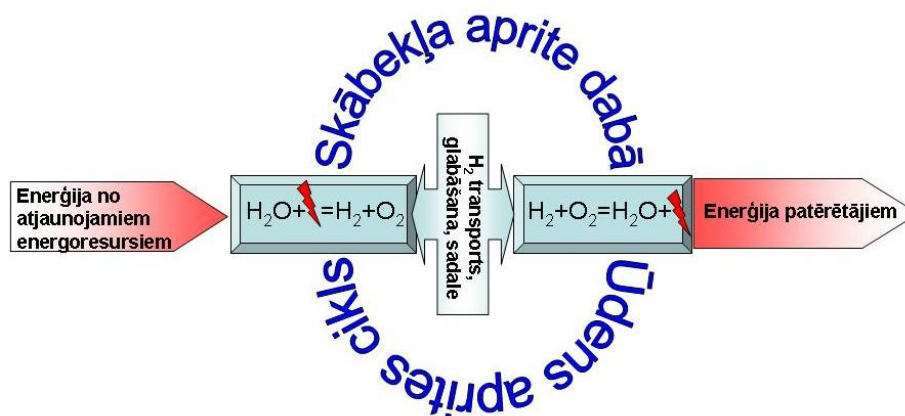


Ūdeņraža tehnoloģijas un nākotnes enerģijas avoti

*Dr.phys. Līga Grīnberga, Dr.phys. Jānis Kleperis, MSc Jūlija Hodakovska,
MSc studente Ilze Klepere, PhD students Justs Dimants, MSc students Andris Šivars
Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

MŪŽĪGS ENERĢIJAS AVOTS – ŪDENS?

No sirmas senatnes līdz mūsdienām cilvēce enerģijas izmantošanā ir virzījusies arvien tuvāk ūdeņradim. Vispirms jau, izmantojot ūdeņradi dažādu produktu un degvielu sastāvā, – sākot no koka, tad akmeņogļu, vēlāk naftas produktu un dabasgāzes, beidzot ar biodegvielas dedzināšanu. Sabiedrības izvēle enerģijas resursu izmantošanā ir vienkārši sekojusi ogļūdeņražu ķēdes vienkāršošanai un ekonomiskajam izdevīgumam. Pēdējās tendences ir vērstas uz oglekļa izslēgšanu no degvielas, jo ogleklis veido lielāko piesārņojuma procentu. Ūdeņradis un kurināmā elementi pabeidz šo izslēgšanas procesu, aizstājot vidi piesārņojošo oglekli ar videi draudzīgo ūdeņradi. Turklāt, pārstājot dedzināt ogļūdeņražus, cilvēce daudz mazāk tukšos Zemes fosilo kurināmo krājumus, izmantojot šos produktus daudz nepieciešamākam pielietojumam (zāles, celtniecības produkti, u.c.), un nenoplicinās Zemes biosfēru, dedzinot no augiem iegūtus ogļūdeņražus. Turklāt kurināmā elementos ķīmiski sadedzinātais ūdeņradis, reakcijas gala rezultātā pārveidojas atpakaļ par ūdeni: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{enerģija}$, tādēļ, cik no planētas paņemsim ūdeņradi un skābekli, tikpat arī atdosim atpakaļ. To atspoguļo ūdeņraža – skābekļa cikls:



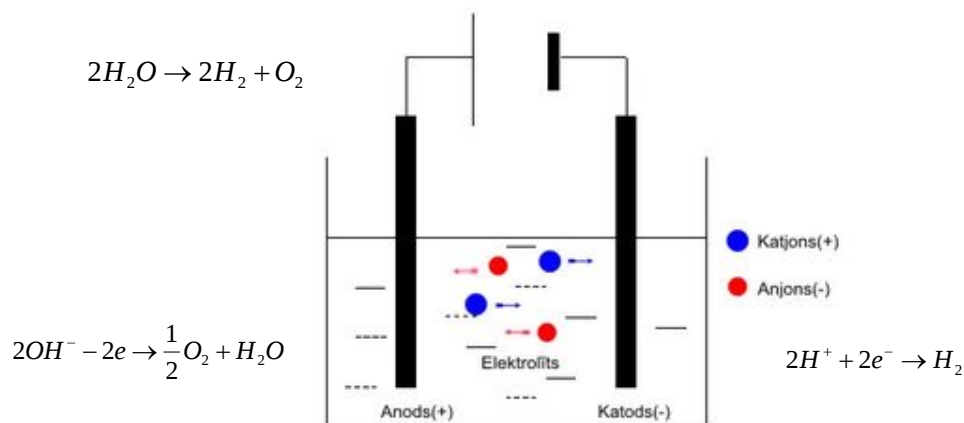
Attēls: Ūdeņraža skābekļa cikls ir pilnīgi atgriezenisks un ekoloģisks, ja enerģiju ūdens sadalīšanai ņem no dabas (Sauce, vējš, ūdens, Zemes siltums, Zemes magnētiskais lauks, Zemes strāvas, atmosfēras elektrība).

