



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

AUTOMATIKOS KATEDRA

Karolis Stanislauskas

**KOMPIUTERIZUOTOS EISMO VALDYMO IR KONTROLĖS
SISTEMOS ALGORITMŲ TYRIMAS**

**RESEARCH OF COMPUTERISED TRAFFIC CONTROL
ALGORITHMS**

Baigiamasis magistro darbas

Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 621H62001

Automatinių sistemų specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

AUTOMATIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Zita Savickienė

(Vardas, pavardė)

2013-06-13

(Data)

Karolis Stanislauskas

**KOMPIUTERIZUOTOS EISMO VALDYMO IR KONTROLĖS SISTEMOS
ALGORITMŲ TYRIMAS**

RESEARCH OF COMPUTERISED TRAFFIC CONTROL ALGORITHMS

Baigiamasis magistro darbas

Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 621H62001

Automatinių sistemų specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr.doc. Saulius Lisauskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

2013-05-30

(Data)

Konsultantas

dr.doc. Dainius Udris

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

2013-05-20

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantė

lekt. Vaida Buivydienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

2013-06-03

(Data)

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 621H62001

Automatinių sistemų specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėja



(Parašas)

Zita Savickienė

(Vardas, pavardė)

2013 02 07

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2013 02 07 Nr. 07

Vilnius

Studentui

Karoliui Stanislauskui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: **KOMPIUTERIZUOTOS EISMO VALDYMO IR KONTROLĖS
SISTEMOS VEIKIMO ALGORITMŲ TYRIMAS**

RESEARCH OF COMPUTERISED TRAFFIC CONTROL ALGORITHMS

patvirtinta 2011 m. spalio 5 d. dekanų potvarkiu Nr. 255el

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2013 m. gegužės 31 d.

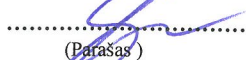
BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. ĮVADAS
2. ANALITINĖ DALIS
3. TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI
4. TEORINĖ DALIS
 - 4.1. Bendrieji funkciniai reikalavimai stoties valdymo sistemai
 - 4.2. Sistemos užtikrinamos galimybės
 - 4.3. Neleidžiami atvejai
 - 4.4. Normalaus sistemos veikimo režimo funkcijos
 - 4.5. Gedimo režimo funkcijos
5. TIRIAMOJI DALIS
 - 5.1. Maršrutų valdymo schemos sudarymas
 - 5.2. Geležinkelio stoties eismo valdymo sistemos modelio sudarymas
6. TYRIMO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS
 - 6.1. Išvados, rekomendacijos ir siūlymai
7. LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:
lietuvių kalbos konsultantė lekt. Vaida Buivydienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas



(Parašas)

dr.doc. Saulius Lisauskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau



(Parašas)

.....Karolis Stanislauskas.....

(Vardas, pavardė)

2013-02-07

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų,
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Karolis Stanislauskas, 20055073

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Automatika, AUSfm-11

(Studijų programa, akademinė grupė)

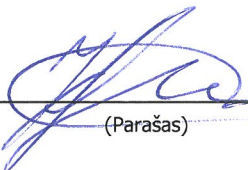
**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2013 m. gegužės 30 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Kompiuterizuotos eismo valdymo ir kontrolės sistemos algoritmų tyrimas“ patvirtintas 2011 m. lapkričio 5 d. dekanu potvarkiu Nr. 255el, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Dainius Udris. Mano darbo vadovas doc. dr. Saulius Lisauskas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Karolis Stanislauskas

(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Elektronikos fakultetas
Automatikos katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Automatikos** programos baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Kompiuterizuotos eismo valdymo ir kontrolės sistemos algoritmų tyrimas**

Autorius **Karolis Stanislauskas**

Vadovas **doc. dr. Saulius Lisauskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe aptariamos problemos, su kuriomis Lietuvoje susiduriama modernizuojant geležinkelio ruožus ir diegiant kompiuterizuotas geležinkelių eismo valdymo sistemas. Iškeliama pritaikomumo problema – užsienio gamintojų sistemų pritaikymo pagal Lietuvoje galiojančius teisės aktus ir reikalavimus. Kartu su užsienio mokslininkų darbais apžvelgiami ir Lietuvoje galiojantys reikalavimai tokiai sistemai, kuriais remiantis suformuluojami pagrindiniai veikimo algoritmai. Pagal šiuos algoritmus sudaromas nesudėtingos, tačiau kompiuterizuota eismo valdymo ir kontrolės sistema pagrįstos geležinkelio stoties imitacinis modelis, panaudojant spalvotuosius Petri tinklus. Sudarytas modelis pritaikomas pagrindinio eismo stotyje aprašančio dokumento – maršrutų lentelės analizei ir konfliktinių eismo situacijų paieškai. Išnagrinėjus gautus rezultatus, pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir tokio patikrinimo algoritmo pritaikymo galimybės Lietuvos geležinkeliuose.

Darbą sudaro 9 dalys: įvadas, literatūros šaltinių apžvalga, darbo tikslo ir uždavinių formulavimas, bendrųjų funkcinių reikalavimų susisteminimas, funkcinių algoritmų sudarymas, Rokų stoties spalvotųjų Petri tinklų modelis, maršrutų lentelės konfliktų paieškos algoritmo eksperimentiniai rezultatai, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 63 p. teksto be priedų, 6 iliustr., 6 lent., 18 bibliografinių šaltinių.

Kartu pateikiamas 1 priedas.

Prasminiai žodžiai: Geležinkelis, eismo valdymo sistema, Petri tinklai, funkcijos, veikimo algoritmai, maršrutų lentelė, stoties Petri modelis

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Electronics
Department of Automation

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Automation** study programme Final Work 4

Title **Research of Computerized Traffic Control Algorithms**
Author **Karolis Stanislauskas**
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Saulius Lisauskas**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

Final Master's thesis concentrates on the problems, encountered in Lithuania while modernising railway tracks and installing computerised railway traffic control systems. The problem of adaptability is elevated – systems of foreign producers must be adopted and modified to comply with the Lithuanian legislation and requirements. Together with the works of foreign scientists, valid requirements in Lithuania are being analyzed. This analysis provides the basics to formulate the main functional algorithms. According to these algorithms, a model of relatively simple station is created using colored Petri nets. This model is being used to analyze the main train movement describing document – route table and to search for possible conflicts in this route table. After the evaluation of results, conclusions are made and possibilities of usage of such an algorithm are being proposed.

Thesis consists of 9 parts: preface, analysis of literature, formulation of objectives and tasks, overview of common requirements, creation of functional algorithms, Petri net model for Rokai station, experimental results for route table conflict analysis algorithm, conclusions and proposals, list of bibliographic sources.

Thesis consists of: 63 p. of text without extras, 6 pictures, 6 tables, 18 bibliographical entries.

1 appendix included.

Keywords: Railway, traffic management system, Petri net, function algorithms, route table, station Petri net model

Turinys

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
PAGRINDINĖS SĄVOKOS IR SANTRUMPOS	9
ĮVADAS.....	11
1 ANALITINĖ DALIS	12
2 TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI.....	16
3 TEORINĖ DALIS	17
3.1 Bendrieji funkciniai reikalavimai stoties valdymo sistemai.....	17
3.2 Sistemos užtikrinamos galimybės	17
3.3 Neleidžiami atvejai.....	18
3.4 Normalaus sistemos veikimo režimo funkcijos	21
3.4.1 Priėmimo (perdavimo) traukinio maršruto parengimas.....	22
3.4.2 Išleidimo maršruto parengimas	24
3.4.3 Manevrų maršruto parengimas	27
3.5 Gedimo režimo funkcijos.....	29
4 TIRIAMOJI DALIS	31
4.1 Maršrutų valdymo schemos sudarymas	31
4.1.1 Maršruto parengimas iš operatoriaus darbo vietos	32
4.1.2 Iešmų padėties kontrolė ir perjungimas.....	32
4.1.3 Maršruto užrakinimo sąlygų kontrolė ir užrakinimas.....	33
4.1.4 Leidžiamąjo šviesoforo signalo įjungimo sąlygų kontrolė.....	38
4.1.5 Pervažų valdymas	41
4.1.6 Personalo įspėjimo sistemos valdymas	42
4.1.7 Šviesoforo signalo parinkimas	43
4.2 Geležinkelio stoties eismo valdymo sistemos modelio sudarymas	44
4.2.1 Bendroji informacija.....	44
4.2.2 Geležinkelio signalizacijos sistema ir maršrutų lentelės	44
4.2.3 Rokų stoties CPN modelis.....	47
4.2.4 Įrangos išdėstymo CPN modelis	50
4.2.5 Centralizacijos logikos valdiklio CPN modelis.....	52
4.2.6 Maršrutų lentelės turinio užrašymas ML funkcijomis.....	54
4.2.7 Eksperimentiniai rezultatai	55
4.2.8 Analizės rezultatai	57
5 TYRIMO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS.....	60
5.1 Išvados, rekomendacijos ir siūlymai	61
LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI	62

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

4.1 pav. Bendroji maršrutų valdymo schema.....	31
4.2 pav. Ieško perjungimo algoritmas.....	33
4.3 pav. Personalo įspėjimo sistemos veikimas.....	43
4.4 pav. Rokų stoties CPN modelis.....	49
4.5 pav. Įleidžiamą šviesoforo modulį – ĮleidzSviesLYG.....	51
4.6 pav. Maršruto parengimo schema	54

LENTELIŲ SĄRAŠAS

4.1 lentelė. Tikrinamos maršruto užrakinimo sąlygos.....	34
4.2 lentelė. Leidžiamą šviesoforo signalo įjungimo sąlygos.....	39
4.3 lentelė. Rokų stoties maršrutų lentelė.....	46
4.4 lentelė. Pradinė konfigūracija.....	57
4.5 lentelė. Būsenos erdvės analizės rezultatai.....	57
4.6 lentelė. Baigtiniai žymenys.....	57

PAGRINDINĖS SĄVOKOS IR SANTRUMPOS

Automatinė blokuotė (AB) – traukinių eismo tvarkymo pagal tarpstočio šviesoforus įranga. AB tarpstočiai suskirstomi į blokuojamuosius ruožus.

Automatinė lokomotyvo signalizacija (ALS) – kelio ir lokomotyvo įranga, skirta perduoti traukinio mašinistui informaciją apie leistiną eismo greitį blokuojamuosiuose ruožuose.

Automatinė pervažos signalizacija (APS) – saugaus eismo pervažoje užtikrinimo įrengimai, automatiškai pranešantys apie artėjančią traukinį automobilių vairuotojams bei pėstiesiems, taip pat nuleidžiantys pervažos užtvarus (kur tokie įrengti) bei signalizuojantys garsiniu signalu.

Bėgių grandinė – ruožo užimtumo tikrinimo mechanizmas, kai bėgiuose sudaroma elektros grandinė, kurią užtrumpinus traukinio vagono ašimi sistema fiksuoja užimtumą tame ruože.

Blokavimas (iešmo, ruožo, blokuojamojo tarpstočio ruožo) – stotyje: maršruto parengimo uždraudimas per pasirinktą iešmą ar ruožą. Tarpstotyje – draudimas į užimtą tarpstočio blokuojamąjį ruožą įvažiuoti daugiau, nei vienam traukiniui.

Centralizuotas eismo valdymas (CTC) – eismo valdymas nuotoliniu būdu (iš EVC).

Eismo tvarkdarys – operatorius, valdantis traukinių eismą centralizuotuose ruožuose iš eismo valdymo centro nuotoliniu būdu. Taip pat eismo tvarkdarys išduoda leidimus stočių budėtojams išleidžiant traukinius į vienkelį tarpstotį su automatine blokuote.

Eismo valdymo centras (EVC) – telekomunikacijų centras, iš kurio nuotoliniu būdu valdomi ruožai, kuriuose įrengta centralizacija, leidžianti eismą valdyti nuotoliniu būdu.

Elektrinė krivūlinė sistema (raktinė krivūlė) – traukinių eismo tvarkymo būdas, kai leidimas traukiniu važiuoti į tarpstotį yra lokomotyvo mašinistui išvykimo stotyje įteikta to tarpstočio krivūlė.

Gabarito kontrolės įranga (GKI) – įrengimai, kuriais kontroliuojama, ar traukinyje nėra neleistinai atsikišusių krovinių ar sąstatų detalių, galinčių pažeisti kitus traukinius prasilenkiant arba važiuojant ruožais, kuriuose atsikišę kroviniai ar sąstato detalės gali pažeisti kelio įrangą ar patį traukinį (pvz., tuneliuose, ant tiltų ir t.t.).

Geležinkelio stoties budėtojas (GSB) – asmuo, stotyje prižiūrintis ir valdantis eismą, kai stoties valdymo zona yra vietiniame valdyme.

Iešmas – geležinkelio bėgių atsisakojimo vieta, nuo iešmo smailių padėties priklauso, ar per iešmą važiuojantis traukinys važiuos į atšaką ar pagrindiniu keliu.

Išimtinis signalas – baltas mirksintis šviesoforo signalas, kuriuo traukinio mašinistui leidžiama pravažiuoti draudžiamąjį šviesoforo signalą.

Komanda – eismą valdančio operatoriaus (stoties budėtojo arba eismo tvarkdario) veiksmas (ar veiksmų seką), kurią šis atlieka valdymo kompiuterio pele ir/arba klaviatūra ir kuris įvykdomas signalizacijos įrangoje.

Maršrutas – traukinio ar manevrinio sąstato važiavimo per tam tikrus iešmus kelias iš tarpstočio į stotį, iš stoties į tarpstotį arba iš vieno stoties kelio į kitą.

Mikroprocesorinė iešmų ir signalų centralizacija (toliau – MPC) – traukinių eismo, iešmų ir signalų valdymo ir kontrolės kompiuterinė (mikroprocesorinė) įranga. Komanda traukinio maršrutui parengti (atšaukti), iešmui perjungti ar kitam būtinam veiksmui atlikti duodama kompiuterio klaviatūra arba pele ir kontroliuojama vaizduoklio ekrane.

Netaisyklingoji eismo kryptis – eismo kryptis važiuojant kairiuoju dvikelio ruožo keliu.

Netaisyklingasis kelias – kelias, kuriuo važiuojama netaisyklingąja eismo kryptimi.

Pervaža – vieta, kurioje geležinkelio bėgiai kertasi su automobilių transporto keliu.

Relinė pusiau automatinė blokuotė (PAB) – intervalinė traukinių eismo tvarkymo neintensyvaus eismo ruožuose įranga. PAB blokuojamasis ruožas yra visas tarpstotis.

Signalas – šviesoforo signalas, leidžiantis arba draudžiantis (ribojantis) eismą traukiniams atvykstant į stotį, išvykstant iš stoties bei važiuojant tarpstotyje.

Šoninė apsauga – maršruto ruožų saugumo užtikrinimo mechanizmas, kai maršrutui nepriklausantys iešmai rengiant maršrutą perjungiami į tokias padėtis, kad nebūtų galimybės į maršruto ruožus įvažiuoti atsikabinusiems vagonams ar kitiems traukiniams.

Užrakinimas (maršruto) – maršrutui priklausančių ruožų bei iešmų rezervavimas maršrutui, šitaip apsaugant maršrutui priklausančius ruožus nuo kito (besikertančio) maršruto parengimo bei maršrutui priklausančių iešmų perjungimo.

Vietinis stoties valdymas – kai tam tikrame stoties rajone, eismo tvarkdario leidimu, šviesoforų signalai ir iešmai perjungiami iš vietinio valdymo pulto (valdymo kompiuterio).

IVADAS

Modernizuojant geležinkelio linijas susiduriama su pritaikomumo problema, t. y. modernizuojančios įmonės diegia savo turimas centralizacijos sistemas, kurios turi būti adaptuojamos pagal Lietuvoje galiojančius norminius aktus. Nors abiejų šalių (tiek rangovo, tiek ir Lietuvos geležinkelių) tikslas yra tas pats – užtikrinti traukinių eismo saugumą, įgyvendinant projektus kyla problemų, kadangi rangovo ir užsakovo požiūris į tą patį „saugumą“ neretai skiriasi.

Atsižvelgiant į tai, kad Lietuvoje nėra įmonių, kurios yra sukūrusios (ar kuria) kompiuterizuotas geležinkelių eismo valdymo sistemas, skirtas išimtinai Lietuvos geležinkelių sistemai, modernizuojant geležinkelio linijas yra naudojami užsienio įmonių produktai. Dėl šio veiksnio susiduriama su problema, kad skirtingose valstybėse (net ir Europos Sąjungoje) galioja skirtingi reikalavimai geležinkelių eismo valdymo sistemoms. Tai lemia ne tik pati geležinkelio linijų struktūra (plačioji (1520mm)/siauroji (1435mm) vėžė, elektrifikuotos/neelektrifikuotos linijos, greitųjų traukinių linijos ir t.t.), bet ir istorinė patirtis diegiant, vystant, eksploatuojant ir modernizuojant geležinkelio linijas.

Siekiant sklandaus modernizacijos proceso reikia nustatyti aiškias taisykles, kaip mikroprocesorinė geležinkelio eismo valdymo sistema turi elgtis visose galimose situacijose (algoritmus), įsitikinant, kad nei vienoje iš šių būsenų sistema nekels grėsmės traukinių eismo dalyvių, pašalinių asmenų saugumui bei nedarys nepageidaujamos žalos aplinkai.

Šis baigiamasis magistro darbas yra skirtas Lietuvoje galiojančių geležinkelio eismo valdymo sistemų reikalavimų ir veikimo taisyklių apžvelgimui, kompiuterizuotų geležinkelio eismo valdymo sistemų veikimo algoritmų analizei, bendrųjų (supaprastintų) programinių algoritmų sudarymui, traukinių eismo stotyje modeliavimui naudojantis spalvotaisiais Petri tinklais ir tokio modelio pritaikymui analizuojant būsimą (numatomą) traukinių eismą konkrečioje geležinkelio stotyje.

Tiriamojame dalyje naudojantis spalvotaisiais Petri tinklais bus kuriamas nesudėtingos geležinkelio stoties modelis, analizuojamas jo veikimas bei tiriama galimybė tokį modelį panaudoti stoties maršrutų lentelės analizei – įvertinti galimas eismo situacijas ir dėl to kylančias grėsmes. Toks formalus maršrutų lentelės analizės metodas žymiai palengvintų modernizuojamų ar modifikuojamų stočių maršrutų lentelių analizę bei paspartintų patikrinimo eigą.

1 ANALITINĖ DALIS

Mikroprocesorinė geležinkelio eismo valdymo sistemos Lietuvoje nėra plačiai ir išsamiai tirtos. Užsienio autorių moksliniuose darbuose galima rasti informacijos apie geležinkelių eismo valdymo sistemų formaliuosius funkcinis algoritmus, jų modeliavimą bei saugos patikrinimą naudojant įvairius metodus: Antonio Bondavalli aprašo modeliavimo procesą naudojant Markovo Grandines [1], Radek Dobias bei Tom Zhang šiam tikslui pasitelkia tikimybinis Petri tinklus [2, 3]. Tomáš/ Hlavaty kartu su Štepan Klapka išskiria tris sistemų tipus: transformacines (tiesiogiai reaguojančias į įvesties duomenis, pvz. kompiliatoriai), interaktyvias (lygiagrečiai vykdančias keletą procesų, galinčių laukti, pvz. duomenų bazių serveriai, operacinės sistemos) ir reaktyvias (reaguojančias į aplink, kuri negali laukti pvz. fizinių procesų valdymo sistemos) [7]. Eismo valdymo sistema priskirtina trečiajai kategorijai – reaktyviosioms sistemoms. T. Hlavaty teigia, jog automatizuojant sistemą paranku modeliuoti kaip būsenų automata su baigtiniu būsenų skaičiumi – baigtine Kripkė struktūra. Sudėtingėjant modeliui ir didėjant būsenų skaičiui susiduriama su „būsenų sprogimo“ problema, tačiau tai išsprendžiama pasitelkiant simbolinį atvaizdavimą [7]. Kaip alternatyvius metodus geležinkelių eismo valdymo sistemos veikimo modeliavimui galima paminėti Monte Carlo imitaciją [5] Stochastinius veiklos tinklus [1] bei Grobnerio bazes [18].

