

KETURTAKČIO VIDAUS DEGIMO VARIKLIO EFEKTYVUMO DIDINIMAS
NAUDOJANT VANDENILĮ KAIP KURO PRIEDĄ

Andrius Kaizevičius

VGTU AGAI Aviacinės mechanikos katedra

El. p. andrius.kaizevicius@gmail.com

Santrauka. Šiuo metu vienas pagrindinių tikslų yra neorganinių alternatyvių kuro šaltinių paieška ir jų gavimas, kurie turėtų teigiamos įtakos kuro kainų ir aplinkos užterštumo mažėjimui. Vienas galimų variantų yra elektrolizės būdu gauto vandenilio naudojimas.

Norint įvertinti elektrolizės būdu gauto vandenilio poveikį benzininio vidaus degimo variklio degimo procesui, buvo atlikti praktiniai bandymai. Bandymams naudotas vieno cilindro atmosferinis vidaus degimo variklis, maitinamas benzinu. Tyrimo metu buvo keičiami šie parametrai: variklio apkrova, variklio darbinės apsukos. Atlikus bandymus buvo nustatytos šios optimaliausios variklių charakteristikos: variklio šiluminis naudingumo koeficientas, savitasis kuro suvartojimas, stabdymo šiluminis naudingumo koeficientas, stabdymo savitasis kuro suvartojimas ir apskaičiuoti kuro sąnaudų pokyčiai.

Reikšminiai žodžiai: vandenilis, vidaus degimo variklis, kuro sąnaudos, variklio charakteristikos.

1. Įvadas

Per pastaruosius dešimt metų ypač aktyviai pradėta ieškoti alternatyvų iškastiniam kurui. Pagrindinis šių paieškų tikslas yra sumažinti finansines išlaidas ir transporto sektoriaus išmetamų dujų kiekį. Buvo pradėta plačiai naudoti tokius iškastinio kuro pakaitalus kaip biodyzelį, etanolį, butanolį, metanolį, vandenilį ir kitus.

Transporto sektoriuje pradėtos eksploatuoti transporto priemonės su hibridiniais (vidaus degimo ir elektriniais) varikliais. Hibridinį variklį sudaro dvi jėgainės, kurias derinant įmanoma pasiekti didelę galią, sukimo momentą bei sumažinti kuro suvartojimą. Pagrindinis hibridinių variklių trūkumas yra brangūs papildomi elementai, tokie kaip akumulatoriai, valdikliai ir t.t. Vandenilio naudojimas su skystuoju kuru vidaus degimo varikliui maitinti taip pat leidžia vadinti naudojamą variklį hibridiniu. Sunkumų kyla dėl vandenilio saugojimo ir transportavimo pavojaus. Be to, variklis turi būti pritaikytas kitokiai kuro rūšiai, kadangi vandenilio charakteristikos skiriasi nuo šiuo metu naudojamo skystojo kuro (benzino, dyzelino).

Vienu „švariausių“ kuru galima laikyti vandenilį. Jis pasižymi tuo, kad degimo metu į aplinką neišmeta tokių žalingų dujų, kaip anglies monoksidas ir dioksidas. Vandenilio kinetinės energijos vertė yra 2,72 karto didesnė už benzino (vandenilio – 121 MJ/kg, benzino – 44,4 MJ/kg). Pagrindinė vandenilio panaudojimo problema yra kaip ir anksčiau paminėtojo biokuro – brangi gavyba, sudėtingas transportavimas ir laikymas. Vienas iš būdų gaminti vandenilį yra elektrolizė. Vandenilio elektrolizė leidžia atsikvoti saugojimui ir transportavimui reikalingų talpų, nes elektrolizės būdu gaunamas vandenilis gali būti iš karto panaudojamas vidaus degimo variklio degimo procese. Manoma, kad ateityje vandenilis gali tapti pagrindiniu didelį energijos kiekį turinčiu kuru, kuris degdamas į aplinką neišmeta kenksmingų medžiagų. Per paskutinius

kelis dešimtmečius buvo pademonstruota, kad vandenilis gali būti panaudotas transporto sektoriuje energijos generavimui bei šildymui.

