

Mr Mitar Konjević,  
dipl. inž.  
Vojnotehnički institut,  
Beograd

## VODONIK KAO ENERGETSKI VEKTOR BUDUĆNOSTI – HIDRIDI I BATERIJE NA VODONIK

UDC: 546.11 : 620.92

### Rezime:

*Vodonik predstavlja ekološki čist i praktično neiscrpan energent, relativno lak za skladištenje, transport i korišćenje. Međutim, zbog visoke cene dobijanja još uvek ne konkuriše aktuelnim fosilnim gorivima. Ako se pretpostavlja da će vodonik predstavljati vrlo važan energetski vektor u budućnosti, interesantno je pokazati mogućnosti njegovog korišćenja u vidu hidrida i gorivnih ćelija.*

*Ključne reči: energetski vektor budućnosti, vodonik, proizvodnja, skladištenje i korišćenje.*

---

## HYDROGEN AS AN ENERGY VECTOR OF THE FUTURE HYDRIDES AND BATTERIES EXPLOING THE HYDROGEN

### Summary:

*Hydrogen represents the ecologically clean and practically inexhaustible energetic element, relatively easy for storage, transportation and exploitation. Nevertheless, due to high price of its production, hydrogen has not yet been a competition to actual fossil fuels. If we suppose that hydrogen will be pretty important vector in future, it is interesting to show the exploitation possibilities of hydrogen in forms of hydrides and fuel cells.*

*Key words: Energy vector of the future, hydrogen, production, storage and transportain.*

---

### Uvod

Usled svetske energetske krize sve zemlje razvijaju vlastite energetske programe, bez obzira na svoje energetske potencijale. Povećana potrošnja nafte, prirodnog gasa i uglja, nezamenljivih primarnih energetskih izvora i tehnoloških sirovina u baznoj hemijskoj industriji uslovlila je da se ubrza razvoj i uvođenje novih tehnologija koje bi trebalo bitno da unaprede upotrebu tradicionalnih goriva, kako bi se prešlo na korišćenje novih i/ili obnovljivih izvora energije (solarne, geotermalne, snage vetra i morskih talasa, naftnog peska, uljanih škriljaca, biomase

i nuklearne energije). Samo zemlje Evropske unije planiraju da u periodu do 2010. godine za istraživanje i razvoj alternativnih izvora energije ulože preko 95 milijardi evra. Od svih navedenih izvora energije nefosilnog tipa značajnije učešće u svetskoj potrošnji ima nuklearna energija fisionog tipa sa 19% u svetskoj energetske potrošnji početkom 2000. godine. Jednom dobijenu energiju treba transportovati ili čuvati da bi se mogla koristiti onda kada je potrebna.

Na današnjem stepenu razvoja skladištenje i transportovanje znatnije količine energije nije izvodljivo, pa se pribegava proizvodnji sekundarnih energetskih izvora.

## Dobijanje vodonika

Vodonik se dobija u procesima: parcijalne oksidacije sirove nafte (48%), katalitičkog reforminga prirodnog gasa (30%), gazifikacije uglja (16%), elektrolize vode (3%) i ostalim procesima (3%).

Vodonik dobijen elektrolizom vode znatno je skuplji od vodonika dobijenog ostalim hemijskim procesima. Korišćenje nuklearne energije za dobijanje vodonika smatra se, uglavnom, rentabilnim. Za sada se nuklearna energija koristi za dobijanje vodonika na dva načina – elektrolizom vode i korišćenjem termičkog i termohemijskog ciklusa razlaganja vode.

Elektroliza vode može biti: klasična ( $225 \text{ dm}^3 \text{ H}_2/\text{kWh}$ ), na povišenim temperaturama  $90^\circ\text{C}$  do  $260^\circ\text{C}$  ( $246 \text{ dm}^3 \text{ H}_2/\text{kWh}$ ), na visokim temperaturama  $>900^\circ\text{C}$  ( $440 \text{ dm}^3 \text{ H}_2/\text{kWh}$ )

Termički i termohemijski ciklusi razlaganja vode direktno koriste termičku energiju dobijenu iz nuklearnih reaktora.

## Skladištenje vodonika

Nakon proizvodnje vodonik treba čuvati i skladištiti, odnosno transportovati kako bi mogao biti iskorišćen u datom momentu. Vodonik može biti skladišten u gasovitom, tečnom i čvrstom stanju – u vidu hidrida.

### *Skladištenje vodonika u gasovitom stanju*

Skladištenje većih količina vodonika u gasovitom stanju vrši se u podzemnim prethodno pripremljenim prostorima. Skladištenje vodonika je od skladištenja prirodnog gasa znatno skuplje, jer

je njegova kalorična moć po jedinici zapremine znatno manja od one koju poseduje prirodni gas. Danas su u upotrebi tri tipa i tri tehnike podzemnog skladištenja vodonika u gasovitom stanju.

*Skladištenje u podzemnim peskovito-vodenim prostorima na dubinama od 400 do 1000 m:* kroz cevi postavljene u prethodno izbušene otvore, gasoviti vodonik se ubacuje na navedene dubine, gde se smešta potiskujući vodu između zrnaca peska. Kroz iste cevi vodonik izlazi kada se otvori ventil, a pod pritiskom vode koja teži da zauzme svoj prvobitni položaj. U SAD, Rusiji, Nemačkoj i Francuskoj koriste se podzemna skladišta zapremine oko  $6 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

*Skladištenje vodonika u podzemnim rudnicima soli:* prethodno je potrebno istopiti so i izvući rastopinu iz zemlje, uz neophodnu proveru propustljivosti okolnog terena oko prostora za skladištenje, jer se u ovom slučaju vodonik ubacuje pod pritiskom od 80 do 200 bara. U svetu su u upotrebi skladišta ovog tipa zapremine od oko  $200\,000 \text{ m}^3$ .