Latvijas pētnieki ūdeņradi un tā iespējas jau novērtējuši sen. Ieskatoties vēsturē, ir atrodami vairāki slaveni Latvijā dzimuši pētnieki, kas nodarbojušies ar gāzes baterijām jeb kurināmā elementiem: Vilhelms Ostvalds, Andrejs Dravnieks, Mārtiņš Strautmanis, Fricis Gulbis. Latvijā pēc Otrā Pasaules kara ūdeņraža pētījumi notika Neorganiskās Ķīmijas Institutā Salaspilī, L. Liepiņas laboratorijā. Vēlāk šajā institūtā izveidota metālu hidrīdu laboratorija, kuru vadītāja A. Lokenbaha un V. Breicis. 1970.-tajos gados Latvijas

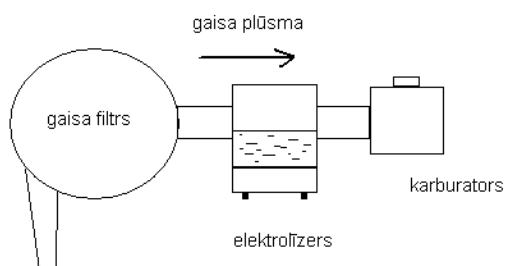
Universitātes Pusvadītāju fizikas problēmu laboratorijā A. Lūša vadībā tika iesākti ūdeņraža interkalācijas materiālu pētījumi, atklāts ūdeņraža izraisītais gāzhromatiskais efekts.

ELEKTROLĪZES ŪDEŅRAŽA IZMANTOŠANA

Viens no vienkāršākajiem veidiem, kā iegūt ūdeņradi ir elektrolīzes process. Tam ir nepieciešams atbilstošs trauks ar ūdeni vai ūdens sāls vai sārna šķīdumu (parasti NaCl vai KOH), divi elektrodi un elektriskā strāva. Reakcijas rezultātā divas ūdens molekulas tiek sadalītas divās ūdeņraža un vienā skābekļa molekulā:

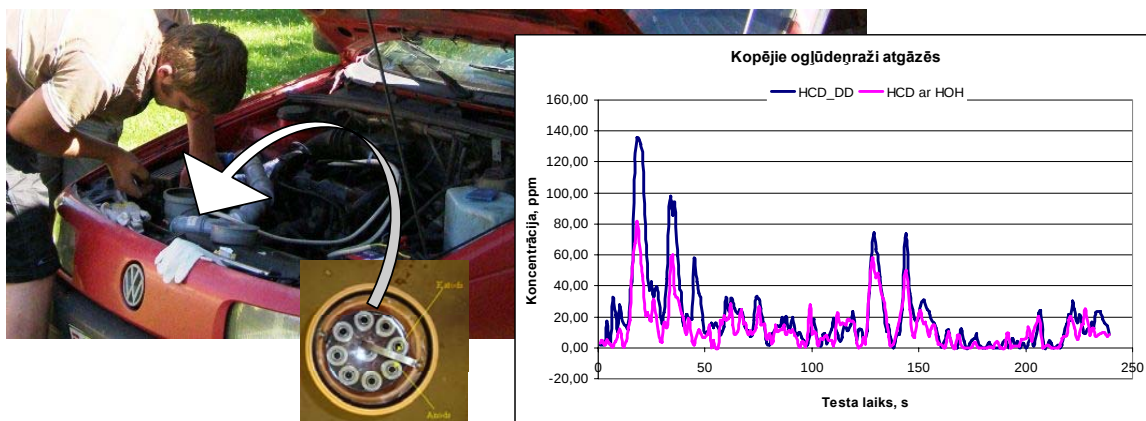


Attēls: Ūdens elektrolīzes procesa shematisks attēlojums.



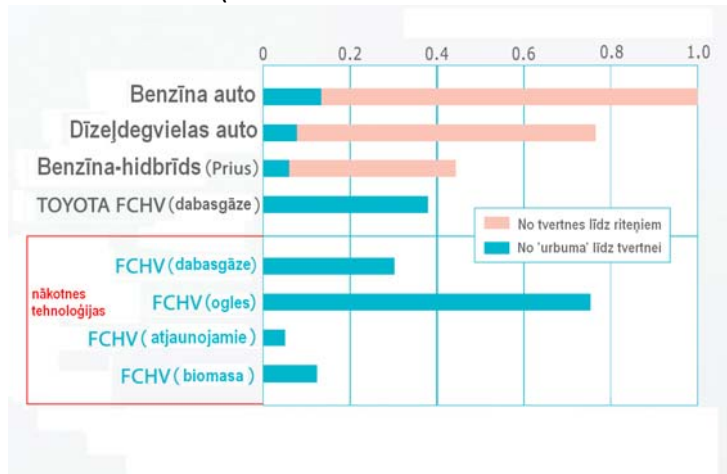
Ja procesam nepieciešamo elektroenerģiju iegūstam, izmantojot atjaunojamus energoresursus (vēja, Saules enerģija u.tml.), tad ūdeņraža iegūšana elektrolīzes procesā ir pilnībā videi draudzīga. Tā kā ūdens uz zemeslodes ir pieejams lielos daudzumos un ūdeņraža - skābekļa cikls ir atgriezenisks, šāda enerģijas iegūšana ir arī ilgtspējīga. Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Ūdeņraža un gāzu sensoru laboratorijā ir izveidota