2. Vandenilio, kaip kuro, savybės

Vandenilis, naudojamas kaip kuras arba jo priemaiša, pasižymi šiomis savybėmis (Cassidy 1977: 1–38):

- **Plati degimui reikalinga oro ir kuro mišinio amplitudė.** Lyginant su kitais degimui naudojamais produktais vandenilis gali sudaryti nuo 5 iki 95% degiojo mišinio. Vienas pagrindinių vandenilio, kaip kuro pridedo, privalumų yra tai, kad gali būti naudojamas liesesnis pagrindinio kuro mišinys, kadangi vandenilis turės geras degimo savybes ir padės sudegti kuro mišiniui. Dėl lieso mišinio kuro suvartojama mažiau.
- **Maža kuro mišinio uždegimui reikalinga energija.** Vandeniliui uždegti reikalinga dešimt kartų mažesnė energija nei benzinui. Ši savybė leidžia uždegti paliesintą kuro ir oro mišinį, taip sumažinant kuro sąnaudas;
- **Aukšta savaiminio užsidegimo temperatūra.** Vandenilis turi pakankamai aukštą savaiminio užsiliepsnojimo temperatūrą. Ši savybė yra svarbi, kai vandenilio ir kuro mišinys yra slegiami variklio cilindre. Dėl aukštos savaiminio užsiliepsnojimo temperatūros variklio suspaudimo laipsnis gali būti padidintas. Didinant suspaudimo laipsnį didėja kuro mišinio temperatūra.
- **Didelis liepsnos sklaidimo greitis esant stochiometriniam kuro ir oro santykiui mišinyje.** Esant stochiometriniam kuro santykiui vandenilio liepsnos plitimo greitis yra dešimt kartų didesnis nei benzino. Tai reiškia, kad naudojant vandenilį kaip kuro priedą, kuro mišinys gali būti sudegintas efektyviau.
- **Aukštas difuziškumas.** Vandenilis pasižymi labai aukštu difuziškumu. Ši savybė leidžia vandeniliui efektyviai susimaišyti su kuro mišiniu. Esant vandenilio du-

jų nuotėkui kuro tiekimo sistemoje jis išsisklaido ore, todėl sumažėja užsiliepsnojimo tikimybė.

- **Mažas tankis.** Mažas vandenilio tankis sukelia problemas, susijusias su jo saugojimu ir transportavimu. Palyginus vandenilį su benzinu, jis turi mažesnę energiją pagal tūrio vienetą (pagal masės vienetą vandenilio energija yra 2,72 karto didesnė už benzino energiją).

Vandenilio, benzino ir dyzelino cheminės ir fizikinės savybės matyti 1 lentelėje.

1 lentelė. Fizikinės ir cheminės kuro savybės

Table 1. Physical and chemical characteristics of fuel

Kuro savybės	Benzinas	Dyzelinas	Vandenilis
Molekulinė masė (kg/kmol)	114,18	200	2,02
Molinis C/H santykis	0,445	0,45	0
Tankis (g/cm ³)	0,73	0,86	0,07
Mažiausia šiluminė reikšmė (MJ/kg)	41-44	43	119,93
Stechiometrinis oro/kuro santykis	14,7	14,7	34,32
Savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra (K)	501-744	588	858
Oktaninis (cetaninis) skaičius	91-100	40-55	130
Laminarinis liepsnos greitis (m/s)	0,37	nėra duomenų	1,90
Difuzijos koeficientas (cm ² /s)	0,05	nėra duomenų	0,61

3. Vandenilio elektrolizės procesas

Vandenilio elektrolizės procesas – tai elektrocheminis procesas, kuris vyksta tarp elektrodų, sujungtų su srovės šaltiniu, elektros srovei tekant per elektrolito tirpalą.

Elektrolizės procesas buvo atrastas prieš daugiau nei 200 metų (1800 m.), kai anglų chemikui Viljamui Nikolsonui ir vokiečių chemikui Johanui Riteriui pavyko iš vandens išskirti vandenilį ir vandenį. Šiuo metu elektrolizės būdu gaunamas vandenilis sudaro apie 4% viso pasaulyje išgaunamo vandenilio.

Tarp elektrodų atsiradus elektriniam laukui elektrolitu pradeda tekėti jonų judėjimo sukurta elektros srovė. Elektrinio lauko veikiami teigiami jonai juda katodo link, kai tuo tarpu neigiami jonai – anodo link. Ant elektrodų iš jonų yra absorbuojami ir išskiriami elektronai (priklausomai nuo elektrodo krūvio). Reakcijos metu teigiamas elektrodas išskiria deguonį, o neigiamas – vandenilį. Tarp elektrodų vykstančios reakcijos sudaro bendrą elektrolizės metu vykstančią reakciją. Principinė elektrolizės veikimo schema yra pavaizduota 1 paveiksle (Young 2008: 11).