*Skladištenje vodonika u veštački stvorenim podzemnim prostorima:* u SAD su već u upotrebi prostori dobijeni podzemnim nuklearnim eksplozijama. Gasoviti vodonik se u ove podzemne prostore ubacuje pod pritiskom od 100 bara na dubinu od oko 1000 m. Pre korišćenja ovog vodonika potrebno ga je očistiti od radioaktivnih čestica. Nedostatak podzemnih skladišta su povećani gubici gasovitog vodonika u odnosu na prirodni gas, zbog veličine njegovih molekula i reakcije sa materijalima od kojih su izrađeni cevovodi i ventili.

*Skladištenje vodonika u gasovitom stanju u rezervoarima pod pritiskom:*

ovaj način skladištenja zahteva upotrebu rezervoara izrađenih od materijala velike zatezne čvrstoće, koji su uglavnom otporni na dejstvo vodonika pod pritiskom. U upotrebi su sferni čelični rezervoari, čija masa po 1 kg gasovitog vodonika pri pritisku od 200 bara iznosi oko 75 kg.

#### *Skladištenje vodonika u tečnom stanju*

Pri čuvanju i skladištenju vodonika u tečnom stanju treba imati u vidu njegove ograničene (male) količine. Vodonik postaje tečan na  $-252,7^{\circ}\text{C}$ , a održavanje ovako niske temperature predstavlja limitirajući faktor za njegovu upotrebu. Uprkos velikim gubicima (0,5% do 1% dnevno) i velikim troškovima dobijanja (10 kWh za 1kg tečnog vodonika), vodonik u tečnom stanju verovatno će se u budućnosti koristiti kao gorivo u drumskom, avionskom i železničkom saobraćaju.

Tečni vodonik, kao komponenta goriva za pogon raketa (SATURN, KOLUMBIJA, ARIJANA), u određenom trenutku bio je nezamenljiv. Za skladištenje tečnog vodonika u upotrebi su čelični rezervoari zapremine od 25 do 450 m<sup>3</sup>, a NASA je realizovala rezervoar sfernog oblika od 3500 m<sup>3</sup>. Materijali koji se koriste za izradu rezervoara za skladištenje i čuvanje tečnog vodonika su legure aluminijuma, legure bakra, austenitni hromnikl čelici i INVAR.

#### *Skladištenje vodonika u čvrstom stanju*

Skladištenje vodonika u vidu reversnih metalnih hidrida predstavlja zadovoljavajući način za čuvanje relativno malih količina.

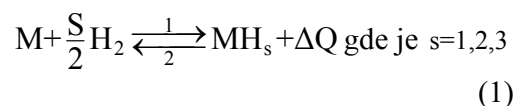
Neki od zahteva koje metalni hidridi treba da zadovolje kako bi bili industrijski upotrebljivi su: relativno niska cena dobijanja; neograničeno vreme skladištenja u uslovima ambijenta; brza absorpcija i desorpcija vodonika na umerenim temperaturama i pritiscima; jednostavnost i sigurnost pri rukovanju; umereni troškovi upotrebe; nepromenljivost u toku velikog broja naizmjeničnih ciklusa hidrogenizacije i dehidrogenizacije.

Metali i njihove legure koje u najvećoj meri odgovaraju ovim zahtevima i mogu se koristiti za skladištenje vodonika u čvrstom stanju su: magnezijum i njegove legure; cirkonijum i njegove legure; vanadijum i niobijum; legure na bazi Fe-Ti; sastavi tipa LaNi<sub>5</sub>; legure sastava tipa LaNi<sub>5</sub> sa Fe, Co ili Cu i dr.

#### **Dobijanje metalnih hidrida**

Hemijska kombinacija u čvrstom stanju vodonika i nekog metala, odnosno legure, predstavlja metalni hidrid. Vodonik se u metalu rastvara u vidu atoma. Kao izvori energetskeg vektora budućnosti od posebnog su interesa hidridi koji se karakterišu izražajnijom reversnošću (povratnošću) i zadovoljavaju što veći broj navedenih zahteva.

Formiranje hidrida, odnosno reakcija rastvorljivosti vodonika u nekom metalu (leguri) prikazuje se osnovnom jednačinom:



kojom su predstavljena tri hemijska prostora M, H<sub>2</sub> i MH<sub>s</sub>. Uočava se da pri for-

miranju hidrida dolazi do oslobađanja izvesne količine toplote  $\Delta Q$  (ekzotermna reakcija). Nasuprot tome, da bi došlo do izdvajanja vodonika iz već formiranog hidrida potrebno je dovesti izvesnu količinu energije (endotermna reakcija). Reakcija se u prvom slučaju odvija u smeru 1, a u drugom u smeru 2.

Reakcija opisana jednačinom (1) reverzna je (povratna), samo ako je standardna promena Gibsove energije njenog formiranja manja od nule. Da bi došlo do desorpcije vodonika iz hidrida neophodno je dovesti izvesnu količinu toplote. Desorpcija će se utoliko lakše izvršiti ukoliko je toplota formiranja datog hidrida bila manja. U tabeli 1 prikazane su toplote formiranja nekih hidrida, a na slici 1 dijagrami disocijacije najčešće izučavanih i upotrebljavanih hidrida.