portatīva elektrolīzes iekārta uzstādīšanai vieglajām automašīnām. Šādas iekārtas mērķauditorija ir automašīnu ar benzīna un dīzeļa iekšdedzes dzinējiem īpašnieki. Izmantojot šādu iekārtu, iekšdedzes dzinējiem tiek samazināts izplūdes gāzu daudzums (CH_x , CO, PM10), kā arī uzlabota degvielas sadegšana cilindrā, - tiek ekonomēts degvielas patēriņš (5-15%). I



VAI ŪDEŅRADIS AIZVIETOS BENZĪNU?

Šis jautājums noteikti interesē daudzus, bet vēl joprojām neviens nespēj uz to atbildēt. Pētnieki, kuri darbojas ar ūdeņraža enerģētikas jautājumiem ir pārliecināti, ka ātrāk vai vēlāk, tieši ūdeņradis būs tas, ko mēs pildīsim automašīnu degvielas tvertnēs. Tajā pat laikā tie zinātnes cilvēki, kuri pārstāv citus enerģijas iegūšanas un izmantošanas veidus, apgalvo, ka ūdeņradis ir 'visnepareizākā' viela, ar kuru aizstāt degvielu transporta sektorā. Nevienam nerastos iebildumi pret ūdeņradi benzīna vietā, ja viss notiktu tāpat kā parasti – piebraucam, iepildām, samaksājam (ieteicams mazāk, nekā līdz šim) un aizbraucam... Diemžēl tas nav un nebūs tik vienkārši. Pirmkārt jau tāpēc, ka ūdeņradis ir gāze. Nav iespējams to vienkārši izrakt no zemes, saliet mucās un aizvest kur nepieciešams. Tas nozīmē, ka nederēs jau esošās automašīnas, uzpildes stacijas un cauruļvadu sistēmas. Otrkārt – šī gāze ir jāiegūst, jāpārvadā un jāuzglabā. Treškārt, kas pārsvarā tiek aizmirsts, ūdeņradis ir enerģijas nesējs – tas ir jāpārveido, lai iegūtu enerģiju, kuru var izmantot tālāk. Visi šie procesi patērē enerģiju, un jo tālāks ceļš no iegūšanas līdz izmantošanai ejams, jo vairāk tas maksā. Attēlā: CO₂ izmešu daudzums dažādām Toyota automašīnām salīdzinājumā ar benzīna auto (FCHV – kurināmā elementa hibrīda automobilis):