Aukščiau paminėti imitavimo metodai gali būti realizuojami kompiuterinėmis priemonėmis pasitelkiant tam skirtais programiniais įrankiais (UltraSAN [8], SURF-2 [10], CPN Tools [9]). „CPN Tools“ yra skirtas išimtinai spalvotųjų Petri tinklų kūrimui ir analizei. Tai yra specializuotas atvirojo kodo mokomasis įrankis, leidžiantis ne tik sudaryti modelį, tačiau ir atlikti jam būsenų erdvės analizę. Taip pat šiuo įrankiu sukurtas modelis savo pavidalu atitinka geografinį modeliuojamos stoties išsidėstymą, o tai ženkliai palengvina modelio analizę bei modifikavimą.

Kuriant formalų centralizacijos (angl. *interlocking*) sistemos modelį pagrindinės kliūtys, su kuriomis susiduriama, pasak Kirsten Hansen, yra šios [6]:

- Neapibrėžti arba neaiškiai apibrėžti bendrieji sistemos reikalavimai;
- Tikslų situacinių aprašymų trūkumas;
- Geležinkelių signalizacijos specialistų žinių trūkumas sistemų modeliavimo srityje;
- Sistemų modeliuotojų žinių trūkumas geležinkelių signalizacijos srityje.

Šiame darbe nagrinėjami du pirmieji punktai, t. y. kiek įmanoma sukonkretinti bendruosius sistemos reikalavimus bei aprašyti sistemos veiksmus įvairiose konkrečiose situacijose.

Pasak K. Hansen, pagrindiniai tikslai modeliuojamai geležinkelio eismo valdymo sistemai yra šie [6]:

- Traukiniai/manevriniai sąstatai negali susidurti;
- Traukiniai/manevriniai sąstatai negali nuvažiuoti nuo bėgių;
- Traukiniai/manevriniai sąstatai negali susidurti su automobiliais ar žmonėmis, kertančiais geležinkelio linijas tam skirtose pervažose (perėjose);
- Traukinių eismas neturi kelti grėsmės geležinkelio darbuotojams, dirbantiems keliuose ar prie jų.

Nagrinėjant bendruosius geležinkelio eismo valdymo sistemos veikimo principus (taip pat ir reikalavimus šiai sistemai) būtina remtis tik visuotinai priimtais principais: užtikrinti eismo dalyvių saugą, užkirsti kelią žmonių žūčiai ar žalos aplinkai padarymui, tiek ir konkrečiais Lietuvos Respublikos norminiuose aktuose įtvirtintais principais. Šioje situacijoje verta analizuoti Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto eismo saugos įstatymą [11], nustatantį valstybės institucijų teises ir pareigas formuojant ir įgyvendinant geležinkelių transporto eismo saugos politiką, reikalavimus geležinkelių infrastruktūros valdytojams, geležinkelio įmonėms (vežėjams) geležinkelių transporto eismo saugos srityje, teisės valdyti geležinkelių riedmenis suteikimo tvarką, geležinkelių transporto eismo įvykių tyrimo tvarką, reikalavimus darbuotojams, kurių darbas yra susijęs su geležinkelio transporto eismu. Įstatymo tikslas – apsaugoti asmenų gyvybę, sveikatą ir turtą, gerinti geležinkelių transporto eismo sąlygas bei mažinti neigiamą poveikį aplinkai ir užtikrinti bendrųjų geležinkelio transporto eismo saugos tikslų įgyvendinimą ir geležinkelių transporto sistemos sąveiką [11].

Bendrieji įstatymo numatomi eismo saugos užtikrinimo principai yra šie [11]:

1. Užtikrinti asmenų sveikatą ir gyvybę yra svarbiau negu siekti ūkinės komercinės veiklos ekonominių rezultatų;
2. Bendros geležinkelių sistemos plėtros skatinimas teisės aktų nustatyta tvarka, eismo saugos reikalavimus ta pačia veikla užsiimantiems asmenims taikant nediskriminacinėmis sąlygomis;
3. Eismo saugos valdymas, nuolat gerinant eismo saugą pagal Europos Sąjungos teisės aktų reikalavimus ir mokslo bei technikos vystymąsi ir teikiant pirmenybę katastrofų prevencijai;

4. Priemonės, kuriomis siekiama gerinti eismo saugą, nustatomos vadovaujantis sisteminiu požiūriu, t. y. atsižvelgiant į visos geležinkelio sistemos, o ne į vienos ar kelių jos dalių, eismo saugą;
5. Geležinkelio infrastruktūros valdytojų, geležinkelio įmonių (vežėjų) bendradarbiavimas siekiant užtikrinti saugų geležinkelio infrastruktūros naudojimą, priežiūrą, modernizavimą ir plėtrą;
6. Geležinkelio riedmenų gamintojų, eksploatavimo paslaugų teikėjų, geležinkelio riedmenų valdytojų, įmonių, atliekančių geležinkelio riedmenų techninę priežiūrą, ir perkančiųjų organizacijų pareiga užtikrinti, kad geležinkelio riedmenys, įranga, priedai, įtaisai ir teikiamos paslaugos atitiktų geležinkelio riedmenims nustatytus reikalavimus ir jų naudojimo sąlygas taip, kad geležinkelio įmonės (vežėjai) ir (ar) geležinkelio infrastruktūros valdytojai galėtų saugiai juos naudoti.

Nors geležinkelio transporto eismo saugos įstatymas ir numato pagrindines gaires, ko reiktų siekti kuriant ir diegiant geležinkelio eismo valdymo sistemas, tačiau neaprašo konkrečių priemonių, kaip užtikrinti pageidaujamą saugumo lygmenį. Įstatymas taip pat numato, kad eismo saugumas turi būti užtikrinamas eismą vykdant vadovaujantis galiojančiomis Geležinkelio eismo taisyklėmis [12]. Šios taisyklės nustato traukinių eismo tvarkymo principus, traukinių priėmimo į stotį, išleidimo į tarpstotį ir manevravimo stotyje tvarką bei nurodo geležinkelio transporto darbuotojų veiksmus susidarius avarinei ir nestandartinei situacijai bei sutrikus eismo valdymo įrenginių sistemai [12]. Šio dokumento analizė leidžia geriau susipažinti su eismo tvarkymo (valdymo) principais, t. y. stoties budėtojų, eismo tvarkdarių bei kitų už eismo saugumą atsakingų darbuotojų veiksmais įvairiose situacijose (tiek normalaus veikimo sąlygomis, tiek ir sutrikus signalizacijos įrenginių darbui). Žinant galimus geležinkelio darbuotojų veiksmus galima numatyti bei prognozuoti atitinkamas mikroprocesorines centralizacijos (MPC) būsenas, kuriose sistema gali atsidurti bei numatyti galimas tų būsenų pasekmes (tiek teigiamas, tiek ir neigiamas).

Geležinkelio eismo taisyklės neaprašo valdymo sistemos veikimo principų, išsamesnės informacijos galima aptikti konkrečių įgyvendintų ar įgyvendinamų projektų dokumentacijoje. Bendradarbiaujant su AB „Lietuvos geležinkeliai“ buvo gauta trijų skirtingų geležinkelio linijos modernizavimo projektų dokumentacija [13, 15, 16], kurioje aprašomas mikroprocesorines centralizacijos taikymas ir diegimas geležinkelio ruožuose. Atliekant šių dokumentų analizę pastebėta, jog techninių susitikimų ir pasitarimų metu priimta sprendimų, kurie pagerina eismo valdymo sistemos funkcionalumą ir leidžia kompiuterizuotą eismo valdymo sistemą eksploatuoti situacijose, kuriose pasak Geležinkelio eismo taisyklių, reiktų

uždrausti eismo valdymą šia sistema bei pereiti prie valdymo telefono ryšio pagalba. Verta paminėti, jog palaipsniui tobulėjant diegiamoms bei eksploatuojamoms geležinkelių eismo valdymo sistemoms „sensta“ ir norminai aktai bei taisyklės, o tai dar labiau padidina šio baigiamojo magistro darbo aktualumą – atsižvelgiant į atliktą analizę ateityje bendradarbiaujant su AB „Lietuvos geležinkeliai“ galima teikti konkrečius pasiūlymus eismo saugumo, patikimumo ar našumo didinimo klausimais.

Skelbiant konkursą ir sudarant Užsakovo reikalavimus kartu su bendraisiais reikalavimais bei reikalavimais įvairioms posistemėms išvardinami ir reikalavimai mikroprocesorinei centralizacijos sistemai (MPC), kurią Rangovas turės diegti modernizuojamame ruože. Šiame darbe išsamiausiai bus nagrinėjamas šiuo metu vykdomas projektas „Kauno stoties, aplinkkelio Palemonas – Rokai – Jiesia ir Kauno – Kybartų linijos signalizacijos ir elektros tiekimo įrenginių modernizavimas“. Šis projektas pasirinktas neatsitiktinai – jis yra naujausias, todėl būtent šio projekto metu diegiamai eismo valdymo sistemai jau projekto konkurso metu buvo įmanoma sudaryti išsamesnius reikalavimus, taigi ir aiškiau apibrėžti eismo valdymo sistemos veikimo principus. Šie principai aprašyti [13] šaltinyje. Dokumento tikslas – suteikti pagrindinę informaciją naujų kompiuterizuotų centralizacijų sistemų (interlokingo) funkcijų (logikos) pritaikymui prie interlokingo principų, taikomų Lietuvos geležinkeliuose.

Eismas stotyje tvarkomas remiantis Geležinkelių signalizacijos taisyklėmis [14], kuriose konkrečiai nurodomi visi galimi šviesoforų signalai stotyse ir tarpstočiuose, automatinės lokomotyvo signalizacijos rodmenys, objektų ženklavimas stotyse bei pagrindiniai šviesoforų signalų tarpusavio sąryšiai.

Verta paminėti, kad šiame magistro darbe nėra nagrinėjami techniniai su eismo valdymo sistema susijusių posistemių veikimo principai. Kaip pavyzdžius galima paminėti traukinio aptikimą bėgių grandinėmis, ieško galutinės padėties užtikrinimą ieško pavaroje ir t.t. Tiesiog bus paminima, kad traukinys užėmė vieną ar kitą ruožą, iešmas persijungė/nepersijungė/prarado kontrolę ir t.t.

2 TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Išanalizavus literatūros šaltinius bei išnagrinėjus AB „Lietuvos Geležinkeliai“ pateiktą informaciją galima susisteminti pagrindines srities problemas ir numatyti galimus sprendimus.

Vykdamas geležinkelio linijų bei stočių atnaujinimo projektus siekiama ne tik padidinti linijų (bei stočių) našumą (traukinių pralaidumą), bet ir saugumą bei sistemos veikimo užtikrintumą. Kompiuteriniais funkciniais algoritmais galima užkirsti kelią didelei daliai žmogiškų klaidų, t.y. valdančiam operatoriui vykdant veiksmus, galinčius turėti įtakos eismo saugumui, sistema įsitikina, jog operatorius tai atlieka sąmoningai ir supranta savo veiksmus. Kitas saugumo užtikrinimo aspektas yra galimybė kompiuterinėmis (programinėmis) priemonėmis (modeliavimu) nustatyti eismo valdymo sistemos stotyje (ar tarpstotyje) saugumą modeliuojant realias galimas eismo situacijas. Taip galima išvengti kolizinių situacijų dar nepradėjus sistemos eksploatavimo bei iš anksto numatyti galimas grėsmes.

Šiuo darbu bus siekiama sukurti formalų metodą, kaip užtikrinti vieno iš svarbiausių eismą stotyje aprašančių dokumentų – geležinkelio stoties maršrutų lentelės teisingumą bei joje aprašytų maršrutų saugumą modeliuojant nedidelę geležinkelio stotį ir pritaikant jai pagal iš anksto numatytus veikimo principus parengtą maršrutų lentelėje aprašytų maršrutų patikrinimo algoritmą.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti pagrindinius geležinkelio stoties valdymo ir kontrolės sistemos veikimo (funkcinius) reikalavimus, atsižvelgiant į Lietuvoje galiojančius teisės aktus bei norminius dokumentus.
2. Pagal nustatytus reikalavimus sudaryti teorinį veikimo modelį ir pagrindinių funkcijų – maršrutų rengimo ir užrakinimo bei leidžiamojo maršruto pradžios šviesoforo rodmenų įjungimo algoritmus.
3. Pagal sudarytą teorinį veikimo modelį sudaryti nesudėtingos stoties imitacinį modelį.
4. Naudojantis imitaciniu geležinkelio stoties modelius atlikti siūlomos maršrutų lentelės analizę – pritaikyti kolizijų paieškos algoritmą.
5. Įvertinti analizės rezultatus ir pateikti tokio kolizijų paieškos algoritmo pritaikymo praktikoje galimybes.

3 TEORINĖ DALIS

3.1 Bendrieji funkciniai reikalavimai stoties valdymo sistemai

Remiantis apžvelgtais literatūros šaltiniais galima aprašyti bendruosius kompiuterizuotos geležinkelio stoties eismo valdymo sistemos reikalavimus, t. y. kokį funkcionalumą turi užtikrinti tokia sistema. Projekto C Užsakovo reikalavimuose pateikiami pagrindiniai reikalavimai mikroprocesorinei centralizacijai ir jos veikimo logikai [13].

Interlokingo logika, kaip pati svarbiausia kompiuterizuotos interlokingo sistemos dalis, turi saugiai patenkinti įprastinius, reliniam interlokingui taikomus, reikalavimus. Kompiuterizuotų interlokingo sistemų užtikrinamas saugumo lygis turi būti toks pats arba geresnis nei esamų relinių interlokingo sistemų užtikrinamas saugumo lygis.

Sukonkretinant galima pažymėti, jog projekte „Kauno stoties, aplinkkelio Palemonas – Rokai – Jiesia ir Kauno – Kybartų linijos signalizacijos ir elektros tiekimo įrenginių modernizavimas“ reikalaujamas diegiamos sistemos saugumo ir vientisumo lygmuo yra SIL 4. (*angl. SIL – safety integrity level*).

3.2 Sistemos užtikrinamos galimybės

Kompiuterizuotų interlokingo sistemų projekte turi būti įtrauktos mažiausiai tokios operacijos/funkcijos [13]:

1. Traukinio ir manevrų maršrutų (pavienių, sudėtinių) parengimas atsižvelgiant į kelių išdėstymą pagal visus saugumo reikalavimus su automatiniu visų maršrute esančių iešmų perjungimu.
2. Individualus iešmų perjungimas.
3. Iešmų, visų tipų kelio ruožų ir šviesoforų blokavimas.
4. Iešmų, visų tipų kelio ruožų ir šviesoforų atblokavimas.
5. Maršruto parengimas ir užrakinimas, jeigu bėgių grandinės yra netikrai užimtos ir tai patvirtinta specialiosiomis komandomis.
6. Automatinis maršruto atrakinimas, pravažiavus traukiniui, arba jam atvykus į pagrindinį priėmimo kelią ir atlaisvinus kitus kelio ruožus.
7. Automatinis maršruto atrakinimas, traukiniui pravažiavus manevravimo maršrutu atvirkštinės judėjimo krypties atveju.
8. Individualus (dirbtinis) užrakintų visų tipų kelio ruožų atrakinimas su galimybe atrakinti keletą kelio ruožų vienu metu.
9. Sąsają su centralizuota nuotolinio eismo valdymo sistema (CTC) užtikrinimas.

10. Stoties ir tarpstočių valdymas iš centralizuotos eismo valdymo sistemos centro (CTC).

11. Pervažų stoties teritorijoje ir tarpstočiuose valdymas ir kontrolė.

12. Sąsajos užtikrinimas su kitomis sistemomis, tokiomis kaip automatinė kelio blokuotė, pusiau automatinė kelio blokuotė, pervažos, automatinė lokomotyvo signalizacija, įkaitusių ašidėžių ir ratų geometrijos kontrolės sistemos, gabarito kontrolės (vartų) nustatymo sistemos ir pan.

13. Sąsajos užtikrinimas su kelyje dirbančio personalo perspėjimo ir keleivių informavimo sistemomis.

14. Normalusis ir pagalbinis eismo krypties tarpstotyje pakeitimas.

15. Automatinės veiksėnos įjungimas stoties traukinių šviesoforui su leidžiamuoju signalu.

16. Automatinis iešmų grąžinimas po dels laikio į iš anksto nustatytą padėtį, kai iešmas yra nesaugioje padėtyje ir nėra užimtas ar užrakintas.

17. Tvarkdario/operatoriaus komandos pagalba draudžiamųjų (STOP) signalų įjungimas atskiriems arba visiems stoties šviesoforams.

18. Traukinio išleidimo maršruto leidimas ir atšaukimas į pusiau automatinę kelio blokuotę (PAB) valdomą tarpstotį kaimyninėje stotyje.

19. Normalusis ir dirbtinis traukinio atvykimo patvirtinimas (Pusiau automatinėje blokuotėje).

20. Ūkinio traukinio su raktu krivūle išleidimas į tarpstotį pagal leidžiamąjį šviesoforo parodymą.

21. Rajono su dvigubu valdymu centrinis ir vietinis valdymas.

22. Kelio atitvėrimo įjungimas ir atšaukimas (stotyse su numatyta kelių atitvėrimo sistema).

3.3 Neleidžiami atvejai

1. Bet kokio traukinio šviesoforo leidžiamojo signalo įjungimas, jeigu paskirties kelias yra užimtas.

2. Traukinio maršruto parengimas į kelią tuo atveju, kuomet šis kelias yra traukinio arba manevrų maršruto iš priešingos pusės paskirties kelias.

3. Manevų maršruto į kelią parengimas tuo atveju, kuomet šis kelias yra traukinio maršruto iš priešingos pusės paskirties kelias.

4. Bet kurio maršruto parengimas ir užrakinimas, jeigu vienas ar daugiau ruožų yra individualiai užrakinti, yra kito maršruto dalis arba yra užblokuoti.

5. Dviejų priešpriešinių manevrų maršrutų į stoties iešmyno kelio ruožą parengimas.

6. Iešmo perjungimas, jeigu kelio ruožas, kuriame yra šis iešmas, yra užrakintas individualiai arba papuola į užrakintą maršrutą, arba iešmas yra užrakintas kaip patenkantis į šoninės apsaugos zoną arba iešmai yra užblokuoti.

7. Iešmo perjungimas įprastos komandos pagalba, jeigu kelio ruožas, kuriame yra iešmas, yra užimtas.

8. Maršruto parengimas, jeigu bet kuris maršrute arba šoninės apsaugos zonoje esantis iešmas yra nekontroliuojamas.

9. Maršruto parengimas paprastos komandos pagalba, jeigu bet kuris maršrute esantis kelio ruožas arba maršrutui negabaritinis kelio ruožas yra užimtas.

10. Bet kokio leidžiamojo signalo šviesofore buvimas, jeigu bet koks maršruto kelio ruožas arba maršrutui negabaritinis kelio ruožas arba pirmasis išleidžiamojo maršruto blokuotės kelio ruožas tampa užimti.

11. Traukinio išleidimo maršruto parengimas, jeigu tarpstočio kelias nėra nustatytas kryptčiai "Išvykimas".

12. Traukinio išleidimo maršruto parengimas, jeigu buvo išleistas ūkinis traukinys su raktine krivūle.

13. Tarpstočio eismo krypties pakeitimas, jeigu nėra krivulės, esančios ūkiniame traukinyje, arba yra užrakintas traukinio išleidimo maršrutas, arba, esant dvikelei autoblokuotei su dvipusiu eismu kiekviename iš kelių, nėra kaimyninės stoties tvarkdario/operatoriaus leidimo (jeigu toks būtinas).

14. Bet kokio leidžiamojo signalo šviesofore buvimas, jeigu buvo aktyvuotas individualus maršruto ruožų atrakinimas.

15. Perjungimas į neveikiantį šviesoforo signalą, jeigu raudonas (STOP) žiburys yra tvarkingas, o leidžiamojo signalo žiburys yra sugedęs (galioja tik stoties šviesoforams).

16. Bet kokio leidžiamojo signalo šviesofore buvimas, jeigu maršrute esantis iešmas ar šoninės apsaugos dalis tampa nebekontroliuojami arba maršruto ar maršrutui negabaritinis ruožas tampa užimtu, išskyrus pirmąjį manevrų maršruto ruožą, kuomet yra užimtas priartėjimo ruožas.