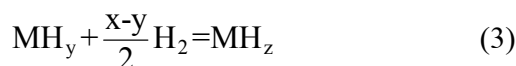
Tabela 1

Toplota formiranja hidrida

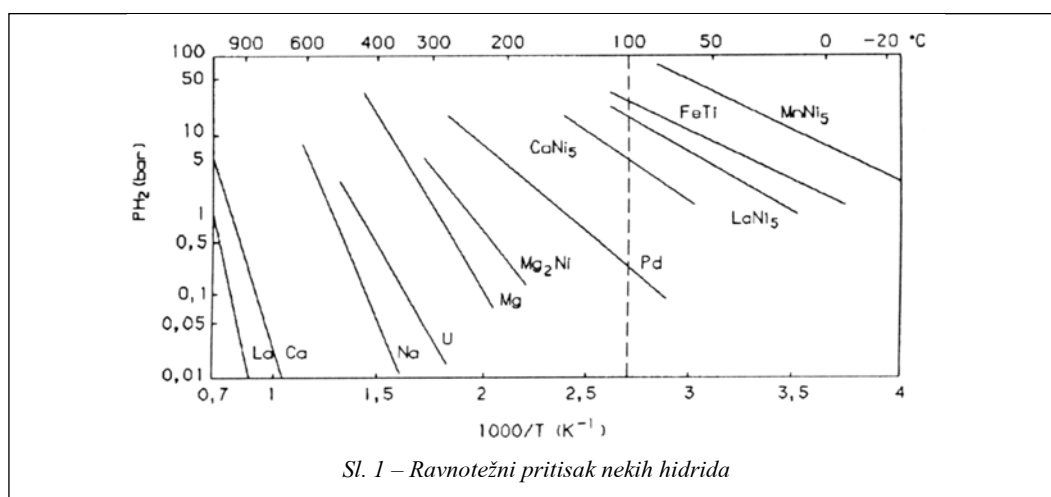
Hidrid	$L_1H$	$ZrH_2$	$MgH_2$	$Mg_2NH_4$	$FeTiH_2$	$LaNi_5H_6$	$VH_2$
Toplota formiranja - $\Delta H$ [kJ/mol]	181	166	77	74	28	31	40

Rastvorljivost vodonika u određenom metalu (leguri) zavisi od temperature na kojoj se proces odvija, pritiska vodonika u kontaktu sa metalom i od procentualnog već rastvorenog vodonika u kristalnoj rešetki metala.

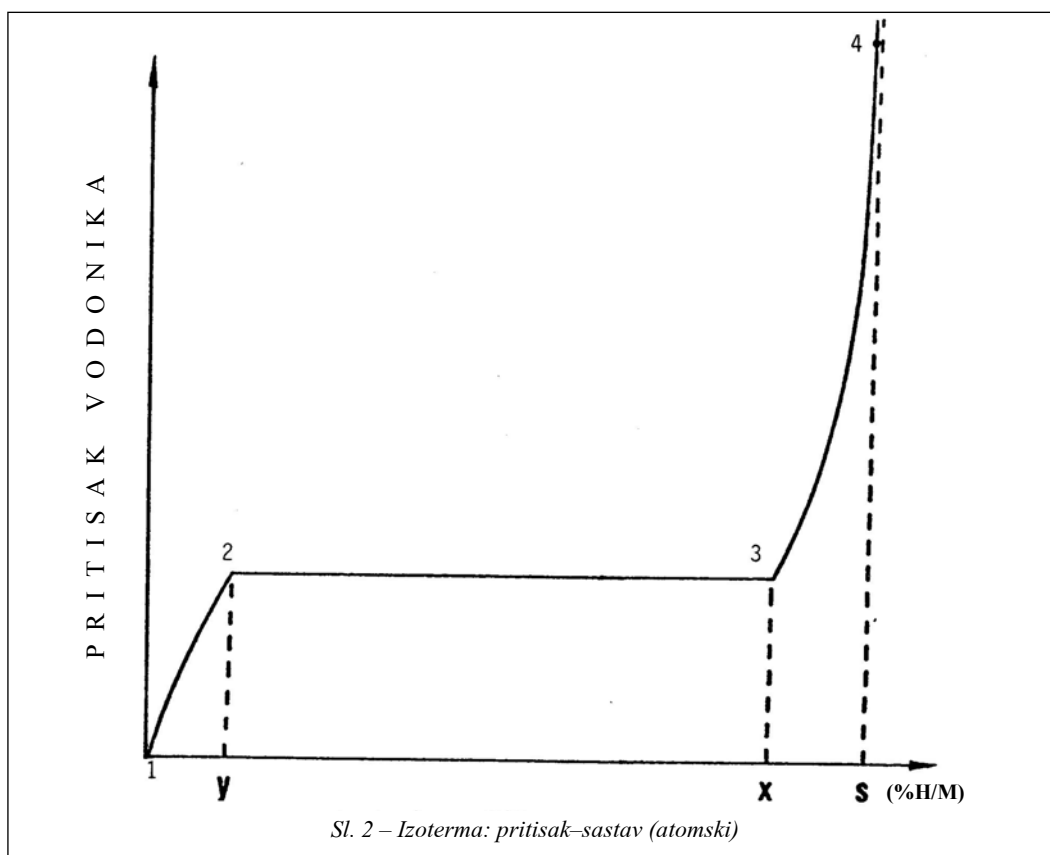
Na slici 2 prikazan je procentualan iznos vodonika (atomski) koji metal može absorbovati u zavisnosti od pritiska na kojem se vodonik u kontaktu sa metalom nalazi na datoj temperaturi. Na dijagramu slike 2 uočavaju se tri oblasti definirane sledećim jednačinama:



U prvoj oblasti, od tačke 1 do tačke 2, proces opisan jednačinom (2), pritisak vodonika u kontaktu sa metalom neprekidno raste i dolazi do rastvorljivosti sve veće količine gasa u metalu. Formira se čvrsta faza, ali se ne definiše tačno sastav koji je postignut samo u tački 2.



Sl. 1 – Ravnotežni pritisak nekih hidrida



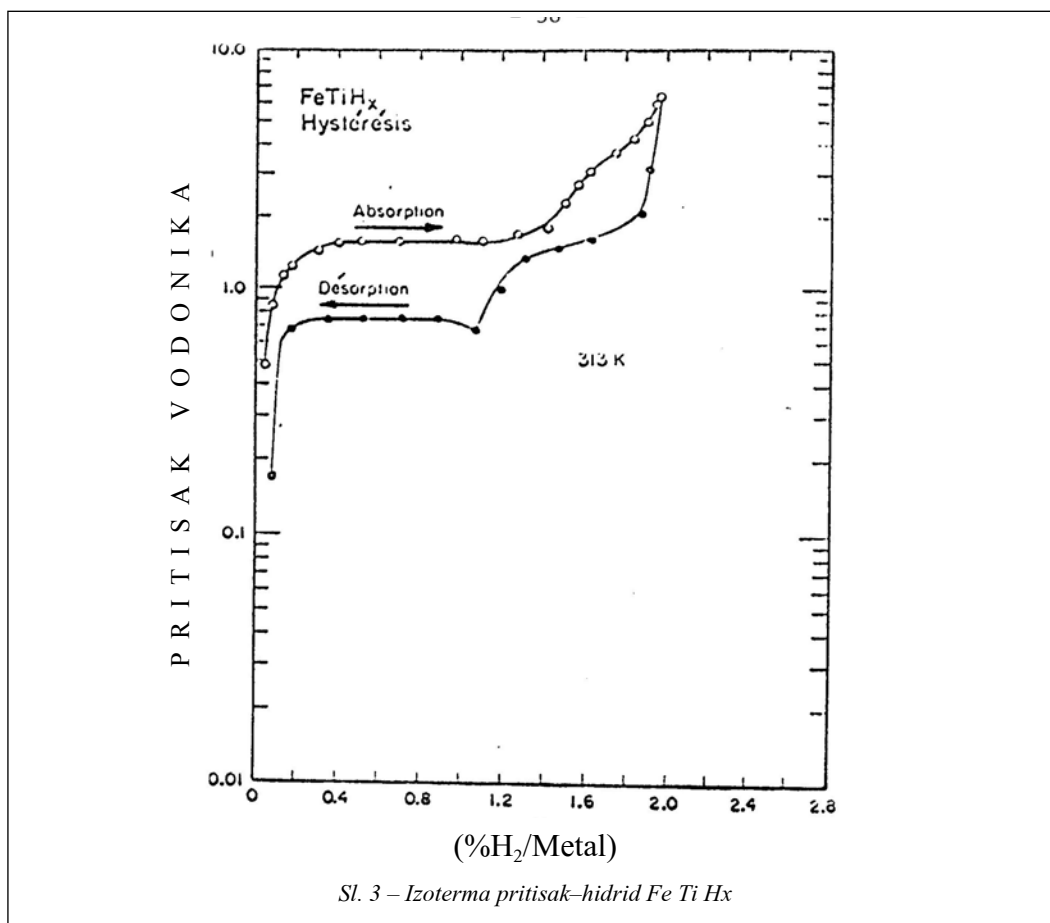
U drugoj oblasti, od tačke 2 do tačke 3, dolazi do formiranja hidrida u osnovnom metalu na konstantnom pritisku. Povećava se procentualni sadržaj rastvorenog vodonika u sastavu metal-hidrid. U ovoj oblasti razlikuje se čvrsta faza još uvek nezasićenog metala vodonikom i formirani hidrid  $MH_x$ . Proporcionalno učešće hidrida u leguri raste pomećanjem od tačke 2 ka tački 3. Proces je opisan jednačinom (3).

U trećoj oblasti, od tačke 3 do tačke 4, u tački 3 dostignut je maksimalan procenat hidrida  $MH_x$  u metalu, sastavljenom od čvrstog zasićenog rastvora vodonika u metalu i hidrida  $MH_x$ . Može se reći da je dobijen konačan sastav za datu temperaturu i dati pritisak.

Povećanjem pritiska i dovođenjem nove količine vodonika dolazi do povećanja njegovog procentualnog učešće u sastavu metal-hidrid, zato što struktura hidrida  $MH_x$  ima mogućnost apsorpcije izvesne količine vodonika. Ovaj proces opisan je jednačinom (4).

