



18-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,

vykusios 2015 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 18th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 6 May 2015, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 18-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 6 мая 2015 г., Вильнюс, Литва

PNEUMATINĖS TRANSPORTO PRIEMONĖS ŠILDYTUVO HIDRODINAMINIŲ PROCESŲ TYRIMAS

**Edgaras Baroniūnas¹, Kornelijus Mačiulis², Artūras Pastarnokas³, Donatas Repečka⁴,
Viktor Skrickij⁵, Mantas Tamošiūnas⁶**

*Transporto technologinių įrenginių katedra, Transporto inžinerijos fakultetas,
Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Plytinės 27, Vilnius*

El. paštas: ¹edgaras.baroniunas@stud.vgtu.lt; ²kornelijus.maciulis@stud.vgtu.lt;

³arturas.pastarnokas@stud.vgtu.lt; ⁴donatas.repecka@stud.vgtu.lt; ⁵viktor.skrickij@vgtu.lt;

⁶mantas.tamosiunas@stud.vgtu.lt

Santrauka. Pasiūlytas pneumatinės transporto priemonės NVK didinimo būdas naudojant suspausto oro šildytuvą, darbe aprašyta sukurto įrenginio konstrukcija. Eksperimentiniu būdu ištirti vykstantys hidrodinaminiai procesai: nustatyti slėgio nuostoliai jungiant šildymo elementą į bendrą sistemą, nustatyta suspausto oro įšilimo temperatūra, apskaičiuotas bendras slėgio padidėjimas sistemoje.

Reikšminiai žodžiai: pneumatinė transporto priemonė, šildytuvai, hidrodinaminiai procesai, eksperimentiniai tyrimai.

Įvadas

Mažėjant naftos kiekiui pasaulyje, atsiranda poreikis ieškoti alternatyvių energijos šaltinių. Pasaulyje daugėja transporto priemonių, kurios naudoja atsinaujinančius energijos šaltinius – vandenilį, saulės energiją, elektrą, orą, biodegalus. Taip pat yra hibridinės sistemos, kuriose naudojamos kelios technologijos vienu metu.

Pagrindinė alternatyva benzina ir dyzeliną naudojančioms transporto priemonėms – elektromobiliai. Pirmąją elektrinę transporto priemonę sukūrė Tomas Davenportas 1834 metais (Nye 1992). Nuo šio išradimo prasidėjo transporto priemonių kūrimas. Vienas iš elektromobilių privalumų, kad ši sistema neišmeta jokių kenksmingų dujų. Šiuolaikinės sistemos naudoja ličio jonų baterijas, kurios pasižymi didele elektrine talpa ir galia. Pagrindiniai trūkumai: brangi eksploatacija, didelis svoris, sąlyginai mažas nuvažiuojamas atstumas (Chau, Chan 2001), (Farmann 2015).

Kita alternatyvi degalų rūšis – vandenilis (Zhang, Hu 2014). Vandeniliu varomos transporto priemonės – naujovė, nors kaip degalai vandenilis yra naudojamas jau seniai. 2007 metais „Pearl“ įmonė sukūrė elektros varikliu varomą dviratį, kurio elektros energijos šaltinis buvo vandenilio kuro baterija (Pearl... 2015). NASA mokslininkai raketų pakėlimui taip pat naudojo vandenilį (NASA 2015). Vandenilis Žemėje savaime nesiformuoja,

jis išgaunamas iš metano dujų, 2014 metais 95 % procentai buvo pagaminti būtent tokiu būdu. Transporto priemonių kurios naudoja vandenilį, pagrindinis privalumas yra tas, kad vykstant degimui šalutinis produktas gaunamas vanduo, o ne kenksmingos dujos kaip benzininiuose ar dyzeliniuose varikliuose. Didžiausias vandenilio trūkumas – jo laikymas. Kadangi vandenilis yra labai skvarbus, atsiranda didelės problemos dėl jo laikymo, taip pat reikalingas saugus užpildymas, saugumo užtikrinimas avarijos metu. Taip pat pavojus kyla ir remontuojant transporto priemonę (Wakefield 1998).