17. Bet kokio leidžiamojo signalo šviesofore buvimas, jeigu buvo aktyvuotas maršruto atšaukimas.

18. Maršruto atšaukimas be uždelsimo, jeigu yra užimtas priartėjimo kelio ruožas.

19. Maršruto atšaukimas maršrutu važiuojant traukiniui.
20. Ruožo atrakinimas važiuojant traukiniui jeigu ruožas tampa neužimtu trumpam (mažiau nei 4 sek.) (trumpalaikio šunto praradimo atveju).
21. Traukinio maršruto pirmojo ruožo atrakinimas jeigu jis tampa netikrai užimtas (mažiau nei 4 sek.) kartu su antruoju ruožu.
22. Maršruto atrakinimas važiuojant traukiniui jeigu sugedo bėgių grandinių maitinimo šaltinis.
23. Leidžiamą šviesoforo signalo perjungimas atgal į draudžiamąjį, jeigu leidžiamą signalo įjungimo išankstinės sąlygos netenkinamos mažiau negu 4 sek. (pvz., užimama bėgių grandinė arba iešmas tampa nekontroliuojamu).
24. Dviejų priešpriešinių traukinio maršrutų parengimas iki šviesoforų, esančių vienas prieš kitą toje pačioje ordinatėje.
25. Maršruto parengimas paprasta komanda jeigu atitinkamo kelio ruožo bėgių grandinė neveikia arba kelio ruožas yra užimtas. Maršrutas turi būti parengiamas specialia komanda (be šviesoforo leidžiamą signalo įjungimo) tada, kai atitinkamas ruožas pažymėtas kaip "netikrai užimtas".
26. Traukinio arba manevrų maršruto parengimas, jeigu yra užgesęs šoninės apsaugos šviesoforas, o manevrų maršrutas yra užrakintas iki jo.
27. Traukinio arba manevrų maršruto parengimas paprasta komanda, jeigu užgesęs maršruto pabaigos šviesoforas.
28. Leidžiamą signalo įjungimas šviesoforui įleidžiančiam į vienkėlį ar dvikėlį tarpstotį su dvipusiu eismu kiekviename kelyje, jeigu nėra CTC sistemos tvarkdario leidimo (jeigu stotis yra prijungta prie CTC).
29. Išleidžiamą (arba maršrutinio) šviesoforo leidžiamą signalo įjungimas ir buvimas jeigu yra aktyvuota gabarito kontrolės (vartų) nustatymo sistema, o speciali komanda skirta apeiti gabarito kontrolės (vartų) nustatymo sistemą nėra duota.
30. Išleidžiamą šviesoforo leidžiamą signalo įjungimas į PAB, jeigu tarpstotis yra užimtas.
31. Raktinės krivulės išėmimas be leidimo (tinka tik stotims su dispečerinė centralizacija).
32. Išleidžiamą šviesoforo leidžiamą signalo įjungimas į PAB, jeigu nėra leidimo iš kaimyninės stoties.
33. Traukinio maršruto parengimas į kelia ar per kelio ruožus ir iešmus jeigu jie yra vietinio valdymo rajone.

34. Bet kurio maršruto parengimas į atitvertą kelią arba iš jo.

Aukščiau aprašyti reikalavimai nurodo, kokias funkcijas centralizuota eismo valdymo sistema turi užtikrinti. Taip pat, trumpai išvardinama, kokių veiksmų ar būsenų neturėtų susidaryti sistemos eksploatavimo metu. Taip pat verta paminėti, kad tiriant funkcinis algoritmus sistema turi užtikrinti aukščiau išvardintus reikalavimus bet kuriuo sistemos veikimo momentu. Apibendrinant galima sudaryti pagrindines interlokingo funkcijas, t. y. geležinkelio eismo valdymo sistema turi užtikrinti tokį pagrindinį funkcionalumą:

1. Signalizacijos įrenginių valdymą.
2. Signalizacijos įrenginių kontrolę.
3. Saugaus traukinių eismo užtikrinimą.
4. Sąryšį su eismo tvarkdariu/operatoriumi (pasinaudojant valdymo, indikacijų ir kontrolės sistema).
5. Ryšį su kitomis sistemomis (reliniu interlokingu, Centralizuoto valdymo sistema, automatine blokuote, Pusiau automatine blokuote ir kt.).
6. Savikontrolę.

3.4 Normalaus sistemos veikimo režimo funkcijos

Normalaus režimo funkcijos atliekamos tada, kai kompiuterizuota centralizacijos sistema dirba nepriklausomai ir visi kelio signalizacijos įrenginiai yra valdomi. Kompiuterizuota centralizacijos sistema turi užtikrinti sąryšį tarp kelio signalizacijos objektų naudodama užrakinimą, blokavimą, nustatant šviesoforų signalų funkcijas ir pan.

Esant normaliam veikimo režimui turi būti atliekamos šios funkcijos:

1. Traukinio ar manevrų maršruto parengimas ir atrakinimas.
2. Šviesoforo leidžiamojo signalo įjungimas jeigu patenkinamos visos iš anksto numatytos sąlygos.
3. Automatinis maršruto išardymas, pravažiavus traukiniui.
4. Automatinis nepanaudotų manevrų maršruto dalių atrakinimas pravažiavus traukiniui esant priešingos krypties judėjimui.
5. Automatinis maršruto pradžios šviesoforo draudžiamojo (STOP) signalo įjungimas, traukiniui įvažiavus į maršrutą.
6. Šviesoforo draudžiamojo (STOP) signalo įjungimas neišardant (neatšaukiant) maršruto pagal eismo tvarkdario/operatoriaus komandą.

7. Šviesoforo draudžiamąjį (STOP) signalą įjungimas su maršruto išardymu pagal tvarkdario komandą.

8. Pakartotinis šviesoforo leidžiamąjį signalą įjungimas pagal tvarkdario komandą, jeigu įvykdytos visos leidžiamąjį signalą įjungimo sąlygos, išskyrus išleidžiamuosius šviesoforus į tarpstočius su pusiau automatine blokuote.

9. Sąsaja su pervažų ir personalo perspėjimo apsaugos sistemomis. Sąsaja turi būti numatyta pervažoms, esančioms stoties zonoje ir pervažoms tarpstotyje, jeigu tų pervažų priartėjimo ruožas yra stoties ribose.

10. Sąsaja su kitomis sistemomis, pvz. su automatine lokomotyvo signalizacija (ALS), gabarito kontrolės (vartų) nustatymo sistema ir pan.

11. Sąsaja su tarpstočių blokuotės sistemomis.

12. Iešmo perjungimas, kai kelio ruožas, einantis per šį iešmą, yra laisvas (normalus perjungimas).

13. Traukinio maršruto parengimas, naudojant automatinės veiksenos funkciją.

14. Draudžiamąjį (STOP) signalą įjungimas visuose šviesoforuose avarinio įvykio atveju.

15. Sąsaja su pusiau automatinės kelio blokuotės įranga.

16. Rajono su dvigubo valdymo įgaliojimų perdavimas (valdymo zonos perdavimas).

17. Vietinio operatoriaus objektų valdymas ir kontrolė vietiniame valdyme.

18. Kelio atitvėrimo nustatymas ir atšaukimas (stotyse, kuriose numatoma būtinybė įrengti tokią sistemą).

Žemiau aprašomi trys pagrindinės kompiuterizuotos geležinkelių eismo valdymo sistemos funkcijos – maršrutų rengimo atvejai: priėmimo maršruto parengimas, išleidimo maršruto parengimas, manevrų maršruto parengimas.

3.4.1 Priėmimo (perdavimo) traukinio maršruto parengimas

Priėmimo (perdavimo) maršrutas – tai maršrutas, kuriuo traukinys priimamas į pasirinktą stoties kelią, kuriame traukinys sustos prie išleidžiamąjį šviesoforo (priėmimo maršrutas) arba važiuos tolyn (perdavimo maršrutas).

Priėmimo (perdavimo) traukinio maršruto parengimo funkcija yra įgyvendinama trimis pakopomis, naudojant maršruto nustatymo komandą (t.y. eismą valdantis operatorius savo veiksmais nurodo maršrutą, kurį saugiai turi parengti sistema):

1. Visų susijusių iešmų perjungimas;

2. Visų susijusių ruožų užrakinimas;

3. Leidžiamojo šviesoforo signalo nustatymas.

Į Maršrutą įtraukti iešmai turi persijungti į komandos nurodytas padėtis. Nepaisant to, kiekvienas iešmas gali būti perjungtas atskiromis komandomis iki maršruto parengimo komandos. Iešmų perjungimo, pasinaudojant maršruto komanda, sąlygos yra tokios pačios kaip ir sąlygos iešmus perjungiant atskirai.

3.4.1.1 *Maršruto užrakinimas*

Maršrutas turi būti užrakintas, jeigu išpildytos šios sąlygos:

1. Visi maršrute esantys ir maršrutui negabaritiniai kelio ruožai nėra užimti ir jie nėra pažymėti kaip netikrai užimti.
 2. Į paskirties ruožą nėra parengto priešpriešinio traukinio ar manevrų maršruto.
 3. Nėra pavojojo traukinio ar manevrų maršruto.
 4. Iešmai, įtraukti į maršrutą, yra reikiamoje padėtyje.
 5. Manevrų šviesoforo signalas, įtrauktas į šoninę apsaugą yra draudžiamasis (STOP), jeigu iki šio šviesoforo buvo parengtas manevrų maršrutas.
 6. Visi maršrute esantys ruožai nėra užblokuoti ar užrakinti.
 7. Šviesoforas nėra užblokuotas.
 8. Šviesofore nėra įjungtas išimtinis signalas.
 9. Paskirties kelias nėra atitvertas.
 10. Paskirties kelias nėra vietinio rajono valdyme.
 11. Maršrute nėra iešmų, kurie yra vietinio rajono valdyme.
 12. Maršrute nėra sekcijų, kurios yra vietinio rajono valdyme.
- Jeigu visos sąlygos yra išpildytos, maršrutas bus užrakintas.

Jeigu traukinio maršrutas yra užrakintas iki paskirties kelio su iešmu viduryje, manevrų šviesoforų signalai gali būti nustatomi į leidžiamuosius komanda, kuomet į šį kelią atvažiuos visas traukinys ir šis manevravimo šviesoforo signalas, pravažiavus traukiniui, automatiškai bus nustatytas į draudžiamąjį (STOP) signalą. Vienu metu gali būti nustatytas į leidžiamąjį šviesoforo signalą tik vienas manevravimo šviesoforas, esantis kelio viduryje.

Jeigu maršrutas yra užrakintas, bet kokie aukščiau išvardintų sąlygų pažeidimai neturėtų sukelti maršruto išardymo.

3.4.1.2 *Leidžiamojo signalo nustatymas*

Priėmimo (perdavimo) maršruto pradžios šviesoforas turi rodyti leidžiamąjį signalą, jeigu išpildytos šios sąlygos:

1. Visi maršrute esantys iešmai yra reikiamose padėtyse.

2. Visi maršruto ir maršrutui negabaritiniai ruožai yra neužimti ir visi maršrute esantys ruožai yra užrakinti.
3. Visi maršrute esantys iešmai yra užrakinti.
4. Atskirų, maršrute esančių, ruožų atrakinimas nėra aktyvuotas.
5. Šiame šviesofore nėra įjungtas išimtinis signalas.
6. Jeigu maršrutas, yra užrakintas per pervažą, šviesoforas turi rodyti leidžiamąjį signalą su kelių tinklą atitinkančiu delslaikiu, kuomet yra užimtas priartėjimo ruožas.
7. Pervažoje nėra įjungta atitveriamoji signalizacija.
8. Šviesofore papildomai 4 sekundes turi būti išlaikytas leidžiamasis signalas, jeigu bet kuri iš aukščiau išvardintų sąlygų, išskyrus 6 punktą, daugiau nėra patenkinama. Jeigu šviesoforas persijungė į draudžiamąjį signalą, leidžiamasis signalas turi būti įjungtas kuomet tvarkdarys pasiųs specialią komandą.
9. Jeigu užrakintas maršrutas eina per teritoriją, kurioje dirba aptarnaujantis personalas, šviesofore leidžiamasis signalas turi įsijungti su uždelsimu, priklausančiu nuo kelio išdėstymo jeigu priartėjimo ruožas yra užimtas.
10. Yra nustatyta, kad leidžiamųjų signalų žiburiai veikia tinkamai.
11. Jeigu įleidžiamasis šviesoforas yra užgesęs, šviesoforas, esantis prieš įleidžiamąjį šviesoforą turi rodyti draudžiamąjį (STOP) signalą.
12. Šviesoforo signalas ir kodo reikšmė turi būti parinkti pagal LG galiojančius standartus (pagal dokumentą “Geležinkelio signalizacijos taisyklės”[7]).

Jeigu visos sąlygos yra išpildytos, šviesoforas turi rodyti leidžiamąjį signalą. Šviesoforai turi rodyti draudžiamuosius (STOP) signalus, jeigu bet kuri iš aukščiau išvardintų sąlygų, išskyrus 6, 9 ir 10 punktus, daugiau nėra patenkinama arba operatorius pasiuntė specialią komandą.

Jeigu priartėjimo ruožo bėgių grandinė yra nekontroliuojama ar naudojama tik indikacijai, šviesofore turi būti nustatymas draudžiamasis (STOP) signalas kuomet traukinys atlaisvins pirmąjį maršruto ruožą jį pravažiuodamas.

3.4.2 Išleidimo maršruto parengimas

Išleidimo maršrutas – tai toks maršrutas, kuriuo stoties kelyje stovintis (ar juo važiuojantis) traukinys išleidžiamas iš stoties į tarpstotį.

Išleidimo maršruto parengimo funkcija yra įgyvendinama trimis pakopomis, naudojant maršruto nustatymo komandą:

1. Visų susijusių iešmų perjungimas

2. Susijusių ruožų užrakinimas
3. Šviesoforo leidžiamą signalą nustatymas

Į maršrutą įtraukti iešmai turi persijungti į komandos nurodytas padėtis. Nepaisant to, kiekvienas iešmas gali būti perjungtas atskira komanda iki maršruto nustatymo komandos.

Iešmų perjungimo, pasinaudojant maršruto komanda, sąlygos yra tokios pačios kaip ir sąlygos perjungiant atskirai.

3.4.2.1 Maršruto užrakinimas

Maršrutas turi būti užrakintas, jeigu išpildomos šios sąlygos:

1. Tarpstotyje nustatyta eismo kryptis išleisti traukinį. Nėra išleidžiamą traukinio maršruto iš kaimyninės stoties, tuo atveju pirmasis tarpstočio šviesoforas yra kaimyninės stoties įleidžiamasis šviesoforas.

2. Visi maršrute esantys ir maršrutui negabaritiniai ruožai yra neužimti ir nėra pažymėti kaip netikrai užimti.

3. Pirmasis tarpstočio blokuojamasis ruožas yra laisvas (PAB netikrinama). Antrasis blokuojamasis ruožas yra taip pat laisvas tuo atveju kai linijoje, šia eismo kryptimi, nėra šviesoforų. Vykstant eismui netaisyklingu dvikelio tarpstočio keliu, antrasis blokuojamasis ruožas yra taip pat laisvas.

4. Nėra nustatyto pavojojo traukinio ar manevrų maršruto.

5. Tarpstotyje nėra ūkinio traukinio su raktine krivūle.

6. Visi į maršrutą įtraukti iešmai yra reikiamose padėtyse.

7. Visi iešmai, esantys pagrindinių kelių viduryje, turi būti padėtyje “PLIUS”.

8. Manevrų šviesoforas, esantis šoninės apsaugos zonoje, rodo draudžiamąjį (STOP) signalą, jeigu manevrų maršrutas buvo parengtas iki šio šviesoforo.

9. Visi maršrute esantys ruožai nėra užblokuoti ar užrakinti.

10. Šviesoforas nėra užblokuotas.

11. Šviesofore neįjungtas išimtinis signalas.

12. Iš kaimyninės stoties duotas leidimas traukinio išleidimo maršrutui.

13. Maršrute nėra iešmų, kurie yra vietinio rajono valdyme.

14. Išvykimo kelias maršrutui nėra atitvertas.

Jeigu visos sąlygos yra patenkinamos, maršrutas bus užrakintas.

Jeigu maršrutas buvo užrakintas bet kokie aukščiau išvardintų sąlygų pažeidimai neturėtų sukelti maršruto išardymo.

3.4.2.2 *Leidžiamojo signalo nustatymas*

Išleidimo maršruto pradžios šviesoforas turi rodyti leidžiamąjį signalą, jeigu yra išpildomos šios sąlygos:

1. Tarpstočio eismo kryptis yra nustatyta į „Išvykimas“.
2. Visi į maršrutą įtraukti iešmai, įskaitant esančius pagrindinio kelio viduryje, yra reikiamose padėtyse.
3. Visi maršrute esantys ir maršrutui negabaritiniai ruožai yra neužimti, o visi maršruto ruožai yra užrakinti.
4. Visi maršrute esantys iešmai, įskaitant iešmus, esančius pagrindinio kelio viduryje, yra užrakinti.
5. Atskirų maršruto ruožų atrakinimas nėra aktyvuotas.
6. Šviesofore neįjungtas išimtinis signalas.
7. Pirmasis tarpstočio blokuojamasis ruožas yra laisvas (PAB netikrinama). Antrasis blokuojamasis ruožas yra laisvas tuo atveju, kai vykstant eismui šia kryptimi linijoje nėra šviesoforų. Vykstant eismui netaisyklingu dvikelio tarpstočio keliu, antrasis blokuojamasis ruožas yra laisvas taip pat.
8. Pirmajame tarpstočio blokuojamame ruože nėra aktyvuota traukinio pravažiavimo kontrolė, šis ruožas yra atblokuotas. Šis reikalavimas turi būti patikrintas ir antrajam blokuojamajam ruožui tuo atveju, kuomet šia judėjimo kryptimi nėra šviesoforų (vykstant eismui netaisyklingu dvikelio tarpstočio keliu).
9. Gautas leidimas iš CTC (kai tai būtina, t.y. traukinys išleidžiamas į vienkėlį tarpstotį).
10. Jeigu maršrutas, yra užrakintas per pervažą, šviesoforas turi rodyti leidžiamąjį signalą su kelių tinklą atitinkančiu delslaikiu, kuomet yra užimtas priartėjimo ruožas.
11. Neįjungta apsauginė signalizacija skirta įspėti prie pervažų esančius žmones.
12. Jeigu užrakintas maršrutas eina per teritoriją, kurioje dirba aptarnaujantis personalas, šviesofore leidžiamasis signalas turi persijungti su uždelsimu, priklausančiu nuo kelio išdėstymo jeigu priartėjimo ruožas yra užimtas.
13. Gabarito kontrolės (vartų) nustatymo sistema nėra aktyvuota arba speciali komanda nereaguoti į gabarito kontrolės (vartų) nustatymo sistemą nėra duota (GKĮ nėra sugadintas arba buvo duota speciali komanda „GKĮ išjungimas iš sąryšio“).
14. Tarpstotyje nėra ūkinio traukinio su raktine krivule.
15. Šviesoforas turi dar 4 sekundes išlaikyti įjungtą leidžiamąjį signalą, jeigu bet kuri iš aukščiau išvardintų sąlygų, išskyrus 9 punktą, daugiau nėra patenkinama. Jeigu šviesoforas

persijungė į draudžiamąjį signalą, leidžiamasis signalas įjungiamas, tvarkdariui pasiunčiant specialią komandą.

16. Leidžiamojo signalo žiburiai veikia tinkamai.

17. Šviesoforo signalai ir kodų reikšmė turi būti parenkami pagal LG galiojančius standartus (pagal dokumentą „Geležinkelio signalizacijos taisyklės“ [7]).

18. Iš kaimyninės stoties duotas leidimas traukinio išleidimo maršrutui.

Jeigu visos sąlygos yra išpildytos, šviesoforas turi rodyti leidžiamąjį signalą.

Šviesoforas turi rodyti draudžiamąjį (STOP) signalą, jeigu bet kuri iš aukščiau išvardintų sąlygų, išskyrus 9, 14 ir 16 punktus, daugiau nėra patenkinamos arba tvarkdarys/operatorius pasiuntė specialią komandą.

3.4.3 Manevrų maršruto parengimas

Manevrų maršrutu laikomas sąstato pervarymas stoties ribose. Rengiant manevrų maršrutą nėra svarbi gretimų tarpstočių įrenginių būseną, tačiau būtina atsižvelgti į visus žemiau išvardintus veiksnius.

Manevrų maršruto parengimo funkcija yra įgyvendinama trimis pakopomis, naudojant maršruto nustatymo komandą:

1. Visų susijusių iešmų perjungimas.
2. Susijusių ruožų užrakinimas.
3. Leidžiamojo šviesoforo signalo nustatymas.

Iešmai, įtraukti į maršrutą, turi persijungti į komandos nurodytas pozicijas. Nepaisant to, kiekvienas iešmas gali būti perjungtas pagal atskiras komandas iki maršruto parinkimo komandos. Iešmų perjungimo sąlygos pagal maršruto komandą yra tokios pat, kaip atskiro perjungimo sąlygos.

