



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MECHATRONIKOS IR ROBOTIKOS KATEDRA

Ignas Marcinkevičius

**PRAMONINIO ROBOTO „MOTOMAN SSF2000“ NAUDOJIMAS
PALETAVIMUI IR DINAMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS**

**IMPLEMENTATION OF INDUSTRIAL ROBOT "MOTOMAN SSF2000"
FOR PALLETING AND RESEARCH OF ITS DYNAMIC
CHARACTERISTICS**

Baigiamasis magistro darbas

Mechatroninių sistemų studijų programa, valstybinis kodas 621H73002

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2016

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MECHATRONIKOS IR ROBOTIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros Medcis

(Parašas)

Vytautas Bučinskas

(Vardas, pavardė)

2016 05 31

(Data)

Ignas Marcikevičius

**PRAMONINIO ROBOTO „MOTOMAN SSF2000“ NAUDOJIMAS
PALETAVIMUI IR DINAMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS**

**IMPLEMENTATION OF INDUSTRIAL ROBOT “MOTOMAN SSF2000”
FOR PALLETING AND RESEACH OF ITS DYNAMIC
CHARACTERISTICS**

Baigiamasis magistro darbas

Mechatroninių sistemų studijų programa, valstybinis kodas 621H73002

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

Doc. dr. R. UDOVAVIČIUS [Parašas] 2016/5/31^s
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas

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

Konsultantas

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

Lietuvių kalbos konsultantas

Dr. Aušra Žemaitė [Parašas] 2016-05-30
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2016

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MECHATRONIKOS IR ROBOTIKOS KATEDRA

Mechatroninių sistemų studijų programa, valstybinis kodas 621H73002

Gamybos inžinerijos studijų kryptis

TVIRTINU

Katedros vedėjas



Vytautas Bučinskas

(Vardas, pavardė)

2015 11 17

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

2015-11-17 Nr. 03
Vilnius

Studentui Ignui Marcinkevičiui

Baigiamojo darbo tema:

Pramoninio roboto „MOTOMAN SSF2000“ naudojimas palečių gamybai ir dinaminių charakteristikų tyrimas
Industrial robot „MOTOMAN SSF2000“ usage in pallet production and research of dynamic characteristics
patvirtinta 2015 m. gegužės 29 d. dekanų potvarkiu Nr. 117me.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2016 m. gegužės 25 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjamos panašaus pobūdžio sistemos.
2. Sukurti dinaminį tiriamosios sistemos modelį.
3. Ištirti skirtingų sistemos konfigūracijų charakteristikas.
4. Sukurti realios sistemos prototipą ir atlikti eksperimentinius dinaminių charakteristikų tyrimus.
5. Apibendrinti duomenis, pateikti išvadas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

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

Vadovas



(Parašas)

dr. doc. Robertas Urbonavičius

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

Užduotį gavau



(Parašas)

Ignas Marcinkevičius

(Vardas, pavardė)

2015-11-17

(Data)

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Ignas Marcinkevičius, 20101941

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Mechanikos fakultetas

(Fakultetas)

Mechatroninės sistemos, MSfm-14

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2016 m. gegužės 30 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Pramoninio roboto "Motoman SSF2000" naudojimas paletavimui ir jo dinaminių charakteristikų tyrimas" patvirtintas 2015 m. gegužės 29 d. dekanų potvarkiu Nr. 117me, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Robertas Urbanavičius. Mano darbo vadovas doc. dr. Vytautas Bučinskas.

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



(Parašas)

Ignas Marcinkevičius

(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Mechatronikos ir robotikos katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Mechatroninių sistemų** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Pramoninio roboto "Motoman SSF2000" naudojimas paletavimui ir jo dinaminių charakteristikų tyrimas**

Autorius **Ignas Marcinkevičius**

Vadovas **Vytautas Bučinskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe nagrinėjama pramoninio roboto „MOTOMAN SSF2000“ naudojamo medinių palečių gamyboje prototipinė sistema. Naudojant kompiuterinius dinaminio modeliavimo įrankius ir vibracijų matavimo įrangą, teoriškai ir eksperimentiškai nustatytos prie roboto pritvirtinto pneumatinio viniųakalio žadinimo vibracijos, parinktas optimalus slėgis. Įvertinus teorinio ir praktinio eksperimentų metu gautus rezultatus, pateiktos išvados ir rekomendacijos. Baigiamąjį darbą sudaro 8 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, teoriniai tyrimai, eksperimentiniai tyrimai, eksperimento atlikimo metodika, išvados ir pasiūlymai, literatūra. Darbo apimtis – 48 puslapiai teksto, 32 paveikslėliai, 6 lentelės, 12 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: medinių palečių gamyba, padėklas, pramoninis robotas, prototipas.

Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Mechanics Department of Mechatronics and Robotics		ISBN ISSN Copies No. Date-.....-.....
Master Degree Studies Mechatronics Systems study programme Master Graduation Thesis 4		
Title	Implementation of Industrial Robot "Motoman SSF2000" for Palleting and Research of Its Dynamic Characteristics	
Author	Ignas Marcinkevičius	
Academic supervisor	Vytautas Bučinskas	
Thesis language: Lithuanian		
Annotation This master's thesis examines dynamic characteristics of industrial robot „MOTOMAN SSF2000“ which used in production of wooden pallets. Dynamic characteristics was determined theoretically and practically. According to those practical and theoretical results, conclusions and proposals were made about. Thesis consists of 8 separate sections: introduction, literature review, theoretical modeling, experiment, analysis of results, conclusions and proposals, used literature. Thesis consists of 48 pages of text, 32 illustrations, 6 tables, 12 bibliographical references.		
Keywords: Industrial robot, production of wooden pallets, Pallet, Prototype		

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	10
ĮVADAS	11
1. LITERATŪROS APŽVALGA	14
1.1. Pramoninių robotų pritaikymas	14
1.2. Paletavimo robotų apžvalga	15
1.3. Medinių padėklų apžvalga	17
1.4. Mokslinės literatūros apžvalga	19
1.4.1. Prototipų mechaninio apdirbimo pramoniniu robotu tyrimai	19
1.4.2. Pramoninio roboto griebtuve atsiradusio nesklandumo galimų pasekmių tyrimas	23
1.4.3. Roboto „MOTOMAN SSF2000“ dinaminės savybių ir pakartotinum tyrimas	26
2. TEORINIAI TYRIMAI	30
3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI	34
4. EKSPERIMENTO ATLIKIMO METODIKA	39
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	46
LITERATŪROS SĄRAŠAS	47
PRIEDAI	48

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. 4-ašis robotas MOTOMAN	15
1.2 pav. Pramoninis robotas MOTOMAN su paletavimui pritaikytu stendu.....	15
1.3 pav. Paletavimo sistema su automatiniu ruošinių padavimu.....	16
1.4 Europinis padėklas.....	17
1.5 pav. Pramoninis robotas „Motoman SSF-2000“	19
1.6 pav. „Omega“ formos sinusoidės profilis.....	20
1.7 pav. Analizuoti roboto sukeliama vibracijų intervalai	21
1.8 pav. Vertikalių virpesių pagrindinės amplitudės standartinio nuokrypio priklausomybė nuo pastūmos dydžio esant sinusoidės įdubimui.....	22
1.9 pav. Vertikalių virpesių pagrindinės amplitudės standartinio nuokrypio priklausomybė nuo pastūmos dydžio esant sinusoidės iškilimui	22
1.10 pav. Žmogaus rankos a) kinematinų grandžių schema, b) supaprastintas mechanizmo pavyzdys	23
1.11 pav. Manipulatorius, paėmęs detalę iš taško a, sukamuoju judesiu neša link taško c.....	24
1.12 pav. Iš automatinio manipulatoriaus griebtuvo žnyplių taške „b“ išsprūsta nešama detalė ir nuskrieja „X“ kryptimi linijiniu greičiu v_0 , kol nukrenta.	24
1.13 pav. Atstumo „ l_{rib} “ priklausomybė nuo detalės linijinio greičio „ v_0 “, kuriuo skriedama detalė nekirs manipulatoriaus „ r_{max} “ – maksimalios darbo zonos, išsprūdusi aukštyje $h = 1$ m.	25
1.14 pav. Griebtuvo virpesiai, kai Z ašis juda trimis skirtingais greičiais, robotui esant vertikaloje pozicijoje: A – kai robotas juda 3 mm/s greičiu; B – 16 mm/s greičiu; C – 30 mm/s greičiu	27
1.15 pav. Griebtuvo virpesiai, kai Z ašis juda trimis skirtingais greičiais, robotui esant vertikaloje pozicijoje: A – kai robotas juda 3 mm/s greičiu; B – 16 mm/s greičiu; C – 30 mm/s greičiu	28
1.16 pav. Stendas su kalibratoriumi ir indikatoriais	29
2.1 pav. Dinaminis vieno laisvės laipsnio sistemos modelis (h – slopinimo koeficientas; k – standumo koeficientas, m – masė, kg ; F – jėga, N; x – judėjimo kryptis)	30
2.2 pav. Vieno laisvės laipsnio sistemos dinaminis modelis „Simulink“ aplinkoje.....	31
2.3 pav. Vieno laisvės laipsnio sistemos pagreičio grafikas. Slėgis lygus 8 bar.	32
2.4 pav. Vieno laisvės laipsnio sistemos pagreičio grafikas. Slėgis lygus 4 bar.	33
2.5 pav. Vieno laisvės laipsnio sistemos poslinkio grafikas. Slėgis 3 bar.....	33
3.1 pav. Pneumatinio viniųakalio sandara (a – plunžeris; b – stumoklis; c – gaidukas; d – vamzdelis; f – oras grąžinantis stūmokį)	35
3.2 pav. Dinaminių matavimų duomenų kaupiklis „National instruments NI USB – 4431“	36

3.3 pav. ICP® 603C01 akselerometras	37
3.4 pav. Griebtuvo „Unigripper“ sandara.....	38
4.1 pav. Pramoninio roboto „MOTOMAN SSF2000“, naudojamo paletėms gaminti, prototipinis bandymų stendas (1 – stendas; 2 – pneumatinis viniųakalis „BIZON“; 3 – pramoninis robotas „MOTOMAN SSF-2000“ 4; 5 – pjezoelektriniai akselerometrai; 6 – dinaminių matavimų duomenų kaupiklis „National instruments NI USB – 4431“; 7 – nešiojamasis kompiuteris; 8 – kompresorius „Brillant 50/15“).....	39
4.2 pav. Pramoninis robotas „MOTOMAN SSF2000“ su vakuuminiu griebtuvu „UNIGRIPPER“ ir paletės ruošiniu.	40
4.3 pav. Robotas „MOTOMAN SSF2000“ su vakuuminiu griebtuvu „UNIGRIPPER“ jėgos reikalingos trinčiai tarp ruošinio ir griebtuvo nugalėti nustatymas.	41
4.4 pav. Amplitudės priklausomybės nuo laiko grafikas žadinant sistemą 8 barų slėgiu.....	43
4.5 pav. Amplitudės priklausomybės nuo laiko grafikas, žadinant sistemą 4 barų slėgiu.....	43
4.6 pav. Amplitudės priklausomybės nuo laiko grafikas žadinant sistemą 3 barų slėgiu.....	44
4.7 pav. Sistemos amplitudinė dažninė charakteristika, prie 4 barų slėgio.....	44

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1 lentelė. ISO standarto rekomenduotini 6 palečių dydžiai.....	19
4.1 lentelė. Pradiniai duomenys.....	31
5.1 lentelė. Dinaminių matavimų duomenų kaupiklio „National instruments NI USB – 4431“ parametrai	36
5.2 lentelė. Akselerometro ICP® 603C01 parametrai.....	37
5.3 lentelė. Roboto „MOTOMAN SSF2000“ charakteristikos	38
6.1 lentelė. Viniakalio įkaltos vinies gylis prie atitinkamo slėgio.....	42

IVADAS

Įvairios technologijos į priekį veržiasi dideliu greičiu, nes didėja žmonių poreikiai, noras mažinti pragyvenimo išlaidas. Žmonių darbo jėga yra gana brangi, kai kurie darbai yra monotoniški, varginantys ar net pavojingi, todėl tokios darbo vietos yra automatizuojamos. Automatizuotos gamybos įmonės geba spartinti gamybą ir išlikti konkurencingais rinkoje.

Modernios, didelės įmonės paprastai yra įsikūrusios užmiesčiuose, todėl pagaminta produkcija turi būti transportuojama į logistikos centrus arba tiesiai į pardavimo vietas. Populiariausias produkcijos transportavimo būdas yra gabenimas sunkvežimiais. Produkcija sukraunama ant tam skirtų palečių, kad būtų galima patogiau ir greičiau pakrauti ir iškrauti krovinį. Nepaisant to, kad paletės yra standartizuojamos, pagal pagamintą produkciją, palečių matmenys skiriasi.

Plačiausiai naudojamos medinės paletės. Besiplečiančios įmonės, kurios verčiasi jų gamyba ir kuriose naudojama žmonių darbo jėga, susiduria su laiko stoka, didelių išlaidų ir pasitaikančių žmogiškųjų klaidų problemomis.

Vien automatizuoti palečių gamybos neužtenka. Kad būtų išnaudotos visos automatizavimo galimybės, reikia nustatyti optimalius parametrus, užtikrinančius stabilią įrenginių dinamiką, kas užtikrintų ilgą įrangos tarnavimą ir maksimaliai greitą produkcijos gamybos lygį.

Šiame darbe atliekama pramoninių robotų „MOTOMAN“ analizė. Apžvelgtos tokių robotų pritaikymo sritys ir galimybės, taip pat medinių palečių gaminimo sistemos. Pateikta automatizuojamos sistemos struktūrinė schema, dinaminis sistemos modelis, teorinių bei eksperimentinių tyrimų rezultatai.

Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – medinių palečių gamybos procese naudojamo pramoninio roboto „MOTOMAN SSF2000“ su pneumatiniu viniakaliu „BIZON“ ir vakuuminiu griebtuvu „UNIGRIPPER“ dinaminį savybių tyrimas.

Darbo tikslai ir uždaviniai

Robotizuotos medinių palečių gamybos optimalių parametrų nustatymas: pneumatiniame viniakaliui reikalingo minimalaus slėgio nustatymas ir dinaminis charakteristikų tyrimas pneumatinio viniakalio smūgio metu; roboto grandžių maksimalaus judėjimo greičio nustatymas (kai vakuuminis griebtuvas laiko paletės skersinį), neprarandant pozicionavimo tikslumo.

