

Hidrogen și pile de combustie - cum, pentru ce și de ce?

Hans U. Fuchs, 2019

Dragă cititorule,

este mai degrabă un text non-tehnic pentru noi toți, care nu suntem ingineri sau oameni de știință. Acesta prezintă subiectul tehnologiei hidrogenului și pilelor de combustie. Cu toate acestea, o serie de subiecte tehnice au fost acoperite și mutate în câmpurile marcate cu simbolul

➤ **T**

Așa că, la prima lectură, poate că ar fi bine să urmați doar firul principal al descrierii și explicațiilor, săriți peste acele căsuțe și să reveniți la ele mai târziu, sau să nu reveniți deloc..

Hidrogenul ca pilă de combustie și combustibil poate înlocui într-o zi sursele noastre actuale și modalitățile de obținere a energiei. Această perspectivă ridică cel puțin trei întrebări: Cum funcționează un astfel de dispozitiv, pentru care vom folosi hidrogen și pile de combustie exact, și de ce am dori să introducem o nouă tehnologie dacă cea veche ne servește bine și ne poate servi pentru o lungă perioadă de timp de acum înainte?

Argumente în favoarea tehnologiei FCH

1. Hidrogenul este un combustibil regenerabil.
2. Arderea hidrogenului sau utilizarea acestuia în pilele de combustie produce doar apă ca produs secundar.
3. Hidrogenul utilizat în celule electrochimice este potențial foarte eficient.

Există cel puțin trei argumente în favoarea tehnologiei pilelor de combustie și a hidrogenului (FCH-T):

1. Combustibilii utilizați în prezent sunt în mare parte neregenerabili. Cărbunele, petrolul și gazele naturale au fost depuse în scoarța terestră cu mult timp în urmă și odată ce s-au epuizat, nu se mai întoarce în ea.
2. Arderea combustibililor obișnuiți creează substanțe care dăunează mediului în mai multe moduri. De exemplu, acestea poluează aerul pe care îl respirăm și apa pe care o bem. Mai mult decât atât, dioxidul de carbon produs de arderea cărbunelui, petrolului și gazelor naturale provoacă încălzirea planetei noastre într-un ritm care nu va fi acceptabil pentru generațiile viitoare - și nici nu ar trebui să mai fie acceptabil pentru noi.
3. Din punct de vedere fizic și tehnic, arderea combustibililor este o risipă - producerea de căldură nu este ceea ce ar trebui să facem. Există, cel puțin în teorie, modalități mai bune de utilizare a combustibililor din punct de vedere științific și ingineresc.

Hidrogenul

Din punct de vedere fizic, hidrogenul este o substanță simplă, precum apa sau aerul, dar nu este la fel de abundent pe Pământ; este, totuși, principalul "material" din care sunt făcute soarele și stelele. Pe Pământ, în condiții normale, există sub formă de gaz, la fel ca și alte substanțe, cum ar fi azotul, oxigenul și dioxidul de carbon, care sunt componente ale aerului.

Din punct de vedere chimic, hidrogenul este un element, la fel ca oxigenul, heliul sau fierul. De fapt, ca gaz pe Pământ, hidrogenul este un compus chimic: moleculele sale sunt formate din doi atomi de hidrogen. În chimie, folosim simbolul H pentru elementul pe care îl numim hidrogen; prin urmare, simbolul pentru hidrogen este H₂ (doi atomi de H legați între ei).

Acesta poate fi utilizat ca și combustibil, ceea ce înseamnă că reacționează chimic cu oxigenul și, prin urmare, afectează alte procese, cum ar fi căldura, electricitatea sau mișcarea. Cu alte cuvinte, furnizează energia necesară pentru a controla aceste procese. În altă ordine de idei, hidrogenul poate fi o sursă de energie și un mijloc de stocare a energiei.

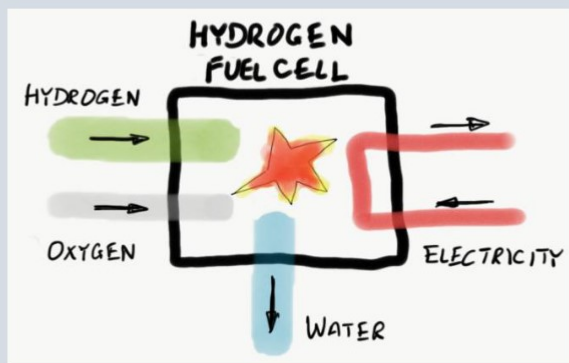
Deasemenea, putem numi hidrogenul un purtător de energie: atunci când obținem hidrogen, acesta poate furniza energie.

Tehnologia FCH are potențialul de a ne satisface nevoile energetice. Hidrogenul poate fi obținut în mod continuu folosind energia solară. Arderea hidrogenului sau, mai bine zis, utilizarea acestuia în pilele de combustie produce apă ca "produs secundar"; nu există nicio contribuție de carbon care să ducă la producerea de dioxid de carbon.

În plus, utilizarea combustibilului într-o celulă de combustibil nu înseamnă că acesta este ars: nu există foc; nu este utilizat pentru a genera căldură - energia furnizată de combustibil este utilizată pentru a susține procesele electrice ale celulei (în esență, celula de combustibil acționează ca o baterie).

Celule de combustibil

O celulă de combustie este un tip de mașină. Ca atare, nu diferă cu nimic de o pompă de apă electrică, de un dinam sau de un motor cu combustie internă al unei mașini. La fel ca toate aceste motoare, utilizează două procese, primul proces acționând cel de-al doilea proces dorit. De exemplu, în cazul unei pompe electrice de apă, folosim electricitatea pentru a conduce fluxul de apă de la o locație inferioară la una superioară. Într-o celulă de combustibil, un proces chimic antrenează un proces electric.



O pilă de combustie utilizează un combustibil, cum ar fi hidrogenul sau metanul, îl lasă să reacționeze într-o reacție chimică și, prin urmare, conduce procesul electric. În tipul cel mai de bază, pila de combustie folosește hidrogen, care reacționează cu oxigenul, produce apă și tensiune electrică, care, la rândul său, permite „pomparea” energiei electrice prin conducte și echipamente. Acest lucru este foarte asemănător cu modul de funcționare al unei baterii, cu excepția faptului că, în cazul unei pile de combustie, reactivii sunt alimentați, iar produsele de reacție sunt eliminate în mod continuu.

Desigur, tehnologia FCH ca atare poate duce la producerea unor substanțe nocive, iar producerea hidrogenului și utilizarea acestuia în pilele de combustie nu vor fi niciodată 100% eficiente, în ciuda promisiunilor teoretice aparente. Cu toate acestea, efectul ineficienței FCH este, în esență, căldură suplimentară, care nu prezintă un risc nejustificat pentru planeta noastră.

În cele ce urmează, dorim să răspundem la întrebările puse în titlu și să descriem mai detaliat aspectele aferente. Al doua (FCH-T: de ce?) este destul de simplă: tehnologia FCH va fi utilizată în principal în cazurile în care folosim combustibili pentru a genera energie în prezent. Ne va lua mai mult timp să răspundem la cea de-a treia întrebare (FCH-T: de ce?). Luându-le în considerare, vom fi în schimb îmbogățiți cu unele cunoștințe despre procesele fizice și chimice și, cel mai important, cu o mai bună înțelegere a potențialului FCH-T pentru un viitor energetic durabil. Dar înainte de a începe să răspundem la aceste întrebări, începem cu prima.

Tehnologia FCH: Cum?

Un sistem care utilizează hidrogenul în anumite scopuri ar putea arăta astfel (a se vedea Fig. 1). În primul rând, trebuie să se furnizeze hidrogen. Sursa sa directă este apa. O reacție chimică transformă apa în două gaze, hidrogen și oxigen; acest lucru poate fi realizat cu ajutorul electricității.

Noi folosim lumina soarelui...

1. pentru generarea directă de energie electrică în panouri;
2. ca sursă de vânt pentru a acționa turbinele eoliene;
3. ca bază pentru procesele hidrologice din centralele hidroelectrice.

Dacă dorim ca soarele să ne ajute în procesul de generare a energiei electrice, putem construi o centrală solară fotovoltaică. De asemenea, putem folosi vântul sau apa care curge pe suprafața planetei noastre pentru a acționa turbine eoliene sau hidraulice, care apoi acționează generatoare electrice. Deoarece fluxurile de vânt și de apă de pe Pământ sunt cauzate de lumina solară, energia vântului și a apei provine, de asemenea, de la soare.

Atunci când lăsam electricitatea să circule prin apa ușor sărată, aceasta suferă o reacție chimică care produce hidrogen și oxigen. Acest proces se numește electroliză. Oxigenul poate fi reintrodus în atmosferă; hidrogenul poate fi colectat și stocat pentru perioada dorită.

Hidrogenul poate fi injectat într-o celulă de combustibil la momentul potrivit, unde reacția chimică care l-a produs este inversată - acum apa este obținută din hidrogen și oxigen, care poate fi luat din aer. Prin urmare, o celulă de combustibil poate alimenta unele aparate, la fel ca în cazul unui motor electric cu baterii.

Dispozitivul alimentat de celulă poate fi o pompă de căldură casnică. Funcționarea pompei se bazează pe faptul că transportul de căldura este dintr-un loc care este rece din punct de vedere termic - cum ar fi solul din afara casei dumneavoastră - într-un loc mai cald - cum ar fi apa din rezervorul de apă caldă sau aerul din casă.