3.4.3.1 Maršruto užrakinimas

Maršrutas turi užsirakinti, jeigu išpildomos šios sąlygos:

1. Visi maršrute esantys ir maršrutui negabaritiniai ruožai nėra užimti, nėra pažymėti kaip netikrai užimti, išskyrus paskirties kelią, jeigu jis yra apibrėžtas kaip pagrindinis kelias arba ruožas neturintis iešmo (ar pagrindinio kelio dalis).
2. Į tą patį paskirties kelią nėra priešingos krypties traukinio ar manevrų maršruto. Interlokingo logika turi suteikti galimybę į paskirties kelią, apibrėžtą kaip pagrindinį kelią, parengti du manevrų maršrutus iš priešingų krypčių.
3. Nėra pavojojo traukinio ar manevrų maršruto.
4. Iešmai, įtraukti į maršrutą, yra reikiamose padėtyse.

5. Manevrų šviesoforas, esantis šoninės apsaugos zonoje, rodo draudžiamąjį (STOP) signalą, jeigu iki šio šviesoforo yra parengtas manevrų maršrutas .

6. Maršruto pabaigos šviesoforas nėra užgesęs.

7. Visi maršrute esantys ruožai nėra užblokuoti.

8. Šviesoforas nėra užblokuotas.

9. Maršruto Išvykimo kelias nėra atitvertas.

10. Maršruto paskirties kelias nėra atitvertas.

Jeigu visos sąlygos yra patenkinamos, maršrutas bus užsirakintas.

Jei maršrutas buvo užrakintas, bet kokie aukščiau išvardintų sąlygų pažeidimai neturėtų sukelti maršruto išardymo.

3.4.3.2 *Leidžiamąjo signalo nustatymas*

Manevrų maršruto pradžios šviesoforas turi rodyti leidžiamąjį signalą, jeigu yra išpildomos šios sąlygos:

1. Visi iešmai, įtraukti į maršrutą, yra reikiamose padėtyse.

2. Visi maršrute esantys ir maršrutui negabaritiniai ruožai nėra užimti ir visi maršruto ruožai yra užrakinti.

3. Visi iešmai, įtraukti į maršrutą, yra užrakinti.

4. Individualus (dirbtinis) maršruto ruožų atrakinimas nėra aktyvuotas.

5. Paskirties kelias yra laisvas, išskyrus tuos atvejus, kai paskirties kelias yra apibrėžtas kaip pagrindinis kelias arba ruožas neturintis iešmo (ar pagrindinio kelio dalis).

6. Neaktyvuota pervažos kelio apsauginė signalizacija (pervažoje neįjungta atitveriamoji signalizacija).

7. Jeigu maršrutas, einantis per pervažą, yra užrakintas, šviesoforo leidžiamasis signalas bus įjungtas tam tikrą laikotarpį, priklausantį nuo kelių išdėstymo po to, kai priartėjimo ruožas bus užimtas.

8. Jeigu užrakintas maršrutas eina per teritoriją, kurioje dirba aptarnaujantis personalas, šviesofore leidžiamasis signalas turi įsijungti po 50 sekundžių.

9. nustatyta, kad leidžiamąjo signalo žiburiai veikia tinkamai.

10. Šviesoforo signalas turi būti parinktas pagal AB „Lietuvos geležinkeliai“ galiojančius standartus (pagal dokumentą „Geležinkelių signalizacijos taisyklės“[7]).

Jeigu visos sąlygos yra patenkinamos (išpildytos), šviesoforas turi rodyti leidžiamąjį signalą.

3.4.3.3 Automatinis manevrų šviesoforo perjungimas į draudžiamąjį signalą

Manevrų šviesoforo signalas automatiškai bus nustatomas į draudžiamąjį (STOP) jeigu bus patenkinta bent viena iš šių sąlygų:

1. Jeigu 1, 2, 3, 5 ir 6 sąlygos, surašytos 3.4.3.2 poskyryje daugiau nebepatenkinamos.
2. Jeigu traukinys įvažiavo į maršrutą, o maršruto priartėjimo ruožas atsilaisvino arba atsilaisvino pirmasis ruožas tuo atveju, kai vykdomas judėjimas priešinga kryptimi (vykstant manevravimui nevisiškai panaudojus maršrutą).
3. Kai traukinys pravažiuoja šviesoforą (iš interlokingu nevaldomo ruožo).
4. Jeigu maršruto priartėjimo ruožas tebėra užimtas, kai atsilaisvina pirmasis maršruto ruožas.

3.5 Gedimo režimo funkcijos

Kompiuterizuota geležinkelio eismo valdymo sistema esant bet kokių signalizacijos įrenginių gedimams negali sudaryti galimybių sudaryti avarinių eismo situacijų, t.y. stoties interlokinge turi būti numatomi algoritmai, kuriais saugiai (su valdančio operatoriaus patvirtinimu) gali būti tęsiamas eismo valdymas, o jei toks scenarijus neįmanomas (pvz. nutrūkęs signalizacijos įrenginių elektros maitinimas ir sugedusios visos maitinimą dubliuojančios ar nuo to apsaugančios priemonės), eismo valdymo sistema turi užtikrinti, kad net ir jai išsijungus nebus sukeliama pavojaus eismo saugumui.

Pagrindiniai gedimai, su kuriais susiduriama stotyse su kompiuterine eismo valdymo sistema yra šie:

1. Bėgių ruožų laisvumą/užimtumą kontroliuojančių įrenginių (bėgių grandinių) gedimai:
 - a. Netikrasis kelio ruožo užimtumas – kai įrenginiai indikuoja, kad ruožas užimtas, nors realybėje yra laisvas;
 - b. Netikrasis kelio ruožo laisvumas – kai įrenginiai neaptinka bėgių ruože esančio sąstato.
2. Maršrutų užrakینimo bei leidžiamojo šviesoforo signalo įjungimo sąlygų pažeidimai – sistema automatiškai perjungia leidžiamąjį šviesoforo signalą į draudžiamąjį, taip užkirsdama kelią galimam traukinio įvažiavimui į nesaugų maršrutą.
3. Traukinio pravažiavimo kontrolės tarpstotyje su automatine blokuote algoritmo pažeidimai (traukinys nenuoseklai užima/atlaisvina tarpstočio bėgių grandines) – tokiu atveju eismo valdymo sistema kaip saugią reakciją užkerta galimą tolesnių traukinių eismą tarpstočiu.

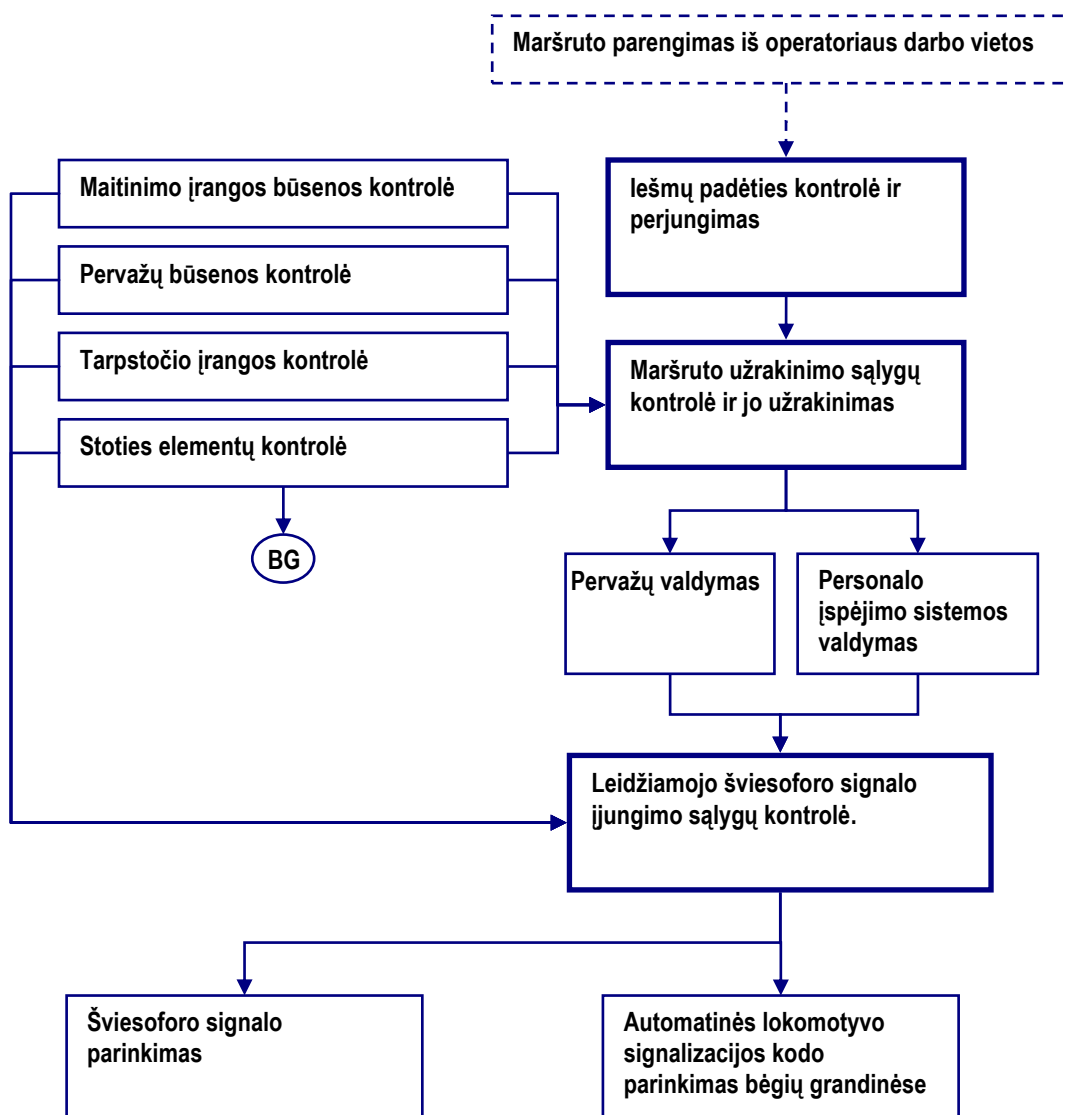
4. Lauko elementų (iešmų, šviesoforų, gabarito kontrolės sistema) gedimai. Eismo valdymo sistema tokių gedimų atveju eismą pro šiuos sugedusius objektus leidžia tik su valdančio operatoriaus patvirtinimu (atsakomybė perkeliama valdančiam operatoriui).
5. Kompiuterinės įrangos gedimai. Siekiant apsaugoti nuo eismo sutrikimų esant kompiuterinės įrangos gedimams, pagrindiniai technologinio branduolio kompiuteriai minimaliai yra dubliuojami ir įrengiami „karšto budėjimo“ režime, t.y. sutrikus vieno iš technologinių kompiuterių veikimui (tiek dėl aparatinės, tiek ir dėl programinės įrangos klaidų) sistema automatiškai persijungia veikimui su „budinčiu“ technologiniu kompiuteriu. Taip užtikrinamas itin aukštas sistemos funkcionalumo pasiekiamumo lygmuo.

Šiame darbe koncentruojamasi į normalaus sistemos veikimo režimo funkcijas.

4 TIRIAMOJI DALIS

4.1 Maršrutų valdymo schemas sudarymas

Įvertinant ankstesniuose skyriuose surinktą informaciją, galima sudaryti bendrąją maršrutų valdymo ir rengimo schemą, kurioje apibrėžti anksčiau išvardinti reikalavimai maršrutų rengimui bei leidžiamojo maršruto pradžios šviesoforo signalo įjungimui.



4.1 pav. Bendroji maršrutų valdymo schema

Remiantis šia bendrąja schema galima ją išskaidyti į atskiras, detalesnes schemas, jas aprašant ir detalizuojant atliekamus veiksmus, taip sudarant bendruosius veikimo algoritmus. Dėl viso proceso kompleksiskumo ir apimties, šiame darbe kai kurių sistemų/posistemų veikimas bus aprašomas tik iš dalies, bendraisiais principais, taip pat nebus vertinamos gedimų situacijos, darančios įtaką bendrajam veikimui.

4.1.1 Maršruto parengimas iš operatoriaus darbo vietos

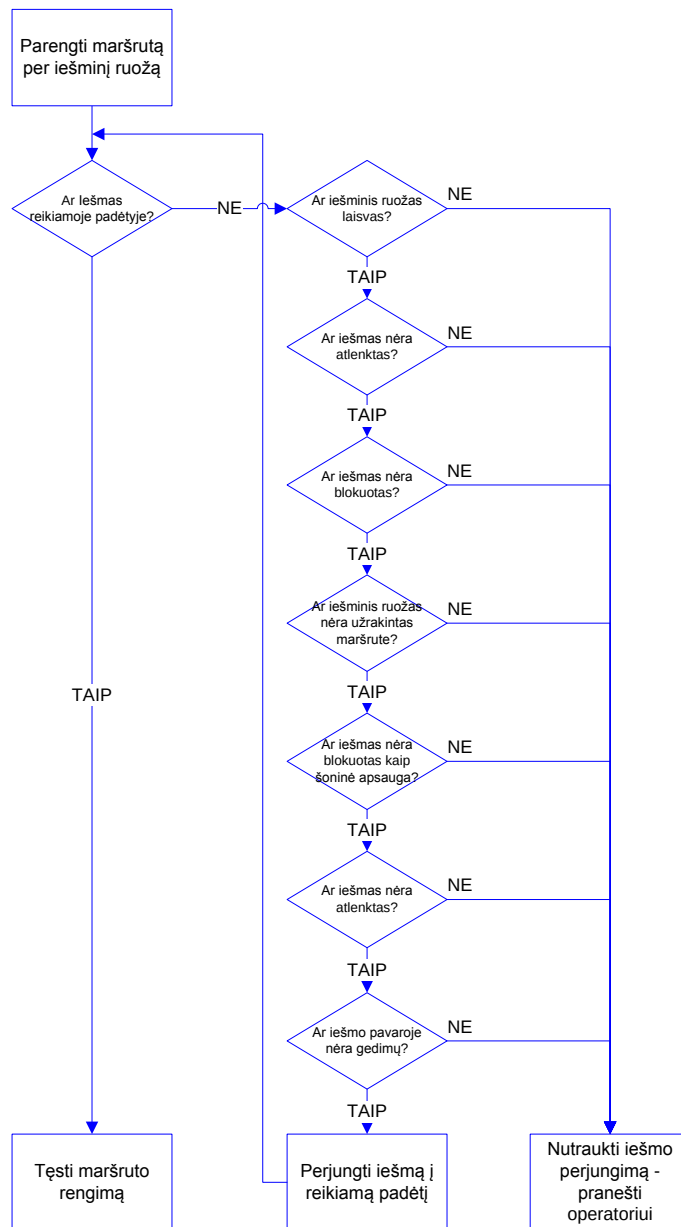
Operatoriaus darbo vieta laikoma stoties budėtojo darbo vieta (valdymo kompiuteris) arba traukinių eismo tvarkdario darbo vieta eismo valdymo centre (EVC), iš kurios eismo tvarkdarys gali valdyti stoties centralizaciją nuotoliniu būdu. Nepriklausomai nuo to, ar stotis valdoma vietiniu režimu, ar nuotoliniu, operatoriui (tiek stoties budėtojui, tiek ir traukinių eismo tvarkdariui) galioja tie patys principai:

1. Maršrutas turi būti rengiamas apgalvotai, atsižvelgiant į stoties ypatumus, traukinio tipą (kad neparengti maršruto keleiviniam traukiniui į kelią be perono), taip pat numatant ir būsimus įvykius (pvz., neparengti maršruto į pagrindinį kelią traukiniui, kuris stovės stoties kelyje tam tikrą laiką ir dėl to nebus įmanoma paprastai pravažiuoti kitiems traukiniams). Įprastai šios taisyklės yra nurodytos Stoties knygoje ir yra operatoriaus atsakomybė.
2. Turi būti atsižvelgiama į esamą situaciją stotyje (kelio remonto darbai, priežiūros darbai, žmonės kelyje ir t.t.).
3. Maršrutas turi būti numatytas (galimas) pagal maršrutų lentelę (tai taip pat savo ruožtu tikrina ir sistema).

4.1.2 Iešmų padėties kontrolė ir perjungimas

Iešmų padėties kontrolė užtikrinama pagal gaunamas indikacijas iš lauko įrangos (ieško padėties tikrintuvų). Taigi sistema nuolat turi informaciją, kurioje padėtyje yra kiekvienas kontroliuojamas iešmas. Taip pat aptinkama, jei iešmas neturi padėties kontrolės.

Rengiant maršrutą sistema patikrina, ar maršrutui priklausantys (arba maršrutui nepriklausantys, tačiau kontroliuojami iešmai) yra reikiamoje padėtyje. Jei atsakymas neigiamas, tuomet inicializuojama ieško perjungimo procedūra. Šį procesą padeda iliustruoti žemiau pavaizduota ieško perjungimo proceso loginė schema.



4.2 pav. Iešmo perjungimo algoritmas

4.1.3 Maršruto užrakinimo sąlygų kontrolė ir užrakinimas

Sistema, prieš bandant užrakinti maršrutą, įsitikina, kad šie žingsniai jau atlikti:

- Operatorius įvykdė maršruto rengimo komandą;
- Perjungti iešmai (jei reikia).

Maršruto užrakinimo proceso metu kontroliuojama, ar visos sąlygos, reikalingos maršruto užrakinimui, yra tenkinamos.

Bendrosios sąlygos:

Kontroliuojant atskirų rengiamo maršruto elementų užrakinimo sąlygas, visuomet:

1. kontroliuojama, ar tų elementų indikacijos yra galiojančios (t.y. kontroliuojama, ar gaunamos teisingos indikacijos iš lauko įrangos, ar yra ryšys su elementais ir t.t.);
2. kontroliuojama, ar elementas (iešmas, šviesoforas, kelio ruožas, tarpstočio įranga) patikrinimo metu nėra valdomas kitų veiksmų atlikimui;
3. kontroliuojama, ar buvo patvirtinti informaciniai tekstai, skirti aptarnaujančiam personalui, pranešantys apie svarbių sistemos elementų būsenų pasikeitimus arba gedimus (jei tokių yra).

Ignoravimas (netikrai užimto maršruto ruožo ar užgesusio maršruto pabaigos šviesoforo)

Ignoravimu laikoma sistemos funkcija (galimybė) parengti maršrutą per galimai užimtą ruožą arba užgesusį šviesoforą (dirbtinai išjungiant šiuos elementus iš priklausomybės, t.y. neatsižvelgiant į tai, kad šių elementų būseną nėra tinkama maršruto parengimui). Ignoravimą atlieka operatorius, įsitikinęs, kad šis veiksmas yra būtinas ir nėra jokių kitų būdų taisyklingai parengti maršrutą per šį ruožą. Tai yra lauko įrangos gedimo sprendimas atsakomybę perkeliant valdančiam operatoriui, t.y. eismo valdymo sistema negali patikrinti visų reikiamų saugos sąlygų ir tokio veiksmo saugumą užtikrina valdantis operatorius. Ignoruoti galima:

1. Netikrai užimtą iešminį maršruto kelio ruožą;
2. Netikrai užimtą beiešmį maršruto kelio ruožą;
3. Užimtą stoties kelią, kai jis priklauso priėmimo arba perdavimo maršrutui;
4. Užgesusį (traukinio arba manevrų) maršruto pabaigos šviesoforą;
5. Užgesusį šoninės apsaugos šviesoforą.

4.1.3.1 Maršruto užrakinimo sąlygos

Maršruto užrakinimo sąlygos priklausomai nuo maršruto tipo apibendrintai išvardintos 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė Tikrinamos maršruto užrakinimo sąlygos

Kontroliuojama elementų būseną	Elementų kontrolė maršruto užrakinimui				
	Traukinio priėmimo ¹	Traukinio išleidimo	Manevrų	Traukinio priėmimo su ignoravimu	Traukinio išleidimo su ignoravimu
Informacijos apie bėgių grandinių maitinimo šaltinių ir maitinimo schemų būsenas teisingumas.	Kontroliuojama ²	Kontroliuojama ³	Kontroliuojama ⁴	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama

¹ Rengiant maršrutą nuo maršruto šviesoforų kontroliuojamos tos pačios sąlygos, kaip ir išleidimo maršrutams.

