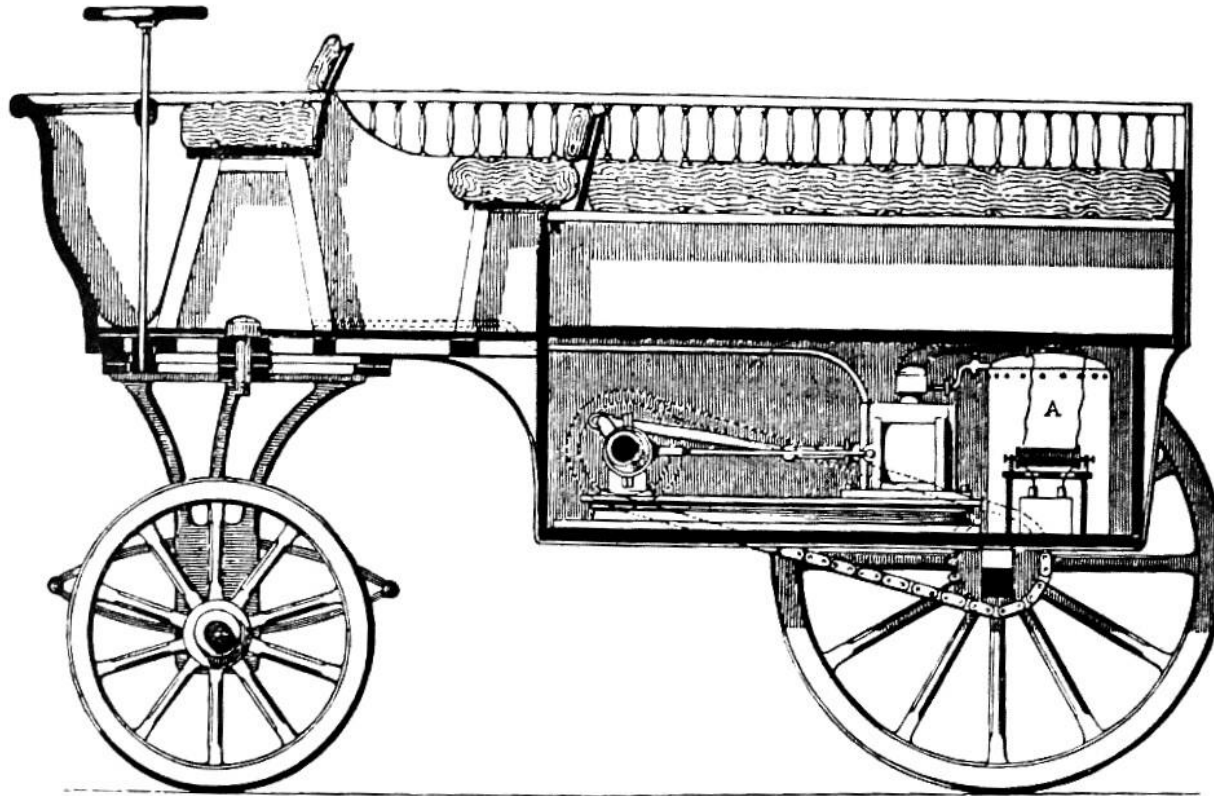


Visió general de l'hidrogen per l'automòbil

Motors de combustió interna alimentats amb hidrogen
Col·legi Enginyers Industrials de Catalunya
8.10.2024

Motors de combustió amb hidrogen



El 1863, Etienne Lenoir va dissenyar l'**Hippomobile**. Un automòbil mogut per un motor d'un cilindre que cremava hidrogen generat via electròlisi. Va vendre entre 350 i 400 unitats del seu Hippomobile. Va ser, sens dubte, un avançat a la seva època.

Característiques de l'hidrogen com a combustible

- ▶ L'hidrogen és un vector energètic, es a dir, pràcticament no es troba lliure al nostre planeta i s'ha de produir.
- ▶ La molècula d'hidrogen és la més lleugera del elements químics (té una densitat de 89 g/Nm^3) el que fa que el seu transport no sigui fàcil. Per el seu ús en aplicacions de mobilitat se sol comprimir (s'han estandarditzat pressions de 35 i 70 Mpa). La seva lleugeresa s'ha de tenir en compta, també, al dissenyar les condicions de treball (dissenyar les estacions de recàrrega, tallers i aparcaments, preferentment, al aire lliure)
- ▶ Per altra banda, és l'element químic que posseeix la major densitat energètica per unitat de massa, 162 MJ/kg (*un litre de benzina té 34,98 MJ*) i per tant **1 kg d'hidrogen equival, a nivell energètic, a 4,6 litres de benzina.**
- ▶ La baixa densitat de l'hidrogen fa que sigui complicat portar-lo a l'estat líquid. L'hidrogen liqua, a pressió atmosfèrica, a $20,39 \text{ °K}$

Demanda d'hidrogen

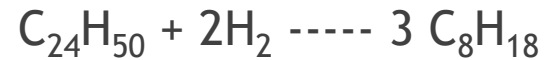
- ▶ La demanda mundial d'hidrogen és de 100 Mt/any
- ▶ L'hidrogen es fa servir, bàsicament, en l'industria petroquímica, la producció d'amoníac i la producció d'acer.
- ▶ L'hidrogen, actualment, es produeix per reformat amb vapor de gas natural seguint la reacció



- ▶ Per cada kg d'hidrogen produït per aquest mètode s'emeten a l'atmosfera uns 10 kg de CO₂
- ▶ De les 36 Gt de CO₂ que es vessen anualment a l'atmosfera, 1 Gt és deguda a la producció d'hidrogen, es a dir, quasi el 3%, una quantitat similar a la que emet tot el transport aeri.

L'ús de l'hidrogen en la indústria petroquímica

- ▶ L'hidrogen es fa servir per incrementar les fraccions lleugeres a partir de les més pesants, en la destil·lació i cracking del petroli.
- ▶ Si agafem un hidrocarbur pesant, per exemple un tetracosà $C_{24}H_{50}$ i volem produir benzina C_8H_{18} , la reacció serà la següent:



- ▶ Com podem veure, per dur a terme la fragmentació, a més del hidrocarbur pesant, ens farà falta afegir hidrogen al hidrocracker per què sigui possible.
- ▶ La **petroquímica del futur** que haurà de produir combustibles alternatius per sectors de mobilitat allà on l'electrificació no sigui viable, serà altament demandant d' H_2 . Els **SAF**, per aviació, els **HVO**, per transport marítim, es produeixen **hidratant matèria orgànica residual o olis**. Els **RFNBO** es faran barrejant diòxid de carboni, capturat de l'atmosfera, i hidrogen.

Producció d'amoníac

- ▶ El procés de producció d'amoníac és una síntesis de gas nitrogen i hidrogen seguint la reacció:



- ▶ I, com sabem, l'amoníac, a més d'altres usos, és la matèria primera per produir fertilitzants químics i **s'està posicionant com a combustible en mobilitat marítima.**

El preu de l' hidrogen

- ▶ Per produir un kg d' hidrogen mitjançant gas natural calen 2 kg de gas natural, o el que és igual, 33,4 kWh d'energia. Contant un preu de 40 €/MWh del gas natural y 80 €/t CO₂. Els costos de producció serien de 2,3 €/kg (**50 €/MWh**)



- ▶ Si volguéssim produir aquest kg d' hidrogen amb electricitat renovable, tenint en compte que els electrolitzadors tenen un rendiment del 75% i que un kg de hidrogen té un poder calorífic de 162 MJ (45 kWh) ens caldrien 60 kWh d'energia elèctrica per produir-lo. Prenent un preu de l'electricitat de 80 €/MWh, només el cost de l'energia ens situaria en 4,8 €/kg i afegint cost de l'aigua i costos fixos ens n'aniríem a costos d'entre 6 i 8 €/kg (**150 €/MWh**).
- ▶ La producció d' hidrogen no emissor a partir de gas natural y captura i segrest de diòxid de carboni, podria situar el cost de producció al voltant del 3 €/kg (**75 €/MWh**)
- ▶ El cost de producció és, per tant, el principal problema per poder considerar, seriosament, l' hidrogen com un substitut real dels combustibles fòssils

Perspectives de l'hidrogen

- ▶ En l'actualitat es consumeixen uns 500 EJ de combustibles fòssils i 100 EJ d'energia elèctrica. Tota aquesta energia fòssil no podrà ser substituïda, només, per electricitat i hidrogen.
- ▶ L'hidrogen serà un element més per contribuir a la descarbonització de l'economia.
- ▶ **A més, l'hidrogen del futur no serà tot verd: s'hauran de considerar altres alternatives com l'hidrogen produït amb energia nuclear o l'hidrogen blau, produït amb gas natural i CCS.**

Consideracions finals

- ▶ La descarbonització dels sectors industrials i la mobilitat serà un procés complicat. **En aquest procés totes les solucions seran necessàries.**
- ▶ La introducció del H₂ i d'altres solucions que permetin reduir les emissions de CO₂ només serà viable **si el cost del element substituent és similar al cost del element substituït.**
- ▶ Fer servir l'hidrogen com combustible de mobilitat obliga a comprimir-ho a pressions elevades. Això és un handicap vers els combustibles líquids actuals que tenen una logística molt més amigable.
- ▶ La visió actual de IEA per l'H₂ és ben coneguda i sembla prou realista: la introducció començarà en refinatge, indústria petroquímica i fertilitzants; progressivament s'introduirà en alguns modes de transport i, a llarg termini, per produir RNFBO's. La substitució del gas natural (40 €/MWh) per hidrogen en processos industrials (75 -150 €/MWh) és, avui per avui, totalment inassolible.
- ▶ En el cas de la mobilitat terrestre, un litre de benzina té un cost, sense impostos, d'aproximadament 1 € i un poder calorífic de 35 MJ (9,7 kWh). El cost seria, per tant, d'uns 100 €/MWh i, per tant, dintre de la forquilla (75 - 150 €/MWh) de producció de l'hidrogen no emissor.