Norint pasiekti nustatytus tikslus reikia įvykdyti šios uždavinius:

- išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjamos panašaus pobūdžio sistemos ir jų komponentai;
- sukurti realios sistemos prototipą;
- atlikti kuriamos sistemos teorinius tyrimus;
- atlikti sukurtos sistemos eksperimentinius tyrimus.

Temos naujumas

Darbo naujumą lemia robotizuotos paletavimo sistemos kūrimas, kurią naudojant galima būtų perkrauti ir sukalti medinių palečių ruošinius.

Temos aktualumas

Tema aktuali, nes įmonės modernizavimas mažina palečių gaminimo savikainą ir didina įmonės konkurencingumą rinkoje. Darbo tema pasirinkta pasiūlius įmonei, kuri nori automatizuoti palečių gamybą. Įmonės atstovams rūpi minėti uždaviniai.

Tyrimo metodai

Eksperimentiniai sistemos tyrimai atliekami Vilniaus Gedimino technikos universitete su robotu „MOTOMAN SSF-2000“, pneumatiniu viniakaliu „BIZON“ ir vakuuminiu griebtuvu „UNIGRIPPER“. Sistemos prototipas bandomas realaus darbo sąlygomis. Atliekant bandymus papildomai buvo naudojami du pjezoelektriniai akselerometrai su dinaminių matavimų duomenų kaupikliu „National instruments NI USB – 4431“. Tyrimų rezultatai apdoroti naudojant „National instruments“ programos įrankį „Sound and vibration assistant“ bei „Origin 9.0“ programinius paketus.

Darbo mokslinė vertė

Šiame darbe tiriamos kuriamos robotizuotos sistemos dinaminės charakteristikos. Darbo metu naudojami dviejų tipų tyrimo metodai: teorinis ir eksperimentinis, taikant specifines tyrimo metodikas. Darbe pateikti visi šių tyrimų duomenys ir jų analizė.

Darbo aprobacija

Magistro darbo atliktų teorinių tyrimų metodika ir rezultatai paskelbti straipsnyje „Pramoninio roboto MOTOMAN SSF2000 naudojimas palečių gamybai ir dinaminių charakteristikų tyrimas“ bei 2016 metais LMAV jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas –

Lietuvos ateitis“ skaitytame pranešime „Pramoninio roboto MOTOMAN SSF2000 naudojimas palečių gamybai ir dinaminių charakteristikų tyrimas“.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Pramoninių robotų pritaikymas

Gamybos įmonės produkcijai didinti renkasi pramoninius robotus, nes robotų taikymo kriterijai ir sąlygos yra labai lankstūs. Pagrindiniai uždaviniai, kuriems spręsti tinka robotai, yra šie:

1. Savikainos mažinimas. Prie savikainos mažinimo galima priskirti gamybos apimčių didinimą, darbo jėgos poreikio mažinimą, aukštesnės kokybės užtikrinimą ir medžiagų taupymą.
2. Kokybės užtikrinimas. Standartinių robotų tikslumas būna nuo 0,08 mm iki 0,5 mm, pakartojamumas – nuo 0,01 mm iki 0,08 mm, taip pat užtikrinamas technologinio proceso stabilumas ir labai sumažėja neplanuotų prastovų atsiradimo tikimybė.
3. Darbams, kurių nesugeba atlikti žmogus, vykdyti. Padidinto tikslumo ar monotoniški darbai, pavyzdžiui, dažymas, apipjaustymas, frezavimas ir panašiai. Taip pat darbai, kurių metu reikia daug kartų atkartoti sudėtingos trajektorijos judesius, pavyzdžiui, testavimai, surinkimas, klijų tepimas ir fizinės ištvermės reikalaujantys darbai, pavyzdžiui, didelių svorių kilnojimas (standartiniai paletavimo robotai gali perkrauti 10 – 20 tonų per valandą). Taip pat robotai naudojami ir darbo vietose, kur aplinka agresyvi – aukšta arba žema temperatūra, didelis triukšmo lygis, kenksmingos medžiagos ir t. t.

Didžiausia pramoninių robotų gaminimo kompanija yra „MOTOMAN“, kuri įdiegė per 170.000 robotų sistemų visame pasaulyje. Su daugiau nei 21 filialu Europoje „MOTOMAN“ atlieka svarbų vaidmenį automatizavimo pramonėje. Gaminamų robotų pritaikymo sritys gali būti labai įvairios: (lankinis suvirinimas (MIG, MAG, TIG, PAW, SAW); taškinis suvirinimas; pjovimas 2D/ 3D (dujomis, plazma, lazeriu, vandeniu, ultragarsu); šlifavimas/ poliravimas; liejimas; presavimas/ lenkimas; frezavimas 2D/ 3D; paletavimas/ depaletavimas; europadėklų gamyba/ remontas; produktų/ gaminių perkelimas technologinėse linijose; dažymas; programinių staklių aptarnavimas; kokybės kontrolė; surinkimas; sandeliavimas/ logistika).

Pramoninių robotų keliamoji galia siekia nuo 3 kg iki 600 kg. Aukštos kokybės valdikliai užtikrina patikimumą ir didelį našumą. Visi „MOTOMAN“ manipulatoriai naudoja pažangias technologijas. Robotai sukurti taip, kad galėtų išnaudoti kuo didesnę plotą, užtikrindami maksimalų produktyvumą vartotojui.

1.2. Paletavimo robotų apžvalga

Pirmojoje apžvelgiamoje medienos padėklų kalimo sistemoje naudojamas 4-ašis robotas „MOTOMAN“. Gamybos algoritmas susideda iš keleto operacijų: operatorius sudeda medienos komponentus į laikiklį, kuris yra pritaikytas gaminamai paletai, tuomet 4-ašis robotas MOTOMAN (1. 1 pav.) su pritvirtintu automatiniu viniakaliu sukala ruošinius iš vienos pusės. Paletė pačios sistemos yra apsukama, o robotas užbaigia paletės gamybos procesą sukaldamas ją iš kitos pusės. Po šios eilės veiksmų robotas perkelia pagamintą paletę iš darbo zonos į pagamintos produkcijos zoną, pritaikytą paletes išvežti. Vėliau ciklas kartojamas.



1.1 pav. 4-ašis robotas MOTOMAN

(Streamtech 2015)

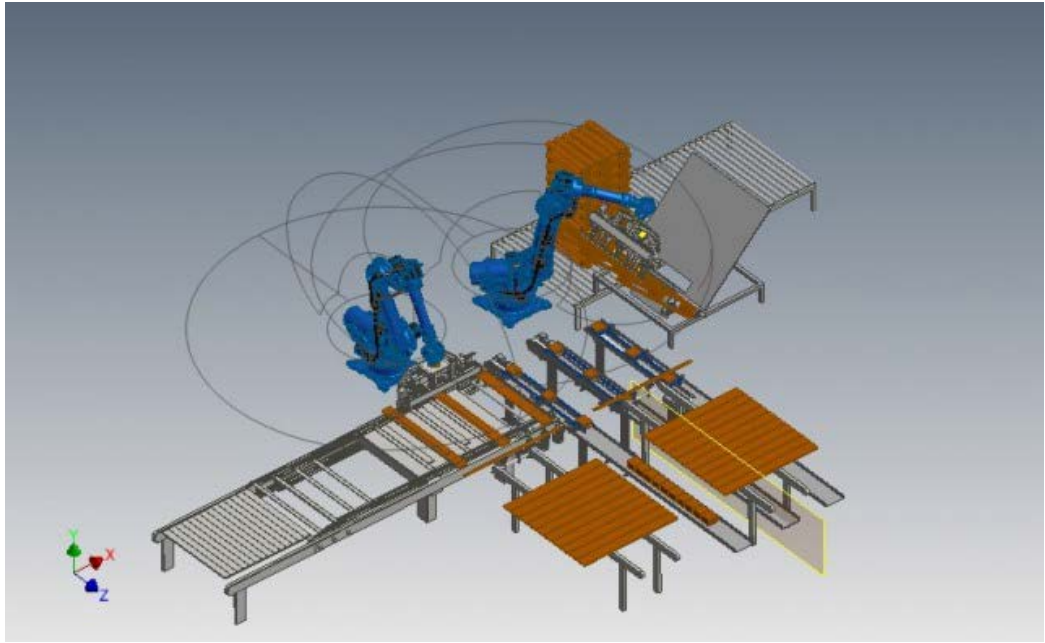
Antroji paletavimo sistema pavaizduota (1.2 pav.) yra universali, nes paletė dedama ant stendo, kuris nesunkiai pritaikomas prie skirtingų palečių matmenų. Sistema dirba panašiai, kaip pirmoji: darbuotojas uždeda ruošinius, robotas juos sukala ir gatavą paletę perkelia į kitą vietą. Gaminamų palečių dydžiai gali būti nuo 400 x 400mm iki 1600 x 1600mm, per dieną gali būti pagaminti: 400 – 600 padėklai. Staklėms prižiūrėti reikalingas tik vienas operatorius.



1.2 pav. Pramoninis robotas MOTOMAN su paletavimui pritaikytu stendu

(Jointec 2015)

Trečioji sistema (1.3 pav.) aprūpinta automatiniu ruošinių tiekimu, todėl tokiai sistemai nereikalingas stendas paletėms laikyti. Gaminamų palečių dydžiai gali būti kaip ir antroje aprašytoje sistemoje – nuo 400 x 400 mm iki 1600 x 1600 mm. Per dieną ši sistema gali pagaminti 200 – 350 palečių, tačiau vienas operatorius gali prižiūrėti 4 ar dar daugiau tokių sistemų, todėl gaminant didelius kiekius palečių, ši sistema produktyvesnė ir už pirmąją, ir už antrąją.



1.3 pav. Paletavimo sistema su automatiniu ruošinių padavimu

(Jointec 2015)

Pramoninių robotų naudojimas Lietuvoje:

1. AB „Rokiškio sūris“ 2013 m. sumontuota robotizuota cukraus maišų paletavimo linija, taip pat sumontuota ir pradėta eksploatuoti sūrių paletavimo linija su „MOTOMAN“ robotu. Maksimalus linijos našumas daugiau nei 10000 kg/val.
2. UAB „Gairelita“. Naudotas S4C robotas ir maišų paletavimo linija.
3. UAB „Stronglass“ XRC paletavimo robotas.
4. UAB „Padagas ir Ko“ Nauja MIG suvirinimo stotis. Vienas DX100 robotas, du pozicionieriai.
5. VGTU Mechanikos fakulteto suvirinimo laboratorija. Nauja MIG suvirinimo stotis. Vienas DX100 robotas, dviejų ašių pozicionierius.
6. UAB „Arginta“ MIG suvirinimo stotis. Vienas XRC robotas, dviejų ašių pozicionierius.

7. VGTU Mechanikos fakulteto Mašinų gamybos katedra. Naujas NX100 robotas CNC staklėms valdyti ir 3D frezavimui su robotu mokymo demonstracijoms.

8. AB „Umega“. Nauja MIG suvirinimo stotis. *Gantry* sistema. Du NX100 robotai, vienas pozicionierius, penkių tonų keliamoji galia.

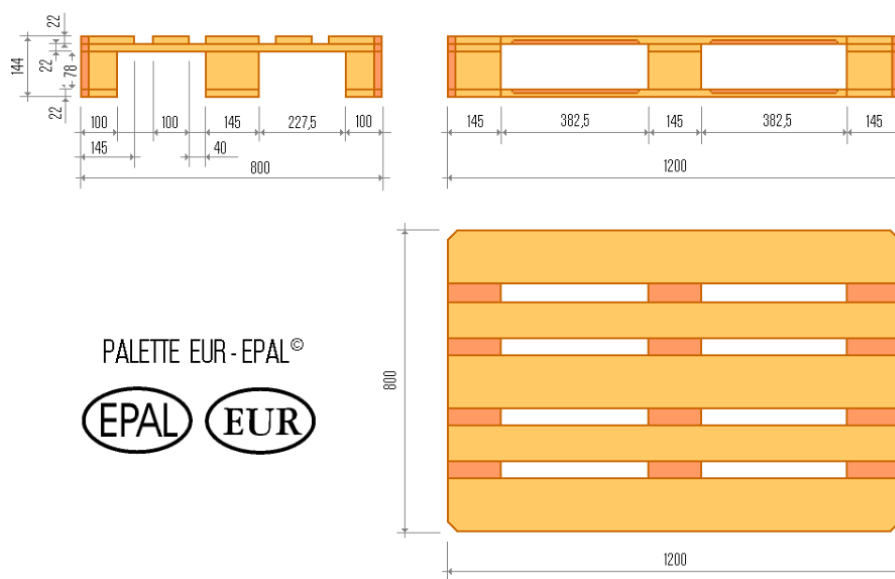
9. UAB „Vienybė“ MIG suvirinimo stotis. Vienas S3 robotas.

10. AB „Grigiškės“ NX100 paletavimo robotas.

11. UAB „Lanksti Linija“ MIG suvirinimo stotis. Vienas XRC robotas, vienas specializuotas pozicionierius.

1.3. Medinių padėklų apžvalga

Padėklas (1.4 pav.) – krovinių gabenimo ir sandėliavimo įtaisas. Tai standi plokščia platforma, pritaikyta kilnoti ir vežioti padėklų krautuvais ar vežimėliais, skirta prekėms ar kitokiems kroviniams sukrauti, kad būtų patogiau tuos krovinius sandėliuoti, tvarkyti, gabenti. Kroviniai sukraunami ant padėklo ir pritvirtinami. Dalis padėklų yra dėžių formos ar yra taip sukonstruoti, kad tinka pervežti specialioms kroviniams (pvz., birioms medžiagoms, skysčiams ir pan.).



1.4 Europinis padėklas

(Wikipedia 2016)

Dažniausiai padėklai būna mediniai, tačiau nemažai jų gaminama iš metalo ar plastiko. Medžiaga padėklams parenkama atsižvelgiant į medžiagos tvirtumą, atsparumą aplinkos veiksniams (pvz., drėgmei, temperatūrai), kainą.

