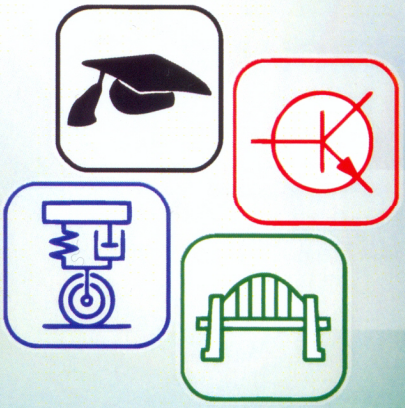
KAUNO
TECHNOLOGIJOS
UNIVERSITETAS



TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ – 2013

Studentų mokslinių darbų konferencijos

PRANEŠIMŲ MEDŽIAGA

ISSN 2345-0428 (Print)
ISSN 2345-0436 (Online)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ – 2013

Studentų mokslinių darbų konferencijos

PRANEŠIMŲ MEDŽIAGA

Kauno technologijos universitetas, Lietuva
2013 gruodžio 6 d.

TECHNOLOGIJA
KAUNAS • 2013

UDK 62(474.5)(06)
Te-13

Konferenciją organizuoja Kauno technologijos universiteto Panevėžio instituto Technologijų fakultetas.

ORGANIZACINIS KOMITETAS

Pirmininkas prof. habil. dr. Jonas Bareišis, KTU

Mokslinis sekretorius doc. dr. Dainius Vaičiulis, KTU

Nariai: doc. dr. Aurimas Česnulevičius, KTU
doc. dr. Danas Garuckas, KTU
doc. dr. Arūnas Tautkus, KTU
doc. dr. Jonas Valickas, KTU
doc. dr. Darius Viržonis, KTU

© Kauno technologijos universitetas, 2013

TURINYS

ĮŽANGA 7

A. Kirpliukas, D. Vaičiulis
Tampriai plastiškai deformuojami dvisluoksniai vamzdžiai.....8

A. Misiūnas, D. Vaičiulis
T formos suvirintojo sujungimo įtempimų būvio priklausomybė nuo mechaninio nevienalytiškumo 14

J. Sriubas, A. Česnulevičius
Keturkojo žingsniuojančio roboto pavarų sukimo momentų analizė.....18

D. Baltramiejūnas, D. Garuckas
Kontūrų apdirbimo technologijos ir apdirbimo savikainos priklausomybės tyrimas.....24

Ž. Paškauskas, D. Vaičiulis
BMW 525D automobilio vibracijų, kylančių dėl padangos pažeidimo, tyrimas.....31

A. Sebeckis, J. Bareišis
Štampavimo linijos technologinio proceso tyrimo metodika.....37

M. Sankaitytė, J. Bareišis
Maršrutinių autobusų tinklo Panevėžio mieste problemų tyrimas.....41

T. Strakšys, G. Vanagas
Stereo regėjimas.....47

T. Silgys, N. Partaukas
Automobilio BMW 520 E34 stabdžių triukšmo tyrimas 55

L. Šimaitė, A. Tautkus
Ekologiško-ekonomiško važiavimo stiliaus tyrimas 60

G. Šimaitė, A. Česnulevičius
Vairuotojų psichomotorinės reakcijos tyrimas.....66

D. Karosas, D. Pelenis, T. Mikuta, D. Viržonis
Komutatorius ultragarso keitiklių matavimų automatizavimui 74

E. Rožėnas, D. Viržonis
Mobilaus roboto valdymas pagal sudarytą žemėlapį 82

A. Zaleckis, G. Vanagas
Interferometrinio lazerio spindulio kalibravimas naudojant vaizdų atpažinimą 87

G. Puzas, A. Česnulevičius
Trijų laisvės laipsnių paralelinio roboto modeliavimas 93

A. Dambrauskas, J. Bareišis
Plazminio pjovimo proceso technologinių parametrų tyrimo metodika 98

A. Botyrius, N. Partaukas
Įtempių – deformacijų ryšio tempiamuose sluoksniuotuose strypuose tyrimas 103

Ž. Šlekis, D. Garuckas
Gudronatoriaus purkštukų debito tyrimas 108

E. A. Misevičius, A. Misevičiūtė, Ž. Bazaras
Automobilių degalų sąnaudų lyginamoji analizė 115

R. Sabas, Tomas Jukna
Paviršinio montažo litavimo temperatūros valdymas ir kokybės tyrimas 122

K. Andriūnas, Tomas Jukna
2-račio roboto odometrinio valdymo su giroskopu tyrimas 131

V.Remeikis, M. Mikolajūnas
Vakuume dengiamo plono metalo sluoksnio storio valdymas puslaidininkiniu lazeriu 139

J. Samulis, Ž. Bazaras
Vandenilio įrangos taikymo vidaus degimo varikliams tyrimas 148

L. Striška, D. Vaičiulis
Sparčios prototipų gamybos 3D spausdintuvų analizė 154

M. Satkevičius, J. Valickas
Laiptais pasikeliančio tritaškės atramos vežimėlio konstravimas ir elektros pavaros charakteristikų tyrimas 163

R. Pranauskas, Ž. Bazaras
Stambiagabaričio sunkiasvorio krovinio gabenimo tyrimas 171

A. Vasiliauskas, A. Tautkus
Aerodinaminio vėjo tunelio projektavimas ir gamyba. aerodinaminiai tyrimai 178

Tadas Jukna, V. Sinkevičius
Pramoninių robotų apmokymas sekos režime tyrimas 183

A. Baltrušaitis , G. Zybartaitė , V. Sinkevičius
E-mokymo robotikos laboratorijų sandaros tyrimas 192

P. Kireilis, A. Česnulevičius
Daugiakrypčių ratų modeliavimas, taikymas ir vykdomi tyrimai 198

M. Lunskis, V. Sinkevičius
Mobilaus roboto važinėjančio po mašina vaizdo duomenų perdavimo WI-FI ryšiu tyrimas 205

G. Alešiūnienė, D. Vaičiulis
Trisluoksnio vamzdžio, vekiamo vidinio slėgio, įtempių būvio tyrimas..... 215

B. Maskoliūnas, D. Garuckas
Atramos galvai, skirtos kelionėms traukiniu, konstrukcijos tyrimas..... 221

R. Rudokas, D. Garuckas
Dviračių rėmų stiprumo ir standumo tyrimas jų charakteristikų priklausomybė nuo rėmo tipo 228

G. Strelčiūnas, J. Bareišis
Įvairių profilių metalinės konstrukcijos tyrimo metodika..... 232

T. Dasevičius, D. Viržonis
3D spausdintuvas 238

A. Nemeikšis, V. Sinkevičius
Dviejų judrumo laipsnių roboto rankos valdymo tyrimas 244

A. Maselskis, J. Bareišis
Betoninių sijų, sustiprintų kompozitais, stiprumo ir standumo šlyčiai tyrimo metodikų analizė 253

AUTORIŲ INDEKSAS 258

ĮŽANGA

2013 m. gruodžio 6 d. KTU Panevėžio instituto Technologijų fakultete vyko kasmetinė studentų mokslo darbų (SMD) konferencija „Technologijos mokslai šiandien ir rytoj – 2013“.

Konferencijos tikslai:

- propaguoti ir skatinti studentų mokslinę veiklą;
- išmokyti studentus ruošti mokslinius straipsnius bei formuluoti išvadas.

Pranešimuose buvo pristatyti mokslinių tiriamųjų darbų rezultatai šiomis tematikomis:

- automatika ir valdymas;
- gamybos kaštų prognozavimas;
- logistika;
- robotika;
- sluoksniuoti ir mechaniškai nevienalyčiai konstrukciniai elementai;
- transporto technologijos.

prof. habil. dr. Jonas Bareišis
doc. dr. Dainius Vaičiulis

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

TAMPRIAI PLASTIŠKAI DEFORMUOJAMI DVISLUOKSNIAI VAMZDŽIAI

A. Kirpliukas, D. Vaičiulis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: nevienalytis vamzdis, tampriai-plastinis deformavimas.

1. Įvadas

Daugiasluoksnio vamzdžio pritaikymo galimybės yra labai plačios. Juos galima pritaikyti buityje, pramonėje, transporte. Nemažai šiuolaikinių vamzdžių yra sudaryti iš kelių sluoksnių, vienas iš jų yra plonas metalo sluoksnis [1]. Plastikiniai dvisluoksniai vamzdžiai lyginant su ketiniais vamzdžiais turi nemažai privalumų: atsparumas korozijai, lengvai montuojami, lengvesni ir kt. [2].

Pagrindinė vamzdynų avarijų priežastis yra greitas sklendės užsukamas, dėl ko vamzdyne tam tikru momentu padidėja slėgis. Kitos avarijos įvyksta dėl vamzdynų susidėvėjimų, korozijos pažeidimų [3].

Darbo tikslas: išanalizuoti vidinio slėgio tampriai plastiškai deformuojamų dvisluoksnių vamzdžių skaičiavimo metodiką.

2. Tamprus sprendinys

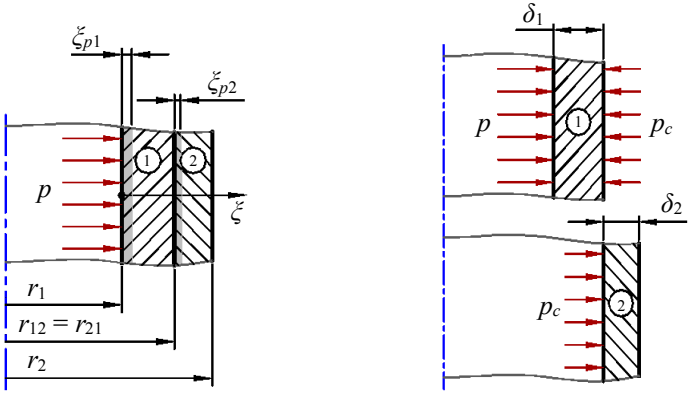
Darbe [4], nustatant įtempimų būvį esant tampriajam deformavimui, daromos tokios prielaidos:

- kai $p = 0$, tai $r_{12} = r_{21}$ (r_{12} –vidinio vamzdžio išorinis spindulys, o r_{21} – išorinio vamzdžio vidinis spindulys);
- sluoksniai tarpusavyje 1 ir 2 nėra sujungti;
- abejuose sluoksniuose ašiniai įtempimai $\sigma_z = 0$.

Darbe [8] uždavinys įspręstas naudojant santykinius parametrus: $s_1 = \delta_1/r_1$, $s_2 = \delta_2/r_1$, $s = \delta/r_1 = s_1+s_2$, $\rho_1 = r_1/r_1 = 1$, $\rho_{12} = r_{12}/r_1 = 1+s_1$, $\rho_2 = r_2/r_1 = 1+s_1+s_2$, $\xi = \rho / r_1 - 1$ (žr. 1 pav.).

Įtempimų būvio komponentės vidiniame sluoksnyje 1, kai $0 \le \xi \le s_1$ [8]:

$$\left.\begin{matrix}\sigma_{r1}(\xi)/p \\ \sigma_{\theta 1}(\xi)/p\end{matrix}\right\} = \frac{1-C_p(1+s_1)^2}{s_1(2+s_1)} \mp \frac{1-C_p}{s_1(2+s_1)}\left(\frac{1+s_1}{1+\xi}\right)^2, \qquad (1)$$



a b

1 pav. Dvisluoksnio vamzdžio schema (a) ir vidiniame 1 bei išoriniame 2 sluoksniuose veikiančios apkrovos (b). Čia p_c – kontaktinis slėgis; p – vidinis slėgis; paryškintos juostos – plastiškai deformuotos zonos

o išoriniame sluoksnyje 2 ($s_1 \le \xi \le s$)

$$\left.\begin{matrix}\sigma_{r2}(\xi)/p\\ \sigma_{\theta 2}(\xi)/p\end{matrix}\right\} = C_p(1+s_1)^2\,\frac{(1+\xi)^2\,\mathbf{m}\,(1+s_1+s_2)^2}{s_2(2+2s_1+s_2)(1+\xi)^2}\,; \qquad (2)$$

čia: $\sigma_{r1}(\xi)$ ir $\sigma_{r2}(\xi)$ – pirmo ir antrojo sluoksnio radialiniai įtempimai; $\sigma_{\theta 1}(\xi)$ ir $\sigma_{\theta 2}(\xi)$– pirmo ir antrojo sluoksnio žiediniai įtempimai; p – vidinis slėgis; ξ – santykinė koordinatė; s_1 ir s_2 – santykiniai vamzdžių sienelių storiai; C_p – slėgio koeficientas

$$C_p = \frac{2}{s_1(2+s_1)(C_1 - \nu_1 + (C_2+\nu_2)E_1/E_2)}\,; \qquad (3)$$

E_1 ir E_2 – atitinkamai pirmosios ir antrosios medžiagų tamprumo moduliai; ν_1 ir ν_2 – atitinkamai pirmosios ir antrosios medžiagų Puasono koeficientai;

$$C_1 = \frac{(1+s_1)^2+1}{s_1(2+s_1)};\quad C_2 = \frac{(1+s_1+s_2)^2+(1+s_1)^2}{s_2(2+2s_1+s_2)}\,.$$

Šiame darbe daroma prielaida, kad medžiaga pradeda deformuotis tampriai plastiškai, kai $\sigma_i > \sigma_e$ [5]; čia σ_e – medžiagos tamprumo riba; σ_i – įtempimų intensyvumas (plokščias įtempimų būvis)

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_\theta^2 + \sigma_r^2 - \sigma_\theta\sigma_r}\,. \qquad (4)$$

Taigi šiame skyriuje pateiktos σ_r ir σ_θ išraiškos yra teisingos tik kai $\sigma_i \le \sigma_e$.

Pasinaudojus (1) ir (2) išraiškomis įtempimų intensyvumus 1-ame ir 2-ame vamzdžiuose atitinkamai galima apskaičiuoti taip:

$$\frac{\sigma_{i1}(\xi)}{p} = \frac{\sqrt{\left[1 - C_p(1+s_1)^2\right]^2 (1+\xi)^4 + 3\left(1 - C_p\right)^2 (1+s_1)^4}}{s_1(2+s_1)(1+\xi)^2} \tag{5}$$

$$\frac{\sigma_{i2}(\xi)}{p} = \frac{C_p(1+s_1)^2 \sqrt{(1+\xi)^4 + 3\left(1+s_1+s_2\right)^4}}{s_2\left(2+2\,s_1+s_2\right)(1+\xi)^2} \tag{6}$$

Iš (5) lygties galime nustatyti maksimalių slėgį, kai vamzdis 1 yra deformuojamas dar tampriai (1-osios medžiagos labiausiai apkrauta zona yra ties $\xi = 0$):

$$p_{max\,1} = \frac{\sigma_{e1}\, s_1(2+s_1)}{\sqrt{\left[1 - C_p(1+s_1)^2\right]^2 + 3(1-C_p)^2(1+s_1)^4}}. \tag{7}$$

Antros medžiagos labiausiai apkrauta zona yra ties $\xi = s_1$, o maksimalius slėgius, kai vamzdis 2 yra deformuojamas dar tampriai:

$$p_{max\,2} = \frac{\sigma_{e2}\, s_2\,(2+2s_1+s_2)\,(1+s_1)^4}{C_p(1+s_1)^2\sqrt{(1+s_1)^4 + 3(1+s_1+s_2)^4}}. \tag{8}$$

Didžiausias vidinis slėgis, kuriam veikiant dvisluoksnis vamzdis deformuojamas tampriai, gali būti nustatytas taip:

$$p_{max} = \min\left(p_{max1},\, p_{max2}\right). \tag{9}$$

3. Tamprai-plastinis sprendinys

Esant tampriai plastiniam deformavimui radialiniai įtempimai pirmoje medžiagoje [5]

$$\sigma_{r1}^{p}(\xi) = p_{\xi p}\frac{\sigma_{r1}(\xi)}{p} = p_{\xi p}\left[\frac{1 - C_p(1+s_1)^2}{s_1(2+s_1)} - \frac{1-C_p}{s_1(2+s_1)}\left(\frac{1+s_1}{1+\xi}\right)^2\right]; \tag{10}$$

čia: $p_{\xi p}$ – vidinis slėgis, kuriam esant vidiniame vamzdyje tampriai plastinė zona pasieka ξ_{p1} koordinatę.

Slėgis $p_{\xi p}$ apskaičiuojamas iš sąlygos $\sigma_{i1}(\xi_{p1}) = \sigma_{e1}$. Tam pasinaudojama (5) išraiška:

$$p_{\xi\, p} = \frac{\sigma_{e1} s_1 \left(2 + s_1\right)\left(1 + \xi_{p1}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - C_p (1 + s_1)^2\right]^2 \left(1 + \xi_{p1}\right)^4 + 3(1 - C_p)^2 \left(1 + s_1\right)^4}}. \qquad (11)$$

Žiediniai įtempimai $\sigma_{\theta 1}$ tampriai plastinėje zonoje ($\xi \le \xi_{p1}$):

$$\sigma_{\theta 1}^{p}(\xi) = \frac{\sigma_{r1}^{p}(\xi)}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{4\left[\sigma_{i1}^{p}(\xi)\right]^2 - 3\left[\sigma_{r1}^{p}(\xi)\right]^2}\ . \qquad (12)$$

Įtempimų intensyvumas $\sigma_{i1}^{p}(\xi)$, kuris atitinka tampriai plastinių deformacijų intensyvumą $e_{i1}^{p}(\xi)$ [5] apskaičiuojamas taip:

$$\sigma_{i1}^{p}(\xi) = \sigma_{e1}\left(\frac{e_{i1}^{p}(\xi)}{e_{e1}}\right)^{m_1}; \qquad (13)$$

čia: σ_{e1} ir e_{e1} – atitinkamai 1-osios medžiagos tamprumo ribos įtempimai ir deformacija; m_1 – laipsnio rodiklis, kai medžiagos tempimo diagrama plastinėje zonoje aproksimuota laipsnine funkcija.

Tampriai plastinių deformacijų intensyvumas $e_{i1}^{p}(\xi)$ nustatomas darant prielaidą, kad veikiant tai pačiai apkrovai tampriajam ir tampriai plastiniam deformavimui sunaudojama tiek pat energijos [6]:

$$e_{i1}^{p}(\xi) = \frac{\sigma_{e1}}{E_1}\left\{1 + \frac{(m_1 + 1)[\sigma_{i1}^{2}(\xi) - \sigma_{e1}^{2}]}{2\sigma_{e1}^{2}}\right\}^{\frac{1}{m_1+1}}. \qquad (14)$$

čia $\sigma_{i1}(\xi)$ apskaičiuojamas pagal (5) formulę, joje vietoje p įstačius $p_{\xi p}$.

Vamzdžio pirmojo sluoksnio tamprioje zonoje ($\xi > \xi_{p1}$) žiediniai įtempimai gali būti nustatyta pagal šią priklausomybę [5]:

$$\sigma_{\theta 1}(\xi) = \frac{\sigma_{\theta 1}^{p}(\xi_{p1})\,\sigma_{\theta 1}(\xi)}{\sigma_{\theta 1}(\xi_{p1})} =$$

$$= \sigma_{\theta 1}^{p}(\xi_{p1})\frac{1 - C_p(1 + s_1)^2 + \left(1 - C_p\right)\left(\dfrac{1 + s_1}{1 + \xi}\right)^2}{1 - C_p(1 + s_1)^2 + \left(1 - C_p\right)\left(\dfrac{1 + s_1}{1 + \xi_{p1}}\right)^2}. \qquad (15)$$

Plastiškai deformuotos 2-ojo sluoksnio zonos riba ξ_{p2} nustatoma iš sąlygos

$$\frac{\sigma_{e2}}{p_{\xi\, p}} = \frac{C_p (1+s_1)^2 \sqrt{(1+\xi_{p2})^4 + 3(1+s_1+s_2)^4}}{s_2 (2+2s_1+s_2)(1+\xi_{p2})^2}. \qquad (16)$$

Koordinatės ξ_{p2} vertė (iš (16) sąlygos):

$$\xi_{p2} = \frac{1{,}316\,(1+s_1)(1+s_1+s_2)\sqrt{p_{\xi p}\, C_p}}{\sqrt[4]{\sigma_{e2}^2\, s_2^2\,(2+2s_1+s_2)^2 - (p_{\xi p}\, C_p)^2\,(1+s_1)^4}} - 1; \qquad (17)$$

čia: σ_{e2} – 2-osios medžiagos tamprumo ribos įtempimai; $\sqrt[4]{3} \approx 1{,}316$.

Jei gaunama $\xi_{p2} \le s_1$, tai 2-asis vamzdžio sluoksnis deformuojamas tik tampriai, o jei $\xi_{p2} > s_1$ – tampriai plastiškai.

2-ojo vamzdžio radialiniai įtempimai [5]

$$\sigma_{r2}^p(\xi) = p_{\xi p}\frac{\sigma_{r2}(\xi)}{p} = p_{\xi p}\, C_p (1+s_1)^2 \frac{(1+\xi)^2 - (1+s_1+s_2)^2}{s_2(2+2s_1+s_2)(1+\xi)^2}. \qquad (18)$$

Žiediniai įtempimai $\sigma_{\theta 2}$ tampriai plastinėje zonoje ($\xi \le \xi_{p2}$) apskaičiuojamas pagal (12) išraišką, joje vietoje $\sigma_{\theta 1}^p(\xi)$, $\sigma_{r1}^p(\xi)$ ir $\sigma_{i1}^p(\xi)$ atitinkamai naudojant $\sigma_{\theta 2}^p(\xi)$, $\sigma_{r2}^p(\xi)$ ir $\sigma_{i2}^p(\xi)$. Įtempimų intensyvumas $\sigma_{i2}^p(\xi)$ apskaičiuojamas pasinaudojus (13) ir (14) priklausomybėmis, jose vietoje e_{e1}, m_1, σ_{e1}, E_1 ir $\sigma_{i1}(\xi)$ atitinkamai įstačius e_{e2}, m_2, σ_{e2}, E_2 ir $\sigma_{i2}(\xi)$. Įtempimas $\sigma_{i2}(\xi)$ apskaičiuojamas pagal (6) formulę, joje vietoje p įstačius $p_{\xi p}$.

2-ojo vamzdžio tamprioje zonoje ($\xi > \xi_{p2}$) žiediniai įtempimai nustatomi pagal šią priklausomybę:

$$\sigma_{\theta 2}(\xi) = \frac{\sigma_{\theta 2}^p(\xi_{p2})\,\sigma_{\theta 2}(\xi)}{\sigma_{\theta 2}(\xi_{p2})} = \sigma_{\theta 2}^p(\xi_{p2})\frac{(1+\xi)^2 + \rho_2^2}{(1+\xi_{p2})^2 + \rho_2^2}\left(\frac{1+\xi_{p2}}{1+\xi}\right)^2. \qquad (19)$$

3. Išvados

Tolimesnių tyrimų metu bus atlikta įtempimų būvio komponenčių priklausomybės nuo dvisluoksnio vamzdžio geometrijos ir medžiagų mechaninių savybių analizė.

Literatūra

1. Wavin Baltic universalus daugiasluoksnis vamzdis Tigris Alupex Ø20 295000110. Prieiga prie interneto: < http://www.e-ciupk.lt/wavin-baltic-universalus-daugiasluoksnis-vamzdis-tigris-alupex-20-295000110 > [žiūrėta 2012-12-15].
2. Universalus daugiasluoksnis metalo polimerinis vamzdis šildymo, vandentiekio ir suspausto oro sistemoms. Prieiga prie interneto: < http://www.vilsansta.lt/index.php?-766637432 > [žiūrėta 2012-12-13].
3. Dėl pasenusių vandentiekio ir nuotekų tinklų prastėja vandens paslaugų kokybė ir patikimumas. Prieiga prie interneto: < http://www.siauliuvandenys.lt/Naujienos/Del-pasenusiu-vandentiekio-ir-nuoteku-tinklu-prasteja-vandens-paslaugu-kokybe-ir-patikimumas > [žiūrėta 2012-12-16].
4. **Bražėnas A. Partauskas N.** Stress strain state of teo-layer mechanically inhomogeneous pipe at elastic loading subjected to internal pressure. Proc. 4th Int. Conf. ITELMS'2009, p. 72 – 77.
5. **Bražėnas A., Vaičiulis D.** Stresses and strains determination of two-layer mechanically inhomogeneous pipe subjected to internal pressure at elastic plastic loading. Mechanika. ISSN 1932-1207. – Kaunas: Technologija, 2009, p. 12 – 17.
6. **Vaičiulis D., Bražėnas A.** Determination of stress strain in pipe subjected to internal pressure at plane strain condition under elasto plastic loading. Mechanika. ISSN 1392-1207. – Kaunas: Technologija, 2011, p. 346 – 351.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

T FORMOS SUVIRINTOJO SUJUNGIMO ĮTEMPIMŲ BŪVIO PRIKLAUSOMYBĖ NUO MECHANINIO NEVIENALYTIŠKUMO

A. Misiūnas, D. Vaičiulis
Kauno technologijų universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: mechaninis nevienalytiškumas, tėjinis suvirintas sujungimas, minkšta plokščia siūlė, įtempimų būvis.

1. Įvadas

Net esant tampriajam deformavimui kartais sunku užtikrinti vienodas siūlės ir pagrindinio metalo mechanines charakteristikas. Skiriantis mechaninėms charakteristikoms atsiranda vadinamasis mechaninis nevienalytiškumas, kuris turi įtakos suvirintojo elemento stiprumui ir ilgaamžiškumui. Tyrimais nustatyta, kad minkšta siūlė turi didelę įtaką suvirintojo sujungimo stiprumui [1]. Todėl, norint racionaliau taikyti suvirintuosius sujungimus, būtina ištirti įtempimų būvį juose.

Darbo tikslas: naudojant baigtinių elementų metodą (naudosime ANSYS 14.0 programą) ištirti, kaip T formos suvirintame sujungime su minkšta plokščia siūle įtempimų būvis priklauso nuo mechaninio nevienalytiškumo.

2. Tyrimams naudotas modelis

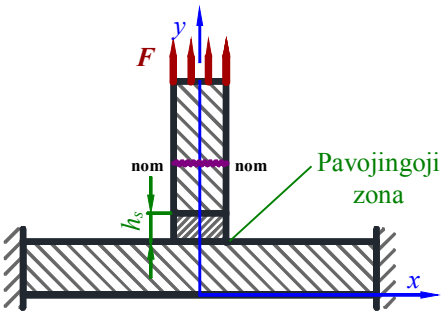
Kaip ir darbe [2], mechaninis nevienalytiškumas išreiškiamas santykiu:

$$\gamma_e = \frac{E_{PM}}{E_{SM}}; \tag{1}$$

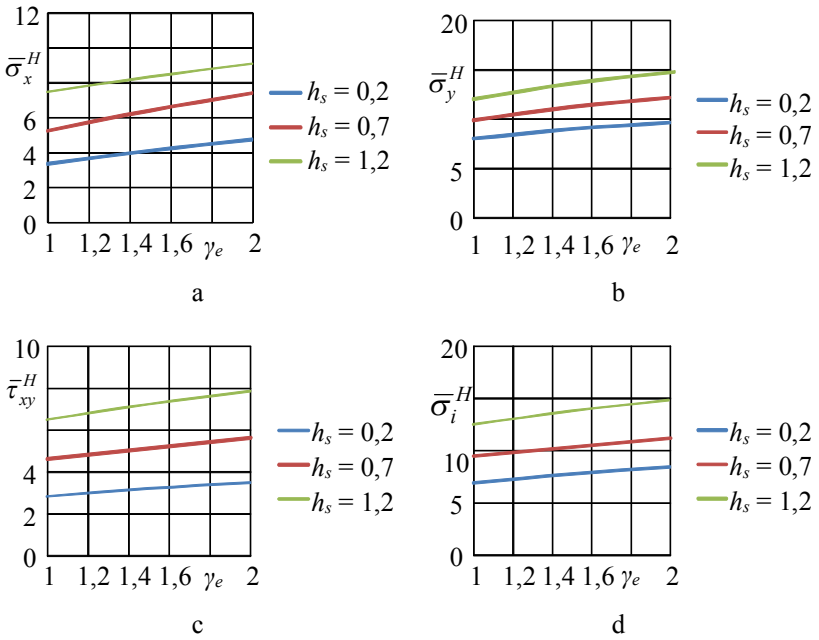
čia E_{PM} – pagrindinio metalo medžiagos tamprumo modulis; E_{SM} – siūlės medžiagos tamprumo modulis.

T formos suvirintojo sujungimo modelį sudarė plokšti (2D), aštuonių mazgų PLANE183 izoparametriniai baigtiniai elementai [3], nagrinėtas plokščiosios deformacijos būvis. Darbe [2] buvo nustatyta, kad T formos suvirintajame sujungime pavojingoji zona yra apatinio susilydimo paviršiaus

kraštiniuose taškuose (žr. 1 pav.). Šiuose taškuose ir nagrinėti įtempimų būvio komponentai.



1 pav. T formos suvirintojo sujungimo eskizas



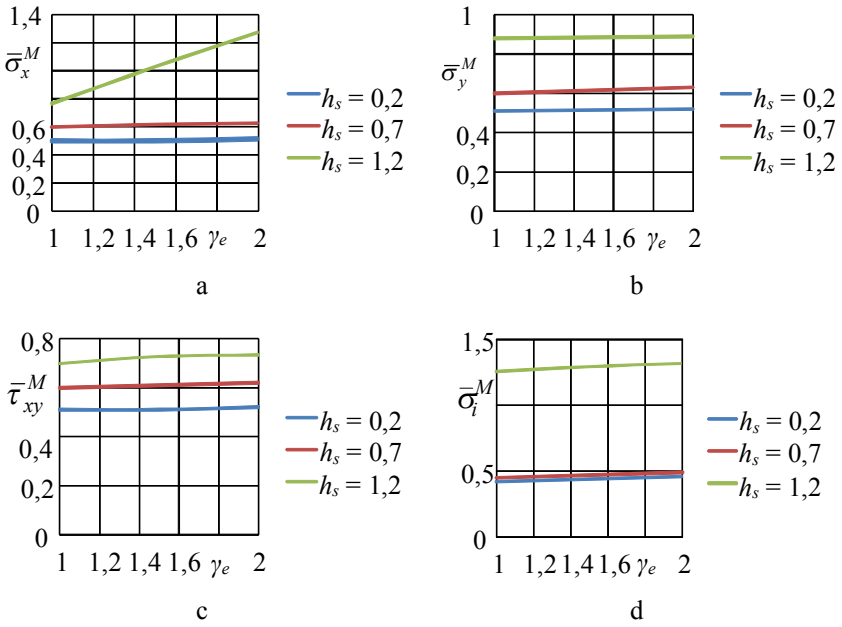
2 pav. Įtempimų būvio komponentų pasiskirstymo priklausomybė pagrindiniame metale nuo mechaninio nevienalytiškumo γ_e pavojingoje suvirintojo sujungimo zonoje, kai santykinis siūlės aukštis $h_s = 0,2$; 0,7; 1,2: a – normalinių įtempimų σ_x; b – normalinių įtempimų σ_y; c – tangentinių įtempimų τ_{xy}; d – įtempimų intensyvumo σ_i

Šiame darbe apskaičiuoti įtempimų būvio komponentai pateikti santykiniais vienetais:

$$\bar{\sigma}_x = \frac{\sigma_x}{\sigma_{nom}}; \quad \bar{\sigma}_y = \frac{\sigma_y}{\sigma_{nom}}; \quad \bar{\tau}_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{\sigma_{nom}} \quad \text{ir} \quad \bar{\sigma}_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_{nom}}, \qquad (2)$$

t y., kaip santykis su nominaliuoju įtempimu σ_{nom}. Nominaliuoju įtempimu laikomas normalinis tempimo įtempimas, kylantis vertikalaus lakšto pjūvyje, kuriame pilnai „užgesusi“ siūlės ir pagrindinės medžiagos tarpusavio sąveika (žr. 1 pav. pjūvį nom-nom). Tyrimas parodė, kad nominalusis pjūvis nuo viršutinės medžiagų susilydimo plokštumos yra nutolęs ne mažesniu kaip 1,22 *t* atstumu (čia *t* – vertikalaus lakšto storis).

Pavojingoje zonoje įtempimų būvio komponentų pasiskirstymo priklausomybės nuo mechaninio nevienalytiškumo γ_e, kai santykinis siūlės aukštis yra h_s = 0,2; 0,7; 1,2 pateiktos 2 ir 3 pav.



3 pav. Įtempimų būvio komponentų pasiskirstymo priklausomybė siūlės metale nuo mechaninio nevienalytiškumo γ_e pavojingoje suvirintojo sujungimo zonoje, kai santykinis siūlės aukštis h_s = 0,2; 0,7; 1,2: a – normalinių įtempimų σ_x; b – normalinių įtempimų σ_y; c – tangentinių įtempimų τ_{xy}; d – įtempimų intensyvumo σ_i

Didėjant mechaniniam nevienalytiškumui γ_e visų įtempimo būvio komponentų vertės didėja. Kai $1 \le \gamma_e \le 2$ priklausomybė tarp γ_e ir įtempimo būvio komponentų yra artima tiesiniam dėsniui. Iš 2 pav. taip pat matyti, kad mažėjant santykiniam minkštos siūlės aukščiui h_s visų įtempimų būvio komponentų vertės T formos suvirintojo sujungimo pavojingoje zonoje mažėja pagal dėsnį artimą tiesiniam.

4. Išvados

1. Didėjant mechaniniam nevienalytiškumui γ_e visų įtempimo būvio komponentų vertės pavojingoje sujungimo zonoje didėja.
2. Kai $1 \le \gamma_e \le 2$ priklausomybė tarp γ_e ir įtempimo būvio komponentų pavojingoje sujungimo zonoje yra artima tiesiniam dėsniui.

Literatūra

1. **Naruškevičius J., Petrovičevas V.** Suvirinimas. – Vilnius: Senoja, 2010. 3; 65 – 76 p. ISBN 978-9986-959-44-1
2. **Misiūnas A., Vaičiulis D.** T formos suvirintojo sujungimo su plokščia minkšta siūle įtempimų būvio tyrimas. Studentų mokslinių darbų konferencijos „Technologijos mokslai šiandien ir rytoj – 2012“ pranešimų medžiaga. – Kaunas: Technologija 2012, pp.194-199. ISBN 978-609-02-0786-4.
3. ANSYS User Manual. Volume 4. Theory. Upd0 DN – R300: 50 – 4.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

KETURKOJO ŽINGSNIUOJANČIO ROBOTO PAVARŲ SUKIMO MOMENTŲ ANALIZĖ

J. Sriubas, A. Česnulevičius
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: žingsniuojantis robotas, sukimo momentų analizė.

1. Įvadas

Žingsniuojantys mobilūs robotai yra tyrinėjami daugiau kaip tris dešimtmečius [1]. Lyginant su ratiniais ir vikšriniais mobiliais robotais, jie pranašesni tuo, kad gali lengviau prisitaikyti prie judėjimo paviršiaus. Jie lengvai gali įveikti netgi nedidelius griovelius, pasitaikančius kelyje, uolėtą paviršių, smėlį, laiptuotus paviršius, kuomet ratinis ar vikšrinis robotas gali tik kliūtis, kurios neviršija pusės rato aukščio [2]. Tačiau žingsniuojančių robotų valdymo algoritmas yra daug sudėtingesnis, nei ratinio dėl didesnio laisvės laipsnių skaičiaus [3] ir sudėtingesnės konstrukcijos.

Šiame darbe yra pristatomas keturkojo žingsniuojančio roboto modelis ir yra analizuojami roboto pavarų sukimo momentai, robotui judant į priekį. Tyrimas buvo atliekamas su SolidWorks programos priedu SolidWorks Motion.

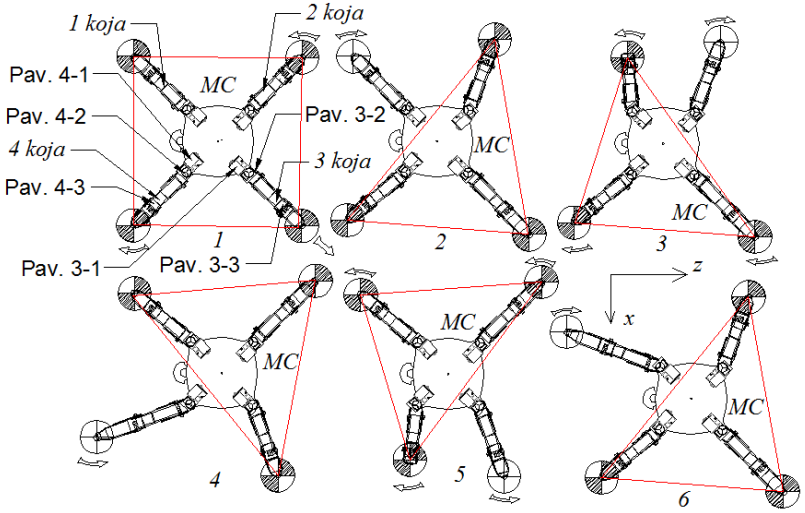
2. Keturkojo žingsniuojančio roboto modelis

Šio tyrimo objektas yra mobilus keturkojis žingsniuojantis robotas [4]. Roboto pagrindiniai techniniai duomenys yra: masė, kai konstrukcijoje naudojamas aliuminio lydinys – apie 30 kg, kai ABS plastikas – apie 20 kg, laisvės laipsnių skaičius – 13, roboto gabaritiniai matmenys – 1000×1000×340 mm.

Mechaninę roboto dalį sudaro korpusas, keturios kojos ir atsvaras, kuris yra reikalingas svorio centro koordinačių koregavimui roboto judėjimo metu. Robotas yra varomas 13 elektros variklių: 12 variklių – kojų valdymui ir vienas variklis skirtas atsvaro valdymui.

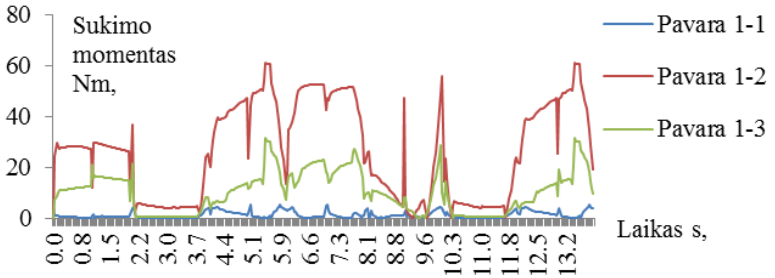
3. Roboto pavarų sukimo momentų analizė

Tyrimo metu buvo analizuojamas tik tiesiaeigis roboto judėjimas. Judėjimo greitis ciklo metu – 0,2 m/s.



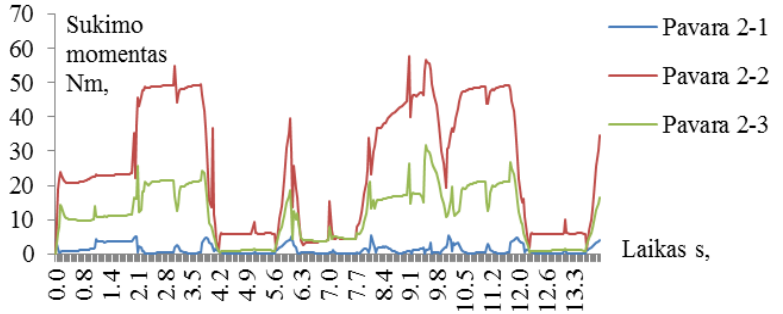
1 pav. Žingsniuojančio roboto judėjimo ciklas: ◔ – atrama liečiasi su padu (pagrindu); ⊕ – atrama neliečia pagrindo, koja yra perstatoma į kitą padėtį; *MC* – plotas kuriame privalo išlikti svorio centras tam, kad konstrukcija išliktu statiškai stabili; ⇄ – judėjimo kryptis

Sukimo momentai, nagrinėjami kai konstrukcija yra iš aliuminio lydinio ir ABS plastiko. Nagrinėjant dvi medžiagas, buvo nustatyta medžiagos įtaka pavarų parinkimui. Dėl didelių roboto gabaritų ir didelės masės, kaip alternatyva aliuminio lydiniui pasirinktas ABS plastikas. Tyrimo metu buvo nustatyta kiek procentų silpnesnių pavarų reikėtų, jeigu konstrukcija būtu gaminama iš plastiko.

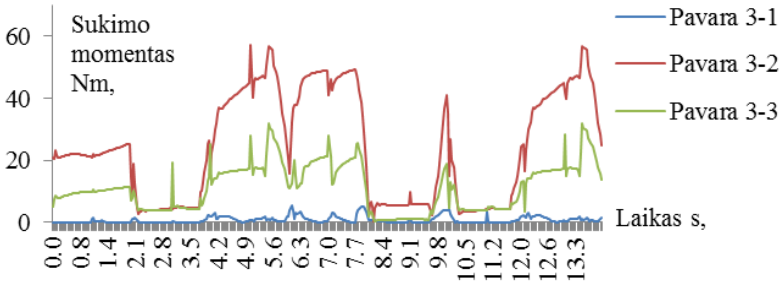


2 pav. 1-osios kojos sukimo momentų kitimas

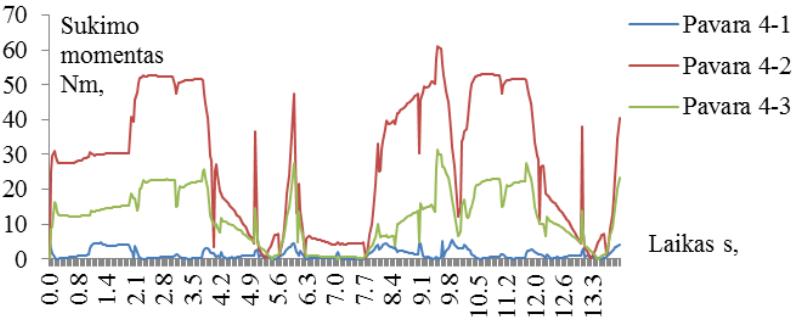
Paveikslėliuose 2, 3, 4 ir 5 pateiktuose grafikuose laikas iki 2 s yra startavimo pasirengimas, nuo 2 s prasideda kartotinas judėjimo ciklas.



3 pav. 2-osios kojos sukimo momentų kitimas



4 pav. 3-osios kojos sukimo momentų kitimas



5 pav. 4-osios kojos sukimo momentų kitimas

Judėjimo ciklo metu pirmiausia pakeliama 1-oji koja ir lieka pakelta nuo 2 iki 4 s. Nuo 2 iki 4 s 1-iosios kojos sukimo momentai stipriai sumažėja (2 pav.). Tuo pačiu momentu matomas jai priešingos 3-iosios kojos momentų sumažėjimas (4 pav.), bet 3-ioji koja nuo pagrindo nepakyla, jai lieka apie 3% roboto svorio, likusioji dalis tenka 2-4 kojoms. Sukimo momentų pikas matomas 3 ir 5 pav. Nuo 4 iki 6 s vyksta viso korpuso judėjimas į priekį, pakeliama ir nuleidžiama antra koja (ji pajuda į priekį), 1, 3 ir 4-oji koja liečiasi su pagrindu ir stumia korpusą į priekį, judėdamos atgal. Taip pat matomas 4 kojos sukimo momentų sumažėjimas (5 pav.). Didžioji dalis svorio tenka 1, 3 kojoms (2 ir 4 pav.). Staigus momentų kritimas, matomas 6-tąją sekundę (2 pav.), atsiranda dėl to, kad trumpą laiką robotas atsistoja visomis kojomis ant pagrindo. 6-tąją sekundę 2-oji koja paliečia pagrindą, atsiranda momentų šuolis, kuris matomas 3 pav. Toks pat šuolis matomas ir 4-toje kojoje. Jis atsiranda dėl to, kad nusileidžia jai priešinga 2-oji koja. Taip šis ciklas kartojasi toliau, tik viskas prasideda 4-tosios kojos pakėlimu.

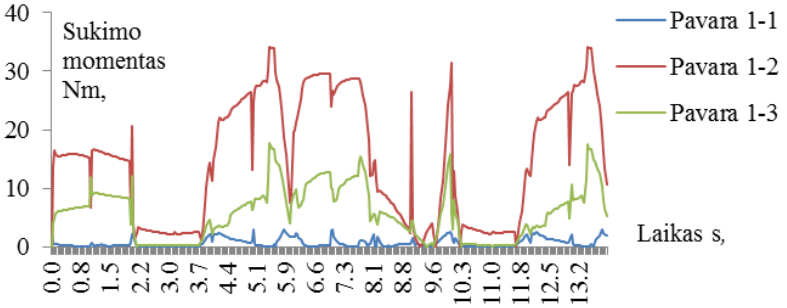
Pateiktuose sukimo momentų grafikuose matomi nežymūs sukimo momentų šuoliai. Šie šuoliai atsiranda dėl kitų pavarų įtakos ir trinties, atsirandančios tarp atraminių kojų taškų ir pagrindo.

Gauti sukimo momentų grafikai parodė, kad labiausiai apkrautos yra galinės kojos. Joms tenka daugiausiai svorio, todėl vėliau nagrinėjant roboto pavarų sukimo momentus, kai konstrukcijoje naudojamas ABS plastikas, užtenka tik 1-osios kojos analizės, nes ji yra galinė. Taip buvo nustatyta kiek kartų mažesnis sukimo momentas yra reikalingas, lyginant su robotu, pagamintu iš aliuminio lydinio.

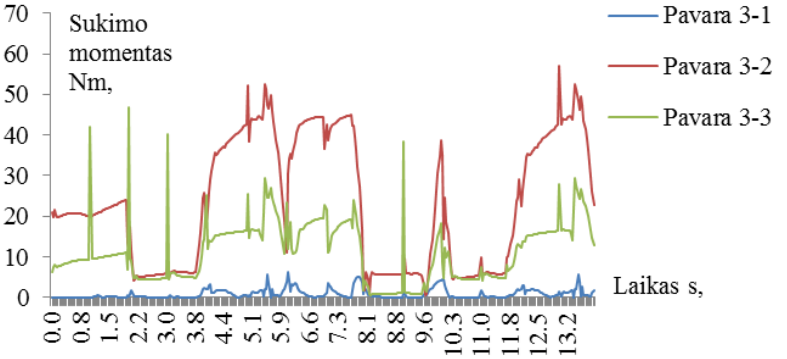
Roboto konstrukcijai naudojant ABS plastiką, reikėtų 42% silpnesnių servo pavarų. bet nekeičiant pavarų yra galima didesnė keliamoji galia.

Judėjimo paviršius ne visada bus horizontalus, todėl nagrinėjama įkalnės įtaka sukimo momentams. Bus tiriamas judėjimas į 5° įkalne. Nagrinėjamas robotas nėra adaptyvus, t. y. negali prisitaikyti prie judamo paviršiaus. Tirtas robotas gali įkopti tik į nedidelę įkalnę (ne didesnę kaip 5°), nes padidėjus įkalnei roboto svorio centro x ir z koordinatės patenka už trikampio, kurį sudaro trijų atraminių kojų viršūnių taškai, ribų, t.y. robotas tampa nestabilus [4]. Nagrinėjama viena priekinė 3-ioji ir galinė 4-oji kojos. Šiuo atveju sukimo momentų priešingoms pagal z ašį (žr. 1 pav.) kojoms grafikai gaunami vienodi, tik persistumia per 4 s (žr. 3 ir 4 pav.).

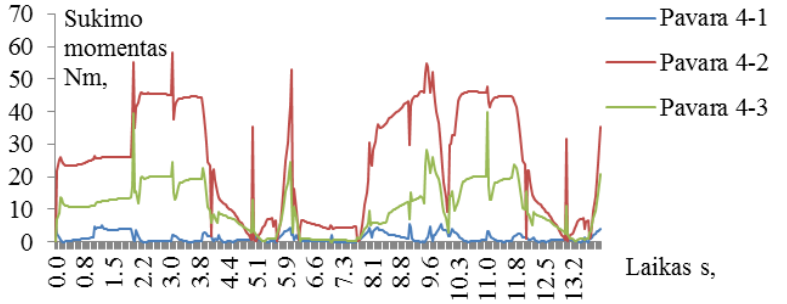
Gauti rezultatai rodo, kad judėjimas į įkalne daugiau įtakoja galinių kojų sukimo momentą. Priekinių kojų sukimo momento pokytis nėra toks ženklus. Grafikuose, pateiktuose 7 ir 8 pav., matoma daugiau šuolių, lyginat su 4 ir 5 pav. pateiktais grafikais. Taip yra dėl atsirandančio nežymaus atraminės kojos pakilimo ir staigaus nusileidimo, kuomet jai priešinga koja leidžiasi. Kuo daugiau šuolių sukimo momentų grafikuose, tuo sunkiau užtikrinti roboto stabilumą. Todėl keičiant įkalnės dydį rekomenduojama lygiagrečiai keisti ir judėjimo ciklą, keičiant kojų variklių kampus.



6 pav. 1-osios kojos sukimo momentų kitimas (ABS plastikas)



7 pav. 3-osios kojos sukimo momentų kitimas, einant į 5° įkalnę



8 pav. 4-osios kojos sukimo momentų kitimas, einant į 5° įkalnę

4. Išvados

1. Roboto konstrukcijai naudojant ABS plastiką, reikėtų 42% silpnesnių servo pavarų.
2. Esant 5° įkalnei, 8 paveikslėlio grafikuose matoma daugiau šuolių. Taip yra dėl svorio centro koordinačių kitimo. Jos neišsilaiko 3-jų atraminių kojų taškų trikampio ribose. Todėl norint didinti įkalne rekomenduojama lygiagrečiai keisti ir judėjimo ciklą.

Literatūra

1. **Soyguder S., Alli H.** Design and prototype of a six-legged walking insect robot. Ind Robot Int J., 2007. 22-420 p.
2. **Soyguder S, Alli H.** Motion mechanism concept and morphology of a single actuator tetrapod walking spider robot: the ROBOTURK SA-2 robot. IndRobot Int J 2011. 71-361 p.
3. **Raibert, Marc H.** (1986). Legged Robots that Balance. The MIT Press. Prieiga per internetą < http://www.irobot.com/raibert-1248cfl > [žiūrėta 2013-05-05].
4. **Sriubas J., Česnulevičius A.** Keturkojo žingsniuojančio roboto gravitacinio stabilumo tyrimas. Studentų mokslinių darbų konferencijos „Technologijos mokslai šiandien ir rytoj – 2012“ pranešimų medžiaga. – Kaunas: Technologija, 2012, pp. 211-216. ISBN 9786090207864.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

KONTŪRŲ APDIRBIMO TECHNOLOGIJOS IR APDIRBIMO SAVIKAINOS PRIKLAUSOMYBĖS TYRIMAS

D. Baltramiejūnas, D. Garuckas
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: mechaninis apdirbimas, kontūrų frezavimas, gamybos kaštai, techninis efektyvumas.

1. Įvadas

Darnios ekonomikos plėtra yra sudėtingas finansų, idėjų ir laiko reikalaujantis procesas, todėl, verslo kelias į darbo efektyvumą turi būti susietas su įmonių efektyviausių įrankių, priemonių panaudojimu, siekiant bendro tikslo – pridėtinės vertės, jos didinimo ir generavimo. Darbo efektyvumas įgalina pagausinti darbo rezultatus, naudojant tuos pačius ar net mažesnius išteklius. Todėl jis turėtų tapti pagrindiniu veiksniu visuose mūsų visuomenės veiklos baruose. Gaminamų mašinų ir dirbinių kokybė priklauso ne vien nuo jų konstrukcijos, bet ir nuo gamybos technologijos. Svarbu, kad gaminys būtų ne tik tinkamas, bet ir nebrangus. Gamybos technologija turi didelę įtaką įvairioms gaminamų gaminių savybėms, tarp jų – patikimumui ir eksploatacinėms išlaidoms. Dėl to labai svarbu tobulinti esamus ir kurti naujus technologijos metodus siekiant geresnės apdirbimo kokybės, ekonomiškumo, patikimumo, mažų medžiagų sąnaudų, mažos aplinkos taršos ir kitų norimų savybių [1].

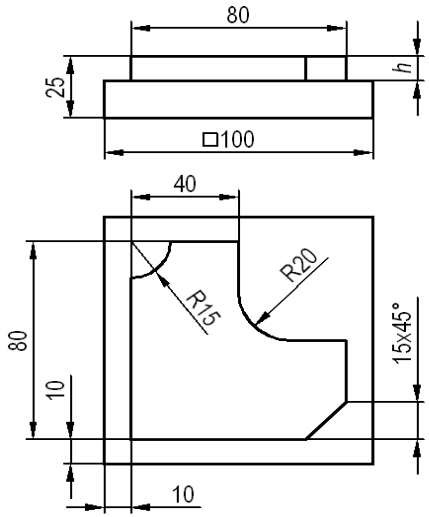
Savikainos mažinimas yra pagrindinis įmonės tikslas, nes nuo jos priklauso įmonės pelnas ir gebėjimas išsilaikyti konkurencinėje aplinkoje [2].

Darbo tikslas: užsiduotų matmenų ir techninių reikalavimų kontūrų apdirbimui sudaryti keletą mechaninio apdirbimo atvejų ir nustatyti apdirbimo kaštų dedamąsias nuo apdirbimo laiko, ištirti frezavimo įrankių kainų ir apdirbimo trukmės kaštų dedamųjų įtaką detalės gamybos savikainai.

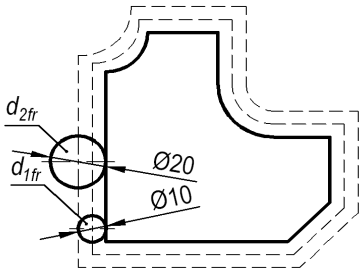
2. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – išorinių (1 pav.,) kontūrų apdirbimo plokštėje, kurios medžiaga – konstrukcinis plienas 40 GOST 1050-88, apdirbimo kaštų K_{MA} tyrimas, kurio metu bus keičiamas įrankio skersmuo d_{fr} ir nustatoma

apdirbimo trukmė T_m. Apdirbimo technologijos variantai, sudaryti atsižvelgiant į galimus panaudoti šiuolaikinius įrankius, kurių darbinės dalies tradicinės įrankinės medžiagos – greitapjovis plienas su kobaltu (HSS Co) greitapjovis plienas su kobaltu bei titano, aliuminio, nitrito danga (HSS Co TiAlN), greitapjovis plienas miltelinės technologijos su danga (HSS PM TiAlN), kietlydinis (VHM) be dangos ir kietlydinis su danga (VHM TiAlN). Šie apdirbimo technologijos variantai – tai ne visi įmanomi sudaryti ir galimi kontūrų apdirbimo atvejai, bet keli labiausiai tikėtini ir galimai racionalūs, kurie gali būti pritaikyti realioje gamyboje.



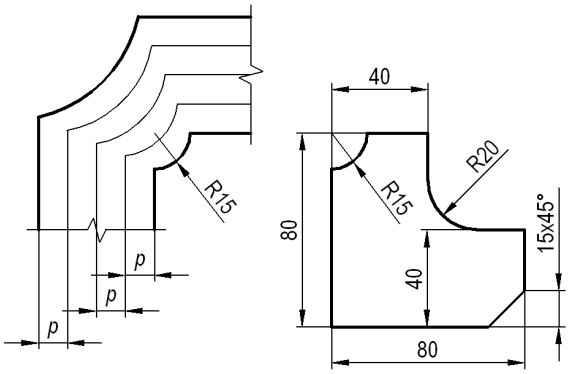
1 pav. Apdirbamo kontūro pavyzdys



2 pav. Kontūro apdirbimas skirtingų skersmenų frezomis (čia punktyrinė linija žymi įrankio trajektoriją)

Atliekant tyrimą kintami dydžiai bus:

- Frezos skersmuo d_{fr} bus keičiamas nuo mažiausio 5 mm iki 25 mm (2 pav.);
- Pjovimo įrankio medžiaga – tyrimas bus atliekamas naudojant įrankius ir įrankių medžiagas: kietlydinį VHM (very hart metal) ir greitapjovį plieną HSS (hight speed steel).
- Kontūro ilgis L bus keičiamas (3 pav.) ekvidistanciniu žingsniniu principu išlaikant vienodą ekvidistancinį žingsnį p;
- kontūro aukštis (gylis) h bus keičiamas nuo 5 mm iki 25 mm.



3 pav. Kontūro ilgio keitimas ekvidistanciniu žingsniu p

Kontūro ilgis L keisis netiesiškai, nes kontūras bus didinamas ekvidistanciniu žingsniu p, atkartojant kontūro geometriją ir jį didinant. Kontūro ilgis L bus nustatomas *MasterCAM*, *AutoCAD* programomis.

3. Tyrimo metodika

Kontūro apdirbimo trukmės nustatymui bus pasiremta katalogais, kuriuose pateikta konkreti informacija apie pasiriktų pjovimo įrankių pjovimo režimus numatytai apdirbti medžiagai [3, 5]. Apdirbimo modeliavimas bus atliekamas *MasterCAM Mill* programa. Šia programa bus nustatomas mašininis laikas T_m. *MasterCAM* programoje bus suvesti tikrieji tam tikrų frezų pjovimo režimai: pjovimo gylis t, minutinė pastūma s_m, pjovimo greitis v.

Mechaninio apdirbimo kaštai K_{MA} vertinami pagal formule [4]:

$$K_{MA} = K_M + K_{T_m} + K_{PĮ}; \quad (1)$$

$$K_{T_m} = \frac{T_m \, C_{val}}{60}; \quad (2)$$

$$K_{PĮ} = \frac{S_{PĮ}\ P_{PĮ}}{100\%}; \qquad (3)$$

čia: K_M – ruošinių medžiagų kaštai, šio tyrimo atveju $K_M = 0$; K_{Tm} – mechaninio apdirbimo trukmės kaštai įvertinti atsižvelgiant į pasirinktą valandinį programinio valdymo staklių įkainį, kai valanda yra įvertinta $C_{val} = 100$ Lt/val., o pasirinktas valandinis įkainis nustatytas atsižvelgiant į gamybinių įmonių taikomus įkainius; $K_{PĮ}$ – pjovimo įrankių kaštų dedamoji, kuri bus skaičiuojama nuo operacijoje naudojamų įrankių kainos ir įskaičiuojama į mechaninio apdirbimo kaštus K_{MA}; $P_{PĮ}$ – pjovimo įrankių kainos dalies procentas ($P_{PĮ} = 5$ %) pjovimo įrankių kaštų dedamajai $K_{PĮ}$ apskaičiuoti pagal pjovimo įrankių pardavėjų rekomendacijas; $S_{PĮ}$ – operacijos pjovimo įrankių komplekto kaina, Lt.

Pjovimo režimų: apsukų n ir pastūmų s, dėsningumams įvertinti sudaroma 1-2 lentelės.

Įrankių kainos suskaičiuotos ir pateiktos 3 lentelėje.

1 lentelė

Paskaičiuotos apsukos n kiekvienai medžiagai pagal skersmenį

Medžiaga / d, mm	HSS Co be dangos	HSS Co su TIAIN danga	HSS PM su TIAIN danga	VHM be dangos	VHM su TIAIN danga
5	5200,0	7600,0	8700,0	9500,0	19000,0
10	2600,0	3800,0	4300,0	4700,0	9500,0
15	1700,0	2500,0	2900,0	3100,0	6300,0
20	1300,0	1900,0	2100,0	2300,0	4700,0
25	1000,0	1500,0	1700,0	1900,0	3800,0

2 lentelė

Paskaičiuotos pastūmos s kiekvienai medžiagai pagal skersmenį

Medžiaga / d, mm	HSS Co be dangos	HSS Co su TIAIN danga	HSS PM su TIAIN danga	VHM be dangos	VHM su TIAIN danga
5	300,0	430,0	630,0	850,0	1710,0
10	390,0	570,0	790,0	710,0	1430,0
15	490,0	710,0	980,0	850,0	1710,0
20	370,0	530,0	730,0	850,0	1710,0
25	290,0	430,0	590,0	910,0	1830,0

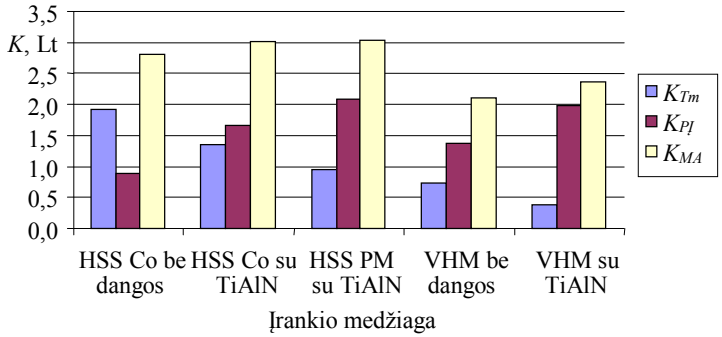
3 lentelė

Įrankių kainų $K_{PĮ}$ priklausomybė nuo medžiagos ir skersmens, Lt

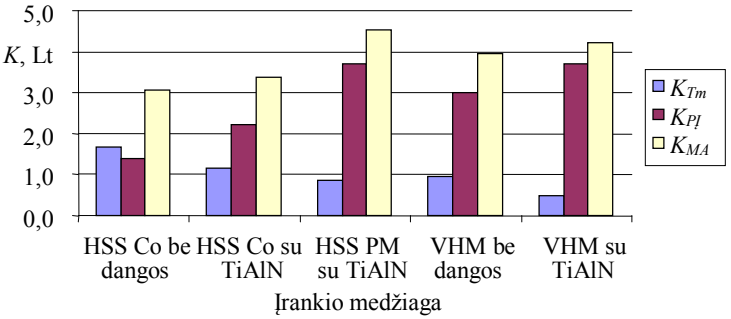
Medžiaga / *d*, mm	HSS Co be dangos	HSS Co su TiAlN danga	HSS PM su TiAlN danga	VHM be dangos	VHM su TiAlN danga
5	17,87	33,14	41,74	27,64	39,48
10	27,77	44,51	73,75	60,31	74,15
15	58,79	87,72	128,33	148,27	192,88
20	89,03	121,18	175,44	247,12	312,33
25	115,28	183,87	209,60	299,52	390,93

4. Tyrimo rezultatai

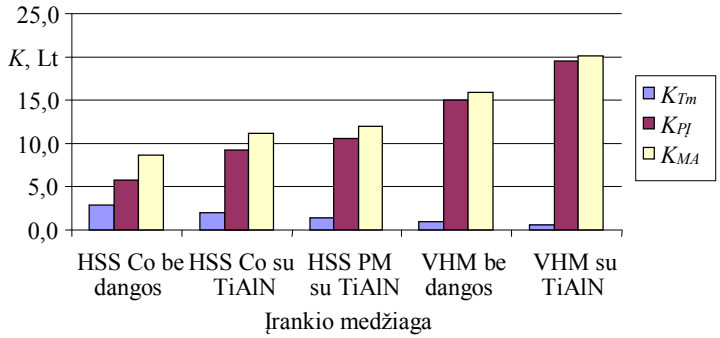
Charakteringi mechaninio apdirbimo kaštų K_{MA} tyrimo rezultatai pateikti 4-6 paveiksluose.



4 pav. Mechaninio apdirbimo kaštai kai įrankių skersmuo 5 mm



5 pav. Mechaninio apdirbimo kaštai kai įrankių skersmuo 10 mm



6 pav. Mechaninio apdirbimo kaštai kai įrankių skersmuo 25 mm

5. Rezultatų apžvalga

4 paveiksle matyti, kad mažiausi mechaninio apdirbimo kaštai dirbant su VHM be dangos įrankiu. Nors mechaninio apdirbimo trukmės kaštai nėra patys mažiausi, bet įrankio kaštų dedamoji nėra didelė. Tai lėmė palyginti nedidelė įrankio kaina 27,64 Lt. Didžiausia apdirbimo kaštai dirbant su HSS Co su TiAlN danga ir HSS PM su TiAlN dangos įrankiais. Nors dirbant su HSS PM su TiAlN dangos įrankiais mechaninio apdirbimo trukmės kaštai mažėjo, bet padidėjus pjovimo įrankių kaštams bendrieji mechaninio apdirbimo kaštai liko tokie pat. Didžiausi pjovimo įrankių kaštai dirbant su VHM su TiAlN danga įrankiais, bet esant mažiems mechaninio apdirbimo kaštams bendrieji mechaninio apdirbimo kaštai yra mažiausi.

5 paveiksle pateikti frezų su 10 mm skersmeniu kaštų rezultatai. Iš 5 paveikslo, lyginant jį su 4 paveikslu, matyti, kad įrankio skersmeniui padidėjus iki 10 mm, įrankių kainos dedamoji santykinai padidėja lyginant su mechaninio apdirbimo kainos dedamąja. Ši tendencija išlieka ir toliau didinant įrankio skersmenį. Tai rodo, kad naudoti didesnio skersmens įrankius nėra racionalu, nes įrankių kaštų dedamoji ženkliai didėja, nors įrankių patvarumas išlieka analogiškas, kaip nurodo įrankių gamintojai.

6 paveiksle matyti, kad mažiausi mechaninio apdirbimo kaštai dirbant su 25 mm HSS Co be dangos įrankiu. Nors mechaninio apdirbimo trukmės kaštai yra patys didžiausi, bet įrankio kaštų dedamoji nėra didelė. Matyti, kad didžiausia apdirbimo kaštai dirbant su VHM su TiAlN dangos įrankiais. Nors mechaninio apdirbimo kaštai patys mažiausi, bet bendrieji mechaninio apdirbimo kaštai išauga dėl didelės įrankio kainos. Dirbant su 25 mm skersmens bet kurios medžiagos freza mechaninio apdirbimo trukmes kaštai kinta nežymiai, bet esant aukštoms įrankių kainoms bendrieji mechaninio apdirbimo kaštai yra labai dideli.

6. Išvados

1. Kontūrų apdirbimo trukmė tiesiogiai priklauso nuo naudojamų įrankių pjovimo režimų, todėl apdirbimo trukmės priklausomybėms tiesioginę įtaką daro įrankių pjovimo režimų priklausomybės. Kadangi didžiausią įtaką daro pastūmų reikšmės, tai apdirbimo trukmė gaunama mažiausia, o gamyba efektyvi, kai apdirbimas atliekamas 15 mm skersmens frezomis.
2. Nuo įrankio skersmens t. p. priklauso ir jų pastūmos. Nustatyta, kad naudojant greitapjovio plieno HSS įrankius didžiausios pastūmos yra pasiekiamos, esant 15 mm skersmens frezoms, o esant mažesniam arba didesniam skersmeniui frezų pastūmos mažėja. Matyt, tai yra susiję su HSS įrankių pjovimo proceso ypatumais dėl pjovimo jėgų, darbo zonos temperatūros, apdirbamų paviršių tikslumo ir kt. Kietlydinio frezų pastūmos didėjant skersmeniui, didėja.
3. Iš atliktos analizės nustatyta, kad mažų skersmenų (5 mm) frezas naudoti galima, tačiau neefektyvu, ir tik jei reikalauja kontūro geometrija. Be to, kuo mažesnis frezos skersmuo, tuo mažesnis yra pjovimo gylis pagal kontūro aukštį. Didelio skersmens frezomis našiau apdirbami didesnio aukščio kontūrai, kadangi jos gali pjauti didesniu gyliu. Nustatyta, kad ekonomiškai naudinga ir efektyvu naudoti 15 mm skersmens frezas iš greitapjovio plieno HSS PM su TiAlN danga ir kietlydinio VHM be dangos.
4. Apdirbimo kaštai priklauso nuo frezos skersmens, didėjant frezos skersmeniui, tiek apdirbimo kaštai, tiek mechaninio apdirbimo trukmės kaštai, tiek pjovimo įrankių kaštai didėja. Išanalizavus mechaninio apdirbimo kaštų sudėtį, matyti, kad didžiąją dalį kaštų sudaro pjovimo įrankių kaštų dedamoji. Mažiausios sąnaudos detalę apdirbant su 5 mm skersmens iš VHM be dangos pagamintu įrankiu. Lyginant su kitais įrankio kaina nėra didelė, nėra dideli ir mechaninio apdirbimo trukmės kaštai.

Literatūra

1. **Bražiūnas J. A.** Mašinų gamybos technologijos pagrindai. – Kaunas: Technologija, 2004. – 512 p. ISBN 9955-09-558-x.
2. **Andrijauskienė A.** Įmonių ekonomika. – Alvyra Andrijauskienė, 2004. – 212 p. ISBN 9955-567-51-1.
3. **Bražėnas A., Markauskas S.** Pjovimo procesai ir įrankiai. – Kaunas: Technologija, 2000. – 123 p. ISBN 9986-13-813-2.
4. **Tratulytė D., Garuckas D.** Apvalaus skerspjūvio skylių apdirbimo technologijos įtakos tyrimas apdirbimo savikainai // Technologijos mokslai šiandien ir rytoj – 2011. Studentų mokslinių darbų konferencijos medžiaga. – Kaunas: Technologija, 2011. – 244 p. ISBN 978-609-02-0265-4.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

BMW 525D AUTOMOBILIO VIBRACIJŲ, KYLANČIŲ DĖL PADANGOS PAŽEIDIMO, TYRIMAS

Ž. Paškauskas, D. Vaičiulis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: automobilio vibracija, padangos pažeidimas, BMW, SVAN 958.

1. Įvadas

Automobilio ratas yra sudėtinė detalė, kurią sudaro standžioji rato dalis – ratlankis ir plastinė (amortizacinė) dalis – padanga. Automobilio padanga – taip pat yra konstrukcinė detalė, kuri susideda iš tokių pagrindinių elementų kaip – protektorius, karkasas, padangos šonai, montavimo bortai [1].

Pažeidus vieną iš aukščiau minėtų padangos elementų ir ją toliau eksploatuojant, gali būti pakenkta kitiems automobilio konstrukciniams elementams, tokiems kaip pakaba ar net kilti pavojus automobilio vairuotojui ir keleiviams.

Tyrimo objektas: automobilio vibracijos, kylančios nuo padangos pažeidimo.

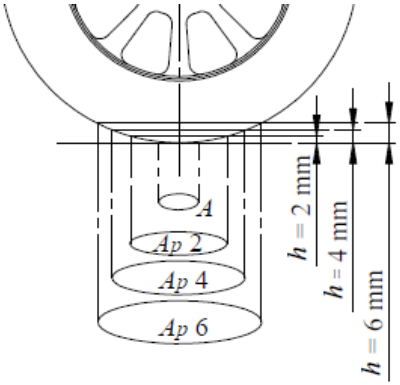
Darbo tikslas: ištirti automobilio vibracijų priklausomybę nuo padangos pažeidimo dydžio ir važiavimo greičio.

2. Tyrimo metodika

Tyrime matuojamos vibracijos, imituojant automobilio padangos pažeidimą – netolygų padangos nusidėvėjimą vienoje vietoje.

Šio pažeidimo atsiradimas gali kilti nuo staigaus automobilio stabdymo užblokuojant ratus, užsikirtus rato guoliams ar sugedus stabdymo mechanizmui.

Matavimai atliekami važiuojat ta pačia 500 metrų ilgio asfaltuota kelio atkarpa, trimis važiavimo greičiais: 30, 50 ir 70 km/h. Padangos pažeidimas imituojamas vienoje vietoje padangą nudilinant iki 2, 4 ir 6 mm gylio (1 pav.). Vibracijų matavimai bus atliekami su gera padanga, tą pačią padangą nudilinta 2 mm, po to 4 mm ir galiausiai 6 mm.

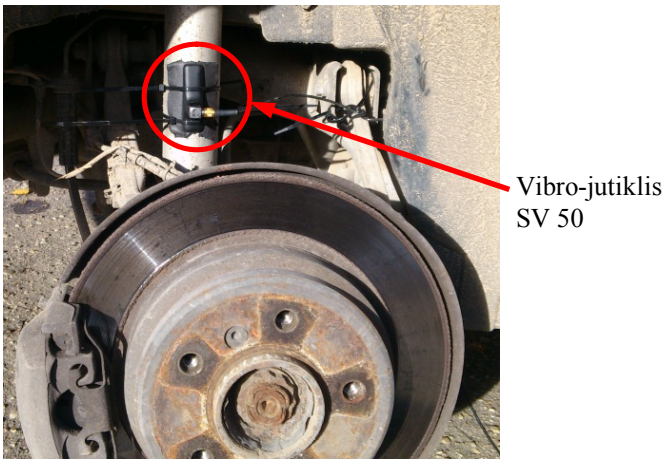


1 pav. Padangos nudilinimo schema: A – nepažeistos padangos pėdsako plotas; A_p – pažeistos padangos pėdsako plotas; h – padangos nudilimo gylis

Tyrimui atlikti naudojama įranga:

- I tikslumo klasės, 4 kanalų garso lygio matuoklis – analizatorius / vibromatis SVAN 958 su vibro-jutikliu SV 50 [2];
- dyzelinis automobilis BMW 525 D;
- programinis paketas SVANPC++.

Vibracijų jutiklis SV 50 tvirtinamas prie automobilio galinės pakabos amortizatoriaus korpuso (2 pav.).



2 pav. Vibro-jutiklio tvirtinimas prie amortizatoriaus korpuso

Literatūroje, padangos pažeidimo dydį įvertinančio koeficiento apskaičiavimo metodikos, rasti nepavyko. Todėl tyrimui atlikti įvestas pažeidimą įvertinantis koeficientas P:

$$P = 1 - \left(k_1 \frac{R_p}{R} + k_2 \frac{A_p}{A} \right); \quad (1)$$

čia: P – padangos pažeidimo koeficientas; R – nepažeistos padangos spindulys, m; R_p – pažeistos padangos spindulys ties pažeidimu, m; A – nepažeistos padangos pėdsako plotas, m^2; A_p – pažeistos padangos pėdsako plotas, m^2; k_1 ir k_2 – pažeidimo dedamosios koeficientai ($k_1+k_2=1$).

Koeficiantai k_1 ir k_2 parenkami pagal pažeidimo dedamosios įtaką pažeidimo dydžiui. Šiuo atveju dedamosios priimtos lygiavertės, todėl k_1 ir k_2 lygios 0,5.

Matavimų metu gautus duomenis aproksimuosime empirine išraiška, kurios koeficientas bus apskaičiuoti naudojant mažiausių kvadratų metodą [3].

3. Tyrimo rezultatai

Siekiant gauti tikslesnius duomenis, su kiekvienu bandiniu ir važiavimo greičiu atlikta po 3 matavimus.

Išmatavus padangos pėdsakus, padangos pažeidimo koeficientai P, pasinaudojant (1) formule, pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

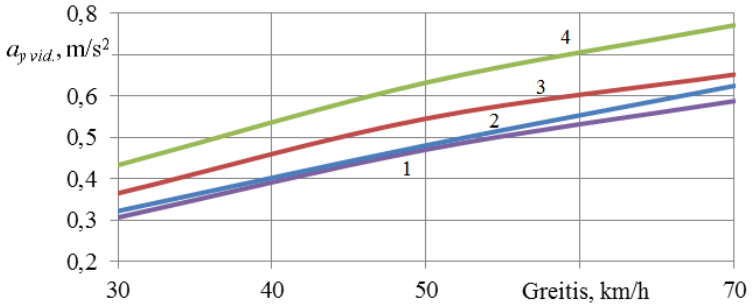
Padangos pažeidimo koeficiantai

Padangos nudilimo gylis, mm	0	2	4	6
Padangos pažeidimo koeficientas, P	0	0,2305	0,2757	0,2954
Pažeistos padangos vaizdas	–			

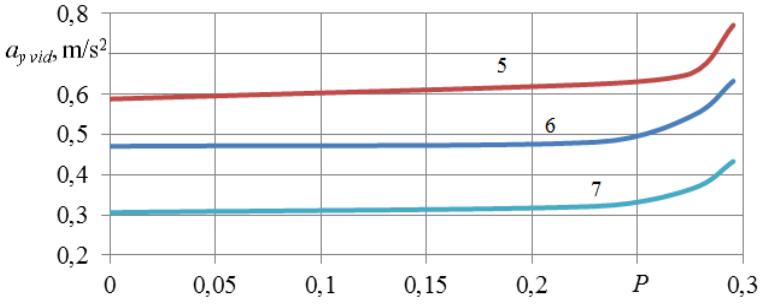
Atlikus vibracijų matavimus, nudilusios padangos 2 mm vibracijos automobilyje nebuvo jaučiamos, bet pažeidus 4 ir 6 mm, vibracija jau buvo jaučiama.

Toliau pateikiame matavimų vidutinių vibracijų reikšmių $a_{y\,vid}$ grafikus, kuriuose matyti kaip vibracija kinta nuo važiavimo greičio ir nudilimo dydžio (3 pav.).

Kaip matyti iš 3 a pav. vibracijų lygis didėjant greičiui v taip pat didėja. Kitimo dėsningumą tiksliausiai aprašytų laipsninė funkcija, nors apytiksliai būtų galima laikyti, kad $a_{y\,vid}$ nuo v priklauso tiesiškai. Iš 3 b pav. pastebima, kad vibracijų lygis pradeda laipsniškai didėti tik nuo $P = 0{,}2$, iki tol vibracijoms didelės įtakos mažesni pažeidimai neturi.



a



b

3 pav. Išmatuotų vidutinių vibracijų $a_{y\,vid}$ priklausomybė nuo: a – važiavimo greičio; b –pažeidimo dydžio; 1 – nepažeista padanga; 2 – 2 mm pažeista padanga; 3 – 4 mm pažeista padanga; 4 – 6 mm pažeista padanga; 5 – važiavimo greitis 70 km/h; 6 – važiavimo greitis 50 km/h; 7 – važiavimo greitis 30 km/h

Taigi, $a_{y\,vid}$ kitimo dėsnis, tiek nuo automobilio važiavimo greičio v, tiek nuo P, yra artimas laipsninei funkcijai. Todėl matavimų duomenis aproksimuosime laipsninėmis funkcijomis taikydami mažiausių kvadratų metodą.

Parenkame dvi aproksimuojančias laipsnines funkcijas $y = A\,x^B + C$: kai koeficientai A, B, C priklauso nuo pažeidimo koeficiento (2) ir kai – nuo važiavimo greičio (3):

$$a_{y\,vid}(v, P) = A_1(P)\, v^{B_1(P)} + C_1(P); \quad (2)$$

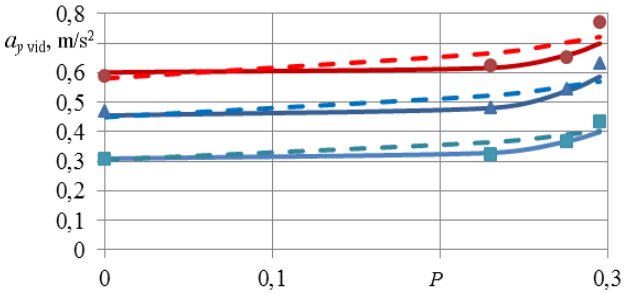
$$a_{y\,vid}(v, P) = A_2(v)\, P^{B_2(v)} + C_2(v). \quad (3)$$

Apskaičiavę laipsninių funkcijų koeficientus (žr. 2 lent.), funkcijas grafiškai atvaizduojame 4 pav.

Aproksimuojančių funkcijų procentinė paklaida:

$$\Delta = \left| \frac{\bar{a}_{y\,vid} - a}{\bar{a}_{y\,vid}} \right| \cdot 100\%; \quad (4)$$

čia: $\bar{a}_{y\,vid}$ – vidutinės eksperimentinės vibracijų vertės; a – apskaičiuotos vibracijų vertės pagal (2) arba (3) išraiškas.



4 pav. Vidutines vibracijas, priklausančias nuo pažeidimo dydžio, aproksimuojančios laipsninės funkcijos. Matavimų metu gautos vertės: ● – važiavimo greitis 70 km/h; ▲ – važiavimo greitis 50 km/h; ■ – važiavimo greitis 30 km/h; (– – –) – aproksimuojančios laipsninės funkcijos (2) kreivė; (——) – aproksimuojančios laipsninės funkcijos (3) kreivė

2 lentelė

atavimų rezultatus aproksimuojačios funkcijos

Aproksimuo-jančios fun. formulės Nr.	Funkcijos išraiška	Didžiausia paklaida, %
(2)	$a_{y\,vid}(v, P) = (0{,}04P^2 + 0{,}023)v^{0{,}76} + 0{,}6P^2$	13,5
(3)	$a_{y\,vid}(P, v) = (1395\, v^2)\, P^{0.0033v^2+5{,}8} + (0{,}0073\, v + 0{,}09)$	9,4

Galutines funkcijų išraiškas bei didžiausias jų paklaidas, lyginant su matavimo rezultatais, pateikiame 2 lentelėje.

Gavome, kad tiksliau matavimų rezultatus aproksimuoja (3) formulė (žr. 2 lent.).

4. Išvados

1. Važiavimo greičiui padidėjus 2,33 karto (nuo 30 km/h iki 70 km/h) – vidutinių vibracijų lygis padidėja 1,85 karto, esant tam pačiam pažeidimo dydžiui.
2. Esant tam pačiam važiavimo greičiui, pažeidimo dydžiui padidėjus 6 kartus (nuo 0 mm iki 6 mm) – vidutinių vibracijų lygis padidėja 1,35 karto.
   Vibracijų lygis pradeda laipsniškai didėti (3 b pav.) tik nuo tada, kai padangos pažeidimo koeficientas $P = 0{,}2$, iki tol vibracijoms didelės įtakos mažesni pažeidimai neturi.
3. Tyrimo metu gautus duomenis tiksliausiai aproksimuoja laipsninė funkcija, kurioje parametras yra pažeidimo dydis P, o koeficientai priklauso važiavimo greičio v. Vertikalaus pagreičio vertės, apskaičiuotos naudojant minėtąją funkciją, nuo išmatuotų vidutinių pagreičio verčių skiriasi ne daugiau kaip 9,4 %.

