

Aparatul este dotat cu două elemente cilindrice din sticlă în care este conținut atât electrolitul, cât și gazele formate. Într-un cilindru se va forma o cantitate dublă de gaze - acela este hidrogenul, iar în celălalt cilindru va fi oxigenul. În acest aparat de obicei se folosește Platina (Pt) drept material pentru electrozi pentru o bună rezistență la coroziune. Cele două gaze pot fi colectate după generare în două moduri diferite. Hidrogenul este mai ușor ca aerul, deci acesta tinde să se înalțe, iar oxigenul este mai greu decât aerul și astfel rămâne la baza unei eprubete fără să se ridice și să se degaje în atmosferă. Existența hidrogenului se poate dovedi ori cu un detector de gaze pentru hidrogen ori prin simpla aprindere a acestuia.

Arderea hidrogenului produce un sunet aparte, iar viteza de ardere a acestuia în aer nu este foarte ridicată. Prezența oxigenului poate fi dovedită prin introducerea în eprubetă a unei bucăți de lemn care nu arde cu flacără deja ci este numai jar. Acesta după introducere, deși inițial nu ardea cu flacără, din cauza oxigenului pur se aprinde și arde cu flacără o durată scurtă fiindcă oxigenul susține combustia.[19]

Producerea energiei electrice necesare electrolizei apei prin recuperarea energiilor disipate în rulare

Frânarea regenerativă este un procedeu de frânare al unui vehicul prin conversia energiei sale cinetice într-o altă formă, energie care poate fi reutilizată imediat sau stocată. Procedeu diferă de metoda de frânare convențională, care disipă în mediu această

energie sub formă de căldură prin frecare în frâne. În afară de mărirea eficienței energetice a vehiculului prin evitarea risipirii acestei energii, frânarea regenerativă menajează sistemele de frânare convenționale.[25]



Fig. 14.14 – Sistemul de frânare regenerativă testat în prezent de Audi pentru aplicațiile e-tron[27]

Un amortizor de regenerare este un tip de amortizor care convertește mișcarea liniară intermitentă și vibrațiile acestuia, în energie utilă, cum ar fi energia electrică. Amortizoarele convenționale pur și simplu disipă această energie sub formă de căldură. Atunci când este utilizat într-un vehicul electric sau vehiculul hibrid, energia electrică generată de amortizor poate fi deturnată pentru sistemul de propulsie, pentru a crește durata de viață a bateriei. În cazul vehiculelor non-electrice, acesta energie electrică poate fi folosit pentru diferite accesorii

electrice, cum ar fi aerul condiționat, sau în cazul de față pentru a alimenta celulele care realizează electroliza . Mai multe sisteme diferite au fost dezvoltate recent, chiar dacă acestea sunt încă în stadii de dezvoltare și nu sunt instalate pe vehicule de serie.[26]

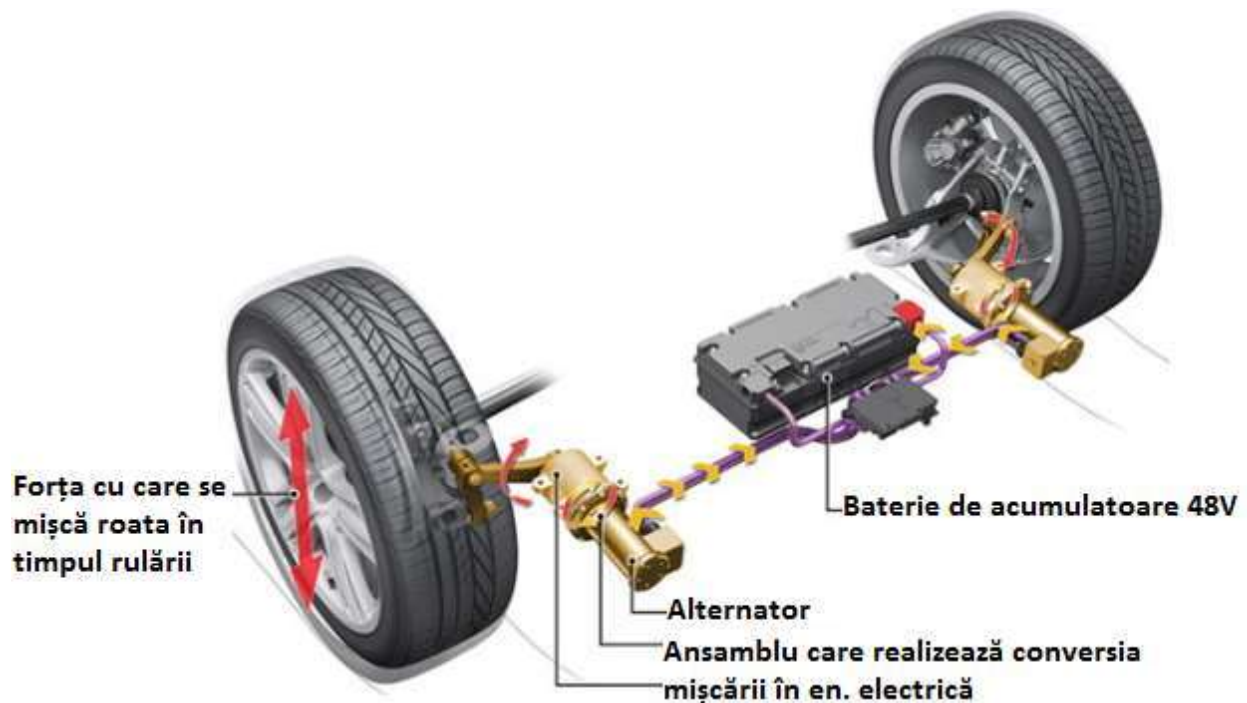


Fig. 14.15 – Sistemul de amortizoare recuperative testat în prezent de Audi pentru aplicațiile e-tron[28]

### Producerea hidrogenului cu ajutorul bacteriilor

O altă metodă pentru generarea hidrogenului ar fi convertirea celulozei și a altor materiale biodegradabile direct în hidrogen prin intermediul unor bacterii. Aceste bacterii consumă (mănâncă) compuși organici și le descompun în protoni și electroni. Dacă se plasează acest proces într-o celulă de combustibil adecvată, asemănător unei baterii, atunci se poate genera energie electrică. În interiorul acestei celule de

combustibil bacteriile elimină electroni care mai apoi pot circula într-un circuit alimentând un consumator. Electronii, recombinaându-se cu protonii din apă, formează hidrogenul. Bacteriile consumă “mâncarea”, iar energia produsă se amplifică ușor, și astfel hidrogenul este obținut prin intermediul reactorului. În figura 14.16 se prezintă schema procesului de producere a hidrogenului din biomasă.

