



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Transporto srauto parametrų nustatymas panaudojant kelio dangoje integruotus jutiklius**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Juozas Balamutas**

Projekto autorius

**Prof. Dangirutis Navikas**

Vadovas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Transporto srauto parametrų nustatymas panaudojant kelio dangoje integruotus jutiklius**

Baigiamasis magistro projektas

Elektronikos inžinerija (6211EX012)

---

**Juozas Balamutas**

Projekto autorius

**Prof. Dangirutis Navikas**

Vadovas

**Prof. Darius Andriukaitis**

Recenzentas

---

**Kaunas. 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Juozas Balamutas

## **Transporto srauto parametrų nustatymas panaudojant kelio dangoje integruotus jutiklius**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Juozo Balamuto, baigiamasis projektas tema „Transporto srauto parametrų nustatymas panaudojant kelio dangoje integruotus jutiklius“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

Juozas Balamutas

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

Balamutas, Juozas. Transporto srauto parametrų nustatymas panaudojant kelio dangoje integruotus jutiklius. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Navikas Dangirutis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Elektronikos inžinerija, Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Transporto priemonių ilgio nustatymas, TP klasifikavimas, magnetinė signatūra, TP sukeliamų vibracijų analizė.

Kaunas 2020. 55 p.

### **Santrauka**

Baigiamojo projekto tikslas ištirti kelio dangoje įmontuotų jutiklių signalus ir metodus transporto priemonių parametrų nustatymui. Naudojami magnetinių ir seisminių jutiklių signalai transporto priemonėms esant stacionarioje būsenoje ir pravažiuojant virš jutiklių.

Pirmoje darbo dalyje atliekama literatūros šaltinių analizė. Apžvelgiama galimų jutiklių panaudojimo galimybės, privalumai, trūkumai. Palyginami transporto priemonių greičio bei ilgio nustatymo metodai panaudojant magnetinių jutiklių užregistruotus signalus.

Antroje dalyje apžvelgiama įranga skirta duomenų surinkimui. Aprašomi naudojami jutikliai ir algoritmai signalų apdorojimui.

Trečioje dalyje apžvelgiamos ilgio skaičiavimo paklaidos sumažinimo galimybės panaudojant skirtingus metodus. Įvertinama transporto priemonės greičio ir magnetinės signatūros pobūdžio įtaka rezultatų tikslumui.

Ketvirtoje dalyje analizuojami seisminiai jutikliai ir jų panaudojimo galimybės. Tiriama signalai transporto priemonėms esant stacionarioje būsenoje ir judant. Atliekama signalų dažninė analizė.

Penktoje dalyje aprašomas klasifikavimas naudojant tik magnetometrų duomenis ir mašininį mokymą. Įvertinamas sistemos tikslumas ir palyginama su metodais naudojant seisminius jutiklius.

Balamutas, Juozas. Traffic flow parameters identification using intrusive road sensors. Master's Final Degree Project / supervisor Prof. Dangirutis Navikas; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Electronics Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: Vehicle length estimation, vehicle classification, magnetic signature, vehicle vibration analysis

Kaunas, 2020. 55 pages.

### **Summary**

Master thesis main objective is test road intrusive sensors signals and various methods for vehicle parameter evaluation. Magnetic and seismic signals are used from stationary and moving vehicles.

First part of this work is dedicated for literature review. Available intrusive sensors and their usage possibilities, advantages and disadvantages are compared. Methods for vehicle speed, length calculation using magnetic sensors are compared.

Second part is for hardware overview. Used sensors and signal conditioning algorithms are presented. In third part different vehicle length calculation error decrease methods are evaluated. Also influence of vehicle speed and signature complexion is discussed.

Fourth part is for seismic sensor signal analysis and usage possibilities. Signals are tested then different vehicles are moving and stationary. Time and frequency signal analysis is conducted.

Fifth part is for machine learning using only magnetic sensor data. Classification errors using seismic signals and magnetic signals are compared.

## Turinys

<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>7</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Jutiklių ir metodų TP parametrų įvertinti apžvalga .....</b>	<b>9</b>
1.1. Transporto priemonės registruojantys jutikliai.....	9
1.2. Greičio nustatymo metodų apžvalga .....	10
1.3. Ilgio nustatymo metodų apžvalga.....	12
1.4. Transporto priemonių klasifikavimas.....	13
<b>2. Jutiklių duomenų surinkimas ir pradinis apdorojimas .....</b>	<b>20</b>
2.1. Jutikliai naudojami duomenų surinkimui .....	20
2.2. Duomenų surinkimas iš magnetinio jutiklio.....	22
2.3. Duomenų surinkimas iš pjezoelektrinių gėmbių .....	26
2.4. Užregistruotų signalų pavyzdžiai .....	26
<b>3. Transporto priemonių ilgio nustatymo metodų tyrimas .....</b>	<b>30</b>
3.1. Ilgio nustatymas naudojant fiksuotą slenkstį.....	30
3.2. Transporto priemonės ilgio nustatymas naudojant magnetinės signalatūros išvestinę .....	33
<b>4. Vibracijos jutiklių signalų analizė .....</b>	<b>36</b>
4.1. Akselerometro signalų analizė nejudančiai transporto priemonei.....	36
4.2. Pjezoelektrinės gėmbės signalo analizė nejudančiai transporto priemonei.....	39
4.3. Judančių transporto priemonių vibracijų laikinė analizė.....	41
4.4. Judančių transporto priemonių užregistruotų signalų dažninė analizė.....	44
<b>5. TP klasifikavimas naudojant mašininį mokymą .....</b>	<b>46</b>
<b>Išvados .....</b>	<b>49</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>50</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>51</b>
1 priedas. Matlab programų kodai.....	51

## **Santrumpų ir terminų sąrašas**

### **Santrumpos:**

AMR Anizotropinis magnetorezistyvnis

ANN Dirbtinis neuroninis tinklas

PCA Pagrindinių komponentų analizė (angl. Principal Component Analysis)

SPI Nuosekli periferinė sąsaja

TP Transporto priemonė

### **Terminai:**

Magnetinė signatūra – užregistruotas magnetinių jutiklių signalas pravažiuojant transporto priemonei.

## **Įvadas**

Transporto spūstys yra neatsiejama kasdienio gyvenimo dalis. Kelionės gali pailgėti beveik dvigubai laukiant sankryžose prie šviesoforų. Dėl šios priežasties sparčiai diegiamos intelektualios transporto valdymo sistemos, kurios stebi kelio apkrautumą ir gali reguliuoti sankryžų valdymą. Transporto priemonių (TP) aptikimui gali būti naudojami įvairūs jutikliai. Apdorojus užregistruotus duomenis galima nustatyti pagrindinius transporto srauto parametrus – TP greitį, ilgį, pravažiuojančių TP kiekį, atlikti klasifikavimą. Transporto priemonių klasifikavimas šiomis dienomis pritaikomas realaus laiko sistemose – automatinio mokesčio už kelius apmokėjimui, leidimui įvažiuoti į parkavimo aikštelę. Pagrindinės problemos registruojant transporto priemones yra iškraipyti jutiklių duomenys. Duomenys gali būti iškraipomi dėl įvairių priežasčių – transporto priemonei važiuojant per ašinę liniją lenkimo metu, kelios transporto priemonės važiuoja labai arti viena kitos. Sunku atskirti ar lengvasis automobilis važiuoja su priekaba. Sudėtinga užregistruoti motociklus, dviračius. Tai pačiai transporto priemonei pravažiuojant pro jutiklį nutolus skirtingais atstumais gali būti užregistruojami visiškai skirtingi signalai.

Šio darbo pagrindinis tikslas ištirti ir realizuoti metodus transporto priemonių parametrus įvertinti maksimaliai sumažinant gaunamas paklaidas.

Darbo uždaviniai:

- atlikti egzistuojančių transporto priemonių ilgio skaičiavimo ir klasifikavimo metodų apžvalgą;
- sukurti priemones transporto priemonių magnetinių signatūrų ir sukeltų vibracijų registravimui;
- ištirti transporto priemonių ilgio nustatymo paklaidos sumažinimo metodus;
- išskirti požymius, kuriais galima atlikti transporto priemonių klasifikavimą panaudojant vibracijų signalus;
- ištirti TP klasifikavimo galimybes panaudojant magnetinio jutiklio užregistruotą signatūrą.



## 1. Jutiklių ir metodų TP parametrms įvertinti apžvalga

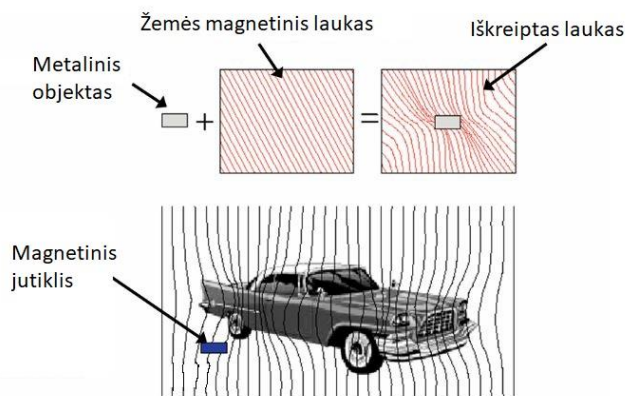
Transporto srauto jutiklių paskirtis perduoti duomenis intelektualiai transporto valdymo sistemai. Duomenys turi būti atnaujinami ir perduodami realiu laiku, gali būti fiksuojama istorija. Plačiai paplitę kelio dangoje integruoti magnetiniai jutikliai ir induktyvinės kilpos. Pradiniai šių jutiklių užregistruoti duomenys gali būti paveikti įvairių trikdžių, todėl reikalingas pirminis signalo apdorojimas. Iš apdoroto signalo išskiriama naudinga transporto priemonės magnetinė/induktyvinė signatūra.

Kituose poskyriuose pateikiama jutiklių skirtų transporto priemonėms registruoti apžvalga ir metodai naudojami parametrms apskaičiuoti.

### 1.1. Transporto priemonės registruojantys jutikliai

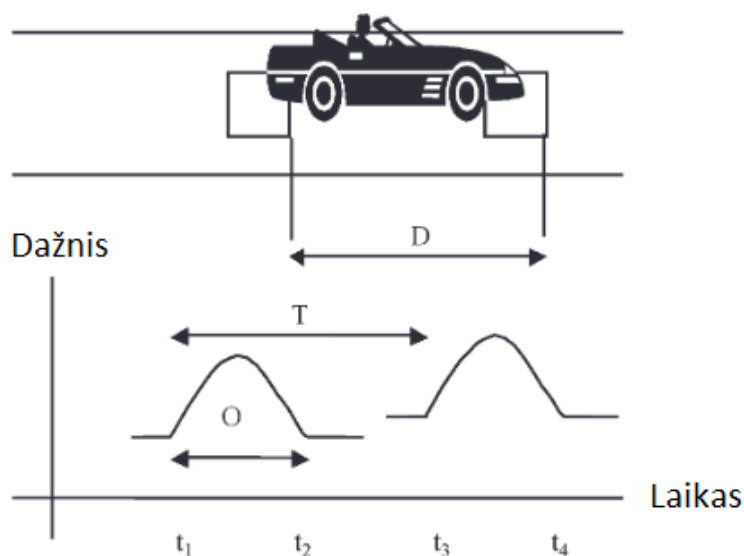
Skirtingi jutikliai turi savo privalumų ir trūkumų – nei viena sistema nėra universali. Pagal montavimo būdą jutiklius galima suskirstyti į montuojamus kelio dangoje, šalia kelio, virš važiuojamosios kelio dalies. Šalia kelio arba virš važiuojamosios kelio dalies gali būti montuojamos vaizdo kameros, mikrobangų radarai, ultragarsiniai, akustiniai jutikliai. Naudojant vaizdo kameras reikia daug skaičiavimo resursų vaizdų apdorojimui atlikti, rezultatų tikslumą gali įtakoti oro sąlygos. Naudojant akustinių jutiklių signalus galima įvertinti TP tipą, tačiau sudėtinga apskaičiuoti tikslų ilgį ir greitį. Kelio dalyje dedami jutikliai gali surinkti daugiau duomenų apie transporto priemonę ir yra atsparesni aplinkos įtakai. Plačiausiai naudojami kelio dangoje integruoti TP aptikimo jutikliai yra induktyvinės kilpos, AMR jutikliai, pjezoelektriniai jutikliai, pneumatiniai vamzdeliai.

Transporto priemonės gali būti aptinkamos naudojant magnetinius jutiklius, nes jų metalinės dalys iškreipia stacionarų Žemės magnetinį lauką. Registruojant magnetinio lauko iškreipimą gaunama transporto priemonės magnetinė signatūra. Magnetinė signatūra parodo Žemės magnetinio lauko kitimą erdvėje. Priklausomai nuo transporto priemonės sudarančių juodųjų metalų skaičiaus užregistruojama skirtinga magnetinė signatūra skirtingoms transporto priemonėms. Iškreipimai gali būti modeliuojami kaip daugybės magnetinių dipolių kompozicija [1]. Transporto priemonė gali būti modeliuojama kaip magnetas turintis magnetinį momentą kurio centras yra TP centre. 1.1 pav. pavaizduotas tolygaus magnetinio lauko iškreipimas atsiradus metaliniam objektui. Maži AMR jutikliai lengvai integruojami kelio dangoje, jiems nereikia sudėtingos priežiūros, iš užregistruotų duomenų galima apskaičiuoti daug transporto priemonės parametrų.



1.1 pav. Transporto priemonės iškreipiamas magnetinis laukas [1].

Induktyvinė kilpa populiariausia šiuo metu dėl paprasto veikimo, mažos kainos. Tačiau instaliacija, priežiūra yra pakankamai brangi ir užima daug laiko. Veikimas pagrįstas ritės induktyvumo kitimu. Kelios vijos izoliuoto laido integruojamos stačiakampėje kelio išpjovoje. Ritė yra žadinama 10–200 kHz dažniu. Kai TP pravažiuoja pro kilpą arba stovi virš jos, pasikeičia ritės induktyvumas. Pasikeitęs induktyvumas pakeičia dažnį ir detektorius fiksuoja induktyvinę signalatūrą. Naudojant dvigubą kilpos konfigūraciją pateiktą 1.2 pav. pagal signalų vėlinimą galima apskaičiuoti TP greitį ir ilgį.



1.2 pav. Registruojama induktyvinė signalatūra naudojant dvigubą kilpos konfigūraciją [2].

Transporto priemonės gali būti aptinkamos, ne vien matuojant magnetinio lauko iškreipimą, bet ir įvertinant sukiamas vibracijas. Vibracijų registravimas galimas naudojant seisminius arba akustinius jutiklius. Akustinių jutiklių signalui įtakos turi Doplerio reiškinys, todėl dažniau naudojami seisminiai jutikliai. Žemės paviršiaus sukiamos vibracijos gali būti paviršinės arba giliosios. Paviršiumi sklinda Rayleigh'o ir Love'o bangos. Rayleigh'o bangos juda priversdamos Žemės daleles suktis apie eliptinius apskritimus kryptimi priešinga vibracijos sklidimui. Love'o bangos sukia Žemės paviršiaus dalelių judėjimą į šonus, vibracija sklinda išilgai jų [3]. Judančios transporto priemonių pagrindiniai vibracijų šaltiniai yra padangų kontaktas su keliu, variklis, išmetimo sistema.

## 1.2. Greičio nustatymo metodų apžvalga

Naudojant vieną induktyvinę kilpą greitis gali būti nustatomas priimant fiksuotą transporto priemonės ilgį, pvz. 5 m ir matuojant laiko tarpą kol TP išvažiavo iš kilpos zonos [4]:

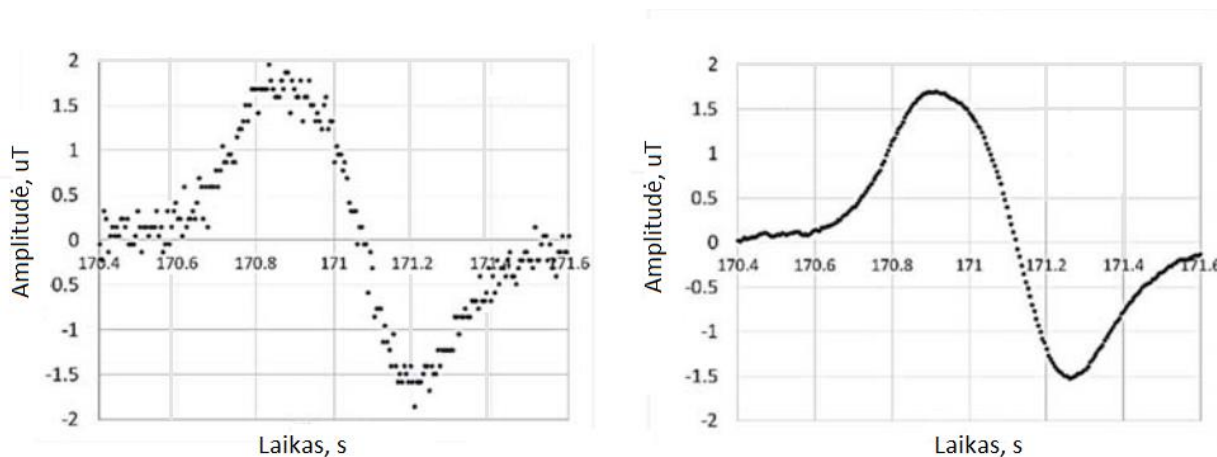
$$V_{fiks} = \frac{L_{fiks}}{T}, \quad (1)$$

čia  $V_{fiks}$  – apskaičiuotas TP greitis m/s,  $L_{fiks}$  – fiksuotas transporto priemonės ilgis, kuris yra konstanta, 5 m lengviesiems automobiliams,  $T$  – laikas s kurį TP praleido aptikimo zonoje. Akivaizdu, kad tikslumas priklauso nuo transporto priemonės ilgio. Tikslūs rezultatai pasiekiami naudojant dvigubą kilpos konfigūraciją.

Naudojant magnetinius jutiklius galima nustatyti greitį pagal vėlinimą tarp dviejų gautų signalų. Paprastai magnetinių jutiklių užregistruoti duomenys yra su triukšmais ir reikalingas filtravimas. Reikia efektyvaus signalo apdorojimo, siekiant pagerinti santykį signalas-triukšmas. Filtravimui galima naudoti žemų dažnių filtrą, panaudojant slenkančią vidurkį:

$$\bar{s}_n = \frac{1}{k} \sum_{i=n-\frac{k-1}{2}}^{i=n+\frac{k-1}{2}} s_i. \quad (2)$$

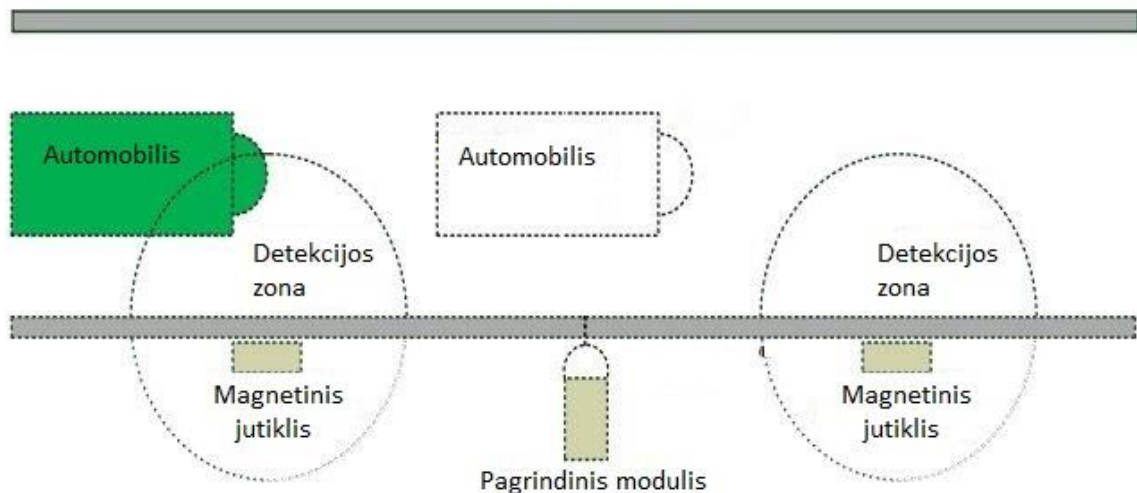
Parametras  $k$  nurodo lango dydį iš kiek atskaitų vidurkinti. Neapdorotas ir apdorotas signalas pavaizduoti 1.3 pav.. Apdorotas signalas pakankamai informatyvus surasti reikiamas laiko žymes – maksimumus, minimumus, stačiausias vietas kuriose signalo amplitudė didėja arba krenta. Slenkančio vidurkio filtras įneša vėlinimą  $k\Delta t/2$ ,  $\Delta t$  laiko intervalas tarp dviejų gretimų signalo taškų, tačiau šis vėlinimas pakankamai mažas ir jo galima nepaisyti [4].



1.3 pav. Užregistruota diskretinė signalūra (kairėje) ir filtruota slenkančio vidurkio filtru (dešinėje) [4].

AMR jutikliai jautrūs pašalinių šaltinių sukeliama magnetiniam laukui. Po žeme einantys elektros kabeliai sukuria 50/60 Hz kintantį magnetinį lauką. Dėl šios priežasties išmatuotos jutiklio reikšmės gali būti iškraipytos. Jei tinklo kabelis integruotas lygiagrečiai arba statmenai kelio kryptčiai trukdžiai gali pasireikšti x-z plokštumoje arba y-z plokštumoje [4]. Šiuo atveju z signalas neturi reikšmės nes x ašis nukreipta skersai važiuojamai kelio daliai, y ašis išilgai. Z ašis panaudota tinklo fonui pašalinti iš x ir y ašių. Greitis apskaičiuojamas nustatant vėlinimą tarp dviejų perslinktų signalų, tačiau autoriai nenurodo kokiu metodu tai atliko ir kokia greičio skaičiavimo paklaida.

Esant dviem magnetometrams nutolusiems vienas nuo kito tam tikru atstumu priimama, kad TP detekcijos zonoje važiuoja pastoviu greičiu 1.4 pav.



1.4 pav. Transporto priemonės registravimo sistemos struktūra panaudojant magnetinius jutiklius [5].

Iš pradžių skaičiuojama signatūrų kros-koreliacija patikrinimui ar signalai tarpusavyje atsikartoja. Jei koreliacijos koeficientas didesnis kaip 0,98, tuomet skaičiuojamas greitis. Abejose signatūrose išskiriami amplitudės maksimumai. Reikšmių skaičių tarp dviejų maksimumų padalinus iš diskretizavimo dažnio apskaičiuojamas laiko tarpas per kurį TP pravažiavo per detekcijos zoną. Žinant laiko tarpą ir atstumą tarp sensorių apskaičiuojamas TP greitis [6].

Transporto priemonių greičio nustatymas su didele paklaida galimas naudojant vieną jutiklį. Siekiant geresnių rezultatų reikia naudoti bent 2 jutiklius. Skaičiavimo tikslumui įtakos turi pašalinis triukšmas, todėl tikslinga prieš atliekant skaičiavimus apdoroti signalus.