Literatūra

1. Padangos konstrukcija. Prieiga per internetą: < http://www.andriausverslas.lt /?page_id=45 > [žiūrėta 2013-04-06].
2. Analizatorius SVAN 958. Prieiga per internetą: < http://elintosms.lt/LT/ Prekiu-katalogas / Aplinkos-salygu-matavimo-prietaisai / Triuksmomaciai / SVAN-958 > [žiūrėta 2013-09-15].
3. **Plukienė D., Janušauskaitė N., Šileikienė D.** Taikomoji matematika. – Kaunas: Technologija, 2004. – 241 p.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

ŠTAMPAVIMO LINIJOS TECHNOLOGINIO PROCESO TYRIMO METODIKA

A. Sebeckis, J. Bareišis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: štampavimas, štampavimo linija.

1. Įvadas

Siekiant kuo paprasčiau pasigaminti detales, jau nuo seno buvo išrastas metalo apdirbimas spaudimu. Šiuo metu toks metalo apdirbimo būdas vadinamas štampavimu, valcavimu ar kalimu. Darbe nagrinėsiu metalo apdirbimą štampavimu. Štampavimo procesai yra įvairių tipų. Išskiriami du pagrindiniai procesai: suspaudimas pakeičiant ruošinį į norimą formą ir lakštinis, kai iš lakšto štampavimo metu gaunamas gaminys. Štampavime visada naudojamas presas ir štampas. Štampavimo metu presas visada suteikia reikiamą jėgą detalės pagaminimui, o štampas štampavimo proceso metu detalėms suteikia norimas formas. Štampavimas yra pigus gamybos būdas jeigu gaminama dideliais gaminių kiekiais. Štampuojant gaminius linijose, dėl didelio gamybos našumo jų savikaina žymiai mažesnė. Kai reikalingi mažesni detalių kiekiai štampavimas vykdomas, juostą į štampą dedant rankiniu būdu. Tai leidžia tiksliau kontroliuoti jų kiekį, nes per lakšto juostos ilgį gaunamas pastovus kartotinis detalių skaičius. Gaminant tokiu būdu gaunamas didesnis atliekų kiekis nei iš juostos rulono, nes tik retais atvejais panaudojamas visas lakšto juostos ilgis detalėms. Štampavimo arba presavimo būdu gaminami ne tik gaminiai, bet ir pusgaminiai, kada iš jau turimų pusgaminių, juos sujungus padaromas naujas gaminys.

Darbo tikslas: rasti ir išanalizuoti galimas štampavimo linijos tyrimo būdus, siekiant nustatyti, kokie linijos technologiniai procesai, įgalintų padidinti jos našumą, nepažeidžiant kokybės reikalavimų.

2. Tyrimo objektas

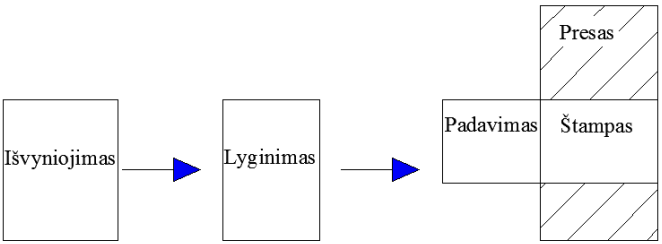
Šio darbo tyrimo objektas yra štampavimo linija, skirta kampainių ir plokštelių tipo detalių gamybai, UAB ,,Metalistas“ Tai automatizuotas štampavimo procesas kurio metu iš juostos rulono pagaminamas galutinis arba tarpinis gaminys. Kampiniai (1 pav., a) skirti sujungti medinius elementus

kampu, plokštelės (1 pav., b) – sujungti vienoje plokštumoje esančius medinius elementus.

a b

1 pav. Kampiniai su standumo briauna (a) ir išlengvintos plokštelės (b)

Mūsų nagrinėjamą štampavimo liniją sudaro penki pagrindiniai segmentai (2 pav.): išvyniojimo, lyginimo bei padavimo įrengimai, presas ir štampas.

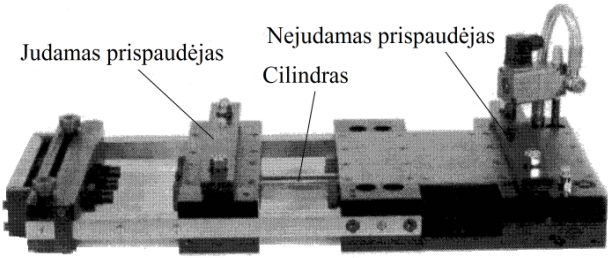


2pav. Štampavimo linijos schema, rodyklė – juostos judėjimo kryptis

Ant išvyniojimo įrenginio ašies yra užmaunamas juostos rulonas. Šio įrenginio matmenys leidžia naudoti skirtingo skersmens (370 – 630 mm) bei pločio (iki 400 mm) juostas, kurių masė ne didesnė kaip 1500 kg. Juostos storis įtakos šio įrenginio darbui neturi. Šioje linijoje naudojamas išvyniojimo įrenginys tinkamas naudoti ir prie kitų štampų ar linijų. Iš jo juosta paduodama į lyginimo įrenginį.

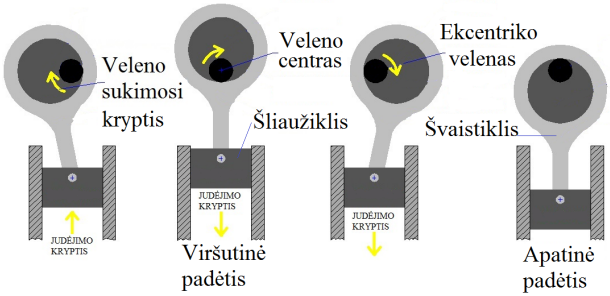
Lyginimo įrenginio paskirtis išlyginti iš rulono išvyniojamą juostą. Lyginimo įrengimas gali tinkamai veikti, kai juostos storis yra nuo 0,8 iki 4 mm, juosto plotis iki 200 mm. Lyginimo įrenginį sudaro 7 lyginimo ir 2 varomieji velenėliai. Lyginimo metu juosta nedaug perlenkiama į abi puses ir taip ištiesinama.

Pneumatinis perstūmėjas (3 pav.) skirtas paduoti juostą į štampą vienodu laiko tarpu ir nustatytu ilgiu. Perstumiamos juostos tikslumo paklaida turi būti ne didesnė kaip 1 mm. Perstūmėjas veiks jei juostos storis iš rulono bus iki 4 mm, plotis iki 200 mm ir perstumiamas juostos žingsnis nėra daugiau



3 pav. Pneumatinis perstūmėjas

nei 200 mm. Tikslumą užtikrina pats įrenginys. Perstūmėjas turi du prispaudėjus: nejudamą ir judamą. Tuo pačiu metu tik vienas prispaudėjas užspaudžia juostą. Pneumo cilindras judantį prispaudėją, kuris yra atlaisvinęs juostą, nustumia nustatytu atstumu. Tada judamas prispaudėjas užspaudžia juostą, o nejudamas – atleidžia. Pneumo cilindras traukia judamą prispaudėją su juosta į pradinę prispaudėjo buvimo vietą. Tada judamas prispaudėjas atleidžia juostą, o nejudamas – suspaudžia ir procesas kartojamas. Norimas perstūmimo atstumas (detalės ilgis) gaunamas nustatant cilindro eigą.



4 pav. Ekscentrinio preso veikimo principas

Nagrinėjamoje linijoje naudojamas ekscentrinis presas. Tai presas kuriame besisukantis ekscentrikas sukuria pasikartojantį judesį (4 pav.). Taip besisukant sukuriama didelė darbinė jėga, kuri naudojama tiek kertant, tiek lenkiant. Nors gamykloje yra naudojami 16-32T, 40T, 63T, 100T presai, kurių kirtimo jėga nuo 160 iki 1000 kN. Nagrinėjamų detalių gamybai automatinėje linijoje bus naudojami 630 kN galios presai.

Kadangi automatinė štampavimo linija yra labai našus detalių gamybos iš juostos būdas, kurį apsimoka taikyti, kai kampinių (1 pav., a) gamybinė programa didesnė nei 3 tūkstančiai vienetų, o plokštelių (1 pav., b) gamybinė programa didesnė nei 5 tūkstančiai vienetų [1].

Kai detalių gamyba vykdoma rankiniu būdu, tuomet jų technologinį procesą sudaro: metalo paruošimas + štampavimas + surinkimas. Papildoma operacija (dažymas), kuri, kliento pageidavimu, naudojama tik mažiems gaminių kiekiams.

Kai detalių gamyba vykdoma automatinėje linijoje tuomet jų technologinį procesą sudaro: juostos paruošimas + štampavimas + surinkimas. Surinkimas automatinėje linijoje bus naudojamas kitoks nei rankiniu būdu, nes, šiuo atveju, detalės bus surenkamos automatizuotai, bet kartu jos bus pakuojamos įprastiniais kiekiais.

3. Tyrimo metodika

Kiekvienam gamybos būdui (rankinis ir automatinis) apskaičiuosime gaminio savikainą. Kad tai galėtume atlikti, turėsime nustatyti atskirų perėjimų mašininius ir pagalbinius laikus. Detalių savikaina, gaminant jas linijoje ir rankiniu būdu, bus įvertinama medžiagos sunaudojimo norma. Skaičiuojant gaminių savikainą, būtina įvertinti kokia yra naudojama įranga, kiek ji kainuoja ir kas kiek laiko ji remontuojama arba gaminama nauja.

Preso darbui reikalinga dideli elektros energijos resursai, todėl svarbu optimaliai išnaudoti presus pagal energetinius poreikius ir reikalingus galingumus. Bandysime pagrįsti, šiuo metu linijoje naudojamo 630 kN galios preso tikslingumą. Taip pat bus išnagrinėta daviklių štampe naudojimo racionalumas.

4. Išvados

1. Nustatyti štampavimo automatinės linijos pagrindiniai segmentai, turintys įtakos štampavimo procesui.
2. Įvardinti štampavimo proceso automatinėje linijoje tyrimo metodikos klausimai, t.y. kokie technologinio proceso parametrai bus analizuojami ir lyginami su detalių gamyba, esant rankiniam detalių padavimui į štampą.

Literatūra

1. UAB METALISTAS LT– 50 metų metalo apdirbimo versle. Prieiga per internetą: <www.metalistas.lt> [žiūrėta 2013-11].
2. Hydraulic and Mechanical Presses – Manufacturing Process. Prieiga per internetą: <thelibraryofmanufacturing.com> [žiūrėta 2013-11].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

MARŠRUTINIŲ AUTOBUSŲ TINKLO PANEVĖŽIO MIESTE PROBLEMŲ TYRIMAS

M. Sankaitytė, J. Bareišis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio instituto

Raktiniai žodžiai: autobusas, maršrutas, optimizavimas, srautas, reisas.

1. Įvadas

Keleivių vežimas – tai visuomenei teikiama valstybės, savivaldybės ar privačių asmenų paslauga, be kurios būtų sunku įsivaizduoti darnų ir greitą susisiekimą kelių transportu.

Viešojo transporto tema Lietuvoje buvo ir yra labai aktuali siekiant modernizuoti bei tobulinti keleivių vežimo paslaugas [1]. Tiek didieji, tiek mažieji miestai susiduria su aktualiomis problemomis: senstančios transporto priemonės, didėjantys mokesčiai, mažėjantys keleivių srautai. Ypač skaudžiai keleivių vežimo paslaugų verslui kirto panaikintas 2009 m. lengvatinis PVM tarifas [2]. „Keleivinio transporto situacija Lietuvoje nėra labai gera“, – kaip teigia A. Kondrusevičius „Linava“ kongrese [3].

Vienas iš geriausių keleivinio transporto atgaivinimo būdų yra keleivinio transporto maršrutų sistemos tobulinimas bei autobusų parko atnaujinimas įsigyjant naujesnių transporto priemonių. Tai padėtų pritraukti didesnius keleivių srautus [1].

Darbo tikslas: atlikti viešojo keleivinio transporto sistemos bei maršrutų Panevėžio mieste analizę ir pateikti pasiūlymus jos pagerinimui.

2. Savivaldybių tarybų sprendimai keleivinio transporto gerinimui

Bet kurio miesto autobusų parko bei viešojo transporto sistemos ekonominė padėtis labai priklauso nuo kiekvienais metais savivaldybės surenkamo biudžeto bei savivaldybės tarybos sprendimų. Siekiant tobulinti viešojo keleivinio transporto sistemą kituose Lietuvos miestuose buvo priimta įvairių sprendimų.

Vilniaus miesto merui A. Zuokui pertvarkius ir optimizavus keleivinio transporto maršrutų tinklą, sumažėjo besidubliuojančių maršrutų, keleiviai viešuoju transportu keliauja patogiau, efektyviau ir, svarbiausia, greičiau. Be to, šios sistemos privalumas yra tas, kad visomis transporto

priemonėmis galima keliauti vieno bilieto pagalba [4]. Tinklalapyje [4] pranešama, kad į Vilniaus gatves sugrįžta privatūs vežėjai nuo 2013 m. lapkričio 11 d. Sutartyje teigiama, kad privatūs vežėjai privalo keleivius vežti standartinio 12 metrų ilgio autobusais 40-uoju maršrutu.

Vilniaus miesto taryba suteikė galimybę privatiems vežėjams įsijungti į bendrą viešojo transporto tinklą, tačiau jiems taikant tuos pačius reikalavimus, kaip ir viešajam transportui [5].

Vilniaus, Kauno, Šiaulių miestų autobusų parkai įsigijo naujus, ekologiškus autobusus. Pasak šių miestų autobusų parkų direktorių, keleiviai ir vairuotojai džiaugiasi saugiomis bei patogiomis kelionėmis, autobusai nestovi remonto dirbtuvėse, sumažėjo degalų sąnaudos, oro tarša [5].

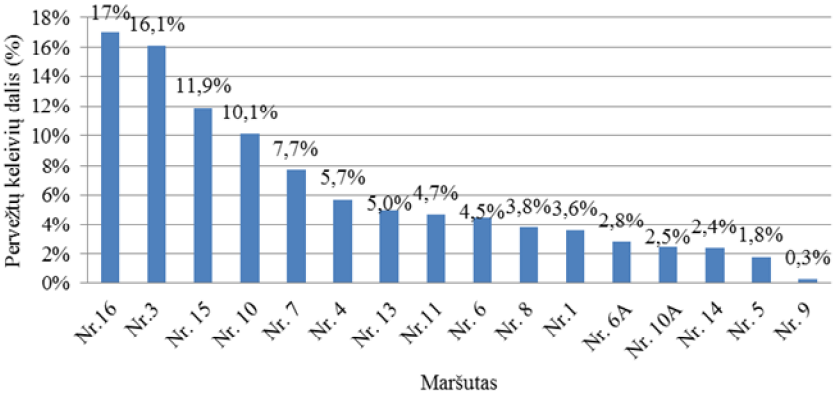
3. Esamos padėties analizė Panevėžio mieste

UAB „Panevėžio autobusų parkas“ autobusais veža 100 % visų keleivių. Pagrindinė bendrovės veiklos sritis – keleivių vežimas miesto, priemiestiniais, tolimojo susisiekimo, tarptautiniais maršrutais.

Toliau nagrinėjami duomenys apie Panevėžio miesto autobusų maršrutus, keleivių srautus, maršrutų pajamas ir sąnaudas yra paremti informacija, pateikta UAB „Panevėžio autobusų parkas“.

Keleivius viešuoju transportu aptarnauja 16 miesto maršrutų, kuriais važiuoja 69 autobusas. Vidutinis eksploatuojamų autobusų amžius sudaro 17 metų. Seniausi autobusai buvo pagaminti 1988 metais, naujausi – 2012 metais. Manome, kad nemaža dalis net 90 % šiuo metu eksploatuojamų autobusų yra fiziškai pasenę, todėl reikia kasmet atnaujinti autobusus.

Vidutinė autobuso talpa yra 78,3 vietos. Eksploatuojamo autobusų parko pagrindą sudaro didelės talpos autobusai, pritaikyti didelio keleivių kiekio pervežimui.



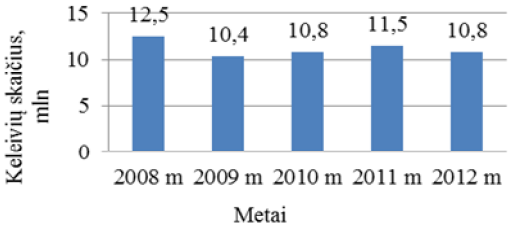
1 pav. Maršrutų pasiskirstymas pagal pervežamų keleivių dalį

Mieste yra 16 autobusų maršrutų kurių ilgis – apie 146 km. Vieno maršruto ilgis viena kryptimi yra apie 9 km. Per 2012 m. vidutiniškai buvo nuvažiuota 3,3 mln. km, o vidutinė vieno maršruto rida buvo 212,5 tūkst. km. Didžiausi keleivių srautai teko maršrutams, einantiems per miesto centrą – labiausiai apkrautos buvo Smėlynės ir Klaipėdos gatvės.

2012 m. buvo pervežta 10,8 mln. keleivių (darbo dienomis 8,9 mln. poilsio dienomis 1,9 mln. keleivių). Nustatyta, kad daugiau nei pusę visų keleivių (55,2 %) perveža tik 4 iš 16 maršrutų (1 pav.). Tai rodo, kad maršrutai Nr. 16, Nr. 3, Nr. 15 ir Nr. 10 yra pagrindiniai ir labiausiai apkrauti Panevėžio miesto maršrutai. Mažiausiai apkrauti Nr. 9, Nr. 5 ir Nr. 14 maršrutai (1 pav.).

Daugiausiai keleivių pervežama nuo 6:30 iki 8:30 val. laiku. Ir tai sudarytų apie 14000 keleivių (42 % visų pervežamų keleivių per vieną dieną). Vidutiniškai vieno maršruto autobusas per dieną nuvažiuoja 33 reisus. Vieno reiso metu visais maršrutais vidutiniškai pervežami 29 keleiviai.

2012 metais vidutiniškai vieno maršruto pajamos iš keleivių buvo 723 650 Lt, o iš vieno keleivio surenkama 1,40 Lt, nors bilieto kaina 1,80 Lt (be nuolaidos). Vieno reiso metu daugiausiai iš keleivių buvo surinkta 122 Lt (88 keleiviai), o mažiausiai – tik 1,4 Lt (1 keleivis).



2 pav. Viešojo transporto keleivių skaičius Panevėžio mieste

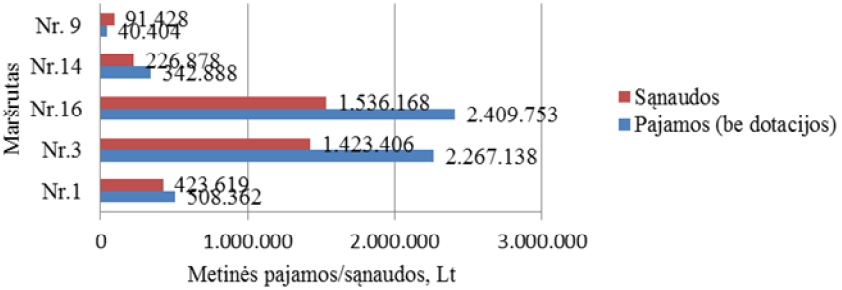
2 pav. nurodytas keleivių skaičius 2008-2012 m. Per pastaruosius metus keleivių skaičius sumažėjo beveik 2 mln. Didžiausias šuolis buvo 2009 metais, tai galėjo būti dėl lengvatinio PVM tarifo panaikinimo. 2010 metais atsisakius privačių vežėjų keleivių padidėjo beveik milijonu. 2012 metais keleivių sumažėjimą lėmė pabrangę 0,30 Lt viešojo transporto bilietai.

Atlikus visų Panevėžio maršrutų analizę, detalesnei analizei pasirinkome maršrutus Nr. 1, Nr. 3, Nr. 9, Nr. 16, Nr. 14. Norėjome palyginti pelningiausius ir problematiškiausius maršrutus, juos optimizuoti, kad šie maršrutai būtų dar pelningesni. Pelningiausi yra Nr. 3 ir Nr. 16, o mažiausiai pelningi – Nr. 9, Nr. 14 ir Nr. 1 maršrutai.

Atlikus maršruto Nr. 1 analizę nustatyta, kad dėl mažo keleivių skaičiaus (3,6 % visų keleivių) reikėtų sumažinti reisų skaičių. Darbo dienomis tarp 9 ir 11 valandos šiame maršrute abiem kryptimis keleivių srautas būna

mažiausias (tik apie 20 keleivių vieno reiso metu), todėl siūlome atsisakyti 2 reisų viena kryptimi. Šio maršruto ilgis yra 9 km, atsisakius 2 reisų sutaupytume 31,5 Lt per dieną, o per metus 11 529 Lt.

Nors maršrutas Nr. 3 perveža daug keleivių (16,1 % visų keleivių) ir yra vienas iš pelningiausių, bet ir šis maršrutas turi keletą trūkumų. Nuo 5:00 iki 7:00 val. ir nuo 20:00 iki 22:00 val. keleivių skaičius yra mažas (5 – 25 keleiviai) abiejose kryptyse, todėl siūlau naudoti 24 vietų autobusą 29 reisams. 24 vietų autobuso kuro sąnaudos yra 15,5 l/100 km, o nuvažiuoti 29 reisus kainuotų 191 Lt. Šiuo metu eksploatuojamų autobusų reiso kaina 457 Lt, todėl 24 vietų autobusai leistų sutaupyti 97 356 Lt per metus.



3 pav. Maršrutų pasiskirstymas pagal metines pajamas ir sąnaudas

Maršrutas Nr. 16 yra pelningiausias maršrutas. Šis maršrutas perveža 17 % visų keleivių. Bet ir šiame maršrute nuo 19 val. (7 reisams) šiuo metu eksplotuojamus autobusus reikėtų pakeisti į 24 vietų autobusą. Tai leistų sutaupyti 55 Lt per dieną. Nuo stotelės Ukmergės g. sumažėja keleivių skaičius nuo 475 iki 345. Daugelis keleivių centre išlipa, o įlipa mažiau, todėl siūlau nuo tos stoteles šį maršrutą suskaidyti. Tai yra padaryti dvi kryptis: „Molainių g. – Ukmergės g.“ ir „Ukmergės g. – Prekybos bazė“. Kryptyje „Ukmergės g. – Prekybos bazė“ siūlau sumažinti maršruto reisų skaičių 6 reisais. Šios krypties ilgis yra 2,76 km. Taigi jei panaikintume 6 reisus, tai sutaupytume 29 Lt arba kas sudarytų 10 604 Lt per metus.

Išanalizavus maršrutą Nr. 9 pastebėta, kad iš šio maršruto gaunama mažiausiai pelno, nes keleivių srautas darbo dienomis yra labai mažas (daugumos reisų metu pervežama iki 10 keleivių ir tai sudarytų 0,3 % visų keleivių). Atsižvelgiant į tai, siūlome šio maršruto neatsisakyti, nes jis nėra nuostolingas ir šio maršruto aptarnavimui ir toliau naudoti 18 vietų autobusą.

Tobulinant Panevėžio miesto maršrutų transporto sistemą, siūlome atsisakyti miesto maršruto Nr. 14 „Savitiškio g. – Tinklų g.“, nors šis maršrutas nėra nuostolingas. Šiuo maršrutu pervežtų keleivių skaičius mažas (vieno reisu metu pervežama apie 20 keleivių), gaunamos pajamos, lyginant su

kitais maršrutais yra mažos, nes šiuo maršrutu per dieną kursuoja nedaug reisų. Šio maršruto autobusai yra suderinti su maršrutu Nr. 3 ir Nr. 1 Kniaudiškių rajono aptarnavime ir prie maršruto Nr. 10 nuo Vienuolio g. iki Tinklų g. (galinė) stotelių Klaipėdos, Smėlynės, Kerbedžio, Tinklų gatvėse. Kaip alternatyvą siūlytume maršrute Nr. 10 padidinti reisų skaičių nuo Vienuolio g. iki Tinklų g. (galinė) stotelėse (22 stotelės). O kadangi Kniaudiškių rajone Projektuotojų g. ir Kniaudiškių g. stotelėse suderinti su maršrutu Nr. 1, siūlome padidinti maršruto Nr. 1 reisų skaičių šiose stotelėse tokiu laiku kaip ir buvo kursuojamo maršruto Nr. 14. Maršruto Nr. 10 pelnas padidėtų apie 300 tūkst., o maršruto Nr. 1 – 30 tūkst. per metus.

Šiuo metu viešasis transportas neaptarnauja stambių prekybos centrų „Promo“ ir „Moki-veži“. Todėl siūlome pratęsti maršrutą Nr. 10 1,3 km Klaipėdos gatve iki J. Juodelio g., įrengiant 2 papildomas stoteles. Atsižvelgiant į pirkėjų srautus, darbo dienomis nuo 14:00 iki 17:00 val siūlome pridėti 3 reisus stotelėje Centras „Babilonas“ (Klaipėdos g.), o nuo 17:00 iki 20:00 val pridėti 6 reisus, nes tuo laikotarpiu apsilanko daugiausiai pirkėjų. Poilsio dienomis visos dienos laikotarpyje pridėti 10 reisų, o autobusai kursuotų kas valandą. Bendros pajamos padidėtų apie 60 tūkst. Lt.

Siūlome atnaujinti Panevėžio autobusų parką naujais hibridiniais autobusais. Šių autobusų degalų sąnaudos gerokai mažesnės nei dyzelinių. Hibridiniai autobusai šimtui kilometrų nuvažiuoti mieste sunaudoja apie 30 litrų degalų. Dyzeliniai – vidutiniškai 38 litrus. Nesudėtinga apskaičiuoti, kad nuvažiuoti kilometrą dyzeliniu autobusu degalai kainuoja 1,75 Lt, o hibridiniu – vos 1,37 Lt. Vidutiniškai vienam reisiui (viena kryptimi) su šiuo autobusu nuvažiuoti kainuotų 12,33 Lt. Susitaupo 3,42 Lt vienam reisui. Pavyzdžiui, vežant keleivius nauju hibridiniu autobusu maršrutu Nr. 3, kai vieno reiso ilgis yra 9 km, o per visą dieną nuvažiuojama 59 reisai (531 km), kainuotų 727 Lt, o iki šiol eksploatuojamu autobusu – 929 Lt. Rezultatas akivaizdus – susitaupo 202 Lt per dieną, o per metus – 73 932 Lt.

Norėtume atkreipti dėmesį, kad 2010 m. Panevėžio savivaldybė nusprendė atsisakyti individualių mikroautobusų. Jie dubliavo pagrindinius miesto maršrutus. Pasak įmonės vadovo, nelikus mikroautobusų, savivaldybei priklausančios įmonės pajamos padidėjo apie 12 % arba vienu milijonu litų ir nebereikalingos dotacijos iš miesto savivaldybės. „Kad miestiečiai patirtų kaip galima mažiau nepatogumų, padidinome maršrutų skaičių, įsigijome daugiau autobusų, sumažinome intervalus tarp reisų. Iš miestiečių nusiskundimų dėl suprastėjusių važiavimo sąlygų beveik nesulaukiame“, – kalba R. Petukauskas. Pasak jo, „Didžioji dalis panevėžiečių džiaugiasi pagerėjusiomis eismo sąlygomis mieste, kadangi mikroautobusai dažnai važinėdavo nepaisydami kelių eismo taisyklių. Taigi nauda dėl iš miesto gatvių išnykusių mikroautobusų akivaizdi ne tik Panevėžio autobusų parkui, bet ir visuomenei“ [2].

Sunku sutikti su tokia autobusų parko vadovo pozicija, nes neliko konkurencinės kovos, individualių mikro autobusiukų vairuotojų. Kelių eismo

taisyklių privalo laikytis visi eismo dalyviai ir čia jau kelių policijos reikalas. Mūsų siūlymas leisti privatiems vežėjams dalyvauti konkurencinėje kovoje kartu su autobusų parku lygiomis sąlygomis (su lengvatomis pensininkams ir kt.). Tik esant konkurencijai, laimės keleiviai.

5. Išvados

1. Atsižvelgiant į šiuo metu eksploatuojamo autobusų parko techninius rodiklius, siūlau įdiegti optimalaus dydžio transporto priemonių parinkimą pagal keleivių srautų svyravimą reikiamuose reisuose. Pakeitus didelius autobusais mažais, galima žymiai sumažinti kuro bei eksploatavimo sąnaudas.
2. Siekiant efektyvaus bendrovės darbo, siūlome atnaujinti Panevėžio autobusų parką naujais hibridiniais autobusais. Tai leistų sumažinti bendrovės išlaidas autobusų remontui, techniniam aptarnavimui bei eksploatacinėms medžiagoms.
3. Nustatyta, kad maršrutas Nr. 14 yra neracionalus, todėl siūlome jį naikinti, o keleivius vežti pakoreguotais Nr. 3 ir Nr. 10. maršrutų autobusais.
4. Siūlome pratęsti maršruto Nr. 10 trasą Klaipėdos gatve iki J. Juodelio g., įrengiant 2 papildomas stotelės šalia prekybos centrų „Promo“ ir „Moki-veži“. Taip pat siūlome miesto savivaldybei iš naujo svarstyti galimybę individualiems mikro autobusiukų vairuotojams vežti keleivius.

Literatūra

1. **Jurkauskas A.** Viešasis transportas. – Kaunas: Technologija, 2004, p. 72-122.
2. Pridėtinės vertės mokesčio įstatymo 19 straipsnio papildymo įstatymo projektas Nr. XIP-3885. Prieiga per internetą: < https://www.google.lt/#q=PVM+tarifo+keleivi%C5%B3+ve%C5%BEimui+panaikinimo+buvo+padidinta+18+mln.+lit%C5%B3 > [žiūrėta 2013-11-01].
3. Iš XIII asociacijos „Linava“ kongreso. Prieiga per internetą: < http://www.tp.cargo.lt/content.php?art_id=306 > [žiūrėta 2013-11-01].
4. Į sostinės viešąjį transportą grįžta keleiviai. Prieiga per internetą: < http://www.ebus.lt/keleivinio-transporto-problematika/5832--sostins-viej-transport-grta-keleiviai.html > [žiūrėta 2013-11-01].
5. Keleivinio transporto problematika. Prieiga per internetą: < http://www.ebus.lt/6659-nuo-pirmadienio-40-uoju-marrutu-vilnieius-ve-privats-autobusai.html > [žiūrėta 2013-11-01].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

STEREO REGĖJIMAS

T. Strakšys, G. Vanagas
Kauno technologijos universiteto Panevėžio instituto

Raktiniai žodžiai: atstumo nustatymas, stereo (3D) regėjimas, vaizdų apdorojimas.

1. Įvadas

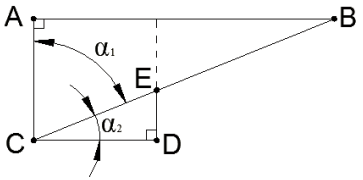
Kompiuterizuota vaizdų apdorojimo technika paremta stereo (3D) vaizdų gavimu ir apdorojimu vadinama stereo regėjimas. Vertinant vaizdą viena akimi arba vaizdo kamera galima gauti informaciją apie jų padėtį, formas, spalvas dviejų koordinačių sistemoje. Analogiškai natūraliai regai, kada žmogus turėdamas dvi akis gali orientuotis jį supančioje trimatėje aplinkoje, techninės regos atveju gylio informacijos gavimui reikalingos dvi identiškos, viena nuo kitos nutolusios kameros. Analizuojant iš tokių kamerų gautus to paties objekto vaizdus ir žinant šių kamerų techninius parametrus (židinio nuotolį, atstumą tarp kamerų) galima apskaičiuoti atstumą nuo kameros iki objekto. Tam iš pirmos kameros gautame paveiksle išskiriamas vaizdo fragmentas ir ieškoma analogiško vaizdo fragmento antros kameros vaizde. Suradus atstumą tarp šių dviejų vaizdų gylio dimensija gali būti rasta pasinaudojant geometrinėmis lygtimis. Tokia galimybė nustatyti atstūmus iki objektų reikalinga realizuojant įvairius techninius sprendimus. Viena iš tokių sričių roboto orientavimasis aplinkoje, dviejų video kamerų pagalba, kas sudaro galimybę apskaičiuoti atstūmus iki objektų ir naudojantis šia informacija juos paimti arba apvažiuoti.

Roboto orientavimuisi erdvėje ir tuo pačiu atstumo nustatymui gali būti naudojami aktyviniai ir pasyviniai metodai. Matuojant atstumą aktyviniais metodais į objektą siunčiami tam tikri signalai (lazerio spindulys, radijo signalas, ultragarsas ir pan.). Dėl laike kintančios aplinkos, nenumatyto pašalinių objektų atsiradimo kelyje, įvairių triukšmų šie metodai dažnai yra nepakankami. Matavimo tikslumo padidinimui galima papildomai naudoti pasyvinius metodus, kada informaciją apie padėtį gaunama priimant objekto spinduliuojamą arba atspindimą energiją. Dažniausiai toks energijos šaltinis yra šviesa, o populiariausias atstumo nustatymo metodas yra stereo vaizdų, gaunamų dviejų kamerų pagalba apdorojimas, lyginant atstumus tarp vienodų vaizdų segmentų [1].

Vaizdų apdorojimas, kurio galutiniame rezultate gaunamas atstumas apima keletą žingsnių iš kurių pagrindiniai yra kamerų kalibravimas, stereo vaizdų gavimas, skirtumų tarp vienodų vaizdų segmentų suradimas, trikdžių filtravimas, objekto išskyrimas ir atstumo nustatymas. Stereo regėjimo pritaikymo roboto orientavimui erdvėje uždavinį apsunkina ir tai, kad šis procesas turi būti atliekamas realiame laike. Straipsnyje nagrinėjama šio algoritmo realizavimo problemos MATLAB aplinkoje.

2. Atstumo nustatymo metodas

Atstumo nustatymui vaizdas gali būti gaunamas iš dviejų vienodų, nejudamai fiksuotu atstumu įtvirtintų kamerų. Toks kamerų pozicionavimo būdas yra paprastas ir tinkamas robotizuotiems kompleksams. Nustatant atstumą šiuo metodu, abi kameros turi būti identiškų parametrų, nukreiptos ta pačia kryptimi su vienodu posvyrio kampu, pastatytos horizontaliai vienodame aukštyje ir nutolusios viena nuo kitos žinomu atstumu. Šio metodo atstumo matavimas pagrįstas, tuo pačiu metu iš dviejų kamerų gaunamų vaizdų apdorojimu (1pav.). Atstumas iki objekto nustatomas dėl objekto B skirtumo iš kamerų A ir C gaunamuose vaizduose (atstumas DE). Žinant šį skirtumą yra apskaičiuojamas atstumas iki to objekto [1].



1 pav. Atstumo AB nustatymas kamerų, pastatytų taškuose A ir C pagalba

1 pav. AC yra atstumas tarp dviejų kamerų, AB yra atstumas iki objekto, CD – atstumas nuo menamo objekto iki kameros lęšio židinio, o DE – skirtumas tarp iš kamerų gautų vaizdų, α_1 – kampas tarp atkarpų CA ir CB, α_2 – kampai tarp atkarpų CE ir CD.

Atstumas AB apskaičiuojamas naudojantis sekančia geometrinių lygčių seka:

$$\mathrm{tg}\alpha_2 = \frac{\mathrm{DE}}{\mathrm{CD}}; \tag{1}$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha_2; \tag{2}$$

$$\mathrm{tg}\alpha_1 = \frac{\mathrm{AB}}{\mathrm{AC}}. \tag{3}$$

Atstumas iki objekto:

$$\mathrm{AB} = \mathrm{AC} \cdot \mathrm{tg}\left[\frac{\pi}{2} - \mathrm{ctg}\left(\frac{\mathrm{DE}}{\mathrm{CD}}\right)\right]. \tag{4}$$

Nežinant atstumo CD, jis gali būti nustatytas pagal žinomą (kamerų kalibravimo metu išmatuojamą) atstumą tarp kamerų plokštumos ir objekto:

$$\mathrm{CD} = \frac{\mathrm{DE}}{\mathrm{tg}\left[\frac{\pi}{2} - \mathrm{ctg}\left(\frac{\mathrm{AB}}{\mathrm{AC}}\right)\right]}. \tag{5}$$

Šio metodo *privalumai*:

1. Geras tikslumas.
2. Paprasta sistema.
3. Geras matomumo laukas, nėra „aklos“ zonos nuotraukos viduryje.
4. Sistemą galima montuoti ant judančios platformos.

Metodo *trūkumai*:

1. Reikalingas tikslus kamerų kalibravimas.
2. Reikalingos dvi identiškos kameros.
3. Abi kameros turi būti vienodame aukštyje ir palenktos vienodu kampu.

3. Kamerų kalibravimas

Nustatant atstumą video kamerų pagalba labai svarbu teisingas jų kalibravimas. Be šio žingsnio gaunamas atstumas bus netikslus. Visoms video kameroms būdingi didesni ar mažesni iškraipymai. Kalibravimo metu randamos iškraipymų ir kameros matricos, taip pat nustatoma kamerų orientacija erdvėje. Gautų matricų pagalba atliekama gaunamų vaizdų programinė korekcija [2].

Pagrindiniai kamerų kalibravimo parametrai: f_c – židinio nuotolis; c_c – centrinis taškas; α_c – nuokrypio koeficientas; k_c – iškraipymai.

Tarkime P yra pasirinktas kameros taškas erdvėje apibrėžtas koordinačių vektoriumi $XX_c=[X_c; Y_c; Z_c]$. Surandame šio taško projekciją kameros vaizdo plokštumoje, pasinaudodami būdingais kameros parametrais (f_c, c_c, α_c, k_c). Normalizuota vaizdo projekcija:

$$x_n = \begin{bmatrix} X_c/Z_c \\ Y_c/Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}. \tag{6}$$

Priimame:

$$r^2 = x^2 + y^2 . \tag{7}$$

Normalizuotas koordinates x_d:

$$x_d = \begin{bmatrix} x_d(1) \\ x_d(2) \end{bmatrix} = \left(1 + k_c(1)\cdot r^2 + k_c(2)\cdot r^4 + k_c(5)\cdot r^6\right) x_n + dx ; \tag{8}$$

čia dx – tangentinis iškraipymų vektorius:

$$dx = \begin{bmatrix} 2k_c(3)\cdot x\cdot y + k_c(4)\cdot\left(r^2 + 2x^2\right) \\ k_c(3)\cdot\left(r^2 + 2y^2\right) + 2\cdot k_c(4)\cdot x\cdot y \end{bmatrix}. \tag{9}$$

Žinant iškraipymus, galime surasti tikslias P taško koordinates taškais (px) x_{pixel}:

$$x_{pixel} = \begin{bmatrix} x_p & y_p \end{bmatrix}; \tag{10}$$

$$\begin{cases} x_p = f_c(1)\cdot\left(x_d + \alpha_c\cdot x_d(2)\right) + c_c(1); \\ y_p = f_c(2)\cdot x_d(2) + c_c(2). \end{cases} \tag{11}$$

Koordinates *x_pixel* ir normalizuotos koordinatės x_d susiejamos tiesine lygtimi:

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix} = KK \begin{bmatrix} x_d(1) \\ x_d(2) \\ 1 \end{bmatrix}. \tag{12}$$

Čia KK būdinga kameros parametrų matrica:

$$KK = \begin{bmatrix} f_c(1) & \alpha_c\cdot f_c(1) & c_c(1) \\ 0 & f_c(2) & c_c(2) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{13}$$

MATLAB aplinkoje stereo vaizdų sistemai sudarytai iš 2 kamerų atliktas kalibravimas ir gautų vaizdų korekciją. Naudotos dvi Logitech HD Webcam C615, kurios buvo pritvirtintos horizontaliai viena šalia kitos ir nukreiptos ta pačia kryptimi. Atstumas tarp kamerų centrų – 5 cm. Kalibravimo rezultatai pateikti 1 lent. ir 2 bei 3 pav. Iš 1 lent. pateikiamų

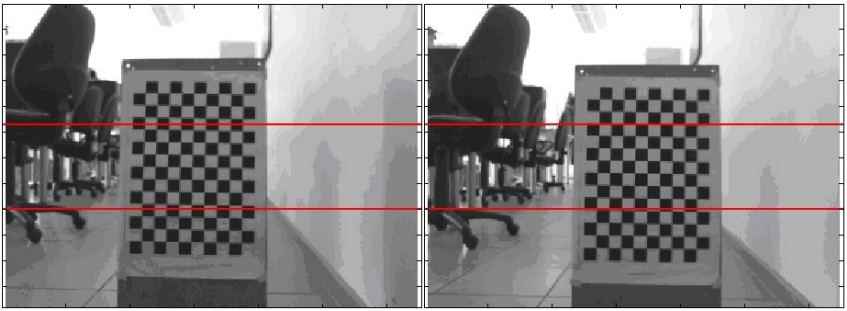
rezultatų matyti, kad tarp kamerų parametrų yra skirtumas, kuris eliminuojamas apdorojant vaizdus (2 ir 3 pav.).

Iš 2 pav. matyti, kad prieš kalibravimą, kairės ir dešinės kamerų vaizdas nėra viename aukštyje. Raudonos linijos rodo tą patį aukštį abiejuose nuotraukose. Atlikus kalibravimą ir apdorojus vaizdus pagal kalibravimo

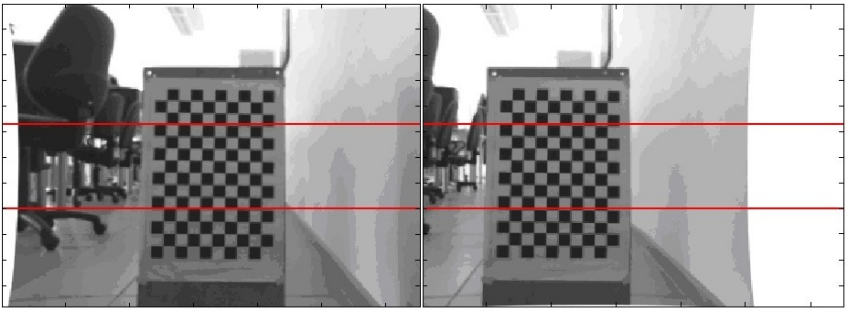
1 lentelė

Vaizdo kamerų būdingi parametrai

Parametras	Žymėjimas	Kairės kameros būdingi parametrai	Dešinės kameros būdingi parametrai
Židinio nuotolis	f_c	[325,641; 324,961]	[328,208; 327,054]
Centrinis taškas	c_c	[263,029; 153,631]	[263,175; 152,749]
Iškraipymai	k_c	[0,011; -0,558; 0,002; 0,013; 0,000]	[- 0,006; -0,293; 0,002; 0,017; 0,000]
Pikselio klaida	err	[0,168; 0,119]	[0,173; 0,112]



2 pav. Kairės ir dešinės kamerų vaizdai prieš kalibravimą



3 pav. Kairės ir dešinės kamerų gaunamas vaizdas po kalibravimo

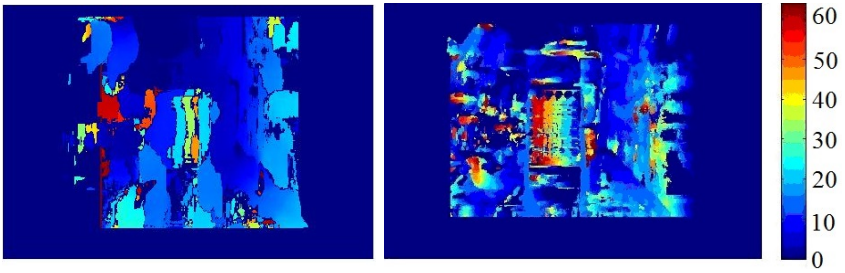
rezultatus (3 pav.) nuotraukos pakoreguojamos ir vaizdai programa pastatomi į vienodą aukštį. Toks kamerų nevienodumo įvertinimas leidžia gauti tikslesnius stereo vaizdus ir tuo pačiu išvengti atstumo nustatymo paklaidų.

4. Nesutapimu matricos ir atstumo gavimas

Atstumų iki objekto nustatymui randamos kamerų vaizdų nesutapimų matricos (atstumas DE 1 pav.). Tam iš pirmos kameros gautame paveiksle išskiriamas vaizdo fragmentas ir ieškoma analogiško vaizdo fragmento antros kameros vaizde. Geometrinis šių fragmentų padėtis kairės ir dešinės kamerų vaizduose nesutapimas yra vadinamas nesutapimų matrica. Nesutapimų matrica apskaičiuojama MATLAB aplinkoje [3].

Paprastas vaizdų skirtumų apskaičiavimas leidžia gauti nesutapimų matricą su trikdžiais. Trikdžių priežastis yra didelis vaizdo kontrasto pasikeitimas objektų kraštuose, kamerų parametrų ir išstatymo paklaidos. Šios paklaidos gali būti sumažintos naudojant specialius vaizdų glotninimo ir filtravimo algoritmus [3].

Nesutapimų matrica gauta be papildomo vaizdų apdorojimo pateikta 4 a pav., o 4 b pav. – atlikus papildomus filtravimo veiksmus. Analizuojamo objekto dešinės ir kairės kamerų vaizdai pateikiami 2 pav.



a b

4 pav. Nesutapimų matricos grafinis vaizdas: a – be papildomo vaizdų apdorojimo; b – atlikus papildomą trikdžių filtravimą. Spalvinė gradacija kairės ir dešinės kamerų vaizdų nesutapimas taškais (px)

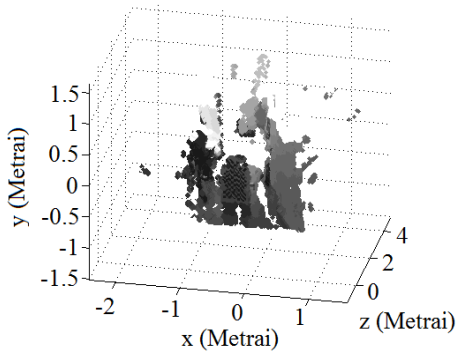
Kaip matyti aiškesnė nesutapimų matrica ir 3D vaizdas (5 b pav.) gaunamas atlikus papildomą filtravimą, tačiau šis procesas užima žymiai daugiau kompiuterio skaičiavimo laiko.

Skaičiavimams naudojant kompiuterį su 2,5 GHz AMD Turion II N530 Dual-Core procesoriumi ir 4 GB RAM operatyviąja atmintimi, nesutapimų matricos radimas be papildomo vaizdų apdorojimo trunka < 6 s, tuo tarpu atliekant filtravimą skaičiavimo laikas padidėja iki 5 min.

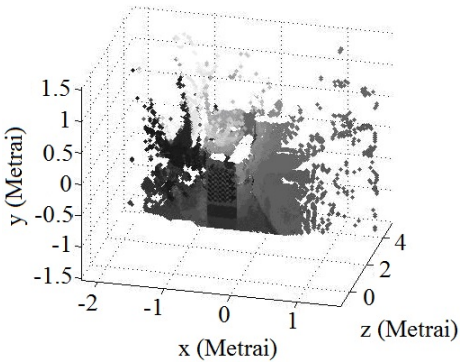
Atsižvelgiant į tai, kad analizuojama sistema turi nustatyti atstumą realiame laike, papildomas vaizdų apdorojimas nėra tinkamas.

Skaičiavimai atlikti naudojant 64 gradacijų nesutapimų matricą. Identifikuojant iki 4 m atstumą tai sudaro apie 6.25 cm paklaidą. Spalvinė gradacija, pateikta 4 pav., atitinka vaizdo nesutapimą kairėje ir dešinėje kameroje. Didesnis nesutapimas reiškia mažesnį atstumą iki objekto.

5 pav. pateikiamas vaizdo gylio žemėlapis (3D vaizdas) gautas pagal nesutapimų matricas. Kaip matyti aiškesnis objekto vaizdas yra 5 b pav. atveju, tačiau atstumas iki objekto identifikuojamas ir netaikant papildomo vaizdų apdorojimo 5 a pav., kas yra labiau priimtina realaus laiko rėžimui.



a



b

5 pav. Vaizdo gylio žemėlapis: a – pagal nesutapimų matricą (4 a pav.) gautas atstumų žemėlapis; b – pagal nesutapimų matricą (4 b pav.) gautas atstumų žemėlapis

Atstumo nustatymui ilgio vienetais, buvo išmatuotas realus atstumas iki objekto ir sulygintas su vaizdų matricų nesutapimu taškais (px). Matavimo rezultatai panaudoti kamerų kalibravimo procese.

6. Išvados

1. Pasirinktas pasyvus atstumo nustatymo metodas paremtas stereo regėjimu gali būti pritaikytas robotų orientavimuisi aplinkoje realiu laiku. Šis metodas gali būti naudojamas, kartu su aktyviniais atstumo matavimo būdais, tam kad išvengti klaidingų jutiklių parodymų robotui atsidūrus didelių pašalinių triukšmų zonoje.
2. Kamerų kalibravimo procedūra leidžia apskaičiuoti kamerų būdingus parametrus reikalingus nustatant atstumą ir sumažinti gylio nustatymo paklaidas.
3. Apskaičiuotas vaizdo gylio žemėlapis, pagal nesutapimų matricą, kuriai buvo atliktas papildomas triukšmų filtravimas yra geresnės kokybės ir aiškesnis, negu tuo atveju kai naudojama bazinė nesutapimų matrica, tačiau skaičiavimo laikas padidėjo apie 50 kartų ir tapo nepriimtinas realaus laiko procesams.

Literatūra

1. **Jernej Mrovlje, Damir Vrančic.** Distance measuring based on stereoscopic pictures // 9th International PhD Workshop on Systems and Control: Young Generation Viewpoint. – Slovėnija: Izola, 2008. p. 1-6.
2. Description of the calibration parameters. Prieiga per internetą: < http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/htmls/parameters.html > [žiūrėta 2013-11-01].
3. Stereo Vision. Prieiga per internetą: < http://www.mathworks.se/products/ /computer-vision/examples.html?file=/products/demos/shipping/vision/ videostereo.html > [žiūrėta 2013-11-11].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

AUTOMOBILIO BMW 520 E34 STABDŽIŲ TRIUKŠMO TYRIMAS

T. Silgys, N. Partaukas
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: triukšmas, stabdžių diskas, stabdžių kaladėlės, tyrimas, priemonės mažinančios triukšmą.

1. Įvadas

Kuriant šiuolaikines stabdžių sistemas, neapsiribojama transporto priemonės sustabdymo per trumpiausią laiko tarpą funkcija. Vartotojai taip pat tikisi didesnio transporto priemonės vairavimo patogumo, tai yra, pavyzdžiui, mažesnio stabdžių sistemos keliamo triukšmo lygio. Anksčiau nemalonus ir nerimą keliantis triukšmas dažnai būdavo pastebimas paskutinėje sistemos kūrimo fazėje, prieš pat serijinės gamybos pradžią, intensyviai testuojant naujos transporto priemonės konstrukciją. Tada buvo ieškoma triukšmo šaltinių ir jo perdavimo kėbului būdų.

Šiuo metu pagrindinė specialistų užduotis – eliminuoti triukšmo atsiradimą kuo ankstesniame stabdžių sistemos projektavimo etape. Tai leidžia nustatyti nemalonaus triukšmo atsiradimą ir jį eliminuoti prieš sukuriant naujojo automobilio modelio prototipą. Triukšmas, galintis atsirasti veikiant stabdžių sistemai, yra įvertinamas jau pirminėje stabdžių sistemos elementų projektavimo stadijoje.

Kadangi stabdžių tyrimams yra išleidžiama begalė pinigų – apie 100 milijonų dolerių vien tik Šiaurės Amerikoje [1], tad buvo nuspręsta atlikti stabdžių triukšmo tyrimus su įmanomais kaštais ir, gavus rezultatus, juos tarpusavyje palyginti, bei aptarti stabdžių triukšmo mažinimo priemones ir metodus.

Tyrimo tikslas: sužinoti koks triukšmo lygis pasiekiamas automobilio stabdymo metu, kaip jis kinta esant skirtingomis stabdymo priemonėmis ir kaip būtų galima sumažintį šį neigiama poveikį.

2. Triukšmo samprata

Siekiant įvertinti triukšmo neigiamą poveikį aplinkai bei jo mažinimo priemones, pirmiausia būtina apibrėžti pagrindines sąvokas: kas yra triukšmas

ir kaip jis matuojamas. Dabartinis Lietuvių kalbos žodynas triukšmo sąvoką apibrėžia taip: nedarnūs smarkūs garsai, šauksmas, bildesys [2].

Triukšmo jutimas priklauso nuo garso stiprumo ir garso bangų virpesių dažnio: kuo didesnis garso stiprumas ir virpesių dažnis, tuo garsas juntamas stipriau, t.y. didesnis jo garsumas.

Triukšmas taip pat labai kenkia ir žmonių sveikatai – galimybė patirti akustinę traumą, klausos nuovargį ar net trumpalaikį kurtumą.

Triukšmo žala sveikatai neapsiriboja tik klausos pažeidimais. Ilgai veikiant intensyviam triukšmui, vystosi centrinės ir vegetacinės nervų sistemos funkciniai sutrikimai. Net, palyginti, nestiprus 60-70 dB triukšmas sukelia galvos skausmus, svaigimą, cypimą ausyse, nemigą, pablogėja atmintis, dėmesys, orientacija. Jo įtakoje 10-25 % sumažėja fizinis ir protinis darbingumas, pablogėja žmogaus klausos ir regos sensomotorinių reakcijų greitis, vibracinis jautrumas, judesių koordinacija [3].

3. Stabdžių triukšmas ir vibracija

Stabdžiai yra vienas iš svarbiausių automobilio saugumo komponentų. Pasitaiko vartotojų, kurie stabdžių keliamą triukšmą laiko defektu ir kreipiasi dėl garantinio aptarnavimo, nors automobilio stabdžių sistema yra tvarkinga. Tam automobilių gamintojai privalo skirti nemažas lėšas garantiniam aptarnavimui. Todėl pastaruoju metu gamintojai ypač didelį dėmesį skiria stabdžių sistemos keliamo triukšmo mažinimui, išleisdami net iki 50 % biudžeto, skirto automobilio triukšmo ir vibracijų tyrimams [4].

Stabdžių ir vibracijų keliami triukšmai pasireiškia kaip cypimas, girgždesys, čiauškesys, vibracija, zvimbimas, spengimas ir t.t. Cypimas yra labiausiai paplitęs trikdis transporto priemonių keleiviams ir aplinkai [4].

4. Tyrimo aprašymas

Tyrimas buvo atliekamas su BMW 520 E34 markės automobiliu. Šios markės automobilis buvo pasirinktas dėl jo varomųjų galinių ratų, kad atliekant stabdžių sistemos skleidžiamo triukšmo tyrimą, garso matavimo aparatas SVAN 958 būtų kuo toliau nuo priekinės automobilio dalies, kurioje yra variklis.

Pirmiausiai lengvasis automobilis buvo pakeltas pakelėju ir nuimtas vairuotojo pusės galinis ratas. Tyrimą buvo nuspręsta atlikti 6 etapais. Buvo bandoma ištirti 6 skirtingus stabdžių diskus: Nr. 1 – stabdžių diskas su išgręžtomis skylėmis (taip suteikiant daugiau aušinimo stabdymo metu); Nr. 2 – iš abiejų pusių aptekintas stabdžių diskas (mušimas neviršija 0,3 mm); Nr. 3 – pusiau tekintas stabdžių diskas (imituojant perkaitusį ir susimėčiusį diską; mušimas apie 0,8 mm); Nr. 4 – stabdžių diskas su įpjova (kad imituoti

nuo per didelio karščio ir staigaus atšalimo atsiradusį įtrūkimą); Nr. 5 – pilnai surūdijęs stabdžių diskas; Nr.6 – Standartinis stabdžių diskas.

Garso matavimo aparatas SWAN 958 buvo pastatytas nuo matuojamojo disko per 1,5 metro.

Atliekant eksperimentą buvo laikoma, kad triukšmo šaltiniais yra: stabdžiai, variklis su transmisija ir foninis triukšmas.

Stabdžių triukšmas apskaičiuojamas taip:

$$P_{stab} = P_{bendras} - P_{varik}; \quad (1)$$

čia: $P_{bendras}$ – bendras stabdžių, variklio su transmisija ir foninio triukšmo lygis; P_{varik} – variklio su transmisija ir foninio triukšmo lygis.

P_{varik} buvo matuojamas išlaikant variklio veleno sukimosi dažnį apie 2000 aps/min, kai įjungta 1 pavara (tai maždaug atitinka 30 km/h greitį), 3 pavara (~50 km/h) ir 5 pavara (~80 km/h). Kiekvienas šis matavimas truko apie 30 sekundžių.

Kiekvienas $P_{bendras}$ matavimas truko nuo 1,5 iki 2 min. Per šį laiką buvo atliekama 10 stabdžių paspaudimų kas 5 ... 10 s.

Pakartotiniai bandymai buvo atlikti, kai ant stabdžių disko stabdomos dalies užpurškus stabdžių cypimą mažinančio purškalo buvo bandoma įsitikinti ar tikrai tokios priemonės gali sumažinti keliamą triukšmą stabdymo metu. Buvo naudojamas ir *MOTIP* firmos stabdžių cypimą mažinantis purškalas ANTI SQUEAK.

Aukščiau aprašyti triukšmo matavimai buvo atlikti su senomis ir su naujomis stabdžių kaladėles.

5. Tyrimo rezultatai

Bendro išmatuoto keliamo triukšmo lygio kitimas laike, naudojant stabdžių diską su 0,8 mm mušimu, senas stabdžių kaladėles ir cypimą mažinantį purškalą, pateiktas 1 pav. Maksimalios pikinės garso lygio vertės atitinka laikotarpį, kai buvo nuspausti stabdžiai.

Bandinys Nr. 3 (pusiau tekintas stabdžių diskas) sukelia daugiausiai triukšmo stabdymo metu – kai variklio garsas siekia apie 80 dB, tai stabdymo metu apie 87 dB. Taigi, stabdant gaunamas apie 7dB triukšmo padidėjimas. Pagrindinės šio triukšmo padidėjimo priežastys:

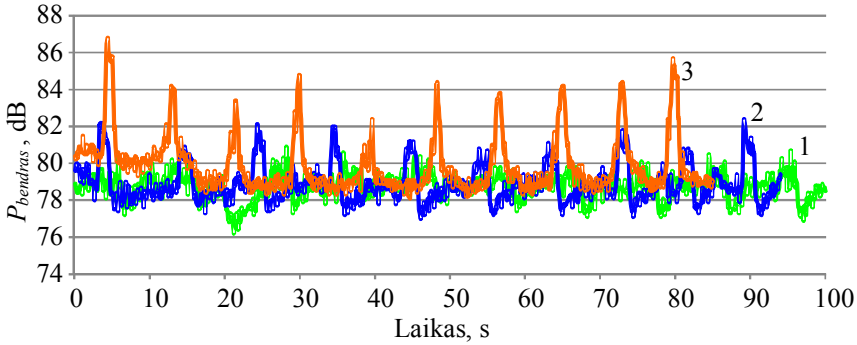
- disko netolygumas (iki 0,8 mm);
- kaladėlių neprisitrinimas prie disko;
- suporto (laikiklio) pastovus vibravimas tarp kreipiančiųjų.

Toliau žemėjančia tvarka rikiuojasi:

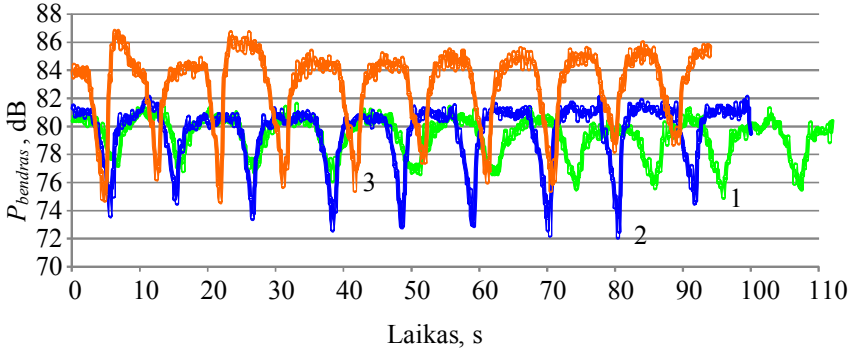
- bandinys Nr. 5 (pilnai surūdijęs stabdžių diskas) – iki 4 dB;
- bandinys Nr. 4 (stabdžių diskas su įpjovą) – iki 2,2 dB;
- bandinys Nr. 2 (aptekintas iš abiejų pusių stabdžių diskas) – iki 2 dB;

- bandinys Nr. 1 (stabdžių diskas su išgrežtomis skylėmis) – iki 1,8 dB;
- bandinys Nr. 6 (standartinis stabdžių diskas) – stabdymo metu išliko tik variklio garsas – pagrindinė priežastis, kodėl bandinys neskleidė triukšmo: gerai prisitrynusios stabdžių kaladėlės prie stabdžių disko taip leidžiant tolygiai spausti suporto (laikiklio) kreipiančiąsias stabdymo metu.

Bendro išmatuoto keliamo triukšmo lygio kitimas laike, naudojant standartinį stabdžių diską ir senas kaladėles, pateiktas 2 pav. Minimalios pikinės garso lygio vertės atitinka laikotarpį, kai buvo nuspausti stabdžiai.



1 pav. Bendro triukšmo lygio kitimas laike. Matavimai atlikti su pusiau tekintu stabdžių disku, uždėjus senas kaladėles ir užpurškus cypimą mažinančio purškalo ANTI SQUEAK: 1 – imituojamas 30 km/h greitis; 2 – imituojamas 50 km/h greitis; 3 – imituojamas 80 km/h



2 pav. Bendro variklio ir stabdžių keliamo triukšmo lygio kitimas laike. Matavimai atlikti su standartiniu stabdžių disku ir senomis kaladėlėmis: 1 – imituojamas 30 km/h greitis; 2 – imituojamas 50 km/h greitis; 3 – imituojamas 80 km/h

Tyrimas parodė, kad keliamam triukšmui įtakos turi ir naudojamos medžiagos – naujos stabdžių kaladėlės sukelia apie 1-3 dB mažesnį stabdymo triukšmą, negu senosios kaladėlės.

Stabdžių cypimą mažinantis purškalas nepasiteisino, kadangi jo užpurškus ant disko stabdomosios dalies, stabdymo metu dažniau buvo sukuriama papildomai apie 1-2 dB stabdymo triukšmo, ir tik rečiau sumažindavo tuos pačius 1-2 dB triukšmą.

7. Išvados

1. Didžiausią triukšmą sukelia pusiau tekintas stabdžių diskas (imituojant perkaitusį ir susimėčiusį diską – mušimas apie 0,8 mm.) – iki 7 dB stabdžių triukšmo.
2. Su senosiomis stabdžių kaladėlėmis sukeliama daugiau triukšmo (apie 2-5 dB), negu su naujosiomis kaladėlėmis – taip yra dėl kelių priežasčių: stabdžių kaladėlių netolygumas, nusmailintos kaladėlės ir trinties medžiagos praradimas.
3. Su cypimą mažinančiu purškalu dažniau (esant stabdžių disko ir kaladėlių tarpusavio neprisitrynimui) sukeliamas 1 ... 2 dB stabdžių triukšmas, ir tik rečiau (prisitrynusios kaladėlės, stabdžių diskas su mažiausiu mušimu) tuos pačius 1-2 dB sumažina.

Literatūra

1. Akebono: White Papers. Prieiga per internetą: < http://www.akebono brakes.com/company/media_center/white_papers/index.html > [žiūrėta 2012-11-15].
2. Dabartinės Lietuvių kalbos žodynas. Prieiga per internetą: < http://www.lkz.lt/startas.htm > [žiūrėta 2012-10-08].
3. Mokslinės publicistikos svetainė. Prieiga per internetą: < http://www.mokslas.net/biologija/aplinka-ir-sveikata/ > [žiūrėta 2012-10-15].
4. **Kinkaid N. M., O'Reilly O. M., Papadopoulus P.** Automotive disc brake squeal. Journal of Sound and vibration 267 (2003), 105-166 p. Prieiga per internetą: < http://www.scribd.com/doc/23714247/Automotive-Disc-Brake-Squeal-GOOD-ONE-USE-IT > [žiūrėta 2012-10-16]

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

EKOLOGIŠKO-EKONOMIŠKO VAŽIAVIMO STILIAUS TYRIMAS

L. Šimaitė, A. Tautkus
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: ekovairavimas, autotransporto tarša, kuro sąnaudos, kuro normų nustatymas.

1. Įvadas

Transporto priemonės yra vienas iš didžiausių aplinkos taršos šaltinių. Dėl to, ypač pastaruoju metu, imamasi įvairių priemonių šios rūšies taršai mažinti. Viena iš galimų priemonių yra važiavimas ekologišku-ekonomišku stiliumi, laikantis tam tikrų patarimų (rekomendacijų) ir taisyklių.

Ekovairavimas – šiuolaikinis, sumanus ir atsakingas vairavimo būdas, padedantis taupyti degalus, tausoti aplinką [1].

Ekovairavimas yra nauja vairavimo kultūra, kuri geriausiai leidžia išnaudoti pažangias transporto priemonių technologijas ir kartu didinti kelių eismo saugumą.

Lietuvoje ekovairavimui skiriamas vis didesnis dėmesys. Norint geriau paruošti būsimuosius vairuotojus, Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija rekomenduoja vairuotojų mokymo įstaigų vadovams ir jų darbuotojams skirti papildomą dėmesį ekonomiško ir ekologiško vairavimo teorinėms žinioms ir praktiniams įgūdžiams ir gebėjimams tobulinti.

Darbo tikslas: atlikti ekologiško-ekonomiško važiavimo stiliaus tyrimą.

Darbo uždaviniai:

- atlikti eksperimentinius važiavimus ir pateikti gautus duomenis;
- atlikti gautų rezultatų analizę ir palyginimą;
- įvertinti „ekologiško – ekonomiško“ važiavimo stiliaus aplinkosauginę ir finansinę naudą.

2. Eksperimentinio tyrimo aprašymas

Tyrimas atliekamas važiuojant tuo pačiu maršrutu (I) (Panevėžio mieste) esant įvairioms važiavimo sąlygoms, t. y.:

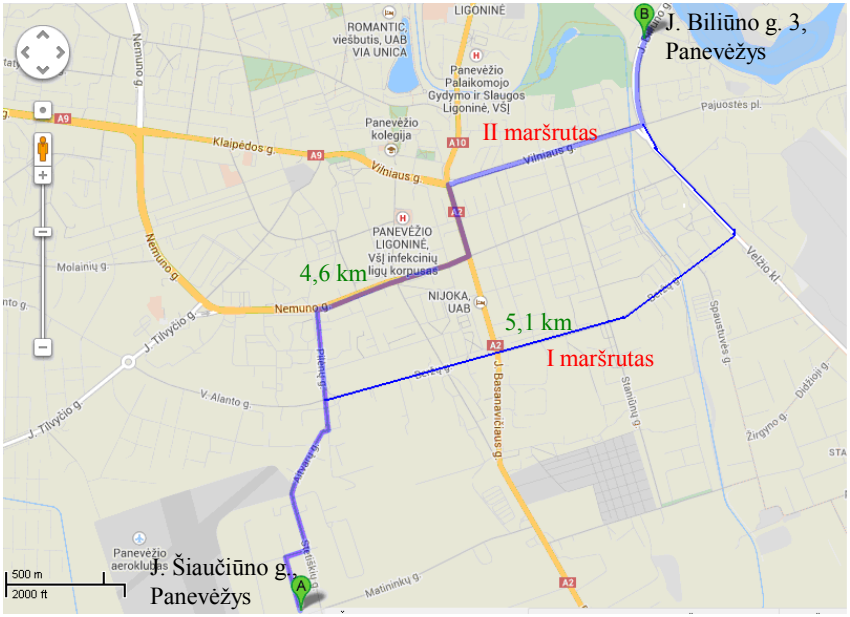
1. Važiavimas su įjungtais / išjungtais elektros prietaisais:
   - visi elektros prietaisai (išskyrus šviesas) yra išjungti;
   - įjungtas automobilio salono šildymas;

- įjungtas radijas;
- įjungtas kondicionierius.

2. Važiavimas taikant skirtingus vairavimo stilius:
   - „ekonomiškas“ vairavimas;
   - „agresyvus“ vairavimas.
3. Važiavimas su atidarytais / uždarytais langais.
4. Didžioji dalis kelio važiuojama tuščiąja eiga.
5. Važiavimas pagal vieną iš ekonomiško vairavimo rekomendacijų – važiuojant 30 km/h greičiu perjungti trečią pavarą, važiuojant 40 km/h greičiu perjungti ketvirtą ir t. t.
6. Važiavimas esant pakrautam automobiliui (keleiviai ir krovinys bagažinėje).
7. Važiavimas vienu automobiliu maršrutais I ir II, siejančiais tuos pačius taškus A ir B.

Tyrimo važiavimai atliekami VW Golf 1.9 TDI , 77 kW galios, 2008 m. dyzeliniu automobiliu.

Pasirinkto automobilio vidutinės kuro sąnaudos nustatomos borto kompiuterio pagalba. Vėliau jos palyginamos su apskaičiuotomis pagal Lietuvos Respublikos Susisiekimo ministerijos pateikiamas metodikas, bei automobilio gamintojo nurodomomis vidutinėmis kuro sąnaudomis.

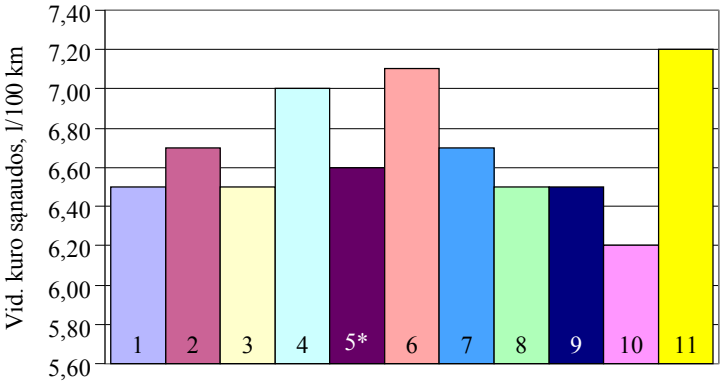


1 pav. Eksperimentinio tyrimo maršrutai (I ir II)

Borto kompiuterio ekrane atvaizduojami degalų sąnaudų skaičiai yra apytiksliai – jis nevertina padangų būklės, variklio nusidėvėjimo, oro pasipriešinimo ir kitų veiksnių. Tad kompiuteris parodo tik orientacines degalų sąnaudas, priklausančias nuo variklio purkštukų darbo [2].

3. Eksperimentinio tyrimo rezultatai. Jų analizė ir palyginimas

Tyrimo, atlikto važiuojant vienodu maršrutu tuo pačiu automobiliu (VW Golf) esant įvairioms važiavimo sąlygoms (žr. 2 skyr.), rezultatai pateikti 2 pav.

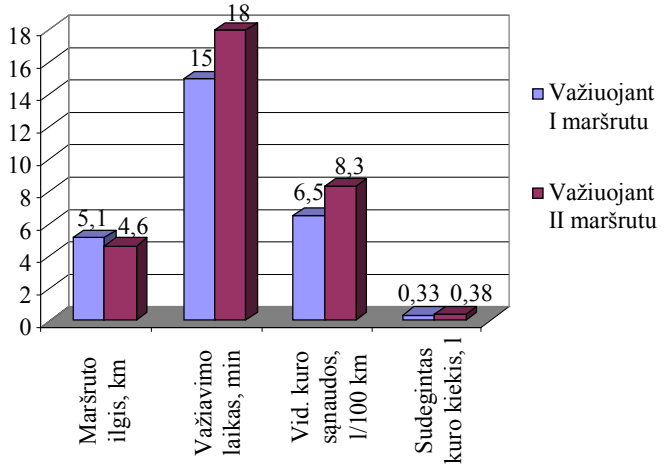


2 pav. Vidutinės kuro sąnaudos: 1 – visi elektros prietaisai (išskyrus šviesas) yra išjungti; 2 – įjungtas automobilio salono šildymas; 3 – įjungtas radijas; 4 – įjungtas kondicionierius; 5* – „ekonomiškas“ vairavimas (vid. kuro sąnaudos važiuojant šlapia kelio danga, esant sausai kelio dangai šios sąnaudos siekia 6,5 l/100 km); 6 – „agresyvus“ vairavimas; 7 – langai atidaryti; 8 – langai uždaryti; 9 – pagal rekomendacijas perjungiant pavaras; 10 – didžioji dalis kelio važiuojama tuščiąja eiga; 11 – važiavimas esant pakrautam automobiliui

Iš 2 pav. matyti, jog didžiausią įtaką kuro sąnaudoms turi automobilio pakrovimas (visos keleivių vietos automobilyje užimtos/prikabinta priekaba). Tai lemia net 0,7 l/100 km didesnes vidutines kuro sąnaudas. Taip pat reikšmingi veiksniai ženkliai išaugusioms kuro sąnaudoms yra „agresyvus“ vairavimo stilius ir įjungtas kondicionierius. Labiausiai kuro sąnaudas „leidžia taupyti“ važiavimas tuščiąja eiga.

Eksperimentinis tyrimas, atliktas važiuojant tuo pačiu automobiliu maršrutais – I ir II (žr. 2 skyr.), kurie yra tarp taško A (J. Šiaučiūno g.) ir taško

B (J. Biliūno g. 3). Šiais važiavimais siekta išsiaiškinti, kuris iš maršrutų yra optimalus tiek kuro sąnaudų, tiek laiko sąnaudų atžvilgiu. Gauti rezultatai grafiškai pavaizduoti 3 pav.



3 pav. Maršruto ilgio, važiavimo laiko, vid. kuro sąnaudų ir sudeginto kuro kiekio palyginimas važiuojant tuo pačiu automobiliu skirtingais maršrutais

Iš 3 pav. matyti, jog tiek kuro, tiek laiko sąnaudų atžvilgiu I maršrutas yra optimalus, nors šio maršruto ilgis didesnis už II-ojo maršruto. Taip yra todėl, kad II-ame maršrute pasitaikė kur kas daugiau šviesoforais reguliuojamų ir nereguliuojamų sankryžų, dėl kurių išaugo ne tik kelionės trukmė, bet ir degalų sąnaudos.

Pagal Lietuvos Respublikos Susisiekimo ministerijos pateikiamas metodikas [4] apskaičiuoti išmetamų į atmosferą teršalų: anglies monoksido (CO), anglies dioksido (CO_2), angliavandenilių (CH), azoto oksidų (NO_x), kietų dalelių kiekiai sudegus dyzeliniam kurui pateikti 2 lentelėje.

1 lentelė

VW Golf kuro normų palyginimas

Automobilis	Gamintojo nurodoma vid. kuro norma (mieste), l/100 km	Apskaičiuota vid. kuro norma*, l/100 km	Sunaudota vid. kuro norma**, l/100 km
VW Golf	6,5	5,9	6,5
* Apskaičiuota pagal automobilių kuro normų nustatymo metodiką. [3] ** Kuro norma gauta važiuojant laikantis „ekonomiško“ vairavimo patarimų.			

3-ioje lentelėje pateikiamas finansinis palyginimas važiuojant laikantis / nesilaikant „ekologiško – ekonomiško“ vairavimo stiliaus rekomendacijų.

2 lentelė

Teršalų, išmetamų į aplinką, kiekių palyginimas

Važiavimo būdas	Ekonomiškas	Neekonomiškas*
Maršruto ilgis, km	5,1	
Vidutinės kuro sąnaudos, l/100 km	6,5	6,9
Sudegintas kuro kiekis, l (t)	0,3315 (0,00028)	0,3519 (0,00029)
Anglies monoksidas CO, g	45,955	47,596
Anglies dioksidas CO_2, g	126,481	131
Angliavandeniliai CH, g	15,706	16,267
Azoto oksidai NOx, g	4,601	4,765
Kietosios dalelės KD, g	1,192	1,235

* Duomenys – visų eksperimentinio tyrimo važiavimų, kuomet nebuvo laikytasi „ekonomiško“ važiavimo patarimų – taisyklių, gautų rezultatų (vidutinės kuro sąnaudų, sudeginto kuro kiekio) vidurkis.

3 lentelė

„Ekologiško – ekonomiško“ vairavimo stiliaus finansinis vertinimas

Važiavimo būdas		Ekonomiškas	Neekonomiškas*
Maršruto ilgis, km		5,1	
Vidutinės kuro sąnaudos, l/100 km		6,5	6,9
Sudegintas kuro kiekis, l (t)		0,3315 (0,00028)	0,3519 (0,00029)
Vidutinės kuro sąnaudos 20 000 km**, l		1300	1380
Dyzelinio kuro kaina, Lt/l		4,55***	
Išlaidos kurui (nuvažiavus 20 000 km), Lt		5915	6279
Automobilio techninio aptarnavimo išlaidos*, Lt	Kompiuterinė diagnostika	50-150	–
	Tepalų (ir tepalo filtro) keitimas	10-50	–
	Filtrų (oro; kuro) keitimas	10-50	–
	Uždegimo žvakių keitimas	30	–
	Aušinimo skysčio keitimas	40-60	–
	Purkštukų patikra ir valymas	10	–

* Išlaidos periodiniams automobilio eksploatacijos keitimams, kuriuos reguliariai, laiku atliekant, galima pasiekti optimalias kuro sąnaudas.

** Vidutinė rida, kurią per metus nuvažiuoja statistinis lietuvis savo automobiliu.

*** Vidutinė dyzelinio kuro kaina, kurią pateikia < http://www.degalukainos.lt > (2013 m. lapkričio mėn.).

4. Išvados

1. Remiantis atlikto tyrimo rezultatais galima daryti išvadą, kad didžiausią įtaką išaugusioms kuro sąnaudoms turi automobilio pakrovimas. Tai lemia iki 11 % didesnes kuro sąnaudas. Taip pat ženkliai, t. y. 8 … 10 %, kuro sąnaudas padidina „agresyvus“ vairavimo stilius bei įjungtas kondicionierius. Įjungtas automobilio salono šildymas arba važiavimas esant atidarytiems langams lemia apie 3 % išaugusias kuro sąnaudas. Kiti veiksniai, nagrinėti šiame tyrime, kuro sąnaudoms didenės įtakos neturėjo. Labiausiai sumažinti vidutines kuro sąnaudas (t. y. iki 5 %) ir taip sutaupyti „leido“ važiavimas tuščiąja eiga didžiąją maršruto dalį.
2. Vertinant „ekologiško – ekonomiško“ važiavimo stiliaus (ekovairavimo) naudą aplinkosauginiu požiūriu, net ir nedidelis teršiančių medžiagų, išmetamų į aplinką iš vieno automobilio su vidaus degimo varikliu, kiekio sumažinimas daro teigiamą įtaką taršos mažinime. Ypač, jei ekovairavimo principų laikytųsi dauguma Panevėžio ar visos Lietuvos automobilių parkui priklausančių transporto priemonių vairuotojų, aplinkos užterštumas mūsų šalyje pastebimai sumažėtų.
3. Finansinė „ekologiško – ekonomiško“ važiavimo stiliaus nauda ne visuomet pasiteisina, kadangi sumažėjusios išlaidos kurui neatperka (nekompensuoja) reguliarių ir dažnesnių automobilio techninės – eksploatacinės priežiūros darbų kaštų. Nes tik su techniškai tvarkingais ir tinkamai eksploatuojamais automobiliais galima pasiekti optimalias kuro sąnaudas, bei į aplinką išmesti mažesnį teršalų kiekį.

Literatūra

1. Ekovairavimas. Prieiga per internetą: < http://www.ecodriving.lt/ > [žiūrėta 2013-09-05].
2. Automobilių borto kompiuteriai. Prieiga per internetą: < http://www.15min.lt/naujiena/gazas/patogu-kelyje/automobiliu-borto-kompiuteriai-pateikia-netikslias-degalu-sanaudas-736-317830 > [žiūrėta 2013-10-04].
3. Automobilių kuro normų nustatymo metodika. Prieiga per internetą: < http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=21747&p_query=&p_tr2= > [žiūrėta 2013-10-04].
4. Teršiančių medžiagų, išmetamų į atmosferą iš mašinų su vidaus degimo varikliais, vertinimo metodika. Prieiga per internetą: < http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=60273&p_query=D%EBl%20ter%F0ian%E8i%F8%20med%FEiag%F8%2C%20i%F0metam%F8%20%E1%20atmosfer%E0%20i%F0%20automobili%F8%20su%20vidaus%20degimo%20varikliais%2C%20vertinimo%20metodikos%20patvirtinimo&p_tr2=2 > [žiūrėta 2013-10-05].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

VAIRUOTOJŲ PSICHOMOTORINĖS REAKCIJOS TYRIMAS

G. Šimaitė, A. Česnulevičius
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: psichomotorinė reakcija, vairuotojų reakcijos laikas, eismo saugumas.

1. Įvadas

Esant šiandieniniam automobilizacijos lygiui, ypač miestuose, vis daugėja sudėtingų eismo saugumo problemų. Pagal daugumos šalių statistiką pažymėtina, kad eismo saugumas keliuose daugiausia priklauso nuo vairuotojų [1]. Apžvelgus visą kelių eismo įvykių, jų pasekmių ir kaltininkų statistiką, nustatyta, kad dėl žmogaus kaip eismo dalyvio tiesioginės kaltės įvyksta 93 % eismo nelaimių keliuose [2]. Taigi pagrindinės priemonės, gerinančios saugų eismą keliuose ir gatvėse, turi būti siejamos su žmogiškuoju faktoriumi, t. y. vairuotoju.