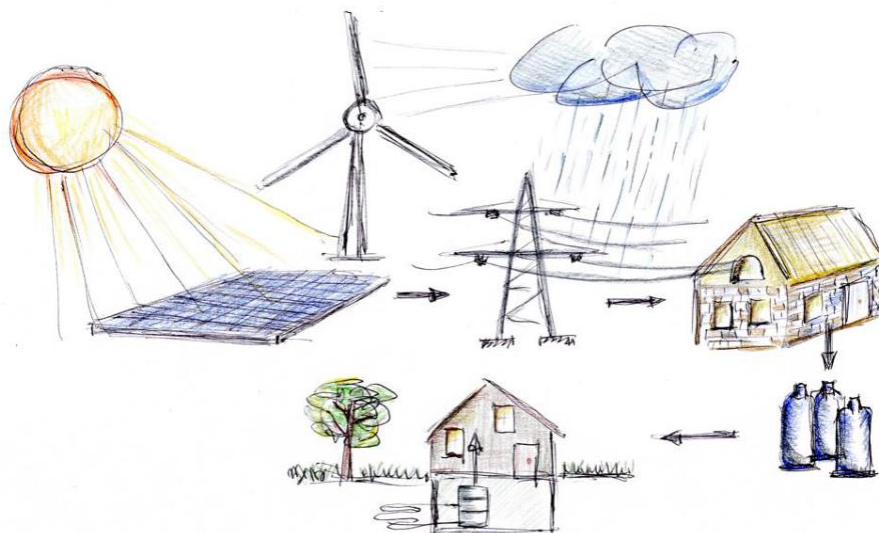


Fig 1: Hidrogenul alimentat de soare și utilizat pentru pentru a vă încălzi casa.

Observați rezervoarele de hidrogen din mijlocul lanțului de procesare.

Figura 1 prezintă un caz concret al unui sistem energetic, la începutul căruia avem Soarele, iar la sfârșitul căruia se află unele fenomene prin care utilizăm energie. Electricitatea furnizată de hidrogenul utilizat în pilele de combustie poate alimenta motoarele camioanelor, mașinilor, trenurilor și chiar ale navelor, poate ilumina orașele sau face să funcționeze frigiderele.

Putem produce hidrogen atâta timp cât soarele strălucește, putem stoca combustibilul, îl putem transporta acolo unde va fi nevoie de el și îl putem introduce în pile de combustie care ne oferă echivalentul unui generator electric. Cu alte cuvinte, în mod indirect Energia solară și hidrogenul pot fi folosite pentru

a alimenta majoritatea, dacă nu chiar toate aparatele și mașinile pe care le folosim în viața de zi cu zi.

Tehnologia FCH: Pentru ce?

Tehnologia pilelor de combustie și a hidrogenului (FCH-T) combină două elemente care nu sunt neapărat considerate împreună: utilizarea hidrogenului ca și combustibil și utilizarea combustibililor din pilele de combustie pentru a alimenta un proces electric. Cu toate acestea, aspectele combinate ale hidrogenului și ale pilelor de combustie prezintă câteva avantaje importante.

Hidrogenul

Hidrogenul nu este doar un combustibil; el joacă un rol important ca substanță în producerea altor produse chimice și farmaceutice. Aici ne interesează rolul său ca și combustibil. Dacă în prezent folosim combustibili tradiționali precum cărbunele, petrolul sau gazele naturale, în viitor am putea folosi hidrogenul.

Utilizări importante la scară largă ale combustibililor

4. Încălzirea clădirilor și căldura tehnologică.
5. Electricitate de la centrale electrice mari.
6. Transport (terestru, maritim, aerian).

Combustibilii sunt folosiți pentru numeroase aplicații. Trei dintre acestea se disting: arderea combustibililor pentru încălzire și generarea de căldură pentru industrie; arderea combustibililor în centralele electrice; arderea combustibililor în motoarele de transport (motoare auto sau diesel și turbine cu gaz utilizate pe trenuri și nave). În primul caz folosim căldura, în al doilea avem nevoie de electricitate, iar în al treilea punem obiectele în mișcare.

În toate cele trei cazuri, sunt arși combustibili. În general, primul lucru care se întâmplă este generarea de căldură. În scopuri de încălzire, acest lucru poate fi considerat bun, dar chiar și în această aplicație există modalități mai bune de utilizare a combustibililor. În al doilea și al treilea caz, merită să ne gândim de ce trebuie să obținem căldură în etapa de tranziție pentru a ajunge la electricitate sau mișcare.

Celule de combustibil

Aici intră în scenă *pilele de combustie*. În loc să ardă, celula utilizează combustibilul pentru a alimenta direct procesul electric, la fel ca o baterie. În cazul în care energia electrică poate fi utilizată pentru a alimenta alte procese - în special pornirea - pilele de combustie pot înlocui tehnologia existentă. Pilele de combustie pot fi utilizate pentru transport și pot înlocui, în esență, centralele electrice, deoarece ele însele sunt centrale electrice. Le putem folosi chiar și pentru încălzire, generând căldură în mod electric. Metodele noastre de astăzi nu par doar risipitoare, ci și sunt risipitoare, deoarece putem folosi electricitatea pentru a acționa pompele de căldură și putem obține mult mai multă căldură pe unitate de energie decât arzând un combustibil precum hidrogenul sau producând căldură într-un radiator electric (care trece prin fire subțiri care se încălzesc).

Tehnologia FCH ar putea înlocui utilizarea actuală a combustibililor pentru încălzire, electricitate și transport cu procese regenerabile, mai curate și mai eficiente. Vom examina acum de ce această tehnologie conduce la procese mai curate și mai eficiente.

Tehnologia FCH: De ce?

La început, am prezentat trei motive principale pentru care am putea dori să ne reorientăm utilizarea combustibilului către tehnologia FCH: hidrogenul poate fi produs în procese regenerabile; utilizat drept combustibil, creează doar apă ca produs secundar; utilizat în pilele de combustie, poate crea o infrastructură mai eficientă din punct de vedere energetic.

Aceasta ne pune în fața unei întrebări importante: cum va atinge tehnologia FCH toate aceste obiective? Putem înțelege de ce hidrogenul ar fi un combustibil regenerabil, de ce este potențial curat și de ce poate fi utilizat într-un mod potențial eficient?

Pentru a răspunde la aceste întrebări, trebuie să aprofundăm știința și ingineria. Important, cunoașterea acestor aspecte nu trebuie să fie dificilă - există modalități de a crea descrieri și explicații care se referă la experiența noastră de zi cu zi și la înțelegerea lumii din jurul nostru. Aceste narațiuni folosesc un limbaj natural și imagini care nu trebuie să fie formale sau inaccesibile pentru majoritatea dintre noi.

Chimia arderii combustibililor

Să începem cu aspectele chimice ale utilizării combustibilului. Pentru simplificare, să luăm în considerare doar doi combustibili: hidrogenul și metanul. Hidrogenul este, un gaz ale cărui molecule sunt compuse din doi atomi de hidrogen. Metanul este compus din atomi de carbon și hidrogen. Este componenta de bază a gazului natural și este produsă în multe procese biologice (vacile "pârțâie" metan!). Metanul este, de asemenea, un puternic gaz cu efect de seră; o cantitate prea mare de metan în atmosferă are un puternic efect de încălzire a planetei.

Atunci când un gaz, cum ar fi hidrogenul sau metanul, este ars, acesta se combină cu oxigenul luat în mod normal din aer. Arderea hidrogenului gazos duce la formarea apei. Când metanul este ars, se formează apă și dioxid de carbon. Deci, cel puțin potențial, arderea hidrogenului este „curată”, în timp ce arderea metanului nu este. (Rețineți, totuși, că dacă se obține metan din producția de biogaz, arderea și producerea de dioxid de carbon nu este o problemă: dioxidul de carbon provine inițial din aerul preluat de instalații. Prin urmare, biometanul este, în esență, neutru din punct de vedere al emisiilor de dioxid de carbon).

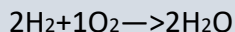


T Arderea hidrogenului și metanului

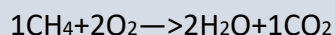
O moleculă de hidrogen este formată din doi atomi de hidrogen. Simbolul H este folosit pentru atom, astfel încât hidrogenul gazos este desemnat în chimie prin H₂.

Oxigenul din aer este format din doi atomi de oxigen (O), de aceea are simbolul O₂.

Arderea hidrogenului gazos înseamnă o reacție chimică cu oxigenul gazos care produce apă. Deoarece apa constă din două părți de hidrogen și o parte de oxigen (H₂O), trebuie să ne asigurăm că două unități de hidrogen gazos reacționează cu o unitate de oxigen gazos pentru a produce două unități de apă:



Pe de altă parte, arderea metanului (CH₄, unde C reprezintă carbonul) formează apă și dioxid de carbon (CO₂):



Aici vedem sursa problemei noastre de producere a dioxidului de carbon din gazele cu efect de seră: acesta este un produs secundar inevitabil al arderii combustibililor cu hidrogen incandescent, cum ar fi petrolul și gazele naturale. Deasemenea, este produs la arderea cărbunelui.