### 1.3. Ilgio nustatymo metodų apžvalga

Ilgis gali būti skaičiuojamas norint klasifikuoti TP. Šaltinyje [6] siūlomas transporto priemonių ilgio nustatymo algoritmas. Santykinis ilgis apskaičiuojamas pagal:

$$L = \frac{M}{L_d}, \quad (3)$$

čia  $L$  santykinis ilgis  $m$ ,  $M$  užregistruotos transporto priemonės signatūros taškų skaičius detekcijos zonoje,  $L_d$  nuspėjamas signatūros taškų skaičius vienam metrui TP ilgio.  $L_d$  suskaičiuojamas pagal dviejų pakopų schemą. Iš pradžių nustatomas vėlinimas tarp dviejų magnetinių sensorių signalų. Kitame etape ieškoma reikšmių kurios kerta nulį. Suradus indeksus taškų kurie kerta nulį ilgis apskaičiuojamas pagal formulę:

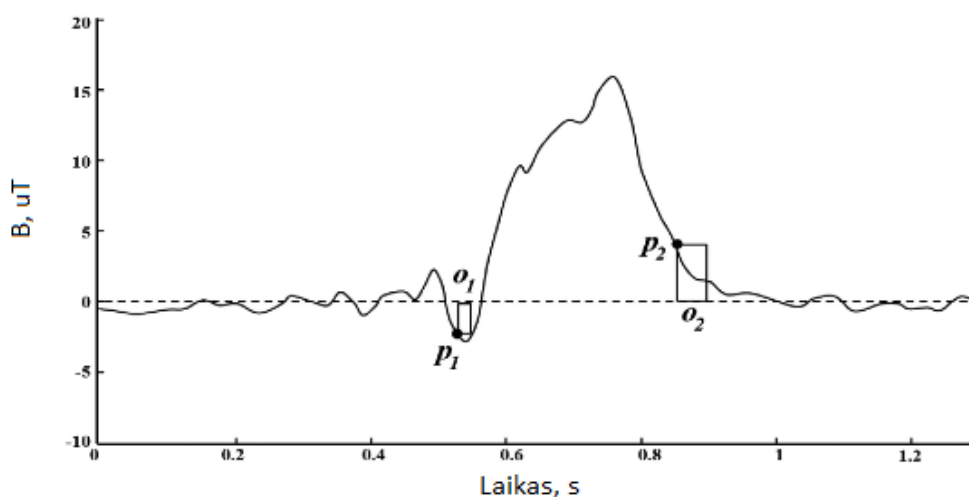
$$N = \frac{\sum_{i=1}^N S_{Ti}}{N_z}, \quad (4)$$

čia  $N$  – apskaičiuotas ilgis,  $S_{Ti}$  – nulio kirtimo vėlinimo periodas tarp dviejų magnetinių jutiklių taške  $i$ .  $N_z$  – reikšmių kertančių nulį kiekis.

Kiti metodai ilgiui nustatyti reikalauja tikslaus greičio nustatymo. Priiman, kad pagal vėlinimą nustatytas tikslus TP greitis, ilgis gali būti apskaičiuojamas pagal formulę [6]:

$$l = N \cdot T_c \cdot v, \quad (5)$$

čia  $l$  – TP ilgis metrais,  $N$  – taškų skaičius, kuriuose TP buvo detektavimo zonoje,  $T_c$  – signalo diskretizavimo periodas s,  $v$  – TP greitis m/s. Diskretizavimo periodas yra pastovus dydis. Teigiant, kad greitis buvo apskaičiuotas teisingai, ilgio nustatymo paklaida priklausys tik nuo taškų skaičiaus  $N$ . Skaičiavimas galimas naudojant slenkstinę vertę, kuri sudaryta iš  $2\sigma$ , kur  $\sigma$  apibrėžia signalo triukšmo standartinį nuokrypį [7]. Kai pro jutiklį nevažiuoja transporto priemonės magnetinio jutiklio signalas nežymiai svyruoja apie bazinę padėtį. Atsiradus transporto priemonei signalas dinamiškai pakinta plačiose ribose [8]. Naudojamas metodas naudingos signalatūros išskyrimui, naudojant dvigubo lango algoritmą pateiktas 1.5 pav..



**1.5 pav.** Dvigubo lango algoritmas signalatūrai išskirti [8].

Iš pradžių sukuriama du masyvai (langai) TP atvykimo išskyrimo langas, kurio ilgis  $o_1$  ir TP išvykimo išskyrimo langas, kurio ilgis  $o_2$ . Pirmą kartą kirtus slenkstinę vertę pildomas TP atvykimo langas. Kai duomenys nebetelpa į  $o_1$  langą, fiksuojamas taškas  $p_1$ , duomenys pradeda pildyti išvykimo langą. Kai  $o_2$  išvykimo langas užsipildė stumti langą ir fiksuoti tašką  $p_2$ . Naudojantis šiuo algoritmu apskaičiuojamas TP signalatūros ilgis taškų skaičius tarp  $p_1$  ir  $p_2$ . Autorių teigimu naudojant dvigubo lango algoritmą galima gauti tikslią TP magnetinę signalatūrą, nustatyti taškus, kuriuose TP atvyko ir išvyko iš registravimo zonos, apskaičiuoti ilgį ir greitį. Autoriai nepateikia pagal ką skaičiuojama slenkstinė riba nuo kurios pradamas masyvų pildymas. Kitas metodo trūkumas būtų vienodas lango ilgis. Transporto priemonių signalatūros gali būti įvairios, skirtingo ilgio, todėl TP važiuojant skirtingais greičiais taškų skaičius skirsis.

Transporto priemonės ilgio skaičiavimui reikalingas TP greitis ir signalatūros ilgis detekcijos zonoje. Ilgio skaičiavimo paklaida priklausys nuo šių parametrų tikslumo.

#### **1.4. Transporto priemonių klasifikavimas**

Transporto priemonės klasifikavimas yra procesas, kurio metu užfiksuota transporto priemonė yra priskiriama tam tikrai klasei pagal jos magnetinę/induktyvinę signalatūrą arba apskaičiuotą ilgį.

Egzistuoja įvairūs standartizuoti klasifikavimo būdai. JAV klasifikavimą koordinuoja Federalinė Greitkelių Administracija (angl. *FHWA*) pagal sukurtą schemą transporto priemonės skirstomos į 13 kategorijų. Skirstymas atliekamas pagal ašių skaičių. Vykdamas klasifikavimą tokiu būdu nekreipiamas dėmesys į transporto priemonės ar junginio ilgį. Šiaurės Europos valstybėse galioja hierarchinė schema pagal NorSIKT su keturiomis pagrindinėmis kategorijomis. Europoje ISO 3833-1977

standartas išskiria pagrindines kategorijas – motorinė transporto priemonė, , transporto priemonių kombinacija, motociklas. Šios kategorijos toliau skirstomos į smulkesnes sub-kategorijas. Literatūroje galima sutikti nestandartizuotų klasifikavimo būdų pritaikytų konkrečiai sričiai – pagal svorį arba kėbulo tipą [9].

Sunkiasvorių transporto priemonių išskyrimas gali būti svarbus daugeliu aspektų. Sunkvežimiai ir kita stambiagabaritė technika pasižymi kitokiomis savybėmis nei lengvieji automobiliai. Sunkvežimiai važiuoja mažesniais greičiais, užima daugiau kelio, gali būti ribojamas jų eismas tam tikru keliu ar kelio juosta. Srauto valdymo atžvilgiu tikslus sunkvežimių srauto parametrų matavimas leidžia įvertinti kelio atkarpos apkrautumą. Pagal tai galima numatyti kelio dangos nusidėvėjimą ir planuoti remonto darbus.

TP klasifikavimas galimas naudojant induktyvinės kilpos užregistruotą signalą. Panaudojant mašininį mokymą pasiekama adaptyvi ir patikima klasifikavimo sistema. Periodiškai matuojamas kilpos signalo dažnis. Transporto priemonei privažiavus kilpą šis dažnis pasikeičia. Požymių paruošimo algoritmas suformuoja požymių vektorių dirbtiniam neuroniniam tinklui. Neuroninis tinklas priskiria tam tikrą kategoriją transporto priemonei [2]. Autoriams pavyko pasiekti 92 % klasifikavimo tikslumą skirstant transporto priemones į penkias kategorijas panaudojant dirbtinį neuroninį tinklą. Norint atlikti klasifikavimą realiu laiku gali prireikti daug skaičiavimo resursų.

Jeigu kaip parametras naudojama magnetinė signatūra galimi įvairūs algoritmai transporto priemonių klasifikavimui [9] :

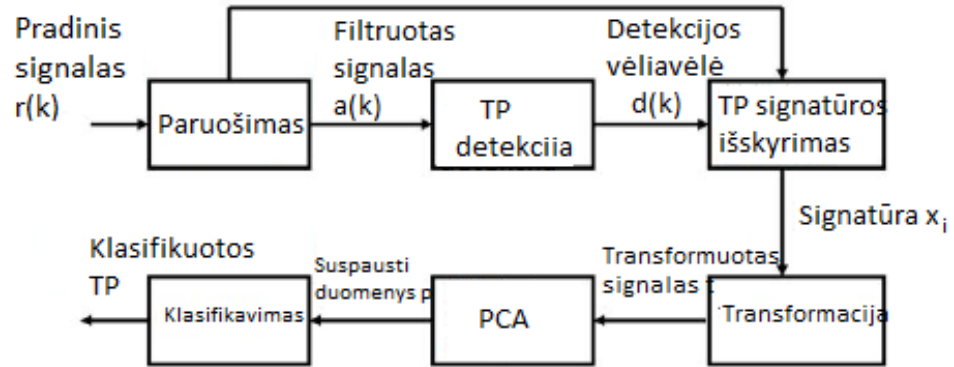
Vidutinės juostelės transformacija (angl. *Average-Bar transform*) – transporto priemonės magnetinės signatūros masyvas kurio ilgis  $N$  suskaidomas į  $S$  pagalbinių masyvų. Suskaičiuojami pagalbinių masyvų vidurkiai. Gauti vidurkiai sudedami į naują masyvą  $R$ .  $R$  masyvas yra fiksuotas visoms transporto priemonių klasėms. Normuojama ne tik pagal amplitudę, bet ir pagal reikšmių skaičių – įėjimo signalo masyvai padaromi fiksuoto ilgio.

Kalvų modelio transformacija (angl. *Hill-Pattern transform*) – metodo esmė transformuoti signalą į seką, kurią sudaro  $\{+1, -1\}$  neprarandant daug informacijos. Skirstymas vykdomas pagal pastovų slenkstį. Išskiriamas modelis, kurį sudaro „kalnai“ ir „slėniai“ – lokalūs signalo minimumai ir maksimumai.

Pagrindinių komponentų analizė (PCA) – naudojama sumažinti įėjimo duomenų apimčiai. Naudojant tiesinę transformaciją įėjimo signalo vektorius pakeičiamas naujai koordinačių sistema. Pakeitimas vykdomas taip, kad didžiausia dispersija bet kuriai duomenų projekcijai priskiriama naujo vektoriaus pirmajam elementui, antra didžiausia dispersija priskiriama vektoriaus antrajam elementui ir t.t. Sukurtas naujas vektorius turi pirminio vektoriaus charakteristikas apibūdinamas pagal dispersiją.

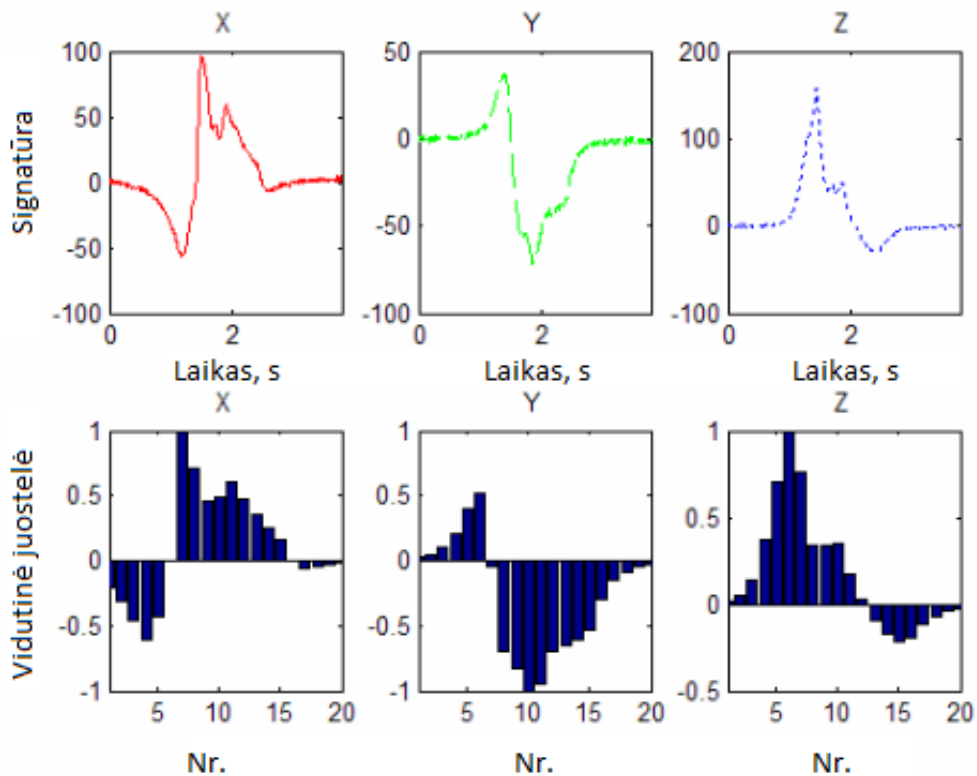
Magnetiniu sensoriumi gauta signatūra suteikia daug daugiau informacijos apie transporto priemones nei induktyvinė signatūra. Transporto priemonė užregistruota magnetiniu jutikliu važiuojant ta pačia kryptimi taškuose nutolusiuose tam tikru atstumu turi būti vienoda. Tačiau Žemės magnetinis laukas nėra statmenas paviršiui, išskyrus prie polių. Dėl šio reiškinio signatūros transporto priemonei važiuojant skirtingomis kryptimis bus skirtingos. Galima teigti, kad plote iki kelių kvadratinių kilometrų magnetinis laukas yra tolydus, todėl transporto priemonei judant išilgai dviem nedideliu atstumu išdėstytiems magnetometrams užregistruotos signatūros koreliuoja tarpusavyje.

TP klasifikavimui galima panaudoti bevielius magnetinius jutklius integruotus kelio dangoje. Klasifikavimas vykdomas pakopomis, klasifikavimo algoritmas pateiktas 1.6 pav.. Užregistruotas jutiklio signalas yra filtruojamas, išskiriamas TP magnetinė signalūra [9]. Svarbu teisingai išskirti naudingą signalūrą, nes skirtingos TP važiuoja skirtingais greičiais, dėl šios priežasties signalūros yra skirtingų ilgių



1.6 pav. Transporto priemonių klasifikavimo metodo struktūra [9].

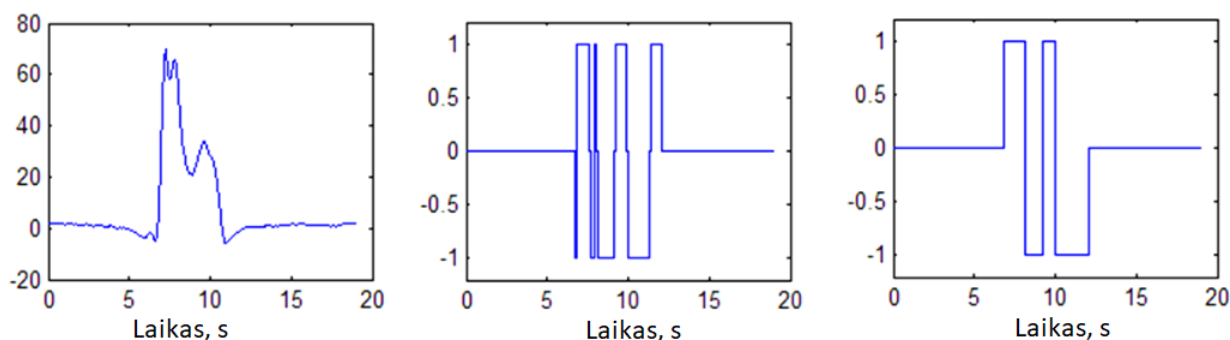
Gavus signalūrą vykdoma signalo transformacija, kurios metu sukuriamas naujas fiksuoto ilgio signalas. Su naujai suformuotu signalu atliekama pagrindinių komponentių analizė. Suspaustas signalas perduodamas į klasifikavimo algoritmą. Trijų ašių signalai prieš ir po transformacijos pavaizduoti 1.7 pav..



1.7 pav. Vidutinės juostelės transformacija su normalizuota amplitude [9].



Ašių komponenčių signalų ilgis suspaudžiamas iki 20 atskaitų. Amplitudės sunormuotos ir kinta ribose nuo -1.0 iki 1.0. Toks normavimas nėra priimtinas panaudojimui įterptinėje sistemoje, nes reikia naudoti kintamuosius su realaus tipo kintamaisiais. Norint turėti didelę duomenų bazę reikia daug atminties ir skaičiavimo resursų. Siekiant maksimaliai suspausti paliekant vertingą informaciją naudojami anksčiau nagrinėti Hill—pattern ir PCA algoritmai. 1.8 pav. pateiktas signalų suspaudimas, kai naudojamas fiksuotas signalo ilgis ir paliekamos 3 galimos amplitudės reikšmės. Tokį signalą galima perduoti į klasifikatoriaus algoritmą.



1.8 pav. Signal transformavimas paliekant tris leistinas reikšmes [9].

Yra įvairių klasifikatorių algoritmų. Vieni iš paprastesnių klasifikatorių algoritmų:

- k-NN (angl. k-Nearest Neighbor) – k-arčiausiojo kaimyno metodas;
- SVM (angl. Support Vector Machine) – pagalbinių vektorių automatas;
- Tiesioginis kalvų sekos atitikimas (angl. Hill pattern matching)

Arčiausiojo kaimyno metodas yra vienas paprasčiausių ir pakankamai tikslus. Metodas pagrįstas prielaida, kad duomenų taškai esantys vienas šalia kito signale priklauso tai pačiai klasei. Algoritmo treniravimas susideda iš signalo vektorių ir žinomų priskyrimų tam tikrai klasei [11].

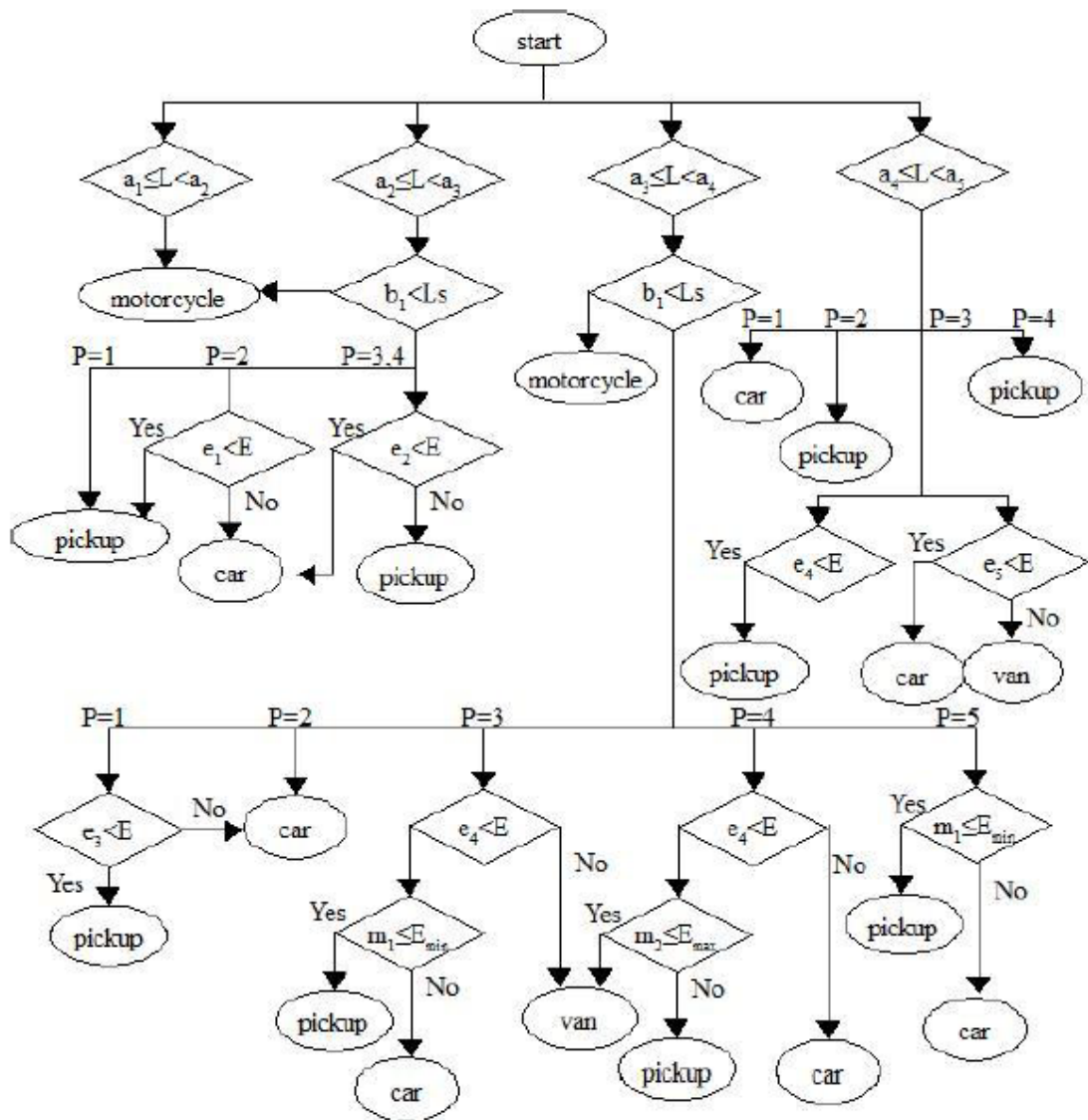
Paprastą klasifikavimą galima realizuoti nenaudojant dirbtinio neuroninio tinklo (ANN.) Skaičiuojama pilnutinė magnetinės signatūros energija. Signalas filtruojamas, skaičiavimui naudojama Z ašies duomenys. Skaičiuojama diferencinė amplitudė – skirtumas tarp esamos reikšmės ir prieš tai buvusios. Turint diferencinę amplitudę skaičiuojama normuota signalo energija [5]:

$$E_{norm} = \frac{\sum M_n^m}{L} \cdot v \cdot t_s, \quad (6)$$

čia  $L$  – apytikslis TP ilgis,  $v$  – TP greitis,  $M$  – slenkančio vidurkio signalas,  $t_s$  – diskretizavimo laikas. Autoriai priėjo išvados, kad siunkiasvariai automobiliai turi žemesnę energiją dėl aukštos prošvaisos, lengvieji automobiliai turi didesnę energiją, nes prošvaisa yra žema, automobilio apačia arčiau sensoriaus. Klasifikavimo į 4 kategorijas algoritmas pateiktas 1.9 pav.. Klasifikuojama pagal apytikslį TP ilgį  $L$ , signatūros ilgį  $L_s$ . Motociklų signatūros ilgis yra trumpesnis nei kitų transporto priemonių. Kitų TP klasifikacijai reikia daugiau parametrų – naudojama kombinacija ilgių, kalnų modelio pikai,

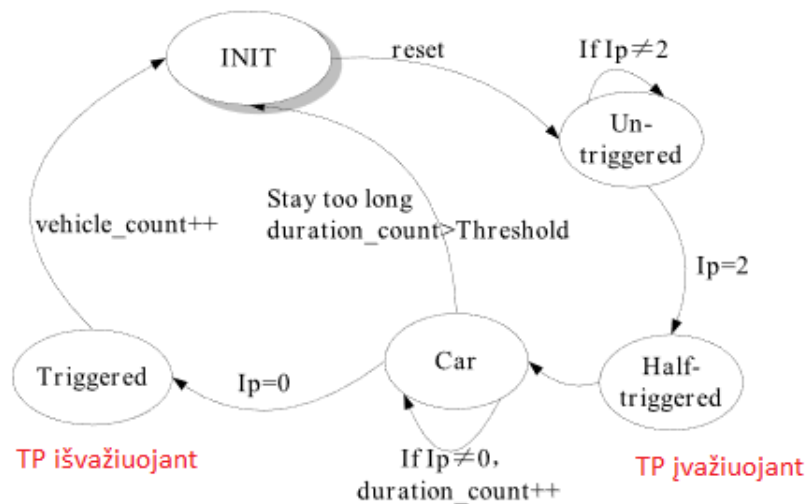


signalo energijos minimumas, maksimumas ir normuota vertė. Naudojamos leistinos ribos sąlygų tikrinimui yra konstantos.



1.9 pav. Klasifikavimo medžio struktūra pagal nesudėtingus požymius [6].

Analogiškas algoritmas, neapimantis sunkvežimių, aptartas [12] šaltinyje. Šiuo atveju vienas AMR jutiklis integruotas kelkraštyje. Jutiklio X ašis statmenai judančiai transporto priemonei. Diskretizavimo dažnis 75 Hz. Suskaičiuojamas signalo modulis pagal ašių vertes. Naudojantis modulių skaičiuojama signalo dispersija, kuri padauginama iš originalaus signalo. Šios operacijos metu originalus signalas yra kaip svorio koeficientas – paliekamos originalaus signalo charakteristikos, tačiau tuo pat metu pašalinami atsitiktiniai signalo šuoliai. Dispersija ženkliai padidėja pravažiuojant TP.



