

STOCAREA ENERGIEI

Soluții noi oferite de progresele chimiei moderne și unele contribuții românești

Dr. ing. Savel MATACHE,
Enelin Chemical – SUA



A absolvit Facultatea de Chimie Industrială, secția de electrochimie, din cadrul Universității „Politehnica” din București, în anul 1958. A obținut doctoratul în ingineria proceselor chimice la Facultatea de Chimie Industrială din București, în 1982, avându-l conducător științific pe acad. Emilian Bratu. A lucrat 32 de ani, fără întrerupere, pe platforma industrială Săvinești. A fost unul din cei care au înființat Centrul de Cercetări Săvinești, al cărui director a fost până în anul 1990. A primit Premiul „Nicolae Teclu” al Academiei Romane în anul 1980. A obținut peste 70 de brevete de invenție, acordate în țară și în străinătate, și a elaborat numeroase articole științifice, comunicări științifice, manuale etc. A obținut premii la saloanele de invenții și Medalia de aur la Salonul Internațional „INVENTA '99”. În prezent este director general al societății „Enelin Chemical” – SUA.

ABSTRACT. This article briefly looks at the results of Romanian researchers, more specifically of a group of researchers from the former “Research Center for Chemical Fibers – Savinesti”, that could be successfully employed in developing alternative forms of energy. It presents a critical view of the methodology used in setting out the research topics and the way specialised human resources were allocated during the centralised economy. This shows that, even in autarchic economic conditions, Romanian researchers have achieved important results that could be extended and exploited in a more efficient way by transferring data, from chemical research, to technologically related fields that have overlapping scientific background areas. The current problems facing the energy industry are briefly analysed, together with the role that energy storing technologies would play in the future. The importance of development of energy storage systems is highlighted, and the interest of Romanian researchers in this area is emphasised. Results from chemical research, that could further be the scope of alternative forms of energy, are presented. The paper comments on some achievements of Romanian researchers teams in the areas of long and medium term energy storage.

REZUMAT

În comunicare se face o trecere în revistă, pe scurt, a unor rezultate ale cercetării chimice românești, obținute de un colectiv de cercetători proveniți din fostul Centru de Cercetări pentru Fibre Chimice Săvinești – Neamț, care ar putea fi valorificate cu succes în energetica neconvențională. Se face o prezentare critică a modului în care se întocmeau tematicile de cercetare și se folosea potențialul uman specializat în perioada economiei dirijiste. Se arată că, chiar și în condițiile unor politici de dezvoltare autarhica, cercetarea românească a obținut unele rezultate importante, care ar putea fi extinse și valorificate într-un mod nou, superior, prin transferul unora din datele obținute de cercetarea chimică, în domeniile tehnice înrudite, cu zone comune de tratare științifică. Se analizează sumar problematica contemporană a evoluției energeticii și a rolului pe care tehnologiile de stocare a energiei trebuie să-l joace în viitor. Se scoate în evidență importanța preocupărilor legate de perfecționarea sistemelor de stocare și se argumentează interesul cercetătorilor români pentru abordarea acestui domeniu. Sunt prezentate acele realizări ale cercetării chimice care ar permite obținerea de progrese în energetica neconvențională. Sunt comentate câteva dintre rezultatele obținute de cercetarea românească în domeniul tehnicilor de stocare de lungă și medie durată.

1. CONSIDERAȚII INTRODUCȚIVE

În anii '70-'80, sub presiunea imperativă a politicii economice autarhice a regimului totalitar comunist, cercetarea de dezvoltare românească a abordat și a rezolvat competitiv, de multe ori, teme de asimilare a fabricației unor produse cu un grad ridicat de dificultate tehnică, ce se importau pe valută forte din țările dezvoltate industrial.

În România anilor pe care îi trăim, aducerea în discuție a rolului Chimiei în dezvoltarea armonioasă a ansamblului social și în proiectele economice și de

învățământ se lovește de idiosincrazii istorice, uneori justificate, întreținute efervescent de formatori de opinie cu competență limitată.

În anii '80 un colectiv din cadrul fostului Centru de Cercetări Săvinești a elaborat, în contextul amintit mai sus, câteva tehnologii electrochimice și a conceput și realizat câteva tipuri de echipamente de electrosinteză care au stat la baza primei instalații industriale de fabricare a persulfatilor din România.

Izolarea tehnică a țării noastre din acei ani și protecția secretului industrial, practicat de companiile furnizoare de produse „de vârf”, i-au obligat pe unii

cercetători români să reinventeze tehnologii deja consacrate și să conceapă cai proprii de realizare a unor echipamente și linii tehnologice. [2-7].

Ca urmare, datorită politicii de import suprarestrictive, s-au dezvoltat cercetări proprii pentru materiale și echipamente de „vârf”, care au permis atât rezolvarea eficientă a sarcinilor conjuncturale impuse – reducerea unor importuri costisitoare –, cât și abordarea unor domenii noi de cercetare și de dezvoltare tehnologică, ce nu se regăseau în comanda socială a momentului [8-13].