Vis didesnis padėklų naudojimas transportavimo ir sandėliavimo srityse labai susijęs su gabenamųjų konteinerių naudojimu. Padėklus lengva sukrauti į konteinerius, o nugabenus į paskirties vietą lengva iškrauti. Daugelis padėklų skirti pakrauti sunkiems kroviniams (1000 kg dažnai yra normali padėklo apkrova). Kasmet pagaminama apie pusę milijardo padėklų. Vien JAV naudoja apie 2 milijardus padėklų. Padėklus sandėliuose dažniausiai kilnoja ir vežioja šakiniais krautuvais, tačiau paprastai būna įmanoma padėklą pervežti rankomis varomu vežimėliu. Sandėliai, kuriuose naudojami padėklai, turi turėti lygias grindis, kuriomis gali važinėti keltuvai ir vežimėliai.

Iki atsirandant padėklams ir konteineriams prekes kraudavo į dėžes ar statines, kai kurias prekes gabendavo ryšuliuose. Pirmieji padėklai atsirado XX a. pradžioje. Tai būdavo patys paprasčiausi padėklai, sudaryti iš plokšmės – ant sijų sukaltų lentų. Pirmieji padėklai imti naudoti JAV gamyklose kartu su žemo kėlimo krautuvais. Rankinius krautuvus išrado 1887 m. Atsparesni ir patogesni plieniniai atsirado 1909 m.

Atsiradę abipusiai padėklai ir modernesni aukštojo kėlimo šakiniai krautuvai leido padėklus su kroviniiais krauti į rietuves, kas labai padidino sandėlių ir transporto efektyvumą. 1931 m. iškrauti vagoną su 13 000 skardinių reikėdavo maždaug trijų dienų. Pradėjus naudoti padėklus, toks vagonas būdavo iškraunamas per 4 valandas. Padėklų naudojimą labai paspartino JAV dalyvavimas Antrajame pasauliniame kare. Padėklai labai paspartino karinių krovinių pervežimus, palengvino jų sandėliavimą. Pervežimo ir sandėliavimo darbams reikėjo mažiau žmonių, kurių karo metu trūko, turimuose sandėliuose buvo sutalpinama daugiau krovinių.

Pasaulyje nėra sutarta dėl padėklų vienodų dydžių. Dažnai kompanijos ir organizacijos turi savus standartinius padėklų dydžius, nors egzistuoja plačiai naudojami padėklų dydžių standartai.

ISO padėklų standartas

Tarptautinė Standartų Organizacija ISO (International Organization for Standardization) ISO standarte „ISO 6780: Flat pallets for intercontinental materials handling – Principal dimensions and tolerances“ rekomenduoja šešis padėklų dydžius (1.1 lentelė).

Padėklai, pagaminti iš neapdorotos medienos neatitinka ISPM 15 standarto. Mediena turi būti apdorota vienu iš žemiau nurodytų būdų prižiūrint įgaliotai institucijai:

- Apdorojimas karščiu. Mediena kaitinama taip, kad giluminės medienos dalys įšiltų iki +56 °C ir išbūtų šioje temperatūroje bent 30 min. Taip apdoroti padėklai turi HT žymę (angl. heat treatment 'apdorota karščiu') prie IPPC logotipo.

- Cheminis apdorojimas. Mediena ap rūkoma metilo bromidu. Taip apdoroti padėklai turi MB žymę (angl. methyl bromide) prie IPPC (angl. International Plant Protection Convention 'Tarptautinė augalų apsaugos konvencija') logotipo.

Padėklams iš plieno, aliuminio, plastiko ar perdirbtos medienos (pvz., faneros, kartono) IPPC reikalavimai netaikomi.

3.1 lentelė ISO standarto rekomenduotini 6 palečių dydžiai.

Dydis (mm)	Dydis (coliai)	Regionas
1200 x 1000	47,24 x 39,37	Europa, Azija
1200 x 800	47,24 x 31,50	Europa
1219 x 1016	48,00 x 40,00	Šiaurės Amerika
1140 x 1140	44,88 x 44,88	Australija
1100 x 1100	43,30 x 43,30	Azija
1067 x 1067	42,00 x 42,00	Šiaurės Amerika, Europa, Azija

1.4. Mokslinės literatūros apžvalga

1.4.1 Prototipų mechaninio apdirbimo pramoniniu robotu tyrimai

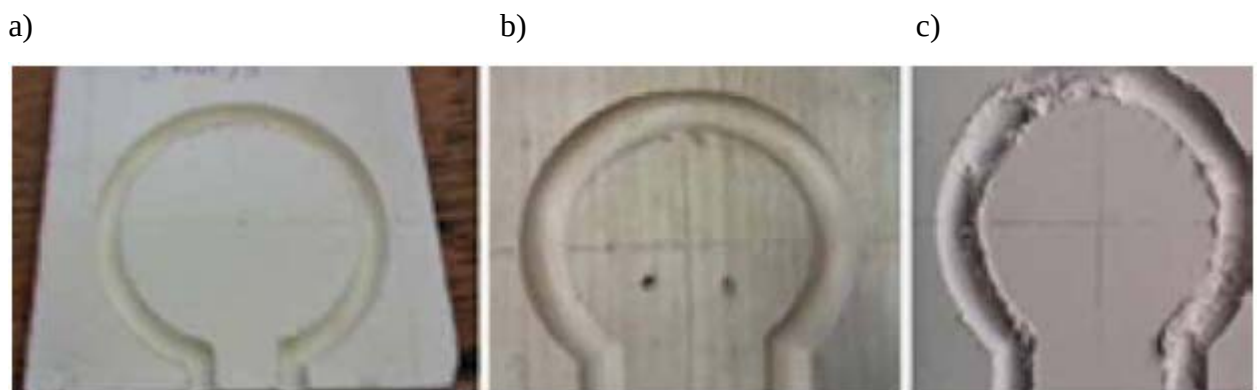
Atlikto mokslinio tyrimo darbo tikslas - optimizuoti prototipinės sistemos mechaninį apdirbimą, naudojant pramoninį robotą „Motoman SSF-2000“ (1.5 pav.). Ištirti roboto vibracinį aktyvumą, frezuojant įvairių medžiagų ruošinius trijų ašių (X, Y, Z) sistemoje. Parinkti roboto įrankiui optimalią pjovimo pastūmą frezuojant medieną, polipropileną ir ekstruzinį polistireną trijų ašių sistemoje.



1.5 pav. Pramoninis robotas „Motoman SSF-2000“

Virpesių parametrų matuoti buvo naudojamos Danijos firmos „Brüel & Kjær“ virpesių matavimo priemonės: kilnojamoji matavimo duomenų apdorojimo įranga „3660-D“; kompiuteris; seisminis akselerometras „8344“; 2 trijų ašių akselerometrai „4506“. „Omega“ formos sinusoidės profilis frezuotas naudojant „Kress 1050“ frezavimo galvutę su kietojo metalo 4 plunksnų 8 mm skersmens freza. Akselerometrai buvo tvirtinami prie suklinės galvutės, roboto plaštakos ir ant sistemos stovo. Paviršiaus šiurkštumui matuoti naudotas dvigubas mikroskopas „MHC-11“. Juo galima matuoti mikronelygumų aukštį R_z nuo 80,0 iki 0,8 μm . Prietaisas veikia šviesos pjūvio principu. Jo esmė tokia: lygiagretusis spindulių pluoštas pro siaurą plyšį 45° kampą apšviečia tiriamąjį paviršių; nuo paviršiaus nelygumų atsispindėjusi šviesos juostelė išsikreivina, o išsikreivinimo aukštis yra proporcingas mikronelygumų aukščiui.

Naudojant „SolidWorks“ programinį paketą, sudarytas „Omega“ formos sinusoidės profilis (1.6 pav.), kuris bus frezuojamas. Pagal sudarytą profilį, naudojant „PowerMill“ paketą, sugeneruoti „NC“ kodai. Sugeneravus „NC“ kodus, apdirbimo programa perkeliama į „IRBCAM“ programą, o „NC“ kodai paverčiami robotui „MOTOMAN SSF2000“ suprantama „Inform III“ kalba.

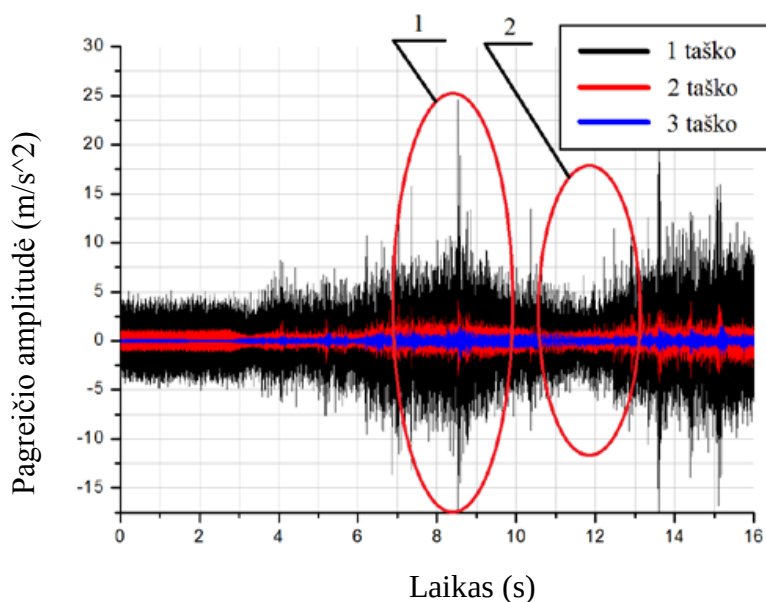


1.6 pav. „Omega“ formos sinusoidės profilis.

(Mokslas – Lietuvos ateitis 2012)

Gauti virpesių matavimo signalai apdoroti kompiuteriu, naudojant programinius paketus „Origin 8“ ir „Pulse“. Atsižvelgiant į roboto sukeltus virpesius, pjaunant įvairias medžiagas ir esant įvairioms pastūmoms, tiriamos sistemos sukelti virpesiai skirtinguose taškuose buvo matuojami dviejose vietose (laiko intervalas 16 s). Pradėjus roboto įrankiui frezuoti „Omega“ profilio sinusoidę, buvo nustatomi tiriamosios sistemos virpesiai (1.7 pav.): sinusoidės įdubimas (1 intervalas) ir iškilimas (2 intervalas).

Vertinant akselerometrų rodmenis pagal vertikalią kryptį, didžiausi virpesiai nustatomi prie sūklinės galvutės. Todėl buvo lyginama vertikalių virpesių pagreičio amplitudės standartinio nuokrypio reikšmių prie sūklinės galvutės priklausomybė nuo pastūmos dydžio esant sinusoidės įdubimui ir iškilimui, frezuojant skirtingas medžiagas.

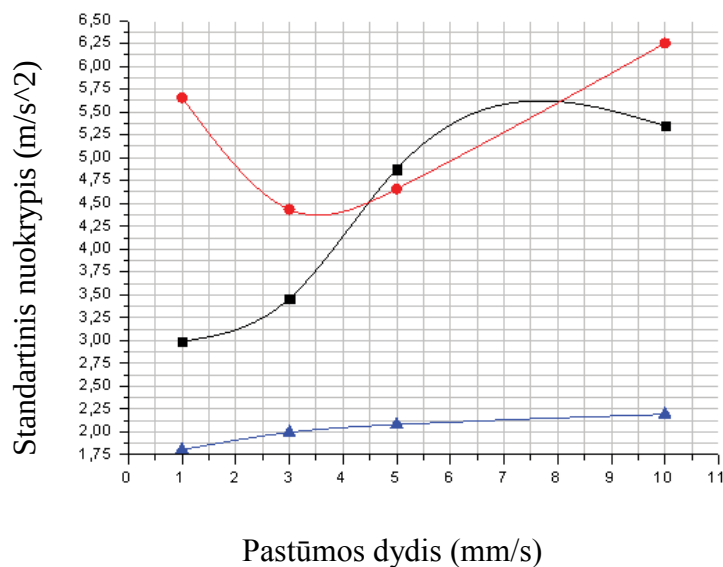


1.7 pav. Analizuoti roboto sukeliamų vibracijų intervalai

(Mokslas – Lietuvos ateitis 2012)

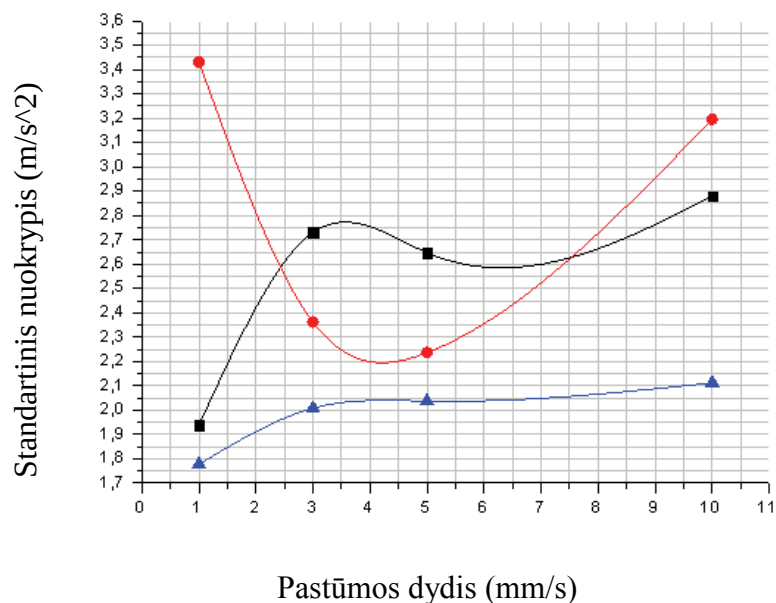
Apdirbant iš skirtingų medžiagų sudarytą sinusoidės profilį, vertikalių virpesių pagreičio amplitudės standartinio nuokrypio priklausomybės nuo pastūmos dydžio pavaizduotos 1.8 ir 1.9 pav.

Iš eksperimento duomenų matyti, kad apdirbant profilį iš medienos ir ekstruzinio polistireno, vertikalių virpesių pagreičio amplitudės standartinis nuokrypis sinusoidės įdubime (1 intervalas) didėjo didinant pastūmos dydį. Frezuojant iš polipropileno, vertikalių virpesių pagreičio amplitudės standartinio nuokrypio reikšmė mažiausia esant 3 mm/s pastūmai, o didžiausia – esant 10 mm/s pastūmai.