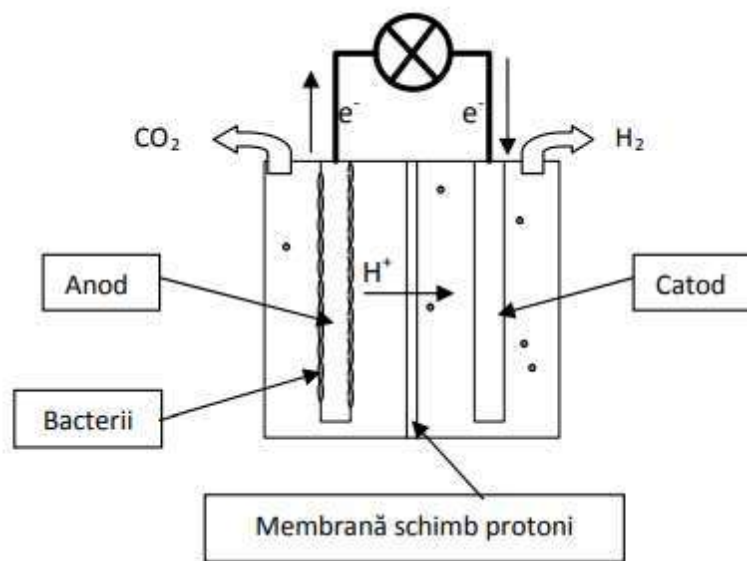


Fig. 14.16 – Procesul obținerii de hidrogen din biomasă

Avantajul principal al acestei metode de obținere a hidrogenului este faptul că se consumă o cantitate mică de energie comparativ cu metodele convenționale. Descompunerea clasică a apei prin electroliză în oxigen și hidrogen consumă o cantitate semnificativ mai mare de energie. Bacteriile de asemenea pot descompune materia organică ceea ce nu necesită deloc energie exterioară suplimentară, dar pentru a obține o cantitate utilizabilă de hidrogen este necesară introducerea în sistem a unei cantități mici de energie ceea ce reprezintă aproximativ o zecime din cantitatea de energie

electrică necesară electrolizei apei pentru obținerea hidrogenului. În acest caz bacteriile furnizează marea parte a energiei necesare producerii hidrogenului din materiile organice, deci este necesar un consum adițional scăzut de energie pentru a obține gaz în cantitate utilizabilă.

Hidrogenul ar putea fi produs cu această metodă în mod localizat și mai apoi îmbuteliat sub presiune pentru diferite utilizări ulterioare. În celula de reacție, oxigenul este inexistent atât în camera de anod cât și în camera de catod. Tensiunea necesară producerii reacției este de aproximativ 0,25 V comparativ cu cea de 1,8 V necesară celulei în cazul electrolizei apei.[19]

### Stocarea hidrogenului

În cazul hidrogenului apare o problemă legată de proprietățile fizice și chimice ale acestuia, iar mărirea hidrogenului molecular necesită mai multă siguranță decât a unor combustibili convenționali.

În combinație cu aerul, hidrogenul formează un amestec exploziv, fiind inflamabil în amestecuri ce conțin între 5 și 85% hidrogen.

### Depozitarea sub presiune

Hidrogenul are o densitate foarte mică rezultând o putere energetică raportată la volum scăzută – aproximativ o treime din cea a gazului metan, dar de 3 ori mai ridicată dacă este luată în considerare puterea energetică raportată la masă. Practic, pentru aceeași cantitate de energie stocată, în cazul hidrogenului vom avea nevoie de un rezervor sau de o presiune de

3 ori mai mare decât în cazul CNG. Rezervoarele de hidrogen pentru automobile au ajuns să stocheze hidrogenul la o presiune de cca. 700bar. Pentru a fi depozitat la această presiune de cca. 700bar consumul de energie pentru înmagazinare este de aproximativ 15% din cantitatea de energie înmagazinată în hidrogen.



Fig. 14.17 – Rezervor de stocare a hidrogenului în stare gazoasă[17]

### Depozitarea în stare lichidă

Pentru a stoca cantități mari de hidrogen sunt utilizate rezervoare de hidrogen lichid. Pentru aceasta este necesară lichefierea hidrogenului și depozitarea acestuia la presiunea atmosferică la temperaturi scăzute. În acest caz, presiunea nu mai reprezintă o problemă, dar apar costuri foarte ridicate pentru izolarea rezervorului și a conductelor. În cazul lichefierii

există avantajul unei reactivități scăzute datorită temperaturilor de stocare și a unei densități de cca. 800 de ori mai mare în comparație cu oxigenul gazos la temperatură normală. Dezavantajul constă în faptul că apar pierderi de căldură la evaporare. Consumul de energie necesar în procesul de lichefiere a hidrogenului lichid constituie aproximativ 20% din energia înmagazinată, restul pierderilor ocazionate de transferuri ulterioare (de la fabrică la mijloacele de transport, apoi la stațiile de alimentare și în final la consumatori) sunt neglijabile. În jurul rezervorului se poate forma gheață, iar izolația pentru rezervor este de obicei foarte scumpă.[16]



Fig 14.18 – Rezervor de hidrogen lichefiat [18]

## Stocarea în hidruri metalice

O altă modalitate pentru reducerea presiunii hidrogenului molecular este dizolvarea în alte materiale. Hidrogenul este stocat în golurile rețelei metalului. Un metru cub de hidrură metalică va conține mai mulți atomi de hidrogen decât același volum de hidrogen lichid. Mărimi critice reprezintă în acest caz temperatura și presiunea de adsorbție și cedare a hidrogenului, precum și greutatea rezervorului.

Printre hidrurile ce se intenționează a fi utilizate în industria hidrogenului sunt hidrurile simple de magneziu sau metale de tranziție, respective hidruri complexe conținând sodiu, litiu sau calciu și aluminiu sau bor. Deseori hidrurile reacționează violent la expunerea la aer umed, și unele sunt toxice la contactul cu pielea sau ochii, de aceea manipularea lor necesită multă atenție (ex bor, hidrura de litiu-aluminiu). Unele hidruri cum ar fi hidrura de sodiu-bor, hidrura de litiu-aluminiu și borura de amoniu, au totuși o reactivitate scăzută și o densitate de depozitare înaltă. Hidrogenul utilizat în astfel de recipiente trebuie să fie de grad înalt de puritate pentru a nu contamina suprafețele de adsorbție (ex. 10 ppm O<sub>2</sub> maximum în H<sub>2</sub>, monoxid de carbon, hidrocarburi și apă la nivel redus). [16]



## Stocare amoniacală

Amoniacul ( $\text{NH}_3$ ) poate fi utilizat pentru a depozita hidrogenul în compuși chimici de unde mai apoi poate fi eliberat printr-un procedeu de reformare catalitică. Amoniacul prezintă o foarte mare densitate de înmagazinare a hidrogenului sub formă de lichid cu cerințe slabe de presurizare și răcire.

Amoniacul poate fi reformat pentru a obține hidrogen fără deșeuri toxice, sau poate fi amestecat cu combustibilii existenți pentru a arde cu randament mare.

Amoniacul pur arde slab la presiunea de funcționare a aparatelor de încălzire a apei și sobelor cu gaz metan. Sub presiunea de compresie din motoarele de ardere internă, cu mici modificări, este un combustibil corespunzător.

## Soluții de stocare a hidrogenului în fază de cercetare

- Nanotuburi de grafit

La Northeastern University din Boston s-a descoperit o nouă tehnică revoluționară de stocare utilizând nanotuburile de grafit (fulerene). Hidrogenul este depozitat între straturi de nanotuburi cu un diametru de 5-10nm. Fiecare gram de carbon conține cca 30l hidrogen, ceea ce la un

rezervor de 25L și 87kg ar putea asigura o autonomie de 8000km pentru un automobil.