Cercetătorii români au fost nevoiți să conceapă și să dezvolte „din mers”, la scara industrială, tehnologii de fabricație pentru componente complexe ale unor tipuri de reactoare electrochimice neconvenționale, cum sunt cele de fabricare a persulfatului de amoniu, de reducere a sărurilor ferice sau de regenerare electrochimică a acidului clorhidric rezidual.

Astfel, în anii '80 și '90 s-au studiat și elaborat tipuri noi de membrane schimbătoare de ioni permselective și s-au elaborat tehnologiile de fabricare a acestora, s-au conceput și produs noi materiale compozite polimero-grafitice pentru realizarea de tipuri diferite de structuri electrodice și s-au creat noi tipuri de fire tehnice – firele cu lumen – destinate confecționării sistemelor de drenare-irigare și de schimb termic ale unor echipamente electrochimice speciale [14, 15].

De asemenea, s-a elaborat o tehnologie nouă de hidrogenare catalitică a unor compuși aromatici (benzen, toluen, xilen), dezvoltată industrial la scară mare (cca. 10 000 t/an), și s-au conceput, construit și experimentat reactoare de sinteză specifice.

În perioada amintită s-a colectat un volum mare de informații tehnico-științifice, care s-a materializat printr-un know-how valoros și prin numeroase brevete românești și străine, precum și prin definirea unor noi direcții de cercetare, care să permită valorificarea cât mai eficientă a experienței intelectuale dobândite, prin găsirea unor noi aplicații pentru rezultatele deja obținute din cercetare.

În aceste condiții, în mod firesc, au apărut preocupări și soluții de transfer și aplicare a informațiilor tehnico-științifice obținute prin cercetările de dezvoltare din domeniul chimiei industriale, în domeniul energiei neconvenționale, și anume în tehnologiile „de stocare a energiei”.

2. „STOCAREA ENERGIEI”

2.1. Problematika stocării energiei și evoluția energiei

Trăim într-o epocă de schimbări rapide și accelerate. În lumea de azi, totul este în transformare continuă.

Noile tehnologii ne transformă felul de a trăi, de la calculatorul personal la telefonul mobil, la Internet, la frigiderul fără condens, la serviciile prin satelit ș.a.m.d.

Comportamentul social și politic se schimbă.

Pe toate continentele, zeci de țări trec la o democrație participativă și resping sistemele autoritare, desființând multe dintre mecanismele statale care au dominat economia.

De asemenea, mediul global se schimbă rapid – și imprevizibil – forțat de o creștere fără precedent a numărului de ființe umane și de o chiar mai rapidă expansiune a industriei, a construcțiilor și a numărului de autovehicule.

„Gaura” din stratul de ozon de deasupra Antarcticii, pierderea continuă, fără precedent, a unui număr de specii de plante și animale, legătura dintre substanțele chimice sintetice și o multitudine de boli umane, reducerea evidentă a capacității surselor de energie bazate pe combustibili fosili etc. sunt argumente de netăgăduit că noi și copiii noștri ne vom confrunta cu un viitor de schimbare rapidă și distrugătoare a climei.

Și cu toate acestea

Această viziune sumbră asupra viitorului planetei îi determină pe cercetători să caute noi soluții tehnico-științifice care să ofere șanse de supraviețuire speciei umane.

Cu toate că prognozele energetice și studiile experților realizează un consens șocant că în energetică, în următoarele câteva decenii, vor avea loc doar schimbări minore, care vor conduce la o versiune aproape identică a economiei energetice actuale, bazată în principal pe combustibili fosili, doar cu puțin mai eficientă și puțin mai „curată”, trebuie arătat că forțele schimbării – de care aminteam mai înainte – vor modifica, în mod sigur, și viitorul energiei mondiale.

În deceniile anterioare, sistemele energetice au fost modelate de un anumit tip de forțe tehnologice, politice, economice etc., care modelează lumea de astăzi în modurile cunoscute.

În anii recentți, noi tehnologii de obținere, transport și utilizare a energiei, noua tendință publică de participare la procesul decizional, precum și o serie de crize ambientale au devenit foarte puternice pe piața energiei. Ele vor modela, cu siguranță, economia energetică mondială.

Se estimează că lumea va trebui să reducă emisiile globale de compuși ai carbonului cu cel puțin 60% sub nivelurile momentului, pentru a stabili CO₂ atmosferic la concentrațiile curente. Prin contrast, Agenția Internațională pentru Energie prognozează o creștere a emisiilor cu aproape 50% până în 2010, în special datorită țărilor puternic industrializate.

Pentru a diminua riscul modificărilor climatice catastrofale, spre mijlocul acestui secol, când economia umană va fi de câteva ori mai extinsă, lumea va trebui să realizeze o rată de emisii de carbon, per \$ de producție mondială brută cifrată la aproximativ o zecime din nivelul actual.

