



17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

NUOTOLINIO VALDYMO TRANSPORTO PRIEMONIŲ DINAMINIŲ PROCESŲ TYRIMAS

Arnas Stulpinas¹, Vaclovas Jonevičius², Marijonas Bogdevičius³

^{1, 2, 3}Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹arnas.stulpinas@stud.vgtu.lt; ²vaclovas.jonevicius@mil.lt; ³marijonas.bogdevicius@vgtu.lt

Santrauka. Šiame darbe nagrinėjama nuotoliniu būdu valdomos transporto priemonės judėjimo dinamika. Sudarytas transporto priemonės judėjimo matematinis modelis, kuris padėjo įvertinti dinamines charakteristikas. Taip pat atliekamas realus transporto priemonės judėjimo nustatytais kliūčių ruožais bandymas, pagal kurį gauti realus duomenys lyginami su matematinio modelio apskaičiuotais duomenimis.

Reikšminiai žodžiai: nuotolinio valdymo transporto priemonė, transporto priemonių dinaminiai tyrimai, nuotolinio valdymo transporto priemonės modelis, ratinė nuotolinio valdymo transporto priemonė.

Įvadas

Robotai – elektroninių blokų ar kompiuterių valdomi elektromechaniniai aparatai, galintys automatiškai atlikti užprogramuotus užduotis.

Jie praverčia, atliekant monotoniškus ar pavojingus žmogui darbus. Robotai būna autonominiai, pusiau autonominiai, valdomi nuotoliniu būdu. Jų formos pačios įvairiausios – nuo į žmogų panašių androidų iki pramoninių robotų, nanorobotų ar robotų spiečių. Nuo buitinių automatinių dulkių siurblių iki marsoeigių.

Robotų pirmtakai pradėti kurti jau prieš mūsų erą senovės Kinijoje, Graikijoje ir Egipte. Tai buvo vandens laikrodžiai, vandens ir garo mašinos, dažniausiai naudojamos pakelti vandenį, malti grūdus ar karo tikslams. Daugelį mechaninių aparatų sukonstravo italų renesanso genijus Leonardas da Vinčis.

Šiuolaikinė robotikos era prasideda nuo elektros mašinų ir radijo bangų panaudojimo XIX a. pabaigoje. 1898 m. Nikola Tesla Niujorke pademonstravo radijo bangomis valdomą torpedą. 1948 m. Williamas G. Walteris Bristolyje, Anglijoje sukūrė pirmuosius autonominius triračius „vėžlius“, kurie reagavo į šviesą, ir taip rasdavo kelią link pakrovimo stoties, kai išsekdavo jų baterijos. 1954 m. George'as Devolas sukūrė pirmąjį pramoninį robotą „Unimate“, kurį 1961 m. pardavė kompanijai „General Motors“. Jis iškeldavo karšto metalo detales iš liejimo mašinų.

Spartus puslaidininkų elektronikos ir mikromechanikos vystymasis XX a. antroje pusėje leido sukurti ma-

žuosius mobiliuosius robotus, kurių procesorių galingumui anksčiau prilygo tik kelių spintų dydžio skaičiavimo mašinos. 1969 m. japonų inžinierius Tetsuro Moria pasiūlė terminą „mechatronika“, apimančią mechanikos, elektronikos, informatikos, valdymo sistemų sritis.

Įvairių rūšių mobiliųjų robotų sudėtinės dalys panašios: mikroprocesoriniai valdymo blokai, regos, lietimio ir distancinio skenavimo jutikliai, ryšio sistemos, autonominis maitinimas.

Nepilotuojamuose žemės aparatuose judesys perduodamas į ratus, vikšrus ar kojas. Tokie aparatai gali ne tik riedėti, bet ir lipti laiptais, nešti krovinį kalnuotoje, akmeningoje vietovėje. Nepilotuojami žemės aparatai perveža krovinis sandėliuose, atlieka užduotis pavojingose stichinių nelaimių, pramoninių avarių ir karinėse zonos.

Šiuo metu visame pasaulyje atliekama daug tyrimų autonominės robotikos srityje, universitetai skatina domėjimąsi robotika, organizuodami įvairius autonominės orientacijos ir užduočių atlikimo konkursus, daug lėšų skiria robotikos vystymuisi, ypač JAV, gynybos ministerijos tyrimų laboratorijos, DARPA, kosmoso agentūros NASA, ESA, JAXA ir kitos.

Tiriamasis objektas

Tiriamasis objektas yra Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademijoje kuriamas nuotoliniu būdu valdomas universalios paskirties robotas (1 pav.).

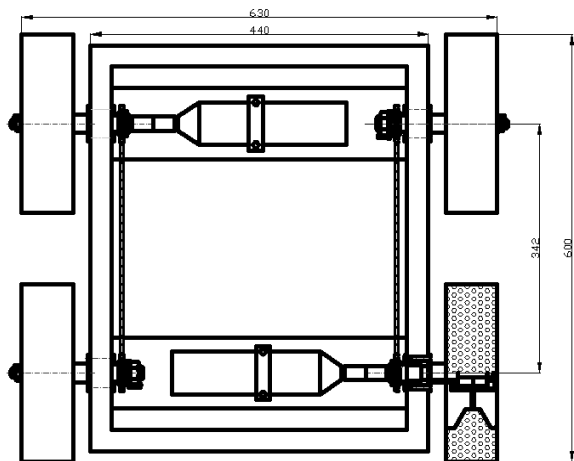
Šis robotas ant savęs turi sumontuotus elektromechaninį manipuliatorių, tris vaizdo stebėjimo kameras:

viena priekiniam vaizdui, antra galiniam vaizdui stebėti, o trečia sumontuota ant manipulatoriaus. Jis turi reguliuojamo ryškumo prožektorių ir tempimo kilpas priekyje ir gale. Reikalui esant ant jo gali būti sumontuotas optinis kabelis, kuris jungiamas prie valdymo pulto. Tokiu būdu jis gali būti valdomas ir tose vietose, kur nėra galimybės naudoti bevielio ryšio. Ši maža transporto priemonė gali būti naudojama tokiose vietose, kur žmogus patekti neturi galimybės. Jos bevielis ryšys siekia dviejų kilometrų spinduliu nuo valdymo pulto, kameromis transliuojamas vaizdas į valdymo pultą, todėl nebūtina tiesiogiai stebėti roboto norint jį valdyti. Robotas yra 63 centimetrų pločio ir 60 centimetrų ilgio (2 pav.). Tai labai geras prietaisas naudojant žvalgybiniais tikslams. Šiek tiek patobulinus gali būti naudojamas iššūkinimo tikslams.