Cu toate acestea, problema nu este atât de simplă. Atunci când ardem hidrogenul în aer, obținem și alte produse secundare, deoarece aerul conține nu numai oxigen (care, împreună cu hidrogenul, produce apă). În special, la temperaturi ridicate, azotul gazos din aer se combină cu oxigenul pentru a produce oxizi de azot (cum ar fi NO_2 și N_2O), care poluează aerul pe care îl respirăm. În reacție cu lumina solară, NO_2 (dioxid de azot) produce ozon (O_3), care este un iritant pentru plămâni și pentru animale și plante. Protoxidul de azot (N_2O) și ozonul sunt, de asemenea, gaze cu efect de seră.

Iată câteva dintre motivele pentru care nu ar trebui să fumăm doar hidrogen; să le numim motive chimice. Mai târziu vom afla că există un alt motiv fizic foarte important pentru a nu arde hidrogenul: arderea combustibililor produce căldură, iar producerea de căldură nu este niciodată o soluție bună pentru problemele energetice. Ar trebui să folosim mai degrabă combustibili cu pile de combustie, mai ales dacă avem nevoie de electricitate pentru alte aplicații.

Transportoare de energie și tensiune

O condiție prealabilă importantă pentru înțelegerea aspectelor ingineriei energetice în drumul nostru spre cunoașterea tehnologiei FCH este de a sublinia că *lumina, căldura, electricitatea sau mișcarea nu sunt energie*; mai degrabă, ele sunt *purtătoare de energie*.

De fapt, este logic să se folosească termeni precum lumină, căldură, electricitate sau mișcare pentru a descrie fenomene care acoperă multe aspecte - energia este doar unul dintre ele. În combinație cu fluidele (cum ar fi apa și aerul) și nenumăratele substanțe chimice pe care le folosim, lumina, căldura, electricitatea sau mișcarea pot fi înțelese cel mai bine ca forțe ale naturii - fenomene dotate cu energie (a se vedea documentul *Forțele naturii și energia*).

În afară de energie - prin aspectul puterii - forțele naturii se caracterizează în principal prin alte două trăsături: fenomenele pot fi *mai mult sau mai puțin intense*, ele pot fi, de asemenea, *mai mari sau mai mici* — pot exista mai mult sau mai puțin (vezi Fig. 2). Există *intensități ale* luminii, căldurii, curentului electric și mișcării; intensitățile sunt reprezentate ca niveluri *ridicate sau scăzute*. Observați că diferențele dintre nivelurile de intensitate reprezintă ceea ce noi numim *tensiuni*. Există, de asemenea, *cantități de* lumină, căldură, electricitate și mișcare.

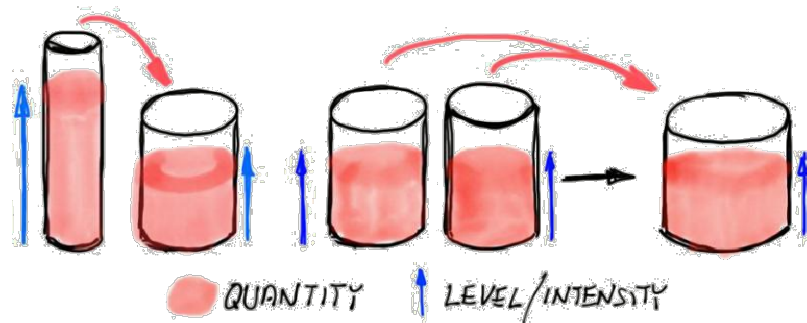


Fig 2: Reprezentarea cantitativă a unor mărimi fizice selectate care pot „curge” - fluide, electricitate, căldură, lumină, mișcare, etc. - acestea sunt ilustrate ca "substanțe" roșii în recipiente. Intensitatea acestora este indicată de nivelurile de umplere a vaselor. Aceeași cantitate poate fi asociată cu niveluri diferite (stânga); o creștere dublă a cantității poate corespunde aceluiași nivel (dreapta).

Faptul că descriem fenomenele fizice și chimice în termeni cantitativi - cantități de fluid, căldură sau electricitate, mișcare sau substanță - poate fi ilustrat prin prezentarea unor cantități asemănătoare fluidelor care pot curge (Fig. 2). Electricitatea, lumina, fluidele, căldura, mișcarea sau anumite substanțe sunt conținute în "recipiente" care le colectează (căldura într-o piatră fierbinte, mișcarea într-o piatră în mișcare, electricitatea într-un condensator, apa într-un borcan etc.) Și pot intra și ieși din aceste recipiente și de la un recipient la altul (figura 3).

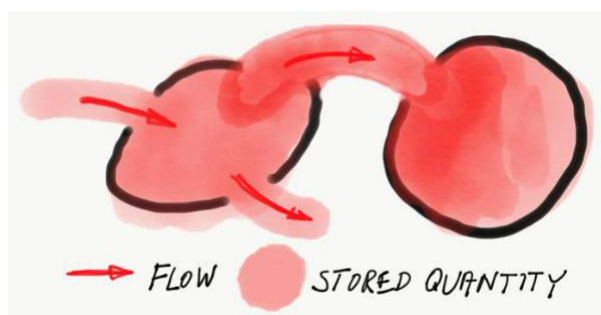


Fig 3: Cantități fizice descrise cantitativ - electricitate, căldură, lumină, mișcare etc. - se poate acumula, poate intra și ieși din rezervoare sau poate curge de la un rezervor la altul.

Când vorbim despre apă, acest lucru este clar. Apa poate fi mai multă sau mai puțină, poate fi la presiune ridicată sau scăzută (iar diferențele de presiune se datorează tensiunii asociate cu stocarea și curgerea apei). Apa poate avea mai multă sau mai puțină putere: putem spune că apa este înzestrată cu mai multă sau mai puțină energie. Într-adevăr, atunci când vine vorba de energie, este logic să privim apa ca pe un *purtător de energie*; cu siguranță *nu* este energia în sine.

Este important să privim lumina, căldura, electricitatea și mișcarea în același mod. Aceste valori se caracterizează prin intensitate: *luminozitatea, temperatura, potențialul electric și viteza*; acestea sunt, de asemenea, legate de tensiuni: diferențele de luminozitate, diferențele de temperatură, tensiunea electrică și, respectiv, diferențele de viteză. Pe de altă parte, *cantitatea de lumină, cantitatea de căldură (calorică), cantitatea de electricitate (încărcătură) și cantitatea de mișcare* trebuie imaginate ca fiind purtători de energie (a se vedea figura 4).

Desigur, substanțele sunt și ele purtătoare de energie; deci și hidrogenul este un purtător de energie!

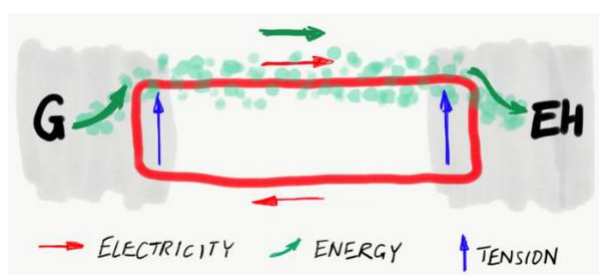


Fig 4: Încălzire electrică: Energie electricitatea (sarcina) circulă în cerc (buclă închisă roșie). Aceasta transferă energia primită de la generator (G) către încălzitorul electric (EH), care este un simplu fir lung și subțire. Acolo, „descarcă” energia primită. Energia este simbolizată ca o "substanță" verde. Atunci când o sarcină electrică primește energie de la un generator, se creează o tensiune.

Energie: punerea ei la dispoziție și utilizarea ei

Când apa se scurge de deasupra, poate fi folosită pentru a alimenta alte procese (a se vedea figura 5). De obicei, o folosim pentru a acționa o turbină de apă, care alimentează un generator electric, care la rândul său acționează un dispozitiv electric (motor electric) și așa mai departe.

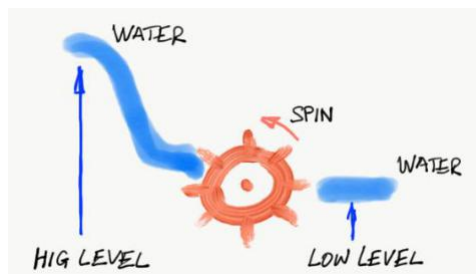


Fig 5: Cascada poate acționa o roată de apă. Spunem că acesta este modul în care apa generează spin (spinul este denumirea tehnică pentru cantitatea de mișcare de rotație). Apa curge de sus în jos. Ceea ce nu vedem aici este că rotația trece de fapt de la o intensitate scăzută la una ridicată (rotație rapidă).

Observați ce se întâmplă aici: există lanțuri de procese, legate între ele prin forțele naturii. Apa care cade interacționează cu mișcarea de rotație a turbinei (a se vedea Fig. 6), viteza de rotație afectează puterea electricității, care, la rândul său, controlează mișcarea de rotație a motorului electric. Prima interacțiune are loc în turbină, a doua în generator, iar a treia în motorul electric. Aceste componente - turbina, generatorul și motorul - se numesc cuplure (conectori). Ei leagă forțele naturii.