Se pare că acesta va fi sfârșitul economiei bazate pe combustibili fosili, așa cum o cunoaștem astăzi.

Nu putem să nu amintim aici, în prezentarea considerațiilor privind restricțiile prezente și viitoare în dezvoltarea energeticii, aspectele legate de pericolul grav de supraîncălzire a biosferei.

Creșterea consumului mondial de energie electrică, ce era la sfârșitul secolului trecut de cca. 7% pe an, va deveni în următoarele decenii de nesuportat.

Căldura disipată în mediul ambiant pentru fiecare kWh de energie electrică produsă este de cca. 2,5 kWh energie termică. Aceasta cantitate de căldura traversează biosfera (hidrosfera și atmosfera) și, parțial, este radiată în rezervorul infinit al spațiului, dar căldura disipată poate deveni o sarcină termică greu de suportat pentru biosferă.

Înțelepciunea convențională este utilă în cazurile în care anticipăm tendințe uniforme, dar ea nu anticipează aproape niciodată discontinuitățile majore. De fapt, în ultimele decenii, cei ce fac prognoze au înregistrat un eșec total. Rapoartele din anii '70 ale unor instituții de vârf din domeniu au supraestimat de 6 ori cantitatea de energie nucleară pe care omenirea urma să o folosească la sfârșitul secolului, iar studiile din anii '80 arătau că petrolul va depăși cu mult 100 \$/baril.

Zonele în care forțele schimbării au devenit mai vizibile în ultimele decenii sunt definite atât de apariția unei multitudini de tehnologii mai eficiente energetic (cu consumuri mult mai reduse în raport cu calitatea serviciului aplicației utilizatorului !), cât și de noile surse de energie atrase în fluxul activităților omenesti.

Este de așteptat ca, și în energetică, să apară același tip de salturi tehnologice ca cele din electronică, telecomunicații, biotehnologii și alte domenii.

Peisajul energetic se modifică sub ochii noștri, sub influența apariției gazelor naturale, ca sursa majoră de energie cu cea mai rapidă creștere.

Realizări recente în domeniul așa-ziselor „energii reînnoibile” transformă energia solară și energia eoliană în opțiuni viabile din punct de vedere economic.

Stocarea eficientă a energiei devine unul dintre cele mai spectaculoase și sensibile domenii de activitate și inițiativă, dezvoltarea procedurilor, echipamentelor și tehnologiilor de conversie și stocare fiind o condiție exclusivă pentru utilizarea competitivă a tuturor surselor reînnoibile de energie (solară, eoliană, maree etc.).

Necesitatea conceperii și realizării unor noi sisteme performante pentru „stocarea energiei” este impusă de discrepanța evidentă dintre momentul și locul producerii energiei și momentul și locul consumării acesteia.

Fluctuațiile de consum pot fi:

- diurne
- săptămânale
- sezoniere

După cum se știe, fluctuațiile diurne prezintă amplitudini mari, cererea din orele mici ale dimineții situându-se la cca. 1/3 din cea care corespunde perioadei de vârf.

În țările în care încălzirea electrică este larg răspândită, solicitarea centralelor electrice în timpul iernii este de două ori mai mare decât vara, iar în țări cu clima toridă, unde climatizarea este utilizată frecvent, vârful de consum înregistrat vara este maxim în cursul unui an.

Este evident că funcționarea centralelor electrice la capacitate mare și constantă depinde de cuplarea acestora la sisteme de stocare.

Dezvoltarea energeticii solare este puternic influențată de perfecționarea sistemelor de stocare, folosirea eficientă a energiei captate depinzând de evoluția sistemelor de stocare diurnă.

De altfel, în general, atragerea în circuitul economic competitiv a surselor alternative de energie este în funcție de costul și fiabilitatea tehnologiilor de stocare.

Tehnologiile și echipamentele de stocare a energiei, folosind parțial sau integral procese electrochimice, pot fi împărțite în:

- tehnologii și echipamente pentru stocare de scurtă durată și cu capacități mici (sub 0,5 kWh);
- tehnologii și echipamente pentru stocare medie (12-60 ore) și cu capacități până la câteva sute de MWh;
- tehnologii și echipamente pentru stocare de lungă durată (10-300 zile) și cu capacități mai mari decât 1000 MWh.

Soluțiile tehnico-științifice elaborate de cercetătorii români, atât pentru stocarea energiei pe durată medie cât și pentru stocarea de lungă durată, sunt centrate pe utilizarea unor tipuri noi de echipamente electrochimice și a unor noi materiale și componente pentru reactoarele de sinteză electrochimică și pentru pilele generatoare de curent continuu.

