Investigation of Train Dynamics and Throughput in Modernized Railway Lines. Final Project of Control Systems masters qualification degree / supervisor doc. dr. Vytautas Gargasas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation.

Kaunas, 2016. 50 psl.

## SUMMARY

This work intended to present and analyze information on train traffic intensity, schedules and braking distances, after installation of new traffic management system and modernization of the railway section. Lithuania's geopolitical position is rather important for cargo transportation in Eastern Europe. Lithuania must implement the expansion and restructuring steps in order to keep pace with the conditions of European Directives, because belongs to part of the trans-European rail development stage. Considering the current situation, there occur major losses because incompatibility reasons of the interstate systems, when train must be forced to stop.

Analyzed modernized railway sector, which is being prepared for installation of ETCS third level systems package. In this case, the train traffic is no longer carried by fixed interlocking sections, but mobile. ETCS **first level** – it is an automatic train protection and control system with fixed mobile sections which have installed locomotive alarm. ETCS **second level** – at this level trains continue running via the fixed interlocking sections, only there arises the GSM-R connection. In this way, there is the opportunity to move the train route in accordance to the driver's cab monitor display of virtual signals. ETCS **third level** is the last of the ERTMS system development. Train integrity control is installed at maximum level of confidence, so, at this level, the road occupation control signals, traffic signals and track circuits are rejected. Train traffic is organized into mobilized interlocking sections, which are formed by calculating safe distance up to the front of the train.

Trains moving on mobile sections occupy a certain place at side track. The distance between the trains running in one direction consist of safe road train braking distance and 50 meters of reserves constant. This distance must be hold in accordance to speed of the front train (or the distance to it) in order to avoid the accident situations. These parameters are derived from estimate dynamic characteristics. In order to build capacity assessment method, it is proposed to improve train traffic graphs mapping: scratches graphs include the stopping distance curve, the

train back marking, display train run-up and braking. Train braking distance and brake preparation path calculations have to be made in advance and have to be used for the scheduling creation. The graphic-mathematical graph generation method is suitable for the estimation of parameters, the section of bandwidth detection and traffic impact on car traffic at level of crossings analysis. This idea has been tested and is suitable for evaluation of experimentally recorded train information. There is made precise mathematical graph, which is drawn by each train stop, run-up accelerations. Designing these charts, there is a possibility to determine the speed of train, list road section and location.

The results show that mobile sections of railways throughput largely depend on their speed. If at side track trains can reach 100 km/h speed, the throughput of the strip will be 72 trains per hour. However, if the train speed is 160 km/h, then the throughput of the strip is reduced to 36 trains per hour. Traffic bandwidth with semi-automatic interlocking, when there is 14.724 km long side track and 0.8 km long train, throughput will be 6.44 train/h. Beside the automatic lock when the block stretches to the length of 1.2 km, capacity will be 10.67 train/h. While the interlocking sections are 2.5 km, then throughput will be 9.38 train/h.

*Reikšminiai žodžiai:* ERTMS, ETCS, Railway, Throughput, Capacity, Control, System.

## TURINYS

ĮVADAS .....	8
I. BENDRA EUROPOS TRANSPORTO VALDYMO SISTEMŲ APŽVALGA.....	10
1.1. Europos geležinkelių eismo valdymo sistema – ERTMS / ETCS.....	12
1.2. Blokuojamieji kelio ruožai.....	16
1.3. Mobilieji eismo ruožai .....	18
1.4. Gatvės pravažiavimo laiko modeliavimas .....	19
1.5. Stabdymo kelio skaičiavimas.....	23
II. GELEŽINKELIO RUOŽO PRALAUDUMO TYRIMAS .....	29
2.1. Grafiko sudarymas ir vaizdavimas .....	29
2.2. Pralaidumo apskaičiavimas.....	36
2.3. Pralaidumas ir jo įtaka automobilių eismui pervažoje.....	37
III. MODERNIZUOTO RUOŽO TYRIMAS .....	39
3.1. Ruožo pralaidumo tyrimas.....	39
3.2. Pervažą kertančių automobilių pralaidumo tyrimas .....	41
3.3. Iš paskos važiuojančio traukinio atstumo palaikymo tyrimas .....	43
IŠVADOS IR REZULTATAI .....	47
NAUDOTA LITERATŪRA .....	49



## IVADAS

**Darbo tema** – „Modernizuotų geležinkelio ruožų traukinių dinamikos ir pralaidumo tyrimas.“. Darbe analizuojama modernizuoto geležinkelio ruožo eismo valdymo sistema, kurioje eismas vyksta mobiliaisiais kelio ruožais.

**Tyrimų apžvalga** – Šiame darbe remiamasi Tom Parkinson, Ian Fisher darbu „Rail Transit Capacity“, kuriame nagrinėjamas geležinkelio ruožų pralaidumas prie įvairių sistemų. Taip pat nemažai informacijos pateikiama V. Bagdono, O Švėgždos darbe „Lietuvos geležinkelių tarpstočių automatikos problemos“, analizuojamos trečio lygio Europos traukinių eismo valdymo bei automatinės blokuotės sistemos. E. Rakovskos, D. Bazaro, J. straipsnyje – „ERTMS taikymo galimybės įvertinimas geležinkelių eismo valdymo sistemų problemai spręsti“ nagrinėjama Europos geležinkelio eismo valdymo sistema ir jos nesuderinamumo problema, dėl ko turi būti sukurta bendra sąjungos eismo valdymo sistema. Panašios problemos nagrinėjamos ir Ilgakojoytės, A. Vilkuočio, D. Markšaičio, M. Palumbo, R. Esposito, A. Lazzro, P. Marmo, A. Sanseviero darbuose. Nemažai pateikta informacijos, kaip turi vykti eismo grafikas pagal pusiau automatinę ar automatinę kelio blokuočių sistemas, pateikti ir apžvelgti sistemų skaičiavimai, susiję su pralaidumo ir naujų sistemų diegimo problemomis.

**Temos aktualumas** – šiuo darbu norima pateikti ir išanalizuoti informaciją apie traukinių eismo intensyvumą, grafikus ir stabdymo atstumus, įdiegus naują eismo valdymo sistemą ir modernizavus geležinkelio ruožą. Lietuvos geopolitinė padėtis yra gana svarbi krovinių pervežimo srityje Rytų Europoje. Dalyvaujama transeuropiniame geležinkelio kūrimo etape, Lietuva privalo vykdyti plėtimosi ir restruktūrizavimo žingsnius tam, kad neatsiliktų nuo keliamų europinių direktyvų. Atsižvelgiant į esamą situaciją, daugiausiai nuostolių patiriama, kai dėl tarpvalstybinių sistemų nesuderinamumo priežasčių traukinys privalo priverstinai sustoti.

**Tyrimo objektas** – pralaidumas geležinkelio ruože, kuriame įdiegta Europos geležinkelių eismo valdymo sistema ERTMS.

**Tikslas** – sukurti būdą, leidžiantį nustatyti modernizuoto ruožo intensyvumą bei išanalizuoti traukinių eismo valdymo sistemos įtaką ruožo pralaidumui.

**Darbo tikslui pasiekti suponuoti tokie uždaviniai:**

1. Išnagrinėti Europos transporto valdymo sistemą.
2. Ištirti blokuojamaisiais ir mobiliaisiais ruožais vykstantį eismą.
3. Apžvelgti stabdymo atstumo skaičiavimus ir grafikų sudarymą modernizuotame geležinkelio ruože.

4. Ištirti pervažų veikimą su mobiliaisiais kelio ruožais prie skirtingų ruožų greičių bei modernizuoto ruožo pralaidumą.
5. Sumodeliuoti pagal realų traukinį iš paskos saugiu mobiliu atstumu važiuojantį traukinį ir pavaizduoti grafiškai.
6. Išanalizuoti, ar, esant maksimaliam traukinių eismo intensyvumui, automatinės pervažos sugebės praleisti joms tenkančius automobilių srautus.

**Tyrimo metodai** – aprašomasis ir interpretacinis, aprašomi ir interpretuojami išrinkti pavyzdžiai, siūlomų sprendinių matematinė analizė.

**Tyrimo reikšmė.** Šiuo metu geležinkeliuose esama sistema neina nustatyti traukinių eismo grafikų, kokie jie turėtų būti įdiegus trečio lygio traukinių eismo valdymo sistemą. Šiuo darbu siekiam sukurti ir pateikti informaciją apie traukinių eismo grafiką modernizuotame geležinkelio ruože. Kadangi šia tema informacijos nedaug, šis darbas bus aktualus ruošiantis diegti ir ateityje įdiegus naują traukinių eismo valdymo ir kontroliavimo sistemą.

## I. BENDRA EUROPOS TRANSPORTO VALDYMO SISTEMŲ APŽVALGA

Lietuvos geopolitinė padėtis yra gana svarbi krovinių pervežimo srityje Rytų Europoje. Dalyvaudama transeuropiniame geležinkelio kūrimo etape, Lietuva privalo vykdyti plėtimosi ir restruktūrizavimo žingsnius tam, kad neatsilikėtų. Dauguma šalių nederino savo kuriamos infrastruktūros su kitomis, taip susikūrė daug ir tarpusavyje sunkiai suderinamų sistemų. Šiuo metu Europoje yra sukurta apie 20 skirtingų eismo valdymo, signalų reguliavimo ir greičio kontrolės sistemų. Pagal Europos tarptautinės geležinkelių sąjungos, Europos geležinkelių bendrijos ir Europos geležinkelių pramonės sąjungos susitarimus turi būti sukurta bendra visos Europos geležinkelių valdymo sistema tam, kad būtų užtikrinta, jog traukinių eismas vyks netrikdomai. Šiuo metu traukinių užlaikymas tarp kaimyninių šalių užima nemažą laiko dalį (žr. 1.1 pav.), dažniausiai traukinių sąstatai, atvykę iki kitos šalies, yra priversti persodinti keleivius ar perkrauti krovinius į tos šalies geležinkelio infrastruktūros traukinius.

Stotis	Stovėjimo laikas, min.*	
	atvykstančių traukinių	išvykstančių traukinių
Vaidotai	225	155
Kena	205	165
Kybartai	155	170
Pagėgiai	120	162
Stasylos	40	25

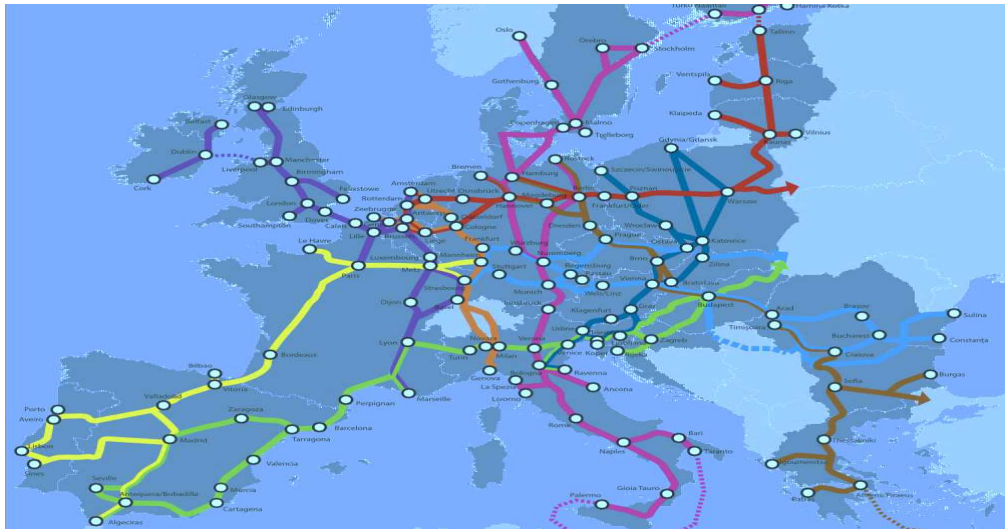
\* Prekinių traukinių tikrinimo laikas gali skirtis priklausomai nuo vagonų skaičiaus, gabenamų krovinių kiekio ir pobūdžio, pasirinktų muitinės procedūrų bei kitų su muitinės kontrole susijusių veiksmy.

### 1.1 pav. Prekinių traukinių stovėjimo pasienio (perdavimo) stotyse laiko žiniaraštis 2014–2015 m. [1]

Pagal Evos Rakovskos ir Dariaus Bazaro straipsnyje apie Europos geležinkelio eismo valdymo sistemos (toliau – ERTMS) taikymo galimybes pateiktą informaciją, traukinyje Paryžius–Briuselis yra įrengtos septynios skirtingos signalizacijos ir greičio kontrolės sistemos, kurios yra suderintos su į maršrutą įeinančių valstybių geležinkelių eismo valdymo sistemomis. Tačiau Europos mastu tai nėra racionalus sprendimas, kadangi jam reikalingos didelės investicijos ir darbuotojai, kurie turi išmanyti visas septynias sistemas [2]. Visa tai užima daug laiko ir taip išdarkomas traukinių eismo grafikas. Toks techninis neefektyvus valdymas visoje Europoje negali būti suderintas ir sujungtas į vieną bendrą sistemą, dėl to buvo būtina sukurti bendrą visos Europos geležinkelio erdvės valdymo sistemą. Kaip teigiama Europos komisijos leidinyje „Baltoji knyga“, „Būtina suvienyti rytinės ir vakarinės Europos dalies transporto sistemas, kad būtų visapusiškai atsižvelgiama į beveik viso žemyno ir mūsų 500 mln. piliečių transporto poreikius.“ [3]. ERTMS yra sudėtinga ir brangi sistema, todėl be Europos sąjungos

(toliau – ES) pagalbos ir kitų šalių bendradarbiavimo tokia šalis kaip Lietuva neturi galimybių įdiegti šių sistemų, net jei ir būtų sukurti visi projektai. Lietuvos geležinkelių infrastruktūrą reikia keisti iš esmės, kadangi visoje Europos sąjungoje naudojama 1435 mm, o Lietuvoje yra likus sena 1520 mm vėžė. Įdiegus ERTMS sistemą ES traukinių eismas pasikeis kardinaliai, kadangi taps neberekalingi (atkris) daugybę laiko sutaupysiantys tarpvalstybinių traukinių maršrutų derinimo aktai, leidimai, vizos ir kt., teigiama V. Bagdono darbe apie transporto automatikos problemas [4]. ERTMS trečiasis lygis suteiktų galimybę užtikrinti sklandų traukinių eismą.

Transeuropinių tinklų politikos tikslas – sukurti transporto infrastruktūrą bei jungtis, kurios sustiprintų bendrąją rinką, užtikrinti laisvą prekių ir žmonių judėjimą ir remti ekonomikos augimą, darbo vietų kūrimą bei ES konkurencingumą. Transeuropinio transporto tinklo TEN-T plėtra siekiama išplėtoti integruotą nacionalinį tinklą ir subalansuoti įvairių transporto rūšių – geležinkelių bei sausumos ir jūrų kelių – plėtrą [5]. Taip pat sujungti visus svarbius ES regionus, užtikrinant gerą susisiekimą su kitomis ES valstybėmis. Bene svarbiausia yra padidinti transporto tinklų saugumą ir efektyvumą. TEN-T vienas iš svarbių projektų „Rail Baltica“ – tai gyvybiškai svarbus jungiamasis transporto tinklas tarp senųjų ir naujųjų ES valstybių narių, tarp Rytų ir Vakarų Europos (žr. 1.2 pav.), teigiama Europos komisijos leidinyje „Baltoji knyga“. Jo ilgalaikis tikslas yra sukurti naują greitojo geležinkelio europinės vėžės liniją per Baltijos šalis nuo Mockavos iki Talino. Projektas pradėtas 2005 m. ir iš pradžių buvo kuriamas palaipsniui tobulinant ir atnaujinant esamą šiame regione užsilikusią seną 1520 mm vėžę. Visoje Europoje naudojama 1435 mm vėžė. Iki 2015 m. Lietuva pirmoji pradėjo kelio taisymo darbus, pirmuoju etapu tikslas buvo nutiesti naują 1435 mm vėžę nuo pasienio su Lenkija iki Kauno. [3]. ERTMS ir susijusių sistemų diegimas Rail Baltica linijos valstybės siena su Lenkija–Kaunas ruože numatoma skirti 84,757 mln. eurų 2015–2019 metais. Geležinkelio linijos Lietuvos ir Lenkijos valstybės siena Marijampolė–Kazlų Rūda–Kaunas elektrifikavimo projektavimo darbų numatoma vertė yra 3,001 mln. eurų. Bendra planuojama projektų vertė linijos valstybės sienos su Lenkija–Kaunas – 87,758 mln. eurų, teigiama geležinkelių infrastruktūros direkcijos planuojamuosiuose plėtros projektuose [6]. Tolimesniais etapais bus kuriami ir tiesiami keliai link Talino bei kuriamos naujausios valdymo ir traukinių eismo saugumą užtikrinančios sistemos ERTMS / ETCS (paprasčiau tiesiog ETCS).



1.2 pav. TEN – T (ES transporto infrastruktūros tinklas)

1.2 paveiksle (žr. 1.2 pav.) vaizduojama visa Europos kuriama infrastuktūra, skirtingomis spalvomis vaizduojami tarpvalstybiniai susisiekimo koridoriai.[7]

### 1.1. Europos geležinkelių eismo valdymo sistema – ERTMS / ETCS

ERTMS / ETCS – tai bendras tarptautinis traukinių eismo valdymo ir signalizacijos sistemos standartas. Šios sistemos diegimas yra būtinas ypač tarptautinėse svarbios reikšmės ir kitose HS / HC (didelio greičio, angl. *high speed* / didelio srauto, angl. *high capacity*) geležinkelio linijose. Pagrindinis tikslas yra pagrįstas būtinybe supaprastinti ir patobulinti tarptautines geležinkelių teikiamas paslaugas bei palaipti sukurti atvirą, konkurencingą ir vidaus rinkos poreikius atspindinčią sistemą, gabenant krovinius bei keleivius. Šiam tikslui pasiekti yra sukurtos esminės sistemos ir posistemės bei jų komponentai, nurodant būtinus reikalavimus bei technines specifikacijas, kurias būtų galima apjungti. 1998 m. Europos ryšių kompanijos suformavo TSI (Techninius specifikacijos suderinamumus, angl. *technical specification for interoperability*) [8]. Europoje ir pasaulyje yra plačiai žinomos šios įmonės, teikiančios geležinkelių transporto sprendimus:

- švedų „*Bombardier Transportation*“, anksčiau vadinta „Adtranz“;
- vokiečių „Siemens“;
- austrų „Alcatel“;
- ispanų „Alstom“ (M. Palumbo, 2013 m.). Šios įmonės sprendžia iškilusias problemas eismo automatizavimo klausimais.