Vairuotojo veiksmų, tokių kaip stabdžio ar droselio pedalo paspaudimas, vairo pasukimas ar pavarų svirties perjungimas, kokybė priklauso nuo jo atsakomųjų reakcijų į įvairius dirgiklius greičio ir tikslumo. Atsakydamas į dirgiklius, vairuotojas atlieka įvairius veiksmus: spaudžia stabdžio arba droselio pedalą, pasuka vairą arba perjungia pavarų perjungimo svirtį. Tokie atsakomieji į dirgiklius veiksmai vadinami reakcijomis [3].

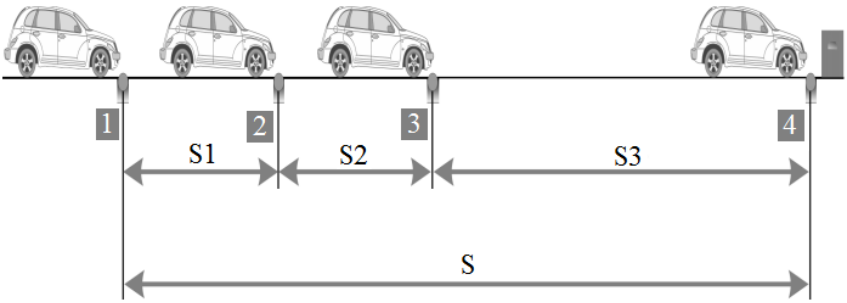
Tiriant vairuotojų reakciją didžiausią įtaką turi rizikos faktoriai, susiję su eismo dalyviais: mobiliojo telefono naudojimas, nuovargis, alkoholis, rega, amžius, lytis, vaistų poveikis, pokalbis su keleiviais, vairavimo įgūdžiai ir kt.

Šiuo metu ypač pabrėžiama vairuotojų amžiaus ir vairavimo stažo įtaka saugiam eismui, nes šie faktoriai turi didelę įtaką autoavarijų atsiradimo rizikai.

Darbo tikslas: ištirti vairuotojų psichomotorinės reakcijos greitį atsižvelgiant į jų amžių ir vairavimo stažą.

2. Vairuotojų psichomotorinės reakcijos samprata

Reakcijos laikas apibrėžiamas kaip kelias, kurį automobilis nuvažiuoja nuo to momento, kai vairuotojas pastebėjo kliūtį iki to momento, kai pradėjo stabdyti [4].



1 pav. Automobilio sustojimo schema: S1 – kelias, kurį automobilis nuvažiuoja per vairuotojo reakcijos laiką; S2 – kelias, kurį nuvažiuoja automobilis per stabdžių pavaros veikimo vėlavimo laiką; S3 – stabdymo kelias; S – sustojimo kelias [5]

Kiekviena reakcija turi paslėptąjį (latentinį) periodą, t. y. laiką nuo dirgiklio atsiradimo iki atsakomojo judesio pradžios, ir judamojo veiksmo realizacijos periodą – laiką nuo judesio pražios iki pabaigos. Taip pat reakcija gali būti skirstoma į paprastą ir sudėtingą [3].

Paprasta reakcija – tai kiek galima greitesnis atsakomasis veiksmas į žinomą iš anksto dirgiklį (signalą), pavyzdžiui, greitas stabdžio pedalo paspaudimas užsidegus raudonam šviesoforo signalui, jeigu vairuotojas, laukdamas šio signalo, pasiruošęs stabdyti. Vidutinė paslėptojo periodo paprastos reakcijos į šviesos signalą trukmė – apie 0,2 s, į garsinį signalą – 0,14 s [3].

Sudėtinga reakcija susijusi su reikalingo atsakymo pasirinkimu iš keleto galimų. Sudėtingos reakcijos atsakomieji veiksmai gali būti derinami įvairiai, pavyzdžiui, spaudžiamas automobilio stabdžio pedalas ir sukamas vairas. Ši reakcija trunka daug ilgiau, nes tai priklauso nuo aplinkybių sudėtingumo. Tyrimais nustatyta, kad apytikriai vidutinis laikas situacijai pro galinio vaizdo veidrodį įvertinti yra 1,88 s, o vidutinis laikas situacijai pro priekinį stiklą įvertinti nereguliuojamoje sankryžoje yra 2,6 s. Sudėtingoms maršrutinėms rodyklėms suvokti reikia 3 – 4 s, o kuo didesnis greitis, tuo ilgesnė vairuotojo reakcija [3, 6].

Vairuotojo reakcija turi būti nuolat tiriama, nes nuo jos priklauso automobilio sustojimo kelias, o ypač susidarius pavojingoms situacijoms.

3. Tyrimo metodika

Tyrimo tikslas: nustatyti vairuotojų sudėtingos reakcijos laikus, įvertinant tiriamojo amžių.

Tyrimui atlikti naudojamas reakciometras RA-1, skirtas žmogaus reakcijos į raudonos (pavojaus) ir žalios šviesos ar garsinį signalą trukmės matavimui, ir žmogaus centrinės nervų sistemos (CNS) psichomotorinės reakcijos greičio charakteristikų nustatymui [7].

Reakcija tiriama atliekant sudėtingos reakcijos testą. Tyrimo metu tiriamasis turi pasirinkti tam tikrą prietaiso pedalą / mygtuką, kuris atitinka jam priskirtą šviesos / garso signalą. Testui atlikti tiriamieji turi 10 bandymų. Pauzė tarp bandymų – 1-3 sekundės. Testo rezultatai automatiškai vertinami „labai geras“, „geras“, „vidutiniškas“, „blogiau nei vidutiniškas“, „blogas“ atsižvelgiant į testo rezultatus ir parametruose nurodytas šiems vertinimams atitinkančias reikšmes šiame teste.

Iš gautų rezultatų programa apskaičiuoja vidutinį reakcijos laiką:

$$t_{vid.reak.} = \frac{\sum t_{reak.}}{n}, \text{ ms;} \quad (1)$$

čia: $t_{reak.}$ – reakcijos laikas; n – bandymų skaičius.

4. Tyrimo rezultatai

Sudėtinga reakcija susijusi su reikalingo atsakymo parinkimu iš keleto galimų. Čia galimi dirgikliai buvo iš anksto žinomi, tačiau nežinoma, kada ir kuris dirgiklis konkrečiu atveju pasirodys. „Sudėtingos reakcijos“ testas matuoja rankų ir kojų reakcijos į galimus keturis įvykius laiką. Šis testas nuo kitų skiriasi tuo jog galima valdyti poveikio trukmę ir pasirinkti poveikį bei testuojamą ranką, koją ar jų kombinaciją.

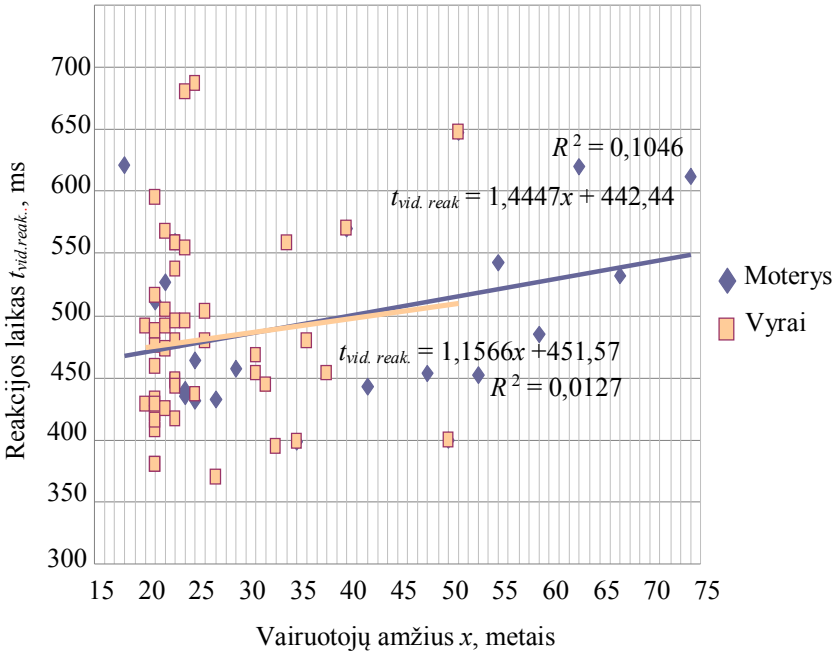
Testo metu reikėjo užsidegus žaliam signalui spausti dešinį pedalą, užsidegus raudonam signalui spausti kairį pedalą, o geltoną signalą reikėjo ignoruoti, nes tai klaidinantis signalas.

Tyrime dalyvavo septyniasdešimt (18 - 74 metų amžiaus) vairuotojų grupė. Tiriant buvo atsižvelgiama ne tik į amžių, vairavimo stažą, bet ir į tiriamojo lytį.

2 pav. grafike pateikiamos amžių aproksimuojančios funkcijos, kuriose dydis x nurodo vairuotojų amžių.

Pagal statistinius duomenis didelę dalį eismo įvykių sukelia vairuotojai, turintys mažą vairavimo stažą, todėl buvo tiriama vairuotojų reakcija atsižvelgiant į jų vairavimo stažą. 4 pav. grafike pateikiamos vairavimo stažą aproksimuojančios funkcijos, kuriose dydis x nurodo vairavimo stažo metus.

Atliekant tyrimus, atsižvelgus į tiriamojo lytį, buvo pastebėta vyrų greitesnė reakcija į išorinius veiksnius. Tai matyti ir iš grafike esančių amžių aproksimuojančių funkcijų. Vyrai prie vairo daug greičiau priima sprendimus,



2 pav. Reakcijos laikas, atsižvelgiant į vairuotojų amžių ir lytį: R^2 – aproksimuojančių tiesių koreliacijos koeficientai

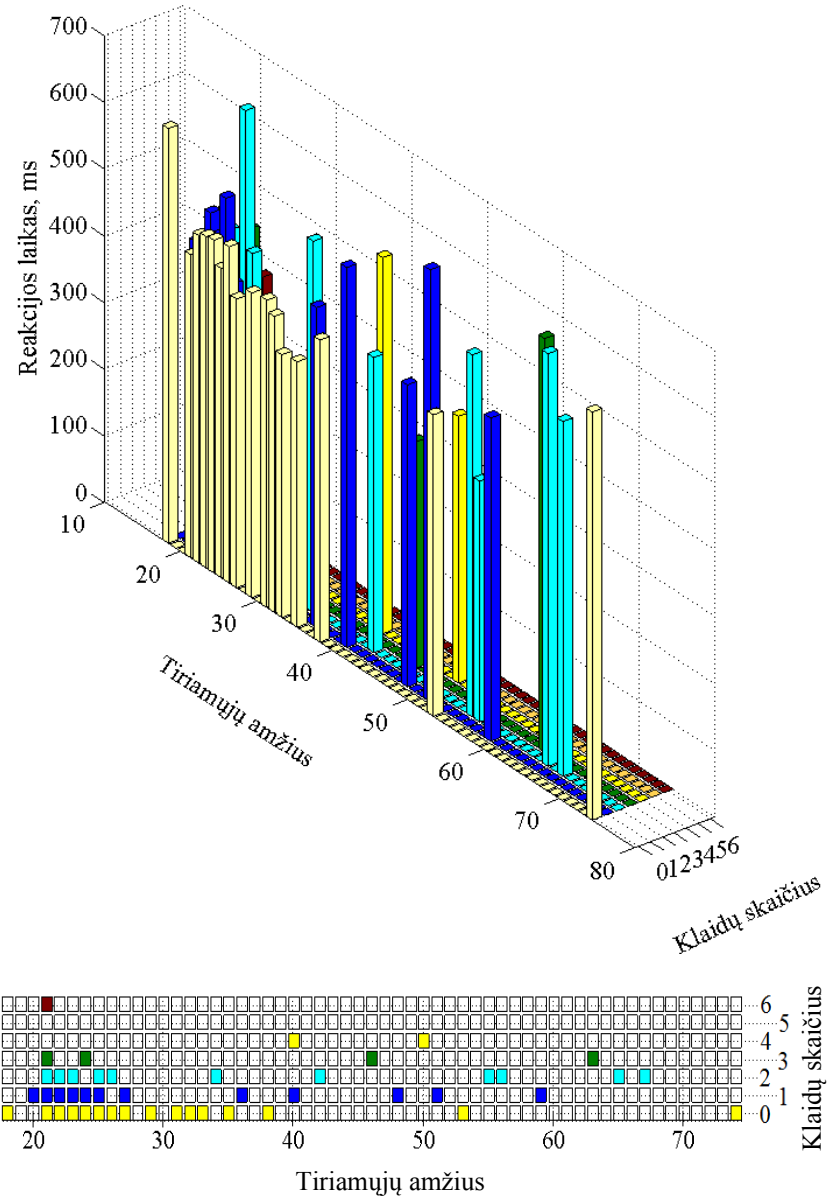
tad iš kritinių situacijų jie neretai išsisuka, tačiau polinkis rizikuoti dažnai tampa skaudžių nelaimių priežastimi.

Kokybinis lyginamųjų reakcijos laikų vertinimas atliekamas sekant tiriamojo elgesį, t.y. stebima ar nepasireiškia reakcijos trūkumas į šviesos signalus ar reakcijos trūkumas į akustinius signalus.

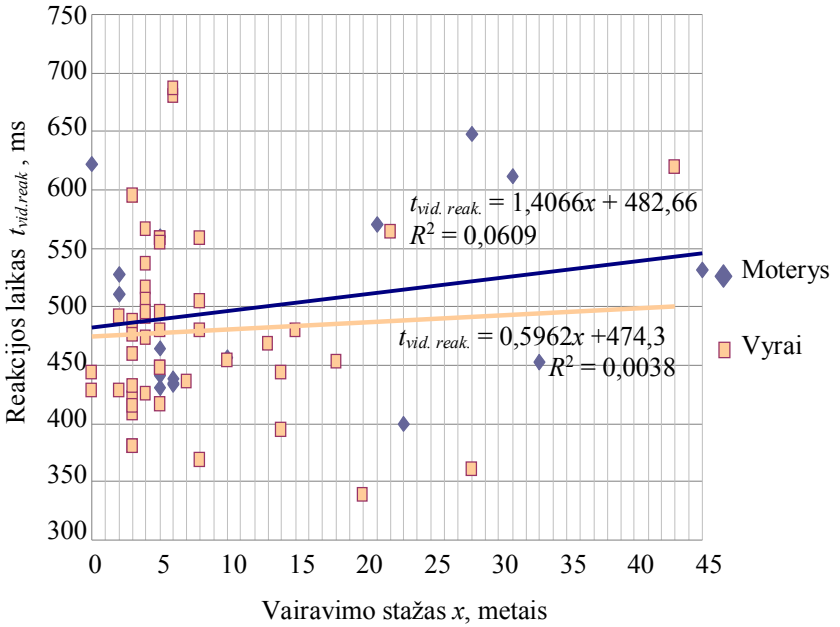
Štai kai kurios reakcijų į tam tikrus signalus trūkumų priežastys:

- instrukcijos nesupratimas;
- nesugebėjimas koncentruoti dėmesio;
- prastas regėjimas;
- nesugebėjimas skirti spalvų;
- prasta klausa;
- stiprus emocinis sumišimas;
- ir kt.

Jei pasitaikė tyrime padarytų šios rūšies klaidų – tiriamasis asmuo netinkamai sureagavo į šviesos ar akustinius signalus – šie bandymai buvo įvertinti. Padarytų klaidų skaičius matyti 3 paveiksle.



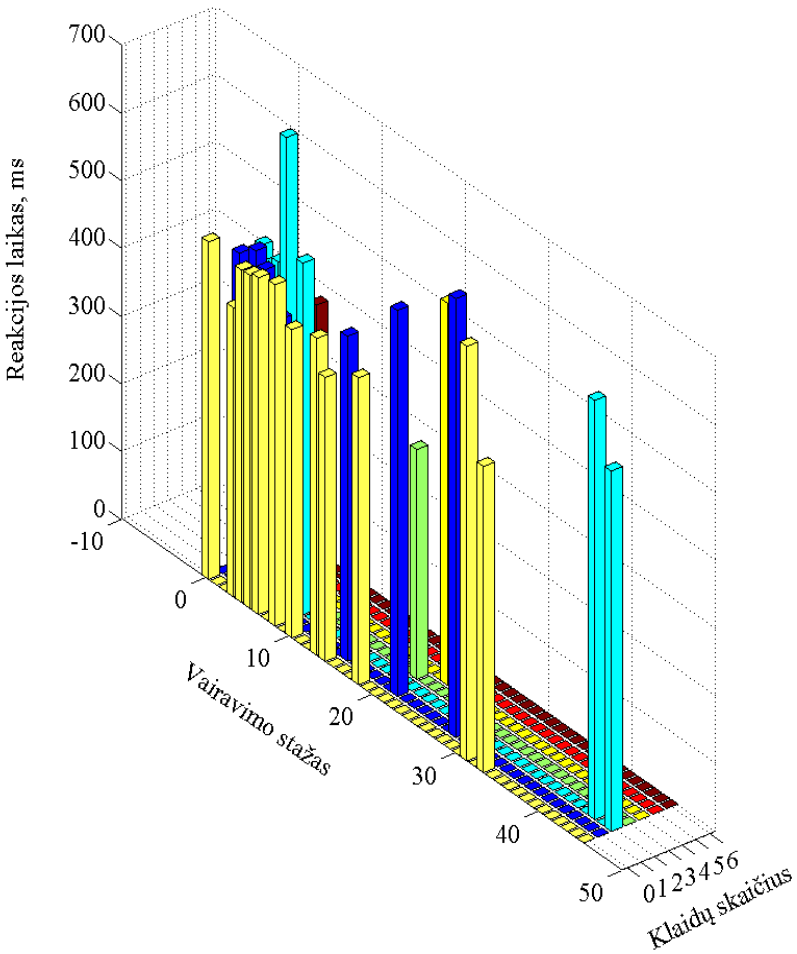
3 pav. Reakcijos laikas ir padarytų klaidų skaičius, atsižvelgiant į vairuotojų amžių



4 pav. Reakcijos laikas, atsižvelgiant į vairavimo stažą ir lytį: R^2 – aproksimuojančių tiesių koreliacijos koeficientai

Šiuo metu ypač pabrėžiama jaunų vairuotojų įtaka saugiam eismui, nes eismo dalyvio amžius turi didelę įtaką autoavarijų atsiradimo rizikai. Daugelyje šalių jauno amžiaus ir nedidelio vairavimo stažo vairuotojų sukeliamos autoavarijos yra valstybinio masto problema. Pasaulinėje praktikoje jaunų vairuotojų problemos žinomos plačiai, tačiau dėsninga yra tai, kad jauni vairuotojai, tiek savo amžiumi tiek vairavimo patirtimi dažniausiai ir tampa autoavarijų dalyviais [8].

Testo rezultatuose matyti (žr. 5 pav.), kad atliekamų veiksmų teisingumas tiesiogiai priklauso nuo vairuotojo vairavimo stažo bei sukurtų situacijos sąlygų sudėtingumo. Nepatyrusių ir patyrusių vairuotojų reakcijos laiko trukmė yra panaši, tačiau esant tam tikroms sąlygoms, nepatyrusių vairuotojų reakcijos laikas ilgesnis.



5 pav. Reakcijos laikas ir padarytų klaidų skaičius, atsižvelgiant į vairavimo stažą

4. Išvados

1. „Sudėtingos reakcijos“ eksperimento greičiausia reakcija 339 ms, lėčiausia – 687 ms, o vidutinė 485,4 ms. Tai yra geras reakcijos laikas, nes Z. Bogdanovičiaus, A. Pikūno ir R. Pečeliūno knygoje „Eismo dalyvių psichofiziologija“ nurodoma, kad vidutinis vairuotojo sudėtingos reakcijos laikas turėtų būti 800 ms. Jis gali svyruoti – nuo 400 – 1500 ms.

2. Remiantis atliktu tyrimu, galima teigti, kad vairuotojai, turintys didesnį vairavimo stažą, adekvačiau reaguoja į aplinkines situacijas.

Literatūra

1. Eismo įvykių statistika. Prieiga per internetą: < http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/road_safety_citizen/road_safety_citizen_100924_lt.pdf > [žiūrėta 2013-03-25].
2. Eismo įvykių statistika. Prieiga per internetą: < http://www.lakd.lt/lt.php/eismo_saugumas/eismo_ivykiu_statistika/27#content_413 > [žiūrėta 2013 03 25].
3. **Bogdanovičius Z., Pikūnas A., Pečeliūnas R.** Eismo dalyvių psichofiziologija: mokomoji knyga. − Vilnius: Technika, 2007. − 96 p. ISBN: 978-9955-28-185-6.
4. Automobilio stabdymas. Prieiga per internetą: < http://vairavimoabc.lt/1993/saugaus-vairavimo-pagrindai/ > [žiūrėta 2013-03-05].
5. Automobilio stabdymas. Prieiga per internetą: < http://automotoinfo.lt/2329/ klausimai-pries-praktini-egzamina-vi-regitra/> [žiūrėta 2013-03-05].
6. **Nelson & Associates**. Driver reaction time. Texas. − 2010.
7. Reakciometras. Prieiga per internetą: < http://www.sportija.lt/lt/produktai/sportininku-testavimui/testavimo-iranga/reakcijos-testavimas/1/reakciometras-vairavimo-mokykloms-288 > [žiūrėta 2013-11-28].
8. **Sadauskas V.** Vairuotojų stažo, amžiaus ir lyties įtaka eismo įvykiams Lietuvoje. − Klaipėda: Mokslas praktikai – praktika mokslui, 2012. 111 p. ISBN: 978-9955-839-47-7.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

KOMUTATORIUS ULTRAGARSO KEITIKLIŲ MATAVIMŲ AUTOMATIZAVIMUI

D. Karosas, D. Pelenis, T. Mikuta, D. Viržonis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: ultragarsas, CMUT, komutatorius.

1. Įvadas

Talpiniai mikromontuojami ultragarso keitikliai CMUT (*capacitive micromachined ultrasound transducers* – angl.) buvo sukurti Stanfordo universitete 1994-1996 metais. Jie sudaryti iš kelių šimtų ar tūkstančių mikronų eilės talpinių elementų, sujungtų lygiagrečiai. Šie elementai dirba elektrostatiniame lauke kaip vienas keitiklis [1].

Atliekant CMUT keitiklių elektromechaninių savybių (rezonansinio dažnio, kompleksinio elektromechaninio impedanso) matavimus, keitikliai jungiami prie grandinių analizatoriaus AGILENT 4395A, kuriuo yra matuojamas dažninis kompleksinio impedanso spektras. Techniniai sunkumai kyla, kai reikia ištirti daugiakanalius CMUT (pavyzdžiui, turinčius 64 – 4098 nepriklausomus elementus). Šių matavimų automatizavimui ir kompiuterizavimui buvo sukurtas, pagamintas, ištirtas ir praktiškai išbandytas komutatorius bei matavimą valdanti programinė įranga.

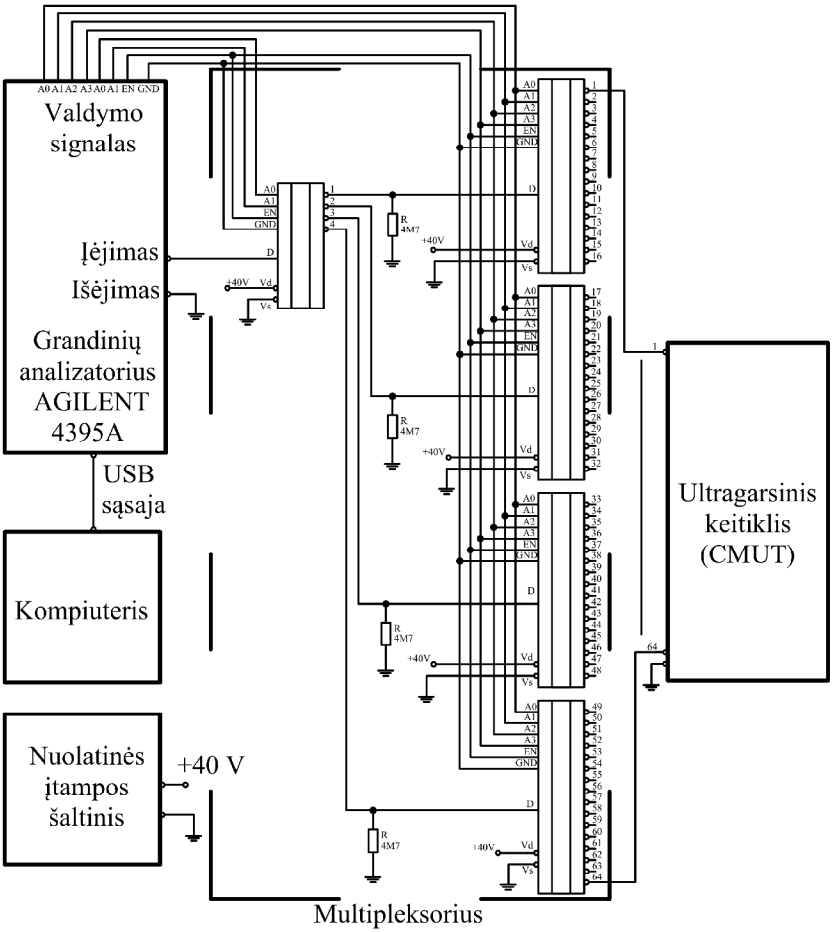
Gaminant komutatorių buvo ieškomos reikiamas darbo sąlygas atitinkančios mikroschemos, kuriamas racionalus, nesudėtingas šablonas, buvo ieškoma paprasto ir kokybiško spausdinto montažo plokštės gamybos bei kompaktiško plokštės, jungčių ir kabelių sumontavimo būdo. Kuriant programinę įrangą buvo kuriamas algoritmas ir patogi vartotojo sąsaja.

CMUT savybės yra surandamos iš grandinių analizatoriumi išmatuoto elektromechaninio impedanso dažninio spektro. Jei tiriamas keitiklis prie analizatoriaus jungiamas standartiniais, kalibruotais kabeliais ir jungtimis, išmatuojamas CMUT dažninis spektras, kuriame nėra neinformatyvių parametrų, susijusių su komutatoriaus naudojimu. Tuo tarpu, naudojant komutatorių, į matavimo grandinę įvedami papildomi neinformatyvūs parametrai, kurie tampa tiek statinių, tiek dinaminių netiesiškumų šaltiniu. Todėl šiame darbe buvo atliktas matavimo grandinės modeliavimas.

2. Aparatūra ir metodai

2.1. Komutatorius

Pagrindiniai techniniai duomenys, pagal kuriuos buvo parinkti komutatoriaus komponentai: darbas su 40 V signalais 0-50 MHz dažnio ruože, 64 įėjimo kanalai, kurie prijungiami dviem 34 išvadų FD (*floppy disk* – angl.) jungtimis bei kaspino tipo kabeliu; valdymas per DB15 jungtį.



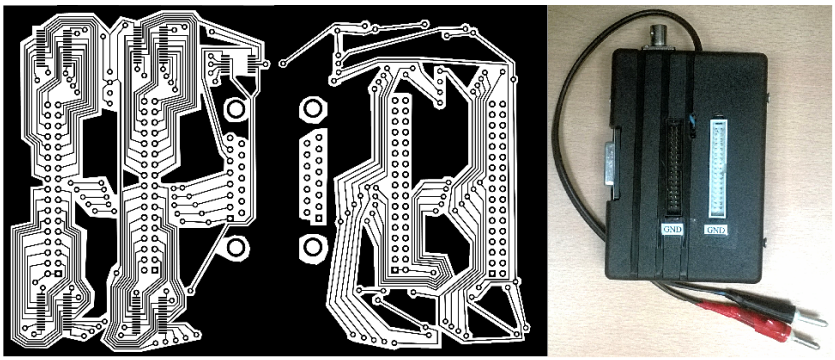
1 pav. Automatizuotų matavimų komutatoriaus principinė elektrinė schema

Komutuojamos įtampos, kanalų skaičiaus ir darbo dažnio reikalavimus atitinka keturios 16-os (ADG5206) [2] ir viena 4-ių kanalų (ADG5204) [3] mikroschemos. Komutatoriaus principinė schema parodyta 1 pav. Pagal ją buvo suprojektuota spausdinto montažo plokštė. Schemoje matyti dviejų pakopų komutavimas: keturių kanalų multipleksorius valdo keturis kitus, 16-os kanalų. Taip gaunamas 64 įėjimų komutatorius. Visos mikroschemos valdomos skaitmeniniu signalu, gaunamu iš grandinių analizatoriaus, o grandinių analizatorius valdomas kompiuteriu per USB/GPIB jungtį. Žemo dažnio triukšmams pašalinti prie multipleksorių išėjimų prijungtos 4,7 MΩ varžos.

Komutatoriaus komponentų surinkimui sukurta dvipusė spausdinto montažo plokštė. Spausdinto montažo šablonams braižyti panaudota programa ExpressPCB.

Kadangi atvirą plokštę naudoti nesaugu ir nepatogu, ji įmontuota į plastikinę dėžutę, išvestas maitinimo laidas su standartiniais kištukais bei įmontuota BNC jungtis prijungimui prie grandinių analizatoriaus. Spausdinto montažo plokštės paveikslas ir pagaminto komutatoriaus vaizdas parodytas 2 pav.

Ekvivalentinės grandinės matematinio modelio sudarymui ir gautų rezultatų grafiko braižymui naudota MATLAB programinė įranga. Duomenų atvaizdavimui naudotas National Instruments LabVIEW programinis paketas [4] su vaizdo apdorojimo įrankiais.



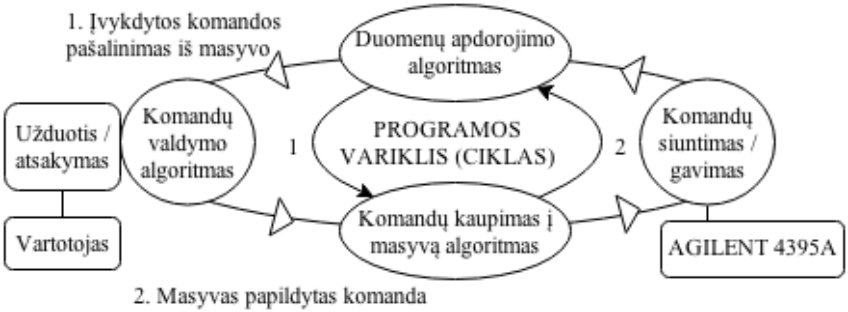
2 pav. Spausdinto montažo plokštės abiejų pusių šablonai ir surinkto komutatoriaus vaizdas

2.2. Programinė įranga

Sukurta programinė įranga skirta valdyti multipleksoriaus kanalus ir kai kurias grandinių analizatoriaus funkcijas: matuojamą dažnių ruožą,

matavimo grandinės nuolatinę įtampą ir srovę matuojant CMUT elektromechaninio impedanso dažninį spektrą bei kitus matavimo procesui reikalingus parametrus. Taip pat programa atlieka analizatoriaus duomenų nuskaitymą, įrašymą į tekstinės formos laikmeną ir atvaizdavimą realiu laiku diagramoje. Apibendrinta programos algoritmo schema parodyta 3 pav.

Kiekviena siunčiama komanda turi atskirą komandos valdymo algoritmą. Komandų algoritmas sudarytas iš AGILENT analizatoriaus valdymo komandų, komandų baigties intervalų ar baigties užklausų. Vartotojui nusiuntus užduotį, programos variklis masyvą papildo nauja užduotimi, kuris atsiduria masyvo apačioje. Kai ciklas prieina suaktyvintą užduotį, duodamas leidimas išsiųsti komandą į analizatorių. Praėjus baigties intervalui ar gavus iš grandinių analizatoriaus baigties užklausą, iš masyvo yra ištrinama komanda bei visos apačioje esančios komandos perkeliamos viena eilute aukščiau.

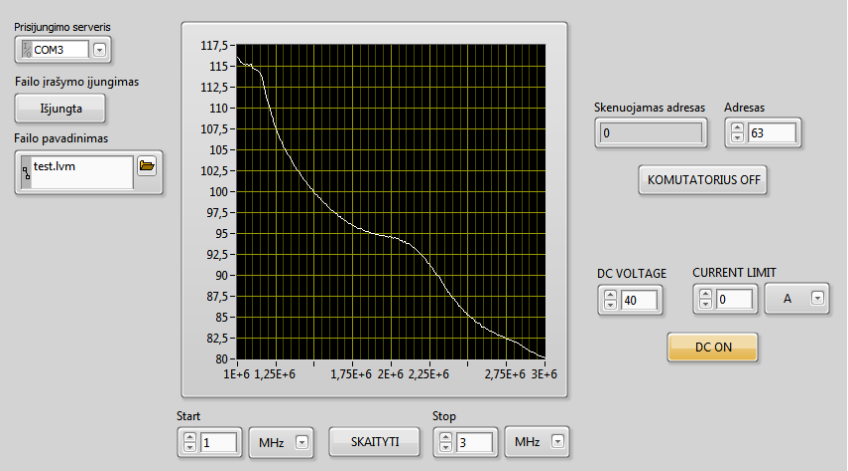


3 pav. Komandų valdymo algoritmas

Vietoje tiesioginės sąsajos tarp kompiuterio ir komutatoriaus, komutatoriui valdyti naudojama grandinių analizatoriuje esanti 8 bitų įvesties/išvesties sąsaja. Grandinių analizatorius turi vidinę programinę sąsają tarp kompiuterio ir įvesties/išvesties prievado. Kadangi komutatorius turi 64 kanalus, jam valdyti užtenka 7 bitų išvesties prievado. Vienas išvesties prievado bitas panaudotas komutatoriaus įgalinimui ir atpažinimui, jog jis yra prijungtas prie analizatoriaus.

Komutatoriaus valdymui naudojamas dvejetainis 7 bitų kodas. Paruoštas kodas išsiunčiamas į grandinių analizatorių per USB sąsają, o grandinių analizatoriaus programinė įranga kodą interpretuoja ir išveda į lygiagrečią 8 bitų sąsają, prie kurios jungiamas komutatorius. Taip vienas kompiuterio USB prievadas išnaudojamas dviem prietaisams valdyti.

Naudodamasis programine sąsaja vartotojas gali realiu laiku matyti matavimų rezultatus ir valdyti komutatorių. Taip pat programa turi galimybę išsaugoti matavimo duomenis į tekstinę duomenų laikmeną.



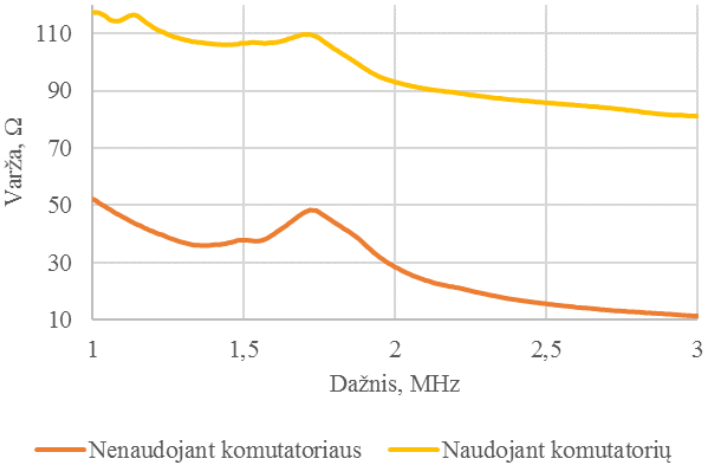
4 pav. Programinės įrangos darbo langas

3. Komutatoriaus testavimas ir rezultatų analizė

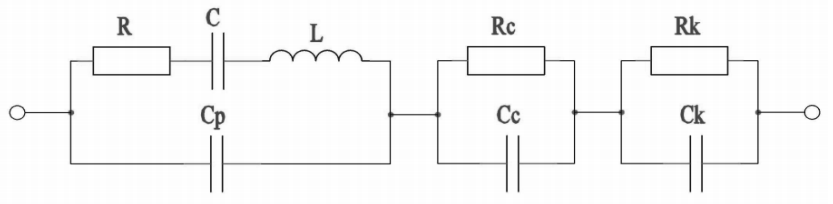
Jungiant keitiklį per komutatorių, dažninį spektrą iškraipo komutatoriaus grandinių parametrai. Iš 5 pav. pateiktos diagramos, rodančios realiosios impedanso dalies dažninį spektrą nuo 1 iki 3 MHz, matyti, jog praktiškai visame dažnių ruože padidėja vidutinė varžos vertė, o elektromechaninio rezonanso, esančio ties 1,7 MHz, kokybė suprastėja.

Siekiant korektiškai interpretuoti matavimo rezultatus, buvo sukurtas matavimo grandinės modelis su identifikuotais matavimo grandinės parametrais. Tam naudojame ekvivalentinių grandinių metodą. Įvertinus statinius ir dinaminius dydžius bei visą išmatuotą spektrą, parinkti ekvivalentinės grandinės elementai, jų parametrai ir jungimo būdas.

Matavimo, atliekamo kalibruotomis matavimo priemonėmis, ekvivalentinės grandinės modelį sudaro dvi grandinės, sujungtos nuosekliai (6 pav.). Pirmoji yra 4 elementų RLC modelis (Van Dykeʻo grandinė) [5], kuris atvaizduoja mikroelektromechaninį rezonatorių (CMUT). Standartinę Van Dykeʻo grandinę sudaro nuosekliai sujungtas induktyvumas L, atitinkantis CMUT celės membranos masę, talpa C, įvertinanti ekvivalentinį membranos standumą ir nuostolių varža R. Lygiagrečiai šiems elementams prijungta talpa C_p ekvivalentiška CMUT struktūros elektrinei talpai. Antroji grandinė yra lygiagrečiai sujungti R_c ir C_c elementai. Jie skirti neinformatyvių sujungimų elementų ir kontaktų įtakos parametrų įvertinimui. Trečioji ekvivalentinės grandinės dalis – lygiagrečiai sujungtos varža R_k ir talpa C_k atvaizduoja



5 pav. Dažninis realiosios impedanso dalies spektras, užregistruotas naudojant komutatorių ir jo nenaudojant



6 pav. Ekvivalentinė matavimo grandinė naudojant komutatorių

neinformatyvius komutatoriaus parametrus. Ekvivalentinės matavimo grandinės, pateiktos 6 pav., kompleksinę varžą aprašo sekanti lygtis

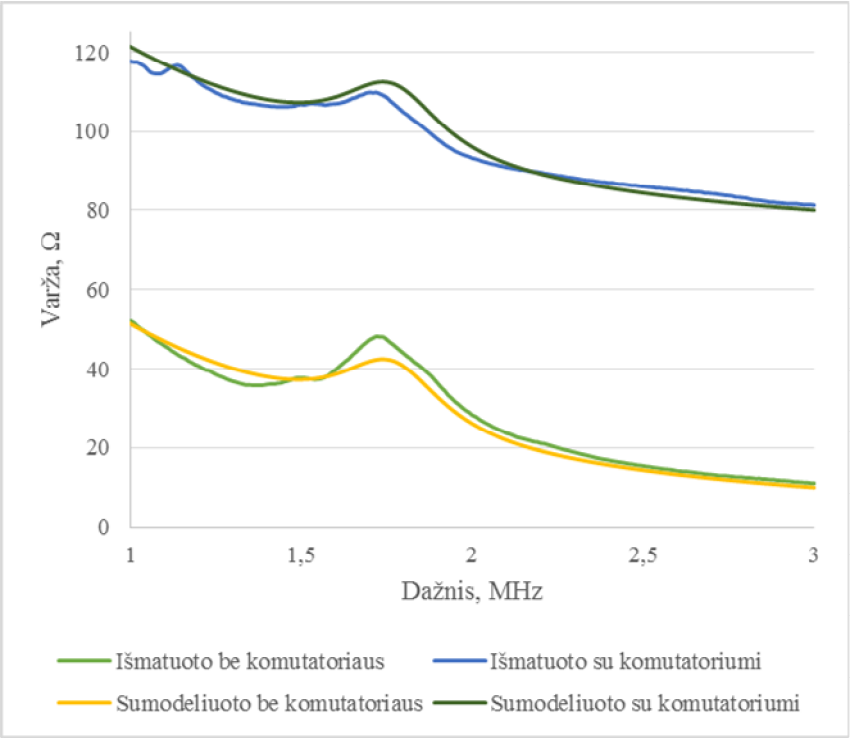
$$Z = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{j\omega C} + R + j\omega L} + j\omega C_p} + \frac{1}{\frac{1}{R_c} + j\omega C_c} + \frac{1}{\frac{1}{R_k} + j\omega C_k}. \qquad (1)$$

Išraiška (1) buvo panaudota modeliuojant matuojamo impedanso dažninį spektrą. Elementų nominalai buvo parinkti taip, kad būtų kuo geresnis matavimo ir modeliavimo rezultatų sutapimas. Optimizuoti ekvivalentinės grandinės elementų parametrai pateikti 1 lentelėje. Sumodeliuotos ir impedanso realiosios dalies verčių palyginimas pateiktas 7 pav.

1 lentelė

Ekvivalentinės grandinės parametrai

R, Ω	C, nF	L, mH	C_p, nF	R_c, Ω	C_c, nF	R_k, Ω	C_k, pF
7	4	3	8	100	1,6	70	20



7 pav. Išmatuoto ir sumodeliuoto dažninio spektro palyginimas matavimui su ir be komutatoriaus

5. Išvados

1. Pagamintas multipleksorius yra tinkamas darbui su ultragarso keitikliais, patogiai ir greitai prijungiamas prie kitų prietaisų. Mikroschemų testavimo metu gauti triukšmai. Juos pašalinti pavyko 4,7 MΩ varžomis, prijungtomis prie multipleksorių išėjimų.
2. Išbandžius įvarius modelio parametrus, nustatyta, jog komutatoriaus įtaką geriausiai atitinka lygiagrečiai sujungtos varža ($R_k = 70$ Ω) ir talpa

(C_k = 20 pF). Šie dydžiai yra artimi komutatoriaus mikroschemų gamintojo duomenų lapuose pateikiamiems parametrams, atitinkamai 75 Ω ir 20 pF.
3. Sukurta vartotojo sąsaja yra paprasta ir patogi naudoti, dviejų prietaisų, komutatoriaus ir grandinių analizatoriaus prijungimui prie kompiuterio reikia tik vieno USB prievado. Programa galima valdyti reikalingiausias analizatoriaus funkcijas bei įrašyti duomenis į tekstinį failą.

Literatūra

1. **Vanagas G., Mikolajūnas M., Grigaliūnas V., Viržonis D.** Finite-Element Analysis of Microelectromechanical Membranes Vibration // Materials Science (Medžiagotyra). ISSN 1392-1320, 2009, Vol. 15, No. 4, p. 296.
2. Techninė byla ADG5206/ADG5207. Prieiga per internetą: < http:// www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADG5206_5207.pdf > [žiūrėta 2013-11-11].
3. Techninė byla ADG5204. Prieiga per internetą: < http://www.analog.com/ static/imported-files/data_sheets/ADG5204.pdf > [žiūrėta 2013-11-11].
4. LabVIEW programming I. LabVIEW basics. Prieiga per internetą: < http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS3240/v13/undervisningsmateriale/forelesninger/l2---labview-programming-i-.pdf > [žiūrėta 2013-11-20].
5. **Park K. K., Lee H., Kupnik M., Oralkan Ö., Ramseyer J. P., Lang H. P., Hegner M., Gerber C., Khuri-Yakub B. T.** Capacitive micromachined ultrasonic transducer (CMUT) as a chemical sensor for DMMP detection // Sensors and Actuators B: Chemical. 160 (2011) 1120-1127, p. 1123.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

MOBILAUS ROBOTO VALDYMAS PAGAL SUDARYTĄ ŽEMĖLAPĮ

E. Rožėnas, D. Viržonis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: mobilus robotas, valdymas, žemėlapis.

1. Įvadas

Mobilieji robotai pradėti naudoti gelbėjimo darbams, pavojingų patalpų apžiūrai, po stichijų nusiaubtose vietovėse, kur reikalingas tikslus ir operatyviai atnaujinamas patalpų bei vietovių žemėlapis. Vienas efektyvesnių operatyvaus žemėlapių atnaujinimo būdų yra roboto gautos informacijos (skaitmeninis vietos žemėlapis) panaudojamas tam, kad būtų galima stebėti gamtos anomalijas, greičiau ir tiksliau spręsti apie oro permainas, taip padedant ir kitose, susijusiose srityse. Lietuvos kosmoso asociacija ir Kosmoso mokslo ir technikos institutas (KMTI) kuria Nepilotuojamų orlaivių (NOL) ir nanopalydovų mikroprocesorinių valdymo, orientacijos stebėjmo sistemas ir jas taiko nuotoliniam stebėjimui ir specializuotiems aptarnavimo darbams atlikti [1].

Dar viena sritis, kurioje naudojamas mobilaus roboto sukurtas žemėlapis – medicina. Mokslininkai sukūrė invalido vežimėlį valdomą mintimis. Norėdami valdyti vežimėlį, vartotojai turi susikoncentruoti į vieną iš kelių galimų krypčių trimačiame (3D) žemėlapyje, pasirodančiame priešais juos esančiame ekrane. Kad būtų sukurtas ir operatyviai atnaujinamas 3D žemėlapis, lazeris, įmontuotas priekinėje kėdės dalyje, nuskaito jo apylinkes ir atnaujina vaizdą [2].

Naudojantis mobiliąjame robote įmontuotais ultragarsiniais sonarais galima ne tik aptikti kliūtis, esančias tam tikru atstumu nuo roboto, bet ir sonarų duomenis panaudoti skaitmeninio vietovės žemėlapio sudarymui. Sonarai skenuoja aplinką, kuria juda robotas ir siunčia signalus į signalinį procesorių, kur atliekamas programinis signalų apdorojimas ir žemėlapio sudarymas. Identifikuotas kliūtis robotas panaudoja tiek momentiniam trajektorijos koregavimui, tiek operatyviam skaitmeninio žemėlapio atnaujinimui. Šio darbo tikslas buvo parašyti roboto valdymo programą, kuri taip pat sudarytų ir operatyviai atnaujintų skaitmeninį vietos žemėlapį.

2. Metodai

Mobilaus roboto valdymo programa sukurta „Microsoft Visual Studio C++“ programavimo terpėje, panaudojant „Aria.h“, „glut.h“ bibliotekų funkcijas. Valdymo programa, naudodama šiose bibliotekose esančias funkcijas, siunčia robotui valdymo komandas. Programa rašyta naudojantis [3-5] šaltiniais. Pats žemėlapis buvo modeliuojamas ir kuriamas „Mapper3Basic“ programa. Skaitmeninio žemėlapio sudarymo tyrimas buvo atliekamas imituojant robotą „MobileSim“ programa, kuri matematiniu būdu imitavo roboto padėtį. Žemėlapis, kuris buvo sumodeliuotas „Mapper3Basic“ programa ir kuris naudojamas imituojamo roboto valdymui, įkeliamas tiesiogiai į imitatoriaus programą „MobileSim“. Roboto sukurtas žemėlapis išsaugomas xls formatu. Žemėlapį robotas sudarinėja iš sonarų duomenų, kurie bandymuose naudotos programos sugeneruojami automatiškai.

Paleidus C++ kalba parašytą roboto valdymo programą, ji keičiasi duomenimis su „MobileSim“ programoje veikiančiu roboto imitatoriumi. Imitavimo programa keičia roboto koordinates pagal valdymo programos komandas ir į valdymo programą perduoda imituojamus sonarų duomenis, teikiančius informaciją apie aplinkoje esančias kliūtis. Sonarų dinaminis darbo ruožas yra 5000 mm.

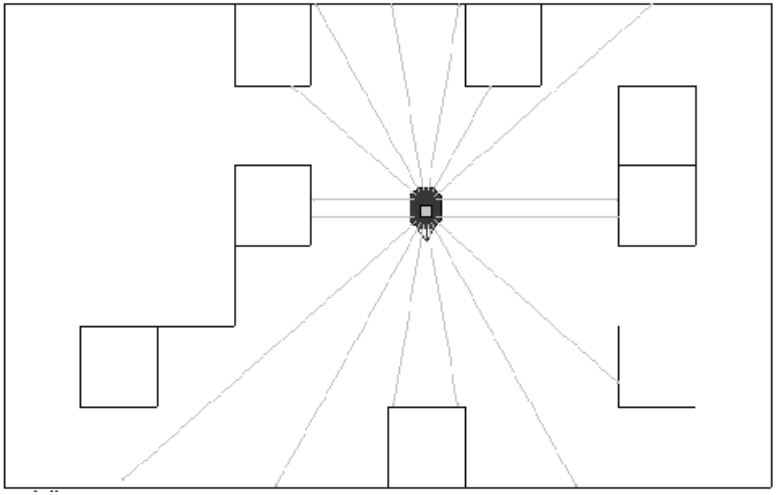
Valdymo programa, pagal sonarų duomenis aptikusi kliūtį, esančią roboto judėjimo trajektorijos priekyje, lėtina mobilaus roboto greitį ir duoda komandą suktis į kairę ar į dešinę pusę nuo kliūties 90° laipsnių kampu. Simuliatoriuje imituojamas robotas vykdo iš valdymo programos gautas komandas.

Atlikus manevrą judėjimas tęsiamas skenuojant patalpą po patalpos.

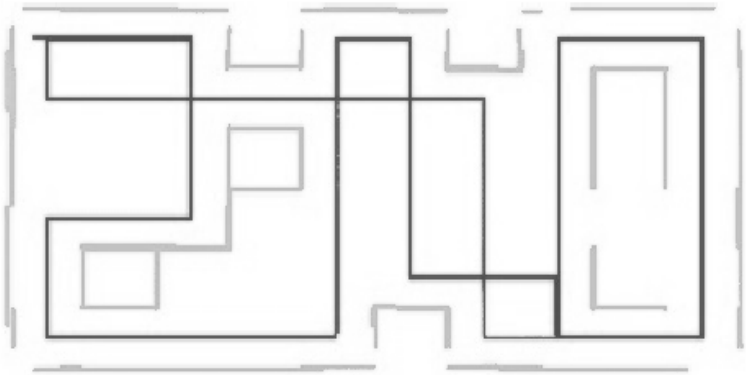
3. Rezultatai

Tyrimo sąlygos ir jo metu užregistruoti duomenys pateikti 1 bei 2 pav. Sumodeliuotos patalpos žemėlapis pavaizduotas 1 a pav. Atlikus sukurto programos kodo bandymus, pagal sonaro duomenis buvo sudarytas dvimatis (2D) patalpos žemėlapis (žr. 1 b pav.). Robotui atliekant manevrą iš gautų duomenų buvo sudaryta laiko diagrama (2 pav.), kurioje atvaizduoti sonarų duomenys kliūties aptikimo ir manevro atlikimo metu.

Sudarytame roboto dvimačiame žemėlapyje (1 b pav.) juoda spalva žymi mobilaus roboto judėjimo trajektoriją, o šviesiai pilka spalva žymimos sonarų aptiktos kliūtys. Gautą žemėlapį palyginus su sumodeliuotuoju matomi tam tikri netikslumai. Netikslumai atsiranda todėl, kad mobilaus roboto sonarai kliūtis mato tam tikru kampu, kuris priklauso nuo jų išdėstymo aplink robotą. Kita problema kodėl robotas ne iki galo tiksliai atvaizduoja visas sienas yra ta, kad vienos kliūtys užstoja kitas. Robotui sukantis sonarai duomenų nepateikia,



a

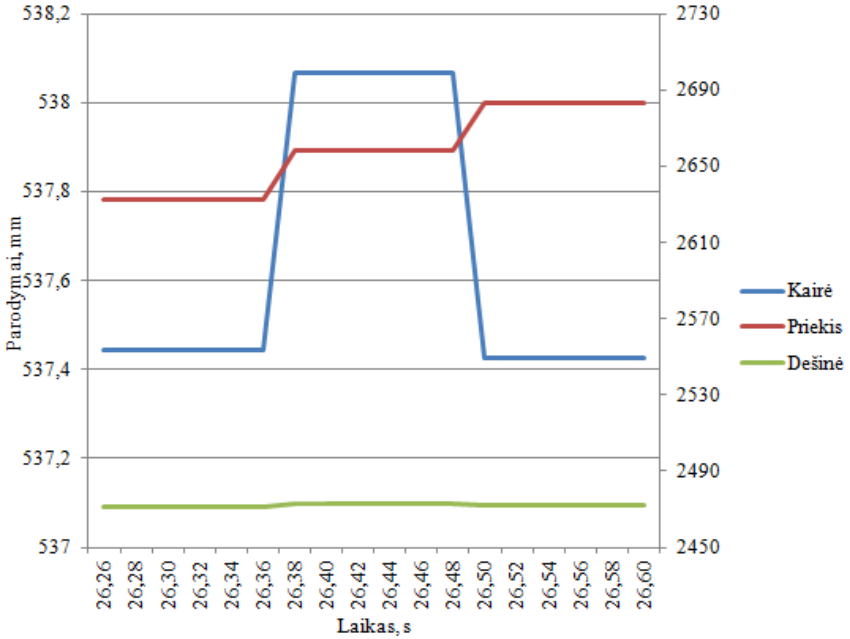


b

1 pav. Sumodeliuota patalpa (a) bei mobilaus roboto sudarytas 2D žemėlapis ir roboto judėjimo trajektorija (b)

todėl mobiliam robotui pasisukant 90° laipsnių kampu, gaunami kliūtis žyminčių linijų trūkiai. Kai kurios linijos roboto sudarytame žemėlapyje yra storesnės. Taip yra dėl to, kad jos buvo aptiktos du kartus, su nedideliais skirtumais. Robotui įveikus patalpą kelis kartus, žemėlapis tikslinamas.

Vertinant kelių patalpos įveikimų duomenis, matyti, kad roboto trajektorijos atsikartojamumas yra 98-99%. Paklaida atsiranda todėl, kad sieną po posūkio roboto sonarai per 1 mm mato aukščiau ar žemiau. Paklaidos atsiradimo priežastis – skirtinga roboto padėtis pradedant maršrutą.



2 pav. Sonarų duomenys. Kairėje diagramos pusėje esančioje *y* ašyje atidedami kairės pusės sonaro parodymai, o dešinėje diagramos pusėje – priekinio ir dešinės pusės sonarų parodymai

Iš patalpos žemėlapio eksperimentui paimta viena kliūtis ir iš tuo metu imituotų sonarų duomenų nubraižyta laiko diagrama. Joje matomi kairės dešinės pusės bei roboto priekyje įrengtų sonarų parodymų pokyčiai, susiję su aplinkoje esančiomis kliūtimis. Diagramoje atvaizduojamas roboto judėjimas link kliūties (t. y. 26,36 s ir 26,48 s)ir pasisukus nuo jų (26,38 s ir 26,50 s).

Nagrinėjant kairės pusės sonaro duomenis, matomas pakilimas nuo 26,36 s iki 26,48 s. Tai reiškia, kad robotas aptikdamas kliūtį sustojo ir pasisuko. Kaip jau minėta anksčiau, pasisukimo metu sonarai nepateikia duomenų. Roboto pasisukimas matomas diagramose laiko intervaluose nuo 26,36 s iki 26,38 s ir nuo 26,48 s iki 26,50 s. Robotui važiuojant toliau, atsinaujina sonarų duomenų generavimas. Taigi, diagramoje nuo 26,38 s iki 26,48 s matomas pakilimas sonaro duomenyse yra susijęs su atliekamu manevru, o ne su informacija apie kliūtis. Dešinės pusės sonaro duomenyse taip pat diagramoje matomas nežymus pakilimas, nuo 26,36 s iki 26,48 s. Kaip ir kairės pusės sonaro laiko diagramoje, taip ir čia, sonaro duomenų keitimasis yra susijęs su atliekamu manevru, o ne su kliūtimi. Priekinio sonaro duomenų diagrama skiriasi nuo kitų dviejų. Taip yra todėl, kad atliekant manevrą, t. y.

apvažiuojant kliūtį, atstumas tarp roboto priekinio sonaro ir jo kitos aptinkamos kliūties keičiasi.

4. Išvados

1. „Mapper3Basic“ programa sumodeliuotas žemėlapis buvo sėkmingai įkeltas į roboto imitatoriaus programą „MobileSim“. Šis žemėlapis ir roboto imitatorius buvo sėkmingai panaudoti kuriant, tiriant ir derinant roboto valdymo programą bei žemėlapio sudarymo algoritmą.
2. Sumodeliuotas žemėlapis ir roboto sukurtas žemėlapis skiriasi: roboto sukurtame žemėlapyje matomi trūkiai kliūtis žyminčiose linijose. Tam kad šio netikslumo butų išvengta, reikalingas valdymo programos tobulinamas.
3. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad roboto trajektorijos atsikartojamumas yra 98-99 %. Atlikus analizę buvo nustatyta, kad paklaida atsiranda dėl skirtingos roboto padėties pradedant trajektoriją dar kartą.

Literatūra

1. Visagaliai mažieji robotai: ant žemės, vandenyje, ore ir kosmose. Prieiga per internetą: < http://www.mokslofestivalis.eu/mokslo-naujienos/visagaliai-mazieji-robotai-ant-zemes-vandenyje-ore-ir-kosmose-608 > [žiūrėta 2013-10-04].
2. Mintimis valdomas robotas – invalido vežimėlis. Prieiga per internetą: < http://www.technologijos.lt/n/mokslas/zmogus_ir_medicina/straipsnis?name=straipsnis-7357 > [žiūrėta: 2013-10-10].
3. Programavimas C/C++. Prieiga per internetą: < http://www.coderland.lt/programavimas-c-cpp > [žiūrėta: 2013-10-15].
4. **Blonskis J.**, **Bukšnaitis V.**, **Jusas V.**, **Marcinkevičius R.**, **Rubliauskas D.** Programavimas C++. – Kaunas: Technologija, 2005. – 446 p. ISBN 9955-09-906-2.
5. Aria. Prieiga per internetą:< http://robots.mobilerobots.com/wiki/Aria > [žiūrėta: 2013-11-04].
6. **Bräunl T.** Embedded robotics – mobile robot design and applications with embedded systems. Third Edition. – Springer - Verlag Berlin Heidelberg 2008. – 541 p. ISBN 978-3-540-70533-8.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

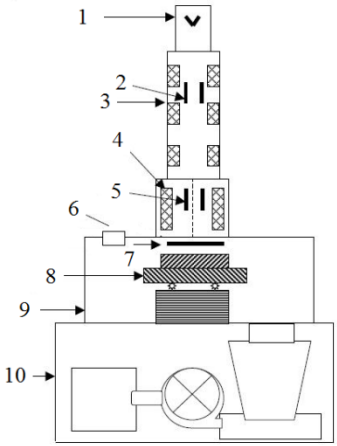
INTERFEROMETRINIO LAZERIO SPINDULIO KALIBRAVIMAS NAUDOJANT VAIZDŲ ATPAŽINIMĄ

A. Zaleckis, G. Vanagas
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: lazerio kalibravimas, vaizdų apdorojimas.

1. Įvadas

Dauguma nanotechnologijoje naudojamų matavimo ir gamybos įrenginių galimybes riboja šviesos bangos ilgis, kadangi stebint ar gaminant mažesnius negu bangos ilgis objektus yra ryškūs nepageidaujami kraštiniai efektai. Vienas iš būdų kaip to išvengti yra vietoj šviesos naudoti elektronų pluoštą. Tai leidžia gauti geresnę skiriamąją gebą ir tikslumą lyginant su



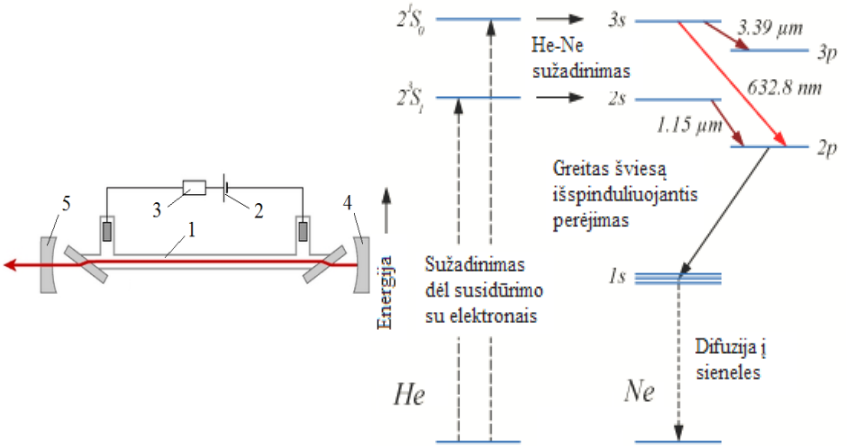
1 pav. Tipinės elektronų pluošto litografijos sistemos struktūrinė schema: 1 – elektronų patranka; 2 – epindulio uždarymo plokštelės; 3 – elektroninė/optinė kolona; 4 – galinis lęšis; 5 – spindulio atlenkimo plokštelės; 6 – elektronų detektorius; 7 – apkrovos sklendė; 8 – X/Y staliukas; 9 – vakuuminė kamera; 10 – vakuuminė sistema

elektronine litografija. Elektroninė litografija jau ilgą laiką yra naudojama kuriant puslaidininkių gamybos technologijas.

Elektroninės litografijos įrenginio struktūrinė schema pavaizduota 1 pav. Gera skiriamoji geba gaunama dėl mažų sufokusuoto elektronų pluošto matmenų [1]. Dažniausiai elektroninės litografijos įrenginiuose, kaip ir elektroniniuose mikroskopuose (SEM) naudojamas apvalios formos elektronų pluoštas. Tokiose sistemose elektronų pluoštas yra fokusuojamas į kaip galima mažesnį plotą, kurį riboja optika ir valdymo galimybės. Elektronų pluoštu nuosekliai yra eksponuojami atskiri taškai, tai leidžia gauti didesnę skiriamąją gebą ir ekspozicijos lankstumą lyginant su šviesos litografija. Srovės pasiskirstymas elektronų pluošte yra artimas Gauso dėsniui ir taškai norint išgauti smulkias detales perdengiami. Nuoseklios ekspozicijos pagrindinis trūkumas yra mažas greitis, ypač jeigu reikia eksponuoti didelius plotus.

Elektroninė litografija leidžia pasiekti nanometrų eilės eksponavimo tikslumą. Tačiau eksponuojant didelius plotus atskirų eksponavimo segmentų suderinimo kontrolei ir matavimams reikalingos papildomos didelio tikslumo priemonės, kurių realizavimui naudojami lazeriai.

Didelio tikslumo reikalaujančioje interferometrinėje matavimų technikoje dažniausiai yra naudojami nepertraukiamame rėžime dirbantys 632,8 nm raudonos spalvos helio-neono (He-Ne) lazeriai (2 pav.). Šio tipo lazeriai pasižymi gera spindulio kokybe ir yra labiau tinkami preciziniams matavimams negu puslaidininkiniai lazeriai. Čia lazerio spindulio kokybė

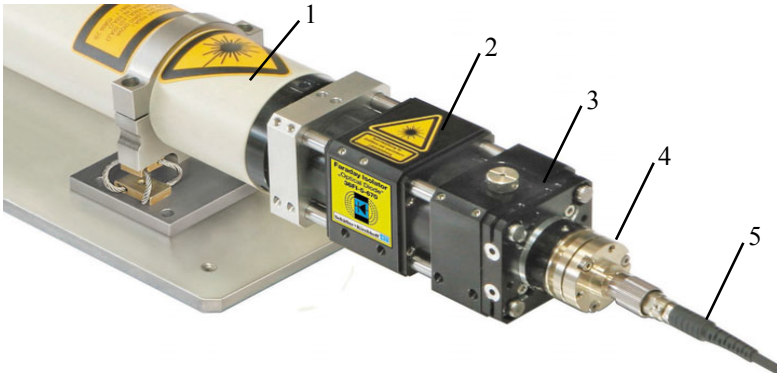


2 pav. He-Ne lazerio struktūrinės schema ir energetinė He-Ne dujų mišinio diagrama: 1 – stiklinis vamzdelis užpildytas He-Ne dujomis; 2 – aukštos įtampos (1...1,4 kV) šaltinis; 3 – varža lazerio galingumo reguliavimui; 4 – veidrodis; 5 – pusiau skaidrus veidrodis

suprantama, kaip tikslumas, kuriuo gali būti sufokusuotas lazerio spindulys, esant tam tikriems apribojimams, pavyzdžiui esant užduotam tam tikram spindulio sklaidos kampui.

Šio tipo lazerių aktyvioji terpė yra He ir Ne dujų mišinys, užpildantis elektrinio išlydžio vamzdelį. Vamzdelis su dujų mišiniu įdedamas į optinį rezonatorių. He dujos atlieka pagalbinį Ne atomų žadinimo vaidmenį. Išlydžio metu sužadinami He atomai, t. y. jie perkeliami į metastabilius lygmenis 2^3S_1 ir 2^1S_0. Sužadinti He atomai, susidurdami su pagrindinėje būsenos Ne atomais, perduoda jiems savo energiją. Įgiję energijos Ne atomai pereina į 3s ir 2s lygmenis. Yra leistini kvantiniai šuoliai iš būsenas s atitinkančių lygmenų į p lygmenis. Lazerinė spinduliuotė gaunama Ne kvantinių šuolių tarp lygmenų 4s ir 3p, 3s ir 2p bei 2s ir 2p metu.

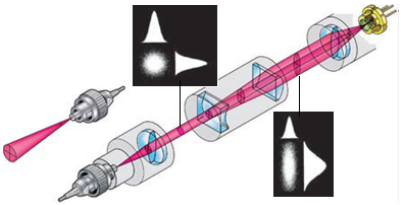
Intensyviausi iš jų pavaizduoti 2 pav. Šiuos kvantinius šuolius atitinka $\lambda = 3{,}39$ μm, $\lambda = 632{,}8$ nm (labiausiai naudojamas bangos ilgis) ir $\lambda = 1{,}15$ μm bangos ilgių spinduliuotės.



3 pav. He-Ne lazerio ir šviesolaidžio sujungimo schema: 1 – He-Ne lazeris; 2 – Faradėjaus izoliatorius (optinis diodas); 3 – optinis ateniuatorius-kolimatorius; 4 – lazerio spindulio ir vienmodžio (SM) šviesolaidžio sujungėjas; 5 –vienmodis šviesolaidis

Lazerio spindulys į elektroninės litografijos įrenginį perduodamas šviesolaidžiu. Prieš tai jis turi būti fokusuojamas, kalibruojamas ir justuojamas. Viena iš standartinių tokios adaptacijos realizacijų parodyta 3 pav. [3]. Šiame pav. He-Ne lazerio (1) ir šviesolaidžio (5) sujungimo sistemą sudaro Faradėjaus izoliatorius (2), kuris praleidžia šviesą tik viena kryptimi, tokiu būdu eliminuodamas trikdžius dėl atspindžių. Faradėjaus izoliatoriaus veikimo principas pagrįstas magnetinio lauko įtaka šviesos poliarizacijai. Optinis kolimatorius-ateniuatorius (3) yra optinis prietaisas lygiagretiems šviesos spinduliams gauti ir spindulio intensyvumui reguliuoti. Lazerio spindulio ir

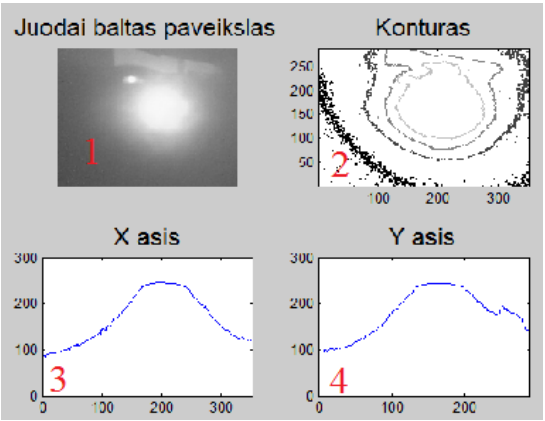
vienmodžio (SM) šviesolaidžio sujungėjas (4) yra precizinis optomechaninis įrenginys su reguliavimo elementais skirtas lazerio spindulio ir šviesolaidžio suderinimui. Lazerio derinimo procedūra detaliai aprašoma [4]. Vienas iš lazerio derinimo kriterijų, apvalios formos, turinčios Gauso pasiskirstymą spindulio šviesolaidžio įėjime gavimas (4 pav.). Šiame darbe nagrinėjamos šios procedūros automatizavimo ir lazerio kalibravimo galimybės pasinaudojant vaizdų atpažinimo technika.



4 pav. Spindulio formos kitimas lazerio ir šviesolaidžio sujungimo įrenginyje

2. Lazerio kalibravimo galimybių panaudojant vaizdų atpažinimą tyrimas

Tyrime buvo naudojama WEB kamera "Logitech 960-000636" [6]. Kamera turi fotoaparato prijungimo galimybę. Nuotraukų skiriamoji geba iki 3,0 mega taškų (px), vaizdo įrašymas iki 1280×720 taškų (px). Programinė įranga „Logitech Vid ™ HD".

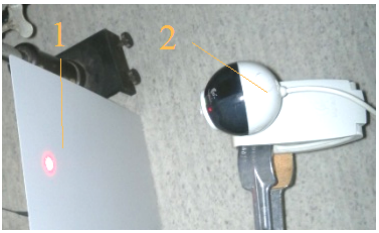


5 pav. Spindulio vaizdo apdorojimo programos langas: 1 – spindulio vaizdas; 2 – spindulio vaizdo 2D ryškumo grafikas; 3 – spindulio pjūvis *X* ašies kryptimi (*Y* skalėje ryškumas); 4 – spindulio pjūvis *Y* ašies kryptimi (*Y* skalėje ryškumas)

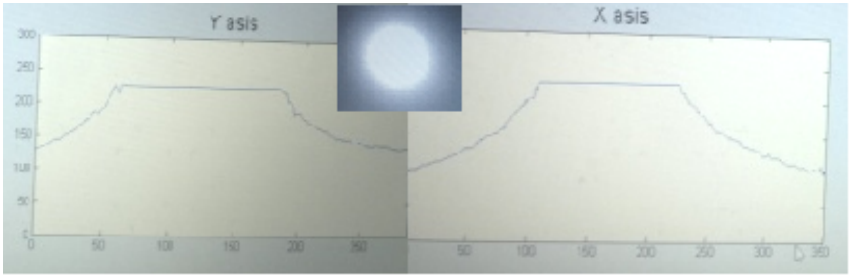
Kameros vaizdų apdorojimui realiame laike naudota MATLAB programinė įranga. Matlab sistema naudojama skaičiavimams automatizuoti daugelyje mokslo ir technikos sričių. Ši sistema pastoviai atnaujinama įvairiais taikomųjų programų paketais, skirtais duomenų surinkimui, signalų analizei, vaizdų apdorojimui ir kitais įrankiais reikalingais aktualių problemų sprendimui. Gaunamo iš video kameros vaizdo apdorojimui realiame laike MATLAB aplinkoje parašyta programa (5 pav.). Programos vaizdų apdorojimo sparta 10 kadrų/s.

Išeinantis iš lazerio spindulys buvo atjungtas nuo šviesolaidžio ir nukreiptas į šviesaus popieriaus lapą. Gautas atspindys registruojamas video kamera (6 pav.).

Gautas lazerio spindulio vaizdas ir jo profiliai pateikti 7 pav. Kadangi kamera gali išskirti ne daugiau kaip 256 ryškumo gradacijas, gauti pjūviai X ir Y ašių kryptimis yra apriboti. Kad šio efekto būtų išvengta priešais kamerą reikėtų naudoti šviesos ryškumą ribojančius filtrus, eksperimentai su jų parinkimu bus tęsiami šio tyrimo apimtyje.



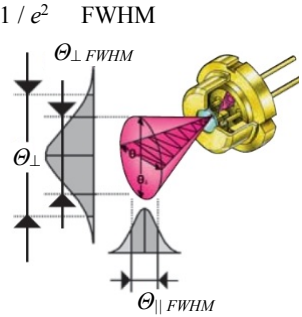
6 pav. Lazerio spindulio registravimas video kameros pagalba: 1 – lazerio spindulys; 2 – video kamera



7 pav. Gautas lazerio spindulio vaizdas ir jo profiliai

Iš kitos pusės lazerio spindulio kokybė įėjime į šviesolaidį gali būti įvertinta sklaidos X ašies kryptimi ir Y ašies kryptimi sandauga $\Theta_{\perp} \times \Theta_{||}$ (8 pav.), šis dydis matuojamas $1/e^2$ intensyvumo lygyje (13,5%) arba

sandauga $\Theta_{\perp FWHM} \times \Theta_{\parallel FWHM}$, kada lazerio spindulio sklaida matuojama 50% intensyvumo lygyje (FWHM: *full width at half maximum* – angl.). Šis parametras gali būti apskaičiuojamas ir esant spindulio intensyvumo apribojimui.



8 pav. Lazerio spindulio kokybės

3. Išvados

1. Pasirinktas kalibravimo metodas pasitelkiant vaizdų atpažinimo techniką gali būti pritaikytas lazerio kalibravimo procedūros atskirų operacijų automatizavimui ir vizualizavimui. Metodiką taip pat galima pritaikyti lazerio spindulio kokybės įvertinimui realiame laike.
2. Tikslinga atlikti papildomą tyrimą, kad išsiaiškinti galimybę naudoti šviesos intensyvumą mažinančius filtrus, kad išvengti gaunamo šviesos spindulio vaizdo ribojimo.

Literatūra

1. **P. Rai-Choudry.** Handbook of Microlithography, Micromachining and Microfabrication, Volume 1: Microlithography, SPIE, 1997.
2. Helium-neon Lasers. Prieiga per internetą: < http://www.rp-photonics.com/helium_neon_lasers.html > [žiūrėta: 2013-11-05].
3. **Federau G., Knothe Ch., Oechsner U., Polze S.** HeNe-Laser mit polarisationserhaltender Faseroptik. Photonic, 2007. p. 53-56.
4. Launching a Laser Beam into a Singlemode Fiber with the 60SMS-... Laser Beam Coupler. Prieiga per internetą: < http://www.sukhamburg.com/pdf/CouplingSMS.pdf > [žiūrėta: 2013-11-05].
5. Logitech. Prieiga per internetą: < http://www.logitech.com/pl-pl/%20webcam-communications/webcams/devices/7079%20www# > [žiūrėta: 2013-11-05].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

TRIJŲ LAISVĖS LAIPSNIŲ PARALELINIO ROBOTO MODELIAVIMAS

G. Puzas, A. Česnulevičius
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: paraleliniai robotai.

1. Įvadas

Poreikai pramoniniams robotams didėja be perstojo [1]. Tai paspartino automatizavimo poreikis, kuriam reikia aukštesnių reikalavimų pernešimo tikslumui, patikimumui. Tokio poreikio pavyzdžiai yra aukštesnio tikslumo surinkimas, greitesnis produkto perkėlimas iš vienos vietos į kitą, tikslesni apdoroto paviršiaus matmenys. Atlikti paminėtas ar panašias užduotis gali būti naudojami paraleliniai robotai, kurie turi aukštą pozicionavimo tikslumą, didelį greitį.

Šiuo metu pramonėje naudojami pramoniniai robotai skiriasi savo konstrukcija, laisvės laipsnių skaičiumis, keliamąja galia ir t.t. Šiame darbe yra nagrinėjami paraleliniai robotai. Sekančiuose skyriuose yra supažindinama su šio tipo robotų klasifikacija, jų techninėmis charakteristikomis. Taip pat yra pateikiamas projektuojamo paralelinio roboto modelis.

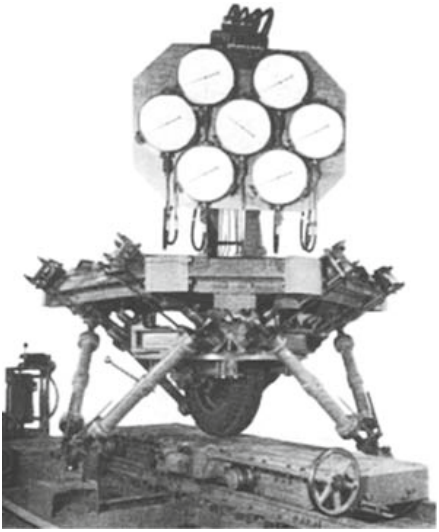
2. Paraleliniai robotai

Paraleliniai robotai paprastai susideda iš dviejų platformų: viena stacionari, o kita – judanti (1 pav). Judančios platformos valdymui, priklausomai nuo roboto konstrukcijos, naudojama nuo 2 iki 6 (dažniausiai) pavarų. Teoriškai gali būti net 8 pavaros. Gali būti naudojamos tiek sukamojo, tiek slenkamojo tipo pavaros.

Paraleliniai robotai yra sutinkami daugelyje sričių, tokių kaip lėktuvo ar transporto priemonių simuliatoriai, medicina, mikrorobotai ir kt. Paraleliniai robotai taip pat naudojami aukšto tikslumo staklių gamyboje. Juos naudoja tokios kompanijos kaip Giddings & Lewis, Ingersoll, Hexel, Geodetic ir Toyoda, ir kitos [1].

2 pav. parodytas Hexapod robotas yra vienas iš sėkmingų pritaikymo pavyzdžių.

1 pav. Paralelinis robotas [1]



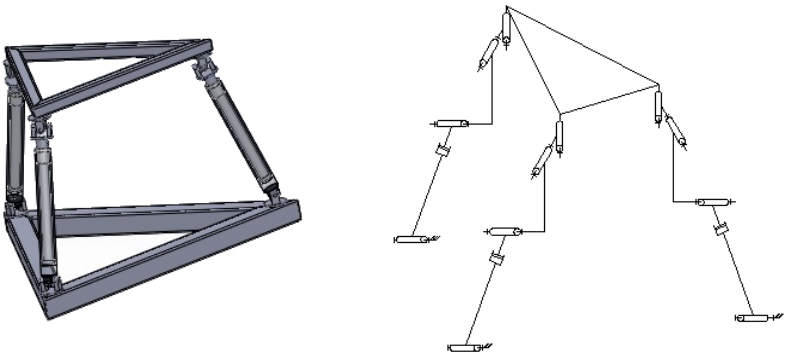
2 pav. Hexapod bandymo stendas [2]

Šis robotas buvo pritaikytas kaip bandymo stendas (žr. 2 pav.), norint nustatyti padangų ypatybes, veikiant skirtingoms apkrovoms. Šis robotas sėkmingai buvo naudojamas nuo 1954 iki 2000 metų.

Šio tyrimo tikslas yra suprojektuoti ir atlikti trijų laisvės laipsnių paralelinį robotą. Projektuojamas robotas galėtų būti naudojamas kaip simuliatorius, pavyzdžiui, žaidžiant kompiuterinius žaidimus ar tobulinant vairavimo įgūdžius.

3. Paralelinio roboto modelis ir jo tyrimai

Tiriamo roboto 3D modelio (3 pav.) sudarymui naudojama SolidWorks programa. Projektuojamas paralelinis robotas gali būti naudojamas kaip simuliatorius, todėl reikia ištirti konstrukcijos dinamines savybes.



a b

3 pav. Paralelinio roboto modelis (a) ir kinematinė schema (b)

Roboto pagrindui panaudotas plieninis kvadratinis 70×70×3 vamzdis. Siekiant vienodų dinaminių roboto savybių visomis kryptimis pagrindo forma lygiašonis trikampis.

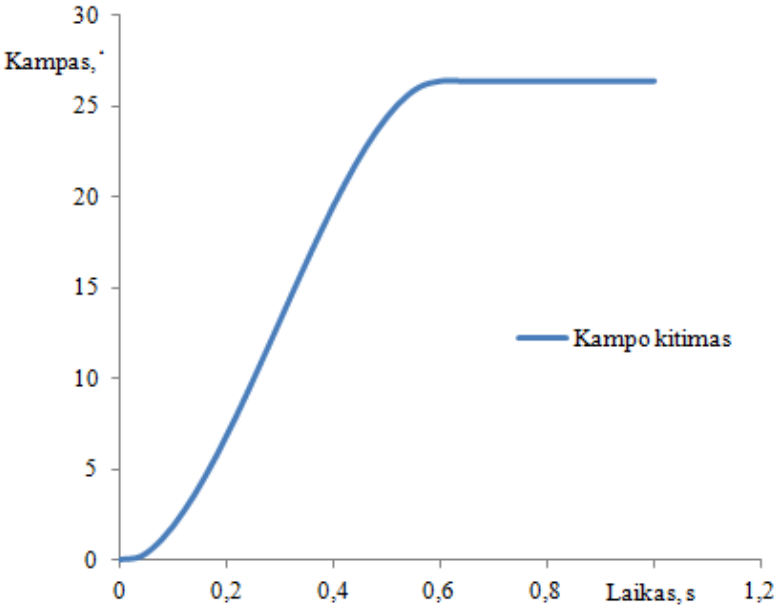
Judanti platforma sudaryta iš plieninio kvadratinio 40×40×3 vamzdžio. Platformos forma analogiška pagrindui, t.y. lygiakraštis trikampis, tačiau mažesnis.

Judančią platforma su pagrindu jungia 3 identiški hidrauliniai cilindrai (HK HFRT2 30 250), kuriuos su pagrindu jungia šarnyrinis sujungimas, o su judančia platforma – kryžminis.