#### Podela hidrida i njihova upotreba

Hidridi se najčešće, dele prema temperaturi na kojoj dolazi do desorpcije vodonika na dve grupe, slika 1 [4]. Prvu grupu čine hidridi čija je temperatura desorpcije manja od  $100^\circ\text{C}$ . Ova grupa hidrida karakteriše se velikom brzinom apsorpcije i malim masenim udelom rastvorenog vodonika u rastvoru osnovnog me-



Sl. 3 – Izoterma pritisk–hidrid Fe Ti Hx

tala. Tu spadaju hidridi na bazi legure niobijuma, vanadijuma i sastavi tipa  $\text{LaNi}_5$ . Da bi se dobio vodonik iz ovih hidrida potrebno ih je neprekidno zagrevati uz stalno povećanje temperature. Kontejneri za ove hidride izrađuju se od lakih legura, što ih čini konkurentnim hidridima sa valikom masenom koncentracijom vodonika  $\text{MgH}_2$  (druga grupa), ali i visokom temperaturom desorpcije. Sastavi iz ove grupe sadrže oko 1,37%  $\text{H}_2$  u masi uz zapreminski odnos koji je duplo veći od vodonika u tečnom stanju.

Za drugu grupu hidrida karakteristična je mala brzina apsorpcije vodonika (čak i na povišenim temperaturama i pritiscima) i ve-

liko maseno učešće vodonika rastvorenog u metalu. U ovu grupu spadaju hidridi magnezijuma i legura Fe-Cr. Hidrid magnezijuma često je korišćen zbog svoje male mase i velikog procentualnog učešća vodonika rastvorenog u metalu oko 7,7%. Da bi se ubrzao proces apsorpcije, za ove hidride u usitnjeni sastav metala potrebno je dodati neku od legura koja stvara manje stabilne hidride, ali ubrzava proces apsorpcije. Na primer, formiranje hidrida magnezijuma traje po nekoliko dana na povišenim temperaturama i pritiscima od oko 150 bara. Dodavanjem 10%  $\text{LaNi}_5$  vreme apsorpcije se smanjuje na 1h na pritisku od samo 30 bara.

Kinetičke reakcije (apsorpcija i desorpcija) ne zavise samo do pritiska, temperature i karakteristika metala (legura), nego i od veličina površina reakcije (veličina i oblik čestica metala,  $R = 0,2$  do  $1$  mm), stanja površina čestica, broja ciklusa apsorpcije i desorpcije koje mogu da izdrže čestice metala, a da ne dođe do njihovog raspada i unutrašnjih napona u momentu stvaranja hidrida (slika 3), [18].

Izbor hidrida umnogome zavisi od namene, jer do sada nije proizveden hidrid koji bi mogao zadovoljiti sve navedene zahteve. U Borodou (Francuska) realizovan je hidrid Mg, koji u  $20$  kg hidrida apsorbuje  $1$  kg  $H_2$ , odnosno u  $29,5$  kg sistema, ako se računa i masa rezervoara. U Grenoblu (Francuska) realizovan je rezervoar na bazi hidrida legure Fe-Ti koji na  $80$  kg hidrida apsorbuje  $1$  kg  $H_2$ , odnosno ako se računa i masa rezervoara  $117,6$  kg sistema. To znači, da će se ako se želi hidrid gde će masa imati odlučujuću ulogu, izabrati prvi, a ako se želi hidrid koji ima lako i brzo oslobađanje vodonika, izabraće se drugi. Kompromisno rešenje dobija se kombinacijom ova dva hidrida. U tom slučaju  $1$  kg  $H_2$  absorbovan je u  $47$  kg sistema i počinje oslobađanje vodonika već na  $50^\circ C$ .

U tabeli 2 dati su neki kriterijumi kojima se treba rukovoditi pri izboru hidrida [13; 15].

Hidridi mogu biti primenjeni u sledećim oblastima: skladištenju nuklearne energije, skladištenju solarne energije, skladištenju fotohemijske energije, prenosu toplote, izdvajanju vodonika iz smeše gasova, sabijanju vodonika, izradi primarnih i sekundarnih baterija vodonik-vazduh i kao ekološki čisto gorivo.

Tabela 2

Kriterijumi za izbor hidrida

Hidrid kriterijum	$NiH$	$MgH_2$	$Mg_2NiH_4$	$FeTiH_2$	$LaNi_5H_6$	$LiH$
grH/1 kg mat.	42	76	35,9	18,9	13,7	127
$T[^\circ C]$ , $P=1$ bar dekompozicija	525	290	250	-19	16	800
EVRO/kg	1,5	2,5	3,5	7	15	30
Brzina formiranja	-	vrlo spora	povećana	spora	povećana	-
Brzina razlaganja	-	povećana	povećana	povećana	povećana	-