ERTMS sistema Europoje apima penkis pagrindinius parametrus: saugumą (vienodo greičio valdymas, signalų priėmimas traukiniui, sienų kirtimo informacijos sistema, bendra vairuotojo valdymo sistema, laikinų greičio sumažinimų siuntimo sistema), kaštus (panaikinti ar sumažinti stacionarūs signalai, europinis standartas, pigesnė signalų sistema, mažiau kabelinių sistemų), prieinamumą (klaidų tyrimas bei analizavimas), suderinamumą (standartizuoti informacijos pateikimo ekranai traukinių mašinistams visoje EU (Europoje), standartinė duomenų perdavimo sąsaja tarp traukinio ir infrastruktūros, operatyvi perdavimo sistema tarp mašinisto ir infrastruktūros), techninę priežiūrą (standartizuota sistema, mažiau kritinių saugos sąsajų, viena sistema bet kuria kryptimi vykstančiam traukiniui, keli techniniai tiekėjai) [9].

ETCS sistema, nors ir įdiegta bei naudojama kai kuriuose Europos geležinkelių ruožuose, yra dar tobulinimo stadijoje. Lietuvoje ši sistema bus pradėta diegti tik vykdant „*Rail Baltica*“ projektą, jos tikslas sukurti naują greitojo geležinkelio europinės vėžės liniją per Baltijos šalis iki Talino. Šiuo metu jau nutiestas kelias Lenkija–Marijampolė–Kazlų Rūda–Kaunas ir ruošiamasi antram etapui, kurio metu bus pradėtos diegti eismo valdymo ir automatikos sistemos.

ERTMS susideda iš ETCS (angl. *European train control system*) ir GSM-R (angl. *global system for mobile communication – railway*) sistemų. Remiantis bendra Europos specifikacija, ERTMS turi du pagrindinius komponentus: Europos traukinių kontrolės sistemą (toliau – ETCS) ir traukinio automatinio sustabdymo sistemą (toliau – ATP). GSM-R radijo sistema atsakinga už balso ir duomenų perdavimą tarp maršrutinio kelio ir traukinio. Sistema grindžiama standartiniu GSM dažniu, naudojant specialiai geležinkelių taikymo srityse sertifikuotas technologijas [8].

EUROBALISE – duomenys, perduodami taškinio perdavimo sistema. Traukinio buvimo vieta nustatoma ant bėgių įrengtais ašių skaitikliais, dar vadinamais transponderiais (angl. *balise*). Signalizavimo informacija perduodama mašinistui įrangos vairuotojo kabinoje pasitelkus ETCS.

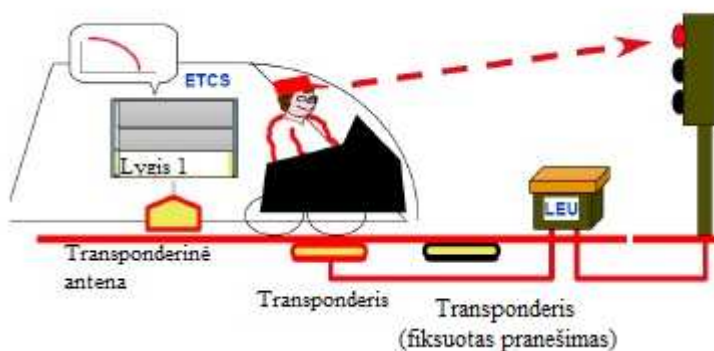
EUROLOOP – automatinė lokomotyvų signalizacija (ALSN). Modernizuota ištisinė duomenų perdavimo sistema tarp kelio ir traukinio, kai traukiniui pastoviai perduodama informacija apie priekyje esančio šviesoforo rodmenis.

EURORADIO – radijo ryšio perdavimo sistema, kai informacijai perduoti tarp stočių ir traukinių naudojamas radijo ryšys [10].

EUROCAB – lokomotyvo kompiuterinė įranga, apimanti kitas ETCS sistemas bei automatinę lokomotyvų signalizaciją. Tai automatinė traukinių saugos sistema (ATP angl. *automatic train protection system*).

Europos traukinių eismo valdymo sistema yra sudaryta: ERTMS = ETCS + GSM-R, o ETCS sudaro EUROBALISE, EUROLOOP bei EUROCCAS sistemos.

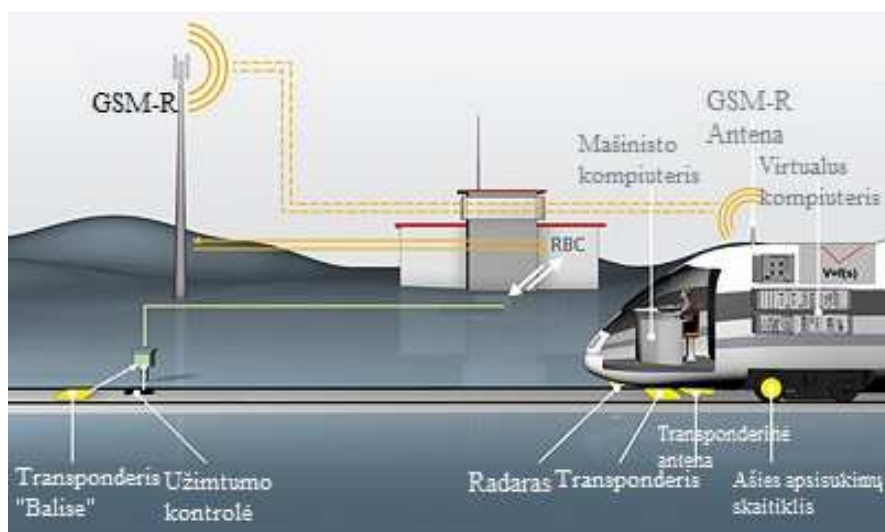
ETCS **pirmasis lygis** – tai yra automatinė traukinių apsaugos ir valdymo sistema su fiksuotais mobiliaisiais ruožais, kurie turi įdiegtą lokomotyvo signalizaciją. Iš dalies šis lygis neturi daug naujovių ar sudėtingų sistemų. Jis gali būti realizuotas su esamomis signalizavimo sistemomis, kurios sugebėtų perduoti lokomotyvo mašinistui informaciją apie priekyje esančio šviesoforo signalo reikšmę. Tam reikalingos ant kelio įrengtos „balise“, kurių pagalba atkoduojama informacija apie priekyje esančio blokuojamojo ruožo laisvumą. Iš dalies šis lygis skirtas lokomotyvo įrangos atnaujinimui, traukinio mašinistui suteikiant daugiau informacijos (žr. 1.3 pav.) [11].



1.3 pav. ETCS pirmo lygio sistemos iliustravimas [8]

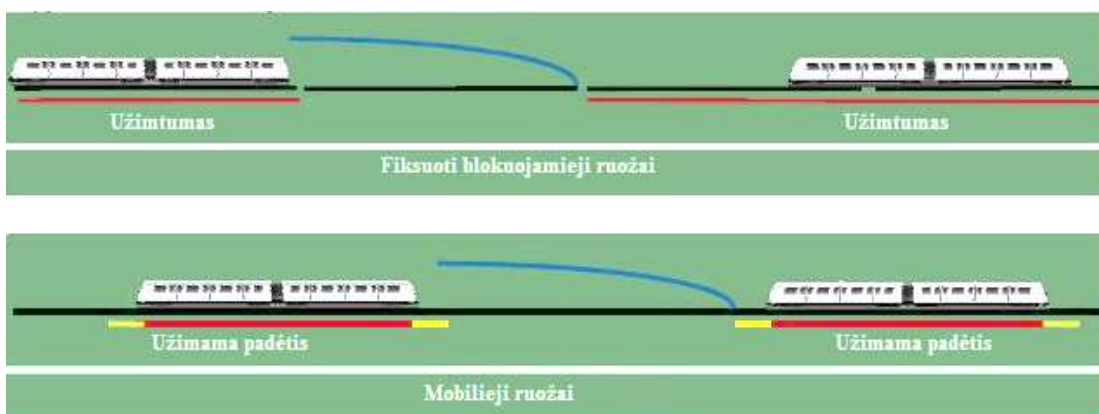
ETCS **antrasis lygis** – šiame lygyje traukiniai toliau važiuoja pagal fiksuotus blokuojamuosius ruožus, tik čia jau atsiranda GSM-R ryšys. Tokiu būdu suteikiama galimybė traukiniui judėti maršrutu pagal mašinisto kabinos monitoriuje matomus virtualius signalus. GSM-R ryšio pagalba galima atsisakyti daugelio stacionarių signalų, kurie perteikiami radijo ryšiu tiesiai į lokomotyvo kabinos sistemą. Paliekami tik kontroliniai ženklai, tokie kaip privalomieji ir pasienio signalai. Šiame lygyje eismas vyksta panašiai kaip automatinės blokuotės ruožuose. Taip pat traukinio vientisumo kontrolė užtikrinama bėgių grandinėmis bei apie savo padėtį traukinio mašinistas radijo blokavimo centrui (toliau – RBC) reguliariai turi pranešti naudodamasis GSM-R ryšiu. Transponderiai yra naudojami patikslinti traukinio kilometražą. Traukinio mašinistui suteikiama informacija apie galimą sustojimo ar greičio mažinimo būtinybę, jei priekyje esantis ruožas nebus atlaisvintas. Šioje sistemoje GSM-R kanalu perduodami duomenys RBC, kuris taip pat gauna ir kitus duomenis iš lokomotyvo sistemos. RBC apdorotą informaciją periodiškai siunčia lokomotyvo procesoriams, kurie gali reguliuoti traukinio greitį bei palaikyti saugų intervalą iki kliūtis. ETCS antrojo lygmens ruožai yra

suskirstyti zonomis, kurių kiekvieną aptarnauja atskiras radijo blokuotės centras (žr. 1.4 pav.) [12].



1.4 pav. ETCS antro lygio sistemos iliustravimas

ETCS **trečiasis lygis** yra galutinis ERTMS sistemos kūrimo tikslas. Traukinių sąstatų vientisumo kontrolė įdiegta didžiausio patikimumo lygyje, dėl to šiame lygyje atsisakoma kelio užimtumo kontrolės signalų, šviesforų, bėgių grandinių. Traukinių eismas organizuojamas sudarant mobilizuotus blokuojamuosius ruožus (toliau – MBR), kurie sudaromi skaičiuojant saugų atstumą iki priekyje esančio traukinio (žr. 1.5 pav.). Šiame lygyje traukiniai patys galės aptikti ir perduoti tikslią savo buvimo vietą bei sekti traukinio vientisumą, o tai leidžia dar labiau sumažinti įrenginių kiekį ant kelio [11].



1.5 pav. Eismas organizuojamas mobiliaisiais ir fiksuotais kelio ruožais

Trečiojo lygio RBC taip pat priskiriama daugiau užduočių ir funkcijų nei antrajame lygyje: traukinio stabdymo kelio skaičiuoklė, intervalų tarp traukinių kontrolė, eismo grafiko realizavimo kontrolė bei kitos užduotys, kurios sumažina traukinių eismo kamščius. Gaunama

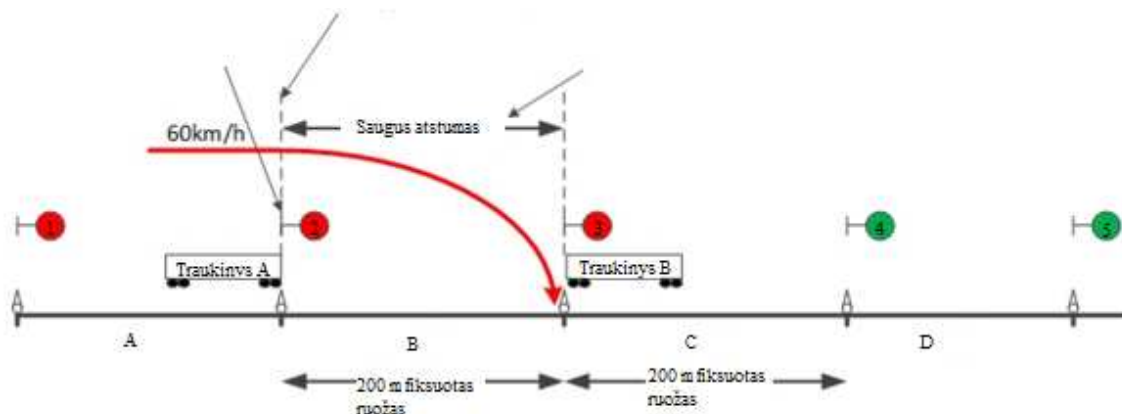


informacija apie viską, kad galėtų palaikyti tinkamus atstumus iki kito traukinio. Ir tuo pačiu judantis traukinys žino viską apie savo parametrus bei valdo juos, kad būtų saugu iki kito traukinio. Mobilieji blokuojamieji ruožai nustatomi pagal atstumus, esančius tarp dviejų viena kryptimi judančių traukinių, kur kiekvienas lokomotyvas turi įdiegtą EURO-CAB įrangą. Norint sudaryti mobiliuosius blokuojamuosius ruožus, tai galima padaryti naudojantis tokia žinoma informacija: priekyje važiuojančio traukinio koordinatės  $X$  (km), priekyje esančio traukinio ilgis  $L$  (km), savosios traukinio koordinatės  $Y$  (km), savasis traukinio stabdymo kelias  $S = f(v)$ , kai  $v$  – savasis greitis. Pagal šiuos parametrus, kai traukiniai juda kelio kilometrų didėjimo kryptimi, galima sudaryti formulę:  $L = X - Y - L > S$  [4].

## 1.2. Blokuojamieji kelio ruožai

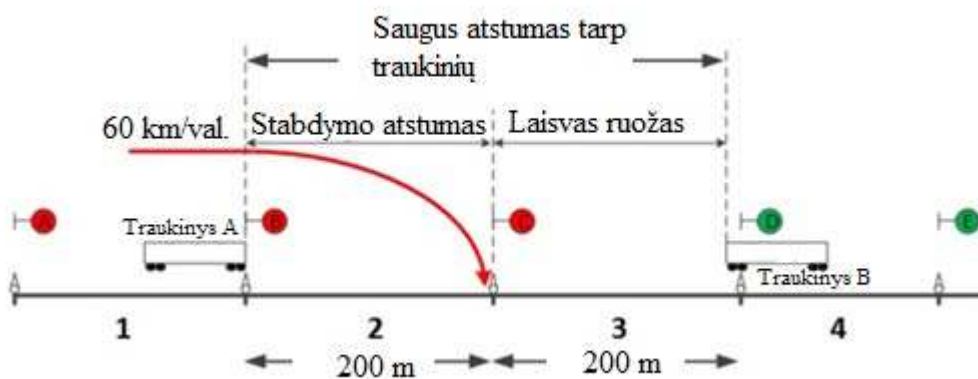
Geležinkelyje naudojant fiksuotus blokuojamuosius ruožus traukinių eismas vyksta, kai traukiniai vienas nuo kito yra nutolę bent per vieną blokuojamąjį ruožą. Tai reiškia, kad esant net ir mažam traukinių greičiui neįmanoma sumažinti traukinių atstumo tarp dviejų ta pačia kryptimi judančių traukinių. Tiesiog saugus atstumas tarp dviejų traukinių yra reikalingas tam, kad būtų išvengta susidūrimo su priekyje esančiu traukiniu, kol šis sustos jam skirtoje vietoje. Mobilijų eismo ruožų sistema leidžia traukiniams judėti ne pagal nustatytus blokuojamuosius ruožus, kurių ilgis gali būti iki kelių kilometrų, o pagal kiekvieno traukinio greičio ir saugaus sustojimo atstumo intervalus, kurie perskaičiuojami pastoviai gaunant duomenis iš judančio traukinio. Naudojant mobilių ruožų sistemą vienoje atkarpoje galima sudaryti išsistą traukinių grandinę, kurie juda saugiu atstumu vienas nuo kito, taip pagerindami ne tik atvykimo laiką, bet ir palengvinantys prasilenkimus. Viena kryptimi judantys traukiniai sudaro savo užimamą poziciją, kuri kiekvienam yra reikalinga saugiai judėti nusibrėžiant savo priekyje bei gale saugius ruožus, į kuriuos kiti traukiniai negali patekti. Šie ruožai vadinami saugaus atstumo zonomis. Šios zonos priklauso nuo traukinio stabdymo kelio, kurį atitinkamai sudaro traukinio greitis, sąstato ilgis bei kelio atkarpos sąlygos. Apskaičiuoti šiuos parametrus sistema turi gauti patikimą informaciją apie traukinio padėtį, šis veiksmas bus patikėtas kelyje įrengtiems transponderiams, GSM-R sistemai bei GPRS. Traukinio sistema nuolat patikslina savo esamą poziciją esamu laiku ir siunčia ją su kita informacija, pvz. greičio, krypties ir kitus borto kompiuteryje žinomus duomenis išorinėms eismo valdymo sistemoms. Kiekviename transponderyje, įrengtame ant kelio, gali būti įkelta informacija ir perduota traukiniui apie ruože leistiną greitį, koku greičiu jam judėti, kad saugiai pasiekti tikslą neprisivejant priekyje esančio traukinio. Tokiu būdu traukiniai gali važiuoti arti vienas kito, nepaliekant didelių fiksuotų blokuojamųjų atstumų [11].

Kad būtų galima geriau suprasti skirtumą tarp blokuojamųjų ir mobiliųjų kelio ruožų, apžvelgiamas žemiau pateiktas pavyzdys.