1.8 pav. Vertikalių virpesių pagrindinės amplitudės standartinio nuokrypio priklausomybė nuo pastūmos dydžio esant sinusoidės įdubimui

(Mokslas – Lietuvos ateitis, 2012)



1.9 pav. Vertikalių virpesių pagrindinės amplitudės standartinio nuokrypio priklausomybė nuo pastūmos dydžio esant sinusoidės iškilimui

(Mokslas – Lietuvos ateitis 2012)

Darbe „Prototipų mechaninio apdirbimo pramoniniu robotu tyrimai“ suformuotos išvados:

1. Mechaninio apdirbimo metu, didėjant vertikalių virpesių pagreičio amplitudės standartinio nuokrypio reikšmei, didėja apdirbamos medžiagos paviršiaus šiurkštumas.

2. Apdirbant medieną, kai yra skirtingos pastūmos, tiriamos sistemos mažiausia vertikalių virpesių pagreičio amplitudės standartinio nuokrypio reikšmė ir mažiausias paviršiaus šiurkštumas pasiekiamas esant 1 mm/s pastūmai.

3. Norint pasiekti mažiausią paviršiaus šiurkštumą frezuojant polipropileną, optimali pastūma yra 3 mm/s.

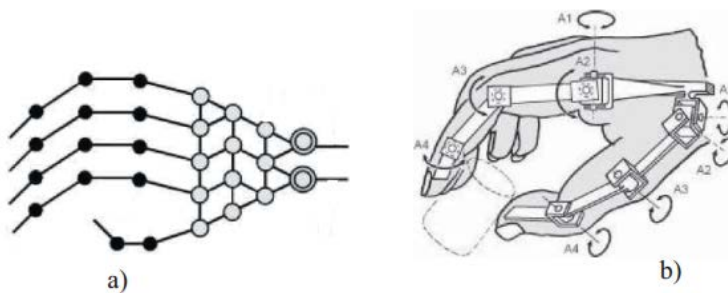
4. Apdirbant ekstruzinį polistireną skirtingomis pastūmomis, vertikalių virpesių pagreičio amplitudės standartinio nuokrypio reikšmės ir paviršiaus šiurkštumas didėjo proporcingai pastūmos dydžiui.

5. Mažiausios vertikalių virpesių pagreičio amplitudės standartinio nuokrypio reikšmės nustatytos apdirbant ekstruzinį polistireną (*Mokslas – Lietuvos ateitis* 2012).

1.4.2 Pramoninio roboto griebtuve atsiradusio nesklandumo galimų pasekmių tyrimas

Mokslinis straipsnis „Pramoninio roboto griebtuve atsiradusio nesklandumo galimų pasekmių tyrimas“ apžvelgiamas, nes yra glaudžiai susijęs palečių dalių perkėlimo klausimu. Straipsnyje tiriamas pramoninio roboto korpuso sukimosi kampinio greičio $w_n - w_{max}$, minimalioje ir maksimalioje darbo zonoje. Tikslas – ištirti galimas pasekmes žmonėms, išsprūdus perkeliamai detalei iš pramoninio roboto manipulatoriaus griebtuvo, jam atliekant korpusu sukamąjį judesį.

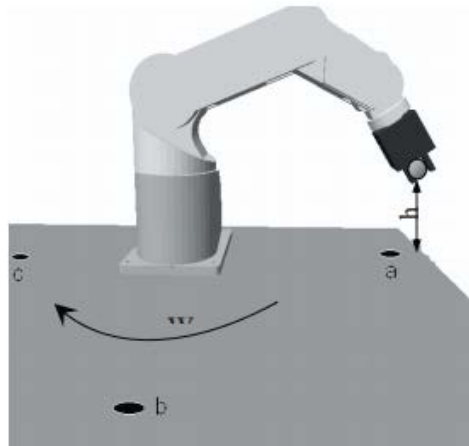
Pramoninių robotų komplekte būna tipinių griebtuvų rinkiniai, iš kurių griebtuvai parenkami atsižvelgiant į roboto atliekamą darbą. Pagal poveikio objektui pobūdį griebtuvai skirstomi į mechaninius, vakuuminius (pneumatinčius), magnetinius (elektromagnetinius) ir kt. Roboto pernešama detalė gali būti palaikoma iš apačios (vienpusis paėmimas), suspaudžiama iš dviejų pusių mechaniniais pirštais ar kitais būdais (dvipusis paėmimas), apimama iš visų pusių (tūrinis paėmimas). Daug dėmesio yra skiriama manipulatoriaus griebtuvui modernizuoti, pasitelkiant kaip etaloninį pavyzdį žmogaus rankos plaštaką, kuri kol kas laikoma pačiu moderniausiu ir universaliausiu įrankiu daiktams paimti (1.10 pav.).



1.10 pav. Žmogaus rankos a) kinematinių grandžių schema, b) supaprastintas mechanizmo pavyzdys

(*Technologijos mokslai* 2009)

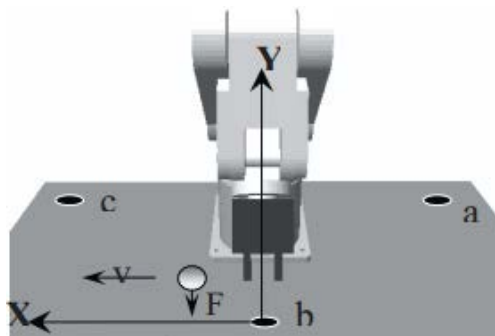
Tyrimui pasirenkamas RV-6S roboto manipulatorius. Jis dirba uždaroje patalpoje. Gamybos našumui didelę įtaką turi jame dirbančių automatinų manipuliatorių greitaveika. Šiuo konkrečiu atveju manipulatorius atlieka iš anksto užprogramuotą užduotį: turi pernešti detalę iš taško „a“ į tašką „c“ pakėlęs ją nuo pagrindo į 1 metro aukštį h , kampiniu greičiu w (1.11 pav.).



1.11 pav. Manipulatorius, paėmęs detalę iš taško a, sukamuoju judesiu neša link taško c.

(Technologijos mokslai 2009)

Sakykime, kad dėl blogai paimtos detalės ar atsiradusio gedimo jo griebtuve, manipulatoriaus griebtuvas paleido pernešamą detalę taške „b“ ir detalę nuskriejo trajektorija „X“ (1.12 pav.).



1.12 pav. Iš automatinio manipulatoriaus griebtuvo žnyplių taške „b“ išsprūsta nešama detalė ir nuskrieja „X“ kryptimi linijiniu greičiu v_0 , kol nukrenta.

(Technologijos mokslai 2009)

Nustatyta, kokių atstumu „l“ (formulės 1.1 ir 1.2) nuskries detalė, išsprūdusi iš manipulatoriaus griebtuvo 1 metro aukštyje. Šiuo atveju, kai taškas „b“ yra „X“ ir „Y“ koordinačių sankirtos pradžia:

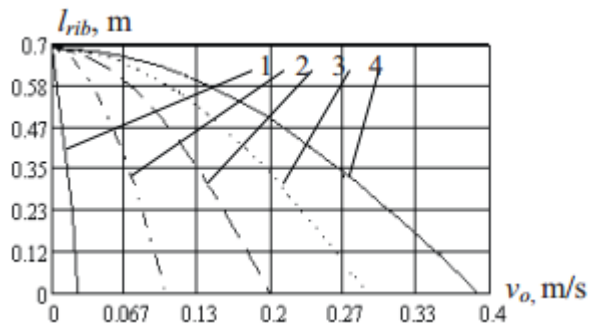
$$v_0 = 2 \cdot \pi \cdot w \cdot r \quad (1.1)$$

$$l(w, r) = v_0 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{h}{g}} \quad (1.2)$$

Čia: v_0 – pradinis greitis (m/s), π – konstanta, w – kampinis greitis (rad/s), r – spindulys (m), l – ilgis (m), h – aukštis (m), g – laisvo kritimo pagreitis (m/s^2).

Nustatyta, prie kokio linijinio greičio „ v_0 “ (formulės 1.3 ir 1.4) detalė, išsprūdusi iš manipulatoriaus griebtuvo, nuskries atstumą „ l_{rib} “, bet neviršys „ r_{max} “, manipulatoriaus maksimalios darbo zonos, teigiant, kad XY koordinačių sistemoje „Y“ ašis yra atstumas nuo manipulatoriaus pagrindo centro (1.13 pav.):

1 – 1 (0,69; 0,0052); 2 – 1 (0,64; 0,0276); 3 – 1 (0,6; 0,055); 4 – 1 (0,56; 0,0825); 5 – 1 (0,52; 0,098).



1.13 pav. Atstumo „ l_{rib} “ priklausomybė nuo detalės linijinio greičio „ v_0 “, kuriuo skriedama detalė nekirs manipulatoriaus „ r_{max} “ – maksimalios darbo zonos, išsprūdusi aukštyje $h = 1$ m.

(Technologijos mokslai, 2009)

$$v_0(w, r) = 2 \cdot \pi \cdot w \cdot r \quad (1.3)$$

$$l_{rib}(v_0) = 2 \cdot \pi \cdot w \cdot r \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{h}{g}} \quad (1.4)$$

Detalė, išsprūdusi iš griebtuvo, neišskries už maksimalios manipulatoriaus darbo zonos $r_{max} = 0,69$ m, jei bus išlaikyti manipulatoriaus kampinio greičio „ w “ ir darbo zonos spindulio „ r “ santykis.

Atlikus tyrimą suformuotos išvados:

1. Nustatyta, kad manipuliatoriui atliekant korpuso pasisukimą „ w_{max} “ kampiniu greičiu, tiek prie „ r_{min} “, tiek prie „ r_{max} “ pernešama detalė išskrieja už manipulatoriaus darbo zonos.

2. Prie „ w_{max} “ ir „ r_{max} “ nesaugi zona aplink manipuliatorių prasiplečia iki 13,7 m, o prie „ w_{max} “ ir „ r_{min} “ nesaugi zona yra iki 10,32 m.

3. Prie „ $r_{\max}$ “ pagrindo kampinis greitis $w \leq 0,0052$ rad/s, o prie „ $r_{\min}$ “ $w \leq 0,098$ rad/s, kad detalė neišskrietų už manipulatoriaus darbo zonos.

1.4.3 Roboto „MOTOMAN SSF2000“ dinaminių savybių ir pakartotinumų tyrimas

Tyrimo objektas yra robotas „MOTOMAN SSF2000“. „MOTOMAN“ robotų pozicionavimo tikslumai siekia nuo $\pm 0,02$ mm (HP3J, HP3XF...) iki $\pm 0,5$ mm (PX2850, EPX2800R, EPX2900, PX1750-F50, PX2050-F50, PX2850-F50...). Atliekant technologinį procesą, roboto griebtuvas kiekvienu laiko momentu turi užimti erdvėje tam tikrą padėtį, kurią nustato programinės atskirų manipulatoriaus grandžių apibendrintųjų koordinačių reikšmės. Darbo metu roboto pavaros neužtikrina tikslų apibendrintųjų koordinačių reikšmių. Dėl to atsiranda darbo įtaiso pozicionavimo paklaida, t. y. kinematinė manipulatoriaus paklaida. Ji gali būti tiesinė ir kampinė. Tiesinę manipulatoriaus griebtuvo paklaidą galima apskaičiuoti pagal 1.5 formulę:

$$\Delta r = \sum_{i=1}^n \frac{\partial r_i}{\partial q_i} \Delta q_i \quad (1.5)$$

čia – Δq_i apibendrintosios koordinatės q_i paklaida.

Kampinė manipulatoriaus paklaida vadinamas kampas, kuriuo reikia pasukti griebtuvą, kad koordinačių sistemos $O_1 \ x_1 \ y_1 \ z_1$ ašys būtų lgiagrečios su sistemos $O_1 \ x_1 \ y_1 \ z_1$ ašimis.

Kiekviena roboto grandis turi automatinę pavarą, kuri užtikrina tam tikrą pozicionavimo tikslumą. Slenkamosios grandies tikslumas apskaičiuojamas pagal 1.6 formulę:

$$\Delta S_i = \frac{K_m S_i}{D_i} \quad (1.6)$$

Pozicionavimo procese dalyvauja tiesiaieigio ir kampinio poslinkių grandys. Suminė roboto pozicionavimo paklaida aprašyta 1.7 formulėje:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta S_i + \sum_{i=1}^n \Delta \phi_i \leq [\Delta] \quad (1.7)$$

čia – ΔS_i tiesiaieigio judesio grandžių paklaidos dedamoji; $\Delta \phi_i$ – posūkio grandžių paklaidos dedamoji. Leistinoji roboto pozicionavimo paklaida – pagal 1.8 formulę:

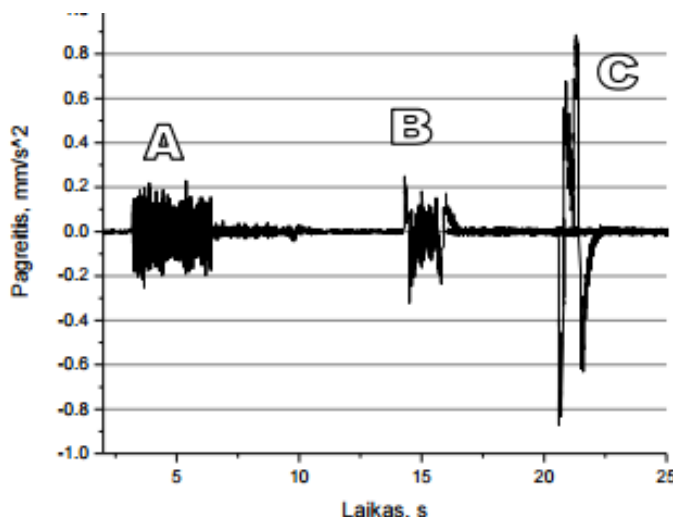
$$[\Delta] = \frac{\Delta_0}{K_{\Delta}} \quad (1.8)$$

čia Δ_0 – leistinoji bazavimo paklaida, nustatoma remiantis manipuliavimo objekto pastatymo tikslumo reikalavimais.

Roboto savieji virpesiai buvo tirti trimis skirtingais greičiais: 3 mm/s; 16 mm/s; 30 mm/s. Tyrimai parodė, kad priklausomai nuo greičio didėja ir savitieji virpesiai. Pagrindinis šio tyrimo tikslas – ištirti, kokie yra savitieji virpesiai veikiant kiekvienam servovarikliui atskirai ir kaip tai gali paveikti įrankio darbą.