2.2. Stocarea cu durata medie

2.2.1. Câteva elemente introductive

Se cunoaște faptul că pilele secundare sunt sisteme electrochimice de stocare (acumulare) a energiei electrice sub formă de energie chimică, ale căror procese

se bazează pe reacții electromotric active (REMA) reversibile, de tip redox, între două specii chimice electroactive.

În spațiile anodice și catodice se găsesc – sau sunt alimentate continuu – specii electroactive (elemente chimice sau combinații !) capabile să participe la procese de transfer de sarcină la electrozii pilei galvanice, în urma unor reacții potențial active (RPA).

Fiecare REMA este caracterizată printr-o valoare a entalpiei libere și a diferenței de potențial electric (FEM).

Suma reacțiilor potențial active de la cei doi electrozi constituie reacția electromotric activă – REMA.

$$RPA_{\text{anodic}} + RPA_{\text{catodic}} = \text{REMA}$$

Funcționarea acumulatorului redox se bazează pe o REMA de tipul :

$$A_{\text{red (aq)}} + B_{\text{ox (aq)}} = A_{\text{ox (aq)}} + B_{\text{red (aq)}}$$

în care A și B sunt reactanții, respectiv produșii, în stări de oxidare diferite.

În majoritatea sistemelor studiate, reactanții și produșii de reacție sunt complet solubili în mediul de reacție.

Alegerea cuplurilor redox adecvate pentru realizarea acestor sisteme depinde de potențialul reversibil al reacțiilor potențial active și de cinetica de electrod. Foarte importantă este valoarea densității curentului de schimb.

Desfășurarea spontană a reacției electrochimice corespunde transformării energiei chimice în energie electrică (descărcarea acumulatorului) cu generare de curent electric. În cursul procesului de încărcare, în urma trecerii curentului electric se reformează speciile electroactive inițiale. REMA se desfășoară în sens invers.

Din punct de vedere constructiv, acumulatorul presupune o celulă de reacție echipată cu doi electrozi colectori (inerti, de cele mai multe ori!).

Anolitul și catolitul sunt separați prin membrane schimbătoare de ioni, semipermeabile.

Soluțiile epuizate de anolit și catolit sunt stocate în rezervoare separate și sunt recirculate în sens invers la încărcare.

Printre avantajele sistemelor redox se pot enumera :

- funcționarea la temperatura ambiantă;
- absența unor limitări la descărcare și în viața ciclică;
- flexibilitate deosebită a capacității și a puterii.

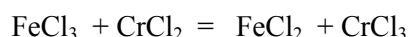
Mărirea capacității, de exemplu, se poate realiza prin creșterea numărului sau a capacității rezervoarelor de stocare a soluțiilor de electrolit, în timp ce creșterea

puterii este asigurată de viteze mai mari de circulare a electrolitului.

Partea esențială a sistemelor redox de tipul descris este membrana schimbătoare de ioni, care determină performanțele sistemului de stocare.

În anii '80 și '90 s-a constatat o creștere semnificativă a eforturilor destinate realizării de acumulatori redox de tipul descris. Avantajul esențial al acestor acumulatori constă în posibilitatea amplasării reacțanților în rezervoare mari, exterioare, la presiunea atmosferică.

Unul din cele mai cunoscute cupluri redox este perechea clorurilor de Fe și Cr.



Pentru evitarea amestecării soluțiilor, spațiile anodice și cele catodice sunt separate de membrane schimbătoare de ioni permselective.

Ambele soluții rezultate în urma „încărcării” acumulatorului se pompează în rezervoare separate, unde sunt păstrate sub protecția unui gaz inert, pentru a evita reacțiile parazite de oxidare a speciilor electroactive de către oxigenul din aer.

La „descărcarea” acumulatorului, soluțiile proaspete de anolit și catolit sunt readuse din rezervoarele exterioare și sunt recirculate în spațiile electrodice, unde speciile electroactive participă la reacțiile de electrod, în urma cărora se generează curentul electric continuu. Este de remarcat faptul că pilele redox de tipul descris au fost studiate în anii '40, în Germania. Astăzi, cele mai multe elemente redox sunt realizate în SUA, de către NASA.

Cu câțiva ani în urmă a fost anunțată punerea în funcțiune, în Anglia, la Little Barford, a primei centrale industriale de mare capacitate, pentru stocarea energiei pentru durate medii. O linie de stocare are capacitatea de 100 MWh. Tehnologia de la Barford este comercializată sub denumirea de „The Regenesys TM System”.

2.2.2. Soluții tehnico-științifice românești pentru tehnologii și echipamente destinate stocării energiei pentru durate medii

Cercetări interdisciplinare desfășurate pe parcursul mai multor ani au permis unui colectiv de cercetători de la fostul Centru de Cercetări Săvinești realizarea unei tehnologii de stocare a energiei pe durată medie, folosind un sistem redox original care permite coborârea semnificativă a costurilor de stocare, atât în etapa de investiție cât și în etapa de exploatare. Reacții folosiți sunt ieftini și accesibili.