² Kontroliuojamas taisyklingas maršrutui priklausančių ruožų bėgių grandinių maitinimo šaltinių ir maitinimo schemų veikimas.

4.1 lentelės tęsinys

Kontroliuojama elementų būseną	Elementų kontrolė maršruto užrakinimui				
	Traukinio priėmimo ¹	Traukinio išleidimo	Manevrų	Traukinio priėmimo su ignoravimu	Traukinio išleidimo su ignoravimu
Maršrutui priklausančių iešminių ruožų laisvumas.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas
Maršrutui priklausančių beiešmių ruožų laisvumas, išskyrus maršruto pabaigos ruožus.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas
Už negabaritinės sandūros esančių iešminių ir beiešmių ruožų laisvumas.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Stoties kelio laisvumas.	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas	Nekontroliuojama
Pirmojo tarpstočio nutolėjimo blokruožo (taisyklinguoju arba netaisyklinguoju keliu) laisvumas.	Nėra prasmės kontroliuoti	Kontroliuojama	Nėra prasmės kontroliuoti	Nėra prasmės kontroliuoti	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas
Apsauginio ruožo (taisyklinguoju arba netaisyklinguoju keliu) laisvumas.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas
Antrojo tarpstočio nutolėjimo blokruožo laisvumas taisyklinguoju keliu.	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama
Pradinės iešminių ir beiešmių ruožų būsenos (ruožas neužrakintas).	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Pradinės stoties kelių būsenos (t.y. stoties kelias nepriklauso kitam maršrutui).	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama

³ Kontroliuojamas taisyklingas maršrutui priklausančių ruožų bėgių grandinių maitinimo šaltinių ir maitinimo schemų veikimas.

⁴ Kontroliuojamas taisyklingas maršrutui priklausančių ruožų bėgių grandinių maitinimo šaltinių ir maitinimo schemų veikimas.

4.1 lentelės tęsinys

Kontroliuojama elementų būseną	Elementų kontrolė maršruto užrakinimui				
	Traukinio priėmimo ¹	Traukinio išleidimo	Manevrų	Traukinio priėmimo su ignoravimu	Traukinio išleidimo su ignoravimu
Stoties kelias nėra atitvertas ⁵	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Pirmasis tarpstočio nutolėjimo blokuožas (arba pirmieji du blokuožai netaisyklinguoju keliu) nėra blokuoti.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Galutinė ir taisyklinga maršruto iešmų padėtis (įskaitant ir šoninę apsaugą užtikrinančių iešmų padėtis).	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Maršrutui priklausantys (arba apsaugantys) iešmai nėra atlenkti.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Maršrutui priklausantys (arba apsauginiai) iešmai nėra perjungiami individualia komanda.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Stoties pervažoje (bei tarpstočio pervažoje, kurios priartėjimo ruožas yra stotyje) nėra aktyvuotas pervažos atitvėrimas ⁶	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Tarpstočio blokuotės kryptis nustatyta išvykimui į gretimą stotį.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Tarpstotis nėra blokuotas.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Raktinė krivulė įstatyta į užraktą ir pasukta.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Duotuoju momentu nėra rengiamas ar neparengtas kitas maršrutas.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Pradinė maršruto pradžios šviesoforo ⁷ padėtis.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama

⁵ Stoties kelio atitvėrimas – tai procedūra, kurios metu pagal kelių atitvėrimo pulto operatoriaus užklausą stoties budėtojas įveda sistemoje apribojimą: į atitvertą stoties kelią ir iš atitvėrto stoties kelio tampa neįmanoma parengti jokio maršruto.

⁶ Pervažos būseną nekontroliuojama tuo atveju, kai pervaža yra išjungta iš priklausomybės. „Pervažos išjungimas iš priklausomybės“ – tai stoties centralizacijos funkcija, kuria pagal iš mechaninio užrakto gaunamą indikaciją pervaža išjungama iš stoties ir tarpstočio įrenginių kontrolės.

⁷ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis signalas arba šviesoforas užgesęs.

4.1 lentelės pabaiga

Kontroliuojama elementų būseną	Elementų kontrolė maršruto užrakinimui				
	Traukinio priėmimo ¹	Traukinio išleidimo	Manevrų	Traukinio priėmimo su ignoravimu	Traukinio išleidimo su ignoravimu
Pradinė visų šviesoforų padėtis priešinga kryptimi, nei rengiamas maršrutas ⁸ .	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Pradinė maršruto pabaigos šviesoforo ⁹ (stotyje) padėtis.	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas	Nekontroliuojama
Pradinė maršrute esančių manevrų šviesoforų padėtis ¹⁰ rengiamo maršruto kryptimi.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Pradinė šoninės apsaugos šviesoforų padėtis ¹¹ .	Kontroliuojama ¹²	Kontroliuojama ¹³	Kontroliuojama ¹⁴	Kontroliuojama ¹⁵ , tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas	Kontroliuojama ¹⁶ , tačiau po ignoravimo galimas maršruto užrakinimas
Papildomų sąlygų būseną ¹⁷	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama

4.1.3.2 Maršruto užrakinimas

Maršruto užrakinimas atliekamas patikrinus, ar išpildomos (patenkinamos) maršruto užrakinimo sąlygos, nurodytos 4.1 lentelėje. Užrakinant maršrutą užrakinami arba blokuojami šie elementai:

1. Iešminių ir beiešmių maršrutui priklausančių ruožų užrakinimas;
2. Stoties kelio, priklausančio konkrečiam (atvykimo) maršrutui, blokavimas;
3. Iešmų, priklausančių maršrutui, blokavimas;
4. Apsauginių iešmų, priklausančių maršrutui blokavimas;

⁸ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis signalas arba šviesoforas užgesęs.

⁹ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis arba leidžiamasis signalas.

¹⁰ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis signalas arba šviesoforas užgesęs.

¹¹ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis signalas.

¹² Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelės reikalavimus.

¹³ Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelės reikalavimus.

¹⁴ Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelės reikalavimus.

¹⁵ Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelės reikalavimus.

¹⁶ Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelės reikalavimus.

¹⁷ Kontroliuojama atskirų sąlygų, nustatytų individualiai tam tikram maršrutui (jei tokių yra numatyta maršrutų lentelėje).

5. Stoties kelyje esančių iešmų blokavimas (jei tokių yra);
6. Tarpstočio blokuotės blokavimas;
7. Visų šviesoforų, priklausančių rengiamo maršruto sričiai, blokavimas;
8. Blokuojama galimybė rengti priešpriešinius maršrutus.

Parengus ir užrakinus maršrutą jo pradžios (jei patenkinamos visos reikiamos sąlygos) šviesofore įjungiamas leidžiamasis signalas.

4.1.4 Leidžiamojo šviesoforo signalo įjungimo sąlygų kontrolė

Sistema, prieš bandant maršruto pradžios šviesofore įjungti leidžiamąjį signalą, įsitikina, kad šie žingsniai jau atlikti:

- Operatorius įvykdė maršruto rengimo komandą;
- Perjungti iešmai (jei reikia);
- Maršrutas užrakintas.

Šviesoforo leidžiamojo signalo įjungimo proceso metu kontroliuojama, ar visos sąlygos, reikalingos šiam veiksmui atlikti, yra tenkinamos.

Bendrosios sąlygos

Kontroliuojant atskirų elementų sąlygas visuomet kontroliuojama, ar gaunamos to elemento indikacijos yra galiojančios, t.y. ar atvaizduojamos indikacijos atitinka realią įrangos būseną.

Ignoravimo įtaka leidžiamojo šviesoforo signalo įjungimui

Ignoravus bent vieną netikrai užimtą maršruto iešminį ar beiešmį ruožą arba stoties kelią nėra galimybės įjungti leidžiamojo signalo maršruto pradžios šviesofore. Ignoravus užgesusį maršruto paskirties šviesoforą leidžiamasis signalas maršruto pradžios šviesofore įjungiamas. Ignoruoti galima šiuos šviesoforus:

- Užgesusį maršruto paskirties šviesoforą;
- Užgesusį šoninės apsaugos šviesoforą;

4.1.4.1 Leidžiamojo maršruto pradžios šviesoforo signalo įjungimo sąlygos

Leidžiamojo šviesoforo signalo įjungimo sąlygos priklausimai nuo maršruto tipo apibendrintai aprašytos 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė Leidžiamojo šviesoforo signalo įjungimo sąlygos

Kontroliuojama elementų būseną	Elementų kontrolė leidžiamojo maršruto pradžios šviesoforo signalo įjungimui				
	Traukinio priėmimo ¹⁸	Traukinio išleidimo	Manevrų	Traukinio priėmimo su ignoravimu	Traukinio išleidimo su ignoravimu
Informacijos apie bėgių grandinių maitinimo šaltinių ir maitinimo schemų būsenas teisingumas.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Maršrutui priklausančių iešminių ruožų laisvumas	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Maršrutui priklausančių beiešmių ruožų laisvumas, išskyrus maršruto pabaigos ruožus.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Už negabaritinės sandūros esančių iešminių ir beiešmių ruožų laisvumas.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Stoties kelio laisvumas.	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama
Pirmojo tarpstočio nutolėjimo blokrūžo (taisyklinguoju arba netaisyklinguoju keliu) laisvumas	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Apsauginio ruožo (taisyklinguoju arba netaisyklinguoju keliu) laisvumas.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Antrojo tarpstočio nutolėjimo blokrūžo laisvumas taisyklinguoju keliu.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama priklausomai nuo kitų sąlygų ¹⁹	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama priklausomai nuo kitų sąlygų ²⁰
Iešminių ir beiešmių maršruto kelio ruožų užrakinimas	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Stoties kelio blokavimas/užrakinimas maršrute.	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama
Nėra aktyvuotas dirbtinis ruožų atrakinimas (nepradėta dirbtinio ruožų atrakinimo procedūra).	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Išleidimo maršrutas užrakintas.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Pirmasis tarpstočio nutolėjimo blokrūžas nėra blokuotas.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama

¹⁸ Rengiant maršrutą nuo maršruto šviesoforų kontroliuojamos tos pačios sąlygos, kaip ir išleidimo maršrutams.

¹⁹ Antrojo nutolėjimo blokrūžo laisvumas kontroliuojamas tik tuo atveju, kai sugedęs raudonas tarpstočio šviesoforo, esančio tarp pirmųjų dviejų tarpstočio blokrūžų taisyklinguoju keliu, žibury.

²⁰ Antrojo nutolėjimo blokrūžo laisvumas kontroliuojamas tik tuo atveju, kai sugedęs raudonas tarpstočio šviesoforo, esančio tarp pirmųjų dviejų tarpstočio blokrūžų taisyklinguoju keliu, žibury.

4.2 lentelės tęsinys

Kontroliuojama elementų būseną	Elementų kontrolė leidžiamojo maršruto pradžios šviesoforo signalo įjungimui				
	Traukinio priėmimo ¹⁸	Traukinio išleidimo	Manevrų	Traukinio priėmimo su ignoravimu	Traukinio išleidimo su ignoravimu
Galutinė ir taisyklinga maršruto iešmų padėtis (įskaitant ir šoninę apsaugą užtikrinančių iešmų padėtis).	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Maršrutui priklausantys (arba apsaugantys) iešmai nėra atlenkti.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Stoties pervažoje (bei tarpstočio pervažoje, kurios priartėjimo ruožas yra stotyje) nėra aktyvuotas pervažos atitvėrimas ²¹	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Tarpstočio blokuotės kryptis nustatyta išvykimui į gretimą stotį.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Tarpstotis nėra blokuotas.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Raktinė krivulė įstatyta į užraktą ir pasukta.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Tarpstočio įrangos būseną leidžia įjungti leidžiamąjį šviesoforo signalą.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama
Duotuoju momentu nėra rengiamas ar neparengtas kitas maršrutas.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Eismo tvarkdario leidimas išleisti traukinį į vienkeltį tarpstotį.	Nekontroliuojama	Kontroliuojama ²²	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama ²³
Pradinė maršruto pradžios šviesoforo ²⁴ padėtis.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Pradinė visų šviesoforų padėtis priešinga kryptimi, nei rengiamas maršrutas ²⁵ .	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Pradinė maršruto pabaigos šviesoforo ²⁶ (stotyje) padėtis.	Kontroliuojama	Nekontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama, tačiau po ignoravimo galima įjungti leidžiamąjį šviesoforo signalą	Nekontroliuojama

²¹ Pervažos būseną nekontroliuojama tuo atveju, kai pervaža yra išjungta iš priklausomumo. „Pervažos išjungimas iš priklausomybės“ – tai stoties centralizacijos funkcija, kuria pagal iš mechaninio užrakto gaunamą indikaciją pervaža išjungama iš stoties ir tarpstočio įrenginių kontrolės.

²² Nekontroliuojama tik tuo atveju, jei stotis valdoma nuotoliniu būdu.

²³ Nekontroliuojama tik tuo atveju, jei stotis valdoma nuotoliniu būdu.

²⁴ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis signalas arba šviesoforas užgesęs.

²⁵ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis signalas arba šviesoforas užgesęs.

²⁶ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis arba leidžiamasis signalas.

4.2 lentelės pabaiga

Kontroliuojama elementų būseną	Elementų kontrolė leidžiamojo maršruto pradžios šviesoforo signalo įjungimui				
	Traukinio priėmimo ¹⁸	Traukinio išleidimo	Manevrų	Traukinio priėmimo su ignoravimu	Traukinio išleidimo su ignoravimu
Pradinė maršrute esančių manevrų šviesoforų padėtis ²⁷ rengiamo maršruto kryptimi.	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Nėra prasmės kontroliuoti	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Pradinė šoninės apsaugos šviesoforų padėtis ²⁸ .	Kontroliuojama ²⁹	Kontroliuojama ³⁰	Kontroliuojama ³¹	Kontroliuojama ³² , tačiau po ignoravimo galima įjungti leidžiamąjį šviesoforo signalą	Kontroliuojama ³³ , tačiau po ignoravimo galima įjungti leidžiamąjį šviesoforo signalą
Pradinė maršrute esančių pervažų būseną ³⁴ .	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama	Nekontroliuojama
Papildomų sąlygų būseną ³⁵ .	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama
Maršruto atšaukimas ³⁶	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama	Kontroliuojama

Patikrinus visas išvardintas sąlygas ir jei nėra jokių kliūčių, maršruto pradžios šviesofore įjungiamas leidžiamasis signalas, t.y. traukinio mašinistas gali pradėti važiuoti maršrutu.

4.1.5 Pervažų valdymas

Pervaža yra laikoma atskira posistemė, kurią galima valdyti iš išorės (t.y. stoties centralizacijos) į pervažą siunčiant atitinkamas komandas:

1. Pervažos uždarymas – operatoriaus komanda;
2. Pervažos atidarymas – operatoriaus komanda;
3. Pervažos pranešimo įjungimas – operatoriaus komanda, tik stotyje esančioms pervažoms;
4. Pervažos pranešimo atšaukimas – operatoriaus komanda, tik stotyje esančioms pervažoms;

²⁷ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis signalas arba šviesoforas užgesęs.

²⁸ Kontroliuojama, ar šviesofore dega draudžiamasis signalas.

²⁹ Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelę.

³⁰ Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelę.

³¹ Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelę.

³² Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelę.

³³ Kontrolė atliekama pagal maršrutų lentelę.

³⁴ Kontroliuojama, ar atitveriamuosiuose šviesoforuose nedega draudžiamasis signalas.

³⁵ Kontroliuojama atskirų sąlygų, nustatytų individualiai tam tikram maršrutui (jei tokių yra numatyta maršrutų lentelėje).

³⁶ Kontroliuojama, ar atšaukus maršrutą nėra įjungiamas leidžiamasis signalas.

5. Automatinis pervažos pranešimo įjungimas – automatiškai iš centralizacijos traukiniui užėmus pervažos priartėjimo ruožą ar įvykdžius kitas sąlygas³⁷;
6. Automatinis pervažos pranešimo atšaukimas – automatiškai iš centralizacijos, traukiniui atlaisvinus pervažos nutolėjimo ruožą ar įvykdžius kitas sąlygas³⁸;

Pervažos signalizacija savo ruožtu į stoties centralizaciją siunčia savo būsenos indikacijas (pervaža blokuota/normalaus darbo režime, pranešimo į pervažą režime/pranešimo laukimo režime, užtvagai (kur yra) pakelti/nuleisti, pervažos šviesoforai (kur yra) dega/mirksi). Pagal šias indikacijas stoties centralizacija turi informaciją apie tikslią pervažos įrenginių būseną realiuoju laiku.

Pervažų būseną turi įtakos maršruto užrakinimui ir leidžiamojo šviesoforo signalo įjungimui šiais atvejais:

1. Jei pervaža yra atitverta (draudžiamas bet koks traukinių eismas per pervažą), per tokią pervažą nėra galimybės parengti ir užrakinti maršruto.
2. Maršrutų lentelėje nurodytais atvejais, maršruto pradžios šviesofore leidžiamasis signalas įjungiamas su numatytu delslaikiu, t.y. palaukiama, kol užsidarys pervaža ir tik tuomet įjungiamas leidžiamasis signalas.
3. Esant įjungtam leidžiamajam šviesoforo signalui, aktyvavus pervažos atitvėrimą, leidžiamieji signalai perjungiami į draudžiamuosius.

4.1.6 Personalo įspėjimo sistemos valdymas

Personalo įspėjimo sistema (angl. *Staff warning system*) – tai yra centralizacijos posistemė, kuri automatiškai per stotyje įrengtus garsiakalbius įspėja dirbančiuosius keliuose darbuotojus apie artėjantį traukinį. Ši sistema veikia panašiu principu, kaip ir pervažų signalizacija, t.y. stotis yra padalinta į santykinės zonas (lyginis iešmynas, nelyginis iešmynas, stoties keliai ir t.t.), ir kiekvienai zonai yra numatomi trąngsluoti iš anksto įrašyti įspėjimai per garsiakalbius, kai traukinys užima atitinkamos zonos priartėjimo ruožą³⁹.

Operatorius gali įtakoti šios sistemos veikimą įjungdamas arba išjungdamas įspėjimus atitinkamoje zonoje iš savo darbo vietos.

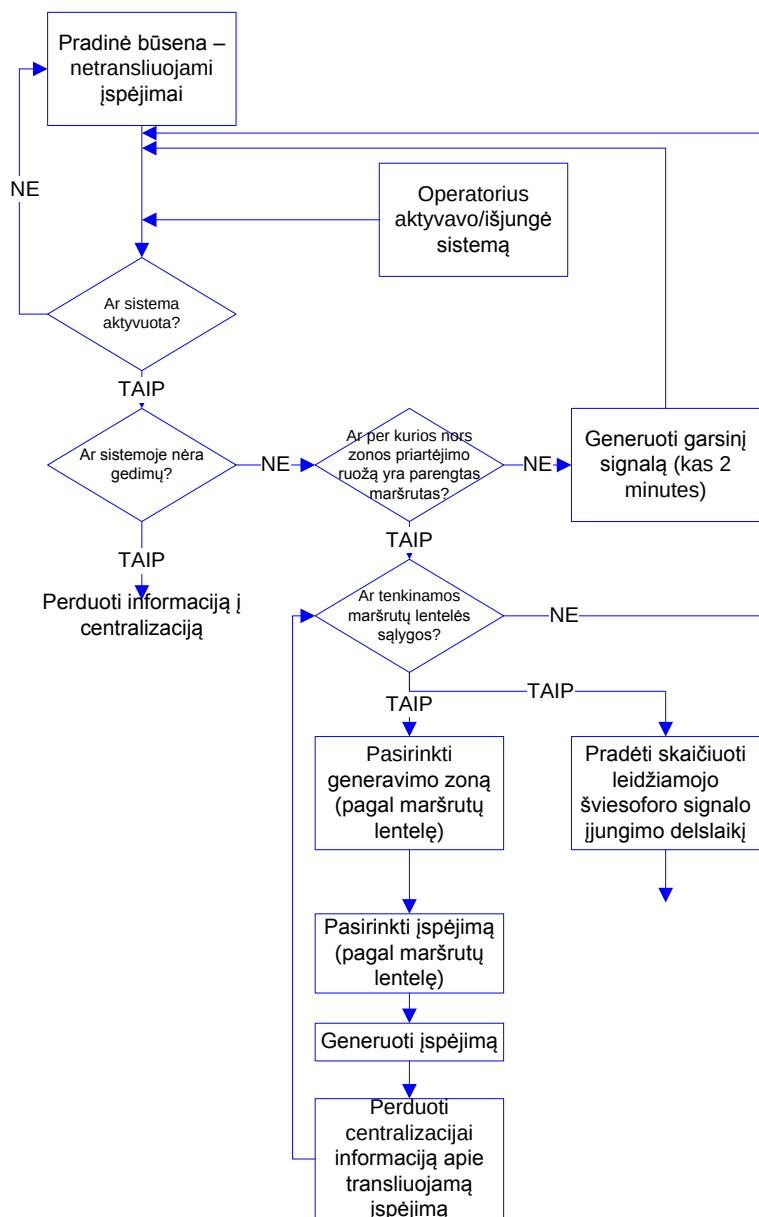
Personalo įspėjimo sistema, kai yra aktyvuota ir netransliuoja įspėjimų, kas dvi minutes transliuoja įspėjamąjį garsinį signalą, kuris primena dirbantiesiems kelyje, kad sistema yra

³⁷ Nurodytas maršrutų lentelėje.