Tyrimas vyksta dviem etapais: kai manipulatoriaus pozicija yra vertikali ir horizontali. Roboto rankos savitieji virpesiai, kai roboto pozicija vertikali, pavaizduoti 1.14 pav.:

- A: greitis – 3 mm/s, minimali reikšmė – $-0,250 \text{ mm/s}^2$, maksimali reikšmė – $0,228 \text{ mm/s}^2$, sklaida – $0,478 \text{ mm/s}^2$;
- B: greitis – 16 mm/s, minimali reikšmė – $-0,320 \text{ mm/s}^2$, maksimali reikšmė – $0,248 \text{ mm/s}^2$, sklaida – $0,568 \text{ mm/s}^2$;
- C: greitis – 30 mm/s, minimali reikšmė – $-0,870 \text{ mm/s}^2$, maksimali reikšmė – $0,885 \text{ mm/s}^2$, sklaida – $1,755 \text{ mm/s}^2$.



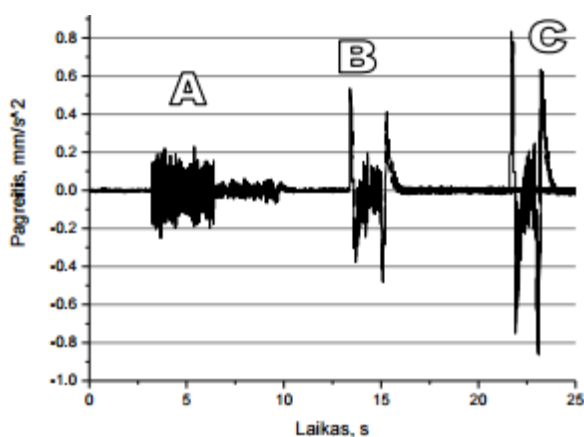
1.14 pav. Griebtuvo virpesiai, kai Z ašis juda trimis skirtingais greičiais, robotui esant vertikaliajoje pozicijoje: A – kai robotas juda 3 mm/s greičiu; B – 16 mm/s greičiu; C – 30 mm/s greičiu

(Mokslas – Lietuvos ateitis 2010)

Roboto rankos savitieji virpesiai, kai roboto pozicija horizontali (1.15 pav.):

- A: greitis – 3 mm/s, minimali reikšmė – $-0,250 \text{ mm/s}^2$, maksimali reikšmė – $0,228 \text{ mm/s}^2$, sklaida – $0,478 \text{ mm/s}^2$.
- B: greitis – 16 mm/s, minimali reikšmė – $-0,482 \text{ mm/s}^2$, maksimali reikšmė – $0,535 \text{ mm/s}^2$, sklaida – $1,017 \text{ mm/s}^2$.

- C: greitis – 30 mm/s, minimali reikšmė – $-0,864 \text{ mm/s}^2$, maksimali reikšmė – $0,834 \text{ mm/s}^2$, sklaida – $1,698 \text{ mm/s}^2$.

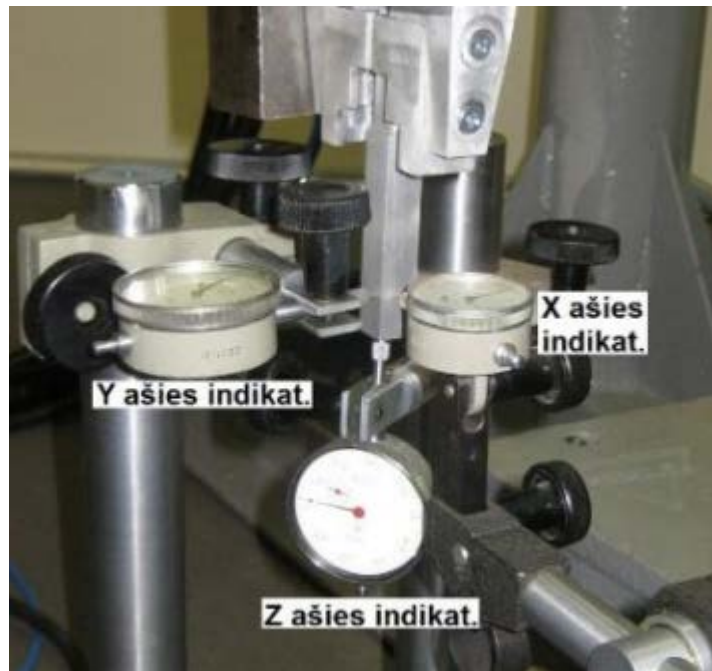


1.15 pav. Griebtuvo virpesiai, kai Z ašis juda trimis skirtingais greičiais, robotui esant vertikaliajoje pozicijoje: A – kai robotas juda 3 mm/s greičiu; B – 16 mm/s greičiu; C – 30 mm/s greičiu

(Mokslas – Lietuvos ateitis 2010)

Pozicionavimo tikslumas buvo tiriamas pagal sukurta metodiką, kur specialiai sukurtame stende indikatoriai buvo išdėstyti taip, kad būtų galima išmatuoti visų trijų (X, Y ir Z) koordinatinių ašių poslinkius. Į roboto griebtuvą buvo įstatytas kalibratorius, kuris yra stačiakampio gretasienio formos ir kurio visos plokštumos yra statmenos. Tyrimo metu atitinkamai trys indikatoriai kontaktuoja su trimis kalibratoriaus sienelėmis (1.16 pav.).

Prieš atliekant eksperimentą robotas yra pastatomas į tokią poziciją, kad būtų galima užfiksuoti jo esamą padėtį. Tuo metu indikatorių rodmenys yra nustatomi ties nuline pozicija. Tuomet robotui yra nustatomas darbas, po kurio jis ir vėl turi sugrįžti į tą pačią poziciją iš kurios pradėjo vykdyti darbą. Jam grįžus ir nusistovėjęs yra užrašomi indikatorių rodmenys. Prieš atliekant bandymą iš naujo, indikatorių rodmenys ir vėl nustatomi ties nulinėmis pozicijomis. Tokių bandymų buvo atlikta 150 atskirai su trimis skirtingais greičiais ir masėmis.



1.16 pav. Stendas su kalibratoriumi ir indikatoriais

(Mokslas – Lietuvos ateitis 2010)

Ištyrus roboto savuosius virpesius, jam esant vertikalioje ir horizontalioje pozicijose, nustatyta, kad robotas, nors ir nežymiai, tačiau stabilesnis yra vertikalioje pozicijoje, lyginant su horizontalia pozicija. Tiriant roboto rankos pozicionavimo tikslumą matoma roboto priklausomybė nuo masės, kur didėjant masei didėja ir pozicionavimo paklaidos. Labiausiai robotas yra netikslus „X“ ašyje. Roboto priklausomybė nuo greičio yra analogiška: kuo greitis didesnis, tuo didesnė ir paklaida. „Z“ ašis šiuo atveju yra stabilesnė ir robotas joje turi mažesnes paklaidas.

Tyrimo apibendrinimas:

1. Dinaminių savybių tyrimas, kurio metu buvo ištirti roboto savieji virpesiai, rodo, kad robotas stabilesnis yra vertikalioje pozicijoje.

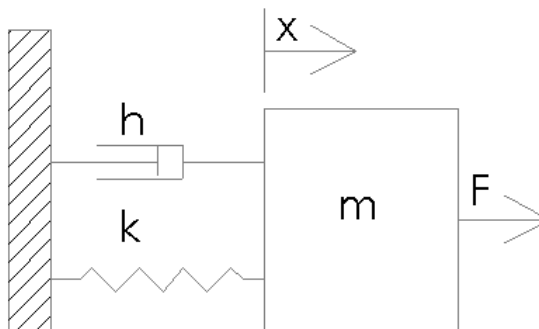
2. Pozicionavimo tikslumo tyrimo rezultatai parodė, kad roboto „MOTOMAN SSF2000“ tikslumas, nors ir nežymiai, tačiau priklauso nuo roboto įrankio masės ir judėjimo greičių. Tiriamas robotas neviršija gamintojo nustatyto $\pm 0,08$ mm tikslumo. Gauti rezultatai palyginti su teoriniais. Tyrimai parodė, kad maksimalūs nuokrypiai neviršija 25 proc. (tai yra 20,00 mikrometrų) teorinio (80,00 mikrometrų) nuokrypio, o vidutiniai nuokrypiai neviršija 16,67 proc. (13,33 mikrometrų).

2. TEORINIAI TYRIMAI

Kiekviena dinaminė sistema turi masę, yra tampri ir todėl gali virpėti. Virpesiai tiriami, nes pasiekti rezonansiniai dažniai, kurie kyla saviesiems sistemos virpesiams sąveikaujant su aplinkiniais virpesiais, gali būti žalingi patiems įrenginiams. Dinaminės sistemos dažnai būna sudėtingos, todėl priimtina jas supaprastinti.

Pramoninio roboto „MOTOMAN SSF2000“ naudojimo paletavimui sistema sumodeliuota į „MATLAB“ programos papildinio Simulink aplinką. Vinies smūgio metu robotas nejuda, todėl dinaminis modelis supaprastinamas visas roboto grandis imant kaip vieną kūną. Supaprastintas vieno laisvės laipsnio sistemos dinaminis modelis pavaizduotas 2.1 pav. judantis viena „x“ ašimi (išilgai vinies kalimo krypties). Pagal realią tiriamąją sistemą priimta, kad standumo koeficientas $k = 100 \text{ N}\cdot\text{m}$, slopinimas $h = 2500 \text{ N}\cdot\text{s/m}$ (tai realioje sistemoje atitinka roboto grandis) ir vinių masę atitinkanti masė $m = 5 \text{ kg}$ (2.1 lentelė). Supaprastintas modelis pateikiamas 2.1 pav.

Tyrimas atliekamas pagreičių, kurie atsiranda vinių smūgio metu ir laiko, per kurį sistema nusistovi nustatymui.



2.1 pav. Dinaminis vieno laisvės laipsnio sistemos modelis (h – slopinimo koeficientas; k – standumo koeficientas, m – masė, kg; F – jėga, N; x – judėjimo kryptis)

Bendroji diferencialinė sistemos lygtis aprašyta 2.1 formulėje :

$$F = m \ddot{x} + h \dot{x} + kx \quad (2.1)$$

čia: m – masė; h – slopinimas; k – standumas; $\ddot{x}$ – pagreitis; $\dot{x}$ – greitis; F – jėga.

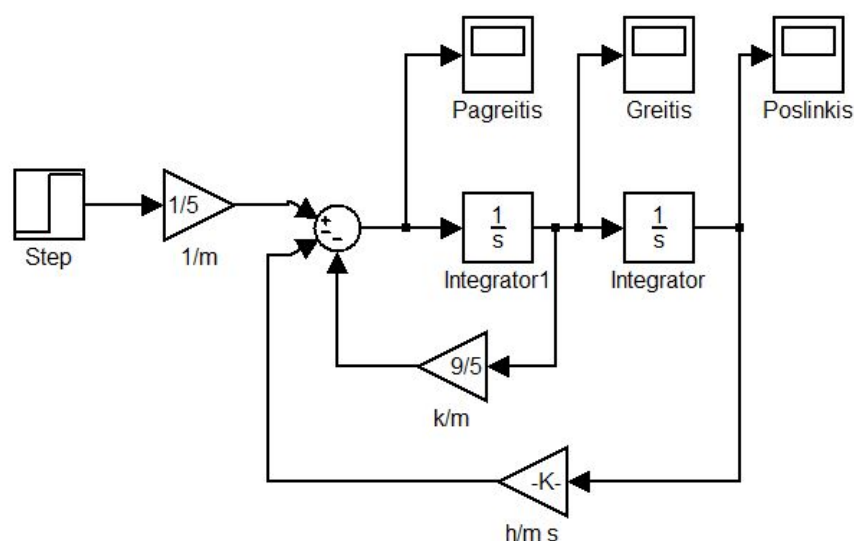
Sistemos operatorinė funkcija aprašyta 2.2 formulėje:

$$G_s = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{(1/m)}{s^2 + \frac{h}{m}s + \frac{k}{m}} \quad (2.2)$$

4.1 lentelė Pradiniai duomenys.

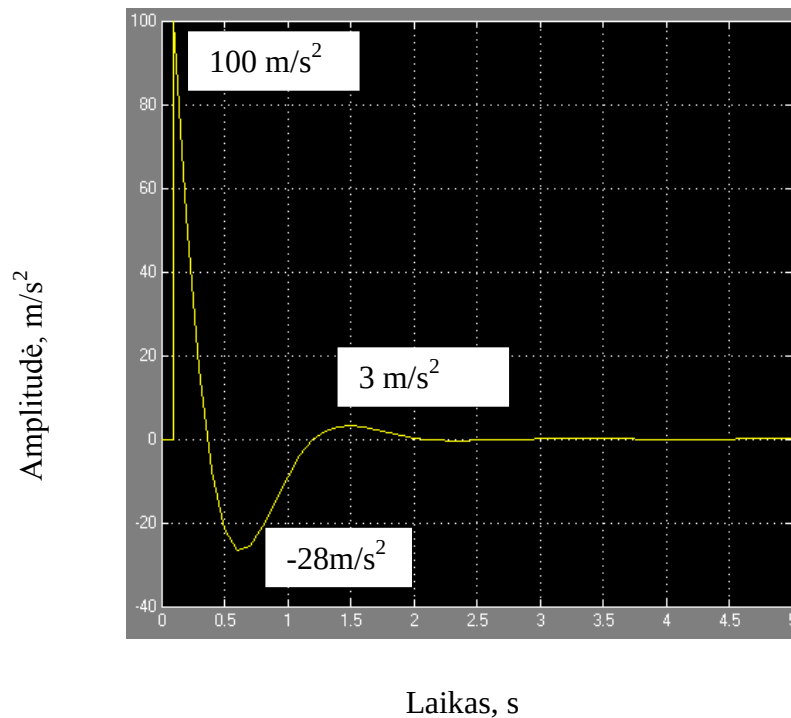
Pradiniai duomenys:	
Modelio masė, m	5 kg
Standumas, k	100 N/m
Slopinimas, h	2500 N·s/m;
Laisvės laipsnių skaičius	1

Teorinis tyrimas, atliekamas matematinės programos „MATLAB“ įrankiu „Simulink“. „Simulink“ dinaminis modelis sudarytas iš įvairių elementų (2.2 pav.), kurie atlieka tam tikras funkcijas. Šiame darbe naudojami „Step“, „Gain“, „Sum“, „Integrator“ ir „Scope“ elementai. Schema pradedama „Step“ elementu. Šio elemento funkcija – sistemos žadinimas. Ji atitinka realios sistemos pneumatinio viniakalio smūgio metu išskirtą energiją. Toliau naudojami trys „Gain“ elementai į kuriuos atitinkamai suvedame reikšmes 1/m, h/m, ir k/m. „Sum“ elementas sumuoja parametrus. Antras ir trečias „Gain“ yra grįžtamojo ryšio elementai, kurie atitinka realios sistemos standumą ir slopinimą. Elementai „Integrator“ suskaičiuoja įvestus parametrus. Elementą „Scope“ galima laikyti išvesties komponentu, kuris parodo sužadintos sistemos rezultatą grafiniu pavidalu.