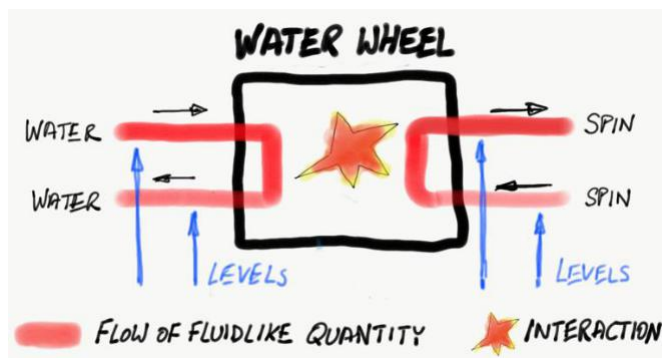


Fig. 6: Imagine schematică a interacțiunii dintre apă (o forță a naturii) și mișcarea de rotație (o altă forță a naturii). O anumită cantitate de lichid curge în rezervor (simbolizând conectorul) la un nivel ridicat și curge la un nivel scăzut. Rotația este „pompată” de la mică (repaus) la mare (rotație de mare viteză). Imaginea este similară cu diagrama de funcționare a unei pile de combustie de la pagina 3.

În cuplarea a două procese, prima forță este *agentul cauzal*, iar cauza celei de-a doua este prima. Un bun exemplu este ceea ce se întâmplă la o pompă de apă acționată electric. Dacă am folosi o pompă manuală în cazul în care am roti manivela, imaginea abstractă de cuplare ar fi pur și simplu inversul a ceea ce avem în Fig. 6: mișcarea de rotație ar trece de la o rotație mare la una mică și, astfel, ar "propulsa" apa în sus (apa ar trece de la o rotație mică la una mare).

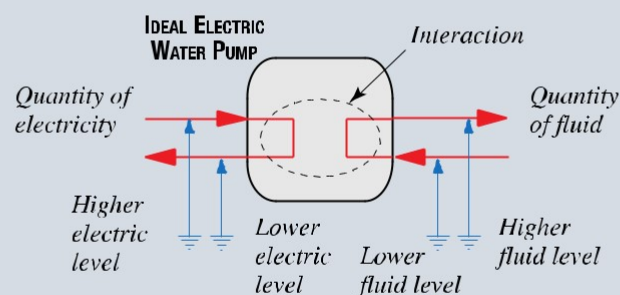
Pe scurt, fenomenul cauzal este caracterizat de o anumită cantitate de "forță" care scade de la un nivel superior și de la un nivel inferior (într-o turbină este cantitatea de apă care curge; într-o pompă electrică de apă este cantitatea de energie electrică, adică sarcina, care scade de la un nivel electric ridicat la unul inferior). Pe de altă parte, un fenomen indus sau forțat se caracterizează prin cantitatea de "forță" pompată de la un nivel inferior la un nivel superior (la o turbină, este vorba de viteza de mișcare de rotație - de la mic la mare; la o pompă electrică - apă, se pompează apă).



T Interacțiunea forțelor naturale în conectori: diagrame de procese

Într-o pompă de apă electrică ideală, două forțe ale naturii interacționează: apa și electricitatea. Electricitatea este *forța motrică*, apa este *antrenată* ("randament"). Pompa este un conector.

Atunci când energia electrică antrenează un alt mediu în procesul de cuplare, o face pentru că trece de la un nivel electric ridicat la unul mai scăzut. Pe de altă parte, apa este antrenată, adică pompată, de la un nivel inferior (presiune) la un nivel superior. Putem reprezenta acest scurt istoric al interacțiunii în următoarea *diagramă de proces*:



Diagramele de proces sunt reprezentări abstracte ale ideilor noastre despre modul în care funcționează forțele naturale. Avem cutii de conectare, săgeți (roșii) de intrare și ieșire pentru fluxurile de mărime și săgeți verticale (albastre) care indică nivelurile sau intensitățile.

Dacă dorim să descriem cantitativ interacțiunea (cuplarea) a două forțe ale naturii, trebuie să ne gândim la o nouă mărime. Este energie. Spunem că procesul de plumb sau cauza face *disponibilă energia*; efectul sau procesul condus *consumă energie*. Puterea de cuplare este descrisă prin cantitatea de energie schimbată de la agentul cauzal la forța indusă pe unitate de timp. Această cantitate se numește *puterea procesului*.

Până acum, în figurile 2 și 6, am folosit un simbol, asemănător cu cel folosit în benzile desenate, atunci când un artist vrea să indice că se întâmplă "ceva violent": o stea colorată ca metaforă pentru "explozie". În Fig. 7 vom folosi un simbol ceva mai "științific" - săgeți verzi îndreptate în jos sau în sus pentru a pune la dispoziție energia (la o anumită viteză) sau pentru a o utiliza în mod corespunzător.

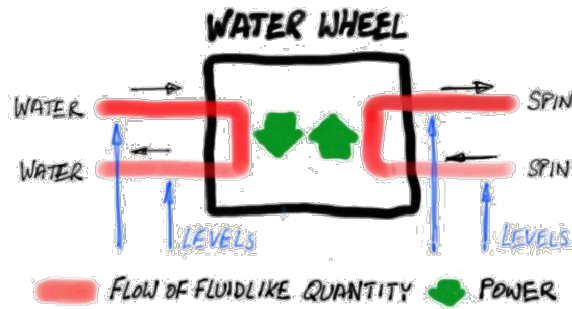


Fig. 7: O reprezentare abstractă a interacțiunii dintre apă (ca forță a naturii) și mișcarea de rotație (ca altă forță a naturii), ca în fig. 5. Am înlocuit steaua colorată din centru cu săgeți verzi care indică rata de disponibilitate și de utilizare a energiei. În această formă o numim o diagramă a procesului de interacțiune a forțelor naturale. Astfel de diagrame pot fi combinate pentru a reprezenta lanțuri de procese.

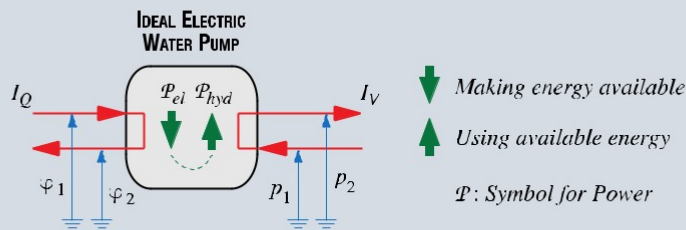
Există mai multe aspecte notabile ale reprezentării interacțiunii forțelor naturale în acest mod. În primul rând, se presupune că exemplul pe care l-am folosit aici - interacțiunea dintre apă și mișcarea de rotație - se produce perfect. Acest lucru înseamnă că toată energia pusă la dispoziție de căderea apei a fost folosită pentru rotație, trecând de la un nivel de rotație scăzut la unul ridicat. Știm că nu funcționează așa în natură. Vom reveni asupra acestui punct important - imperfecțiunea interacțiunii - mai târziu.

În al doilea rând, am putea descrie un sistem format din apă în cădere, o turbină care se învârtă și un generator electric rotativ, "împachetate" într-o singură cutie sau conector, ca în figura 6. În acest caz, nu vom mai vedea o turbină. Apa care alimentează direct curentul ar cădea. Avem dreptul absolut de a face acest lucru - știința este adesea arta de a alege cum să privim realitatea. În cazul în care este oportună scurtarea explicației, vom face acest tip de "împachetare".



T Furnizarea și utilizarea energiei: Puterea procesului

Activitățile implicate în punerea la dispoziție sau utilizarea energiei pot fi reprezentate cu ușurință în diagrame de proces.



Săgețile verticale groase indică viteza cu care energia este pusă la dispoziție sau utilizată. I_Q și I_V sunt simboluri ale fluxului cantității de energie electrică și apă; I și p sunt intensitatea și, respectiv, presiunea.

Purtători de energie și lanțuri de procesare

Nu suntem capabili să descriem lanțuri întregi de procese care au loc în natură și într-un sistem proiectat - prin urmare, vom examina rolul energiei și al purtătorilor de energie dintr-un alt punct de vedere. Să revenim la tema "împachetării" sistemului, constând dintr-un lanț de apă care cade, o turbină rotativă și un generator electric rotativ. Atunci când sunt "împachetate" într-un singur conector, se pare că apa alimentează direct electricitatea. Acum putem "despacheta" acest sistem pentru a arăta ce se întâmplă în interior.

Acum avem doi conectori: o turbină de apă și un generator. Turbina conectează debitul de apă cu transportul prin rotație, iar generatorul combină fluxul de rotație cu fluxul de încărcare electrică.

Descrierea turbinei este prezentată în fig. 6. Apa trece de la un nivel ridicat la unul scăzut și furnizează energie pentru a conduce roata (cantitatea de rotație) de la viteză mică (de fapt de la zero, de la solul la care este atașată turbina) la viteză mare (arborele turbinei). Desigur, energia pusă la dispoziție a trebuit să fie alimentată în turbină cu apă: acesta este rolul apei ca purtător de energie.