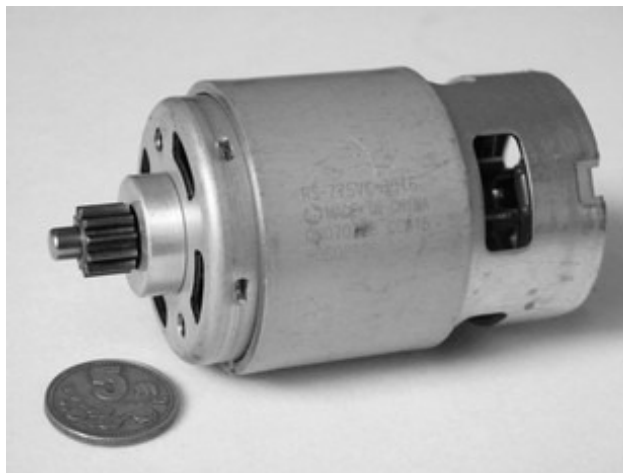


1 pav. Tiriamasis objektas

Robotas yra varomas dviejų 18 voltų elektros variklių „RS-775VC“ (3 pav.). Šio variklio darbinis įtampos diapozonas yra 6–20 voltų, nominali įtampa – 18 voltų. Be apkrovos išvysto 18 000 aps/min greitį, esant maksimaliai galiai išvysto 15 680 aps/min ir 127 mNm sukimo momentą. Visiškai sustabdytas gali išvystyti net iki 981 mNm sukimo momentą. Abu varikliai bei kita ant roboto sumontuota įranga maitinama trijų 18 voltų ličio jonų akumuliatorių.



2 pav. Tiriamojo objekto sandaros schema ir matmenys



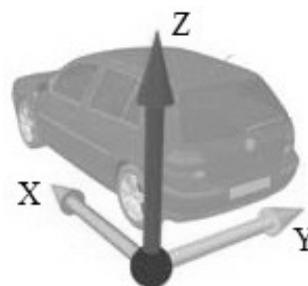
3 pav. Elektros variklis

Vienas variklis suka dešiniąją ratų porą, kitas – kairiąją. Sukimo momentas nuo priekinio rato iki kairiojo perduodamas grandinine pavara. Roboto vairavimas atliekamas vieną ratų porą sustabdžius, o kitą sukant, arba abi poras sukant į priešingas puses. Važiuojant normaliu režimu, t. y. tiesiai, abu varikliai dirba sinchroniškai.

Metodika

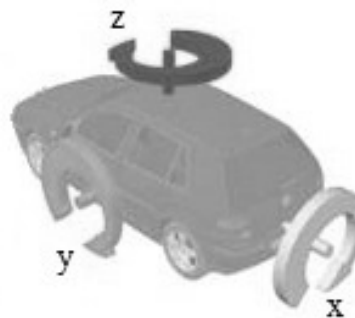
Bandymo tikslas – nustatyti nuotoliniu būdu valdomos transporto priemonės (roboto) dinamines charakteristikas įvairiais kelio ruožais.

Važiuojant žinomu kelio ruožu, naudojant akcelerometrą „IMU06“ siekiama pamatuoti robotą veikiančias jėgas trimis kryptimis: x, y, z (4 pav.).



4 pav. Koordinatų sistema

Naudojant tą patį prietaisą išmatuojami posūkio aplink x, y ir z ašis kampai, jų kitimo greičiai bei pagreičiai (5 pav.).

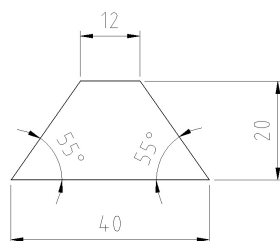


5 pav. Posūkio kampų schema

Prietaisas montuojamas kiek įmanoma tiksliau ant masės centro bei jei įmanoma, ant priekinės ir galinės ašiu.

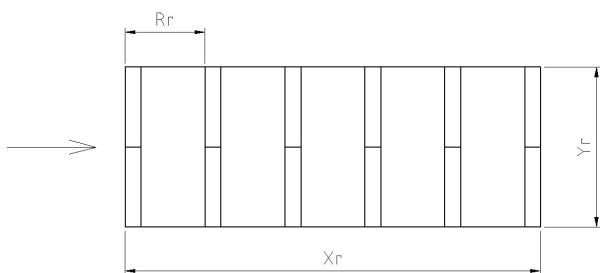
Visi šie duomenys reikalingi nustatyti ant roboto sumontuoto manipulatoriaus ir transmisijoje vykstančių deformacijų įtaką roboto judėjimui.

Bandymams atlikti sumodeliuojama trasa su trimis skirtingo tipo ruožais. Pirmasis ruožas yra tiesi atkarpa, kurioje išdėliotos žinomų geometrinių parametrų kliūtys (6 pav.).



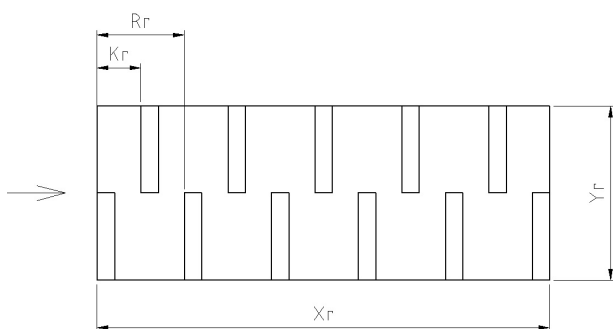
6 pav. Kliūtys matmenų brėžinys

Šiame ruože kliūtys išdėliojamos taip, kad abu priekiniai ir abu galiniai ratai jiems tenkančias kliūtis pervaziuotų vienu metu (7 pav.).



7 pav. Pirmojo ruožo schema

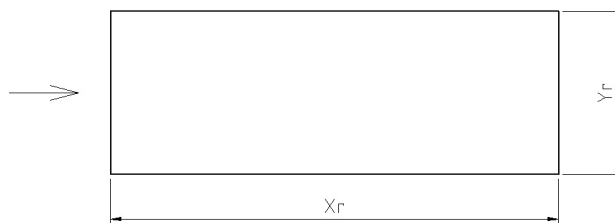
Antrame ruože tos pačios kliūtys išdėstytos šachmatine tvarka (8 pav.).