2.2 pav. Vieno laisvės laipsnio sistemos dinaminis modelis „Simulink“ aplinkoje.

Tyrimas susideda iš trijų bandymų, tariamai pasirinkus 3 skirtingus slėgius imituojant viniakalio žadinimą sistemoje. Keičiant dinaminio modelio „Step“ komponento reikšmę, 2.3 paveikle pateikti rezultatai, kai vinies kalimo metu paduodamas slėgis lygus 8 barams. Kaip matyti iš grafiko, pagreičio amplitudė siekia net 100 m/s^2 , ir sistema nusistovi maždaug per 2,5 sekundes.



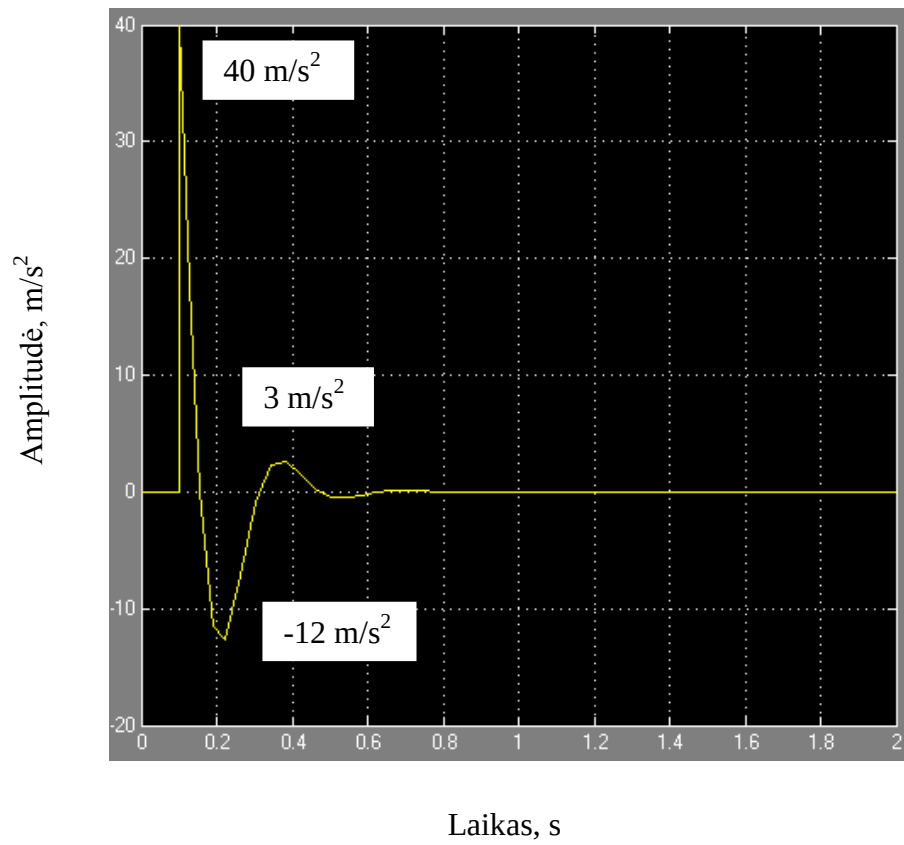
2.3 pav. Vieno laisvės laipsnio sistemos pagreičio grafikas. Slėgis lygus 8 bar.

Antruoju atveju nustatomas 4 barų slėgis. Pagreitis ženkliai sumažėjo iki 40 m/s^2 , ir sistema nusistovi per 0,5 sekundės (2.4 pav.)

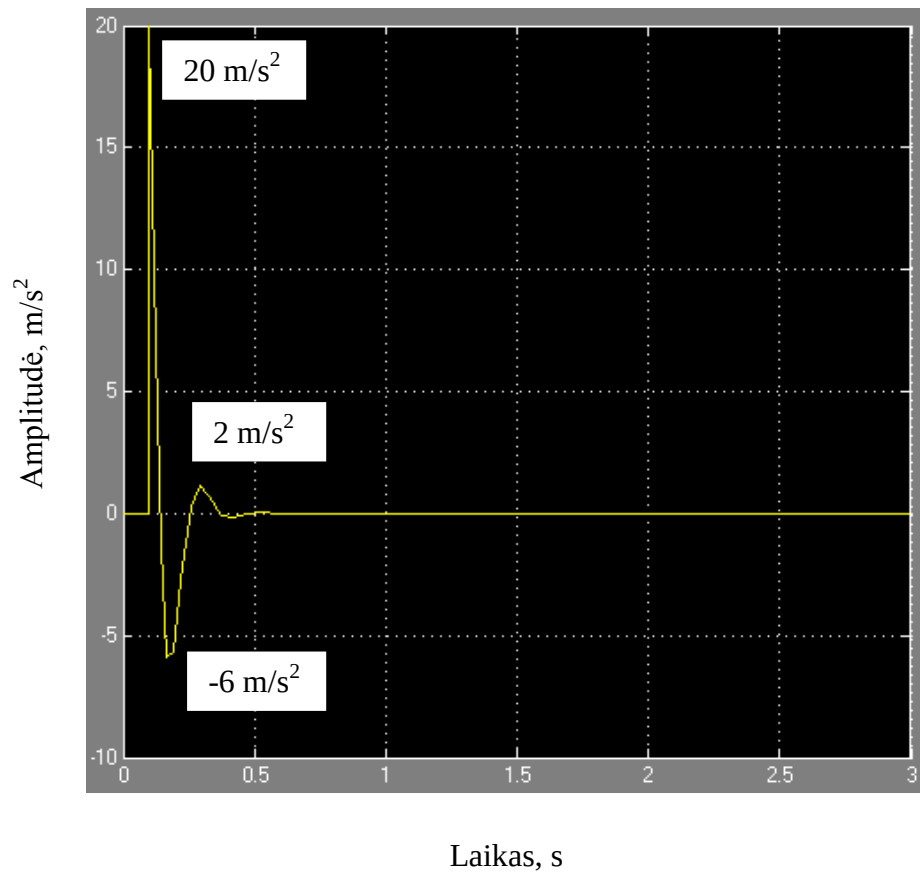
Trečiuoju atveju simuliacija daroma nustačius 3 barų slėgį. Gauti rezultatai pateikiami 2.5 pav., iš kurių matyti, kad maksimali, smūgio metu pasiekta pagreičio vertė yra lygi 20 m/s^2 ir sistemai nusistovėti reikia maždaug 0,4 sekundės.

Kadangi žadinimas vienkartinis, rezonansiniai dažniai šioje sistemoje nepavojingi.

Iš gautų grafikų matome, kad kuo didesnis sistemos sužadinimas, tuo sistema smarkiau svyruoja ir tuo ilgesnis sistemos nusistovėjimo laikas.



2.4 pav. Vieno laisvės laipsnio sistemos pagreičio grafikas. Slėgis lygus 4 bar.



2.5 pav. Vieno laisvės laipsnio sistemos poslinkio grafikas. Slėgis 3 bar.

3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

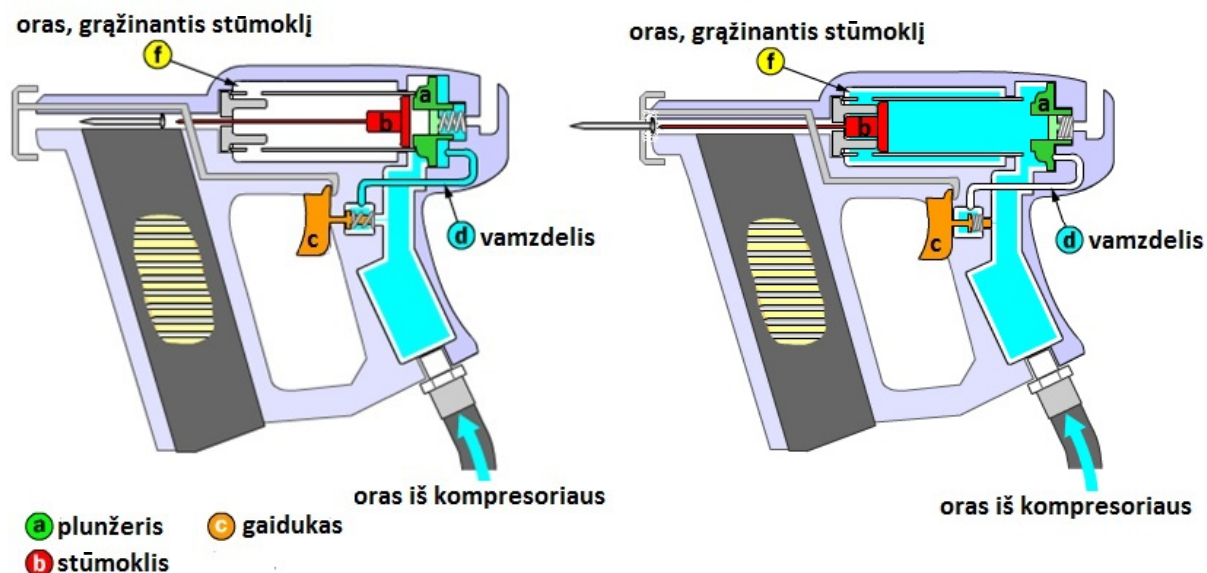
Eksperimentinio metodo ir technologinės įrangos parinkimas

Eksperimentas atliekamas realioje prototipinėje sistemoje, kurioje pramoninis robotas pritaikytas paletėms atskiroms dalims sukalti. Kalimo metu, dinaminės sistemos reiškiniai tiriami naudojant laboratorinę vibracijų matavimo įrangą, kurią valdyti ir gautus duomenis apdoroti galima naudojant asmeninį kompiuterį.

Pneumatinis viniakalis „BIZON“

Populiariausia viniakalių rūšis yra pneumatiniai viniakaliai. Šiuose įrenginiuose kalimo jėgą sukuria suspaustas oras, kuris imamas iš oro kompresorių. Standartiniai kompresoriai suspaudžia orą cilindruose stūmokliais. Kai stūmoklis yra žemiausioje padėtyje, oras siurbiamas iš atmosferos, o kildamas į viršų stūmoklis suspaudžia orą, kuris yra nukreipiamas į tam tikrą talpyklą, kur sukuriama slėgis. Šis slėgis per žarną, sujungtą su pneumatiniu pistoletu, generuoja kalimo jėgą.

Pneumatinio viniakalio (3.1 pav.) pagrindinės kalimą užtikrinančios dalys yra plunžeris (a), stūmokliukas, pritaikytas vinims kalti, (b) ir gaidukas (c). Prijungus pneumatinį viniakalį prie oro kompresoriaus, slėgis spaudžia plunžerį (a) iš abiejų pusių vienodai, plunžeris yra išbalansuotas, tačiau iš galinės jo pusės yra spyruoklė, kuri užsandarina cilindrą. Gaidukas (c) atidaro vožtuvėlį, per kurį sumažinamas slėgis iš galinės plunžerio pusės, slėgis nuspaudžia spyruoklę, plunžeris nutolsta nuo cilindro, todėl į jį patenka slėgis, kuris suteikia stūmokliukui jėgos viniai įkalti. Įkalus vinį, slėgis iš grąžinančių stūmoklį kanalų atstumia stūmokliuką atgal, o plunžeris vėl uždaro cilindrą.



3.1 pav. Pneumatinio vinių sandara (a–plunžeris; b–stūmoklis; c–gaidukas; d–vamzdelis; f–oras grąžinantis stūmoklį)

(Howstuffworks 2014)

Pneumatinis vinių puikiai veikia net kalant mažo skersmens vinių į gana kietą medžiagą, tačiau darbą su juo apsunkina tai, kad jis būna sujungtas su kompresoriumi.

Dinaminių matavimų duomenų kaupiklis „NATIONAL INSTRUMENTS NI USB – 4431“

NI USB 4431 (3.2 pav.) yra 5-kanalų USB dinaminis akustinių signalų tyrimo modulis garso ir vibracijų matavimams su integruotais elektroniniais pjezoelektriniais (IEPE) arba neintegruotais IEPE jutikliais; keturi kanalai USB 4431 signalui iš jutiklių priimti; penktasis kanalas – išėjimo.

Modulio analoginiai įėjimai (AI) gali matuoti nuo 1 S/s iki 102.4 kS/s. USB-4431 siekia 100 dB dinaminį diapozoną AI kanalams ir kiekvienam AI kanalui gali būti įvesti skirtingi parametrai, pvz.: AC/DC jungtis ir IEPE priskirtas akselerometrams arba mikrofonams. Taip pat suderinamas su IEEE 1451.4 (TEDS) jutikliais (plačiau apie kaupiklio parametrus 3.1 lentelėje).

Analoginis išėjimas (A0) gali būti sinchronizuojamas su AI kanalais. A0 kanalo aukščiausia matavimo riba yra 96 kS/s, o dinaminis diapozonas siekia 89 dB.



3.2 pav. Dinaminių matavimų duomenų kaupiklis „National instruments NI USB – 4431“
(National instruments 2014)

5.1 lentelė Dinaminių matavimų duomenų kaupiklio „National instruments NI USB – 4431“ parametrai

4 įėjimo kanalai;	$\pm 10 \text{ V}$; 102.4 kS/s
1 išėjimo kanalas;	$\pm 3.5 \text{ V}$; 96 kS/s
Raiška AO ir AI kanalams	24-bit
Programinė įranga, kurią galima pasirinkti pagal signalą	0 ar 2.1 mA
Kalibravimo stebėjimas	NIST
Nešiojamas įrenginys	
USB maitinamas įrenginys	

Akselerometras

Akselerometras (3.3 pav.) yra prietaisas, kuris matuoja atitinkamą pagreitį („G jėga“). Toks pagreitis yra ne tas pats, kaip koordinatinis pagreitis (greičio pokytis). Pavyzdžiui, laisvai kritęs statmenai ir atsitrenkęs į Žemę akselerometras rodys $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, o laisvo kritimo metu matavimo rezultatas bus lygus 0 m/s^2 . Akselerometro parametrai pateikti 3.2 lentelėje.