Kiekybinius santykius tarp perėjusio elektros krūvio ir sureagavusių medžiagų kiekio aprašo Faradėjaus elektrolizės dėsniai:

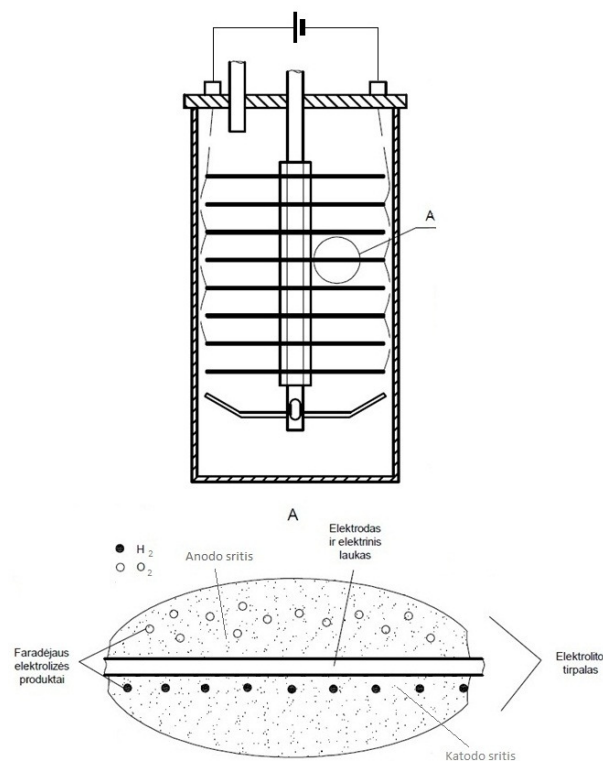
- **Pirmasis Faradėjaus elektrolizės dėsnis** – elektrolizės metu išsiskyrusių ant elektrodų medžiagų masė tiesiogiai proporcinga pro elektrolitą tekėjusiam elektros srovės kiekiui.

- **Antrasis Faradėjaus elektrolizės dėsnis** – pro skirtingus elektrolitus pratekėjus tam pačiam elektros krūviui, kiekvieno elemento, išsiskyrusio ant elektrodų, molekulių skaičius atvirkščiai proporcingas jono krūvio dydžiui.

Bandymų metu buvo nustatyta, kad efektyviausiai elektrolito funkciją atlieka kalio hidroksidas (KOH) ir natrio hidroksidas (NaOH), kurie nesukelia žalingos šalutinės reakcijos. Be to, atlikdamos elektrolito funkciją, šios medžiagos elektrolizės metu nėra eikvojamos ir nepatenka į vidaus degimo variklį.

Vandenilio elektrolizės efektyvumas priklauso nuo daugybės veiksnių – elektros šaltinio įtampos, jo srovės,

aplinkos slėgio ir temperatūros, medžiagų, naudojamų elektrodams ir elektrolito tirpalui bei cheminės sudėties. Atsižvelgiant į šiuos veiksnius elektrolizės efektyvumas siekia 50–95%.



1 pav. Elektrolizės veikimo schema

Fig. 1. Electrolysis operation scheme

Paprastai bandymai pradedami suprojektuojant ir pagaminant vandenilio elektrolizės aparatą. Elektrolizės aparatas yra maitinamas nuolatine elektros srove, kuri yra tiekiamas iš elektros srovės šaltinio.

Toliau reikia apskaičiuoti išsiskyrusio vandenilio ir deguonies mišinio kiekį, kuris pakeis atmosferinį orą degimo proceso metu: į elektrolizės aparatą tiekiamos elektros srovės ir įtampos reikšmės – 10 A, 12 V, taigi per vieną valandą elektrolizės aparatas suvartoja 120Wh. Tyrimo metu per 1 valandą buvo sunaudota 10 g vandens. Išsiskyrusių dujų tūris ir masė apskaičiuojami (Young 2008: 26):

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{10g}{1h} = 10 \frac{g}{h}; \quad (1)$$

$$\dot{m}_{H_2} = 1,25 \frac{g}{h}; \quad (2)$$

$$\dot{m}_{O_2} = 8,75 \frac{g}{h}; \quad (3)$$

$$\dot{v}_{H_2} = 13,89 \frac{L}{h}; \quad (4)$$

$$\dot{v}_{O_2} = 6,78 \frac{L}{h}; \quad (5)$$

Šie skaičiavimai rodo, kad elektrolizės metu per valandą išskiria 20,67 L vandenilio ir deguonies dujų. Kadangi variklio oro poreikis svyruoja nuo 150 iki 500 L per vieną

minutę, šis vandenilio ir deguonies dujų kiekis atrodo nereikšmingas.