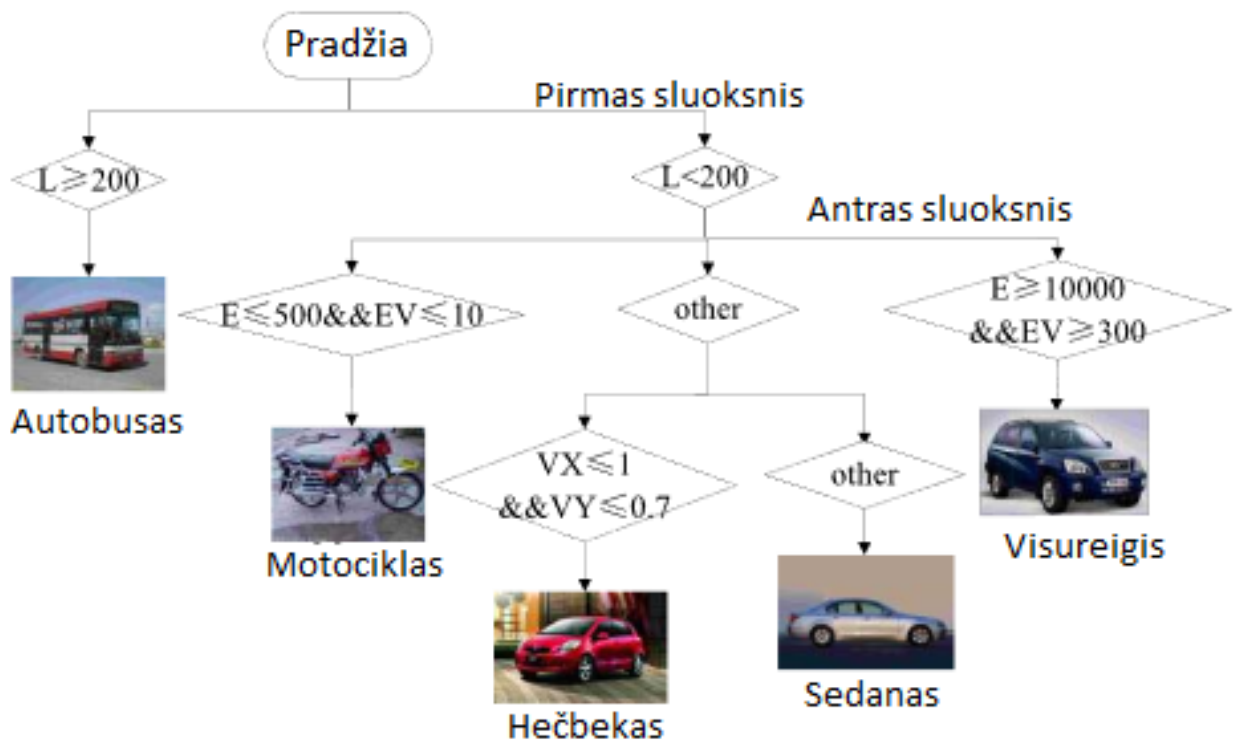
1.10 pav. Baigtinio automato būsenos TP aptikimui [12].

Kai TP važiuoja mažu greičiu ir atstumas tarp gretimų TP yra pakankamai mažas signalo standartinis nuokrypis gali ženkliai padidėti. Stabilumui užtikrinti naudojamas baigtinių būsenų automatas pavaizduotas 1.10 pav., kuris sprendžia apie TP būseną detekcijos zonoje naudojant slenksčius su histereze. Pradžioje apnulinami visi parametrai ir laukiama kol bus viršytas dispersijos slenkstis. Viršijus slenkstį priimama, kad TP gali atsidurti matavimo zonoje. Dispersijos signalas turi sekti tam tikrą formą, jei praeina numatytas laikas ir TP neužfiksuojama grįžtama į pradinę būseną. Jei fiksuojama, kad TP pateko į detekcijos zoną, tuomet laukiama kol paliks zoną. Registruojama, kad pravažiavo TP ir laukiama sekančios. Būsenų automatas sėkmingai išskiria TP net joms važiuojant minimaliu atstumu viena nuo kitos. Klasifikavimui reikia suskaičiuoti signalūros ilgį, signalo energiją  $E$ , vidutinę signalo energiją  $EV$ . Taip pat suskaičiuojama X ir Y ašių teigiamų ir neigiamų pusperiodžių energijos santykis:

$$VX = \frac{\sum_{X(k)>0} X^2(k)}{\sum_{X(k)<0} X^2(k)} ; \quad (7)$$

$$VY = \frac{\sum_{Y(k)>0} Y^2(k)}{\sum_{Y(k)<0} Y^2(k)} . \quad (8)$$

Autorių teigimu lengvuosius automobilius nuo autobusų galima atskirti pagal signalo trukmę. Hečbekų ir sedanų signalo energija yra panaši, tačiau hečbeko X ašies signalas turi tendenciją būti neigiamas, kai tuo tarpu sedano X ašies signalas yra teigiamas. Hečbekai nuo sedanų atskiriami skaičiuojant teigiamų ir neigiamų pusperiodžių energijos santykį pagal (7, 8) formules. Kaip atraminis parametras naudojama Y ašies teigiamų ir neigiamų pusperiodžių energijos santykis.



1.11 pav. Klasifikavimo algoritmas [12].

1.11 pav. pateikiamas klasifikavimo algoritmas pravažiuos transporto priemonei.. Medžio struktūrą sudaro 3 sluoksniai. Pirmiausia remiantis signalo ilgiu atskiriami autobusai. Antrame klasifikavimo algoritmo sluoksnyje remiantis signalo energija  $E$  ir energijos vidurkiu  $EV$  išskiriami motociklai ir visureigiai. Galiausiai jei TP nepatenka į nei vieną iš minėtų kategorijų, remiantis teigiamų ir neigiamų signalo energijos pusperiodžių santykiu, priskiriama hečbekui arba sedanui. Algoritmas paprastas ir pakankamai efektyvus. Pagrindinis trūkumas, kad neišskiriami sunkvežimiai ir automobiliai su priekaba.

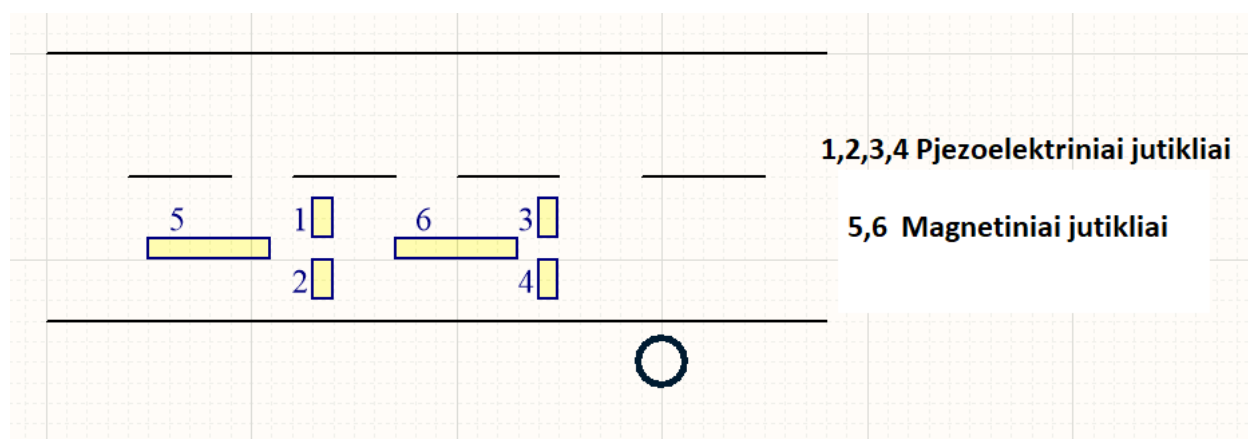
Transporto priemonių klasifikavimą galima atlikti naudojant paprastus algoritmus arba mašininį mokymą. Naudojant mašininį mokymą galima pasiekti geresnius rezultatus, tačiau reikia didelės duomenų bazės apmokymui atlikti ir daugiau skaičiavimo resursų. Tolimesniuose skyriuose nagrinėjami magnetinių ir vibracinių jutiklių užregistruojami signalai siekiant nustatyti transporto priemonių parametrus su minimalia paklaida.

## 2. Jutiklių duomenų surinkimas ir pradinis apdorojimas

Apžvelgtoje literatūroje transporto priemonių greitis ir ilgis skaičiuojami naudojant magnetinius jutiklius diskretizuojamus pakankamai žemu dažniu (iki 100 Hz). Tokių sistemų pakanka TP srauto intensyvumui įvertinti, tačiau greitis ir ilgis nustatomas su didelėmis paklaidomis. Klasifikavimui panaudojant tik magnetinio jutiklio signalą kategorijų išskyrimas tampa komplikuoatas. Šiame darbe aprašomi tiriami metodai siekiant pagerinti parametrų įvertinimo tikslumą. Šioje dalyje aprašomas duomenų surinkimas iš naudojamų jutiklių ir pradinis apdorojimas siekiant išgauti naudingą informaciją. Užfiksuoti jutiklių signalai be apdorojimo nėra labai informatyvūs ir nesuteikia reikšmingos informacijos apie pravažiuojančias transporto priemones

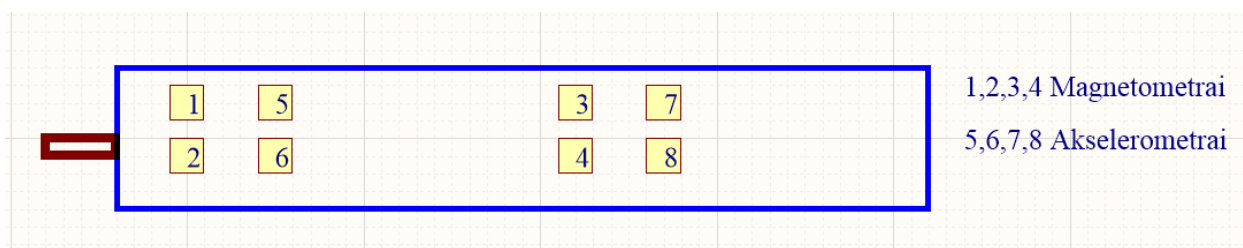
### 2.1. Jutikliai naudojami duomenų surinkimui

Naudojami kelio dangoje integruoti magnetiniai jutikliai. Jų išdėstymas pateiktas 2-1 paveiksle. Pjezo jutikliai išdėstyti statmenai transporto priemonių judėjimo kryptčiai, magnetiniai jutikliai lygiagrečiai judėjimo kryptčiai.



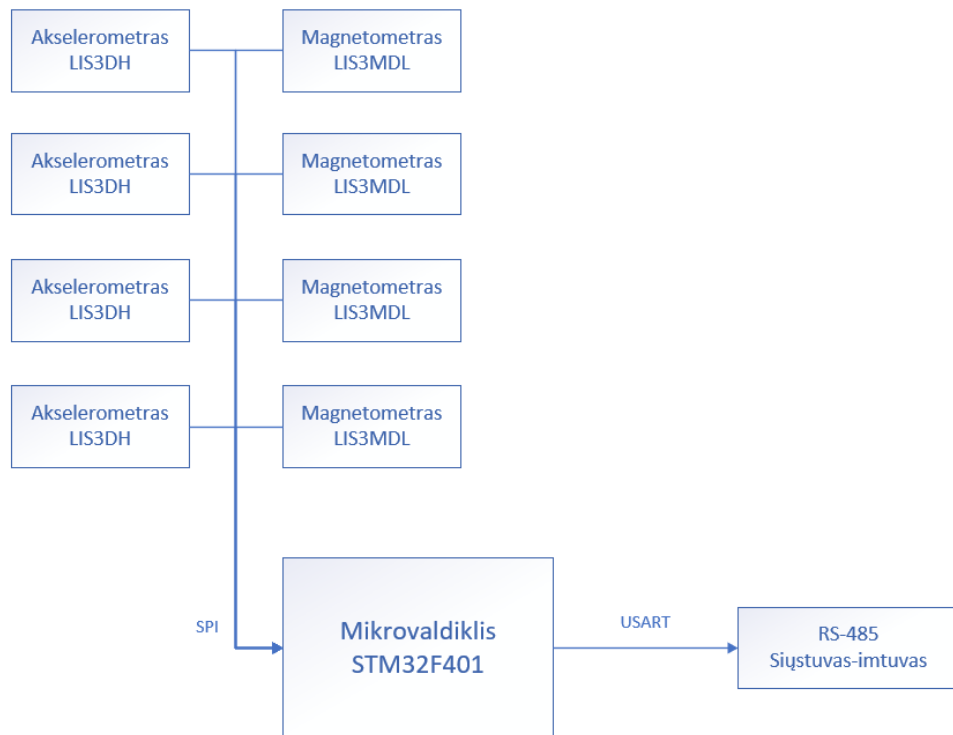
2.1 pav. Jutiklių išdėstymo kelyje struktūra.

Magnetiniai sensoriai patalpinti transporto priemonių važiavimo kryptimi. Sensoriaus konstrukcijos struktūra pavaizduota 2.2 pav.. Jis sudarytas iš 4 magnetinių AMR jutiklių LIS3MDL ir 4 akselerometrų LIS3DH. Lygiagrečiai pozicionuojami poromis po 2 sensorius. Atstumas tarp magnetometrų ir akselerometrų yra 50 cm.



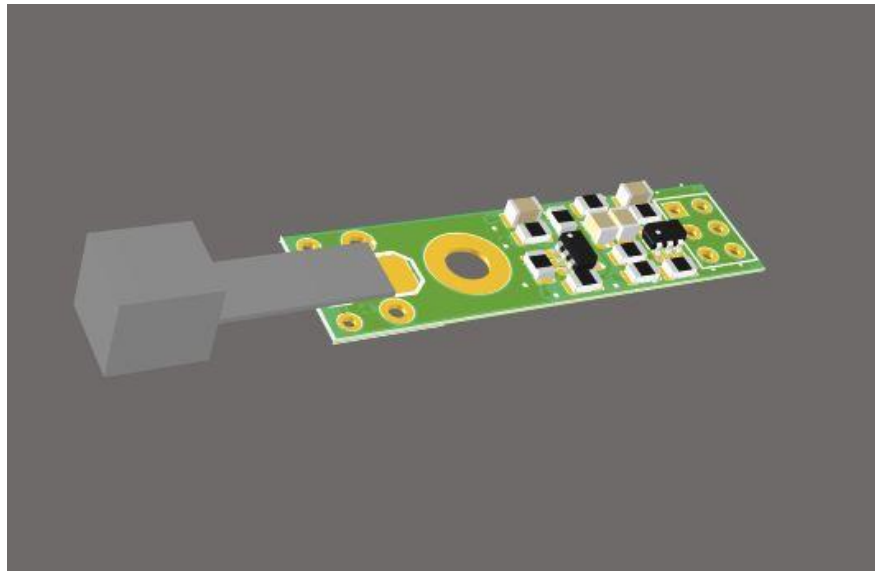
2.2 pav. Magnetinio jutiklio struktūra.

Sensoriaus struktūrinė schema pateikta 2.3 pav.. Vienoje SPI magistralėje lygiagrečiai sujungti visi jutikliai su individualiais parinkimo išvadais. Duomenis nuskaito mikrovaldiklis STM32F401 ir perduoda duomenis į kompiuterį per RS-485 sąsają.



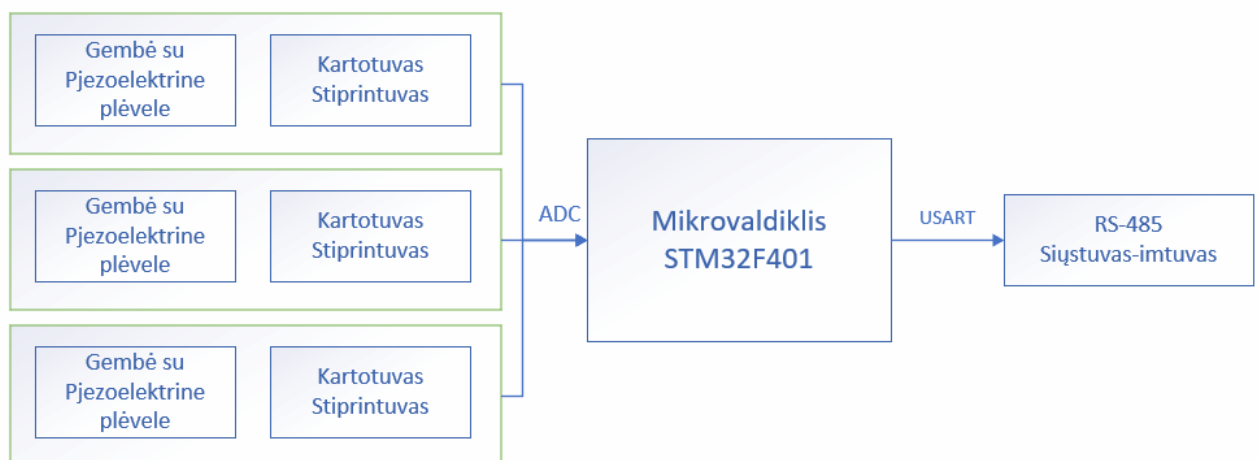
**2.3 pav.** Magnetinio sensoriaus struktūrinė schema.

Atlikus literatūros apžvalgą pastebėta, kad geri transporto priemonės klasifikavimo rezultatai pasiekiami naudojant vibracijos jutiklių užregistruotus signalus. Siekiant turėti universalią TP parametru įvertinimo sistemą tikslinga naudoti dvigubos technologijos jutiklius – fiksuoti magnetinę signalūrą ir sukelti vibracijas. Vibracijoms įvertinti gali būti naudojami seisminiai ir akustiniai sensoriai. Akustiniai sensoriai pasižymi platesne dažnių juosta, tačiau signalui įtakos turi aplinkos triukšmas ir oro sąlygos. Bandymų metu duomenys užregistruoti panaudojant seisminius jutiklius - pjezoelektrines gembes sukurtas Interaktyvių elektronikos sistemų laboratorijoje. Šios gembės sudarytos iš 50 μm pjezoelektrinės plėvelės priklijuotos prie 200 μm nerūdijančio plieno juostelės. Juostelės matmenys – 18 mm x 5 mm. Juostelės gale įtvirtintas 2 g alavo-švino lydinio svarelis. Gembės 3D modelis pateikiamas 2.4 pav.



**2.4 pav.** Pjezoelektrinės gembės 3D modelis.

Plieninei juostelei deformuojantis dėl tiesioginio pjezoelektrinio reiškinio generuojama įtampa. Pjezoelektrinės plėvelės išėjimo varža yra  $M\Omega$  eilės, todėl naudojamas kartotuvas ir 100 kartų stiprinantis operacinis stiprintuvas. Gembės išėjimo signalas kinta 0 – 3,3V ribose ir yra nuskaitymas naudojant mikrovaldiklio analogas kodas keitiklį. Mikrovaldiklis surinktus duomenis transliuoja per RS-485 sąsają analogiškai magnetiniams jutikliams. Struktūrinė sistemos schema pateikta 2.5 pav.



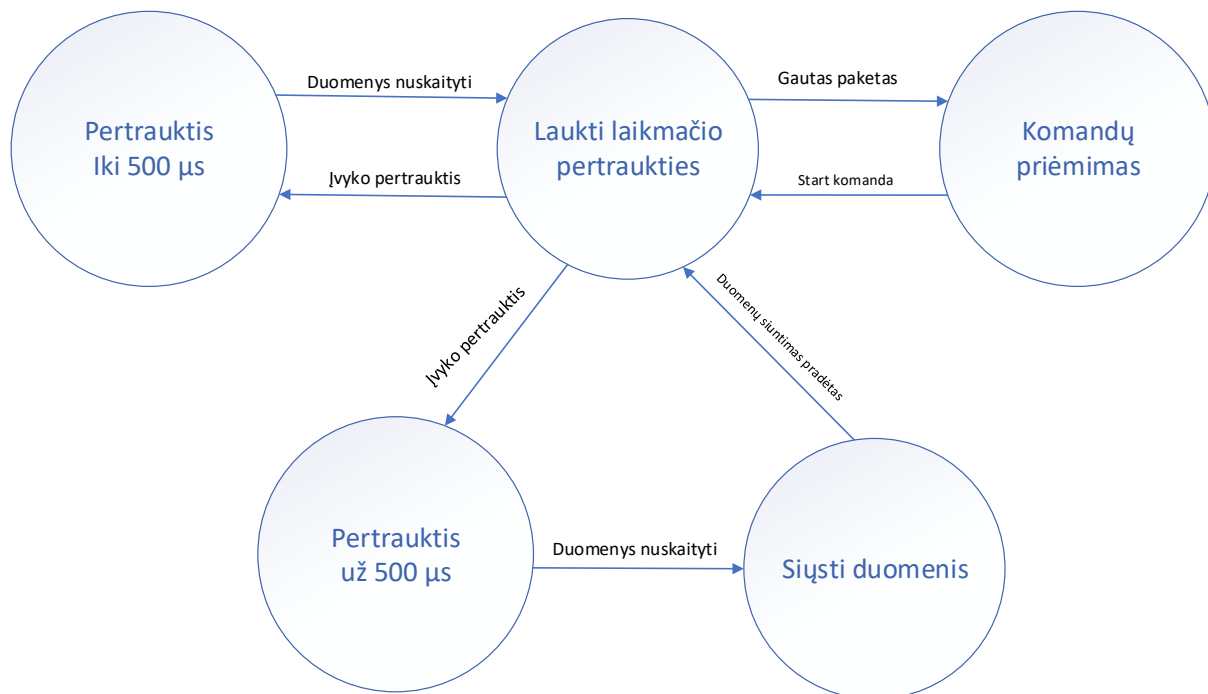
**2.5 pav.** Pjezoelektrinių gembių duomenų registravimo sistemos struktūrinė schema.

Pagamintas maketas su 3 pjezoelektrinėmis gembėmis pozicionuotomis skirtingomis kryptimis, mikrovaldikliu ir maitinimo grandine. Maketas buvo užkasamas žvyruotame grunte ir padedamas ant asfalto paviršiaus registruojant judančias ir stovinčias transporto priemones.

## 2.2. Duomenų surinkimas iš magnetinio jutiklio

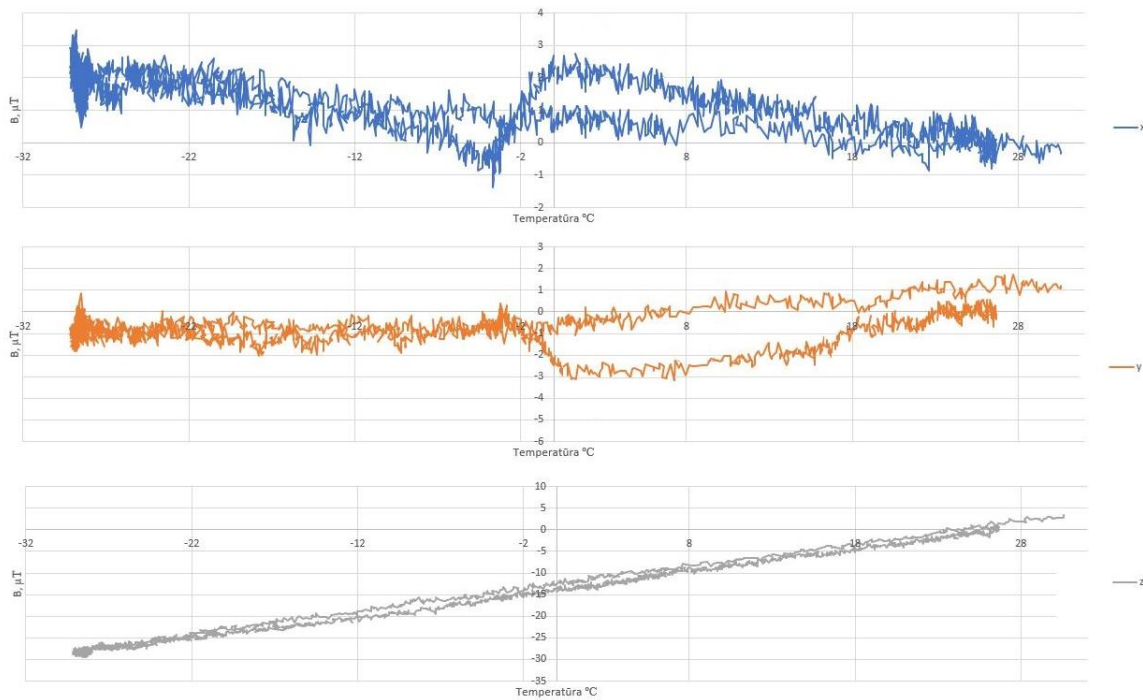
Mikrovaldiklio vieno ciklo skirtu duomenų nuskaitymui, perskaiciavimui ir perdavimui į kompiuterį trukmė yra 1 ms. Programa vykdoma pagal apibrėžtas baigtinio automato būsenas. Programos būsenos pavaizduotos 2.6 pav.. Būsenos perjungiamos iš vienos į kitą pagal laikmačio pertraukties signalą, kuri įvyksta kas 500  $\mu$ s arba įvykus specialiam įvykiui (atsiradus duomenų baitų USART

priėmime). Magnetinio sensoriaus duomenų nuskaitymui naudojama SPI sąsaja. Duomenys yra nuskaityti per tiesioginės atminties prieigos valdiklį (DMA). Duomenų perdavimo sparta yra 403200 bps. Mikrovaldiklis nuskaityto ir perduoda duomenis per numatytą laiką neprarandant naujų reikšmių.