Conceperea și realizarea noului procedeu românesc pentru stocarea energiei pe durată medie și a echipamentelor specifice aferente a fost posibilă în urma valorificării *know-how*-ului obținut în urma cercetărilor de dezvoltare întreprinse pentru elaborarea unor tehnologii de electrosinteză industrială și a rezultatelor obținute prin investigarea proprietăților acido-bazice ale unor combinații complexe, precum și datorită realizării unor noi tipuri de structuri electrodice și de separatori pentru celulele electrochimice – membrane schimbătoare de ioni permselective de tip special. Toate acestea s-au bazat pe realizări și progrese în domeniul tehnologiilor de sinteză și al prelucrării unor produși polimerici specifici.

Ca urmare, au fost elaborate tehnologii pentru noi tipuri de produse industriale, cum sunt: firele tehnice cu lumen, membranele schimbătoare de ioni, materialele compozite speciale, adezivii speciali etc. Aceste produse au permis găsirea unor noi soluții pentru arhitectura pilelor electrochimice de tip redox, de mare putere.

Procedeu care stă la baza tehnologiei de stocare a energiei electrice elaborate de cercetătorii români constă în realizarea unui ciclu de transformări electrochimice în circuit închis, în care soluțiile unor electroliți care conțin speciile electroactive specifice participă la generarea de curent continuu într-o baterie de pile redox reversibile – ca urmare a desfășurării unor reacții electromotric active (operația de „descărcare”) –, care, după epuizare, sunt reformate și readuse, din nou, la compoziția și starea inițială de parcurgere a ciclului menționat mai sus, prin inversarea sensului de trecere a curentului continuu prin echipamentul electrochimic (operația de „încărcare”).

Bateria de pile electrochimice redox este constituită din celule electrochimice elementare, montate conform unei arhitecturi interne particulare care determină curgerea specifică a fluidelor de lucru și care asigură un contact potrivit al acestora cu structurile electrodice.

Întregul ansamblu funcționează reversibil, ca pilă și ca reactor electrochimic, având roluri diferite în cele două ipostaze de lucru, în funcție de sensul de trecere a curentului electric și de compoziția soluțiilor de electrolit.

Electrozii celulelor electrochimice sunt constituiți dintr-un material grafitic special, sub formă de folii.

Spațiile anodice și cele catodice sunt separate cu ajutorul unor membrane schimbătoare de ioni permselective, cu proprietăți speciale.

Circulația soluțiilor de anolit și catolit în pilă se realizează cu ajutorul unor pompe de recirculare exterioare, prin intermediul unor sisteme de „irigare” și „drenare” de construcție specială.

Construcția bateriei de pile electrochimice redox reversibile, prezentată aici, se bazează pe realizări relativ recente din tehnica fabricării și prelucrării unor polimeri sintetici, în speță fiind vorba de crearea „firelor cu lumen”, a fibrelor de carbon, a membranelor schimbătoare de ioni permselective, a foliilor din materiale compozite, a unor adezivi etc.

Ansamblul bateriei de pile electrochimice este realizat astfel încât inserierea sau legarea în paralel a celulelor electrochimice elementare să permită obținerea directă a tensiunii electrice și a puterii solicitate de consumator (figurile 1 și 2).

Comparație între performanțele acumulatorului redox românesc și principalele tipuri de acumulatori comerciale cunoscute. Densitatea de energie și costul de investiție pentru unele tipuri de acumulatori se prezintă în tabelul următor.

Denumirea acumulatorului electric	Densitatea de energie, în Wh/kg	Cost de investiție, în \$/kWh
Cadmium-nichel, alcalin	28	330
Fier-nichel, alcalin	28	157
Plumb-dioxid de plumb, acid	26	79
Pila redox reversibilă, varianta românească	70	14

Folosirea acumulatorilor convenționali cunoscute pentru stocarea energiei pe durate medii și la capacități mari este restricționată de rezervele mondiale de plumb și de nichel, care sunt cu totul insuficiente pentru dezvoltarea aplicației menționate mai sus, chiar la necesarul actual de energie.

Soluția românească introduce în tehnica stocării medii și de lungă durată materiale ieftine și larg accesibile.

2.3. Stocarea de lungă durată a energiei

2.3.1. Câteva elemente introductive

Unele dintre cele mai promițătoare soluții tehnico-stiințifice pentru stocarea de lungă durată a energiei, transpuse industrial către sfârșitul secolului al XX-lea, sunt cele care utilizează hidrogenul ca vector energetic.

Crizele de energie din secolul trecut, determinate de creșterea consumului energetic și de conștientizarea, la scara întregii societăți, a pericolului epuizării previzibile a resurselor de combustibili fosili, precum și a impactului negativ asupra mediului al folosirii acestora, au impus accelerarea perfecționării tehnologiilor de utilizare a hidrogenului ca purtător de energie și ca intermediar în procesele de stocare a acesteia.

