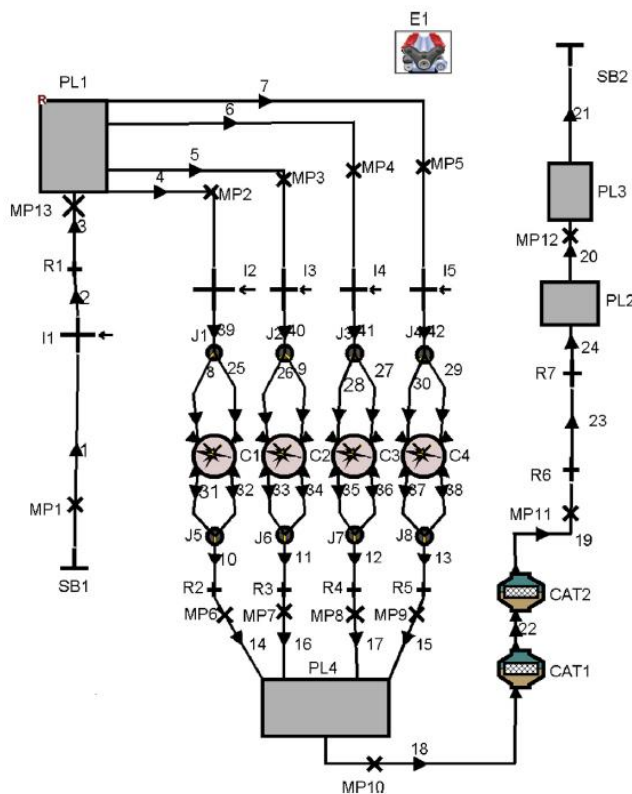


(Cheaolwoong et al., 2009). Tačiau NO_x emisija, naudojant didelės koncentracijos vandenilio-metano degalus, didėja, nes išauga degimo temperatūra (Cheaolwoong et al., 2012). Siūlomi šios problemos sprendimai yra uždegimo paskubos kampo vėlinimas arba degiojo mišinio liesinimas (Ilbas et al., 2006). Karim ir Shrestha (1999) atlikti tyrimai parodė, kad geriausi variklio dinaminų savybių rezultatai, vengiant detonacijos, buvo pasiekiami tuomet, kai vandenilio koncentracija metano dujose buvo apie 20 % – 25 % (pagal tūrį). Porpatham ir kitų mokslininkų (Porpatham et al., 2007) atliktų eksperimentinių tyrimų rezultatai parodė, kad vandenilio įmaišymas į dujinius degalus ne tik padidina liepsnos sklidimo greitį, bet ir praplatina lieso degimo ribas.

Tyrimo metodika

Šiame darbe optimali alternatyvių degalų sudėtis ieškoma atliekant kompiuterinį vidaus degimo variklio modeliavimą, pasitelkus „AVL“ programinės įrangos paketą BOOST™. BOOST™ paketas, tai pažangus ir pilnai integruotas virtualus variklio modeliavimo įrankis, leidžiantis tiksliai prognozuoti projektuojamo variklio dinamines savybes, akustiką, išmetamųjų dujų emisiją ir t.t. Tiriamojo variklio modelis sudarytas pagal „NISSAN HR 16DE“ variklio parametrus (1 pav.).

Šiame darbe buvo siekiama nustatyti optimalią biometano ir vandenilio mišinio sudėtį, tenkinant mažiausių degalų sąnaudų ir mažiausių išmetamųjų kenksmingų medžiagų emisijų sąlygas. Siekiant šio tikslo buvo modeliuojamas variklio veikimo procesas varijuojant šiais rodikliais: H_2 kiekiu mišinyje, uždegimo paskubos kampu, įsiurbiamų degalų kiekiu ir degimo proceso trukme. Variklio alkūninio veleno sukiai buvo 2000 min^{-1} , o degusis mišinys – stochiometrinis.