**2.6 pav.** Programos vykdymo būsenų diagrama.

AMR magnetiniai jutikliai pasižymi temperatūriniu nestabilumu. 2.7 pav. pavaizduota duomenų kitimo priklausomybė atlikus bandymus esant stacionariam magnetiniam laukui. Galima pastebėti, kad z ašies komponentė kinta daugiausiai. Siekiant kompensuoti temperatūros įtaką buvo sukurtas adaptyvus pradinio nuokrypio kompensavimo algoritmas.



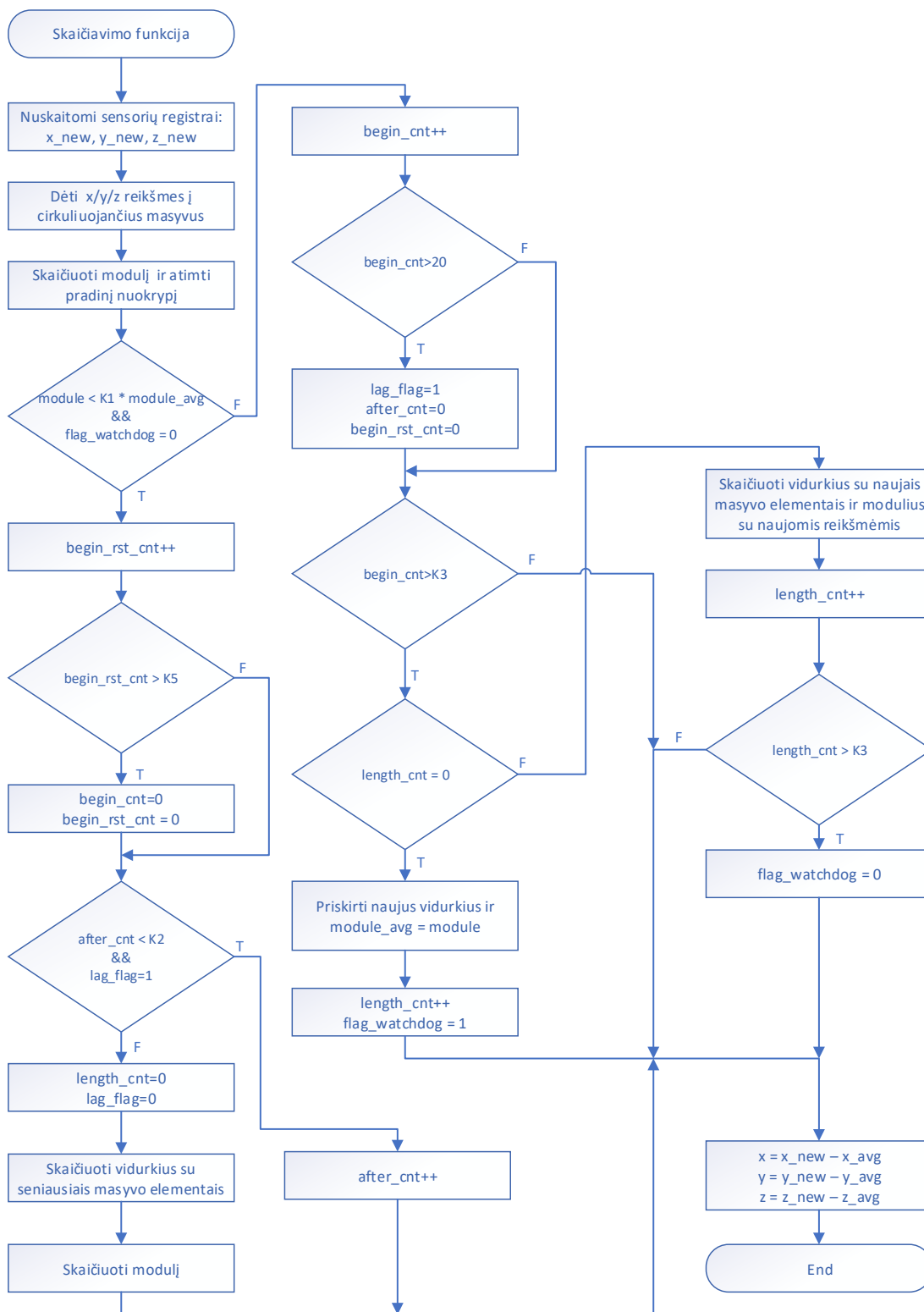
**2.7 pav.** Temperatūros įtaka AMR jutiklių reikšmėms.

Kalibravimo metu išmatuotos  $x$ ,  $y$ ,  $z$  dedamųjų vertės priimamos kaip pradiniai nuokrypiai. Skaičiuojamas 3 ašių dedamųjų modulis ir slenkantis vidurkis pagal formulę:

$$|M_{vid}| = \frac{|M_{t-1}| + |M_{t-2}| + |M_{t-3}| + \dots + M}{n}, \quad (9)$$

čia  $M_{vid}$  – modulio vidurkis,  $M_{t-x}$  – prieš tai buvę moduliai,  $n$  – atskaitų skaičius. Kai nėra pravažiuojančių transporto priemonių šis slenkantis vidurkis yra pakankamai mažas – artimas nuliui. Kol modulio signalas neviršija numatytos slenkstinės vertės, naujai išmatuojamos  $x$ ,  $y$ ,  $z$  vertės periodiškai atnaujinamos pradiniam nuokrypiui įvertinti. Kai modulis viršija nustatytą slenkstį pereinama į naudingą signalo fiksavimo būseną. Šioje būsenoje  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ašių pradiniai nuokrypiai nėra atnaujinami, naudojamos reikšmės, kurios buvo užfiksuotos prieš modulio slenkščio kirtimą. Kai transporto priemonė išvažiuoja iš magnetinio jutiklio detektavimo zonos, modulio vidurkis sumažėja ir neviršija slenkstinės vertės, ašių pradiniai nuokrypiai yra toliau atnaujinami. 2.8 pav. pateiktas skaičiavimo funkcijos algoritmas vienam jutikliui. Jutiklių duomenys mikrovaldiklyje saugomi struktūrose, todėl reikalinga viena funkcija, kuri kviečiama kiekvienam jutikliui, nurodant rodyklę į reikiamą struktūrą.



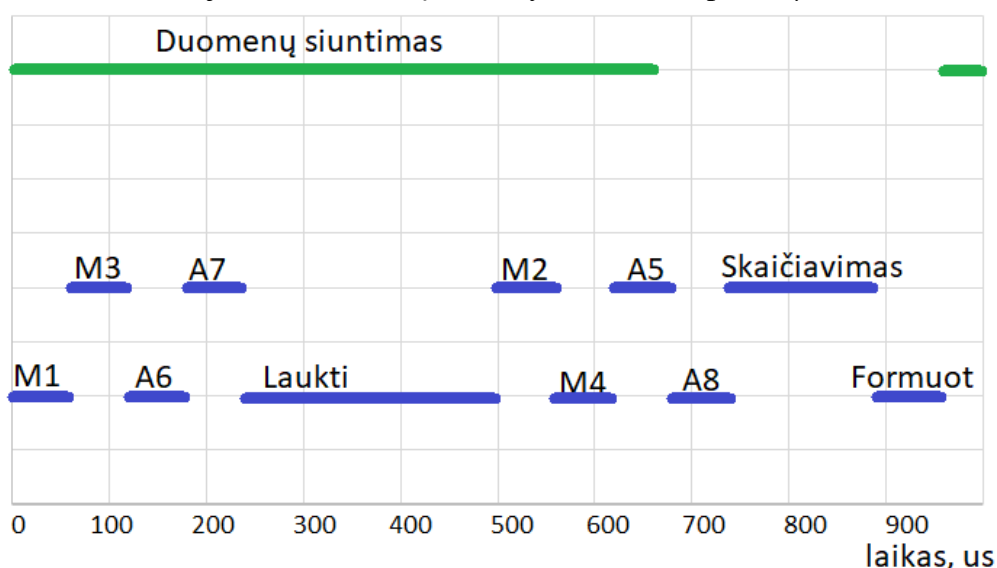


2.8 pav. Temperatūros ir pašalinio įmagnetėjimo įtakos pašalinimo algoritmas

Siekiant realizuoti duomenų perdavimą realiu laiku, reikia suspėti apdoroti ir perduoti duomenis, kol bus gautas naujas matavimas. Maksimalus LIS3MDL AMR magnetometrų diskretizavimo dažnis 1 kHz.

2.9 pav. pavaizduota mikrovaldiklio programos laikinė diagrama.  $Mx$  raidėmis pažymėtos magnetinių jutiklių nuskaitymo trukmės,  $Ax$  raidėmis akcelerometrų nuskaitymo trukmės. Visi sensoriai sujungti ant vienos SPI magistralės, todėl vienu metu gali būti nuskaityti duomenys tik iš vieno jutiklio.

Jutiklis išrenkamas su individualiais „Chip Select“ prievadais. Iš jutiklio nuskaitymi 6 baitai duomenų – po 2 vienai ašiai. Vieno jutiklio duomenų nuskaitymo trukmė apie 60  $\mu$ s.



2.9 pav. Magnetinio jutiklio veikimo laikinė diagrama.

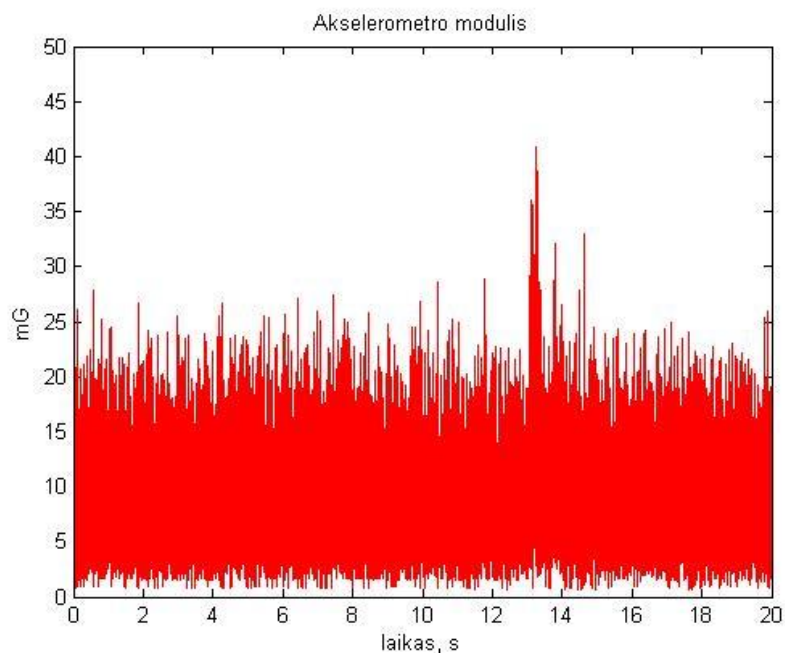
Iš laikinės diagramos matyti, kad nuskaičius vieną jutiklį pradedamas skaityti sekantis. Pirmojo takto metu, iki 500  $\mu$ s, nuskaitymi 4 jutikliai ir laukiama antro takto pradžios. Antro takto metu nuskaitymi likę 4 jutikliai, kiekvieno jutiklio duomenys perskaičiuojami pagal adaptyvų algoritmą, duomenys sudedami į masyvą ir paleidžiamas DMA kontroleris duomenų siuntimui. Duomenų siuntimas vykdomas fone, todėl siuntimo metu galima nuskaityti ir apdoroti naujas jutiklių reikšmes pagal anksčiau minėtą adaptyvų algoritmą.

### 2.3. Duomenų surinkimas iš pjezoelektrinių gėmbių

Duomenų surinkimo algoritmai esantys mikrovaldikliuose yra panašūs, esminis skirtumas yra naudojamos sąsajos duomenų nuskaitymui. Pjezoelektrinių gėmbių jutiklių koncentratorius naudoja analogas-kodas keitiklio (ADC) prievadą, taip pat su tiesioginės atminties prieigos valdikliu. Analogas-kodas keitiklio matavimai yra taktuojami vidiniu laikmačiu. Programa veikia pagal baigtinio automato būsenas pavaizduotas 2.6 pav.. Laikmatis generuoja pertrauktis kas 500  $\mu$ s. Įvykus pertraukties signalui pradedamas įtampos matavimas įjungtuose jėjimo prievaduose. Gautos skaitinės vertės perskaičiuojamos į įtampos reikšmes mV pagal atraminę įtampą. Įvykus antrai pertraukčiai pereinama į būseną *Pertrauktis už 500  $\mu$ s* ir vėl vykdomas matavimas. Tokiu būdu pasiekiamas 2 kHz diskretizavimo dažnis. Nuskaičius duomenis, jie supakuojami kartu su pirmo ciklo duomenimis į vientisą paketą ir išsiunčiami per USART sąsają.

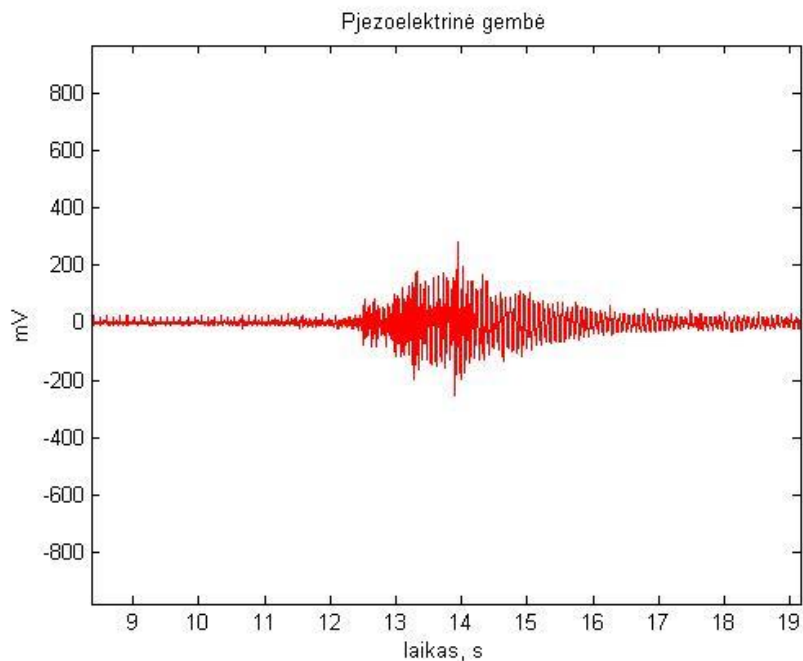
### 2.4. Užregistruotų signalų pavyzdžiai

Siunčiamus duomenis surenka kompiuteris naudojant sukurtą specialią programinę įrangą. Užregistruoti failai saugomi csv formatu. Užregistruotos transporto priemonės akselerometro signalas pateikiamas 2.10 pav., pjezoelektrinio jutiklio signalas 2.11 pav. Akselerometro modulio signalas pasižymi mažu santykiu signalas-triukšmas. Siekiant išgauti naudingą informaciją galima atlikti dažninę analizę, suprojektuoti ir pritaikyti skaitmeninius filtras.



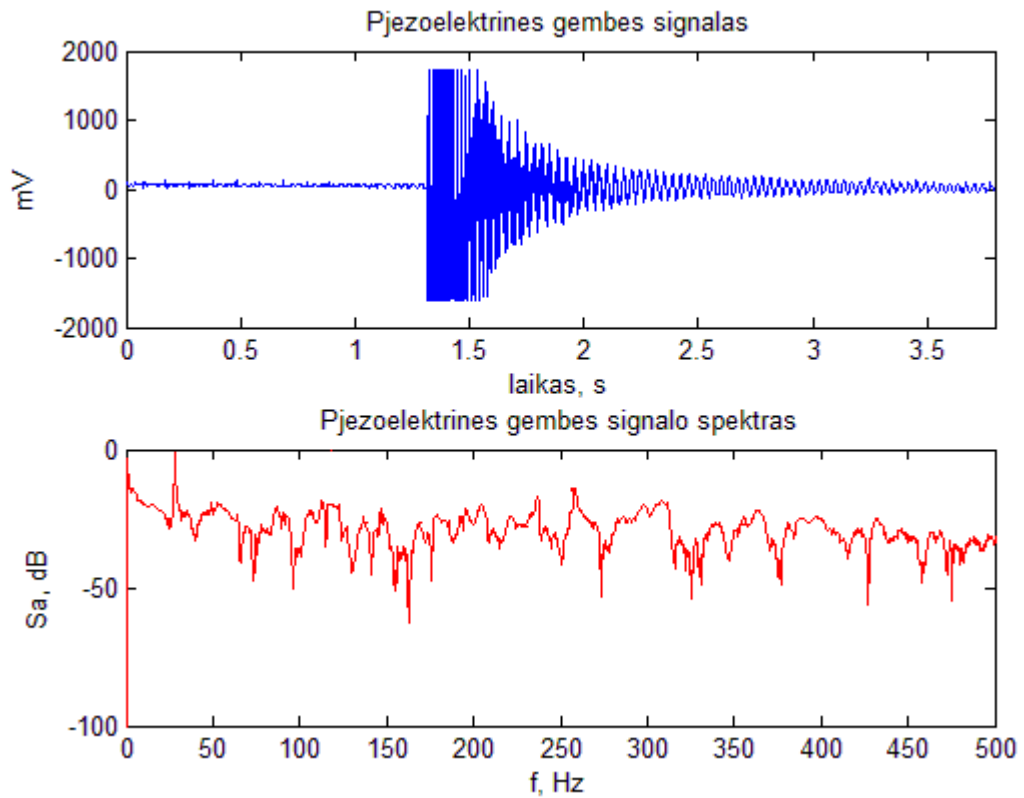
**2.10 pav.** Akselerometro modulis pravažiuojant lengvajam automobiliui.

Gembės signalai be pradinio apdorojimo yra informatyvesni lyginant su akselerometru. Judančių TP sukeltųjų vibracijų signalas nėra stacionarus, todėl siekiant išskirti vertingus požymius gali būti panaudojama laikinė analizė, dažninė analizė, laiko-dažnio analizė.



**2.11 pav.** Pjezoelektrinės gembės signalas pravažiuojant lengvajam automobiliui.

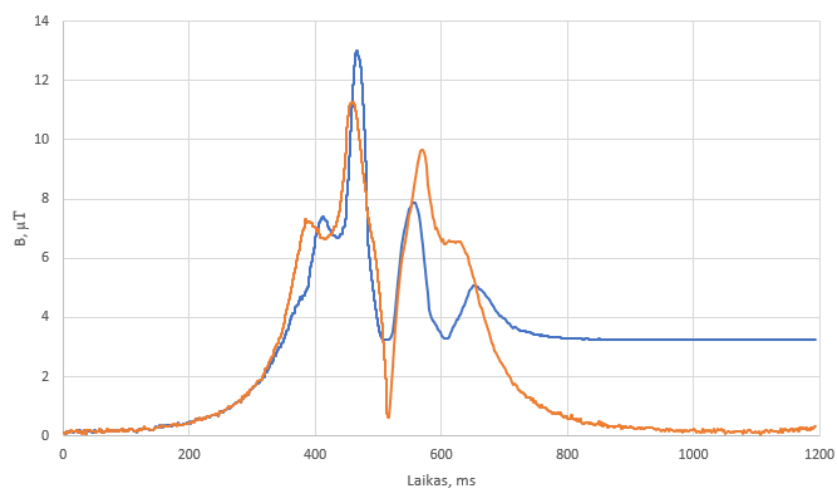
Įtvirtintą pjezoelektrinę gembę paveikus vienetiniu impulsu nustatyta, kad gembės rezonansinis dažnis yra 29 Hz. Gembės signalas ir spektras pavaizduoti 2.12 paveiksle. Šis rezonansinis dažnis yra artimas užregistruotų vibracijų dažniui, todėl galima panaudoti skaitmeninius filtrus pašaliniams dažniams prislopinti



**2.12 pav.** Pjezoelektrinės gembės rezonansinė charakteristika paveikus vienetiniu impulsu.

Remiantis Artūro Vyčo magistriniu darbu [13], iš dviejų žinomu atstumu patalpintų magnetinių jutiklių naudojant įvairius metodus galima tiksliai nustatyti transporto priemonės greitį. Magnetinių jutiklių užregistruotos signalūros nesuteikia tikslios informacijos apie transporto priemonės ilgį, nes sunku spręsti kurioje signalūros vietoje transporto priemonė atsidūrė detekcijos zonoje, ir kurioje vietoje ją paliko. Magnetiniai jutikliai nesuteikia tikslios informacijos apie transporto priemonių ašių skaičių.

Tai pačiai transporto priemonei pravažiuojant pro magnetinius jutiklius skirtingais atstumais nuo ašinės linijos, gaunamos skirtingos magnetinės signalūros. Tai apsunkina transporto priemonių klasifikavimą. Didžiausia problema yra kai transporto priemonė ratais važiuoja per sensorių lenkimo manevro metu arba apvažiuojant kliūtį. Gaunamos magnetinės signalūros yra iškreiptos ir tarpusavyje nekoreliuoja. Iškreiptos signalūros pavyzdys pateikiamas sekančiame paveiksle.

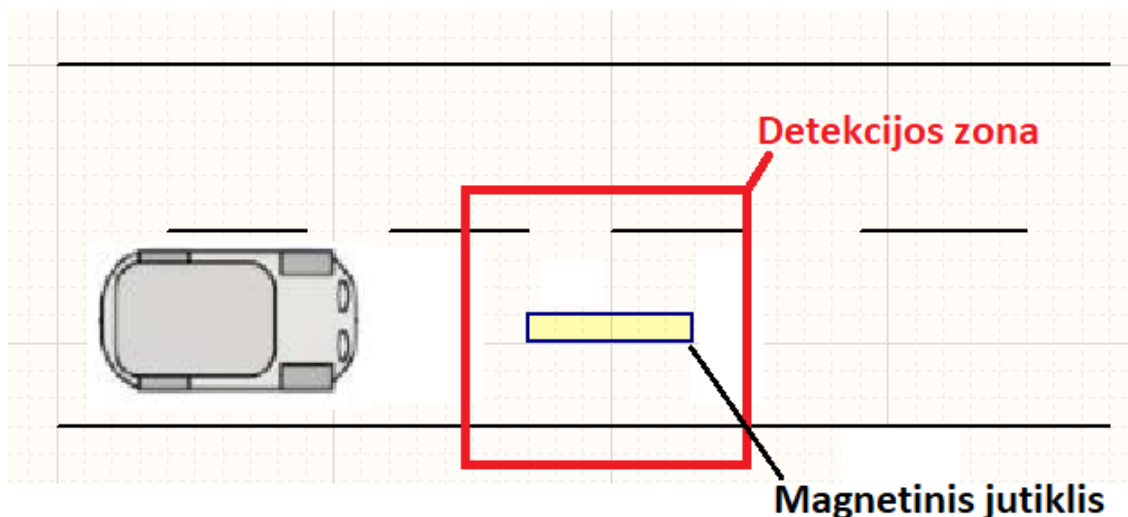


**2.13** pav. Iškreipta magnetinė signatūra.

Iš paveikslo matyti, kad pirmo ir antro sensorių signalai išsikreipia. Turint iškreiptą signatūrą atsirastų greičio skaičiavimo paklaidos. Tokiu atveju greičio skaičiavimo algoritmas turi iš anksto atpažinti, kad signatūra sugadinta ir imtis tam tikrų priemonių. Jei yra galimybė, reikėtų naudoti kitų kelio dangoje esančių sensorių signalus. Jei nėra galimybės naudoti kitų sensorių, tuomet galimas skaičiavimas iš vieno magnetinio jutiklio signalo nuspėjant transporto priemonės patekimo į detekcijos zoną ir išvažiavimo iš zonos ribas.