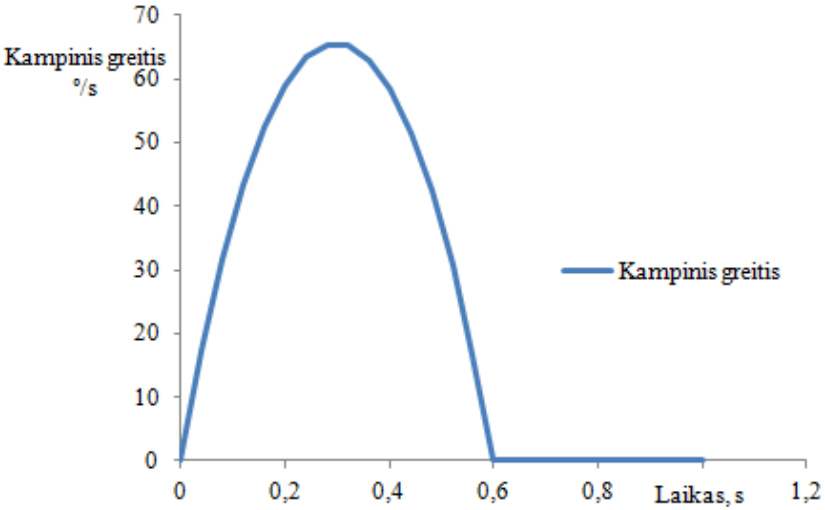
Sudaryto paralelinio roboto modelio analizė atliekama, naudojama SolidWorks priedas SolidWoks Motion. Modeliavimui bus naudojamos ribinės apkrovos bei greičiai:

- greitis 0,25 m/s (maksimalus hidro cilindro greitis);
- apkrova 250 kg (120 kg žmogus + 130 simuliatoriaus įranga).

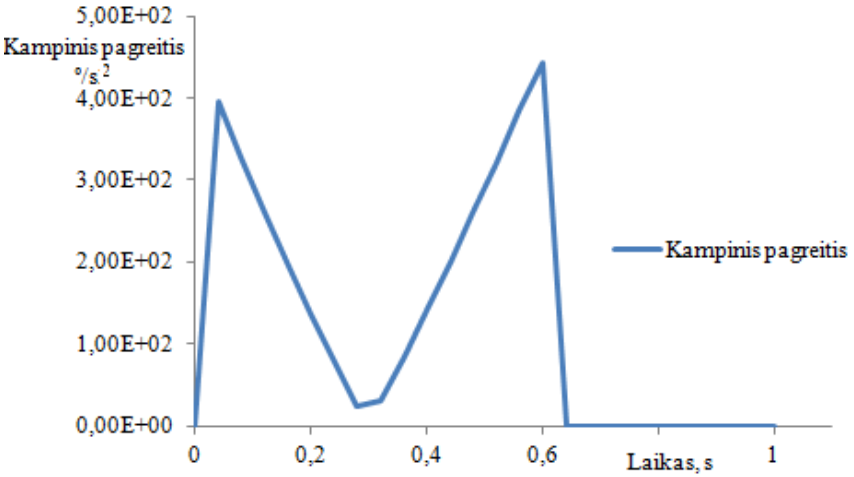
Gauti poslinkio, greičio bei pagreičio kitimo grafikai pateikti 4, 5 ir 6 paveiksluose.



4 pav. Judančios platformos kampo kitimas pagrindo atžvilgiu



5 pav. Judančios platformos kampinis greitis pagrindo atžvilgiu



6 pav. Judančios platformos kampinis pagreitis pagrindo atžvilgiu

Svarbiausi duomenys yra kampiniai pagreičiai nuo kurių priklauso inercijos jėgos, kurios turi didelę įtaką konstrukcijos stiprumui, bei žmogui. Išanalizavus kampinių poslinkių grafiką matyti, kad maksimalus viršutinės roboto plokštės pasvyrimo kampas yra 26°. Iš viršutinės plokštės kampinių greičių kitimo grafiko matyti, kad maksimalus plokštės svyravimo greitis pasiekiamas 0,3 judėjimo sekundę. Kampinių pagreičių kitimo grafiko analizė parodė, kad maksimalios konstrukciją bei žmogų veikiančios apkrovos pasireikš ~0,1 ir ~0,6 judėjimo ciklo sekundę.

4. Išvados

1. Atlikus kinematinę analizę gauta, kad maksimalus pasirinktos konstrukcijos viršutinės plokštės pasvyrimo kampas yra 26°.
2. Maksimalus kampinis pagreitis pasiekiamas 0,63 judėjimo ciklo sekundę. Tai ribinė reikšmė prie kurios konstrukciją veikia maksimalios apkrovos.

Literatūra

1. **Dan Zhang.** Parallel RoboticMachine Tool. 2010, p. 1-17. ISBN 978-1-4419-1116-2.
2. **Merlet J. P.** Parallel Robots. 2006, p. 31-39. ISBN-10 1-4020-4132-2.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

PLAZMINIO PJOVIMO PROCESO TECHNOLOGINIŲ PARAMETRŲ TYRIMO METODIKA

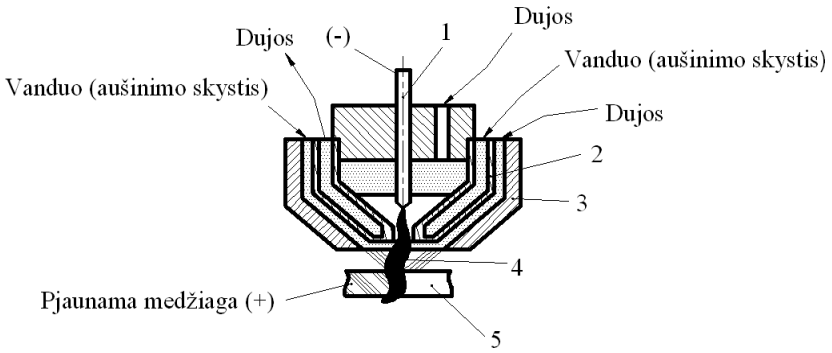
A. Dambrauskas, J. Bareišis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: plazma, plazminis pjovimas, rekomenduojamas pjovimo greitis.

1. Įvadas

Plazma – tai dujos, susidedančios iš teigiamai ir neigiamai įelektrintų dalelių. Šių dalelių proporcija yra tokia, kad bendras krūvis būtų lygus nuliui. Įelektrintas daleles veikia elektrinis laukas. Plazma yra laidi elektros srovei. Kuo didesnis plazmos jonizacijos laipsnis, tuo plazma laidesnė. Srovę plazmoje veikia magnetinis laukas, kurį sukelia judantys elektros krūviai ir elektros srovė arba magnetiniai dipoliai. Įelektrintos dalelės, veikiamos elektrinio ir magnetinio laukų, greitai lėkdamos, susiduria su neutraliomis dalelėmis, ir visa plazma ima judėti sudarydama srovę, kurios temperatūra – 20000 ... 30000 °C. Plazmą sudarančios dujos gali būti argonas, azotas, vandenilis, jų mišiniai arba oras. Tarp volframinio elektrodo (1) ir varinės tūtos (2) „uždegamas budintis“ lankas, kurį suslėgtos dujos paverčia plazmos srove (4) tarp volframinio elektrodo ir gaminio (5) – 1 pav. Ši srovė metalą lydo, o suslėgtų dujų srovė išlydytą metalą pučia iš pjūvio. Plazminis pjovimas – mažiau žinomas, tačiau daugeliu atvejų žymiai efektyvesnis metalo apdirbimo būdas nei kiti. Toks pjovimas palyginus su kitais pjovimo metodais (elektroerozinis, lazerinis) užtikrina didesnį našumą už mechaninį apdirbimą, bet neužtikrina aukšto tikslumo. Daugeliu atvejų išpjautos detalės paviršius būna nelygus, todėl dažniausiai reikalingas dar ir papildomas mechaninis apdirbimas.

Plazminiu lanku pjaunamos iki 30 mm storio metalo plokštės. Pjaunamo lakštinio plieno storis priklauso ir nuo maitinimo šaltinio. Tyrimui naudojamos staklės sujungtas su maitinimo šaltiniu, kurio srovės stipris yra nuo 100 A iki 200 A. Esant poreikiui, galimas ir galingesnių maitinimo šaltinių, kurių srovės stipris 400 A. Lyginant plazminį pjovimą su dujiniu pjovimu, paviršiaus šiurkštumas panašus į dujinį pjovimą, be to, metalo paviršius beveik nesioksiduoja, ypač jei proceso metu naudojamas vandens ekranas.



1 pav. Plazminio-lankinio pjovimo principinė schema: 1 – volframinis elektrodas; 2 – varinė vandeniu aušinama tūta; 3 – įšorinė tūta; 4 – plazmos srovė; 5 – pjaunamas metalas

Darbo tikslas: išnagrinėti plazminio medžiagų pjovimo proceso ypatumus bei aptarti galimą šio pjovimo būdo technologinių parametrų tyrimo metodiką

2. Tyrimo objektas – plazminis medžiagų pjovimas ir jo ypatumai

Plazminio pjovimo procese sukuriamas nuolatinės srovės lankas tarp volframo elektrodo ir detalės. Plazma sukoncentruojama į siaurą didelio greičio, aukštos temperatūros pluoštą siaurame antgalyje (1 pav.). Įvairiems metalams pjauti naudojamos įvairios dujos. Titanas pjaunamas grynu argonu. Angliniai plienai pjaunami azoto „N“ ir deguonies „O“ mišiniu. Plonesnėms plokštėms pjauti parenkama 120 ... 200 V įtampa, o iki 50 mm storio – 400 V. Priklausomai nuo pjaunamos medžiagos ir pjovimo greičio srovė gali būti 70 ... 1000 A [2].

Plazminio apdirbimo būdas pasižymi šiais privalumais:

- didesnis našumas nei mechaninio apdirbimo;
- pjaunant skirtingų storių ruošinius, nereikalinga papildoma įranga (užtenka pakeisti lanko srovės stiprį).
- galimas detalių, kurių storis yra nuo 2 mm iki 30 mm, pjovimas;
- galimas įvairaus sudėtingumo kontūro detalių apdirbimas;
- didelio tikslumo nereikalaujančiuose gaminiuose įmanoma išpjauti skyles, o tai žymiai sutrumpina gamybos procesą, nes jų nebereikia gręžti.

Pagrindiniai apdirbamo gaminio, taikant plazminį pjovimą, kokybę nusakantys parametrai yra šie:

- medžiagos paviršiuje susidariusio šlako kiekis;
- pjūvio statmenumo nuokrypių dydis;

- paviršiaus grublėtumas;
- matmenų tikslumas.

Siekiant užtikrinti reikiamą gaminių kokybę taikant plazminio apdirbimo būdą, iškyla visa eilė techninių problemų:

- tinkamas pjovimo režimų parinkimas;
- reguliarus pjoviklio sudedamųjų dalių (elektrodo, antgalio, gaubto, difuzoriaus) tikrinimas ir keitimas.

3. Plazminio apdirbimo technologijos proceso tyrimo metodika

Šiame tyrimo procese, bus pjaunamos dažniausiai gamyboje naudojamas anglinis plienas S235J2G3 (EN St 37-3), nerūdijantis plienas AISI 304 (1.4301). Tyrimai bus atliekami pjaunant 2, 3, 4, 6, 8, 12, 14 ir 25 mm storio anglinio plieno ir 6, 8, 10 ir 12 mm nerūdijančio plieno storių lakštus. Tyrimai bus atliekami prie įvairių pjovimo greičių, kurie bus gaunami keičiant plazminio pjovimo elektrinius parametrus. Optimalios pjovimo greičių vertės, esant įvairiems pjaunamo metalo storiams, bus nustatomos pagal pjovimo kokybės (paviršių šiurkštumo, geometrinio nuokrypio) parametrus. Gautos pjovimo greičio vertės bus lyginamos su analitiniu būdu apskaičiuotomis vertėmis, naudojant literatūroje pateikiamas formules. Esant nesutapimams, bandysime ieškoti būdų žinomų formulių koregavimui, kad jos tiksliau aprašytų plazminio pjovimo technologinio proceso parametrus minėtiems metalams. Kadangi pjovimo greitis tiesiogiai susijęs su mašininiu laiku, tai bus atliekamas ir pastarojo skaičiavimai.

Apdirbimo plazmos lanku maksimalus rekomenduojamas pjovimo greitis nustatomas atsižvelgiant į medžiagos storį ir plazmos lanko srovę. Geresnė paviršiaus pjūvio kokybė gaunama naudojant mažesnius pjovimo greičius. Pjovimo greičio skaičiavimo formulė (1) buvo gauta eksperimentiniu būdu [1]:

$$v_{pl} = p_1 \, T_s^{\,p_2} \left(p_3 \, L\, n\left(\frac{I}{p_4}\right) + p_5 \right); \qquad (1)$$

čia: v_{pl} – pjovimo greitis, m/min; T_s – lakšto arba plokštės storis, mm; I – plazmos lanko srovė, A; p_1, p_2, p_3, p_4 ir p_5 – konstantos, priklausančios nuo medžiagos ir paviršiaus kokybės.

Skirtingos konstantų p_1, p_2, p_3, p_4 ir p_5 reikšmės yra parenkamos tokios, kad būtų gauta geriausia paviršiaus kokybė ir maksimalus rekomenduojamas pjovimo greitis. Šių konstantų reikšmės skirtingų tipų medžiagoms pateiktos 1 ir 2 lentelėse [1].

Paprastesnė nei (1), rekomenduojamo plazminio pjovimo greičio išraiška angliniams plienams, priklausomai nuo lakšto storio, yra [1]:

$$v_{pl} = 0{,}15\, K \frac{I}{h}; \qquad (2)$$

čia: v_{pl} – pjovimo greitis, m/min; K – pjaunamą medžiagą įvertinantis koeficientas (angliniams plienams $K = 1$; aliuminio lydiniams $K = 0{,}6$; vario lydiniams $K = 0{,}4$; korozijai atspariems plienams $K = 0{,}8$); I – pjovimo srovė, A; h – pjaunamo lakšto storis, mm.

1 lentelė

Duomenys pjovimo greičio (1) apskaičiavimui, kad būtų gauta geriausia paviršiaus kokybė

Medžiaga	Pradūrimo laiko konstanta q_{ps}	Konstantos				
		p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
Anglinis ir legiruotas plienas	0,01	21,9	-0,95	0,52	400	1,00
Nerūdijantis plienas	0,01	108,5	-1,38	0,56	400	1,00
Vario lydiniai	0,01	21,4	-0,95	0,51	400	0,99
Aliuminio lydiniai	0,01	60,0	-1,10	0,53	400	1,00
Magnio lydiniai	0,01	23,3	-0,95	0,52	400	1,07
Titano lydiniai	0,01	23,3	-0,95	0,52	400	1,07
Nikelio lydiniai	0,01	21,4	-0,95	0,51	400	0,99

2 lentelė

Duomenys maksimalaus pjovimo greičio (1) apskaičiavimui

Medžiaga	Pradūrimo laiko konstanta q_{ps}	Konstantos				
		p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
Anglinis ir legiruotas plienas	0,01	37,2	-1,09	0,45	400	1,00
Nerūdijantis plienas	0,01	226,5	-1,55	0,57	400	1,00
Vario lydiniai	0,01	36,2	-1,09	0,51	400	0,99
Aliuminio lydiniai	0,01	91,4	-1,14	0,56	400	1,00
Magnio lydiniai	0,01	39,4	-1,09	0,52	400	1,07
Titano lydiniai	0,01	39,4	-1,09	0,52	400	1,07
Nikelio lydiniai	0,01	36,2	-1,09	0,51	400	0,99

Jei pjovimo maršruto pradžia yra ne nuo lakšto krašto, tai pradinė įpjova pirmiausia turi būti pradurta (pradeginta) ir šis pradūrimo laikas yra išreiškiamas [1]:

$$t_{ps} = \frac{q_{ps}}{v_{pl\,max}}; \tag{3}$$

čia: t_{ps} – pradūrimo laikas, min; q_{ps} – nuo medžiagos priklausantis koeficientas; $v_{pl\,max}$ – maksimalus rekomenduojamas pjovimo greitis, nustatytas pagal (1) formulę, m/min.

Konstantos q_{ps} reikšmės skirtingoms medžiagoms yra vienodos (žr. 1 ir 2 lenteles).

Taigi, plazminio pjovimo operacijos bendras mašininis laikas skaičiuojamas taip:

$$t_{pl} = t_{ps} + \frac{l_w}{v_{pl}}; \tag{4}$$

čia: t_{pl} – bendras plazminio pjovimo laikas, min; l_w – pjovimo kelio ilgis, mm.

Išvados

1. Atlikta plazminio pjovimo technologinio proceso analizė, išryškinant šio proceso ypatumus, t. y. jo privalumus ir trūkumus.
2. Pateikta tyrimams naudojamų plienų markės, jų storiai bei analitiniams skaičiavimams siūlomos plazminio pjovimo greičio, mašininio laiko formulės ir į jas įeinančių konstantų reikšmės.

Literatūra

1. ESAB Lietuva. Prieiga per internetą: < http://www.esab-cutting.net/products/cutting-systems/product/suprarexTM-sxe-big-1.html > [žiūrėta 2013-11-20].
2. Medžiagų pjaustymai modernūs būdai, Profesinio mokimo metodikos centras. 2006. – 57 p.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

ĮTEMPIŲ – DEFORMACIJŲ RYŠIO TEMPIAMUOSE SLUOKSNIUOTUOSE STRYPUOSE TYRIMAS

A. Botyrius, N. Partaukas
Kauno technologijų universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: daugiasluoksniai strypai, ašinis apkrovimas, tampriai plastinis deformavimas.

1. Įvadas

Daugiasluoksniai konstrukciniai elementai sudaryti iš dviejų ir daugiau medžiagų, gaunami kaip vientisi kūnai (toliau DKE). Atsirandant naujoms kompozicinėms medžiagoms vis dažniau yra naudojami DKE. Daugiasluoksnių konstrukcinių elementų visi sluoksniai, išorines apkrovas atlaiko kartu, todėl, lyginant su įprastais vienalyčiais elementais [1]. DKE turi daug didesnį pranašumą, prieš kitas nedaugiasluoksnes medžiagas. Keičiant sluoksnių medžiagą ir tų sluoksnių išdėstymą galima keisti visos konstrukcijos mechanines charakteristikas. Konstruojant DKE iš kelių skirtingų medžiagų, kurios turi skirtingas stiprumo ir standumo charakteristikas, bet ir skirtingą lyginamąjį svorį ir masę, galima didelė konstrukcijų įvairovė su skirtingais parametrais [2]. Bet svarbiausia, jog DKE panaudojimas įgalina sumažinti konstrukcijos kainą, masę, efektyviau panaudoti medžiagas. Norint minėtus privalumus realizuoti praktiškai reikia aiškiai suvokti DKE deformavimo metu vykstančius procesus, žinoti kokie ryšiai sieja konstrukcijos mechanines charakteristikas su elementų geometrija, medžiagų savybėmis Tam reikia turėti metodiką leidžiančią nustatyti poslinkius, deformacijas ir įtempius bet kuriame konstrukcijos taške [3]. Dėl didelės DKE įvairovės, sudėtingumo ir naujumo tokių metodikų nėra daug. Pastaruoju metu vis daugiau šiuolaikinių konstrukcijų yra sudarytos iš kelių naujausių medžiagų, kurios konstrukcijai suteikia būtinas technines, eksploatacines ir darbines savybes. Bendro įvairių medžiagų darbo rezultatas yra tolygus naujos medžiagos sukūrimui, kurios savybės kokybiškai ir kiekybiškai skiriasi nuo kiekvieno komponento savybių. Dauguma šiuolaikinių konstrukcinių medžiagų sudaro kompozicijos, kurios techniniam gaminiui suteikia tam tikrą savybių derinį. Visais atvejais tai skirtingų medžiagų sistema, kurios kiekvienas komponentas turi konkrečią paskirtį gaminyje [4].

Darbo tikslas: pasiūlyti sluoksniuotų tempiamų, gniuždomų strypų skaičiavimo metodiką, leidžiančią sudaryti sluoksniuoto strypo tempimo diagramą, kai turimos sluoksnių medžiagų diagramos.

2. Sluoksniuotų strypų skaičiavimo metodika

Tarkime sluoksniuotą strypą sudaro dvi medžiagos. Veikiant ašinei apkrovai F_C sluoksniuose atsiranda ašinės įražos F_1 ir F_2. Iš statinės pusiausvyros sąlygos:

$$F_C = F_1 + F_2 \,. \tag{1}$$

Tarkime, jog įtempiai kiekviename sluoksnyje pasiskirsto tolygiai, tuomet iš lygties (1):

$$A_C \sigma_C = A_1 \sigma_1 + A_2 \sigma_2 \,; \tag{2}$$

čia: A_C, A_1 ir A_2 – sluoksniuoto strypo ir jo sluoksnių skerspjūvio plotai; σ_C, σ_1 ir σ_2 – vidutiniai normaliniai įtempiai sluoksniuotame strype ir jo sluoksniuose.

Iš pastarosios lygties gauname:

$$\sigma_C = \frac{A_1}{A_1 + A_2}\sigma_1 + \frac{A_2}{A_1 + A_2}\sigma_2 \,. \tag{3}$$

Bendru atveju įtempiai yra netiesinės deformacijų funkcijos:

$$\sigma_i = f_i(\varepsilon_i) \,. \tag{4}$$

Kadangi sluoksnių ašinės deformacijos ε_i yra vienodos:

$$\sigma_C = \frac{A_1}{A_1 + A_2} f_1(\varepsilon) + \frac{A_2}{A_1 + A_2} f_2(\varepsilon) \,. \tag{5}$$

Todėl įtempių deformacijų funkcija daugiasluoksniame strype yra gaunama žinant sluoksnių matmenis ir tempimo diagramas.

3. Tempimo diagramų sudarymas

Anksčiau pateiktos metodikos taikymą pailiustruosime tokiu pavyzdžiu. Imkime sluoksniuotą strypą padarytą iš aliuminio ir plieno. Medžiagų mechaninės charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

Formulė (2) gali būti naudojama, bet kokios formos tempimo diagramą turinčioms medžiagoms (1 pav.)., tačiau skaičiavimams supaprastinti laikysime, kad metalų tempimo diagrama yra laužtinė linija , sudaryta iš dviejų dalių. Jai nubraižyti pakanka dviejų taškų: takumo bei stiprumo deformacijų ir įtempių. Iš 1 lentelės matome, kad mums trūksta tik takumo ribos deformacijų. Jas apskaičiuojame iš Huko dėsnio:

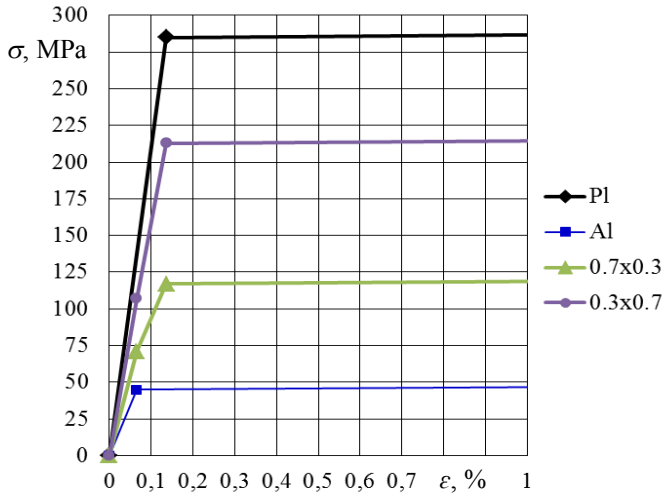
$$\varepsilon_y^{Al} = \frac{\sigma_y^{Al}}{E^{Al}} = \frac{45 \cdot 10^6 \,\text{Pa}}{69 \cdot 10^9 \,\text{Pa}} = 0{,}065\%\,; \qquad \varepsilon_y^{Pl} = \frac{\sigma_y^{Pl}}{E^{Pl}} = \frac{280 \cdot 10^6 \,\text{Pa}}{205 \cdot 10^9 \,\text{Pa}} = 0{,}136\%\,. \quad (6)$$

Sluoksniuoto strypo tempimo diagrama turės tiek lūžio taškų kiek yra nesutampančių sluoksnių medžiagų takumo ir irimo deformacijų [5]. Šiuo atveju keturios (2 pav.). Skaičiavimai atliekami analogiškai kaip pateikti (5) lygtyje. Rezultatus pateikiame 2 lentelėje.

1 lentelė

Sluoksniuoto strypo medžiagų mechaninės charakteristikos [6, 7]

Medžiaga	Takumo riba σ_y, MPa	Stiprumo riba σ_u, MPa	Trūkimo deformacija ε_u, %	Tamprumo modulis E, GPa
Aliuminis 1350-H112	45	62	10	69
Plienas AISI 1006	280	330	20	205

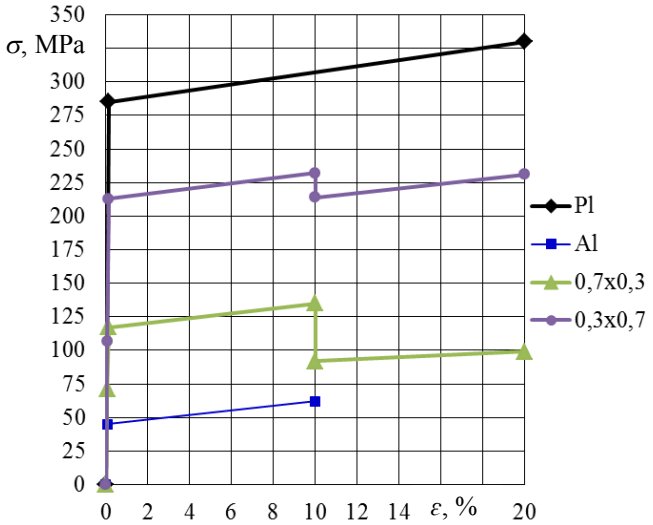


1 pav. Sluoksniuoto strypo tempimo diagrama

2 lentelė

Sluoksniuoto strypo tempimo diagramos charakteringieji taškai

Medžiaga	Vidutiniai įtempiai esant įvairioms deformacijoms, MPa			
	ε_y^{Al}, %	ε_y^{Pl}, %	ε_B^{Al}, %	ε_B^{Pl}, %
Al × Pl 0,7 × 0,3	0,7·45 + + 0,3·133 = 71	0,7 45 + + 0,3·285 = = 117	0,7·62 + + 0,3·305 = = 135 (92)	0,7·0 + + 0,3·330 = = 99
Al × Pl 0,3 × 0,7	0,3·45 + + 0,7·133 = = 107	0,3 45 + + 0,7·285 = = 213	0,3·62 + + 0,7·305 = = 232(214)	0,3·0 + + 0,7·330 = = 231



2 pav. Sluoksniuoto strypo tempimo diagrama, turint jos sluoksnių medžiagų nutrūkimo jėga

4. Išvados

1. Darbe pasiūlyta analitinė metodika leidžianti sudaryti sluoksniuoto strypo tempimo diagramą turint jos sluoksnių medžiagų tempimo diagramas.
2. Pasiūlyta metodikos taikymas pademonstruotas sudarant tempimo diagramas sluoksniuotam strypui. Strypas pagamintas iš aliuminio ir plieno su skirtingais medžiagų kiekiais konstrukcijoje. Naudoti du skirtingi medžiagų santykiai konstrukcijoje pagal tūrį 0,30:0,70 ir 0,70:0,30.

Literatūra

1. **Bareišis J.** Plastikų, kompozitų ir daugiasluoksnių konstrukcinių elementų stiprumas. Kaunas: Technologija, 2006. – 252 p.
2. **Bareišis J., Kleiza V.** Calculation of stretched multilayer bars under elastic and plastoelastic deformation // Proceedings of international conference Mechanika-2001. Kaunas: KTU, Technologija, 2001. p. 254-259.
3. **Bareišis J., Paulauskas V.** Daugiasluoksnių kompozicinių konstrukcinių elementų projektavimas. Mokomoji knyga. – Kaunas, 1995. – 48 p.
4. **Bražėnas A.** Tamprumo ir plastiškumo teorijų pagrindai. – Šiauliai, 2003. – 193 p
5. **Partaukas N., Bareišis J.** Patikslinta tempiamų-gniuždomų strypų skaičiavimo metodika. Journal of Young Scientists (Jaunųjų mokslininkų darbai), issue: 2(13) / 2007, pages: 113-118, on. Prieiga per internetą: < www.ceeol.com > [žiūrėta 2013-1015].
6. MatWeb. Material Property Data. Aluminum. Prieiga per internetą: < http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=6ff3f965352a40d3bb4361bc509d57fe > [žiūrėta 2013-10-07].
7. MatWeb. Material Property Data. AISI 1006 Steel, cold drawn. Prieiga per internetą: < http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=9d1e943f7daf49ef92e1d8261a8c6fc6 >[žiūrėta 2013-10-07].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

GUDRONATORIAUS PURKŠTUKŲ DEBITO TYRIMAS

Ž. Šlekis, D. Garuckas
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: emulsija, debitas, purkštukas, gudronatorius.

1. Įvadas

Prieš daugelį metų akcinė bendrovė „Panevėžio keliai“ įsigijo gudronatorių, kurio paskirtis išpurkšti emulsiją ant šiurkštinamo kelio paviršiaus. Keičiantis kelių remonto reikalavimas ir didėjant įmonės darbų įvairovei, įrenginys pradėjo nebeatitikti jam keliamų reikalavimų. Įmonei reikėjo apsispręsti ar įrenginį nurašyti ar modifikuoti. Įrenginys yra geros techninės būklės, todėl nuspręsta įrenginį modifikuoti. Kadangi gudronatoriaus gamintojas bankrutavo, o kitų gamintojų purkštukai netinka, teko rinktis: keisti visą išpurškimo sistema ar gamintis purkštukus patiems. Įpurškimo sistemos keitimas reikalauja didelių investicijų, todėl buvo nuspręsta gaminti purkštukus patiems.

Darbo tikslas: išsiaiškinti emulsijos išpurškimo normas, pasidaryti gudronatoriaus purkštukų bandymo stendą ir susidaryti gudronatoriaus purkštukų debito tyrimo metodiką.

2. Emulsijos išpurškimo reikalavimai tiesiant ir remontuojant kelius

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie susisiekimo ministerijos yra nustačiusi tam tikriems kelio darbams emulsijos išpurškimo normas (1 lentelė).

Iš 1 lentelės matyti, kad paviršiaus apdorojime naudojamos skaldelės kiekis ir frakcija įtakoja išpurškiamos emulsijos kiekį, jei emulsijos kiekis bus per mažas, tai skaldelė neprilips ir nubyrės nuo pagrindo, o jei kiekis bus per didelis, tai skaldelė paskęs emulsijoje ir pradės lipti prie automobilio ratų, o pagrindas taps slidus. Kai emulsija naudojama surišti asfalto sluoksniams, jos išpurškimas turi taip pat atitikti Lietuvos automobilių kelių direkcija prie susisiekimo ministerijos nustatytas emulsijos išpurškimo normas (1 lentelė). Jei emulsijos norma bus per maža tai atsalto sluoksniai nesusiriš, o jei bus išpurškiamas emulsijos kiekis per didelis, tai emulsija iškils į paviršių per asfalto sluoksnį, ir kelias palieka labai slidus. Išpurkštas per didelis emulsijos kiekis taip pat ekonomiškai nenaudingas, jis padidina objekto savikaina.

Emulsijos pagrindas yra sudarytas iš vandens ir bitumo. Nuo emulsijos sudedamųjų dalių santykio, keičiasi ir emulsijos darbinės savybės (2 lentelė).

1 lentelė

Emulsijos išpurškimo normos [3]

Rišiklio rūšis ir tipas	Dalinis sluoksnis	Rišiklio norma kg/m^2	Atitinkamos frakcijos skaldelės norma kg/m^2		
			2/5	5/8	5/7
1. Vienasluoksnis paviršiaus apdaras (VPA)					
Bituminė emulsija C67B4-PA, C69B4-PA		1,8–2,3	–	–	12–18
Polimerais modifikuota bituminė emulsija C69BP4-PA, C70BP4-PA		1,5–2,0	–	11–17	–
		1,2–1,6	9–14	-	–
2. Dvisluoksnis paviršiaus apdaras (DPA)					
Bituminė emulsija C67B4-PA, C69B4-PA Polimerais modifikuota bituminė emulsija C69BP4-PA, C70BP4-PA	I dal. sluoksnis	1,0–1,7	–	–	10–13
	II dal. sluoksnis	1,4–1,9	10–15	11–15	–
	I dal. sluoksnis	1,0–1,7	-	9–12	–
	II dal. sluoksnis	1,3–1,8	10–15	–	–
3. Klojant plonus asfalto sluoksnius ant hidroizoliacijos (PAS-H)					
C67BP-PAS-H	kai posluoksnis poringas	0,7–0,9	–	–	–
	kai posluoksnis tankus	0,4–0,6	–	–	–
4. Posluoksnio paruošimas					
C 60 BP 1-S		0,150–0,250	–	–	–

Iš 2 lentelės duomenų matoma, kad kuo didesnis bitumo kiekis emulsijoje, tuo didesnė minimali darbinė temperatūra. Kai temperatūra nukrenta per žemai emulsija pradeda tirštėti, dėl to pasikeičia išpurškiamos emulsijos norma ir pailgėja laikas per kurį ji sureaguoja su paviršiumi. O kai temperatūra per didelė, iš emulsijos pradeda garuoti vanduo ir daugėja bitumo kiekis emulsijoje. Tai pat, jei temperatūra yra per aukšta, išpurkšta emulsija per greitai sureaguoja ir nesuriša paviršių.

2 lentelė

Emulsijos darbo temperatūra [4]

Rišiklio rūšis	Rišiklio markė	Darbo temperatūra °C	
		min.	max.
Bituminė emulsija	C 40 BF 1-S C 60 BF 1-S C 60 B 5-PB	20	70
	C 65 B 4-PB C 67 B 4-PA C 69 B 4-PA	50	80
Polimerais modifikuota bituminė emulsija	C 60 BP 1-S C 60 BP 5-PB C 67 BP 4-PB	50	80
	C 69 BP 4-PA C 70 BP 4-PA C 67 BP 5-PAS-H	60	80

3. Gudronatoriaus purkštukai

Gudronatoriaus purkštukų grupės veikimas parodytas 1 paveiksle.

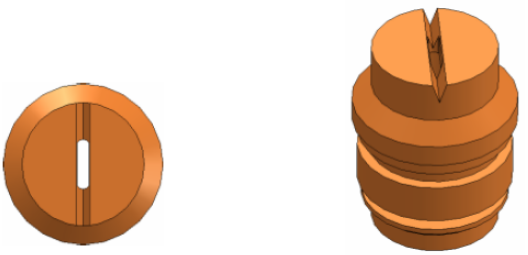
1 pav. Gudronatoriaus purkštukų veikimas[4]

Nagrinėjamame gudronatoriuje sumontuota 40 purkštukų, kurių darbinis skaičius gali keistis nuo 1 iki 40. Purkštukais purškiant emulsiją susidaro trikampio formos čiurkšlė (1 pav.), dėl to kelias padengiamas tolygiu emulsijos sluoksniu visame plote.

Purkštuko sandara parodyta 2 paveiksle.

Kaip matyti iš 2 paveikslo purkštuko galvutėje yra įpjova, kuri formuoja išpurškiamos emulsijos čiurkšlės formą, o galimas skirtingas skylės

plotas, keičiasi išpurškiamos emulsijos kiekį. Bandymo metu bus keičiami purkštukai, kurie turės skirtingą įpjovos kampą, ir bus stebima kaip keičiasi išpurškiamos emulsijos kiekis bei tolygumas.



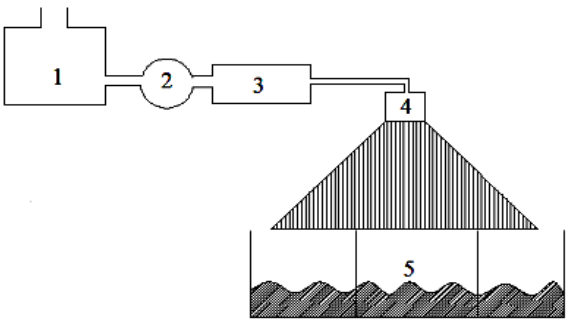
a b

2 pav. Gudronatoriaus purkštukas: a – vaizdas iš viršaus; b – bendras vaizdas

4. Gudronatoriaus purkštuko bandymų stendas

Bandymams atlikti bus naudojamas gudronatoriaus purkštukų bandymų stendas (3 pav.).

Stendo veikimo principas. Emulsijos talpa 1 pripildoma bandymu metu naudojama emulsija. Siurblys 2 sukelia slėgį sistemoje. Slėgio reguliavimo sklende 3 nustatomas reikalingas emulsijos prieš purkštuką 4 slėgis. Purkštuko 4 išpurkšta emulsija patenka i matavimo indą 5, kuris sudarytas iš trijų daliu. Iš kiekvienos dalies emulsija bus pasveriama atskirai ir taip bus matoma ar tolygiai yra išpurškiamas emulsijos kiekis.



3 pav. Gudronatoriaus purkštuko bandymo stendas: 1 – emulsijos talpa; 2 – siurblys; 3 – slėgio reguliavimo sklendė; 4 – purkštukas; 5 – matavimo indai

Atliekant bandymus bus keičiami šie parametrai:

- medžiagos išpurškimo slėgis;
- purkštuko įpjovos kampas: purkštukai su skirtingų įpjovos kampu;
- emulsijos temperatūra;
- naudojamos emulsijos rūšys.

6. Išpurškiamos emulsijos debito skaičiavimas

Skysčio debitu Q vadiname skysčio tūrį, nutekėjusi pro tėkmes skerspjūvį per laiko vienetą. Skysčio debitui skaičiuoti naudojama formulė [2]:

$$Q = \frac{V}{t}. \tag{1}$$

Kai skerspjūvio plotas, per kurį prateka skysčio debitas Q, yra A, o vidutinis skysčio tekėjimo greitis v, tai debitas skaičiuojamas naudojant formule [2]:

$$Q = vA. \tag{2}$$

Skysčio tekėjimas antgalyje charakteringas tuo, kad suspaustame pjūvyje tėkmė susiaurėja, padidėja jos greitis. Toliau tėkmė vėl išsiplečia.

Purkštuko susiaurėjimo vietoje susidaro vakuumas. Tai didina skysčio ištekėjimą. Tačiau susidariusios sukūrinės zonos ir papildomi hidrauliniai nuostoliai mažina greitį. Kai antgalis neilgas, jo pralaidumas didesnis už plonasienės angos pralaidumą. Iš Bernulio lygties [2]:

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w; \tag{3}$$

čia: g – laisvojo kritimo pagreitis; H – hidrostatinis aukštis; h_w – hidrauliniai nuostoliai; v – vidutinis tėkmės greitis.

Ieškant hidraulinių nuostolių naudojama formulė [2]:

$$h_w = h_L + h_v = \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma\zeta\right)\frac{v_2^2}{2g}; \tag{4}$$

čia: $\Sigma\zeta$ – antgalio vietinių nuostolių koeficientų suma; λ – hidraulinės trinties koeficientas; d – antgalio skersmuo; l – antgalio ilgis; h_v – vietiniai nuostoliai; h_L – hidrauliniai kelio nuostoliai.

Tuomet [2]:

$$H_0 = \frac{v_2^2}{2g}\left(\alpha_2 + \zeta_s + \lambda \frac{l}{d}\right); \tag{5}$$

$$v = \sqrt{\frac{2\,g\,H_0}{\alpha_2 + \zeta_s + \lambda\,\frac{l}{d}}} = \varphi\sqrt{2\,g\,H_0}\ ; \tag{6}$$

čia φ – greičio koeficientas.

Norint rasti greičio koeficientą naudojama formulė[2]:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta_s + \lambda\,\frac{l}{d}}}\ . \tag{7}$$

Ištekantis debitas randamas panaudojus formules[2]:

$$Q = A\,v = \varphi\,A\sqrt{2\,g\,H_0}\ ; \tag{8}$$

$$Q = \mu\,A\sqrt{2\,g\,H_0}\ ; \tag{9}$$

čia: $\varphi = \mu$, nes $\varepsilon = 1$; $\zeta \approx 0{,}5$, kaip įtekant į vamzdį; $\alpha = 1{,}0$, o kelio nuostoliai, kai $l = (3 - 4)\,d$; $h_L \approx 0$.

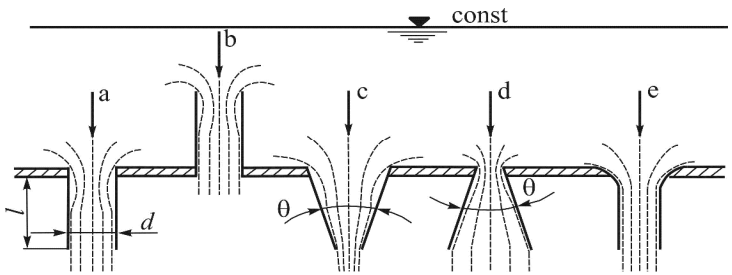
Tuomet iš (7) formulės[2]:

$$\mu = \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + 0{,}5 + 0}} \cong 0{,}82\ . \tag{10}$$

Esant ilgam antgaliui, kelio nuostoliai žymiai mažina pralaidumą. Ribinis antgalio ilgis $l \cong 55\,d$, kurį viršijus antgalis skaičiuojamas kaip vamzdis [2].

Antgaliai skirstomi pagal konstrukciją (4 pav.) į tipus:

- cilindriniai – išoriniai (Venturi) ir vidiniai (Bordo) (4 pav., a ir b);
- kūginiai – siaurėjantys ir platėjantys (4 pav., c ir d);
- konoidiniai (4 pav., e).



4 pav. Antgalių tipai [2]

6 skyrelyje pateiktoje metodikoje naudojamų koeficientų reikšmės pateiktos 3 lentelėje.

3 lentelė

Greičio, čiurkšlės suspaudimo, debito koeficientai [2]

Charakteristika	ε	φ	μ
Plonasienė anga	0,62–0,64	0,97	0,60–0,62
Vidinis cilindrinis	1,0	0,71	0,71
Išorinis cilindrinis	1,0	0,82	0,82
Platėjantis (5–7º)	-	0,45–0,50	0,45–0,50
Siaurėjantis	0,98	0,96	0,94
Konoidinis	1,0	0,98	0,98

7. Tyrimo uždaviniai

Iširti kokios konstrukcijos purkštukas labiau atitinka, užduotiems darbams atlikti. Kokią įtaką turi išpurškiamam emulsijos kiekiui: purkštuko konstrukcija, emulsijos rūšys, išpurškiamas slėgis ir emulsijos temperatūra.

Literatūra

1. **Spruogis B.** Skysčių mechanika. Hidraulika ir Pneumatinių sistemų elementai ir pavaros. – Vilnius: Technika, 2012. – 132 p. ISBN 978-609-457-368-2.
2. **Šaulys V.** Skysčių mechanikos pagrindai. – Vilnius: Technika, 2010. – 200 p. ISBN 978-995-528-672-1.
3. Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos. Prieiga per internetą: < www.LAKD > [žiūrėta 2013-11-07].
4. Panevėžio keliai. Prieiga per internetą: < www.panevežiokeliai.lt > [žiūrėta 2013-11-07].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

AUTOMOBILIŲ DEGALŲ SĄNAUDŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ

E. A. Misevičius, A. Misevičiūtė, Ž. Bazaras
Kauno Technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: automobilių kuro sąnaudos, skaičiavimo metodika, ekovairavimas.

1. Įvadas

Efektyvus degalų naudojimas yra viena iš svarbiausių šiuolaikinių autotransporto problemų. Ši problema pasireiškia ne tik ekonominiu, bet ir aplinkosaugos aspektu [1].

Degalų sąnaudų mažinimo problema automobilių transporte visada buvo aktuali, todėl nuolat atliekami sudėtingi bei kompleksiniai tyrimai, kurių pagalba norima pasiekti kuo efektyvesnio degalų naudojimo. Būtina pabrėžti, kad degalai yra dažniausiai pereikvojami dėl įvairių veiksnių, kompleksiškai veikiančių kuro sunaudojimą. Svarbiausi išskiriami veiksniai yra transporto priemonių techninė būklė, kuri turi lemiamos reikšmės degalų sąnaudomis, taip pat išskiriamas vairuotojo veiksnys, nes priklausomai nuo vairuotojo kvalifikacijos kuro sąnaudų rodikliai ženkliai kinta [1].

Degalų suvartojimas yra svarbus automobilio eksplotacijos veiksnys. Degalai sudaro apie 30 % automobilio eksploatacijos išlaidų, todėl vis dažniau renkantis automobilį atkreipiamas dėmesys į degalų sąnaudas, siekiant didesnio automobilio ekonomiškumo bei ekologiškumo.

Norint mažinti degalų sąnaudas, oro užterštumą ir tuo sumažinti vis didėjančią grėsmę gamtai ir aplinkai reikia atkreipti dėmesį į ekovairavimo koncepciją. Ekologiškas – ekonomiškas vairavimas yra vienas iš būdų mažinti kenksmingų medžiagų kiekį, tuo pačiu mažinant degalų sąnaudas. Ekologiškumo parametrai yra neatsiejami nuo ekonomiškumo, nes kuo automobilis sudegina mažiau degalų, tuo mažiau yra išmetama kenksmingų medžiagų į aplinką.

Darbo tikslas: Eksperimentiniu būdu išmatuoti realias pasirinkto automobilio degalų sąnaudas, išanalizuoti degalų sąnaudų skaičiavimo metodus ir palyginti su automobilio realiomis, tyrimo metu gautomis sąnaudomis.

Darbo uždaviniai:

- palyginti pasirinkto automobilio degalų sąnaudas su gamintojo pateikiamomis degalų suvartojimo normomis;
- ištirti degalų sąnaudų pokytį laikantis ekovairavimo principų.

Tyrimo objektas: lengvasis automobilis *Volkswagen Passat*.

2. Degalų sąnaudos

Analizuojant automobilio degalų sąnaudas ir jų apskaičiavimo metodikas, turime atsižvelgti į daugelį veiksnių: automobilio techninę būklę, klimatines, kelio bei važiavimo sąlygas, taip pat įvertinti vairuotojo kvalifikaciją.

Degalų naudojimo efektyvumui didelės reikšmės turi moksliškai ir techniškai pagrįstos degalų sąnaudų normos [1].

Pagrindiniai automobilio parametrai, turintys įtakos degalų sąnaudoms, yra šie: automobilio greitis, automobilio pagreitis, aerodinaminis koeficientas, automobilio ir krovinio svoris, automobilio alkūninio veleno sūkiai, automobilyje įrengtų papildomų elementų skaičius, ir jų naudojamas energijos kiekis, variklio litražas, maksimalus variklio galingumas [2].

Dažniausiais transporto priemonės degalų sąnaudos nustatomos šiais būdais:

1. Naudojant automobilių kuro normų nustatymo metodiką, patvirtintą Lietuvos Respublikos (LR) susisiekimo ministerijos.
2. Pagal gamintojo nustatytas degalų suvartojimo normas.

Pagal LR susisiekimo ministerijos patvirtintą metodiką galima apskaičiuoti bet kurio automobilio bazines degalų sunaudojimo normas [3]

$$N_k \cong 6{,}6\sqrt{V_k}\ ; \tag{1}$$

čia: N_k – kontrolinė (bazinė) kuro sąnaudų norma l/100 km; V_k – automobilio darbinis tūris.

Lengvųjų automobilių su dyzeliniais varikliais kuro sąnaudų normos, apskaičiuotos pagal (1) formulę, turi būti mažinamos 0,6 - 0,7 karto. Eksploatacijos metu, automobilį veikiančios kelių, važiavimo klimatinės bei eksploatacinės sąlygos yra papildomai įvertinami pataisos koeficientais [3].

Gamintojo pateikiamose degalų sunaudojimo normose, sąnaudos yra apskaičiuotos važiuojant dviem režimais: 90 km/h greičiu važiuojant užmiestyje geros kokybės keliu ir važiuojant miesto režimu.

Įvertinant realias automobilio eksplotavimo sąlygas, numatomą kokią ridos dalį, išreikštą procentine išraiška, automobilis bus eksplotuojamas užmiestyje ir kokią mieste:

$$N_{apskaiciuotas} = \frac{N_{uzm} \cdot k_{uzm} + N_{miesto} \cdot k_{miesto}}{100}, \text{ l/100 km}; \tag{2}$$

čia: N_{uzm} – degalų sunaudojimo norma, važiuojant 90 km/h greičiu užmiestyje geros kokybės keliu; N_{miesto} – degalų sunaudojimo norma, važiuojant miesto režimu; k_{uzm} – ridos dalies, kurią automobilį eksploatuosime užmiestyje,

procentinė išraiška; k_{miesto} – ridos dalies, kurią automobilį eksploatuosime mieste, procentinė išraiška.

Būtina pabrėžti, kad vyrauja nuomonė, kad pagal šią metodiką apskaičiuojamos degalų sąnaudos, ženkliai skiriasi nuo realių. Ne pelno siekianti organizacija Tarptautinė Švaraus Transporto Komisija (ICCT – *The International Council on Clean Transportation*) išplatino tyrimo išvadas, kuriose teigiama, kad realios degalų sąnaudos nuo oficialiai gamintojų deklaruojamų vidutiniškai skiriasi 25 procentais [4].

Ataskaitos rodo, kad automobilių gamintojai nuolat manipuliuoja oficialiais testais, įskaitant tokius triukus kaip automobilio korpuso nuėmimas, kad šis svertų kuo mažiau, perdėtas padangų pripūtimas ir automobilio bandymas aukšto slėgio terpėje [5].

Tarp teisėtų būdų, kuriais automobilių gamintojai išnaudoja įstatymų spragas ir padidina automobilių efektyvumą, yra: užklijuoti plyšius prie durelių, sumažinant oro pasipriešinimą, naudoti super tepalus, kurie stabdo automobilio akumuliatoriaus įkrovimą, reguliuoti ratų suvedimą ir stabdžius, bandymas ypač didelėje temperatūroje [5].

Taigi galima teigti, kad tokių tyrimų išvados turėtų inicijuoti naujų automobilių testų reformą, kad gamintojo deklaruojamos degalų sąnaudos priartėtų prie realių.

3. Ekovairavimo koncepcija

Ekovairavimas yra nauja vairavimo kultūra, kuri geriausiai leidžia išnaudoti pažangias transporto priemonių technologijas ir kartu didinti kelių eismo saugumą. Ekovairavimas, būdamas svarbiu darnaus mobilumo komponentu, žymiai prisideda prie klimato apsaugos ir taršos mažinimo.

Pagrindiniai ekovairavimo principai, tai: judėjimo prognozavimas eismo sraute, didesnio atstumo laikymasis iki priekyje važiuojančios transporto priemonės, pastovaus greičio palaikymas varikliui dirbant žemomis apsukomis, ankstyvas pavarų perjunginėjimas.

2013 metų sausio mėnesį įsigaliojo EC Direktyvos 2006/126/EB II priedo pakeitimai, nustatantys, kad ekovairavimas būtų privalomai įtrauktas į vairavimo egzaminą, siekiant įgyti B kategorijos vairavimo pažymėjimą. Šiose naujovėse teigiama, kad egzaminuojamasis turi važiuoto taip, kad „būtų užtikrinta sauga, mažinamas degalų naudojimas ir išmetamųjų teršalų kiekis įsibėgėjant, lėtėjant, važiuojant į įkalnę ir nuokalnę“. Taip pat nurodoma, kad vairavimo egzaminą vertinantis asmuo, turi atsižvelgti ar egzaminą laikantis asmuo važiuoja „ekonomiškai, saugiai ir taupiai, atsižvelgdamas į sūkių skaičių per minutę, perjungdamas pavaras, stabdydamas ir didindamas greitį“ [6].

Šios Direktyvos įgyvendinimui valstybės narės turėjo vienerius metus, tad Lietuvoje jau įvykdytas tarptautinis projektas „Ekovairavimo diegimas besimokančiųjų ir teisę vairuoti turinčių vairuotojų mokymuose“

(ECOWILL), kurį remia Europos Sąjungos programa „Pažangi energetika Europai“. Taupaus vairavimo sąlygos, akcentuotos mokymuose yra šios: tinkamas slėgis padangose. Mokymų metu pasiekta vidutinė degalų ekonomija sudarė 13 ... 15 % [7].

4. Degalų sąnaudų tyrimas, naudojant automobilį Volkswagen Passat

Siekiant patikrinti aptartas degalų sąnaudų apskaičiavimo metodikas, bei palyginti gautus rezultatus su degalų sąnaudomis gaunamomis taikant ekovairavimo būdą, buvo atliktas eksperimentinis tyrimas.

Eksperimentas atliktas dyzeliniu lengvuoju automobiliu Volkswagen Passat TDI 1896 cm^3, 81 kW, pagamintas 1999 metais. Tyrimo metu automobilis buvo su 195/65/R15 tipo padangomis pagamintomis 2007 metais, protektoriaus gylis 6 mm, oro slėgis padangose priekyje 2,2 bar, gale 1,9 bar (pagal gamintojo rekomendacijas).

Kadangi automobilis neturi degalų stebėjimo sistemos nei borto kompiuterio, degalų sąnaudos buvo nustatomos taip: pilnai pripildomas degalų bakas, pravažiuojamas tyrimo maršrutas, vėl pilnai užpildomas degalų bakas; remiantis degalinės degalų skaitiklio bei automobilio odometro parodymais nustatomos degalų sąnaudos bei nuvažiuotas atstumas.

Pagal gamintojo pateikiamus duomenis, automobilio degalų sąnaudų normos 100 km yra: važiuojant mieste 7,7 l/100 km; važiuojant užmiestyje 4,3 l/100 km.

Pagal LR susisiekimo ministerijos pateikiamą metodiką apskaičiuojame degalų sąnaudas važiuojant užmiestyje pastoviu 90km/h greičiu. Lengvojo automobilio Volkswagen Passat kontrolinės (bazinės) degalų sąnaudų normos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė

Bazinės degalų sąnaudos naudojant LR susisiekimo ministerijos patvirtintą metodiką

Žymuo	Aprašas ir matavimo vienetai	Vertė
V_h	Variklio darbinis tūris, l	1,896
N_k	Kontrolinė (bazinė) kuro sąnaudų norma, l/100 km	6,33

Eksperimentinis važiavimas buvo atliekamas dviem etapais – važiuojant mieste ir užmiestyje. Užmiestyje degalų sąnaudos buvo nustatomos važiuojant A2 magistraliniu keliu Panevėžys-Vilnius, važiuojant pastoviais 90 km/h ir 120 km/h greičiais.

Važiuojant mieste pasirinktas maršrutas Panevėžio miesto gatvėmis, važiuojama vidutiniu 50 km/h greičiu tam tikrais važiavimo būdais. Pirmasis

būdas stengiamasi išlaikyti pastovų greitį, antrasis – važiuojama agresyviai, trečiasis – taikant ekovairavimo taisykles.

Tyrimo rezultatai, gauti važiuojant užmiesčio keliu pastoviais greičiais, pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė

Degalų sąnaudos užmiesčio režimu

Eil. Nr.	Važiavimo režimas	Degalų sąnaudos l/100 km	Vidutinės degalų sąnaudos l/100 km
1.	Važiuojant pastoviu 90 km/h greičiu	4,8	5,2
2.	Važiuojant pastoviu 120 km/h greičiu	5,6	

Pirmasis važiavimas – stengiamasi išlaikyti pastovų vidutinį greitį. Antruoju važiavimu važiuojama agresyviai – pavaros perjungiamos 2000 - 3000 aps/min, važiuojama netolygiai, greitai ir dažnai akseleruojant ir spaudžiant stabdžių pedalą. Važiuojant trečiuoju važiavimu taikomi ekovairavimo principai – važiuojama tolygiai, laikomasi pastovaus greičio ir atstumo nuo kitų transporto priemonių, pavaros perjungiamos 1500 - 2000 aps/min, važiuojama kuo aukštesne pavara, tolygiai akseleruojama bei stabdoma. Eksperimentiniai rezultatai, gauti važiuojant miesto režimu, pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė

Degalų sąnaudos miesto režimu

Eil. Nr.	Važiavimo režimas	Degalų sąnaudos l/100 km
1.	Važiuojant pastoviu greičiu	7,0
2.	Važiuojant agresyviai	8,5
3.	Važiuojant ekovairavimo būdu	5,8

5. Rezultatai

Apskaičiuotos degalų sąnaudos, pagal degalų skaičiavimo metodus skiriasi nuo realių kuro sąnaudų, tačiau skirtumai nėra labai dideli. Tam turi įtakos tai, kad automobilis yra dyzelinis, o degalų sąnaudų skirtumai tarp gamintojo ir realių sąnaudų nebūna dideli.

Analizuojant duomenis, matoma, kad realios degalų sąnaudos skiriasi nuo tų, kurios yra pateikiamos gamintojo. Važiuojant užmiestyje degalų sąnaudos yra didesnės 21 %. Galima teigti, kad skirtumui įtakos turi automobilio amžius, bei jo eksploatacinis nusidėvėjimas. Tačiau vertinant degalų sąnaudas važiuojant miesto režimu, matome, kad gamintojo

pateikiamos degalų sąnaudos yra didesnės nei gautos eksperimento metu. Gamintojas pateikia 7,7 l/100 km, o tyrimo metu gautos vidutinės sąnaudos įvairiais vairavimo būdais yra 7,1 l/100 km. Galima daryti prielaidą, kad rezultatai skiriasi, nes eksperimentas atliktas sąlyginai mažo tranporto apkrovimo mieste, kuriame nėra spūsčių, eismo srautas nėra intensyvus, mažai sankryžų ir šviesaforų.

Lyginant eksperimento metu gautus duomenis su degalų sąnaudomis gautomis pagal LR susisiekimo ministerijos pateikiamą apskaičiavimo metodiką, matoma, kad važiuojant užmiestyje degalų sąnaudos yra ženkliai mažesnės, o važiuojant miesto režimų 10 % didesnės. Duomenys skiriasi greičiausiai dėl to, kad pagal šį degalų sąnaudų apskaičiavimo būdą, nėra galimybės apskaičiuoti degalų sąnaudų atsižvelgiant į skirtingus važiavimo režimus ir greičius.

Tyrimo rezultatai parodė, kad automobilio variklis sudegina žymiai mažiau degalų, kai važiuojama laikantis ekovairavimo principų. Vidutinės degalų sąnaudos važiuojant mieste 5,8 l/100 km. Iš to galima daryti išvadą, kad vairuotojo faktorius turi didelę įtaką automobilio degalų sąnaudoms. Laikantis ekovairavimo principų, tyrimo metu degalų sąnaudos sumažėjo 17 % ir atitinkamai, važiuojant agresyviai degalų sąnaudos didėja 21 % lyginant su vidutinėmis degalų sanaudomis.

6. Išvados

Išanalizavus degalų sąnaudų skaičiavimo metodikas, atlikus eksperimentinį tyrimą, palyginus gautus rezultatus, gautos išvados:

1. Degalų apskaičiavimo metodikos nėra visiškai tikslios, norint apskaičiuoti konkretaus automobilio degalų sąnaudas. Atlikto tyrimo metu išsiaiškinome, kad realiai sunaudojamos degalų sąnaudos yra didesnės 21 %, nei pateikia gamintojas. Darome prielaidą, kad skirtumui įtakos turi automobilio amžius, bei jo eksploatacinis nusidėvėjimas.
2. Lyginant tyrimo duomenis su degalų sąnaudomis, gautomis pagal LR susisiekimo ministerijos pateikiamą apskaičiavimo metodiką, matoma, kad važiuojant užmiestyje degalų sąnaudos yra ženkliai mažesnės, o važiuojant miesto režimų 10 % didesnės.
3. Tyrimo metu pastebėtas ryškus degalų sąnaudų pokytis priklausomai nuo varilio sūkių bei stabdymo ir akseleravimo dažnumo. Kai pavaros perjungiamos 2000 -3000 aps/min, važiuojama netolygiai, greitai ir dažnai akseleruojant ir spaudžiant stabdžių pedalą, automobilio degalų sąnaudos yra 8,5 l/100 km. Laikantis ekovairavimo principų, tyrimo metu degalų sąnaudos sumažėjo 30 % lyginant su degalų sąnaudomis užfiksuotomis važiuojant agresyviai. Iš to darome išvadą, kad vairuotojo vairavimo būdas tiesiogiai atspindi automobilio degalų sąnaudų kiekio pokytį.

4. Atlikus tyrimą nustatėme, kad važiuojant miesto režimu vidutinės automobilio degalų sąnaudos yra 7,7 l/100 km, o taikant ekovairavimo principus degalų sąnaudos 17 % mažesnės.

Literatūra

1. **Mickūnaitis V., Pikūnas A.** Automobilių degalų sąnaudų nustatymo ir normavimo metodikos. – Vilnius: Technika, 2005. – 35 p.
2. **Miškinis D.** Kelio ir automobilio rodiklių įtaka kuro sąnaudoms. Transportas, 2000 XV t. Nr. 3. – 21 p.
3. Dėl automobilių kuro normų nustatymo metodikos, Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerijos įsakymas, Valstybės žinios, 1995-10-18, Nr. 85-1933.
4. **Mock P., German J., Bandivadekar A., Riemersma I., Ligterink N., Lambrecht U.** From laboratory to road. Publications on the International Council on Clean Transportation 2013-05-27. Prieiga per internetą: < http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LabToRoad_20130527.pdf > [žiūrėta 2013-11-25].
5. Transport and environmental, European Federation for Transport and Environment AISBL. Prieiga per internetą: < http://www.transportenvironment.org > [žiūrėta 2013-11-25].
6. 2006 m. gruodžio 20 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2006/126/EB dėl vairuotojo pažymėjimų, Valstybės žinios 2006-12-30, Nr. 403. Prieiga per internetą: < http://www3.lrs.lt/pls/inter1/dokpaieska.showdoc_l?p_id=52270&p_tr2=2 > [žiūrėta 2013-11-25].
7. Ecodriving – The Concept. Prieiga per internetą: < http://www.ecodrive.org > [žiūrėta 2013-11-25].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

PAVIRŠINIO MONTAŽO LITAVIMO TEMPERATŪROS VALDYMAS IR KOKYBĖS TYRIMAS

R. Sabas, Tomas Jukna
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: litavimas, BGA, mikrošlifai, temperatūra.

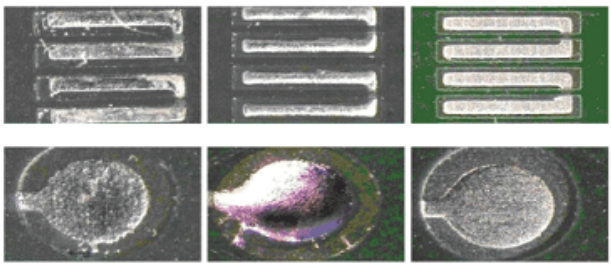
1. Įvadas

Ball Grid Array (BGA) – tai litavimo technologija, kurioje naudojama kvadratinė rutuliukų matrica. BGA tipo korpusuose, kontaktiniai išvadai yra tiesiogiai lituojami prie spausdintinės plokštės ant kontaktinių aikštelių suformuojant rutuliukus iš lydmetalio. Nešiojamuose kompiuteriuose BGA montažas naudojamas montuojant didelės integracijos lustus, tokius kaip vaizdo plokštės, pagrindiniai lustų rinkiniai ir kt.

Nepaisant efektyvaus BGA montažo panaudojimo išlieka litavimo kokybės problema. Dėl parinkto netinkamo litavimo režimo, laiko, temperatūros, gali įvykti „šaltas litavimas“, BGA rutuliuko atitrūkimas nuo kontaktinės aikštelės, keramikos ar plastiko korpusų suskilinėjimas, tarp lydmetalio jungčių susidarymas, ertmės litavimo junginiuose (1 pav.) ir t.t

BGA montažo *privalumai*:

1. Mažas korpuso plotas.
2. Mažesni triukšmai plokštėje nes kontaktinės korpuso aikštelės su plokšte jungiamos nedidelio skersmens lydmetalio rutuliukais.



1 pav. Litavimo defektai [1]

3. Didesnis šilumos laidumas, nes lustas su plokšte turi didesnį kontaktinį plotą, todėl yra geriau išsklaidoma šiluma.

Tačiau BGA montažas turi ir *trūkumų*:

1. Išvadų nelankstumas. Esant dideliems temperatūrų pokyčiams, kontaktas tarp lydmetalio rutuliukų ir lusto arba tarp korpuso ir plokštės gali būti pažeistas.
2. Sunku diagnozuoti BGA montažo pažeidimus.

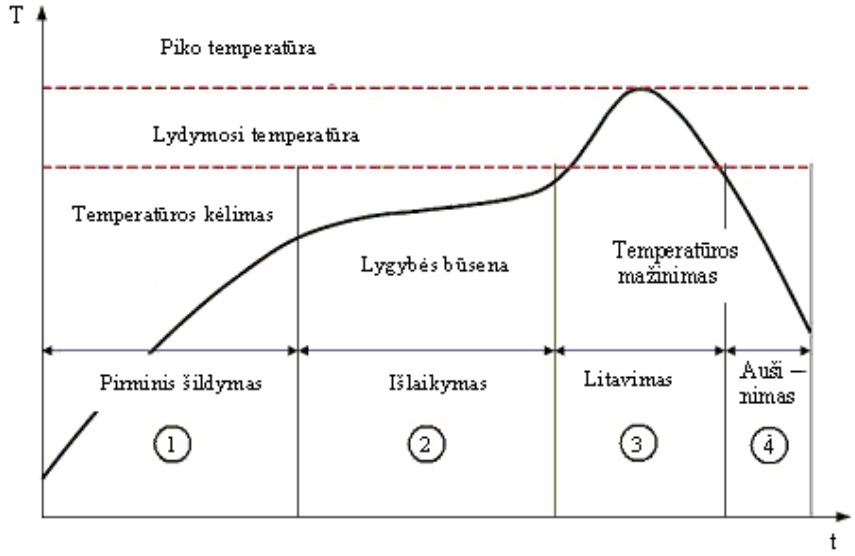
BGA lydmetalio rutuliukų pažeidimai tiksliausiai nustatomi naudojant rentgeno kontrolę arba tiriant mikrošlifus.

Darbo tikslas: ištyrinėti BGA montažo galimybes, išanalizuoti temperatūros ir laiko įtaką litavimo rezultatams, išsiaiškinti technologinių parametrų įtaką lituojamų sujungimų struktūrai.

2. Litavimo režimai

Optimalaus lydymosi temperatūros profilio sudarymas yra vienas iš svarbiausių faktorių siekiant užtikrinti kokybiškus litavimo junginius, gaunamus paviršinio montažo būdu ant spausdintinės plokštės. Temperatūrinis profilis tiesiogiai turi įtakos šioms charakteristikoms:

- temperatūros pasiskirstymui spausdintinės plokštės paviršiuje;
- litavimo pastos savybėms;
- fliuso valomosioms savybėms;



2 pav. Temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikas

- sluoksniavimuisi;
- lituojamų junginių mikrostruktūrai;
- liekamiesiems įtempimams junginyje.

Pateikiamas temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikas. Išskiriami keturi etapai (2 pav.):

1. Pirminis šildymas.
2. Išlaikymas/fliuso aktyvavimas.
3. Lydimasis.
4. Aušinimas.

Pagrindiniai parametrai kiekviename litavimo etape yra maksimali ir minimali temperatūra, įšilimo/ataušimo greitis, išlaikymo laikas.

Pirminio šildymo etapas. Šiame etape išsausėja litavimo pasta, išgaruoja jos organiniai komponentai, pasišalina drėgmė iš elektroninių komponentų (EK) ir spausdintinės plokštės (SP). Temperatūra šiuo metu kyla 1 ... 3 °C/s. Didelio šildymo greičio metu gali per greitai išgaruoti skiediklis, kuris įeina į litavimo pastos sudėtį, dėl ko gali atsirasti šie defektai: formuojasi BGA rutuliuko ir lydmetalio netinkamos jungtys, gali atsirasti šilumai jautrių EK pažeidimų, pavyzdžiui: įtrūkimai keraminiuose lustuose, rezistoriuose, litavimo rutuliukų deformacijos.

Išlaikymas. Šio etapo metu aktivizuojasi fliusai ir iš litavimo pastos pašalinama perteklinė drėgmė. Temperatūros padidėjimas vyksta labai lėtai dėl visų ant plokštės esančių elementų įšilimo iki vienodos temperatūros. Šio etapo pabaigoje temperatūra pasiekia 130 ... 170 °C. Fliuso aktyvavimo stadijoje nuo litavimo paviršiaus pašalinama oksidacijos plėvelė. Spausdintinės plokštės fliuso aktyvavimo laikas yra 60 ... 120 s. Jei išlaikymo stadija vyksta per trumpai, gali atsirasti defektai, tokie kaip „šaltas litavimas“. Per greitai keliant temperatūrą nepakankamai veikia fliusas, susidaro lydmetalio rutuliukų defektai. Rekomenduojama, kad temperatūros skirtumas tarp pirminio šildymo fazės ir lydymosi (litavimo) fazės būtų mažesnis nei 100 °C.

Litavimas. Litavimo stadijoje litavimo temperatūra padidinama iki litavimo pastos išsilydimo, vyksta susijungimo formavimas. Šio proceso metu temperatūra keliama 1 ... 3 °C/s. Tam, kad susiformuotų patikima litavimo jungtis, maksimali litavimo temperatūra turi 30 ... 40 °C viršyti litavimo pastos lydymosi temperatūrą ir būti 205 ... 225 °C. Tam, kad išvengtume nepageidaujamų reiškinių, būtina išlaikyti lituojamus EK temperatūroje, kuri yra aukštesnė nei lydymosi taškas (183 °C dėl Sn63, 179 °C dėl Sn62), pageidautina 60 sekundžių laikotarpyje. Maksimali korpuso temperatūra gali išsilaikyti 10 ... 30 s. Jos augimo greitis nuo to momento, kai plokštėje pasiekiama lydmetalio lydymosi temperatūra iki maksimalios temperatūros neturi viršyti 1 ... 3 °C/s. EK turi būti temperatūroje, kuri nuo piko temperatūros skiriasi ne daugiau nei 5 °C, 10 ... 30 s laikotarpyje.

Piko temperatūra litavimo proceso metu turi apatines ir viršutines reikšmes. Apatinė reikšmė – temperatūra kuri minimaliai reikalinga tam, kad

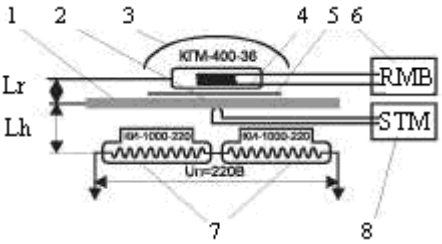
gautume patikimą litavimo jungtį. Viršutinė reikšmė – maksimali lydymosi temperatūra, kuri turi būti mažesnė nei:

- vardinė temperatūra, naudojama įvertinti EK korpuso jautrumo lygį drėgmei (MSL).
- temperatūra, kurios metu įvyksta plokštės pažeidimai.

Aušinimas. Litavimo procesas skaitomas baigtu, kai atvėsta lituojami komponentai, sudarydami patikimus litavimo junginius. SP aušinimo greitis neturi viršyti 6 °C/s. [2].

3. Šildymo temperatūros optimizavimas

Infraraudonųjų spindulių litavimo įrenginys (3 pav.), kuris susideda iš apatinio kaitintuvo, kuris būna patalpintas po plokšte (SP) ir skirtas tam, kad ji būtų įkaitinta iki 100 °C temperatūros, ir viršutinio kaitintuvo su šilumos spindulių fokusavimo sistema, skirta įkaitinti montuojamus komponentus iki 220 ... 260 °C [3].



3 pav. Infraraudonųjų spindulių litavimo įrenginys: 1 – plokštė; 2 – termopora; 3 – reflektorius; 4 – viršutinis kaitintuvas; 5 – pasta; 6 – reguliuojamas maitinimo blokas; 7 – apatinis kaitintuvas; 8 – skaitmeninis temperatūros matuoklis

4. Technologinių parametrų optimizavimas

Optimizuojami šie technologiniai parametrai:

1. Įkaitinimo greitis darbinėje aplinkoje, priklausantis nuo kaitintuvo galios ir atstumo iki SP.
2. Šildymo intensyvumas ir lokalizacija.

Viršutinio kaitintuvo, kurio galingumas 500 W su reflektoriumi, kaitinimo greitis yra 3 ... 5 °C/s. Apatinio ir viršutinio kaitintuvų, kurių galingumas 500 W, kaitinimo greitis yra iki 10 °C/s.

Temperatūros augimas darbinėje aplinkoje proporcingas kaitintuvo galingumui. Litavimo zonoje temperatūros greičio augimas mažėja didinant atstumą tarp infraraudonųjų spindulių kaitintuvo ir SP.

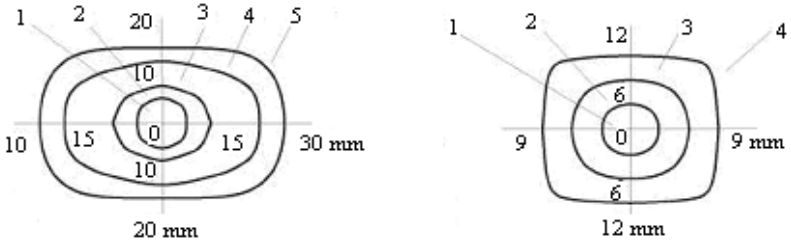
Tiriamas temperatūros pasiskirstymo tolygumas apatiniame ir viršutiniame kaitintuvuose (4 pav.).

Izoterminės zonos:

1. Centrinė, turinti rato formą, kurios įkaitinimo greitis > 5 °C/s.
2. Kita zona – ovalinė, sąlygojama reflektoriaus formos (4 pav.).

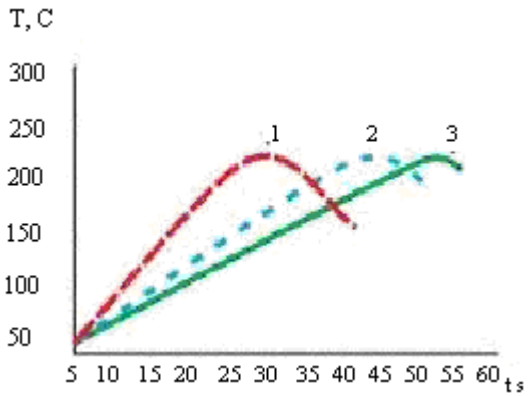
4 pav. pavaizduotas infraraudonųjų spindulių su pasta šilumos laukas. Izotermai turi kvadratinę formą:

1. 6 mm esant $V > 3$ °C/s.
2. 12 mm esant $V = 2{,}2$ °C/s.
3. 18 mm esant $V < 1$ °C/s.



a b

4 pav. Infraraudonųjų spindulių su pasta šilumos laukas. Punktas a: 1 – $V > 5$ °C/s; 2 – $V = 5$ °C/s; 3 – $V = 3{,}8$ °C/s; 4 – $V = 3{,}3$ °C/s; 5 – $V < 2{,}2$ °C/s. Punktas b: 1 – $V > 4$ °C/s; 2 – $V = 2{,}2$ °C/s; 3 – $V = 1{,}1$ °C/s; 4 – $V < 0{,}5$ °C/s



5 pav. Temperatūros priklausomybė viršutinio kaitinimo zonoje kai atstumas iki plokštės: 1 – 15 mm; 2 – 25 mm; 3 – 35 mm

Įvairių formų ekrano panaudojimas leidžia padidinti šildymo lokalizaciją nemažinant greičio. Didžiausias šildymo greitis 15 °C/s, pasiekiamas mažinant atstumą tarp plokštės ir viršutinio infraraudonųjų spindulių šildytuvo (5 pav.). Kokybiškų atspindžio reflektorių panaudojimas leidžia, esant tam pačiam šildymo intensyvumui, dvigubai sumažinti naudojimo galingumą [3].

5. Programos algoritmo aprašymas

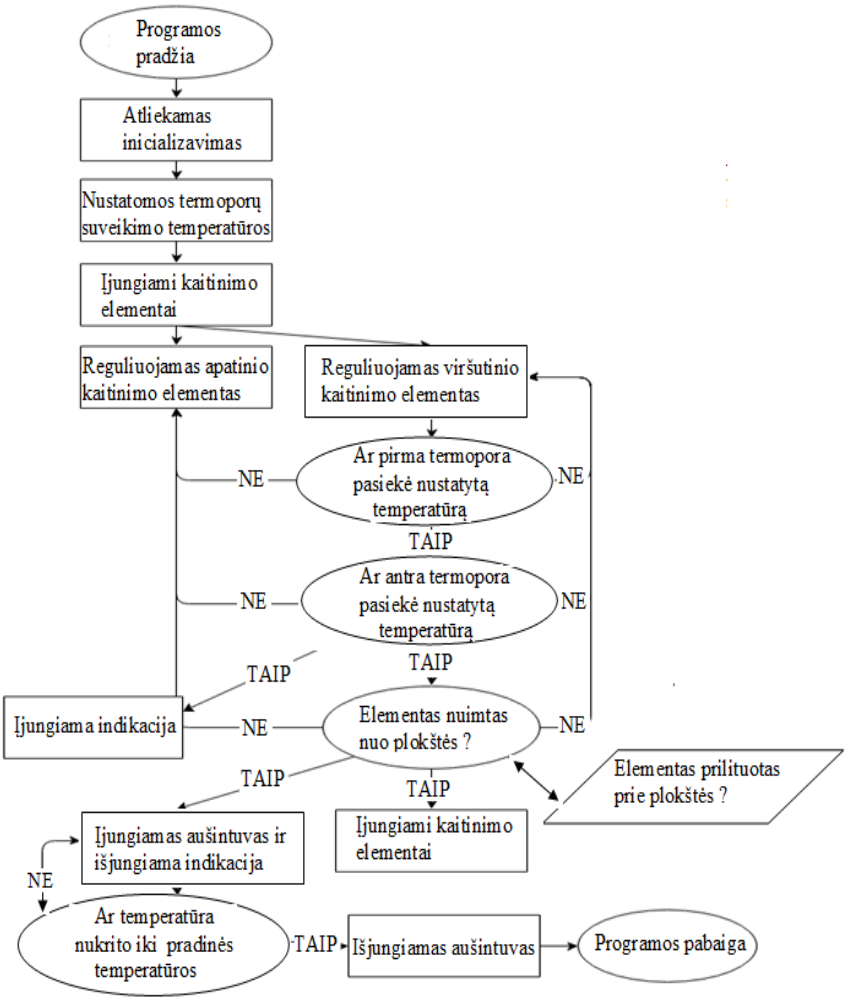
Algoritmas pateiktas 6 pav. Taisyklingas elemento užlitavimas ar nulitavimas susideda iš nuoseklių laiko intervalų, kada yra valdomi kaitinimo elementai ir aušintuvas. Paleistas programos algoritmas atlieka inicializavimą, kada visi vykdykliai būtų atstatomi į neveiksnumo padėtį. Inicializvimo metu patikrinama ar termoporos yra sukalibruotos. Termoporas tikrinamos pagal jų rodmenų skirtumus. Jeigu inicializavimas buvo atliktas be klaidų, tada vartotojui duodamas leidimas suvesti temperatūrų zonas ir temperatūrų kitimo greičius. Temperatūrų zonos yra keturios, tiek pat yra nulitavimo/užlitavimo etapų. Paeiliui yra įvykdomas kiekvienas etapas. Pasiekus lydmetalio lydymosi temperatūrą, displėjuje atvaizduojami matuojami parametrai. Įvykus elemento sulitavimo procesui, paspaudus klavišą aktyvuojamas paskutinis etapas – aušinimas. Tuo laiko tarpu, kol elementas yra nenuimtas, algoritmas reguliuoja kaitinimo elementus tarp lydmetalio išsilydimo ir maksimaliai leistinos temperatūros.

6. Eksperimento parametrai

Ruošiant pavyzdžius buvo panaudota: komponentų dydis 13×13 mm^2, storis 1 mm, korpusas su mikro lustu, kurio dydis 7×7 mm^2. Lydmetalio rutuliukai išdėlioti matricoje 15×15, kur žingsnio dydis 0,8 mm. Rutuliukų skersmuo 0,5 mm, lydmetalis Sn63/Pb37, kurio lydymosi temperatūra 217 °C. Spausdintinė plokštė su dviem vidiniais metalizacijos sluoksniais pagaminta iš FR 4 medžiagos, storis 1,6 mm. Vidinių metalizacijos sluoksnių storis 35 µm, išorinių – 17,5 µm. Kontaktinių aikštelių metalizacija: 4 µm Ni / 05 µm Au. Montavimui panaudoti lydmetalio Sn63/Pb37 rutuliukai ir fliusas RMA (silpnos aktyvacijos kanifolija). Fliusas uždėtas plieniniu šablonu, kurio storis 150 µm.

Litavimas vyko esant dviems skirtingoms maksimalioms temperatūroms azoto terpėje. Temperatūros profiliai buvo matuojami su termoelementais K tipo, kurie prie BGA rutuliukų buvo tvirtinami SMD klijais iš išorinės komponento pusės. Maksimalios litavimo temperatūros buvo išrinktos intervale 210 ... 225 °C.