1 pav. Tiriamo vidaus degimo variklio modelis sudarytas „AVL BOOST“ programa
Šaltinis: sudaryta autorių

Nors variklio darbo modeliavimo tikslas buvo optimizuoti biometano – vandenilio degalų mišinį mažiausioms degalų sąnaudoms bei mažiausioms kenksmingų medžiagų emisijoms, tačiau buvo stebimi ir kiti svarbūs rodikliai bei variklio charakteristikos (degimo proceso temperatūra, slėgis, degalų sąnaudos, variklio sukuriamas sukimo momentas, galia ir kt.), siekiant aiškiau apibrėžti bendrą tiriamojo degalų mišinio panaudojimo variklyje naudą.

Tyrimo rezultatai

Visų pirma, siekiant įvertinti vandenilio priemaišos biometano dujose naudą bendriems variklio rodikliams, iš „AVL BOOST“ programinės įrangos buvo surinkti duomenys apie degimo proceso slėgį (p , bar) ir temperatūrą (t , °C) cilindre (1 lentelė).

1 lentelė

Slėgio ir temperatūros cilindre reikšmių priklausomybė nuo vandenilio koncentracijos degaluose

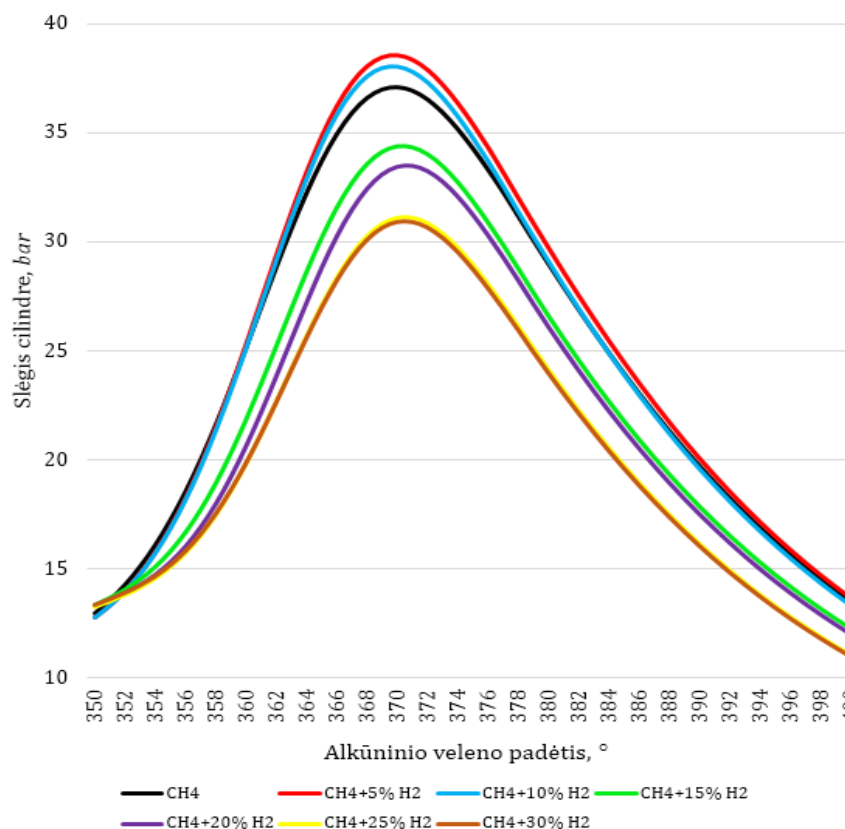
Rodikliai	Degalų sudėtis						
	CH ₄	CH ₄ +5% H ₂	CH ₄ +10% H ₂	CH ₄ +15% H ₂	CH ₄ +20% H ₂	CH ₄ +25% H ₂	CH ₄ +30% H ₂
p, bar	37,10	38,43	38,07	34,24	32,40	31,09	30,97
t, °C	2205	2275	2329	2480	2560	2597	2627