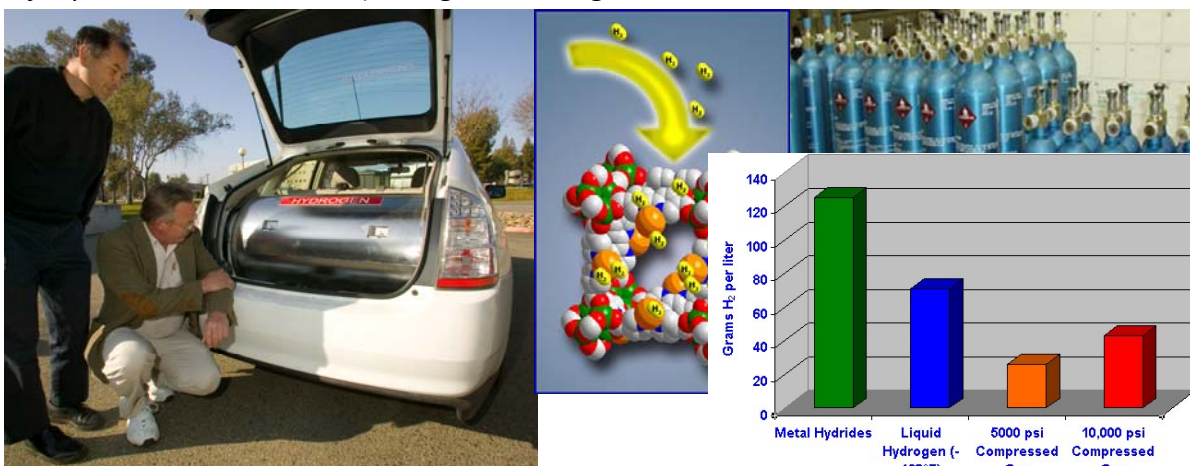


Autoražotājs 'Toyota' ir izmērijis jau esošo un aprēķinājis iespējamo hibrīdo automobiļu CO₂ izmešu daudzumu no kurināmā ieguves vietas līdz degvielas tvertnei un no tvertnes līdz 'riteņiem' – cik daudz izmešu rodas braucot ar auto. Secinājums, ka benzīna automobilis visvairāk CO₂ izdala tad, kad tas tiek izmantots, bet hibrīdās tehnoloģijās manāmi lielāks apjoms kaitīgās gāzes tiek izdalīts, iegūstot ūdeņradi (no dabas gāzes vai naftas). Tomēr, saskaitot kopā, mazāk kaitīgas ir nākotnes tehnoloģijas – sevišķi, ja ūdeņradi iegūs, izmantojot atjaunojamus enerģijas avotus. Visizdevīgākais ūdeņraža ieguves avots ir ūdens – vismazāk kaitīgo izmešu, un pieejams visiem. Elektroķīmiskie likumi nosaka, ka pievadot ~96500 kulonu lielu strāvu elektrolītam, var iegūt 1 gramu vielas (Faradeja likums). Tātad, lai iegūtu 1 gramu ūdeņraža ir nepieciešams ūdenim pievadīt 1 A lielu strāvu 96500 sekundes. Ir aprēķināts, ka viena kilograma ūdeņraža iegūšanai ir jāpatērē 50 kWh elektroenerģijas. Tomēr ūdeņraža cena būs atkarīga no elektrības cenas konkrētajā valstī vai reģionā. Latvijā šodien ir viena no zemākajām maksām par elektroenerģiju Eiropas mērogā, tomēr nez vai būs izdevīgi šeit sākt ražot lielos daudzumos ūdeņradi, jo mēs vismaz pusi pašiem nepieciešamo elektroenerģiju iepērkam. Ūdeņradis kļūst lētāks, ja to ražo rūpnieciski un izmantojot alternatīvos enerģijas avotus. Tomēr tā ir tikai elektrības cena. Gala rezultātā var izrēķināt, ka 1 kilograms ūdeņraža, iegūts elektrības, kas saražota vēja stacijā, maksātu 6,98 USD par kilogramu, to var pielīdzināt 8 litriem benzīna, kas maksā ap 7,5 USD. 2008. gadā ASV par 1 kg ūdeņraža uzpildes stacijās bija jāmaksā no 6-10 USD. Līdz 2009. gada vidum visā pasaulē jau ir vismaz 250 ūdeņraža uzpildes stacijas, - gan izpētei, gan reālai uzpildei.

ŪDEŅRAŽA UZKRĀŠANA UN TRANSPORTS

Ūdeņradis tiek uzskatīts par vienu no nākotnes perspektīvākajiem enerģijas nesējiem. Tā drošai izmantošanai nepieciešams atrast tādas uzglabāšanas veidus, kas sabiedrībai būtu pieņemami bez aizspriedumiem.

Uzglabāšana augstspiediena balonos. Viens no tradicionālajiem gāzes uzglabāšanas veidiem ir saspiešana. Ūdeņraža gāzes saspiešanas process notiek ar vairākpakāpju kompresoriem, bet uzglabāts tas tiek izturīgos (un smagos) tērauda balonos. Populārākie ir 50 litru baloni, kuros ūdeņradis tiek iepildīts zem spiediena 200 atmosfēras. Polimēru kompozītmateriāli ļauj veidot balonus, kuros ūdeņradi var iepildīt pat līdz 700 atmosfēru spiedienam, taču šādi baloni ir ļoti dārgi. Jāpiezīmē, ka vadāt automašīnā līdzīgi augstspiediena gāzes balonu daudzumiem var likties nedroši. Ūdeņraža gāzi var uzglabāt arī pazemes rezervuāros – izsmeltos naftas vai gāzes laukos. Tipiskie zudumi tiek vērtēti 1 – 3%, galvenokārt cauruļvadu sistēmu savienojumu vietās. Tā kā ūdeņradis, tāpat kā metāns, cilvēka degunam nav saojams, tad drošības apsvērumu dēļ tam klāt būs jāpievieno arī odorants (viela, ko cilvēka deguns labi sajūt pat nelielos daudzumos), līdzīgi kā dabas gāzei.



Uzglabāšana sašķidrinātā veidā. Lai samazinātu ūdeņraža uzglabāšanai izmantoto tilpumu, veic gāzes sašķidrināšanu. Sašķidrināšanās sākas pie temperatūras -253°C (20 K), un dzesēšanas process prasa daudz enerģijas un laika. Tomēr priekšrocība ir liels enerģijas blīvums. Parasti sašķidrināto ūdeņradi uzglabā dubultsienu metāla balonos ar tilpumu līdz 100 litriem. Šķidro ūdeņradi kā kurināmo jau izmanto kosmiskajos kuģos. Plašākai lietošanai ūdeņraža automobiļos šķidrā ūdeņraža izmantošana šodien vēl netiek apskatīta, jo ir pārāk dārga un neekonomiska.