Dezavantajul este că încărcarea durează între 4 și 24 ore și este posibilă doar de 4-5 ori. Se presupune că această densitate de înmagazinare se datorează faptului că suprafețele rețelelor de carbon prezintă proprietăți cristaline, moleculele de hidrogen putându-se însera foarte strâns în acestea. Teoria privind modul de înmagazinare nu este pe deplin elucidată. [16]

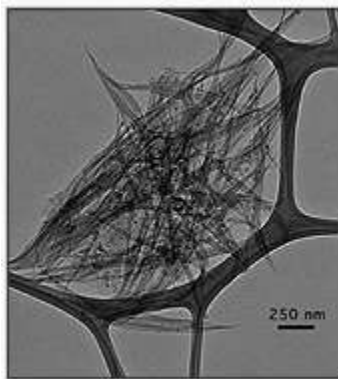


Fig. 14.19 – Nanotub de carbon [16]

- Rețele metalo-organice

O altă clasă de materiale poroase sintetice care ar putea înmagazina în mod eficient hidrogen o constituie rețelele metalo-organice. În anul 2006 specialiști în chimie de la UCLA și Universitatea din Michigan au atins o concentrație de înmagazinare a hidrogenului în rețele metalo-organice de până la 7.5% din greutate. De menționat că acest rezultat a fost obținut la o temperatură de 77K (-195°C). [16]

- Borat de fosfoniu

În anul 2006 cercetători de la Universitatea din Windsor au reușit înmagazinarea reversibilă a hidrogenului în compusul nemetalic borat de fosfoniu. Acest compus înmagazinează hidrogen la temperatura de 25 °C și și presiunea de 1bar și îl cedează la 100 °C. Randamenul este de 0,25% mult sub 6-9% cerut de utilizarea comercială.[16]

### Utilizarea hidrogenului la automobile

Industria automobilelor se îndreaptă din ce în ce mai rapid spre adoptarea unor soluții de propulsie alternative utilizând alte surse de energie decât cea provenită din combustibilii fosili. Motivele principale sunt de natură ecologică (protecția mediului), economică (creșterea continuă a prețului petrolului, pe termen lung) și politică (dependența de petrolul produs în anumite regiuni geografice).

În cazul automobilelor, cea mai promițătoare tehnologie pare să fie reprezentată de electroliza apei. Pentru acestea hidrogenul poate fi utilizat în două moduri:

- combinat cu oxigenul într-o pilă de combustie (fuel cell) pentru producerea energiei electrice
- ars direct în cilindrii motorului termic

Pila de combustibil realizează practic inversul procesului de electroliză a apei. Acesta convertește în energie electrică energia chimică a unui combustibil (hidrogen) care reacționează cu oxigenul. Pe lângă energie electrică, un alt produs al acestei reacții este apa .

În cazul automobilelor, energia electrică generată de pila de combustie este utilizată pentru alimentarea unui motor de tracțiune electric. Toate automobilele ce utilizează pile de combustibil sunt cu propulsie electrică, puterea electrică generată fiind în funcție de regimul de funcționare al motorului.

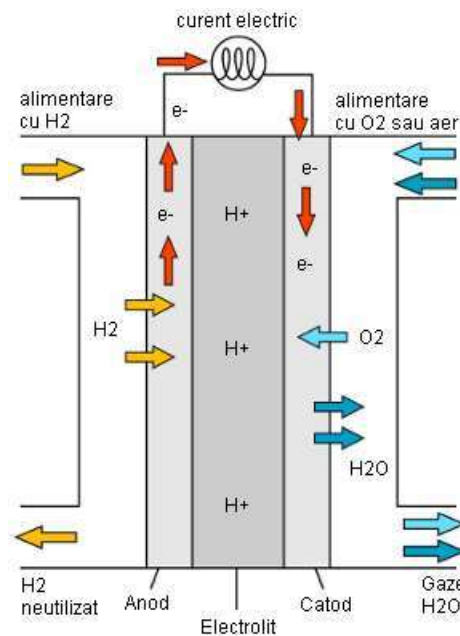


Fig. 14.20– Pilă de combustie[20]

Conversia hidrogenului și oxigenului în energie electrică nu are randament 100%. Acest proces se desfășoară cu degajare de căldură iar randamentul unei pile de combustie este în jur de 40-60%.

În ceea ce privește industria automobilelor, producătorii japonezi sunt cei mai avansați în dezvoltarea pilelor de combustie pentru propulsarea automobilelor. Honda FCX Clarity este un automobil de serie mică care este comercializat în principal în Japonia și SUA.



Fig. 14.21 – Honda FCX Clarity 2017 [21]

De asemenea, în Europa, Daimler este la generația a 2-a de automobile cu pile de combustie în faza de prototip. Producția unui automobil de serie (generația a 4-a) este estimată să înceapă înainte de 2020.

Un alt mod de a utiliza hidrogenul este arderea acestuia în cilindrii motorului termic. Sistemul de alimentare al unui motor termic cu hidrogen este similar cu cel al unui motor pe benzină. Diferența principală este modul de stocare al hidrogenului (sub presiune, la valori de 300-600 bari).[21]

Tabel 14.2 – Proprietățile fizice ale hidrogenului comparativ cu benzina[21]

Proprietăți fizice	Hidrogen	Benzină
Densitatea [kg/m <sup>3</sup> ] @ 0 °C, 760 mmHg	0.0898	735-760

Densitatea de energie [kWh/m <sup>3</sup> ]	2.79	8666.67
Densitatea de energie [kWh/kg]	33.3	11.86
Raportul aer-combustibil [-] ( $\lambda = 1$ )	34.32	14.5
Energia necesară aprinderii în aer [mJ]	0.018	0.2-0.3
Viteza de propagare a flăcării [m/s] @ $\lambda = 1$ , 20 °C, 760 mmHg	2.37	0.12
Limita de inflamabilitate în aer [ $\lambda$ ] @ 20 °C, 760 mmHg	10.12 - 0.136	1.1 - 0.709
Puterea calorică inferioară [kJ/kg]	42690	119600
Cifra octanică (RON)	> 130	90 - 98

Datorită vitezei de ardere a hidrogenului, considerabil mai mare comparativ cu benzina, durata ciclului de ardere în motor este redusă. Din acest motiv randamentul termic al unui motor cu ardere internă ce utilizează hidrogen este superior benzinei.

Hidrogenul comprimat până la o presiune de 150 bari are o densitate de energie de 405 Wh/litru. Densitatea de energie maximă a hidrogenului este de 2600 Wh/litru când acesta este sub formă lichidă (la temperatura de -253 °C). Chiar și în formă lichidă densitatea de energie a hidrogenului este foarte mică comparabil cu cea a benzinei (9000 Wh/litru).

Din punct de vedere al aprinderii hidrogenul are o rezistență mai mare la auto-aprindere (RON > 130) deci poate fi utilizat pe motoare cu raport de comprimare ridicat. Cu toate acestea limita de inflamabilitate în aer apare la amestecuri foarte sărace ( $\lambda > 10$ ) și din acest motiv amestecul aer-hidrogen se poate auto-aprinde relativ ușor (comparativ cu benzina) de la piesele motorului care au temperatură ridicată.[21]

Rezultate obținute în urma alimentării unui motor Diesel experimental cu motorină și un combustibil gazos (dual-fuel)

Odată cu dezvoltarea și industrializarea lumii moderne necesitatea de combustibili fosili a crescut extrem de rapid, devenind o preocupare la nivel mondial, cu un impact important asupra mediului înconjurător.