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus modeliavimą nustatyta, kad geriausi variklio rodikliai pasiekiami tuomet, kai vandenilio koncentracija biometano – vandenilio mišinyje siekia 10 % – 15 %. Labiau didinant vandenilio dujų koncentraciją degaluose pastebima, kad slėgis cilindre ne tik nedidėja, lyginant su grynu biometanu, tačiau net ir sumažėja. Vandenilio koncentraciją didinant iki 30 % variklio parametrai pradeda blogėti. Ir nors maksimalaus slėgio ir temperatūros reikšmės kinta santykinai nedaug, tačiau net menkas pokytis turi didelę reikšmę galutiniams variklio dinaminiais parametrams, nes būtent aukščiausias slėgis ir aukščiausia temperatūra cilindre labiausiai lemia sukuriamą variklio momentą, o taip pat ir galią.

Degimo proceso slėgio kitimas cilindre vaizdžiai matomas 2 paveikslo grafike. Į degalus įmaišius 5 % vandenilio dujų, maksimalus slėgis cilindre padidėja 3,58 % (nuo 37,10 bar iki 38,43 bar). Naudojant 10 % vandenilio koncentracijos degalus, slėgio padidėjimas yra mažesnis – 2,61 %. Vandenilio koncentraciją didinant dar labiau, maksimalus slėgis cilindre sumažėja net labiau, nei veikiant grynu biometanu varomame variklyje.

Programinė įranga taip pat suteikė galimybę prognozuoti variklio taršos rodiklius (2 lentelė). Pagal „AVL BOOST“ programinės įrangos modeliavimą, didinant vandenilio koncentraciją degaluose NO_x kiekis išmetamosiose dujose didėja, o CO ir CO₂ kiekiai kinta santykinai nedaug. Pagal LAND 14-2000 ir LAND 15-2000 Lietuvos apsaugos normatyvinius dokumentus Lietuvoje NO_x kiekis išmetamosiose automobilio dujose kol kas nėra normuojamas. Normuojami tik CO ir HC kiekiai išmetamosiose dujose, kurie pagal reikalavimus automobiliams su trijų komponentų kataliziniais neutralizatoriais yra atitinkamai 3000 ppm ir 100 ppm (Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas, 2000). Modeliuojamas variklis atitinka CO normas, tačiau HC junginių tiriamu atveju yra apie 3 kartus daugiau nei leistina.



2 pav. Slėgio cilindre priklausomybė nuo alkūninio veleno padėties, keičiant degalų sudėtį

Šaltinis: sudaryta autorių

Išmetamų kenksmingų medžiagų kiekiai ir degalų sąnaudos, priklausomai nuo degalų sudėties

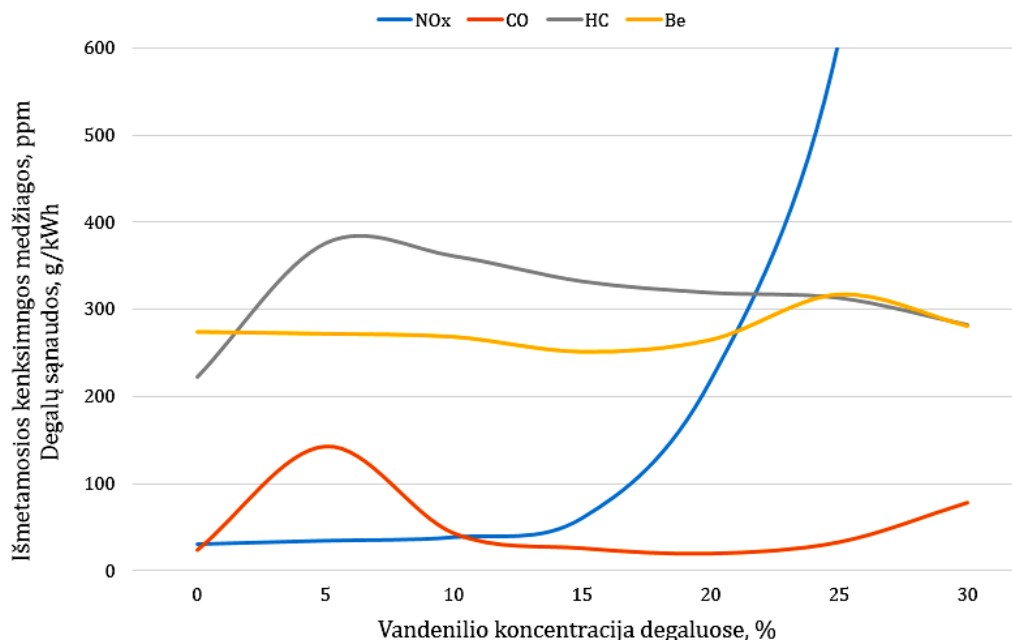
Rodikliai	Degalų sudėtis						
	CH ₄	CH ₄ +5% H ₂	CH ₄ +10% H ₂	CH ₄ +15% H ₂	CH ₄ +20% H ₂	CH ₄ +25% H ₂	CH ₄ +30% H ₂
NO _x , ppm	31	35	39	61	219	610	1584
CO, ppm	24	142	43	26	20	33	78
HC, ppm	222	376	361	332	319	313	282
<i>b_e</i> , g/kWh	274	272	268	251	265	318	281