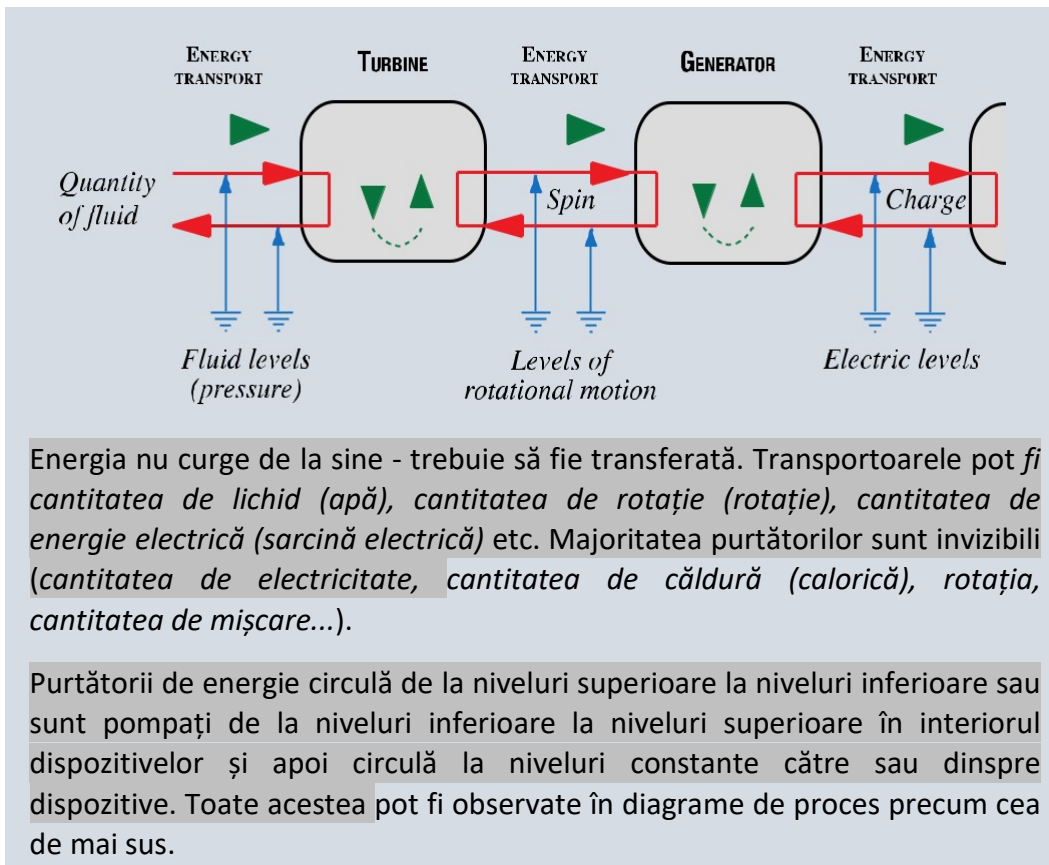
Energia de rotație este „recepționată” în cuplaj. Este logic să presupunem că transferă energie de la hidroturbină la un generator electric conectat la aceasta printr-un arbore. Acest lucru înseamnă că vedem rotația ca pe un purtător de energie. Rotația și energia vor intra în generatorul în care energia este „descărcată”, adică pusă la dispoziție pentru cuplarea rotației cu electricitatea.

În generator, sarcina electrică trece de la un nivel scăzut la unul ridicat. Utilizează energia pusă la dispoziție în procesul de rotație și o transferă în locul în care va conduce dispozitivul, de exemplu motorul, iluminatul sau încălzitorul electric. Cu alte cuvinte, cum ar fi apa sau rotirea, o sarcină electrică este un purtător de energie. Putem reprezenta această idee ca în fig. 4.



T Transportoarele de energie și fluxul în diagramele de proces

Atunci când permitem multor dispozitive - naturale sau tehnice - să funcționeze în lanțul de proces, energia este transferată de la dispozitiv la dispozitiv. Iată un exemplu de lanț care merge de la o turbină la un generator și la un utilaj electric.



Din tot ceea ce am spus până acum despre purtătorii de energie și energia în sine, este logic să spunem că, cu cât transportă mai multă energie, cu atât este mai ridicat nivelul sau intensitatea acesteia. Dacă apa curge la un nivel mai ridicat spre moara de apă, aceasta va transfera mai multă energie. Dacă sarcina electrică curge spre dispozitivul electric la un nivel mai ridicat (la o tensiune mai mare), aceasta va furniza mai multă energie.

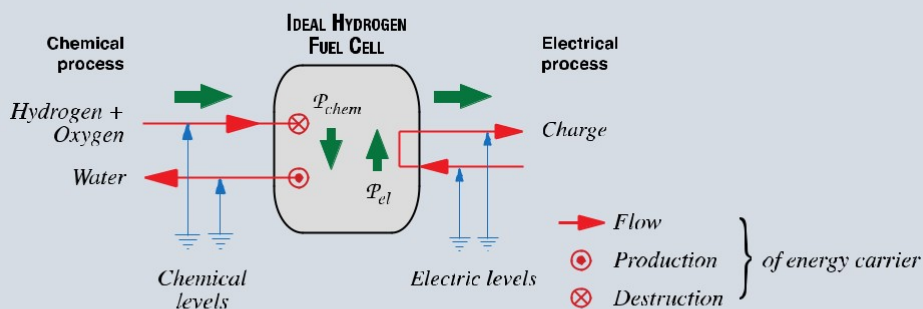
Hidrogenul ca purtător de energie și agent în reacțiile chimice

Așa cum am spus mai devreme, hidrogenul este, de asemenea, un purtător de energie. Este, de asemenea, o substanță chimică. Poate transporta energie către și dinspre anumite locuri, poate pune la dispoziție energie atunci când reacționează cu oxigenul și poate utiliza sau elimina energie atunci când este produsă de electricitate într-un proces numit electroliză (a se vedea pagina 26).

Împreună cu oxigenul, hidrogenul formează apa - aceasta este puterea potențială a hidrogenului, și de aceea apa se formează atunci când hidrogenul și oxigenul reacționează. În această reacție, energia este pusă la dispoziție. Energia furnizată poate fi utilizată pentru a produce calorii (căldură) în timpul arderii sau pentru a pompa transportorul de energie electrică (sarcină electrică) - acesta este cazul pilelor de combustie.

T Utilizarea hidrogenului în pila de combustie

Reacția hidrogenului cu oxigenul, care produce apă, furnizează energie. În pila de combustie, energia disponibilă este utilizată pentru a pompa sarcina electrică de la un nivel electric inferior la unul superior, creând o tensiune electrică.



Atunci când hidrogenul reacționează cu oxigenul gazos, cele două gaze dispar. În locul lor apare apa. Ca urmare a reacției, sarcina este pompată.

Rețineți că există o diferență între procesele care implică apă, electricitate sau rotație și procesele care implică substanțe chimice reactive. În primul caz, purtătorii de energie (în aceeași cantitate) intră și ies din conectori. În cel de-al doilea caz, diverse substanțe intră și ies. Hidrogenul și oxigenul intră (figura de la pagina 3), iar apa iese. Cu alte cuvinte, în reacție sunt implicați hidrogenul, oxigenul și apa. Hidrogenul și oxigenul sunt distruse și se produce apă.

Tensiunea dintre combinația dintre hidrogen și oxigen pe de o parte și apă pe de altă parte este atât de mare încât reacția inversă nu are loc în mod spontan - apa nu se descompune spontan în hidrogen și oxigen. Pentru a face acest lucru, trebuie să ne asigurăm că forța electrică ne ajută prin furnizarea de energie.

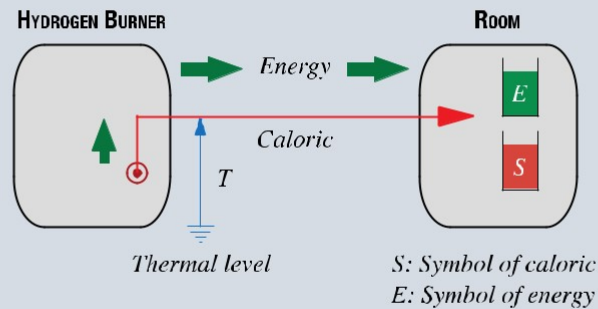
Caloricitatea (cantitatea de căldură) ca purtător de energie și factor termic

Căldura - sau, mai degrabă, cantitatea de căldură, care se numea *calorică* atunci când a fost dezvoltată pentru prima dată știința căldurii (acum peste 200 de ani), - este un purtător de energie. Atunci când căldura trece de la un obiect la altul, aceasta transferă energie odată cu ea.



T Caloricitatea ca purtător de energie

Caloricitatea (cantitatea de căldură, purtător de energie în fenomenele termice) produsă prin arderea combustibilului este utilizată pentru încălzirea spațiilor, trece de la arzător în încăpere și este stocată în încăpere.



Caloricitatea transportă cu ea în încăpere energia care a fost folosită pentru a o produce; de asemenea, aceasta este și locul în care este stocată energia.

Trebuie să facem distincția între cantitatea de căldură și intensitatea acesteia. Intensitatea sau *nivelul* purtătorului este *temperatura*; diferența de temperatură este *tensiunea termică*. În figura de mai sus, caloricul ar fi "materialul roșu" din interiorul recipientelor, iar temperatura, ca intensitate termică, ar fi nivelul caloric din interiorul corpului în care este depozitat.

Un alt aspect important al proceselor termice este importanța diferenței de temperatură. Suntem pregătiți să asociem experiențele corporale cu diferențele de temperatură: acestea se numesc *tensiuni termice*. Tensiunile termice joacă un rol analog cu tensiunile hidraulice (diferențe de presiune), tensiunile electrice (diferențe de potențial electric), diferențele de strălucire a luminii sau diferențele de viteză ale obiectelor în mișcare.

Temperatură

Temperatura măsoară pur și simplu *cât de cald este ceva*. Din punct de vedere figurativ, temperatura este un nivel termic - ridicat sau scăzut - iar diferențele de temperatură sunt diferențe de nivel sau *tensiuni*. Tensiunile termice *stimulează* procesele termice sau *rezultă* din procesele termice.