Vienos ašies ar daugiaašio pagreičio matavimo prietaisai yra naudojami pagreičio (arba G-jėgos) dydžiui ir/ar kryptiai, kaip vektoriaus kiekiui aptikti, gali būti naudojami orientacijai nustatyti (masės krypties kitimas), vibracijai, smūgiams.

Akselerometrai yra naudojami dinamiškai apkrautų kūnų judesiams ir vibracijų struktūroms matuoti, pvz.: žmogaus veiklai (ėjimas, bėgimas), statybos darbams (griovimo, gręžimo ar kasimo), smūginių apkrovų vėjo ar vėjo gūsių, žemės drebėjimams nustatyti.



3.3 pav. ICP® 603C01 akselerometras

(Imi sensors 2014)

5.2 lentelė Akselerometro ICP® 603C01 parametrai

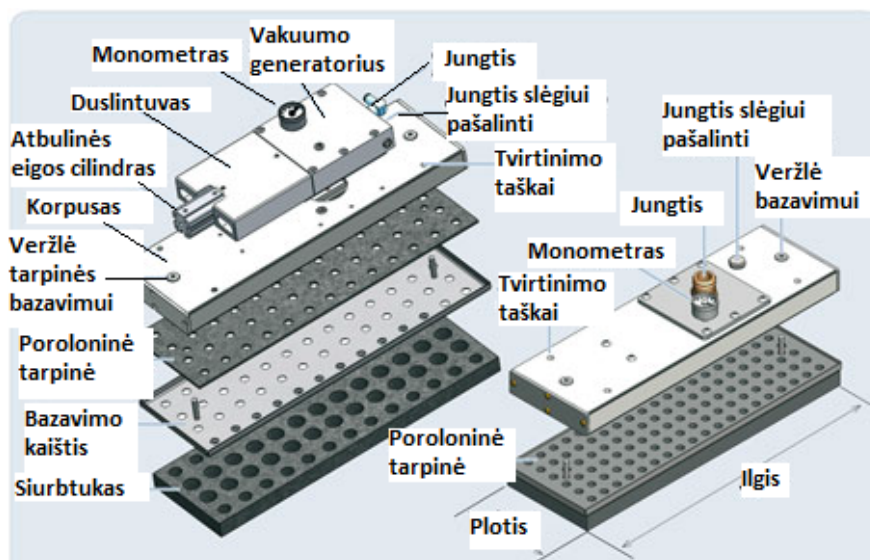
Akselerometras	Platininis ICP®
Modelis	603C01
Jautrumas	($\pm 10\%$) 100 mV/g (10.2 mV/(m/s ²))
Dažnių ribos	($\pm 3\text{dB}$) 30 to 600000 cpm (0.5 to 10000 Hz)
Matavimo ribos	± 50 g (± 490 m/s ²)
Jungtis	2-Pin MIL-C-5015

Vakuuminis griebtuvas „UNIGRIPPER“

„UniGripper“ (3.4 pav.) standartinė modulių sistema (SMS) yra modulinė įrankių sistema su „UniGripper“ patentuota vožtuvų sistema, dėl kurios ji užimama labai mažai vietos. Standartinio modulio plotis būna 80 arba 120 mm, tačiau gali būti lengvai padidintas dvigubai, trigubai ir t.t. Tokie griebtuvai gali būti iki 6000 mm ilgio.

Standartinė modulių sistema (SMS) gali būti kelių tipų: su integruotais vakuumo generatoriais arba su išoriniu maitinimu. SMS galima greitai pakeisti prisiurbimo dalies dangą, vakuumo indikatorių ar prijungti išorinį maitinimą, slėgį, kuris konvertuojamas į vakuumą.

„UniGripper“ sistema naudoja patentuotą technologiją, kuri automatiškai jaučia imamos detalės padėtį ir būtent toje vietoje kur yra detalė, aktyvuojama keliamoji galia. Dėl šios technologijos gali būti naudojamas tas pats griebtuvas net ir skirtingo dydžio detalėms, o keliamoji jėga išlieka optimali.



3.4 pav. Griebtuvo „Unigripper“ sandara

(Unigripper 2014)

Šiame griebtuve yra daug vienoje plokštumoje įmontuotų siurbtukų. Kiekvienas siurbtukas turi papildomą kanalėlį, kuris leidžia siurbtukai atsidaryti arba užsidaryti, priklausomai nuo to, ar toje vietoje yra gaminy, ar ne.

Pramoninis robotas „MOTOMAN SSF2000“

Šiame darbe tiriamojo roboto „MOTOMAN SSF2000“ charakteristikos pateiktos 3.3 lentelėje:

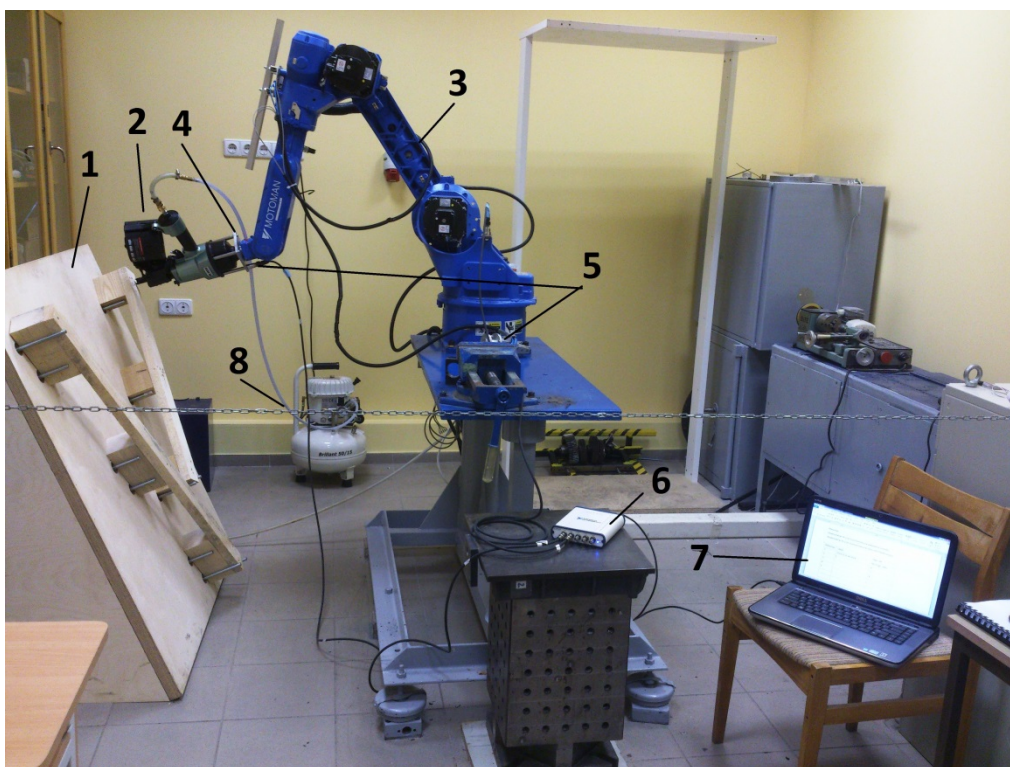
5.3 lentelė roboto „MOTOMAN SSF2000“ charakteristikos

Ašis	Judėsio zona [°]	Didžiausias greitis [°/sec.]	Leistina apkrova [Nm]	Leistinas inercijos momentas [kg x m ²]		
					Valdomos ašys	6
					Maksimali apkrova [kg]	6
S	±170	210	-	-	Kartotinas poz. tiksl. [mm]	±0,08
L	+155/-90	190	-	-	Darbinė zona [mm]	R=1378
U	+250/-175	210	-	-	Temperatūra [°C]	0 - +45
R	±180	400	11,8	0,24	Drėgmė [%]	20-80
B	±135	400	9,8	0,17	Svoris [kg]	130
T	±360	600	5,9	0,06	Maitinimas [KVA]	1,5

4. EKSPERIMENTO ATLIKIMO METODIKA

Eksperimentas sudarytas iš dviejų dalių. Pirmoji dalis apima vibracijų, kylančių kalimo metu, iš pneumatinio viniakalio, matavimą. Antroji dalis apima roboto grandžių maksimalaus greičio nustatymą, kai prie jo pritvirtintas vakuuminis griebtuvas. Roboto grandžių greitis gali būti toks, kad tarp pakelto ruošinio ir jį laikančio griebtuvo nebūtų prarastas sukibimas ir taip neprarandamas pozicionavimo tikslumas.

Eksperimentiniai sistemos tyrimai atliekami Vilniaus Gedimino technikos universitete su robotu „MOTOMAN SSF-2000“ (3) (3.1 pav) ir pneumatiniu viniakaliu „BIZON“ (2). Eksperimento pradžioje paruošiama įranga. Slėgiui į viniakalį sukelti naudojamas kompresorius „Brillant 50/15“ (8). Sistemos prototipas bandomas realaus darbo sąlygomis. Atliekant bandymus papildomai naudojami du pjezoelektriniai akselerometrai (4 ir 5) su dinaminių matavimų duomenų kaupikliu „National instruments NI USB – 4431“ (6). Tyrimų rezultatai apdoroti nešiojamuoju kompiuteriu (7), naudojant „National instruments“ programos įrankį „Sound and vibration assistant“ bei „Origin 9.0“ programinius paketus.



4.1 pav. Pramoninio roboto „MOTOMAN SSF2000“, naudojamo paletėms gaminti, prototipinis bandymų stendas (1 – stendas; 2 – pneumatinis viniakalis „BIZON“; 3 – pramoninis robotas „MOTOMAN SSF-2000“ 4; 5 – pjezoelektriniai akselerometrai; 6 – dinaminių matavimų duomenų kaupiklis „National instruments NI USB – 4431“; 7 – nešiojamasis kompiuteris; 8 – kompresorius „Brillant 50/15“)

Tyrimo esmė nustatyti dinامينius virpesius vinies kalimo, į paruoštą standą (3.1 pav. pozicija 1), metu ir parinkti optimalų slėgį, kad vinis būtų įkalta ne per giliai, bet ir nebūtų išlindusi. Per giliai įkalta vinis gali suskaldyti lentą. Vinis laikoma įkalta optimaliai, kai vinies galvutė įkalama 3 mm žemiau lentos paviršiaus. Toks gylis užtikrina, kad vinies galvutė neišlystų virš lentos, pasikeitus medienos drėgnumui. Paletėms kalti šiuo atveju naudojami 3 mm storio ir 60 mm ilgio viny. Kalama į pušies medieną, kurios santikinis drėgnumas bandymo metu buvo 18%.

Matavimas su nustatytu tam tikru slėgiu vyksta po 2 kartus, užtikrinant duomenų tikslumą. Duomenys kaupiami iki kol sistema nusistovi. Po matavimų gaunami amplitudės priklausomybės nuo laiko grafikai (4.4, 4.5 ir 4.6 pav.), kurie palyginami tarpusavyje ir nustatoma kaip kinta vibracijos nuo slėgio dydžio.

Antrosios eksperimento dalies įranga išlieka ta pati, tik vietoje pneumatinio viniakalio pritvirtinamas vakuuminis griebtuvas „UNIGRIPPER“ (4.2 pav.). Prie ruošinio ir prie griebtuvo pritvirtinami akselerometrai. Ruošinys pakeliamas ir manipuliojamas ore didinant greičius iki kol ruošinys pasislenka griebtuvo atžvilgiu arba visai nukrenta. Judant griebtuvui ir ruošiniui, jų vibracijos yra tokios pat iki kol prarandamas sukibimas, todėl net ir nedidelis ruošinio pasislinkimas, akselerometrų dėka yra fiksuojamas.



4.2 pav. Pramoninis robotas „MOTOMAN SSF2000“ su vakuuminiu griebtuvu „UNIGRIPPER“ ir paletės ruošiniu.

(1 – akselerometrai; 2 – paletės ruošinys; 3 – vakuuminis griebtuvas.)

Nustatyta, kad net ir naudojant maksimalius manipulatoriaus greičius, sukibimas tarp griebtuvo ir paletės dalies neprarandamas, todėl bandymas pratęstas, norint išsiaiškinti, kokio dydžio jėgą griebtuvas gali atlaikyti.

Robotas pastatomas į tokią poziciją, kad vakuuminio griebtuvo padas būtų statmenas pagrindui ir ant krašto, esančio 0,375 m atstumu nuo vakuuminio griebtuvo centro, dedami svoriai kol trinties jėga taps mažesnė už vakuuminio griebtuvo generuojamą sukibimo jėgą ir ruošinys pasislinks griebtuvo atžvilgiu (4.3 pav.). Tokioje Vakuuminio griebtuvo pozicijoje reikalinga mažiausia jėga, trinčiai tarp paletės ruošinio ir griebtuvo nugalėti. Vakuuminis griebtuvas aptarnaujamas 8 barų slėgiu.

Palaipsniui dedant svorius, stebima, kada ruošinys pasislinks griebtuvo atžvilgiu. Užkrovus 6,7 kg pastebėtas pasislinkimas. Ruošinio svoris lygus 1,66 kg.



4.3 pav. Robotas „MOTOMAN SSF-2000“ su vakuuminiu griebtuvu „UNIGRIPPER“ jėgos reikalingos trinčiai tarp ruošinio ir griebtuvo nugalėti nustatymas.

Eksperimento atlikimo rezultatai

Akselerometras „B“ įjungtas į dinaminių duomenų kaupiklio jungtį „AI 0“ ir pritvirtintas prie pneumatinio viniųakalio. Akselerometras „C“ – prie „AI 1“ jungties ir pritvirtintas prie roboto „MOTOMAN“ korpuso.

Mažinant slėgį nuo 8 iki 3 barų viso buvo atlikta 14 matavimų. Matavimų rezultatai pateikti 4.1 lentelėje ir 4.4, 4.5 ir 4.6 paveikslėliuose.

Iš rezultatų pateiktą lentelėje matome, kad vinis įkalamas apie 3mm žemiau lentos paviršiaus (sąlyga tenkinama), kai nustatytas slėgis yra lygus 4 barams.

Toliau, naudojant eksperimentinio tyrimo metu gautus duomenis, gaunami svyravimų amplitudės priklausomybės nuo laiko grafikai (4.4, 4.5 ir 4.6 pav.) kuriuos sulyginus su teorinio

tyrimo gautais grafikais, matyti, kad grafikai turi panašumų tiek amplitudžių, tiek nusistovėjimo laiko atžvilgiu.