Šaltinis: sudaryta autorių

Taip pat 2 lentelėje pateikiamos variklio degalų sąnaudų (*b_e*, g/kWh) reikšmės, modeliuojant variklio veikimą skirtingais mišiniais. Mažiausios degalų sąnaudos – 250,98 g/kWh užfiksuotos vandenilio koncentracijai degaluose esant 15 %. Didinant ar mažinant vandenilio koncentraciją degaluose, degalų sąnaudos didėja, kai kuriais atvejais net labai ženkliai.

3 paveiksle pavaizduota kenksmingų išmetamųjų medžiagų kiekio ir variklio degalų sąnaudų priklausomybė nuo vandenilio koncentracijos degalų mišinyje. Paveiksle matyti, kad didinant vandenilio koncentraciją iki 10 % degalų sąnaudos kinta labai nežymiai, tačiau ties 15 % riba pastebimas staigus degalų sąnaudų kritimas apie 18 g/kWh. Vandenilio koncentraciją didinant virš 15 % degalų sąnaudos vėl ima didėti. Paveiksle matyti kad NO_x junginių kiekis išmetamosiose dujose, didinant vandenilio koncentraciją degaluose, iš pradžių didėja pamažu, tačiau vandenilio koncentracijai pasiekus 15 % ribą ir didinant ją daugiau, NO_x kiekis išmetamosiose dujose ima didėti labai staigiai. Tai gali būti paaiškinama išaugusia degimo proceso temperatūra.

Nagrinėjant CO kitimą pastebima, kad, pridėjus 5 % vandenilio į biometaną, CO kiekis šokteli nuo 24 ppm iki 142 ppm, o vandenilio koncentraciją didinant virš 5 % nusistovi tarp 20 ppm – 78 ppm. Naudojant 5 % vandenilio koncentracijos degalų mišinį pastebima, kad HC junginių kiekis šokteli nuo 222 ppm iki 376 ppm, o vandenilio koncentraciją toliau didinant, kiekis pamažu mažėja iki 282 ppm, vandenilio koncentracijai degaluose esant 30 %.



3 pav. Degalų sąnaudų ir išmetamųjų kenksmingų medžiagų kiekio priklausomybės nuo vandenilio koncentracijos degaluose

Šaltinis: sudaryta autorių

Iš gautų rezultatų akivaizdžiai matyti, kad optimali degalų sudėtis, tenkinanti mažiausias degalų sąnaudas ir mažiausias kenksmingų medžiagų emisijas, yra 85 % biometano ir 15 % vandenilio. Naudojamas tokius degalus tiriamas variklis pasiekė mažiausias degalų sąnaudas, o visų išmetamų kenksmingų medžiagų minimalūs kiekiai taip pat pasiekiami tokiais pat degalais.