³⁸ Nurodytas maršrutų lentelėje.

³⁹ Nustatytą maršrutų lentelėje.

aktyvi ir jiems bus pranešta apie artėjantį traukinį. Apibendrintai sistemos veikimas pavaizduotas 4.3 pav.



4.3 pav. Personalo įspėjimo sistemos veikimas

4.1.7 Šviesoforo signalo parinkimas

Parengus, užrakinus maršrutą ir esant patenkinamoms visoms sąlygoms maršruto pradžios šviesofore įjungti leidžiamąjį signalą, sistema dar kartą remiasi maršrutų lentele, kurioje nurodyta, kuriems maršrutams kokie šviesoforų signalai turi būti įjungiami. Taigi taikant sistemą būtina mokėti tiksliai pasinaudoti maršrutų lentele. Visi šviesoforų signalai aprašyti Geležinkelių signalizacijos taisyklėse [14].

4.2 Geležinkelio stoties eismo valdymo sistemos modelio sudarymas

4.2.1 Bendroji informacija

Viso signalizacijos sistemos projektavimo, diegimo ir patikrinimo metu esminį vaidmenį atlieka „Interlokingo lentelės“ arba kitaip – „Maršrutų lentelės“. Maršrutų lentelė yra pagrindinis dokumentas, kuris aprašo, kaip traukiniai juda stotyje bei koks yra traukinių judėjimo sąryšis su stoties signalizacijos įrenginiais. Šis dokumentas taip pat yra kaip sutarimas tarp rangovo ir geležinkelių valdytojo. Daugelis signalizacijos įrangą diegiančių kompanijų (rangovų) turi programinę įrangą maršrutų lentelių kūrimui, redagavimui bei patikrinimui. Deja, dažniausiai tai būna programinė įranga, susieta su būtent tos kompanijos gaminama aparatine įranga ir jos veikimo principais. Taip pat, tai būna privačios (uždaros) programos, prieinamos tik tos įmonės darbuotojams. Kadangi Lietuvoje dar nėra kompanijų, galinčių ir kuriančių geležinkelio signalizacijos sistemas, modernizavimo projektų rangovai būna užsienio kompanijos, kurios maršrutų lenteles sudaro neatsižvelgdamos (arba nepakankamai atsižvelgdamos) į specifinius geležinkelių sistemų reikalavimus, galiojančius Lietuvoje. Taigi tokiu atveju rangovų sudarytas maršrutų lenteles turi peržiūrėti bei patikrinti Lietuvos geležinkelių ekspertai. Toks procesas yra labai lėtas, taip pat yra didelė klaidų tikimybė.

Patikrinimo proceso pagreitinimui galima naudoti CPN tools programinę įrangą bei ją modeliuoti ir analizuoti maršrutų lenteles, aptinkant bei taisant klaidas. Toliau pateikiama, kaip naudojantis šia programine įranga AB „Lietuvos geležinkeliai“ ekspertai gali sudaryti spalvotaisiais Petri tinklais paremtą geografinį geležinkelio stoties modelį ir patikrinti maršrutų lentelės teisingumą tai stočiai – aptikti galimas situacijas, kai net ir eismo valdymo sistemai veikiant be gedimų, yra įmanomi situaciniai konfliktai tarp skirtingų traukinių.

Toliau aprašoma, kaip sukuriama Petri potinkliai atskirų geografinių ir loginių stoties signalizacijos elementų ir procesų imitavimui bei iš jų sudėliojama nedidelė (analizei labai patogi) stotis, iš esmės atitinkanti realią Rokų geležinkelio stotį, esančią Kauno rajone.

4.2.2 Geležinkelio signalizacijos sistema ir maršrutų lentelės

4.2.2.1 Signalizacijos sistema

Bendruoju požiūriu geležinkelio linijos yra padalintos į ruožus. Siekiant išvengti traukinių susidūrimo, vienu metu viename ruože gali būti tik vienas traukinys (išskyrus kai kuriuos atvejus (pvz. manevravimą, kai į tą patį stoties kelią gali būti parengiami du priešpriešiniai manevrų maršrutai ir du traukiniai gali įvažiuoti į tą patį stoties kelią)). Traukinys gali įvažiuoti ir išvažiuoti į/iš ruožo tada, kai traukinio mašinistas gauna reikiamą

leidžiamąjį signalą (lauko šviesoforu arba per automatinę lokomotyvo signalizaciją). Ruožus galima suskirstyti į dvi pagrindines kategorijas – ruožai stotyje bei ruožai tarp stočių (tarpstočiuose su automatine blokuote - blokuojamieji ruožai).

1. Priede pateikta Rokų geležinkelio stoties schema – scheminis planas. Jame pavaizduoti geležinkelio bėgiai ir signalizacijos įranga (bėgių grandinės, iešmai, šviesoforai). Stoties šviesoforai yra kelių rūšių: įleidžiamieji (N ir L), išleidžiamieji (L1, L2, N1, N2), manevrų (ir pervažos atitveriamieji) (M1, M2, M3, M4, M5, M6). Kiekviena stoties signalizacijos įrangos dalis modelyje turi savo unikalų pavadinimą, galimas būsenas ir nustatytas veikimo taisykles, paremtas teorinėje dalyje pateiktais veikimo principais:

Bėgių grandinė – gali būti laisva arba užimta.

Priešstočio šviesoforas – tarpstotyje prieš įleidžiamąjį esantis šviesoforas, kuris signalizuoja, koks bus įleidžiamąjo šviesoforo rodmuo:

- Jei įleidžiamasis šviesoforas signalizuoja vienu geltonu arba žaliu žiburiu, priešstočio šviesoforas signalizuoja žaliu žiburiu.
- Jei įleidžiamasis šviesoforas signalizuoja dviem geltonais žiburiais arba dviem geltonais, iš kurių viršutinis yra mirksintis, priešstočio šviesoforas signalizuoja mirksinčiu geltonu žiburiu.

Įleidžiamasis šviesoforas – šviesoforas, įrengtas stoties prieigose, kuris nurodo mašinistui ne tik tolesnio šviesoforo signalą, bet ir važiavimo per stotį pobūdį:

- Jei tolesnis šviesoforas signalizuoja leidžiamuoju signalu, įleidžiamasis šviesoforas signalizuoja:
 - Jei traukinys nepasuka per iešmą – žaliu žiburiu;
 - Jei traukinys pasuka per iešmą – dviem geltonais žiburiais, iš kurių viršutinis mirksintis;
- Jei tolesnis šviesoforas signalizuoja draudžiamuoju žiburiu, įleidžiamasis šviesoforas signalizuoja:
 - Jei traukinys nepasuka per iešmą – geltonu žiburiu;
 - Jei traukinys pasuka per iešmą – dviem geltonais žiburiais;

Išleidžiamasis šviesoforas – šviesoforas, įrengtas stoties kelio pabaigoje, kuris nurodo mašinistui, kada jis gali išvykti iš stoties. Išleidžiamąjo šviesoforo rodmenys:

- Jei tolesnis šviesoforas (tarpstotyje) signalizuoja leidžiamuoju (žaliu arba geltonu) žiburiu, išleidžiamasis šviesoforas signalizuoja žaliu žiburiu;

- Jei tolesnis šviesoforas (tarpstotyje) signalizuoja draudžiamuoju (raudonu) žiburiu, išleidžiamasis šviesoforas signalizuoja geltonu žiburiu.

Užstočio šviesoforas – šviesoforas, įrengtas tarpstotyje už įleidžiamą šviesoforą – pirmasis tarpstočio šviesoforas išleidimo kryptimi. Užstočio šviesoforo rodmenys atitinka tarpstočio šviesoforų rodmenis (raudonas – draudžiama, geltonas – leidžiama, tačiau tolesnis šviesoforas signalizuoja draudžiamuoju žiburiu, žalias – leidžiama, priekyje du arba daugiau blokruožų yra laisvi).

Iešmas – tai mechaninis įrenginys, skirtas nukreipti traukinius iš vieno kelio į kitą. Iešmas įprastai turi dvi padėtis – pravažiavimą tiesiai – *pagrindinė padėtis*, ir pravažiavimas nukreipiant – *nukreipimo padėtis*.

4.2.2.2 Stoties maršrutų lentelė

Bėgių grandinių rinkinys rezervuotame ruože yra vadinamas *maršrutu*. Traukinys maršrutu gali pradėti važiuoti tuomet, kai jo pradžios šviesofore įsijungia leidžiamasis signalas. Leidžiamąjį maršruto pradžios šviesoforo signalą automatiškai įjungia stoties centralizacijos sistema, įvertinusi visas reikiamas sąlygas ir saugumo taisykles taip, kaip aprašyta šio darbo 4.1.4 skyriuje.

4.3 lentelėje pateikta Rokų stoties maršrutų lentelė: pagrindiniai maršrutai bei šviesoforų signalų tarpusavio priklausomumas. Pavaizduota, kur konkretus maršrutas prasideda, kur baigiasi, taip pat, kokios yra maršrutui priklausančių iešmų padėtys.

4.3 lentelė Rokų stoties maršrutų lentelė

Maršrutas		Centralizacija			Valdymas					
		Reikiamas	Parengimas ir iešmų užrakinimas		Maršr. pradžios Šviesof. Signalas	Signalas Tolesniame šviesofore	Reikiamos BG			
							Laisvos		Atlaisvinimo laikas	
Nuo	Iki	Maršrutas	+	-					BG laisva	Laikas
1	N				G Ž	N: R N: G arba Ž				
2	L				G Ž	L: R L: G arba Ž				
N(1)	N2	L1,L2,L(1),L(2),N(2)		1K,2K	G	N2: R	NR,1,2AK,2BK, 2CK,2,LR	1BK	60 sek	
N(2)	N1	L1,L2,L(1),L(2),N(1)	1K,2K		G Ž	N1: R N1: Ž	NR,1,1AK,1BK, 1CK,2,LR	2BK	60 sek	
L(1)	L1	N1,N2,N(1),N(2),L(2)	1K,2K		G Ž	L1: R L1: Ž	LR, 2, 1CK,1BK,1AK,1,NR	2BK	60 sek	
L(2)	L2	N1,N2,N(1),N(2),L(1)		1K,2K	G	L2: R	LR,2,2CK,2BK,2AK,1,NR	1BK	60 sek	
N1	Tarpstotis	N2,L(1),L(2)	1K,2K		Ž		1CK,2,LR,L2K,L4K			
N2	Tarpstotis	N1,L(1),L(2)		1K,2K	Ž		2CK,2,LR,L2K,L4K			
L1	Tarpstotis	L2,N(1),N(2)	1K,2K		Ž		1AK,1,NR,N1K,N3K			
L2	Tarpstotis	L1,N(1),N(2)		1K,2K	Ž		2AK,1,NR,N1K,N3K			

Skirtingų gamintojų stočių centralizacijų sistemos turi skirtingus valdymo metodus, tačiau yra pagrindiniai valdymo principai, bendri ko gero visoms centralizacijos sistemoms. Jos yra aprašytos ankstesnėse šio baigiamojo darbo dalyse. Tai yra *Maršruto užrakinimas*, *Priešmaršrutinio ruožo užrakinimas*, *Maršruto ruožų atrakinimas*, *Šoninė apsauga*.

4.2.3 Rokų stoties CPN modelis

4.2.3.1 Modeliavimo apimtis ir prielaidos

Siekiant supaprastinti modeliavimą, daromos šios prielaidos dėl traukinių judėjimo ir signalizacijos įrangos veikimo:

1. Neatsižvelgiama į stotyje esančią pervažą ir dėl jos užsidarymo laiko atsirandantį leidžiamojo šviesoforo signalo įjungimo delsą.
2. Traukinys neturi ilgio ir vienu metu užima vieną bėgių ruožą.
3. Traukinys juda tik viena kryptimi.
4. Neatsižvelgiama į traukinių manevravimą (manevrų maršrutus).
5. Traukiniai juda tuo pačiu greičiu.
6. Papildomi šviesoforų rodmenys (išimtinis signalas, manevravimo signalai) neanalizuojami.
7. Modelis neapima avarinio maršruto išardymo (atrakinimo).
8. Modelis neapima iešmų perjungimo užimtame iešminiame bėgių ruože.
9. Modelis neapima saugaus gedimo (*angl.* failsafe) mechanizmo, t.y. nėra analizuojamos situacijos signalizacijos įrangos gedimo atveju.
10. Traukinių mašinistai griežtai paiso šviesoforų signalų.
11. Modelis neapima šoninės apsaugos ir dėl to atsirandančių priklausomumų.

4.2.3.2 Modeliavimo principas ir modelio struktūra

Spalvotųjų Petri tinklų (*angl.* Colored Petri Net – CPN) modelis sudaromas iš dviejų dalių (sluoksnių): *įrangos modelio* ir *centralizacijos logikos*. *Įrangos modelis* atitinka sistemą, kurią norima valdyti. *Centralizacijos logikos* modelis atitinka centralizacijos valdiklį – mikroprocesorių, priimančią sprendimus. 4.4 pav. pavaizduotas CPN modelis atitinka Rokų stoties geografinį scheminį planą. Jis apima trijų rūšių CPN modulius, kuriais modeliuojama stoties lauko įranga, kurios funkcijos ir būsenos aprašytos 4.2.2.1 skyriuje. 4.4 pav. pavaizduotas CPN modelis suteikia ne tik geografinę informaciją, kaip tarpusavyje susijusi lauko signalizacijos įranga, tačiau taip pat suteikia galimybę imituoti traukinių judėjimą bėgiais. Iš esmės, šis CPN modelis apima šiuos traukinių judėjimo atvejus:

1. Traukinio judėjimas tarp gretimų bėgių grandinių;

2. Traukinio pravažiavimas pro šviesoforą;
3. Traukinio pravažiavimas iešmu.

Centralizacijos logikos modelio dalis apima tris CPN puslapius: vartotojo komandą (VartKomanda), maršruto rengimą (MarsrReng) ir maršruto atrakinimą (MarsrAtr). Jie modeliuoja iešmų perjungimą, maršruto ruožų užrakinimą, šviesoforų perjungimą ir maršruto ruožų atrakinimo funkcijas, kaip tai aprašyta maršrutų lentelėje. CPN modelis taip pat apima priešmaršrutinio ruožo užrakinimo funkciją. Nors skirtingų stočių maršrutų lentelėse pateikiami duomenys dažniausiai skiriasi, bendrieji funkciniai principai išlieka tie patys: maršruto užrakinimas, priešmaršrutinio ruožo užrakinimas, maršruto atrakinimas ir šoninė apsauga. Stengiantis sukurti bendrinį centralizacijos logikos modelį, maršrutų lentelės turinys užrašomas ML funkcijomis, kurios naudojamos kilpų žymėjimui. Jei reiktų modeliuoti kitos stoties maršrutų lentelę, pakaktų pakeisti ML funkcijų turinį, tačiau palikti *Centralizacijos logikos* CPN modelį. Kaip tolesnę darbo spartos didinimo galimybę galima paminėti automatizuotą ML funkcijų generavimą t.y. jei maršrutų lentelė pateikiama XML formatu, jos duomenis galima transformuoti į ML funkcijų pavidalą naudojantis Išplėstinių Stiliaus Blankų Kalbos Transformaciją (*angl.* Extensible Stylesheet Language Transformations - XSLT). Tai galima atlikti naudojantis Microsoft Word programoje įdiegtomis Visual Basic funkcijomis. Kadangi šio baigiamojo darbo metu nagrinėjama labai nedidelė stotis, maršrutų lentelės informaciją pakanka užrašyti rankiniu būdu.

4.2.4 Įrangos išdėstymo CPN modelis

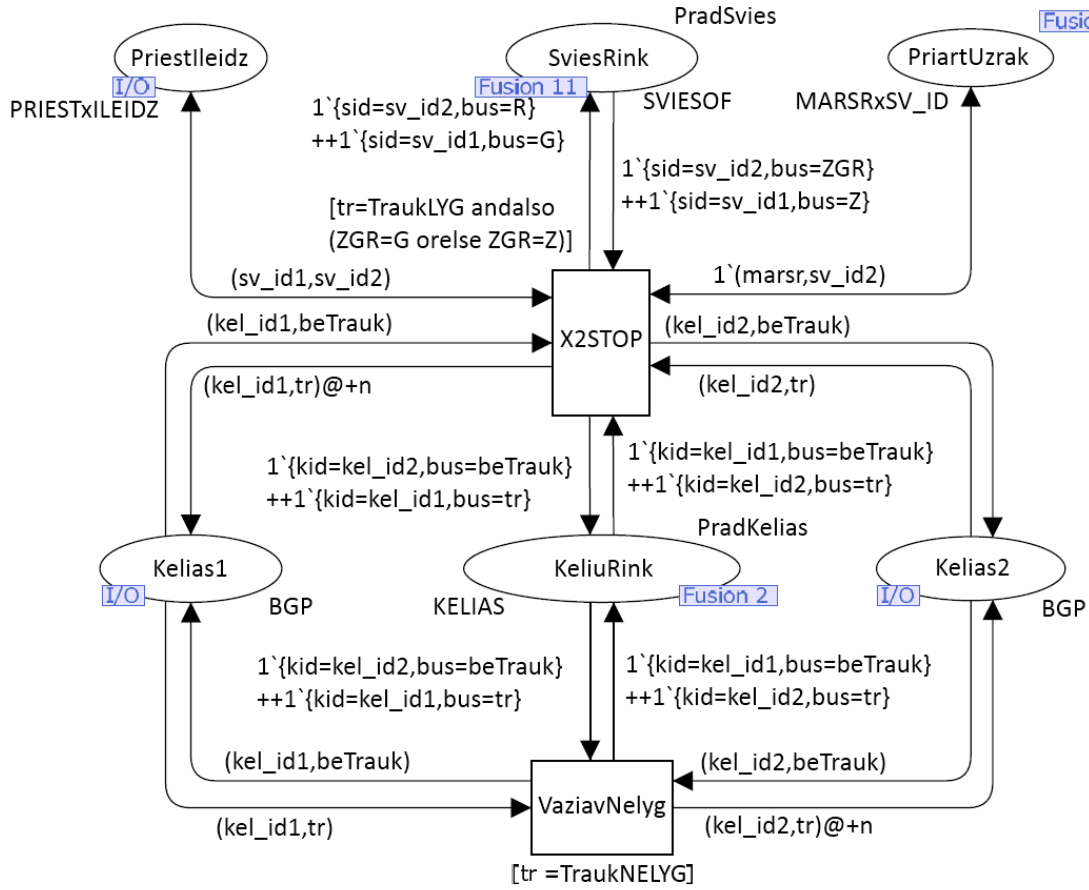
Viršutinis (aukštesnysis) CPN modelio sluoksnis, atitinka Rokų stoties signalizacijos įrenginių išdėstymą. Jis sudarytas iš vietų (*angl.* places) *N1K*, *NR*, *1_BG*, *1AK*, *2AK*, *1BK*, *2BK*, *1CK*, *2CK*, *2_BG*, *LR*, *L2K*. Kiekviena vieta, kurios tipas yra *BGP*, atitinka bėgių grandinę, saugančią savo bėgių grandinės numerį ir būseną. *BGP* apibūdintas kintamųjų aprašo 4 eilutėje kaip kintamųjų Kelio numeris ir Traukinio aprašas derinys (produktas). Antroje kintamųjų aprašo eilutėje aprašyta spalvotoji aibė *TK*, nurodanti bėgių grandinės būsenas: laisva (*beTrauk*); užimta į lygine kryptimi važiuojančio traukinio (*TraukLYG*) arba užimta nelygine kryptimi važiuojančio traukinio (*TraukNELYG*). Vietos *Tarpst_PAL* (tarpstotis Palemono kryptimi) ir *Tarpst_JIE* (tarpstotis Jiesios kryptimi) modeliuoja priešstočio ir užstočio ruožus (priklausomai nuo krypties).