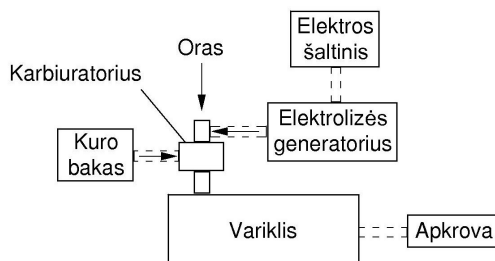
4. Vidaus degimo variklio charakteristikos

Bandymai buvo atlikti su NEVA keturtakčiu vieno cilindro oru aušinamu benzininiu varikliu, kurio darbinis tūris yra 317 cm^3 . Variklio suspaudimo laipsnis yra 6,85, cilindro skersmuo – 76 mm, stūmoklio eiga – 70 mm. Variklio alkūninis velenas sukasi prieš laikrodžio rodyklę.

Maksimali galia pasiekama esant 3200 aps/min. Ji siekia 5,89 kW (8 ag). Eksploatacinės galios dydis yra 4,4 kW (6,2 ag) esant 2800 aps/min.

Maksimalus sukimo momentas pasiekiamas esant 2500 aps/min. Jo dydis siekia 15,7 Nm (1,6 kgm). Minimalios darbinės apskukos – 1200 aps/min.

Atliekant praktinius bandymus variklis buvo sujungtas su vandenilio elektrolizės aparatu bei apkrova (panaudotas stūmoklinis oro siurblys). Elektrolizės būdu gautos vandenilio ir deguonies dujos buvo tiekiamos prieš karbiuratorių. Bandymų stendo schema matyti 2 paveiksle.



2 pav. Bandymų stendo schema

Fig. 2. Scheme of test stand

Bandymo metu buvo nustatytos variklio kuro sąnaudos kintant darbinėms apskukoms. Kuro sąnaudos per laiko vienetą matyti 2 lentelėje.

Tyrimo metu atliekant teorinius ir praktinius skaičiavimus buvo apskaičiuotos pagrindinės variklio charakteristikos.

2 lentelė. Kuro sąnaudos

Table 2. Fuel consumption

Variklio apskukos, aps/min	Kuro sąnaudos, g/sek
1000	0,196
1500	0,292
2000	0,387
2500	0,489
3000	0,584
3500	0,677

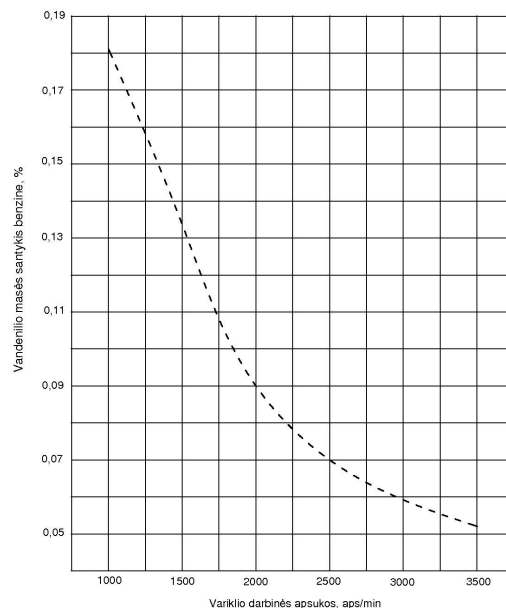
3 ir 4 paveiksluose matyti procentinis vandenilio masės santykis su benzinu bei gautųjų elektrolizės dujų (vandenilio ir deguonies) tūrinis santykis su degiuoju mišiniu.

Teorinė variklio galia apskaičiuojama pagal gamintojo deklaruojamą sukimo momentą. Teorinė galios reikšmė yra reikalinga tolesniems variklio charakteristikų skaičiavimams.