Išvados

Tyrimo metu, naudojantis programine įranga „AVL BOOST“, buvo modeliuojamas variklio veikimas alternatyviais degalais, pagamintais iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Modeliuojant buvo nustatyta optimali degalų sudėtis, tenkinanti tiek mažiausių degalų sąnaudų tiek mažiausių kenksmingų medžiagų emisijų sąlygas. Gauti modeliavimo rezultatai parodė, kad optimali degalų sudėtis yra 85 % biometano ir 15 % vandenilio. Nors naudojant tokius degalus nebuvo pasiekta variklio dinaminių savybių pagerėjimo, tačiau svarbiausi ekologiniai ir ekonominiai rodikliai buvo minimalūs, ko ir buvo siekta.

Padėka

Straipsnyje atlikto tyrimo rezultatai gauti naudojant AVL BOOST vidaus degimo variklių modeliavimo programą, įsigytą pasirašius bendradarbiavimo sutartį tarp AVL Advanced Simulation Technologies ir VGTU Transporto inžinerijos fakulteto.

Literatūra

1. Cheolwoong Park *et. al.*, *Generating efficiency and emissions of a spark-ignition gas engine generator fuelled with biogas-hydrogen blends*, International journal of hydrogen energy 34 (2009) 9620-9627, Republic of Korea: Seoul, 2009.
2. Cheolwoong Park *et. al.*, *Performance and emission characteristics of a SI engine fueled by low calorific biogas blended with hydrogen*, International journal of hydrogen energy 36 (2011) 10080-10088, Republic of Korea, 2011.
3. Cheolwoong Park, Changgi Kim, Young Choi. *Power output characteristics of hydrogen-natural gas blend fuel engine at different compression ratios*, International journal of hydrogen energy 37 (2012) 8681-8687, Republic of Korea: Daejeon, 2012.
4. Demirbas, A. *Biohydrogen. For Future Engine Fuel Demands*. Springer. 2009. e-ISBN 978-1-84882-511-6.
5. Europos Komisija. Komisijos komunikatas Europos parlamentui, tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui. 2013. Transportui – švari energija. *Europinė alternatyviųjų degalų strategija*. Briuselis, 24 COM (2013) 17 final.
6. Ilbas M., *et. al.*, *Laminar burning velocities of hydrogen-methane-air mixture: an experimental study*, Int. J Hydrogen Energy 2006; 31:1768-79.
7. Karim G., A, Shrestha B., *Hydrogen as an additive to methane for spark ignition engine applications.*, Int. J Hydrogen Energy 1999; 24:577-86.
8. Kyungtaek Lee, *et. al.*, *Generating efficiency and NO_x emissions of a gas engine generator fueled with a biogas-hydrogen blend and using an exhaust gas recirculation system*, International journal of hydrogen energy 35 (2010) 5723-5730, Republic of Korea: Seoul, 2010.
9. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas, *Dėl aplinkos apsaugos normatyvinių dokumentų LAND 14-2000 ir LAND 15-2000 patvirtinimo*, Lietuva: Vilnius, 2000.
10. Porpatham, E., Ramesh, A., Nagalingam, B. *Effect of hydrogen addition on the performance of a biogas fuelled spark ignition engine*. International journal of hydrogen energy 32 (2007) 2057-2065, India: Chennai, 2006.
11. Sendzikiene, E., Rimkus, A., Melaika, M., Makareviciene, V., Pukalskas, S. *Impact of biomethane gas on energy and emission characteristics of a spark ignition engine fuelled with stoichiometric mixture at various ignition advance angles*, Fuel 162 (2015) 194-201, Lithuania, 2015.

THE SIMULATION OF BIO-METHANE AND HYDROGEN MIXTURES USE IN SPARK IGNITION ENGINE

Summary

Paper presents the numerical simulation results of efficient and ecologic parameters of spark ignition engine Nissan HR16DE, which was using bio-methane and hydrogen fuel mixtures. Numerical simulation software *AVL BOOST* was used to evaluate different composition fuel mixtures (CH₄; CH₄+5% H₂; CH₄+10% H₂; CH₄+15% H₂; CH₄+20% H₂; CH₄+25% H₂; CH₄+30% H₂). The analysis included combustion temperature and pressure, fuel consumptions and exhaust gas emission data. The aim of this research is to determine the optimum fuel composition of bio-methane and hydrogen, which could let to obtain lowest fuel consumptions and best ecology level.