La fel ca toți purtătorii de energie, energia calorică poate curge și poate fi stocată. Atunci când se află în materiale, le încălzește sau le permite să se dilate (cum ar fi aerul), le topește sau le evaporă (când gheața se transformă în apă și apa în abur).

La fel ca toți purtătorii de energie, energia calorică poate ceda energie atunci când își schimbă starea de la mare la mică, de la cald la rece. La fel ca toți purtătorii de energie, aceasta poate fi pompată de la un nivel scăzut la unul ridicat (de la rece la cald) atunci când energia este disponibilă - acesta este cazul pompelor de căldură.

Acest prim fenomen explică modul de funcționare a motoarelor termice. Sadi Carnot a comparat acțiunea unui motor cu aburi cu cea a unei cascade care antrenează o roată hidraulică (1824; a se vedea fig. 7). Această analogie este potrivită și utilă. După cum spunea Carnot:

Conform regulilor stabilite, putem acum să comparăm puterea de acționare termică cu puterea de cădere a apei.... Forța motrică a căderii de apă depinde de înălțimea acesteia și de cantitatea de lichid; producția de căldură depinde, de asemenea, de numărul de calorii consumate și de ceea ce se poate numi înălțimea căderii, adică de diferența de temperatură a corpurilor între care are loc schimbul de calorii. Pe măsură ce apa cade, forța motrice este exact proporțională cu diferența de nivel dintre rezervorul superior și cel inferior. Puterea motrice crește, fără îndoială, odată cu diferența de temperatură dintre corpurile calde și cele reci, dar nu știm dacă este proporțională cu această diferență.

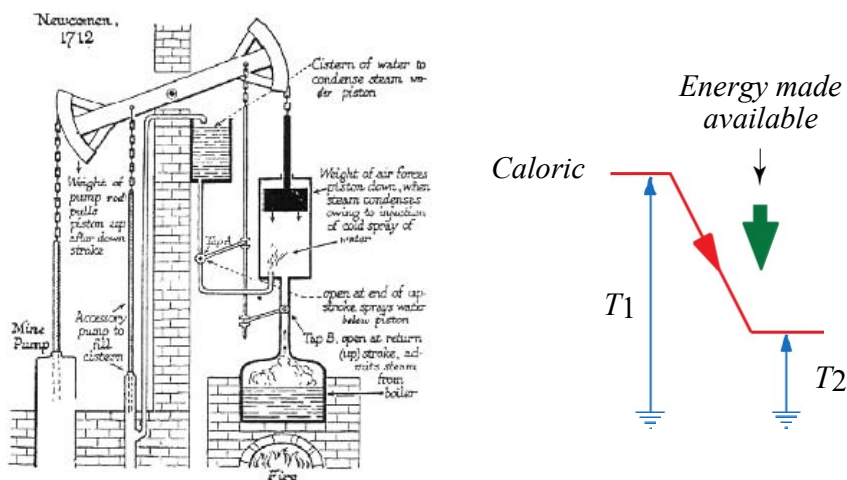
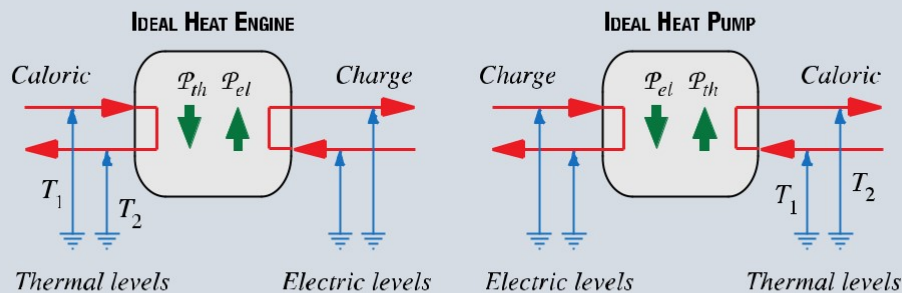


Fig. 7: Cascada lui Sadi Carnot care arată cum funcționează motorul termic. Caloricitatea este produsă într-un cuptor la o temperatură ridicată. Cu ajutorul aburului, acesta este apoi transportat într-o locație rece - un răcitor - unde este degajat în mediul înconjurător. Prin diminuarea conținutului caloric, prin tensiune termică, energia devine disponibilă.



T Caloricitatea acționează motoarele și poate fi pompată

Atunci când caloricitatea scade dintr-un punct cald într-un punct rece, energia devine disponibilă și este utilizată pentru a acționa sau a alimenta un alt proces. Acesta este principiul motoarelor termice. Am obține un motor termic ideal dacă toată energia pusă la dispoziție ar fi utilizată pentru a realiza procesul dorit (de obicei mecanic sau electric).



Alternativ, în cazul în care energia este furnizată, caloricitatea poate fi pompată. Acest lucru se întâmplă în cazul pompelor de căldură și al frigiderelor: caloricitatea se mută dintr-un loc rece într-un loc cald. Pompele de căldură sunt folosite pentru a încălzi materiale, iar frigiderele sunt construite pentru a crea un spațiu rece într-un mediu cald.



T Temperatura și temperatura absolută

Dacă dorim să înțelegem funcționarea motoarelor termice (motoare cu aburi, turbine cu gaz, motoare cu combustie internă din automobile) sau a pompelor de căldură, trebuie să ne punem de acord asupra modului de determinare a temperaturilor; luați întotdeauna în considerare *scara Kelvin absolută*. Există un punct sub care temperatura nu poate scădea: acesta corespunde unei temperaturi de -273°C și are o valoare de 0 K (zero Kelvin).

Punctul de îngheț al apei este de 273 K , temperatura camerei de aproximativ 300 K , apa fierbe la peste 370 K , cuprul se topește la 1360 K , iar oțelul la 1780 K , iar temperatura la suprafața soarelui este de aproximativ 6000 K . Într-o centrală nucleară obișnuită, instalația funcționează la temperaturi de 600 K în reactor și 300 K în mediul înconjurător.

Relația dintre căldură și energie depinde de temperatura absolută la care are loc fenomenul. Acesta este motivul pentru care trebuie să cunoaștem scara Kelvin atunci când luăm în considerare procesele termice în producția de energie.

De ce nu putem folosi toată energia atunci când ardem combustibilul

Spre deosebire de majoritatea purtătorilor de energie, dar ca și substanțele chimice, calorile pot fi produse relativ ușor. Când ne frecăm mâinile, când curentul electric curge prin conductor, când apa sau uleiul curge prin conducte, când anvelopele se freacă de asfalt, când combustibilul arde și când lumina soarelui este absorbită de diverse substanțe, se generează căldură.

Foarte important, producerea de calorii necesită întotdeauna energie: un proces anterior a trebuit să pună la dispoziție energie. Acesta este răspunsul la întrebarea de ce nu putem folosi toată energia pentru a porni motoarele atunci când ardem combustibil. Așadar, să analizăm ce înseamnă producerea de căldură.

Am vorbit deja despre cazul în care se produce energie calorică prin arderea hidrogenului. Pentru a înțelege mai bine ce înseamnă acest lucru, luați în considerare un încălzitor electric. Este un dispozitiv simplu în care sarcina electrică curge prin fire care se încălzesc și emit căldură în cameră sau apă încălzită.

Atunci când o sarcină electrică trece printr-un fir, aceasta trece de la un nivel electric ridicat la un nivel inferior. Înainte de a face acest lucru, trebuie să fie pompată la un nivel mai ridicat de un generator, o celulă solară, o baterie sau o celulă de combustibil, toate acestea generând tensiune electrică. Ca urmare a "pompării", sarcina electrică pierde energie. Această energie va fi disponibilă din nou atunci când sarcina va trece prin fir, acționată de tensiunea electrică de-a lungul firului (a se vedea figura 4).

Procese de generare a căldurii

1. Arderea combustibilului.
2. Trecerea unei sarcini electrice prin fire.
3. Frezare; toate procesele mecanice în care intervine frecarea.
4. Absorbția luminii solare.
5. Curgerea fluidelor prin conducte.
6. Amestecarea materialelor; amestecarea lichidelor la temperaturi diferite.
7. Transportul căldurii prin materiale în conducție termică.

Energia pusă la dispoziție poate fi adesea utilizată în scopuri foarte utile, cum ar fi punerea în mișcare a lucrurilor. Atunci când încărcătura trece prin sârmă, energia disponibilă determină procesul de generare a căldurii.

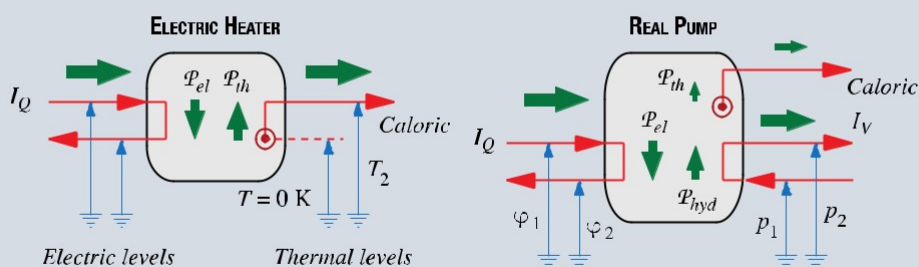
Căldura generată în sârmă face ca aceasta să se încingă, ceea ce duce la emiterea de calorii în mediul înconjurător. Transferăm energia folosită pentru a-l produce

către ambiental. Acest lucru înseamnă că, dacă producem căldură, procesul trebuie să ajungă într-un mediu extern, luând cu el o parte din energie. Se spune că această cantitate de energie a fost *pierdută*.