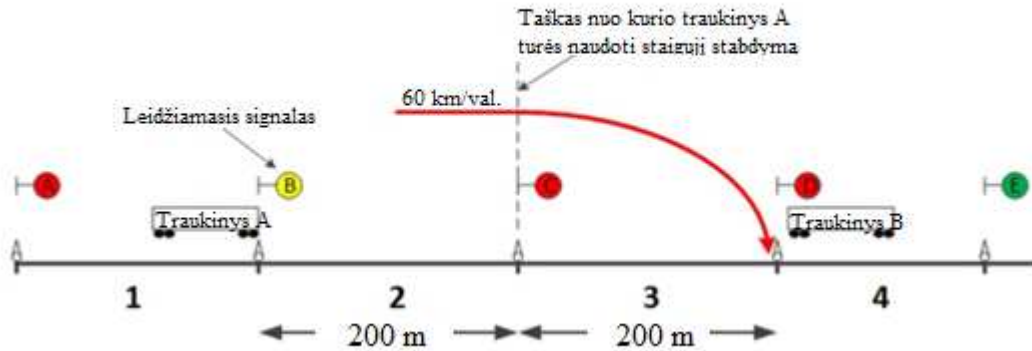
1.6 pav. Eismas blokuojamaisiais 200 metrų ruožais

1.6 paveiksle (žr. 1.6 pav.) matoma, kaip vyksta traukinių eismas blokuojamaisiais kelio ruožais kas 200 m. Traukiniui A, judančiam 60 km/h, privalu sustoti prie Nr. 2 raudono švisoforo, kuris signalizuoja, kad pravažiuoti draudžiamąjį signalą negalima, nes traukinys B neatlaisvino reikiamo ruožo. Traukiniui A pravažiavus švisoforo draudžiamą švisoforo signalą bus panaudoti avarinio stabdymo stabžiai, kuriuos panaudojus traukinys bus sustabdytas iki kito ruožo. Saugus atstumas tarp traukinių turi išlikti nemažiau kaip vienas blokuojamasis ruožas. Šioje sistemoje traukiniui A nebus leista pajudėti tol, kol traukinys B visiškai neatlaisvins 3 blokuojamojo ruožo – tai puikiai iliustruoja 1.7 ir 1.8 paveikslai (žr. 1.7, 1.8 pav.).



1.7 pav. Eismas blokuojamaisiais 200 metrų ruožais

Įsivaizduokite, kiek traukiniui A reikėtų laukti, jei blokuojamojo ruožo ilgis būtų 1,2 ar 2,5 km ilgio. Tuomet traukinio maršrute atsiranda privestiniai stovėjimai stotyse arba bus ribojamas ruožo greitis tam, kad traukiniui nereikėtų ilgai stovėti ir nebūtų iškraipomi eismo grafikai iki kol atsilaisvins blokuojamasis ruožas. Ir nėra svarbu, kokio ilgio traukinys ir kiek blokuojamojo ruožo jis užima – kol nebus pilnai atlaisvintas ruožas, kiti traukiniai judėti negali.

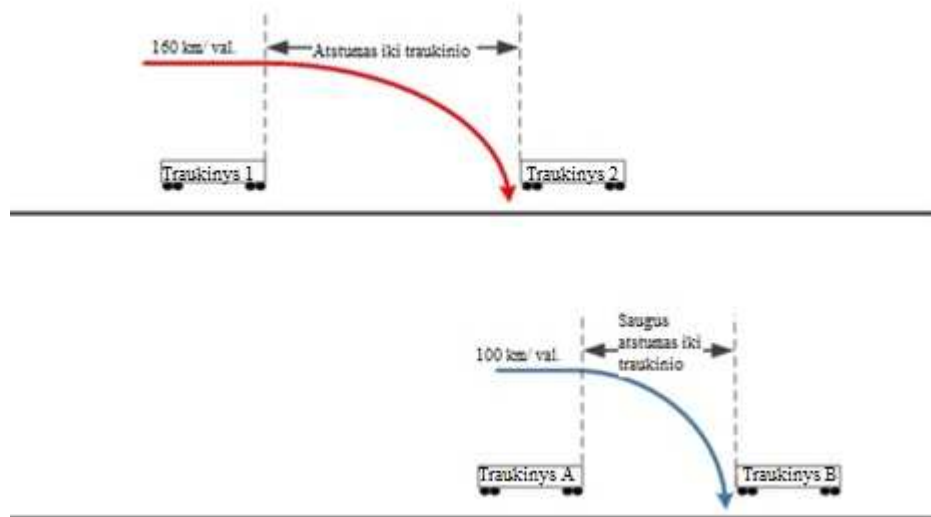


1.8 pav. Eismas blokuojamaisiais 200 metrų ruožais

Eismas blokuojamais kelio ruožais efektyvus ten, kur naudojami vienodo ilgio sąstatai ir optimalūs blokuojamieji kelio ruožai bei išlaikomas vienodas greitis. Tačiau jei ruože traukinių sąstatų ilgis bei greitis skirtingi, tuomet susidaro nemaži laiko tarpai, kurių metu traukiniai privalo stovėti, kas, žinoma, kainuoja nemažus pinigus. Sparčiai tobulėjant technikai ateityje turi būti atsisakyta blokuojamųjų kelio ruožų sistemos ir pereita prie mobiliųjų kelio ruožų, kurie žymiai sumažina sąnaudas, traukinių prastovas bei atstumus tarp dviejų ta pačia kryptimi judančių traukinių, taip pagerindami traukinių intensyvumą [2].

### 1.3. Mobilieji eismo ruožai

Panagrinėkime eismą mobiliaisiais kelio ruožais, kai įdiegus ETCS 3 lygį bus atsisakoma stacionarių kelio ženklų, kurie turi atitikti saugius gabarito atstumus. Svarbiausias šio lygio bruožas ir aspektas, lyginant su blokuojamaisiais kelio ruožais, yra tai, kad eismas vykdomas ne tam tikrais nustatytais atstumais suskirstytais kelio ruožais, o realiu laiku įvertinant esamą traukinio padėtį maršrute. Ši sistema grindžiama realiu laiku apskaičiuojant traukinio greitį. Jei traukinys juda dideliu greičiu, saugus atstumas iki priekyje esančio traukinio bus tiesiogiai proporcingas jo stabdymo keliui, pridėdant apie 50 metrų atsargos koeficientą. Pvz.: Jei traukinys juda 160 km/val. greičiu, jo atstumas iki kito traukinio bus apie 3300 metrų, o judant 100 km/val. greičiu atstumas iki priekyje esančio traukinio turėtų būti apie 1300 metrų. Taigi, jau nebelieka nustatytų eismo ruožų sistemos, o eismas vykdomas gaunant realiu laiku esamą padėtį apie traukinius [12]. Tai puikiai iliustruoja 1.9 paveikslas (žr. 1.9 pav.).



**1.9 pav.** Atstumas tarp dviejų traukinių, kai eismas organizuojamas mobiliais kelio ruožais

Atsižvelgiant į šiuolaikines technologijas ir eismo intensyvumo organizavimą, kai reikalaujama didesnio traukinių pralaidumo, eismas blokuojamaisiais kelio ruožais tampa atgyvenusia sistema, kuri nebesugebės priimti ir įgyvendinti ateities alternatyvų [13].

Traukinių intensyvumui nemažai įtakos turi ir automobilių srautas, kadangi ne visada pavyksta nutiesti geležinkelio ruožą, kuriame nebūtų pervažų. Traukinių eismas negali būti organizuojamas neatsižvelgiant į automobilių srautą per pervažas, nes esant dideliame traukinių intensyvumui automobilių srautas bus sutrikdytas. Norint įvertinti automobilių srautą ir tinkamai apskaičiuoti jų sugaištamą laiką, kuris reikalingas pervažiuoti pervažą, būtina apžvelgti *gatvės sankryžų pravažiavimo laiko skaičiavimus*.

#### 1.4. Gatvės pravažiavimo laiko modeliavimas

##### *Gatvės (sušviesoforais reguliuojamomis sankryžomis) pravažiavimo laikas*

Gatvė  $G_{ij}$ , kurios ilgis yra  $l_{ij}$ , pravažiuojama vidutiniškai per laiką  $\tau_{ij}$ , kurį sudaro 4 dedamosios:

- 1)  $\tau_{ij}^0$  - laikas, reikalingas nuotoliui  $l_{ij}$  įveikti, važiuojant be sustojimų;
- 2)  $\tau_{ij}^{sta}$  - laikas, sugaištamasis stabdant prie draudžiamųjų šviesoforo signalų;
- 3)  $\tau_{ij}^{st}$  - laikas, sugaištamasis stovint prie draudžiamųjų šviesoforo signalų;
- 4)  $\tau_{ij}^{gr}$  - laikas, sugaištamasis išibėgėti po sustojimo iki greičio  $v_{ij}^{\max}$  :

$$\tau_{ij} = \tau_{ij}^0 + \tau_{ij}^{sta} + \tau_{ij}^{st} + \tau_{ij}^{gr}. \quad (1.1)$$

Bendruoju atveju laikas  $\tau_{ij}^0$  apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$\tau_{ij}^0 = \sum_k \frac{l_{ij-k}}{v_{ij-k}(t)}; \quad \forall k: \quad v_{ij}^{\max} \geq v_{ij-k}(t) > 0.$$

Šioje formulėje kintamasis  $t$  rodo, kad paros bėgyje greitis gatvėje gali kisti.

Čia  $k$  – gatvės atkarpos tarp dviejų gretimų sankryžų (ar reguliuojamų perėjų) indeksas;  $v_{ij}^{\max}$  – didžiausias leistinas greitis.  $l_{ij-k}$  ir  $v_{ij-k}(t)$  – gatvės  $G_{ij}$   $k$ -osios atkarpos ilgis;  $v_{ij-k}(t)$  – greitis gatvės  $G_{ij}$   $k$ -oje atkarpoje.

Važiuojant pastoviu greičiu  $v_{ij}(t)$ ,

$$\tau_{ij}^0 = \frac{l_{ij}}{v_{ij}(t)}. \quad (1.2)$$

Laikas  $\tau_{ij}^{st-p}$  sugaištamasis dėl to, kad, pasirodžius žaliajam signalui, prie šviesoforo ne pirmoje vietoje stovinti transporto priemonė negali iškart pradėti važiuoti: ji turi palaukti, kol pajudės pirmesnė transporto priemonė. Čia ženklia įtaką turi vairuotojų reakcijos laikas: paskesnės transporto priemonės vairuotojas sureaguoja į pirmesnės transporto priemonės pajudėjimą per 0,2 s – 1,5 s (vidutiniškai  $\tau_r$ ). Taigi,

$$\tau_{ij}^{st} = \tau_{ij}^{st-r} + \tau_{ij}^{st-p}. \quad (1.3)$$

Stovėjimo prie raudono šviesoforo laiko vidurkis:

$$M[\tau_{ij}^{st-r}] = \int_0^{T_{raud}} \tau_{ij}^{st-r} P_{sta} \rho_{sta}(\tau_{ij}^{st-r}) d\tau_{ij}^{st-r}. \quad (1.4)$$

Čia  $P_{sta} = \frac{T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}}$  reiškia tikimybę, kad teks sustoti prie raudono šviesoforo žiburio;

$$\rho_{sta}(\tau_{ij}^{st-r}) = \frac{1}{T_{raud}} - \text{sąlyginės tikimybės, kad sustojus prie raudono šviesoforo teks}$$

laukti žalio žiburio laiką  $\tau_{ij}^{st-r} \in [0, T_{raud}]$ , tankio funkcija (tokį pavidalą ji įgauna dėl to, kad laukimo prie raudono žiburio laikas pasiskirsto tolygiai laiko intervale  $[0, T_{raud}]$ ).

Įstačius konkrečias tikimybių išraiškas, gaunama:

$$M[\tau_{ij}^{st-r}] = \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})}. \quad (1.5)$$

Jeigu eismo intensyvumas yra  $n_{ij}(t)$ , tai eismo dalyviui stovint ir laukiant šviesoforo žalio žiburio laiką  $\tau_{ij}^{st-r} \in [0, T_{raud}]$  prieš šį eismo dalyvį bus sustoję  $n_{ij}(t) (T_{raud} - \tau_{ij}^{st-r})$  transporto priemonių. Tai reiškia, kad jam pajudėti iš vietos, kai pasirodė žalias šviesoforo signalas, prireiks dar  $\tau_{ij}^{st-p} = \tau_r n_{ij}(t) (T_{raud} - \tau_{ij}^{st-r})$  sekundžių. Šio laiko vidurkis yra

$$M[\tau_{ij}^{st-p}] = \tau_r n_{ij}(t) \left( \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})} \right). \quad (1.6)$$

Tokiu būdu laiko, sugaištamo stovint prie šviesoforo draudžiamojo signalo, vidurkis

$$M[\tau_{ij}^{st}] = \tau_r n_{ij}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + (1 + \tau_r n_{ij}(t)) \frac{T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})}. \quad (1.7)$$

Tenka pastebėti, kad dažnai tenka sustoti netgi prie šviesoforo leidžiamojo (žalio) signalo. Taip atsitinka kai „pasivejama“ prie sankryžos buvusi eilė, kuri, pasirodžius žaliajam signalui, dar nebūna visa pajudėjusi (dėl to, kad paskesnės transporto priemonės vairuotojas sureagoja į pirmesnės transporto priemonės pajudėjimą su didesniu ar mažesniu vėlinimu).

Laikas  $T_{st-z}$  nuo žalio signalo pasirodymo iki paskutinės eilėje stovėjusios transporto priemonės išibėgėjimo yra išreiškiamas formule  $T_{st-z} = \tau_r n_{ij}(t) T_{raud} + \tau_{ij}^{gr}$ . (1.8)

Toliau dėl paprastumo paskutinės eilėje stovėjusios transporto priemonės išibėgėjimo laikas  $\tau_{ij}^{gr}$  yra nevertinamas, kadangi paskutinei stovėjusiai eilėje transporto priemonei pajudėjus, paskui ją važiuojančiai transporto priemonei užtenka tik pristabdyti (o ne visiškai sustoti). Taigi,

$$T_{st-z} = \tau_r n_{ij}(t) T_{raud}. \quad (1.9)$$

Laikas  $T_{st-z}$  eilę „prisivejančioms“ transporto priemonėms yra ekvivalentiškas šviesoforo raudono signalo prailginimui.

Konkrečiam eismo dalyviui, „prisivijusiam“ eilę jau prie šviesoforo žalio signalo, tenka laukti  $\tau_{ij}^{st-z}$  sekundžių. Laukimo laiko  $\tau_{ij}^{st-z}$  vidurkis skaičiuojamas pagal formulę, analogišką formulei (1.5):

$$M[\tau_{ij}^{st-z}] = \frac{(\tau_r n_{ij}(t))^2 T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})}. \quad (1.10)$$

Tokiu būdu, įvertinus laiką, sugaištamą eismo dalyviui „prisivijus“ eilę  $\tau_{ij}^{st-z}$ , laiko, sugaištamo stovint prie šviesoforo, vidurkis  $M[t_{ij}^{st}]$  gaunamas papildžius formulę (21) dėmeniu  $M[\tau_{ij}^{st-z}]$ :

$$M[t_{ij}^{st}] = \tau_r n_{ij}(t) \frac{T_{zal} T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}} + \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t) + (\tau_r n_{ij}(t))^2) T_{raud}^2}{2(T_{zal} + T_{raud})}. \quad (1.11)$$

Laikas, sugaištamasis stabdant ir įsibėgėjant, skaičiuojamas remiantis šiais samprotavimais:

1) stabdymo ir įsibėgėjimo pagreičiai laikomi vienodais ir priklausančiais nuo automobilio techninių charakteristikų. Šie pagreičiai skirtingiems automobiliams miesto sąlygomis būna nuo  $2 \text{ m/s}^2$  iki  $4 \text{ m/s}^2$ . Vidutiniškai priimama  $a = 3 \text{ m/s}^2$  ;

2) stabdymo bei įsibėgėjimo režimai (prie vieno šviesoforo draudžiančiojo signalo)

$$\text{trunka: } \tau^{st} = \tau^{gr} = \frac{v_{ij}(t)}{a} = \tau^{sg}. \quad (1.12)$$

3) prie vieno šviesoforo draudžiančiojo signalo stabdymo bei įsibėgėjimo režimu transporto priemonė nuvažiuoja:

$$l^{st} = l^{gr} = \frac{a(\tau^{st})^2}{2} = \frac{a(\tau^{gr})^2}{2} = \frac{a(\tau^{sg})^2}{2} = l^{sg}. \quad (1.12a)$$

Tokiu būdu vienas sustojimas prie šviesoforo transporto priemonės pravažiavimo

$$\text{gatve } G_{ij} \text{ laiką prailgina iki dydžio } \tau_{ij}^1 = \frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)} + 2 \frac{v_{ij}(t)}{a} + \tau_{ij}^{st} + \tau_{ij}^{st-z} \quad (1.13)$$

Šioje formulėje yra trys dėmenys. Pirmasis dėmuo  $\frac{l_{ij} - 2l^{sg}}{v_{ij}(t)}$  reiškia laiką,

sugaištamą važiuojant pastoviu greičiu  $v_{ij}(t)$ . Tokiu greičiu nuvažiuojamas atstumas, gautas iš gatvės ilgio  $l_{ij}$ , atmetus stabdymo prieš raudoną šviesoforo signalą (arba „prisivijus“ eilę) ir įsibėgėjimo po šio sustojimo kelią, kuris yra  $l^{st} + l^{gr} = 2l^{gr}$ .

Antrasis formulės (1.13) dėmuo išreiškia laiką, sugaištamą važiuojant stabdymo ir greitėjimo režimais. Kadangi stabdymo ir greitėjimo pagreičiai laikomi vienodais ir pastoviais, šiam laikui apskaičiuoti taikoma tolygiai kintančio judėjimo formulė  $v = v_0 + at$ . Šia formule ir grindžiama antrojo formulės (1.13) dėmens forma.

Trečiasis formulės (1.13) dėmuo yra stovėjimo prie raudono šviesoforo signalo laikas, kurio vidurkis išreiškiamas formule (1.7).

Ketvirtas dėmuo yra stovėjimo laikas „prisivijus“ eilę.