6.1 lentelė. Viniakalio įkaltos vinies gylis prie atitinkamo slėgio.

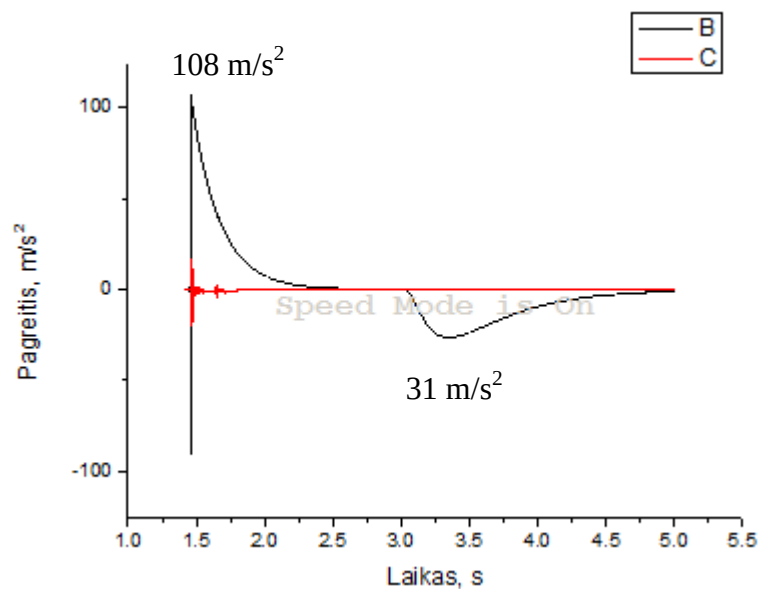
Matavimas	Slėgis, bar	Gylis, mm
1	8	9,0
2	8	9,2
3	7	7,4
4	7	7,8
5	6	7,0
6	6	7,2
7	5	6,7
8	5	6,5
9	4	3,2
10	4	2,7
11	3,8	2,1
12	3,5	-5,4
13	3	-9
14	3	-9,5

Iš 4.4 pav. matyti, kad eksperimentinio tyrimo smūgio metu, kai slėgis lygus 8 barams, pagreičio amplitudė lygi 108 m/s^2 , o teorinio tyrimo metu pagreičio amplitudė siekia 100 m/s^2 . Po sužadavimo eksperimentinio tyrimo metu sistema nusistovėjo per 3,5 sekundes, tuo tarpu teorinio tyrimo metu sistema nusistovi maždaug per 2,5 sekundes (2.3 pav.)

Iš 4.5 pav. matyti, kad eksperimentinio tyrimo smūgio metu, kai slėgis lygus 4 barams, pagreičio amplitudė lygi 42 m/s^2 , o teorinio tyrimo metu pagreitis siekia 40 m/s^2 . Po sužadavimo eksperimentinio tyrimo metu sistema nusistovėjo per 0,6 sekundes, o teorinio tyrimo metu per 0,5 sekundes (2.4 pav.).

Iš 4.6 pav. matyti, kad eksperimentinio tyrimo smūgio metu, kai slėgis lygus 3 barams, pagreičio amplitudė lygi 19 m/s^2 , o teorinio tyrimo metu pagreičio vertė yra lygi 20 m/s^2 . Po sužadavimo eksperimentinio tyrimo metu sistema nusistovėjo per 0,5 sekundes, tuo tarpu teorinio tyrimo metu per 0,4 sekundes.

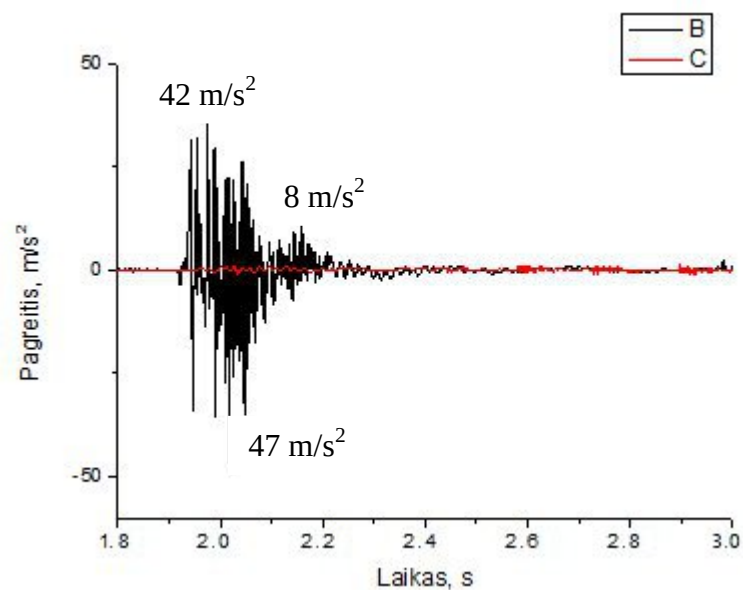
Iš šių rezultatų galime teigti, kad 4 barų slėgis šiai sistemai yra optimalus, nes vinies kalimo metu sistema nusistovi ytin greitai, o tai reiškia, kad toks slėgis sistemos neišveda iš pusiausvyros, priešingai nei bandymai su didesniais slėgiais.



4.4 pav. Amplitudės priklausomybės nuo laiko grafikas žadinant sistemą 8 barų slėgiu.

B – akselerometras pritvirtintas prie viniakalio;

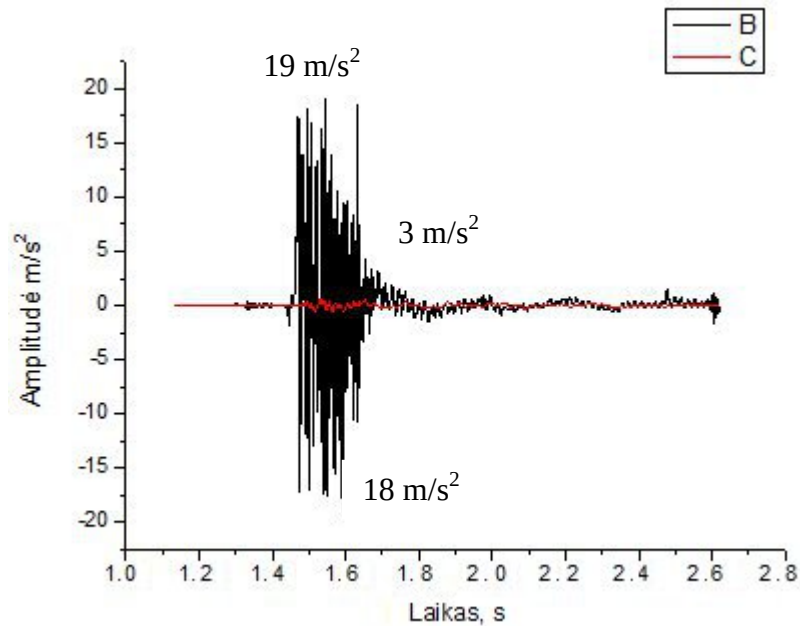
C – akselerometras pritvirtintas prie roboto korpuso.



4.5 pav. Amplitudės priklausomybės nuo laiko grafikas, žadinant sistemą 4 barų slėgiu.

B – akselerometras pritvirtintas prie viniakalio;

C – akselerometras pritvirtintas prie roboto korpuso.

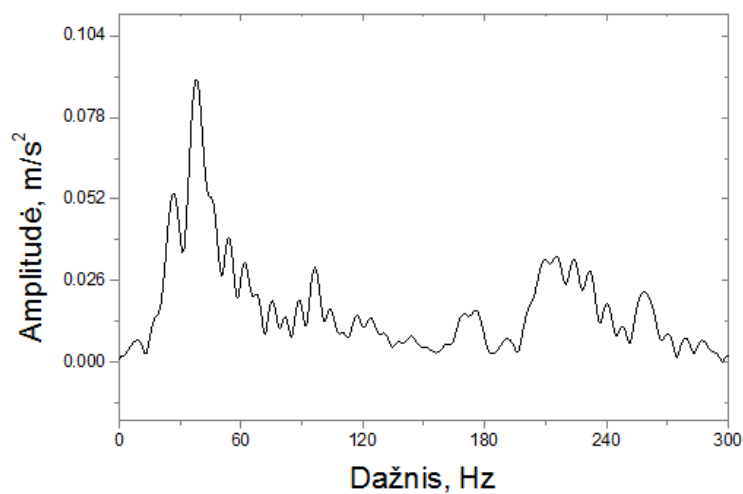


4.6 pav. Amplitudės priklausomybės nuo laiko grafikas žadinant sistemą 3 barų slėgiu.

B – akselerometras pritvirtintas prie viniakalio;

C – akselerometras pritvirtintas prie roboto korpuso.

Tęsiant prototipinės palečių gamybos sistemos dinaminių charakteristikų tyrimą, pasirinkti eksperimentinio tyrimo metu gauti duomenys, prie ištirto optimalaus slėgio (4 barai) ir atlikta FFT (angl. Fast Fourier Transformation 'Greita Furjė transformacija'). Rezultatai pateikti grafiškai 4.7, 4.8 ir 4.9 pav.



4.7 pav. Sistemos amplitudinė dažninė charakteristika, prie 4 barų slėgio.

Iš grafiko matyti ties kuriais dažniais sistemos virpesiai suaktyvėja. Galima išskirti 3 aiškiausiai matomas dažnių juostas: 50 Hz, 90Hz ir 210 Hz. Nors žemų dažnių virpesiai perduoda daugiau energijos, jie nėra tokie pavojingi, nes yra sąlyginai nesudėtingai filtruojami, pavyzdžiui sistemos standumo didinimas leidžia „pastumti“ visos sistemos rezonansinius dažnius „toliau“ į aukštesnių dažnių sritį negu yra dažniai, kuriais sistema žadinama; sistemos slopinimo savybių didinimas nepakeičia rezonansinių dažnių kiekio veikiančių vibracijų dažnių juostoje, tačiau padeda sumažinti jų amplitudžių dydžius padidinant išsklaidomos energijos kiekį.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Išanalizavus mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjamos panašaus pobūdžio sistemos ir jų komponentai, nustatyta, kad medinių palečių gamybos robotizavimas yra būtinas norint gaminti kokybišką produkciją ir išlikti konkurencingiems rinkoje.

Teorinių tyrimų metu „Matlab Simulink“ programinėje aplinkoje sukurtas supaprastintas vieno laisvės laipsnio dinaminis modelis, kuris atitinka eksperimentinio tyrimo metu pagamintą prototipinę palečių gamybos sistemą ir atitinkamai parinkus koeficientus, be kurių neegzistuoja dinaminė sistema (h – slopinimo koeficientas; k – standumo koeficientas, m – masė), atliktadinaminių virpesių simuliacija su trimis skirtingais žadinimais, kurie realioje sistemoje atitinka 8, 4 ir 3 barų generuojamą smūgį.

Sukurta prototipinė palečių gaminimo sistema ir atlikti eksperimentiniai dinaminių charakteristikų tyrimai. Nustatytas šios sistemos optimalus slėgis (4 barai), reikalingas taisyklingam (vinies galvutė įkalta 3 mm žemiau ruošinio paviršiaus) vinies įkalimui, nustatytas sistemos nusistovėjimo laikas 0,6 sekundės. Taip pat rasti dažniai, prie kurių sistema suaktyvėja (padidėja virpesių svyravimų amplitudė), išskiriamos trys dažnių juostos: 50 Hz, 90Hz ir 210 Hz.

Nustatyta, kad pramoninis robotas „MOTOMAN SSF2000“ su sumontuotu vakuuminio griebtuvu „UNIGRIPPER“, laikydamas paletės ruošinį ir judėdamas maksimaliu greičiu nepraranda sukibimo su ruošiniu;

Palyginus teorinius ir eksperimentinius tyrimus, pastebėta, kad realioje sistemoje nusistovėjimo laikas užtrunka 0,1 sekundės ilgiau (teorinis 0,5 s, o eksperimentinis 0,6 s). Teorinio tyrimo pagreičio amplitudė (40 m/s^2) mažesnė už eksperimentinio (42 m/s^2) 2 m/s^2 .

Pasiūlymas

Kadangi eksperimentinis tyrimas buvo atliekamas su pušies mediena, tęsiant tyrimą siūloma bandymus kartoti su lapuočių, tinkančių palečių gamybai (beržo, alksnio, drebulės) mediena.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Augustaitis, V. K. 2000. *Mechaninių virpesių pagrindai*. Vilnius: Žiburio leidykla. 319 p.
2. Informacinis portalas *How stuff works*. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-02]. Prieiga per internetą: <<http://home.howstuffworks.com/nail-gun2.htm>>
3. Internetinis žurnalas *Mokslas - Lietuvos ateitis*. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2015-11-12]. Prieiga per internetą <<http://www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/viewFile/mla.2012.95/pdf>>
4. Internetinis žurnalas *National instruments*. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-03]. Prieiga per internetą: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/206676>>
5. Internetinis žurnalas „*Mokslas - Lietuvos ateitis*“ [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-07]. Prieiga per internetą: <<http://www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/viewFile/mla.2012.95/pdf>>
6. Oficialus *Unigripper* griebtuvų tinklalapis [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-05]. Prieiga per internetą: <<http://www.unigripper.com/index.php/en/products/unigripper-sms>>
7. Palečių gamybos tinklapis *Palletizing* [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2015-11-09]. Prieiga per internetą <<http://www.palletizing.com/blog/-in-tags/tags/Palletizer>>
8. Pjezoelektroninių jutiklių portalas *IMI Sensors*. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-02]. Prieiga per internetą: <https://www.imi-sensors.com/Industrial_Accelerometers.aspx>
9. Roboto MOTOMAN SSF2000 charakteristikos [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-02]. Prieiga per internetą: <http://www.motoman.se/uploads/tx_catalogrobot/ssf2000_en_21.pdf>
10. Transportavimo palečių gamintojo *Juodeliai* tinklapis [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-03]. Prieiga per internetą <<http://www.juodeliai.com/lt/2010/12/europadeklai-euro-standarto-padeklai>>
11. *UAB Profibus* tinklalapis [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-03]. Prieiga per internetą: <<http://www.profibus.lt/lt/projektai/projektai>>
12. Virtuali enciklopedija *Wikipedia*. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2014-12-02]. Prieiga per internetą: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer#Engineering>>

PRIEDAI