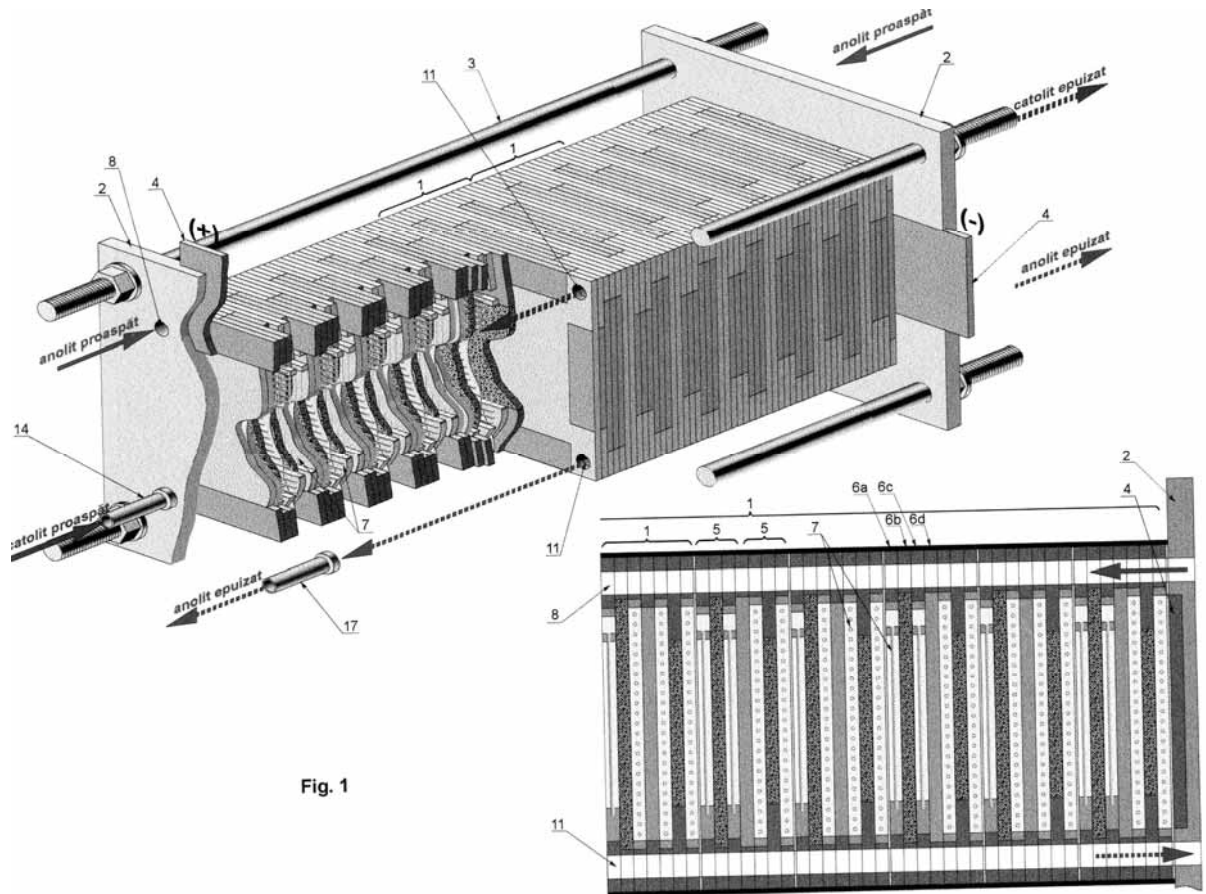


Fig. 1

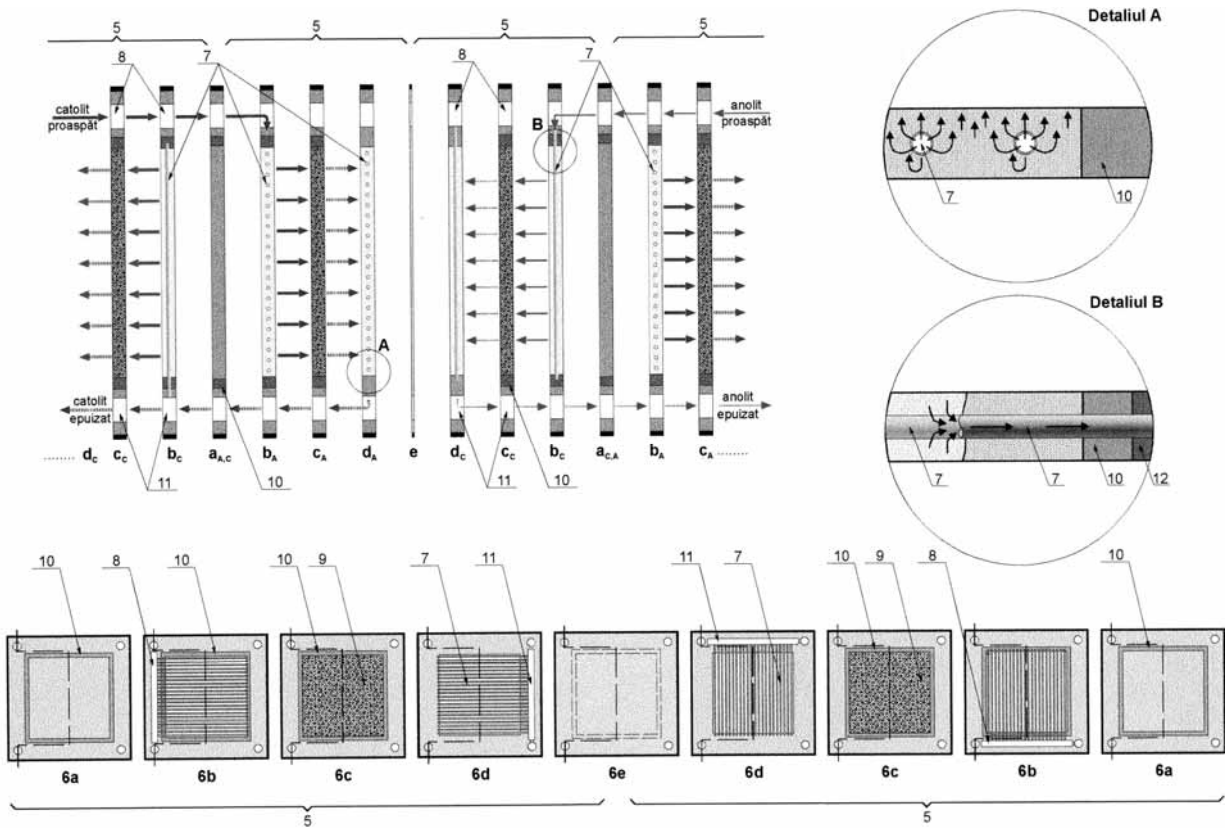


Fig. 2

Sursa de hidrogen – apa –, practic inepuizabilă pe planetă, presupune dezvoltarea tehnicilor de electroliză și de „depozitare”. Ciclurile termochimice propuse până în prezent pentru obținerea mai ieftină a hidrogenului se dovedesc inaplicabile.

Hidrogenul poate fi stocat prin lichefiere și poate fi ținut în rezervoare criogenice, folosite deja în tehnica spațială.

Cel mai mare rezervor de hidrogen lichefiat este cel de la Cap Kennedy și are o capacitate de 4000 m³, echivalentul unei energii de 6000 MWh, destocabilă prin pile de combustie.

Cheltuielile de stocare a hidrogenului prin lichefiere criogenică și de menținere a acestuia în stare lichidă, sub condițiile critice, sunt atât de mari încât fac ca această cale să nu fie transpusă industrial pe scară largă și să nu devină comercială în viitorul previzibil.

O a doua cale – singura industrializabilă comercial până în prezent – este cea care utilizează un procedeu chimic de „fixare” a hidrogenului pe un compus chimic, cum ar fi produșii aromatici (benzen, toluen, xileni etc.), și „extracția” acestuia prin dehidrogenare catalitică. În acest mod, „moleculele-suport” ale produsului revin, în stare nealterată, la structura aromatică inițială, produsul fiind utilizabil într-un nou ciclu de „depozitare”, iar hidrogenul obținut este trimis la consum.