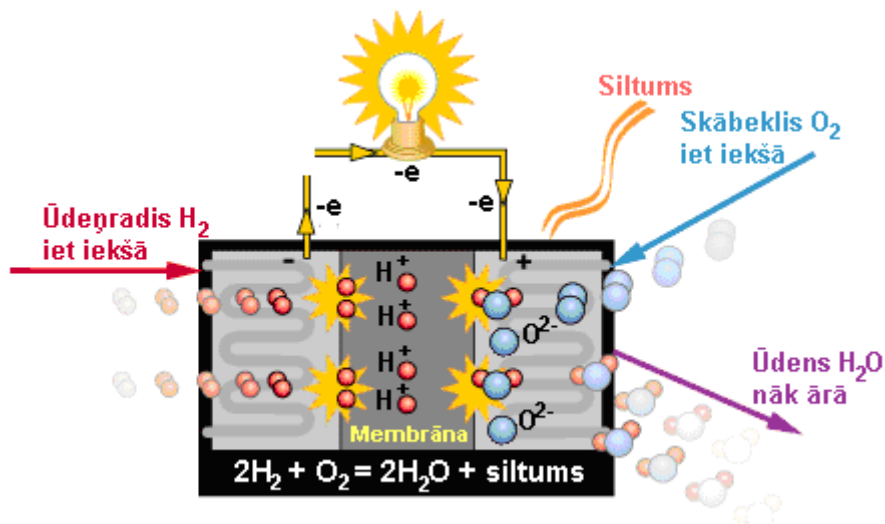
Uzglabāšana cietā veidā. Pie temperatūras 4.2 K ūdeņradis pāriet cietā stāvoklī, bet, lai plaši lietotu konteinerus, kas ilgstoši nodrošina tik zemu temperatūru, vēl jāgaida daudz augstāka cilvēces tehnoloģiskā attīstība. Visdrošākā uzglabāšanas metode šodien ir saistīt ūdeņradi ar fizikālās/ķīmiskās absorbcijas metodēm dažādos specifiskos materiālos, piemēram, noteiktu metālu un to sakausējumu atomu režģī, veidojot metālhidrīdus, oglekļa nanocaurulītēs, stikla mikrosfērās u.c. (1. tabula). Metāli un sakausējumi tiek „uzlādēti”, pievadot ūdeņradi zem spiediena, kad veidojas metālhidrīds. To sildot, ūdeņradis atkal tiek izdalīts.

Transports: Ūdeņradis ir gāze, un to līdzīgi kā dabasgāzi var transportēt pa gāzes vadiem, sašķidrinātā veidā ar transporta kuģiem, automašīnām. Tomēr ūdeņraža gāzes vadu izbūve ir ļoti dārga, jo ūdeņradis kā izmēros vismazākais elements lien cauri viscietākajiem materiāliem. Arī sašķidrināšana prasa lielu enerģiju. Tādēļ vislētāk ir ūdeņradi iegūt uz vietas no dažādām ūdeņradi saturošām vielām – ūdens, dabas vai biogāzes, biomasas.

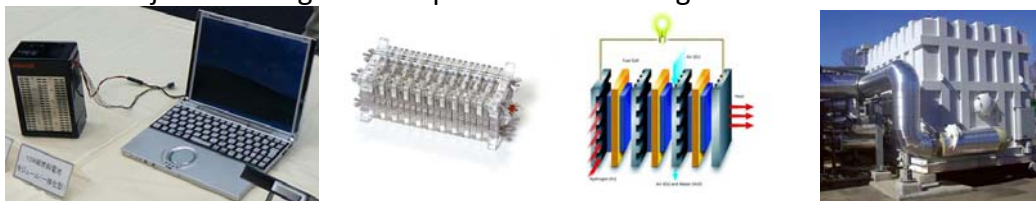


KURINĀMĀ ELEMENTS JEB DEGVIELAS ŠŪNA

Kurināmā elements ir gan gāzes akumulators (baterija), gan cietvielu elektroķīmiskais reaktors, kurš dod elektrību tikai tad, kad ar tā elektrodiem mijiedarbojas attiecīgā gāze (ūdeņradis un skābeklis). Elementa vienu šūnu veido membrānas-elektrodu sistēma (MES), kas ir septiņu slāņu sistēma. Tā sastāv no protonus (H⁺) vadošas membrānas, kurai abās pusēs ir uzklāti katalizatoru slāņi, divi gāzu difūzijas slāņi un divi elektrodi (anods un katods):



Ūdeņraža gāzei nonākot līdz anoda (negatīvais elektrods) katalizatoram, molekulas tiek sadalītas ūdeņraža atomos, bet skābekļa molekulas tiek sadalītas uz katoda (pozitīvais elektrods) katalizatora. Ja ārējā ķēdē ir noslēgta, ūdeņraža atomi atdod elektronus anodam un nonāk līdz katodam, bet protoni (pozitīvi lādēti ūdeņraža atomi) pārvietojas cauri membrānai un pie katoda katalizatora reaģē ar skābekļa atomiem, veidojot ūdeni. Membrāna nedrīkst būt ne elektronus vadoša, ne gāzu caurlaidīga, savukārt reakcijā radies ūdens jāizvada no membrānas. Tātad it kā vienkārša ierīce, bet tās izveidošana mūsdienīgā izskatā ir prasījusi vairākus desmitus gadu. Lai gan kurināmā elements nav pēdējo gadu izgudrojums, jo jau pirmajos lidojumos kosmosā šīs ierīces izmantoja ūdens iegūšanai, tomēr pietiekoši lielas jaudas un ilgdarbības problēmas veiksmīgi tiek risinātas tikai nesen.