Tačiau reikia pastebėti, kad stabdymo–įsibėgėjimo procedūros tikimybė yra  $P_{sta} = \frac{T_{raud} + T_{st-z}}{T_{zal} + T_{raud}}$

Arba, įvertinus (1.9),

$$P_{sta} = \frac{(1 + \tau_r n_{ij}(t)) T_{raud}}{T_{zal} + T_{raud}}. \quad (1.13a)$$

Pasinaudojus šia teorija ir pakeitus kai kuriuos kintamuosius bus galima apskaičiuoti automobilių srautą per pervažą. Taip pat pagal gautus rezultatus įvertinti kokią įtaką traukinių intensyvumas turės automobilių srautui per pervažą. Įvertinus automobilių judėjimą per pervažas ir įvertinus traukinių srautus galima būtų įvertinti, kiek automobilis užtruks pervažiuoti pervažą. Šie paskaičiavimai gali būti pritaikyti bendrai analizei.

### 1.5. Stabdymo kelio skaičiavimas

Kiekvieno blok-ruožo ilgis turi būti ne mažesnis nei pusė stabdymo kelio, skirto nustatytai vietai, atliekant pilną paprastą stabdymą ir važiuojant maksimaliu greičiu, tačiau ne didesniu kaip 160 km/h keleiviniams ir 120 m/h prekiniam traukiniams; be to, turi būti ne mažesnis nei pusė stabdymo kelio ilgio, panaudojant staigųjį stabdymą su nurodytais greičiais (120 M 80km/h), atsižvelgiant į kelią, kurį nuvažiuoja per laiką, būtiną dėl automatinės lokomotyvo signalizacijos ir autostopų įrenginių suveikimo traukinio stabdymo sistemoje [14].



Laikoma, kad stabdymo kelias  $S$  turi dvi dedamąsias: stabdžių paruošimo kelią (kelias, kurį traukinys nuvažiuoja, kol paruošiami stabdžiai ir pradedama stabdyti)  $\Delta S$  ir tikrojo stabdymo kelią  $S_d$ :

$$S = \Delta S + S_d \quad (2.1)$$

Priimama, kad

$$\Delta S = 0,278 v_0 t_p . \quad (2.2)$$

Čia  $v_0$  – traukinio greitis [km/h] prieš pradedant stabdyti;

$t_p$  – stabdžių paruošimo laikas [h].

Prekiniams traukiniams, kurių ilgis yra iki 200 ašių,

$$t_p = 7 - \frac{10i_c}{b_{st}} . \quad (2.3)$$

Ilgiems prekiniams traukiniams (kurių ilgis yra nuo 200 ašių iki 300 ašių) ir keleiviniams traukiniams skaičiavimo formulės pateikiamos kitokios.

Formulėje (2.3)  $i_c$  yra santykinis pasipriešinimas, priklausantis nuo kelio nuolydžio ir kreivių spindulio.

$$i_c = w_i + w_r . \quad (2.4)$$

Šioje formulėje  $w_i$  – kelio nuolydis (matuojamas ‰) ir įkalnei imamas su „+“ ženklu, o nuokalnei – su „-“ ženklu;

$$w_r = \frac{700}{R} \frac{l_{kr}}{l} . \quad (2.5)$$

Čia  $R$  – kreivės spindulys [m];

$l_{kr}$  – kreivės ilgis [m];

$l$  – traukinio ilgis [m].

Formulėje (2.3)  $b_{st}$  yra santykinė (lyginamoji) traukinio stabdymo jėga, t.y., stabdymo jėga, tenkanti 1 tonai traukinio svorio.  $b_{st}$  išreiškiama formule:

$$b_{st} = \frac{\sum B_t}{Q} . \quad (2.6)$$

Čia  $\sum B_t$  – suminė visų stabdžių trinkelėlių stabdymo jėga;

$Q$  – traukinio svoris.

Suminės stabdymo jėgos analitinis aprašas yra pakankamai sudėtingas.

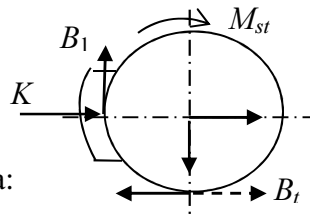
Tarp rato bandažo ir stabdžių trinkelės, kuri į bandažą spaudžiama jėga  $K$  atsiranda trinties jėga  $B_1$ , išreiškiama formule:

$$B_1 = K \varphi_k , \quad (2.7)$$

kurioje  $\varphi_k$  – trinties koeficientas slystant tarp trinkelės ir bandažo.

Remiantis elementariais mechanikos dėsniais, galima įrodyti, kad vienos trinkelės stabdymo jėga

$$B_t = B_1 = K \varphi_k .$$



$$(2.8)$$

Iš formulių (2.6) ir (2.8) gaunama:

$$b_{st} = \frac{\varphi_k \sum K}{Q} = \varphi_k \zeta . \quad (2.9)$$

Dydis

$$\zeta = \frac{\sum K}{Q} . \quad (2.10)$$

yra vadinamas stabdymo trinkelėlių spaudimo jėgos koeficientu.

Jėgų diagrama ryšiui tarp trinkelės spaudimo jėgos  $K$  ir trinkelės stabdymo jėgos  $B_t$  paaiškinti

Kartais  $b_{st}$  patogiu išreikšti kG/T. Tokiu atveju formulė (2.10) įgyja pavidalą:

$$b_{st} = 1000 \varphi_k \zeta \quad [\text{kG/T}], \quad (2.11)$$

Trinties koeficientas  $\varphi_k$  nuo trinkelėlių tipo, trinkelės spaudimo jėgos  $K$  ir traukinio greičio  $v$ .

Ketaus trinkelėms:

$$\varphi_k = \frac{9,6K + 60}{80K + 100} \frac{v + 100}{5v + 100}. \quad (2.12)$$

Šioje formulėje greitis  $v$  turi būti išreikštas km/h, o trinkelės spaudimo jėga  $K$  – tonomis.

Trinkelėms su padidintu fosforo kiekiu ir kompozicinėms trinkelėms formulės kintamieji surašomi pagal jų charakteristikas.

Formulės (2.9)- (2.12) yra nepatogios praktiniam naudojimui: atskirų vagonų sąstate stabdymo trinkelėlių spaudimas į ratų bandžus  $K$  yra skirtingas. Dėl to praktikoje naudojama skaičiuotina (redukuota) stabdymo jėga  $K_s$ . Pagal šį metodą skaičiuojamasis trinties koeficientas  $\varphi_{ks}$  randamas priėmus, kad  $K_{vid} = 2,7$  T ketaus trinkelėms. Tai yra keturašio vagono trinkelės spaudimo į bandžą, esant pakrauto ir tuščio vagono stabdymo režimams, vidutinės reikšmės.

Ketaus trinkelėms

$$\varphi_{ks} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (2.13)$$

Operuojant skaičiuotinėmis  $K$  ir  $\varphi_k$  reikšmėmis, formulės (2.12) (2.11) ir (2.11) (2.10) įgauna kitokius pavidalus:

$$b_t = 1000 \varphi_{ks} \zeta_s \quad [\text{kG/T}]; \quad (2.14)$$

$$\zeta_s = \frac{\sum K_s}{Q}, \quad (2.17)$$

$$\text{kur} \quad K_s = K \frac{\varphi_k}{\varphi_{ks}} = 2,22K \frac{16K + 100}{80k + 100} \text{ ketaus trinkelėms};$$

$\zeta_s$  vadinamas *apskaičiuotuoju trinkelų spaudimo koeficientu* ir yra vienas pagrindinių traukinio stabdžių reguliavimo parametrų, kurio reikšmės priklausomai nuo traukinio kategorijos reglamentuoja *Geležinkelio riedmenų stabdžių naudojimo taisyklės*.

Formulė (2.14) yra viena svarbiausių ne tik traukinio stabdymo kelio skaičiavimuose, bet ir aplamai traukinio dinamikos skaičiavimuose. Tikrasis stabdymo kelias  $S_d$  skaičiuojamas pagal formulę:

$$S_d = \sum_{i=0}^n \frac{500(v_i^2 - v_{i+1}^2)}{\xi(b_i + w_0 + i_c)} \quad [\text{m}]. \quad (2.16)$$

Šioje formulėje  $n$  – skaičius intervalų, į kuriuos dalijamas greičių diapazonas ( $v_0 - 0$ ), pakeičiant integravimo (pagal greitį  $v$ ) „laiptuotos aproksimacijos“ procedūra (norint gauti pakankamą tikslumą, rekomenduojama  $n$  parinkti taip, kad  $(v_i - v_{i+1}) \leq 10$  km/h);

$v_i$  – traukinio greitis (km/h)  $i$ -ojo skaičiavimo intervalo pradžioje

$v_{i+1}$  – traukinio greitis  $i$ -ojo skaičiavimo intervalo gale, lygus greičiui  $(i+1)$ -ojo skaičiavimo intervalo pradžioje;

$v_0$  – traukinio greitis prieš stabdymą;

$v_{n+1} = 0$  – greitis sustojus;

$\xi$  - „vienetinės jėgos“ pagreitis, įvertinus besisukančių masių inerciją;

$b_{st}$  randamas pagal formulę (2.12), kurioje  $v \rightarrow \bar{v}_i = \frac{v_i + v_{i+1}}{2}$ ;

kelio nuolydis  $i_c$ ;

$w_0$  – pasipriešinimo traukinio judėjimui santykinis koeficientas [kG/T].

Dydis  $\xi$  yra laisvo kritimo pagreitis, išreikštas km/h<sup>2</sup>, kurį skaičiuojant yra įvertinamas besisukančių masių (visų pirma, aširačių) koeficientas  $\gamma$ . Dydį  $\xi$  galima išreikšti

tokia formule:

$$\xi = 9,81 \frac{(3600)^2}{(1000)^2 (1 + \gamma)} \cong 120 \quad [\text{km/h}^2]$$

Praktiniuose skaičiavimuose keleiviniams ir prekiniam traukiniams  $\gamma \cong 0,06$ .

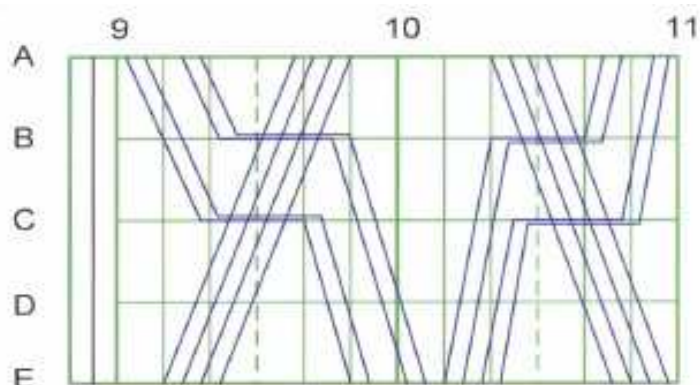
Pasipriešinimo traukinio judėjimui santykinis koeficientas priklauso nuo daugelio faktorių: riedmenų formos, kelio konstrukcijos, vagonų guolių tipo (slydimo ar riedėjimo guoliai) ir t.t.  $w_0$  išreiškiamas empirinėmis formulėmis [15].

Traukinių eismas yra sudėtingas ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje. Traukinių judėjimas turi būti darnus, vientisas procesas, kuriame susijungia visos grandys, susijusios su eismu, pradedant nuo stočių padalinių darbuotojų, lokomotyvų bei jų įrangos ir baigiant bene svarbiausiu – traukinių eismo grafiku. Grafikas turi užtikrinti reikiamas keleivių bei krovinių apimtis ir eismo saugumą susijusį su jais. Tinkamai išnaudoti sąstatų panaudojimą ir kitus geležinkelio eismui svarbius aspektus [16]. Peržvelgus šią teoriją reikėtų pabrėžti, kad stabdymo kelias priklauso ne tik nuo stabdymo jėgos trinkelio ir kitų kriterijų, tačiau prie viso to reikia pridėti stabdžių paruošimo laiką. Kitaip tariant, reikia nepamiršti, kad traukinio reakcija į stabdymo signalą bus pavėluota. Kol stabdžių sistema pasiruoš, traukinys jau bus pažeidęs saugaus atstumo nuotolį iki kito traukinio. Išsamiau šiuos skaičiavimus bus galima panagrinėti antroje darbo dalyje.

## II. GELEŽINKELIO RuoŽO PRALaidUMO TYRIMAS

### 2.1. Grafiko sudarymas ir vaizdavimas

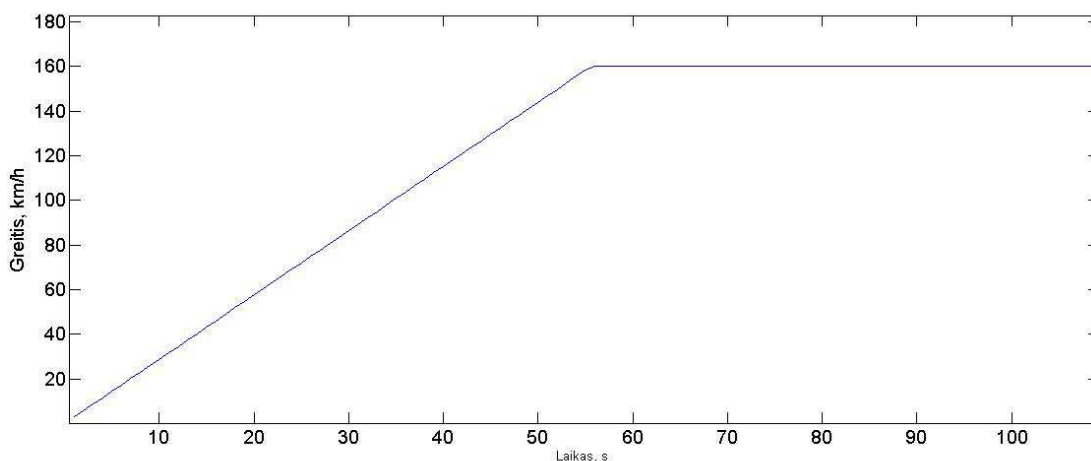
Šiuo metu eismo grafikai sudaromi ir atvaizduojami lygiomis linijomis iš stoties A į stotį B (žr. 2.1 pav.). Jame horizontaliai žymimos stočių, išleidžiamųjų iešmų ar kitų kelio punktų ašys. Vertikalios – laikas. Valandos pažymėtos ištinėmis linijomis, pusvalandžiai – punktyrinėmis, o dešimties minučių intervalai – plonomis linijomis. Įstriža linija žymima traukinio eiga.



2.1 pav. Traukinių eismo grafikas [18]

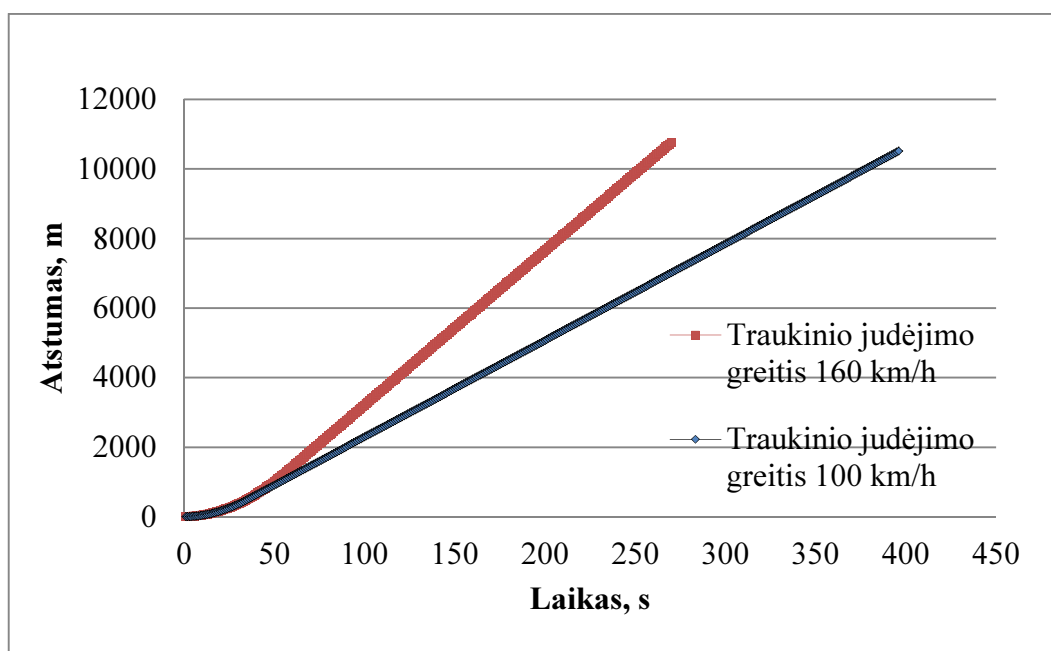
Praktiškai grafikai braižomi nurodant traukinio išvykimo iš stoties A ir atvykimo į stotį B laiką, įvertinant vidutinį ruožo greitį. Šio darbo pasiūlymas – modernizuotame geležinkelyje su mobiliaisiais kelio ruožais naudoti tikslią kreivę atvaizduotą traukinio grafiką. Modernizuotame geležinkelio ruože, kuriame eismas turėtų vykti mobiliais ruožais, galima įvertinti greičio pokyčius traukiniui važiuojant tarpstočiu. Tikslesnis grafikas gali būti pritaikytas šio darbo analizei. Patikslintas grafiko matematinis programinis kūrimo įrankis gali būti laikomas matematiniu modeliu. Matematiniu modeliu sudarytame grafike, kuriame galime atvaizduoti atstumus tarp traukinių esamu laiku, bus taip pat matomas tikslesnis traukinio įsigreitėjimas, paskaičiuotas saugus stabdymo atstumas, kuriame ruože koku greičiu traukinys važiuoja, atstumas iki kito traukinio. Visi šie esminiai parametrai yra svarbūs norint palaikyti saugius atstumus tarp viena kryptimi judančių traukinių. Anksčiau minėtame grafike taip pat galime matyti šiuos parametrus, tačiau niekas neskaičiuoja atstumų tarp traukinių kiekvienam eismo ruožui, ką modernizuotame ruože bus galima matyti. Tačiau kai eismas vyksta fiksuotais ruožais, atstumas tarp traukinių yra tiesiog fiksuotas atstumu, iš kurio yra sudaryti blokuojamieji ruožai. Ir tai reiškia, kad neatsilaisvinus saugiam ruožui traukinys negali važiuoti toliau. Kai kalbame apie eismą mobiliaisiais kelio ruožais, traukiniai judėti vienas paskui kitą gali saugiu atstumu, kuris susideda iš įvairių parametrų. Pagal juos apskaičiuojame traukinio stabdymo kelią

bei jų paruošimo laiką. Gauname atstumus, kuriais gali judėti vienas paskui kitą neatsižvelgdami į jokių užimtumus ar blokuojamuosius atstumus. Šiame eisme svarbiausias yra atstumas iki traukinio bei priekyje esančio traukinio greitis. Tuomet, norint gauti mobilius atstumus, turime įvertinti traukinio įsigreitėjimą. Šis parametras priklauso nuo traukinio svorio, jo sąstato ilgio bei galingumo.