Šiuo metu pasaulyje yra sukurtos keturios biokuro kartos, plačiausiai naudojama pirmosios ir antrosios kartos degalai. Trečios ir ketvirtos kartų biodegalai gaunami tik iš modifikuotos augalijos. Pagrindiniai privalumai: biodegalai pigesni nei iškastinis kuras, nėra toksiški. Jiems išsiliejus padaroma mažesnė žala gamtai, nei išsiliejus naftai, biodegalai padeda sumažinti oro taršą. Pagrindiniai trūkumai: didelės vandens sąnaudos gaminant biodegalus, biodegalams pagaminti reikalingi didžiuliai žemės plotai, jie išskiria mažiau energijos, o tai reiškia didesnę šių degalų suvartojimą (Lazauskas, Dzenajavičienė 2011), (Sims *et al.* 2010), (Lietuvos... 2015).

Dar viena alternatyvi rūšis – suspaustas oras. Šios srities pirmųjų mašinų prototipai buvo pradėti kurti jau 19-ame amžiuje (Thipse 2008). Pirmasis pneumatinis variklis kuris buvo įdiegtas į lokomotyvus – „Mekarski

system“ kūrėjų. Šiuo metu didžiausios įmonės, kurios kuria pneumatines transporto priemones yra: APUQ, MDI, Tata Motors, Toyota, Honda, Peugeot / Citroen. Didžiausią greičio rekordą pasiekė Toyota gamintojai. Jų sukurta transporto priemonė pasiekė didžiausią 129,2 km/h greitį (PHYS 2015). Remiantis dabartiniais gamintojų duomenimis, su 250 litrų talpos rezervuarais, važiuojant 80 km/h greičiu įmanoma nuvažiuoti iki 130–150 (MDI 2015) kilometrų. Pagrindiniai šios sistemos privalumai: pigi gamyba ir eksploatacija, greitas rezervuarų užpildymas, lyginant su elektros baterijomis, mažos degalų kainos. Pagrindiniai trūkumai: trumpas nuvažiuojamas atstumas, didelis pavojus avarijos atveju, užpildymo metu didėjanti rezervuaro temperatūra gali sukelti sproginą (Bruehmann, Alt 2000; Johnson 1986).

Apžvelgus visus atsinaujinančius energijos šaltinius, galime konstatuoti, jog šiandien tik transporto priemonės su biodegalais ir vandeniliu gali dirbti be papildomų sistemų pagalbos. Elektrai bei pneumatikai reikalingos papildomos sistemos. Būtent šias hibridines sistemas labiausiai išstobulinę – BMW, Nissan, Toyota. Tačiau šie gamintojai labiausiai orientuojasi į elektrinius variklius, sujungtus su benziniais vidaus degimo varikliais. Tačiau Peugeot / Citroen koncernas siūlo alternatyvą, pneumatinių variklių sujungtą su dyzeliniu vidaus degimo varikliu, kuris leis su 2 litrais nuvažiuoti apie 100 kilometrų (PAS... 2015).

Pagrindinė pneumatinių transporto priemonės problema suspausto oro talpa, kuri neleidžia su vienu papildymu įveikti ilgų distancijų, todėl buvo sukurta hibridinė sistema, kur į pagrindinę magistralę sumontuotas elektrinis šildytuvai, kuris šildo orą. Minėtas įrenginys turėtų padidinti išeinantį slėgį taip sumažindamas suspausto oro išėigą ir tuo pačiu leisdamas nuvažiuoti didesnę atstumą su vienu papildymu. Žemiau pateikiami tyrimai įrodantys sukurtos sistemos veiksmingumą.

Termodinaminiai procesai vykstantys pneumatiniėje sistemoje

Magistralės tūris, kur teka oras nuo baliono iki variklio yra pastovus ($V = \text{const}$). Taikoma izochorinio proceso formulė:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \quad (1)$$

čia: p_1 – slėgis nenaudojant šildytuvo, MPa; p_2 – naudojant šildytuvą, MPa; T_1 – oro temperatūra nenaudojant šildytuvo, °K; T_2 – oro temperatūra naudojant šildytuvą, °K.