Skaičiavimai atliekami pagal formulę (Rahman *et al.* 2009: 2):

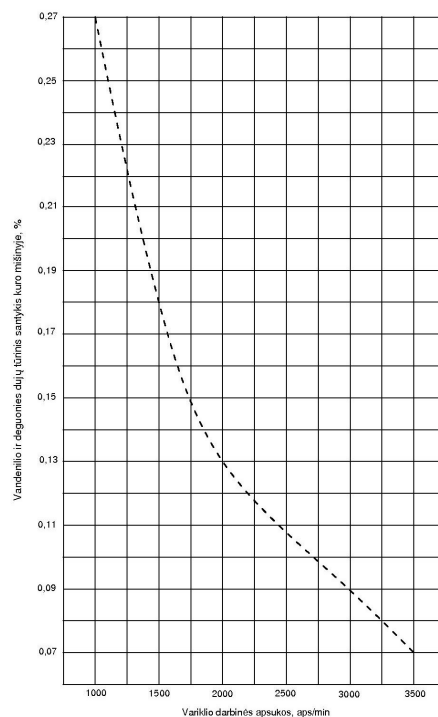
$$W = w \cdot T = (2\pi \cdot N) \cdot T, \quad (6)$$

čia w yra alkūninio veleno kampinis greitis rad/s ; N – variklio darbinės apskukos aps/s ; T – deklaruojamas variklio sukimo momentas Nm .



3 pav. Vandenilio masės dalis mišinyje su benzinu

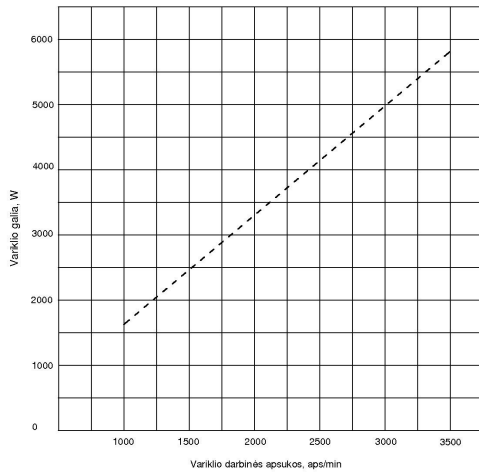
Fig. 3. Hydrogen mass part in gasoline mixture



4 pav. O_2 ir H_2 dujų tūrio dalis mišinyje su kuro mišiniu

Fig. 4. O_2 and H_2 gas volume part in fuel mixture

Variklio galios reikšmės pagal darbinės apskukos matyti 5 paveiksle. Svarbu paminėti, kad teorinės galios reikšmės pokytis yra linijinis, todėl kreivė nėra tiksli esant ypač žemoms (dėl nestabilaus kuro mišinio degimo) ir aukštoms (dėl atsiradusių trinties nuostolių) variklio apskukoms.



5 pav. Galios priklausomybė variklio darbinų apskukų
Fig. 5. Engine power dependence on operating speeds

Variklio stabdymo vidutinis efektyvusis slėgis (VSVES) yra apskaičiuojamas kaip santykis tarp stabdymo darbo per vieną ciklą W_{stabd} ir variklio tūrinio pokyčio per vieną ciklą V_{darb} . Skaičiavimo formulė gali būti pritaikyta keturių taktų varikliui:

$$VSVES = \frac{W_{stabd}}{V_{darb}} = \frac{2P_{stabd}}{NV_{darb}} = \frac{P_{stabd}}{\dot{V}_{dis}}, \quad (7)$$

čia P_{stabd} yra stabdymo galia W .

Žinant variklio sukimo momentą, VSVES darbinų apskukų ruožas apskaičiuojamas pagal formulę (Rahman *et al.* 2009: 2–3):

$$VSVES = \frac{2\pi \cdot T \cdot n_c}{V_d}, \quad (8)$$

čia n_c yra revoliucijų skaičius per ciklą (keturtakčiui varikliui = 2); V_d – variklio darbinis tūris l.