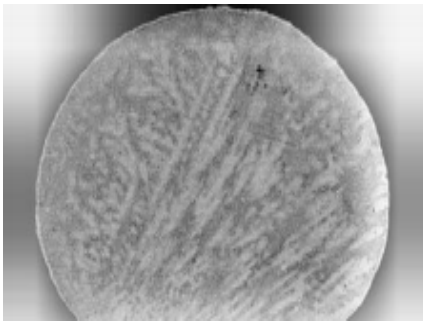
Kiekvienai kombinacijai buvo paimtas vienas pavyzdys metalografinei analizei. Naudojamas metalografinės analizės metodas skirtas tyrinėti lydmetalio SnPb sujungimams. Mikrošlifo analizė buvo atlikta pasinaudojant skenuojančia elektronine mikroskopioja (SEM) ir rentgeno spektroskopija (EDX).



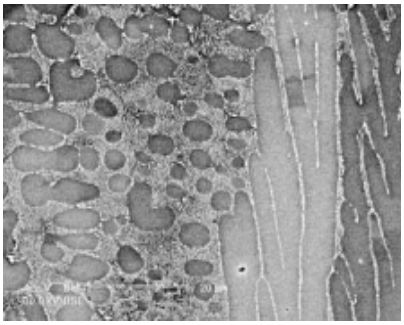
6 pav. Programos algoritmas

7. Tyrimo rezultatai

Lydmetalio Sn63/Pb37 rutuliuko struktūra pradinėje padėtyje. Lydmetalio Sn63/Pb37 rutuliuko mikrošlife (7 pav.) naudojantis skenuojančia elektronine mikroskopija, matosi tipinė dendritinė struktūra su nežymiais atsiskyrimais tarp dendritų (8 pav. šakotos formos kristalitai).

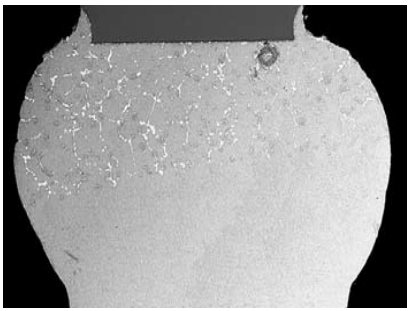


7 pav. Lydmetalio Sn63/Pb37 rutuliuko mikrošlifo vaizdas



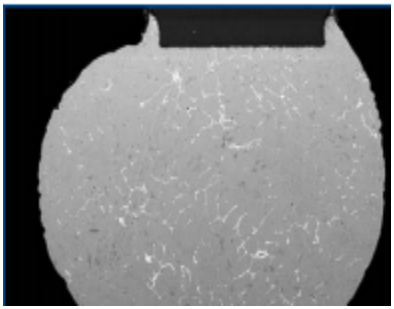
8 pav. Dendritinė struktūra

Lydmetalio Sn63/Pb37 rutuliukų struktūra kai litavimo temperatūra 210 °C. Šiame eksperimente buvo pamatuota faktinė lydmetalio rutuliuko temperatūra 210 °C. Įvyko tik dalinė reakcija tarp lydmetalio rutuliuko ir fliuso. Nuotraukoje gerai matyti dvi atskiros sritys (9 pav.). Iš apačios matyti komponentas, o viršuje spausdintinės plokštės aikštelė ant kurios tepamas fliusas. Iš spausdintinės plokštės pusės, kur litavimo rutuliukas kontaktuoja su fliusu, stebime grubią struktūrą, tuo tarpu iš komponento pusės matoma, jog yra išsisaugojusi pradinė lydmetalio rutuliuko struktūra. Švinas yra tik lydmetalio reakcijoje su fliusu zonoje.



9 pav. Rutuliuko struktūra kai litavimo temperatūra 210 °

Lydmetalio Sn63/Pb37 rutuliukų struktūra kai litavimo temperatūra 217 °C. Pasiekus optimalią temperatūrą visas lydmetalio Sn63/Pb37 rutuliukas reaguoja su fliusu. Švinas (baltos linijos) pasiskirstęs visame rutuliuke (10 pav.).



10 pav. Rutuliuko struktūra kai litavimo temperatūra 217 °C

8. Rezultatų analizė

Esant temperatūrai 210 °C lydmetalio rutuliukas dalinai reaguoja su fliusu. Tai lydmetalį veikia kaip skiediklis. Dėl to litavimo sujungimas yra nekokybiškas. Pasiekus optimalią 217 °C temperatūrą visas lydmetalio Sn63/Pb37 rutuliukas reaguoja su fliusu.

9. Išvados

Šis tyrimas leido parodyti, kad jei maksimali temperatūra neviršija lydmetalio Sn63/Pb37 lydymosi temperatūros, tai lydmetalio rutuliukas tik dalinai reaguoja su fliusu. Kai viršijama lydymosi temperatūra, lydmetalio rutuliukas visiškai išsilydo. Litavimo metu esant netinkamai parinktai litavimo temperatūrai ir (ar) litavimo režimui, negalima gauti kokybiškų junginių ant spausdintinės plokštės. Esant tinkamai temperatūrai gaunamas litavimo sujungimas yra kokybiškas.

Literatūra

1. Дефекты пайки оплавлением – Дефекты компонентов в корпусах BGA. Prieiga per internetą: < http://www.elinform.ru/articles_66.htm?PHPSESSID=6b21b708bdd9b23c247de4d25d6746af > [žiūrėta:2013-10-26].
2. Режимы пайки оплавлением. Prieiga per internetą: < http://www.elinform.ru/articles_2.htm > [žiūrėta 2013-10-12].
3. Инфракрасны нагрев в технологии пайки поверхностного монтажа. Prieiga per internetą: < http://www.tech-e.ru/2007_3_38.php > [žiūrėta 2013-10-12].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

2-RAČIO ROBOTO ODOMETRINIO VALDYMO SU GIROSKOPU TYRIMAS

K. Andriūnas, Tomas Jukna
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: dviračio roboto modelis, odometrija, giroskopas.

1. Įvadas

Odometrija yra dažnai naudojama mobilaus ratinio roboto nueito kelio distancijai matuoti. Pavieniai enkoderiai yra pridedami šalia rato ar variklyje, kad išmatuotų atskirus žingsnio kampus, interpretuotus kaip nukeliautas atstumas. Tokio daviklio sujungimas yra lengvas, kai jis apgalvotas mechaninėje projekto dalyje nuo pradžios, bet pridėti šį jutiklį vėliau, yra dažnai sudėtinga [1].

Daugumoje, mobiliuose robotuose naudojami du pagrindiniai padėties įvertinimo metodai: absoliutus ir reliatyvus išdėstymas. Absoliutaus pozicijonavimo metodas paprastai remiasi navigaciniais aktyviais ar pasyviais orientyrais, žemėlapio atitikimu ar palydovų pagrįstais navigaciniais signalais. Nei viena iš šiuo metu egzistuojančių sistemų nėra pakankamai tobula, aiški. Paprastai šitos sistemos yra brangios.

Reliatyvus pozicijonavimas paprastai yra pagrįstas odometrija. Odometrija yra paprastas, nebrangus, sąlyginai lengvas roboto orientavimosi būdas. Odometrijos trūkumas yra neribotas klaidų kaupimas.

Su optinio pluošto giroskopų įdiegimu, šių jutiklių panaudojimas tapo patrauklesnis mobiliuosiuose robotuose. Tačiau, giroskopai turi palyginti dideles nejautros normas, kurios sukelia neribotą orientacijos klaidų augimą.

Dėl neišvengiamų roboto orientavimosi klaidų, odometrija ir giroskopai gali būti panaudoti tiktai apjungus su periodiniu absoliutinių koordinačių atnaujinimu. Vis dėlto, odometrijos gerinimas ir giroskopo tikslumas padeda didinti kelionės atstumą, mažinant absoliučios padėties atnaujinimus, ko pasekoje, mažėja įdiegimo ir eksploatacijos išlaidos visai sistemai.

Optiniai enkoderiai paprastai įtaisomi ant variklio pavaros, kad skaičiuotų rato apsisukimus. Naudojant paprastas geometrines lygtis yra paprasta apskaičiuoti momentinę transporto priemonės padėtį, susijusią su žinoma pradine padėtimi.

Mobilaus roboto odometrija pasitvirtina, kai ratų sūkių santykis gali būti paverstas tiksliai į linijinį poslinkį, aplinkos atžvilgiu. Ši prielaida turi trūkumų. Vienas kraštutinis pavyzdys yra rato praslydimas: jeigu vienas ratas pradeda slysti, sakykime, ant alyvos dėmės, tai prijungtas enkoderis užregistruotų rato apsisukimus nepaisant to, kad šitas judesys neatitiks linijinio rato poslinkio.

Be šio, visiško praslydimo atvejo, yra keletas kitų, sudėtingesnių priežasčių netikslumams, rato enkoderio gautų duomenų vertime į linijinį judėjimą [2]. Visi šitie klaidos šaltiniai įeina į vieną iš dviejų kategorijų: sisteminės klaidos ir nesisteminės klaidos.

Sisteminės klaidos:

- nevienodi ratų skersmenys;
- abiejų ratų skersmenų vidurkis skiriasi nuo nominalaus skersmens;
- ratų nesutapimas;
- rato kontakto su pagrindu nebuvimas;
- ribota enkoderio rezoliucija;
- ribotas enkoderio atrankos dažnis.

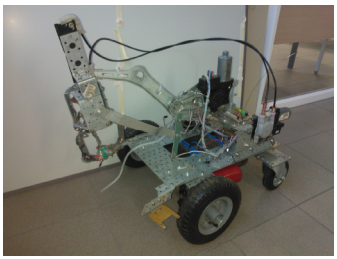
Nesisteminės klaidos:

- judėjimas per nelygių pagrindą;
- judėjimas per nenumatytus objektus, esančius kelyje;
- ratų praslydimas.

Į roboto valdymo grandinę įvedant giroskopą siekiama pagerinti odometrinius parametrus.

2. Mobilus robotas

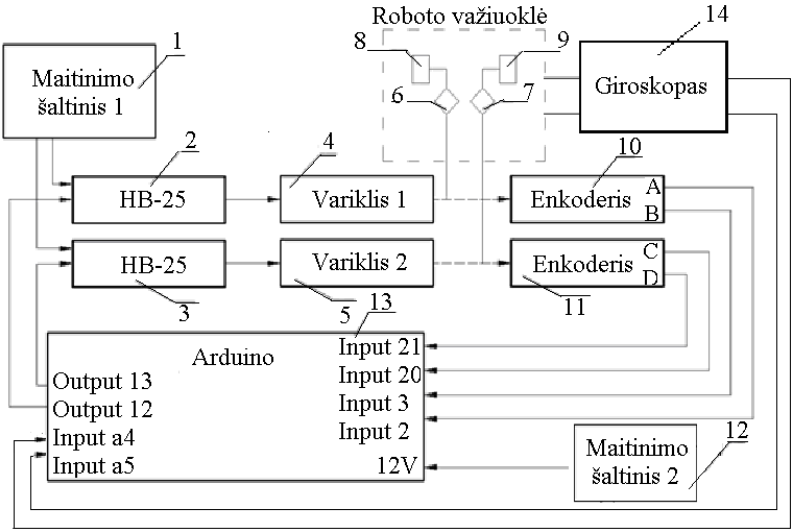
Nagrinėjimui parinktas dviejų varomųjų ratų robotas 1 pav.



1 pav. Dviem ratais varomas tiriamasis robotas

Tiriamojo roboto pavarų valdymo struktūrinė schema parodyta 2 pav. Šią sistemą energija aprūpina du maitinimo šaltiniai. Abu akumuliatoriai yra 12 V. Vienas energijos šaltinis naudojamas važiuoklės galios stiprintuvams ir

varikliams 1. Taip pat, reikia paminėti, jog šis šaltinis naudojamas griebtuvo pavaroms. Nors jis nepažymėtas schemoje, tačiau šį roboto įtaisą galima įžvelgti pirmame paveiksle. Kito mažesnės talpos akumuliatoriaus 12 funkcija yra maitinti mikrovaldiklį. Ratų apsisūkimų dažniui valdyti naudojami HB25 galios stiprintuvai 2 ir 3 (pavaros), kurios impulso pločio moduliacijos principu įtakoja nuolatnės srovės variklius 4 ir 5 (BOSCH 0 390 251 690). Variklių velenai tiesiogiai sujungti su identiškais enkoderiais 10 ir 11. Laisvas veleno galas jungiasi su sliekiniais reduktoriais 6 ir 7. Šių reduktorių perdavimo santykis yra 63. Per sliekinius reduktorius sujungti ratai, kurių skersmuo yra 21 cm. Sistemai valdyti panaudotas mikrovaldiklis „Arduino Mega“ 13 bei MEMS giroskopas 14.



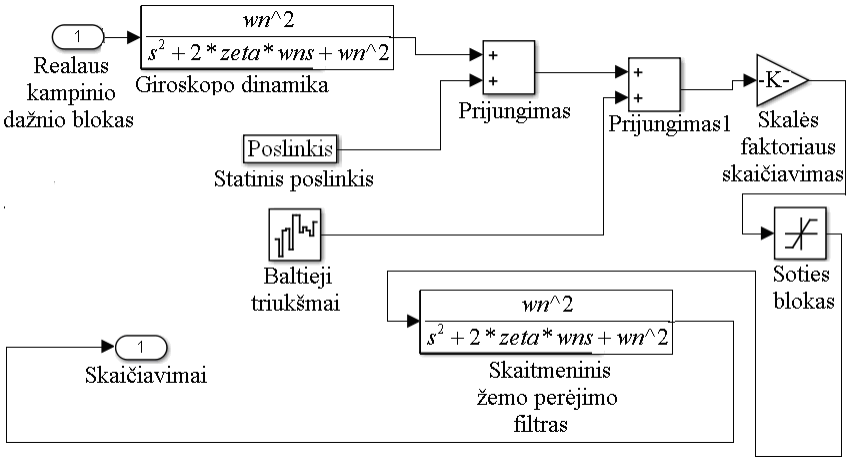
2 pav. Pavarų struktūrinė schema: 2, 3 – pavaros; 4, 5 varikliai, 6, 7 – reduktoriai; 8, 9 – ratai; 10, 11 – enkoderiai; 1, 12 – maitinimo šaltiniai; 13 – mikrovaldiklis; 14 – MEMS giroskopas

3. Giroskopo matematinis modelis

Giroskopas yra svarbi šio roboto orientacijos dalis [3]. Norint išanalizuoti giroskopą ir rasti būdą, kaip jį apjungti kartu su jau esamu roboto važiuoklės matematiniu modeliu, reikia taip pat sukurti jo modelį. Siekiant, kad jis būtų kuo artimesnis realiam giroskopui ir jo veikimu būtų galima pasikliauti, atliekant tolimesnius roboto tyrimus, lygiagrečiai per mikrovaldiklį, jungiamas MEMS giroskopas [4]. Jų išvesti duomenys atvaizduojami grafikuose, iš kurių nesunku matyti koks yra tapatumas.

Eksperimentas atliekamas MATLAB Simulink aplinkoje. Perskaičiavimams tarp „Kampinio dažnio“ ir „Skaičiavimų“ bloko parinktas duomenų gavimo blokas (3 pav.). Paimta pilna matavimo skalė (FS) 250 laipsnių per sekundę, kurią atitinka reikšmė 0,00875 laipsnių per sekundę [5].

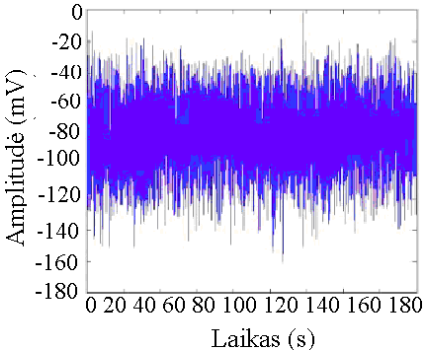
Labai svarbu įvertinti giroskopo dinamiką. MEMS giroskopas turi mažą vibruojančią masę. Kai daviklis judinamas, ši masė veikiama Koriolio jėgos, persislenka pradinės padėties atžvilgiu. Kai jutiklis juda apie X arba Y ašis, Koriolio efektas sukelia vibraciją, kuri gali būti išmatuota. Vibracija išmatuojama nustatant talpos kaitą tarp mechaninės struktūros ir fiksuotų elektrodų. Tada signalas yra sustiprinamas, demoduliuojamas ir filtruojamas. Išėjimo signalas yra įtampa, proporcinga kampiniam greičiui. Siekiant išvengti nepageidaujamos kiekvienos ašies išėjimo signalo interferencijos, kiekviena ašis veikiama skirtingu rezonansiniu dažniu. Atlikus nustatymus atvaizduojami realaus giroskopo duomenys (4 pav.).



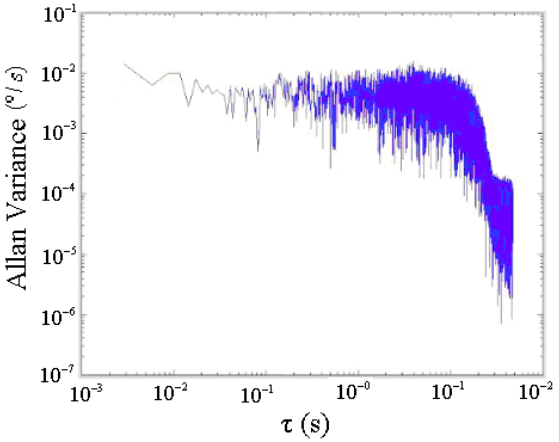
3 pav. Giroskopo modelis

4 pav. matomas signalo triukšmas. Buvo tikėtasi reikšmių artimų 0, o ne intensyviai laužytos kreivės. Visgi, tai parodo kodėl modelyje panaudoti poslinkio ir triukšmų blokai, kurie padeda atkartoti realią jutiklio elgseną. Giroskopo masės dinaminis poslinkis atitinka kampinį greitį 0,6851 °/s. Ši vertė panaudota jutiklio modelyje (9 pav.).

Siekiant matyti duomenų pokyčius tik su triukšmu, kuriamas naujas signalas, su pašalinta poslinkio reikšme. Naudojama Matlab programoje esanti fft funkcija. Įkeliami duomenys (realGyroNobias) į komandų langą, gaunamas grafikas (5 pav.).



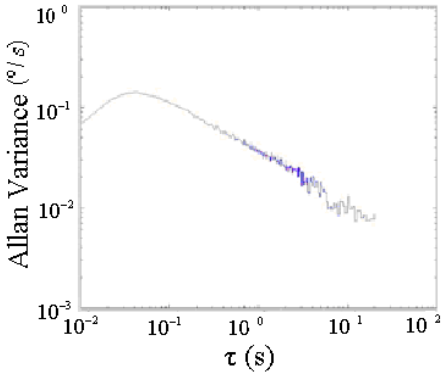
4 pav. Realaus MEMS giroskopo išvesties duomenys



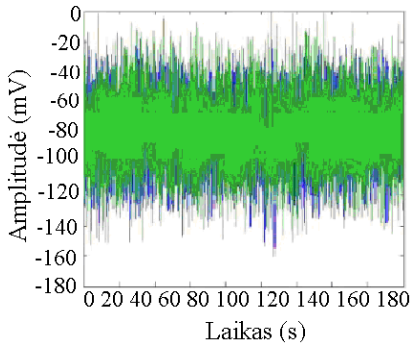
5 pav. Realaus giroskopo duomenys be poslinkio reikšmių

Iš 5 pav. matoma, jog triukšmo amplitudė išsidėsčiusi apie žemųjų dažnių nominalųjį dydį. Kaip ir buvo tikėtasi, iš baltųjų triukšmų, kreivė pakyla apie 12,5 Hz ir pradeda greitai kristi. Kadangi, prieš tai buvo naudotas žemo perėjimo filtras su 12,5 Hz dažnio nukirpimu, todėl aukščiau esančio grafiko pateikti rezultatai buvo tokie, kokių buvo tikėtasi, nes šis filtras apriboja aukštuosius dažnius, praleisdamas žemus. Randamas signalo triukšmo tankio dažnis. Triukšmas pasireiškia beveik visur: puslaidininkiuose, metaluose, dielektrikuose, plonuose sluoksniuose, visuose elektroniniuose, vakuuminiuose, joniniuose ir puslaidininkiuose įtaisuose, termoporose ir kitur. Dažniausiai didelį triukšmą turi defektingi dariniai: blogi sąlyčiai, grūdėtos arba salelinės sandaros medžiagos, jonais bombarduoti ir neatkaitinti

bandiniai. Todėl pagal triukšmo dydį dažnai sprendžiama apie medžiagos arba įtaiso kokybę, jų parametrų pastovumą. Tam tikslui naudojama D. W. Allan‘o variantiškumo paprogramė. Tai yra dažnio stabilumo matas, apibūdinamas laipsniais per sekundę. Gaunami giroskopo duomenys bei poslinkis laipsniais (6 pav.).



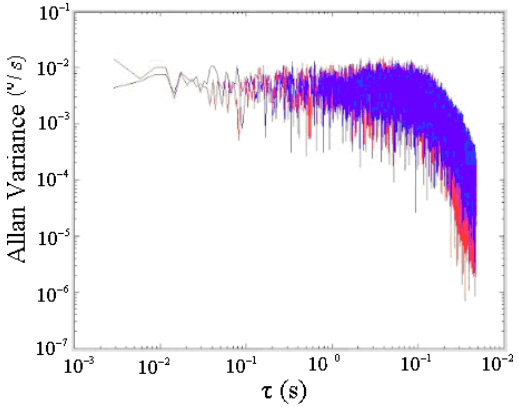
6 pav. Signalo triukšmo tankis



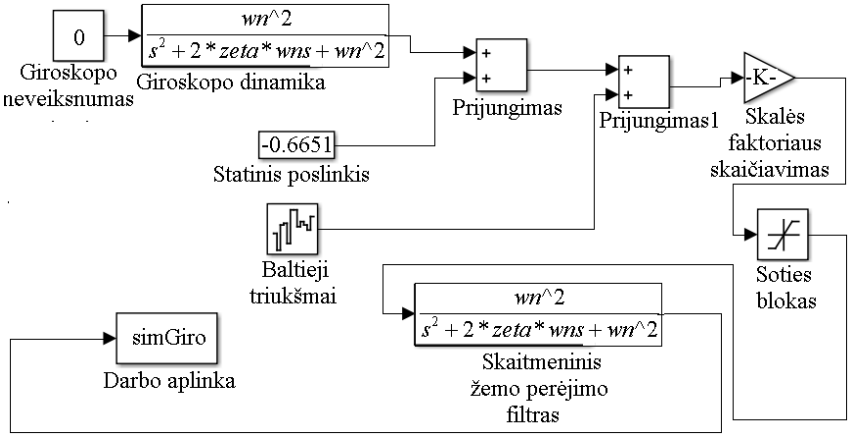
7 pav. Realaus (mėlyna spalva) ir modeliuojamo (žalia spalva) duomenų palyginimas

6 paveiksle dažnio stabilumo grafike, reikšmė τ(s), prieš tai prilyginta 1, išsidėsčiusi kažkur tarp 10^{-2} ir 10^{-1}. Pasinaudojus komandų lauku, gauta konkreti reikšmė - 0,0375 laipsniai per sekundę. Ši reikšmė tikslesnė, nes duotoji duomenų lape yra 0,03. Nustatytas giroskopo dinamikos natūralus dažnis ω_n iki 1100 Hz (šis dydis pasirenkamas laisvai). Komandų lauke pažymėta: $\omega_n = 1100 \cdot 2 \cdot \pi$, nutraukimo dažnis – 12,5 Hz ir pertvarkyti

blokai, įvertintas giroskopo neveiksnumas, atitinkamame bloke įvestas 0, tai reiškia, jog daviklis toje bandymo atkarpoje, yra dinamiškai stabilioje būsenoje. Gauti realaus ir modeliuojamo giroskopo duomenys pateikti 7pav.



8 pav. Realaus giroskopo duomenys be poslinkio (raudona spalva) palyginami su modelio duomenimis (mėlyna spalva)



9 pav. Giroskopo modelis, po pakeitimų

Iš 7 pav. matoma, kad poslinkiai sutampa pakankamai tiksliai (92 %). Triukšmų kreivė atrodo pakankamai aiški, tačiau sunku nusakyti laiko apimtį, todėl pasinaudojama dažnio apimtimi. Pirma, iš modelio pašalinamas

poslinkis, kaip buvo daryta prieš tai. Pakeičiama kreivės spalva (šiuo atveju raudona), kad išsiskirtų nuo modeliuotų duomenų (8 pav.).

Remiantis rezultatais galima teigti, jog realaus giroskopo dažnio apimties duomenys sutampa su modelio laiko apimties duomenimis (sutapimas iki 94 %). Gaunamas modelis, kuris yra gana tikslus ir artimas realiam giroskopui (9 pav.).

4. Išvados

1. Sukurtas matematinis modelis adekvatus realiam giroskopui.
2. Sukurtas modelis bus panaudotas modernizuojant visos sistemos matematinį modelį.

Literatūra

1. **Bernd Gersdorf, Udo Frese.** A Kalman Filter for Odometry using a Wheel Mounted Inertial Sensor. Prieiga per internetą: < http://www.informatik.unibremen.de/~bernd/papers/ICINCO_2013_110_CR.pdf > [žiūrėta 2013-11-02].
2. **Borenstein J.** and **Feng L.** Gyrodometry: A New Method for Combining Data from Gyros and Odometry in Mobile Robots. Prieiga per internetą: < http://www.valentiniweb.com/Piermo/robotica/doc/borenstein/paper63.pdf > [žiūrėta 2013-10-27].
3. **Borenstein J., Everett H. R., Feng L.** Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning. Prieiga per internetą: < http://www.iau.dtu.dk/ancona/385partwhereami.pdf > [žiūrėta 2013-10-28].
4. **Thomas Bräunl, Jie Pan.** Balancing a Two-Wheeled Autonomous Robot. November 3, 2003. Prieiga per internetą: < http://robotics.ee.uwa.edu.au/theses/2003-Balance-Ooi.pdf > [žiūrėta 2013-11-04].
5. Everything about STMicroelectronics' 3-axis digital MEMS gyroscopes. Prieiga per internetą: < http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/technical_article/DM00034730.pdf > [žiūrėta 2013-10-19].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

VAKUUME DENGIAMO PLONO METALO SLUOKSNIO STORIO VALDYMAS PUSLAIDININKINIU LAZERIU

V.Remeikis, M. Mikolajūnas
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: plonų sluoksnių matavimas, garinimas vakuume, matavimas lazeriu.

1. Įvadas

Ploni metalo sluoksniai naudojami mikro ir nano technologijų būdu gaminamuose įtaisuose. Plonus sluoksnius galima suformuoti įvairiais būdais: garinimu vakuume, cheminiu nusodinimu, fiziniu jonų dulkinimu ir kt. Šiame darbe aprašyti tyrimai buvo atliekami plonų sluoksnių laboratorijoje vakuuminiu įrenginiu УВН-2М-1, garinant metalus vakuume. Vykdant medžiagų garinimo procesą yra svarbu valdyti nusodinamo sluoksnio storį. Eksperimentų metu buvo garinimas chromas, aliuminis, varis ir sidabras. Garinamų medžiagų sluoksnių storio matavimas ir valdymas bus atliekamas, pritaikant puslaidininkinį lazerį ir foto elementą.

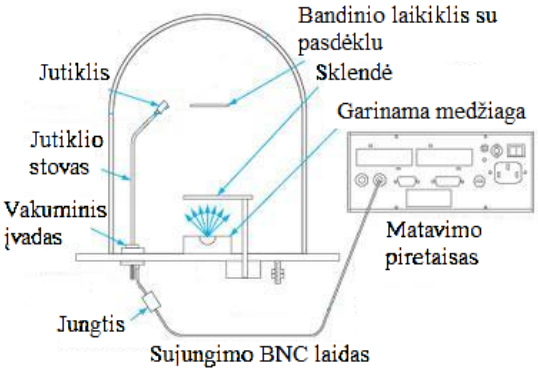
2. Medžiagų garinimas vakuume ir plonų sluoksnių matavimas

KTU Technologijų fakultete, plonų sluoksnių laboratorijoje, metalo medžiagų plonų sluoksnių padengimui, mikro įtaisų eksperimentinės gamybos procesuose plačiai naudojamas gilaus vakuumo įrenginys УВН-2М-1. Vakuuminis įrenginys pajėgia sukurti $1 \cdot 10^{-4}$ Torr vakuumą, kuriame ir buvo vykdyti sluoksnio storio kontrolės bandymai. Medžiagos nusodinimo procesas vykdomas vakuuminėje kameroje. Esant nepakankamo gylio vakuumui, susiformuoja nekokybiškos dangos ir vyksta metalų oksidų dangų auginimas.

Garuojančių medžiagos dalelių nusodinimas vyksta ant padėklo. Prieš pradedant darbus padėklas gerai nuvalomas spiritu, kad prikibtu garinami metalai. Procesas pradedamas nuo garinamos medžiagos patalpinimo į kaitinamąjį krepšelį, tada uždengiamas vakuuminio įrenginio dangtis ir atsiurbiamas oras. Sulaukiamas reikiamas vakuumas, įjungiama kaitinimo srovė ir ją pamažu didiname. Užkaitus garinamai medžiagai, atidarome sklendę, kuri dengia mūsų padėklą.

Plonų sluoksnių matavimai, vykdant garinimo procesus atliekami keliais būdais. Paprasčiausias, kai tam tikrame atstume nuo padėklo yra garinama medžiaga. Žinant atstumus, medžiagos garavimo intensyvumą pagal kaitinimo srovę, skaičiuojamas laikas, per kurį nusodinamas reikalingas sluoksnis. Po nusodinimo, matuojamas sluoksnio storis. Metrologijai naudojamas mikrointerferometras. Šis būdas pigiausias, bet negalima kontroliuoti auginamo sluoksnio storio tiesiogiai proceso metu, nusodintos medžiagos storis bus apytikslis, reikalingi ankstesnių garinimų rezultatai. Plonesniems nei 50 nm storio sluoksniams matuoti reikalingas atominių jėgų mikroskopas.

Dangos storio valdymui vykstant garinimo procesui, pasaulinėje praktikoje dažniausiai naudojamas kvarcinio kristalo dangos storio ir augimo greičio matuoklis. Šis prietaisas veikia svarstyklių principu ir yra pakankamai tikslus. Jo pagalba galima gauti norimą nusodinto sluoksnio storį 1 nm tikslumu. Vakuuminės kameros su šiuo prietaisu išdėstymas pateiktas 1 pav. Kvarcinio kristalo jutiklis montuojamas netoli bandinio laikiklio su padėklu, kad garinamos medžiagos dalelės patektų ir ant jo.



1 pav. Vakuuminės kameros su kvarciniu storio matavimo įtaisu bendroji schema

Dangos storio ir nusodinimo greičio valdymo prietaisas SQM-16O su kvarco kristalo jutikliu INFICON matuoja kvarco kristalo virpesių dažnio pokytį, atsižvelgiant į nusodinimo spartą, sluoksnio storį (plonų sluoksnių nusėdimo metu).

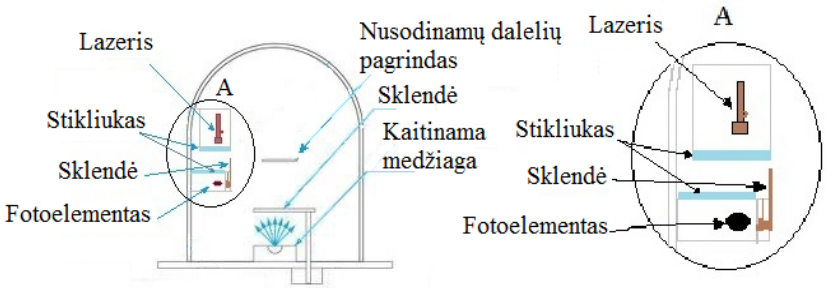
Lazerinis sluoksnio storio matavimo būdas yra seniai naudojamas peršviečiamoms dangoms, bet nenaudotinas norint gauti storą, nusodintą sluoksnį ar sluoksniams užnešamiems ant neskaidrių pagrindų. Šio matavimo principas yra fiksuoti praeinančio per skaidrų padėklą lazerio šviesos kiekį. Lazerio spindulys veidrodžių sistemos pagalba šviečia per stiklinį padėklą, o

spindulys patenka į fotoelementą. Augant dangai ant padėklo spindulio intensyvumas mažėja, o tapus dangai neperšviečiamai – spindulys nutrūksta.

4. Plonų sluoksnių matavimo šešėliavimo technologija aprašymas

4.1. Technologinė schema

Metalų dengimo vakuume metu galėtų būti naudojamas lazerinis matavimo būdas, paremtas šešėliavimo technologija (2 pav.). Matavimas daromas šešėliuojamame nusodinimo padėkle. Naudojama šešėliavimo technologija, t. y. nusodinamo sluoksnio matavimas vyktų netiesiogiai, o šalia pagrindinio padėklo. Lazerinio matavimo prietaisas būtų sumontuotas netoli pagrindinio padėklo. Pasiskleidę garai po visą kaitinimo kamera nusėda visame kameros tūryje. Sklendė, neduodama pilnai garuoti ant matuojamo paviršiaus, jį užstotų.



2 pav. Šešėliavimo matavimo technologijos schema

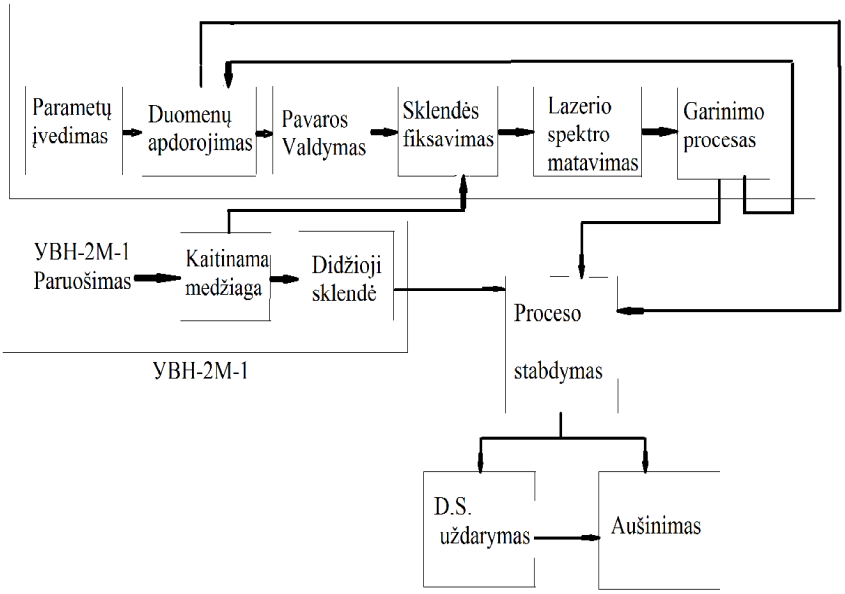
4.2. Valdymo algoritmas

Automatinis įrenginio valdymas numatytas atlikti ateityje ir susidėtų iš šių etapų:

- parametrų įvedimas (į valdiklį suvedami garinamos medžiagos duomenys: tankis, nusodinamo sluoksnio storis, nm);
- procesorius apdoroja duomenis ir nustato kaitinimo laiką;
- valdoma sklendės pavara, pagal nustatytus parametrus, šešėliavimo efektui išgauti;
- fiksuojama šešėliavimo sklendės padėtis pagal nustatytus parametrus;
- kaitinama pasirinkta nusodinimo medžiaga;
- įkaitinus medžiagą, atidaroma padėklą dengianti sklendė;
- lazerio šviesos kiekio (pralaidumo) matavimas;

- garinimo procesas. Medžiaga garinama ant padėklo ir ant matuojamo stikliuko.
- proceso stabdymas. Signalą stabdyti duoda lazerinio matavimo prietaiso valdiklis, apdorojęs duomenis;
- didžiosios sklendės uždarymas.

Proceso valdymo algoritmas pateiktas 3 pav.



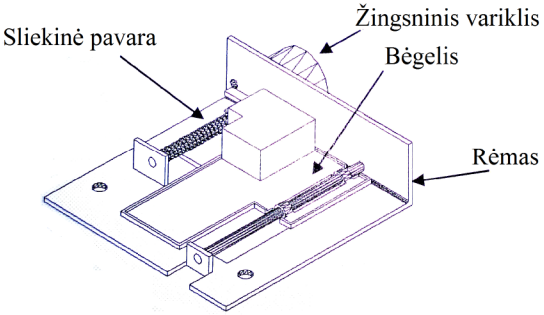
3 pav. Valdymo algoritmas

5. Eksperimentinė dalis

5.1. Įtaiso elektromechaninis valdymas

Padėklas nuo garinamos medžiagos šaltinio pastatomas 245 mm atstumu, o šešėliavimui naudojamas įtaisas yra už 345 mm. Šešėliavimo efektui išgauti naudojama žingsninė sklendė (4 pav.).

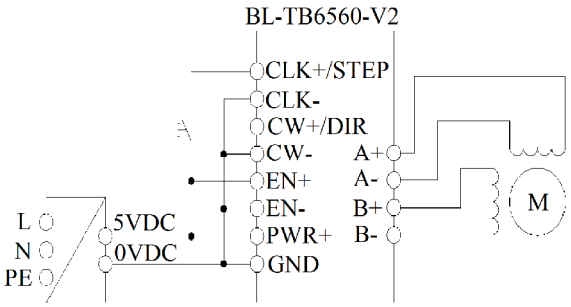
Sklendė gali uždengti 40 mm pločio ir 20 mm ilgio zoną. Pati sklendė tvirtinama prie bėgelio ir sliekinės pavaros. Žingsninis variklis ir jo elektroninė dalis yra paimta iš diskelių skaitytuvo įrenginio (FDD). Tam, kad galėtume valdyti žingsninį variklį, iš elektroninės dalies 34 kontaktų lizdo, reikia 12 ir 16 kontaktą prijungti prie žemo valdymo potencialo lygio. Kontaktas 18 skirtas



4 pav. Žingsninė sklendė

keisti variklio sukimosi kryptį, atitinkamai prijungus aukštą ar žema signalo lygį, o kontaktas 20 jungiamas prie impulsų generatoriaus arba naudojant rankinį valdymą. Keičiant impulsų dažnį, arba mygtukų nuspaudimo skaičių, keičiasi variklio sukimosi greitis. Vienas impulsas pasuka per vieną žingsnį. Žingsninei pavarai valdyti galima naudoti loginį valdiklį. Tolimesniuose valdymo automatizavimo etapuose planuojamas naudoti programuojamas loginis valdiklis Omron 200HG–CPU-43, valdysiantis per tranzistorinį išėjimo modulį OD21B, o valdymo komandos priimamos modulio ID212 [4].

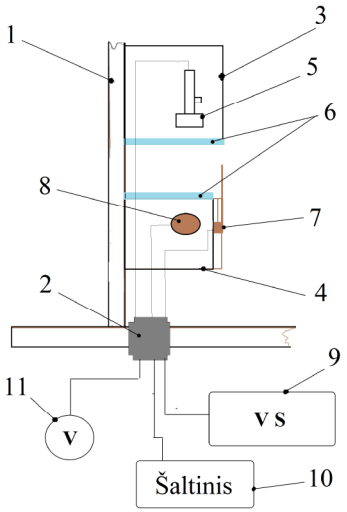
Pirminiame valdymo eksperimentų etape buvo naudojamas rankinis elektromechaninis valdymas. Paspaudus mygtuką vieną kartą, paduodamas impulsas žingsniniam varikliui pasisukti per vieną žingsnį. Elektrinė schema sudaryta iš maitinimo šaltinio, žingsninio variklio pavaros BL-TB6560-V2, mygtuko ir paties žingsninio variklio, pateikta 5 pav.



5 pav. Elektromechaninio valdymo schema

5.2. Eksperimento schema

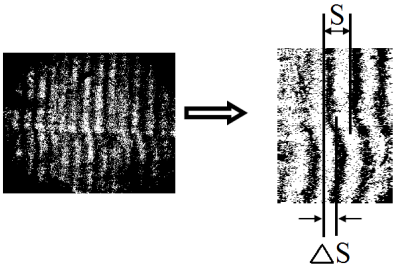
Eksperimentinės konstrukcijos schema pateikta 6 pav.



6 pav. Įtaiso konstrukcijos išdėstymo schema: 1 – pagrindinė konstrukcija – vakuuminio įrenginio korpusas; 2 – maitinimo ir matavimo laidų jungtis; 3 – metalinė dėžutė dengianti lazerio įtaisą; 4 – metalinė dėžutė dengianti fotoelementą ir laikanti sklendę; 5 – puslaidininkinis lazeris; 6 – keičiami stikliukai; 7 – sklendė su žingsniniu varikliu; 8 – foto elementas sugeriantis lazerio spindulius; 9 – sklendės impulsų valdymo skydas žingsninio variklio valdymui; 10 – maitinimo šaltinis; 11 – foto elemento srovės matavimo prietaisas (valdymo sistemos priežiūrai)

5.3. Dangų matavimas interferometru

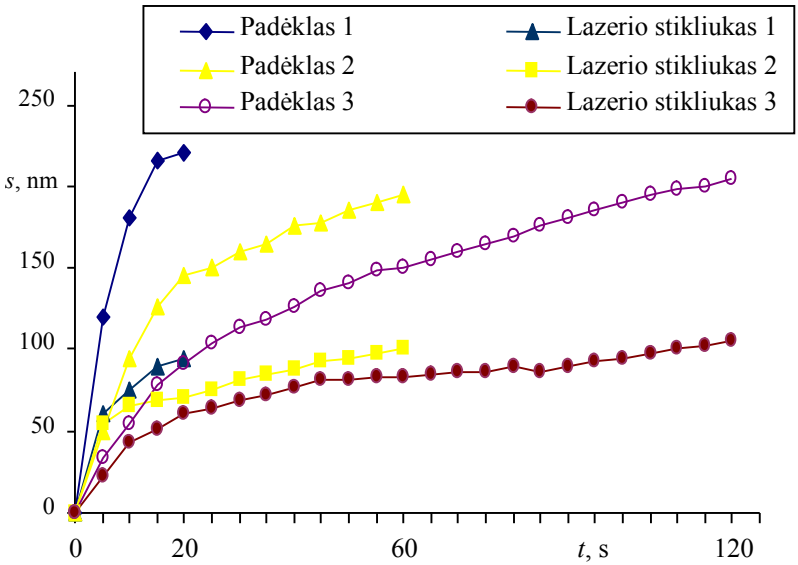
Dangų storio matavimams naudotas interferomertas МИИ-4. Tai specialus prietaisas, skirtas plonasluoksnių paviršių vizualiam įvertinimui, jų storių matavimui. Jo veikimo principas paremtas šviesos interferencijos reiškiniu. Stebimas interferuojančių juostų persistūmimas sluoksnio storio kitimo vietoje (7 pav.). Tam, kad pamatyti šviesos lūžio interferencines bangas, turi būti suformuotas nusodinto sluoksnio ant padėkliuko status laiptelis.



7 pav. Dangos bandinio interferometrinis šviesos lūžio matavimas

5.4. Eksperimentų rezultatai

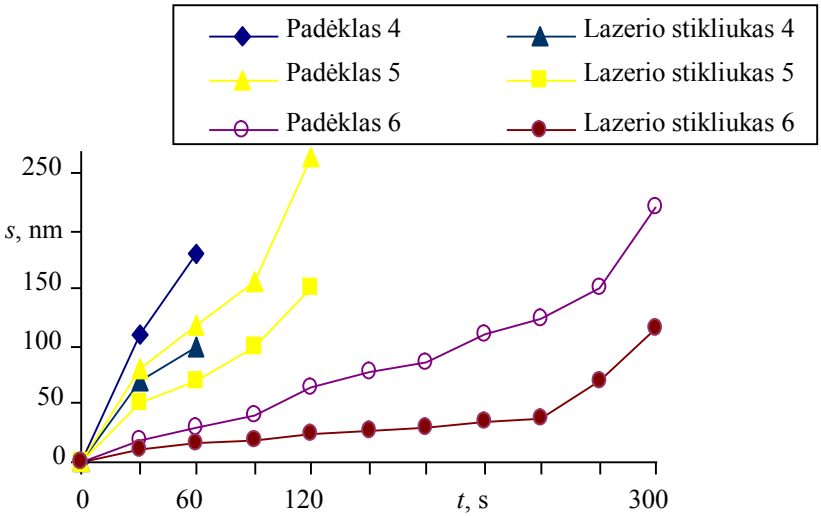
Eksperimentams buvo naudojama: chromas, kurio tankis 7,2 g/cm^3, lydymosi temperatūra 1900 °C; aliuminis, kurio tankis 2,70 g/cm^3, lydymosi temperatūra 660,3 °C. Bandymų metu šie metalai buvo garinami skirtingais greičiais (kaitinimo srove), fiksuojami lazerinio matuoklio sklendės padėtis ir fotoelemento srovė, bei lyginama su kvarcinio kristalo monitoriaus



8 pav. Aliuminio dangos storio priklausomybės nuo laiko. Ant padėklo nusodinamo sluoksnio ir lazerio stikliuko, nuo garavimo laiko esant skirtingam garavimo intensyvumui

parodymais. Interferometru, bei atominių jėgų mikroskopu matuojamas galutinis gaunamų sluoksnių storis, pagal kurį kalibruojami tarpiniai parametrai. Matavimų rezultatai pateikti grafinškai: aliuminiui – 8 pav., chromui – 9 pav. Priklausomybės sudarytos, sklendei šešėliuojant 2/3 savo visos eigos, pastoviai pridariusi garuojančios medžiagos patekimą ant lazerio įtaiso stikliukų.

Aliuminio garavimas pradinėse stadijoje vykta pliūpsniu tolimesnis dangos augimas tolydus, tuo tarpu chromo nusodinimas visą garinimo periodą vyksta tolygiai [1].



9 pav. Chromo dangos storio priklausomybės nuo laiko. Ant padėklo nusodinamo sluoksnio ir lazerio stikliuko, nuo garavimo laiko esant skirtingam garavimo intensyvumui

6. Ekonominiai palyginimai

Kvarco kristalinių matuoklių rinkos kainos surašytos 1 lentelėje. Medžiagų sąmata lazeriniam dangos storio matuokliui – 2 lentelėje.

1 lentelė

Kvarzo kristaliniai matuokliai [2]

Matuoklio tipas	SQM – 160	SQM – 1`80	SQM – 200	FTM100
Kaina, Lt	3987	3750	4312	8737

2 lentelė

Medžiagų sąmata lazeriniam dangos storio matuokliui [7]

Elemento pavadinimas	Kaina, Lt
Puslaidininkinis lazeris	15
Fotoelementas	5
Žingsninė sklendė	12
Dėžutė puslaidininkiniam lazeriui	20
Dėžutė fotoelementui	15
Maitinimo šaltinis	20
Valdymo skydas	90
Mikroampermetras	20
Varikliuko pavara	32
Montavimo medžiagos (varžtai, laidai ir kt.)	30
SUMA	294

7. Išvados

1. Rankinio valdymo lazerinė matavimo sistema, ją tinkamai sukalibravus, galima valdyti garinimo procesą.
2. Garinant metalus skirtingais intensyvumo režimais, naudojant plonų sluoksnių matavimą lazeriniu įtaisu galima atlikti dangos netiesioginį augimo stebėjimą ir jį kontroliuoti.

Literatūra

1. **Майссела Л., Галенга П.** Технология тонких пленок. Справочник. – Москва, 1977 г. – 768 с.
2. Kvarco kristalinis matuoklis SQM. Prieiga per internetą: < http://www.intech-group.ru/ directions/semi/komponenty_sistem/sqm160/ > [žiūrėta 2013-04-12].
3. Mikroelektromechaninės Si_3N_4 membranos neinvaziniams akustiniams matavimams. Baigiamoji ataskaita, doc., dr. D. Viržonis Panevėžys, 2006.
4. Silicio nitrito sluoksnių, gautų plazmocheminės sintezės būdu, kokybės įvertinimas. Mokslinis tiriamojo darbo ataskaita. Panevėžys, 2005.
5. Plonasluoksnių metalų skaidrumas. Prieiga per internetą: < http:// physics.stackexchange.com/questions/31830/formula-for-transparency-of-very-thin-film-of-metal > [žiūrėta 2013-03-10].
6. Interferometrinio matavimo vadovas. Prieiga per internetą: < http://www.ceravolo.com/Interferometry.pdf > [žiūrėta 2013-06-03].
7. Naudojamos medžiagos lazeriniam matavimui < http://lemona.lt/ > [žiūrėta 2013-05-19].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

VANDENILIO ĮRANGOS TAIKYMO VIDAUS DEGIMO VARIKLIAMS TYRIMAS

J. Samulis, Ž. Bazaras
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: vandenilis, vandenilio generatorius, vidaus degimo variklis, tyrimas, kuro sąnaudų mažinimas.

Santrauka

Darbo objektas: vandenilio dujų išgavimas bei panaudojimo vidaus degimo variklyje tyrimas.

Tiriamas vandenilio generatoriaus bei kitų pagrindinių dalių konstrukcija ir galimas patobulinimas. Taip pat išgavimo būdo efektyvumas, sąlygos ir išgautų dujų įtaka vidaus degimo varikliui, kuro sąnaudų pokyčiams. Tyrimas nebus atliekamas judančioje transporto priemonėje todėl, kad yra daug veiksnių, lemiančių paklaidas. Tokie veiksniai yra: eismo intensyvumas, kelio netolygumas, vėjo pasipriešinimas, žmogaus valdymo netolygumas, elektroninės kuro įpurškimo sistemos bei lambda, MAF/MAP sensorių kalibracija su vandenilio dujų įranga. Šio tyrimo tikslas išaiškinti ar vandenilio dujų generatorius turi įtakos vidaus degimo variklio kuro sąnaudų suvartojimui. Ištirti koks yra skirtumas naudojant įprastą ir mišrų (su vandenilio dujomis) kurą.

1. Įvadas

Gaila, tačiau kiekvieną dieną naftos ištekliai sparčiai mažėja ir kuro kainos sparčiai auga. Įvairūs nauji projektai, siekia sumažinti kuro sąnaudas. Žvalgomasi ir į alternatyvias energijos rūšis, jų realizavimą miestuose. Elektra varomų ar hibridinių automobilių vis daugėja, tačiau tai dar nėra pakankamai išplėtota energijos rūšis, nes miestuose dar labai mažai tokius automobilius aptarnaujančių servisų, o ir įkrovimo stotelių įdiegti neskubama. Belieka naudotis technologijomis, kurios sukeltų kuo mažiau papildomų nepatogumų.

Norėčiau atkreipti dėmesį į jau seniai išrastą alternatyvią kuro rūšį – vandenilio dujas. Jos gali būti naudojamos kaip bet kurios jau esamos kuro rūšies priedas ir netgi bandoma naudoti vien tik jas be jokio kito kuro.

Teigiama, kad šio kuro naudojimas pagerinia didžiąją dalį variklio parametrų. Rezultatai daug žadantys, tačiau jo poveikis vidaus degimo

variklyje paaiškės tyrimo metu. Tikimasi išspręsti dalį problemų, kurios stabdo šios kuro rūšies kaip alternatyvos panaudojimą vidaus degimo varikliuose ir įsitikinti veiksmingumu.

2. Vandenilio dujos

Vandenilis (lot. *hydrogenium*) – cheminis elementas periodinėje elementų lentelėje, žymimas H. Vandenilio atominis skaičius – 1, tai pats lengviausias ir labiausiai paplitęs elementas visatoje. Normaliomis sąlygomis tai bespalvės, bekvapės, itin degios dviatomė dujos, kurios yra daugiau nei 10 kartų sprogesnės už įprastas autobilines dujas. Vandenilis – sudedamoji vandens dalis, jo yra kiekvienoje organinėje medžiagoje ir kiekviename organizme. Vandenilis gali reaguoti su dauguma kitų elementų.

Vandenilio dujos yra vandenilio (H_2) ir deguonies (O_2) mišinys. Tai dujinis mišinys, kuris XIX a. buvo naudojamas suvirinant. Teoriškai vandenilio ir deguonies santykis 2:1 (toks mišinys vadinamas stechiometriniu) yra pakankamas pasiekti maksimalų efektyvumą. Tačiau praktiškai naudojamas 4:1 arba net 5:1 tam, kad būtų išvengta oksiduojančiosios liepsnos.

Uždegtas dujų mišinys išskiria energiją, kuri yra apie 241,8 kJ. Tiek energijos atiduoda kiekvienas sudegęs H_2 molis. Išskleista šilumos energija nepriklauso nuo degimo režimo, tačiau liepsnos temperatūra svyruoja. Maksimali temperatūra gali siekti net apie 2800 °C.

Grynas stechiometrinis mišinys gaunamas vandens elektrolizės būdu, kai yra naudojama elektros srovė atskirti vandens molekules. Elektrolizės ir degimo metu vykstanti cheminė reakcija:

$$\text{elektrolizė:}\quad 2\,H_2O \Rightarrow 2\,H_2 + O_2\,;$$

$$\text{degimas:}\quad 2\,H_2 + O_2 \Rightarrow 2\,H_2O\,.$$

Vandenilio ir deguonies dujų mišinys gali pakeisti dalį kuro. Šis dujų mišinys pagaminamas iš vandens ir KOH tirpalo elektrolizės būdu. Dujas gamina papildoma įranga įmontuota automobilyje, gautą dujų mišinį paduoda į oro įsiurbimo sistemą.

3. Vandenilio (Brauno) dujų įranga

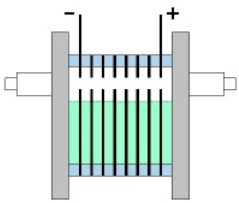
Yra paskaičiuota, kad vidaus degimo varikliuose degalai išnaudojami neefektyviai. Geriausiu atveju sudega tik 40 % kuro, o iš likusių 60 % išsiskiria šiluma, nes nesudegęs kuras baigia degti tik duslintuve. Panaudojant vandenilio generatorių galima sutaupyti net iki 30 % kuro sąnaudų nepriklausomai koks kuras yra naudojamas. Vandenilio dujos gali būti

naudojamos kartu su dyzelinu, benzinu ar LPG dujomis dirbančiu varikliu. Kai vandenilio dujos (HHO) yra tiekiamos kartu su oru per įsiurbimo kolektorių į variklį ir susimaišo su automobilio degalais, tuomet padidėja degalų mišinio oktaninis skaičius. Tai leidžia padidinti spaudimą cilindruose, prie kurio uždegamas degusis mišinys. Degimo procesas vyksta žymiai sparčiau. Todėl kuro papildymas vandeniliu leidžia beveik visiškai sudeginti kurą ir sumažinti išmetamų degimo atliekų kiekį (emisiją).

Vandenilio dujų įrangos privalumai, kuriuos pabrėžia jais prekiaujančios įmonės:

1. Mažina degalų suvartojimą. Pasiekiama iki 30 % degalų ekonomija.
2. Padidina automobilio galią ir našumą. Kuo daugiau kuro tenka sudeginti varikliui, tuo daugiau jis apkraunamas. Naudojant HHO sistemą, ji padeda sudeginti iki 98% kuro, padidėja variklio darbo kokybė ir galia. Tyrimai rodo, kad automobilio galia gali padidėti iki 30 %.
3. Sumažina išmetamo CO_2 kiekį. HHO sistema mažina CO_2 ir kitų kenksmingų degimo produktų išmetimą į aplinką. Taip yra todėl, kad kuras sudega pilniau.
4. Variklis tampa švaresnis ir padidėja jo tarnavimo laikas. Išvalo variklį nuo naftos produktų degimo apnašų ir užtikrina, kad jos nesusidarytų ateityje. Galima keisti variklio tepalus 1,5 karto rečiau.
5. Sumažina variklio darbo triukšmingumą. HHO dujos įtakoja degimo ciklą. Dėl trumpesnio deginimo proceso, variklis dirbs tyliau nei anksčiau.
6. Įranga yra kompaktiška. Įranga neužima daug vietos priešingai nei mums įprasta dujų įranga. Todėl tilps net ir automobilyje kur vietos po variklio dangčiu yra labai nedaug. Jei ne – visuomet galima perkelti į bagažinę, bent jau dalį įrangos.

Vandenilio generatorius, jo veikimo principas. Į vandenį įmerkiamos metalinės plokštelės ir prie jų pajungiama elektros srovė. Naudingiau yra naudoti ne vandenį, o 10 % KOH tirpalą. Kiekviena vandens molekulė (H_2O) suskyla į dvi sudedamąsias dalis: dvi vandenilio molekules (H) ir vieną deguonies molekulę (O). Reikalinga srovė elektrolizei pajungiama nuo automobilio akumuliatoriaus. Tada molekulės atsiskiria ir iš vandens susidaro vandenilio dujos, kurias sudaro jau nebesusikibusių deguonies ir vandenilio molekulių mišinys (HHO arba Brauno dujos).



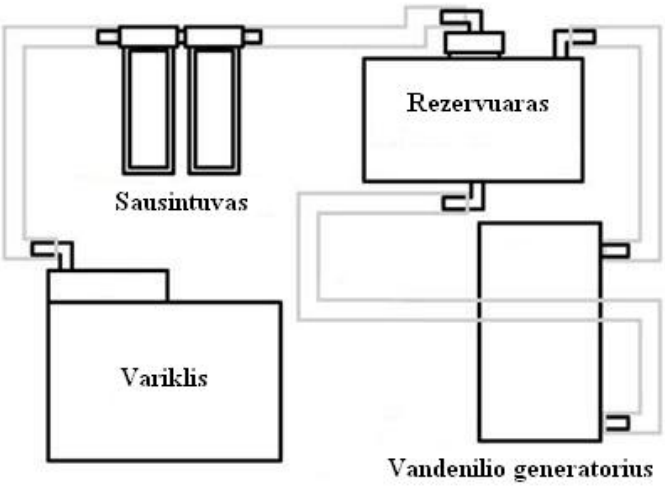
1 pav. Vandenilio dujų generatorius

1 pav. pavaizduota elementarioji schema. Pagrindinės plokštelės yra pažymėtos „+“ ir „–“ ženklais. Tai yra prie akumuliatoriaus pajungti teigiamas ir neigiamas poliai. Likusios šešios plokštelės yra neutralios – nepajungtos niekur, tačiau vis tiek dalyvauja elektrolizėje. Jų pagalba yra sumažinama įtampa tarp plokštelių ir generatorius turintis daugiau neutralių plokštelių mažiau kaista, todėl išvengiama energijos nuostolių ir papildomo aušinimo. Per visas plokšteles yra gręžiama skylė pagamintoms dujoms pasišalinti.

Eksperimentiniame generatoriuje yra 3 teigiamos, 3 neigiamos ir jas skiria 1 neutrali plokštelė. Išeiga prie 12 A srovės yra šiek tiek maža, kad būtų galima pakankamai pasotinti vidutinį automobilio variklį, todėl reikalinga padidinti srovę arba padidinti plokštelių skaičių.

Kitos vandenilio dujų sistemos dalys. Vandens bakelis su tirpalu (būtinai turi būti aukščiau sumontuotas nei generatorius tam, kad vyktų cirkuliacija), atbulinės eigos vožtuvas, nuo sprogimo (liepsnos patekino į sistemą) apsaugantis vožtuvas, papildomas rezervuaras ar džiovintuvas, elektroninė mikroschema priklausoma nuo variklio tipo (jei tai yra reikalinga), PWM srovės reguliatorius, MAF/MAP sensoriaus moduliatorius, KOH ar kitoks tirpalas, apsaugantis nuo užšalimo ir pagerinantis srovės tekėjimą tarp plokštelių, papildomai galima pajungti termometrą elektrolito temperatūrai bakelyje ar pačiame dujų generatoriuje.

Elementarioji jungimo schema su pagrindiniais elementais pavaizduota 2 pav.



2 pav. Elementarioji vandenilio dujų sistemos pajungimo schema

3. Tyrimas

Tiriamas išgavimo būdo efektyvumas, sąlygos ir išgautų dujų įtaka vidaus degimo varikliui, kuro sąnaudoms. Tyrimui naudojamas benzininis „Brigs&Stration“ 110 cm^3 variklis, turintis 6,5 AG.

Norint gauti maksimalų rezultatą automobilyje reikia papildomai pajungti mikroschemą, kuri reguliuotų lambda zondo ir MAF/MAP sensorių parodymus. Sistemą reikia tinkamai sureguliuoti, kitaip variklio elektroninė įpurškimo sistema pastebės nukrypimų nuo normų ir ims kuro mišinį riebinti, todėl efektas gali būti nepastebėtas net jei HHO generatorius ir veiks tinkamai.

Sukonstruotas dujų generatorius yra nedidelis, nes reikalingas dujų kiekis yra 0,1-0,2 l/min. Plokštelių išdėstymas:

1+ ; 1N ; 1- ; 1N ; 1+ ; 1N ; 1- ; 1N ; 1+ ; 1N ; 1N-

Vandenilio generatoriaus charakteristikos pateiktos 1 lentelėje, o tyrimo rezultatai – 2 lentelėje. Gautas efektas nėra toks didelis kaip tikėtasi, tačiau konstrukcijoje pastebėta netikslumų bei yra elementų, kuriuos būtų galima patobulinti, kad gaunamas HHO dujų kiekis prie tokio pat elektros energijos suvartojimo būtų didesnis. Be to, įtakos turi ir dažnis, kuris nustatomas vandenilio dujų generatoriui eksperimentiniu būdu ir gali skirtis nuo konstrukcijos.

Tikslesniam tyrimui ir didesniam efektui reikalingas didesnis generatorius, turintis daugiau visų tipų plokštelių ir darbinio ploto.

1 lentelė

HHO dujų generatoriaus charakteristikos

Plokštelių kiekis	11 vnt
Plokštelių plotis	95 mm
Plokštelių ilgis	155 mm
Darbinis plotis	80 mm
Darbinis ilgis	120 mm
Teigiamo krūvio plokštelių kiekis	3 vnt
Neigiamo krūvio plokštelių kiekis	3 vnt
Neutralių plokšt. kiekis	5 vnt
Pagaminamas dujų kiekis	0,2 l/min
Įtampa	12 V
Srovė	12 A
Dažnis	2200 Hz
Atstumas tarp plokštelių	2 mm

2 lentelė

Tyrimų rezultatai

Bandymo numeris	Pagamintas vandenilio kiekis l/min	Darbinė srovė	Kuro sąnaudų sumažėjimas
1.	0,10	8 A	3,0 %
2.	0,16	10 A	4,6 %
3.	0,20	12 A	5,5 %

4. Išvados

1. Vandenilio dujų generatorius veikia ir jo efektas yra pastebimas, rezultatai nėra tokie kokių tikėtasi, tačiau manoma, kad generatoriaus konstrukcija nebuvo tinkama.
2. Pagaminamas vandenilio dujų kiekis yra labai mažas, todėl reikia padidinti KOH koncentraciją nors iki 15 %, HHO generatorius kaista, o tai gali sukelti pavojų naudojant ilgesnį laiką.
3. Reikalingas papildomas atbulinės eigos vožtuvas saugumui užtikrinti. Tai neleis liepsnai patekti į sistemą. Vandenilio generatoriaus kaitimo problema būtų pašalinta (ar sumažinta) padidinant neutralių plokštelių skaičių, tai leis sumažinti įtampą tarp plokštelių, taip pat naudinga padidinti atstumą tarp jų.

Literatūra

1. VANDENILIS.COM. Mažesnės kuro sąnaudos – panaudojant vandenį! Prieiga per internetą: < http://www.vandenilis.com > [žiūrėta 2013-11-24].
2. UAB FREE ENERGY BALTIC. Paimk jėgą iš gamtos. Prieiga per internetą: < http://hho-water-gas.com/watergas/lt/1 > [žiūrėta 2013-11-06].
3. HYDROGEN FIRST AID. Prieiga per internetą: < http://www.hydrogen-first-aid.com/hydrogen_gas_saver.html > [žiūrėta 2013-11-10].
4. HHOEcoCar. Ekonomija, Ekologija, Galia. UAB DOLTA. Prieiga per internetą: < http://www.hhoecocar.lt > [žiūrėta 2013-11-24].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

SPARČIOS PROTOTIPŲ GAMYBOS 3D SPAUSDINTUVŲ ANALIZĖ

L. Striška, D. Vaičiulis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: prototipų gamyba, sparčioji prototipų gamyba, 3D spausdintuvas.

1. Įvadas

Besivystant gamybos technologijoms, vis plačiau ir dažniau pradedama naudoti 3D spausdinimą / liejimą iš metalo ar plastmasės. Ši technologija nėra nauja. Tačiau dabar, kaip niekad yra pasiekiama beveik kiekvienam. Dėl to yra sumažinamos išlaidos ruošiant serijinei gamybai gaminį, nes galima atsispausdinti vieną vienetą ir realiai įvertinti gaminamo komponento tinkamumą. Taip pat konstruktorius gali patikrinti savo projekto, gaminio funkcionalumą, koncepciją, ergonomiką. Tokiu būdu galima pagaminti kelis gaminio variantus ir pasirnkti tinkamiausią. Tai leidžia išvengti brangiai kainuojančių klaidų sekančiose produkto gamybos, ar kūrimo stadijose – iki kol bus pradėta serijinė gaminio gamyba. Šis gamybos būdas priklauso sparčios gamybos įrangos koncepcijai (angl. RT – *Rapid Tooling*) ir yra vienas iš pagrindinių sparčios prototipų gamybos metodų (angl. RP – *Rapid Prototyping*) [1, 2].

2. 3D spausdinimo įrangos analizė

Visi sparčios prototipų gamybos procesai su bet kokiu 3D spausdintuvu turi šiuos pagrindinius žingsnius:

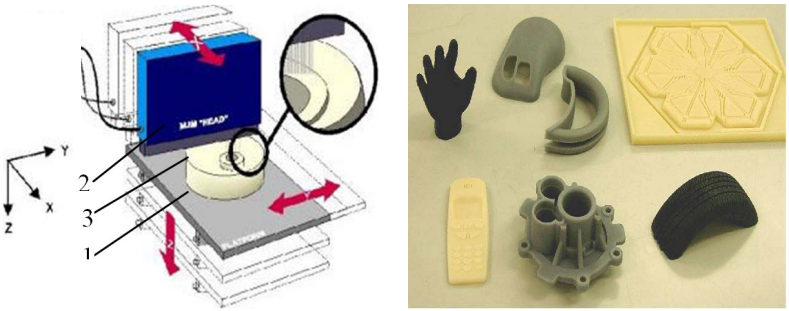
1. 3D CAD modelio sukūrimas;
2. Duomenų konvertavimas / perdavimas;
3. Tikrinimas / pasiruošimas (programoje simuliuojama prototipo gamyba ir įsitikinama, kad technologiškai įmanoma pagaminti prototipą)
4. Detalės gamyba / gamybos procesas;
5. Baigiamasis gaminio apdirbimas (detalės valymas ir pan.).

3D spausdinimo metodas yra pagrįstas paprasto rašalinio spausdintuvo darbo principu. Medžiaga yra išpurškiama viena ar keliomis čiurkšlėmis priklausomai nuo spausdinimo galvutės parametrų. Užnešta ant gaminamo prototipo paviršiaus medžiaga susijungia su jau esančia medžiaga

užpurkšta anksčiau, taip sluoksnis po sluoksnio pagal užduotus CAD duomenis yra suformuojama detalė. 3D spausdintuvais pagaminti gaminiai nėra didelio tikslumo ir tvirtumo. Šie metodai naudojami konstravimo klaidų paieškai bei detalės alternatyvoms greitai sugeneruoti ir įvertinti. Šiuo metodu kai kuriomis technologijomis padaryti prototipai gali būti naudojami plieninėms detalėms lieti formose pagal išlydomus modelius. 3D spausdintuvų populiarėjimą lemia nereikalingos specialios patalpos, jais galima naudotis biure, mokymo klasėse ar namuose.

Multi-Jet Modelling technologija. Gaminant detalę išlydyta termoplastinė medžiaga (paprastai vaškas), iš spausdintuvo galvutės, turinčios daug purkštukų, išdėstytų viena eile, užpurškiama ant darbinės platformos, kurioje auginamas modelis. Užpurškiamos medžiagos sluoksnio storis yra 40 μm. Galvutė juda *X* ir *Y* ašimis. Kai sluoksnis užbaigiamas, platforma yra nuleidžiama žemyn (*Z* ašis) nuo galvutės ir pradedamas spausdinti naujas sluoksnis. Detalė ir pagalbinės sistemos yra gaminamos iš tos pačios termoplastinės medžiagos, pagalbinės sistemos, kurios skiriasi savo struktūra po pagaminimo yra išvalomos. Gamybos laikas priklauso nuo spausdinamo elemento užpildymo kokybės ir nuo detalės ploto (apie 280 cm^3/h). Gautos detalės yra trapios, o matmenų tikslumas nėra didelis dėl termoplastinės medžiagos susitraukimų ir išsiplėtimų. Geriausiai tinka vizualizavimui, šablonams, formų gamybai.

Multi-Jet Modelling technologiją su UV spinduliais. Vietoje vaško naudojami įkaitinti fotopolimerai, kurie sukietinami UV spinduliais. Spausdinimo kokybė – 300×185×625 taškai coliui (dpi), atitinkamai *X*, *Y* ir *Z* ašių kryptimis. Šiuo būdu pagamintos detalės turi lygų paviršių ir išskirtinį

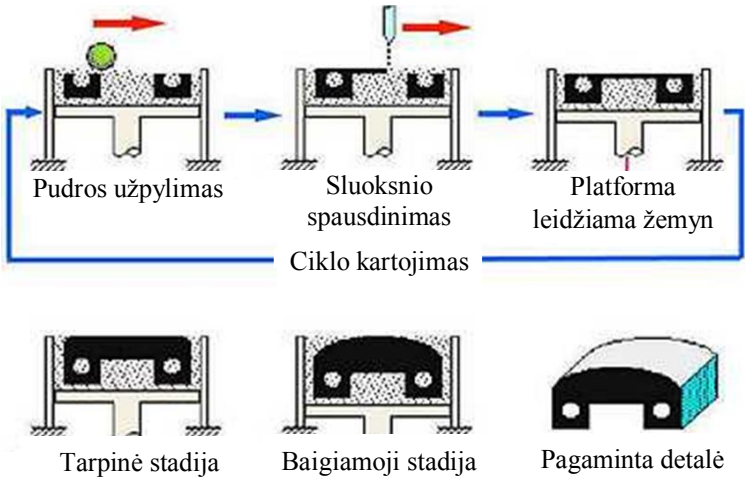


a b

1 pav. Multi-jet principinė schema ir pagamintos detalės [1]. Punktas a: 1 – spausdinimo platforma (juda Z ašyje); 2 – spausdinimo galvutė (juda *X*, *Y* ašyse); 3 – spausdinama detalė. Punktas b: atspausdintų detalių pavyzdžiai

detalumą, tai leidžia gaminti neįprastus sudėtingesnius modelius tinkamus vizualizavimui, surinkimui tikrinti [1].

Z Corporation spausdinimo procesas. Šis procesas išrastas ir užpatentuotas Masačiuseto Technologijos Institute ir licenzijuotas kompanijos Z Corporation 1994 m. Pagrindinė statybinė medžiaga yra krakmolo-celiulioziniai milteliai. Vandeniniai skysti klijai, patenkantys iš spausdinimo galvutės su 128 skylutėm, sujungia miltelius, suformuodami vieno sluoksnio kontūrą. Spausdinimo galvutė yra standartinio Hewled Packard spausdintuvo galvutė. Suformavus sluoksnį darbinis paviršius yra nuleidžiamas vienu sluoksniu žemyn ir vėl yra išskirstoma nauja miltelių porcija ir spausdinimo galvutė nubrėžia sekantį kontūrą. Baigus gamybą, nepanaudoti milteliai grąžinami į talpyklą sekančiam spausdinimui. Spausdinimo greitis yra 10 kartų didesnis nei pačios greičiausios konkurentų spausdinimo technologijos (apie 873 cm^3/h). Pagrindiniai trūkumai: detalės būna trapios ir akytos, gana sunku pašalinti nereikalingus miltelius iš įvairių tuštumų, gaunami laipteliai, gaminio Z ašies kryptimi. Detales sluoksnio storis nuo 0,076 iki 0,256 mm. Šiuo būdų gaminami prototipai gali būti spalvoti (iki 390 000 spalvų) ir iki 500×600×4 000 mm dydžio.

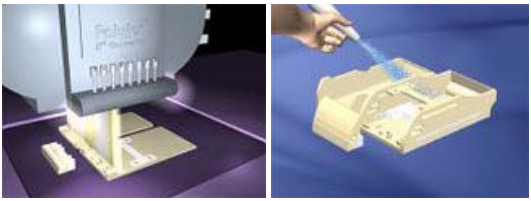


2 pav. Z Corporation spausdinimo procesas [1]

Poly Jet spausdinimo technologija. Ši technologija yra nebrangi, paprasta ir gali lygintis savo modeliais su stereolitografija. Šio proceso metu yra naudojamos šviesai jautrios dervos fotopolimerai, kurie sukietinami ultravioletinėmis lempomis. Pagalbiniai elementai formuojami iš panašios į želę, pagalbinės medžiagos. Taip užtikrinamas lengvas pagalbinių elementų

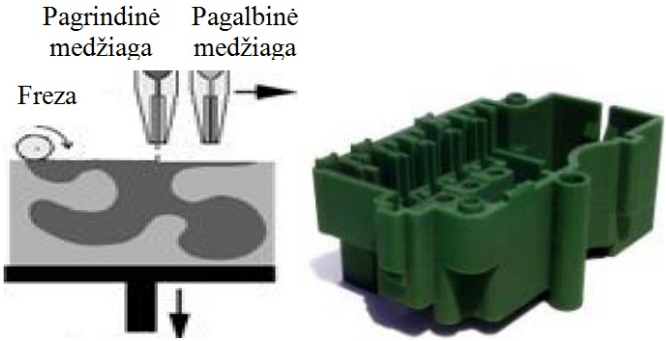
pašalinimas. Šviesos intensyvumas proceso metu yra kontroliuojamas, todėl šiuo metodu pagamintiems modeliams nebereikalingas papildomas sukietinimas. Atspausdinti pagalbiniai elementai pašalinami rankomis arba purškiant vandenį.

3D CAD modelis sluoksnis ant sluoksnio spausdinamas specialia spausdinimo galvute turinčią 1536 purkštukus, abi medžiagos susijungia ir sukietėja apšvietus UV lempomis. Sluoksnio storis – 0,16 mm, spausdinimo kokybė yra 600×300×1 600 taškai coliui (dpi), atitinkamai *X, Y* ir *Z* ašių kryptimis. Šiuo būdu pagamintos detalės gali būti ir užbaigtas gaminys, nes yra tikslios ir patvarios [1].



3 pav. Poly Jet procesas ir pagalbinių priemonių pašalinimas [1]

Solidscape spausdinimo technologija. Ši technologija išskirtinė tuo, kad yra kombinuojamas termoplastinių medžiagų spausdinimas ir aukšto tikslumo frezavimas. Proceso metu iš vienos spausdinimo galvutės yra išpurškiama pagrindinė medžiaga sudaranti modelį, iš kitos pagalbinė, sudaranti pagalbines sistemas. Atspausdinus vieną sluoksnį, sluoksnis yra išlyginamas frezavimo galvute, tada spausdinamas kitas sluoksnis. Detales sluoksnio storis nuo 0,013 iki 0,076 mm, tikslumas 0,025 mm, kai *X*, *Y* ir *Z* kryptimis eiga yra 1 mm. Ši sistema naudoja termoplastinę medžiagą vadinamą ProtoBuildTM. Pagalbinėms sistemoms yra naudojama vaškinė medžiaga ProtoSupportTM,

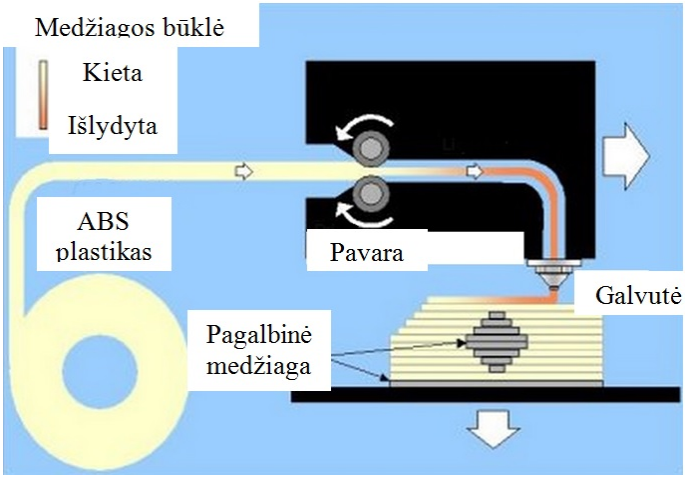


4 pav. Solidscape spausdinimo technologija ir atspausdinta detalė [1]

kurią galima pašalinti tirpikliu, nepažeidžiant modelio. Ši technologija yra ideali mažų modelių su sudėtingais elementais, t. y. precizinių komponentų naudojamų aeronautikoje, elektronikoje ir medicinoje, gamybai [1].

Lydžios masės formavimo metodas. Šiuo metodu yra sluoksniais sudedama išlydyta polimerinė vija, kurios storis apie 1,8 mm. Vija paduodama į įkaitusią išspaudimo galvutę, kurios temperatūra yra kontroliuojama. Galvutėje vija įkaista 0,5 °C didesnė temperatūra nei medžiagos lydymosi temperatūra. Po išspaudimo ji sukietėja per 0,1 s. Išspaudžianti galvutė, užlieja medžiagą labai plonais sluoksniais ant nejudančio pagrindo. Galvutė išspaudžia medžiagą labai dideliu tikslumu. Sekantys sluoksniai, taip pat dedami ant ankstesnių, sukietėja ir susijungia vienas su kitu. Dažnai šiame procese yra naudojamos dvi ekstruzijos galvutės, viena pagrindinei medžiagai, kita pagalbinėms sistemoms. Sluoksnio storis nuo 0,178 iki 0,33 mm, gaminamos detalės matmenys iki 600×500×600 mm. Šis metodas taikomas greitam detalių-prototipų darymui iš ABS plastmasės ir polikarbonatų. Šios sistemos gali būti įrengtos biure, kadangi medžiagos yra pigios, netoksiškos, bekvapės ir atsparios aplinkos poveikiui, o pagamintos detalės yra labai patvarios. Šio proceso trūkumas: detalių paviršiaus šiurkštumas. Iki šiol nėra išspręsta problema, kaip pagaminti mažas vertikales skyles, nes nepavyksta greitai sustabdyti medžiagos nutekėjimo. Šiuo metodu gaminami:

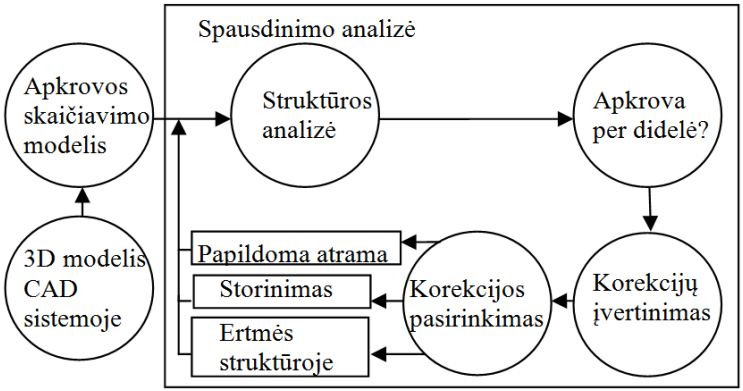
- plastmasinės detalės, modeliai ir prototipai;
- tvirtos detalės;
- detalės turinčios smulkių konstrukcinių elementų;
- smulkias plastmasinių ar metalinių detalių partijas [1].



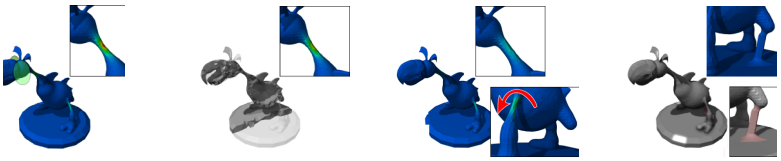
5 pav. Lydžios masės formavimo metodo schema [3]

3. Metodai optimizuojantys spausdinamos konstrukcijos masę, medžiagos sąnaudas

Nors 3D spausdinimo technologijos kokybė šiuo metu yra stipriai pagerėjusi, tačiau spausdinimo laikas (prototipo gamybos laikas) vis dar yra ilgas, o medžiagos kaina yra aukšta. Be to, dažnai pasitaiko, kad atspausdintas modelis nėra tvirtas kaip tikėtasi. Atspausdintas produktas dažnai sulūžta valymo ar transportavimo metu, o kartais suyra nuo savojo svorio. Todėl šiai problemai spręsti yra metodai (principinė schema pateikta 6 pav.), kurie savarankiškai aptinka ir koreguoja problemines modelio vietas (padidiną plonų sienelių storį, prideda papildomas atramas, ar pilnaviduriuose didelio tūrio modeliuose padaromos tuščios ertmės) nepakeičiant modelio išorinio vaizdo. Tai taikoma didelio tikslumo nereikalaujančioms detalėms, pavyzdžiui, statulėlės, žaislai ir kt. (7 pav.).