8 pav. Antrojo ruožo schema

Trečiasis ruožas – tiesus kelias be kliūčių (9 pav.).

Bandymus neprivaloma atlikti eilės tvarka ruožas po ruožo, tačiau jie turi būti atlikti pagal visus konkrečiame ruože nustatytus reikalavimus. Kadangi tiriami roboto dinaminiai gebėjimai, o ne žmogaus gebėjimas jį valdyti, tai siekiant kuo didesnio tikslumo, nepavykę bandymai yra nefiksuojami laikant, jog nepavykusio bandymo priežastis yra žmogaus klaida, o bandymas yra pakartojamas.



9 pav. Trečiojo ruožo schema

Pirmajame ruože robotas priekine dalimi pastatomas priešais ruožo pradžią, matavimo prietaisas tvirtinamas ant kėbulo masės centro taške. Įjungiamas matavimo prietaisas ir pradedamas bandymas. Robotas važiuoja trasa maksimaliu greičiu, kuriuo jis dar yra suvaldomas ir neišvažiuoja iš ruožo. Įveikus ruožą robotas sustabdomas, prietaisas išjungiamas taip, kad informacija būtų įrašyta į laikmeną. Jei eksperimento metu bent vienas ratas nuslysta nuo kliūtis, bandymas stabdomas ir kartojamas iš naujo. Važiavimai atliekami manipulatoriui esant neutralioje padėtyje.

Tokiu būdu ruožu pravažiuojama bent 2 kartus, tam, kad būtų gauti tikslesni duomenys.

Antrajame ruože robotas priekine dalimi pastatomas priešais ruožo pradžią, matavimo prietaiso tvirtinimo pozicija išlaikoma toje pačioje padėtyje kaip ir bandyme prieš tai. Įjungiamas matavimo prietaisas ir pradedamas bandymas. Robotas važiuoja trasa maksimaliu greičiu, kuriuo jis dar yra suvaldomas ir neišvažiuoja iš ruožo. Įveikus ruožą robotas sustabdomas, prietaisu fiksuojama bandymo pabaiga, duomenys išsaugojami, bandymas baigiamas. Jei eksperimento metu bent vienas ratas nuslysta nuo kliūtis, bandymas stabdomas ir kartojamas iš naujo. Važiavimai atliekami manipulatoriui esant neutralioje padėtyje.

Tokiu būdu ruožu pravažiuojama bent 2 kartus, tam, kad būtų gauti tikslesni duomenys.

Trečiasis ruožas yra tiesi kelio atkarpa, neturinti jokių kliūčių, todėl robotas pastatomas tiesiai ruožo pradžioje. Įjungiamas matavimo prietaisas, kurio padėtis išlaikoma kaip ir ankstesniuose bandymuose, ir pradeda važiuoti. Transporto priemonė pradeda judėti, pasiekia didžiausią galimą greitį ir važiuoja tokį pat atstumą, kaip ir ruožuose su kliūtimis. Nuvažiavus tokį atstumą robotas sustabdomas, matavimo prietaisu fiksuojama duomenų įrašymo pabaiga.

Tokiu būdu ruožu pravažiuojama bent 2 kartus, tam, kad būtų gauti tikslesni duomenys.

Visuose ruožuose matuojamas bandymo laikas 0,01 s tikslumu, greitis 0,01 m/s tikslumu, pagreitis 0,01m/s² tikslumu. Poslinkiai bei veikiančios skersinės bei išilginės jėgos. Visi šie matavimai atliekami vienu prietaisu „IMU06“. Roboto masė pasveriami svarstyklėmis 0,1 kg tikslumu. Kliūčių išdėstymo pozicijos nustatomos liniuote 0,01 m tikslumu.

Visi duomenys, kurie nefiksuojami prietaiso „IMU06“, užsirašomi, taip pat fiksuojamas kiekvienas bandymas (pavykęs ir nepavykęs) bei pastabos.

Bandymo eiga ir rezultatų analizė

Prieš pradėdant atlikt bet kokius bandymus pirmiausia apžiūrima matavimo įranga. Reikia įsitikinti ar ji nesuge-

dus, ar fiksuoja tikslius duomenis, ar neturi pažeidimų, kurie galėtų vienaip ar kitaip iškreipti rezultatus. Patikrinamas gulsčiukas ir liniuotės ar nebuvo pažeistos gabenant iki tyrimo vietos, patikrinama ar veikia svarstyklės.

Įsitikinus, kad visi matavimams ir bandymams atlikti reikalingi prietaisai yra tinkami naudoti, pradedamas tikrinti tiriamasis objektas – nuotoliniu būdu valdoma transporto priemonė (robotas). Patikrinamas slėgis kiekvienoje padangoje, jei jis skiriasi, tuomet sulyginamas, kad visose padangose būtų vienodas. Pamatuojamos visų baterijų įtampos, įsitikinama, kad jos visos pilnai pakrautos ir tinkamos atlikti bandymus. Tuomet patikrinama roboto valdymo pulto įranga, įsitikinama, kad yra užtikrintas reikalingas maitinimas ir jis nenutrūks bandymo metu. Užkraunama valdymo pulto programinė įranga. Pasirūpinus valdymo pultu, įjungiamas roboto jungiklis, palaukiama kol šviesos indikatorius užsižiebs – tai reiškia, jog robotas paruoštas valdymui. Kuomet valdymo pulto ir roboto valdymo programinės įrangos paruoštos, patikrinama ar tinkamai veikia valdymas. Robotu atliekama keletas važiavimų, tokiu būdu įsitikinama, kad viskas funkcionuoja kaip ir turėtų.

Bandymas atliekamas uždaroje patalpoje, o važiuojamoji danga – kiliminė danga. Kadangi programinėje įrangoje yra galimybė apriboti elektros variklių sukuriamą galią, tai pasirenkama tokia, kad būtų optimali bandymo patalpai, t. y. tokia, kad visą bandomo ruožo atkarpą galėtų įveikti pastoviu režimu. Kadangi robote nėra stabdžių sistemos, tai naudojant per daug galios, jis nesugebėtų sustoti ir įsirežtų į patalpos sienas, be to trasa nebūtų įveikiama pastoviu režimu. Tai reiškia, kad puse trasos būtų greitėjama, puse stabdoma, o fiksuojami duomenys nenusistovėtų ir būtų stipriai iškreipiami. Šie apribojimai neįtakos bandymo rezultatų, nes bandymais nesiekiamas nustatyti didžiausių greičių ar didžiausios roboto išvystomos galios. Tikslas yra nustatyti kaip robotas elgiasi važiuodamas per kliūtis.