Atât pe șosele cât și pe căile ferate sau căile navigabile, motoarele Diesel sunt preferate pentru eficiența lor din punct de vedere al consumului de combustibil și al randamentului obținut. Motoarele cu aprindere prin comprimare sunt eficiente și din punct de vedere al emisiilor de hidrocarburi(HC) și monoxid de carbon (CO), dar devin problematice din cauza emisiilor însemnate de oxizi de azot (NOx) și particule materiale (PM). Pentru acestea din urmă sunt utilizate în prezent diverse tehnologii pentru tratare precum catalizatoare de reducere selectivă (SCR) și filtre de particule (DPF), cu scopul de a putea respecta normele de depoluare din ce în ce mai stricte. Aceste sisteme de post-tratare a gazelor de evacuare au în componența lor metale prețioase, fapt ce conduce la costuri foarte ridicate de fabricare, iar pentru respectarea ultimelor norme de depoluare în vigoare este necesară prezența mai multor astfel de sisteme pe un singur autovehicul. Din acest motiv, s-a încercat adoptarea unor soluții de compromis precum motoarele diesel dual-fuel.[22]

### Controlul emisiilor la un motor Diesel

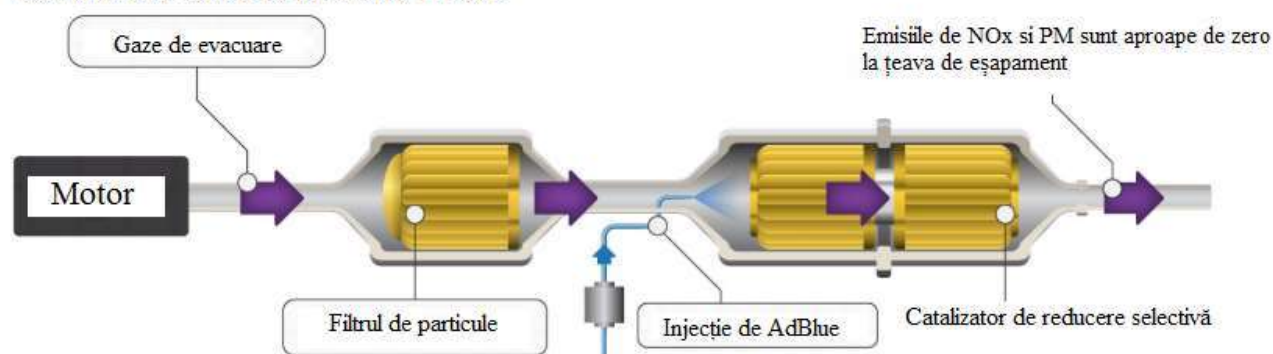


Fig.14.22 – Controlul emisiilor la un motor Diesel [23]

Un motor cu aprindere prin comprimare dual-fuel presupune „cooperarea” dintre motorină și un combustibil gazos (în cazul căruia emisia de particule materiale este foarte mică) precum gazul petrolier lichefiat (GPL), gazul natural comprimat (CNG) sau hidrogenul.

Carburantul gazos poate participa la combustie în mai multe moduri: introducerea unui amestec aer-combustibil gazos în cilindru care să fie aprins de amestecul combustibil aer-motorină la o anumită temperatură și presiune; un amestec aer-combustibil gazos mai bogat care ajută la propagarea flăcării produsă de amestecul aer-motorină și arde independent; sau amestecarea combustibilului gazos cu motorina și aerul direct în camera de combustie și arderea lor simultană. Într-un motor dual-fuel combustibilul gazos poate fi introdus în camera de ardere prin mai multe mijloace: carburație, injectarea continuă în galeria de admisie, injectia directă de hidrogen etc.

Un experiment realizat pe un motor dual-fuel Diesel-CNG monocilindric a arătat că întârzierea la aprinderea amestecului carburant



a fost mai ridicată decât la alimentarea normală cu motorină. La sarcini mici și medii, regimul termic și presiunea din cilindru scade pe măsură ce adăptia de CNG este mărită, dar crește la sarcini mari datorită vitezei mai mari de ardere a amestecului motorină-CNG.

Din punct de vedere al emisiilor, a fost notată o scădere importantă a cantității de particule (PM) și o scădere ușoară a monoxidului de azot (NO) emise în urma combustiei, dar și o creștere a emisiilor de hidrocarburi (HC) și monoxid de carbon (CO). S-a constatat că emisiile de CO ar putea fi controlate printr-o strategie de încălzire a aerului admis în cilindru și prin creșterea cantității de motorină din injecția pilot, cu un impact pozitiv și asupra emisiilor de NO. [22]

În cazul unui experiment realizat pe un motor dual-fuel (Diesel-CNG) cu 4 cilindri, în care studiul s-a concentrat pe influența raportului de comprimare și a turației asupra emisiilor poluante s-a constatat că mărirea raportului de comprimare și creșterea turației de funcționare conduc la un randament termic mai bun și la o scădere a emisiilor de CO. O problemă apare la funcționarea la sarcini mici și medii când eficiența termică este scăzută iar emisiile de CO și HC sunt foarte ridicate. Aceste puncte de funcționare reprezintă o limitare soluției actuale de motoare dual-fuel Diesel-CNG, prezentată și în experimentul realizat pe un motor monocilindric dual-fuel alimentat cu același combustibil.[24]

O alternativă promițătoare pentru motoarele cu ardere internă cu aprindere prin comprimare pentru îmbunătățirea randamentului termic, reducerea emisiilor poluante și reducerea consumului de combustibil o constituie hidrogenul.

Motorul dual-fuel Diesel-hidrogen a fost studiat de-a lungul mai multor experimente recente care au concluzionat următoarele aspecte: eficiența combustiei cu adăugarea de hidrogen este dependentă de sarcina motorului, iar pentru a avea un randament crescut, cantitatea de hidrogen ar trebui suplimentată pe măsură ce sarcina motorului crește.

Emisiile poluante precum HC, CO, CO<sub>2</sub> și PM se reduc pe măsură ce cantitatea de hidrogen admisă crește. La sarcini mici și medii a fost constatată o reducere a emisiilor de NO<sub>x</sub>, dar la sarcini mari, datorită temperaturii mari de ardere a hidrogenului, producerea de NO<sub>x</sub> este facilitată și deci emisiile sunt mai ridicate. Randamentul termic obținut depinde de sarcină, turație și de cantitatea de hidrogen admisă în motor.

Hidrogenul este un carburant cu mai multe proprietăți speciale, precum: inflamabilitate mare, viteză mare de ardere, energie mică de aprindere și lipsa carbonului, proprietăți care în combinație cu un alt combustibil gazos pot îmbunătăți eficiența energetică și reduce emisiile poluante.

Un alt studiu teoretic și experimental a avut ca subiect alimentarea unui motor dual-fuel Diesel-GPL cu adăugarea de hidrogen. Descoperirea cea mai

importantă a fost faptul că eficiența scăzută de la sarcini mici a putut fi compensată prin introducerea în cilindri a unui amestec de combustibil gazos GPL-hidrogen, pentru sarcini mai mari de 10%.[22]

Alimentarea motorului Diesel experimental cu motorină, CNG și adădire de hidrogen.

Metanul din gazul natural comprimat are o viteză redusă de propagare a flăcării și o inflamabilitate scăzută, în timp ce hidrogenul prezintă opusul acestor două caracteristici: are o viteză mare de ardere și o energie mică de aprindere fapt ce poate conduce la o ardere instabilă. Astfel, amestecul dintre cele două gaze este unul propice arderii în motor.

În experimentul studiat, au fost făcute încercări la  $1800 \text{ min}^{-1}$ , utilizând 5 valori de sarcină: 10, 30, 50, 70 și 90%. Proportia de combustibil gazos utilizată a fost de  $40 \pm 1\%$ , cu o proporție de hidrogen-CNG de 30:70, 50:50 și 70:30 *volum*, denumite H30-M70, H50-M50, respectiv H70-M30. Utilizând aceste rapoarte de volum, procentul de energie provenit de la hidrogen va fi de 11.67, 23.56, respectiv 41.3% considerând puterea calorică inferioară a hidrogenului și a metanului de 119,93MJ/kg, respectiv 50,02 MJ/kg și densitatea la presiunea atmosferică de 0.0837, respectiv 0.6512g/cm<sup>3</sup>.