Key words: bio-methane, hydrogen, spark ignition engine, simulation.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Mindaugas Ročys.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrantas.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Transporto inžinerijos vadybos katedros magistrantas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: alternatyvieji degalai, biodujos, vidaus degimo varikliai.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 62745987, min.rocys@gmail.com

Autoriaus vardas, pavardė: Mindaugas Melaika.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros asistentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: mindaugas.melaika@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61571161, alfredas.rimkus@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Saugirdas Pukalskas.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Automobilių transporto katedros profesorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika, alternatyvieji automobiliai.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 65529573, saugirdas.pukalskas@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Mindaugas Ročys.

Science degree and name: master student.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department master student.

Author's research interests: alternative fuels, biogas, internal combustion engines.

Telephone and e-mail address: +370 62745987, min.rocys@gmail.com

Author name, surname: Mindaugas Melaika.

Science degree and name: Master degree.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department, assistant.

Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

Telephone and e-mail address: mindaugas.melaika@vgtu.lt

Author name, surname: Alfredas Rimkus.

Science degree and name: associated professor.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.

Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

Telephone and e-mail address: +370 61571161, alfredas.rimkus@vgtu.lt

Author name, surname: Saugirdas Pukalskas.

Science degree and name: PhD, associated professor.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty, Automobile Transport department professor.

Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy, alternative fuel vehicles.

Telephone and e-mail address: +370 65529573, saugirdas.pukalskas@vgtu.lt

ROTORINIŲ MAZGŲ SU SKIRTINGŲ KONSTRUKCIJŲ GUOLIAIS VIBRODIAGNOSTINIAI TYRIMAI

Audrius Čereška^{1,2}, Gražina Strazdienė²

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, ²Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Anotacija

Straipsnyje pateikti rotorinių mazgų su skirtingų konstrukcijų guoliais vibrodiagnostiniai tyrimai. Tirti rotoriniai mazgai su riedėjimo, slydimo su adaptyviais segmentais ir slydimo įvoriniais guoliais. Aprašytos visos tiriamąją sistemą sudarančios dalys. Pateikta vibrodiagnostinių tyrimų stendo principinė schema kurioje parodytas ryšys tarp atskirų tiriamojo stendo dalių. Tyrimams atlikti sudaryta eksperimentinių tyrimų metodika. Tyrimų metu matuoti rotorinių mazgų virpesiai ir gauti pirminiai signalai kurie naudojant kompiuterines programas transformuoti į reikalingus analizei duomenų formatus. Gauti tyrimų rezultatai įvertinti ir atlikta jų palyginamoji analizė. Nustatytos priklausomybės ir pateiktos tyrimų rezultatų išvados.

Reikšminiai žodžiai: vibrodiagnostika, riedėjimo guolis, slydimo segmentinis guolis, slydimo įvorinis guolis.

Įvadas

Guolis – mechaninis įtaisas, esantis tarp rotoriaus ir korpuso ir užtikrinantis rotoriaus sukimąsi. Guoliai skirstomi į riedėjimo ir slydimo trinties. Guoliai yra vieni svarbiausių įvairių mechaninių dinaminių sistemų su rotoriniais mazgais mašinų konstrukcijos elementų. Jie yra plačiai paplitę įvairiose mechaninėse dinaminėse sistemose. Jie besisukančius rotorius išlaiko reikiamoje padėtyje ir priimdami veikiančias apkrovas, perduoda jas korpusui.