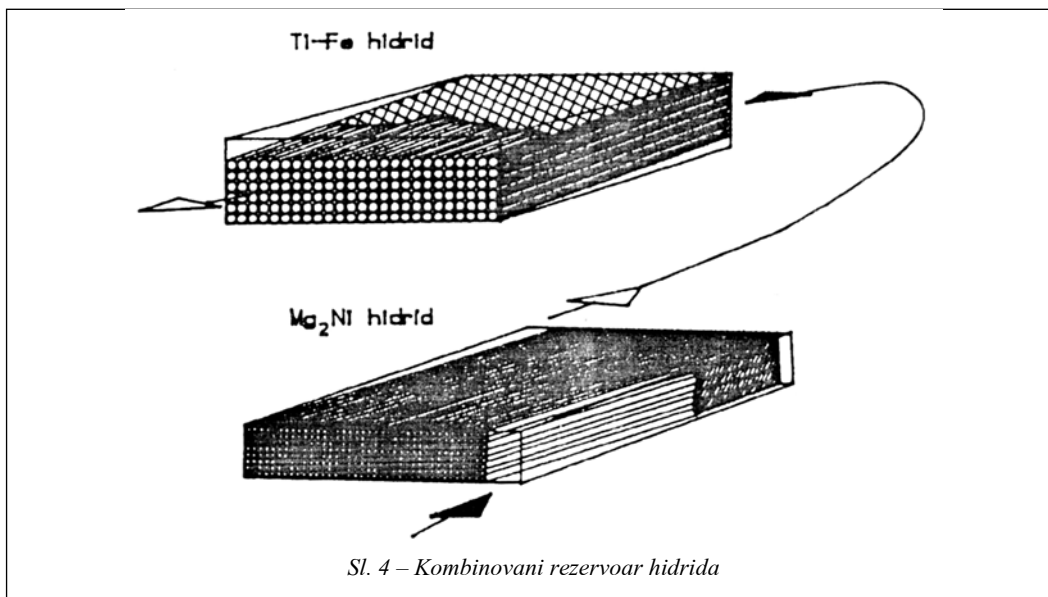
Upotreba hidrida za dobijanje vodonika – energetskog vektora budućnosti, kao goriva komponente koja ne zagađuje okolinu, posebno će naći interes u rudnicima, za prevoz u urbanim sredinama i za pogon podmornica.

Sjedinjene Države, Nemačka, Francuska i Japan razvile su različite tipove automobila koji za pogon koriste hidride. Mercedes je realizovao motor za minibus od  $44$  kW,  $4800$   $min^{-1}$  i sa stepenom kompresije  $9,25$  sa hidridom na bazi Fe-Ti, zapremine  $65$  litara i mase  $200$  kg, uz ostvarenje autonomije kretanja od  $150$  km. Interesantno je napomenuti da se sa masom hidrida od  $100$  kg Mg može dobiti autonomija kretanja od  $300$  km pri ostalim istim uslovima.

Kalorična moć  $1$  kg hidrida Fe-Ti je  $2,2$  MJ,  $1$  kg hidrida  $MgH_2$   $8,4$  MJ, dok je kalorična moć  $1$  kg benzina  $42,7$  MJ. U borbi za čistiju životnu sredinu interesantna su kombinovana rešenja hidrid-hidrid (slike 4 i 5) [15] i hidrid-benzin za primenu u urbanim sredinama.

### Baterija ili gorivne ćelije na vodonik

Baterija na vodonik je elektrohemijska baterija koja može dugo (skoro neprekidno) pretvarati hemijsku energiju



goriva  $H_2$  i oksidatora  $O_2$  ili vazduha u električnu energiju u jednom procesu koji ostavlja sistem skoro bez promena, slika 6 [4].

Baterija na vodonik predstavlja generator energije koji funkcioniše na obrnutom principu od principa elektrolize vode.



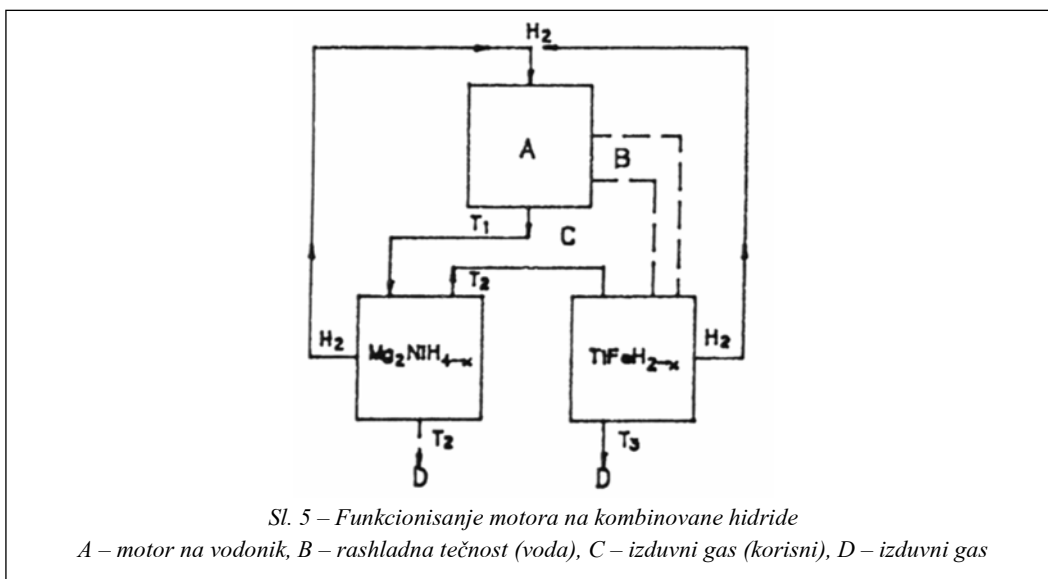
Obrnuta reakcija elektrolizi će oslobađati izvesnu količinu energije. Ovaj sistem se razlikuje od klasičnih baterija i akumulatora po tome što se u njemu ne odvijaju procesi klasičnog punjenja i pražnjenja, a elektrode izrađene najčešće od poroznog grafita ne trpe skoro nikakve promene tokom elektrohemijškog procesa već služe kao osnova za reakciju. Goriva komponenta  $H_2$  i komponenta koja omogućava sagorevanje – vazduh, smeštene su van sistema, a u njega se dovode po-

sebnim cevima. Sam proces razlikuje se od klasičnih elektrohemijških procesa, jer se odvija u dve istovremene etape: redukciji oksidatora na katodi i oksidaciji goriva na anodi. Ove reakcije odvijaju se u uslovima veoma bliskim povratnim, što uslovljava da je koeficijent korisnog dejstva ovih sistema veći nego kod termičkih motora. Međutim, brzina hemijske reakcije u ovom sistemu je vrlo mala, što uslovljava povećanje mase sistema, a i cene.