**2.2 pav.** Traukinio pagreičio  $0,8 \text{ m/s}^2$  grafikas

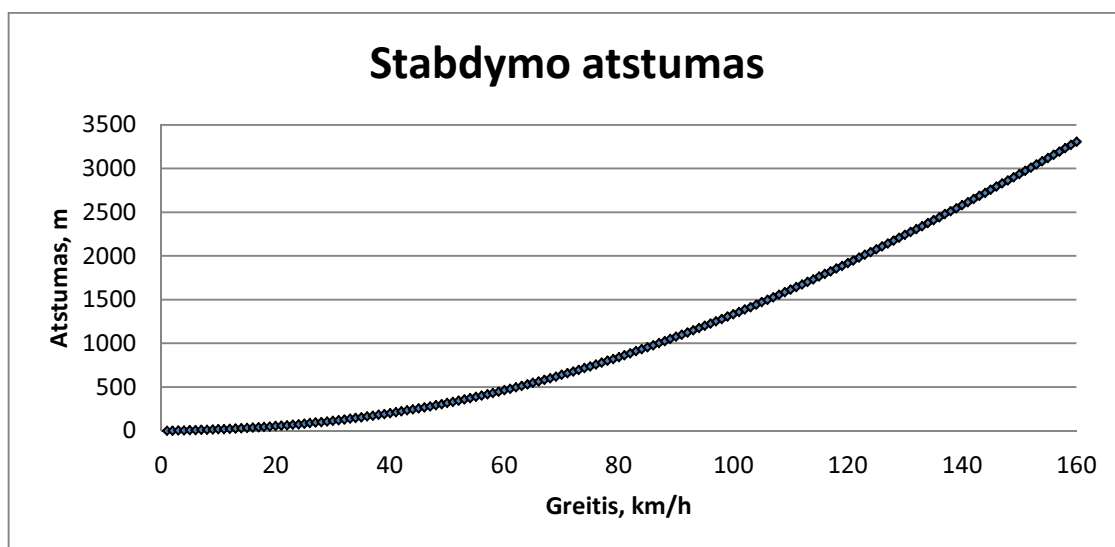
Dažniausiai literatūroje pateikiami įsigreitėjimo pagreičiai yra  $0,8 \text{ m/s}^2$  keleiviniams bei  $0,6 \text{ m/s}^2$  prekiniais traukiniais. Šie skaičiavimai buvo atlikti norit sudaryti tikslesnį traukinio judėjimo vaizdavimą [4].



**2.3 pav.** Traukinių įveikiamo kelio grafikas

2.3 paveiksle (žr. 2.3 pav.) pavaizduotas prekinio traukinio įsigreitėjimas. Iš grafiko galime nustatyti, kad traukinys nuo 0 km/val. iki 160 km/val. įsibėgėja per 56 sekundes. Turint šiuos paskaičiavimus, atliktus Matlab programa, visus įsigreitėjimus nuo stoties galime įvertinti daug tiksliau. Tikslėnis grafikas gali būti pritaikytas pravažiavimo trukmės analizei, ruožo užimtumo analizei bei įvairių eismo situacijų analizei. Turėdami tokį grafiko atvaizdavimą, sudarytą matematinio–programiniu būdu, galime pasirinktu tikslumu įvertinti ir numatyti, kaip kurioj vietoj kuris traukinys keičia savo greitį, priklausomai nuo to, kas tame ruože jam sudaro kliūtis ar kitas prielaidas didinti arba mažinti greitį. Šis grafikas, realizuotas programinėmis–matematinėmis priemonėmis, gali būti laikomas modernizuoto geležinkelio ruožo pralaidumo analizės tyrimo modeliu.

Šiuo darbu taip pat gali būti patikslintas ir traukinio sustabdymas. Kadangi egzistuoja traukinio greičio skaičiuoklė, kuri, įvertinus pradinį greitį ir kitus parametrus (Bagdono skaičiavimai), leidžia apskaičiuoti traukinio stabdymo kelio ir greičio kitimo trajektoriją stabdymo proceso metu.



**2.4 pav.** Apskaičiuota stabdymo kelio priklausomybė nuo greičio

Apskaičiavus stabdymo kelio priklausomybę nuo greičio, galima numatyti, kokiam atstumui likus (iki priekyje esančio traukio arba iki numatyto sustojimo taško) reiktų pradėti traukinio stabdymą. Prekinių traukinių vidutinis stabdymo pagreitis naudojant sustiprintą ir staigųjį stabdymus apytiksliai lygus  $0,4 \text{ m/s}^2$ , o keleivinių  $0,9 \text{ m/s}^2$ , tačiau tiksliai suskaičiuoti galima remiantis anksčiau minėtuose skyriuose pateikta stabdymo kelio skaičiavimo teorija [4]. Iš šio (žr. 2.4 pav.) grafiko galima matyti, kad traukiniui judant 100 km/val. greičiu sustabdyti iki 0 km/val. prireiks 1333 metrų, atitinkamai važiuojant 160 km/val. greičiu stabdymo kelias bus

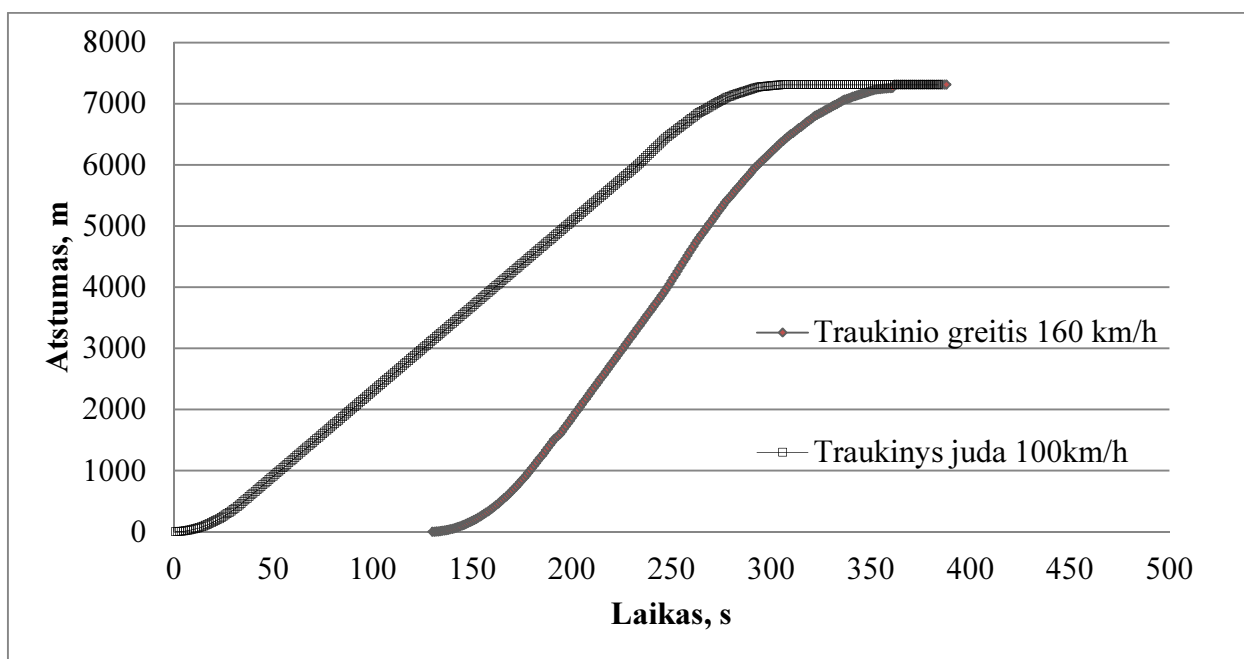


3306 metrai. Jei stabdoma ne iki 0 km/val., o tik pristabdoma, tada stabdymo proceso laiką ir kelią suskaičiuoti galima remiantis anksčiau pateikta stabdymo kelio skaičiavimo teorija.

Greitis km/val.	Stabdymo kelias, metrais
160	3306,27
150	2937,17
140	2851,38
120	1917,97
100	1333,12
80	843,72
60	464,02
40	201,98
20	54,3

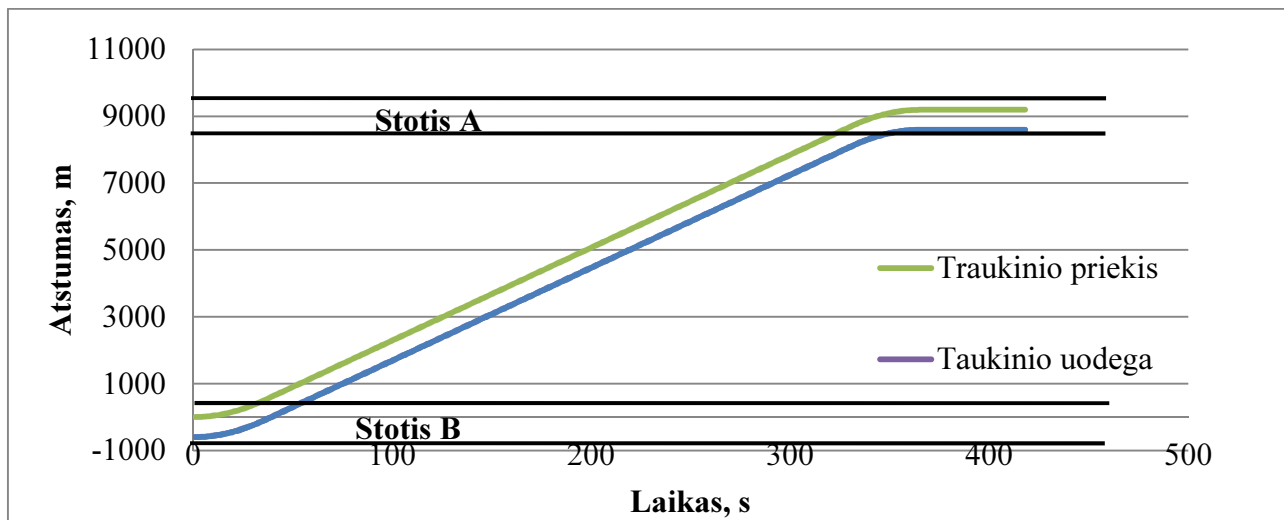
**2.5 pav.** Stabdymo kelio lentelė

Pateikta stabdymo lentelė (žr. 2.5 pav.) gali būti sudaryta mažesniems greičio intervalams ir tuomet stabdymo kelias gali būti apskaičiuojamas didesniu tikslumu. Turint šiuos duomenis galime numatyti, kada traukinys turi pradėti stabdyti. Taip pat šis stabdymo atstumas padės nubraižyti ir nustatyti tikslesnį traukinių judėjimo grafiką mobiliaisiais eismo ruožais.



**2.6 pav.** Traukinių judėjimo kreivės prie skirtingų greičių

Kadangi mobiliuose ruožuose palaikomas atstumas iki traukinio galo, stabdymo atstumas ir bus tas atskaitinis atstumas, koku traukiniai gal judėti vienas paskui kitą. Todėl šio darbo eigoje pasiūlyta idėja grafike pavaizduoti traukinio pradžia ir galą atskiriomis linijomis (žr. 2.7 pav.).



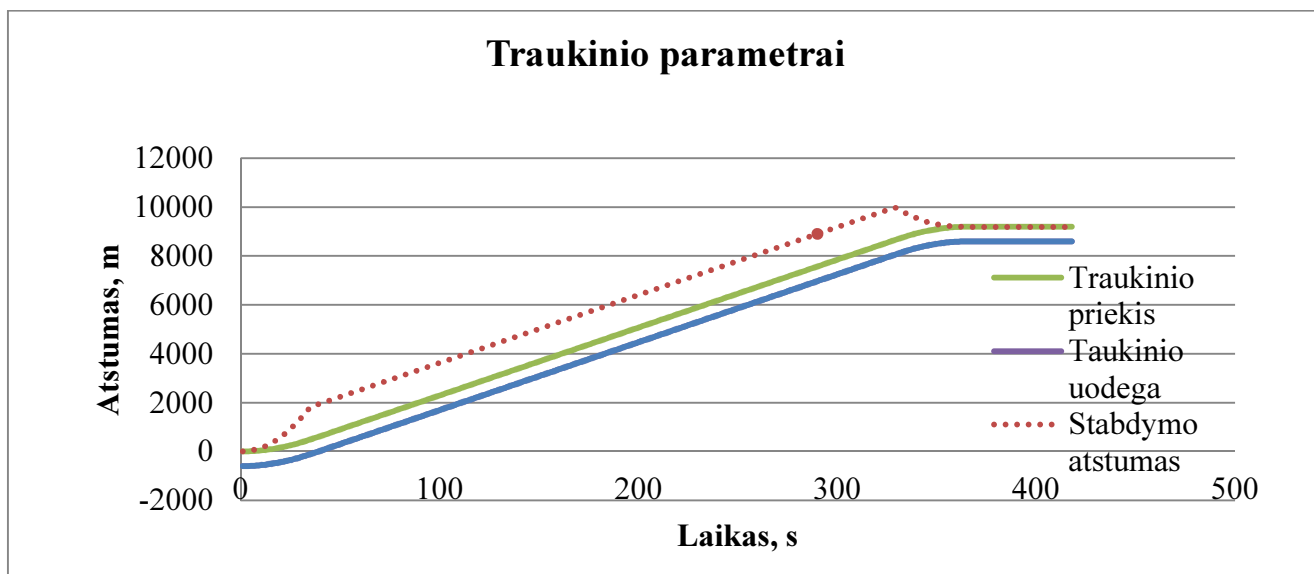
**2.7 pav.** Grafike pavaizduota traukinio pradžia ir galas atskiriomis linijomis (pavaizduoti grafike keliuose vietose, traukio ilgį  $l_{tr} = 800\text{m}$ )

Iš grafiko galime matyti, koku laiku išvyko traukinys iš stoties, koku atvyko; taip pat tiksliai pavaizduotas visas traukinio ilgis konkrečiose koordinatėse. Kadangi traukinio ilgis gali būti iki 500 ašių, dėl to būtų svarbu matyti grafiškai pavaizduotą traukinio ilgį visose koordinatinių sistemose. Sutartinis vagonų ilgis naudojamas 14 m maksimaliai iki 61 vagono viename sąstate [17].

Iš grafiko (žr. 2.7 pav.) galime matyti, koku laiku išvyko traukinys iš stoties, koku atvyko, kurioje vietoje traukinys buvo kiekvienu kelionės laiko momentu bei tiksliai pavaizduoti traukinio ilgį grafike. Matoma, kad traukinio priekiu išvažiavus iš stoties, paskutinė sąstato dalis išvyksta iš stoties vėliau ir į kitą stotį atvyksta skirtingu laiku. Atitinkamai galime pavaizduoti ir antrą traukinį, kuris judės saugiu atstumu iki priekyje važiuojančio traukio galo. Jis reguliuos savąjį greitį ir aktyvuos stabdymą, atsižvelgdamas į atstumą iki priekyje važiuojančio traukinio galo.

Turi būti numatytas tikslus atstumo tarp traukinių palaikymo algoritmas. Atstumą tarp viena kryptimi važiuojančių traukinių sudaro saugaus traukinio stabdymo kelio atstumas ir 50 metrų atsargos konstanta. Tokį atstumą traukinys, reaguodamas į priekį esančio traukinio greičio (arba atstumo iki jo) pokyčius, turi palaikyti, kad išvengtų avaringų situacijų. Tada, priekiniam traukiniui neplanuotai sustojus, iš paskos važiuojantis traukinys sustos likus 50 metrų iki

priekinio traukinio galo. Kadangi važiuojant traukinio greitis kinta laiko bėgyje, tai ir stabdymo kelio atstumas kinta priklausomai nuo greičio. Norint įvertinti stabdymo kelią reikia gauti priklausomybę tarp greičio ir stabdymo kelio. Šio darbo apimtyje ta priklausomybė įvertinama naudojant Matlab sudarytu matematiniu modeliu. Stabdymo priklausomybė nuo traukinio greičio pavaizduota 2.8 paveiksle (žr. 2.8 pav.). Punktyrine linija pavaizduotas traukinio stabdymo kelias ir kaip jis keičiasi, priklausomai nuo traukinio judėjimo greičio. Analizuojamas prekinis traukinys, kai  $l_{tr} = 800$  m, greitis 100 km/val. bei stabdymo kelias 1333 metrai.