Standul experimental poate fi observat în diagrama din figura 14.23. Motorul Diesel a fost montat pe un dinamometru Eddy unde cuplul și

turația sunt controlate de sistem de management motor Ono Sokki. Presiunea interioară din cilindru a fost măsurată cu un traductor piezoelectric (Kistler 6056A). Pentru turație a fost utilizat un traductor pentru poziția arborelui cotit cu o frecvență de achiziție de  $0.5^{\circ}\text{RAC}$ . Temperaturile la admisie și evacuare au fost măsurate cu termocuple K-type.

Emisiile de gaze de evacuare au fost măsurate utilizând diferite metode. Pentru HC a fost utilizată măsurarea cu detector cu ionizare în flacără (HFID), pentru NO/NO<sub>x</sub> detectorul chemiluminescent încălzit (HCLA), pentru CO și CO<sub>2</sub> analizorul nedispersiv cu infraroșu (NDIR), iar oxigenul a fost măsurat cu un analizor de gaze portabil. Pentru emisia de PM a fost utilizat un mini-separator în două etape Dekati.[22]

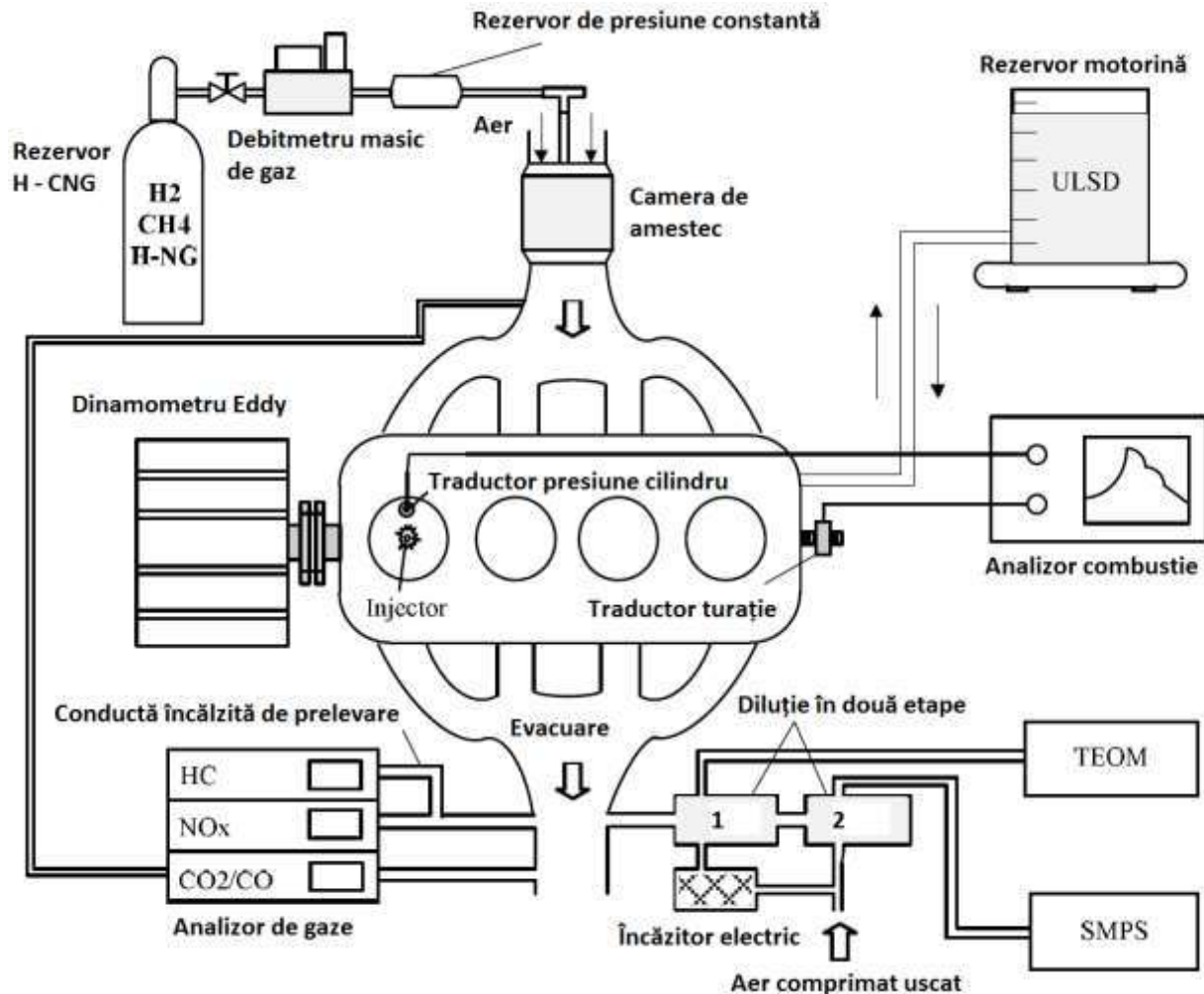


Fig. 14.23 – Diagrama standului experimental [22]

## Rezultate

La sarcini mici și medii presiunea maximă din cilindru descrește pe măsură ce cantitatea de combustibil gazos este mărită. La sarcini mari, datorită temperaturilor ridicate și a unei cantități a injecției pilot crescute, eficiența combustiei este mărită, iar viteza mare de ardere a combustibilului gazos va contribui la o presiune maximă în cilindru mai mare.

Dacă motorul ar funcționa alimentat doar cu Diesel-hidrogen, arderea ar fi instabilă și greu de controlat la sarcini mari. Prin funcționarea Diesel-CNG-hidrogen, presiunea maximă din cilindru va crește gradual, efect evidențiat cel mai bine la sarcini mari – fig. 14.24.

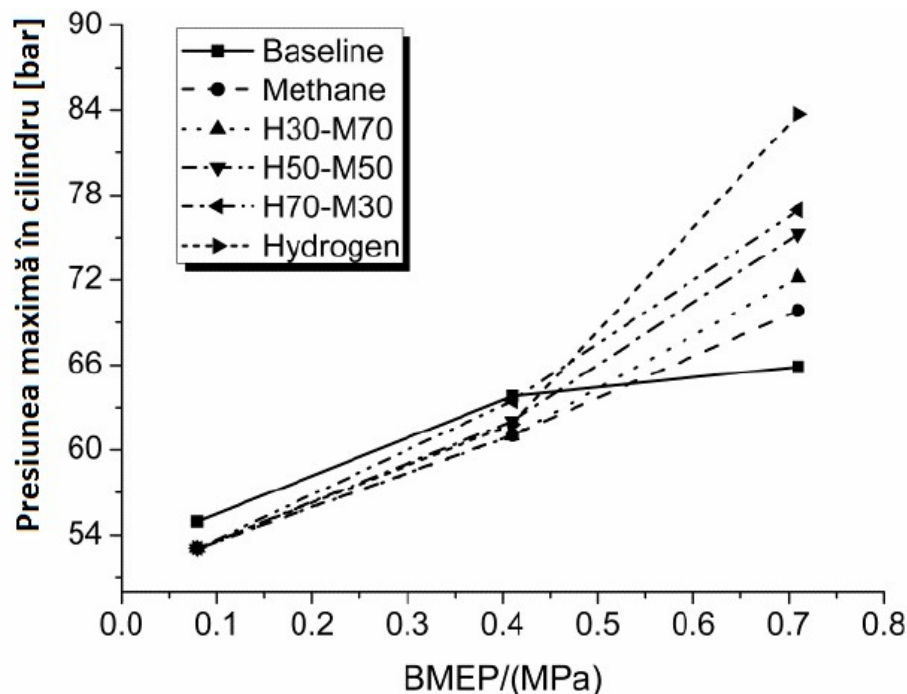


Fig. 14.24 – Evoluția presiunii maxime în cilindru în funcție de sarcină și cantitatea/tipul de combustibil gazos adăugat; sarcină 10% = 0,08 BMEP, 30% = 0,24 BMEP, 50% = 0,41 BMEP, 70% = 0.57 BMEP și 90% = 0.71 BMEP [22]

