

ECONOMIA HIDROGENULUI – DE LA UTOPIE LA REALISM

Prof.dr.ing. Flavius Dan ȘURIANU
Universitatea „Politehnica” din Timișoara



Absolvent al Institutului Politehnic din Timișoara (1972), specializarea electroenergetică. Este șeful Catedrei de electroenergetică de la Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică și are o bogată activitate didactică și de cercetare, orientată spre utilizarea eficientă a energiei electrice, compatibilitate electromagnetică în electroenergetică și resurse regenerabile de energie. A publicat 13 cărți și manuale de specialitate, 60 de articole în reviste de specialitate și a participat la elaborarea a peste 55 de contracte de cercetare.

REZUMAT

În lucrare se prezintă, succint, situația energetică mondială și posibilele căi de ieșire din criza de energie care se prefigurează, punându-se în evidență necesitatea și oportunitatea adoptării unei economii pe bază de hidrogen. Se definește „economia hidrogenului” și se prezintă progresele tehnologice făcute în realizarea infrastructurii acesteia, precum și preocupările Universității „Politehnica” din Timișoara în acest domeniu.

ABSTRACT

The paper presents the problem of world energy and the possible ways of solving the energy crisis that is on the verge of starting, stressing the necessity and opportunity of a hydrogen based economy. „Hydrogen economy” has been defined and there have been shown the technological progress realized in the infrastructure as well as the preoccupations of the Politechnical University of Timișoara in this respect.

1. SPRE O DRAMĂ ENERGETICĂ ?

„Secolul XXI va fi energetic sau nu va mai fi !”

Într-adevăr, omenirea trăiește, în prezent, o dramă energetică. Pe de-o parte, cele mai optimiste prognoze arată că, în jurul anului 2050, principalele resurse energetice clasice (petrol și gaze naturale) vor fi epuizate, iar pe de altă parte, arderea acestora determină un efect de seră care conduce la un scenariu apocaliptic în următorii 80–100 de ani.

În această situație, ce-i de făcut? Unica soluție o reprezintă căutarea, găsirea și punerea în aplicare a unor noi resurse energetice, teoretic inepuizabile și nepoluante, datorite cu atâtă generozitate de planeta noastră, Terra, care, în următorii 50 de ani să se substituie actualelor resurse bazate pe combustibilii fosili.

Căutarea organizată a început prin anii '80 ai secolului trecut, iar găsirea noilor resurse s-a datorat tot dărnicii Terrei: apele curgătoare, vântul, mările, valurile, deșeurile organice și, nu în ultimul rând, lumina solară au fost studiate și puse la treabă pentru a transforma energia lor latentă în energie electrică și termică, cele două tipuri de energie atât de necesare lumii moderne.

Dar, complexitatea problemelor tehnice de captare a acestor tipuri de energie primară, costurile enorme ale instalațiilor și randamentele reduse ale proceselor de conversie au făcut ca, după o muncă asiduă de mai bine de 25 de ani, resursele regenerabile de energie să reprezinte

doar aproximativ 10% din producția mondială de energie realizată în prezent. Mai mult, resursele regenerabile sunt doar apanajul țărilor bogate, care își pot permite fantezii acoperite cu panouri de stadiouanelor și cartiere de locuințe acoperite cu panouri cu celule fotovoltaice (Freiburg–Germania), câmpuri cu turbine eoliene (Viena–Austria), încălzirea locuințelor cu energie geotermală (sudul Italiei, Islanda).

Creșterea cotei-părți a producției de energie regenerabilă este previzibilă, iar previziunile optimiste o apreciază la 30–50% din totalul pieței de energie în jurul anilor 2050, dar aceasta depinde, în foarte mare măsură, de reducerea costurilor de producere și de găsirea unor posibilități de stocare masivă a energiei electrice, care să permită injectarea în rețelele electrice a unor cantități mari de energie în condițiile unei producții de energie regenerabilă în mod discontinuu și distribuit.