6 pav. Modelio optimizavimo schema



a b c d

7 pav. Drakono modelis. Pirmiausia, jo galvoje padarytos kiaurymės, kad sumažinti apkrovą tenkančią kaklui (a). Kaklas pastorintas (b, c). Modelis vis dar per sunkus, kojas veikia per didelis lenkimo momentas nuo savojo svorio (c), tai eliminuojama su papildoma atrama prie modelio pado (d) [4]

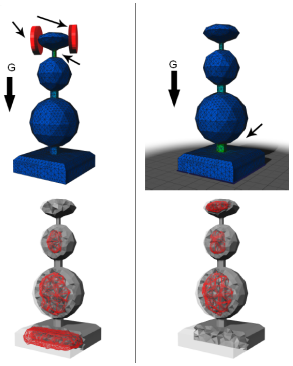
Ertmių darymas modelio struktūroje. Įvertinamas prototipo tvirtinimas, nes skirtingas atsakas į apkrovas yra, jei tvirtinsime skirtinguose taškuose (tvirtinimo vietose). Todėl figūros vidinę struktūrą galime keisti – jei figūra bus tvirtinama prie viršaus, tai papildomos ertmės gali būti tik žemesnėse modelio srityse, jei tvirtiname prie apačios – viršutinėse figūros srityse (8 pav.). Įvertinus tvirtinimo tipą ,buvo sumažintos medžiagos sąnaudos ir svoris gaminant kiškio modelį (9 pav.), o stipruminės sąvybės komnesnuojamos papildomomis atramomis. Taikant ertmių darymo metodiką, prototipo išorinis vaizdas lieka nepakitęs. Modelio užpildymo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę [4]:

$$\delta_h^e = \omega_\sigma^h \frac{\sigma_c}{\sigma_m} \cdot \frac{V_t}{V_h}; \tag{1}$$

$$V_t = V_0 \frac{\sigma_c}{\sigma_m}; \tag{2}$$

čia: V_h – medžiagos tūris, kuris buvo išimtas, m^3; V_0 – figūros tūris, kuris buvo išimtas, m^3; V_t – medžiagos tūris, m^3, kurį reikia išimti iš figūros, kad sumažinti kritinį įtempimą σ_c; ω_σ^h – koeficientas, kuris tinka atvejam, kai konstrukcija suyra nuo savojo svorio (rekomenduojama vertė – 3); σ_m – maksimalūs leidžiami įtempimai, MPa; σ_c – kritinis įtempimas, MPa.

Daromos tuščios ertmės ten, kur figūros tūris yra labai didelis, o įtempimai ypatingai maži. Tačiau, į šių zonų sąrašą nepatenka plonosios jungtys, kurios ir taip yra kritiniai taškai (stiprumo atžvilgiu). Ertmės tūrio centras sutampa su figūros geometriniu centru, o modelis suskaidomas į



8 pav. Skirtingos elgsenos nuo apkrovos. Kairėje – tempiama, o dešinėje – gniuždoma [4]

9 pav. Kiškio modelis. Pritaikytas ertmių darymo ir atraminio strypelio pridėjimo principas [4]

mažesnes figūras. Tūrio dydis perskaičiuojamas kiekvienai suskaidytai figūrai. Ertmės tūris nustatomas taip [4]

$$t_{ertmes}(v_m) = \min\left(t(v_m) - t_{\min}, t(v_m) \cdot \sqrt[3]{1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_m}} \right); \qquad (3)$$

čia: $t_{ertmes}(v_m)$ – ertmės tūris, m^3; v_m – figūros, kurioje bus daroma ertmė geometrinis centras; $t(v_m)$ – figūros, kurioje bus daroma ertmė tūris, m^3; t_{min} – minimalus galimas tūris figūroje, kurioje bus daroma ertmė, m^3; σ_m – leistini įtempiai, MPa.

Didžioji dalis 3D spausdinimo technologijų jau naudoja papildomą medžiagą, kur sutvirtina sluoksnius spausdinimo metu. Planuojama šią medžiaga užpildyti padarytas ertmes, taip pagerinant protipo stiprumines savybes, sumažinant medžiagos sąnaudas ir figūros masę. Tap pat šis ertmių darymo būdas žengliai keičia svorio centro vietą, todėl prototipas gali tapti nestabilu [4]

1 lentelė

Įtempimų ir masės duomenys naudojant optimizavimo metodus [4]

Modelis	Didžiausi įtempimai, MPa		Korekcijos	Vidutiniai įtempimai, MPa		Masė, g	
	Su	Be		Su	Be	Su	Be
Drakonas (6 pav.)	6,0	29,1	1 atr., 1stor., 1ert.	0,005	0,006	105	124
Kiškis (8 pav.)	2,3	4,5	2 stor.	0,007	0,009	198	455
Šioje lentelėje: atr. – panaudota papildoma atrama; stor. – pastorintos ekstremaliai plonos zonos; ert. – padarytos papildomos ertmės; Su – taikant optimizavimo metodus; Be – netaikant optimizavimo metodų.							

4.Išvados

1. Metodai, optimizuojantys spausdinimo procesą, yra veiksimingi ir gali įtakoti prototipo masę, medžiagos sąnaudas bei stiprumą iki 80 %.

2. Tolimesniuose tyrimuose bus palygintos lydžios masės formavimo metodu veikiančio 3D spausdintuvo pagamintų detalių stipruminės savybės su frezavimo būdu pagamintomis detalėmis (naudojant vienodą medžiagą). Taip pat, bus išnagrinėta detalių mechaninių savybių priklausomybė nuo spausdinimo režimo (temperatūra, greitis, užpildymo koeficientas, su pašildomu padu ir be).

Literatūra

1. Sparti prototipų gamyba. Prieiga per internetą: < http://www.ktu.lt/cadcam/RP%20text_lt.pdf > [žiūrėta 2013-12-01].
2. Sparti įrangos gamyba. Prieiga per internetą: < www.ktu.lt/cadcam/RT%20text_lt.pdf > [žiūrėta 2013-12-01].
3. How the fused deposition modeling process works. Prieiga per internetą: < http://www.cs.cmu.edu/~rapidproto/students.03/rarevalo/project2/Process.html > [žiūrėta 2013-11-27].
4. Stress relief: Improving Structural Strength of 3D Printable objects. Prieiga per internetą: < hpcg.purdue.edu/pubs/2012/Stava2012sigg.pdf > [žiūrėta 2013-11-30].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

LAIPTAIS PASIKELIANČIO TRITAŠKĖS ATRAMOS VEŽIMĖLIO KONSTRAVIMAS IR ELEKTROS PAVAROS CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS

M. Satkevičius, J. Valickas
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: laiptais pasikeliantis vežimėlis, tritaškė atrama, horizontalumo reguliavimo mechanizmas, elektros pavara.

1. Įvadas

Integruojant judėjimo negalią turinčius žmones į visuomenę ir užtikrinant jų nepriklausomą pilnavertę bei socialinę veiklą daugelyje Europos sąjungos šalių bei pasaulyje yra sukurta visa priemonių visuma padedanti spręsti jų mobilumo problemas. Naujose Europos sąjungos rytų šalyse, tame tarpe ir Lietuvoje, judėjimo negalią turintiems asmenims nebuvo skiriamas pakankamas dėmesys. Viena opiausių tokių asmenų socialinės integracijos problemų nepritaikytas privažiavimas jų transporto priemonėmis prie kompanijų, mokymo, paslaugų ir kitų įstaigų. Naudojant tradicinius mobiliuosius vežimėlius daugelių įstaigų laiptai jiems neįveikiami. Savivaldybės stengiasi spręsti šias problemas, įrengdamos specialius įvažiavimo trapus, bet, dėl lėšų ir laiko trūkumo didelė dalis įstaigų neįgaliesiems lieka neprieinamos. Taip pat ir gamyklose esti tokia problema, keliant sunkius krovinius nestandartinio aukščio laiptais. Daugelis pasaulio kompanijų gamina labai sudėtingos konstrukcijos pakankamai patikimus robotizuotus mobiliuosius vežimėlius, bet šie vežimėliai daugiausia yra pritaikyti tik standartiniams laiptams ir jų kaina neprieinama neįgaliesiems. Suprojektuotas laiptais pasikeliančios tritaškės atramos vežimėlio maketas turi visą eilę pranašumų prieš gaminamus pramoninius pavyzdžius. Pagrindiniai pranašumai yra:

1. Projektuojamas vežimėlis lengvai adaptuojasi prie nestandartinių laiptų aukščio.
2. Esant kintamos tritaškės atramos vežimėlio konstrukcijai, reikalingos mažesnės energijos sąnaudos iš vežimėlio pavaros maitinančios baterijos.

3. Sukonstruota vežimėlio konstrukcija yra paprasta ir gali būti pigiai realizuojama.
4. Suprojektuotos tritaškės atramos vežimėlio konstrukcija gali būti panaudojama ir sunkių krovinių kėlimui laiptais gamyklose.

2. Rinkoje esančių laiptais pasikeliančių vežimėlių analizė

Siekiant sukonstruoti pigų, automatiškai pasikeliantį nestandartiniais laiptais, taupiai naudojantį pavaros maitinimo akumuliatoriaus energiją tritaškės atramos konstrukcijos vežimėlį, buvo išanalizuota prieinama patentinė informacija, moksliniai straipsniai apie panašios paskirties gaminius.

Išnagrinėjus nustatyta, kad visus vežimėlius galima suskirstyti į žemiau išvardintas grupes:

1. Tritaškės atramos vežimėlis su nekintančiu pečiu [6].
2. Bėginės konstrukcijos vežimėlis [1].
3. Vikšrinės konstrukcijos vežimėlis [1].
4. Daugiaratės konstrukcijos vežimėlis [1].

Tritaškės atramos vežimėlis gerai tinka standartinio aukščio laiptams, tačiau rinkoje esantis pavyzdys yra labai sudėtingos konstrukcijos [6]. Konstrukcijos sudėtingumas didina vežimėlio gamybos kaštus, kas lemia šio vežimėlio didelę kainą.

Bėginės konstrukcijos vežimėliui reikalingi bėgiai. Bėgiai turi būti sumontuoti laiptinėje, o tai reikalauja papildomos vietos joje. Šis vežimėlis yra stacionarus, todėl pritaikytas tik konkretiems laiptams. Taip pat šis tipas yra sudėtingas ir brangus.

Kylant ar leidžiantis laiptais su vikšrinės konstrukcijos vežimėliu gali būti gadinami laiptai. Dėl šios priežasties šis vežimėlis nėra pritaikytas daugeliui vidaus laiptų ir kai kurių lauko laiptų. Vikšrinės konstrukcijos vežimėliui reikalinga papildoma apsauga nuo slydimo. Vežimėlis yra didelio svorio. Kylant laiptais neįgalusis gabenamas atbulas [1]. Tai žmogui sukelia nepatogumo jausmą.

Daugiaratės konstrukcijos vežimėlio ratai negali būti per maži lyginant su laiptų aukščiu. Norint įveikti didesnius laiptus, reiktu didinti ratų skersmenį, tačiau tada pablogėtų vežimėlio ratų manevringumas. Šis vežimėlis yra pakankamai sudėtingos konstrukcijos bei didelio svorio. Dėl didesnio svorio naudojama didesnė maitinimo šaltinio energija.

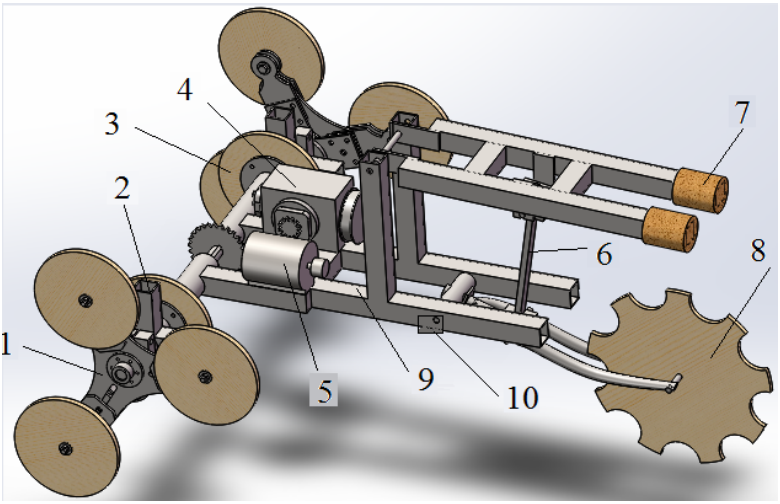
3. Laiptų geometrijos analizė

Standartiniai laiptai gaminami pagal Lietuvos Respublikos statybos techninį reglamentą [3]. Šis reglamentas nustato standartinių laiptų aukščius daugiabučiuose, valstybinėse įstaigose, kurie yra nuo 0,12 m iki 0,20 m. Išanalizavus nestandartinius laiptus rasta, kad jų aukštis yra nuo 0,18 m iki

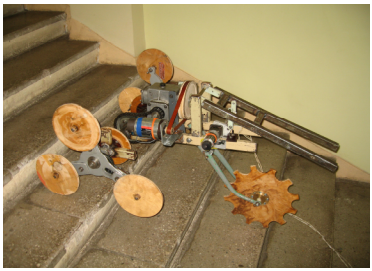
0,26 m. Šis aukštis pasirinktas konstruojant tritaškės atramos konstrukcijos maketą.

4.1. Tritaškės atramos laiptais pasikeliančio vežimėlio projektavimas

Siekiant sukurti paprastos konstrukcijos, maitinimo šaltinį taupantį vežimėlį, pasirinktas tritaškės atramos konstrukcijos tipas. Konstruojant buvo naudojamasi SolidWorks Premium 2013 x64 Edition programiniu paketu. Tritaškės atramos konstrukcija pavaizduota 1 pav. Pasikėlimui laiptais panaudota paprasta tritaškė besisukanti atrama su nevaromais ratukais 1. Priekyje prie ašies tvirtinami du ratukai 3, kurie neleidžia laiptų pakopai atsiremti į tritaškės atramos varomosios dalies elementus. Prie ašies tvirtinamas kronšteinas 9, ant kurio talpinama tritaškės atramos sukimo pavara 5 bei horizontalumo reguliavimo mechanizmas 6 ir pavara. Kylant laiptais vežimėlis remiasi dantytu ratuku 8, kuris neleidžia slysti vežimėliui atgal ir tarnauja krovinio horizontalumo užtikrinimui. Saugumo užtikrinimui numatytos prie kronšteino tvirtinamos rankenos 7, kurias nesunkiai gali prilaikyti prižiūrintis asmuo. Pagamintas maketas parodytas nuotraukoje 2 pav.



1 pav. Tritaškės atramos konstrukcijos vežimėlio maketas: 1 – tritaškės atramos konstrukcijos kintamas petys; 2 – atrama, ant kurios turi tvirtintis kėdė ar platforma kroviniui gabenti; 3 – apsauginis ratukas; 4 – reduktorius; 5 – variklis PIK 8-6/2,5; 6 – horizontalumo reguliavimo mechanizmas; 7 – rankenos; 8 – dantytas ratukas; 9 – kronšteinas; 10 – horizontalumo jutiklis



2 pav. Tritaškės atramos laiptais pasikeliančio vežimėlio maketo vaizdas

4.2. Vežimėlio maketo elektros pavaros ir valdymas

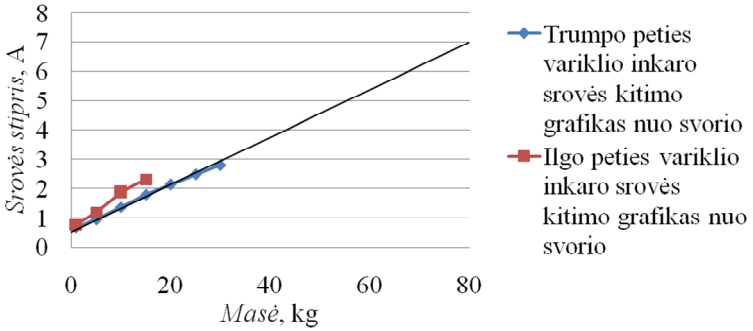
Pagrindinei pavarai sukančiai tritaškę atramą naudojamas nuolatinės srovės variklis PIK 8-6/2,5, kuris yra maitinamas iš akumuliatoriaus. Variklio nominali įtampa yra 36 V, srovė – 2,5 A, variklio rotoriaus sukimosi dažnis – 1600 aps/min, variklio sukuriamas sukimo momentas – 0,3 Nm, nominali variklio galia – 90 W. Variklis valdomas rankiniu jungikliu. Reikalingo greičio suderinimui naudojamas standartinis reduktorius. Konstrukcijos tyrimui pagamintas maketas lengvesnio svorio negu reikalingas tikrosios funkcijos vykdymui. Maketas buvo gaminamas taupant lėšas panaudojus laboratorijoje esančias detales. Tokio maketo konstrukcija yra pakankama charakteristikų tyrimui jas aproksimuojant.

Kylant laiptais keičiasi ant vežimėlio sumontuotas važiuojančio asmens padėtis grindų atžvilgiu. Kad užtikrinti kėdės horizontalumą, suprojektuota automatinė horizontalumo reguliavimo sistema su papildoma nuolatinės srovės pavara, horizontalumo jutikliu ir reguliatoriumi. Lengvesnės konstrukcijos maketui horizontalumo reguliavimo sistemai parinktas variklis ДПР-72-Н2-03. Variklio nominali galia yra 18,5 W; nominalus sukimosi dažnis– 4500 aps/min; masė – 0,60 kg.

5. Vežimėlio maketo pagrindinės pavaros variklio srovės charakteristikų tyrimas

Siekiant ištirti sukimo momentų arba jam proporcingos srovės kitimo priklausomybę nuo maketo keliamo svorio, buvo išmatuota variklio inkaro grandinės srovė, kopiant vežimėlio maketui laiptais. Srovių charakteristikos buvo sudarytos esant ilgam pečiui ir esant trumpam pečiui. Bandymo rezultatai pateikti 3 pav.

Tiriant maketo besisukančią tritaškę atramą su įvairiais svoriais nustatyta, kad srovės priklausomybė yra labai artima tiesinei. Iš 3 pav. srovės charakteristikų matyti, kad esant nekintamo peties tritaškei atramai srovė yra



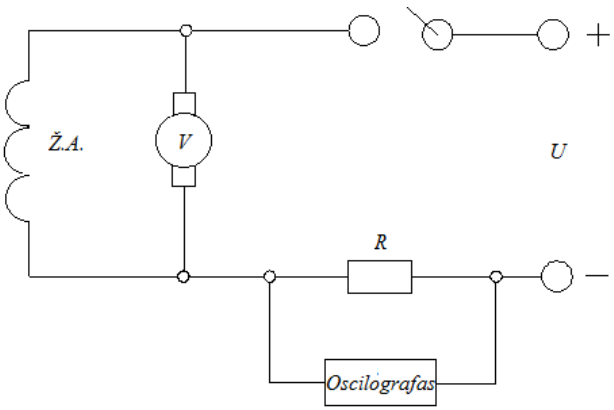
3 pav. Pagrindinės pavaros variklio srovės priklausomybė nuo svorio

didesnė už analogiškas sroves esant kintamo peties atramai. Aproksimuojant kintamo peties srovės charakteristiką, galima tvirtinti, kad maksimali srovė būtų 7 A esant vežimėlio ir krovinio svoriui 80 kg.

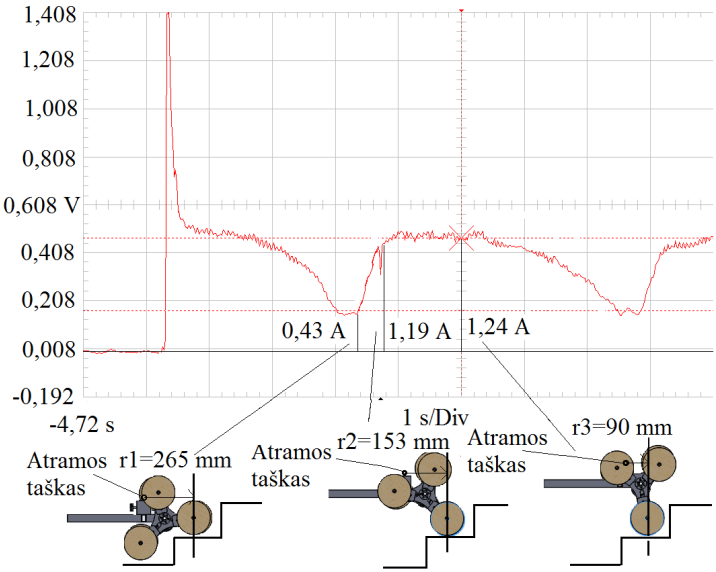
6. Pagrindinės pavaros srovės kitimo tyrimas lipant laiptais

Srovės dinamikos tyrimui buvo panaudota schema 4 pav.

Matavimui panaudotas oscilografas FLUKE 196C. Oscilografu buvo identifikuota srovės epiura vežimėlio maketui pasikeliant laiptais. Matavimo rezultatai pateikti 5 pav.



4 pav. Pagrindinės variklio pavaros srovės dinamikos tyrimo principinė elektrinė schema: *Ž.A.* – žadinimo apvija; *R* – rezistorius 0,37 Ω; *V* – variklis PIK 8-6/2,5; *U* – įtampa 36 V



5 pav. Laiptais lipančio vežimėlio pagrindinės pavaros srovės epiūra

6.1. Pagrindinės pavaros galios nuostolių palyginimas su nekintančio peties tritaške atrama

Pagrindinės pavaros variklio naudojama galia yra tiesiai proporcinga inkaro srovės kvadratui. Tritaškės atramos konstrukcijos vežimėlio pagrindinės pavaros apkrovos momentas yra skaičiuojamas iš formulės:

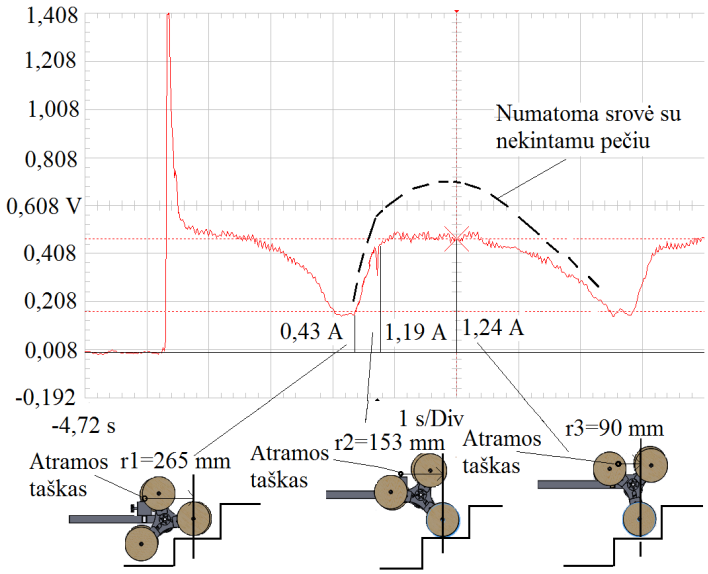
$$M = F\,r = 9{,}81\,m\,r; \tag{1}$$

čia: M – apkrovos momentas; F – vežimėlio su kroviniu svorio jėga, kuri veikia vertikaliai žemyn ir eina per bendrą vežimėlio ir krovinio svorio centro tašką; r – trumpiausias atstumas nuo tritaškės atramos taško iki svorio jėgos, t. y. svorio jėgos petys; m – vežimėlio su kroviniu masė kilogramais.

1 lentelė

Svorio jėgos pečio vertės, kai tritaškės atramos petys yra kintamas ir pastovus

Kintamo peties žymuo	Kintamas petys, m	Pastovaus peties žymuo	Pastovus petys, m	Srovės perskaičiavimo koeficientai
r_1	0,265	r'_1	0,315	1,188
r_2	0,153	r'_2	0,203	1,326
r_3	0,090	r'_3	0,140	1,555



6 pav. Pagrindinės pavaros su kintančiu pečiu tritaškės atramos srovių palyginimas su nekintančiu tritaškės atramos srovių kreive

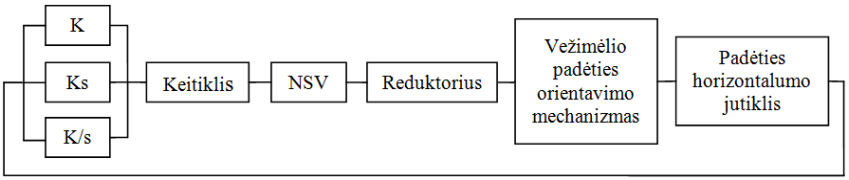
Keliantis vežimėlio maketui laiptais keičiasi svorio jėgos petys. Svorio jėgos pečio matavimo duomenys pateikti 1 lentelėje.

Eksperimentiškai gautos pagrindinės pavaros su kintančiu pečiu tritaškės atramos srovių palyginimas su nekintančiu pečiu tritaškės atramos srovių kreive pateiktas 6 pav.

Keliantis vežimėlio maketui laiptais su kintamu petimi srovė yra apie 20 % mažesnė nei tuo atveju, kai petys yra pastovus.

7. Horizontalumo nustatymo pavaros automatinio valdymo schema

Dėl galimų staigių krovinio svyravimų horizontalumo reguliavimo pavara turi būti pakankamai greita. Tam, kad užtikrinti greitą vežimėlio



7 pav. Vežimėlio horizontalumo valdymo blokinė schema

„reakciją“ į nukrypimą nuo horizontalios padėties panaudotas PID reguliatorius. Horizontalumo valdymo blokinė schema pateikta 7 pav.

8. Išvados

1. Išbandžius vežimėlio maketą, įsitikinta, kad jis įveikia maksimalaus aukščio laiptus.
2. Tritaškės atramos maketo atveju sutaupoma iki 20 % maitinimo šaltinio energijos.
3. Vežimėlio konstrukcija gali būti pritaikoma įvairių krovinių bei žmonių su negalia kėlimo priemonėms.
4. Maketo konstrukcija yra paprasta ir tikėtini nedideli vežimėlio gamybos kaštai.

Literatūra

1. **Yuan J.** Study on the Mechanism and Control of Leg-Wheel Hybrid Stair Climbing – Tokyo Institute of Technology, 2004.
2. Solo sprendimai. Prieiga per internetą: < http://www.solo.lt/369/straipsnis_apie_laiptus.html > [žiūrėta 2013-11-15].
3. Lietuvos Resapublikos Seimas. Prieiga per internetą: < http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=226882 > [žiūrėta 2013-11-15].
4. **Masteika R. K.** Elektros pavaros teorija, schemos, projektavimas, uždaviniai, pavyzdžiai. – Kaunas: Technologija, 2002, 125 p.
5. **Geleževičius V., Kriščiūnas K., Kubilius V.** Elektros pavarų valdymo sistemos. – Vilnius: Mokslas, 1990, 358 p.
6. **Quaglia G., Franco W., Oderio R.** Wheelchair.q, a motorized wheelchair with stair climbing ability // Mechanism and Machine Theory 46, 2011. p 1601–1609.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

STAMBIAGABARIČIO SUNKIASVORIO KROVINIO GABENIMO TYRIMAS

R. Pranauskas, Ž. Bazaras
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: negabaritinis krovinys, platforma, techninė dokumentacija.

Santrauka

Darbo objektas: negabaritinio krovinio pakrovimas ir tvirtinimas keturašiame platforminiame vagone. Gabenant negabaritinius krovinius būtina parengti projektą jo vežimui, kartu parengiant negabaritinio ir sunkiasvorio krovinio techninę dokumentaciją, kaip reglamentuojama taisyklėse.

1. Įvadas

Didėjant gamybos apimtims ir augant ekonomikos rodikliams, didėja krovinių transportavimo kiekiai, kurie lemia naujų transporto įrengimų gamybą ir tobulinimą. Automatizuojant tam tikrus gamybos įrenginius sudėtingėja jų gamyba. Įrenginiai gaminami įvairaus dydžio, masės ir formos. Norint tokius įrenginius transportuoti reikalingos krovinių krovimo ir techninių tvirtinimo sąlygų taisyklės. Remiantis šiomis taisyklėmis yra išvengiama krovinių pažeidimų ir nelaimingų atsitikimų. Atliekant krovinių pakrovimą ir tvirtinimą reikia žinoti, koks transportas bus naudojamas įrengimų gabenimui, įvertinti krovinio gabaritus, jo svorį, užtikrinti jo įtvirtinimo būdus. Gabenamų krovinių tarptautiniais maršrutais krovimui ir tvirtinimui naudojamos tarptautinio krovinio gabenimo sutarčių ir taisyklių nustatyti reikalavimai. Šios taisyklės taikomos tik tais atvejais, kurie nėra reglamentuoti tarptautinio krovinio gabenimo sutartyse ir taisyklėse [1]. Tokiu atveju reikalingas būtent tam kroviniui gabenti parengtas projektas. Standartais yra nustatoma tvarka, leidžianti pakrauti įvairaus tipo krovinius, jiems neužimant didesnio ploto nei transporto priemonės platforma. Transportuojant krovinius geležinkelio transportu yra nustatyti riedmenų atstumo ir pakrovos gabaritai [2].

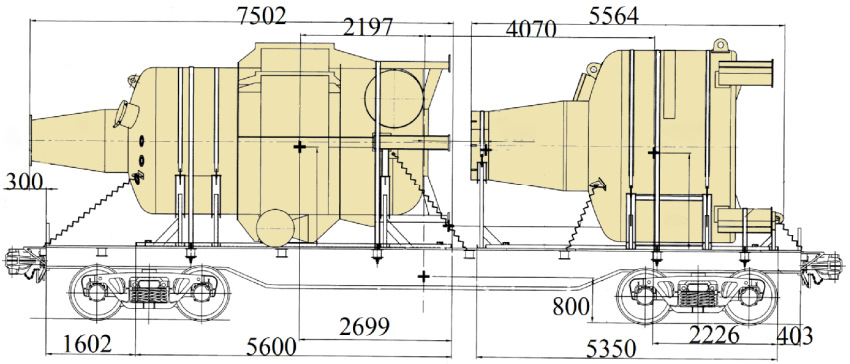
2. Projektinė dalis

Transportuojamas krovinys (1 pav.) yra sudarytas iš dviejų dalių (1 pav.): išsiplėtimo talpa (kairėje) ir garo separatorius (dešinėje). Abiejų

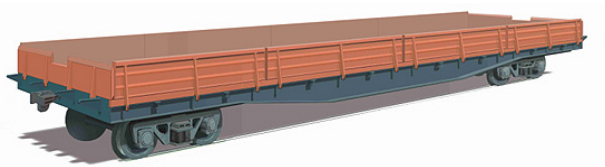
krovinių masė 11,638 t, krovinio su tvirtinimo elementais bendra masė 11,883 t. Visų naudojamų tvirtinimų elementų masė apytiksliai yra 0,245 t. Rėmai, į kuriuos talpinami kroviniai, į bendra tvirtinimų elementų masę neįskaičiuojami todėl, kad rėmų konstrukcija gali būti koreguojama, tad keistųsi jų masė.

Transportuojamų įrenginių paskirtis yra kaupti ar filtruoti atitinkamus skysčius, leisti jiems plėstis keičiantis skysčių kiekiui, kai veikia fizikiniai reiškiniai. Įrenginiai naudojami centrinėse šildymo sistemose, įvairaus tipo elektrinėse.

Krovinio gabenimui bus naudojamas platforminis vagonas [3] (2 pav.).



1 pav. Bendras krovinių išdėstymas platformoje



2 pav. Platforminis vagonas

Krovinių techninės charakteristikos:

- **Išsiplėtimo talpa.**
  Gabaritiniai matmenys:
  ○ ilgis – 7502 mm;
  ○ plotis – 3517 mm;
  ○ aukštis – 3632 mm.
  Krovinio svorio centras:
  ○ aukštis nuo vagono platformos grindų – 1792 mm;
  ○ aukštis nuo bėgių galvutės lygio (BGL) – 3102 mm.

Atraminis paviršius:
○ ilgis – 5600 mm;
○ plotis – 2770 mm.
Krovinio masė – 5,320 t.
Krovinio priešvėjinio šoninio paviršiaus projekcijos plotas 19,4 m^2. Tai plotas į kurį pučia šoninis vėjas kroviniui judant. Vėjo jėgų atstojamosios pridėjimo aukštis virš bėgių galvučių lygio yra 1842 mm.
Krovinio mažiausias atstumas nuo svorio centro projekcijos iki virtimo briaunos, kai krovinys paruoštas transportavimui:
○ išilgine kryptimi – 2699 mm;
○ skersine kryptimi – 1385 mm.

- **Garo separatorius.**
Gabaritiniai matmenys:
○ ilgis – 5564 mm;
○ plotis – 3518 mm;
○ aukštis – 3768 mm.
Krovinio svorio centras:
○ aukštis nuo vagono platformos grindų – 1735 mm;
○ aukštis nuo bėgių galvutės lygio (BGL) – 3045 mm.
Atraminis paviršius:
○ ilgis – 5350 mm;
○ plotis – 2770 mm.
Krovinio masė – 6,318 t.
Krovinio priešvėjinio šono paviršiaus projekcijos plotas 15,6 m^2. Vėjo jėgų atstojamosios pridėjimo aukštis virš bėgių galvučių lygio yra 1841 mm.
Krovinio mažiausias atstumas nuo svorio centro projekcijos iki virtimo briaunos, kai krovinys paruoštas transportavimui:
○ išilgine kryptimi – 2226 mm;
○ skersine kryptimi – 1385 mm.

Visos šios krovinių charakteristikos turi būti išanalizuotos tam, kad kraunant krovinius būtų taikomi tinkami tvirtinamieji elementai, kurie atlaikytų krovinių svorius, užtikrintų jų stabilumą ant platformos, kad būtų išvengiama krovinio pažeidimų. Išdėsčius krovinius platformoje nesilaikant krovinių krovimo ir tvirtinimo taisyklėse reglamentuojamų nuostatų, galima pažeisti platformos konstrukciją ir sukelti avariją.

Rėmai, skirti krovinio saugiam transportavimui, tvirtinami varžtais prie platformos grindų. Patalpinti kroviniai ant metalinių konstrukcijų yra tarpusavyje tvirtinami apjuosiant įrenginius diržais ir pritvirtinant juos prie rėmų. Lynai, kurie yra termiškai apdirbti ir yra sudaryti iš 8 vijų, tvirtinami prie platformos ir krovinių tvirtinimo ausų. Lynų tvirtinimų pagalba, apkrovos mažiau veiks varžtus, kurie tvirtina rėmus prie platformos. Kroviniai transportuojant neslidinės ir tvirtai laikysis ant platformos grindų. Naudojami tvirtinimo elementai pateikti 1 lentelėje.

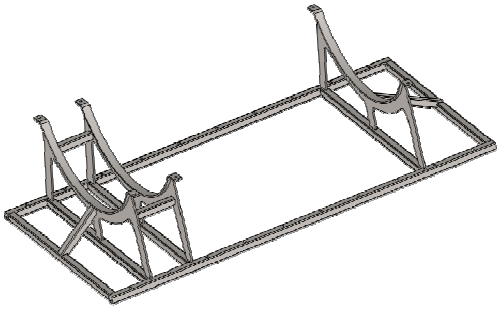
1 lentelė

Tvirtinimo elementai

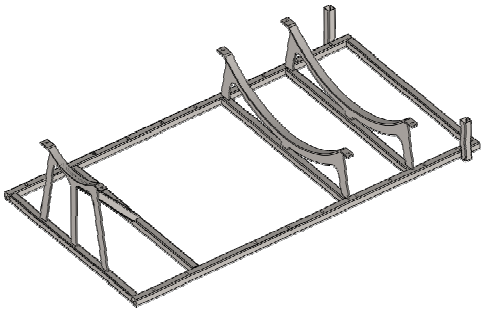
Pozicijos	Pavadinimas	Vnt.
1 - 4	Aprišalai (juostos)	9
5 - 8	Plieniniai lynai	8
9 - 10	Varžtai	40

Sprendžiant problemą dėl krovinių stabilaus pastatymo ant platformos yra suprojektuojami atraminiai rėmai abiems kroviniams pagal kiekvieno krovinio gabaritus. Suprojektuoti atraminiai rėmai pavaizduoti 3 ir 4pav.

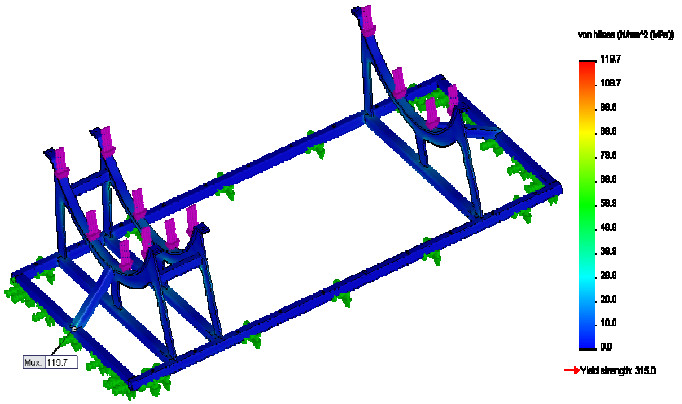
Suprojektavus rėmus, atlikti patikrinamieji konstrukcijų skaičiavimai naudojantis projektavimo programą SolidWorks. Atliekami konstrukcijos stipruminiai skaičiavimai abiems kroviniams: išsiplėtimo talpai (5 pav.), garo separatoriui (6 pav.). Veikianti apkrova – tai transportuojamo krovinio savasis svoris.



3 pav. Rėmo konstrukcija išsiplėtimo talpai

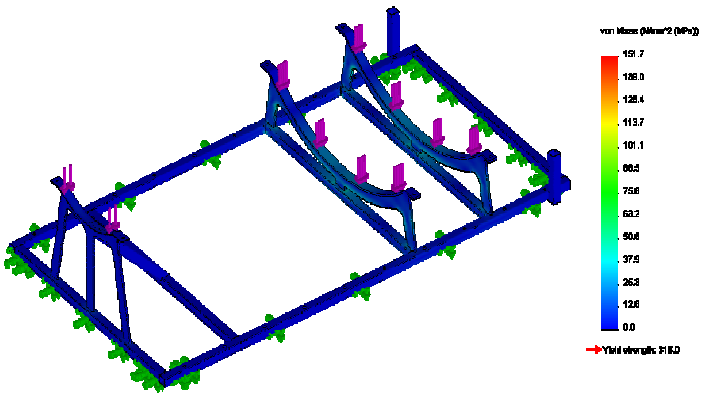


4 pav. Rėmo konstrukcija garo separatoriui



5 pav. Išsiplėtimo talpos rėmo konstrukcijos maksimalūs įtempiai, kai jis apkraunamas 53200 N jėga

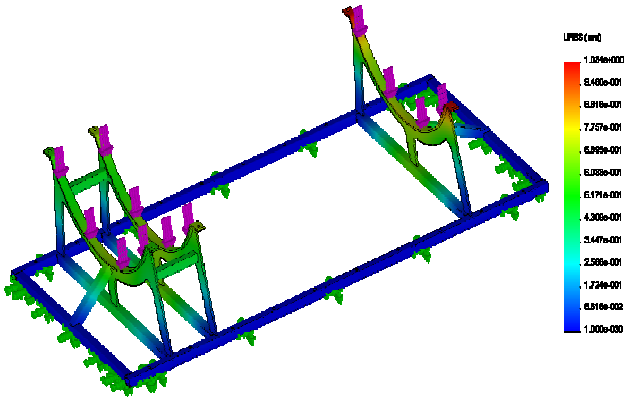
Maksimalūs įtempiai išsiplėtimo talpos rėmo konstrukcijoje yra lovio atraminėje dalyje. Pasirinkto plieno takumo riba yra 315 MPa, o rėmo skirto išsiplėtimo talpos (5 pav.) kroviniui maksimalūs įtempiai 119,7 MPa, kai apkraunamas 5320 kg svoriu.



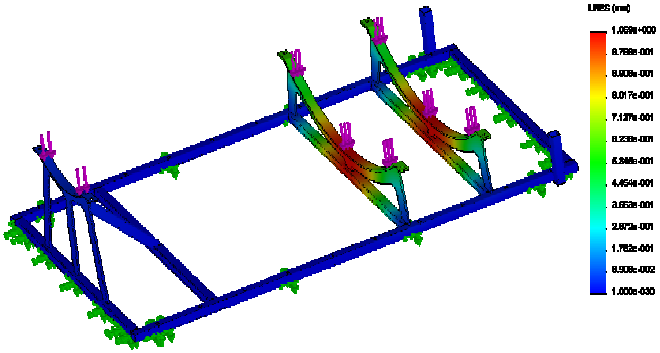
6 pav. Maksimalių įtempių pasiskirstymas garo separatoriaus rėme, kai jis apkraunamas 63180 N jėga

Maksimalūs įtempiai garo separatoriaus rėmo konstrukcijoje yra lovio atraminėje dalyje (6 pav.), maksimalių įtempių vertė 151,7 MPa, kai apkraunama 53200 kg svoriu.

Programos pagalba nustatomi įlinkiai (žr. 7 ir 8pav.). Maksimalūs įlinkiai yra 1,03 mm (žr. 7pav.). Jie susikoncentravę tvirtinimo taškuose, kai prie rėmo tvirtinami aprišalai (juostos), kurios apjuosia krovinį, kad šis stabiliai laikytųsi ant rėmo. Įlinkiai yra nedideli ir konstrukcija gali pakrovus rėmo konstrukcija laikys. Atsargos koeficientas – 1,72. Jis yra pakankamas, nes mažiausia standartizuota riba gali būti 1,5.



7 pav. Išsiplėtimo talpos rėmo konstrukcijos maksimalių įlinkių diagrama



8 pav. Garo separatoriaus rėmo konstrukcijos maksimalių įlinkių diagrama

Garo separatoriaus rėmo maksimalūs įlinkiai 1,07 mm, tad galima teigti, kad įlinkiai yra labai nežymūs. Atsargos koeficientas 2,08. Jis yra pakankamas, nes yra didesnis nei 1,5.

Norint pagaminti tvirtus rėmus, pasirinkta konstrukcijai medžiaga yra plienas S355J2G [4]. Tai yra konstrukcinis plienas, su takumo riba 315 MPa.

Šis plienas yra mažaanglis, gerai suvirinamas ir mechaniškai lengvai apdirbamas.

3. Išvados

1. Parinktas krovinio gabenimui vagonas – keturašė platforma, nuleidžiamais bortais. Į tokį vagoną yra galimybė pakrauti didžiagabaričius krovinius.
2. Stabiliam krovinių išdėstymui platformoje, rekomenduojama krovinius atremti į būtent jiems ketinamus suprojektuoti konstrukcinius rėmus.
3. Pasirinkta medžiaga gaminti krovinių atraminių rėmų konstrukcijas yra plienas S355J2G.
4. Išsiplėtimo talpos rėmo maksimalūs įtempiai – 126,8 MPa, kai jis apkraunamas 65200 N. Jie veikia konstrukcijos atramos apatiniame taške, kai krovinys pakraunamas. Šie įtempiai yra 2,48 karto mažesni už takumo ribą. Maksimalūs įlinkiai – 1,03 mm. Įlinkiai yra labai nežymūs. Atsargos koeficientas – 1,72. Jis yra pakankamas, nes mažiausia standartizuota riba gali būti 1,5.
5. Garo separatoriaus rėmo maksimalūs įtempiai – 151,7 MPa, kai jis apkraunamas 63180 N, t. y. įtempiai 2,08 karto mažesni už takumo ribą. Maksimalūs įlinkiai – 1,07 mm, tad galima teigti, kad įlinkiai yra labai nežymūs. Atsargos koeficientas - 2,08. Jis yra pakankamas, nes yra didesnis nei 1,5.

Literatūra

1. Lietuvos Respublikos susiekimo ministerija. Krovinių krovimo ir tvirtinimo taisyklės. – Vilnius: Technika, 2004, 612 p.
2. **Petrenko V.** Geležinkelio eismo sauga. Praktinių darbų metodikos nurodymai. – Vilnius: Technika, 2012, 59 psl.
3. **Vaičiūnas G.** Lokomotyvai ir vagonai – 2. Mokomoji knyga. – Vilnius: Technika, 2012, 87 p.
4. Plieno techninės savybės. Prieiga per internetą: < http://www.metalurgija.lt/s355j2-plieno-marke-mechanines-charakteristikos-chemine-sudetis > [žiūrėta 2013-12-05].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

AERODINAMINIO VĖJO TUNELIO PROJEKTAVIMAS IR GAMYBA. AERODINAMINIAI TYRIMAI

A. Vasiliauskas, A. Tautkus
Kauno technologijos universiteto Panevėžio instituto

Raktiniai žodžiai: aerodinamika, aerodinaminis vėjo tunelis.

1. Įvadas

Aerodinamika – mokslas tiriantis oro (dujų) judėjimą ir jėgas, veikiančias dujose judančius kietuosius kūnus.

Kam teko rankose laikyti golfo kamuoliuką, tas įsidėmėjo, kad kamuoliuko paviršius duobėtas. Iš pradžių golfo kamuoliuko paviršius buvo lygus, tačiau golfo žaidėjai pastebėjo, kad seni kamuoliukai su guzeliais, įrantomis ir įdrėskimais skrieja toliau nei nauji. Su golfo kamuoliukais eksperimentuojama seniai ir žinoma, kad įdubimai suteikia puikių aerodinaminių savybių.

Šiuolaikiniuose aerodinaminiuose tyrimuose naudojamos pažangus kompiuterinės simuliacijos įrankiai, tokie kaip CFD (skaičiuojamoji skysčių dinamika). Tokioms simuliacijoms nereikalingi realūs modeliai, pakanka CAD modelių [2].

Darbo tikslas: darbe apžvelgsime aerodinaminių savybių tyrimus, tyrimo prietaisus, pagaminsime aerodinaminio vėjo tunelio modelį

2. Aerodinaminiai vamzdžiai

Dažniausiai aerodinaminiai vamzdžiai naudojami lėktuvų, automobilių bei pastatų aerodinaminių savybių tyrimams. Automobilių ir pastatų atveju siekiama nustatyti kokia forma turi mažiausią oro pasipriešinimą, o tiriant lėktuvų savybes svarbus keliamosios plokštumos profilis, stabilumas, valdymas ir kt.

Taip pat aerodinaminiame vamzdyje gali būti tiriama teršalų sklidimas aplinkoje, ieškoma efektyviausios sportininko pozicijos. Aerodinaminiame vamzdyje dažniausiai naudojami tiriamų objektų modeliai. Tai sukelia tam tikrų kėblumų: modelis turi būti tiksli objekto kopija, turi būti pakankamas oro greitis, oro tekėjimo rėžimas turi atitikti rėžimą natūroje.

Aerdinaminiai vamzdžiai gali būti atviri ir uždari.

Atviruose vamzdžiuose panaudotas oras išmetamas į patalpą arba į atmosferą, taip prarandama visa orui šildyti, vėsinti, pūsti sunaudota energija, todėl atviri aerodinaminiai vamzdžiai paprastai būna tik maži – iki kelių kW galios, keliolikos metrų ilgio (1 pav.) [1-2].

1 pav. Atvirojo tipo aerodinaminis vamzdis

Uždarieji aerodinaminiai vamzdžiai yra sudėtingesni – oras juose cirkuliuoja ratu, todėl taupoma energija. Bandymai tokiuose vamzdžiuose yra brangūs, tačiau leidžia tirti mažai žinomus reiškinius [1-2]. Uždarojo tipo aerodinaminis vamzdis pavaizduotas 2 pav.

2 pav. Uždarojo tipo aerodinaminis vamzdis

3. Oras ir jo fizinės savybės

Oras yra įvairių dujų mišinys, turintis apie 21 % deguonies (tūrio vienete), 78 % azoto ir 1 % anglies dioksido, vandenilio argono ir kitų dujų. Oro fizinės savybės nusakomos jo slėgiu, tankiu, temperatūra, klampumu, spūdimu ir kitais parametrais. Apžvelkime kelis parametrus.

Temperatūra žmonijai daugelį amžių buvo viena sudėtingesnių fizinių sampratų. Jos negalima išmatuoti palyginus su etalonu. Dabartinė

molekulinė fizika aiškina, kad temperatūra yra chaotiškai judančių molekulių kinetinės energijos rodiklis.

Temperatūrai matuoti priimta tarptautinė praktinė temperatūros skalė (Celsijaus) ir absoliutinė termodinaminė skalė (Kelvino). Išmatuota temperatūra pagal šias skales žymima t (Celsijaus), T (Kelvino), o temperatūra jūros lygije – t_0 ir T_0.

Nustatant Celsijaus skalę buvo priimta, kad normalaus slėgio sąlygomis (p_0 = 101325 Pa = 1 atm) ledo tirpimo temperatūra yra 0 °C, o vandens virimo – 100 °C.

Nustatant Kelvino skalę buvo priimta, kad $T = 0$ K yra tada, kai nebevyksta molekulių šiluminis judėjimas (pagal Celsijaus skalę –273,15 °C) ir vadinama absoliutiniu nuliu, o nuo jos skaičiuojama temperatūra – absoliučiąja temperatūra. Jos ryšį su Celsijaus temperatūra galima išreikšti formule [1-2]:

$$T = 273{,}15 + t. \tag{1}$$

Jūros lygyje vidutinė metinė oro temperatūra yra $t_0 = 15$ °C ir $T_0 = 273{,}15 + 15 = 288{,}15$ K.

Kylant aukštyn oro temperatūra žemėja, nes oras šyla ne nuo tiesioginių Saulės spindulių, bet atspindėtų nuo žemės paviršiaus.

Oro tankis – tai oro masės kiekis tūrio vienete:

$$\rho = \frac{m}{V}; \tag{2}$$

čia ρ – oro tankis, kg/m^3; m – oro masė, kg; V – oro masės tūris, m^3.

Praktikoje dujų tankis ne matuojamas, o skaičiuojamas pagal dujų būklės lygį:

$$P = \rho g R T; \tag{3}$$

čia: P – statinis slėgis, kg/m^2; ρ – tankis kg/m^3 g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2; T – absoliučioji temperatūra, K; R – dujų pastovioji (koeficientas). Orui bandymais nustatytas $R = 29{,}27 \ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{laip}}$ [1-2].

Iš (3) formulės matome, kad dujų statinis slėgis P tiesiogiai priklauso nuo tankio, temperatūros ir dujų pastoviosios. Iš tikrųjų didesnio tankio dujose esantis kūnas patiria didesnį slėgį. Didėjant temperatūrai, didėja molekulių greitis, didėja ir slėgis. Bandymais įrodyta, kad kintant temperatūrai slėgio ir tankio pokyčiai įvairioms dujoms skiriasi. Todėl ir įrašomas skirtingas koeficientas R (pastovioji), kuris parodo, kokį darbą atliks plėsdamosios dujos, jeigu 1 kg dujų temperatūra pakelsime 1 °C, esant tam pačiam slėgiui.

Spūdumas – oro gebėjimas keisti tūrį ir tankį, veikiant išoriniam slėgiui arba temperatūrai. Įvairių medžiagų spūdumas skiriasi. Spūdumą apibūdina atstumas tarp molekulių ir jų tūris (dydis).

Dujų molekulių sankaupos jėgos (palyginti su skysčių) yra nedidelės, o atstumai tarp molekulių yra pakankamai dideli. Todėl dujos yra lengvai suspaudžiamos ir jų tūris sumažėja, sumažėjus nuotoliams tarp molekulių. Skysčių tūris daugiausiai mažėja tik sumažėjus pačių molekiulių tūriui. Apie spūdumą galima spręsti iš tankio prieaugio $\Delta\rho$ ir slėgio prieaugio ΔP santykio $\Delta\rho\ P\ /\ (\Delta P\ R)$. Kuo daugiau padidės tankis, tiek pat padidėjus slėgiui, tuo bus didesnis spūdumas.

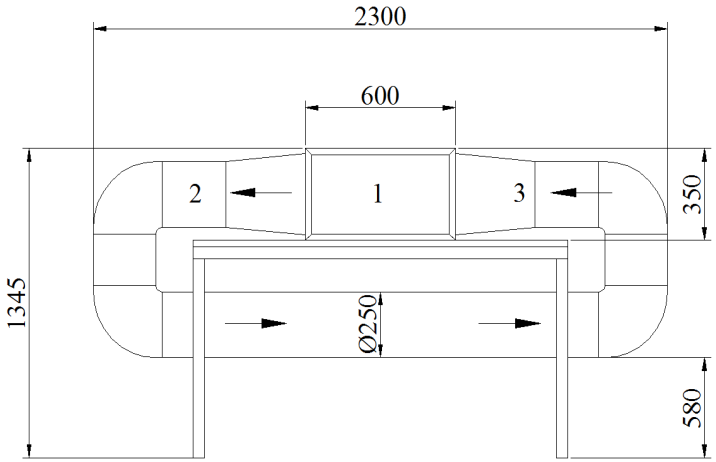
Padidėjus vietiniam slėgiui ir tankiui gali atsirasti slėgio šuolis, kuris juda greičiu a. Iš to išeina, kad:

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta P} = \frac{1}{a^2}\,. \tag{3}$$

Matome, kad tarp spūdumo ir garso greičio yra tam tikras ryšys, t. y. kuo didesnis spūdumas, tuo mažesnis garso greitis.

4. Aerodinaminio vamzdžio gamyba. Vamzdžio parametrai

Ruošiantis aerodinaminiams tyrimams buvo suprojektuotas ir pagamintas aerodinaminio vamzdžio modelis (3 pav.).



3 pav. Aerodinaminio vamzdžio modelio schema: 1 – bandymų kamera; 2 – ventiliatorius; 3 – dūmų mašina

Pagrindiniai aerodinaminio vamzdžio modelio parametrai:

- bandymo kameros matmenys: 420×600×320 mm;
- ventiliatorius DOSPEL 230 V. 50 Hz. 86 W skerspjūvis WB250, debitas 800 m^3/h;
- oro tekėjimo linijos WB250;
- dūmų mašina IBIZA LIGHT LSM 400. Galingumas 400 W, generuojamas dūmų tūris 57 m^3/min, kaitimo laikas 8 min, skysčio talpa 0,3 l, maitinimas 220-240 V 50/60 Hz, matmenys 230×110×100 mm, svoris 1,5 kg;
- integruojamas vėjo greičio matavimo prietaisas DELTA OHM DO9847 skirtas matuoti vėjo srauto greitį (m/s), temperatūrą (K; °C), vėjo triukšmą.

Aerodinaminio vamzdžio modelio galimybės:

- aerodinaminio vamzdžio modelyje galime stebėti kūnų aerodinamines sąvybęs priklausomai nuo vėjo greičio;
- galime išmatuoti vėjo greitį, temperatūrą ir vėjo triukšmą;
- vamzdžio darbinis vėjo greičio intervalas nuo 2 iki 5 m/s;
- tobulinant konstrukcija pasiekti didesnius oro srauto greičius.

5. Išvados

1. Darbe išnagrinėtos aerodinaminės kūnų savybės, prietaisai joms tirti.
2. Išnagrinėtos pagrindinės oro savybės.

Literatūra

1. **Akulavičius P., Skurdenis A.** Aerodinamika. Skrydžių dinamika. – Vilnius: Rosma, 2000. – 256 p. ISBN 9986-00-290-7.
2. **Šidlak M.** DARNI PLĖTRA. Aerodinamika padeda spręsti triukšo ir automobilio purvinimosi problemas. Liepos 6, 2006. Prieiga per internetą: < http://findpdf.net/documents/aerodinamika.html > [žiūrėta 2013-09-16].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

PRAMONINIŲ ROBOTŲ APMOKYMAS SEKOS REŽIME TYRIMAS

Tadas Jukna, V. Sinkevičius
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: pramoninis robotas, poveikio įtaisas, valdymas.

1. Įvadas

Pramoniniai robotai šiandieninėje pramonėje vis dažniau pakeičia darbuotojus įvairiose srityse: šlifavime, dažyme, suvirinime, surinkime, krovime ir kt.. Žmogus galį dirbti 8 val. per parą ir jo darbo kokybė bei greitis yra kintantis. Pramoninis robotas gali dirbti 24 val., o darbo kokybė bei greitis išlieka pastovus.

Dauguma pramoninių robotų valdomi ir programuojami valdymo pultu. Skirtingų gamintojų pramoniniai robotai turi savitą programavimą, kuris turi ir teigiamų ir neigiamų savybių. Norit išmokti valdyti programuoti robotą reikia daug laiko ir pastangų.

Darbo tikslas: ištirti, kokiomis aparatūrinėmis ir programinėmis priemonėmis būtų galima valdyti roboto rankos judesius, kai roboto rankos gale įtvirtintas poveikio įtaisas. Tokia sistema leistų pervesti robotą į sekos režimą ir „tampyti“ robotą už rankos, taip nurodant reikiamas TCP taškų koordinates. Šios koordinatės būtų perduotos į kompiuterį, kuris sugeneruos roboto judesio darbo programą.

2. Pramoninio roboto valdymo režimai

Pramoninio roboto programavimo rezultatas yra roboto manipuliatoriaus mechaninis judesys erdvėje. Yra išskiriami keli roboto judesio valdymo režimai:

1. Robotas programuojamas apmokymo pultu. Šiame režime roboto manipuliatorius yra valdomas pulto mygtukų paspaudimais arba panaudojant vairalazdę. Reikiamų taškų koordinatės įkeliamos į sudaromą programą. Šis valdymo režimas atima daug laiko, nes roboto erdvinį judesį reikia susieti su valdymo pulto mygtukų paspaudimais ir sudaryti programos kodą, pasirenkant ar įrašant komandas ir jų argumentus pulto priemonėmis.

2. Programavimas *OFF Line* režimu, kai kompiuteryje modeliuojama roboto aplinka ir pats robotas. Šio būdo privalumas tai, kad realus robotas tuo metu gali dirbti. Trūkumas – modelis nuo realios aplinkos gana dažnai stipriai skiriasi.
3. Roboto paklusnumo valdymo režimas [1]. Atliekant operacijas su pramoniniu robotu jis yra standus visomis kryptimis bei orientacijoms. Paklusnumo režime yra sumažinamas manipuliatoriaus standumas – jis ar atskiros jo pavaros tampa paslankios ir jas galima paveikti ranka ar nedidele jėga. Toks režimas naudojamas tada, kai laikomą griebtuve objektą veikia jėgos, kurių dydžio ir krypties neįmanoma nuspėti. Pavyzdžiui, lankstymo staklės. Tačiau pačių robotų pavaros gali būti pervestos į „plaukiojimo“ režimą ir tada jos nėra standus elementas – paveiktos jėgos nebegrįžta į pradinę padėtį. „Plaukiojimo“ režime roboto įrankio galas gali judėti ar suktis bet kuria kryptimi. Skirtingi gamintojai turi skirtingas paklusnumo valdymo režimo funkcijas (*soft float*, *soft move*, *soft servo*, *soft absorber* ir *servo float*). Tačiau šis valdymo režimas turi esminių trūkumų: programa gali sustoti dėl mechaninės perkrovos, per didelis minkštumas gali iššaukti „savavališkus“ roboto judesius.

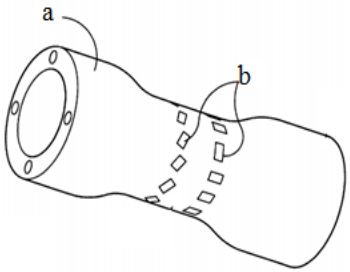
3. Poveikio įtaisų veikimas

Šiandieninėje pramonėje roboto valdymui yra sukurta daug poveikio įtaisų, kurie turi savo privalumus bei trūkumus. Dauguma poveikio įtaisų sudaro keletas arba keliolika jutiklių, atitinkamai išdėstytų ir privirtintų prie poveikio įtaisą sudarančių dalių. Paveikiant poveikio įtaisą jutiklis (varžiniai, talpiniai, pjezoelektriniai, giroskopai, akselerometrai ir kt.), ar jutiklių pora, išduoda atitinkamus signalus (analoginis ar skaitmeninis). Jutiklių signalai siunčiami į mikrovaldiklį, jie apdorojami pagal sudarytą programą, o mikrovaldiklio išduodami atitinkami signalai siunčiami į roboto valdymo spintoje esančio valdiklio įėjimus.

4. Poveikio įtaisų apžvalga

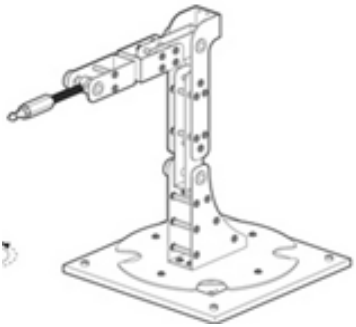
Poveikio įtaisas [2] pavadintas 6 ašių apkrovos elementas (1 pav.). Jį sudaro viena detalė, ant kurios paviršiaus yra išdėstyti tenzo jutikliai. Tai analoginis įrenginys sukurtas nustatyti tris vektoriaus komponentus jėgai ir sukimo momentui, kurie gali veikti į elementą. Ant detalės paviršiaus įvairiomis kryptimis yra pritvirtinti 24 jutikliai. Jutikliai po 4 yra sujungiami ir sudaro Vinstono tiltelį (gaunami 6 tilteliai). Kai detalė nėra paveikiama jėgos jutiklių varžos yra vienodos ir tiltelio išėjimo įtampa lygi 0. Kai detalė paveikiama jėga atitinkama kryptimi, atitinkamo tiltelio jutiklių varžos keičiasi to pasėkoje keičiasi išėjimo įtampos. Kiekvienas tiltelis yra jautrus tik vienam

iš šešių galimų taikomų vektorių komponentų ir yra nejautrus kitiems penkiems.



1 pav. 6 ašių apkrovos elementas: a – valdoma detalė; b – tenzo jutikliai

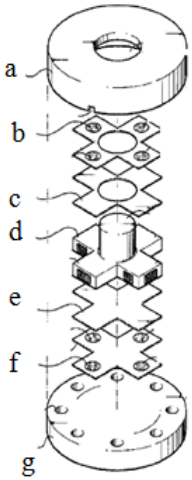
Kitas poveikio įtaisas [3] yra 5 ašių roboto valdymo pultas (2 pav.). Pigi skaitmeninė ranka buvo sukonstruota naudojant tokius pat sujungimus ir ašių konfigūracijas kaip ir ABB – IRB 140 pramoniniame robote. Šis įtaisas tiesiogiai išduoda kiekvienos ašies posūkio kampų vertes. Kiekvienoje ašyje naudojamas didelio tikslumo sukamas potenciometras. Įtampų pokyčiai proporcingi posūkių kampams yra matuojami mikrovaldiklio analogas kodas keitikliais.



2 pav. 5 ašių roboto valdymo pultas

Dar vienas poveikio įtaisas [4] yra 6 ašių jutiklis, skirtas matuoti jėgos vektorių ir sukimo momento vektorių (3 pav.). Tai naujai sukurtas ir užpatentuotas poveikio įtaisas, kurį sudaro cilindras iš dviejų dalių. Cilindro viduje yra pilnavidurė detalė , kurios plokštumose yra pritvirtinta 16 jutiklių. Patente nebuvo nurodomi tikslūs jutikliai, tik išvardinti kokie galimi jutikliai. Tai varžiniai, talpiniai arba pjezoelektriniai jutikliai. Tampant detalę įvairiomis

kryptimis yra paveikiama atitinkama pora jutiklių. Pagal jutiklių signalų pasikeitimą yra apskaičiuojama kuria kryptimi turi roboto manipuliatorius judėti ar suktis. Atstumas tarp jutiklių ir sienelių ne didesnis kaip 1 mm.



3 pav. 6 ašių jutiklis: a – cilindro viršutinė dalis; b – viršutinė plokštumos jutikliai; c – tarpinė; d – valdoma detalė su pritvirtintais jutikliais atitinkamose plokštumose; e – tarpinė; f – apatinės plokštumos jutikliai; g – cilindro apatinė dalis

5. Pasirinkto prototipo trūkumai

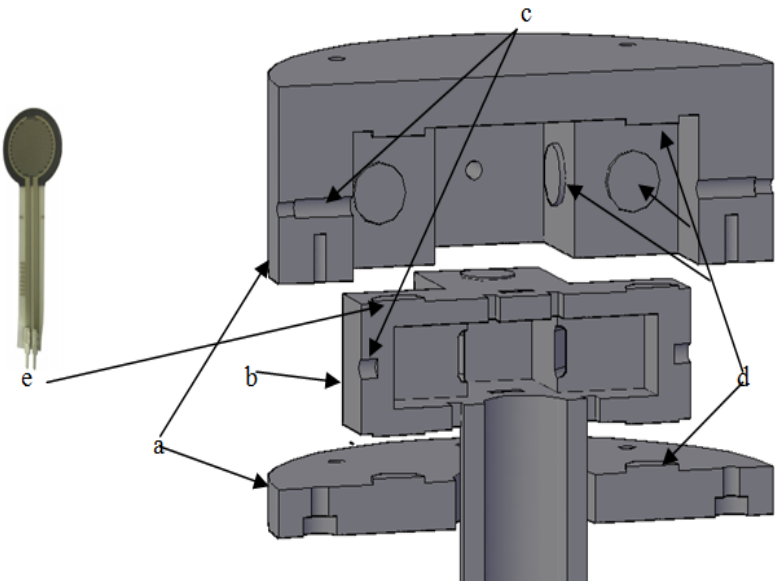
Pasirinktas prototipu poveikio įtaisas [4] turi keletą trūkumų:

1. Poveikio įtaiso valdomos detalė neturi pusiausvyros būsenos ar neutralios padėties. Pati valdoma detalė nėra pritvirtinta spyruoklėmis, todėl pastūmus kuria nors kryptimi ji ir pasiliks toje pastumtoje padėtyje – jutikliai liks prispausti nedidele jėga. Vidinės detalės sunkio jėga visuomet veiks kuriuos nors jutiklius ir tai gana sunku iš anksto įvertinti.
2. Jutiklių laidų išvedimas. Valdoma detalė yra pilnavidurė, o tarpelis tarp jutiklių ir cilindro sienelės kraštų ne didesnis kaip 1 mm. Esant dideliam jutiklių skaičiui praktiškai neįmanoma išvedžioti jutiklių laidus.
3. Viršutinės ir apatinės plokštumos jutiklių laidai darys įtaką tų plokštumų judesiui.
4. Patente nėra nurodoma kaip yra pagaminamos atskiros detalės poveikio įtaisui, tik nurodomos iš kokios medžiagos būtų galima jas pagaminti.

5. Valdymas tik lygiagrečiai ašims, nėra tarpinių reikšmių. Nedidelis valdymo krypčių pasirinkimas Yra aprašytos lygtis tik 6 ašims, judėjimui pagal x, y ir z koordinačių sistemą bei jų pasukimą.

6. Kuriamo poveikio įtaiso sandara

Atsižvelgiant į prototipo trūkumus buvo sugalvota keletas pakeitimų ir sudaryta nauja poveikio įtaiso konstrukcija (4 pav.). Kuriamą poveikio įtaisą sudarys dviejų dalių cilindras ir valdoma detalė. Detalė su cilindru bus sujungiama keturiomis spyruoklėmis, išdėstytomis atitinkamose vietose, kad detalė išlaikytų pusiausvyrą. Taip pat bus galimybė keisti kiekvienos spyruoklės suspaudimą. Cilindro vidinės dalies paviršiuje, lygiagrečiai su jutikliais bus iškilimai, jie užtikrins atitinkamų jutiklių porų suveikimą stumdant detalę įvairiomis kryptimis. Pati valdoma detalė bus tuščiavidurė su skylėmis atitinkamose plokštumose. Tai palengvins jutiklių laidų išvedimą. Visos dalys poveikio įtaiso bus atspausdintos 3D spausdintuvu.



4 pav. Kuriamo poveikio įtaiso konstrukcija: a – cilintras iš dviejų dalių; b – valdoma detalė; c – 4 sujungimai spyruolėmis (valdomos detalės ir cilindro); d – 16 iškilimų, cilindro vidinės dalies paviršiuje (po 4 viršutinėje ir apatinėje ploštumoje ir po 4 šoninėse plokštumose); e – 16 jutiklių: jėgai jautri varža 402 (išdėstyti ant detalės lygiagrečiai su iškilimais)

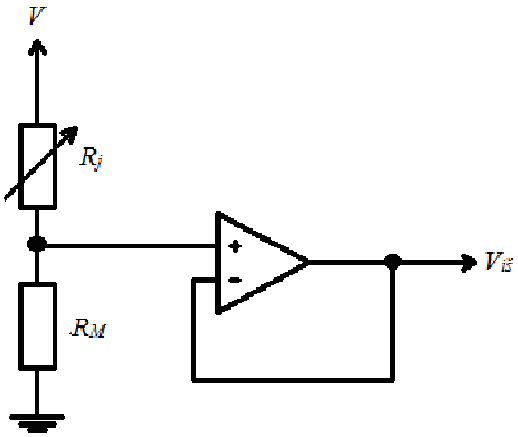
Poveikio įtaise bus naudojami jėgai „jautrios“ varžos jutikliai (*force sesnsitive rezistor* 402) [5].

7. Kuriamam poveikio įtaisui valdymo krypčių sudarymas

Jėgos jutiklio elektrinė jungimo schema pavaizduota 5 pav. Jutiklio statinės charakteristikos pavaizduotos 6 pav. Schemos išėjimo įtampa yra matematiškai aprašoma pagal sekančia lygti:

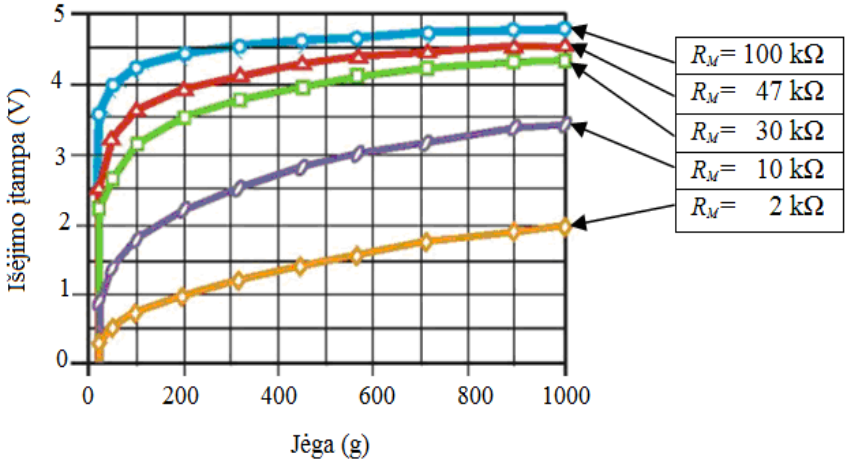
$$V_{iš} = \frac{R_M V}{\left(R_M + R_j\right)}; \tag{1}$$

čia: $V_{iš}$ – jutiklio išėjimo įtampa; R_M – įtampos daliklio pastovi varža; V – jutiklio maitinimo įtampa; R_j – jutiklio vidinė varža.

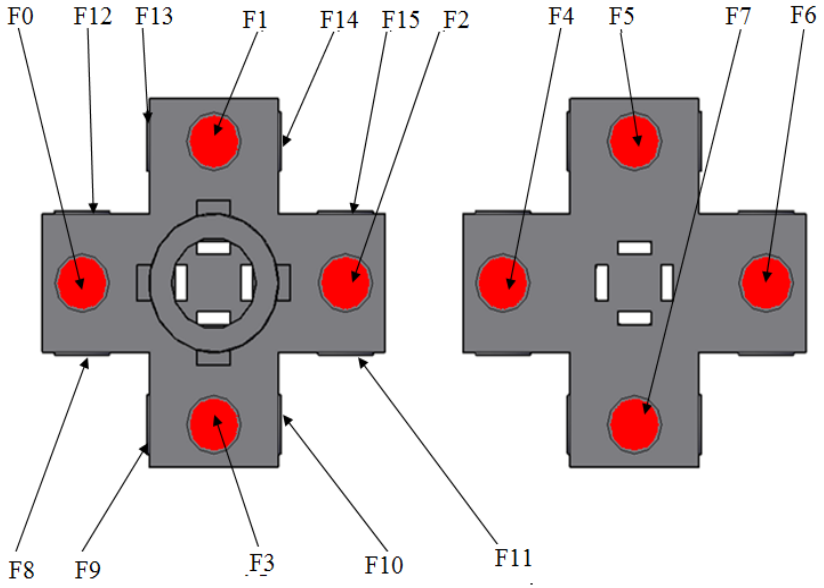


5 pav. Jutiklio (jėgai jautri varža 402) elektrinė jungimo schema su operaciniu stiprintuvu

Jutikliai bus jungiami į įterptinį mikro valdiklį Arduino Mega. Tačiau ne per operacinius stiprintuvus, o tiesiogiai į valdiklio analoginį įėjimą. Šie įėjimai turi vidinius operacinius stiprintuvus ir jų įėjimo varža pakankamai didelė. Kai valdoma detalė nėra paveikiama išorinės jėgos visų jutiklių varžinių daliklių (6 pav.) išduodamos atitinkamos įtampos yra labai mažo dydžio ir tai priimama kaip loginis 0. Prieš eksploatuojant jutiklį būtina atlikti kalibravimą dviem etapais. Pirmajame etape suderinamas įveržiančių spyruoklių įveržimas taip, kad visų jutiklių išduodamos įtampos būtų minimalios. Tai įmanoma tik tada, kai jutikliai nėra veikiami jėgos. Antrajame



6 pav. Jutiklio įtampos kitimo priklausomybės nuo veikiančios jėgos panaudojant įvairių dydžių daliklio varžas



a b

7 pav. Jėgai jautrios varžos 402 jutiklių išdėstymas: a – vaizdas iš viršaus; b – vaizdas iš apačios

etape patikrinamos jutiklių išduodamos įtampos judinant poveikio įtaisą kiekviena ašimi atskirai ir sukant aplink kiekvieną ašį atskirai. Kai detalė bus paveikiama išorinės jėgos atitinkamu jutiklių varžos keisis, analogiškai keisis jutiklių išėjimo įtampos. Įtampos išėjimo pokytis atitiks loginį 1.

Visi jutikliai yra sužymėti nuo F0 iki F15 (7 pav.). 16 jutiklių atitiks 16 bitų koduotę. Atitinkamai judėjimo krypčiai buvo sudarytas dvejetainis kodas ir surastas jo šešioliktainio kodo atitikmuo.

Jei, pavyzdžiui, poveikio įtaisas pritvirtintas prie roboto manipuliatoriaus, valdoma detalė yra stumiama į dešinę x ašies atžvilgiu. Iš 16 jutiklių tik du jutikliai bus paveikti prispaudimo jėga ir išduos loginius vienetus. Šiuo atveju suveiks F14 ir F10 ir jutiklių sistemos generuojamas dvejetainis kodas bus 0100010000000000. Jo atitikmuo šešioliktainėje kodavimo sistemoje 4400. Buvo sudaryti 36 judėjimo krypčių deriniai. 1 lentelėje pateikta tik nedidelė jų dalis.

1 lentelė

Valdymo krypčių kodai

Judėjimo kryptys	Krypties dvejetainis kodas	Krypties šešioliktainis kodas
Nejuda	0000000000000000	0000
Juda aukštyn z ašies atžvilgiu	0000000000001111	000F
Juda žemyn z ašies atžvilgiu	0000000011110000	00F0
Juda į dešine y ašies atžvilgiu	1001000000000000	9000
Juda į kaire y ašies atžvilgiu	0000100100000000	0900
Juda į dešine x ašies atžvilgiu	0100010000000000	4400
Juda į kaire x ašies atžvilgiu	0010001000000000	2200
Juda 45° kampu x ašies atžvilgiu	1101010000000000	D400
Juda 135° kampu x ašies atžvilgiu	1011001000000000	B200
Juda 225° kampu x ašies atžvilgiu	0001011100000000	1700

8. Išvados

1. Nustatyta, kad kuriamam poveikio įtaisui būtina išlaikyti pusiausvyros būseną, tuo tikslu konstrukcija bus išsverta spyruoklėmis.
2. Nustatyta, kad cilindro vidinės dalies paviršiuje, lygiagrečiai su jutikliais būtini iškilimai, jie užtikrins atitinkamų jutiklių porų suveikimą.
3. Nustatyta, kad panaudojus kelių jutiklių signalų derinius galima gauti tikslesnes judėjimo krypties vertes.

Literatūra

1. Industrial robot and a method for adjusting a robot program US8321054 B2. Prieiga per internetą: < https://www.google.lt/patents/US8321054 > [žiūrėta 2013-08-08].
2. Load cell US5850044 A. Prieiga per internetą: < http://www.google.com /patents/US5850044 > [žiūrėta 2013-07-10].
3. Five axis robotic motion controller. Prieiga per internetą: < http://www. liftarchitects.com/blog/2011/10/11/cphiu9ahqqkdfru0gsetljdqarr6ek > [žiūrėta 2013-09-08].
4. 6-axis sensor structure using force sensor and method of measuring force and moment therewith US8156823 B2. Prieiga per internetą: < http://www .faqs.org/patents/app/20110107850 > [žiūrėta 2013-09-15].
5. Force Sensing Resistor 402 Datasheet. Prieiga per internetą: < http://www. interlinkelectronics.com/ > [žiūrėta 2013-09-10].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

E-MOKYMO ROBOTIKOS LABORATORIJŲ SANDAROS TYRIMAS

A. Baltrušaitis , G. Zybartaitė , V. Sinkevičius
Kauno technologijos instituto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: robotai, laboratorijos, pramoninis robotas, mobilus robotas.

1. Įvadas

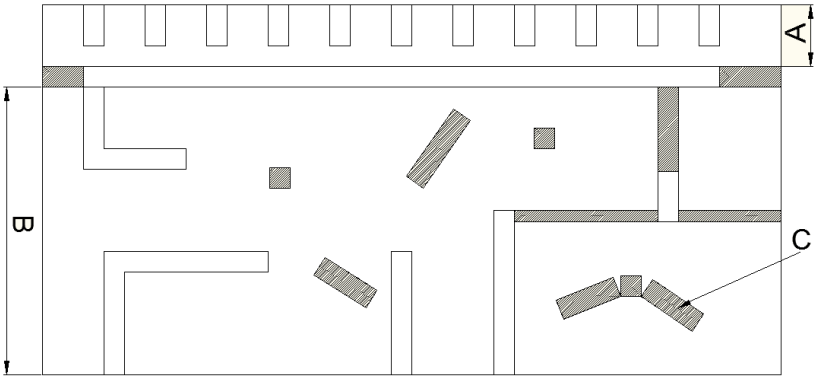
Studijuojant programavimą, informatiką, fiziką, mechatroniką ar net matematiką yra didžiulis poreikis praktiškai išbandyti įgytas žinias realiame pasaulyje. Mokyklos, profesinio rengimo centrai, kolegijos ar universitetai nepajėgūs įsigyti įvairių žinių išbandymui pakankamai technikos ir išlaikyti aptarnaujantį personalą. Taip pat trūksta resursų tokios technikos eksploatavimui savo patalpose.

Technologinių mokslų žinių įvairiapusiam praktiniam išbandymui labai tinka programuojami mobilieji robotai su plataus veikimo spektro jutiklių sistema ir keičiamos konfigūracijos bandymų poligonais. Tuo tikslu yra kuriamos E-laboratorijos, kuriomis per interneto prieigą gali pasinaudoti nutolę vartotojai, besimokantys kituose miestuose ar valstybėse. Tokios E-laboratorijos dažniausiai specializuojasi mobiliųjų ar pramoninių robotų, mechatroninių sistemų ir jų elementų tyrimuose.

2. Mobiliųjų robotų E-laboratorijos poligonai

Mobilieji robotai, išbandant įvairias jų valdymo programas, turi kur nors judėti realioje erdvėje, įveikti tipiškas kliūtis. Tam tikslui yra sukuriami įvairūs kliūčių ruožai, labirintai ar tyrimo poligonai. Jie gali būti statiški arba dinamiški, kai kliūtys ir jų vieta gali būti nurodomos programiškai.

Mobilių robotų laboratorija [1], kurioje yra 12 robotų, matomų per interneto kameras ir valdomų tiesiogiai komandomis ar užkrauta programa, turi iš anksto paruoštą bandymų poligoną. Poligonas programiškai gali būti dalinai konfigūruojamas (1 pav.), jame yra dvi zonos. Pirmoje zonoje A yra robotų parkavimosi vietos, kur robotai įkrauna savo akumuliatorius. Zona B skirta eksperimentams ir turi programiškai pakeliamas sienų dalis C. Tai leidžia keisti poligono konfigūraciją ir studentas arba dėstytojas gali susikurti jiems norimą labirintą užduotims atlikti.



1 pav. Mobiliųjų robotų E-laboratorijos poligonas: A – mobilaus roboto parkavimosi vieta, B – mobilaus roboto važinėjimosi vieta, C – programuojamos kliūtys

2.1. E-laboratorijoje naudojami robotai

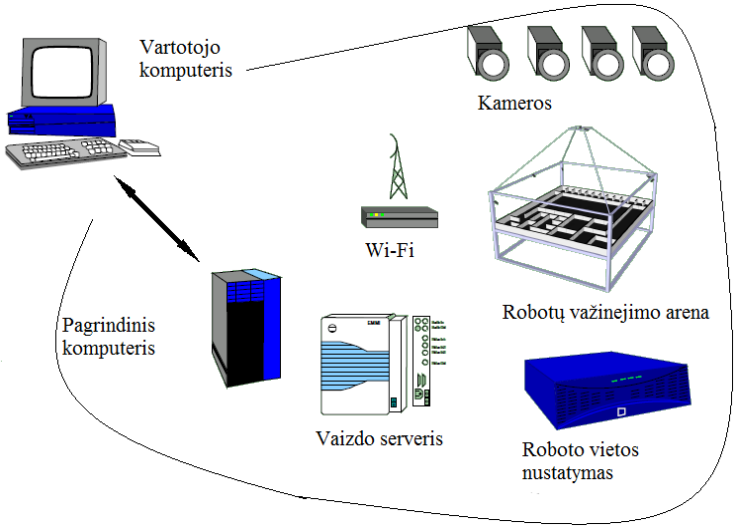
E-laboratorijoje yra naudojami „S1R robot“ robotai. Juose instaliuoti įvairūs jutikliai:

1. Šeši sonarai, kurie aptinka kliūtis (Devantech SRF10).
2. Kompasas, kuris leidžia orientuotis pagal žemės magnetinio lauko kryptį (Devantech CMPS03).
3. Penki infraraudonos šviesos jutikliai, kurie matuoja atstumą iki kliūties (Sharp GP2D120).
4. Akselerometras, kuris matuoja roboto judesio pagreitį (Freescale MMA7260Q).
5. Du šviesos jutikliai, skirti juodų linijų aptikimui ir naudojami trasos sekimo algoritmų tyrimui.