KURINĀMĀ ELEMENTI tiek klasificēti pēc izmantotās elektrolīta membrānas un pamattipi ir raksturoti tabulā. Ieviešanas gadi attiecas uz reālu prototipu izgatavošanas laiku un ir orientējoši. Membrāna nosaka darba temperatūras intervālu. Katalizatora izvēle ir atkarīga no izmantotās degvielas. Vispārējā tendence ir orientēties uz ūdeņradi kā baterijas iekšējo degvielu un meklēt ceļus kā bateriju nodrošināt ar to. Ir izstrādāti dažādi miniatūri konvertori, kas parasto degvielu pirms novadišanas uz bateriju pārvērš par ūdeņradi. Sārnu baterijās ūdeņradi atšķel no amonjaka. Blakus produkts ir slāpeklis, kas nav uzskatāms par gaisa piesārņotāju. Vairumā gadījumu sarežģītākā daļa ir ūdeņraža attīrīšana. Fosilās degvielas satur sēru, bet tas saindē katalizatoru. Parasti ūdeņraža attīrīšanai izmanto pallādija membrānu, bet tas ir dārgi. Tiek attīstīta arī ideja izmantot tīru ūdeņradi, uzglabājot to piemērotu materiālu matricā. Patreiz lielākās cerības tiek liktas uz metālu hidrīdiem, ceolītiem un oglekļa nanošķiedrām. Tas pagaidām ir tikai eksperimentāls risinājums un nav komercializēts. Tiek piedāvāts arī apvienot KE ar saules bateriju, kas sadala šūnā radušos ūdeni atkal par skābekli un ūdeņradi.

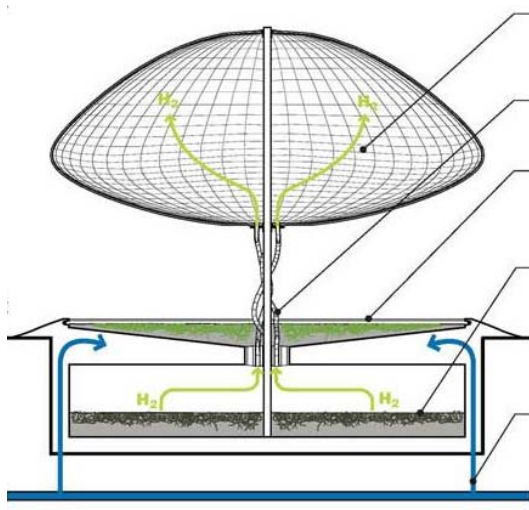
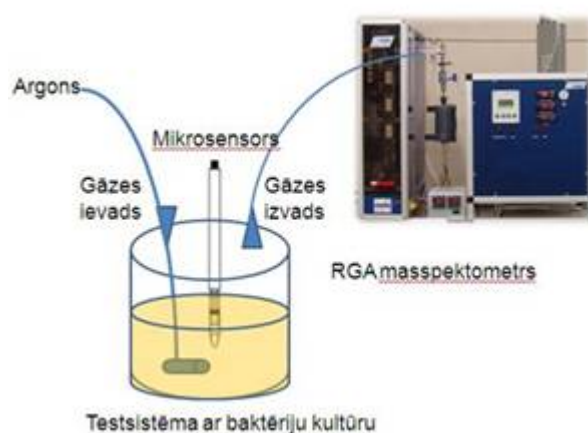
BAKTĒRIJAS – ŪDEŅRAŽA PRODUCENTI



Šobrīd ļoti aktuāla vajadzība visā pasaulē ir alternatīvie enerģijas avoti. Viens no ļoti daudzsoļiem variantiem šajā ziņā ir ūdeņradis, kas ir videi draudzīgs un ilgtspējīgs enerģijas avots, it īpaši, ja tiek iegūts ar bioloģiskām metodēm. Pašlaik tiek meklēti iespējami efektīvākie, dabīgākie un lētākie ūdeņraža iegūšanas veidi. Viena no perspektīvām ir ūdeņradi ražojošie mikroorganismi. Bioūdeņradi baktērijas var veidot fotosintēzes ceļā vai fermentācijas procesā. Liela nozīme ir ūdeņraža ražošanas spējas efektivitātei un daudzumam. Ja ar fotolīzes procesu var iegūt 0,355 mmol ūdeņraža/ lh, tad ar tumsas fermentāciju iespējams iegūt 21 mmol H₂/ lh. Ģenētiski pārveidotas baktērijas *Escherichia coli* spēj producēt pat 23,6 g H₂/ lh pie efektivitātes virs 90%. Ūdeņraža veidošanai nepieciešams enzīms: hidrogenāze vai nitrogenāze, kas regulē ūdeņraža metabolismu neskaitāmiem prokariotiem. Ūdeņradi veidojošie enzīmi katalizē nosaka reakciju:

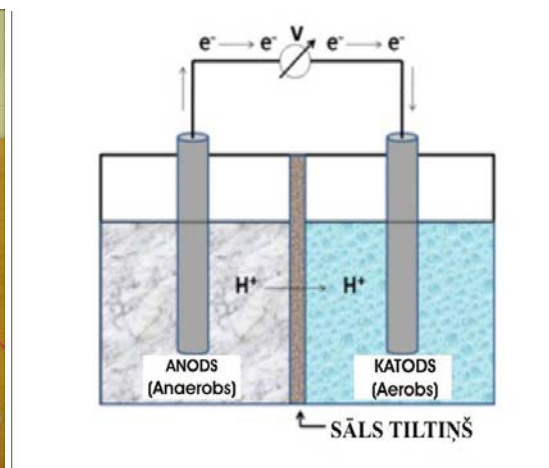
$2H_+ + 2e^- \Rightarrow H_2$. Šobrīd zināmie enzīmi, kas veic šo reakciju, ir nitrogenāze, Fe-hidrogenāze un NiFe hidrogenāze. Izveidojot lielus reaktorus vietas, kur pietiekošs siltums un/vai gaisma (tuksnešos, iekšējās jūrās, pat zemes dzīlēs anaerobo procesu gadījumā, jau šodien iespējams izveidot bioloģiskas sistēmas ūdeņraža iegūšanai, kas spēj nodrošināt nelielas un vidējas jaudas kurināmā šūnu nepārtrauktu darbību.

LU Bioloģijas fakultātē eksperimentos ūdeņraža producēšanas spēju pārbaudei tika izmantotas baktērijas *Escherichia coli* (Migula 1895) Castellani un Chalmers 1919, LMKK celms 332 no Latvijas Mikroorganismu kultūru kolekcijas. Izveidots reaktors), kurš pievienots masspektrometram gāzu analīžu veikšanai, kā arī aprīkots ar mikrosensoriem barotnē izšķīdušā skābekļa un ūdeņraža gāzu mērīšanai:

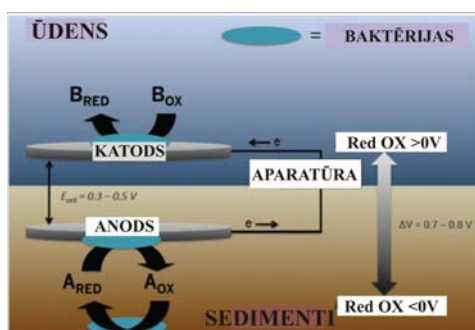


BAKTĒRIJU BATERIJA

Energija no dūņām un notekūdeņiem: Okeānu, upju un ezeru dzelmē, purvos, baktērijas nemitīgi dara savu labo darbu un noārda sedimentus. Šādos procesos ir paslēptas milzīgas enerģijas rezerves. Anaerobos (bezskābekļa) apstākļos, organiskās vielas tiek noārdītas fermentācijas procesā. Ķīmiskajās reakcijās rodas dažādi blakusprodukti un gāzes (CH_4 ; CO_2 ; H_2S u.c.), Kā arī "brīvi" elektroni. Izmantojot īpaši izveidotas sistēmas - Baktēriju Degvielas Šūnas (Microbial fuel Cells), šos elektronus iespējams uzkrāt un izmantot elektroierīču darbināšanai. Atkarībā no izmantoto MFC skaita un elektrisko slēgumu kombinācijām, iespējams darbināt gan nelielas ierīces, gan lielākas un energoietilpīgākas ierīces.