Înseamnă că mai trebuie abordată și dezvoltată încă o cale de producere și utilizare a energiei curate inepuizabile și aceasta o reprezintă hidrogenul.

2. HIDROGENUL – UN NOU PURTĂTOR DE ENERGIE

Hidrogenul nu există liber în natură, ci trebuie produs. De aceea, el nu reprezintă o sursă regenerabilă de energie, fiind doar un purtător de energie. De aici și pesimismul

copleșitor al opiniei publice, indus de o mare parte a specialiștilor conservatoriști din domeniul energiei, dar și de economiștii care nu pot accepta cu costurile actuale, foarte ridicate, ale procedeelelor de producere, de transport și de stocare ale acestuia.

Într-adevăr, din punct de vedere tehnic, pentru a se obține hidrogen trebuie consumată energie. De asemenea, transportul hidrogenului gazos prin infrastructura rețelei de conducte de gaz metan existente în prezent este imposibil, din cauza procesului intens de difuzie a moleculelor de hidrogen prin pereții țevilor, iar pentru a comprima sau lichefia hidrogenul în vederea transportului, trebuie să se consume energie. Aceeași problemă se pune la stocarea hidrogenului. În plus, intervine și problema securității personalului, mai ales când se manipulează rezervoare cu hidrogen lichid.

Toate aceste operațiuni sunt purtătoare de costuri enorme.

Hidrogenul produs, transportat și stocat este apoi utilizat în pile de combustie, unde, prin ardere în mediu de oxigen, produce energie electrică și apă fierbinte, sau în motoare cu hidrogen, unde, prin ardere, produce energie mecanică și, ca reziduu, apă. Deci, arderea hidrogenului este nepoluantă. Dar costul pilelor de combustie și al motoarelor cu hidrogen este încă prohibitiv pentru cetățeanul de rând.

Și totuși...

3. SPRE O ECONOMIE BAZATĂ PE HIDROGEN

Explozia dezvoltării tehnologiilor în domeniul producerii, transportului, stocării și utilizării hidrogenului, declanșată la finele secolului trecut și continuată în primii ani ai secolului XXI, arată că economia hidrogenului se metamorfozează din vis în realitate. Dar ce este economia hidrogenului ?

Economia hidrogenului reprezintă totalitatea infrastructurilor energetice la nivelele naționale și internaționale care au ca sursă energetică primară hidrogenul.

Construirea unor astfel de infrastructuri, care să permită în mod facil, eficient și ieftin producerea, transportul și distribuția hidrogenului reprezintă, în prezent, problematica majoră în dezvoltarea economiei hidrogenului.

3.1. Producerea hidrogenului

Pentru că hidrogenul nu se găsește în stare naturală la nivelul Terrei, el trebuie produs (sau extras) din substanțele care îl conțin în cantități apreciabile: gazele naturale și alte hidrocarburi, biomasa și apa.

Datorită diversității substanțelor care conțin hidrogen în cantități mari, rezultă că acesta poate fi produs oriunde în lume, utilizându-se procedee adecvate de separare a sa.

Principalele procedee de separare a hidrogenului, cunoscute și utilizate în prezent, sunt: termice, chimice și biologice.

Procedeele termice de bază pentru producerea hidrogenului sunt: reformarea catalitică cu vapori de apă a gazelor naturale (metan), descompunerea termochimică a apei, gazeificarea cărbunilor și a biomasei și piroliza biomasei, utilizând aburi la temperatură medie.

Procedeele chimice sunt de două feluri: electrochimice și fotochimice, ambele având ca materie primă apa. În cazul procedeelelor electrochimice, procesul de obținere a hidrogenului este electroliza apei, fie utilizând ca sursă primară de energie electrică una dintre energiile regenerabile (eoliană, solară, hidraulică, geotermală) sau energia nucleară, fie utilizând energia electrică produsă în centralele electrice care ard combustibili fosili. În procesul fotochimic apa este descompusă direct, cu ajutorul luminii solare.

