

**»Mladi za napredek Maribora 2019«
36. srečanje**

AVTOMOBIL NA VODNI POGON

Strojništvo

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO

Avtor: RENE ŠOŠTARIČ, ŽIGA ZADRAVEC

Mentor: ANTON SORŠAK

Šola: SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

Število točk: 158

Mesto: 2

Priznanje: srebrno

Maribor, 2019

**»Mladi za napredek Maribora 2019«
36. srečanje**

AVTOMOBIL NA VODNI POGON

Strojništvo

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO

Maribor, 2019

Kazalo

| | |
|---|----|
| Zahvala | 5 |
| Povzetek..... | 6 |
| 1. Uvod..... | 7 |
| 1.1. Metodologija dela | 7 |
| 1.2. Hipoteze | 7 |
| 2. Motorji | 8 |
| 2.1. Kaj je motor?..... | 8 |
| 2.2. Zgodovina motorja | 8 |
| 2.2.1. Razvoj avtomobilskega motorja..... | 9 |
| 2.2.2. Izboljšanje motorja | 9 |
| 2.2.3. Razvoj novih tipov motorja | 10 |
| 2.3. Vrste motorjev | 11 |
| 2.3.1. Toplotni motorji..... | 11 |
| Motor z notranjim izgorevanjem..... | 11 |
| Motor z zunanjim izgorevanjem..... | 12 |
| Toplotni motor brez izgorevanja | 12 |
| 2.3.2. Električni motorji | 13 |
| 2.3.3. Fizično poganjani motorji | 14 |
| Pnevmatski motor | 14 |
| Hidravlični motor..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.4. Pomembne lastnosti motorjev..... | 14 |
| 2.4.1. Hitrost motorja | 14 |
| 2.4.2. Potisk motorja..... | 15 |
| 2.4.3. Navor | 15 |
| 2.4.4. Moč..... | 15 |
| 2.4.5. Učinkovitost | 16 |
| 2.4.6. Glasnost | 16 |
| 3. Elektroliza..... | 17 |
| 3.1. Voda | 18 |
| 3.2. Vodik | 19 |
| 3.3. Vpliv električnega toka na elektrolizo | 19 |
| 3.4. Kisik | 20 |
| 3.5. Voda kot gorivo | 21 |
| 3.6. Drugi zakon termodinamike..... | 21 |
| 4. Primerjava vodikovih motorjev..... | 22 |
| 4.1. Motorja z notranjim izgorevanjem: vodik vs. bencin | 22 |
| 4.1.1. Proces vžiga goriv..... | 22 |
| 4.1.2. Stehiometrično razmerje zrak-gorivo | 22 |
| 4.1.3. Vžigalna energija..... | 23 |
| 4.1.4. Hitrost gorenja | 23 |
| 4.1.5. Difuzivnost goriva | 23 |
| 4.2. Vodikov toplotni motor vs. vodikove gorivne celice | 24 |

| | |
|---|----|
| 5. Načrtovanje sistema | 25 |
| 5.1. Splošna ideja | 25 |
| 5.2. Načrtovanje generatorja vodika..... | 26 |
| 5.3. Kako dovajati vodik v motor?..... | 26 |
| 5.4. Poganjanje generatorja vodika | 26 |
| 6. Izdelava sistema..... | 27 |
| 6.1. Izdelava generatorja vodika | 27 |
| 6.1.1. Izdelava elektrod..... | 27 |
| 6.1.2. Izdelava ohišja generatorja | 28 |
| 6.1.3. Izdelava »bubbler« filtra | 29 |
| 6.1.4. Polnjenje generatorja vodika z vodo | 29 |
| 6.2. Izdelava sistema za dovajanje vodika v motor | 30 |
| 6.3. Sestavljanje električnega vezja..... | 30 |
| Zaključek | 31 |
| Družbena odgovornost | 32 |
| Viri in literatura | 33 |
| Viri slik..... | 34 |

Kazalo slik

| | |
|--|----|
| Slika 1 Model Wattovega parnega stroja iz leta 1781 | 8 |
| Slika 2 Skica protibatnega motorja Karla Benza..... | 9 |
| Slika 3 Transportacija Wärtsilä-Sulzer RTA96-C - največjega motorja z notranjim izgorevanjem..... | 10 |
| Slika 4 Delovanje 4-taktnega motorja..... | 11 |
| Slika 5 Model Stirlingovega toplotnega motorja | 12 |
| Slika 6 Skica električnega motorja Nikole Tesle | 13 |
| Slika 7 Delovanje vodikove gorivne celice | 24 |
| Slika 8 Skica, ki prikazuje idejno zasnovo sistema..... | 25 |
| Slika 9 Generator vodika Granta Thompsona | 26 |
| Slika 10 Izdelane elektrode generatorja vodika | 28 |
| Slika 11 Mešanje kalijevega hidroksida z destilirano vodo | 29 |
| Slika 12 Skica električnega vezja z alternatorjem na vrhu, generatorjem na sredini in akumulatorjem na dnu..... | 30 |

Zahvala

V prvi vrsti se zahvaljujema mentorju, ki naju je vodil in spodbujal za pravočasno dokončanje naloge.

Prav tako se zahvaljujema Kovinarstvu Bučar za kovinski material uporabljen ob izdelavi elektrod.

Zahvaljujema se tudi doživljajskemu igrišču, ki nama je nudil prostor za izdelovanje in testiranje naše ideje.

Povzetek

Zaradi vedno večje onesnaženosti zraka prihaja do klimatskih sprememb. To je bila inspiracija za to raziskovalno nalogo. V raziskovalni nalogi sva raziskovala ali je možno vodo pretvoriti v gorivo za poganjanje motorja. Nalogo sva začela s postavljanjem temeljev delovanja motorjev, vrst goriv in različnih vrst motorjev. Med tem sva predstavila tudi zgodovino motorja samega in kategorizirala motorje glede na energijo, ki jo uporabljajo za proizvodnjo mehanskega dela. Predstavila sva tudi najpomembnejše lastnosti, ki vplivajo na izbiro motorja za posamezno situacijo.

Iz motorjev sva nadaljevala na proces, ki je ključen za uresničitev najine ideje: elektrolizo. Poglavje elektrolize sva razdelila na vse ključne dejavnike in informacije, ki spadajo zraven in vsakega podrobneje raziskala. Nadaljevala sva na primerjavo motorjev, ki uporabljajo vodik na tak ali drugačen način. Najprej sva primerjala bencinski motor in vodikov motor, saj oba delujeta na principu izgorovanja goriva, kasneje pa sva še primerjala 4-taktni vodikov motor z notranjim izgorovanjem in vodikove gorivne celice.

Po teoretičnem delu sva nadaljevala na praktični del naloge, kjer sva predstavila najino idejo v popolnosti in zapisala proces načrtovanja. Za konec sva še predstavila sestavljanje najine ideje in kako deluje v akciji.

1. Uvod

Tekom let se na cesti pojavlja vedno več avtomobilov in drugih prevoznih sredstev, ki nam omogočajo lažja in hitrejša potovanja iz ene točke do druge. Težava teh prevoznih sredstev je, da jih večino poganjajo fosilna goriva. Med njih spadata bencin in dizel, ki pa nista obnovljiva in hkrati onesnažujeta ozračje z emisijami CO₂ in NO_x. Na cesti poleg teh najdemo tudi avtomobile na električni pogon. Njihova težava je da so cenovno dražji od avtomobilov na fosilna goriva in tukaj je tudi težava polnjenja le teh, saj večina ljudi nima možnosti polnjenja električnih avtomobilov na domačih parkiriščih. To je razlog zaradi katerega sva se odločila raziskati možnost poganjanja avtomobila s pomočjo vode oz. vodika.

1.1. Metodologija dela

Preden sva začela pisati raziskovalno nalogo sva po spletu poiskala informacije o delovanju motorjev, elektrolizi, vodiku ter vrstah motorjev in goriv. Potem ko sva imela osnovno podlago sva se lotila pisanja teorije in planiranja generatorja ter ostanka sistema za poganjanje motorja. S pomočjo izračunov in meritev sva ugotovila koliko vodika lahko proizvedeva glede na moč alternatorja ter koliko ga sploh potrebujeva.

1.2. Hipoteze

Zastavila sva si 3 hipoteze:

- Vodo je mogoče pretvoriti v gorivo za poganjanje motorja
- S poganjanjem motorja lahko proizvedemo več električne energije, kot jo porabljamo za napajanje generatorja vodika
- Lahko proizvedemo dovolj vodika za samozadostno poganjanje 2-taktnega motorja s kompaktnim generatorjem vodika

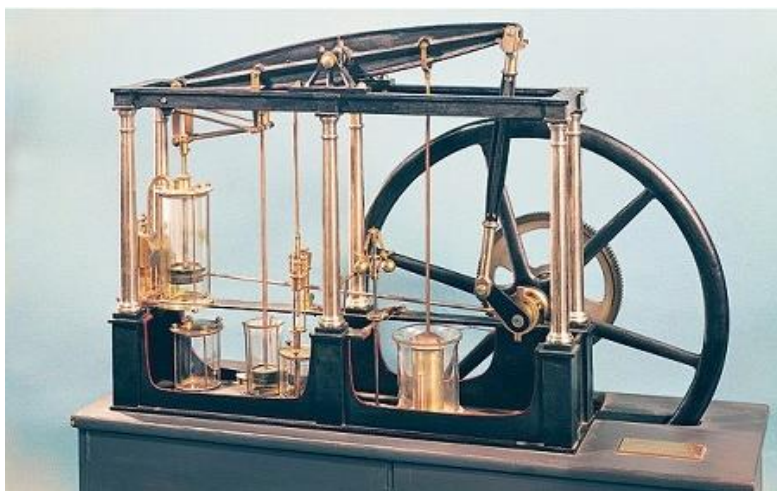
2. Motorji

2.1. Kaj je motor?

Motor je naprava, ki pretvori eno vrsto energije v mehansko delo. Toplotni motorji uporabljajo vžig goriva, da ustvarijo toploto, ki je uporabljena za delo. Motorji z notranjim izgorevanjem so toplotni motorji, ki uporabijo vroče pline, ki nastanejo pri vžigu goriva, da poganjajo naprave. Električni motorji pretvarjajo električno energijo v mehansko delo, pnevmatski motorji uporabljajo stisnjen zrak in nekatere igrače uporabljajo elastično energijo.

2.2. Zgodovina motorja

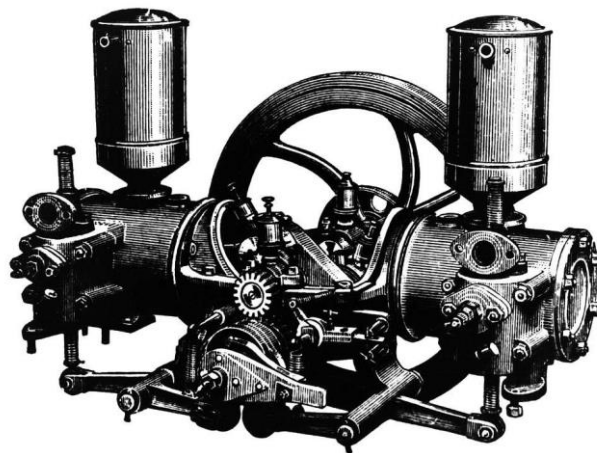
Ljudje izdelujemo naprave, ki pretvarjajo energijo v mehansko delo že od antičnega časa. Kot prve so se pojavile vetrnice in vodni mlini. Te so bile uporabljene za poganjanje zgodnjih žerjavov in črpalk. V srednjem veku so s pomočjo jezov povečali moč vodnih mlinov in s temi izboljšavami mehanizirali veliko industrijskih nalog, ki so jih prej morali opravljati ljudje. Na Kitajskem je nastal tudi prvi raketni motor na trdno gorivo, katerega je poganjal smodnik. V času industrijske revolucije je nastal Wattov parni motor, ki je uporabljal paro pod pritiskom za poganjanje valja. Wattov parni motor je bil dramatično boljši od prejšnjega Newcomenovega parnega motorja. Omogočal je hiter razvoj delno-avtomatiziranih tovarn na mestih, kjer vodni pogon ni bil možen. Izum prvega komercialno uspešnega motorja z notranjim izgorevanjem pripisujemo Etienneu Lenoirju leta 1860.