În cazul vitezei de degajare a căldurii, în figura 14.25 putem observa rezultatele pentru o sarcină de 90%. Pentru alimentarea Diesel-CNG rata de eliberare a căldurii a crescut față de alimentarea cu motorină simplă. La funcționarea cu Diesel-hidrogen, din cauza arderii necontrolate, a apărut fenomenul de autoaprindere unde căldura a fost degajată mult mai devreme și la o valoare mult mai mare. La funcționarea cu Diesel-CNG-

hidrogen, rata de eliberare a căldurii crește gradual cu mărirea cantității de hidrogen.

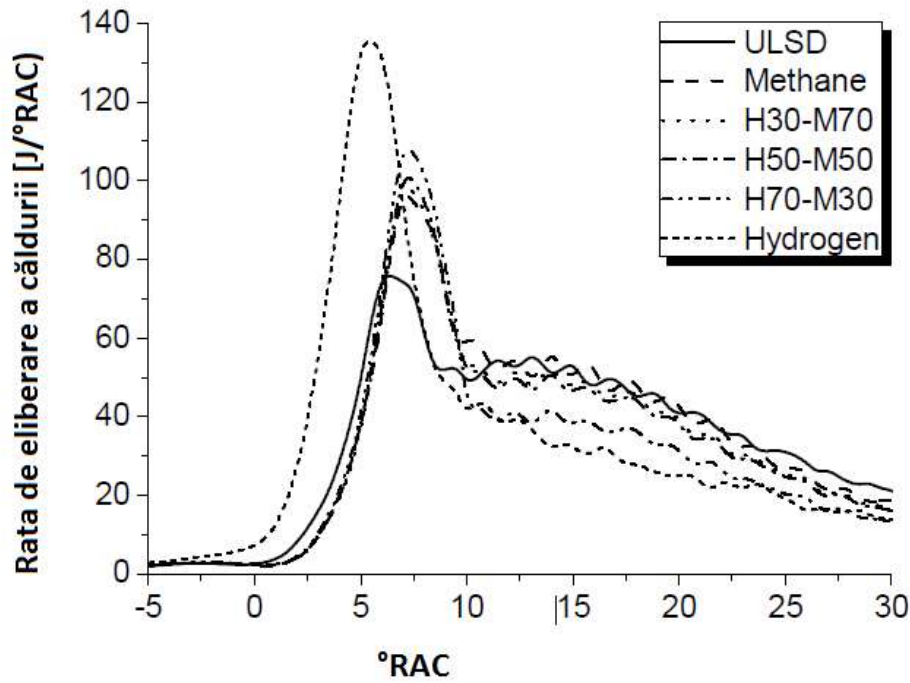


Fig. 14.25 – Evoluția ratei de eliberare a căldurii pentru o sarcină de 90% [22]

### Performanța motorului

Pentru amestecul Diesel-CNG, randamentul termic este mai scăzută decât în cazul alimentării cu motorină simplă, efect foarte evident la sarcini mici (la 10% sarcină eficiența termică este de 12.57% pentru motorină-CNG). În cazul Diesel-hidrogen, eficiența termică depinde de sarcină – la sarcini mici și medii este mai scăzută (eficiența arderii scăzută la combustibilul gazos), iar la sarcini mari are valori comparabile cu alimentarea cu motorină. Aspectul important descoperit la alimentarea motorină-CNG-hidrogen este că pe măsură ce procentul de hidrogen din amestec este crescut, eficiența termică crește proporțională cu cantitatea de hidrogen adăugată.

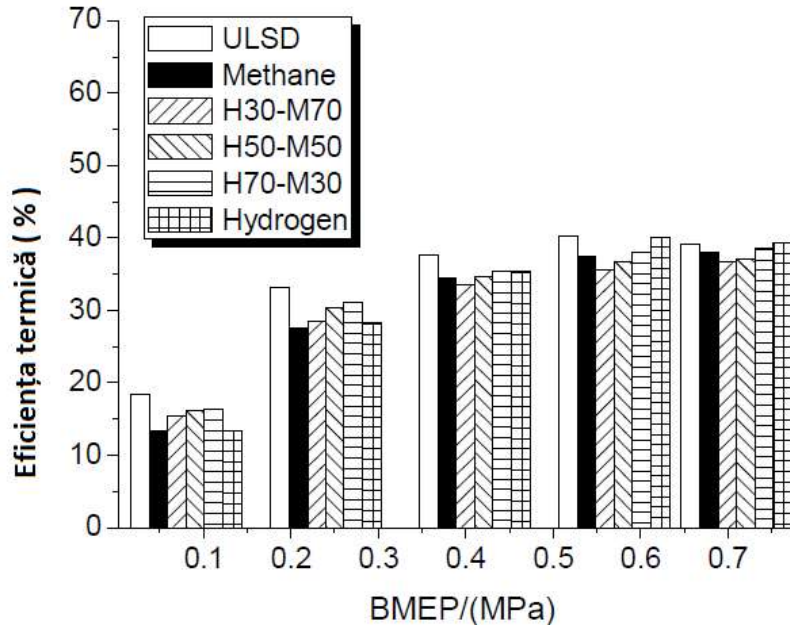


Fig. 14.26 – Eficiența termică în funcție de carburantul utilizat [22]

În cazul *emisie de CO* se poate observa că în cazul tuturor sarcinilor analizate valorile emise sunt mai mari la alimentarea motorină-CNG față de alimentarea cu motorină, cauza fiind arderea incompletă a metanului. Pentru amestecul motorină-hidrogen au fost obținute cele mai mici emisii de CO, pentru toate sarcinile. La alimentarea cu motorină-CNG-hidrogen, pe măsură ce procentul de hidrogen este crescut, emisiile de CO se reduc.



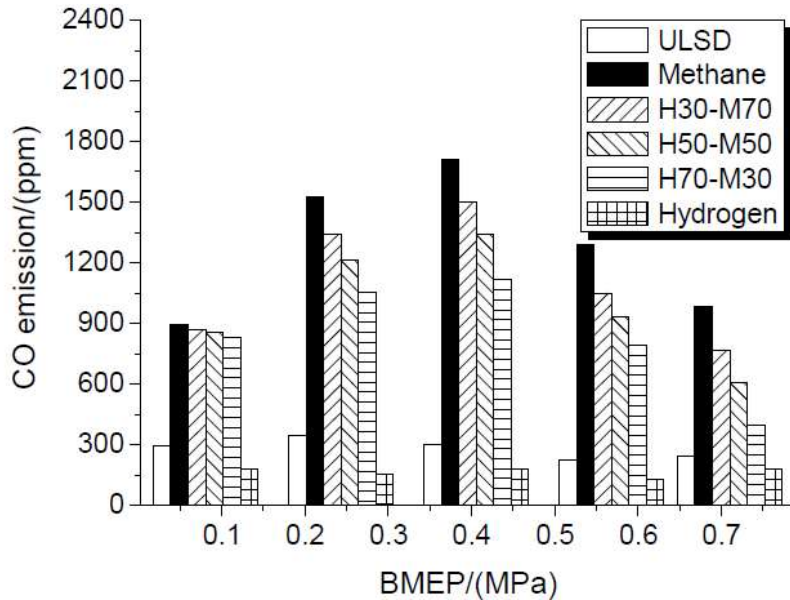


Fig. 14.27 – Emisia de CO în funcție de combustibilul utilizat [22]

În ceea ce privește *emisia de HC*, rezultatul este similar cu cel de la emisia de CO la alimentarea cu motorină-CNG. Cantitatea ridicată de HC este cauzată de metanul nears pentru care eficiența arderii este scăzută. La alimentarea motorină-hidrogen emisia de HC este mai scăzută decât la alimentarea cu motorină, iar emisiile se reduc pe măsură ce sarcina crește. În cazul motorină-CNG-hidrogen emisiile de HC scad pe măsură ce crește cantitatea de hidrogen și sarcina este mărită.