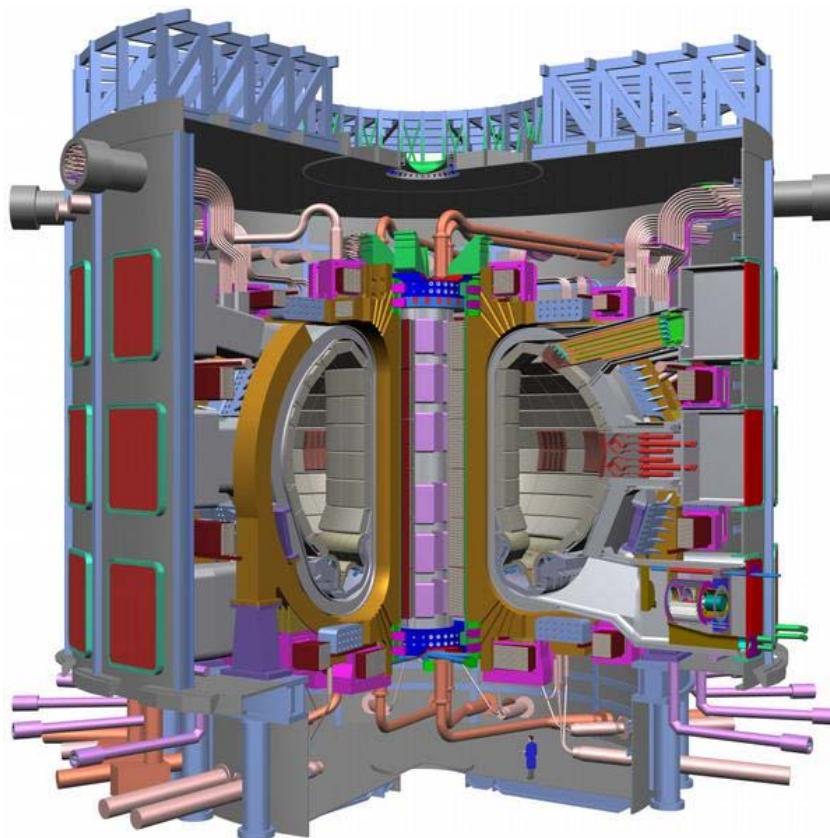
Darbības princips – divi trauki, kuri savā starpā savienoti ar selektīvu membrānu vai sāls tiltiņu. Vienā traukā ir anaeroba vide ar elektrodu (anodu) un organiskajiem nosēdumiem, otrā – elektrods (katods) un ar skābekli bagāts, tīrs krāna ūdens. Ūdeņraža protoni no anodtelpas caur membrānu ceļo uz katodu. Uz katoda notiek savienošānās reakcija starp ūdeņraža protoniem un skābekli. Reakcijai nepieciešamie elektroni tiek pievadīti katodam pa noslēgtu ārējo elektrisko ķēdi. Ārējā ķēdē mēs varam ieslēgt kādu mums nepieciešamu patērētāju. Zinātnieki plāno izmantot MFC principu, lai nodrošinātu dziļūdens mēraparātus ar nepārtrauktu elektrības padevi. Daļu elektrodu ierok sedimentos, daļu atstāj brīvi ūdenī. Elektropotenciāla starpību, kas radīsies starp abu elektrodu sistēmām, nākotnē varēs izmantot sarežģītu elektroierīču darbināšanai.



Vankūveras zinātnieki ir uzbūvējuši pirmo MFC, kas spēs ražot elektrību no cilvēka asinīm! Nelielā $1.7 \times 1.7 \times 0.2$ cm šūna sver tikai 0.5 g. Šūnā izmantos speciālus raugus, kas elektrisko strāvu ražos no cilvēka asinīs esošās glikozes. MFC jauda būs tikai 40 nanovati, bet ar to būs pietiekami, lai darbinātu kādu implantētu medicīnisku ierīci – sirds stimulatoru, muguras smadzeņu stimulatoru paralīzes ārstēšanai u.c.

NĀKOTNES ENERĢIJAS AVOTI

Kodolsintēzes reaktors: Arvien labāk pārvaldot kodoltermisko sintēzi, iespējams, kādu dienu vienā rāvienā izdosies atrisināt visas pasaules enerģētikas problēmas. Viena no cilvēces visu laiku visambiciozākajām iecerēm ir radīt mākslīgu saules uguni un ražot enerģiju līdzīgi, kā tas notiek uz milzīgā gāzes veidojuma – Saules. Plazmas fiziķi apgalvo, ka tas esot droši. Pasaulē pirmo eksperimentālo kodolsintēzes reaktoru «ITER» plānots uzbūvēt līdz 2016. gadam Kadarašā Francijas dienvidos. Tas izmaksās apmēram desmit miljardus eiro un darbosies apmēram 20 gadus. Projektā iesaistījušās Krievija, ASV, Eiropas Savienība, Japāna, Dienvidkoreja, Ķīna, Kanāda un Indija. Tuvākajā laikā varētu pievienoties arī Brazīlija. Par «ITER» reaktora būvniecībai nepieciešamajiem materiāliem atbild Starptautiskā sintēzes materiālu iradiācijas pārvalde. Tā izstrādā pret karstumu un radiāciju noturīgus materiālus, kurus izmantos nākotnes reaktoros. Atšķirībā no pašlaik izmantojamajiem reaktoriem, kuros notiek vadāma kodolu dalīšanās reakcija, kodoltermisko reaktoru darbība balstās uz atomu kodolu sintēzes reakciju – reaktorā rodas plazma jeb jonizēta gāze, kas ir galvenais Saules enerģijas avots. Perspektīvā šī tehnoloģija sola lētu un gandrīz neierobežotu elektroenerģijas avotu.



Informācijas avoti:

Ūdeņradis: <http://lv.wikipedia.org/wiki/%C5%AAde%C5%86radis>

Valsts Pētījumu Programma „Enerģija un Vide”: <http://www.innovation.lv/fei/vpp.html>

Nākotne - ūdeņradis katrā benzīntankā: <http://www.apollo.lv/portal/auto/articles/161936>

Ūdeņradis rada enerģiju, Vides Vēstis: <http://www.videsvestis.lv/content.asp?ID=37&what=40>

Ūdeņraža auto – arī Latvijā: http://www.tvnet.lv/auto/jaunumi/85888-udenraza_auto_ari_latvija

Starptautiskais kodoltermiskais eksperimentālais reaktors (ITER):

http://www.lza.lv/index.php?option=com_content&task=view&id=524&Itemid=214