**2.8 pav.** Stabdymo priklausomybė nuo traukinio greičio

Stabdžiams reikia paruošimo laiko, todėl traukinio stabdžiai suveikia ne iškart po komandos stabdyti. Stabdymo kelio skaičiavime jau yra įvertintas kelias, pravažiojamas besiruošiant stabdyti. Laikoma, kad stabdymo kelias  $S$  turi dvi dedamąsias: stabdžių paruošimo kelią (kelias, kurį traukinys nuvažiuoja, kol paruošiami stabdžiai ir pradeda stabdyti)  $\Delta S$  ir tikrojo stabdymo kelią  $S_d$ :

$$S = \Delta S + S_d \quad (2.1)$$

Priimama, kad

$$\Delta S = 0,278 v_0 t_p \quad (2.2)$$

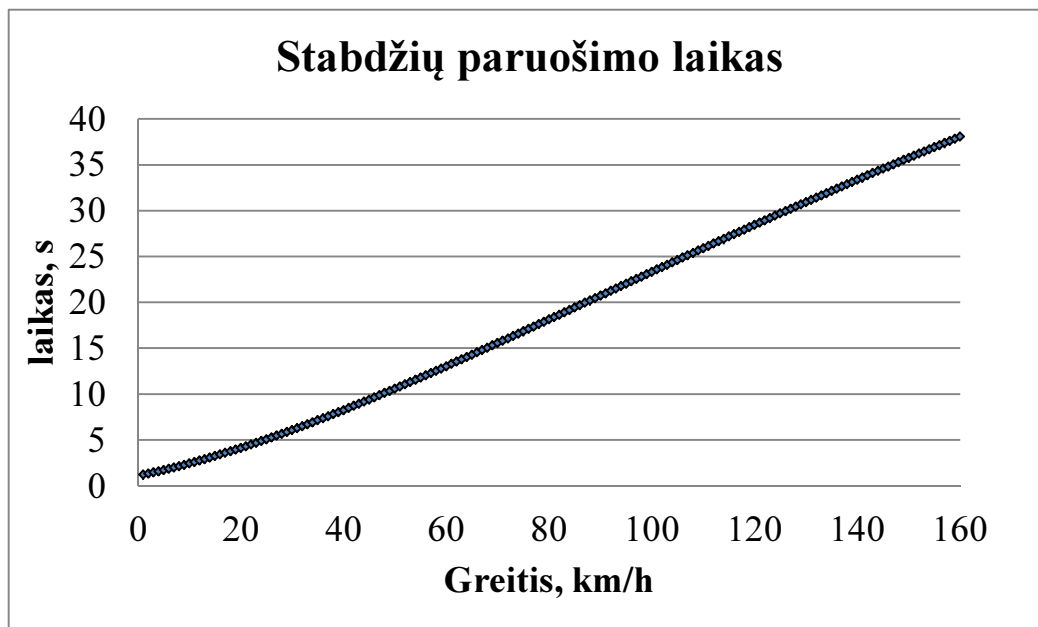
Čia  $v_0$  – traukinio greitis [km/h] prieš pradėdant stabdyti;

$t_p$  – stabdžių paruošimo laikas [h].

Prekiniams traukiniams, kurių ilgis yra iki 200 ašių,

$$t_p = 7 - \frac{10i_c}{b_{st}} \quad (2.3)$$

Norint atlikti detalesnius skaičiavimus, reikėtų pasinaudoti pirmoje darbo dalyje aprašyta Stabdymo kelio skaičiavimo teorija. Kadangi kiekvieno sąstato parametrai yra skirtingi. Darbe stabdžių paruošimo laiko priklausomybė, pradinio stabdymo greičio, įvertinama naudojant Matlab sudarytu matematinio modeli. Atstumas, pravažiuojamas paruošiant stabdžius, įvertinamas pagal paruošimo laiką ir traukinio greitį stabdymo pradžioje.

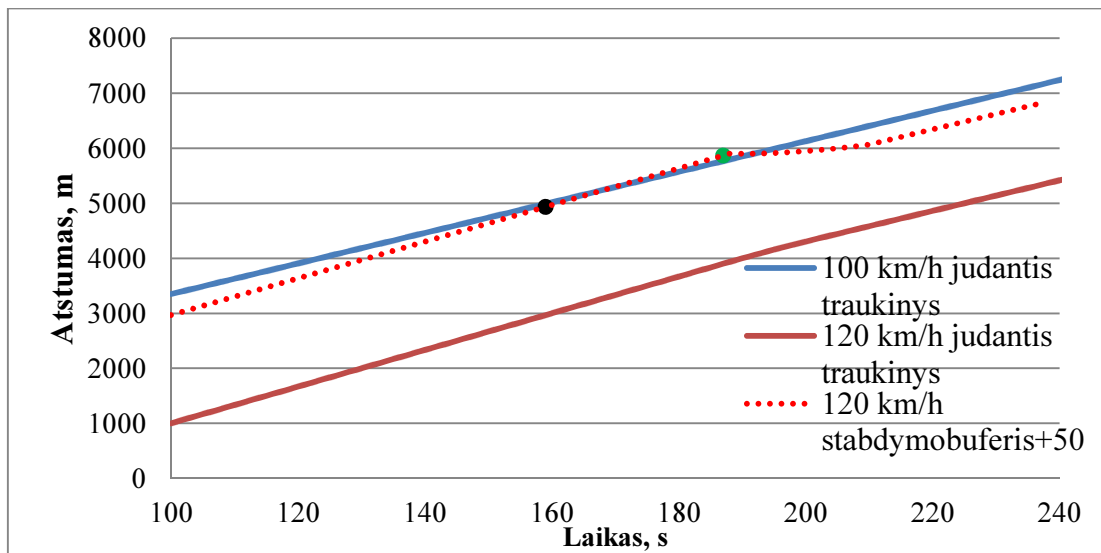


2.9 pav. Stabdžių paruošimo laikas

Pagal šiuos patiektus rezultatus (žr. 2.9 pav.) 100 km/val. važiuojantis prekinis traukinys stabdžius paruoš per 23 s, o per tą laiką pravažiuos 638,88 metrus. Nuvažiuotą atstumą metrais galima gauti proporcingai išsireiškus kintamuosius:

$$S = \text{Greitis km/h} \div 3,6$$

Tai, kad davus komandą stabdyti stabdymas prasideda ne iš karto, bus aktualu matematiškai modeliuojant iš paskos judančio traukinio stabdymą ir atvaizduojant jį detalizuotame traukinių eismo grafike. Stabdžių paruošimo laikas yra pateikiamas kaip vėlavimas, tai reiškia, kad traukinys priartėjęs prie kito traukio pradeda stabdyti, tačiau grafiškai tai bus matoma tik praėjus stabdžių paruošimo laikui (žr. pav. 2.10). Grafike matysis, kad stabdantis traukinys priartės prie priekyje važiuojančio traukinio pavojingu atstumu, mažesniu už stabdymo kelią. Tačiau iš tiesų tai yra normali situacija, jei traukinys priartėja jau gavęs stabdymo signalą, o stabdžiai nestabdo, tačiau veikia pasiruošimo stabdyti režimu. Tada, pradėjus veikti stabdžiams, stabdymo procesas vyks iš anksto apskaičiuotu dėsningumu ir traukinys sustos (arba pasieks reikiamą greitį) iš anksto numatytoje vietoje ir numatytu laiku.



**2.10 pav.** Traukinio stabdymo aktyvavimo ir stabdymo pradžios grafikas

2.10 paveiksle (žr. 2.10 pav.) ties 160 s pažymėtas juodas taškas reiškia, kad traukinio stabdžiai ruošiami. Tik po stabdžių paruošimo traukinio greitis pradeda mažėti (žalias taškas ties 190 s). Praktiškai prekiniai traukiniai nevažiuoja tokiu dideliu greičiu, tačiau, teoriškai norint aprašyti ir ištirti, visame greičio diapazone būtina visus šiuos dėmenis suskaičiuoti, kad būtų galima braižyti grafikus. Išanalizavus traukinio įsigreitėjimą, stabdymą, sustabdymą bei stabdžių paruošimo dėsningumus, galime tiksliai sukurti ir sudaryti išsamesnius grafikus mobiliais ruožais. Taip pat galima detalizuotu modeliu tirti traukinių pralaidumą ir reakciją į traukinio greičio pokytį. Žinoma, toks traukio grafiko braižymas užima daug laiko ir reikalauja nemažai paskaičiavimų. Tačiau suprogramavus ir įdiegus kelio ir traukinio procesorines sistemas, kurios gali komunikuoti ir keisti duomenimis, tai taptų traukinių valdymo sistema. Ji automatiškai braižytų traukinio eismo grafikus. Taip pat grafiko braižymą reikėtų reglamentuoti nustatytais taisyklėmis, kurios apibrėžtų aiškius reikalavimus.

## 2.2. Pralaidumo apskaičiavimas

Prekinių ir keleivinių traukinių pralaidumas apskaičiuojamas pagal formulę, pateiktą Lietuvos geležinkelių traukinių eismo grafiko sudarymo instrukcijoje:

$$P_{\text{reik}} = N_{\text{prek}} + \sum \epsilon_i N_i;$$

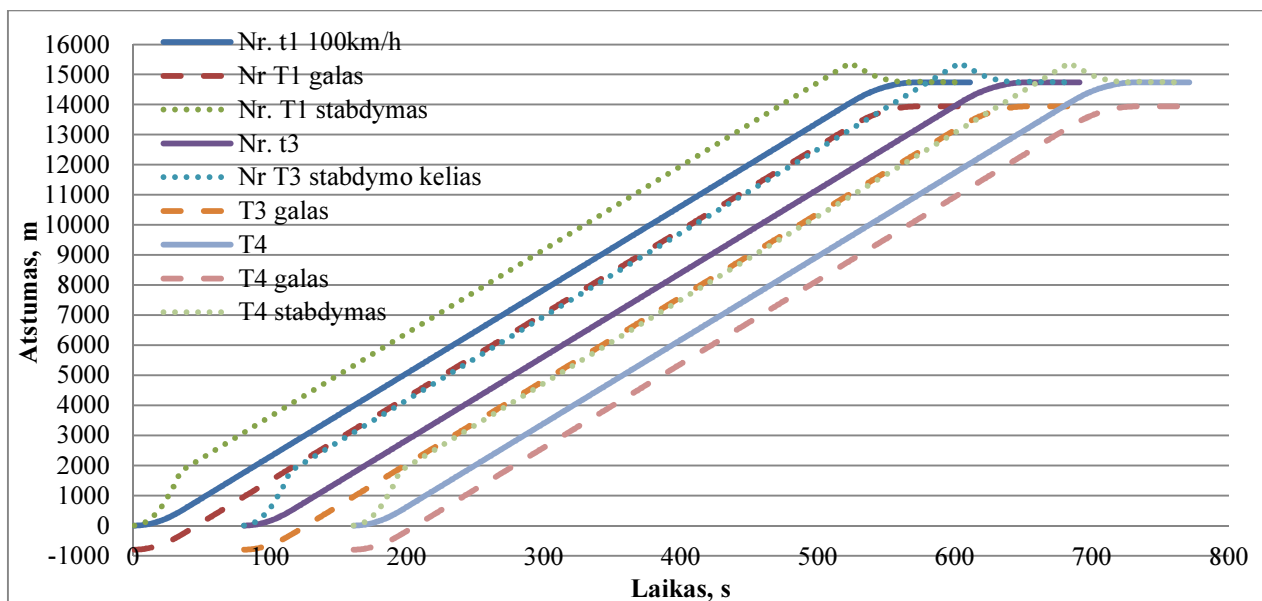
$N_{\text{prek}}$  – nustatyti prekinių traukinių, kurie visą ruožą važiuoja neperformuojami, eismo mastai;

$N_i$  – kitų rūšių traukinių, kurių važiavimo tarpstočiais laikas kitos;

$\epsilon_i$  – traukinių trikdžio koeficientas, nustatomas pagal esamo geležinkelių pralaidumo apskaičiavimo instrukciją [18].

### 2.3. Pralaidumas ir jo įtaka automobilių eismui pervažoje

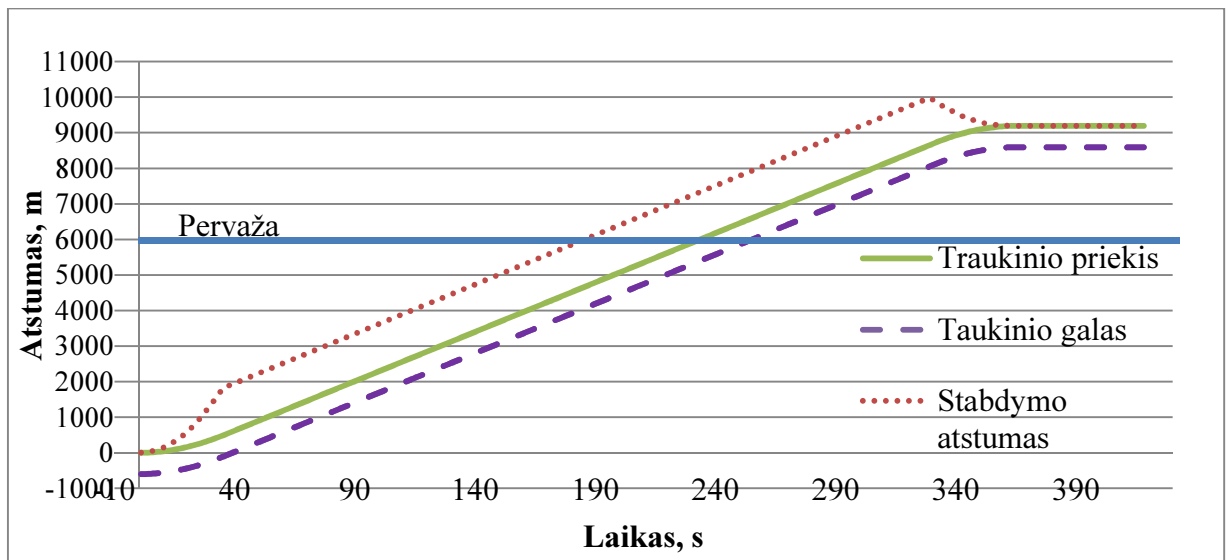
Tarkime, kad ruožu važiuoja vienodi traukiniai 100 km/h greičiu, tuomet, pasinaudojus jau minėtais atstumo ir judėjimo skaičiavimais, galima sumodeliuoti jų judėjimą tarp tarpstočių.



2.11 pav. 100 km/val. judančių traukinių grafikas

Apžvelgus rezultatus (žr. 2.11 pav.) galime gauti didelį traukinių pralaidumą, tačiau šiuose skaičiavimuose traukiniai išleidžiami kas 50 sekundžių tam, kad traukinys galėtų nevaržomai įsibėgėti iki 100 km/val. greičio. Tarp traukinių lieka 1333 metrai, plus 50 metrų stabdymo atsarga. Taigi traukiniai juda 1383 metrų atstumu vienas nuo kito. Tokiu dažnumu leidžiant traukinius, per 7 minutes galime išleisti per 8 traukinius. Žinoma, toks intensyvumas yra teorinis, kuris Lietuvos mastu net nereikalingas. Sunku rasti stotį, kuriai būtų poreikis priimti tiek traukinių, tačiau, kadangi šio darbo tikslas ištirti modernizuoto traukinių ruožo pralaidumą, būtina atlikti šiuos skaičiavimus.

Kadangi viešasis transportas susideda ne tik iš traukinių, bet automobiliai taip pat kursuoja, o nutiesti geležinkelio bėgius be pervažų labai sudėtinga, turėdami traukinių ruožo intensyvumą galime pamodeliuoti, kaip jis gali nulemti automobiliu srautą per pervažas.



**2.12 pav.** Traukinio grafikas

Įterpiant teis 6 km atstumu pervažą (žr. 2.12 pav.) į traukinio maršrutą tarp stočių galima atlikti dar vieną uždavinį. Šio uždavinio tikslas – ištirti, kokią įtaką traukinių intensyvumas turi per pervažą judančių automobilių srautui. Iš pervažų apžvalgos žinome, kad jos užsidaro atitinkamai pagal leidžiamo ruožo maksimalų greitį. Kai ruožo greitis 100 km/val. (mažiausias pervažos ilgis 11 metrų), atitinkamai pervaža užsidarys 833 metrai iki traukinio. Leidžiant traukinius minimaliu atstumu tarp jų (imant, kad traukiniai juda 100 km/val. greičiu, o atstumas tarp jų 1383 metrai), pervaža bus atidaryta apie 20 sekundžių. Toks trumpas laikas tikrai stabdys automobilių eismą per pervažas.

### III. MODERNIZUOTO RUOŽO TYRIMAS

Šiuo metu rengiamas „Rail Baltica“ projektas kuriame darbai bus pradėti vykdyti nuo Lenkijos sienos iki Kauno pirmu etapu. Šiame ruože bus įdiegta antrojo ETCS lygio sistema, tačiau esminis skirtumas tarp antrojo ir trečiojo lygio yra tik programinis ir antruoju lygiu bus pasiruošta sistemos perėjimui į trečiąjį. Atnaujinus šias sistemas belieka tik prognozuoti, kada bus imtasi užbaigimo darbų. Dėl to tyrimo atlikimui ir buvo pasirinktas šiame ruože esantis tarpstotis Marijampolė–Kalvarija.

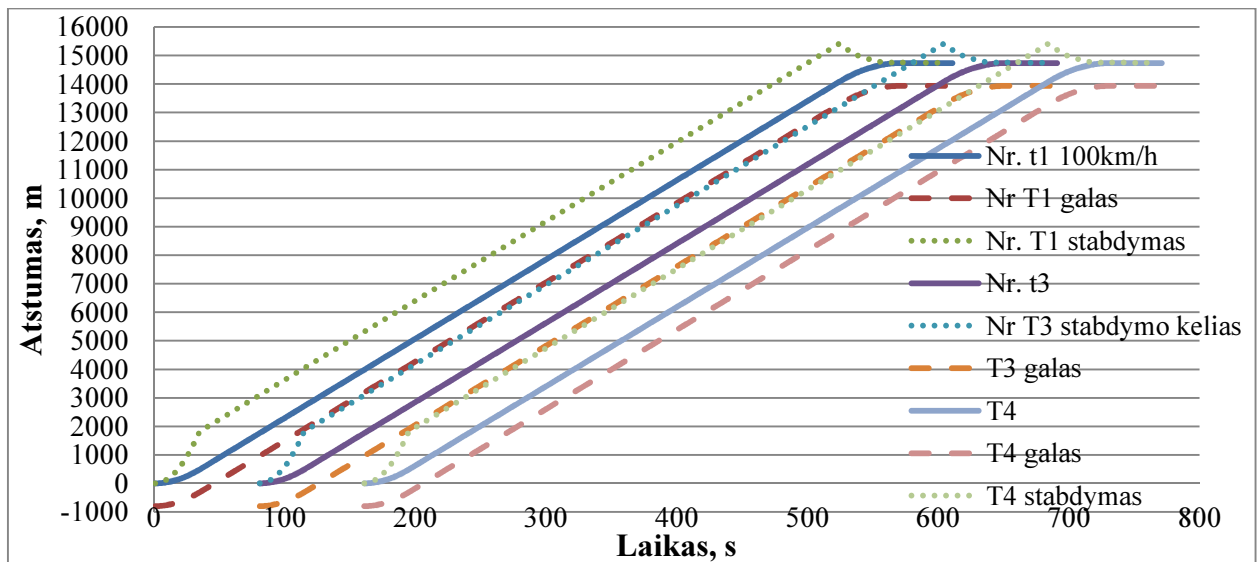
Antroje dalyje pasiūlytą idėją galima naudoti ir patvirtinti panaudojant šių uždavinių sprendimui:

1. Ruožo pralaidumo tyrimas
2. Pervažą kertančių automobilių pralaidumo tyrimas
3. Iš paskos važiuojančio traukinio T3 atstumo iki priekyje važiuojančio (eksperimentiniu būdu užfiksuotų dinaminių parametrų) traukinio T1 palaikymo tyrimas. Atstumas iki priekyje važiuojančio traukinio T1 palaikomas atsižvelgiant į jo greičio pokyčius ir įvertinant iš pasakos važiuojančio traukinio fizinius parametrus (sąstato masę, ilgį ir kitas charakteristikas).