### 3. Transporto priemonių ilgio nustatymo metodų tyrimas

Tiriamą transporto priemonių duomenų bazę sudaro užfiksuotos magnetinės signalūros, apskaičiuotas preliminarus greitis ir ilgis, transporto priemonių nuotraukos. Remiantis užfiksuota nuotrauka yra identifikuojamas transporto priemonės modelis ir įvairiose techninėse specifikacijose (pavyzdžiui <https://www.cars-data.com/>) randamas tikras transporto priemonės ilgis. Preliminarus TP ilgis yra apskaičiuojamas pagal greitį ir TP priemonės buvimo detekcijos zonoje taškų skaičių. Šiame skyriuje aprašomi bandomi metodai siekiant rasti tiksliausią detekcijos zonos taškų (3.1 pav.) skaičių siekiant sumažinti TP ilgio apskaičiavimo paklaidą.

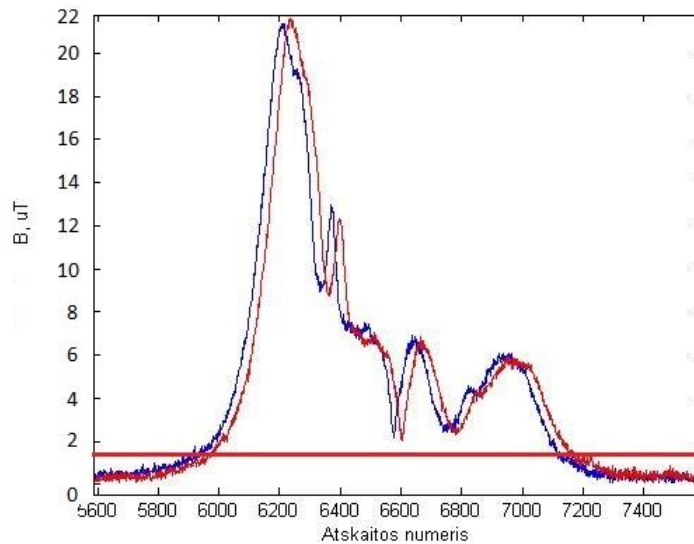


3.1 pav. Transporto priemonės įvažiavimas į detekcijos zoną

Detekcijos zona apibrėžiama kaip plotas aplink magnetinį jutiklį. Fiksuojama, kad TP pateko į detekcijos zoną kai magnetinio jutiklio modulio signalas viršija nustatytą slenkstinę vertę. Analogiškai išvykimas iš zonos fiksuojamas, kai signalas nukrenta žemiau slenkstinės vertės. Detekcijos zonos taškų skaičius priklausys nuo parinktų slenkstinių verčių.

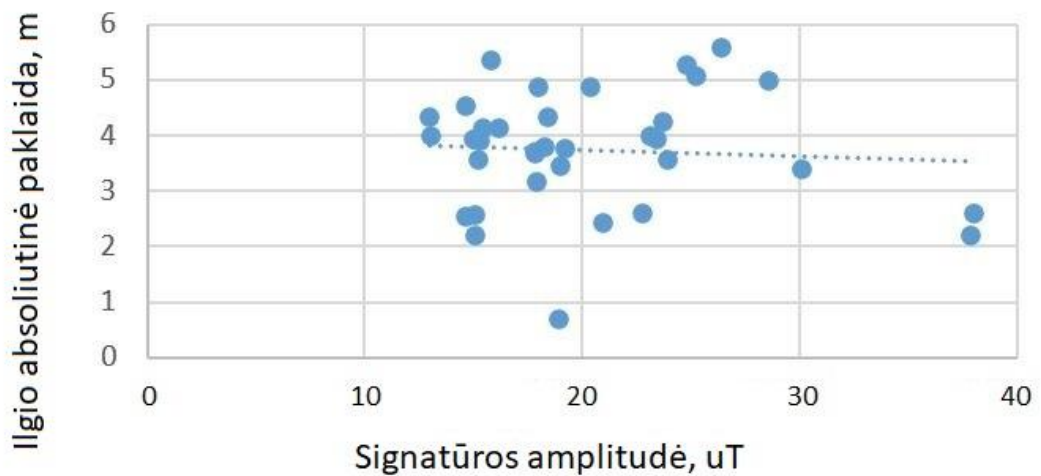
#### 3.1. Ilgio nustatymas naudojant fiksuotą slenkstį

Naudojant fiksuotą slenkstinę vertę preliminarus taškų skaičius apibrėžiamas kaip dviejų fiksuotų taškų kai buvo kiršta slenkstinė vertė skirtumas. TP signalūros ir slenkstinės vertės pavyzdys pateiktas 3.2 pav.



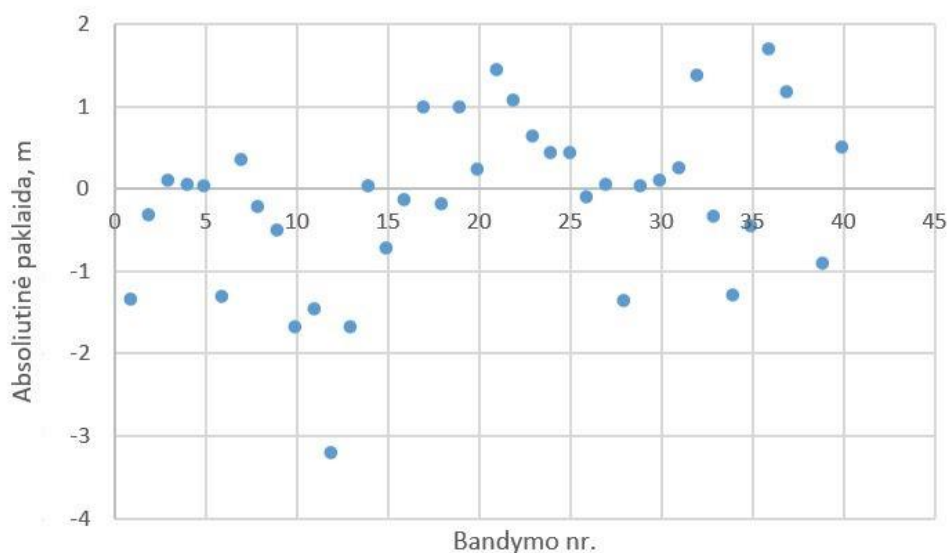
**3.2 pav.** TP signalūros moduliai ir slenkstinė vertė.

Apskaičiavus nustatyto preliminarus ilgio ir tikro ilgio absoliutinę paklaidą 44-iems lengviesiems automobiliams ir sugrupavus pagal maksimalų magnetinės signalūros amplitudės aukštį, galima teigti, kad signalo amplitudė neturi įtakos TP ilgio paklaidos nustatymui. Ilgio absoliutinės paklaidos priklausomybė nuo signalūros amplitudės maksimumo grafikas pateiktas 3.3 pav..



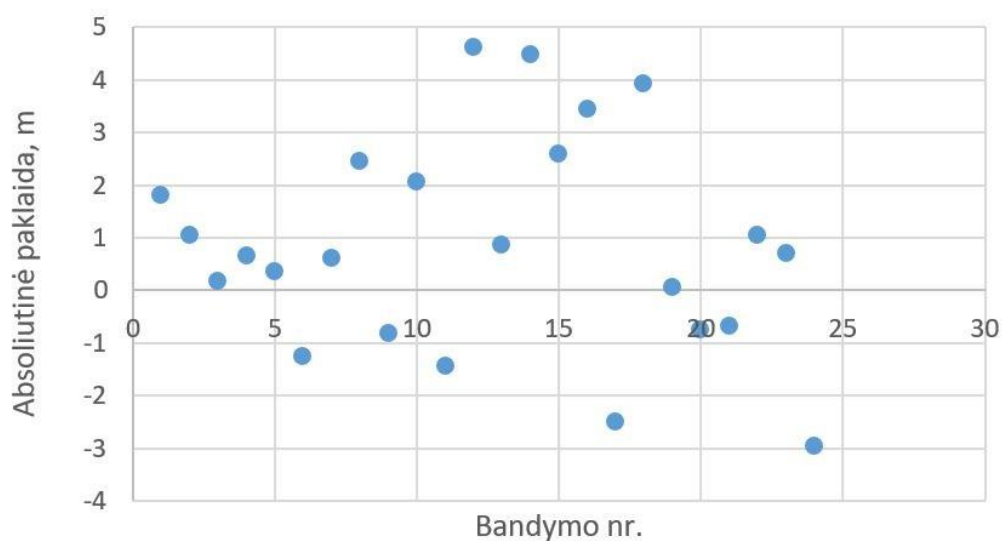
**3.3 pav.** Signalūros ilgio apskaičiavimo paklaidos priklausomybė nuo amplitudės.

Galima pastebėti, kad absoliutinių paklaidų vertės grupuojasi vienoje srityje ties 4 m - turi pradinį nuokrypį. Iš apskaičiuoto preliminarus ilgio atimama konstanta, kuri lygi paklaidos vidurkiui – 3,9 m. Absoliutinės paklaidos sklaidos diagrama pateikiama 3.4 pav.



**3.4 pav.** Preliminaraus ilgio atėmus pastovų pradinį nuokrypį absoliutinė paklaida.

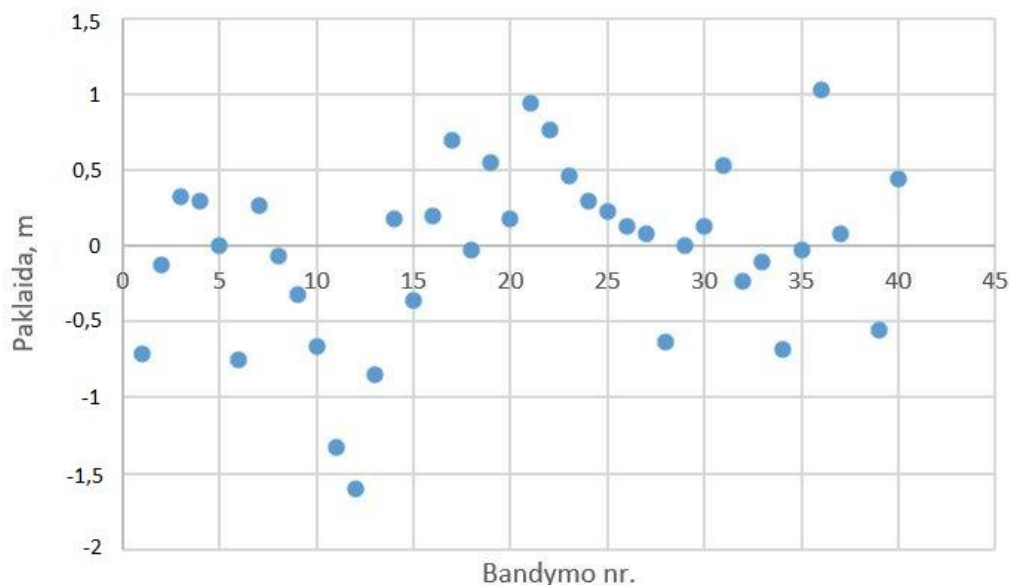
Paklaidos pakankamai didelės ir siekia  $\pm 2$  m. Nagrinėjama maža lengvųjų automobilių duomenų aibė, todėl pastovus ilgio nuokrypio atėmimas gali būti netinkamas kitos kategorijos transporto priemonėms. Atliekami analogiški bandymai sunkvežimiams ir vilkikams. Testuojamų TP ilgiai prasideda nuo 7 m. Tikro ilgio ir preliminaraus ilgio paklaidų sklaidos diagrama pateikiama 3.5 pav.. Gautos paklaidos yra ženkliai didesnės nei lengvųjų automobilių ir siekia iki  $\pm 5$  m.



**3.5 pav.** Sunkvežimių absoliutinės paklaidos grafikas.

Atliekamas preliminaraus ilgio perskaičiavimas padauginant iš pastovaus koeficiento 0,55. Šis koeficientas apskaičiuotas panaudojus turimos duomenų bazės tikrų ilgių ir preliminariai apskaičiuotų ilgių santykių vidurkį. Gautų ilgių absoliutinės paklaidos diagrama pateikiama 3.6 pav. Naudojant dauginimą iš koeficiento gautos paklaidos neviršija  $\pm 1,50$  m





**3.6 pav.** Preliminaraus ilgio padauginus iš koeficiento absoliutinė paklaida.

Nustatyta, kad apskaičiuoto transporto priemonės ilgio paklaida nepriklauso nuo signalo amplitudės. Naudojant fiksuotą slenkstį nenormuotam signalui galima pasiekti paklaidą kuri neviršija  $\pm 1,50$  m. Siekiant sumažinti šią paklaidą toliau tiriamas detekcijos zonos išskyrimo tikslinimas.

### 3.2. Transporto priemonės ilgio nustatymas naudojant magnetinės signalo išvestinę

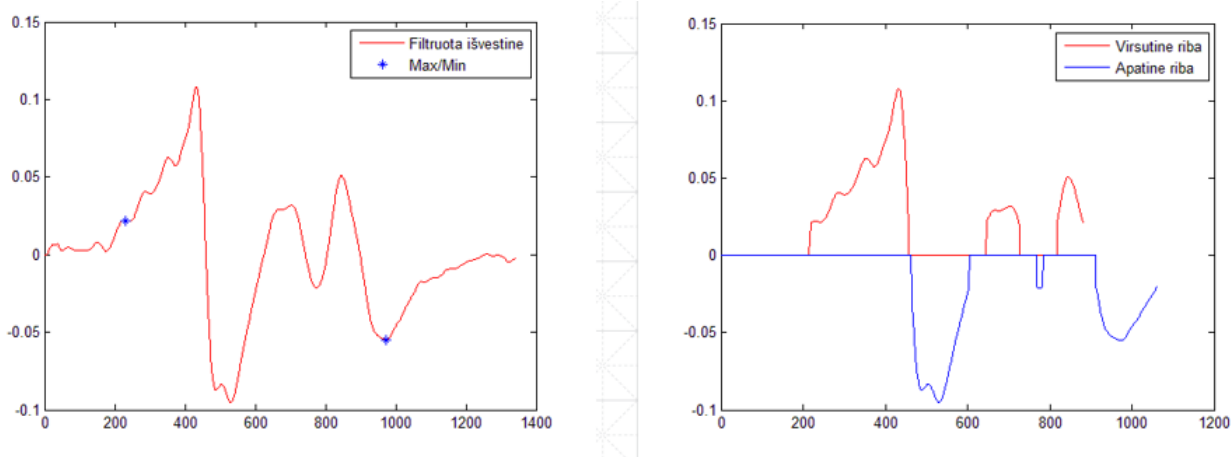
Kaip minėta anksčiau, preliminarus ilgis apskaičiuojamas pagal fiksuotą slenkstinę vertę. Siekiant sumažinti ilgio apskaičiavimo paklaidą buvo pasiūlytas ilgio nustatymo metodas naudojant magnetinės signalo išvestinę. Šiuo metodu modulio slenkščio reikšmė tampa adaptyvi. Metodo algoritmas pateiktas 3.7 pav.



**3.7 pav.** Ilgio nustatymo algoritmas naudojant signalo išvestines.

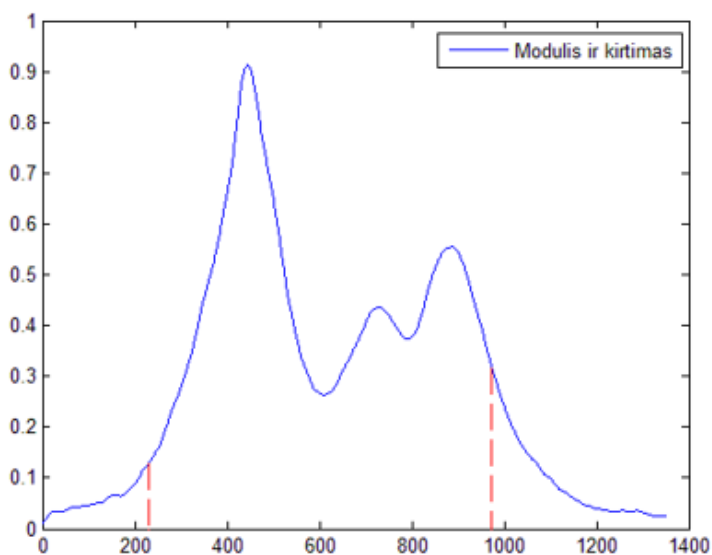
Magnetinė signalo išvestinė yra normuojama ribose nuo  $[0 .. 1]$  siekiant naudoti fiksuotą slenkstinę vertę. Signalas yra filtruojamas slenkščio vidurkio filtru iš 20 reikšmių. Skaičiuojama signalo išvestinė iš esamos atskaitos atimant reikšmę buvusią prieš 16 atskaitų. Apskaičiuotas išvestinės signalas filtruojamas slenkščio vidurkio filtru iš 30 reikšmių. Atskaitų vertės buvo parinktos empiriškai bandymų metu. Pagal užduotą slenkstinę reikšmę išskiriamos teigiamos ir neigiamos signalo vertės. Išskirtame teigiamame signale randamas pirmas maksimumas, neigiamame signale randamas paskutinis minimumas. Priimama, kad TP buvimo detekcijos zonoje laiko tarpas buvo nuo pirmo

signaluose išvestinės maksimumo iki paskutinio minimumo. Lengvojo automobilio signaluose išvestinės pavyzdys su išskirtais teigiamu/neigiamu signalu ir pradžios pabaigos taškais 3.8 pav.



**3.8 pav.** Signaluose išvestinė su išskirtais teigiamu/neigiamu signalu ir identifikuoti taškai.

Identifikuoti taškai pagal indeksus susiejami su pradiniu signaluose moduli ir pažymimi kirtimo taškai.



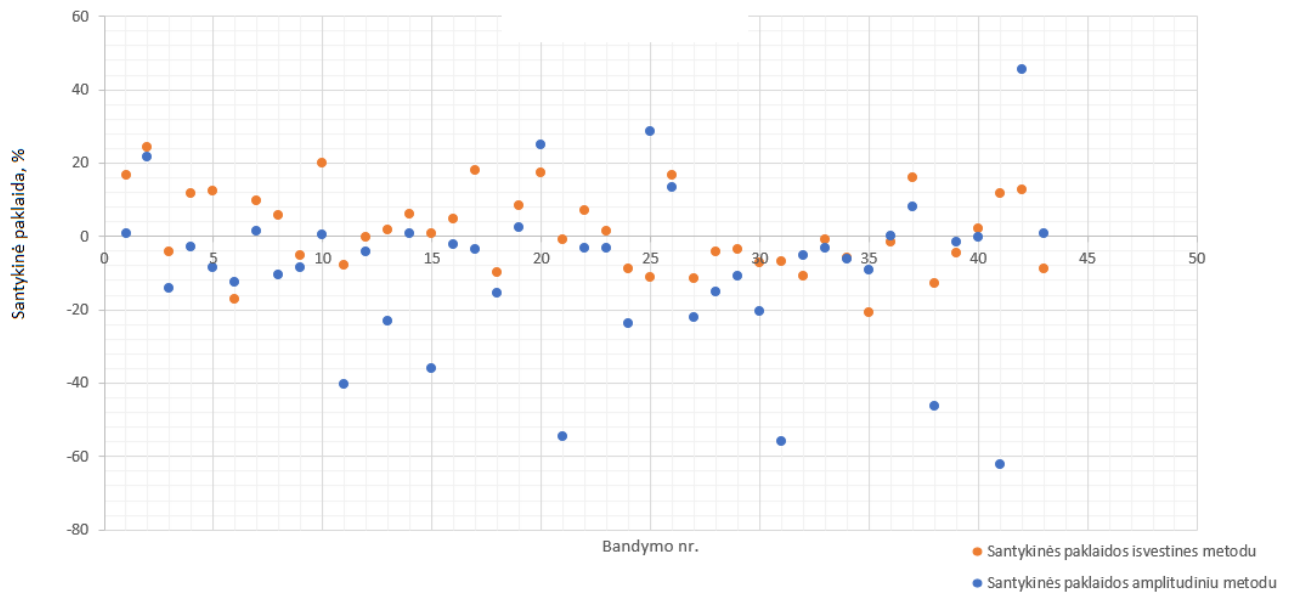
**3.9 pav.** Signaluose modulis su pažymėtais išvestinės radimo taškais.

Nustatytas atskaitų skaičius kai TP yra detekcijos zonoje priklauso nuo važiavimo greičio ir TP ilgio:

$$d = \frac{K}{f_d} \cdot \frac{v}{36}, \quad (10)$$

čia  $d$  – apskaičiuotas TP ilgis cm,  $f_d$  – diskretizavimo dažnis 2 kHz,  $K$  – taškų skaičius tarp išvestinės pirmo maksimumo/paskutinio minimumo,  $v$  – TP greitis km/h.

Atliktas ilgio skaičiavimo palyginimas 44 lengviesiems automobiliams, santykinės paklaidos pateikiamos 3.10 pav.



**3.10 pav.** Santykinės paklaidos palyginimas skaičiuojant ilgį skirtingais metodais.

Nustatyta, kad tikslesni rezultatai gaunami ilgio skaičiavimui naudojant išvestines. Šiuo metodu tiksliau išskiriamas transporto priemonės skaičius detekcijos zonoje ir skaičiuojant TP ilgį paklaida neviršija  $\pm 24\%$ , didžioji paklaidų dalis išsidėsčiusi  $\pm 15\%$  intervale.

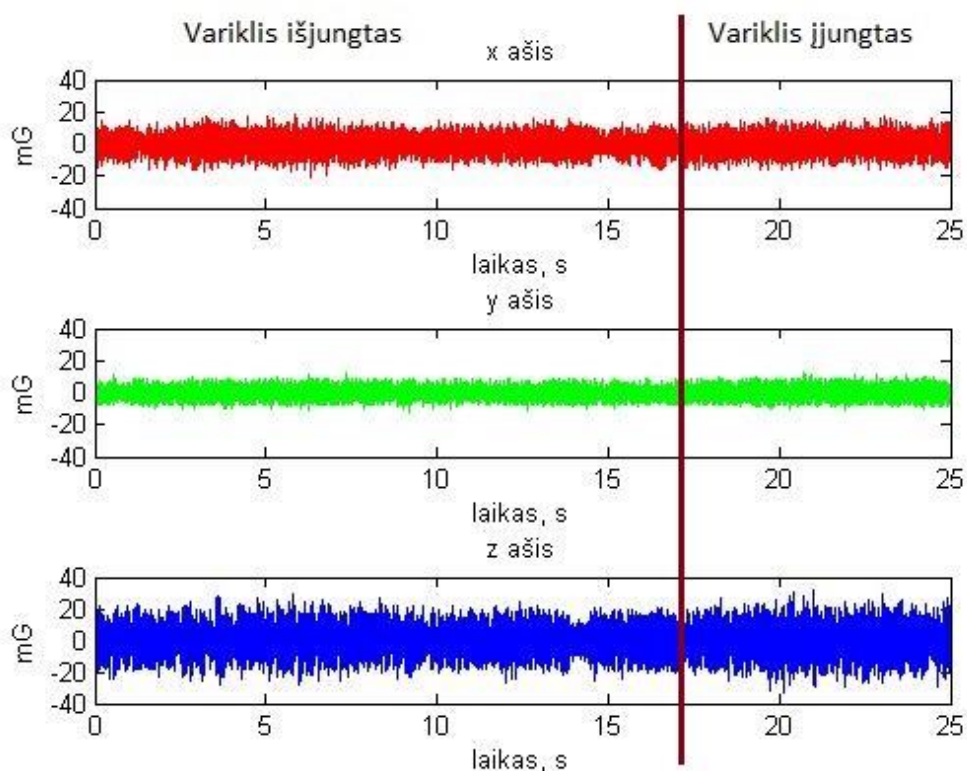
Naudojant magnetinius jutiklius transporto priemonių klasifikavimas galimas pagal apskaičiuotą ilgį. Teigiant, kad dažniausia lengvųjų automobilių ilgis neviršija 5 m, mikroautobusų 8 m, sunkvežimių su priekaba ilgis viršija 10 m klasifikavimas galimas su gauta 15 % ilgio skaičiavimo paklaida. Sekančiame skyriuje apžvelgiami metodai klasifikavimui atlikti panaudojant transporto priemonių sukeltų vibracijų signalus ir neskaičiuojant ilgio.