2.2. E-laboratorijos veikimo principas ir valdymas

Visas laboratorijos veikimas paremtas E-mokymu [2, 3], kuris leidžia nuotoliniu būdu valdyti ir programuoti robotus. Ji sudaryta iš (2 pav.):

1. Poligono, kuriame robotai važinėja ir įkrauna savo baterijas.
2. Vartotojo kompiuterio, kuris leidžia užprogramuoti robotus per internetą.
3. Pagrindinio kompiuterio, kuris valdo robotus Wi-Fi ryšiu.
4. Vizualizacijos sistemos (vaizdo serveris, roboto vietos nustatytojas, kameros), leidžiančios vartotojui matyti tiesioginį poligono vaizdą, valdomą robotą, kitus robotus ir poligono kliūtis.



2 pav. E-laboratorijos komponentai

Prie laboratorijos vartotojas gali prisijungti prieiga per internetą prie SyRoTek [4]. Internetinę prieigą prie SyRoTek galima suskirstyti į tris kategorijas:

1. Vartotojas prisijungia prie internetinio puslapio, kuriame yra pagrindinė informacija apie laboratoriją, kursus studentams ir pagalbinė medžiaga, padedanti užprogramuoti robotus, bet vartotojas negali užprogramuoti robotų.
2. Nuotolinė sesija, kuriai būtina registracija. Šios sesijos metu leidžiama naudotis iš anksto numatytu labirintu ir valdymo įrankiais bei vykdyti iš anksto numatytas užduotis.
3. Vartotojas mato jutiklių parametrus, roboto judėjimą ir gali tiesiogiai jį užprogramuoti. Vartotojas gali pats susikurti užduotis. Šiai kategorijai būtina registracija.

3. Pramoninių robotų E-laboratorija

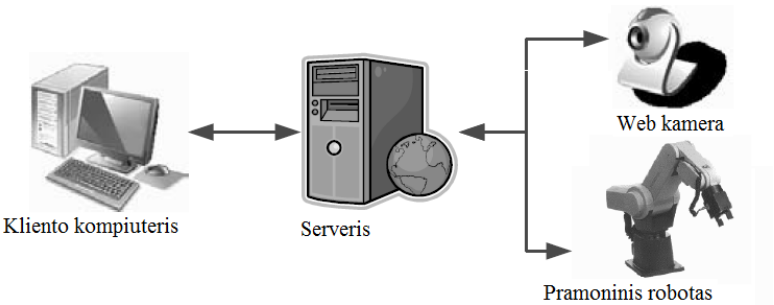
Pramoninių robotų valdymo tyrimams taip pat naudojamos E-laboratorijos su valdymu per internetinę prieigą [5, 6]. Universiteto laboratorija remiasi E-mokymosi principu pritaikytu studentams ir kursantams iš įmonių. Studentai gali atlikti tyrimus su pramoninais robotais nebūdami pačioje laboratorijoje.

Klientas, prisijungęs prie interneto, pramoninį robotą gali valdyti visiškai tiesiogiai. Taip pat yra galimybė matyti darbinės erdvės vaizdą, judantį

robotą ir jį programuoti. Tai klientui suteikia tokias pat pramoninio roboto valdymo galimybes, kaip ir būnant laboratorijoje.

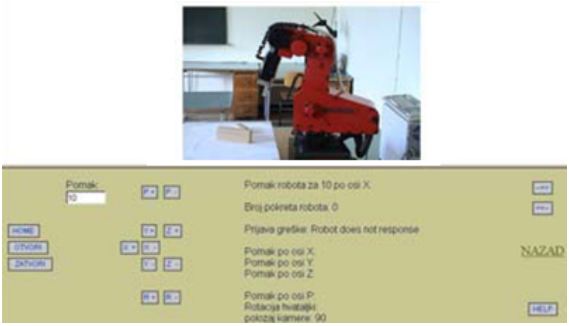
Pramoninių robotų E-laboratorijos valdymas ir struktūra. Italijos technologijos universiteto pramoninių robotų laboratorija sudaryta iš (3 pav):

1. Serveris, kuris leidžia komunikuoti klientui su robotu ir robotui su klientu.
2. Internetinė kamera leidžianti vartotojui matyti pramoninio roboto judėjimą ir kaip robotas stovi.
3. Pramoninis robotas vykdantis kliento programas.



3 pav. Pramoninių robotų laboratorijos struktūra

Klientas, prisijungęs prie internetinio laboratorijos puslapio, mato vartotojo langą (4 pav.), kuriame galima valdyti atskiras roboto ašis. Yra galimybė sukurti roboto programą, paleisti ją vykdyti ir tuoj pat matyti jos veikimą. Klientas, prisijungęs prie sistemos, gali vykdyti dėstytojo sudarytus laboratorinius darbus, tokiu būdu sutaupant studento ir dėstytojo laiką. Nėra pateikta informacijos apie papildomas veikas, kurių negalima atlikti valdant robotą per internetą. Pavyzdžiui, neaišku ką reiktų daryti, jei detalė nukrito nuo stalo ar nuriedėjo į nepasiekiamą roboto rankai vietą?



4 pav. Kliento matomas langas

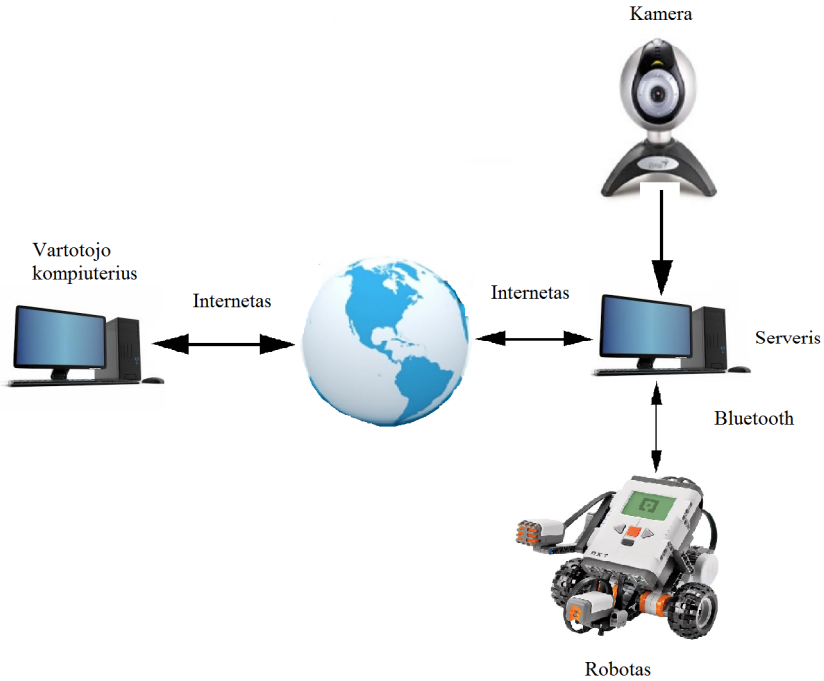
4. Kuriama Lego Mindstorms NXT roboto E-laboratorija

Lego Mindstorms NXT robotų laboratorija yra kuriama Kauno technologijos universiteto Panevėžio institute. Jos paskirtis yra technologinių mokslinių žinių išbandymas su programuojamais mobiliais Mindstorms NXT klasės robotais, kurie turi įvairių tipų jutiklius. Tai leistų mokykloms, universitetams ir kolegijoms sutaupyti resursus.

KTU mobiliųjų robotų E-laboratoriją sudaro (5 pav.):

1. Serveris, kuris priima naudotojo komandas, o naudotojui transliuoja vaizdą ir jutiklių parodymus.
2. Robotas, kuris vykdo naudotojo komandas ir siunčia roboto daviklių duomenis į serverį.
3. Web kamera, kuri nukreipta į poligoną ir visi naudotojai, prisijungę prie E-laboratorijos internetinio tinklalapio, mato ekranuose poligoną su jame judančiu robotu.

Prisiregistravęs naudotojas gali tiesiogiai valdyti robotą nuotoliniu būdu. Taip pat galima parašytą programos kodą nusiųsti į robotą ir pradėti vykdyti įkeltą programą. Neprisiregistravę vartotojai gali tik stebėti perduodamas komandas ir poligono vaizdą.



5 pav. KTU mobiliųjų robotų E-laboratorijos sandara

4. Išvados

1. Čekijos technologijos universiteto mobilių robotų laboratorijos robotai neturi ant savęs video kamerų. Dėl šios priežasties vartotojas negali atlikti užduočių su vaizdų atpažinimu.
2. E-laboratorijos yra pritaikytos tik studentams, todėl nėra galimybės naudotis kitiems vartotojams. Pavyzdžiui, moksleiviams ar įmonių inžineriniam personalui.
3. Mobilių robotų laboratorijos sienos ir kliūtys yra iš tokių pačių medžiagų, todėl vartotojas negali sužinoti, kaip jutikliai reaguoja į kitas medžiagas (stiklą, plastmasę, medvilnę ir t.t).
4. Pramoninių robotų laboratorijose neišspręstas klausimas dėl detalių padavimo robotų darbinę zoną tais atvejais, jei ji nukrenta.
5. Pramoninių robotų laboratorijose nėra išspręsta roboto saugumo problema, todėl robotas gali būti sugadintas vien tik dėl neįgudusių veiksmų ar dėl sulėtėjusio internetinio ryšio.

Literatūra

1. **Masar I., Bischoff A.** and **Gerke M.** Remote experimentation in distance education for control engineers.In Proceedings of Virtual University 2004, Bratislava, Slovakia, p. 16–17.
2. **Kulich M., Faigl J., Kosnar K., Preucil L.** and **Chudoba J.** SyRoTek – On an e-Learning System for Mobile Robotics and Artificial Intelligence. In ICAART 2009, Setubal. INSTICC Press. p. 275–280.
3. **Faigl J., Chudoba J., Kosnar K., Saska M., Kulich M., Saska M.** and **Preucil L.** SyRoTek – A Robotic System for Education. AT&P journal. 31–36 p.
4. CzechUniversity of Technology. Prieiga per internetą: < https://syrotek. felk.cvut.cz/ > [žiūrėta 2013-10-27].
5. **Wider J., Foit K., Wszoek G., Mastrowski D.** The system for simulation and offline, remote programming of the Mitsubishi Movemaster RV-M1 robot, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 25/1 2007. 7-14 p.
6. University of Pisa. Prieiga per internetą: < http://www.unipi.it > [žiūrėta 2013-11-01].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

DAUGIAKRYPČIŲ RATŲ MODELIAVIMAS, TAIKYMAS IR VYKDOMI TYRIMAI

P. Kireilis, A. Česnulevičius
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: daugiakryptis ratas, „mecanum“ ratas, „švediškas“ ratas.

1. Įvadas

Šiame darbe nagrinėjami robotai su ratų važiuokle, mobilaus roboto su daugiakrypčiais ratais dizainas ir valdymo metodai. Kadangi ratinės važiuoklės yra dažniausiai sutinkamos visuose judančiuose mechanizmuose, jų valdymo būdų, ratų modifikacijų, važiuoklės tipų pagal ratų skaičių ir judėjimo pobūdį yra labai daug. Darbe lyginamos važiuoklės pagal judėjimo tipą, laisvės laipsnių skaičių, galimus važiuoklės išpildymo variantus bei įvardinti pagrindiniai šių važiuoklių privalumai ir trūkumai. Darbe pasirinkta daugiakrypčių ratų važiuoklė yra lyginama su kitų modifikacijų važiuoklėmis, bandant rasti didžiausius šios važiuoklės privalumus važiuojant skirtingomis kelio dangomis, ar skirtingo reljefo keliu. Trūkumai bus iškeliami kaip problemos, kurios bus sprendžiamos keičiant ratų dizainą, valdymo pobūdį. Bus analizuojamos šios konstrukcijos ratų pritaikymo galimybės pramonėje, armijoje, medicinoje, kosminiuose tyrimuose, mokymo procesui ir kitose sferose.

1. Mobilūs robotai su ratų važiuokle

Pirmiausia pažvelkime, kokios yra tipinės ratų konstrukcijos, sutinkamos nagrinėjant robotus su ratų važiuokle. Jos yra pavaizduotos 1 pav. Čia pavaizduotus ratus galima suskirstyti į tris grupes: standartiniai varantieji ratai (1 pav., a), atraminiai (1 pav., b ir c), atraminiai rutuliniai (1 pav., d) bei daugiakrypčiai (angl. *Swedish wheel* arba *Mecanum wheel*) (1 pav., e ir f) [1].

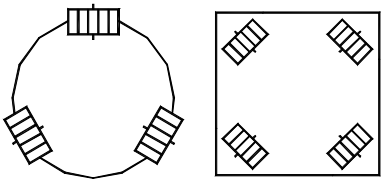
Kai kurios tipinės važiuoklių su daugiakrypčiais ratais konstrukcijos yra pavaizduotos 2 ir 3 paveiksluose [1]. Važiuokles galima suskirstyti grupes pagal varančiųjų ratų skaičių, vairuojamų ratų ar ašių skaičių, atraminių ratų skaičių ir daugiakrypčių vairuojamų ratų važiuokles. Dažniausiai sutinkamų važiuoklių konstrukcijos yra: vieno varančio ir vieno vairuojamo rato, dviejų

a b c

d e f

1 pav. Tipinės ratų konstrukcijos [1]

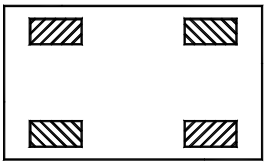
varančių ratų, dviejų varančių ir vieno arba dviejų atraminių ratų, vienos varančiosios ašies ir vieno vairuojamo rato, varančiojo ir vairuojamo rato, vienos varančiosios ir vienos vairuojamos ašies, vienos varančiosios, vairuojamos ašies, dviejų varančiųjų, vairuojamųjų ašių, dviejų varančiųjų, vairuojamųjų ir dviejų atraminių ratų važiuoklės [1].



2 pav. Trijų arba keturių varančiųjų daugiakrypčių ratų važiuoklė [1]

2 paveiksle pavaizduotos važiuoklės su daugiakrypčiais ratais, kai ritinėlių ašys yra statmenos rato ašiai. Šio tipo važiuoklei gali būti panaudojami ir sferiniai ratai. Šio tipo važiuoklių privalumai yra: didelis manevringumas, pakankamai stabili konstrukcija. Rekomenduojama, kad svorio centras būtų važiuoklės centre. Prie trūkumų galima priskirti: sudėtinga

ratų konstrukcija, sudėtingas programavimas ir valdymas, judant robotui įstrižai, išvystomas mažesnis judėjimo greitis bei traukos jėgos.

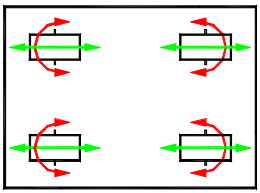


3 pav. Keturių varančiųjų daugiakrypčių ratų važiuoklė [1]

3 paveiksle pavaizduota kiek kitokia važiuoklės su daugiakrypčiais ratais konstrukcija. Šią važiuoklę sudaro keturi varantys ratai. Ratai su ritinėliais, išdėstytais kampu ratų ašių atžvilgiu. Šios konstrukcijos privalumai: nesudėtinga roboto važiuoklės konstrukcija (varikliai yra nejudamai tvirtinami prie korpuso, nereikalingi papildomi varikliai vairavimui), nesudėtingas programavimas ir roboto valdymas, robotas gali judėti įvairiomis kryptimis, nekeisdamas savo orientacijos plokštumoje. Trūkumai: sudėtinga ratukų konstrukcija, judant robotui įstrižai, išvystomas mažesnis judėjimo greitis bei traukos jėgos.

Nagrinėdami mobilių robotų su ratų važiuoklėmis konstrukcijas, mes galime sutikti daugiau konstrukcinių sprendimų, nei yra pateikta 2 ir 3 paveiksluose. Šiame skyriuje aprašytos tik dažniausiai pasitaikančios konstrukcijos.

Manevringumą galime lyginti tik su keturių varančiųjų vairuojamų ratų važiuokle (4 pav.). Pastarojoje važiuoklėje naudojami net aštuoni varikliai, keturi varymui ir dar keturi vairavimui, ko nereikalauja važiuoklė su daugiakrypčių ratų sistema. Keturių varančiųjų vairuojamų ratų važiuoklė turi įvykdyti kelias papildomas komandas, kaip pavyzdžiui, pirma pasukami ratai su vairavimo varikliais norima kryptimi, o tik tada įjungiami varantieji varikliai. Daugiakrypčių ratų važiuoklė nereikalauja papildomų veiksmų prieš pradedant robotui važiuoti tinkama kryptimi.

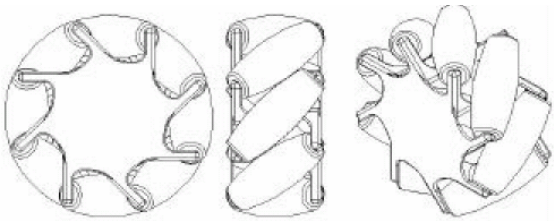


4 pav. Keturių varančiųjų vairuojamų ratų važiuoklė [1]

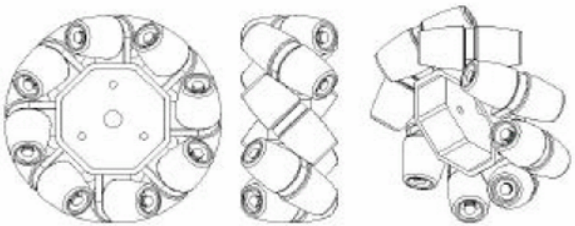
Išanalizavus visus privalumus ir trūkumus tyrimui pasirinkta daugiakrypčių ratų važiuoklė. Sekančiame skyriuje analizuojamos ratų konstrukcijos ir atliekami skaičiavimai daugiakrypčių ratų gamybai.

2. Daugiakrypčių ratų projektaviams

Projektuojamas robotas naudos specialius daugiakrypčius ratus tam, kad būtų pasiektas įvairiakryptis judėjimas. Ši idėja kilo švedų išradėjui Bengt Ilon, 1973 m., kai jis buvo Švedijos bendrovės „Mecanum AB“ inžinieriumi [2]. Daugiakryptis ratas turi papildomus ratukus, kurie yra išdėstyti lygiais atstumais aplink pagrindinę ašį (5 ir 6 pav.). Papildomų ratukų ašis yra pasukta 45° kampu nuo pagrindinės ašies. Taip kompensuojamas rato judėjimas skersine kryptimi, išilgai ratlankio ašies. Besisukant ratui ritinėliai su pagrindu kontaktuoja tik dalimi ritinėlio ploto. Specialus metodas ratui leidžia atlikti šoninius judesius besisukant priešpriešiniams ratams priešingomis kryptimis. Pirmyn ir atgal važiuojančio roboto judesiai yra kaip įprastų ratų. Šiais judėjimais mes galime kontroliuoti mobilų robotą norima kryptimi bet kuriuo metu. Mūsų projektuojamas robotas turi keturis daugiakrypčius ratus ir kiekvieną ratą sudaro aštuoni posistemės ratai. Judant robotui tarpas tarp gretimų volelių gali sukelti papildomas vibracijas, todėl jis turi būti sumažintas. Tuo tikslu daromi tolimesni ratukų sąlyčio su kelio danga skaičiavimai [3, 4].



5 pav. Daugiakryptis ratas su vientisu ritinėliu [3]



6 pav. Daugiakryptis ratas su atskirais ritinėliais [3]

Pradiniai duomenys, reikalingi daugiakrypčio ratų skaičiavimui: R_v – išorinis daugiakrypčio rato spindulys; r_{rit} – ritinėlio spindulys. Sekančiomis formulėmis randamas atstumas nuo ritinėlio x ir y ašių susikirtimo taško iki ritinėlio paviršiaus.

Vidinis rato spindulys randamas (7 pav.):

$$D = R_v - r_{rit}. \tag{1}$$

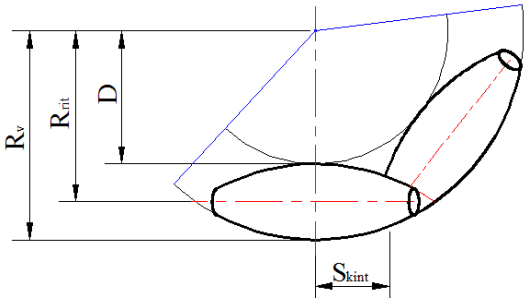
Atstumas nuo ritinėlio centro iki bet kurio ritinėlio profilio taško

$$S_{kint} = \sqrt{R_v^{\,2} - D^2}\ . \tag{2}$$

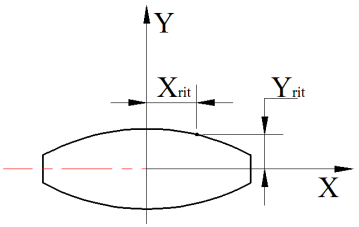
Atstumas S_{kint} keičiamas nuo nulio iki maksimalios reikšmės, t. y. kol gauta y koordinatė bus didesnė arba lygi nuliui.

Atstumas nuo ritinėlio centro iki liestinės taško pagal x ašį (8 pav.)

$$X_{rit} = \frac{D\,S_{kint}^{\,2}}{\sqrt{2}\cdot\sqrt{R_v^{\,2} - S_{kint}^{\,2}}} - \frac{S_{kint}^{\,2}}{\sqrt{2}}. \tag{3}$$



7 pav. Daugiakrypčio rato pjūvis išilgai sukimosi ašies



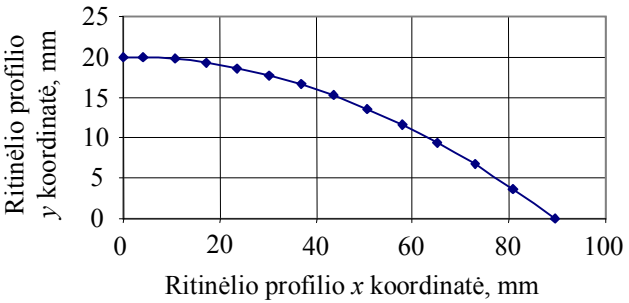
8 pav. Daugiakrypčio ritinėlio x, y ašies atskaitos koordinatė

Atstumas nuo ritinėlio centro iki liestinės taško pagal y ašį (8 pav.)

$$Y_{rit} = 2\,(R_v^{\,2} - S_{kint}^{\,2}) \times \times \sqrt{\frac{S_{kint}^2 \left(D\,S_{kint} - (S_{kint}+2)\sqrt{R_v^{\,2} - S_{kint}^2} \right)^2}{2\left(R_v^{\,2} - S_{kint}^2\right)}} - D + \sqrt{R_v^{\,2} - S_{kint}^2}\,. \quad (4)$$

Projektuojamo daugiakrypčio rato pradiniai duomenys: R_v = 110 mm; r_{rit} = 20 mm. Pagal turimus duomenis apskaičiuojami ritinėlio geometriniai parametrai.

Iš grafiko (žr. 9 pav.) galime matyti, kad *x* ir *y* koordinatės kinta pagal dėsnį artimą parabolei.

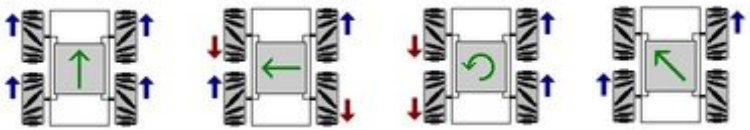


9 pav. Ritinėlių geometrijos kitimo grafikas

3. Robotų su daugiakrypčiais ratais pritaikymas ir tyrimų kryptys

Šiais technologijų laikais apstu sričių kuriose taikomi arba tik pradedami diegti mobilūs robotai. Dauiakrypčių ratų taikymo sritys labai įvairios: transporte, pramonėje, logistikoje, mokymosi, kosmoso tyrimams, statyboje, armijoje [1] (išvardinta tik dalis daugiakrypčių ratų taikymo sferų).

Trumpai apžvelkime mobilių robotų su daugiakrypčių ratų važiuokle valdymo principus [5].



10 pav. Daugiakrypčių ratų važiuoklės valdymo principinė schema [5]

Daugiakrypčių ratų važiuoklės valdymas yra ypatingas tuo, kad važiavimui šonine ar skersine kryptimi roboto orientacija gali būti išlaikoma tokia pati, kaip ir važiuojant tiesiai. Norint judėti šonine kryptimi kiekvienos ašies ratai turi suktis priešingomis kryptimis, taip sukuriamas sraigto efektas ir robotas juda šonu (10 pav.) [5].

4. Išvados ir tolimesni tyrimai

1. Išanalizavus didžiąją dalį robotų valdymui naudojamų važiuoklių galime teigti, kad daugiakrypčiais ratais varomos važiuoklės yra ženkliai manevringesnės, nereikalaujančios papildomų variklių vairavimui. Važiuoklės konstrukcija yra paprastesnė už didžiąją dalį naudojamų važiuoklių tuo, kad nereikalingi sudėtingi atskirų ratų ar ašių vairavimo mechanizmai. Pagrindinis daugiakrypčių ratų privalumas yra tas, kad važiuoklė važiuodama visomis kryptimis gali išlaikyti tą pačią orientaciją, nepasisukdama važiavimo kryptimi.
2. Numatoma toliau tirti daugiakrypčių ratų sukibimą su skirtingomis kelio dangomis, besikeičiančiu reljefu. Bus keičiama daugiakrypčių ratų medžiaga arba kontaktuojantis paviršius.

Literatūra

1. **Česnulevičius A., Garuckas D., Sinkevičius V., Vaičiulis D.** Robotikos sistemų modeliavimas ir valdymas [elektroninis išteklius]: mokomoji knyga / Kauno technologijos universitetas. – Kaunas: Technologija, 2012. – 248 p. ISBN 9786094330964.
2. **Ilon E.B., Killough S. M.** Wheels of a cores stable self-propelling vehicle movable in any direction on the ground or some other base. US patents and Trademarks Office, patentent 3,876,255
3. **Olaf Diegel, Apama Badge, Glen Bright, Johan Potgieter, Sylvester Tlale.** Improved macanum wheel design for omni-directional robot Australasian conference on Robotics and automation. Auckland, November 27-29, 2002. Prieiga per internetą: < http://ftp.mi.fu-berlin.de/Rojas/omniwheel/Diegel-Badve-Bright-Potgieter-Tlale.pdf > [žiūrėta 2013-11-20].
4. Chiefdelohi. Prieiga per internetą: < http://www.chiefdelphi.com/media/papers/2390 > [žiūrėta 2013-11-20].
5. Lego Cuusoo. Prieiga per internetą: < http://lego.cuusoo.com/ideas/view/39585 > [žiūrėta 2013-11-23].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

MOBILAUS ROBOTO VAŽINĖJANČIO PO MAŠINA VAIZDO DUOMENŲ PERDAVIMO Wi-Fi RYŠIU TYRIMAS

M. Lunskis, V. Sinkevičius
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: mašinos dugno apžiūra, Wi-Fi ryšys, mobilus robotas.

1. Įvadas

Transporto priemonių sauga ir išorine apžiūra susirūpinta tada, kai padaugėjo teroristinių išpuolių, nelaimingų atsitikimų stovėjimo aikštelėse ir dideliuose garažuose, sustiprėjus kovai su kontrabanda ir nelegalia imigracija. Automobilių dugno apžiūra daugeliu atveju padeda aptikti prie dugno pritvirtintus sprogmenis, kontrabandinius paketus ar net ten pasislėpusius žmones. Reguliari dugno apžiūra padeda laiku pastebėti įvairius defektus – tepalų, stabdžių skysčio ar kuro nutekėjimus, padangų vidinių paviršių defektus ir kt. Tokia savalaikė informacija apie pastebėtus defektus gali sumažinti autotransporto nelaimingų atsitikimų skaičių. Taigi, transporto priemonių dugno apžiūra yra aktuali tema. Tradiciškai tai atliekama muitinės, pasienio, garažuose ar policijos kontrolės postuose rankiniu būdu panaudojant specialius veidrodžius. Šis metodas labai sąlygotas žmogiškojo faktoriaus ir nėra patikimas jau vien dėl to, kad ne visa erdvė po automobiliu yra matoma. Sprogmenų atveju šis metodas nėra saugus. Atviro tipo ar daugiaaukštės automobilių stovėjimo aikštelės gali įsirengti stacionarines įvažiuojančių ir išvažiuojančių automobilių dugno apžiūros sistemas. Šios sistemos reikalauja ypatingos priežiūros, kadangi įvažiuojantys automobiliai lietaus, šlapdribos ar pūgos metu labai greitai „apakina“ optines sistemas nuo korpuso ir ratų krentančiais teršalais. Kitos apžiūros sistemos yra specialaus naudojimo – apžvalgos duobės po automobiliu arba automobilių pakėlikliai. Pastarieji naudojami tik ypatingais atvejais ir tam skirtose patalpose.

Kita sritis yra patalpų vidaus apžiūra, kai reikia patikrinti stalų, kėdžių, spintų apačias – ar ten nėra pritvirtinta sprogmenų ar kokių nors neleistinų įtaisų. Ypatingos svarbos renginiuose tai atliekama rankiniu būdu panaudojant veidrodžius ar net fiziškai palendant po baldais ar įrengimais. Toks būdas labai imlus laikui, žmogiškiesiems resursams, nėra saugus ir patikimas dėl gausos žmonių, dalyvaujančių tokioje veikloje.

Apžiūrint automobilius ar patalpas gali būti analizuojami ne vien tik matomi vaizdai. Šiuo metu yra naudojamos termo kameros, galinčios fiksuoti objektų temperatūrą ir taip aptikti nelegaliai veikiančią elektroninę įrangą ar elektros instaliacijos defektus. Taip naudojami sprogių ar nuodingų dujų analizatoriai, galintys aptikti labai mažas tų dujų koncentracijas ore.

Transporto priemonių ir patalpų apžiūrai vis dažniau bandoma panaudoti mobiliuosius robotus. Tokie robotai, kaip taisyklė, turi galimybę būti valdomi nuotoliniu būdu. Ant roboto platformos būna sumontuota viena ar kelios video kameros su šviesos šaltiniais. Kamerų orientacija gali būti valdoma. Kamerų matomas vaizdas perduodamas į operatoriaus kompiuterį ir jo ekrane operatorius gali analizuoti matomą vaizdą. Įprasta, kad vaizdas perduodamas belaidžiu ryšiu. Daugelyje publikacijų yra pateikiamos įvairiausios tokių robotų sistemos, naudojančios Wi-Fi ryšį. Tačiau apie vaizdo perdavimo kokybę ir galimybes dažniausiai neužsimenama. Tuo tarpu patys robotai važinėja po metalinėmis automobilių konstrukcijomis, kurios puikiai ekranuoja radijo bangas.

2. Autotransporto priemonių dugnų apžiūra

Autotransporto priemonių dugno apžiūra gali būti atliekama atsitiktinai sustabdžius judančią transporto priemonę kelyje ar suradus stovėjimo aikštelėje keliančia įtartimą mašina, kuri gali būti užminuota, ar joje kažkas nelegalaus paslėpta. Tokiu atveju atliekama tiesioginė apžiūra arba naudojamos kokios nors mobilios priemonės. Jei yra poreikis patikrinti automobilių stovėjimo aikštelėje ar garaže stovinčius visus automobilius, tai elgiamasi dvejopai. Tikrinami visi įvažiuojantys ar išvažiuojantys automobiliai, įvažiavime naudojant stacionarią įrangą ar stebėjimo duobes. Kitu atveju tikrinantis personalas apeina visus stovinčius automobilius ir apžiūri jų dugnus. Toliau apžvelgti visi apžiūros būdai, pažymint jų privalumus ir trūkumus.

Automobilių tiesioginė apžiūra be papildomų priemonių. Stovinčią ar specialiai apžiūrai sustabdytą mašiną galima apžiūrėti tiesiogiai, be jokių papildomų priemonių. Tačiau daugelis automobilių, kurie skirti važinėti plentais, turi žemą prošvaisą ir pakišti galvą po automobiliu nėra galimybės. Esant mažai prošvaisai galima panaudoti įvairaus tipo mechaninius ar pneumatinius domkratus ir jais pakelti vieno šono vieną ar abu ratus. Tada plyšys tarp automobilio dugno ir grindinio padidėja ir galima apžvelgti dugną. Visi tiesioginės apžiūros metodai turi bendrą trūkumą – ieškant sprogmenų jie yra nesaugūs. Taip pat nesaugu žmogui būti po pakeltu automobiliu. Tamsiu paros metu apžiūrėtojas dar turi manipuliuoti prožektoriumi, o tai apriboja jo judėjimo laisvę.

Papildomos rankinės priemonės. Yra keletas papildomų rankinių priemonių, kurios leidžia pamatyti transporto priemonės dugną nelendant po

juo. Šios priemonės yra mobilios ir apžiūrėtojas gali jas vežiotis į tyrimo vietas. Viena jų, tai išgaubtas ar plokščias didelis veidrodis su rankena (1 pav.). Kartais komplekte būna linzės tipo stiklas, o pats veidrodis tik plokščias. Veidrodis gaminamas įvairių tipų ir dydžių. Tačiau visuomet galima surasti komplektą, į kurį įeina atraminiai ratukai ir prožektorius.

1 pav. Rankines priemonės

Automobilio apžiūros metu veidrodis pakišamas po transporto priemone ir apžiūrėtojas veidrodyje mato dugno dalies atspindį. Deja, bet čia išlieka ta pati automobilio prošvaisos dydžio problema. Žemo dugno automobilių visą dugną apžvelgti su tokiu veidrodžiu yra neįmanoma. Analogiškus veidrodžius naudoja išminuotojai apžvelgiant kėdžių ar kitokių baldų apatinius paviršius. Čia didesnė problema ne tiek matomumas, kiek sugaištas apžiūrai laikas. Pavyzdžiui, stadionuose būna nuo 20 iki 100 tūkstančių kėdžių. Reikia labai didelio būrio apžiūretojų, kad patikrinti visų kėdžių apačias.

Kita iš rankinių priemonių yra kamera primontuota prie stovo kartu su LCD displejumi. Privalumas, kad su ja galima pamatyti daugiau nei su išgaubtu veidrodžiu. Trūkumas, kad stovas yra sunkesnis ir didesnis todėl sunkiau manevruoti. Tiek kamerai tiek LCD displėjui reikia maitinimo šaltinio, todėl ir mobilumas ir darbo laikas sutrumpėja.

Kilnojamos apžiūros platformos yra montuojamos prie įvažiavimų į tunelius, stovėjimo aikšteles ar daugiaukščius garažus. Nors jos sugeba apžiūrėti visą mašinos dugną dėl įmontuotų kamerų, jos turi daugiau trūkumų. Vienas jų, tai dėl oro sąlygų užteršiami objektyvai, dėl ko kameros nebemato nieko ir juos reikia valyti. Šios platformos gali būti įrengiamos tik ant kietos ir lygios dangos.

Keltuvai. Viena iš garažinių priemonių yra keltuvai. Apžiūra užtrunka palyginus ilgai, nes reikia pasistatyti mašiną ant keltuvo ir užsikelti.

Taip gali būti tikrinamos pavienės mašinos. Tokiu būdu yra labai pavojinga ieškoti paslėptų sprogmenų.

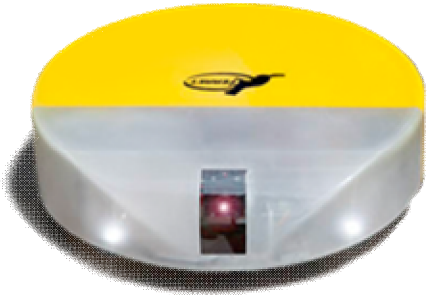
Keltuvai gali pakelti ne visas transporto priemones, dėl jų didelio svorio, krovinio svorio ar jų dydžio. Todėl jų dugnams apžiūrėti yra naudojamos apžiūros duobės. Tai užrunka ilgai, nes sunkusis transportas yra didelių gabaritų.

Robotų pagalba transporto priemonių apžiūra vyksta saugiau, greičiau, per saugų atstumą, padidėja matomumo laukas. Vienas iš pavyzdžių yra robotas ODIS (2 pav.). Picos dėžės dydžio robotas gali palysti po mašina, o matomą vaizdą perduoda jame įmontuota vaizdo kamera. Apginkluotas naktiniu matymu, akustiniais sensoriais, pasyviu ir aktyviu šiluminiu matymu, dirbantis apie 40 valandų su AA tipo elementais. Valdomas nuotoliniu būdu operatoriaus, kuris turi valdymo pultą su LCD displėjumi. Skirtas bombų, cheminių ginklų paieškai.

2 pav. Robotas ODIS

Dar vienas robotas skirtas apžiūrai po transporto priemonėmis yra robotas FERRET (3 pav.). Apvalus robotas, 14 colių (apie 36 cm) skersmens ir 4 colių (apie 10 cm) aukščio, apginkluotas galingais 5W LED prožektoriais pašvietimui naktį, maitinamas iš ličio jonų akumuliatorių ir gali nepertraukiamai dirbti iki trijų valandų. Nuo valdymo pulto gali nutolti 100

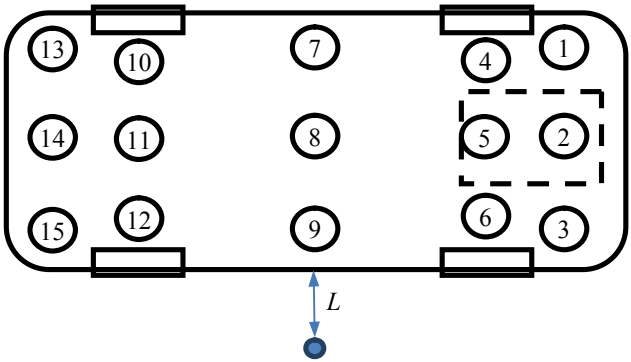
metrų atstumu, o naudojant kryptinę anteną net iki 300 metrų. Skirtas apžiūrai mašinų, galimų narkotikų ar bombų ieškojimui. Valdymo pulte arba specialiuose akiniuose su LCD displėjais yra atvaizduojamas roboto kamera matomas vaizdas.



3 pav. Robotas FERRET

3. Eksperimento technika

Buvo atliktos trys skirtingų eksperimentų serijos. Buvo ištirta Wi-Fi ryšio kokybė trims variantams, kai mašina yra pastatyta atviroje aikštelėje. Po mašina buvo pasirinkta penkiolika matavimo taškų, kiekvieno taško vieta turi savo numerį (4 pav.). Wi-Fi ryšys buvo tiesioginis tarp gavėjo ir siuntėjo, panaudotas ryšio dažnis 2,4 GHz. Eksperimentiniame tyrime buvo panaudoti du nešiojamieji kopiuteriai su išoriniais Wi-Fi įrenginiais. Siuntimas vyko iš kompiuterio, esančio po mašina. Tyrimo metu buvo siunčiami vaizdo failai ir

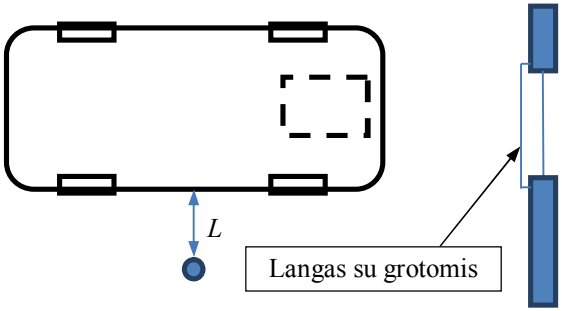


4 pav. Tyrimo taškai po mašina

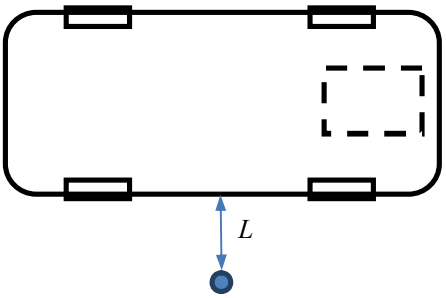
matuojamas kadrų perdavimo greitis (kadrai per sekundę). Dar buvo fiksuojamas vėlinimas (ping) ir prarastų paketų skaičius. Papildomai buvo tiriama Wi-Fi įrenginio antenos orientacijos įtaka ir Wi-Fi įrenginio atstumo įtaka iki automobilio.

Pirmame tyrime mašina stovėjo šalia trijų aukštų blokinio namo, kurio pirmajame aukšte buvo įrengtos langų apsauginės grotos. Po mašina buvusios Wi-Fi antenos galia buvo 1 W. Atstumai *L* nuo mašinos iki gavėjo buvo du: 3 m ir 9 m. Buvo tiriama ir gavėjo antenos, pakeltos nuo žemės, aukštis *H*, kuris buvo: 0 m (antena paguldyta ant žemės), 0,5 m, 1 m ir 1,5 m. Tai pat tirta gavėjo antenos padėtis. Ji buvo pakreipta lygiagrečiai mašinai, vertikaliai (90° kampu į viršų) ir statmenai mašinai.

Antrame tyrime automobilis stovėjo toli nuo statinių, artimiausias statinys buvo toliau nei už 30 m. Po mašinos buvusios Wi-Fi antenos galia buvo 1 W. Atstumai *L* nuo mašinos iki gavėjo buvo tyriami keli: 9, 15 ir 30 m. Buvo tiriama ir gavėjo antenos, pakeltos nuo žemės, aukštis *H*, kuris buvo: 0 ir



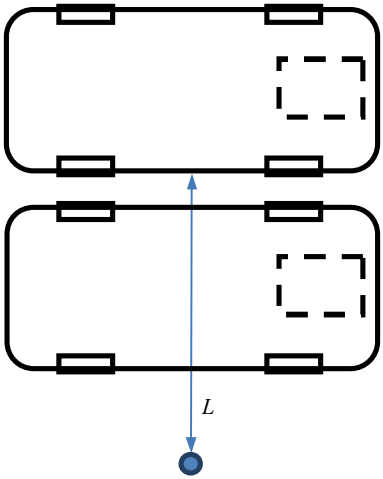
5 pav. Tyrimo schema mašinos stovinčios šalia namo su pirmame aukšte įrengtomis grotomis



6 pav. Tyrimo schema, kai artimiausias statinys yra toliau nei 30 m

0,5 m. Tai pat tirta gavėjo antenos padėtis. Ji buvo pakreipta lygiagrečiai mašinai, vertikaliai (90° kampu į viršų) ir statmenai mašinai. Buvo tirta antenos, esančios po mašina, padėtis. Ji buvo: lygiagreti mašinai, vertikali (90° kampu į viršų) ir statmenai gavėjui.

Trečiame tyrime tiriamą mašiną ekranavo šalia stovėjusi kita mašina. Po mašina buvusios Wi-Fi antenos galia buvo 1 W ir 2 W. Automobilis stovėjo toli nuo statinių, artimiausias buvo toliau nei už 30 m. Atstumas L iki mašinos buvo 30 m. Buvo tiriama gavėjo antenos, pakeltos nuo žemės, aukštis H, kuris buvo: 0, 0,5 m ir 1,2 m. Tai pat tirta gavėjo antenos padėtis. Ji buvo pakreipta lygiagrečiai mašinai, vertikali (90° kampu į viršų) ir statmenai mašinai. Buvo pasirinkti keturi matavimo taškai, tolimiausi nuo gavėjo, nes sprendžiant iš kitų tyrimų pastebėta, kad šituose taškuose didžiausi prarandamų paketų kiekiai.

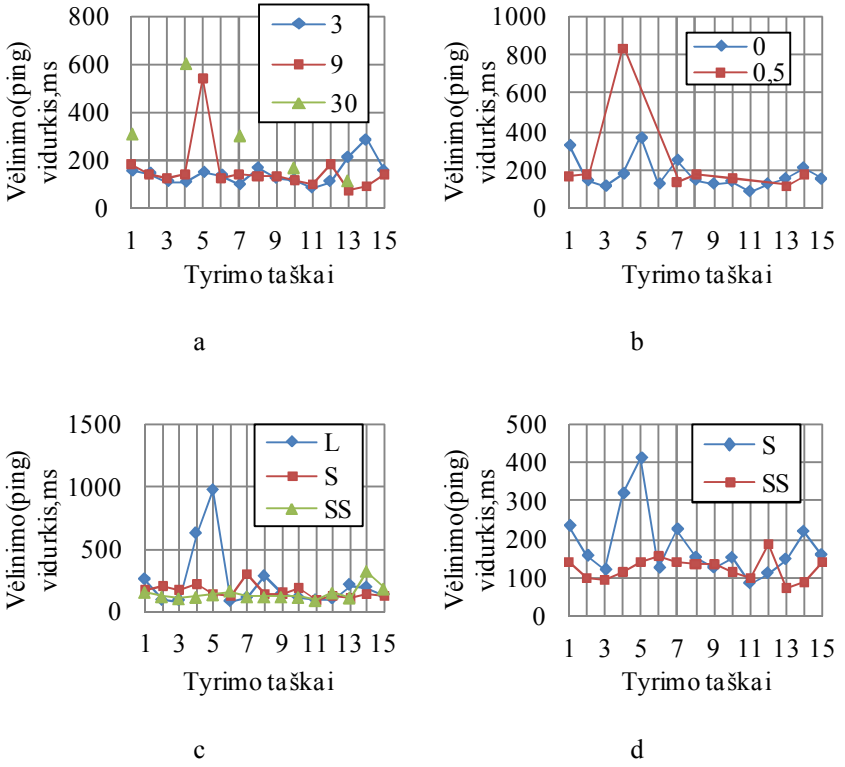


7 pav. Tyrimo schema, kai tarp siųstuvo ir imtuvo yra antras automobilis

4. Kaip po mašina esančios Wi-Fi įrenginio signalui įtakoje mašinos metalinis kebulas

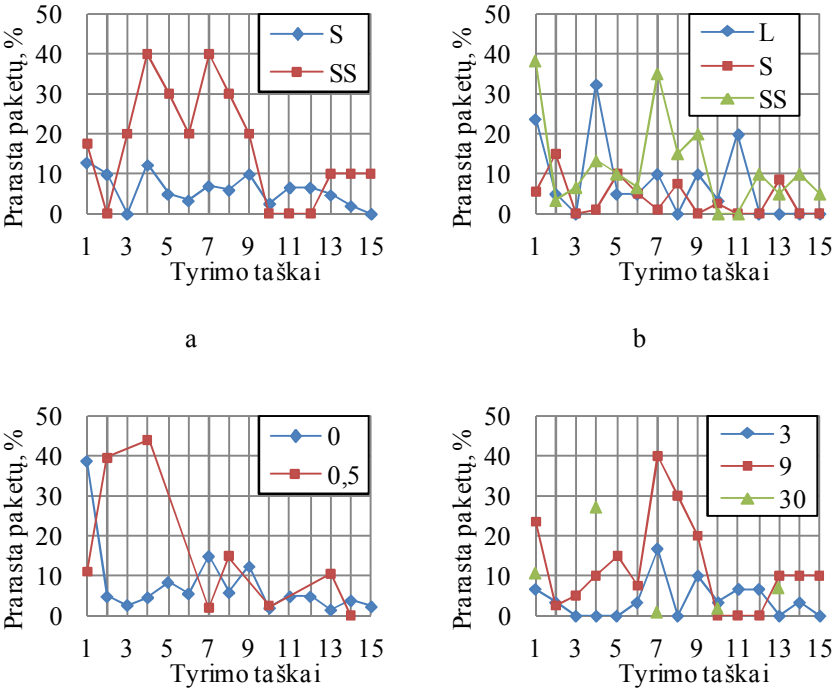
Eksperimento rezultatai pateikti 8, 9 pav. Čia vėlinimas (ping) vidutiniškai yra 100 ÷ 300 ms. Matavimo taškuose 1, 4, 5, 7, 12 ir 14 vėlinimas padidėja iki 1000 ms. Kai atstumas L = 9 m, tai duomenų perdavimo greitis buvo 15 ÷ 22 kadrai/s. Atstume L = 15 m kadrų kiekis buvo stabilus visuose taškuose, apie 20 kadrų/s. Esant atstumui L = 30 m perduodamų kadrų greitis nebuvo stabilus, jo kitimo ribos 13 ÷ 20 kadrų/s. Pastebėta, kad kai imtuvo antenos aukštis H = 0 m, keliuose taškuose kadrų perdavimo greitis

krenta iki 7 kadrų/s. Esant antenai pakeltai iki 0,5 m, tuose taškuose greitis padidėja dvigubai. Gavėjo Wi-Fi antenos orientacijos įtaka perdavimo greičiui, kai ji pakreipta vertikaliai ir statmenai, yra nedidelė. Lygiagreti gavėjo antėnos orientacija sumažina kadrų perdavimo greitį 5 ÷ 7 kadrais/s.



8 pav. Vėlinimo (ping) vidurkio priklausomybės nuo: a – atstumo *L* (kreivių numeriai nurodo *L* dydį, m); b – aukščio *H* (kreivių numeriai nurodo *H* dydį, m); c –gavėjo antenos kryptis (L – antenos padėtis lygiagreti mašinai; S – vertikali; SS – statmena į mašiną); d – siuntėjo antenos kryptis (S – vertikali; SS – statmena mašinai)

Vidutiniškai prarastų duomenų paketų kiekis buvo apie 10 % (9 pav.). Dėl mašinos metalinio kėbulo slopinimo, matavimo taškuose 1, 4, 5, 7, 8, 13 ir 14 buvo prarandama daugiau nei 10 % paketų.



9 pav. Prarastų paketų vidurkio priklausomybė nuo: a – siuntėjo antenos krypties (S – vertikali; SS – statmena į mašiną); b – gavėjo antenos krypties (L – lygiagreti mašinai; S – vertikali; SS – statmena mašinai); c – aukščio *H* (kreivių numeriai nurodo *H* dydį, m); d – atstumo *L* (kreivių numeriai nurodo *L* dydį, m)

4. Išvados

1. Perduoti vaizdo duomenų failus iš po mašinos esančio roboto galimas vidutinis perduodamų kadrų skaičius per sekundę yra apie 20.
2. Prasčiausias Wi-Fi ryšys po mašinos dugnu buvo: mašinos priekyje kairėje pusėje, po priekiniu kairuoju ratu, viduryje tarp priekinių ratų, per mašinos vidurį po kaire puse, mašinos viduryje, po mašinos galiniu bamperiu kairėje pusėje ir po mašinos galiniu bamperiu per vidurį.
3. Norint patikimai perduoti duomenis gavėjo antena turi būti pakelta nuo žemės nors 0,5 m, tada perduodamų kadrų greitis siekia iki 20 kadrų per sekundę.

4. Gavėjo antena turi būti vertikali, o siuntėjo antenos padėtis erdvėje nėra svarbi.
5. Jei tiesioginį matomumą užstoja kita mašina, būtinai turi būti šalia Wi-Fi kartotuvas, nes antra mašina ekranuoja Wi-Fi ryšį.

Literatūra

1. **Kevin L. Moore.** CSOIS Autonomous Robotics Overview, Intelligent Behavior Generation for Autonomous // Mobile Robots: Planning and Control. Prieiga per internetą: < http://inside.mines.edu/~kmoore/csois-robotics.pdf > [žiūrėta 2013-11-28].
2. Under Vehicle Search Mirror – Under Vehicle Search Mirror for Sale. Prieiga per internetą: < http://www.detectorall.com/products/Under-Vehicle-Search-Mirror-.html > [žiūrėta 2013-11-28].
3. Under vehicle search mirror, stealth inspection mirrors. Prieiga per internetą: < http://www.newmantools.com/mirrors/mseries.htm > [žiūrėta 2013-11-28].
4. Search/Inspection Mirrors ,Under vehicle mirrors Panther series by Allen Vanguard. Prieiga per internetą: < http://www.newmantools.com/mirrors /sm.htm > [žiūrėta 2013-11-28].
5. Welcome to SDS Electronics. Prieiga per internetą: < http://www.sdsepl. com/visual_detection_kit.php > [žiūrėta 2013-11-28].
6. Under Vehicle Surveillance System. Prieiga per internetą: < http://www. aditgroup.com/Under-Vehicle-Surveillance-System/UNDER-VEHICLE-SURVEILLANCE-SYSTEM/flypage.tpl.html > [žiūrėta 2013-11-28].
7. General Robotics. Prieiga per internetą: < http://generalrobotics.us/ > [žiūrėta 2013-11-28].
8. **Ma L., Berkemeier M., Chen Y., Davidson M., Bahl V., Moore K. L.** Wireless visual servoing for odis-an under car inspection mobile robot // 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain. Prieiga per internetą: < http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/ifac2002/data/content/ 01333/1333.pdf > [žiūrėta 2013-11-28].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

TRISLUOKSNIO VAMZDŽIO, VEKIAMO VIDINIO SLĖGIO, ĮTEMPIŲ BŪVIO TYRIMAS

G. Alešiūnienė, D. Vaičiulis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: trisluoksnis vamzdis, vidinis slėgis, įtempimų būvis.

1. Įvadas

Praktika ir tyrimai rodo, kad efektyvias konstrukcijas, atitinkančias šiuolaikinius reikalavimus galima sukurti optimaliai parenkant ir išdėstant jas sudarančius komponentus [1]. Daugumoje atvejų efektyviausios konstrukcijos, tai konstrukcijos sudarytos iš kelių sluoksnių, kurie vienas nuo kito skiriasi savo savybėmis, t. y. daugiasluoksnės konstrukcijos.

Šiame straipsnyje bus tiriamas įtempimų būvis trisluoksniame vamzdyje, kuris tinkamas geriamo vandens, šildymo, grindų šildymo bei suspausto oro sistemų montavimui [2].

Tyrimams naudotas baigtinių elementų metodas (ANSYS programa).

Darbo tikslas: ištirti kaip įtempimų būvio komponentės priklauso nuo trisluoksnio vamzdžio sienelių storių.

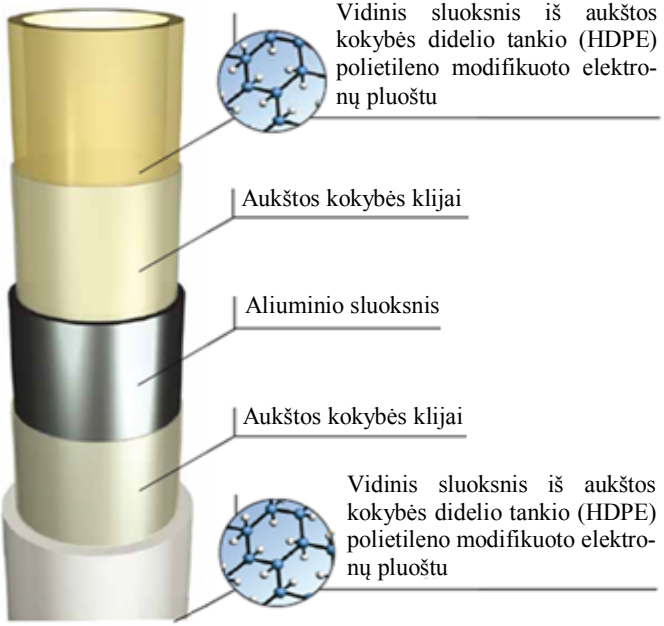
2. Tiriamasis objektas

Tyrimo objektu pasirinktas vamzdis PE-Xc/Al/PE-Xc (1 pav.), sudarytas iš patikimai išilgai suvirinto aliumininio vamzdžio, padengto vidiniu ir išoriniu aukštai temperatūrai atsparaus polietileno PE-Xc sluoksniais. Visi sluoksniai tvirtai sujungti tarpusavyje tarpiniu klijų sluoksniu. Speciali aliuminio sluoksnio suvirinimo technologija užtikrina maksimalų patikimumą [3].

Lygus vidinio plastikinio sluoksnio paviršius apsaugo nuo bet kokio tekančio vandens poveikio. Normalaus eksploatavimo sąlygose išvengiama nuosėdų susikaupimo ir korozijos. Vamzdžio gamybai naudojamų žaliavų savybės maksimaliai sumažina vandens srauto arba kitokius, pvz., cirkuliacinių siurblių keliamus triukšmus.

Iš 1 pav. matyti, kad realus vamzdis HENKO sudarytas iš 5 sluoksnių, du iš jų yra klijų sluoksniai. Klijų sluoksnių mechanines charakteristikas nustatyti labai sudėtinga. Be to šių sluoksnių storis lyginant su likusiais

sluoksniais yra labai mažas, todėl tiriant įtempimų būvį vamzdyje klijų sluoksniai buvo nevertinami.



1 pav. HENKO daugiasluoksnis vamzdis PE-Xc/Al/PE-Xc [3]

Šiame darbe naudotos šios vamzdžio medžiagų mechaninės charakteristikos [4, 5]:

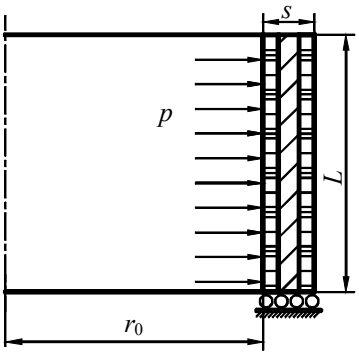
- polietileno PE-Xc
  - tamprumo modulis E_{PE} = 0,85 GPa;
  - Puasono koeficientas ν_{PE} = 0,46;
  - takumo riba $\sigma_{y\,PE}$ = 20 MPa;
- aliuminio
  - tamprumo modulis E_{AL} = 70 GPa;
  - Puasono koeficientas ν_{AL} = 0,35;
  - takumo riba $\sigma_{y\,AL}$ = 145 MPa.

Trisluoksnio vamzdžio skaičiavimo schema pateikta 2 pav.

Dauguma vamzdžių gamintojų vamzdžių žymėjimui naudoja parametrą SDR (*Standard Dimension Ratio*) [6]:

$$\mathrm{SDR} = D / s; \qquad (1)$$

čia: D – išorinis vamzdžio skersmuo; s – vamzdžio sienelės storis.



2 pav. Trisluoksnio vamzdžio skaičiavimo schema

Tyrime naudotas trisluoksnis vamzdis SDR12:

- $D = 2\ (r_0 + s) = 100$ mm;
- vidinis vamzdžio spindulys $r_0 = 41{,}66$ mm;
- $s = 8{,}33$ mm;
- vidinis slėgis $p = 1$ MPa;
- bazinis vamzdžio ilgis $L = 40$ mm.

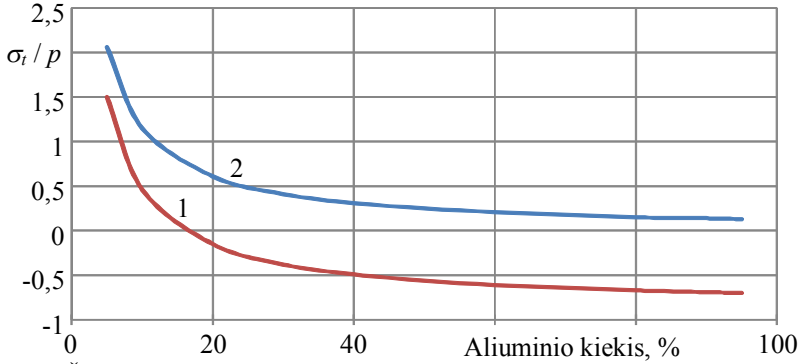
3. Tyrimo rezultatai

Pagal duotus parametrus sukurtas script'as, kurį paleidus ANSYS'o terpėje automatiškai sukuriamas duotojo vamzdžio modelis ir išsprendžiamas plokščiasis ašiai simetrinis tamprusis statikos uždavinys.

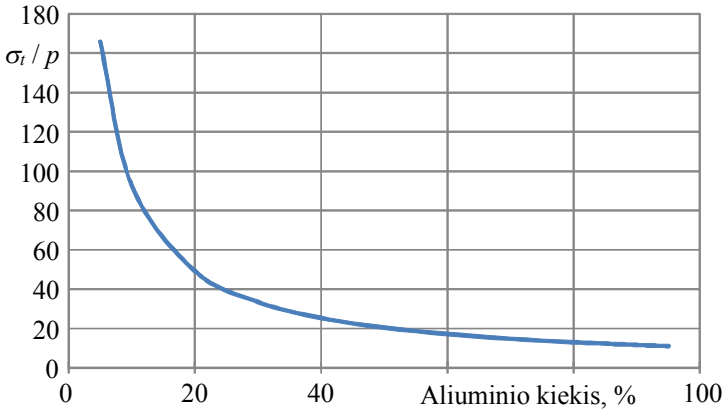
Tyrimo metu buvo keičiamas viduriniojo sluoksnio aliuminio (AL) storis. Sluoksnio storio matu buvo laikomas procentinis aliuminio kiekis nuo bendro vamzdžio sienelės storio.

Kaip žiediniai įtempimai σ_t vidiniame ir išoriniame sluoksniuose priklauso nuo vidurinio sluoksnio (AL) kiekio pateikta 3 pav. Didėjant AL sluoksnio storiui σ_t polietileno sluoksniuose eksponentiškai mažėja. Įtempimų kitimui didžiausią įtaką turi AL sluoksnio kiekis tada, kai jo yra mažiau nei 50%. Kai aliuminio sluoksnis sudaro virš 50 % įtempiai mažėja lėčiau. Vidinio sluoksnio įtempimai mažesni nei išorinio polietileno sluoksnio. Skirtumas tarp σ_t verčių vidiniame ir išoriniame sluoksniuose gali siekti iki 4 kartų.

Žiedinių įtempimų σ_t aliuminio sluoksnyje pasiskirstymas pateiktas 4 pav. Didėjant aliuminio sluoksnio storiui įtempimai viduriniame sluoksnyje taip pat eksponentiškai mažėja.

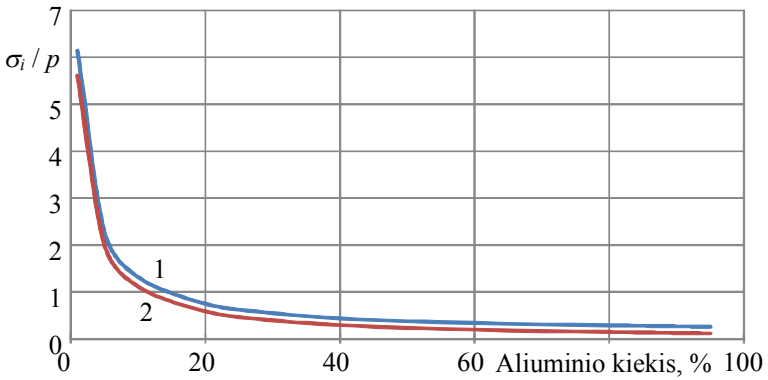


3 pav. Žiedinių įtempimų pasiskirstymas polietileno sluoksniuose priklausomai nuo AL kiekio: 1 – vidinis vamzdžio sluoksnis (PE1); 2 – išorinis vamzdžio sluoksnis (PE2)

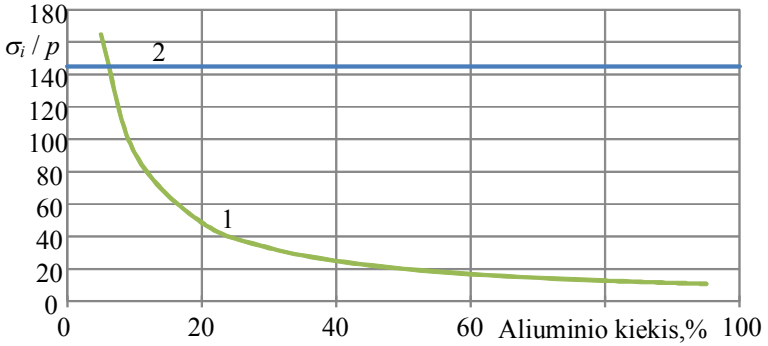


3 pav. Žiedinių įtempimų pasiskirstymas aliuminio sluoksnyje priklausomai nuo AL kieko

Įtempimų intensyvumas σ_i polietileno sluoksniuose kinta panašiai kaip ir žiediniai įtempiai (5 pav.). Tik šiuo atveju vidinio sluoksnio σ_i už išorinio sluoksnio σ_i yra iki 2 kartų didesni. Vidinis ir išorinis sluoksnis, kurie pagaminti iš PE, bus deformuojami tik tampriai, nes $\sigma_{i\,PE1\,max} / p = 6{,}14$ ir $\sigma_{i\,PE2\,max} / p = 5{,}61$, o $\sigma_{y\,PE} / p = 20$ ($\sigma_{i\,PE1\,max}$ už $\sigma_{y\,PE}$ mažesni 3,25 karto, o išorinio sluoksnio – 3,57 karto).



5 pav. Įtempimų intensyvumo pasiskirstymas polietileno sluoksniuose prilklausomai nuo AL kiekio: 1 – vidinis vamzdžio sluoksnis (PE1); 2 – išorinis vamzdžio sluoksnis (PE2)



6 pav. Įtempimų intensyvumo σ_i (1) pasiskirstymas AL sluoksnyje. Tiesė (2) nurodo AL takumo ribą

Kaip įtempių intensyvumas σ_i aliuminio sluoksnyje priklauso nuo jo storio pateikta 6 pav. Įtempimai σ_i AL sluoksnyje priklausomai nuo AL kiekio kinta panašiai kaip ir žiediniai įtempiai. Iš 6 pav. matyti, kad AL sluoksnis pradeda deformuotis tampriai plastiškai, kai AL kiekis neviršija 6 % (SDR12 vamzdžiui, kai D = 100 mm, tai atitiktų 0,5 mm AL sluoksnio storį).

4. Išvados

1. Didėjant AL sluoksnio storiui žiediniai įtempimai σ_t visuose sluoksniuose eksponentiškai mažėja.

2. Trisluoksnio vamzdžio SDR12 (bendras vamzdžio sienelės toris 8,3 mm), kai $p = 1$ MPa, vidinis ir išorinis sluoksnis, kurie pagaminti iš PE-Xc, nepriklausomai nuo jų storio bus deformuojami tik tampriai, o vidurinis sluoksnis, pagamintas iš aliuminio, pradės tampriai plastiškai deformuotis tik kai jo storis bus mažesnis už 0,5 mm.

Literatūra

1. **Marčiukaitis G., Valivonis J.** Lengvosios sluoksniuotosios statybinės konstrukcijos. – Vilnius: Technika, 2008. – 120 p. ISBN 978-9955-28-124-5.
2. Haka Gerodur. Kunststoffrohre aus PE-Xc. Prieiga per internetą: < http://www.hakagerodur.ch/front_content.php?idcat=54 > [žiūrėta 2013-11-22].
3. HENKO multilayer Pipe. Prieiga per internetą: < http://www.henco.be/web/assets/downloads/Brochures/DO04-0000EN02.pdf > [žiūrėta 2013-11-22].
4. GoodFellow. Polyethylene – High density (HDPE). Prieiga per internetą: < http://www.goodfellow.com/E/Polyethylene-High-density.html > [žiūrėta 2013-11-22].
5. **Vaičiulis D.** Determination of Stress Strain State in Two-Layer Pipe Subjected to Hydrostatic Pressure at Plane Strain Condition under Elastic Loading // Proceedings of the 8th International Conference ITELMS'2013. May 23-24, 2013 Panevėžys, Lithuania. – Kaunas: Technologija, 2013, 262-266 p.
6. The EngineeringToolbox. Standard Dimension Ratio – SDR. Prieiga per internetą: < http://www.engineeringtoolbox.com/sdr-standard-dimension-ratio-d_318.html > [žiūrėta 2013-12-01].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

ATRAMOS GALVAI, SKIRTOS KELIONĖMS TRAUKINIU, KONSTRUKCIJOS TYRIMAS

B. Maskoliūnas, D. Garuckas
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: galvos atramos, atramos konstrukcinių dalių tyrimas, konstrukcinių dalių medžiagos, gniuždymas.

1. Įvadas

Galvos atramos yra gerai žinomi sėdynių atlošai, montuojami transporto priemonėse, individualios poroloninės ar vatinės kaklo pagalvės, pripučiamos kaklo pagalvės (žr. Europinis patentų registras) [1]. Viena iš problemų keliaujant tolimesniais atstumais, kad ne visose transporto priemonėse yra atlošas galvai paremti, o individualios poroloninės, vatines, granulių užpildo ar pripučiamos pagalvėlės eksploatuojant turi trūkumu:

- neturi galimybės reguliuotis;
- nėra tokios kompaktiškos;
- nėra stabilios (remiama galva svyra į šonus);
- neturi tvirtinimo taškų prie stiklo;
- nėra tokios patogios.

Tyrimo objektas: atrama galvai, skirta kelionėms traukiniu.

Tyrimo tikslas: atlikti išradimo atramos galvai, skirtos kelionėms traukiniu, sudedamųjų dalių konstrukcijos tyrimą, rasti optimalią medžiagą ir konstrukciją serijinei gamybai.

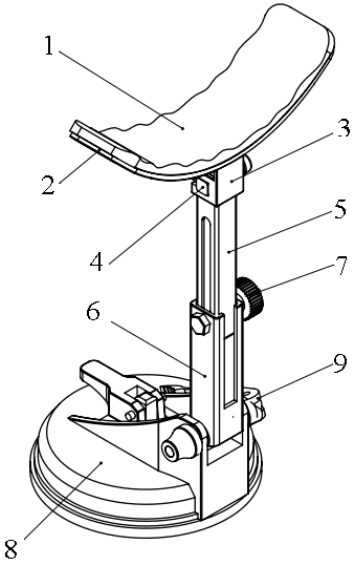
2. Tyrimo objektas

Tyrimo metu tirti 15 mm ir 20 mm skersmens skirtingos metalo klasės, skirtingo profilio ir sienelės storių teleskopiniai vamzdeliai, pagaminti iš konstrukcinio plieno 1020, aliuminio lydinio 1060 ir aliuminio lydinio 1345.

2.1. Atramos galvai sudedamųjų dalių analizė

Atramą galvai sudaro (žr. 1 pav.): odinis paminkštinimas su dvisluoksniu porolonu 1, plastikinis atlošas 2, atlošo pagrindas 3, kaištinis spyruoklinis fiksatoriukas 4, teleskopinis kvadratinio profilio vamzdelis 5,

teleskopinis kvadratinio profilio vamzdelis 6, veržlinis cilindriukas 7, modifikuotas standartinis stiklų laikiklis 8, standartinė tvirtinimo rankenėlė 9.



1 pav. Įrenginio konstrukcija su kvadratinio profilio vamzdeliais

Įrenginio sudedamosios dalys nėra išdirbtos iki optimalaus varianto, netinkami gamybos kaštai, konstrukcijos svoris per didelis. Tyrimo metu ištirtos konstrukcijos sudedamosios dalys pažymėtos 5 ir 6 numeriu.

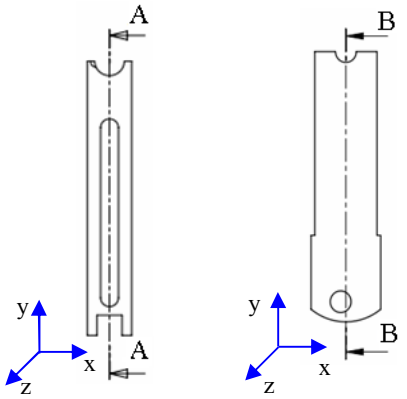
2.2. Teleskopinių vamzdelių atsparumo gniuždymui nustatymas eksperimentiniu būdu

Tiriant įrenginio sudedamųjų dalių atsparumą veikiančioms apkrovoms ir parenkant atsargos koeficientą naudojama – V. Feodosjevo medžiagų atsparumo ir atsargos koeficiento parinkimo metodika [2]. Tyrimo metu leistinieji sudedamųjų dalių įtempimai skaičiuojami pagal leistinųjų įtempimų formulę:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{s_{adm}}; \tag{1}$$

čia: σ_{adm} – leistinieji tiriamos sudedamosios detalės įtempimai; σ_y – tiriamos medžiagos takumo riba; $s_{adm} = 2$ – tiriamos medžiagos leistinasis atsargos koeficientas [2].

Darbe modeliuojami cilindrinio (∅15 mm ir ∅20 mm) bei kvadratinio (□15 mm ir □20 mm) profilio vamzdeliai. Modeliavimas atliktas naudojant SolidWorks, o skaičiavimams – COSMOSWorks. Kai profilio charakteringasis matmuo yra 15 mm, tai įtempimai pateikti išilgai A-A pjūvio, o profiliuose su 20 mm charakteringuoju matmeniu – išilgai B-B pjūvio (žr. 2 pav.).



2 pav. Pjūviai, kuriuose buvo tirtas įtempimų būvis: a – ∅15 mm arba □15 mm vamzdeliuose; b – ∅20 mm arba □20 mm vamzdeliuose

3. Rezultatai

Kaip aukščiau minėtos formos ir matmenų vamzdelių pjūviuose kinta įtempimų intensyvumas priklausomai nuo vamzdelio sienelės storio *s*, pavaizduota 3 ir 4 pav.

3 pav. pateikta koks įtempimų intensyvumas kyla vamzdelyje, kai jo medžiaga aliuminio lydinys 1060 ir 1345, o vamzdelių profilis kvadratinis. Didžiausi įtempimai vamzdelyje kyla kai jo medžiaga yra aliuminio lydinys 1345, o sienelės storis 1 mm, o mažiausi – kai vamzdelio medžiaga aliuminio lydinys 1060, sienelės storis 1 mm.

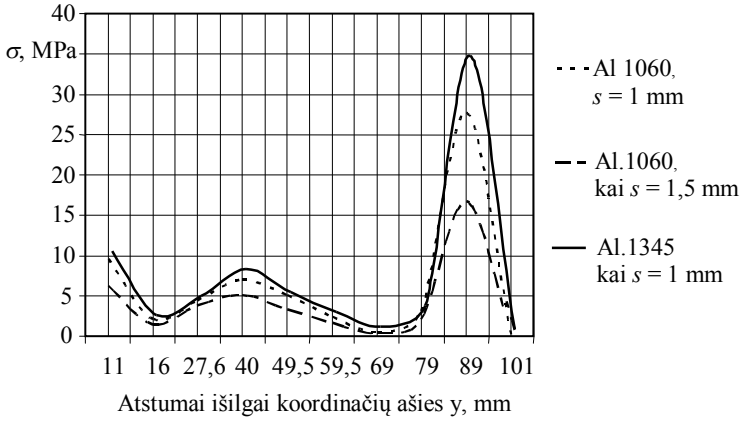
4 pav. didžiausi įtempimai yra detalėje, kurios medžiaga aliuminio lydinys 1060, profilis cilindrinis, o sienelės storis 1 mm.

∅20 mm ir □20 mm vamzdeliuose, išilgai pjūvio B-B (žr. 2 pav.), kylantys įtempimai, esant skirtingoms medžiagoms ir sienelių storiams *s*, pateikti 5 ir 6 pav.

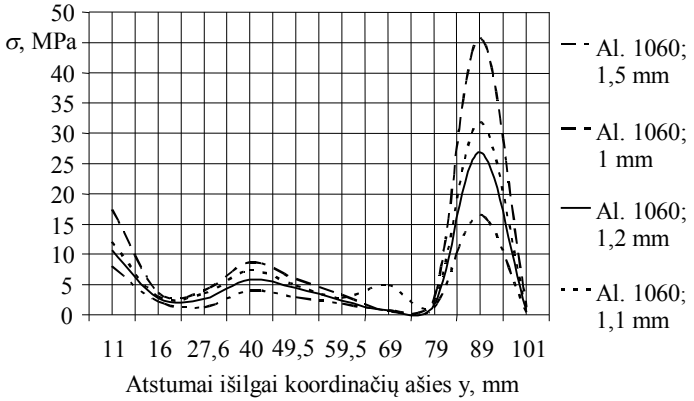
5 pav. pavaizduotas įtempimų intensyvumas vamzdeliuose, kurių medžiaga konstrukcinis plienas 1020, sienelės storis $s = 2$ mm. Didesni įtempimai kyla cilindrinio profilio vamzdelyje.

6 pav. pavaizduoti įtempimai vamzdeliuose, kurių medžiaga aliuminio lydinys 1060, profilis cilindrinis, o sienelės storis 0,8 mm.

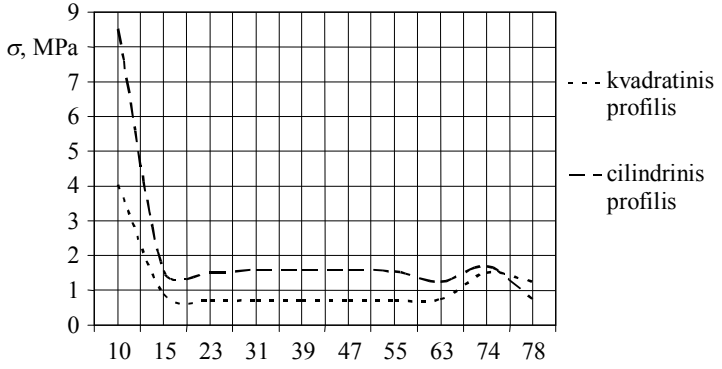
Tyrimo metu buvo apskaičiuoti maksimalūs įtempimai vamzdeliuose, kai naudojamos aliuminio lydinio 1060, konstrukcinio plieno 1020 ir aliuminio lydinio 1345 medžiagos. Tirti cilindrinio profilio, kurio skersmuo 15 mm ir 20 mm, bei kvadratinio profilio (□15 mm ir □20 mm) vamzdeliai, kurių sienelės storiai *s* tyrimo metu naudojami skirtingi.



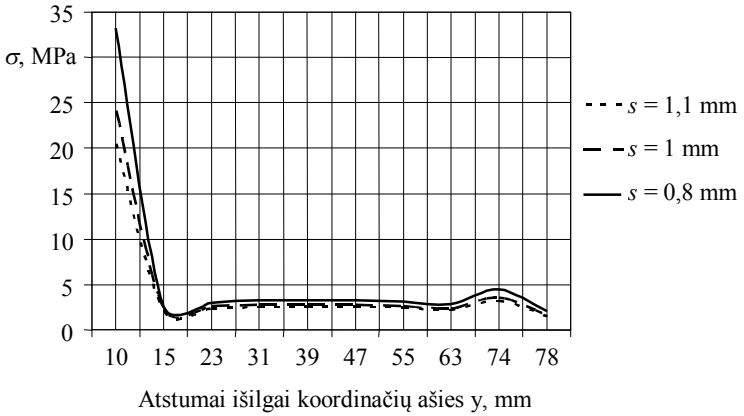
3 pav. Kylantis įtempimų intensyvumas (2 pav. A-A pjūvis) kintant medžiagai ir sienelės storiui *s*, kvadratiniame □15 mm vamzdelyje



4 pav. Kylantis įtempimų intensyvumas (2 pav. A-A pjūvis) kintant sienelės storiui *s*, 15 mm skersmens cilindrinio profilio vamzdelyje



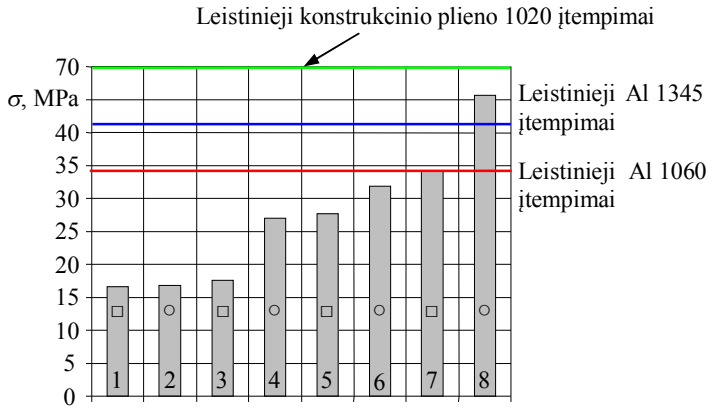
5 pav. Vamzdeliuose ∅20 mm ir □20 mm kylantis įtempimų intensyvumas (2 pav. B-B pjūvis), kai medžiaga – konstrukcinis plienas, vamzdelių sienelės storis vienodas s = 2 mm



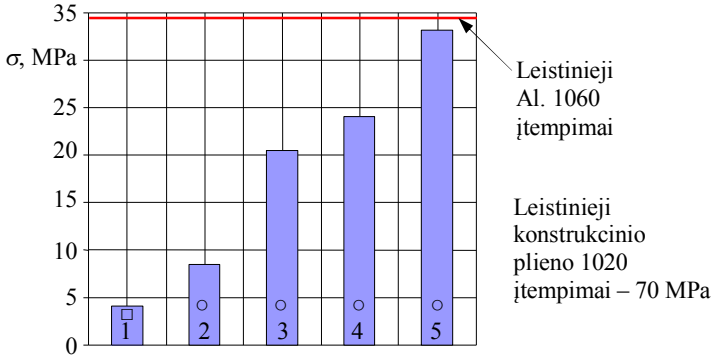
6 pav. Cilindrinio profilio vamzdelyje ∅20 mm įtempimų intensyvumo priklausomybė (2 pav. B-B pjūvis) nuo sienelių storio s, kai medžiaga – aliuminio lydinys 1060

7 pav. pavaizduoti maksimalūs įtempimai veikiantys cilindrinio (∅15 mm) bei kvadratinio (□15 mm) profilio vamzdeliuose, kai naudojama skirtinga medžiaga ir skirtingas sienelės storis s.