#### 3.1. Ruožo pralaidumo tyrimas

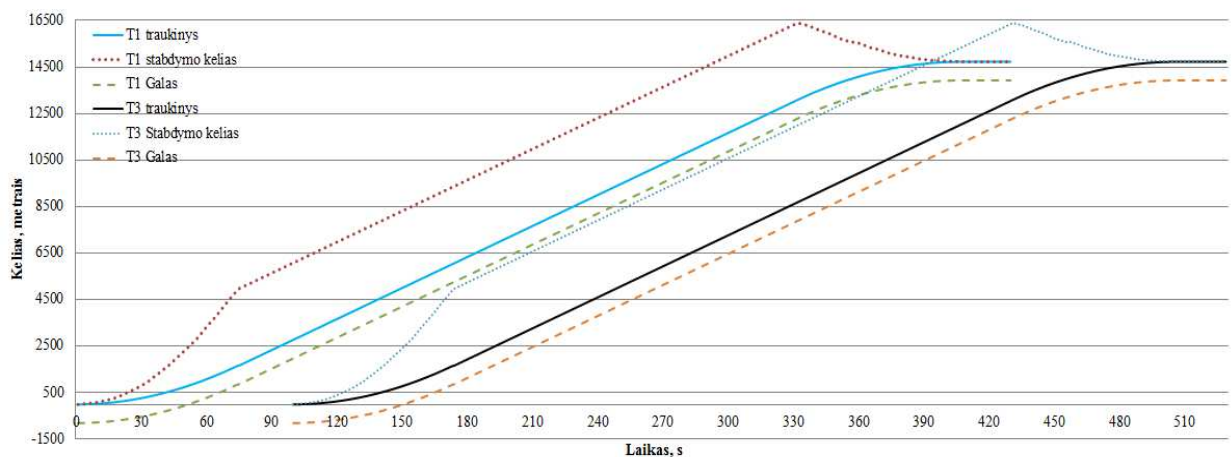
Galima ištirti traukinių eismo tarpstočio pralaidumą. Šiam tyrimui galima paimti bet kurį tarpstotį. Atsižvelgiant į ruožų modernizavimo galimybes, pasirinktas tarpstočio (24+753 km) Marijampolė–Kalvarija (39+477 km), kurio ilgis 14,724 kilometrų (nuo vienos stoties įleidžiamo šviesoforo iki kito įleidžiamo). Siekiant atskleisti pasiūlymų esmę, tyrimas supaprastinamas neatsižvelgiant į kelio nuolydžius, įkalnes ir kreives. Atliekant projektinius skaičiavimus, kreivės ir reljefas gali būti įvertinti „traukos skaičiavimuose“ nurodytu būdu [13]. Tuomet galima sumodeliuoti traukinių pralaidumą šiuo tarpstočiu. Tarkim, kad traukiniai važiuoja mobiliaisiais blokuojamaisiais ruožais, palaikydami saugų atstumą iki priekyje važiuojančio traukinio galo. Traukinio ilgis 800 metrų. Galima apskaičiuoti, kiek jų tilps į 14,724 km tarpstotį. Kadangi traukinio ilgis 0,8 km, saugus atstumas ir stabdymo kelias judant 100 km/val. greičiu yra 1,383 km, stabdžių paruošimo laikas – 23,35 s, stabdymo laikas – 48 s, esant  $0,4 \text{ m/s}^2$  stabdymo pagreičiui. Bendrai traukinio užimamas ilgis ruože 2,183 km. Skaičiavimai gauti naudojant antroje dalyje aprašytus būdus.





3.1 pav. Detalizuotas traukinių 100km/val. eismo grafikas

Taigi, turint tokius traukinius, važiuojančius 100km/val. greičiu, atlikus matematinį modeliavimą, detalizuojant traukinių eismo grafiką (žr. 3.1 pav.), matoma, kad kas 50 sekundžių išvažiuoja vienas traukinys, tuomet ruožo pralaidumas bus 72 traukiniai per valandą. Tokie 3 traukiniai išleisti į tarpstotį užims 6,549 km. Tai reiškia, kad 14,724 km tarpstotyje tokių parametrų traukinių viena kryptimi galima išleisti 6,7 traukinius. Išleisti traukinius galima ir dažniau, tačiau tuomet ne visi traukiniai pasieks maksimalų ruožo greitį. Tokius skaičiavimus įdomu atlikti prie skirtingo traukinių judėjimo ruožu greičio, kadangi stabdymo kelias priklauso nuo traukinio greičio (žr. 2.5 pav.). Iš antroje dalyje aprašytų skaičiavimų žinoma, kad stabdymo atstumas važiuojant 160 km/val. greičiu yra 3306 metrų. Tuomet tokia tarpstotyje šie traukiniai užims: 3306 m (stabdymo kelias), plus 800 m (traukinio ilgis), plus 50 m (atsargos stabdymo kelias), gauname 4206 metrus. Tuomet 14,724 km tarpstotyje galima sutalpinti 3,5 traukinio.



3.2 pav. Detalizuotas traukinių 160km/val. eismo grafikas Marijampolė – Kalvarija

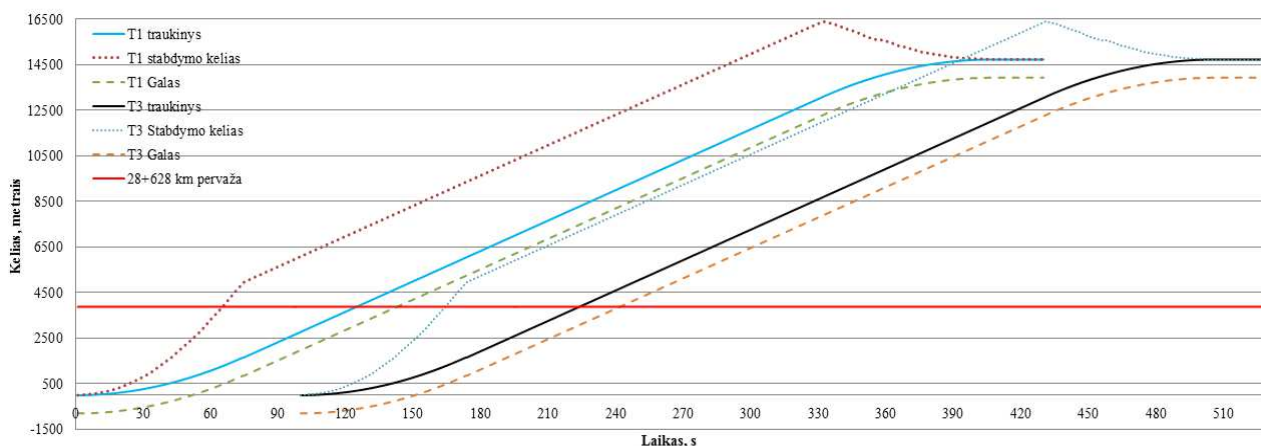
Tuomet, jei yra traukinių, kurių greitis tarpstotyje 160 km/val., atlikus matematinį modeliavimą, detalizuojant traukinių eismo grafiką, matoma, kad per 100 sekundžių išvažiuoja vienas traukinys, tai ruožo pralaidumas bus 36 traukiniai per valandą. Tokie du traukiniai išleisti į tarpstotį užims 8,412 km.

Ištyrus ruožo pralaidumą nustatyta, kad traukinių pralaidumas labai priklauso nuo jų greičio. Jei tarpstotyje traukiniai gali pasiekti 100 km/val. greitį, tuomet ruožo pralaidumas bus 72 traukiniai per valandą (žr. 3.1 pav.). O jei traukinių greitis bus 160 km/val., tuomet ruožo pralaidumas sumažėja iki 36 traukinių per valandą (žr. 3.2 pav.).

Traukinių eismo pralaidumas prie pusiau automatinės blokuotės, kai turime 14,724 km ilgio tarpstotį ir 0,8 km ilgio traukinį, bus 6,44 trauk./val. Prie automatinės blokuotės, kai blokuojamųjų ruožų ilgis 1,2 km, pralaidumas bus 10,67 trauk./val., o kai blokuojamieji ruožai po 2,5 km, tuomet pralaidumas bus 9,38 trauk./val.[4].

### 3.2. Pervažą kertančių automobilių pralaidumo tyrimas

Šiame tarpstotyje (žr. 3.3 pav.) (Marijampolė 24+753 km – Kalvarija 39+477 km) yra pervaža 28+628 km, kurios intensyvumas viena kryptimi judančių automobilių į miestą 280 vnt. per valandą. Galima pamodeliuoti traukinių eismą bei automobilių ir pervažos veikimą.

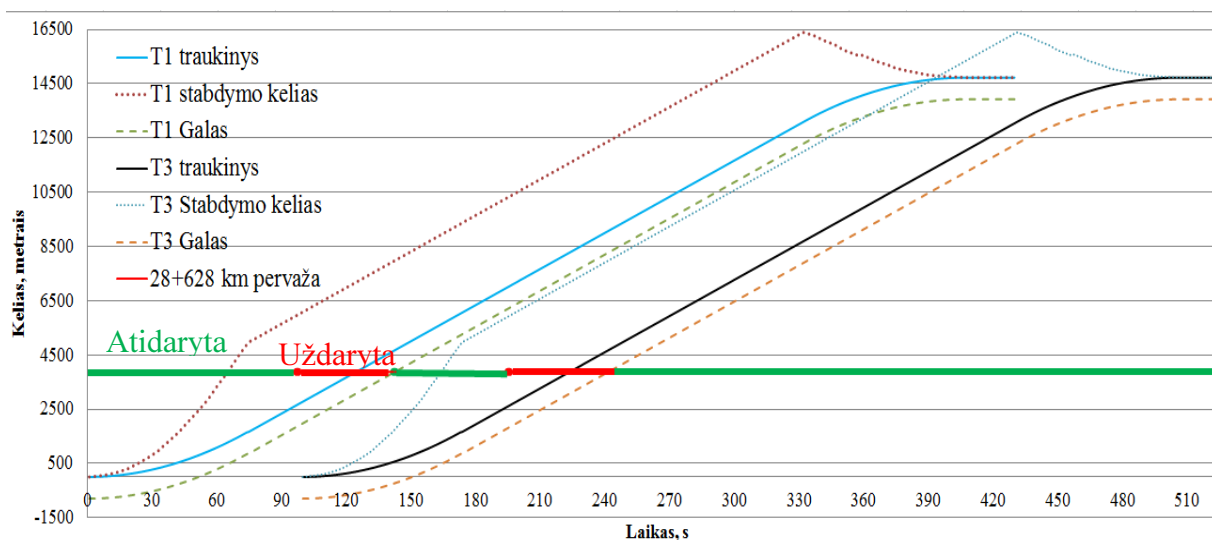


**3.3 pav.** Tarpstotyje Marijampolė – Kalvarija traukinių grafikas per pervažą 28+628 km

3.3 paveiksle (žr. 3.3 pav.) sumodeliuotas dviejų traukinių eismo grafikas, kai traukiniai juda 160 km/val. greičiu. Traukinių maršrute Marijampolė–Kalvarija raudonai žymima 28+628 km pervaža, esanti už 3875 metrų nuo Marijampolės stoties ribos. Ši pervaža ir bus naudojama pervažą kertančių automobilių pralaidumo tyrimui iširti.

Pervažos uždarymo momentas priklauso nuo ruožo maksimalaus greičio, dėl to tyrimas bus atliktas prie dviejų ruožo greičių 160 km/val. ir 100 km/val. Kai ruožo greitis 100 km/val.

(mažiausias pervažos ilgis 11 metrų), atitinkamai pervaža užsidarys 833 metrai iki traukinio. Prie šio ruožo greičio pervaža bus atidaryta apie 20 sekundžių. Kai ruožo greitis 160 km/val., tuomet pervaža užsidarys iki traukinio likus 1250 metrų [13]. Tuomet, turint šiuos duomenis, galima apskaičiuoti, per kiek laiko tarp traukinių, judančių vienas paskui kitą, bus atidaryta ir uždaryta pervaža (žr. 3.4 pav.).



**3.4 pav.** Traukinių grafikas su tarpstotyje esančia pervaža

3.4 paveiksle (žr. 3.4 pav.) T1 traukiniui važiuojant tarpstočiu, pervaža 28+628 km užsidarys 98 sekundę traukiniui priartėjus prie pervažos per 1250 metrų (pervažos uždarymas pažymėtas horizontalia raudona linija). Traukinio galui pravažiavus pervažą, ties 144 s pervaža atsidarys (pervažos atidarymas pažymėtas horizontalia žalia linija). Tuomet nesunku apskaičiuoti, kad pervaža bus užsidarius 46 sekundes. T1 traukiniu T3 važiuoja iš paskos saugiu stabdymo atstumu iki T1 traukinio galo esant 3356 metrams (3306 m stabdymo kelias ir 50 m atsargos koeficientas). Traukiniui T3 priartėjus prie pervažos, ji užsidarys 196 s, atsidarys po 46 sekundžių.

Gauti rezultatai rodo, kad dviems traukiniams ruožu važiuojant 160 km/val. greičiu vienas paskui kitą, pervaža bus atidaryta 52 sekundes, o uždaryta 46 sekundes.

Analogiškai apskaičiavus pervažos veikimą, kai du 800 metrų ilgio traukiniai ruožu važiuoja 100 km/val. greičiu vienas paskui kitą, gauti rezultatai, kad pervaža uždaryta bus 61 s, o tarp traukinių pervaža atidaryta 80 sekundžių.

Apskaičiavus pervažos veikimą prie skirtingų maksimalaus ruožo leistinų greičių matoma, kad, esant dideliame ruožo greičiui, pervažos atidarymo intervalas trumpėja. Tuomet pervažos uždarymo ir atidarymo laikai priklauso nuo maksimalaus greičio. Turint šiuos pervažos

skaičiavimus (žr. 3.5 pav.), matematinio modeliavimu galima apskaičiuoti ir planuoti traukinių ruožo greitį ir traukinių intensyvumą. Reikia atkreipti dėmesį, ar esant dideliame traukinių pralaidumui bus patenkintas pervažai tenkančio automobilių srauto pralaidumas. Eksperimentiniu būdu išmatavus, kad pervažos srautas per valandą yra 280 automobilių, galima suskaičiuoti, kiek jų sustos prie pervažos, bei juos palyginti (žr. 3.5 pav.).

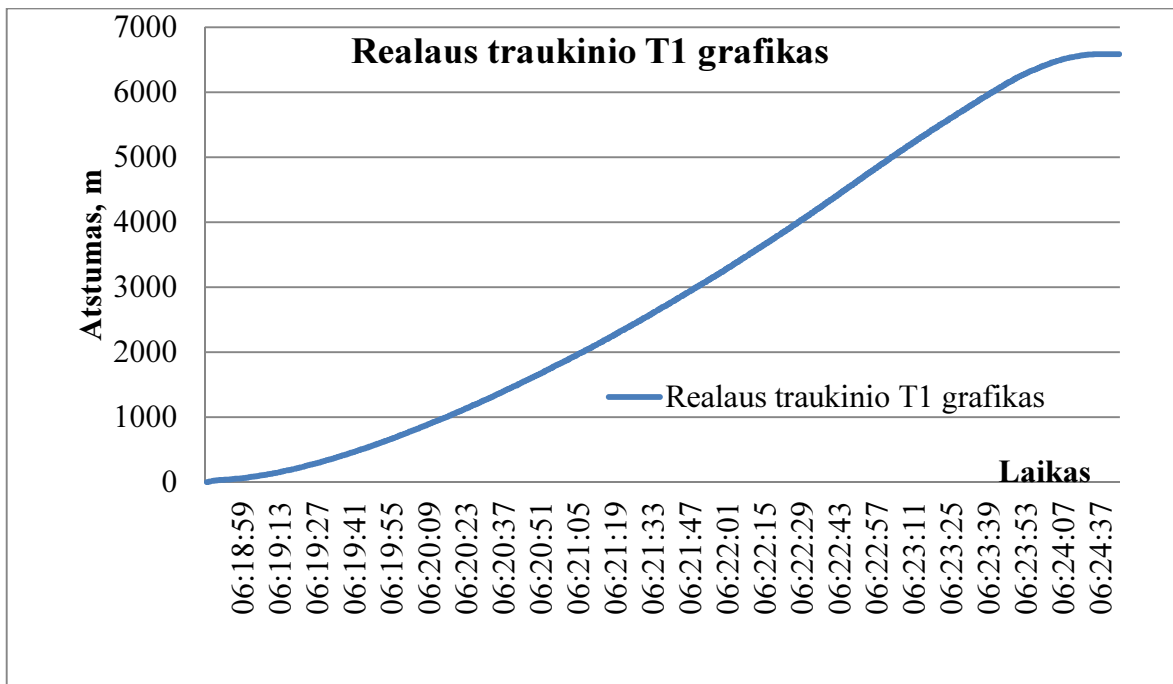
Ruožo maksimalus greitis, km/val.	160	100
Uždarytos pervažos laikas, s	46	61
Atidarytos pervažos laikas tarp traukinių, s	52	80
Susidariusi automobilių eilė prie uždarytos pervažos, vnt.	3,5	4,7

**3.5 pav.** Pervažos skaičiavimai

Pagal pirmoje darbo dalyje aprašytą gatvės pravažiavimo laiko modeliavimą galima apskaičiuoti, kiek laiko reikia automobiliams pravažiuoti pervažą po traukinio pravažiavimo. Vidutiniškai 1,12 s trunka iki vairuotojo reakcijos į šviesoforo rodmenis arba į priešais stovinčio automobilio pajudėjimą. Tuomet, turint vidutinį automobilių judėjimo pagreitį  $0,3 \text{ m/s}^2$ , galime paskaičiuoti, ar visi automobiliai suspės pravažiuoti per pervažą iki kito traukinio.