Šematski prikaz hemijskih procesa na elektrodama prikazan je na slici 6. Ukoliko se KOH koristi kao elektrolit neophodno je izvršiti dekarbonizaciju vazduha koji dolazi na katodu da ne bi došlo do stvaranja karbonata KOH.

Vodonik i kiseonik, odnosno vazduh, dovode se na porozne elektrode u gasovitom stanju. Poroznost elektroda je neophodna da bi se olakšao prolaz gasa. Pregradnu barijeru između elektroda čini elektrolit koji treba da spreči i stvaranje – „ključanje“ gasa koje bi poremetilo funk-





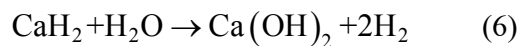
cionisanje baterije, uz sigurno obezbeđenje neproboja elektrolita prema komorama sa gasom.

Površina koja razdvaja gas od tečnog elektrolita lako se formira u jednoj kapilari, ali to nije slučaj sa otvorima u poroznim elektrodama. U graničnoj oblasti gasa i elektrolita dolazi do formiranja, sa jedne strane, kapilarne sile, a sa druge – sile pritiska gasa. Pritisak gasa je konstantan, ali se kapilarna sila menja u zavisnosti od veličine otvora u elektrodi. Treba obezbediti ravnotežno stanje u sistemu za normalno odvijanje hemijske reakcije. Ukoliko se to ne postigne povećanjem pritiska gasa, potrebno je elektrodama dodati katalizator (Pt ili Pd) koji će omogućiti bolju reaktivnost gasa na elektrodama i regularnije odvijanje procesa stvaranja električne energije. Poboljšanje reakcija na elektrodama postiže se i njihovom izradom u više slojeva i sa vrlo finim porozitetom (otvorima) okrenutim prema elektrolitu. U novije vreme u upo-

trebi su i specijalne membrane PEM (Proton Exchange Membrane) koje iz atoma vodonika „izdvajaju“ elektrone.

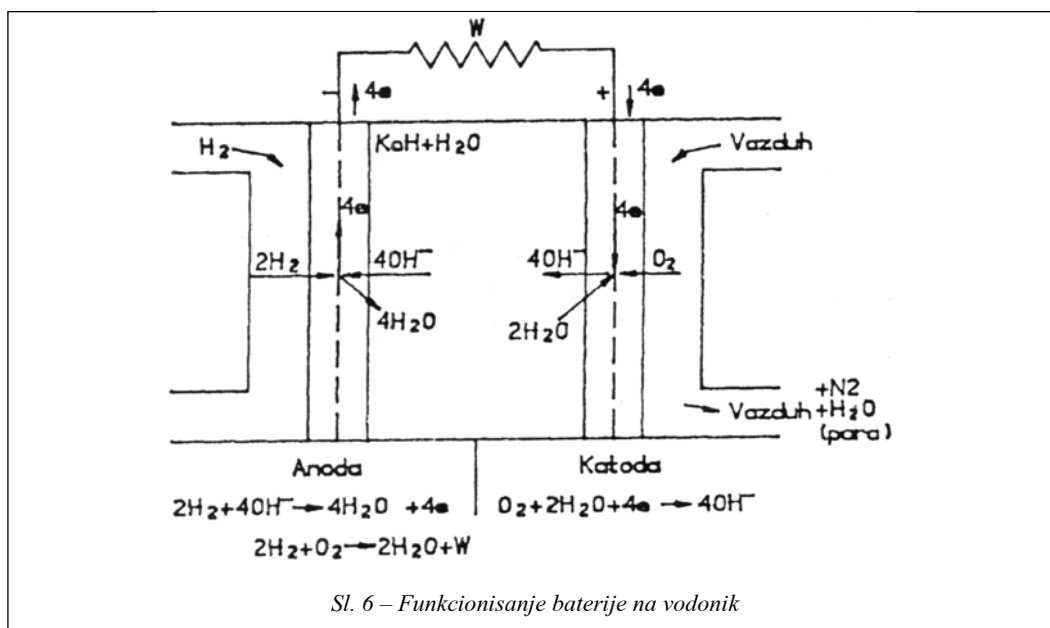
Produkt anodne i katodne reakcije je  $H_2O$ , čije prisustvo u elektrolitu ima negativan uticaj. Nije poželjno zadržavanje vode u bateriji i ona se mora odstraniti nekim od sledećih načina:

- cirkulacijom elektrolita i isparavanjem vode van baterije,
- cirkulacijom gasa i stvaranjem vodene pare,
- cirkulacijom elektrolita sa  $H_2O$  preko hidrida  $CaH_2$ , kada se dobija količina vodonika koja je prethodno utrošena pri funkcionisanju baterije:



- direktnim isparavanjem vode iz baterije.