Această variantă de „depozitare” prin intermediul unor compuși hidroaromatici este mult mai puțin costisitoare decât „depozitarea” prin lichefiere și are șanse mari să se dezvolte industrial pe scară mare.

Încă în anii '90, o companie canadiană exporta energie în Franța prin intermediul hidrogenului, folosind procedeul descris mai înainte.

În Quebec funcționează capacități industriale mari de electroliză a apei și de hidrogenare catalitică a unor produși aromatici.

Produsul „hidrogenat” este încărcat în vase petroliere de mare capacitate și este transportat în Europa, unde este descărcat în portul francez Le Havre. Acolo funcționează mari instalații de dehidrogenare catalitică a compușilor hidroaromatici, în care se reobține hidrogenul, iar produsul aromatic rezultat este reîncărcat în aceleași vase petroliere care au adus produsul hidrogenat. Vasele petroliere reiau cursa către Quebec, unde produsul aromatic este hidrogenat din nou.

Un petrolier de 100 000 tone „transportă” energie echivalentă cu 82 000 MWh energie electrică.

În Germania, pe valea Ruhr-ului, funcționa încă înainte de 2000 o magistrală de distribuție a hidrogenului, care alimenta consumatori din Germania, Elveția și Franța.

Comparație între posibilitățile de stocare a energiei prin lichefierea hidrogenului și prin „fixare” pe

suport aromatic. În tabelul următor este prezentată capacitatea de stocare pentru aceste două procedee.