Procedeele biologice, încă în fază de cercetare, au la bază procese foto-biologice (apă cu specii de alge care produc hidrogen cu o eficiență de 10 % la expunere la lumină solară), procese de fermentație anaerobă a biomasei și procesarea biomasei cu microorganisme fermentative la temperatură ridicată.

Cercetarea în domeniul producerii hidrogenului nu se oprește, însă, aici. De curând, un grup de cercetători de la Virginia Tech., Laboratorul Național Oak Ridge și Universitatea din Georgia, SUA a reușit producerea hidrogenului din polizaharide (amidon) obținute din plante, utilizând 13 enzime și apă. Din 26 kg de amidon se obțin 4 kg de hidrogen, suficient pentru a asigura o independență de drum de 450 km unui automobil echipat cu motor cu hidrogen.

3.2. Transportul și livrarea hidrogenului

Din analizele privind raportul distanță/cost al transportului de hidrogen de la locul de producere la cel de consum rezultă că: pentru stații de consum mici, este mai avantajos transportul hidrogenului sub formă de gaz comprimat (CGH₂); pentru stații de consum moderat, dar situate la distanțe mari, este mai avantajos să se utilizeze hidrogen sub formă de gaz lichefiat (LH₂); pentru locații cu cerere mare, este mai avantajos să se utilizeze rețele de conducte.

Conductele pentru transportul de hidrogen sunt folosite de peste 50 de ani, dar dacă sunt construite din oțel, ele devin casante, din cauza hidrogenării oțelului. De asemenea, construirea conductelor necesită investiții inițiale foarte mari. De aceea, în prezent, se caută noi soluții de transport al hidrogenului cu ajutorul mijloacelor de transport auto, navale și pe calea ferată. Și în aceste cazuri, hidrogenul poate fi transportat sub formă de gaz comprimat, lichefiat (lichid criogenic) sau înmagazinat în compuși speciali (hidruri, nanofibre de carbon etc.). Consumul de energie necesar comprimării hidrogenului la

700 bar este de 6% din energia înmagazinată, iar pentru lichefierea la -253°C a hidrogenului se consumă energie echivalentă cu 30% din energia înmagazinată. Hidrogenul comprimat este stocat în butelii de oțel la presiunea de 200 bar și transportat cu mijloace auto iar hidrogenul lichefiat și stocat în containere standardizate cu capacitatea de (3–23) tone este transportat cu mijloace auto sau navale. În studiu sunt barje pentru transport de hidrogen, cu capacitatea de 1000 tone.

În curs de testare sunt, în prezent, purtători care înmagazinează hidrogen sub formă de legături chimice reversibile. Acestea sunt hidrurile metalice, nanofibrele de carbon și alte hidruri reversibile.

Livrarea hidrogenului la consumatori se face prin stații de distribuție sub forma de hidrogen gazos la presiune de 300–700 bar, sau hidrogen lichid la temperatura de -253°C . La începutul anului 2007, la nivel mondial, existau, deja, peste 220 de stații de hidrogen înregistrate, destinate alimentării automobilelor și autobuzelor care funcționează cu pile de combustie. În acest sens, începând cu anul 2000 au fost inițiate și derulate proiecte în țările UE, SUA și la nivelul ONU (Programul Națiunilor Unite pentru Dezvoltare pentru Brazilia, China, Egipt, India și Mexic), care au condus la realizarea de autobuze pentru transportul în comun, acționate cu pile de combustie, în marile orașe din Europa (Amsterdam, Barcelona, Hamburg, Londra, Luxemburg, Madrid, Porto, Rejkjavik, Stuttgart), din Australia (Perth), din SUA (Los Angeles, San Francisco – Sacramento, Orlando) și din China (Shanghai, Beijing). În Canada există un program ambițios de realizare a unei „autostrăzi de hidrogen”, pe ruta Whistler – Vanconver – Surrey-Victoria, cu extindere până la San Diego.