Pirmiausia kas atliekama, tai nustatoma masės centro padėtis. Tai turi būti daroma su ant roboto jau sumontuota registravimo įranga, tam, kad sumontavus ją, masės centro padėtis nepakistų. Nemontuojamas tik jutiklis. Tada vienu ratu transporto priemonė uždedama ant svarstyklių, o po likusiais trimis ratais pakišamos kaladėlės taip kad robotas stovėtų tiesioje pozicijoje. Jo tiesumas nustatomas gulsčiuku. Fiksuojami svarstyklėse rodomi duomenys ir procedūra kartojama dar kartą. Jai duomenys sutampa, tuomet užsirašomi ir priimami jog tai yra matuojamo ratuko apkrova. Ši procedūra kartojamas su likusiais trimis ratukais, kiekviena kartą gulsčiuku tikrinama roboto padėtis. Nustačius visas keturias apkrovas, naudojantis masės centro nustatymo metodika, kuri aprašyta ketvirto skyriaus antrame poskyryje, surandamos masės centro koordinatės. Turint koordinates, naudojantis liniuote kuo tiksliau nustatoma masės centro padėtis ir pažymima. Šioje vietoje tvirtinamas jutiklis „IMU06“ taip, kad jo centras sutaptų su roboto masės centro padėtimi. Patikrinama ar jutiklis pritvirtintas tvirtai ir nejuda transporto priemonės atžvilgiu. Kuomet robotas paruoštas, išjungiamas ir pastatomas į šalį.

Pradedamas statyti kliūčių ruožas. Pasirenkama vieta, kur bus ruožo pradžia. Nuo jos, per visą būsimo ruožo

ilgį, ištiesiamas metras atstumui nustatyti. Kliūtys dėstomos kas dvidešimt centimetrų, keturių metrų ilgyje. Tarp kliūčių paliekamas toks tarpas, kad važiuodamas robotas, savo ratu pervaziuotų per kliūties centrą. Abu ratai kliūtis turi pervaziuoti vienu metu.

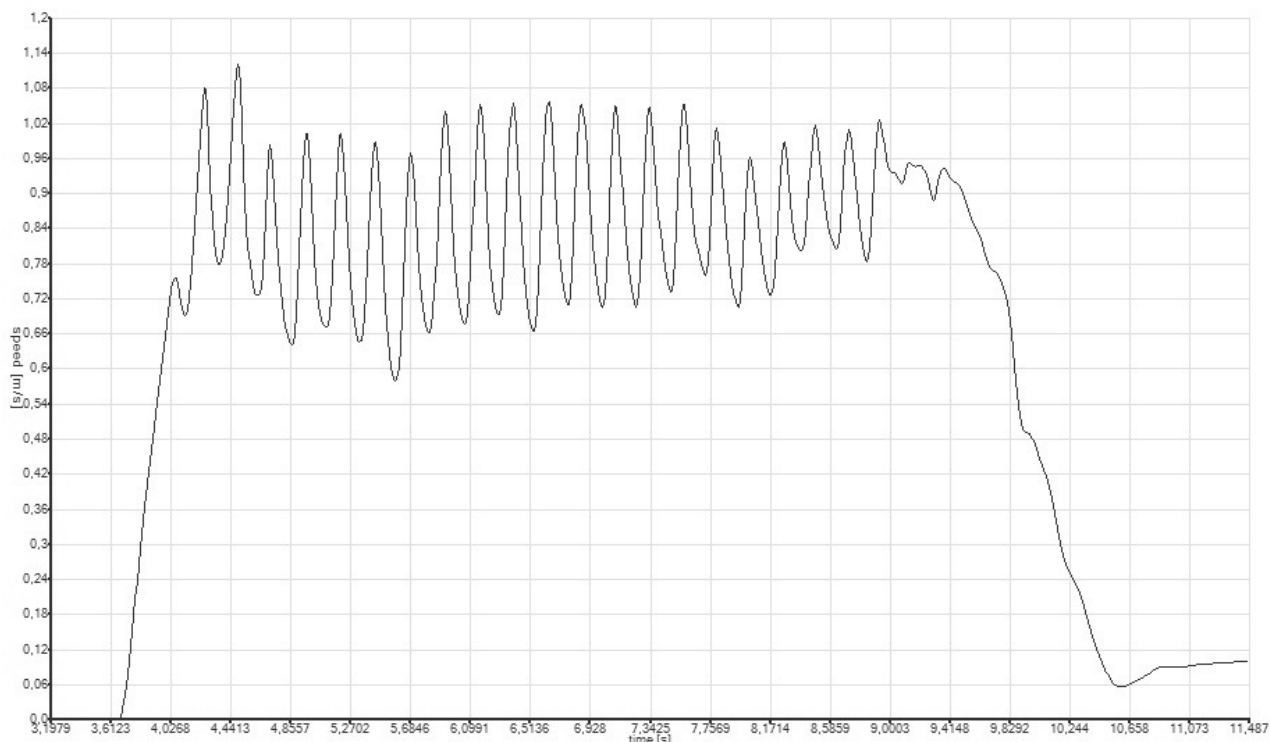
Paruošus kliūčių ruožą dar kartą patikrinama ar ant transporto priemonės pritvirtintas jutiklis neturi laisvumo ir tvirtai laikosi. Robotas įjungiamas ir statomas į startinę poziciją.

Paruoštas ir pajungtas registratorius įjungiamas, pradedama fiksuoti duomenis. Robotas pradeda važiavimą per visą trasos ilgį. Kuomet robotas pravažiuoja ruožą, registratorius išjungiamas, o robotas gražinamas į startinę poziciją, bandymas pakartojamas dar kelis kartus. Po kiekvieno pravažiavimo jai reikia pataisomos kliūčių padėties.

