



Vojaško vozilo SV z vgrajenim agregatom na gorivne celice

AGREGAT NA GORIVNE CELICE V UPORABI V SV

Besedilo: Janko Petrovčič, Vladimir Jovan in Aleš Svetek
Fotografiji: inž. Marjan Smerke

Ob koncu leta 2008 so sodelavci Instituta Jožef Stefan končali vgradnjo agregata na gorivne celice moči 7 kW v namensko vojaško vozilo in ga predali v uporabo pripadnikom Slovenske vojske. V Sloveniji je to velika novost. Agregat je prevzela enota SV iz Grosuplja, pripadniki te enote pa so začeli preizkušanje delovanja agregata v različnih razmerah. Nizke januarske temperature so bile zelo primerne za preizkus delovanja v hudem mrazu. Vozilo z vgrajenim agregatom na vodik pomeni za uporabnika veliko prednosti, kot so malo vidna infrardeča slika, večja avtonomnost, malo hrupa in večja hitrost vzpostavitve delovanja.

MO kupilo agregata na gorivne celice
Predelava in vgradnja komercialnega agregata na gorivne celice sta bili le dve izmed aktivnosti pri spoznavanju ter uvajanju vodikovih tehnologij, kar je potekalo v okviru raziskovalnega projekta HYMIV. Financiralo ga je Ministrstvo za obrambo prek Agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Pri spremljajočih raziskavah je sodelovalo več slovenskih podjetij in raziskovalnih ustanov. Ministrstvo za obrambo je leta 2007 kupilo sistema na gorivne celice kanadskega proizvajalca Hydrogenics. Prvi sistem je bil prenosni agregat z močjo 7 kW, ki vsebuje tudi visokotlačno posodo za vodik, drugi pa poleg gorivnih celic še enoto za pretvorbo električne energije v vodik oziroma elektrolizer ter metal-hidridni shranjevalnik vodika. To sta maloserijski napravi, ki sta namenjeni preverjanju zmogljivosti in omejitev tehnologije nizkotemperaturnih gorivnih celic pri uporabi v vojaških sistemih kopenskih enot.

Enake sisteme so preizkušali tudi v ameriški in kanadski vojski.

SV je dala na voljo eno izmed vozil s kontejnersko nadgradnjo zeppelin. V tem zabojniku naj bi napajanje elektronskih naprav za elektronsko izvidništvo in protielektronsko bojevanje zagotavljal novi agregat na gorivne celice. Z vgradnjo agregata na gorivne celice v ta sistem bi tako izkoristili dve izmed bistvenih prednosti te sodobne tehnologije, in sicer nizkošumno delovanje ter malo vidno infrardečo sliko. Za vgradnjo v zabojnik je bil izbran agregat z visokotlačno posodo za vodik, ki je bil razvit za prenosno uporabo. Pri preučitvi njegovih lastnosti in zgradbe je bilo ugotovljeno, da brez predelave ne bi bil primeren za neposredno vgradnjo v zabojnik.

Najpomembnejše omejitve za vgradnjo so bile:

- morebitno puščanje vodika iz visokotlačnih napeljav in komponent agregata bi v zaprti kabini, ki je opremljena z vodotesnimi in radiofrekvenčnimi tesnili, povzročila hiter presežek vodika v zraku in s tem nevarnost požara ali eksplozije;
- nizke zunanje temperature bi povzročile zamrznitev hladilne tekočine oziroma deionizirane vode in zamrznitev proizvedene vode v gorivnih celicah in tako trajno uničenje gorivnega sklada;
- velikost agregata je bila nekoliko večja od prostora v energetske bloku zabojnika, ki sicer ni bil načrtovan za vgradnjo tovrstnega agregata;
- v zabojnik vgrajeni električni energetski sistem ni bil načrtovan in prilagojen za priključitev agregata na gorivne celice.

Te neskladnosti so bile odpravljene s predelavo prenosnega agregata in vgradnjo novih funkcionalnih sklopov.

Zaščita in varnost agregata

Za zagotovitev varnosti pred previsoko koncentracijo vodika je pod strop kabine nameščen merilnik koncentracije vodika, ki je povezan z dodatnim varnostnim ventilom. Visokotlačni del sistema z 200 bari in varnostni ventil sta nameščena na zunanosti

Osnovne lastnosti vgrajenega agregata:

- sistem gorivnih celic: nizkotemperaturne gorivne celice PEM,
- gorivo: vodik čistoče 99,999 %,
- nazivna napetost sklada: 55-73 V, tipično 63 V, 79 celic,
- nazivni tok sklada: 150 A,
- nazivna moč: 7 kW,
- izkoristek: ~50 %,
- izhodna napetost agregata: 24-28 V,
- maksimalni izhodni tok: 230 A,
- hlajenje sklada: eionizirana voda v primarnem krogu, etilenglikol v sekundarnem krogu, zračno hlajenje radiatorja,
- delovna temperatura sklada: 50-65 °C.

kabine, zato morebitno puščanje ne ogroža varnosti. Pri presežku deset odstotkov spodnje vžigne koncentracije (0,4 vol. %) merilnik koncentracije izklopi napajanje varnostnega ventila in tako prepreči nastanek nevarnosti. Vgrajeni alarmni sistem sproži notranji svetlobni in zvočni signal, po izboru lahko vključi tudi zunanji zvočni signal ter pošlje sporočilo SMS na določene številke GSM. Posadka lahko ob takem alarmu mirno zapusti kabino in ob odprtih vratih zagotovi prezračevanje prostora.

Agregat je bil deležen največje predelave zaradi njegove zaščite pred zmrzovanjem pri nizkih temperaturah okolice. Proizvajalec je predpisal, naj temperatura agregata ne seže pod 5 °C, za cilj pa smo si postavili, naj sistem dela brez posebnih intervencij posadke pri temperaturi okolice do -20 °C. V ta namen je hladilni krog gorivnega sklada razdeljen na

Uporaba gorivnih celic v vojaške namene

Za vojaške namene je najbolj perspektivna uporaba gorivnih celic za pogon podmornic, pomožne generatorje za napajanje tihih izvidniških enot (angl. Silent Watch) in energetske oskrbo spremljevalnih enot, na primer poljske bolnišnice. Za pogon vozil je ta tehnologija le malo pomembna, saj je energetska gostota vodika zelo nizka.

primarni in sekundarni krog, združuje pa ju toplotni prenosnik. V primarni krog so dodani posebni, za ta namen razviti, regulirani električni grelniki, več temperaturnih tipal in natančnih termostatov, ki nadzirajo temperaturo sistema na kritičnih mestih. Ob padcu temperature pod 5 °C na kateremkoli izmed kritičnih mest se samodejno vklopijo obtočna črpalka in električni grelniki, ki z energijo iz akumulatorja nadomestijo toplotne izgube sistema ter tako preprečijo podhladitev

Vgrajen je agregat na gorivne celice moči 7 kW. Gorivni sklad je črni blok na sredini.



deionizirane vode primarnega kroga. Ločeni sekundarni hladilni krog vsebuje sredstvo proti zmrzovanju, zato zaradi zmrzovanja ni problematičen. Če zaradi hujšega in dolgotrajnejšega mraza ali okvare ogrevalnega sistema temperatura sistema pade pod 2 °C, se sproži alarmna veriga, ki na izbrani način opozori posadko, da z dodatnimi viri toplote zaščiti sistem pred zmrzovanjem.

Gorivne celice pri delovanju proizvajajo vodno paro, ki kondenzira in jo je treba odvajati iz sistema. Da bi ohranili možnost obratovanja pri zelo nizkih temperaturah, je bilo treba vse izpuste iz podsklopov agregata opraviti tako, da v ceveh in komponentah voda ne more zastajati, v mrazu zaledeneti in tako zamašiti odtočne cevi. Tudi to je zahtevalo precejšnje spremembe agregata.

Fizična namestitvev agregata

Kar nekaj težav in sprememb je bilo treba rešiti za fizično namestitvev agregata v predvideni prostor v kabini. Čeprav to na prvi pogled ne bi smel biti tehnološki problem, se je bilo treba pri tem ozirati tudi na princip delovanja sistema z gorivnimi celicami. Pri vnosu v kabino skozi ozka vrata in pred namestitvijo na pripravljeni podstavek je bilo treba agregat obrniti v navpični položaj. Zaradi možnosti, da v sistemu kondenzirana voda pri obračanju steče v nekatere kritične dele, na primer

Gorivne celice

Gorivne celice so elektrokemijske naprave, ki omogočajo pretvorbo kemijske energije reagentov v električno energijo. V vsakdanjem življenju se srečujemo z baterijami in akumulatorji, pri katerih poteka podoben proces. Tako se na primer pri alkalnih baterijah manganov dioksid in cinkov prah ob navzočnosti elektrolita oziroma kalijevega hidroksida pretvarjata v hidroksidni spojini ter pri tem oddajata električno energijo. Ko se materiala pri bateriji izrabita, je baterija prazna za vedno. Pri akumulatorjih lahko poteka proces tudi nasprotno, zato jih lahko z električnim tokom tudi polnimo. Pri gorivnih celicah reagenta sproti dovajamo, zato se gorivna celica ne more izprazniti. V gorivnih celicah vgrajenega agregata kot anodni reagent uporabljamo vodik, kot katodni reagent kisik iz vpihanega zraka, kot elektrolit in ionski prevodnik preparirano Nafionsko® membrano, nujni pa so še katalizator (platina) in grafitne ploščice za prevajanje elektronov. Pri reakciji nastaja voda, ki jo je treba iz celice odvajati, tu pa jo odnaša vpihani zrak na katodni strani. Vsaka gorivna celica pri obremenitvi da napetost 0,8 V. Za višjo napetost je v sklad serijsko povezanih 79 gorivnih celic, kar je skupaj 63 V. Pri reakciji nastaja tudi toplota, ki jo je treba odvajati. Hlajenje omogočajo kanali med grafitnimi ploščicami, po katerih teče deionizirana voda. Taka čista voda je nujna, da med celicami po hladilnem sredstvu ne bi tekla parazitni električni tok.

regulator tlaka vodika, in nato z motnjo v delovanju povzroči trajno okvaro sklada, je bilo treba pred prenosom kritično izbrati ustrezno smer obračanja, obračanje pa izvesti po skrbno načrtovanem postopku. Ta je obsegal predgrevanje, delno demontažo, prestavitve, ponovno montažo in ponovni zagon, vse pa smo opravili v približno 30 minutah, da smo se izognili nepotrebni kondenzaciji in pretakanju vode.

Pri konstrukciji vseh dodatnih naprav poskušali uporabiti čim bolj preproste rešitve

Agregat na gorivne celice za začetek delovanja potrebuje zunanji vir napajanja, ki ga zagotavlja pogonska svinčeva akumulatorja z zmogljivostjo 180 Ah pri napetosti 24 V. Akumulatorja se uporabljata tudi kot vmesni shranjevalnik električne energije, saj se gorivne celice zaradi sistema dovajanja zraka niso sposobne odzvati na hitre spremembe obremenitve. Pri hipnem povečanju bremena energijo najprej zagotovi akumulatorja. Po nekaj sekundah sledi dvig izhodne moči iz gorivnih celic, ki pokrijejo potrebe in vrnejo akumulatorjema odvzeto energijo. Pri odklopu bremen se energija gorivnih celic v prvem hipu preusmeri v polnjenje akumulatorjev, temu pa kmalu sledi znižanje izhodne moči gorivnega sklada. Napajanje porabnikov z napetostjo 230 V poteka prek razsmernika 24 V/230 V in napajalno sistemu RUPS 24/230, ki ga je izdelalo slovensko podjetje Sitel, d.o.o. Razsmernik povzroča visoko valovitost toka v napajanju s 24 V, zato je bilo treba med agregat na gorivne celice in razsmernik vgraditi poseben gladilni filter, ki prepreči nepotrebno vzbujanje gorivnega sklada in nestabilnost delovanja.

Sistem je opremljen z alarmnim sistemom, ki zagotavlja učinkovito opozarjanje posadke na kritične dogodke. Poleg že omenjene signalizacije za navzočnost vodika in nevarnosti zmrzovanja sistem opozori tudi na praznjenje ter kritično izpraznjenost akumulatorjev. Akumulatorja sta namreč ključni vir energije in omogočata začetek delovanja agregata, ogrevanje kot zaščito pred zmrzovanjem, napajanje merilnika koncentracije vodika in napajanje alarmnega sistema. Za vzdrževanje polnosti akumulatorja je v sistem dodan profesionalni polnilnik, ki ju vzdržuje v polnem stanju z energijo iz električnega omrežja, v bližnji prihodnosti pa bi radi sistem dopolnili s priključkom na dva panela sončnih celic. Tako bo avtonomija sistema postala še večja. Pri konstrukciji vseh dodatnih naprav smo poskušali uporabiti čim bolj preproste rešitve in ustrezno redundanco. Le s preprostimi rešitvami je mogoče doseči zanesljivost delovanja, razumljivost, učinkovito vzdrževanje in popravila v nepredvidljivih vojaških

razmerah. Za preproste rešitve je navadno potrebno več truda kot pri uporabi sodobnih in tehnološko zahtevnih rešitev. Če je treba, lahko uporabniki za zahtevnejše diagnostiranje, numerični in grafični prikaz najpomembnejših veličin agregata ter zapis morebitnih alarmnih dogodkov na sistem priključijo prenosni računalnik s pripravljenim programom in preverijo, kako agregat deluje. V ta namen je pripravljen uporabniški vmesnik s programom za zajemanje signalov prek dveh serijskih vodil, ki sta povezani z regulacijskimi napravami agregata.

SV bo v zabojnik kmalu namestila elektronsko opremo

Pripadniki Slovenske vojske bodo v zabojnik kmalu namestili elektronsko opremo za opravljanje svojih nalog in jo priključili na izvedeni energetski sistem na gorivne celice. Tako bodo med prvimi na svetu uporabili gorivne celice za operativno uporabo in ne le za eksperimentiranje v kopenskih operacijah ter tako pripomogli k promociji sodobne tehnologije v vojaške namene. Do zdaj so pripadniki SV opravili že veliko preizkusov in demonstracij ter v mrzlih januarskih dneh spremljali delovanje sistema, ko so jutranje temperature padale proti -18 °C.

MO in SV sta z nakupom dveh agregatov na gorivne celice in s konkretno nalogo vgradnje v namensko vozilo dala slovenskim raziskovalcem enkratno priložnost, da spoznajo sodobno stanje te tehnologije in načela delovanja, česar ne bilo bi mogoče na tak način in v tako kratkem času spoznati iz sicer bogate znanstvene literature tega področja. Na podlagi pridobljenih izkušenj in opravljenega dela ter z malo poguma obstaja pripravljenost spoprijeti se tudi z zahtevnejšimi primeri uporabe gorivnih celic. Trenutno je v načrtu in izvedbi izdelava kogeneracijskega sistema na podlagi gorivnih celic za električno in toplotno napajanje vojaškega bivalnika.

SAF vehicle uses fuel-cell aggregates

At the end of 2008, experts from the Jožef Stefan Institute successfully completed installation of a 7 kW fuel-cell aggregate in a special vehicle to be used by the Slovenian Armed Forces (SAF). The vehicle will be used by the SAF unit stationed in Grosuplje. Members of the unit have already started testing the new equipment under different conditions. The low temperatures in January were perfect for testing the fuel-cell aggregate's performance in conditions of severe cold. Vehicles with fuel-cell aggregates have many advantages over more traditional designs, such as enhanced autonomy, lower noise, a reduced infrared image and faster start-up.