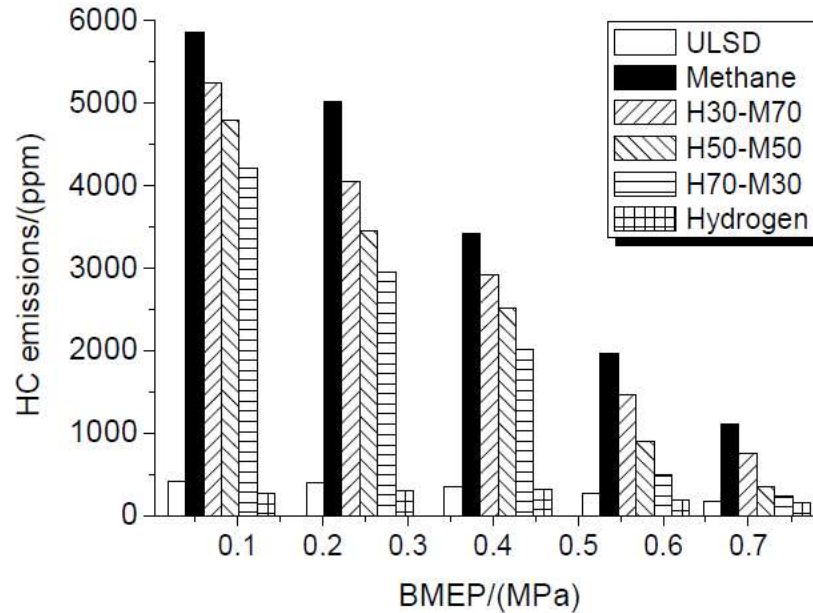


Fig. 14.28 – Emisia de HC în funcție de carburantul utilizat [22]

Referitor la *emisia de NOx*, pentru alimentarea cu motorină-CNG și motorină-hidrogen a fost observat aceeași tendință de creștere a emisiilor odată cu creșterea sarcinii. Din cauza temperaturii crescute la arderea hidrogenului, la alimentarea motorină-hidrogen emisia de NOx este mai ridicată decât în cazul motorină-CNG. Cele mai bune rezultate privind emisia de NOx au fost observate la alimentarea cu motorină-CNG-hidrogen (H30-M70), iar pe măsură ce cantitatea de hidrogen este mărită emisiile cresc.

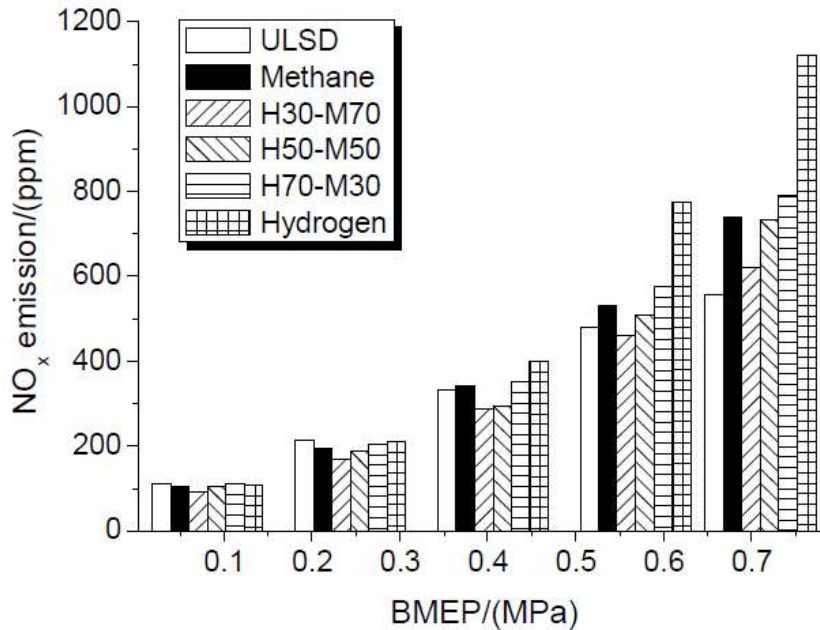


Fig. 14.29 – Emisia de NO<sub>x</sub> în funcție de carburantul utilizat [22]

Hidrogenul și metanul sunt două gaze care prin compoziție nu emit *particule materiale* în urma arderii, motiv pentru care utilizarea lor la motoarele Diesel are un efect important în reducerea cantității de PM emise. Alimentarea cu motorină-CNG și motorină-hidrogen are rezultate bune la sarcini medii și mari, dar emisiile de PM sunt mai mari la sarcini mici. La funcționarea cu motorină-CNG-hidrogen, cele mai bune rezultate au fost obținute utilizând proporția H30-M70, cu cea mai mică cantitate de PM emise (exceptând sarcina de 50%).

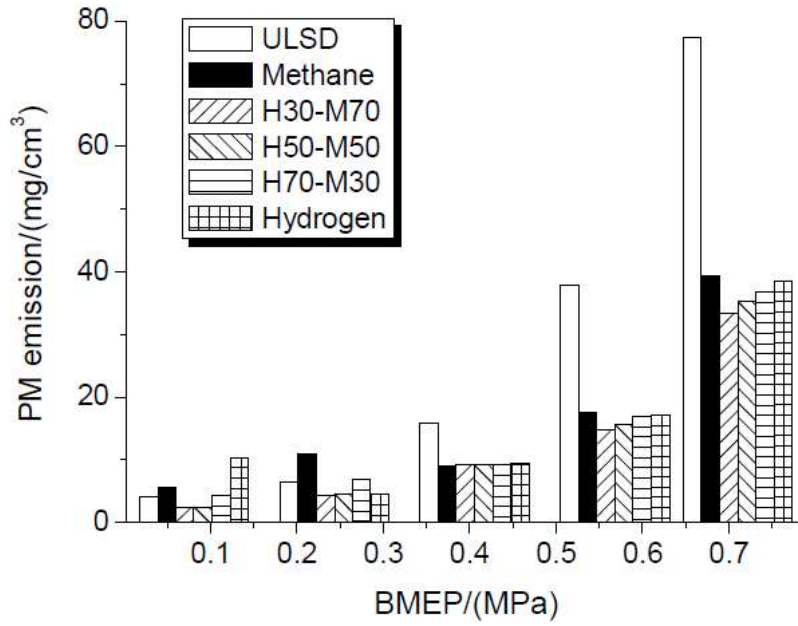


Fig. 14.30 – Emisia de PM în funcție de carburantul utilizat [22]