Toliau apskaičiuojamas VSVES:

$$VSVES = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15,7 Nm \cdot 2}{0,3174 l \cdot 10^{-3}} = 621272 Pa = 621,27 kPa.$$

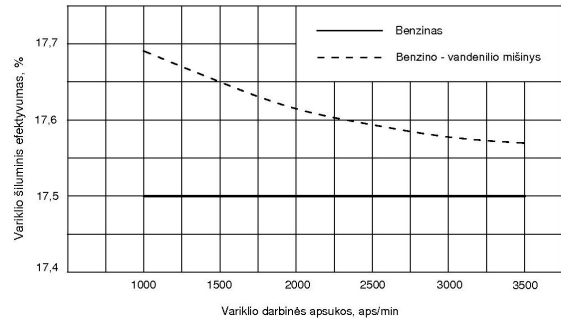
Variklio šiluminis naudingumo koeficientas rodo atlikto naudingojo mechaninio darbo ir suvartotos vidinės kuro energijos santykį. Otto ciklui šiluminis naudingumo koeficientas yra išreiškiamas per formulę (Young 2008: 8):

$$\eta_{\text{šilum}} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Koeficiento reikšmė didėja didinant variklio suspaudimo laipsnį. γ reikšmė benzinui yra 1,1, kai tuo tarpu vandeniliui – 1,4. Tai patvirtina, kad šiluminis efektyvumas, naudojant vandenilį, bus aukštesnis. Didesnį efektyvumą galima paaiškinti paprastesne vandenilio molekulos struktūra, kuri degimo procesą padaro efektyvesniu. Vienas iš aukštos savaiminio uždegimo temperatūros trūkumų yra sudėtingumas uždegti vandenilį slėgimo metu, todėl tam reikalinga aukšta temperatūra. Ši problema aktualiausia dyzeliniuose varikliuose, kai tuo tarpu benzininiuose varikliuose degųjų mišinį uždega uždegimo žvakės sukelta kibirkštis. Uždegto vandenilio liepsnos sklaidimo greitis yra beveik dešimt kartų didesnis už benzino. Tai leidžia

pasiekti geresnį teorinį šiluminį efektyvumą, kadangi sumažėja aplinkos sukelti nuostoliai.

Žinant tyrimo metu gautų benzino ir vandenilio sąnaudas galima apskaičiuoti $\eta_{\text{šilum}}$. Gautosios variklio naudingumo koeficiento reikšmės, gautos priklausomai nuo darbinų apskukų, matyti 6 paveiksle.



6 pav. Variklio šiluminio naudingumo koeficiento priklausomybė nuo darbinų apskukų
Fig. 6. Engine thermal efficiency dependence on operating speeds

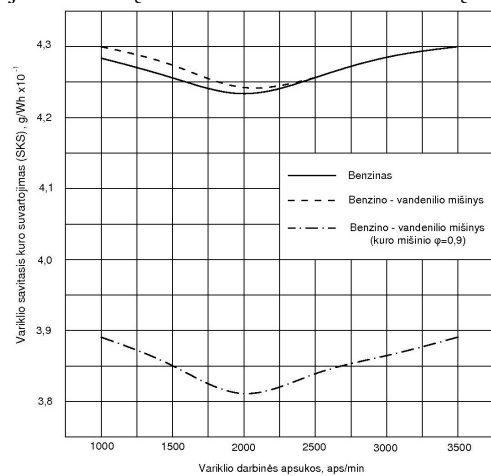
Variklio darbo metu kaip kurą naudojant benziną naudingumo koeficientas išlieka pastovus visame darbinų apskukų ruože, kai tuo tarpu vandenilio dujų priedas padidina γ reikšmę, o tuo pačiu – ir variklio naudingumo koeficientą. Kadangi vandenilio kiekis visame variklio apskukų ruože išlieka pastovus, jo priedas didžiausią įtaką turi esant žemoms variklio apskukoms.

Savitasis kuro suvartojimas (SKS) apibūdina variklio suvartojamo kuro efektyvumą galios vienetui. SKS yra apskaičiuojamas pagal formulę (Shahad 2011: 2):

$$SKS = \frac{(\dot{m}_{benz} + \dot{m}_{H_2}) \cdot 3600}{P}, \quad (10)$$

čia $\dot{m}_{benz}$ yra benzino, pratekančio per laiko vienetą, masė kg/s ; $\dot{m}_{H_2}$ – vandenilio, pratekančio per laiko vienetą masė kg/s .

7 paveiksle matyti skaičiavimo rezultatų palyginimas naudojant benziną ir benzino – vandenilio mišinį.



7 pav. Savitojo kuro suvartojimo priklausomybė nuo darbinų apskukų
Fig. 7. Specific fuel consumption dependence on operating speeds

Kaip matyti, žemų variklio apskukų ruože naudojant benzino – vandenilio mišinį SKS yra padidėjęs. Siekiant maksimalaus variklio efektyvumo ir ekonomiško, šiame apskukų ruože galima liesinti degųjų mišinį, t. y. mažinti kuro mišinio stochiometrinį santykį ($\varphi < 1$).