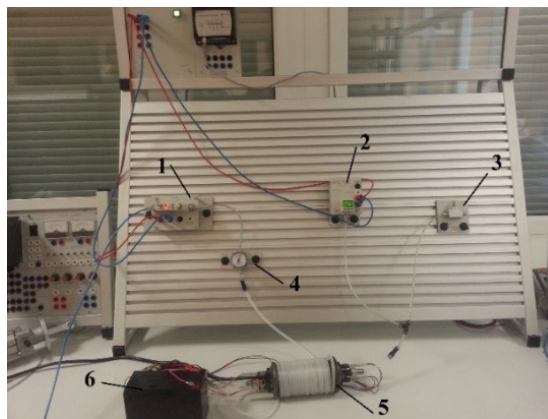
Slėgis p_2 gaunamas išsireiškus jį iš formulės (1):

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1}. \quad (2)$$

Tokiu būdu naudojant šildytuvą galima sukelti slėgį sistemoje.

Šildytuvo hidrodinaminių procesų tyrimas

Tiriama sistema pateikta 1 paveiksle: 1 – numeriu pažymėtas debito matuoklis SMC EP – 870 (1–50 l/min), 2 – slėgio matuoklis SMC EP – 860 (1–10 bar), 3 – vienos krypties vožtuvas (0,5–10 bar), 4 – slėgio daviklis IDV P – 118 (0–10 bar), 5 – oro šildytuvai, ($V = 0,21$ l), 6 – akumulatorius, (12 V, 100 Wh).



1 pav. Pneumatinė sistema su šildytuvu

Temperatūra buvo matuojama ant šildytuvo korpuso ir išėjimo magistralėje, buvo naudotas infraraudonųjų spindulių termometras su termopora DIT – 500 (2 pav.), temperatūros rėžiai nuo -50 – $999,9^\circ\text{C}$, skiriamoji geba $0,1^\circ\text{C}$, tikslumas $20\text{...}400^\circ\text{C} \pm (1,0\% \text{ m.v.} + 1^\circ\text{C})$.

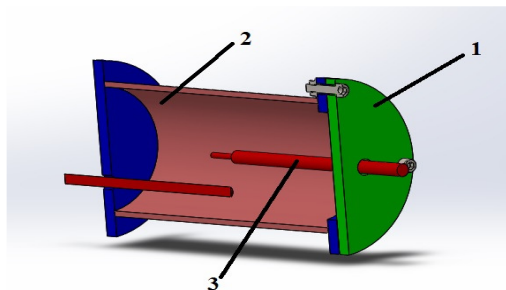
Oro šildytuvo principinė schema pateikta 3 paveiksle: 1 – flanšas, 2 – korpusas, 3 – kaitinimo žvakė NGK 7728 Y-203V, įkaitimo laikas 30 s, įkaitimo temperatūra 900°C (NGK 2015). Rezultatų patikimumui visi matavimai buvo kartojami kelis kartus, priimta, kad duomenys išsibarstę pagal normalųjį skirstinį, patikimumo intervalas priimtas ± 2 s.



2 pav. Temperatūros matavimas

Pirmas uždavinys – nustatyti sistemos slėgio nuostolius dėl įmontuoto šildytuvo, rezultatai pateikti 1 lentelėje. Slėgis sistemoje prieš šildytuvą buvo 6 bar. Kaip matyti iš 1 lentelėje pateiktų duomenų slėgis nukrito mažiau nei $0,3$ bar. Taip pat atliekant eksperimentą nustatyta, kad išilęs šildymo elemento korpusas daug šilumos atiduoda į aplinką, todėl buvo priimtas sprendimas sumontuoti pa-

pildomą oro liniją ir taip papildomai išildyti orą, tiekiami į šildytuvą. Matavimai buvo atliekami prie skirtingų debitų, pirmiausia nustatytas slėgis išėjime, kai tiekiamas 10 l/min oro debitas, o slėgis 6 bar. Po to bandymas atliktas esant 15 l/min, 20 l/min ir 25 l/min oro debitui. Visi bandymai buvo kartojami, paduodamas slėgis pastovus.