## XIV.4. Bibliografie capitol XIV

- [1]\*\*\* - [https://en.wikipedia.org/wiki/Compressed\\_natural\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_natural_gas)
- [2]\*\*\* - <http://cngeurope.com/fuel-calorific-values/>
- [3]\*\*\* - <https://www.forbes.com/sites/sap/2012/07/09/believe-the-hype-natural-gas-is-the-next-big-thing/#71ae824e37c0>
- [4]\*\*\* - <https://www.conserve-energy-future.com/advantages-and-disadvantages-of-natural-gas.php>
- [5] \*\*\* - [http://www.greencarcongress.com/2004/09/opelrsquos\\_new\\_.html](http://www.greencarcongress.com/2004/09/opelrsquos_new_.html)
- [6] \*\*\* - <http://www.alamy.com/stock-photo-barcelona-single-deck-bus-powered-by-natural-gas-5176856.html>
- [7] \*\*\* - <https://www.commercialfleet.org/news/latest-news/2017/02/09/waitrose-launches-fleet-of-cng-fuelled-trucks-with-500-mile-range>
- [8] \*\*\* - <http://www.autocarpro.in/news-national/maruti-suzuki-sells-nearly-63-cng-cars-2014-8126>
- [9] \*\*\* - [https://www.nwga.org/wp-content/uploads/2017/02/2017-NGV\\_FactSheet.pdf](https://www.nwga.org/wp-content/uploads/2017/02/2017-NGV_FactSheet.pdf)
- [10] \*\*\* - [https://www.dieselnets.com/tech/cat\\_scr\\_mobile.php](https://www.dieselnets.com/tech/cat_scr_mobile.php)
- [11] \*\*\* - <http://www.eltis.org/discover/case-studies/compressed-natural-gas-buses-barcelonaspain>
- [12] \*\*\* - <http://cngeurope.com/countries/>
- [13] \*\*\* - <https://cngromania.eu/stadiu-de-implementare/>
- [14] Andreescu, C., Combustibili neconvenționali pentru autovehicule, notițe curs, U.P.B, an univ. 2017-2018
- [15] \*\*\* - <https://ro.wikipedia.org/wiki/Hidrogen>
- [16] \*\*\* - [https://ro.wikipedia.org/wiki/Stocarea\\_hidrogenului](https://ro.wikipedia.org/wiki/Stocarea_hidrogenului)

[17] \*\*\* - [https://www.autoevolution.com/news/toyota-fcv-hydrogen-tanks-are-bulletproof-74977.html#agal\\_0](https://www.autoevolution.com/news/toyota-fcv-hydrogen-tanks-are-bulletproof-74977.html#agal_0)

[18] \*\*\* - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liquid\\_hydrogen\\_fuel\\_tank.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liquid_hydrogen_fuel_tank.jpg)

[19] Levente FURU, Victor ROȘ, Gheorghe BORZA - ANALIZA DIFERITELOR METODE DE OBTINERE A HIDROGENULUI, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca – A noua conferință Națională multidisciplinară 2011, Sebeș

[20] \*\*\* - <http://www.e-automobile.ro/categorie-automobile/17-alternative/151-combustibil-alternativ-hidrogen.html>

[21] \*\*\* - <https://www.kbb.com/honda/clarity-fuel-cell/2017/>

[22] J. H. Zhou, C. S. Cheung, and C. W. Leung - Combustion and Emission of a Compression Ignition Engine Fueled with Diesel and Hydrogen-Methane Mixture; World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering Vol:7 No:8, 2013

[23] \*\*\* - <https://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/what-is-scr>

[24] Poompipatpong C, Cheenkachorn K. "A modified diesel engine for natural gas operation: Performance and emission tests," in Energy. 2011; 36:6862-6

[25] \*\*\* - [https://ro.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A2nare\\_regenerativ%C4%83](https://ro.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A2nare_regenerativ%C4%83)

[26] \*\*\* - <http://inoinvent.org/inovent/mecanica/sistem-de-recuperare-a-energiei-cinetice-pentru-un-automobil-electric/>

[27] \*\*\* - <https://superspeed.tv/audi-testeaza-franarea-regenerativa-a-noului-e-tron-pe-pikes-peak/>

[28] \*\*\* - <http://www.ehcar.net/news/news2016-09-01.htm>

## XV. Bibliografie

[1]. Popa, M.G., Moteurs a combustion interne, guide de conception, Matrix Rom, Bucuresti 2008.

[2]. Popa, M.G., Pana, C., Negurescu, N, Motoare Diesel. Procese, Matrix Rom, Bucuresti, 2008.

[3]. \*\*\* Avl Boost User guide, AVL GMBH, Graz, Austria.

- [4]. Apostolescu, N, Chiriac, R., Procesul arderii in motorul cu ardere interna, Editura Tehnica, Bucuresti 1998.
- [5]. Nutu, N.C., Pana, C., Negurescu, N., Popa, M.G., Cernat, A., Calculul si constructia motoarelor cu ardere interna pentru autovehicule rutiere, Matrix Rom, Bucuresti 2022.
- [6]. Zătreanu, Gh., Construcția și calculul motoarelor cu ardere internă, Vol. 1, Litografia Institutului Politehnic București, 1984
- [7]. Gaiginschi, R., Zătreanu, Gh., Motoare cu ardere internă. Construcție și calcul , Vol. 1, Editura Gheorghe Asachi, Iași 1995.
- [8].\*\*\*[www.makeitfrom.com/material-properties/Normalized-4340-Ni-Cr-Mo-Steel](http://www.makeitfrom.com/material-properties/Normalized-4340-Ni-Cr-Mo-Steel).
- [9]. Dinu Taraza,"Dinamica motoarelor cu ardere interna",Bucuresti,Editura Didactica si Pedagogica ,1985.
- [10]. Constantin Pana, Marcel Ginu Popa, Nicolae Negurescu,Constantin Silvestru,"Dinamica motoarelor cu ardere interna",Bucuresti,Editura Matrixrom.
- [11]. Pană, C., Negurescu, N., Popa, M.G., Cernat, A., Fuiiorescu, D., Motoare cu ardere internă. Grupul Piston, Matrix Rom, București, 2016.
- [12]. Manea, C., Caracteristici și soluții constructive folosite la motoarele de tracțiune-Litografia Academiei Militare, București, 1969.
- [13]. Muller, M., Moderne Motoren benatigen Gleitlager aus modernen Werkstoffen-Sonderausgabe ATZ/MTZ: Werkstoffe im Automobilbau 97/98.
- [14]. K. Deicke, Dr. K.-H. Matucha, Dr. T. Steffens, W. Schubert: KS R41B, ein tahl-Aluminium-Verbundwerkstoff für hohe Belastungen in: MTZ 7-8/2002.
- [15]. Internal Combustion Engine Handbook, SAE International, ISBN 780768080247, 2016.
- [16]. Tiwari, A., Tiwari, J.K., Chandrakar, S.K., Fatigue Analysis of Connecting Rod Using Finite Element Analysis to Explore Weight and Cost Reduction Opportunities for a Production of Forged Steel Connecting, International Journal of Advanced Mechanical Engineering. ISSN 2250-3234 Volume 4, Number 7 (2014), pp. 782-802

[17].Folgar, F., Wldrig, J. E., and Hunt, J. W., 1987, "Design, Fabrication and Performance of Fiber FP/Metal Matrix Composite Connecting Rods," SAE Technical Paper Series 1987, Paper No. 870406. [8] [17].Sonsino, C. M., and Esper, F. J., 1994, "Fatigue Design for PM Components," European Powder Metallurgy Association (EPMA).