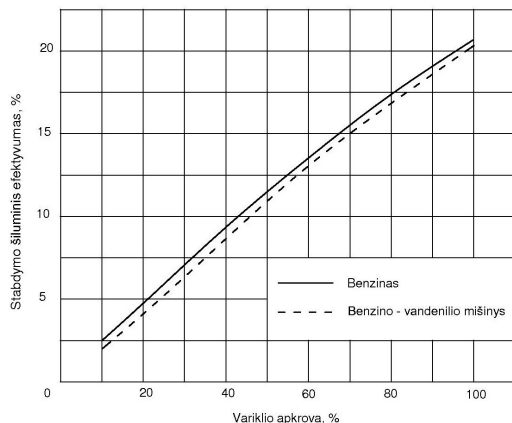
Kaip pavyzdį apskaičiuojame SKS naudojant kuro mišinį su vandeniliu, kurio stochiometrinis santykis $\varphi = 0,9$. Šis pavyzdys rodo, kad tiekiamo vandenilio kiekis nėra pakankamas, kad darytų didelę įtaką kuro suvartojimui, kadangi pagal teorinius skaičiavimus, stochiometrinis mišinys negali būti pakankamai sumažintas.

Matyti, kad savitasis kuro suvartojimas (SKS) vidutinių apskukų ruože (1500-2500 aps/min) yra mažiausias. Dažniausiai šiame apskukų ruože variklio sukimo momentas yra didžiausias. Padidėjęs SKS žemų apskukų ruože (iki 1500 aps/min) gali būti paaiškinamas sumažėjusiu uždegto kuro mišinio liepsnos stabilumu, tuo tarpu aukštesnių apskukų ruože (virš 2500 aps/min) SKS mažėja dėl padidėjusios trinties tarp variklio dalių.

Variklio stabdymo šiluminis efektyvumas η_{stabd} yra apibūdinamas kaip santykis tarp stabdymo galios P_{stabd} ir kuro energetinės vertės (LCV) (Shahad 2011: 3):

$$\eta_{stabd} = \frac{P_{stabd}}{\dot{m}_{benz} \cdot (LCV)_{benz} + \dot{m}_{H_2} \cdot (LCV)_{H_2}} \quad (11)$$

Skaičiavimai atliekami pagal praktiniu būdu išmatuotas kuro sąnaudas apskukų ruože, kuriame sukimo momentas yra aukščiausias ir variklis dirba efektyviausiai. Kuro energetinės vertės reikšmės paimtos iš žinytų. Matuojama stabdymo galia. Skaičiavimo rezultatai matyti 8 paveiksle.



8 pav. Variklio stabdymo šiluminio efektyvumo priklausomybė nuo apkrovos

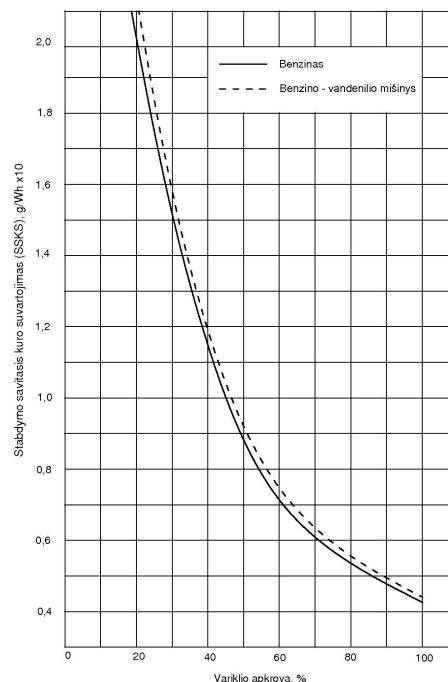
Fig. 8. Engine Brake thermal efficiency dependence on load

Matyti, kad didžiausias variklio stabdymo šiluminis efektyvumas yra esant aukščiausiomis apkrovoms ir mažėja mažėjant apkrovai. η_{stabd} naudojant benzina yra didesnis nei η_{stabd} naudojant benzino–vandenilio mišinį – tai galima paaiškinti aukšta vandenilio energetine verte. Stabdymo savitasis kuro suvartojimas (SSKS) yra apskaičiuojamas žinant kuro tekėjimo debitą $\dot{m}_{benz} + \dot{m}_{H_2}$ ir esant stabdymo galiai P_{stabd} (Shahad 2011: 2):

$$SSKS = \frac{\dot{m}_{benz} + \dot{m}_{H_2}}{P_{stabd}} \quad (12)$$

SSKS skaičiavimo rezultatai matyti 9 paveiksle.