#### 4. Vibracijos jutiklių signalų analizė

Ankstesniame skyriuje analizuoti ilgio nustatymo metodai, skirti sužinoti tikslų transporto priemonės ilgį ir pagal tai atlikti klasifikavimą. Toliau bus analizuojami metodai leidžiantys atlikti klasifikavimą fiksuojant transporto priemonės sukiamas vibracijas ir nenustatant tikslaus ilgio. Naudojamas skaitmeninis akcelerometras ir pjezoelektrinės gembės sensorius aprašyti ankstesniuose skyriuose.

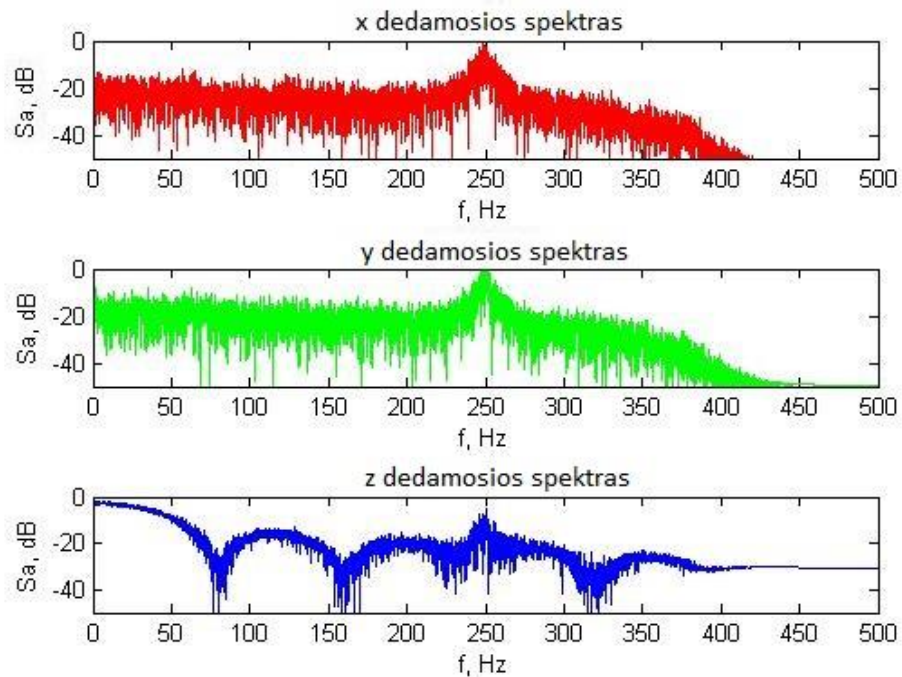
##### 4.1. Akcelerometro signalų analizė nejudančiai transporto priemonei

Jutiklių blokas įdedamas 10 cm gylyje nuo kelio dangos paviršiaus. Automobilio priekis sutampa su jutiklių bloko centru. Užregistruoti akcelerometro ir gembės signalai esant išjungtam varikliui, įjungtam ir keičiant variklio sūkių dažnį kas 250 RPM.



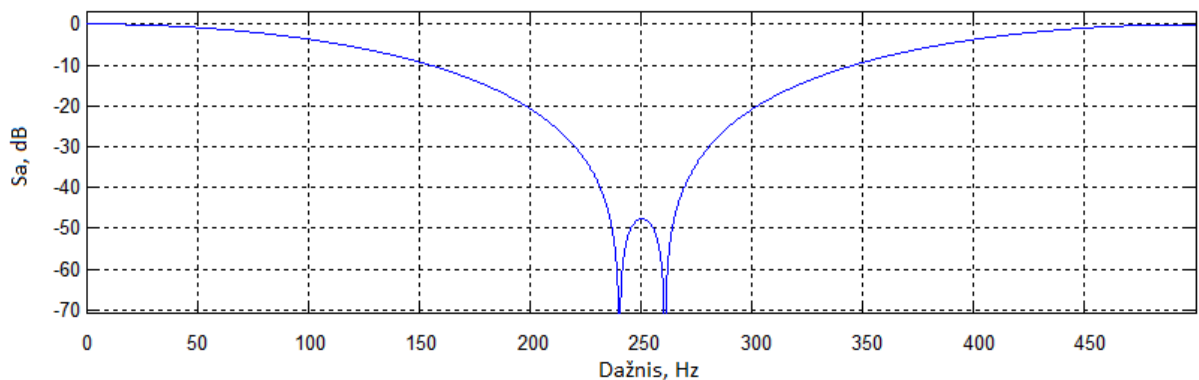
**4.1 pav.** Akcelerometro signalai esant išjungtam varikliui ir įjungtam kai sūkių dažnis 900 aps/min.

4.1 pav.eiksle pavaizduoti akcelerometro signalai esant išjungtam TP varikliui. Variklio įjungimas įvyksta 17 grafiko sekundę. Signalas prieš ir po pasikeičia nežymiai, todėl iš laikinio signalo sunku spręsti apie vykstančius procesus. 4.2 pav.eiksle pavaizduotas spektras signalo laiko momentu 0 – 5 sekundžių. Tuo metu TP variklis ir visi prietaisai buvo išjungti, todėl šis signalas laikomas kaip triukšmo įvertis.



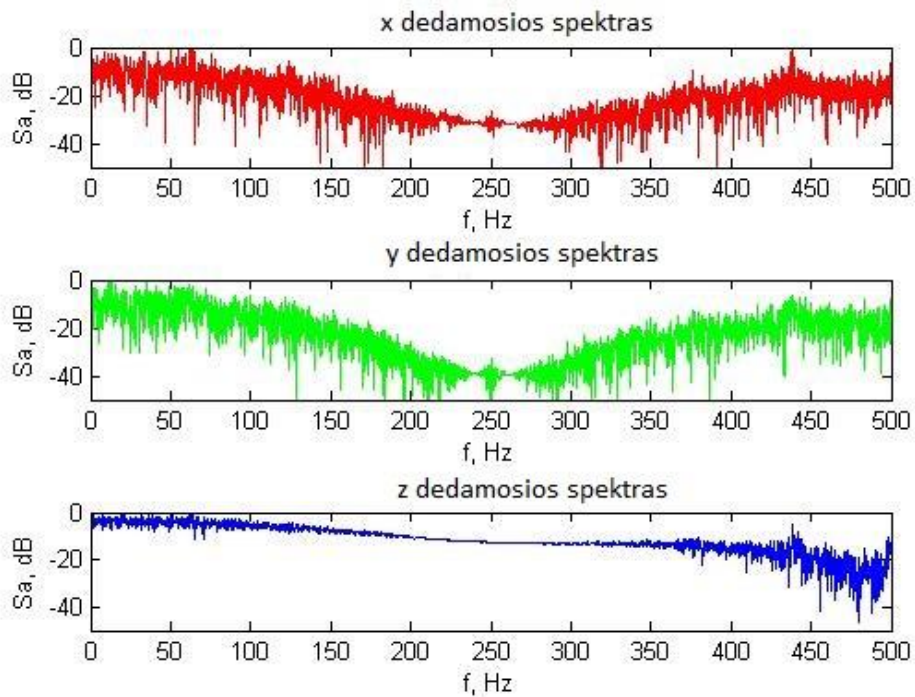
4.2 pav. Akselerometro triukšmo spektras.

Iš spektrinių dedamųjų galima pastebėti, kad triukšmas trimis ašimis atsikartoja ir daugiausiai pasireiškia ties 250 Hz. Siekiant pašalinti triukšmo įtaką buvo suprojektuotas skaitmeninis užtvarinis filtras. Filto dažninė charakteristika pateikiama 4.3 pav.. Tai ketvirtos eilės ribotos impulsinė reakcijos (FIR) lygiabangis užtvarinis filtras.



4.3 pav. Užtvarinio filtro dažninė charakteristika.

4.4 pav.eiksle pavaizduoti filtruotų signalų spektrai. Akselerometru užregistruotos vibracijos pasireiškia žemuose dažniuose, todėl po filtro žemo dažnio signalai pasižymi geresniu santykiu signalas triukšmas.

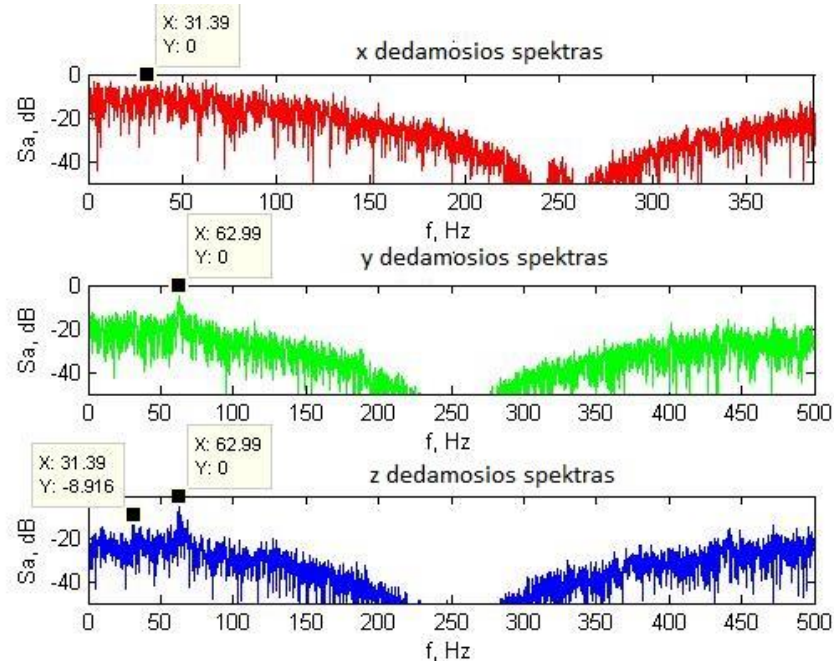


4.4 pav. Filtruoto fono signalo spektras.

Ijungus transporto priemonės variklį ir fiksuojant pastovius sukčius 900 aps/min signalų spektrai pateikiami 4.5 paveiksle. Priimama, kad užregistruotų vibracijų dažnis tiesiogiai proporcingas variklio alkūninio veleno apsisukimų dažniui, kumštelinio veleno dažnis yra dvigubai didesnis. Pagrindinis dažnis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f = \frac{RPM}{60}, \quad (12)$$

čia  $f$  – dažnis Hz,  $RPM$  – aps/min.



4.5 pav. Signalų spektrai kai variklio apsisukimų dažnis 900 aps/min.



Spektre pagrindinis variklio dažnis neatsispindi, tačiau ryškiai matosi antra ir trečia harmonikos. 4.1 lentelėje pavaizduotos dominuojančios harmonikos signaluose esant skirtingiems sūkių dažniams.

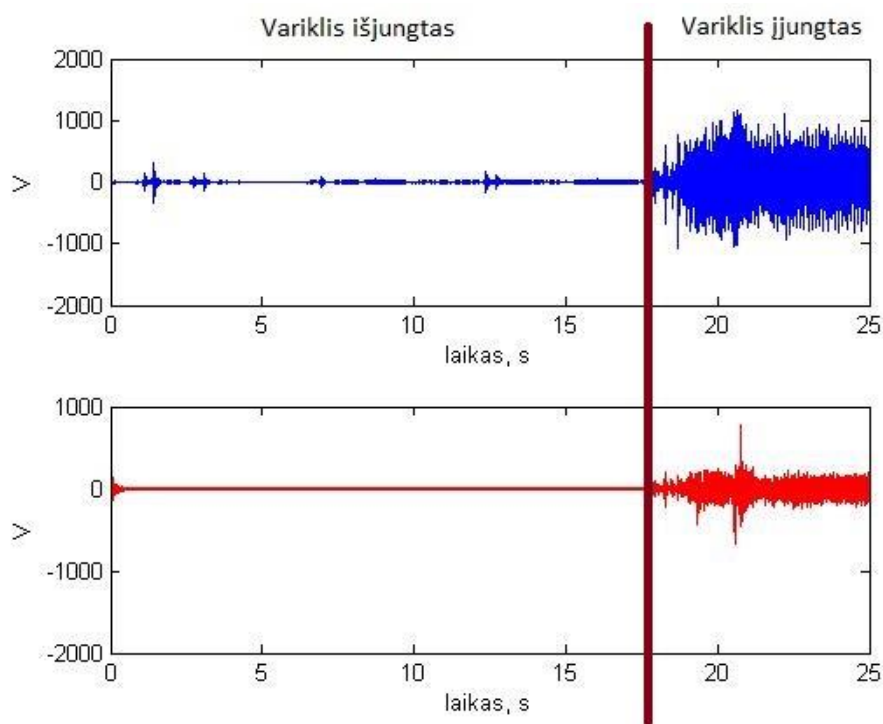
4.1 lentelė. Akselerometro dominuojančios harmonikos esant skirtingiems variklio sūkiams.

Aps/min	Dominuojanti harmonika		
	x ašis	y ašis	z ašis
1000	2	4	4
1250	4	-	3
1500	-	-	2
2000	2	2	2

Tam tikrose ašyse ir dažniuose nėra vyraujančių harmonikų. Taip pat nėra vienos vyraujančios harmonikos, todėl sunku būtų nustatyti variklio apsisukimo dažnį naudojant tik akselerometrą.

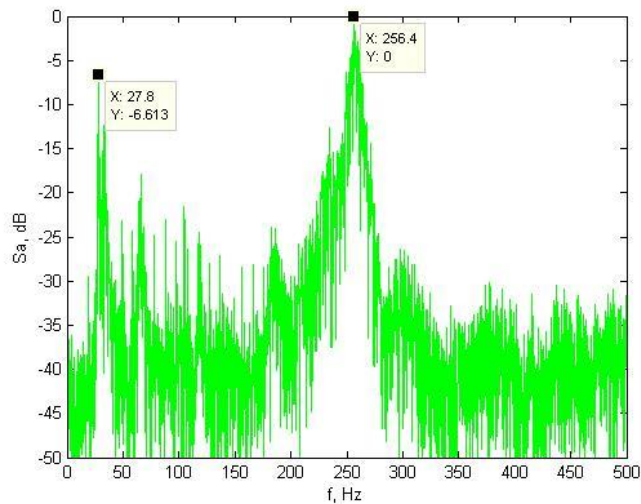
#### 4.2. Pjezoelektrinės gembės signalo analizė nejudančiai transporto priemonei

Analogiškai akselerometrui įvertinamas pjezoelektrinės gembės signalas, kuris pateikiamas 4.6 pav. Pjezoelektrinė gembė pasižymi geresniu santykiu signalas-triukšmas, todėl akivaizdžiai išskiriamas variklio įjungimo momentas.



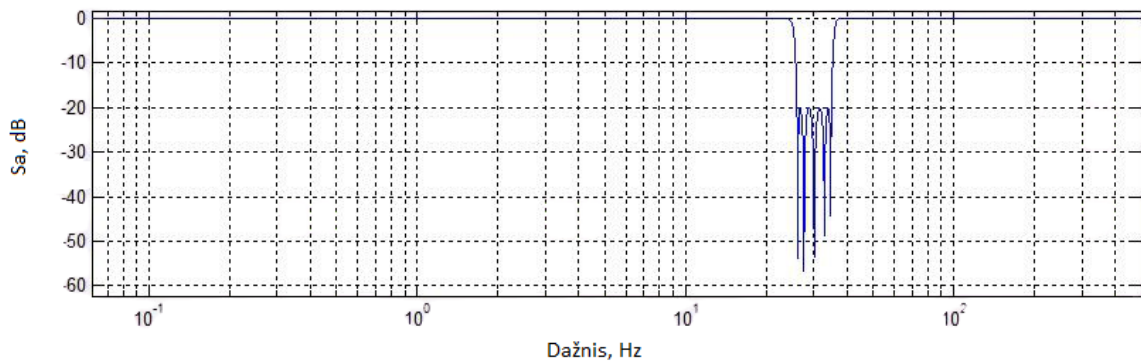
4.6 pav. Gembės signalas ir filtruotas signalas esant išjungtam varikliui ir užvedimo metu

Registruojant aplinkos triukšmą pasireiškia pašaliniai triukšmai susieti su gembės rezonansiniu dažniu, todėl pradinio signalo apdorojimui naudojami užtvariniai filtrai.



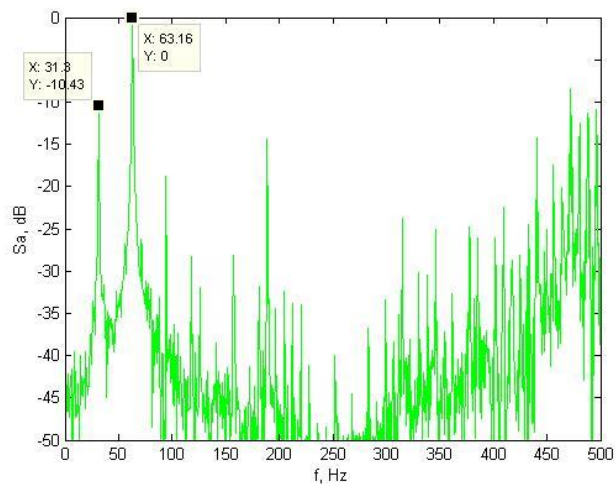
**4.7 pav.** Gembės triukšmo signalo spektras.

Aplinkos signalo triukšmo spektras pavaizduotas 4.7 pav. Gembės triukšmo signalo spektras. Siekiant sumažinti šių dažnių įtaką naudojamas anksčiau naudotas užtvarinis filtras ir dar vienas užtvarinis filtras 28 Hz dažniui. Filto amplitudinė dažninė charakteristika 4.8 pav.



**4.8 pav.** 28 Hz užtvarinio filtro amplitudinė dažninė charakteristika.

4.9 pav.eiksle pavaizduotas spektras signalo atkarpos 23 – 25 sekundėmis, kai variklis dirba pastoviais sūkais. Spektre dominuojančios yra 2 ir 4 pagrindinio dažnio harmonikos.



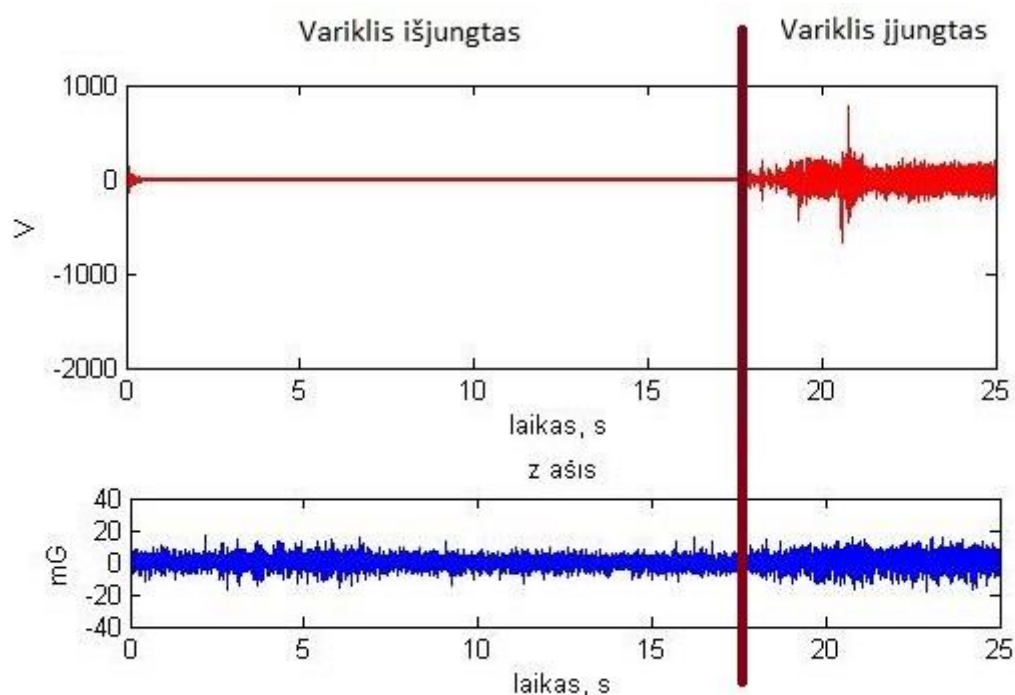
**4.9 pav.** Signalo spektras kai variklio apsisukimų dažnis 900 aps/min.



Atliekamas analogiškas akselerometrų vyraujančių harmonikų palyginimas. Rezultatai apibendrinti 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė. Gembės dominuojančios harmonikos esant skirtingiems variklio sūkiams.

Aps/min	Dominuojanti harmonika
1000	2, 4
1250	2
1500	2
2000	2

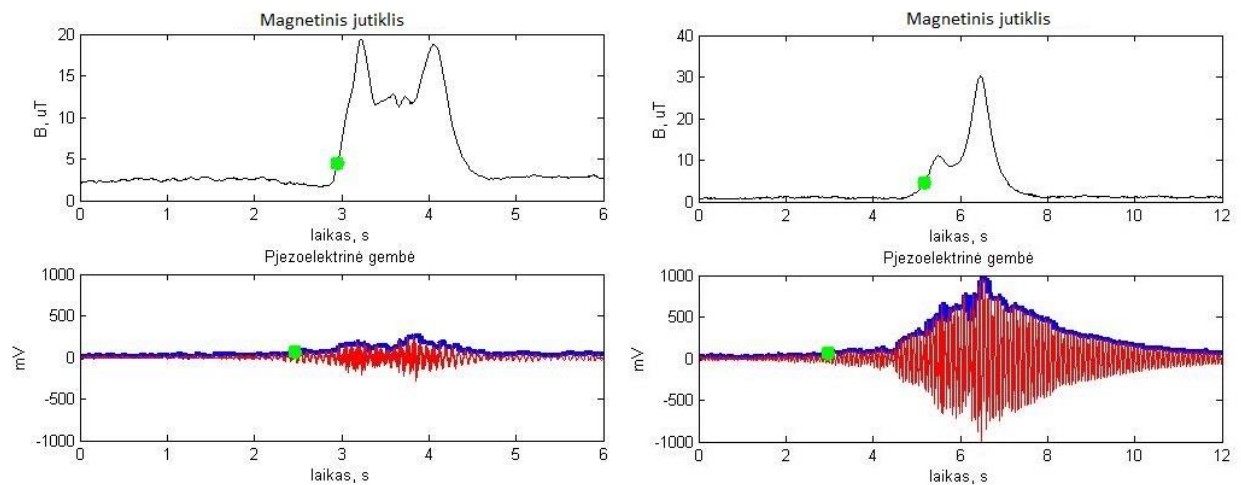


4.10 pav. Pjezoelektrinės gembės ir akselerometro z ašies signalų palyginimas.

Palyginus akselerometro ir gembės signalus transporto priemonei esant stacionariai, geresni rezultatai gaunami naudojant pjezoelektrinę gembę. Priimant, kad dažniausiai gembės užfiksuotame signale vyrauja antra harmonika, panaudojus greitąją Furjė transformaciją galima nesunkiai apskaičiuoti variklio apsisukimo dažnį. Praktinėje aplikacijoje, skaičiavimai turėtų būti atliekami pirmiausia nustačius, kada TP priekis kirto sensorių. Esant dideliame TP judėjimo greičiui gali trūkti signalo atskaitų matavimams, todėl gali tekti naudoti didesnę diskretizavimo dažnį.

### 4.3. Judančių transporto priemonių vibracijų laikinė analizė.

Pagrindiniai vibracijų šaltiniai yra TP variklis, ratai, kelio paviršius ir jo nelygumai. Atlikti bandymai kai jutiklių blokas įdedamas 10 cm gylyje žvyruoto kelio dangoje, transporto priemonės važiuoja per bloką. Bandymai atlikti su traktoriumi kurio masė 3900 kg, ilgis 3,97 m ir lengvoju automobiliu, kurio masė 1200 kg, ilgis 4,34 m. Vibracinių sensorių panaudojimo tikslas atlikti skirtingų transporto priemonių kategorijų klasifikavimą, kai ilgiai yra panašūs. Traktoriaus greitis siekė 10 km/h, lengvojo automobilio 15 km/h. Užregistruotų signalų pavyzdžiai pateikti 4.11 pav.



**4.11 pav.** Magnetinė signatūra ir pjezoelektrinės gembės signalas pravažiuojant lengvajam automobiliui (kairėje) ir traktoriui (dešinėje).