T Producția de căldură

Puteți obține căldură dacă energia a fost pusă la dispoziție. Acesta este adesea un produs secundar nedorit al proceselor (ca într-o pompă reală).



Ce se întâmplă atunci când ardem combustibilul? Practic, din punct de vedere al puterii calorice, totul arată la fel ca în timpul fluxului de curent prin conductor. Energia furnizată de reacție este aproape exclusiv utilizată pentru a produce căldură (unele vor fi utilizate pentru a extinde aerul în flacără). Dacă se dorește și dacă este proiectat astfel, acesta poate pune în mișcare un motor termic.

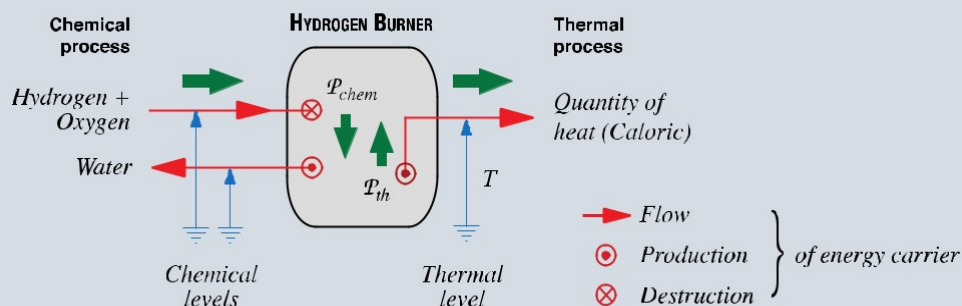
Chiar dacă folosim căldura generată pentru a încălzi o încăpere, o parte din ea trebuie să se scurgă în mediul înconjurător, luând cu ea energie care nu mai poate fi folosită. Să ne amintim că a trebuit să plătim pentru producerea de căldură din energie care ar putea fi utilizată cu mai multă înțelepciune.

Importanța pierderii devine și mai clară dacă luăm în considerare cazul în care ardem combustibil pentru a acționa un motor termic. Producem calorii la temperaturi ridicate. Căldura este apoi utilizată pentru a alimenta traficul sau pentru a produce energie electrică. Acest lucru înseamnă că de la o sursă de temperatură ridicată căldura trece prin motor până la o temperatură mai scăzută, care putem presupune că este temperatura ambiantă. Căldura este apoi emisă în mediul înconjurător la această temperatură mai scăzută.

Căldura de la arzător va ridica o parte din energie odată cu ea. Atunci când ajunge la o temperatură mai scăzută, doar o parte din energie este disponibilă pentru a acționa motorul. Energia pusă la dispoziție este apoi utilizată de procesul dorit, acționat de motor.

T Arderea hidrogenului pentru producerea apei și a căldurii (cantitate de căldură)

Reacția hidrogenului cu oxigenul, care produce apă, se poate realiza prin ardere. În acest caz, se produce căldură prin energia eliberată în timpul reacției.



Atunci când hidrogenul reacționează cu oxigenul gazos, cele ambele gaze dispar. În locul lor apare apa. În plus, există o *cantitate de căldură* (numită *putere calorică*) - aceasta este produsă la fel ca apa. Aceasta părăsește apoi arzătorul împreună cu energia.

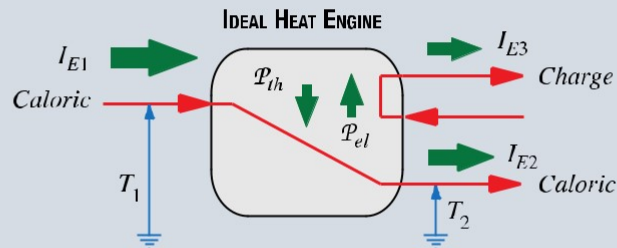
Ne interesează de ce este doar o „parte” a energiei care provine de la arzător. Rețineți că puterea calorică trebuie să părăsească motorul și să intre în mediu prin radiator. Deoarece temperatura ambiantă nu este un zero absolut - de fapt este de aproximativ 300 de unități standard (300 kelvini) de temperatură peste zero absolut - puterea calorică care intră în mediu atrage energie care poate fi considerată pierdută pentru utilizarea ulterioară. Debitul caloric la un anumit nivel - la o anumită temperatură - va consuma întotdeauna energie cu el; cu cât temperatura este mai mare, cu atât mai multă energie este transferată.

Răspunsul la întrebarea de ce nu putem folosi toată energia rezultată din arderea combustibilului este legat de faptul că există un nivel absolut cel mai scăzut al temperaturii - numit temperatură zero - iar mediul nostru este cu mult peste acest nivel. Acest lucru înseamnă că, ori de câte ori noi sau motoarele noastre generăm o anumită cantitate de căldură, după ce toată energia este consumată, aceasta este transferată în mediul înconjurător.

Această pierdere nu are nimic de-a face cu faptul că motorul nu este perfect. Într-adevăr, am rezumat în descriere faptul că motorul în sine funcționează perfect: energia pusă la dispoziție de căderea calorică din motor este utilizată de procesul antrenat de motor.

T Fluxuri de putere și energie pentru un motor termic ideal

Puterea calorică din arzător intră în motorul termic la o temperatură ridicată T_1 , care scade la T_2 , și apoi părăsește motorul. În acest declin, energia apare la o anumită rată p_{th} .



Energia pusă la dispoziție este consumată, deci avem $p_{el} = p_{th}$. Cu toate acestea, deoarece puterea calorică care părăsește motorul consumă energie odată cu acesta, energia eliberată de mediul caloric reprezintă doar diferența dintre energia furnizată motorului și cea evacuată de acesta prin căldură: $I_{E3} = I_{E1} - I_{E2}$.

Situația este similară cu cea a unei centrale hidroelectrice din munți (fig. 5). Imaginați-vă că apa ajunge la turbinele din munți la 1500 m deasupra nivelului mării. Centrala electrică se află la 750 m deasupra nivelului mării, astfel încât energia furnizată de apa care cade de la 1500 m la 750 m este proporțională cu diferența de înălțime, adică 750 m în acest caz.



Fig 5: Dacă numărăm altitudinile din munți și văi în raport cu nivelul mării, doar o parte din energia care poate fi transferată de apa care curge din munți în mare este utilizată în centrala electrică la jumătatea drumului spre mare.

Apa care părăsește centrala electrică va ajunge în cele din urmă în mare. Cel puțin în teorie, am putea profita de scăderea de 750 de metri a nivelului apei până la nivelul mării, ceea ce ar furniza din nou la fel de multă energie ca înainte. Dacă nu putem profita de aceste circumstanțe, pierdem cincizeci la sută din energia noastră de apă. Din nou, această pierdere nu are nimic de-a face cu faptul că motorul nu este perfect. În cele din urmă, centrala electrică primește sută la sută din energia rezultată din picătura de apă din munți.

În cele din urmă, putem descrie diferența dintre utilizarea hidrogenului într-o celulă de combustibil ideală și arderea acestuia și apoi utilizarea unui motor termic ideal. Simplificând, să presupunem că un motor termic ideal antrenează un generator electric ideal, astfel încât rezultatul este energie electrică, la fel ca o celulă de combustibil ideală.

Luați în considerare cantitatea de hidrogen care furnizează o unitate de energie atunci când reacționează cu apa - nu contează dacă se află într-o pilă de combustibil sau prin ardere directă. În ambele cazuri, se produce o unitate de energie.

Dacă hidrogenul este utilizat într-o pilă de combustie ideală, sută la sută din energia furnizată va fi utilizată pentru a pompa electricitate - astfel încât orice cantitate de electricitate care circulă va transporta cu ea sută la sută din energia combustibilului.

Cu toate acestea, dacă ardem mai întâi această cantitate de hidrogen, care ne dă o unitate de energie, iar dacă arderea are loc la o temperatură absolută dublă față de temperatura absolută a mediului (aproximativ 600 kelvini), doar jumătate din energia disponibilă va fi produsă; cealaltă jumătate va merge în mediu cu căldura generată. Cu alte cuvinte, energia electrică generată de motorul termic ideal plus generatorul ideal generează doar cincizeci la sută din energia furnizată de hidrogen.

Pile de combustie cu hidrogen în sisteme

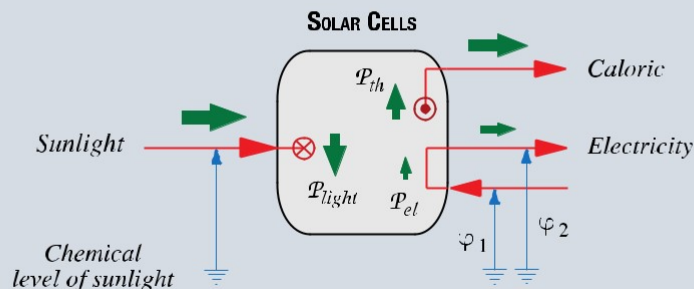
Să analizăm acum mai în detaliu posibilul sistem cu pilă de combustie cu hidrogen (FCH), cum ar fi fig. 1. Am învățat deja despre purtătorii de energie, niveluri (curenți) și tensiuni, precum și despre conceptele de energie furnizată, utilizată și transportată de purtătorii de energie. Pentru discuția noastră, mediile importante sunt lumina, apa, electricitatea, căldura, hidrogenul și mișcarea.