Kaip ir SKS, stabdymo savitojo kuro suvartojimo reikšmė didžiausia yra naudojant benzino – vandenilio mišinį. Siekiant didžiausio variklio ekonomiško, kuro mišinį galima liesinti ($\varphi < 1$). SSKS didėja mažinant variklio stabdymo apkrovą todėl, kad prastėja kuro sunaudojimas galios vienetai.



9 pav. Variklio stabdymo savitojo kuro suvartojimo priklausomybė nuo apkrovos

Fig. 9. Engine brake specific fuel consumption dependence on loads

4. Išvados

Tyrimu nustatyta, kad vandenilio priedas kuro mišinyje turi teigiamos įtakos variklio charakteristikų gerinimui. Tačiau bandymų metu naudoto vandenilio kiekis yra per mažas, kad būtų galima atlikti tolesnį variklio reguliavimą ir pritaikymą vandenilio naudojimui, t. y. uždegimo kampo ir kuro mišinio stochiometrinės reikšmės reguliavimą.

Tiriamąjį darbo išvados:

- Naudojant vandenilį kaip kuro priedą didėja variklio šiluminio naudingumo koeficiento $\eta_{šilum}$ reikšmė. Didžiausia $\eta_{šilum}$ reikšmė pasiekama esant žemoms variklio apskukoms, kadangi, didinant variklio apskukas, reikia didinti kuro mišinio kiekį per laiko tarpą. Tuo tarpu vandenilio įmaišymas į kuro mišinį tampa mažiau reikšmingu, nes elektrolizės metu gaunamas pastovus vandenilio ir deguonies dujų kiekis.
- Savitasis kuro suvartojimas (SKS) naudojant benzino – vandenilio mišinį padidėja variklio žemų ir vidutinių apskukų ruože (iki 2500 aps/min). Siekiant maksimalaus variklio efektyvumo ir ekonomiško šiame apskukų

ruože galima liesinti degųjų mišinį, t. y. mažinti kuro mišinio stochiometrinį santykį ($\varphi < 1$).

- Variklio stabdymo šiluminis efektyvumas η_{stabd} didėja didinant apkrovą. η_{stabd} efektyvumas naudojant benzina yra aukštesnis nei naudojant benzino – vandenilio mišinį, kadangi sumažėjimui įtakos turi aukšta vandenilio energetinė vertė.

Stabdymo savitojo kuro suvartojimo (SSKS) reikšmė yra didžiausia naudojant benzino – vandenilio mišinį. Siekiant didžiausio variklio ekonomiškumo, kuro mišinį galima liesinti ($\varphi < 1$). SSKS didėja mažinant variklio stabdymo apkrovą todėl, kad prastėja kuro panaudojimas galios vienetui.

Literatūra

- Cassidy, J. F. 1977. *Emissions and Total Energy Consumption of a Multicylinder Piston Engine Running on Gasoline and a Hydrogen-Gasoline Mixture*. National Aeronautics and Space Administration, USA.
- Rahman, M. M.; Noor, M. M.; Kadrigama, K., et al. 2009. Study of air fuel ratio on engine performance of direct injection hydrogen fueled engine, *European Journal of Scientific Research* 34(4).
- Shahad, H. A. K. 2011. *Experimental Investigation of the Effect of Hydrogen Manifold Injection on the Performance of Compression Ignition Engines*. World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Young, J. 2008. *Hydrogen Injection into Diesel Engines for Fuel Efficiency Improvement*. Perth: Murdoch University.

RESEARCH OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE EFFICIENCY INCREASE USING HYDROGEN AS FUEL ADDITIVE

A. Kaizevičius

Summary

Nowadays there is a need for new non-organic based fuel source, which would decrease fuel prices and emission level. One of possibilities to achieve those results is to use hydrogen produced by electrolysis. Experiments were carried out to evaluate the influence of hydrogen addition to inlet air on performance of petrol engine. Fuel consumption, exhaust gas temperature and other parameters have been established during practical experiments. These parameters were used in theoretical calculations to establish following parameters: engine thermal efficiency, specific fuel consumption, engine brake thermal efficiency, engine brake specific fuel consumption.

Keywords: Internal combustion engine, hydrogen, fuel consumption, engine characteristics