3 pav. Šildytuvo principinė schema

1 lentelė. Slėgio nuostoliai

	$Q = 10$ l/min	$Q = 15$ l/min	$Q = 20$ l/min	$Q = 25$ l/min
Vidutinis slėgis išėjime p_1 , bar	5,73	5,78	5,71	5,72
Vidutinė kvadratinė nuokrypa, s	0,018	0,031	0,054	0,058
Vidutinis slėgis išėjime su papildoma linija p_1 , bar	5,71	5,71	5,73	5,73
Vidutinė kvadratinė nuokrypa, s	0,070	0,019	0,030	0,012

Po pirmo eksperimento buvo išmatuoti slėgio nuostoliai, kai pajungta papildoma linija (1 lentelė).

1 lentelėje pateikti duomenys buvo apdoroti naudojant formulę:

$$p_{j,vid.} f \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n}, \quad (3)$$

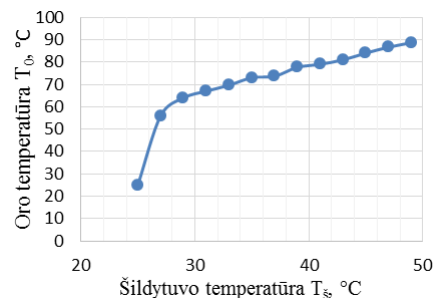
čia: p_i – i -ojo matavimo slėgis, bar; n – matavimų skaičius; $j = 10, 15, 20, 25$ – debitas.

Apskaičiuota vidutinė kvadratinė nuokrypa:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - p_{j,vid.})^2}{n}}. \quad (4)$$

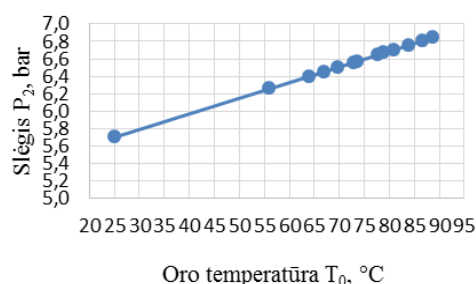
Po atliktų matavimų buvo nustatyti slėgio pokyčiai sistemoje įjungus papildomą liniją. Nustatyta, kad esant debitui 10 l/min slėgis sumažėja 0,5 %, kai debitas yra 15 l/min slėgis sumažėja 1,2 %, kai debitas yra 20 l/min, slėgis didėjo 0,3 %, kai debitas yra 25 l/min slėgis didėjo 0,2 %. Iš gautų rezultatų galima daryti išvadą, kad papildoma linija neturi reikšmingos įtakos sistemos nuostoliams, todėl ji paliekama ir tolimesnį tyrimai atliekami su papildoma pneumatine linija.

Eksperimentiniu būdu toliau gauname šildytuve pašildyto oro temperatūros priklausomybę nuo šildytuvo temperatūros.



4 pav. Išeinančio oro temperatūros priklausomybė nuo šildytuvo įšilimo laipsnio

Iš 4 pav. matyti, jog naudojant sukurtą mechanizmą galima išildyti orą iki 89° C (debitas yra 15 l/min). Gavus šiuos duomenis, galima matyti grafinę priklausomybę kuri pavaizduota 5 paveiksle. Čia skaičiuota pagal (2) formulę.



5 pav. Išeinančio slėgio priklausomybė nuo pašildyto oro temperatūros

Iš 5 paveikslą matyti, kad sukurtos sistemos dėka galima padidinti darbinį slėgį iki 6,84 barų, t. y. 20 %. Jei nebūtų vertinami slėgio nuostoliai, kurie yra pateikti 1 lentelėje. Tačiau jei vertinama slėgio nuostolių dalis, tada sistemos efektyvumas – 14 %.

Keičiant išėjimo debitą, šildomo oro temperatūra mažės, tačiau tai galima eliminuoti, keičiant šildymo elementų veikimo intervalus.