Registruojamas magnetinio jutiklio modulis ir pjezoelektrinės gembės išėjimo įtampa. Signalai filtruojami pagal anksčiau aprašytą metodiką. Skaičiuojama gembės signalo gaubtinė. Gaubtinė skaičiuojama sekant signalo nulio kirtimą. Jei signalas kerta nulį arba po užfiksuoto maksimumo signalas krenta penkis taškus iš eilės, pusperiodžio maksimumas priskiriamas gaubtinės signalui. Grafikuose žaliu tašku pažymėta fiksuoto slenksčio viršijimo pradžia, magnetinio signalo moduliui – 4,5 μT, pjezoelektrinės gembės gaubtinei 50 mV. Atlikus bandymus pastebėta, kad naudojant laikinę analizę galima išskirti du požymius sunkiasvorių TP kategorijai išskirti:

- sunkiasvorės TP gembės gaubtinė yra 2-3 kartus didesnės amplitudės nei lengvosios TP,
- laiko tarpas tarp slenksčių viršijimo sunkiasvorei TP yra kelis kartus didesnis nei lengvajai.

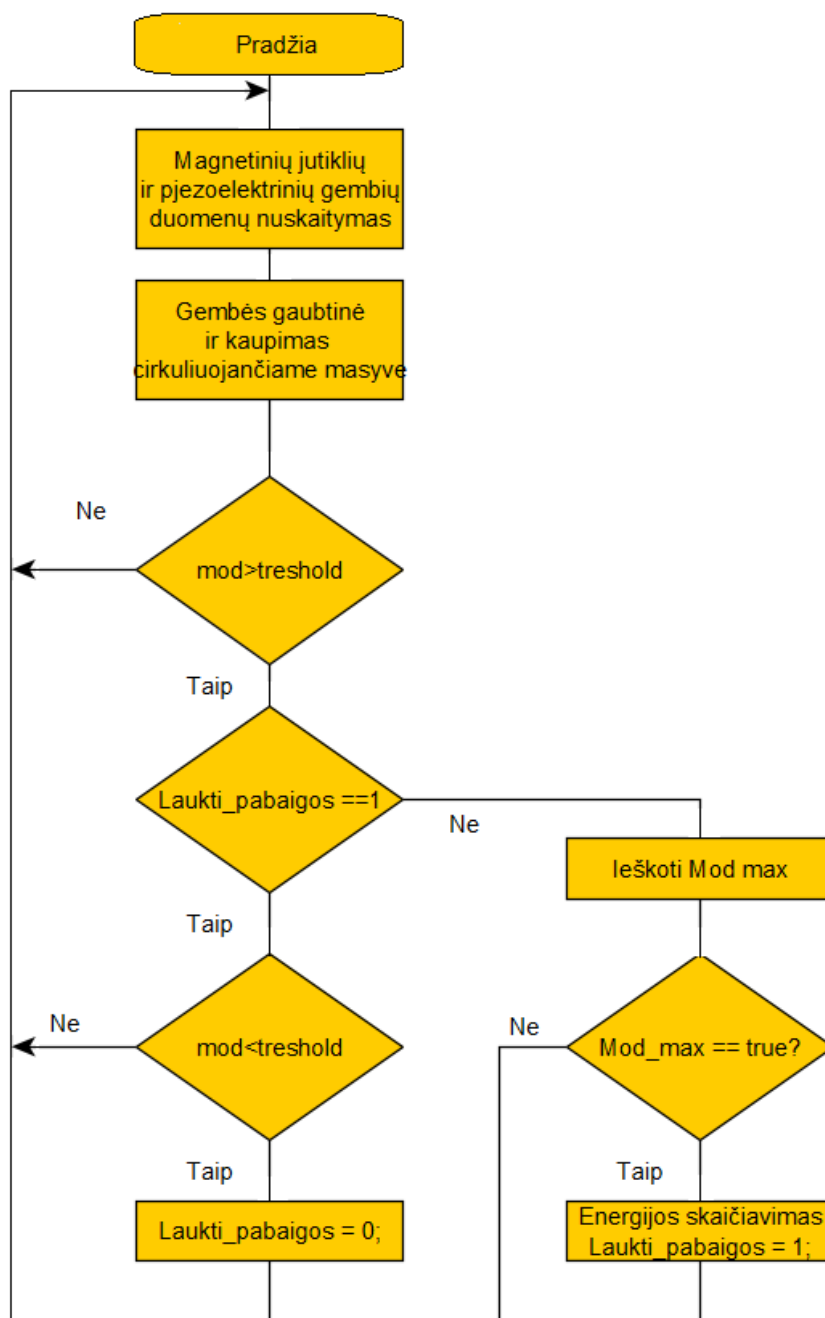
Abu požymiai yra paprastai skaičiuojami ir gali būti pritaikyti specifiniam panaudojimui – jei klasifikavimas reikalingas transporto priemonei pravažiuojant pro sensorių naudojama amplitudinis įvertinimas. Tokio klasifikavimo pavyzdys gali būti išmanios transporto sistemos greitkeluose, tarp miestinio susisiekimo keliuose, kai važiavimo greitis ilgoje atkarpoje yra nekintantis. Laikinis įvertinimas tarp fiksuotų slenksčių kirtimo pritaikomas kai reikalingas klasifikavimas TP artėjant prie sensoriaus, pavyzdžiui įvažiuojant į stovėjimo aikštelę. Abu požymiai turi trūkumų. Klasifikavimas galimas tik atsižvelgus į kelio paviršiaus savybes, laiko tarpas tarp slenksčių kirtimo priklausys nuo TP greičio.

Pjezoelektrinės gembės signalo gaubtinė suteikia naudingos informacijos apie važiuojančią transporto priemonę. Siekiant išvengti vienetinių gaubtinės impulsų skaičiuojama gaubtinės signalo normuotas vidurkis pagal formulę:

$$E = \frac{\sum_{n1}^{n2} G[n]}{n2 - n1}, \quad (13)$$

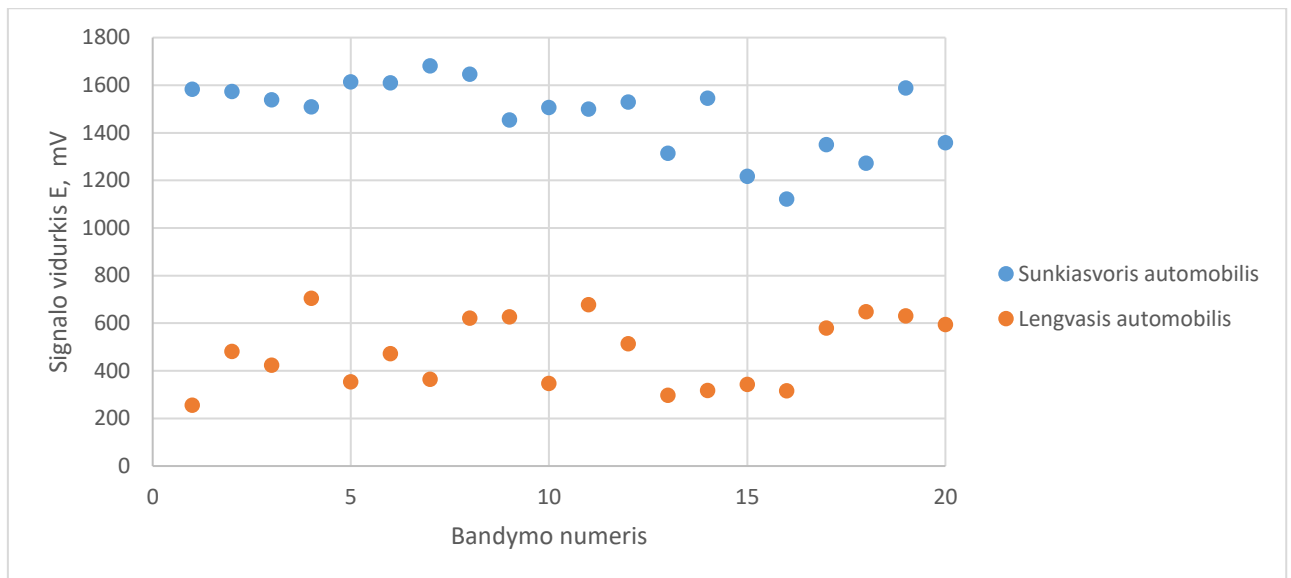
čia  $E$  – normuotas signalo vidurkis voltais,  $G$  – gembės gaubtinės signalas,  $n1$ ,  $n2$  – signalo pradžios ir pabaigos indeksai. Mikrovaldiklis fiksuoja pjezoelektrinių gembių ir magnetinių jutiklių duomenis. Kol magnetinių jutiklių signalo modulis neviršija nustatytos slenkstinės ribos kaupiama gembės gaubtinė cirkuliuojančiame duomenų buferyje išmetant seniausias reikšmes. Kai magnetinis jutiklis pradeda fiksuoti naudingą signalą, pradedamas pirmojo signatūros maksimumo ieškojimas ir užfiksuojamas laiko momentas  $n1$ . Magnetinio jutiklio maksimumas randamas, kai paskutinė identifikuota maksimali reikšmė iš eilės mažėja 10 ciklų. Cikle suradus visų magnetinių jutiklių modulių maksimumus fiksuojamas laiko momentas  $n2$ . Iš sukaupto gembės gaubtinės signalo

iškerpamas signalo fragmentas prieš magnetinio jutiklio slenksčio kirtimą ir pagal formulę (13) apskaičiuojamas normuotas signalo vidurkis. Skaičiavimo algoritmas pateikiamas paveiksle 4.12 pav.



**4.12 pav.** Gembės signalo normuoto vidurkio skaičiavimo algoritmas transporto priemonės išskyrimui panaudojant magnetinius jutiklius.

Atlikus bandymus su lengvaisiais automobiliais kurių masė iki 3,5 t ir sunkvežimiais, kurių masė viršija 4,5 t apskaičiuotų energijų rezultatai apibendrinti 4.13 pav. Kategorijos akivaizdžiai atsiskiria nustačius slenkstinę energijos ribą 900 mV.

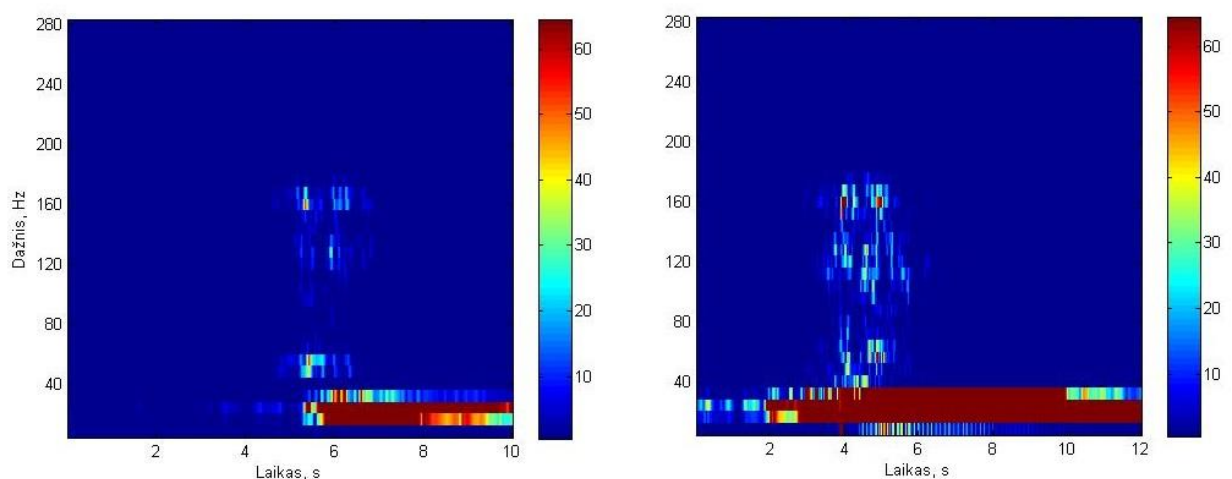


**4.13 pav.** Lengvųjų automobilių ir krovininių signalo vidurkio pasiskirstymas važiuojant per pjezoelektrinę gembę.

Sistemą naudojant skirtingoje kelio dangoje, absoliutinė signalo vidurkio slenksčio vertė turi būti atitinkamai koreguojama. Neatlikus koregavimo klasifikavimas bus klaidingas.

#### 4.4. Judančių transporto priemonių užregistruotų signalų dažninė analizė

Judančių transporto priemonių registruojamos vibracijos kinta laike, dėl to siekiant įvertinti dažnines charakteristikas skaičiuojama signalo spektrograma. Nagrinėtų lengvojo automobilio ir traktoriaus spektrogramos pateikiamos 4.14 pav. Lengvojo automobilio ir traktoriaus priekis jutiklį pasiekia penktą grafiko sekundę. Spektrograma skaičiuojama naudojant greitąją Furjė transformaciją su Hemingo langu, 120 persidengiančių reikšmių. Diskretizavimo dažnis yra 1 kHz, tačiau pastebėta, kad vibracijos ryškiausiai pasireiškia žemuose dažniuose, todėl spektrogramose atvaizduojamas galios spektrinis tankis iki 280 Hz.

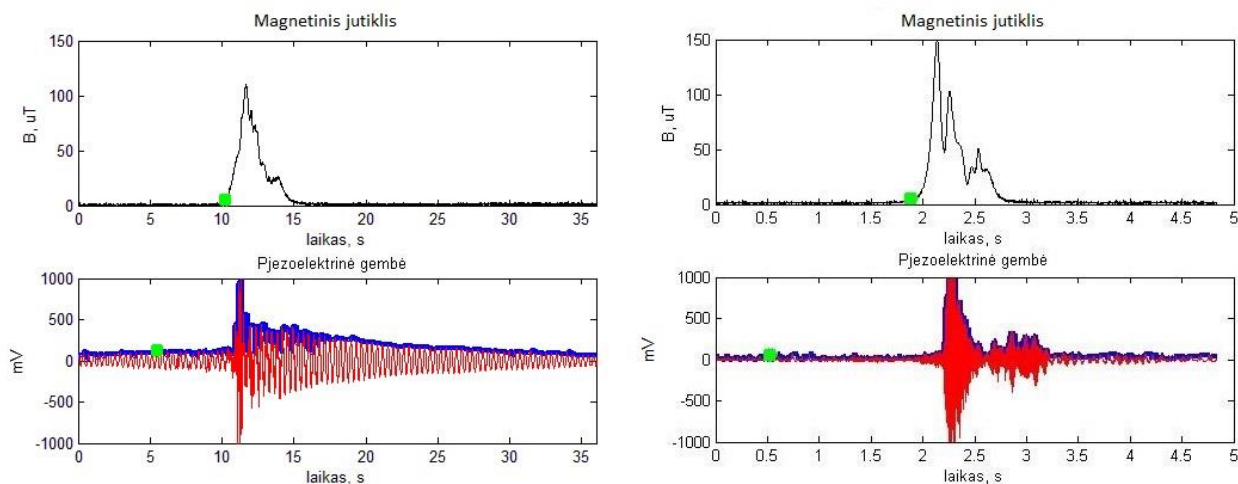


**4.14 pav.** Spektrograma pravažiuojant lengvajam automobiliui (kairėje) ir traktoriui (dešinėje)

Analogiškai laikinei diagramai TP kategorijas galima akivaizdžiai atskirti. Jutiklio užregistruotų vibracijų spektrinio tankio amplitudė pravažiavus traktoriui yra didesnė lyginant su lengvoju

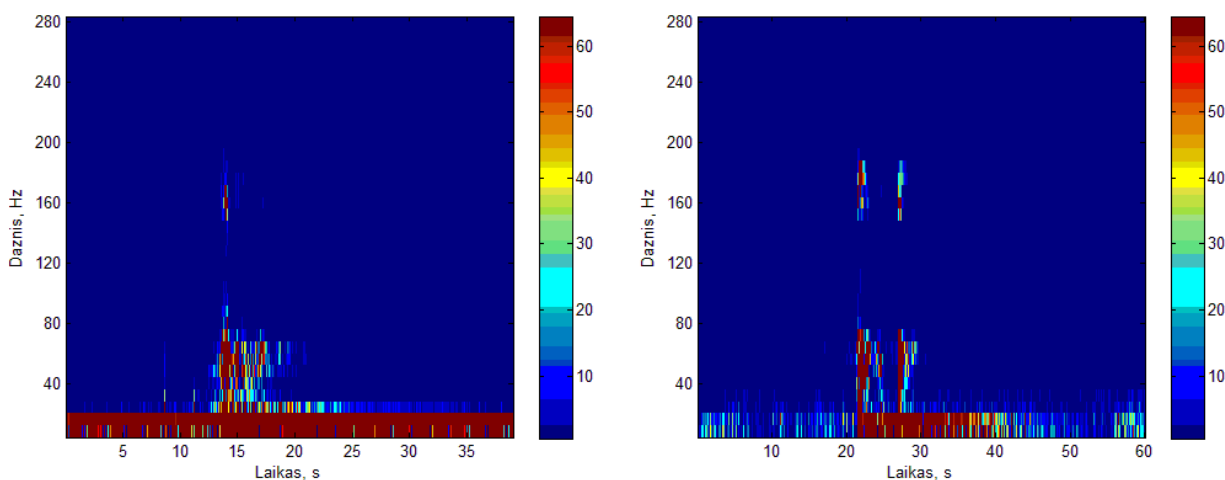
automobiliu. Didžiausia amplitudė yra dažniuose iki 35 Hz. Lengvajam automobiliui dažnių srityje nuo 50 Hz iki 120 Hz amplitudė yra 30 dB/Hz didesnė nei traktoriui.

Automobiliui, kurio masė 1485 kg, ilgis 4,78 m, pravažius skirtingomis kelio dangomis signalai pavaizduoti 4.15 pav. Lengvajam automobiliui važiuojant žvyrukeliu pjezoelektrinė gembė perėjo į rezonansą ir signalas tapo neinformatyvus. Asfalto dangoje pašalinis triukšmas yra didesnis, gembė beveik nevirpa kol automobilis nepasiekia jutiklių bloko.



4.15 pav. Signalai lengvajam automobiliui pravažius žvyruotu keliu (kairėje) ir asfaltu (dešinėje).

Nepageidaujamas perėjimas į rezonansą pavaizduotas 4.16 paveikslo spektrogramoje.



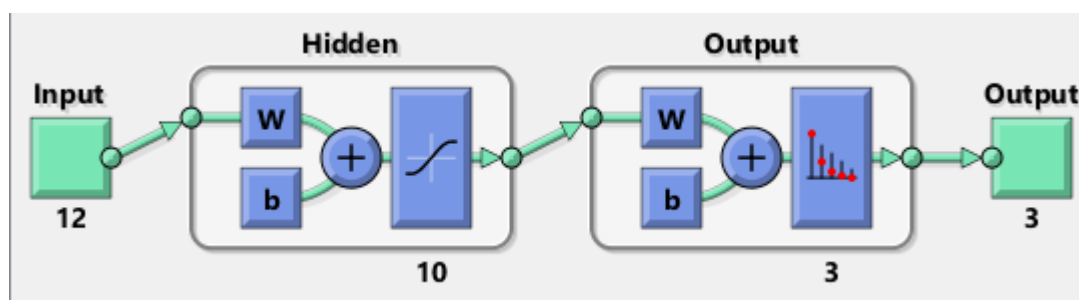
4.16 pav. Spektrograma lengvajam automobiliui pravažiuojant žvyruota kelio danga (kairėje) ir asfaltu (dešinėje).

Siekiant apsaugoti nuo nepageidaujamo perėjimo į rezonansą, reikia ištirti kelio paviršiaus sukiamų vibracijų dažnį ir pasirinkti pjezoelektrinę gembę, kurios rezonansinis dažnis nesutampa su kelio dangos. Kita alternatyva yra skaičiavimams naudoti signalą iki magnetinio jutiklio maksimumo, kol gembė neperėjo į rezonansą, tačiau tokiu atveju TP važiuojant greta, antroji bus priskirta sunkiasvorei kategorijai. Gembės perėjimas į rezonansą pastebėtas žvyruoto kelio dangoje su smulkia skalda, asfalto dangoje bandymų metu gembės rezonansas nepasireiškė.

## 5. TP klasifikavimas naudojant mašininį mokymą

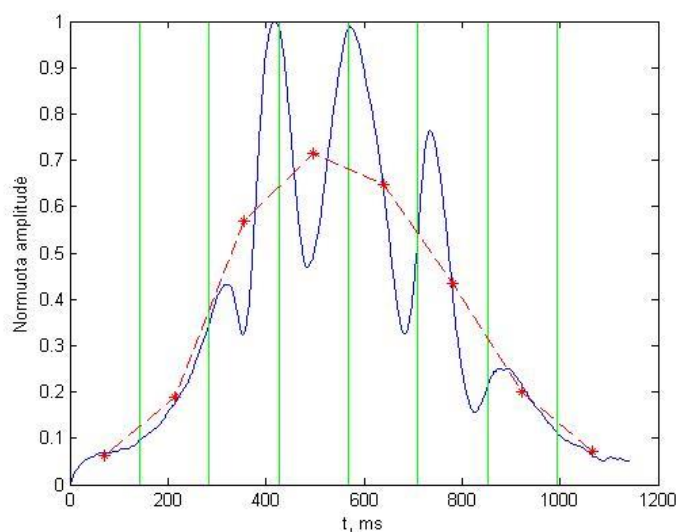
Alternatyvus metodas klasifikavimui atlikti yra naudojant mašininį mokymą. Tikslas pagal turimus duomenis apmokyti neuroninį tinklą klasifikuoti į išskirtas kategorijas. Apmokytas tinklas gavęs naujas signalūras klasifikavimą atliks autonomiškai. Klasifikavimas atliekamas pagal tam tikrus požymius skirtus algoritmo apmokymui. Turimi duomenų failai yra suskirstomi į katalogus su kategorijomis, kategorijai atliekamas požymių išskyrimas, gauti požymiai apjungiami į vieną failą ir priskiriamos rezultatų kategorijos.

Duomenų paruošimas ir mašininis mokymas vykdomas naudojant Matlab programinę įrangą. Pasirinkta naudoti dviejų sluoksnių, tiesioginio sklaidimo neuroninį tinklą su paslėpta sigmoido funkcija ir minkšto maksimumo (angl. softmax) aktyvavimo funkcija. Tinklo struktūra pateikta 5.1 pav.



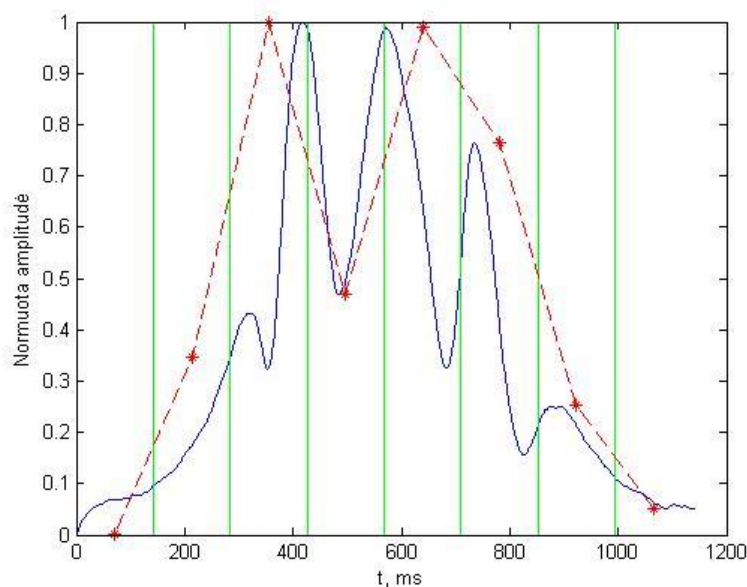
5.1 pav. Neuroninio tinklo struktūra.

Įėjimą sudaro 12 suformuotų signalūros požymių: transporto priemonės greitis apskaičiuotas pagal vėlinimą tarp signalų, signalūros taškų skaičius, maksimali amplitudė, amplitudės vidurkis ir 8 taškų suspaustos signalūros įvertis. Suspaudimu siekiama sumažinti taškų skaičių, pašalinti greičio įtaką signalūros ilgiui, išlaikyti signalo formą. Turimas filtruotas ir normuotas sensoriaus signalo taškų skaičius yra padalijamas į 8 lygias dalis. Kiekvienoje dalyje yra suskaičiuojamas vidurkis. Šis vidurkis gali įgauti reikšmę ribose nuo 0 iki 1. Padauginama iš 15 ir paliekama tik sveikoji dalis. Tokiu būdu signalūros įverti galima suspausti į 32 bitų kintamąjį vėlesniam panaudojimui įterptinėje sistemoje. Pradinio signalo ir suspausto signalo pavyzdžiai pateikti 5.2 paveiksle.