Modelyje taip pat yra perėjimai *VartUzklausaUzrakin* (operatoriaus užklausa užrakinimui) ir *VartUzklausaMarsr* (operatoriaus užklausa maršrutui), modeliuojantys operatoriaus užklausas maršruto užrakinimui ir maršruto parengimui. Jeigu priešmaršrutinis ruožas nėra blokuojamas (užimamas), operatorius gali atšaukti maršruto parengimą. Ši maršruto atšaukimo *MarsrAtsauk* komanda modeliuojama sąlyčio (*angl.* fusion) požymiu (*angl.* token) maršruto atšaukimas (*MarsrAtsauk*). Pakeičiamieji perėjimai (*1*, *I1R* ir t.t.) yra sujungtos su bėgių grandinių perėjimo modeliu *BegiuBGP*, kuriuo imituojamas traukinio pravažiavimas iš vienos bėgių grandinės į kitą – greta esančią. Pakeičiamieji perėjimai *N*, *L* sujungti su Įleidžiamojo šviesoforo tinklu (*IleidzSviesLYG*, *IleidzSviesNELYG*) modeliuoja traukinio pravažiavimą pro įleidžiamąjį šviesoforą. Atitinkamai, pakeičiamieji perėjimai *L1*, *L2*, *N1*, *N2*, sujungti su Išleidžiamojo šviesoforo (*IsleidzSviesLYG* ir *IsleidzSviesNELYG*). Pakeičiamieji perėjimai *I1K* ir *I2K* modeliuoja traukinių pravažiavimą iešmais. Žemiau pateiktame paveikslėlyje išsamiau nagrinėjamas Įleidžiamojo šviesoforo modulis (tinklas). Išleidžiamojo šviesoforo bei bėgių grandinės perėjimų moduliai savo sudėtimi yra analogiški, todėl atskirai jų nagrinėti nėra prasmės.

IleidzSviesLYG modulis. Kai traukinys pravažiuoja įleidžiamąjį šviesoforą, jis persijungia į draudžiamąjį signalą – raudoną žiburį. Šis modulis imituoja šį šviesoforo persijungimą. Kadangi šis modulis yra naudojamas ir kitose vietose, jame sukurama vieta (būsena) šviesoforo numeriui identifikuoti. Pavyzdžiui, vieta (*SVIES1_N*), pavaizduota 4.4 pav. nurodo į vietą *PriestIleidz* 4.5 pav. vieta *SVIES1_N* ir *PriestIleidz* aprašoma tipu *PRIESTxILEIDZ*, kuris deklaruojamas šeštojoje kintamųjų sąrašo eilutėje kaip dviejų teksto eilučių (įspėjamojo šviesoforo ir įleidžiamojo šviesoforo) derinys (produktas). Vieta

PriartUzrak (priešmaršrutinio, arba priartėjimo ruožo užrakinimas) naudojama užtikrinti, kad traukinys nepravažiuos šviesoforo prieš užrakinant priešmaršrutinį ruožą.

Kaip ir minėta anksčiau, CPN diagramos *IleidzSviesNELYG*, *IsleidzSviesLYG* ir *IsleidzSviesNELYG* savo struktūra yra analogiškos jau aprašytai *IleidzSviesLYG*.



4.5 pav. Įleidžiamojo šviesoforo modulis – IleidzSviesLYG

Spalvotųjų aibių ir kintamųjų deklaravimas:

```

1  (* Global Declarations *)
2  colset TK = with beTrauk | TraukLYG | TraukNELYG;
3  var tr, trauk_kryptis:TK;
4  colset BGP = product STRING * TK timed;
5  colset KELIAS = record kid:STRING * bus:TK;
6  colset PRIESTxILEIDZ = product STRING * STRING;
7  colset E = with e;
8  colset PM = with Plusas | Minusas;
9  var bus1:PM;
10 colset INRxPM = product STRING * PM;
11 colset SV = with Z | G | R;
12 var pr, il, isl, ZGR:SV;
13 colset SVIES = record sid:STRING * bus:SV;

```

```

14 var i_id, kel_id1, kel_id2, sv_id1, sv_id2:STRING;
15 var iras, tiksl, priest, ileidz, isleidz, uzrak_nr:STRING;
16 colset MARSR = STRING;
17 var marsr, marsr_pareng, pri_marsr2:ROUTE;
18 colset MARSRxSV_ID = product MARSR * STRING;
19 colset IESMAS = record iid:STRING * bus:PM * uzrak:BOOL;
20 var iesm:IESM;
21 colset UZRAK_BUS = with ATVYKSTA | NORMAL | ISVYKSTA;
22 var ANI:UZRAK_BUS;
23 colset UZRAK = record uid;
24 val n=10;
25 var x:BOOL;

```

4.2.5 Centralizacijos logikos valdiklio CPN modelis

4.2.5.1 Sąlyčio vietos – ryšys tarp lauko įrangos bei centralizacijos logikos valdiklio

Šiame skyriuje aprašomas centralizacijos logikos valdiklio CPN modelis pagal maršrutų lentelėje nurodytas funkcijas. Kad atliktų šias funkcijas, logikos valdiklis turi žinoti sistemos įrenginių būsenas. Įrangos būsenų išsaugojimui naudojamos penkios sąlyčio vietos: Kelių Rinkinys (*KeliuRink*) (spalvotųjų aibių deklaravime turi tipą *KELIAS* – 5 eilutė), Iešmų Rinkinys (*IesmRink*) (deklaravime turi tipą *IESMAS* – 19 eilutė), Šviesoforų Rinkinys (*SviesRink*) (deklaravime turi tipą *SVIES* – 13 eilutė), Užrakinimo Rinkinys (deklaravime turi tipą *UZRAK* – 23 eilutė) bei Maršrutas (*MarsrNormal*) (deklaravime turi tipą *MARSR* – 16 eilutė). *KELIAS* yra aprašomas kaip kelio identifikatoriaus (*kid*) bei traukinio krypties identifikatoriaus (*TK*) įrašas (*angl. record*). *IESMAS* aprašomas kaip ieško identifikatoriaus (*iid*) ir jo pozicijos (*Pliuso* arba *Minus* - *PM*) bei užrakinimo būsenos (*uzrak*) įrašas. *SVIES* aprašomas kaip šviesoforo identifikatoriaus (*sid*) ir jo signalo (žalias, geltonas, raudonas) įrašas. *UZRAK* yra aprašomas kaip užrakinimo identifikatoriaus (*uid*) ir jo būsenos (traukinys atvyksta, traukinys išvyksta arba normalus užrakinimas) įrašas. Sąlyčio vieta *MarsrNormal* išsaugo maršruto identifikatorius, kurie dar nebuvo nustatyti.

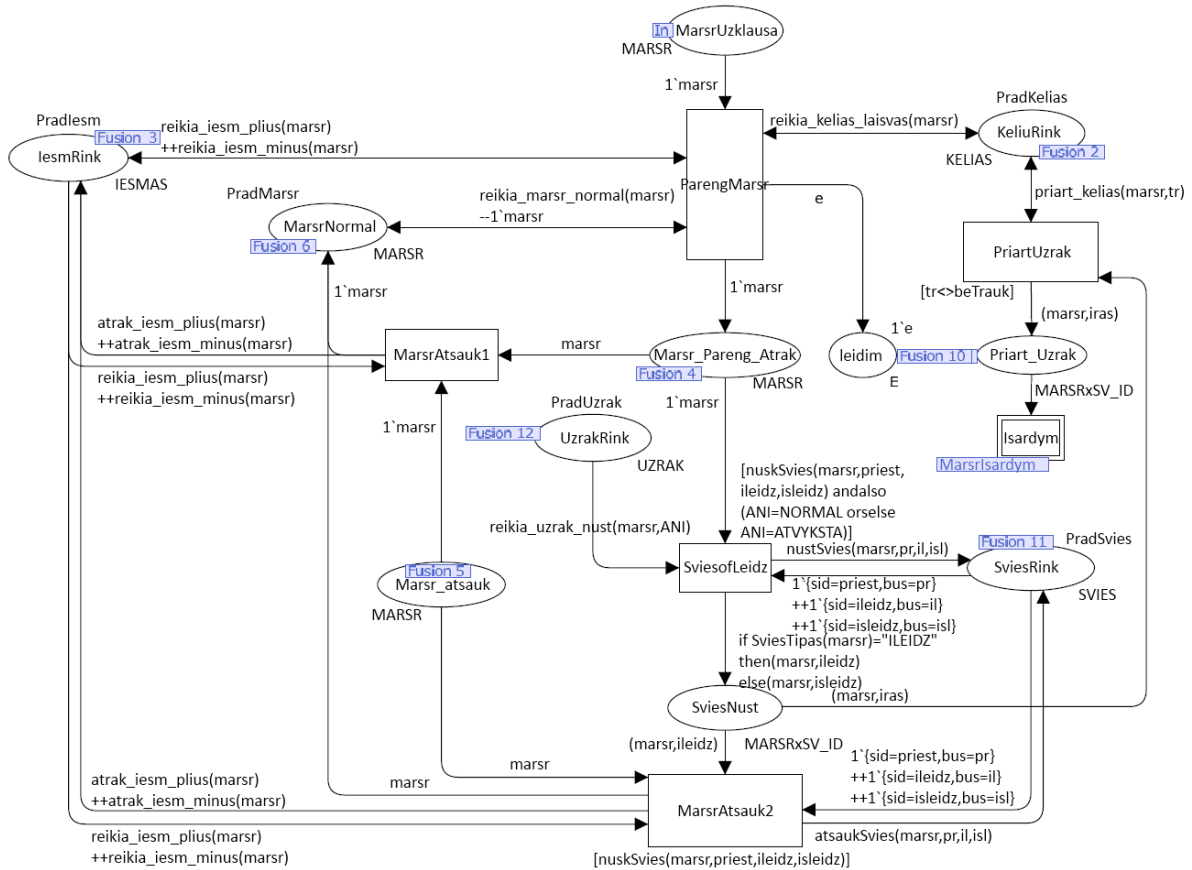
Pavyzdžiui, kai traukinys juda iš priešstočio ruožo „Tarpst_PAL“ į „N1K“, pakeičiamasis perėjimas pakeičia ne tik vietą *N1K* su žyme („N1K“, *TraukLYG*), bet ir vietą *KeliuRink* su žyme $1 \{kid \text{ z „N1K“, bus z TraukLYG}\}$. Akivaizdu, kad ta pati informacija išsaugojama du kartus, o tai yra negerai dėl galimo nekontroliuojamo eksponentinio būsenų skaičiaus didėjimo – būsenų „sprogimo“ problemos. Tai galima būtų išspręsti panaikinus bėgių grandinių būseną kiekvienoje bėgių grandinių vietoje, tačiau tokiu atveju būtų prarasta

galimybė stebėti traukinio važiavimą (per žymės perdavimą). Iš kitos pusės, bėgių grandinės būsenos išsaugojimas dvejose vietose atitinka realios įrangos veikimą. Realioje signalizacijos sistemoje bėgių grandinės būseną yra saugojama dvejose vietose: lauko įrangos valdiklyje bei centralizacijos valdiklyje. Pridedant žymę į vietą *KeliuRink* tai gali būti vertinama kaip bėgių grandinė, siunčianti savo būseną į centralizacijos valdiklį per sąlyčio vietą *KeliuRink*. Panašūs principai taikomi ir iešmų rinkinio *IesmRink* sąlyčio vietai.

Pagrindinė šio modelio savybė yra galimybė imituoti traukinių maršrutų parengimą, todėl svarbiausias centralizacijos valdiklio aspektas yra maršruto rengimo *MarsrReng* modulis, pavaizduotas 4.6 pav., imituoja maršruto parengimą bei atšaukimą. Perėjimas *ParengMarsr* perima žymes iš sąlyčio vietų *KeliuRink*, *IesmRink* bei *MarsrNormal* ir patikrina, ar nėra parengta konfliktinių maršrutų. Tai atliekama naudojantis funkcija *reikia_marsr_normal*. Taip pat, patikrinama, ar bėgių grandinės, priklausančios maršrutui nėra užimtos. Tai atlieka funkcija *reikia_kelias_laisvas*. Galiausiai, patikrinama, ar maršrute esantys iešmai yra nustatyti ir užrakinti reikiamose pozicijose. Tai atlieka funkcijos *reikia_iesm_plius* bei *reikia_iesm_minus*.

Jei visos šios trys esminės sąlygos yra patenkinamos, maršruto rengimas yra rezervuojamas, tačiau šviesoforas vis dar neįjungiamas, kadangi turi būti patenkinamos ir neesminės sąlygos (pvz. blokavimo būseną ar pervažų užtvarų padėtis). Šiuo laiko momentu operatorius gali atšaukti maršrutą perkeldamas maršruto žymę į vietą *MarsrAtsauk*. Maršruto atšaukimas šioje būsenoje yra modeliuojamas perėjimu *MarsrAtsauk1*. Jis atstato maršruto identifikatorių į sąlyčio vietą *MarsrNormal* bei atrakina susijusius iešmus. Vieta *leidim* naudojama užtikrinti, kad centralizacijos logikos valdiklis priims kito maršruto parengimo užklauso komandą tik tuomet, kai prieš tai buvusi komanda turės rezervuotą maršrutą (leidimą pradėti kitą maršrutą).

Patikrinus ir patenkinus neesmines sąlygas, perėjimas *SviesofLeidz* įjungia susijusiame šviesofore leidžiamąjį signalą. Kai maršrutas būna rezervuotas ir įjungtas maršruto pradžios šviesoforo leidžiamasis signalas, tačiau priešmaršrutinis ruožas dar nebuvo užimtas, operatorius gali atšaukti maršrutą. Tai imituoja perėjimas *MarsrAtsauk2*. Šis maršruto atšaukimas atstato maršruto identifikatorių į sąlyčio vietą *MarsrNormal*, atrakina susijusius iešmus bei perjungia šviesoforą į pradinę (saugią) padėtį. Jei atšaukimas visgi nevykdomas, sistema laukia, kol bus užimtas priešmaršrutinis ruožas. Šis veiksmas modeliuojamas perėjimu *PriartUzrak*.



4.6 pav. Maršruto parengimo schema

4.2.6 Maršrutų lentelės turinio užrašymas ML funkcijomis

CPN *centralizacijos logikos* modelio sudėtingumas nepriklauso nuo galimų maršrutų skaičiaus, kadangi arkų (rodyklių) antraštinės ML funkcijos nepriklauso nuo maršrutų pobūdžio. Kiekvieno maršrutų lentelės stulpelio turinys gali būti tiesiogiai aprašomas ML funkcija. Žemiau esančiame sąraše pateiktos ML funkcijos, atitinkančios maršrutų lentelės stulpelį „Reikiamas Maršrutas“. Kai maršrutas yra rengiamas, maršruto identifikavimo žymė yra paimama iš sąlyčio vietos *MarsrNormal*, esančios *VartKomanda* puslapyje. Kai maršrutas yra atrakinamas, maršruto identifikatorius grąžinamas į sąlyčio vietą *MarsrNormal*, esančią *MarsrIsard* puslapyje. Tam, kad būtų parengtas maršrutas, visi konfliktiniai maršrutai turi būti padėtyje *normal* (neparengtas) ir maršrutų žymės turi būti sąlyčio vietoje *MarsrNormal*. Šią sąlygą tikrina perėjimas *ParengMarsr* naudojant ML funkciją *reikia_marsr_normal(marsr)*, pavaizduotą žemiau:

```

1 (* Funkcija reikia_marsr_normal(marsr) *)
2 Fun rmarsr(marsr) = case (marsr) of
3   ("N(1)")=>[ "N(1)", "L1", "L2", "L(1)", "L(2)", "N1", "N(2)" ]
4   | ("N(2)")=>[ "N(2)", "L1", "L2", "L(1)", "L(2)", "N2", "N(1)" ]

```

```

5 | ("L(1)")=>[ "L(1)", "N1" , "N2" , "N(1)" , "N(2)" , "L2" , "L(2)" ]
6 | ("L(2)")=>[ "L(2)", "N1" , "N2" , "N(1)" , "N(2)" , "L1" , "L(1)" ]
7 | ("N1")=>[ "N1", "N2" , "L(1)" , "L(2)" , "L2" ]
8 | ("N2")=>[ "N2", "N1" , "L(1)" , "L(2)" , "L1" ]
9 | ("L1")=>[ "L1", "L2" , "N(1)" , "N(2)" , "N2" ]
10 | ("L2")=>[ "L2", "L1" , "N(1)" , "N(2)" , "N1" ]
11 | _ => [];
12 fun reikia_marsr_normal(marsr)= sar_i_ms (rmarsr(marsr));

```

4.2.7 Eksperimentiniai rezultatai

4.2.7.1 Laukiamos savybės

Dvi pagrindinės saugos savybės, kurias geležinkelio centralizacija turi užtikrinti yra susidūrimų bei nuvažiavimo nuo bėgių nebuvimas. Jei dar kartą žvilgtelėtume į Ileidžiamojo šviesoforo CPN modulį (4.5 pav.), galima pastebėti, kad norint, jog traukinys pajudėtų į kitą vietą, jo tikslo vieta turi turėti žymę (*angl.* token) „beTrauk“, taigi kiekviena bėgių grandinės vieta gali turėti tik vieną žymę. Šis modelis duoda dvigubą efektą. Pirmiausia, dvi traukinių žymės vienoje vietoje yra negalimos. Antra, traukinių žymės negali prasilenkti (kaip ir realybėje – traukiniai tais pačiais bėgiais prasileinkti negali). Galima daryti prielaidą, kad du traukiniai turi galimybę susidurti, jei jie yra gretimose bėgių grandinėse. Sugeneravus būsenų erdvę (*angl.* state space), naudojamos ML užklausų funkcijos, kurios visoje būsenų erdvėje ieško žymų, kurios parodytų, kad gretimose bėgių grandinėse yra traukiniai. Tai yra naudojama siekiant užtikrinti, kad CPN modelis veikia, kaip iš jo pageidaujama.

Įprastai, traukinys gali nuvažiuoti nuo bėgių, jei jam važiuojant per iešmą, tas iešmas yra perjungiamas (pagalbinis perjungimas). Toks reiškinys vadinamas iešmo atlenkimu. Šis CPN modelis neleidžia susidaryti tokiai situacijai.

Užklausos funkcijos traukinių kolizijų patikrinimui:

```

1 fun nuskKeliusSaras n =
2   ms_i_sar (Mark.Interlokingas'KeliusRink 1 n);
3 fun TraukYra (hh::[]:LKELIAS):LSTRING =
4   (if (#bus(hhh) = TraukLYG or else #bus(hhh) = TraukNELYG)
5     then #kid(hhh)::[] else [])
6 | TraukYra (hhh::ttt:LKELIAS):LSTRING =
7   (if (#bus(hhh) = TraukLYG or else #bus(hhh) = TrainNELYG)
8     then #kid(hhh)::TraukYra(ttt) else TraukYra(ttt));
9 val sekos_atitik:LLSTRING = [{"Tarpst_PAL","N1K"}, {"N1K","NR"},
10 [{"NR","1_BG"}, {"1_BG","1AK"}, {"1AK","1BK"}, {"2AK","2BK"},
11 [{"1_BG","2AK"}, {"1BK","1CK"}, {"2BK","2CK"}, {"1CK","2_BG"}],

```

```

12 ["2CK", "2_BG"], ["2_BG", "LR"], ["LR", "L2K"], ["L2K", "Tarpst_JIE"]];
13 fun atitikKOLIZ(h::[]:LLSTRING, n) =
14 let
15     val xxxx = TraukYra (nuskKeliusSaras n);
16 in
17     if contains xxxx h then true else false
18 end
19 | atitikKOLIZ(h::t:LLSTRING, n) =
20 let
21     val xxxx = TraukYra (nuskKeliusSaras n);
22 in
23     if contains xxxx h then true else atitikKOLIZ(t, n)
24 end;
25 fun invert n = atitikKOLIZ(sekos_atitik, n);
26 val result = PredNodes(EntireGraph, invert, NoLimit);
27 val _ = print ("Atitinka Kolizija:  ");
28 length (result);

```

4.2.7.2 Pradinė konfigūracija

Šiuo atveju nagrinėjami trys atvejai:

- Atvejis A yra kolizinė būseną, kai abu stoties keliai yra pilnai užimti ir link stoties iš abiejų pusių (tarpstočių) artėja traukiniai.
- Atvejis B yra kai tiek iš vienos pusės, tiek ir iš kitos pusės link stoties artėja po traukinį. Kitas traukinys ruošiasi išvykimui iš kelio nr. 2BK. Stoties kelias 1BK yra neužimtas.
- Atvejis C yra kai tiek iš vienos, tiek ir iš kitos pusės link stoties artėja po traukinį, o abu stoties keliai yra neužimti.