Različiti prototipovi baterija na vodonik već su realizovani u zapadnim zemljama počev od 1959. godine. Svakako,



treba pomenuti baterije na vodonik koje su korišćene u svemirskom programu „Apolo“, snage 2 kW. Pritisak funkcionisanja bio je 4 do 7 bara na temperaturi od 260°C. Napon po elementu iznosio je 1 V a gustina struje na elektrodama 130 mA/cm<sup>2</sup>.

Krajem sedamdesetih godina prošlog veka Francuzi su proizveli bateriju na vodonik za pogon Renoa 4, koja je razvijala snagu od 11,4 kW i brzinu od 80 km/h i obezbeđivala autonomiju kretanja od 235 km, kada su u njemu bile četiri osobe i prtljag mase 80 kg.

### Umesto zaključka

Vodonik, uprkos svojoj količini i relativno velikom utrošku energije potrebne za njegovo dobijanje, predstavlja energetski vektor budućnosti, bilo da se koristi u čvrstom, tečnom ili gasovitom stanju. Od posebnog interesa

je upotreba metalnih hidrida i vodonika u gasovitom stanju. Imajući u vidu stalne apele za očuvanje životne sredine, upotreba vodonika za pogon vozila u urbanim sredinama će po procenama već 2020. godine iznositi oko 15%. To se naročito odnosi na razvijene zemlje, uz pretpostavku da će 1 kg vodonika u čvrstom ili tečnom stanju moći da se dobije utroškom samo 3 kWh energije. Upotreba hidrida i reversnih baterija na vodonik koji se oslobađa iz hidrida će u kosmičkoj industriji, pomorstvu, rudnicima, usamljenim naseljima, gde ne postoje drugi izvori energije, predstavljati pravo, možda i jedino prihvatljivo rešenje.

Metalni hidridi koji izdržavaju više od 100 ciklusa „punjenja i pražnjenja“, kao i baterije na vodonik čije elektrode mogu da izdrže više od 3000 h rada, sa pravom se nazivaju energetskim akumulatorima budućnosti.

Da se u svetu najozbiljnije računa na vodonik, kao energetska vektor budućnosti, potvrđuju brojni zajednički istraživačko-razvojni projekti vezani za njegovo dobijanje, skladištenje i korišćenje, počev od nacionalnih i multinacionalnih kompanija, preko udruženja i komisija u Evropskoj uniji, pa sve do komisija i komiteta u Organizaciji ujedinjenih nacija.

*Literatura:*

- [1] Henry, M. M.; Pottier, M.; PESHUIZIE, L. E.: Revue de l'énergie, Paris, Mars 1980, p. 131–143.
- [2] Dumon, R.: Energie solaire et stockage d'énergie, Masson, Paris, 1978.
- [3] Energie, Hydrogene, Grupe XI, Paris, 1980.
- [4] Talbot-Besnard, S.: Hydrogène Information, Paris, 1980, N°11, Special.
- [5] Science et Vie, N° 748, Paris, 1980. pp. 84–85.
- [6] Wassermel, K.; Arpe, H. J.: Chimie organique industrielle, Masson, 1981.
- [7] La recherche, N° 81, Paris, 1977. pp. 765–768.
- [8] Technique de l'énergie, Paris, N°36, 1980. pp. 45–47.
- [9] Thibault J. J.: The cryogenic storage of hydrogen, Hydrogen energy system, Zurich, 1978. pp. 1457–1473.
- [10] Van Vorst, W. D.; Finegold, J. G.: Automotive hydrogen, and onroad storage methods, Los Angeles, 1980.
- [11] Breelle, Y.; Gelin, P.; Meyer, C.; Petit, G.: Technico-economic study of distributing hydrogen for automotive vehicles, Zurich, 1978, pp. 2793–2827.
- [12] Science et Vie, Mai 1981, Paris, pp.73–82.
- [13] Andonovski, V.; Konjević, M.: L'hydrogène, vecteur énergétique de l'avenir étudié de diverses, possibilités de stockage, de transport et d'utilisation de l'hydrogène, ENSTA, Paris, 1981.
- [14] Aplauch, R. T. et al.: Hydrogen-fueled railroad motive power systems, a North American view, Hydrogen Energy System, Zurich, 1978., pp. 1793–1829.
- [15] Buchner, H.: Perspectives for Metal Hydride Technology. Progress in energy and combustion science, Vol. 6., pp. 331–346, Pergamon Press Ltd. 1980.
- [16] Arnulf, J. Maeland: Survez of the differeny types of hydrides, Zurich, 1977.
- [17] Buchner, H.: The Hydrogen/Hydride energy concept, Hydrogen Energy System, Zurich, 1978., pp. 1749–1792.
- [18] Shiner, J. et al.: Hydrogen sorption properties in binary and pseudobinary intermetallic compounds, Zurich, 1977.
- [19] Konjević, M.: Vodonik kao energetska vektor budućnosti, 6. simpozijum EIE i EP, Novi Sad, 1994.
- [20] Todorović, J.: Vodonik – energent budućnosti, VTG 5/2004, pp. 484–496.
- [21] Reilly, J. J.: Application of Metal Hydrides, Hydrogen Energy System, Zurich, 1978., pp. 527–570.
- [22] Swartzendruber, L. J. et al.: Numerical Physical proprieties data for Metal Hydrides Utilised for Hydrogen Storage, Hydrogen Energy System, Zurich, 1978., pp. 1973–2013.