5.2 pav. Magnetinio jutiklio modulio signalas ir suspaustas signalas naudojant vidurkius.

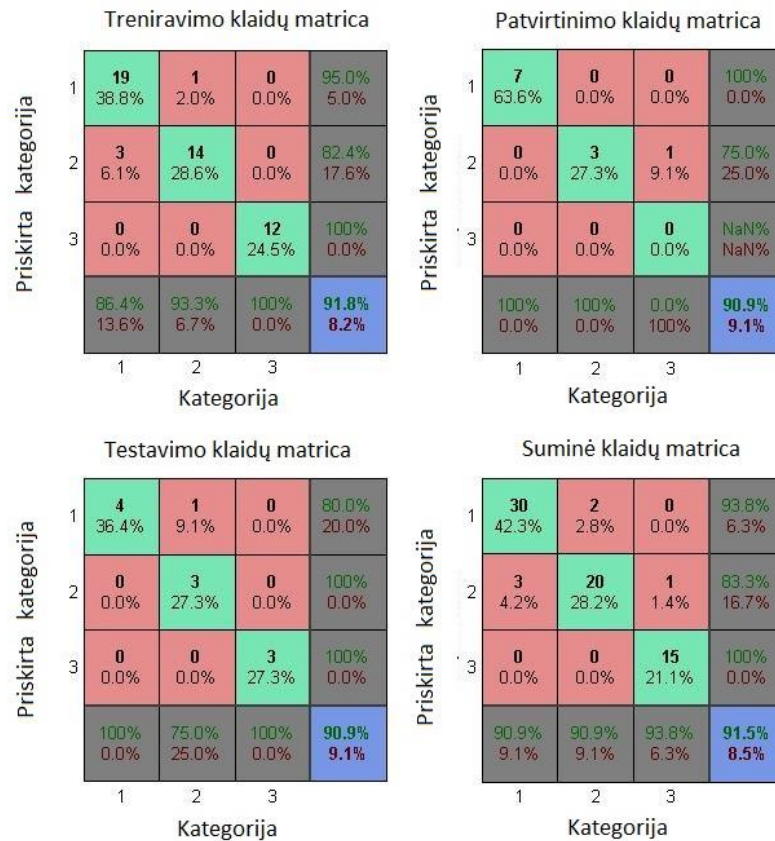
Naudojant signalo suspaudimui vidurkį išryškunami signalo pakilimai ir nusileidimai, pašalinama triukšmo įtaka, tačiau signalo minimumai ir maksimumai suspaustame signale neišryškėja ir gali nepilnai atkartoti signatūros pobūdį. Vietoj signalo atkarpų vidurkio galima būtų naudoti lokalius minimumus / maksimumus, signalo pavyzdys pateiktas 5.3 paveiksle. Tokiu būdu signatūros savybės būtų geriau perteikiamos, tačiau taškų atskyrimo algoritmas tampa komplikuoatas, nes signatūra gali būti įvairių formų.



**5.3 pav.** Magnetinio jutiklio modulio signalas ir suspaustas signalas naudojant ekstremumus.

Neuroninio tinklo mokymui panaudotos 145 transporto priemonių magnetinės signatūros. Pagal anksčiau aprašytą metodiką išskiriami požymiai ir apmokoma klasifikuoti į 3 kategorijas – lengvieji automobiliai, mikroautobusai, sunkvežimiai. Turimi duomenys paskirstomi 70 % apmokymui, 15 % patvirtinimui, 15% testavimui. Neuroninio tinklo tikslumas įvertinama naudojant klaidų matricą 5.4 pav. Apmokius tinklą papildomas testavimas vykdomas su 50 signatūrų, kurios nebuvo naudojamos apmokymui. Gauti rezultatai atitinka klaidinimo matricos įvertinimą, klasifikavimo tikslumas siekia 90 %.





**5.4 pav.** Dirbtinio neuroninio tinklo klaidų matrica.

Mašininio mokymo panaudojimas realioje įterptinėje sistemoje būtų prasmingas jei naudojami tik magnetometrai ir nėra galimybės naudoti seisminių jutiklių arba naudojama kelio dangą nėra aiškiai žinoma ir gali būti įvairi. Jei naudojamas mašininis mokymas, siekiant sumažinti elektros energijos sąnaudas judant transporto priemonei fiksuojama magnetinė signalūra yra saugoma į masyvus ir užfiksuojamas momentą kai TP palieka detekcijos zoną įvykdoma klasifikavimo funkcija. Naudojant seisminius jutiklius nėra prasmės naudoti mašininį mokymą, nes klasifikavimą galima atlikti naudojant laikinę, dažninę analizę. Taip pat galima išskirti transporto priemonės kategoriją, kol transporto priemonė artėja prie jutiklių.



## Išvados

1. Transporto priemonių duomenų registravimui plačiai naudojama induktyvinės kilpos, AMR jutikliai bei pjezoelektriniai jutikliai dėl atsparumo aplinkos įtakai. Daugiausia informacijos galima gauti iš AMR tipo jutiklių, tačiau signalo apdorojimas – sudėtingiausias. Transporto priemonių greitis apskaičiuojamas iš vėlinimo tarp dviejų užregistruotų signalų. Esant iškraipytiems signalams vėlinimo paklaidos ženkliai padidėja skaičiuojant maksimalių amplitudžių išskyrimo metodu.
2. TP klasifikavimas galimas pagal ilgį arba magnetinės signalūros signalo vidurkį. Tokio klasifikavimo metu tarpusavyje neišskiriamos autobusų, sunkvežimių, mikroautobusų kategorijos. Tikslus klasifikavimas pasiekiamas naudojant signalo suspaudimo algoritmus ir kaupiant duomenų bazę.
3. Siekiant užtikrinti reikiamą tikslumą reikalingi didelės skyros signalai. Tai užtikrinama panaudojant didelės greitaiveikos mikrovaldiklį ir efektyvų programos algoritmą. Jutiklių duomenų nuskaitymas, apdorojimas ir perdavimas į kompiuterį įvykdomas per 1 ms.
4. Pasiūlytas magnetinių jutiklių adaptyvus pradinio nuokrypio kompensavimo algoritmas užtikrina apsaugą nuo temperatūros svyravimo ir atsiradusio pašalinio įmagnetėjimo. Panaudoti skaitmeniniai filtrai pjezoelektrinėms gembėms efektyviai pašalina triukšmą.
5. TP ilgį galima įvertinti pagal laiką, kurį transporto priemonė užtruko matavimo zonoje ir nustatytą greitį. TP ilgio skaičiavimo paklaida nepriklauso nuo magnetinės signalūros amplitudės. Normuojant magnetinės signalūros amplitudės išvestinę galima naudoti fiksuotą slenkstį. Santykinė paklaida naudojant išvestinių metodą neviršija  $\pm 24\%$ . Didžioji dalis paklaidų yra išsidėstę  $\pm 10\%$  intervale.
6. Pjezoelektrinės gembės signalas judančioms ir nejudančioms transporto priemonėms pasižymi 10 kartų didesniu santykiu signalas triukšmas lyginant su akcelerometru. Klasifikavimui naudojant pjezoelektrinę gembę pakanka naudoti laikinę signalo analizę.
7. Naudojant tik magnetinį jutiklį ir mašininį mokymą klasifikavimui, galima pasiekti iki 90 % tikslumą klasifikuojant TP pagal ISO 3833-1977, neskaidant į sub-kategorijas.
8. Norint nustatyti transporto priemonės tipą kol transporto priemonė neišvažiavo iš detekcijos zonos tikslinga naudoti pjezoelektrines gembes, tačiau būtinas slenkstinių verčių kalibravimas atsižvelgiant į kelio dangos specifiką.

## Literatūros sąrašas

S.-Y. Cheung, P. Varaiya, "Traffic Surveillance by Wireless Sensor Networks: Final Report", 2007, Pp. 50-52.

Y. Ki and D. Baik, "Vehicle-Classification Algorithm for Single-Loop Detectors Using Neural Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 55, no. 6, pp. 1704-1711.

E. Naoko. "Automated vehicle detection and classification using acoustic and seismic signals.", 2010, University of York.

1. Santoso, B. Yang, C. L. Ong and Z. Yuan, "Traffic Flow and Vehicle Speed Measurements using Anisotropic Magnetoresistive (AMR) Sensors," *2018 IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG)*, Singapore, 2018, pp. 1-4.

2. Q. Wei and B. Yang, "Adaptable Vehicle Detection and Speed Estimation for Changeable Urban Traffic With Anisotropic Magnetoresistive Sensors," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 7, pp. 2021-2028, 1 April, 2017.

3. S. Kaewkamnerd, J. Chinrungrueng, R. Pongthornseri and S. Dumnin, "Vehicle classification based on magnetic sensor signal," *The 2010 IEEE International Conference on Information and Automation*, Harbin, 2010, pp. 935-939.

4. G. De Angelis, A. De Angelis, V. Pasku, A. Moschitta and P. Carbone, "A simple magnetic signature vehicles detection and classification system for Smart Cities," *2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*, Edinburgh, 2016, pp. 1-6.

5. M. Liu, W. Hua and Q. Wei, "Vehicle detection using three-axis AMR sensors deployed along travel lane markings," in *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 9, pp. 581-587

6. Sing-Yiu Cheung, Pravin Varaiya „Traffic Surveillance by Wireless Sensor Networks: Final Report", 2007 pp 91-102.

7. T. Cover and P. Hart, "Nearest neighbor pattern classification," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 13, no. 1, pp. 21-27

8. B. Sliwa, N. Piatkowski and C. Wietfeld, "The Channel as a Traffic Sensor: Vehicle Detection and Classification based on Radio Fingerprinting," in *IEEE Internet of Things Journal*,

9. B. Yang and Y. Lei, "Vehicle Detection and Classification for Low-Speed Congested Traffic With Anisotropic Magnetoresistive Sensor," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 1132-1138, Feb. 2015.

10. A. Vyčas „Transporto priemonių greičio nustatymo algoritmų, panaudojant magnetinio lauko jutiklių duomenis, sukūrimas ir tyrimas". Kauno technologijos universitetas, eLABa – nacionalinė Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka, 2018.

## Priedai

### 1 priedas. Matlab programų kodai

#### Signatūros suspaudimo funkcija.

```
function [ d ] = SuspaustSig( input, slice )
% PAgal 10 tasku pradzioj ir gale slice nusprendzia i kuria puse
% signatura juda ir ima arba max arba min

trend = mean(input(1:10)) - mean(input(slice-10:slice));
if(trend<0)
    d(1) = min(input(1:slice));
else
    d(1) = max(input(1:slice));
end

for sl=1:7
    trend = mean(input(slice*sl:slice*sl+10)) - mean(input(slice*sl-10:slice*sl));
    if(trend<0)
        d(sl+1) = min(input(slice*sl:slice*(sl+1)));
    else
        d(sl+1) = max(input(slice*sl:slice*(sl+1)));
    end
end
end
end
```

#### Transporto priemonės ilgio apskaičiavimo funkcija

```
function [Masinuos_ilgis,greitis, Kirtimo_ilgis,Greitis_given,isv_max, isv_min,
,Module1,Module1_filter,Isvestine_filter, virsutine_dalis, apatine_dalis] =
masinos_ilgis(file_csv_data)
%Kintamieji ivedimui:
isvestin_koef = 16; %tarp kiek reiksmiu daroma isvestine
isvestines_treshold = 0.02; %kiek turi virsyti kad ieskot min max
modulio_vidurkinimas = 20;
windowWidth = 30; % Lango plotis isvestines vidurkinimui
%=====
Greitis_given = file_csv_data(1,10);
Module1 = file_csv_data(:, 2);
Module2 = file_csv_data(:, 3);

MAX1 = max(abs(Module1));
Module1 = Module1 / MAX1;
MAX2 = max(abs(Module2));
Module2 = Module2 / MAX2;
Module1_filter(1) = 0.01;
%Signalo filtravimas
for i=2:1:length(Module1)
    Module1_filter(i) = Module1_filter(i-1) + (Module1(i)-Module1_filter(i-1))/modulio_vidurkinimas;
end
%Isvestines skaiciavimas naudojant moduli pirma
reiksmiu_sk = length(Module1_filter);
pask_reiksme = reiksmiu_sk - isvestin_koef;
for i=1:1:pask_reiksme
    Isvestinel(i+isvestin_koef/2) = Module1_filter(i+isvestin_koef) - Module1_filter(i);
end
%Isvestines filtravimas
kernel = ones(windowWidth,1) / windowWidth;
Isvestine_filter = filter(kernel, 1, Isvestinel);
% Isvestine_filter = Isvestinel;
%piku ieskojimas
for i=1:1:pask_reiksme
    if Isvestine_filter(i)> isvestines_treshold;
        virsutine_dalis(i) = Isvestine_filter(i);
    end
    if Isvestine_filter(i)< isvestines_treshold*-1;
        apatine_dalis(i) = Isvestine_filter(i);
    end
end
end
[piky1, pikx1] = findpeaks(virsutine_dalis);
[piky2, pikx2] = findpeaks(-1*apatine_dalis);
isv_max = pikx1(1);
isv_min = pikx2(end);

lag = finddelay(Module2, Module1);
greitis = 0.3/(lag/2000); %m/s
greitis = greitis /1000 * 3600; %km/h
```

```

Kirtimo_ilgis = pikx2(end)-pikx1(1) ; %indeksu pirmo maksimumo ir paskutinio minimumo skirtumas
Masinos_ilgis = Kirtimo_ilgis/2*greitis/36;
end

```

## Požymių paruošimas mašiniam mokymui

```

% Magnetinio paruosimas del ANN su failais nuo kelio
% formuoja atskirus report failus direktorijai
clc;
clear all;
close all;

MULTIPLE = 1; % flag ar vienas failas ar direktorija
FOTOFOTO = 0; % flag kai daro report kad darytu nuotraukas

if(MULTIPLE==0)
    % vienam failui nuskaitymui
    Default_path = [pwd, '\*.csv'];
    [file,fp] = uigetfile(Default_path,'Pasirinkite faila'); % grazina di string, pirmas failo pav,
    antras pilna direktorija
    failu_kiekis = 1;
else
    % folderio nuskaitymui
    folder_sel = uigetdir(pwd, 'Select a folder'); %pasirinkti folderi, string su direktorijos vardu.
    pwd = esama direktorija
    files = dir(fullfile(folder_sel, '*.csv')); %struktura su 5 laukais
    csv_failai_cells = extractfield(files,'name');%masyvas su .csv failu vardais
    failu_kiekis = length(csv_failai_cells);
end

%ciklas eiti per visus failus
for f=1:1:failu_kiekis
    if(MULTIPLE==0)
        duomenys = csvread(strcat(fp,file),0,0); %cia laikomi visi duomenys nuskaityti is .csv
    else
        % clear all -except f csv_failai_cells
        csv_name = csv_failai_cells{f} % cele konvertuoti i normalu string
        fullpth = strcat(folder_sel,'\',csv_name); %suformuoti normalu kelia iki failo
        duomenys = csvread(fullpth,0,0);%cia laikomi visi duomenys nuskaityti is .csv
    end
    line = duomenys(:,1);
    Module1 = duomenys(:,2);
    Module2 = duomenys(:,3);

    modulio_vidurkinimas = 20;
    Module1_filter(1) = 0.01;
    %Signalu filtravimas
    for j=2:1:length(Module1)
        Module1_filter(j) = Module1_filter(j-1) + (Module1(j)-Module1_filter(j-1))/modulio_vidurkinimas;
    end
    sig_max = max(Module1_filter); %Nenormuotas maksimumas
    sig_max = max(Module1_filter);
    sig_vid = mean(Module1_filter);
    sig_crossing = midcross(Module1);
    sig_pks = findpeaks(Module1_filter);

    Module1_filter = Module1_filter/max(Module1_filter); %Sunormuoti moduli
    %%%%%%%%%%%

%konstantos:

%pirminis flag numetimas:

%skaiciavimas:

    %Mod_crop = Iskirpt_signal(Module1_filter, 0.15);
    Mod_crop = Module1_filter;
    slice = floor(length(Mod_crop)/8);
    d(1) = mean(Mod_crop(1:slice)); % suspaudimas pagal vidurkius
    %
    %
    for sl=1:7
        d(sl+1) = mean(Mod_crop(slice*sl:slice*(sl+1)));
    end
    d = SuspaustSig( Mod_crop, slice ); %Suspaudimas naudojant min/max kitimus
    dd = round(d.*15); % privesti prie 4 bitu
    y = typecast(uint8(dd), 'uint8'); % masyvas uint8 paskaiciavimam
    SigMap = typecast(uint8(dd), 'uint8'); % masyvas uint8 tolesniam

    y(2) = bitshift(y(2),4);

```

```

y(4) = bitshift(y(4),4);
y(6) = bitshift(y(6),4);
y(8) = bitshift(y(8),4);

yy(1) = bitor(y(1), y(2));
yy(2) = bitor(y(3), y(4));
yy(3) = bitor(y(5), y(6));
yy(4) = bitor(y(7), y(8));

yyy = typecast(uint8(yy), 'uint32'); % rezultatas vienas skaicius sig ivertis..

lag = finddelay(Module2, Module1);
greitis = 0.3/(lag/2000); %m/s
greitis = greitis /1000 * 3600; %km/h
%sig_ilgis = length(Mod_crop);

[TFp TFloc] = findpeaks(Mod_crop, 'MinPeakDistance', 50, 'MinPeakHeight', 0.5);
lokalMaks = length(TFp); % kiek yra signaturoj maksimumu tasku.

[TPilgis, greitis_old, sig_ilgis] = masinos_ilgis(duomenys);
%*****rezultatu_rodymas
close all
if(MULTIPLE==1) %report formavimas
    if(FOTOFOTO==1) %nuotraukas i folderi issaugot
        F1 = figure;
            subplot(3,1,1)
                plot(Module1)
                hold on
                plot(Module2, 'r')
            subplot(3,1,2)
                plot(Mod_crop)
                hold on
                plot(TFloc, TFp, '*r');
            subplot(3,1,3)
                plot(d)
        failo_pav = csv_name(1:end-4);
        Plot_path = [folder_sel, '\fotkes\', failo_pav, '_rezult.jpg'];
        saveas(F1,Plot_path);
    end

    csvShifted = transpose(csv_failai_cells);
    Failas{f}= csv_name;
    Greitis{f} = greitis;
    SIGilgis{f} = sig_ilgis;
    Maksimumas{f} = sig_max;
    Vidurkis{f} = sig_vid;
    LocalMaks{f} = lokalMaks;
    IlgisTP{f} = TPilgis;
    SMAP1{f} = SigMap(1);
    SMAP2{f} = SigMap(2);
    SMAP3{f} = SigMap(3);
    SMAP4{f} = SigMap(4);
    SMAP5{f} = SigMap(5);
    SMAP6{f} = SigMap(6);
    SMAP7{f} = SigMap(7);
    SMAP8{f} = SigMap(8);

else %GRAFIKU piesimas
    subplot(3,1,1)
        plot(Module1)
        hold on
        plot(Module2, 'r')
    subplot(3,1,2)
        plot(Mod_crop)
    subplot(3,1,3)
        plot(d)
    dind = slice/2:slice:slice*8;
    figure
    plot(Mod_crop)
    hold on
    for l=1:7
        plot([slice*l, slice*(l+1)], [0 1], 'green');
    end
    plot(dind, d, 'r--*')
    xlabel('t, ms');
    ylabel('Normuota amplitudė');
    legend();
    F1 = figure;
    subplot(3,1,1)

```

```

        plot(Module1)
        hold on
        plot(Module2, 'r')
    subplot(3,1,2)
        plot(Mod_crop)
        hold on
        plot(TFloc, TFp, '*r');
    subplot(3,1,3)
        plot(d)
    end
    %*****flag trinimas:
    clearvars Module1_filter;
end %for ciklas
if(MULTIPLE==1) %report formavimas
    Failas = transpose(Failas);
    Greitis = transpose(Greitis);
    SIGilgis = transpose(SIGilgis);
    Maksimumas = transpose(Maksimumas);
    Vidurkis = transpose(Vidurkis);
    LocalMaks = transpose(LocalMaks);
    IlgisTP = transpose(IlgisTP);
    SMAP1 = transpose(SMAP1);
    SMAP2 = transpose(SMAP2);
    SMAP3 = transpose(SMAP3);
    SMAP4 = transpose(SMAP4);
    SMAP5 = transpose(SMAP5);
    SMAP6 = transpose(SMAP6);
    SMAP7 = transpose(SMAP7);
    SMAP8 = transpose(SMAP8);

    T = table(Failas,Greitis, SIGilgis,Maksimumas, Vidurkis,LocalMaks,IlgisTP, SMAP1,
SMAP2,SMAP3,SMAP4,SMAP5,SMAP6,SMAP7,SMAP8 );
    [parent,sub]=fileparts(folder_sel);
    filename = [pwd, '\Reportai\', sub, '-report.xlsx'];
    if exist(filename, 'file') == 2
        delete filename
    else
        % File does not exist.
    end
    writetable(T,filename,'Sheet',1,'Range','D1')
end
end

```

## Neuroninio tinklo apmokymo ir testavimo funkcijos

```

%% Merge Reports
clc;
clear all;

% folderio nuskaitymui
folder_sel = uigetdir(pwd, 'Select a folder'); %pasirinkti folderi, string su direktorijos vardu.
pwd = esama_direktorija
files = dir(fullfile(folder_sel, '*.xlsx')); %struktura su 5 laukais
failai_cells = extractfield(files,'name');%masyvas su .csv failu vardais
failu_kiekis = length(failai_cells);
CritPoint = zeros(1, failu_kiekis);

'formuojami reportai...'
%Prasukti per failus sudelioti i viena lentele viska ir rasti taskus
%kuriuose keiciasi label
for f=1:failu_kiekis
    fname = failai_cells{f};
    fullpth = strcat(folder_sel,'\',fname); %suformuoti normalu kelia iki failo
    reportas = readtable(fullpth); % nuskaityti excell lentele
    if(f==1) %pirma karta
        Suformuota = reportas;
    else
        Suformuota = [Suformuota; reportas]; %sujungti lenteles i apacia
    end
    [eil, stulp] = size(Suformuota); %suformuotos lenteles dydis
    CritPoint(f) = eil;
    formedname{f} = fname(3:end-12); % lenteles pavadinimui. Pasalina x_* ir *-report.xlsx
end
% sudelioti label ir sujungti su pagrindine lentele
[eil, stulp] = size(Suformuota);
labeliai = zeros(eil, failu_kiekis);

```

```

labeliai(1: CritPoint(1), 1) = 1;
for f=2: failu_kiekis
    labeliai(CritPoint(f-1)+1: CritPoint(f), f) = 1;
end
    %local = table(Labeliai);    %vieno stulpelio lentele
    %local.Properties.VariableNames = {fname(3:end-12)};    %pakeist lenteles pavadinimas label
localT = array2table(labeliai, 'VariableNames', formedname);
Suformuota = [Suformuota, localT];    %sujungti lenteles i desine
writetable(Suformuota, 'pozymiai.csv')
'reportai suformuoti, failas issaugotas.'
%% ANN training
clc;
clear all;

data = csvread('pozymiai.csv', 1, 1);    %Nuskaito csv praleidzia stulpeliu numerius ir data pav.

training = data(:, 2:14);    %Pasirinkti stulpelius!
target = data(:, 15:20);    %Pasirinkti stulpelius!

%Turi buti eilutes:
training = transpose(training);
target = transpose(target);

xor_train = [0 0 1 1; 0 1 0 1];
xor_target = [0 1 1 0];
training = xor_train;
target = xor_target;
%nnstart
net = patternnet(100);
net.trainParam.goal = 0.001;
net.trainParam.epochs = 1000;
net.trainFcn = 'trainscg';
net.performFcn = 'mse';
net.trainParam.max_fail = 15;
net = train(net, training, target);
view(net)
y = net(training);
classes = vec2ind(y);
%Testas issaugoto NN
Y = myNeuralNetworkFunction(training(:, 1:5));
%% ANN test
clc;
clear all;

testing = csvread('pozymiai-testui.csv', 1, 1);
testing = transpose(testing)

tic
Y = myNeuralNetworkFunction(testing);
toc

for l=1: length(Y)
    [val ind] = max(Y(:, l));
    Skaitinis(l) = ind;
    if(ind==1)
        Labeliai{l} = 'Lengvoji';
    elseif (ind==2)
        Labeliai{l} = 'Mikriukas';
    elseif (ind==3)
        Labeliai{l} = 'Fura';
    end
end
end

```