Šie trys atvejai 4.4 lentelėje pavaizduoti atitinkamomis kintamųjų būsenomis modelio vietose. Visais atvejais visos kitos bėgių grandinės yra neužimtos. Visi iešmai yra įprastoje (saugioje - plusinėje) padėtyje ir neužrakinti. Visi šviesoforai yra įprastoje padėtyje (draudžiamasis signalas). Priešstočio blokavimo ruožai yra nustatyti priėmimui. Tarpstočio blokavimo prašymo komanda traukinio išvykimui iš stoties atvejais A ir B yra parengiama vietoje *UzrakUzklausa* (žr. 4.4 pav.) Ši komanda negali būti įvykdyta tol, kol užrakinimo būseną nepersijungia į įprastą (*normal*). Galiausiai, operatorius bando parengti visus galimus aštuonis maršrutus vienu metu per vietą *MarsrUzklausa*. Visų aštuonių maršrutų parengimas nėra realistiškas, tačiau tai leidžia atlikti visiškai išsamią analizę (blogiausias atvejis).

4.4 lentelė Pradinė konfigūracija

Atvejis	Pradiniai žymenys			
	Tarpst_PAL	2BK	1BK	Tarpst_JIE
A	TraukLYG	TraukNELYG	TraukLYG	TraukNELYG
B	TraukLYG	TraukNELYG	beTrauk	TraukNELYG
C	TraukLYG	beTrauk	beTrauk	TraukNELYG

4.2.8 Analizės rezultatai

Analizės rezultatai pavaizduoti žemiau esančiose lentelėse. Atlikus kolizijų paiešką naudojant anksčiau aprašytomis ML funkcijomis buvo įsitikinta, kad visais atvejais kolizijų neaptikta. Kartu su saugumo užtikrinimu, signalizacijos sistema turėtų susidoroti su traukinių judėjimu taip, kaip yra tikimasi.

4.5 lentelė Būsenos erdvės analizės rezultatai

Atvejis	Viršūnės	Arkos	Baigtinių žymenų skaičius	Baigtinio žymens tikimybė
A	4	4	1	25%
B	212	524	3	1,41%
C	960	3140	8	0,83%

4.6 lentelė Baigtiniai žymenys

At-vejis	Viršūnė	Maršruto sąlyga	Tarpst_PAL	N1K	2BK	1BK	l2K	Trauk_JIE	Švie-sofo-ras	Iešmas 1K	Iešmas 2K
A	4	nėra	beTrauk	TraukLYG	BeTrauk	beTrauk	TraukNELYG	beTrauk	R	Plius Atrak	Plius Atrak
B	78	L(2)	beTrauk	TraukLYG	TraukNELYG	TraukNELYG	beTrauk	beTrauk	R	Plius Atrak	Plius Atrak
	95	N(2),L1	beTrauk	beTrauk	TraukNELYG	TraukLYG	TraukNELYG	beTrauk	L1: Ž	Plius Uzrak	Plius Uzrak
	212	N(2), L2,L(2)	TraukNELYG	beTrauk	TraukNELYG	TraukLYG	beTrauk	beTrauk	R	Minus Atrak	Minus Atrak
C	958	N(1),L(1)	beTrauk	beTrauk	TraukLYG	TraukNELYG	beTrauk	beTrauk	R	Plius Atrak	Plius Atrak
	957	L(2),N(2)	beTrauk	beTrauk	TraukNELYG	TraukLYG	beTrauk	beTrauk	R	Plius Atrak	Plius Atrak
	959	L(1),N(1)	beTrauk	beTrauk	TraukLYG	TraukNELYG	beTrauk	beTrauk	R	Minus Atrak	Minus Atrak
	960	N(2),L(2)	beTrauk	beTrauk	TraukNELYG	TraukLYG	beTrauk	beTrauk	R	Minus Atrak	Minus Atrak

4.6 lentelės tęsinys

At-vejis	Viršūnė	Maršruto sąlyga	Tarpst_PAL	N1K	2BK	1BK	l2K	Trauk_JIE	Švie-sofo-ras	Iešmas 1K	Iešmas 2K
	891	N(1),N(2)	beTrauk	beTrauk	TraukLYG	beTrauk	TraukNELYG	beTrauk	N: G	Plius Uzrak	Plius Uzrak
	934	N(2),N(1)	beTrauk	beTrauk	beTrauk	TraukLYG	TraukNELYG	beTrauk	N: G	Minus Uzrak	Minus Uzrak
	931	L(1),L(2)	beTrauk	TraukLYG	beTrauk	TraukNELYG	beTrauk	beTrauk	L: G	Minus Uzrak	Minus Uzrak
	890	L(2),L(1)	beTrauk	TraukLYG	TraukNELYG	beTrauk	beTrauk	beTrauk	L: G	Plius Uzrak	Plius Uzrak

A atvejo baigtinis žymuo 4 gaunamas tuomet, kai maršruto rengimo užklausa negali būti įvykdyta dėl to, kad ruožai nėra laisvi arba priešmaršrutinis blokruožas negali būti nustatytas į išvykimo būseną. Tik du galimi veiksmai yra tuomet, kai *TraukLYG* važiuoja iš *Tarpst_PAL* į *N1K* ir *TraukNELYG* važiuoja į *L2K*.

B atvejo baigtinis žymuo 78 yra gaunamas tuo atveju, kai *TraukNELYG* iš *Tarpst_JIE* yra priimamas į stoties kelią *1BK* maršrutu *L(1)*. Tačiau abu traukiniai stoties keliuose *2BK* ir *1BK* negali išvykti ir maršrutai nuo šviesoforų *L1* ir *L2* negali būti parengti dėl to, kad *TraukLYG* *N1K* bėgių grandinėje kliudo eismui. Maršrutui atsirakinus iešmai *1K* ir *2K* yra plusinėje padėtyje ir neužrakinti. B atvejo baigtinis žymuo 95 yra kai *TraukLYG* iš *Tarpst_PAL* priimamas į kelią *1BK* pagal maršrutą nr. *N(2)*. Tuomet operatorius parengia maršrutą nuo šviesoforo *L1* išleisdamas *TraukLYG* iš *1BK* kelio važiuoti Palemono kryptimi, tačiau šis traukinys turi važiuoti Jiesios kryptimi. Kadangi maršrutas nuo šviesoforo *L1* yra parengtas, iešmai *1K* ir *2K* yra plusinėje padėtyje ir užrakinti. B atvejo baigtinis žymuo 212 yra gaunamas, kai *TraukLYG* iš *Tarpst_PAL* priimamas į *1BK* stoties kelią pagal maršrutą *N(2)*. Tuomet operatorius parengia maršrutą nuo šviesoforo *L2* traukiniui *TraukNELYG*, esančiam *2BK* kelyje į *Tarpst_PAL*. Po to, *TraukNELYG* iš *Tarpst_JIE* yra priimamas į kelią *2BK* pagal maršrutą *L(2)*. Po to, kai maršrutas atsirakina, iešmai *1K* ir *2K* yra priešingoje (minusinėje) padėtyje ir atrakinti.

C atveju yra aštuoni baigtiniai žymenys:

1. Baigtinis žymuo 958 yra gaunamas tuo atveju, kai maršrutas *N(1)* yra parengtas ir *TraukLYG* iš *TARPST_PAL* yra priimamas į stoties kelią *2BK*. Tuomet *TraukNELYG* iš *TARPST_JIE* yra priimamas į stoties kelią *1BK* pagal maršrutą *L(1)*. Po to, kai maršrutas atsirakina, iešmai *1K* ir *2K* yra plusinėje padėtyje ir neužrakinti.
2. Baigtinis žymuo 957 yra tuomet, kai maršrutas *L(2)* yra parengtas ir *TraukNELYG* iš *TARPST_JIE* yra priimamas į stoties kelią *2BK*. Tuomet traukinys *TraukLYG* iš

- TARPST_PAL* yra priimamas į stoties kelią *1BK* pagal maršrutą *N(2)*. Po to, kai maršrutas atsirakina, iešmai *1K* ir *2K* yra pliusinėje padėtyje ir neužrakinti.
3. Baigtinis žymuo 959 yra tuomet, kai maršrutas *L(1)* yra parengtas ir *TraukNELYG* iš *TARPST_JIE* yra priimamas į stoties kelią *1BK*. Tuomet *TraukLYG* iš *TARPST_PAL* yra priimamas į stoties kelią *2BK* pagal maršrutą *N(1)*. Po to, kai maršrutas atsirakina, iešmai *1K* ir *2K* yra minusinėje padėtyje ir neužrakinti.
 4. Baigtinis žymuo 960 yra tuomet, kai maršrutas *N(2)* yra parengtas ir *TraukLYG* iš *TARPST_PAL* yra priimamas į stoties kelią *1BK*. Tuomet *TraukNELYG* iš *TARPST_JIE* yra priimamas į stoties kelią *2BK* pagal maršrutą *L(2)*. Po to, kai maršrutas atsirakina, iešmai *1K* ir *2K* yra minusinėje padėtyje ir neužrakinti.
 5. Baigtinis žymuo 891 yra tuomet, kai maršrutas *N(1)* yra parengtas ir *TraukLYG* iš *TARPST_PAL* yra priimamas į stoties kelią *2BK*. Tuomet operatorius parengia maršrutą *N(2)*.
 6. Baigtinis žymuo 934 yra tuomet, kai maršrutas *N(2)* yra parengtas ir *TraukLYG* iš *TARPST_PAL* yra priimamas į stoties kelią *1BK*. Tuomet operatorius parengia maršrutą *N(1)*.
 7. Baigtinis žymuo 931 yra tuomet, kai maršrutas *L(1)* yra parengtas ir *TraukNELYG* iš *TARPST_JIE* yra priimamas į stoties kelią *1BK*. Tuomet operatorius parengia maršrutą *L(2)*.
 8. Baigtinis žymuo 890 yra tuomet, kai maršrutas *L(2)* yra parengtas ir *TraukNELYG* iš *TARPST_JIE* yra priimamas į stoties kelią *2BK*. Tuomet operatorius parengia maršrutą *L(1)*.

Pagal Rokų stoties maršrutų lentelę, yra galima tik vienas traukinio pravažiavimas per stotį. Jei stotis yra užimta, eismas sutrinka ir galimų pravažiavimo variantų skaičius yra mažas (atvejis A ir B). Iš kitos pusės, jei stotis yra tuščia, tai galimų pravažiavimo variantų skaičius yra didelis (atvejis C). Tai ir parodo 4.5 lentelėje pateikti būsenų erdvės analizės rezultatai. Baigtiniai žymenys (4.6 lentelėje) parodo, kad CPN modelis veikia taip, kaip turėtų ir analizuojamoje maršrutų lentelėje klaidų nėra. Taip pat galima atkreipti dėmesį, jog esant mažesniai traukinių skaičiui stotyje ir jos prieigose, baigtinio žymens tikimybė ženkliai mažėja, t. y. nors tai ir nėra šiame darbe siekiamas rezultatas (darbe nėra koncentruojamasi į traukinių eismo ir apkrovos planavimą), tačiau galima daryti išvadą, jog intensyvinant traukinių eismą stotyje reikia atrasti kompromisą tarp didesnio traukinių pralaidumo ir didesnės tikimybės susidaryti situacijai, kai tolesnis traukinių eismas normalaus centralizacijos sistemos veikimo režimu nėra galimas.

5 TYRIMO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS

Veikimo sąlygos, aprašytos 3.4 skyriuje, gana išsamiai aprašo, kaip sistema turėtų elgtis rengiant maršrutus normalaus sistemos veikimo metu. Šiame baigiamajame magistro darbe apsiribojama maršrutų rengimo funkcijomis ir traukinių judėjimo stotyje analize. Sistemos veikimas esant sutrikimams bei gedimams šiame darbe nėra nagrinėjamas – imituojamas, kadangi tai nebuvo pagrindinis darbo tikslas.

Atlikus stoties sistemos modeliavimą esant trimis skirtingoms pradinėms eismo situacijoms buvo aptikta 11 skirtingų galimų baigtinių žymenų, t. y. maršrutų lentelėje leidžiamų atvejų, kurie patys savaime nesudaro eismui nesaugių situacijų, tačiau tolesnis traukinių judėjimas normaliu stoties centralizacijos veikimo režimu neleidžia traukiniams judėti toliau – būtina imtis išimtinių priemonių, t. y. valdantis operatorius turi priimti sprendimus šių situacijų pervedimui į nekonfliktinę būseną. Užsibrėžtas tyrimo tikslas buvo pasiektas – modelis veikia taip, kaip buvo numatyta – imituoja traukinių eismą stotyje ir leidžia patikrinti maršrutų lentelėje nurodytų maršrutų tarpusavio ryšius ir aptikti galimus konfliktus. Vertinant rezultatus būtina paminėti, kad kuriant modelį buvo padaryta modeliavimą supaprastinančių prielaidų į kurias reiktų atsižvelgti taikant modelį praktikoje.

5.1 Išvados, rekomendacijos ir siūlymai

Sudarius nagrinėjamos stoties modelį ir pritaikius jam maršrutų lentelės patikrinimo algoritmą galima daryti šias išvadas:

1. Pagal sudarytus funkcinius sukurtas imitacinis stoties modelis, paremtas spalvotaisiais Petri tinklais, leidžia modeliuoti traukinių eismą stotyje su tam tikrais apribojimais (imitavimo supaprastinimui).
2. Stoties imitacinis modelis leidžia pritaikyti jam maršrutų lentelės kolizinių būsenų paieškos algoritmą, paremtą būsenų erdvės analize. Atlikus šią analizę trims skirtingoms eismo situacijoms, buvo nustatytas maksimalus galimas būsenų variantų skaičius kiekvienam iš šių konkrečių atvejų. Taip pat aptikta iš viso 11 būsenų (baigtinių žymenų), kurios nurodo konkrečius atvejus kurie patys savaime grėsmės eismo saugumui nekelia, tačiau tolesnis traukinių judėjimas šiais atvejais nėra galimas.
3. Aprašytas formalus maršrutų lentelių patikrinimo metodas yra nesunkiai pritaikomas bet kuriai geležinkelio stočiai tiek ją modernizuojant (renovuojant), tiek ir atliekant topologijos pakeitimus (iešmų, bėgių grandinių, šviesoforų įrengimo vietų keitimas, naujų pridėjimas), dėl kurių būtina modifikuoti maršrutų lentelę – aprašytas metodas leidžia atlikti išsamią maršrutų lentelės analizę, kolizijų paiešką bei sutaupo žmogiškojo darbo poreikį.
4. Baigiamojo magistro darbo metu suformuluotas stoties maršrutų lentelės analizės metodas leidžia automatizuoti maršrutų lentelės patikrinimo procesą pasitelkiant kompiuterinį modelį ir bendrąsias kompiuterizuotos geležinkelio stoties eismo valdymo sistemos veikimo taisykles – funkcinius algoritmus.

Modeliuojant geležinkelių eismo valdymo sistemos veikimą tokiame modeliui galima pritaikyti ne tik šiame baigiamajame magistro darbe taikomą maršrutų lentelės patikrinimo algoritmą, bet ir sukurti bei pritaikyti naujų algoritmų, leidžiančių sumažinti arba visiškai panaikinti žmogaus atliekamų patikrinimų apimtį.

Modeliavimas naudojantis spalvotaisiais Petri tinklais leidžia atlikti informatyvią būsenų erdvės analizę, tačiau norint tikslesnių ir realybei artimesnių rezultatų rekomenduojama tikslinti modelį sumažinant arba eliminuojant šiame darbe taikomas modeliavimo prielaidas.

LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI

1. Bondavalli, A.; Nelli, M.; Simoncini, L. ir kt
Hierarchical modelling of complex control systems: dependability analysis of a railway interlocking, International Journal of Computer Systems Science & Engineering, Comput Syst Sci & Eng (2001) 4: 249–261 © 2001 CRL Publishing Ltd.
2. Dobias, R.; Kubatova, H.
FPGA Based Design of the Railway's Interlocking Equipment, Department of Computer Science and Engineering, Czech Technical University Prague, 2004.
3. Zhang T.; Andrews, J; Guo, B.
A Simulated Petri-net and Genetic Algorithm Based Approach for Maintenance Scheduling for a Railway System, College of Information Systems and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China.
4. Krostoffersen, T.; Moen, A.; Asheim Hansen, H.
Extracting High-Level Information from Petri Nets: A Railroad Case, Norwegian Computing Center, Oslo, Norway, 2004.
5. Prasad Pata, A.; Kubar, A. ir kt.
Assessment and Improvement of Railway Track Safety, Lulea Railway Research Center, SE-97187, Lulea, Sweden.
6. Mark Hansen, K.
Modelling Railway Interlocking Systems, Technical University of Denmark, Department of Computer Science, 344, DK-2800 Lyngby, Denmark, 1998 m lapkričio 26 d.
7. Hlavaty, T.; Klapka, Š.
Formal Methods in Development and Testing of Safety-Critical Systems: Railway Interlocking System, Department of Cybernetics, Czech Technical University, Praha.
8. Douglas Obal II, W.; Akber Qureshi, M., Deavours, M. ir kt.
Overview of UltraSAN, Center for Reliable and High-Performance Computing, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801.
9. Westergaard, M.; Verbeek, H. M. W.
CPN Tools programos dokumentacija, šaltinis internete:
<http://cpntools.org/documentation/start> (žiūrėta 2011-11-08), Eindhoven University of Technology, The Netherlands,

10. Kanoun K.; Blain L.
SURF-2-a tool for modelling and evaluation of dependability measures, Center for Reliable and High-Performance Computing, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
11. *Lietuvos Respublikos Geležinkelių transporto eismo saugos įstatymas*, 2003 m. gruodžio 16 d. Nr IX-1905, Vilnius. Įstatymas skelbtas Žin., 2004 Nr.4-27.
12. *Geležinkelių eismo taisyklės*, AB „Lietuvos geležinkeliai“ informacijos ir leidybos centras, 2000, Vilnius, UDK656.2 GE-171.
13. *Projektas C „Kauno stoties, aplinkkelio Palemonas – Rokai – Jiesia ir Kauno – Kybartų linijos signalizacijos ir elektros tiekimo įrenginių modernizacimas“*, Pirkimo dokumentai, III priedas – Užsakovo reikalavimai, VIII dalis. Priedai.
Priedas nr. 1. Interlokingo logika.
14. Dapkus, Č.; Eidžiūnas, S.; Juškaitė, N.
Geležinkelių signalizacijos taisyklės, AB „Lietuvos geležinkeliai“ informacijos ir leidybos centras, 1998, ISBN 9986-537-23-1.
15. *Projektas B „Signalizacijos, telekomunikacijų ir elektros tiekimo sistemų modernizavimas IXB Kreta koridoriaus Šiauliai – Klaipėda ruože“*,
Techninių susitikimų protokolai.
16. *Projektas A „Signalizacijos, telekomunikacijų ir elektros tiekimo sistemų modernizavimas Kaišiadorių – Radviliškio ruože“*
Užsakovo reikalavimai, Techninių susitikimų protokolai.
17. Le Bliguet, M.; Andersen Kjaer, A.
Modelling Interlocking Systems for Railway Stations, Kongens Lyngby 2008, IMM-M.Sc.-2008-68.
18. Roanes-Lozano, E.; Roanes-Macias, E.; Laita, L.
Railway interlocking systems and Grobner bases, Departamento de Algebra, Facultad de Education, Universidad Complutense de Madrid, E-28040 Madrid, Spain, 2000.

Stacija	Stacijas numurs	Stacijas nosaukums	Stacijas veids	Stacijas apraksts
1	920	N	Atsauce	Atsauce uz N
2	826	M1	Atsauce	Atsauce uz M1
3	557	L2	Atsauce	Atsauce uz L2
4	547	L1	Atsauce	Atsauce uz L1
5	836	M3	Atsauce	Atsauce uz M3
6	11		Atsauce	Atsauce uz 11
7	0	M6	Atsauce	Atsauce uz M6
8	509	N2	Atsauce	Atsauce uz N2
9	512	N1	Atsauce	Atsauce uz N1
10	588	M2	Atsauce	Atsauce uz M2
11	1133	L	Atsauce	Atsauce uz L