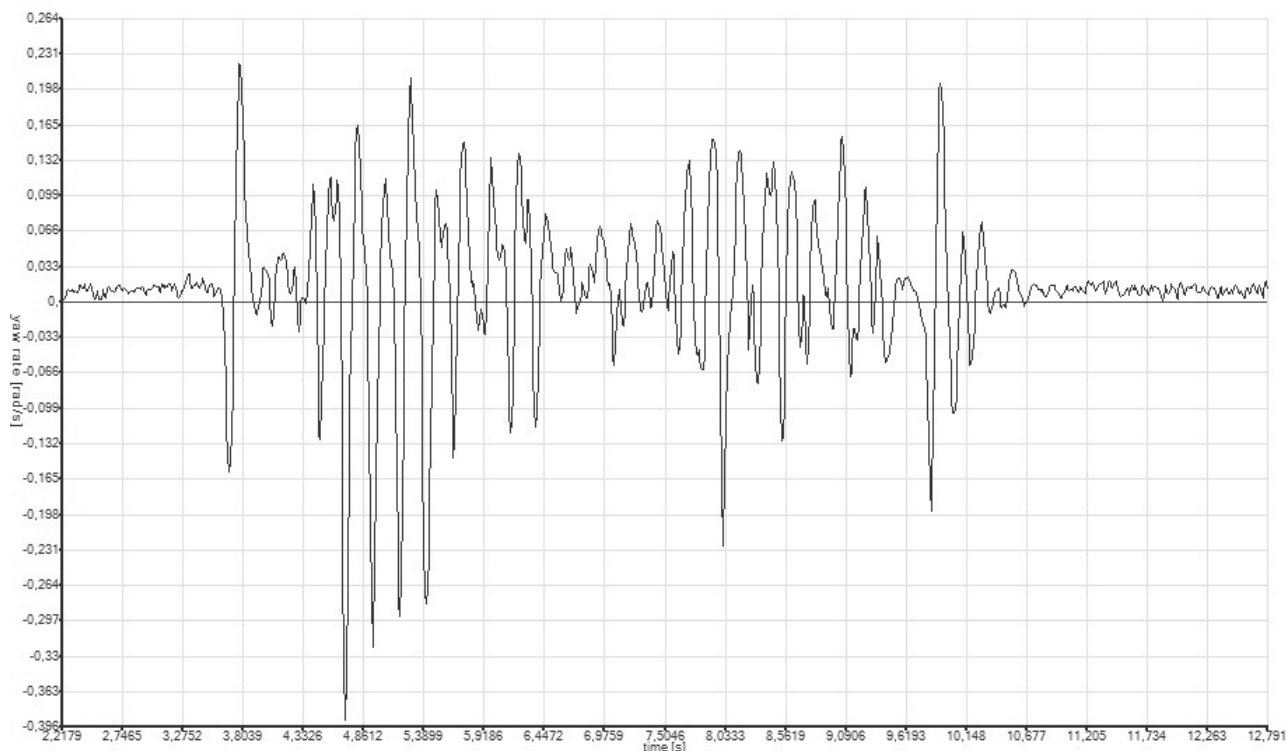
Po pirmojo kliūčių ruožo bandymų gauti rezultatai apdorojami „Analysis“ programa, kuri rezultatus pateikia grafiškai (10 pav.).

Rezultatų grafike matoma kaip staigiai pasiekiamas 0,8 m/s greitis, tuomet pradedus važiuoti kliūtimis jis ima staigiai svyruoti. Tai vyksta dėl to, kad sutikus kliūtį, yra deformuojami transporto priemonės ratai, kadangi elektros varikliai sukimosi kampinį greitį išlaiko pastovų, dėl sumažėjusių ratu spindulių transporto priemonė praranda greitį, dėl plastinių rato savybių, suspaustas ratas atsistatinėja į pradinę padėtį ir greitis vėl ima didėti. Šis reiškinys kartojasi su lig kiekviena kliūtimi. Pagal šį grafiką galima spręsti, jog vidutinis roboto judėjimo greitis šiuo ruožu yra 0,85 m/s. Atlikus bandymą, pastebėta, jog važiuodamas robotas krypsta į vieną pusę, tai atspindi ir poslinkio apie z ašį grafikas (11 pav.). Kadangi ratukus spaudžia skirtingi svoriai, jie deformuojasi taip pat skirtingai, reiškia tuo pat metu kairės ir dešinės pusės ratukai išvysto skirtingą greitį. Tokiu būdu atsiranda sukimo momentas sukantis transporto priemonę. Jai greičių skirtumas tampa toks didelis, kad atsiradusi sukimo momento jėga yra didesnė už trinties jėgą tarp ratu ir važiuojamosios dalies, tuomet įvyksta staigus posūkis, tačiau tai jėgai staiga sumažėjus, robotas nustoja sukstis. Dėl ratukų deformacijos, šie sukimo momentai atsiranda nuolat ir į abi puses, todėl grafikas gaunasi labai staigiai svyruojantis. Tačiau i vieną pusę poslinkių yra daugiau, todėl robotas pradeda pastebimai keisti važiavimo trajektoriją. Kiti šio bandymo rezultatų detalūs grafikai pateikiami prieduose.

Pasiruošimas sekančiam bandymui vyksta taip pat, robotas išjungiamas ir pastatomas nuošaliau. Pirmasis ruožas išardomas ir pradedamas statyti antrasis ruožas. Šis ruožas kaip ir aprašyta bandymo metodikoje skiriasi tuo, kad skirtingų pusių priekiniams ir galiniams ratukams kliūtis tenka ne vienu metu. Pradedant rinkti ruožą, vėl nustatoma starto pozicija, ištiesiamas metras ir kas dvidešimt centimetrų dėstomos kliūtys vienai ratų porai. Metras perkeliamas į kitą ruožo pusę ir pradedamos dėstyti kitos kliūtys. Šios kliūtys dedamos ne nuo nulinės pozicijos, o nuo dešimties centimetrų žymės ir taip pat dėliojamos kas dvidešimt centimetrų keturių metrų ilgyje. Suformavus naują ruožą, robotas pastatomas į starto poziciją, įjungiamas matavimo prietaisai ir pradedamas važiavimas. Gauti rezultatai apdorojami ir pateikiami rezultatų grafikai (12 pav.).