Centrala solară. Sistemul de utilizare a energiei pentru tehnologia FCH începe de obicei cu Soarele nostru. Avem nevoie de energie electrică pentru a produce hidrogen, iar soluția imediată este reprezentată de celulele fotovoltaice - celule solare expuse la lumină, care generează tensiune electrică ce acționează următoarele procese.



T Celule solare

Lumina soarelui transportă energie care este furnizată pentru a alimenta procesul electric și pentru a genera căldură în celulele solare (celule fotovoltaice).



Mecanismul celulelor solare care utilizează lumina, electricitatea și căldura ca purtători și factori funcționează după cum urmează. Lumina soarelui transportă o cantitate mare de energie, care cade pe celulele solare și care este absorbită de acestea (celule fotovoltaice sau, pe scurt, PV). Lumina dispare de fapt ca o substanță chimică într-o reacție, dar își lasă energia. Energia furnizată este utilizată pentru a separa electricitatea pozitivă și negativă din celule, generând astfel o tensiune electrică. Dacă dorim, sarcina va trece printr-un circuit precum cel care leagă o celulă electrolică - în care hidrogenul este obținut din apă - de celula noastră fotovoltaică.

Un aspect important a fost omis în această poveste: celulele solare nu sunt dispozitive ideale. Acestea utilizează doar o parte din energia furnizată de lumina pe care o absorb. Ponderea utilizată pentru producerea energiei electrice este de aproximativ douăzeci la sută. Restul energiei disponibile conduce un proces pe care am prefera să nu-l avem, dar nu îl putem contracara: generarea de căldură. De obicei, emitem căldură direct în mediu, scăpând de această energie.

Hidrogen din apă. Odată ce avem o centrală solară, putem lua în considerare următorul pas pe drumul către alimentarea unui proces util în casele noastre, industrie sau transport. Avem nevoie de hidrogen, care poate fi obținut din apă.

Pentru a scoate hidrogenul din apă, trebuie să recreăm, dar în direcția opusă, o reacție spontană care creează apă din hidrogen și oxigen - pentru aceasta avem nevoie de energia furnizată de electricitate. Acest proces se numește *electroliză*.

Electroliza poate fi efectuată destul de ușor acasă. Avem nevoie de baterii, fire, doi electrozi (creionul de grafit este suficient), un pahar cu apă, sare și unelte pentru a fixa firele și electrozii. Dacă punem electrozi în apa ușor sărată și

conectați-i la două terminale ale bateriei, vom vedea în curând bule care plutesc din ambii electrozi (fig. 6). Se pare că unul dintre gazele emergente este hidrogenul, iar celălalt este oxigenul. Putem colecta hidrogenul și îl putem stoca pentru utilizare ulterioară. Desigur, pentru aplicații reale, avem nevoie de electroliză mare, în cazul în care se face profesional, și vom oferi mijloace de transport care livrează hidrogen clienților.



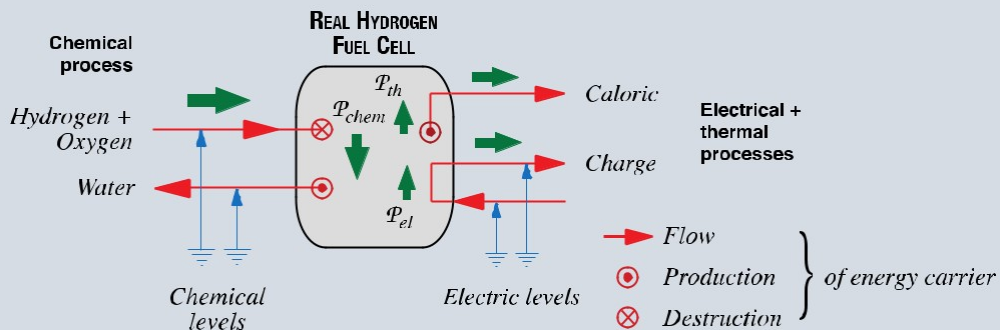
Fig. 6: Hidrogenul poate fi produs acasă cu ajutorul bateriilor, două creioane de grafit ca electrozi și puțină apă sărată.

Hidrogenul din pilele de combustie - electricitate din apă. În cazul în care este nevoie de energie, fie pentru încălzire, transport sau alte scopuri, putem folosi puterea hidrogenului. Știm deja că arderea combustibilului nu este o opțiune bună, chiar dacă dorim să producem căldură pentru încălzire.



T Pile de combustie reale

Pila de combustie reală (cu hidrogen) funcționează cu hidrogen și oxigen. Reacția lor conduce în paralel procesul electric și termic.



Într-o celulă de combustie reală, ca în toate procesele reale, se generează căldură, chiar dacă nu ne dorim neapărat acest lucru. Dacă introducem hidrogen și oxigen într-un recipient, aceste substanțe reacționează și furnizează energie. Într-o celulă de combustibil, energia furnizată este împărțită și alimentează două procese: pomparea încărcăturii electrice (generarea de tensiune) și generarea de căldură. Am putea folosi electricitatea și căldura din casă pentru a alimenta aparatele obișnuite, cum ar fi iluminatul și încălzirea.

Energie electrică pentru pompa de căldură pentru încălzirea locuinței. Să presupunem că tot ceea ce vă doriți în casa dumneavoastră la un moment dat este încălzirea. Din ceea ce am spus până acum, este clar că nu ar trebui să ardem hidrogenul - ar trebui să-l folosim în celulă și să lăsăm energia electrică să acționeze pompa de căldură.

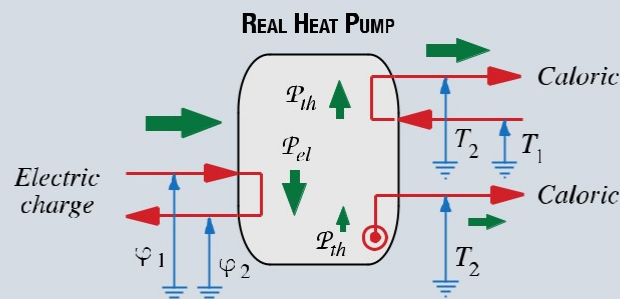
Pompa de căldură propriu-zisă funcționează ca o pompă de apă. Electricitatea furnizează energie. O parte din ea va fi utilizată pentru a prelua căldura dintr-o zonă încălzită din afara casei, de obicei aerul exterior sau solul, și se încălzește (prin compresor) până la temperatura dorită, care poate fi temperatura apei utilizate pentru încălzirea spațiilor.

În funcție de calitatea pompei de căldură și de temperatura exterioară, putem obține de trei până la cinci ori mai multă căldură decât dacă am folosi energia electrică. Dacă adăugați căldura generată de celula de combustie, puteți obține de două până la trei ori mai multe calorii decât dacă ați arde doar hidrogenul într-un cuptor.



T Pompă de căldură

O pompă de căldură utilizează un proces electric pentru a pompa calorii dintr-un loc rece într-un loc cald. În același timp, se generează căldură suplimentară. Acest lucru produce de câteva ori mai multe calorii decât dacă am produce căldura electric sau doar prin arderea combustibilului.



Pentru ce avem nevoie de pile de combustie? De ce să nu folosim direct soarele?

Sistemul de pile de combustie FCH descris în detaliu aici este poate interesant și, în principiu, funcționează. Dar este aceasta cea mai bună cale? Prima parte a lanțului de procese prezentat în fig. 1 - producerea de hidrogen din energie solară fotovoltaică - nu este foarte eficientă. Dacă presupunem o eficiență de aproximativ 15 % pentru energia fotovoltaică și puțin peste 60 % pentru electroliza apei, eficiența totală a acestei părți ar fi de aproximativ 10 %. Dacă adăugăm o a doua etapă și folosim hidrogenul în scopuri electrice, putem obține efectiv o eficiență de numai 5% din energia electrică de la priză față de energia solară.

Dacă ar fi să folosim energia fotovoltaică direct pentru scopuri electrice casnice, ar trebui să atingem o eficiență de 10-20% - mult mai bună decât un sistem de celule FCH. În cazul încălzirii, situația arată și mai rău. La urma urmei, dacă avem nevoie de apă caldă pentru gospodărie, eficiența unui sistem solar termic de apă caldă va depăși cu ușurință 40 la sută!

Ideea este că performanța nu este totul. Pentru că ar trebui să fim capabili să furnizăm energia necesară pentru a face ceea ce trebuie să facem, la viteza potrivită, ceea ce poate însemna putere mare, și la momentul potrivit, cum ar fi noaptea sau iarna în țările care sunt departe de ecuator. Combustibilii sunt încă de neegalat în ceea ce privește furnizarea de energie la viteze mari și în momentele în care soarele nu strălucește suficient.

Așadar, este adevărat că vara, într-o țară care poate fi chiar destul de rece iarna, nu avem nevoie de tehnologia pilelor de combustie pentru a produce apă caldă pentru gospodărie și este posibil să nu avem nevoie de ea pentru a produce electricitate. Cu toate acestea, dacă ne gândim la alte aplicații, cum ar fi transportul și alte momente în care cererea de încălzire este mare și soarele strălucește slab, tehnologia FCH poate fi una dintre cele mai bune soluții disponibile pentru noi și pentru viitor.