3.3. Stocarea hidrogenului

O problemă esențială în asigurarea viabilității unei economii bazate pe hidrogen o reprezintă stocarea hidrogenului fabricat. Această problemă a apărut odată cu dezvoltarea procedeele de producere a hidrogenului cu ajutorul energiei regenerabile (eoliene, solare), care este o energie imprevizibilă, dependentă meteorologic.

Cu tehnologiile clasice, hidrogenul este greu de depozitat, din cauza proprietăților sale fizico-chimice:

- în prezența aerului se produce un amestec exploziv, pentru că hidrogenul, în amestec cu oxigenul în proporție de 5–85%, este inflamabil. Orice scăpare de hidrogen pe la ventile sau garnituri îmbătrânite ale unor butelii devine extrem de periculoasă;

- ca urmare a dimensiunilor extrem de reduse ale moleculelor sale, hidrogenul difuzează printr-un mare număr de materiale, procesul de difuzie fiind favorizat de presiunea înaltă și de căldură;

- în contact îndelungat cu oțelul, se produce hidrogenarea acestuia, care îl face să devină casant;

- din cauza densității sale foarte mici, puterea energetică raportată la volum a hidrogenului este de trei

ori mai mică decât cea a gazului metan, ceea ce înseamnă că, la aceeași cantitate înmagazinată, este necesar un rezervor cu presiune de trei ori mai mare decât pentru gazul metan.

Toate aceste probleme sunt, în prezent, pe cale de rezolvare, prin realizarea unor noi materiale și tehnologii de stocare. Astfel, prin utilizarea unor materiale noi au fost reduse pierderile prin difuzie și s-au realizat etanșezări speciale, care au permis stocarea hidrogenului sub forma de gaz sub presiune (CGH₂) în rezervoare la presiunea de 700 bar, energia consumată pentru aceasta reprezentând maximum 15% din cantitatea de energie înmagazinată în hidrogen.

Pentru depozitarea în cantități mari se utilizează în prezent rezervoare de hidrogen lichid (LH₂), care se îmbuteliază la presiunea atmosferică și temperatură scăzută, de -253°C . Se reduce astfel reactivitatea hidrogenului și se obține o creștere a densității sale de cca. 800 de ori față de starea gazoasă la temperatura normală, însă apar pierderi de căldură la evaporare. Lichefierea hidrogenului necesită un consum de energie de până la 20% din energia înmagazinată. Probleme mari de costuri implică izolația termică a rezervoarelor și a conductelor, care este necesară pentru a evita apariția fierberii, dar și a formării de gheață în jurul acestora.

Pentru a reduce presiunea hidrogenului molecular se fac cercetări în vederea dizolvării hidrogenului în alte materiale aflate fie în stare lichidă, fie în stare solidă. Principiul constă în stocarea hidrogenului molecular în golurile rețelei materialelor respective. Aceste materiale hidrogenate se numesc hidruri. Problemele pe care le ridică stocarea hidrogenului în hidruri sunt temperatura și presiunea de absorbție și de cedare a hidrogenului, toxicitatea în contact cu pielea și cu ochii, dar și greutatea rezervoarelor. Dintre hidrurile posibil de a fi folosite pentru stocarea hidrogenului sunt hidrurile de magneziu, de sodiu, litiu sau calciu și aluminiu sau de bor.

Un alt mijloc de stocare a hidrogenului îl poate reprezenta amoniacul (NH₃), din care poate fi eliberat printr-un procedeu de reformare catalitică. Amoniacul are avantajul că prezintă o mare densitate de înmagazinare a hidrogenului sub formă de lichid și fără probleme speciale de presiune și temperatură. În amestec cu apa, el poate fi stocat la temperatura și presiunea normală a mediului ambiant. De asemenea, nu se pun probleme de producere, transport și distribuție a amoniacului, existând deja o infrastructură bine pusă la punct în acest sens, iar prin reformare catalitică se obține hidrogenul, fără deșeuri toxice. Dezavantajul este, însă, că fabricarea amoniacului este energofagă.