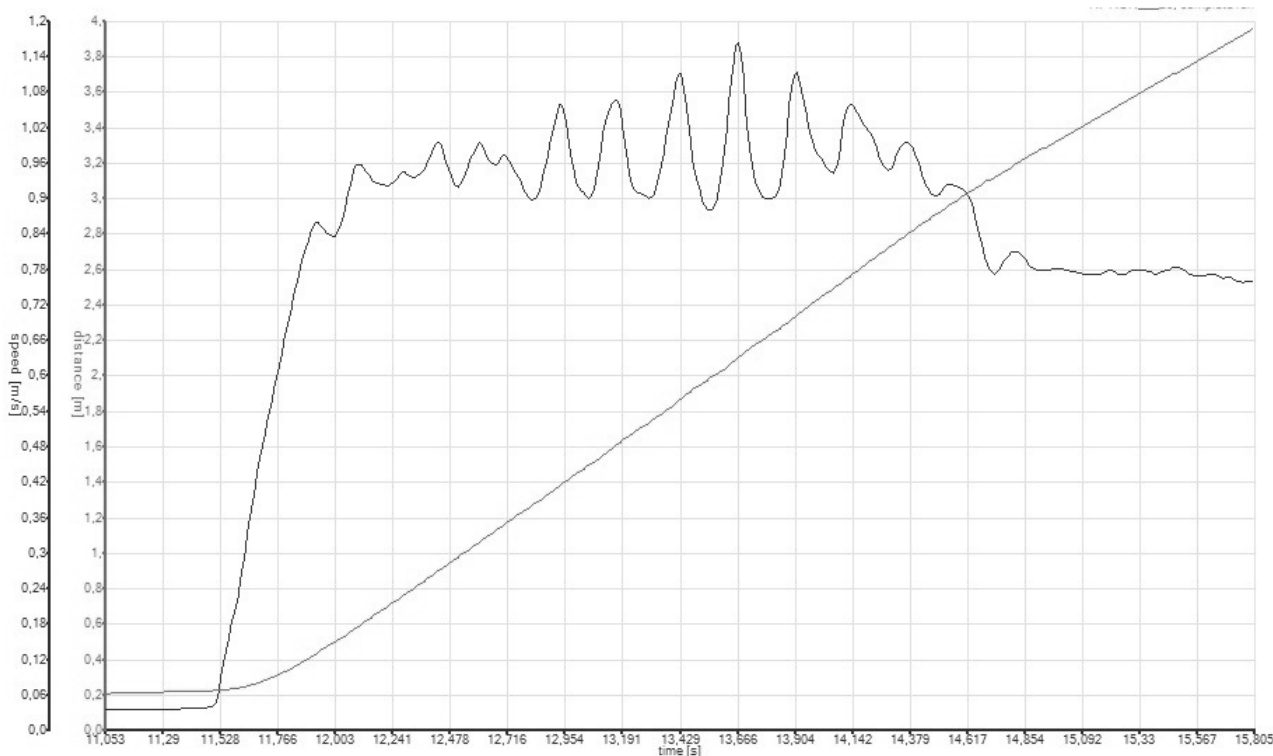
10 pav. Greičio priklausomybė nuo laiko: x ašis – laikas, s;
y ašis – greitis, m/s



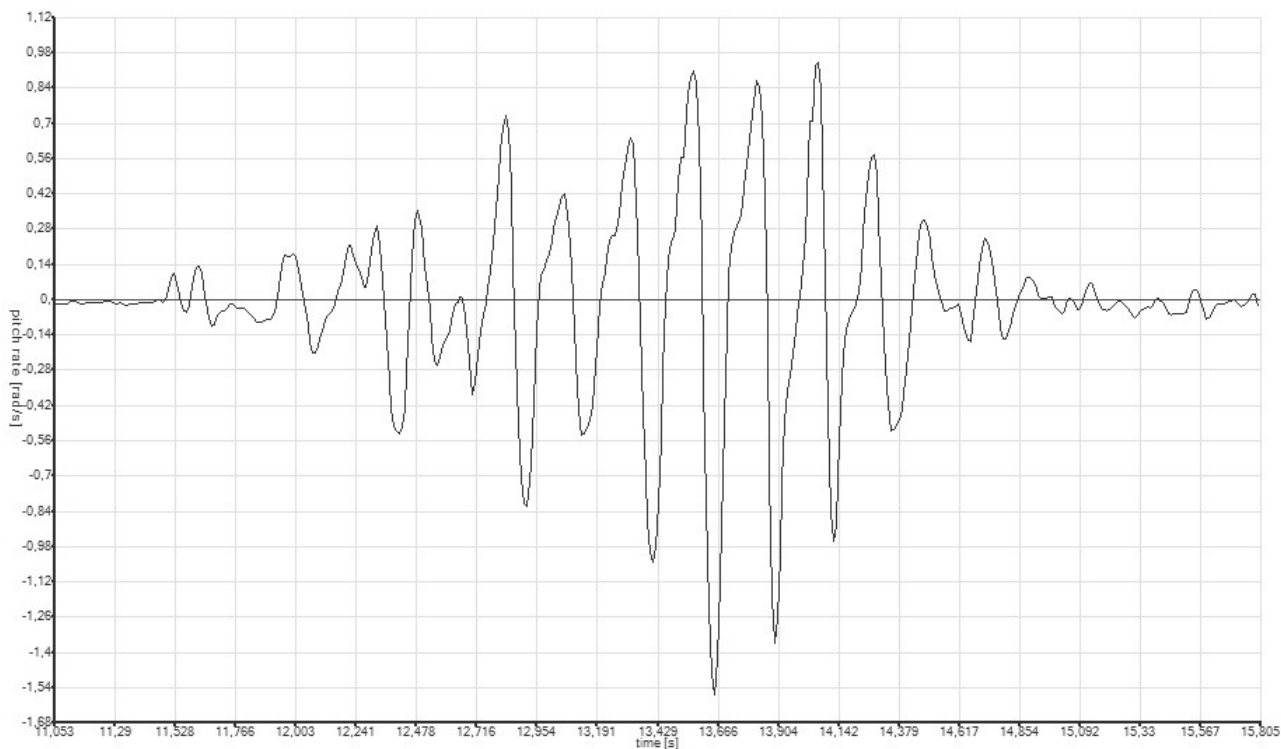
11 pav. Roboto posūkio apie z ašį grafikas: x ašis – laikas, s; y ašis – pasisukimo kampas rad/s

Lyginant su pirmuoju ruožu, šiame buvo pasiektas didesnis važiavimo greitis (vidutiniškai 0,95 m/s) tame pačiame nuvažiuotame atstume. Greičio šuoliai pradžioje ruožo nėra toki staigūs, tai yra dėl to, kad vienos pusės ratukas sukasi esant normaliam jo rato spinduliui, tačiau nuvažiaus trečdalį ruožo, transporto priemonė įsisiūbuo-

ja ir greitis ima stipriai kisti. Tai matoma ir posūkio apie y ašį grafike (13 pav.). Pirmajame ruožo trečdalyje svyravimai yra gerokai mažesni nei tolimesniajame, ratukam tenka mažesnė apkrova, jie mažiau deformuojasi, todėl išlaikomas stabilesnis greitis. Kiti šiame ruože atlikto bandymo rezultatų detalūs grafikai pateikiami prieduose.