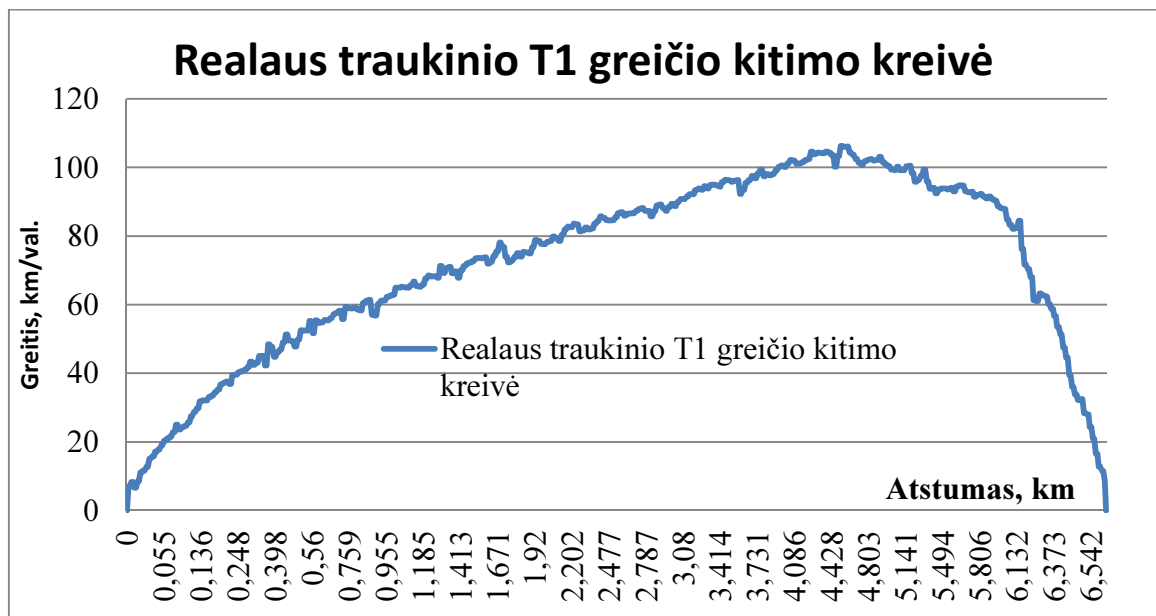
### **3.3. Iš paskos važiuojančio traukinio atstumo palaikymo tyrimas**

Iš paskos važiuojančio traukinio T3 atstumo iki priekyje važiuojančio (eksperimentiniu būdu užfiksuotų dinaminių parametrų) traukinio T1 palaikymo tyrimas. Atstumas iki priekyje važiuojančio traukinio T1 palaikomas atsižvelgiant į jo greičio pokyčius ir įvertinant iš paskos važiuojančio traukinio fizinius parametrus (sąstato masę, ilgį ir kitas charakteristikas).



**3.6 pav.** Realaus traukinio eksperimentinis grafikas

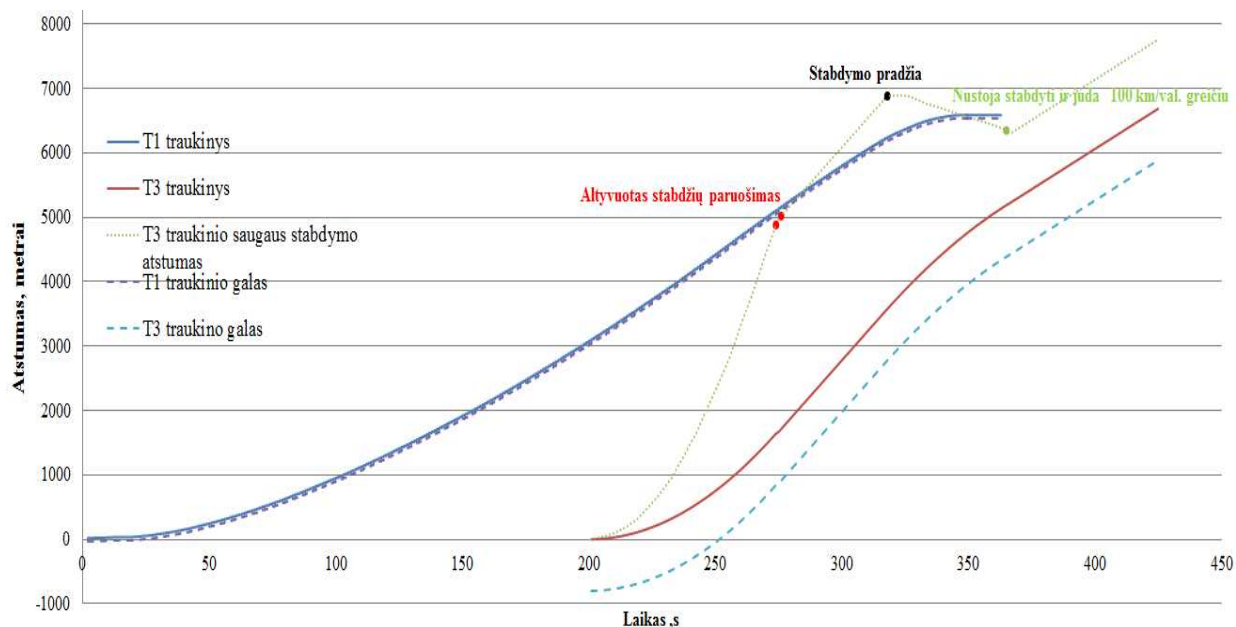
Šio realaus keleivinio traukinio T1 (Automotrisė PESA 620M) dinaminiai duomenys-grafikas maršrutu Jūrės miestelis – Pabališkių geležinkelio pusstotė buvo sudarytas naudojant duomenis, gautus iš eksperimento, naudojant GPS aparatą su „My track“ programa. Taigi, turint tokį traukinio grafiką (žr. 3.6 ir 3.7 pav.), galima sudaryti matematinę iš paskos važiuojančio traukinio greičio modeliavimo grafiką. Šio maršruto ilgis 6584 metrai.



**3.7 pav.** Realaus traukinio greičio kitimo kreivė

Šiame grafike (žr. 3.7 pav.) sudarytas realaus traukinio greičio kitimas pagal atstumą. Traukiniui išvykus iš Jūrės miestelio stoties galime nustatyti, koks greitis yra tam tikrame

maršruto kilometraže. Šie duomenys būtų svarbūs norint sumodeliuoti ir pavaizduoti saugaus kelio stabdymo kreivę grafike, iš kurios būtų galima nustatyti, kurioje vietoje traukinys turi pradėti stabdymą. Tačiau šiame tyrime bus modeliuojamas ir vaizduojamas matematinis grafiko modelis, kuriame realų keleivinį traukinį (T1) prisiveija greitesnis krovininis traukinys T3 (žr. 3.8 pav.).



**3.8 pav.** Dviejų traukinių grafiko modelis

Dviejų traukinių matematiniam grafiko modelyje raudonas taškas (žr. 3.8 pav.) (esantis ant krovininio traukinio T3 saugaus atstumo kreivės) reiškia, kad toje vietoje traukinys T3 gauna signalą aktyvuoti stabdžius (277 s). Šiuo atveju vaizduojamas T3 traukinys juda 160 km/val. greičiu (traukinio ilgis 800 m), tuomet remiantis ankstesnėse darbo dalyse pateiktais skaičiavimais gauname, kad stabdžiai pradėdami ruošti, kai atstumas tarp traukinių bus 3356 metrai. Traukinio stabdžių paruošimo laikas 38 sekundės, stabdymo pagreitis  $0,4 \text{ m/s}^2$ . Traukinio stabdžių paruošimo metu T3 traukinys juda  $44,444 \text{ m/s}$  greičiu. Stabdžių paruošimo metu traukinys nuvažiuoja 1688,888 metrus, dėl to grafike pavaizduota saugaus stabdymo kreivė kerta T1 traukinį. T3 traukinys pradeda stabdyti 315 s ir stabdo 88 s, toliau traukinys gali judėti 100 km/val. greičiu arba įsigeitėti iki maksimalaus leidžiamo greičio ruože (žr. 3.8 pav.).

Grafike (žr. 3.8 pav.) pavaizduotos darbe pasiūlytos idėjos:

- pavaizduoti traukinio pradžią,
- pavaizduoti traukinio galą,
- traukinio judėjimą pavaizduoti detalizuotai su įsibėgėjimo ir stabdymo pagreičiais.

Sumodeliuotas tikslus matematinis grafikas, kuris sudaromas pagal kiekvieno traukinio stabdymo, išigreitėjimo pagreičius. Modeliuojant tokius grafikus nesunkiai galima nustatyti, kokiame kelio ruože buvo traukinio greitis. Šis modeliavimo naudojimas gali būti žymiai paprastesnis kai bus modernizuotas geležinkelio ruožas, įdiegiant ETCS trečio lygio sistemų paketą.

## IŠVADOS IR REZULTATAI

1. Išanalizuota literatūra apie Europos transporto valdymo bei kontroliavimo sistemas ir nustatyta, kad tyrimuose nėra skirta dėmesio prekinųjų sąstatų su pneumatiniiais stabdžiais, judančių pagal mobiliuosius blokuojamuosius ruožus, atvejų analizei.
2. Siekiant sukurti pralaidumo įvertinimo būdą, pasiūlyta patobulinti traukinių eismo grafikų vaizdavimą: braižant grafikus įtraukti jų saugaus stabdymo atstumo kreivę, traukinio galo žymėjimą, pavaizduoti traukinio įsigreitėjimą bei stabdymą. Tam tikslui traukinio stabdymo kelio ir stabdžių paruošimo kelio skaičiavimai turi būti atlikti iš anksto ir panaudoti grafiko sudarymui. Toks grafinis-matematinis grafiko generavimo būdas yra tinkamas parametrų įvertinimui, ruožo pralaidumo nustatymui ir traukinių eismo įtakos automobilių eismui pervažose analizei. Ši idėja išbandyta ir yra tinkama įvertinus eksperimento būdu užfiksuotus traukinio judėjimo duomenis.
3. Tyrimo rezultatai rodo, kad dviems traukiniams ruožu važiuojant 160 km/val. greičiu vienas paskui kitą, pervaža bus atidaryta 52 sekundes, o uždaryta 46 sekundes. Kai ruožo greitis 100 km/val., gauti rezultatai, kad pervaža uždaryta bus 61 s, o tarp traukinių pervaža atidaryta 80 sekundžių. Esant dideliame ruožo greičiui pervažos atidarymo intervalas trumpėja. Tuomet pervažos uždarymo ir atidarymo laikai priklauso nuo maksimalaus ruožo greičio ir ilgio.
4. Sumodeliuotas tikslus matematinis grafikas, kuris sudaromas pagal kiekvieno traukinio stabdymo, įsigreitėjimo pagreičius. Modeliuojant tokius grafikus galima nustatyti, koks buvo traukinio greitis kurioje kelio ruožo vietoje.
5. Ištyrus pervažų veikimą prie 160 km/val. ir 100 km/val. ruožų traukinių greičių, pastebėta, kad, esant eksperimentiniu būdu užfiksuotam automobilių srautui (280 automobilių per valandą), esant maksimaliam traukinių intensyvumui, automobilių srautas nebus sutrikdytas.
6. Mobiliais ruožais važiuojančių traukinių pralaidumas labai priklauso nuo jų greičio. Jei tarpstotyje traukiniai gali pasiekti 100 km/val. greitį, tuomet ruožo pralaidumas bus 72 traukiniai per valandą. O jei traukinių greitis bus 160 km/val., tuomet ruožo pralaidumas sumažėja iki 36 traukinių per valandą. Traukinių eismo pralaidumas prie pusiau automatinės blokuotės, kai turime 14,724 km ilgio tarpstotį ir 0,8 km ilgio traukinį, bus 6,44 trauk./val. Prie automatinės blokuotės, kai blokuojamųjų ruožų ilgis



1,2 km, pralaidumas bus 10,67 trauk./val., o kai blokuojamieji ruožai po 2,5 km, tuomet pralaidumas bus 9,38 trauk./val.

## NAUDOTA LITERATŪRA

1. AB „Lietuvos Geležinkeliai“ Generalinis direktorius. Prekinių traukinių stovėjimo pasienio (perdavimo) stotyse laiko normų žiniaraštis. 2014.
2. RAKOVSKA, E., BAZARAS, D. ERTMS taikymo galimybės įvertinimas geležinkelio eismo valdymo sistemų problemai spręsti. *Verslas XXI amžiuje*. Vilnius, 2014, p. 189-195
3. *Baltoji knyga* „Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas.“. Briuselis, 2011. Europos Komisija [žiūrėta 2015 m. lapkričio 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=LT>
4. BAGDONAS, V., ŠVĖGŽDA, O. Lietuvos geležinkelių tarpstočio automatikos problemos. *Transportas*. 2000, XVt., Nr. 6, p. 265-271.
5. Centrinė projektų valdymo agentūra. Kelių sektoriaus finansinių priemonių ex-ante vertinimo I-II etapo ataskaitos projektas. 2015.[žiūrėta 2016 m. Sausio 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.esinvesticijos.lt/lt/dokumentai/keliu-sektoriaus-finansiniu-priemoniu-ex-ante-vertinimas-i-ii-etapo-ataskaita>.
6. Geležinkelių infrastruktūros direkcija. Planuojami projektai. [žiūrėta 2016 m. Sausio 30 d.]. Prieiga per internetą: <http://infrastructure.litrail.lt/planuojami-projektai>.
7. Apie Europos Sąjungos politiką. Transportas. Liuksemburgas, Europos Sąjungos leidinių biuras, 2014. [žiūrėta 2016 m. Vasario 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://bookshop.europa.eu/lt/transportas-pbNA0414871/?CatalogCategoryID=luYKABst3IwAAAEjxJEY4e5L>
8. Palumbo, M. The ERTMS/ETCS signalling system. London, 2014. [žiūrėta 2016 m. Sausio 31 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2014/08/ERTMS\\_ETCS\\_signalling\\_system\\_MaurizioPalumbo1.pdf](http://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2014/08/ERTMS_ETCS_signalling_system_MaurizioPalumbo1.pdf)
9. BARROT, J. The technical specification for interoperability relating to the control-command and signalling subsystem of the trans-European conventional rail system. Official Journal of the European Union. Brussels. 2006. [žiūrėta 2016 m. Vasario 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:284:0001:0176:EN:PDF>
10. ESPOSITO, R., LAZZARO, A., MARMO, P., SANSEVIERO, A. Formal verification of ertms euroradio safety critical protocol. ITALIJA, 2005. [žiūrėta 2016 m. Balandžio 20 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.math.unipd.it/~tullio/CS/Dispense\\_2005/Articolo-3.pdf](http://www.math.unipd.it/~tullio/CS/Dispense_2005/Articolo-3.pdf)

11. CECCHETTI, G., RUSCELLI, A. L., CUGINI, F., CASTOLDI, P. An implementation of EURORADIO protocol for ERTMS/ETCS systems. [žiūrėta 2016 m. Vasario 25 d.]. Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/236677014\\_An\\_implementation\\_of\\_EURORADIO\\_protocol\\_for\\_ERTMSETCS\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/236677014_An_implementation_of_EURORADIO_protocol_for_ERTMSETCS_systems)
12. GOVERDE, M. P., CORMAN, F., D'ARIANO, A. Railway line capacity consumption of different railway signalling systems under scheduled and disturbed conditions. [žiūrėta 2016 m. Vasario 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.verdus.nl/upload/documents/Railway%20line%20capacity%20consumption%20of%20different%20railway%20signalling%20systems%20under%20scheduled%20and%20disturbed%20conditions.pdf>
13. PARKINSON, T., FISHER, I. Rail Transit Capacity. Washington 1996. [žiūrėta 2016 m. Kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://books.google.lt/books?id=NbYqQSQCe2MC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Ian+Fisher%22&hl=lt&sa=X&ved=0ahUKEwjho4uZutzMAhWDFZoKHVQLDUUQ6AEIGzAA#v=onepage&q&f=false>
14. LIETUVOS RESPUBLIKOS SUSISIEKIMO MINISTERIJA. TECHNINIO GELEŽINKELIŲ NAUDOJIMO NUOSTATAI 1996 m.
15. ТРАНСПОПТ, М., Правила тяговых расчетов для поездной работы 1985.
16. ILGAKOJYTĖ, J., VILKUOTIS, A., BAZARAS, Ž., MARKŠAITIS, D. Traukinių eismo grafikų sudarymo principai. Transportas – Transport engineering. Vilnius, 2000, t. XV, Nr. 2. p. 77-83. [žiūrėta 2016 m. Kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://elibrary.lt/resursai/Mokslai/VGTU/Transport/2000/2/4.pdf>
17. AB „Lietuvos Geležinkeliai“ Generalinis direktorius. Techninės vagonų priežiūros instrukcija 66/V. Vilnius, 2011
18. AB „Lietuvos Geležinkeliai“ Generalinis direktorius. Traukinių eismo grafiko sudarymo instrukcija 210/E. Vilnius, 2015