În ultimii ani se profilează, însă, o nouă tehnică de stocare, prin utilizarea nanotuburilor de grafit, numite fullerene. Hidrogenul este înmagazinat între straturi de nanotuburi de grafit cu diametre de 5–10 nm. Astfel, la fiecare gram de grafit se înmagazinează aproximativ 30 litri de hidrogen.

Dezavantajul este că durata de încărcare a unui rezervor cu volumul de 25 litri este de 4–24 ore și poate fi făcută de numai 4–5 ori. De asemenea, încă nu este elucidată pe deplin teoria privind modul de înmagazinare.

Cercetări în curs sunt și cele privind înmagazinarea hidrogenului în rețele metalo-organice utilizând pentru aceasta o serie de materiale poroase sintetice, polimeri cu atomi de titan atașați, microsfele de sticlă de 10–300 μ m etc.

3.4. Utilizarea hidrogenului

În ultimii ani, consumul mondial anual de hidrogen depășește 500 miliarde de metri cubi și are un trend crescător, pe măsură ce cresc și se diversifică numărul și tipurile de consumatori de hidrogen și infrastructura de alimentare a acestora.

În prezent, hidrogenul se folosește, în principal, drept combustibil pentru rachete, avioane cu reacție, motoare cu ardere internă, pile de combustie și centrale nucleare de fuziune, ca materie primă în diferite procese de fabricație, ca agent de răcire, ca material sintetic și în sudură.

Încă de la finele secolului al XVIII-lea, hidrogenul s-a folosit pentru umplerea baloanelor, dar în secolul XX a fost înlocuit cu heliu, din cauza accidentelor produse. În prezent, cu hidrogen sunt umplute baloanele meteorologice.

În tehnica spațială și în aeronautică, hidrogenul se utilizează drept combustibil. În cazul rachetelor de lansare a navetelor spațiale americane se arde hidrogenul lichid (LH₂), care este oxidat de oxigenul lichid (LOX). În aviație sunt în fază de experiment motoare cu reacție care funcționează pe bază de hidrogen lichid, dar principalul inconvenient îl reprezintă greutatea mare a rezervorului. Motoarele cu ardere internă ale autovehiculelor, cu mici modificări, pot fi adaptate pentru a folosi hidrogen lichid drept combustibil. În prezent sunt în fază experimentală automobile care funcționează cu dublă alimentare: benzină și hidrogen (BMW, Honda).

O largă utilizare o are hidrogenul drept combustibil în pilele de combustie. Pila de combustie reprezintă un generator de energie electrică și termică, obținute prin conversia electrochimică printr-un proces invers electrolizei. Tensiunea electrică teoretică între bornele unei pile de combustie este de 1,23 V, dar, în practică, din cauza unor pierderi de potențial, se obțin tensiuni de 0,5–1V. Pilele de combustie se leagă în serie și paralel, formând grupuri de peste 45 de pile. Prin arderea hidrogenului într-un mediu de oxigen, în pila de combustie se obține apă fierbinte sau abur, ceea ce deschide largi posibilități de utilizare a acestor agregate. Astfel, pilele de combustie se folosesc ca surse de energie electrică pentru alimentarea autoturismelor și autobuzelor echipate cu motoare electrice de tracțiune, pentru alimentarea cu energie electrică, termică și apă potabilă a navetelor spațiale și a Laboratorului Spațial Internațional, ca surse de energie

electrică, termică și de apă caldă potabilă și menajeră a locuințelor izolate și ca surse de energie electrică, ce tinde să înlocuiască acumulatorii aparatelor portabile (telefoane mobile, laptop-uri, aparate de măsură etc.).

Hidrogenul este folosit, sub formă de deuteriu și de tritium, pentru experimente în reactoare nucleare de fuziune, existând în acest sens proiecte în curs de derulare, cu rezultate foarte promițătoare.

Datorită reactivității sale mari, hidrogenul se utilizează și ca materie primă în procesul de reducere a mineralelor (reacția hidrogenului cu oxigenul din oxizii metalici produce apă și metalul respectiv, de mare puritate), în procesul de fabricare a amoniacului (NH₃) și în procesele de hidrogenare a cărbunelui pentru obținerea de hidrocarburi și hidrogenarea uleiurilor vegetale și a materialelor sintetice.