Riedėjimo guoliai nuo slydimo guolių skiriasi tuo, kad tarp dviejų žiedų yra riedėjimo kūnai, kurie, velenui sukantis, rieda žiedais. Ši sandara slydimo trintį pakeičia riedėjimo trintimi, todėl riedėjimo guolių trinties koeficientas 20-25 % mažesnis negu slydimo guolių. Riedėjimo guoliai dirba su mažesniais energijos nuostoliais ir mažina įšyla. Jų trinties momentas mažai priklauso nuo sukimosi dažnio. Juos nesunku tepti, paprasta prižiūrėti. Riedėjimo guoliai yra standartizuoti tarptautiniu mastu, ir tai palengvina jų pakeičiamumą. Jie yra jautrūs smūgiams, labiau nei slydimo guoliai žadina virpesius ir triukšmą (Muszynska 1995). Jų leistinas sukimosi dažnis mažesnis nei slydimo guolių. Riedėjimo guoliams labai svarbi žiedų tarpusavio padėtis, bei ašinis įveržimas. Todėl mašinos yra kruopščiai surenkamos. Riedėjimo guoliai jautrūs dulkėms, dėl to guolių mazgai turi būti kruopščiai sandarinami.

Rotoriai, kurių atramos yra slydimo guoliai, esant tam tikroms apkrovoms ir sukimosi dažniams pasižymi nestabiliu darbu, kuris savo prigimtimi skiriasi nuo nestabilaus riedėjimo guolių darbo režimo (Vekteris 2004). Esant tam tikroms darbo sąlygoms, temperatūra guolio darbo zonoje pasiekia kritines reikšmes, tuomet sumažėja tepalo klampumas bei tepimo plėvelės storis. Tada guolis pereina prie pusiau skysto tepimo režimo. Dėl to trumpėja įrenginių darbo ištekliai (Marcinkevičius 2012). Esant tokiems reiškiniams, gali staiga sutrikti darbo procesas ir gali būti patirti dideli nuostoliai. Mechaninių dinaminių sistemų rotorinių mazgų su hidrodinaminiais slydimo trinties guoliais diagnozavimui, kūrimei ir analizei skirta žymiai mažiau darbų negu sistemų su riedėjimo guoliais. Taip yra dėl daugelio priežasčių. Viena iš jų yra ta, kad sunkiai diagnozuojamas tokių guolių degradacijos procesas (Barzdaitis 1998; Bently 2002; Jonušas 2001). Dylant hidrodinaminiais slydimo trinties guoliams didėja tarpas tarp rotoriaus kakliuko ir guolio. Kai tarpas tampa žymus, toliau eksploatuojant sistemą sutrinka tepalo pleišto darbas, padidėja trintis, vibracinis aktyvumas, kinta kiti parametrai (Makowski 2011).

Viso mechanizmo kokybę galima užtikrinti tik garantuojant atskirų ją sudarančių mazgų kokybę. Mechanizmo darbinė būklė visuomet turi būti gera, tai užtikrinti galima atliekant techninės būklės diagnostiką (Vasylius 2008; Vekteris 2002). Techninė diagnostika sudėtingas procesas, jo sudėtingumas priklauso nuo diagnozuojamo objekto. Diagnostika padeda išvengti didelių nuostolių ir siaubingų ekologinę pasekmių, kadangi laiku aptikus problemą galima nesunkiai ją pašalinti. Tačiau kokybiškai diagnostikai atlikti reikia laboratorijų su specialia įranga (Barzdaitis 2002).

Dinaminiai parametrai yra vieni iš informatyviausių rodiklių, apibūdinančių ne tik atskiro mazgo, bet ir visos mašinos būklę (Bently 1994). Kintant rotorinės sistemos vidiniam ir išoriniam poveikiui jos eksploatavimo metu, keičiasi sistemos dinaminės charakteristikos. Dėl to keičiasi sistemos atskirus elementus veikiančios dinaminės apkrovos ir atsiranda defektų, galinčių peraugti į rimtus gedimus.

Vertinant keletos mechanizmų būklę, galima išrinkti konkrečioms sąlygoms tinkamiausią variantą (Allmaier 2011; Brito 2012; Figliola 1991).

Tyrimo tikslas: atlikti rotorinių mazgų su skirtingos konstrukcijos guoliais vibrodiagnostinius tyrimus, nustatyti rezultatų dėsningumus ir padaryti gautų rezultatų palyginamąją analizę.