8 pav. pavaizduoti maksimalūs įtempimai veikiantys cilindrinio (∅20 mm) bei kvadratinio (□20 mm) profilio vamzdeliuose, kai naudojama skirtinga medžiaga ir skirtingas sienelės storis s.



7 pav. Maksimalūs įtempimai skirtingų profilių, sienelės storių ir medžiagų vamzdeliuose, kurių ∅15 mm arba □15 mm: 1 – Al 1060, s = 1,5 mm, masė 12,23 g; 2 – Al 1060, s = 1,5 mm, masė 16,79 g; 3 – konstrukcinis plienas 1020, s = 1,5 mm, masė 49,12 g; 4 – Al 1060, s = 1,2 mm, masė 10,09 g; 5 – Al 1060, s = 1 mm, masė 11,62 g; 6 – Al 1060, s = 1,1 mm, masė 9,33 g; 7 – Al 1345, s = 1 mm, masė 11,62 g; 8 – Al 1060, s = 1 mm, masė 8,57 g; □ – kvadratinis profilis; ○ – skritulio formos profilis



8 pav. Maksimalūs įtempimai skirtingų profilių, sienelės storių ir medžiagų vamzdeliuose, kurių ∅20 mm arba □20 mm: 1 – konstrukcinis plienas 1020, s = 2 mm, masė – 67,38 g; 2 – konstrukcinis plienas 1020, s = 2 mm, masė – 49,22 g; 3 – Al. 1060, s = 1,1 mm, masė – 9,86 g; 4 – Al. 1060, s = 1 mm, masė – 9,02 g; 5 – Al. 1060, s = 0,8 mm, masė – 7,32 g; □ – kvadratinis profilis; ○ – skritulio formos profilis

4. Išvados

1. Kai vamzdelio skerspjūvio charakteringasis matmuo yra 15 mm, tai racionaliausia naudoti aliuminio lydinio 1060 cilindrinį vamzdelį, kurio sienelės storis 1,1 mm. Šiuo atveju takumo ribos ir maksimalių vamzdelyje veikiančių įtempimų santykis yra $2{,}16 > s_{adm}$ ($s_{adm} = 2$). Toks vamzdelis sveria 9,33 g.
2. Kai vamzdelio skerspjūvio charakteringasis matmuo yra 20 mm, taip pat racionaliausia naudoti aliuminio lydinio 1060 cilindrinį vamzdelį, kurio sienelės storis 0,8 mm. Šiuo atveju takumo ribos ir maksimalių vamzdelyje veikiančių įtempimų santykis yra $2{,}07 > s_{adm}$, o vamzdelio masė 7,32 g.

Literatūra

1. Europinis patentų registras. Prieiga per internetą: < https://register.epo.org/smartSearch?searchMode=smart&query=headrest > [žiūrėta 2013-11-09].
2. **Feodosjevas V.** Medžiagų atsparumas. – Vilnius: Mokslas, 1977. – 524 p.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

DVIRAČIŲ RĖMŲ STIPRUMO IR STANDUMO TYRIMAS JŲ CHARAKTERISTIKŲ PRIKLAUSOMYBĖ NUO RĖMO TIPO

R. Rudokas, D. Garuckas
Kauno technologijų universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: dviračio rėmas, deformacijos, įtempimai, poslinkiai.

1. Įvadas

Sparčiai dieginat naujoves technikos ir pramonės srityse, žmogus vis ieško efektyvesnio ir ekonomiškenio būdo išspręsti jam iškilusias problemas. Žinoma, jog norint pagaminti dviratį kuo tvirtesnį ir pigesnį, reikia parinkti optimalias dviračio medžiagas, konstrukciją ir gamybos procesą. Tačiau mažinant gamybos kaštus, neretai mažėja ir gaminio stiprumo savybės. Uždara akcinė bendrovė "Dviramega" importuoja ir prekiauja pigiausios gamos dviračiais iš Kinijos. Neretai šių dviračių kokybe abejojama, todėl buvo nuspręsta išsiaiškinti trijų tipų dviračių rėmų stiprumą.

Darbo tikslas: ištirti skirtingų dviračių stiprumą ir standumą naudojant skaitinius inžinerijos metodus.

2. Darbo uždaviniai

Atlikti skaičiavimus kompiuterine programa „Solidworks". Pateikti ekvivalentinių įtempimų, poslinkių ir deformacijų grafikus.

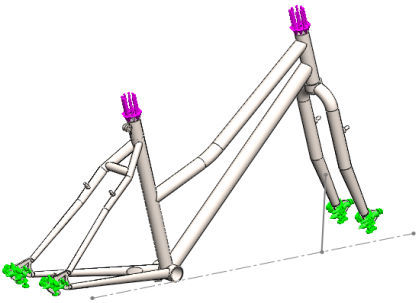
3. Tiriamasis objektas

Nagrinėti trys rėmai yra pagaminti toje pačioje gamykloje, atitinka vienodą dydį, pagaminti iš tokios pat medžiagos, mazgų detalės yra visiškai tokios pat. Skiriasi tik rėmo forma. Pasirinkti pagrindiniai dviračių rėmų tipai: moteriško klasikinio, Y tipo ir vyriško klasikinio.

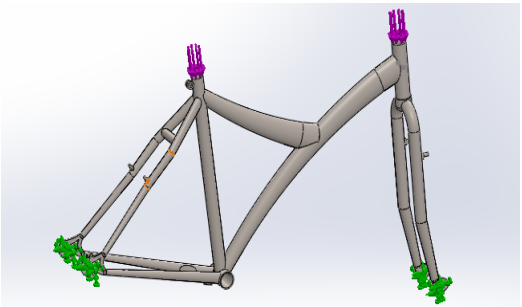
4. Darbas kompiuterine trimačio vaizdo programa "Solidworks"

Toliau darbą atliekame su kompiuterine trimačių kūnų modeliavimo programa "Solidworks". Braižome trimačius dviračio rėmus ir skaičiuojame

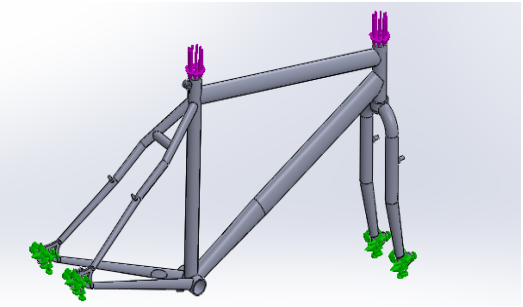
ekvivalentinius įtempimus, poslinkius ir deformacijas [1, 2]. Dviračių dydžiai skirti suaugusiems žmonėms, todėl dviratininko masė pasirenkama nuo 50 iki 150 kg. Apkrovos buvo paskirstytos taip: 25 % kūno masės teko priekiui, o sėdynės srityje likę 75 % žmogaus kūno masės. Tvirtinimo vietos ir jėgos parodytos 1, 2 ir 3 paveiksluose.



1 pav. Moteriško dviračio formos rėmas



2 pav. Y tipo rėmas

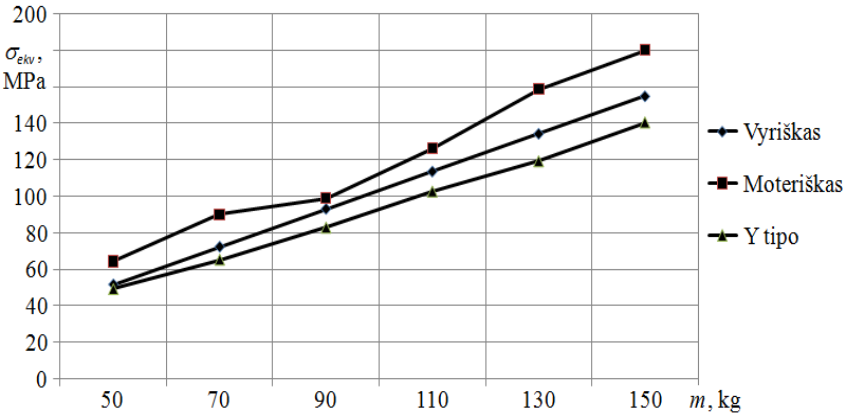


3 pav. Vyriško dviračio formos rėmas

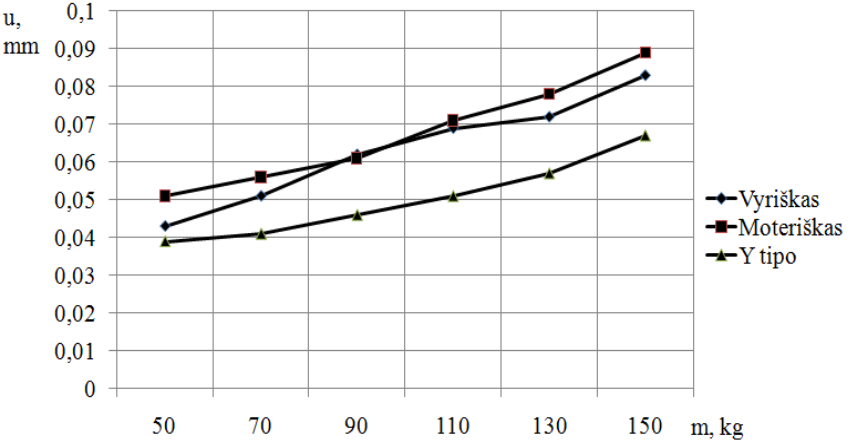
4 pav. pateikta, kaip nuo apkrovos dydžio priklauso didžiausi ekvivalentiniai įtempimai rėme.

Kaip nuo apkrovos dydžio kinta didžiausi rėmo poslinkiai pateikta 5 pav.

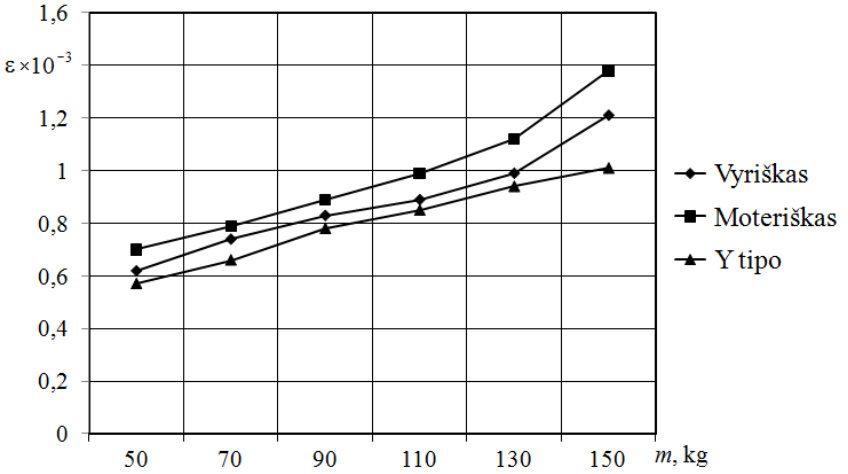
Kaip nuo apkrovos dydžio priklauso didžiausios rėmo deformacijos, pateikta 6 pav.



4 pav. Didžiausių ekvivalentinių įtempimų σ_{ekv}, kylančių dviračio rėmuose, priklausomybė nu*o* dviratininko masės



5 pav. Deformuoto rėmo didžiausių poslinkių *u* priklausomybė nuo dviratininko masės



6 pav. Didžiausių deformacijų ε, kylančių dviračio rėmuose, priklausomybė nuo dviratininko masės

5. Išvados

1. Atlikus skaičiavimus gauta, kad moteriško tipo dviračio rėmas yra silpniausios konstrukcijos, kadangi tiek ekvivalentiniai įtempimai, tiek poslinkiai ir deformacijos šio rėmo yra didžiausi.
2. Tvirčiausias rėmas yra „Y“ tipo dviračio rėmas, nes šiame rėme ekvivalentiniai įtempimai, poslinkiai ir deformacijos buvo mažiausi, kai veikia tokio pat dydžio apkrova.

Literatūra

1. **Matt Lombard.** SolidWorks 2011 Bible. – New York: John Wiley & Sons Inc, 2011. 68-132 p. ISBN 13: 9781118002766.
2. Setting-Up & Running a SolidWorks Simulation Study. Prieiga per internetą: < http://www.youtube.com/watch?v=LOa3MXH9P4c > [žiūrėta 2013-10-21].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

ĮVAIRIŲ PROFILIŲ METALINĖS KONSTRUKCIJOS TYRIMO METODIKA

G. Strelčiūnas, J. Bareišis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: metalinės konstrukcijos, profiliai, sijos, atsparumas, apkrova.

1. Įvadas

Medžiagos ir konstrukcijos, laikančios pastato stuomenį, parenkamos remiantis techniniais, ekonominiais bei architektūriniais reikalavimais. Šiuo metu svarbiausiomis konstrukcinėmis medžiagomis išlieka techninės statybinės medžiagos: betonas (gelžbetonis), metalas, medis, keramikos dirbiniai [1]. Metalas ir jo konstrukcijos plačiausiai naudojamos lengvų ir didelių angų konstrukcijų gamybai. Šiuo požiūriu jis lenkia konstrukcijas iš gelžbetonio. Metalas naudojamas pastatų denginių konstrukcijoms, kolonoms, sienų karkasams.

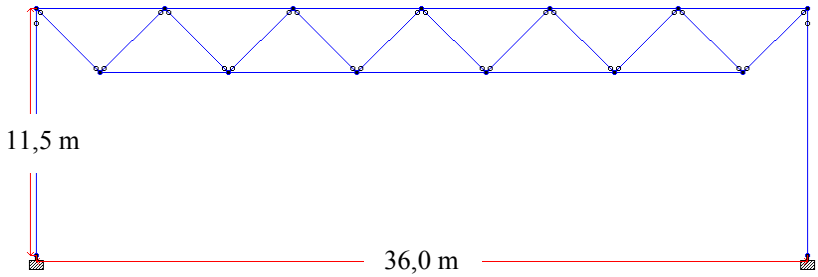
Darbo tikslas: pateikti kelių tipų metalinių konstrukcijų, sudarytų iš įvairių profilių, atsparumo kintamoms ir nuolatinėms apkrovoms, tyrimo metodiką.

2. Tyrimo objektas – metalinė konstrukcija

Tyrimo objektas: metalinė konstrukcija angaras (1 pav.), kurių panaudojimo sritis yra labai plati. Mobilūs metalinių rėmų angarai konstruojami įvairių paskirčių nuolatiniam bei laikinam sandėliavimui, birių ir kitokių krovinių saugojimui. Angarai tinka gamybos patalpoms, ūkinei-komercinei veiklai, sporto kompleksams, teniso kortams, ledo arenoms, parodoms, ekspozicijoms ir įvairiems pramoginiams renginiams. Oro uostuose angarai statomi lėktuvams bei malūnsparniams.

Šiame darbe pateikiama metalinės konstrukcijos (angaro) atsparumas kintamoms ir laikinosioms apkrovoms skaičiavimo metodika. Analizei ir skaičiavimams pasirinktas angaras, kurio aukštis yra 11,5 m, plotis – 36,0 m.

1 lentelėje pateikti angarų tipai, kuriems bus skaičiuojamos nuolatinės ir laikinosios apkrovos. Buvo pasirinkti trys angarų tipai su skirtingais profiliais – angaras iš stačiakampių vamzdžių, dvitėjinių sijų arba kampuočių.



1 pav. Metalinė konstrukcija – angaras

1 lentelė

Metalinės konstrukcijos – angaro konstrukcinių sprendimų variantai

Angaro tipas	Kolonos	Viršutinė juosta	Apatinė juosta	Santvara
Angaras iš stačiakampių vamzdžių	Stačiakampis vamzdis 200×200×10	Stačiakampis vamzdis 180×180×10	Stačiakampis vamzdis 140×140×6	Stačiakampiai vamzdžiai 80×80×5, 120×120×5, 60×60×4
Angaras iš dvitėjinių sijų	Sija HEA 300	Sija HEA 240	Sija HEA 160	Sijos HEA 120, HEA 160, HEA 100
Angaras iš kampuočių	Kampuotis 250×250×35	Kampuotis 250×250×35	Kampuotis 150×15015	Kampuočiai 100×100×8, 90×90×6, 50×50×4

3. Apkrovų tipai ir jų dydžiai

Pagal poveikio konstrukcijai laiką apkrovos yra skirstomos į nuolatines, kintamąsias ir laikinąsias. Nuolatine vadinama tokia apkrova, kuri visą laiką veikia konstrukciją (pvz., savasis konstrukcijos svoris). Kintamąja vadinama apkrova, kurios didumas, kryptis arba pridėties taško koordinatės kinta ir ne vieną kartą pasikartoja tomis pačiomis ar kitokiomis kombinacijomis (pvz., transporto priemonių veikimas į tilto konstrukcinius elementus). Laikinąja vadinama apkrova, kuri laikinai, ne visą laiką veikia konstrukciją (pvz., vėjo, sniego slėgis) [3].

2 lentelėje pateikiamos nuolatinės stogo charakteringosios ir skaičiuotinos apkrovos, kurios nustatytos taikant apkrovos dalinį patikimumo koeficientą, kurio vertė – 1,35 [4]. Šioje lentelėje pateiktos hidroizoliacijos,

šiluminės izoliacijos ir plieninio profiliuoto lakšto vertės naudotos remiantis atitinkamų įmonių šaltiniais, t.y. „Isover“ – kompanija, kurios veiklos sritis yra stiklo ir akmens vatos gamyba, „Ruukki“ – plieno gaminiai ir metalo konstrukcijos, bei „Mida LT“ – ritininių stogo dangų lyderė.

Nuolatinė charakteringoji apkrova į santvaros tiesinį metrą nuo stogo svorio [4]:

$$p_k = Q_k \; B = 1{,}07 \cdot 5{,}0 = 5{,}35 \text{ kN/m}; \quad (1)$$

čia: Q_k – sienos konstrukcijos charakteringoji apkrova; B – atstumas tarp pastato rėmų.

Nuolatinė charakteringoji apkrova tenkanti kolonos tiesiniam metrui nuo sienos svorio:

$$p_k = Q_k \; B = 0{,}54 \cdot 5{,}0 = 2{,}7 \text{ kN/m}. \quad (2)$$

2 lentelė

Nuolatinės stogo apkrovos

Pavadinimas	Charakteringoji apkrova, kN/m²	Apkrovos dalinis patikimumo koeficientas	Skaičiuotina apkrova, kN/m²
Hidroizoliacija virš. sl, t = 4mm; 5 kg/m²	0,05	1,35	0,0675
Hidroizoliacija apat. sl., t = 4mm; 5 kg/m²	0,05	1,35	0,0675
Šiluminė izoliacija Isover, t = 100 mm; 200 kg/m³	0,2	1,35	0,27
Šiluminė izoliacija Isover, t = 650 mm; 100 kg/m³	0,65	1,35	0,878
Plieninis profiliuotas lakštas 12 kg/m²	0,12	1,35	0,162
VISO	**1,07**		**1,44**

3 lentelė

Nuolatinės sienos apkrovos

Pavadinimas	Charakteringoji apkrova, kN/m²	Apkrovos dalinis patikimumo koeficientas	Skaičiuotina apkrova, kN/m²
Plieninis profiliuotas lakštas 5,5 kg/m²	0,055	1,35	0,074
Šiluminė izoliacija Isover, t = 100 mm, 200 kg/m³	0,2	1,35	0,27
Šiluminė izoliacija Isover, t = 450 mm, 40 kg/m³	0,18	1,35	0,243
Ilginiai 5 kg/m²	0,05	1,35	0,0675
Plieninis profiliuotas lakštas 5,5 kg/m²	0,055	1,35	0,074
VISO	**0,54**		**0,729**

3.1. Laikinosios apkrovos

Sniego apkrovos charakteringoji reikšmė nustatoma pagal formulę [4]:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 = 0{,}96\ \text{kN/m}^2; \quad (3)$$

čia: μ_1 – stogo sniego apkrovos formos koeficientas; C_e – atodangos koeficientas, kurio reikšmė paprastai imama 1,0; C_t – terminis koeficientas, priklausantis nuo energijos nuostolių pro stogą ar kitos terminės įtakos, tai $C_t = 1{,}0$; $s_k = 1{,}2$ kN/m^2 – nominalioji sniego apkrova.

Sniego apkrovos dalinis koeficientas $\gamma_q = 1{,}3$ [4].

Laikinoji charakteringoji apkrova į santvaros tiesinį metrą:

$$p_k = s_k \cdot B = 0{,}96 \cdot 5{,}0 = 4{,}8\ \text{kN/m}. \quad (4)$$

4 lentelėje yra pateikti tam tikri vėjo koeficientų apskaičiavimai, nuo kurių priklauso šiame darbe nagrinėjama vėjo apkrova.

4 lentelė

Vėjo apkrova [4]

Pavadinimai	Skaičiavimai
Pagrindinis vėjo greitis	$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,O} = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 24 = 24$ m/s čia: c_{dir} – vėjo krypties koeficieintas, c_{season} – metų laikų koeficientas, $v_{b,O}$ – vėjo greitis
Vidutinis vėjo greitis atitinkamame aukštyje	$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot v_b = 0{,}538 \cdot 1{,}0 \cdot 24 = 12{,}9$ m/s čia: $c_{r(z)}$ – šiurkštumo koeficientas, $c_{0(z)}$ – kalnuotumo koeficientas
Viršūninio greičio slėgis	$q_{pz} = c_{ez} \cdot q_b = 1{,}3 \cdot 0{,}36 = 0{,}468$ kPa čia: c_{ez} – ekspozicijos koeficientas, q_b – ataskaitinis vėjo slėgis
Vėjo slėgio į paviršių charakteringoji reikšmė	$w_{e1} = q_{pz} \cdot c_{pe10} = 0{,}468 \cdot 0{,}8 = 0{,}374$ kPa; čia: $c_{pe10} = 0{,}8$ - vėjo slėgio koeficientas; $w_{e2} = q_{pz} \cdot c_{pe1} = 0{,}468 \cdot (-0{,}5) = -0{,}234$ kPa
Vėjo spaudimo skaičiuotinoji apkrova į tiesinį metrą	$w_{me,1} = w_{e1} \cdot B = 0{,}374 \cdot 5{,}0 = 1{,}87$ kN/m
Vėjo siurbimo skaičiuotinoji apkrova į tiesinį metrą	$w_{me,2} = w_{e2} \cdot B = -0{,}234 \cdot 5{,}0 = -1{,}17$ kN/m

Apkrovų deriniai. Apkrovų derinys išreiškiamas taip [4]:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j}"+"\gamma_{Q,1}\cdot Q_{k,1}"+"\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,1}\cdot Q_{k,i}\,; \tag{5}$$

čia: „+“ reiškia „derinamas su“; Σ – reiškia „derintinis efektas iš“; $\gamma_{Q,1}\cdot Q_{k,1}$ – vyraujantysis kintamasis poveikis; $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,1}\cdot Q_{k,i}$ – kartu veikiantys kintamieji poveikiai; $\psi_0 = 0$ – charakteringųjų ribinių būvių derinių koeficientą.

4. STAAD.Pro programinis paketas

STAAD.Pro – statybinių konstrukcijų skaičiavimo ir projektavimo sistema yra vienas iš populiaresnių programinių produktų, statybinių konstrukcijų kompiuterinio projektavimo srityje [2].

STAAD.Pro turi lengvai valdomą modeliavimo aplinką. Duomenų įvedimas, skaičiuojamosios schemos modeliavimas, aprašymas ir redagavimas atliekami meniu ir dialogo režime. Pavyzdžiai ir vaizdinės medžiagos padeda išmokti valdyti programą. Sistema pateikia pranešimus apie skaičiavimo rezultatus tekstinių lentelių, grafinių ir skaitinių duomenų masyvų pavidalu apie visą sistemą ir apie kiekvieną jos elementą. OpenSTAAD galimybės leidžia užtikrinti integracija su standartinėmis (Excel, Visio) ir vartotojo aplikacijomis, sukurtomis Visual Basic, Java, C, C++, Fortran programavimo kalbomis.

STAAD.Pro turi abipusį ryšį su Bentley Structural serverinio modeliavimo sistema. Kartu su fiziniu modeliu Bentley Structural sukuria ir analitinį objekto modelį su išsamia informaciją apie baigtinių elementų tipus, kraštines sąlygas, apkrovas bei jų derinius. Visa ši informacija perduodama STAAD.Pro, kur atliekamas skaičiavimas, projektavimas ir rezultatų analizė. Visi pakeitimai, kurie atsirado skaičiavimo ir analizės metu grįžta į Bentley Structural. Šis ryšys leidžia optimizuoti projektavimo procesą.

STAAD.Pro privalumai:

- didelės skaičiavimo galimybės;
- paprastai valdoma modeliavimo aplinka;
- STAAD.Pro turi savo papildomą modulį Advanced modeler, kuris yra specialiai sukurtas tam, kad skaičiavimo rezultatai būtų tikslesni, o pats skaičiavimo procesas pagreitintas;
- patikima plieninių konstrukcijų analizė;
- išsamūs rezultatai.

5. Išvados

1. Pateikti nagrinėjamo objekto – metalinės konstrukcijos (angaro) geometriniai parametrai, kai jis projektuojamas, panaudojant trijų skirtingų profilių metalines konstrukcijas.
2. Charakterizuotos angarą veikiančios apkrovos ir jų skaičiavimo išraiškos.

Literatūra

1. **Marčiukaitis G.** Pastatai ir konstrukcijos. Mokomoji knyga. – Vilnius: Technika, 2004. – 134 p. ISBN 9986-05-763-9.
2. **Jurkša A., Popovas V.** Statybos konstrukcijų skaičiavimo programa STAAD.Pro: programos apžvalga, komandos, skaičiavimo pavyzdžiai. Mokomoji knyga. – Vilnius: Technika, 2002. – 325 p. ISBN 998605494X.
3. Medžiagų mechanikos objektas. Konspektai. Prieiga per internetą: < http://www.techmat.vgtu.lt/konspektai/Skaic_mech/Inziner_met/Teorija/AGG_P2.pdf > [žiūrėta 2013-11-10].
4. LR seimas. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“. Prieiga per internetą: < http://www3.lrs.lt/pls/inter2/dokpaieska.showdoc_l?p_id=213447 > [žiūrėta 2013-11-10].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

3D SPAUSDINTUVAS

T. Dasevičius, D. Viržonis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: 3D spausdintuvas, temperatūros valdymas, duomenų surinkimas.

1. Įvadas

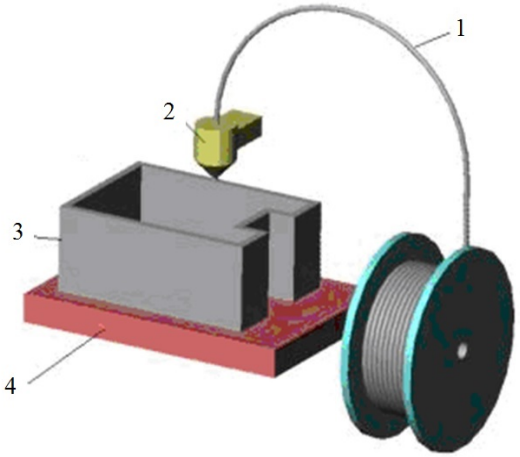
Pasirodžius pirmiesiems trimačiams spausdintuvams jais buvo labai susidomėta. Ši technologija sparčiai tobulėjo, kadangi jais įmanoma greitai pagaminti vienetinę detalę, panaudojant tam objekto trimatį kompiuterinį modelį.

Trimatis spausdinimas labai reikalingas kuriant įvairių daiktų bei detalių prototipus, konstruojant nestandartinius mechanizmus. Pavyzdžiui kaip, mobiliųjų robotų konstravime yra labai aktualus, kadangi tokie robotai eksperimentiniai. Robotai gaminami vienetais ir neapsimoka jiems daryti metalinių ar plastmasinių detalių įprasta metalo pjovimo ar štampavimo technologija.

Plačiausiai paplitęs 3D spausdintuvo veikimo principas – detalės liejimas iš išlydyto plastikinio siūlo. Plastikas paduodamas į kaitinamą ekstruzinę galvutę, kurioje yra mažo skersmens skylutė ir iš jos išstumiamas išlydytas plastikas (1 pav.). Bet kokia detalė yra liejama ją auginant plonais išlydyto plastiko sluoksniais.

Plastmasės siūlą liejančio trimačio 3D spausdintuvo trūkumas yra išlietų detalių šiurkštus paviršius. Taip yra dėlto, kad sunku pakankamai tiksliai kontroliuoti plastiko temperatūrą. Todėl pagrindinis šio darbo tikslas yra ištirti plastiko temperatūros valdymo galimybes.

Trimačio 3D spausdintuvo galvutės temperatūra priklauso nuo plastiko, sudarančio siūlą ir norimo liejimo greičio. Skirtingi plastikai lydosi skirtingoje temperatūroje ir pasižymi skirtingomis plastinėmis savybėmis. PLA tipo plastikas pradeda lydytis ir jo ekstruzijos temperatūra yra apytiksliai nuo 180 °C. ABS tipo plastikas lydosi prie aukštesnės temperatūros ir jos darbinė ekstruzijos temperatūra yra apie 215 °C. Norint naudoti didesnius liejimo greičius, reikalingos aukštesnės ekstruzijos temperatūros. Kuo greičiau plastikas stumiamas per galvutę, tuo aukštesnė turi būti išstūmimo temperatūra, bet neturi viršyti gamintojo reikalavimų. Vadovaujantis gamintojo reikalavimais, dažniausiai naudojama temperatūra yra 220 °C ABS



1 pav. 3D spausdintuvo iliustruojantis eskizas: 1 – medžiaga; 2 – įkaitinta galvutė (x-y-judesiai); 3 – modelis; 4 – platforma (z-judesys)

ir PLA plastikui [1]. Prie tokios temperatūros lydyto plastiko išstūmimo iš galvutės greitis yra 40 mm/s, o esant 230 °C temperatūrai, ekstruzijos greitis apytiksliai yra 100 mm/s. Minėta temperatūra yra optimizuota naudojimui su abiem plastiko rūšimis, bet PLA plastiką galima lieti ir žemesnėje temperatūroje. Taip pat didelę įtaka temperatūroms ir greičiams turi ekstruzinėje galvutėje esančios skylutės skersmuo. Skylutės skersmuo gali būti nuo 0,2 iki 1,0 mm. Norint tiksliai suvaldyti temperatūrą lydymo kameroje, reikalingos žinios apie temperatūros jutiklio bei lydymo kameros temperatūrines dinamines savybes.

Lydomo plastiko temperatūra priklauso nuo to kaip temperatūros jutiklis perduoda informaciją apie kameros temperatūrą ir kaip lydymo kamera reaguoja į valdomus kaitintuvo srovės pokyčius. Kuo mažesnės dinaminės šių elementų perduodamų signalų paklaidos, tuo yra daugiau galimybių didinti plastiko temperatūros valdymo tikslumą.

Spausdintuvo galvutės temperatūros matavimo ir valdymo blokinė schema pateikta (2 pav.). Tyrimų patogumui įterptinis kompiuteris turi prijungtą dviejų eilučių skystų kristalų displėjų (LCD).

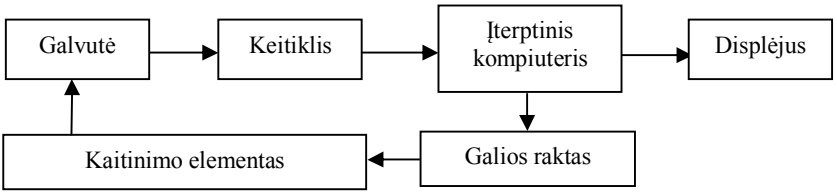
Temperatūrai valdyti panaudotas Arduino valdiklis, LCD 16×2 displėjus, specializuotas valdiklis MAX6675, raktas valdyti kaitinimo elementą ir temperatūros jutiklis. Taip pat buvo panaudota programa „Repetier-Host“ [2]. Tai atviro kodo programa, kuri yra skirta valdyti 3D spausdintuvą. Programos PID funkcija gali būti panaudota detalės liejimo greičio, temperatūros, srauto, ir kitų proceso kintamųjų reguliavimui. PID

funkcija skaito termoporos signalą ir perskaičiuoja įėjimo duomenis į Celsijaus laipsnius bei apskaičiuoja reikiamą valdymo poveikį.

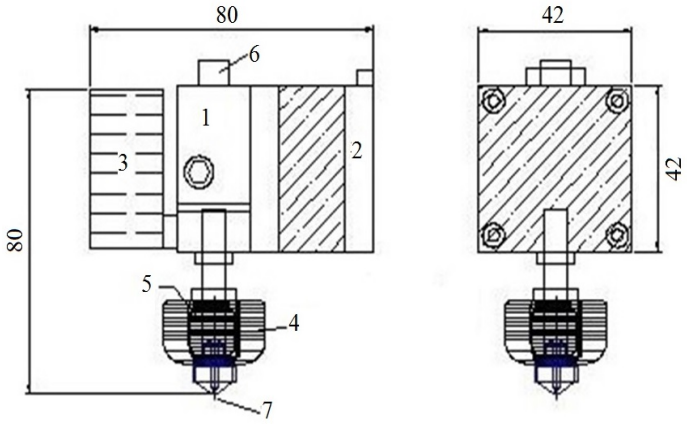
2. Darbe naudota ir ištirta įranga

Temperatūros šuolio eksperimentui atlikti buvo parašyta Arduino programa, skirta galvutės temperatūrai nuskaityti ir valdyti. Programa naudoja standartines Arduino bibliotekos PID reguliatoriaus funkcijas [3]. Šios funkcijos parametrai buvo parinkti klaidų ir bandymų būdu. Pagrindinėje programoje taip pat panaudota LCD ekrano valdymo biblioteka [4].

Specializuotas valdiklis MAX6675 yra skirtas termoporos parodymų skaitmeninimui. Duomenys yra išvedami 12 bitų nuosekliu formatu (*Serial Periferial Interface* – SPI). Valdiklis temperatūrą skaitmenizuoja 0,25 °C tikslumu.



2 pav. Temperatūros matavimo ir valdymo blokinė schema

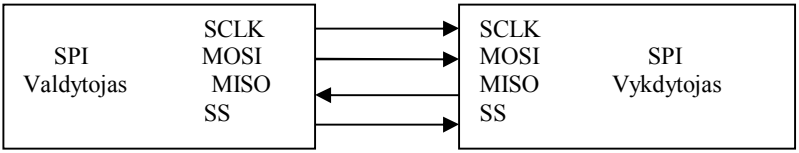


3 pav. 3D spausdinimo galvutė: 1 – korpusas; 2 – žingsninis variklius 42H46 12V; 3 – ventiliatorius 12V; 4 – termopora PT100 K-tipas; 5 – kaitinimo elementas; 6 – medžiagos padavimas; 7 – lydytos medžiagos išstūmimas

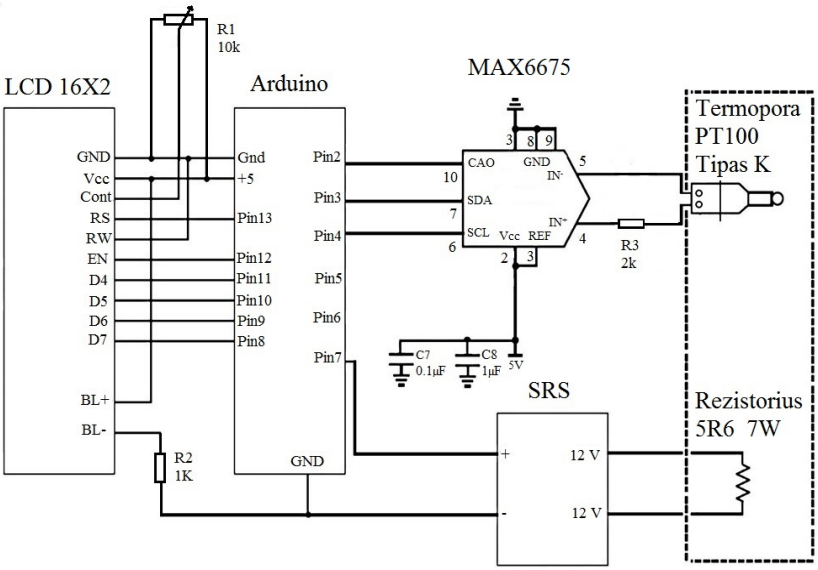
SPI jungtis yra sinchroninė nuosekli duomenų perdavimo linija, veikianti tarp dviejų mazgų (4 pav.).

Darbe buvo naudota K-tipo termopora PT100, kuri yra įmontuota į spausdintuvo galvutę. K tipo termoporos sudėtis yra 90 % nikelis ir 10 % chromas, jautrumas maždaug 41 μV/°. Darbinis temperatūros ruožas nuo –200 °C iki +1100 °C.

Spausdintuvo galvutei kaitinti naudojamas 5,6 Ω ir 7 W rezistyvinis kaitintuvas. Jis įmontuotas į galvutės korpusą (3pav.). Jo maksimali darbinė temperatūra 350 °C. Rezistoriaus srovę komutuoja raktas, valdomas įterptiniu kompiuteriu. Principinė duomenų nuskaitymo ir temperatūros valdymo schema parodyta 5 pav.



4 pav. SPI sąsajos schema

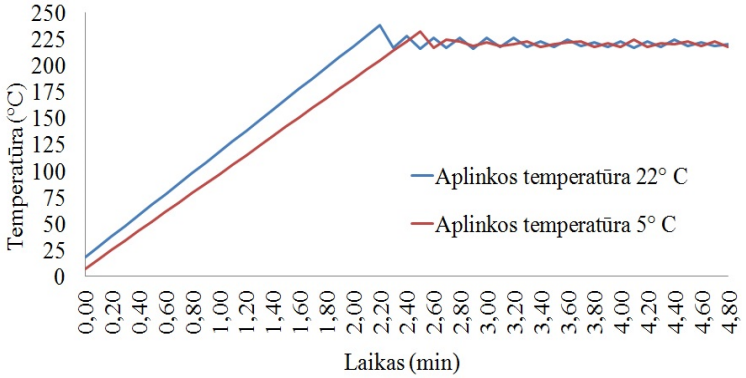


5 pav. Galvutės temperatūros valdymo principinė schema: R1 – reguliuoti displejaus kontrasta; R2 – displejaus pašvietimui; SSR – kaitintuvo srovę komutuojantis raktas

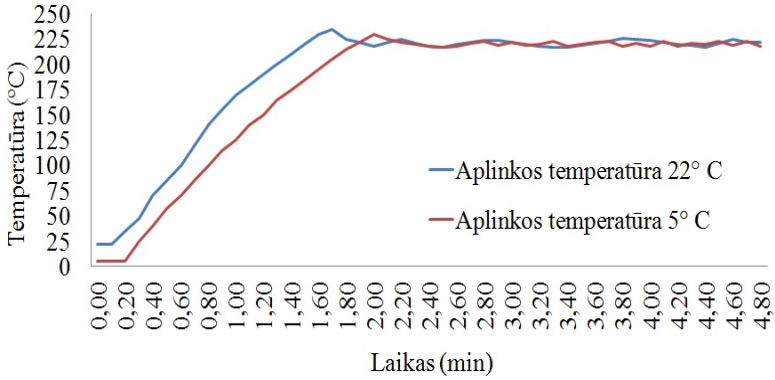
3. Tyrimo eiga ir rezultatai

Prieš atliekant temperatūrinio šuolio tyrimą galvutė atšaldyta iki aplinkos temperatūros. Temperatūrinio šuolio eksperimentas buvo atliekamas dviejų skirtingų temperatūrų: 22 °C ir 5 °C aplinkoje. Tyrimo metu galvutė buvo kaitinama iki 220 °C. Galvutės temperatūra buvo matuojama kas 10 s. Eksperimento rezultatai buvo išvedamį į Arduino monitorių.

Temperatūros šuolio laiko diagramos, kai įkaitimą valdo Arduino reguliatorius, pateiktos (6 pav.). Skirtingos kreivės atitinka skirtingą aplinkos temperatūrą.



6 pav. Galvutės temperatūros kitimo kreivės temperatūros šuolio eksperimento metu, esant skirtingai aplinkos temperatūrai



7 pav. Galvutės temperatūros kitimo kreivės temperatūros šuolio eksperimento metu, esant skirtingai aplinkos temperatūrai

Siekiant palyginti duomenų surinkimo ir proceso valdymo kokybę buvo atliktas analogiškas eksperimentas su programa „Repetier-Host“, veikiančia personaliniame kompiuteryje ir naudojančia komercinę 3D spausdintuvo galvutės temperatūros matavimo ir valdymo sąsają. Galvutė taip pat buvo kaitinama dviejose skirtingose aplinkos temperatūrose pateiktos (7 pav.).

Lyginant abiejų eksperimentų rezultatus matyti, kad įterptinio kompiuterio valdoma galvutė užduotą temperatūrą pasiekia po 2,4 min, kai aplinkos temperatūra 22 °C ir per 2,6 min, kai – 5 °C, o personalinio kompiuterio – atitinkamai per 1,4 min ir 2,2 min. Galvutę valdant įterptiniu kompiuteriu, temperatūra perreguliuojama 8 °C kai aplinkos temperatūra 22 °C ir 5 °C kai aplinkos temperatūra 5 °C. Valdant personaliniu kompiuteriu perreguliavimas buvo atitinkamai 5 °C ir 3 °C.

4. Išvados

1. Temperatūros šuolio eksperimentas parodė, kad galvutės valdymas įterptiniu kompiuteriu turi blogesnius parametrus, nei valdymas personaliniu kompiuteriu: 70 % ilgesnis temperatūros nusistovėjimo laikas dirbant 22 °C aplinkoje ir 18 % didesnis – dirbant 5 °C aplinkoje. Taip pat įterptinio kompiuterio valdymo atveju yra didesnis temperatūros perreguliavimas. Prastesni valdymo parametrai sietini su per žemu pasirinktu diskretizacijos dažniu ir nepakamai optimizuotu reguliatoriumi.
2. Temperatūros perreguliavimą įtakoja aplinkos temperatūra: valdant įterptiniu kompiuteriu 5 °C aplinkoje perreguliavimo dydis yra 5 °C, o 22 °C aplinkoje perreguliavimas siekia 8 °C. Tai gali būti paaiškinta tuo, kad žemesnėje aplinkos temperatūroje galvutė greičiau aušinama.

Literatūra

1. Product Info – Filaco | 3D Printing Filament. Prieiga per internetą: < http://www.filaco.com/product-info/ > [žiūrėta 203-12-05].
2. Repetier-Host. Prieiga per internetą: < http://www.repetier.com > [žiūrėta 2013-10-05].
3. Arduino Playground. Prieiga per internetą: < http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary > [žiūrėta 2013-11-08].
4. Arduino. Prieiga per internetą: < http://arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal > [žiūrėta 2013-11-08].

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

DVIEJŲ JUDRUMO LAIPSNIŲ ROBOTO RANKOS VALDYMO TYRIMAS

A. Nemeikšis, V. Sinkevičius
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: roboto ranka, dinaminis modelis, du judrumo laipsniai.

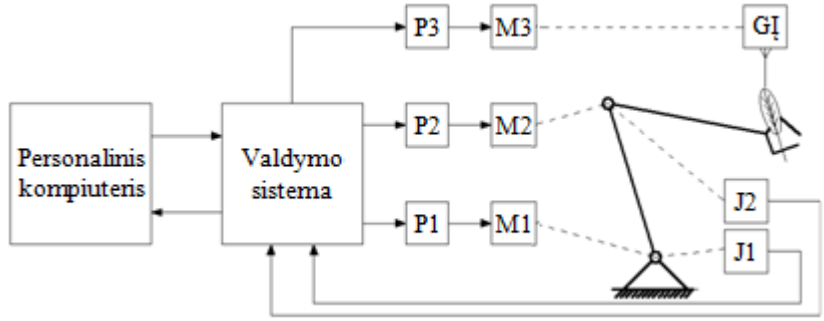
1. Įvadas

Plečiantis, ypatingai gamybos sektoriui, sudėtingėjant gaminamų produktų technologijoms ir procesams, kartu prie to prisitaikydama vystosi ir robotika. Tokioms sistemoms yra keliami nemaži reikalavimai, t. y. jie turi būti pakankamai tikslūs, tačiau kartu ir greitaeigiai, atliekant reikalingus objekto manipuliavimo veiksmus, roboto darbo įtaisas turi judėti nustatyta trajektorija tam tikrais greičiais ir pagreičiais, atlikti reikalingus orientavimo judesius. Vis dėl to robotų poreikis pramonės ir gamybos sektoriuose pastoviai didėja, todėl daugiau nei 80 % pasaulyje esančių robotų yra panaudoti pramonėje [1]. Ypatingai plačiai šiuo metu yra pritaikomos robotizuotos rankos, kurios geba atlikti įvairius darbus, tokius kaip surinkimas, krovimas, suvirinimas, šlifavimas, dažymas ir kt. Jos taip pat naudojamos papildyti mobiliųjų ar paslaugų robotų galimybes.

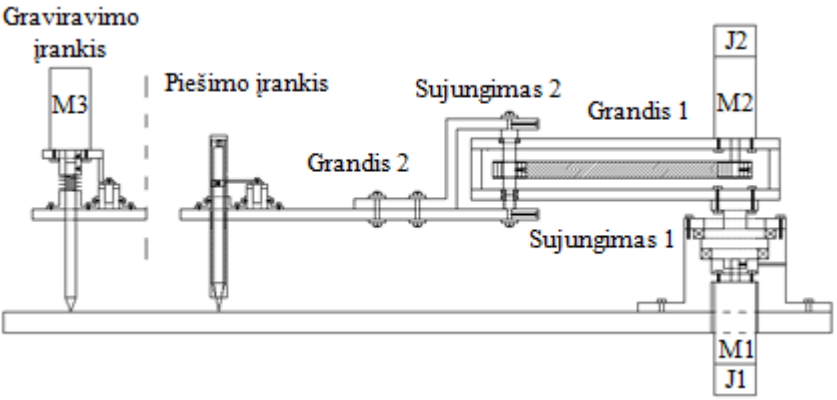
Darbe nagrinėjamos roboto rankos paskirtis yra atskleisti šiuo metu labiausias išvystytas robotikos galimybes. Kartu, tam tikra prasme, sugriauti visuomenėje nusistovėjusį stereotipą, jog robotizuota ranka gali tik pakelti, stumdyti ar kitaip „primityviai“ paveikti atitinkamus daiktus. Darbe analizuojama robotizuota ranka skirta kompiuterio kamera užfiksuotą vaizdo fragmentą ar net visą vaizdą perteikti piešinyje ar graviūroje.

2. Tyrimo objektas

Dviejų judrumo laipsnių roboto rankos blokinė schema pateikta 1 a pav. Roboto rankos galo taško (pieštuko arba graverio) padėtis keičiama valdant dviejų, M1 ir M2, nuolatinės srovės variklių kampinius greičius. Trečiasis variklis (M3) suka graviravimo įrankį. Variklių greičiams valdyti panaudotos trys pavaros – P1, P2 ir P3. Grandžių posūkio kampui matuoti panaudoti prieauginiai optiniai keitikliai J1 ir J2. Visi šie komponentai prijungti prie valdymo įtaiso – įterptinio mikrovaldiklio, kuris vykdymo komandas ir duomenis gauna iš personalinio kompiuterio.



a



b

1 pav. Dviejų judrumo laipsnių roboto ranka: a – blokinė schema; b – projektuojama konstrukcija

Projektuojamo dviejų judrumo roboto rankos konstrukciją sudarys (1 b pav.):

- Trys 12 V nuolatinės srovės varikliai. Pirmos grandies judesio perdavimo variklis tvirtinamas statmenai antros grandies gale. Antros grandies judesio perdavimo variklis pritvirtintas taip pat vertikaliai į korpusą, lygiagrečiai su pirmuoju sujungimu. Trečiasis variklis tvirtinamas pirmos grandies gale.
- Dvi 0,2 m ilgio judančios grandys, iš kurių pirmajai gandžiai, elektros variklis judesį perduoda horizontalia diržine perdava. Pirmasis diržinės perdavos skriemulys tvirtinamas ant variklio rotoriaus, o antrasis – ant veleno, kuris suka pirmąją grandį. Antrajai grandžiai elektros variklis judesį perduoda per movą, ant kurios tiesiogiai tvirtinama antroji grandis.
- Du kampinių poslinkių keitikliai ($N = 1046$ imp/aps), kurie tvirtinami ant nuolatinės srovės variklių antros pusės rotoriaus gale.

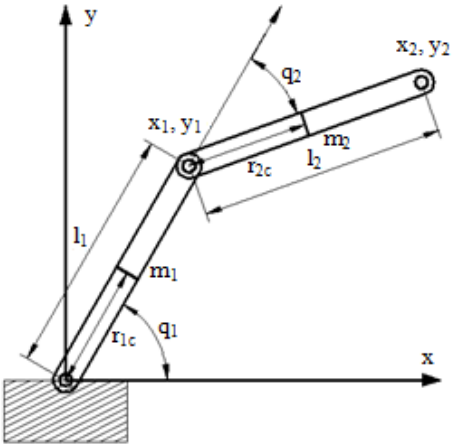
- Rankos galo padėties įtaisai (tušinukas arba graveris). Pirmuoju atveju graviravimo įrankis per movą jungiamas su variklio velenu, o variklis yra tvirtinamas ant laikiklio pagrindo. Antruoju atveju piešimo įrankis dedamas į tvirtinimo vamzdelį, kuris standžiai tvirtinamas prie pagrindo. Abiem atvejais įrankiai neveikimo metu yra vertikaliai atitraukiami nuo pagrindo naudojant elektromagnetą.
- Stalas, prie kurio standžiai pritvirtinta roboto ranka.

3. Roboto rankos matematinis modelis

Projektuojant roboto rankos valdymo sistemą būtina analizuoti roboto rankos dinamiką panaudojant judėjimo lygtis, kurios aprašo mechanines grandis veikiančias jėgas ir momentus. Galima panaudoti jau sudarytas lygčių sistemas [1]. Projektuojamo ir tiriamo roboto rankos dinamiką aprašo tokia lygčių sistema [4]:

$$\begin{cases} \left(J_1 + m_2 l_1^{\,2}\right)\ddot{q}_1 + m_2 l_1 r_{2c}\ddot{q}_2 \cos(q_2 - q_1) - \\ - m_2 l_1 r_{2c}\dot{q}_2(\dot{q}_2 - \dot{q}_1)\sin(q_2 - q_1) = T_1; \\ \\ J_2\ddot{q}_2 + m_2 l_1 r_{2c}\ddot{q}_1 \cos(q_2 - q_1) - m_2 l_1 r_{2c}\dot{q}_1(\dot{q}_2 - \dot{q}_1)\sin(q_2 - q_1) = T_2; \end{cases} \quad (1)$$

čia: $J_1 = 1/3\, l_1^{\,2}\, m_1$ ir $J_2 = 1/3 l_2^{\,2} m_2$ – grandžių masių inercijos momentai, kg·m^2; $r_{2c} = l_2/2$ – atstumas iki antros grandies masės centro, m;

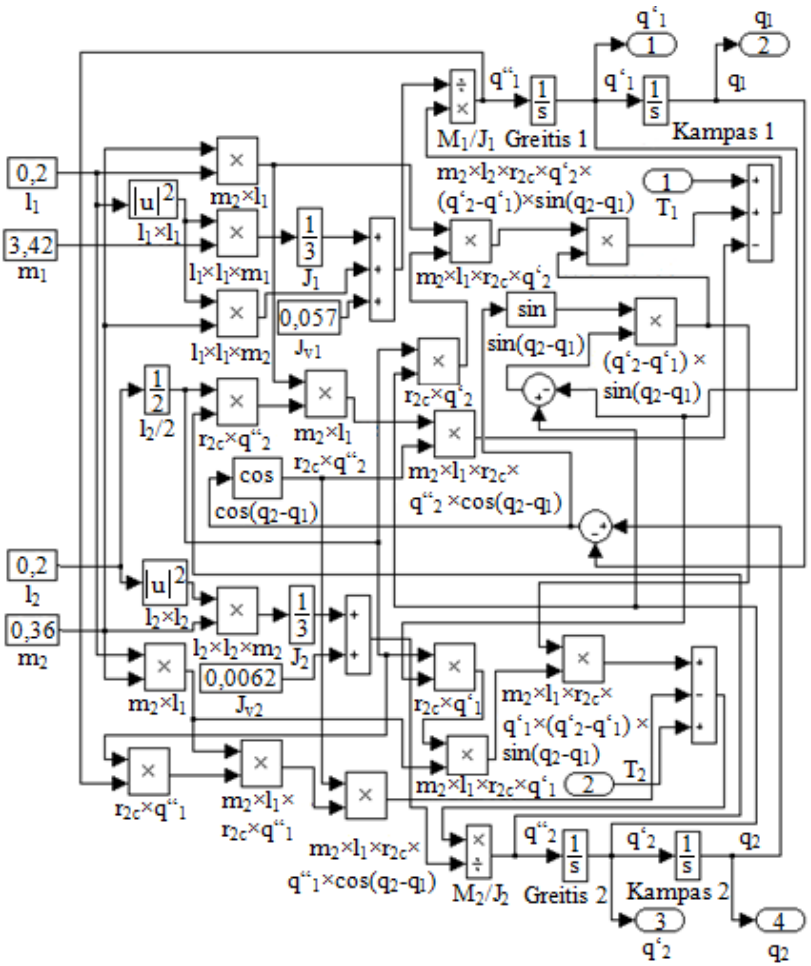


2 pav. Dviejų judrumo laipsnių šarnyrinės roboto rankos kinematinė schema

$m_{1,2}$ – grandžių masės, kg; $l_{1,2}$ – grandžių ilgiai, m; $q_{1,2}$ – grandžių posūkio kampai, rad; $\dot{q}_{1,2}$ – grandžių kampiniai greičiai, rad/s; $\ddot{q}_{1,2}$ – grandžių kampiniai pagreičiai, rad/s^2; $T_{1,2}$ – sukimo momentai ties grandžių sujungimų ašimis, Nm.

Roboto rankos dinamikos modelis „Matlab Simulink“ programoje pateikta 3 pav.

Roboto rankos galo taško padėtis keičiama valdant nuolatinės srovės variklius, kurie sukuria sukimo momentus ir taip suka aplink ašis atskiras roboto rankos grandis. Nuolatinės srovės variklis turi savo elektrinę ir



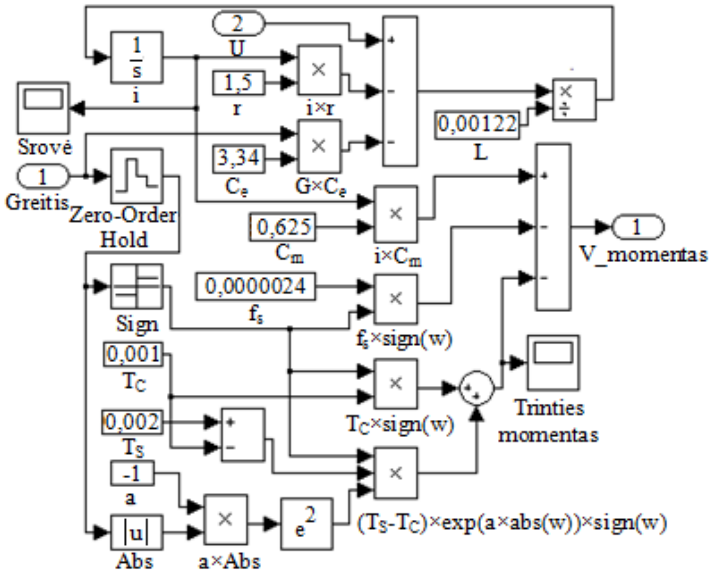
3 pav. Roboto rankos modelio „*Rankos dinamika*“ blokas

elektromechaninę laiko pastoviąsias. Jų įtaką į rankos judesį galima įvertinti papildžius rankos matematinį modelį nuolatinės srovės variklio matematiniu modeliu. Būtina įvertinti rimties ir skystos trinties jėgas, kurios įtakoja judesį reverso metu ir judant maksimaliais greičiais. Nuolatinės srovės variklio matematinis modelis, įvertinantis trinties jėgas [2, 3]:

$$\begin{cases} L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = u - i\,r - \omega\,C_E; \\ J\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = i\,C_M - M_A - \omega\,f_S - \left[T_C\,\mathrm{sign}(\omega) + (T_S - T_C)\exp\left(-\alpha\left|\omega\right|\right)\mathrm{sign}(\omega)\right]; \end{cases} \quad (2)$$

čia: L – variklio inkaro grandinės induktyvumas, H; i – elektros srovės, tekančios inkaro grandine, stipris A; u – prie inkaro grandinės prijungta įtampa, V; r – inkaro grandinės varža, Ω; ω – variklio veleno kampinis sukimosi greitis, rad/s; C_E – generatorinės elektrovaros konstanta, V·s/rad; J – variklio inkaro inercijos momentas, kg·m^2; C_M – elektromechaninis perdavimo koeficientas, Nm/A; M_A – pasipriešinimo momentas, Nm; f_S – skystosios trinties koeficientas, Nm·s/rad; T_C – sausosios trinties momentas, Nm; T_S – statinės trinties momentas, Nm; α – trinties konstanta, s.

Nuolatinės srovės variklio modelis „Matlab Simulink“ programoje pateiktas 4 pav.

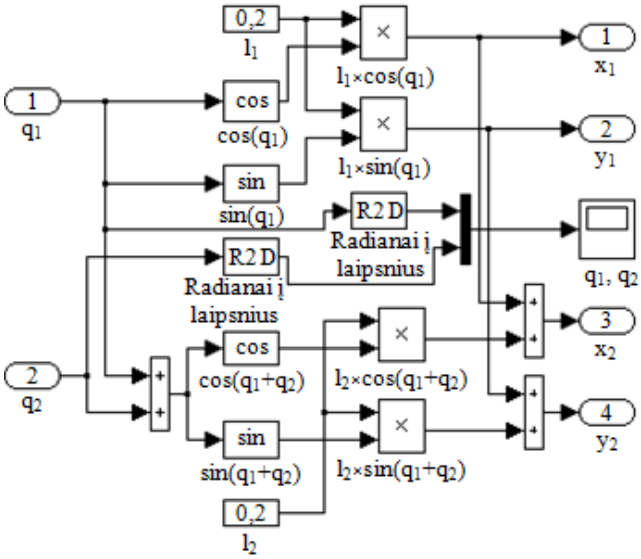


4 pav. Roboto rankos modelio „*Variklis*1“ ir „*Variklis*2“ blokai

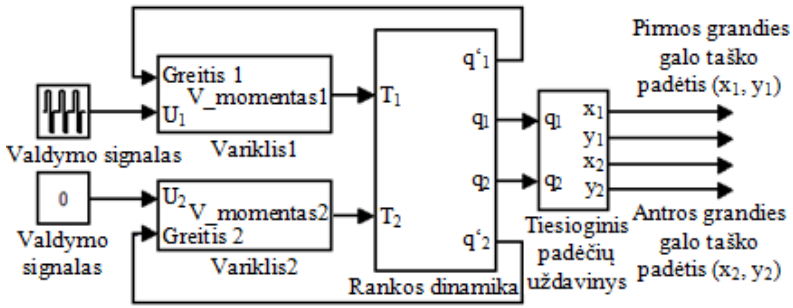
Abi roboto rankos grandys atlieka tik sukamuosius judesius. Tačiau galutinis roboto įrankio judesys yra linijinis. Roboto rankos galo taško x ir y padėtis Dekarto koordinačių sistemoje apskaičiuojama taip [5]:

$$\begin{cases} x = l_1 \cos(q_1) + l_2 \cos(q_1 + q_2); \\ y = l_1 \sin(q_1) + l_2 \sin(q_1 + q_2). \end{cases} \quad (3)$$

Roboto rankos galo taško x ir y padėties Dekarto koordinačių sistemoje skaičiavimo modelis „Matlab Simulink“ programoje pateiktas 5 pav.



5 pav. Roboto rankos modelio blokas „*Tiesioginis padėčių uždavinys*“



6 pav. Dviejų judrumo laipsnių roboto rankos modelis

Apibendrintas dviejų judrumo laipsnių roboto rankos dinaminis modelis pateiktas 6 pav. Modelį, sukurtą Simulink terpėje, sudaro keli blokai:

- blokai „*Variklis*1“ ir „*Variklis*2“ yra nuolatinės srovės variklio modeliai sukurti pagal (1) formulę;
- blokas „*Rankos dinamika*“ yra sudarytas pagal (2) formulę;
- bloke „*Tiesioginis padėčių uždavinys*“ yra sudarytas pagal (3) formules.

4. Modelio dinamikos tyrimas

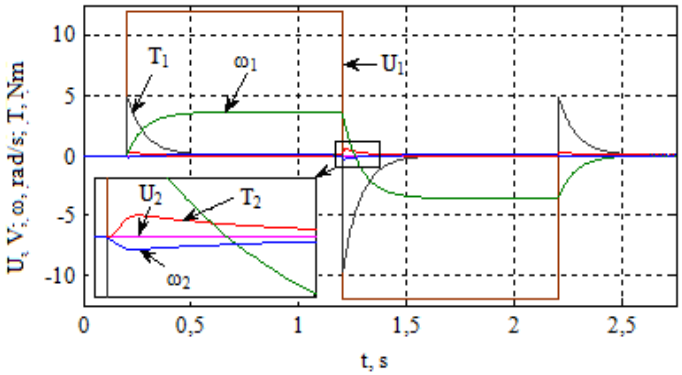
Apskaičiuoti nuolatinės srovės variklių parametrai, kurie reikalingi modelio sudarymui, pateikti 1 lentelėje.

Roboto rankos dinamikos modelio sudarymui dar yra reikalingi grandžių ilgiai ir masės: $l_1 = 0{,}2$ m; $m_1 = 1{,}32$ kg; $l_2 = 0{,}2$ m; $m_2 = 0{,}73$ kg.

1 lentelė

Nuolatinės srovės variklių charakteristikos

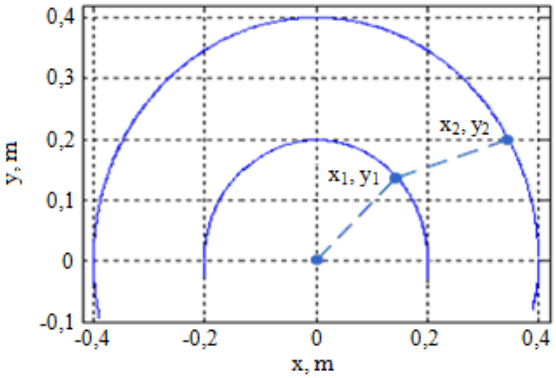
Parametro pavadinimas ir matavimo vienetas	Žymėjimas	Reikšmė	
		1 variklis	2 variklis
Elektrinė laiko pastovioji, s	T_E	0,00122	0,00144
Elektromechaninė laiko pastovioji, s	T_M	0,0410	0,0056
Induktyvumas, H	L	0,00183	0,00216
Varža, Ω	R	1,5	1,5
Inercijos momentas, kg·m^2	J	0,057	0,0062
Elektromechaninis koeficientas, N·m/A	C_M	0,625	0,625



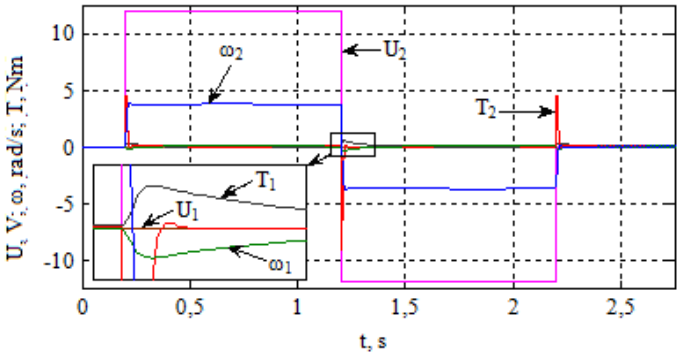
7 pav. Roboto rankos modeliavimo rezultatai: U_1, U_2 – variklių valdymo įtampos kitimas; ω_1, ω_2 – variklių kampinio greičio kitimas; T_1, T_2 – variklių kuriami sukimo momentai

Kiekvienos grandies dinamika buvo tirta atskirai. Pirmosios grandies varikliui prijungiama nominali įtampa vienai sekundei. Po to įtampos poliariškumas pakeičiamas ir taip variklis reversuoja – keičia savo sukimosi kryptį. Dar po sekundės prie pirmojo variklio prijungta įtampa tampa lygi nuliui – variklis stabdomas. Toks eksperimentas leidžia nuosekliai stebėti įsibėgėjimo, reverso ir stabdymo procesus. Modeliavimo eksperimento metu antrosios grandies variklio įtampa viso bandymo metu yra lygi nuliui. Modeliavimo rezultatai pateikti 7 ir 8 pav.

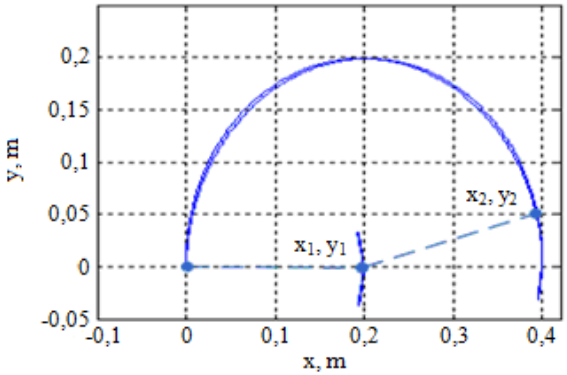
Tokiu pat būdu tirta antrosios grandies dinamika. Modeliavimo eksperimento metu pirmosios grandies variklio įtampa viso bandymo metu yra lygi nuliui. Modeliavimo rezultatai pateikti 9 ir 10 pav.



8 pav. Roboto rankos pirmos grandies ir antros grandies galo taškų trajektorijos Dekarto koordinačių sistemoje



9 pav. Roboto rankos grandžių judesio modeliavimo rezultatai: U_1, U_2 – variklių valdymo įtampos kitimas; ω_1, ω_2 – variklių kampinio greičio kitimas; T_1, T_2 –variklių kuriami sukimo momentai



10 pav. Roboto rankos pirmos grandies ir antros grandies galo taško trajektorija Dekarto koordinačių sistemoje

4. Išvados

1. Tyrimo duomenys rodo, kad roboto rankos pirmos grandies maksimalus linijinis greitis lygus 0,628 m/s, o antros grandies maksimalus linijinis greitis lygus 1,256 m/s .
2. Modeliavimo rezultatai rodo, kad pirmojo bandymo metu roboto rankos pirmoji grandis per 0,67 s pasiekia nominalų greitį, o antrojo bandymo metu antroji grandis per 0,32 s pasiekia nominalų greitį.

Literatūra

1. **Bakšys B., Fedaravičius A.** Robotų technika. – Kaunas: Technologija, 2004. – 492 p. ISBN 9955-09-802-3.
2. **Chun Htoo Aung, Khin Thandar Lwin.** Modeling motion control system for motorized robot arm using MATLAB // World academy of science, Engineering and Technology (18), 2008. P. 372-375.
3. **Shuang Cong, Guodong Li.** Parameters identification of nonlinear DC motor model using compound evolution algorithms // Proceedings of the World Congress on Engineering Vol. I, London, 2010. ISBN: 978-988-17012-9-9.
4. **Jer-nan Juang, Minh Q. Phan.** Identification and control of mechanical systems. Cambridge university press, 2004. – 334 p. ISBN 0-511-03123-8.
5. **Nakamura M., Iwanaga T.** High Accuracy Control of Industrial Articulated Robot Arms with Trajectory Allowance Under Torque and Speed Constraint: Trajectory Generation and Taught Data Generation // Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers Vol. E-2, No.1, 2002. P. 33-41.

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ
http://www.ppf.ktu.lt/konferencijos/tmsr/

BETONINIŲ SIJŲ, SUSTIPRINTŲ KOMPOZITAIS, STIPRUMO IR STANDUMO ŠLYČIAI TYRIMO METODIKŲ ANALIZĖ

A. Maselskis, J. Bareišis
Kauno technologijos universiteto Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: kompozitinės medžiagos, betoninės sijos, sustiprinimas.

1. Įvadas

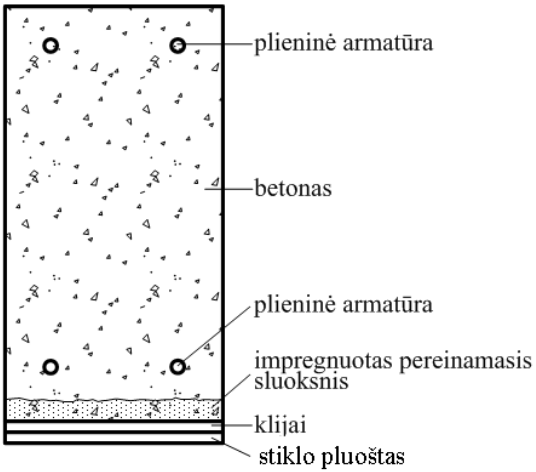
Kompozitinių medžiagų ir konstrukcijų naudojimas įvairiose technikos srityse yra viena iš prioritetinių mokslo ir technologijos vystymosi krypčių. Jų komponentų įvairovė leidžia sukurti efektyvesnių charakteristikų gaminius. Vienas iš plačiai pradėtų naudoti kompozitinių konstrukcijų komponentų yra anglies pluoštas ir jo gaminiai. Statybinių dirbinių ir konstrukcijų savybėms pagerinti pradėtos taikyti anglies pluošto fibros ir anglies ar stiklo pluošto juostos [1-3].

Betoninių ar gelžbetoninių konstrukcijų tempiamoji zona gali būti stiprinama stiklo ar anglies pluoštu, kuris žymiai padidina lenkiamųjų gelžbetoninių konstrukcijų standumą ir stiprumą [1]. Norint pasiekti didžiausią stiprinimo efektą būtina, kad kompozito pluoštas dirbtų kartu su stiprinama betonine konstrukcija. Kompozito pluoštas prie stiprinamo elemento yra priklijuojamas. Dažnai lenkiamųjų betoninių ar gelžbetoninių elementų atraminėje zonoje gali būti numatytos papildomos inkaravimo priemonės: anglies pluošto apkabos; betone paruošiami sprausteliai ir kt. [2, 3]. Priklausomai nuo kompozito pluošto inkaravimo priemonių skiriasi ir sijų irimas [4]. Viena iš suirimo priežasčių yra šlyties jėgų veikimas išilgai sijos kontakto zonoje tarp kompozito puošto ir betono.

Darbo tikslas: išnagrinėti lenkiamųjų betoninių sijų, sustiprintų kompozitais standumo šlyčiai bei kompozito ir betono kontaktinės šlyties jėgos skaičiavimo metodikas.

2. Tyrimo objektas

Darbe bus nagrinėjamos betoninės sijos, kurių tempiamoji zona sustiprinta stiklo pluoštu, jį klijuojant epoksidiniais klijais (1 pav.).



1 pav. Tiriamos betoninės sijos, sustiprintos stiklo pluoštu schema

Darbe [4] teigiama, kad anglies plastiką klijuojant epoksidine derva ant gelžbetoninės sijos, susidaro dar papildomas pereinamasis sluoksnis, gaunamas dėl dervos įsigėrimo į betoną, tuo keičiant jo savybes. Tokiu būdu, darbe [4] gelžbetoninė sija, sustiprinta anglies pluoštu, skaičiuojama kaip septynių sluoksnių sija. Kadangi epoksidinės dervos sluoksnio storis ir standumas yra maži, o pereinamojo sluoksnio savybės nedaug skiriasi nuo betono, šiame darbe minimų sluoksnių įtaka nebus vertinama. Tokiu būdu, betoninė sija su priklijuotais stiklo plastiko sluoksniais bus nagrinėjama kaip dvikomponentė asimetrinė sija.

Straipsnyje bus pateiktos metodikos, gebančios įvertinti sustiprintos kompozitinio pluošto sluoksniu betoninės sijos standumą lenkimui, stiprumą šlyčiai, nustatant tangentinių įtempių ir šlyties jėgos dydžius kompozito kontakte su betonu bei standumą šlyčiai.

3. Tyrimo metodikų analizė

Žinoma [5], kad daugiasluoksnių sijų standumas lenkimui D yra išreiškiamas kaip atskirų n sluoksnių standumo modulių $E_i I_i$ suma, t. y.:

$$D = \sum_{i=1}^{n} E_i I_i \ ; \tag{1}$$

čia: E_i ir I_i – i-ojo sluoksnio tamprumo modulis ir inercijos momentas, svarbiausių ašių atžvilgiu.

Esant stačiakampės formos sijos skerspjūvio elementams, *i*-ojo sluoksnio inercijos momentas yra lygus:

$$I_i = \frac{b_i\,\delta_i^3}{12} + b_i\,\delta_i\,y^{*2}; \tag{2}$$

čia: y^* – nagrinėjamo sluoksnio skerspjūvio vidurio atstumas iki pjūvio neutralios ašies, apskaičiuojamas iš lygybės

$$y^* = y_n - 0.5\delta_i - \sum_{m=1}^{i-1}\delta_m\,. \tag{3}$$

Kai gelžbetoninių ar betoninių konstrukcijų elementai yra stiprinami stiklo ar anglies pluošto kompozitais, būtina įvertinti kompozitinio sluoksnio tvirtinimo prie gelžbetoninės ar betoninės konstrukcijos atsparumą šlyčiai, nes šlyties jėga T yra viena iš tokios konstrukcijos irimo priežasčių [1, 3]. Atsparumo šlyčiai įvertinimas, gali būti atliktas pritaikius sudėtinių strypų teoriją [4] arba panaudojant tangentinių įtempimų daugiasluoksnėse sijose skaičiavimo metodiką [5].

Šlyties jėga T pagal [4] gali būti apskaičiuota, taikant sekančią diferencinės lygties sprendimą:

$$\left(\frac{1}{\alpha}\right)\frac{\mathrm{d}^2T}{\mathrm{d}x^2} = \gamma\,T - \frac{M_0\,z}{\sum_{i=1}^{2}E_i\,I_i}; \tag{4}$$

čia:

$$\alpha = \frac{b\,G}{z}; \tag{5}$$

$$\gamma = \frac{1}{E_1\,A_1} + \frac{1}{E_2\,A_2} + \frac{z}{\sum_{i=1}^{2}E_i\,I_i}; \tag{6}$$

M_0 – atskirų sluoksnių stiprumų suma; α ir γ – koeficientai, įvertinantys atitinkamai kontakto tarp sluoksnių standumą ir paslankumą; G – kontakto zonos standumo šlyčiai charakteristika; A_1, A_2, I_1, I_2, I_i, E_1, E_2 ir E_i – 1-ojo, 2-ojo ir *i*-ojo sluoksnių skerspjūvių plotai, inercijos momentai ir tų sluoksnių medžiagos tamprumo moduliai; b – kontakto zonos plotis, z – atstumas tarp sluoksnių svorio centrų.

Po diferencijavimo (4) lygtis įgauna sekantį pavidalą [1]:

$$\frac{\mathrm{d}^4 T}{\mathrm{d}x^4} - \alpha\,\gamma\,\frac{\mathrm{d}^2 T}{\mathrm{d}x^2} + \frac{a\,z}{\sum_{i=1}^{2} E_i\,I_i}\,p = 0\,. \tag{7}$$

Apskaičiuojamas šlities modulis $T(x)$:

$$\mathrm{T}(x) = \frac{p\,(0{,}5l - x)\,S_{z,eff}\,x_x}{I_{eff}\,b}\left[1 - \frac{2\left[\mathrm{ch}\left(0{,}5\,\lambda\,l\right) - \mathrm{ch}\left(\lambda\,(0{,}5l - x)\right)\right]}{x\,\lambda^2\,(l - x)\,\mathrm{ch}(0{,}5\,\lambda\,l)}\right]; \tag{8}$$

čia: λ – geometriniai sijos atkarpų ilgiai, I_{eff} – sustiprintos sijos inercijos momentas; p – siją veikiančių jėgų ekscentritetas; $S_{z,\,eff}$ – sustiprintos sijos reakcija į apkrovą; l – skaičiuojamos sijos ilgis; x_x – tam tikra pasirinktoji koordinatė l atkarpoje, b – kontakto zonos plotis, x –atstumas, atskaitomas nuo sijos pradžios.

Taikant daugiasluoksnių sijų skaičiavimo metodiką [5] tangentiniai įtempiai apskaičiuojami iš formulės:

$$\tau_{xy} = \frac{Q_X}{D}\,\frac{C_{(y)}}{b_{(y)}}\,; \tag{9}$$

čia: $C_{(y)} = \int_A E\,y_i\,\mathrm{d}A$ išreiškia sluoksnių skerspjūvių, esančių iki sijos pjūvio neutraliosios linijos atžvilgiu, statinių momentų $S_{y\,(i)}$, padaugintų iš atitinkamo sluoksnio tamprumo modulio E_i, $b_{(y)} - y$ elemento plotis.

Integralas $C_{(y)}$ vadinamas skerspjūvio dalies, esančios iki nagrinėjamo aukščio y ekvivalentinis statinis momentas ir išreiškiamas:

$$C_{(y)} = \sum_{i=1}^{m} E_i\,S_{y(i)}\,. \tag{10}$$

Kadangi kontakto plokštumoje veiks tangentiniai įtempiai lygūs įtempiams sijos skersiniame pjūvyje, tai galime apskaičiuoti šlyties jėgą iš išraiškos [6]:

$$T = \int_l \tau_{xy}\,b\,\mathrm{d}z\,. \tag{11}$$

Sijos standumą šlyčiai darbe [6] siūloma apskaičiuoti iš lygybės:

$$K = \frac{h\,D}{\int_0^h \left(\frac{C_{(y)}\,\mathrm{d}y}{b_i\,G_{xy}}\right)}\,. \tag{12}$$

4. Išvados

1. Darbe yra pateikta metodika, leidžianti įvertinti stiklo ar anglies pluoštu sustiprintos sijos standumą lenkimui.
2. Siūloma metodika atsižvelgia į kompozitinio sluoksnio tvirtinimo prie gelžbetoninės ar betoninės konstrukcijos atsparumą šlyčiai.
3. Atsparumas šlyčiai nustatomas taikant tangentinių įtempių skaičiavimo metodiką.

Literatūra

1. **Skuturna T., Valivonis J.** Jungties tarp betono ir anglies pluošto šlyties deformacijų tyrimas. Statybinės konstrukcijos. – Vilnius: Technika 2009. 127-135 p.
2. **Valivonis J., Marčiukaitis G.** Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo anglies pluoštu technologiniai ir konstrukciniai ypatumai. Konferencijos pranešimų medžiaga, 2006, Vol XII, No 2, 77-83 p.
3. **Ржаницин Р. А.** Составные стержни и пластинки. Москва, Стройиздат, 1986. 250p.
4. **Марчюкайтис Г., Валивонис Й., Барейшис Й.** Анализ общей работы углепластика и бетона в изгибаемых элементах. Механика композитных материалов, 2007. Nr. 5 (43), p. 687-700.
5. **Bareišis J.** Plastikų, kompozitų ir daugiasluoksnių konstrukcinių elementų stiprumas. Monografija. – Kaunas: Technologija, 2006, 252 p. ISBN 9955-25-150-6.

AUTORIŲ INDEKSAS

A

Alešiūnienė G. 215
Andriūnas K.....131

B

Baltramiejūnas D. 24
Baltrušaitis A. 192
Bareišis J. 37, 41, 98, 232, 253
Bazaras Ž..... 115, 148, 171
Botyrius A. 103

Č

Česnulevičius A.....18, 66, 93, 198

D

Dambrauskas A..... 98
Dasevičius T. 238

G

Garuckas D. 24, 108, 221, 228

J

Jukna Tadas 183
Jukna Tomas..... 122, 131

K

Karosas D. 74
Kireilis P.....198
Kirpliukas A. 8

L

Lunskis M.....205

M

Maselskis A. 253
Maskoliūnas B. 221
Mikolajūnas M.....139
Mikuta T..... 74
Misevičius E. A. 115
Misevičiūtė A. 115
Misiūnas A. 14

N

Nemeikšis A. 244

P

Partaukas N..... 55, 103
Paškauskas Ž. 31
Pelenis D. 74
Pranauskas R. 171
Puzas G. 93

R

Remeikis V. 139
Rožėnas E..... 82
Rudokas R. 228

S

Sabas R.....122
Samulis J. 148

Sankaitytė M. 41
Satkevičius M. 163
Sebeckis A. 37
Silgys T. 55
Sinkevičius V... 183, 192, 205, 244
Sriubas J. 18
Strakšys T. 47
Strelčiūnas G. 232
Striška L. 154

Š

Šimaitė G. 66
Šimaitė L. 60
Šlekis Ž. 108

T

Tautkus A. 60, 178

V

Vaičiulis D. 8, 14, 31, 154, 215
Valickas J. 163
Vanagas G. 47, 87
Vasiliauskas A. 178
Viržonis D. 74, 82, 238

Z

Zaleckis A. 87

Ž

Žybartaitė G. 192

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI
ŠIANDIEN IR RYTOJ – 2013

ISSN 2345-0428 (Print)
ISSN 2345-0436 (Online)

SL 344. 2013-12-20. 16,25 leidyb. apsk. l. Tiražas 10 egz.
Kaina sutartinė. Užsakymas 815.
Išleido leidykla „Technologija“, Studentų g. 54, 51424 Kaunas
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas