

Prihodnost pripada vodiku?

Future belongs to the Hydrogen?

Andrej Senegačnik[†]

Laboratorij za termoeenergetiko
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Slovenija
andrej.senegacnik@fs.uni-lj.si

Mihael Sekavčnik

Laboratorij za termoeenergetiko
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Ljubljani
Slovenija
mihael.sekavcnik@fs.uni-lj.si

POVZETEK

"Prihodnost (ne?) pripada vodiku". Takšne in podobne trditve se zadnje čase vedno pogostejše pojavljajo v medijih. V dogmi o globalnem razogljičenju igra vodik pomembno vlogo. Na mnogih področjih, kjer tehnologija zahteva visoke temperature, jeklo, električna energija, cement, kemična industrija,... se predvideva uporaba zelenega vodika. V času postopnega prehoda na vodik bo potrebno prilagajanje obstoječih naprav, da bodo postale "H2-ready". V tem prispevku je obravnavano nekaj osnovnih tehnoloških značilnosti, ki jih zahteva uporaba plinastih goriv z večjim deležem vodika. Trenutno že zelo dobro poznamo lastnosti vodika in težavnosti njegove uporabe kot goriva, ni pa še neke pametne rešitve glede sezonskih hranilnikov in tudi absurda, da vodik ni energent, pač pa neto porabnik energije. Uporaba zelenega vodika torej že v izhodišču povečuje potrebo po primarni energiji, ki jo jemljemo iz okolice. Trenutno svet in vsa proizvodnja naprav za izrabo obnovljivih virov energije še vedno močno sloni na fosilnih virih.

KEYWORDS / KLJUČNE BESEDE

vodik, razogljičenje, pripravljenost na vodik

ABSTRACT

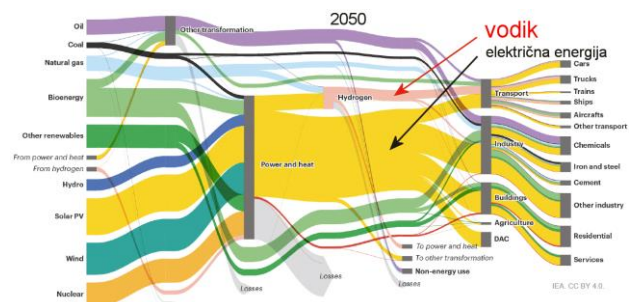
"The future (doesn't?) belong to hydrogen". Such and similar claims have been appearing in the media more and more recently. In the dogma of global decarbonization, hydrogen plays an important role. In many fields where technology requires high temperatures like, steel, electricity, cement, chemical industry,... the use of green hydrogen is envisaged. During the gradual transition to hydrogen, it will be necessary to adapt existing devices to become "H2-ready". This paper discusses some of the basic technological features required by the use of gaseous fuels with a higher proportion of hydrogen. Currently, we already know very well the properties of hydrogen and the difficulties of using it as a gaseous fuel, but there is still no smart solution regarding seasonal storage tanks and also the absurdity that hydrogen is not an energy source, but a net consumer of energy. The use of green hydrogen therefore already increases the need for primary energy, which is taken from the environment. Currently, the world and all production of devices for the use of renewable energy sources still rely heavily on fossil resources.

KEYWORDS

hydrogen, decarbonization, H2-ready

1 VODIK BODOČI (NE)ENERGENT

Glede vloge vodika v bližnji bodočnosti do leta 2070 so napovedi po raznih scenarijih močno različne. Večina scenarijev zelenega prehoda je predstavljenih v raznih poročilih Mednarodne agencije za energijo (IEA – International Energy Agency). Skupna značilnost scenarijev je, da se tudi ti scenariji z leti močno spreminjajo in dajejo poudarke enkrat na eno, čez nekaj let pa na drugo razogljičevalno tehnologijo. Tako je tudi vloga vodika spremenljiva, enkrat večja, drugič manjša. Na sliki 1 je prikazana struktura energentov leta 2050 po enem izmed scenarijev IEA (NZE scenarij - Net Zero Emissions by 2050) kjer je vloga zelenega vodika relativno majhna [1].



Slika 1: IEA NZE scenarij za leto 2050, kjer električna energija postane glavni energijski vektor [1]

2 POJEM "H2-ready"

Termin "H2-ready" pomeni, da je naprava zmožna delovati na 100 % vodik ali njegove derivate, kot je npr. amonjak [2, 3]. V prispevku se bomo omejili na obstoječe tehnologije kot so plinske elektrarne, parni kotli in druge kurilne naprave, plinski motorji. Tudi v bodoče bo za stabilnost elektroenergetskega sistema v veliki meri potrebna velika rotirajoča masa, torej klasične elektrarne z velikimi masami in z zgorevanjem zelenega vodika. Pri tem lahko izpostavimo nekaj osnovnih tehnoloških izzivov. Trenutno ni mogoče predvideti, kdaj bo vodik na voljo za energetske industrije v obsegu, kot so današnja fosilna goriva in seveda tudi kakšna bo cena. Še težje kot elektroenergetski sistem, bo razogljičiti visokotemperaturne sektorje kot so kemična industrija, proizvodnja kovin, jeklo, cement, apno... in zato se za te sektorje vodik smatra kot mogoča(?) alternativa.

3 SPLOŠNO

Pri uporabi zemeljskega plina s primešanim vodikom, se zmanjšuje emisija CO₂. Iz tabele 1 je razvidno, da se emisija CO₂ relativno malo zmanjšuje, dokler delež vodika v zmesi ni vsaj 80 vol.%. V tabeli 2 so primerjalno navedene nekatere značilne lastnosti za čisti vodik in metan, ki bistveno vplivajo na prilagoditev naprav za uporabo vodika.

Tabela 1: Emisija CO₂ pri enaki sproščeni energiji (po zgorevanju) in različnih zmesih metan/vodik [2]

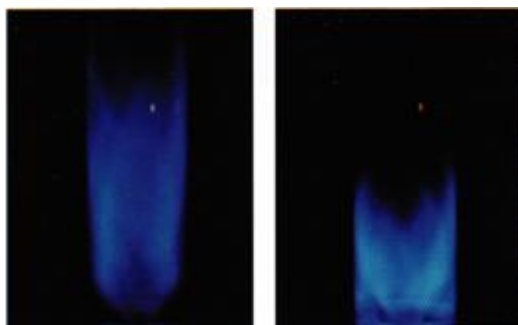
vol. delež H ₂	%	0	20	40	50	60	80	100
delež zgorevalne toplote	%	0	7	17	24	31	55	100

Tabela 2: Nekateri značilni lastnosti čistega vodika in metana [2]

	vodik	metan
spodnja ekspl. meja	4 vol. %	4,4 vol. %
zgornja ekspl. meja	77 vol. %	17 vol. %
gostota, 0 °C, 1 bar	0,0899 kg/m ³	0,717 kg/m ³
min. energija vžiga	0,019 mJ	0,29 mJ
sprememba temp. pri dušitvi	narašča	pada
lam. hitrost zgorevanja	2,7 m/s	0,3 m/s
Wobbe indeks (spodnji)	40,90 MJ/m ³	48,17 MJ/m ³
sp. kurilnost	120 MJ/kg	50 MJ/kg
spec. masa zg. zraka	0,286 kg/MJ	0,345 kg/MJ
teor. temp. zgorevanja	2427 °C	2274 °C
rel. volumenski tok goriva za enako toplotno moč	330 %	100 %
difuzivnost	večja	-
emisije NO _x	večje	-
rel. volumetrična intenzivnost puščanja skozi razpoko	2,8	1

Kot je opazno iz tabele 2 bo potrebno ob prehodu na vodik naprave celovito prilagoditi. Izpostavimo nekaj najbolj zahtevnih ukrepov.

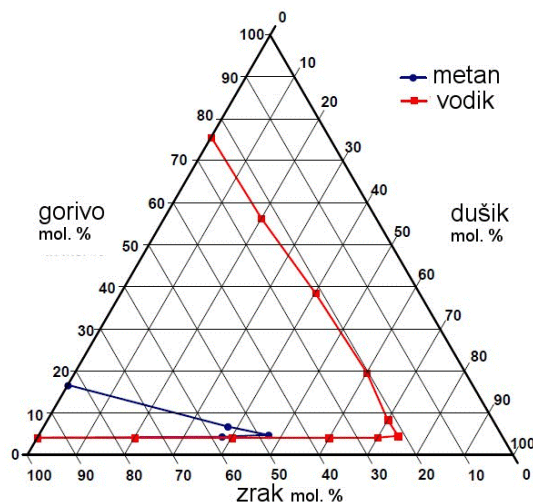
- Zaradi velike hitrosti zgorevanja in velike difuzivnosti vodika se plamen zmesi vodik/metan skrajša že pri relativno majhnem volumenskem deležu vodika, slika 2.



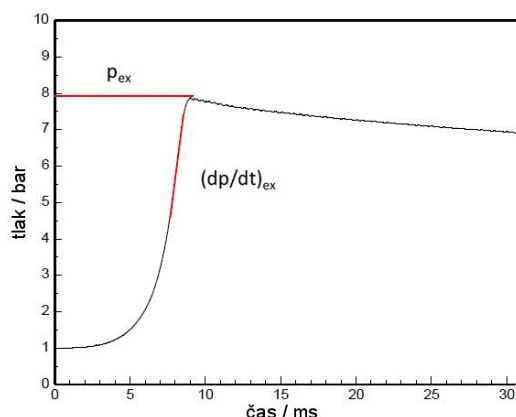
Slika 2: Slika plamena; levo: 100 % metan, desno: metan z 12 vol. % vodika [4]

- Zaradi manjše gostote se vodik v nasprotju z zemeljskim plinom zbira na visokih točkah. Prezračevalne odprtine morajo biti zato urejene na najvišjih točkah.

- Zaradi večjega eksplozivnega območja in manjše gostote je potrebno eksplozijske cone dimenzionirati večje, slika [5] **Error! Reference source not found..**



Slika 3: Primerjava eksplozijskih območij za vodik in metan v zmesi z dušikom [5]



Slika 4: Časovni potek tlaka po vžigu stehiometrične zmesi vodik/zrak v zaprti tlačni posodi [5]

- V primeru eksplozije zmesi vodik/zrak je brizantni učinek udarnega vala bistveno večji kot v primeru zmesi metan/zrak. Tlačni gradient je pri zmesi vodik/zrak kar 3334 bar/s, pri zmesi metan/zrak pa le 189 bar/s, slika 4. Maksimalni tlak je v obeh primerih približno enak ~8 bar. Ob dejstvu, da je začetna masa vodika v testni tlačni posodi bistveno manjša, je rušilni učinek vodika bistveno večji.

- Zaradi znatno manjše minimalne energije vžiga je potrebno elektrostatične naboje upoštevati kot bistveno bolj kritične (izenačitev potencialov, ozemljitvena veriga, odpornost proti puščanju, upornost talne obloge ≤ 108 Ω itd.).

- Zaradi večje kemijske reaktivnosti in majhnih molekul bo potrebno posebno pozornost nameniti materialom, ki so v stiku z vodikom. Molekularni vodik se kopiči na jeklenih površinah brez zaščitne oksidne plasti in tam disociira v atomski vodik, ki nato

prodre v medkristalno strukturo jekla. To povzroči spremembo lastnosti materiala. Posledica je vodikova krhkost materiala, zmanjšana življenjska doba in morda celo odpoved komponente.

4 ZNAČILNOSTI UPORABE VODIKA V ENERGETSKIH NAPRAVAH

Plinske turbine – Nemški načrt prilagajanja plinskih turbin na vodik [2] je razdeljen na več faz, po deležu toplotne moči vodika. Do leta 2025 6 %, do 2028 25 % in do leta 2031 možnost uporabe 100 % vodika. Pri tem je ocena povečanja stroškov polnega prehoda pri novih napravah do 50 %, prilagajanje obstoječih naprav pa do 70 % cene novih. Problem vodikove korozije je do 3 % toplotne moči vodika zanemarljiv, do 6 % toplotne moči vodika je še nekako v mejah obvladljivosti, pri 6-25 % vodika je pa nevarnost korozije že zelo velika. Povečana vsebnost vodne pare v dimnih plinih vpliva temperaturo rosišča in s tem tudi na razmere v morebitnih kogeneracijskih prenosnikih toplote.

Plinski motorji – Današnji plinski motorji zahtevajo kar nekaj prilagoditev za prehod na 100 % vodik in to pri: spremembi oblike zgorevalne komore, varnostni koncept, spremembe materialov, ki so v stiku z vodikom. Obstoječi plinski motorji trenutno lahko brez problemov delujejo do 9 % toplotne moči iz vodika.

Industrijski parni kotli – za obstoječe naprave ni težav do 6 % toplotne moči vodika. Za večje deleže vodika so potrebni novi gorilniki. Pulzacije v kurišču naj bodo čim manjše. Spremeni se tudi prenos toplote in temperatura rosišča dimnih plinov.

Pri uporabi 100 % vodika in zraka so polutanti v dimnih plinih samo dušikovi oksidi, ki se jih odstrani z nekatalitično ali katalitično redukcijo z amonijakom ali sečnino.

5 ZAKLJUČEK

Osnovne značilnosti zahtevanih tehnoloških sprememb energetskih postrojenj pri uporabi 100 % vodika so, da niso potrebne povsem nove naprave z novimi koncepti ampak nekatere nujne prilagoditve. Tehnološko najbolj zahtevna bo prilagoditev plinskih turbin. Zasnova ostaja enaka, posebno pozornost zahteva modifikacija zgorevalnega sistema in pomožnih naprav. Glavne modifikacije zahtevajo gorilniki, zgorevalne komore, materiali v stiku z vodikom, tesnila, požarna zaščita, proti eksplozijska zaščita, naprave za nadzor in regulacijo zgorevanja. Turbinsko kompresorski del ostaja bolj ali manj nespremenjen. Pri uporabi vodika v kotlih in kogeneracijskih postrojenjih se poleg modifikacij zgorevalnega

sistema pričakuje nekaj modifikacij v konstrukciji ogrevalnih površin zaradi spremembe prenosa toplote in količine vodne pare v dimnih plinih. Omenjene modifikacije so trenutno tehnično rešljive. Pri globalnem prehodu na vodik in povečanju obsega proizvodnje in porabe vodika, še vedno ostaja veliko nerešenih temeljnih vprašanj. Za te probleme načeloma obstajajo rešitve, ki pa so trenutno vse še na "lekarniškem" nivoju. Transport in skladiščenje sta dve izmed teh vprašanj. Po navedbah IEA je trenutno na svetu samo okoli 2500 km krajših in lokalnih vodikovodov, predvsem v proizvodnih obratih vodika. Transportnih meddržavnih plinovodov za zemeljski plin pa je trenutno kar 1,2 milijona kilometrov. IEA kot potencialna sezonska skladišča vodika vedno bolj omenja podzemne kaverne, ostale klasične rešitve z raznimi tlačnimi posodami itd. so tehnično absurdne. Najbolj absurdno pa je, da so vodikove tehnologije neto porabnik energije, $EROI < 1$? Zmanjševanje trenutnega EROI z raznimi zelenimi tehnologijami se že kaže v tem, ko mediji in proizvajalci (nevede) propagirajo kako "nove" tehnologije zagotavljajo veliko število novih zelenih delovnih mest. Če se vrnemo za 300 let v preteklost so bila vsa delovna mesta zelena (in večina tudi močno fizično napornih), ker so bila vsa na obnovljive vire energije – ob kakšnem standardu življenja? Osnovna značilnost vodikovih tehnologij je, da so neto porabnik energije, zelo drage in tehnično zelo zahtevne – bo to uporabno in dosegljivo za navadne ljudi? Vodikove tehnologije, na katere danes stavimo zeleni prehod, so v povprečju poznane že 200 let (elektroliza 1800, gorivna celica 1838) in od njih pričakujemo nove rezultate v smislu globalne rešitve "Deus ex machina"? Če bi svet imel resne namene glede zmanjševanja negativnih vplivov na okolje, bi morali izvajati več ukrepov, ki so "Hic et nunc" (latinsko: "tukaj in zdaj") – to je predvsem varčevanje in zmanjševanje potrošnje vseh vrst, kar pa je žal povsem nasprotno s trenutnim ekonomskim modelom in želenim življenjskim standardom nas vseh?

VIRI

- [1] IEA, Energy Technology Perspectives 2023, IEA Publications International Energy Agency Website: www.iea.org
- [2] Timon Groß, Martin Ruhrberg, H₂-Prozessleitfaden: Strom- und Wärmeerzeugung auf der Basis von erneuerbaren und dekarbonisierten Gasen, Vgbe Energy e.V., Berlin, August 2023
- [3] Thomas Eck, Sebastian Zimmerling, H₂-Ready, Vgbe Positionspapier, Vgbe Energy e.V., Essen, 2022
- [4] R.W. Schefer, D.M. Wicksall, A.K. Agrawal, Combustion of hydrogen-enriched methane in a lean premixed swirl burner, Proc. Comb. Inst. 29, 843-85, 2002
- [5] Volkmar Schröder et al., Sicherheitstechnische Eigenschaften von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen, Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM), Berlin, 2016