Procedeul de stocare de lungă durată	Capacitatea specifică de stocare, în MWh/m ³ depozit
Procedeul prin lichefiere criogenică	1,5
Procedeul prin hidrogenarea produșilor aromatici	1,2

Este evident că micșorarea cheltuielilor de stocare de lungă durată a energiei este determinată de realizarea unor procedee de electroliză a apei cât mai performante și a unor pile de combustie hidrogen-oxigen cu randament cât mai ridicat.

Fără îndoială că, de la bateriile cu pile de combustie H₂-O₂ de 1 kW și în greutate de 30 kg, utilizate în 1965 de americani la capsula Gemini, și până la bateriile industriale de pile de combustie catalitică a hidrogenului, dezvoltate astăzi, comercial, la scară mare, s-a parcurs un drum evolutiv impresionant.

Concepute și realizate, la început, în cadrul NASA, pilele de combustie e H₂-O₂ au trecut în aplicații militare și, apoi, civile, și chiar în aplicații domestice. Impulsul dat de cercetările spațiale a fost hotărâtor pentru această industrie.

În ceea ce privește fabricarea electrolică a hidrogenului, trebuie arătat că, în acest domeniu, nivelul tehnologiilor este încă sub posibilitățile pe care le sugerează termodinamica procesului de descompunere a apei.

2.3.2. Soluții tehnico-științifice românești pentru tehnologii și echipamente destinate stocării de lungă durată

Cercetătorii români au elaborat o tehnologie atât pentru fabricarea performantă a hidrogenului prin electroliza apei, cât și pentru „fixarea” acestuia pe compuși aromatici.

În anii '80 s-au studiat, la scară pilot, mai mulți catalizatori pentru hidrogenarea compușilor aromatici. S-au studiat atât catalizatori fabricați în România, cât și catalizatori din import.

În acei ani, pe baza unei colaborări fructuoase cu IFA – filiala din Cluj, s-au studiat mai multe variante de catalizatori pe bază de Ni și Cr, sintetizați în institutul amintit. S-au obținut rezultate bune, reproductibile, care demonstrau că se poate realiza industrial un proces de hidrogenare a produșilor aromatici, la presiune de cca. 18-25 ata și temperaturi de cca. 220 grade Celsius.

Rezultate de excepție s-au obținut cu catalizatorul german Leuna Kontakt 6524, lucrându-se la presiuni moderate (în anumite condiții, chiar la presiunea atmosferică!) și temperaturi cuprinse între 160 și 190 de grade Celsius.

S-a elaborat un proces tehnologic complet și s-a trecut la scară industrială cu o capacitate de cca. 12 000 t/an produs aromatic hidrogenat. Aceasta înseamnă că se putea realiza o centrală de depozitare de lungă durată cu o capacitate de „introducere și extracție” a puterii de cca. 2 MW.

Aceleași tipuri de catalizatori acționează reversibil, prin ridicarea temperaturii, permițând dehidrogenarea produsului hidroaromat.

Rezultate importante s-au obținut și în tehnologia de descompunere electrochimică a apei, realizându-se un proces performant de fabricare a hidrogenului prin descompunerea apei, cu consumuri de energie electrică mult reduse.

În urma studierii procesului de electroliză a unor topituri alcaline s-au găsit condițiile în care se poate realiza descompunerea electrolitică a apei la tensiuni sub 1,4 V.

S-a conceput și realizat un electrolizor cu electrozi monopolari și o geometrie specifică a electrozilor,

pentru ca gazele catodice și anodice să fie colectate separat, în condiții de siguranță. Temperatura de lucru a aparatului este cuprinsă între 220 și 550 grade Celsius.

BIBLIOGRAFIE

1. **Flavin C., Lenssen N.**, *Valul energetic*, Editura Tehnică, București, 1995.
2. Br. rom. 65.262 din 04.09.1978.
3. Br. rom. 69.213 din 15.10.1982.
4. Br. rom. 89.439 din 22.11.1985.
5. Br. rom. 104.031 din 11.04.1989.
6. Br. rom. 108.701 B1 din 29.07.1994.
7. Br. rom. 105.347 din 29.07.1994.
8. Br. rom. 105.349 din 10.12.1994.
9. Br. rom. 95.662 din 30.10.1988.
10. Br. rom. 95.463 din 15.09.1988.
11. Br. rom. 98.703 din 12.06.1989.
12. Br. rom. 110.214 B1 din 31.10.1995.
13. Br. rom. 111697 B1 din 30.12.1996.
14. Br. brit. 1.308.073 din 18.02.1973.
15. Br. fr. 2.079.941 din 18.10.1971.
16. Br. germ. 4.337.105.A 1 din 15.12.1994.
17. Br. rom. 119.735 B1 din 29.12.2004.
18. Cerere brevet 98-00769 A din 24.03.1998.