Având o capacitate termică mare, hidrogenul este utilizat și ca agent de răcire în diverse instalații industriale și în centralele electrice clasice, iar hidrogenul lichid se folosește în criogenie, pentru distilări criogenice, conservarea de organe și în supraconductibilitate.

4. PREOCUPĂRI ÎN DOMENIUL „ECONOMIEI HIDROGENULUI”, LA UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA

Receptivitatea la noutatea științifică și tehnologică a colectivului de cadre universitare de la Universitatea „Politehnica” din Timișoara a făcut ca, în ultimii ani, să existe preocupări majore în domeniul energiilor regenerabile, în corelație cu dezvoltarea „economiei hidrogenului”. Astfel, sub directa coordonare a rectorului UPT, prof.dr.ing. Nicolae Robu, s-a organizat un grup de cercetare format din automatiști, electroniști, fizicieni, chimiști și electroenergeticieni care, în cadrul proiectului național „Platformă pentru studiul fenomenelor concurente: fizice, energetice, electrotehnice, electronice și chimice care au loc în procesul de conversie termosolară și în efectul fotovoltaic. Automatizarea funcționării și exploatarea instalațiilor heliotehnice bazate pe conversia termosolară și fotovoltaică”, Cod CNCSIS 44/2006, studiază posibilitățile realizării unei clădiri semiindependente energetic. Tot în cadrul acestui proiect, la începutul anului 2008, la Catedra de electroenergetică va fi pus în funcțiune primul laborator echipat cu o pilă de combustie alimentată cu hidrogen produs prin electroliză fotovoltaică, pentru studiul regimurilor de funcționare ale acestora și posibilitățile de interconectare cu rețeaua electrică de distribuție urbană.

În cadrul colaborării interdisciplinare între Facultatea de Chimie Industrială și Ingineria Mediului, Catedra de electroenergetică și Departamentul de automatică, se fac

cercetări privind generarea hidrogenului cu ajutorul energiei solare și îmbutelierea eficientă a acestuia.

De asemenea, în domeniul utilizării pilelor de combustie și eficientizării funcționării acestora, Catedra de electroenergetică are colaborări, pe bază de programe de cercetare, cu Universitatea de Vest din Timișoara și cu CN Transelectrica SA, Sucursala de Transport Timișoara.

5. ÎN LOC DE CONCLUZII

• Economia bazată pe hidrogen nu mai este o utopie. Ea începe să reprezinte o realitate, un mod de viață care prefigurează un altfel de viitor pentru omenire.

• Până la sfârșitul secolului XXI, acest gen de economie va funcționa din plin, ea fiind singura alternativă energetică a omenirii, iar Terra va fi „planeta albastră” bazată pe un suport de „energie verde”.

BIBLIOGRAFIE

1. **Ogden, J.M.** *Hydrogen: The Fuel of the Future?*, Physics Today, April, pp. 69–75, 2002.
2. **Hoffman, P.** *Tomorrow's Energy: Hydrogen, Fuel Cells and the Prospects for a Cleaner Planet*, MIT press, Cambridge, Massachusetts, 2001.
3. **Welch, G.C., San Juan, R., Masuda, J., Stephan, D.** *Reversible Metal-Free Hydrogen Activation*, Science, Vol. 314, no. 5802, pp. 1124–1126, Nov., 2006.
4. **Wilson, E.** *H₂ Activation, Reversible Metal-Free Compound Readily Break and Makes Hydrogen*, Chemical & Engineering News, November 20, 2006.
5. Asociația Germană a Hidrogenului și Pilelor de Combustie (HRSG), *Hidrogen – Noul purtător de energie*, 2004 (<http://www.dwv-info.de/publicationen/2004>).
6. **Ghergheș, V.** *Energia viitorului. Surse regenerabile.*, Editura Mediamira, Cluj-Napoca, 2006.