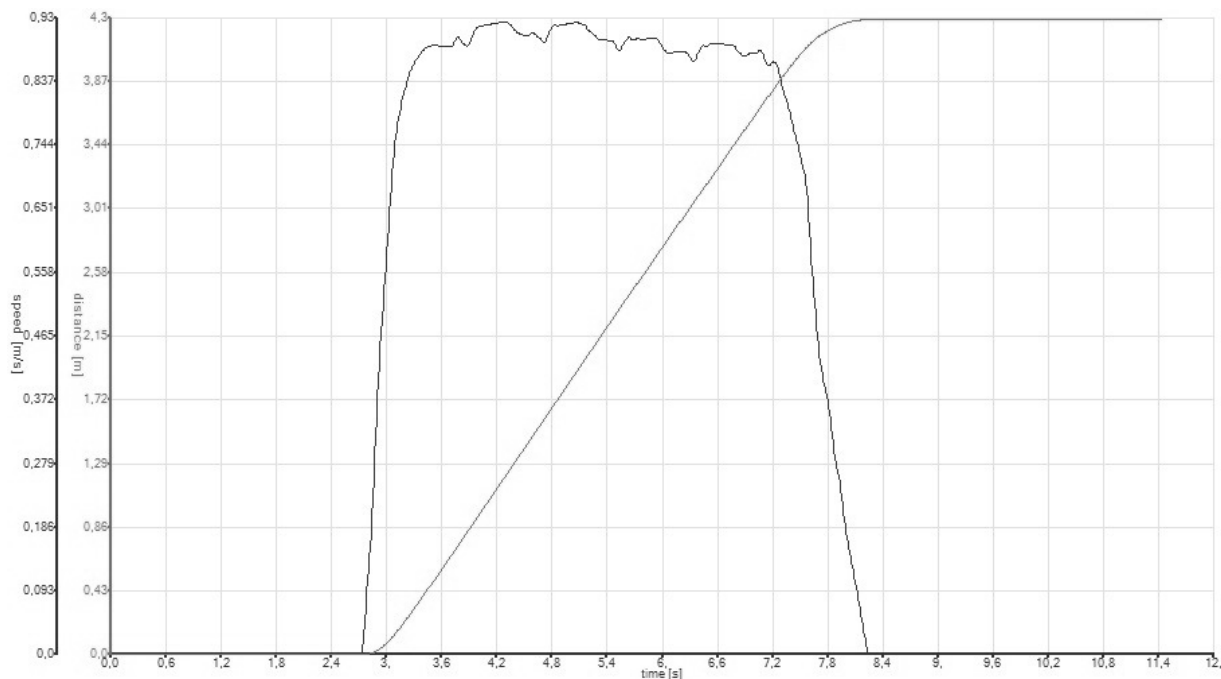
12 pav. Greičio ir kelio priklausomybė nuo laiko antrajame ruože: x ašis – laikas, s; y juoda ašis – greitis, m/s; y raudona ašis – kelias, m



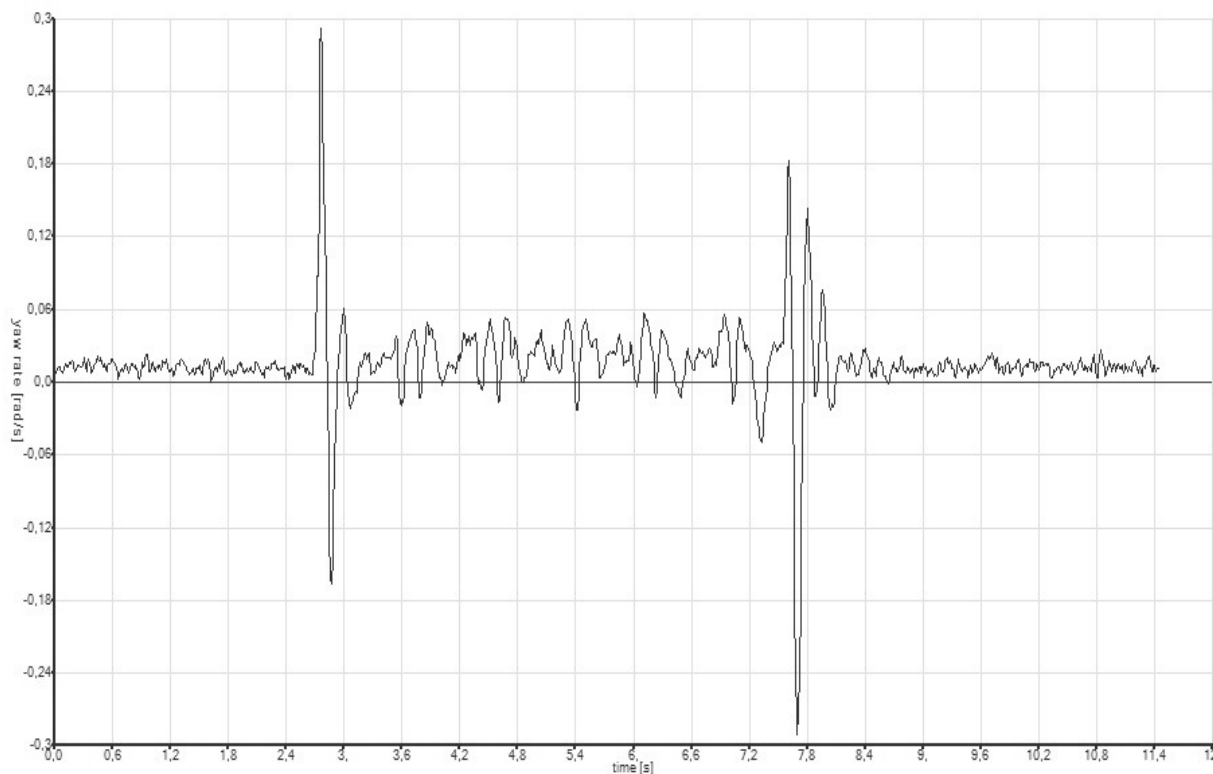
13 pav. Posūkio apie y ašį priklausomybė nuo laiko: x ašis – laikas, s; y ašis – posūkio kampas, rad/s

Atlikus bandymus, transporto priemonė išjungiamo, ir pastatoma, kol bus nurinktas antrasis ruožas ir paruoštas trečiasis. Trečiasis ruožas lyginant su pirmu ir antru yra visiškai paprastas. Tai ruožas be kliūčių. Šis ruožas daugiau skirtas lyginimams kaip robotas elgiasi važiuodamas sudėtingesnėmis sąlygomis ir visiškai paprastomis.