Atlikę eksperimentinius bandymus buvo nustatyta, kad sukurta sistema veiksminga. Po šių bandymų galima teigti, jog verta ją naudoti pneumatiniėje transporto priemonėje. Šio įrengimo dėka galima nuvažiuoti didesnę atstumą su vienu papildymu. Tačiau šis šildytuvai turi ir trūkumų, vienas didžiausių jų – šiluminiai nuostoliai.

Norint tobulinti šį įrenginį, reikia izoliuoti jį šilumai nelaidžia medžiaga. Taip pat galima parinkti kitokio tipo šildymo elementus, kurių įkaitimo temperatūra būtų didesnė. Yra galimybė sudėti temperatūrinius jutiklius, kurie reguliuotų elementų veikimo intervalą siekiant palaikyti optimalią šildymo temperatūrą.

Išvados

Sukurtas pneumatinės sistemos šildytuvai. Pasiūlytas įrenginys yra veiksmingas. Nustatyta, kad šildytuvai pakelia slėgį pneumatiniėje sistemoje iki 6,84 bar. Tai yra 14 % padidintas išeinantis iš šildytuvo slėgis, kai tiekiamas suspausto oro debitas – 15 l/min. Gavus tokius rezultatus galima teigti, jog šis įrenginys leis nuvažiuoti didesnę atstumą su vienu papildymu.

Atliekant eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad Atliekant eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad Jeigu šildymas nevyksta reikia šildytuvą atjungti nuo bendros sistemos.

Literatūra

- Nye, D. E. 1992. *Electrifying America: Social Meanings of a New Technology*, MIT Press, p. 1880–1940.
- Chau, K. T.; Chan, C. C. 2001. *Modern electric vehicle technology*. Oxford science publications.
- Farmann, A.; Waag, W.; Marongiu, A.; Sauer, D. U. 2015. Critical review of on-board capacity estimation techniques for lithium-ion batteries in electric and hybrid electric vehicles, *Journal of Power Sources* 281: 114–130.
- Zhang, Z.; Hu, C. 2014. System design and control strategy of the vehicles using hydrogen energy, *International Journal of Hydrogen Energy* 39: 12973–12979.
- Pearl Hydrogen [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2015 m. kovo 28 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.pearlhydrogen.com/index.php/news-detail/items/new-hydrogen-fuel-cell-bike-unveiled-in-shanghai.html>>.
- NASA [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2015 m. kovo 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.nasa.gov/topics/technology/hydrogen/fc_shuttle.html>.
- Wakefield, E. H. 1998. *History of the Electric Automobile – Hybrid Electric Vehicles*, Vol. 187.
- Lazauskas, S.; Dzenajavičienė, E. 2011. Biodegalai: naudojimas ir aplinkosauga [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 28 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.agroakademija.lt/inzinerija/energetika/?SID=209>>.
- Sims, R. E.; Mabee, W.; Saddler, J. N.; Taylor, M. 2010. An overview of second generation biofuel technologies, *Bioresource technology* 101(6): 1570-158.
- Lietuvos energetikos institutas [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2015 m. kovo 28d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.lei.lt>>.
- Thipse, S. S. 2008. Compressed air car, *Tech Monitor* 1(2): 33–37.
- PHYS [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2015 m. kovo 27 d.]. Prieiga per internetą: <<http://phys.org/news/2011-09-toyota-three-wheeler-mph-compressed-air.html>>.
- MDI [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2015 m. kovo 28 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.mdi.lu/telechargements/Doc%20tech%20Airpod%20-%20Airpod%20specs%202014.pdf>>.
- Bruehmann, W.; Alt, M. 2000. U.S. Patent No. 6,089,831. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Johnson, J. M. 1986. U.S. Patent No. 4,596,119. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- PSA – PEUGEOT – CITROEN [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2015 m. kovo 28d.]. Prieiga per internetą: <http://www.psa-peugeot-citroen.com/sites/default/files/content_files/press-kit_hybrid-air_en.pdf>.
- NGK [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2015 m. kovo 30 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.ngk.com/Automotive-NGK-I1411.aspx>>.