Išmontavus antrąjį ruožą, pradedama ruožti trečiąjį. Parinkama startinė pozicija, ištiesiamas metras ir laikoma, kad trečiasis ruožas paruoštas bandymams. Prieš pradedant bandymus vėl patikrinami jutikliai, ar tvirtai laikosi, ar neatsikabino ir ar nebus šalutinių faktorių, galinčių iškreipti rezultatus.



14 pav. Greičio ir kelio priklausomybė nuo laiko: x ašis – laikas, s; y juoda ašis – greitis, m/s; y raudona ašis – atstumas, m



15 pav. Roboto posūkio apie z ašį grafikas: x ašis – laikas, s; y ašis – pasisukimo kampas rad/s

Kai visa tai patikrinta, robotas įjungiamas, ir statomas į startinę poziciją. Įjungiamas matavimų registratorius ir pradedamas važiavimas. Pravažiavus visą ruožą registratorius stabdomas. Šis bandymas kartojamas keletą kartų. Apdoroti bandymai pateikiami grafiškai.

Netgi važiuojant lygiu keliu, roboto greitis nėra visiškai pastovus (14 pav.), nors kitimo amplitudė stipriai susiaurėjus. Šiuo atveju greičio svyravimus gali lempiti daug

įvairių faktorių, pavyzdžiui surinkimo trukumai, elektroninės sistemos netobulumas, nevisiškai vienodi variklių parametrai ir kita. Vidutinis judėjimo greitis pasiektas apie 0,9 m/s, o tai yra mažiau nei važiuojant antrame ruože. Šiame ruože stipriai išsiskiria posūkių apie z ašį grafikas (15 pav.), aiškiai matosi, jog startuodama transporto priemonė metasi į šoną, ir po to po truputį kryptuoja tos pačios pusės link. Paskutinis didelis grafiko šuolis įvyksta dėl

stabdymo, tada transporto priemonė metasi į kita pusę. Kadangi kelio ruožas be kliūčių, tai šie nuokrypiai atsiranda dėl netobulo masės centro paskirstymo, bei konstrukcijos netobulumo. Taip pat gali turėti įtakos ir nevisiškai vienodi elektros variklių parametrai. Lyginant visų ruožų bandymus, galima daryti išvadas, kad roboto ydos labiausiai atsiskleidžia esant ruožui be kliūčių, tačiau jos nėra didelės ir plika akimi nepastebimos. Važiuojant ruože, kur kiekvienam ratui kliūtis tenka ne vienu metu, važiavimo pradžia yra kur kas stabilesne, nei ruože, kuriame ratai kliūtis sutinka vienu metu. Esant ruožui kai ratam kliūtys tenka skirtingu metu, taip pat juntami ir mažesnio dažnio kėbulo svyravimai.

Literatūra

- Bogdevičius, M.; Junevičius, R.; Vansauskas, V. 2012. *Transporto priemonių dinamika*. Vilnius. Technika. 90 p.
- Gastila, L. 1978. *Automobiliai ir traktoriai. Teorija ir konstravimo pagrindai*. Vilnius. Mokslas. 280 p.
- Gaurav S. Sukhamate, Scott Brizius ir George A. Bekey 1998. Evaluating the mobility of a wheeled robot using dynamic modeling, *Advanced robotics* 12(5): 579–591.
- Helmick, M. D.; Roumeliotis, I. S.; McHenry, C. M.; Matthies, L. 2002. Multi-Sensor, High Speed Autonomous Stair Climbing.
- Janulevičius, A.; Giedra, K. 2009. The Slippage of the driving wheels of a tractor in a cultivated soil and stubble, *Transport* 24(1): 14–20.
- Oßwald, S.; Gutmann, A.; Hornung, A.; Bennowitz, M. 2011. Autonomas climbing of staircases with humanoids.
- Setlak, R. 2005. Haulage trucks model with four electric separate wheel drives, *Transport* 20(1): 51–54.
- Sokolovskij, E. 2005. Investigation of the interaction of an automobile wheel with vertical obstacle, *Transport* 20(4): 141–145.
- Sokolovskij, E. 2007. Automobile braking and traction characteristics on the different road surfaces, *Transport* (22)4: 275–278.
- Solmaz, S.; Coşkun, T. 2013. An automotive vehicle dynamics prototyping platform based on a remote control model car, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 1–13.
- Sringamphong, J.; Chiracharit W. 2011. Autonomas UGV stair climbing using monocular pererspective projection.
- Umbrasas, P. 2013. Transporto priemonės ant oro pagalvės hidrodinaminį procesų tyrimas.
- Vansauskas, V.; Bogdevičius, M. 2009. Investigation into the stability of driving an automobile on the road pavement with ruts, *Transport* 24(2): 170–179.
- Viba, J.; Liberts, G.; Gonca, V. 2009. Car rollover collision with pit corner, *Transport* 24(1): 76–82.

Išvados

1. Atlikus bandymus nustatyta, kad stabiliausiai greitis išlaikomas ruože be kliūčių, vidutinis greitis šiame ruože yra 0,9 m/s. Didžiausias greitis pasiekiamas ruože, kuomet ratam kliūtys tenka skirtingu metu – pasiektas vidutiniškai 1 m/s greitis.

2. Stabiliausią trajektoriją robotas išlaiko ruože, kuriame nėra kliūčių, tačiau ruožuose su kliūtimis posūkiai aplink z ašį taip pat nėra itin dideli.

3. Nustatyta, kad robotas turi polinki judėti su poslinkiu į šoną, taip yra dėl netolygaus masės centro paskirstymo ir netobulai suderintu transmisijū.