Slika 1 Model Wattovega parnega stroja iz leta 1781

2.2.1. Razvoj avtomobilskega motorja

Prvi komercialno uspešni avtomobil je ustvaril Karl Benz. Z lahkim bencinskim motorjem z notranjim izgorevanjem, ki je deloval na 4-taktnem Otto ciklu, je bil zelo uspešen za lahke avtomobile, medtem ko so bolj učinkoviti dizel motorji bili primernejši za tovornjake in avtobuse. Leta 1896 je Karl Benz dobil patent za njegov dizajn protibatnega motorja v katerem so valji nameščeni v horizontalni liniji in se gibljejo v različnih smereh. Uporabljen je bil med drugim tudi v Volkswagnovem Hrošču in različnih letalih.



Slika 2 Skica protibatnega motorja Karla Benza

2.2.2. Izboljšanje motorja

Skozi leta je bencinski motor z notranjim izgorevanjem dobil, kar nekaj izboljšav med katere spadajo: elektronsko kontrolirani sistemi za vbrizgavanje goriva, turbopolnilniki itd. Podobne izboljšave so bile nanesene tudi na dizelske motorje z notranjim izgorevanjem, kateri imajo manjšo porabo in proizvajajo manj ogljikovodikov ter imajo manj emisij CO₂, toda proizvajajo več delcev in več NO_x emisij. V prvi polovici 20. stoletja se je pojavil trend povečevanja moči motorjev, to so dosegli s povečevanjem pritiska v izgorevalnih komorah, povečanjem velikosti motorjev in povečanjem frekvence pri kateri motor proizvaja mehansko delo. To je privedlo do težav z velikostjo in vibracijami pri protibatnih motorjih zato so te zamenjali V-motorji in vrstni motorji.

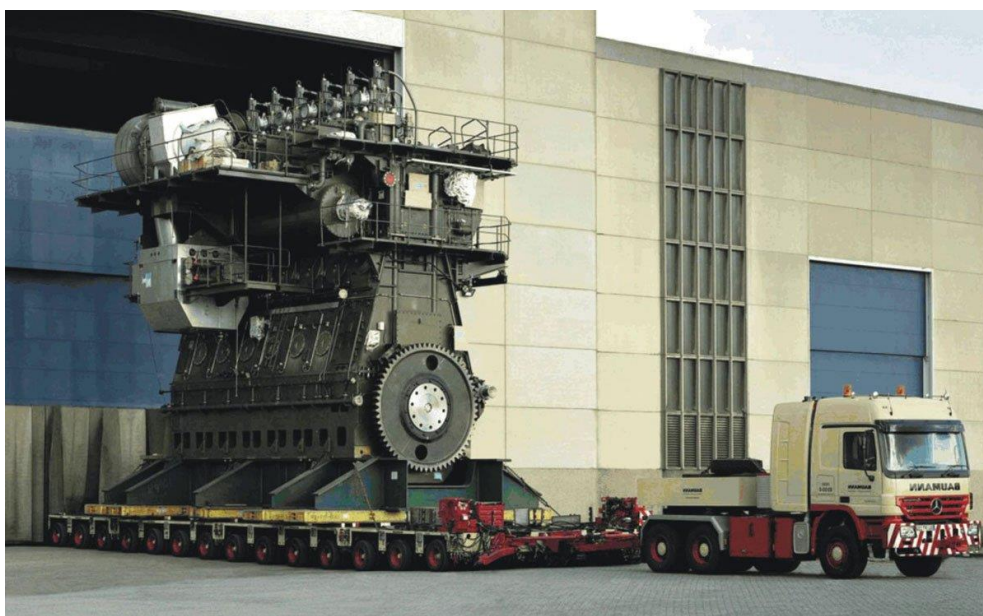
V Evropi so se, zaradi majhnih vijugastih cest, fokusirali na razvoj manjših, bolj ekonomičnih motorjev. Tako so nastali zgodnji modeli 4-valjnih motorjev s 40 konjskimi močmi in 6-valjnih motorjev z 80 konjskimi močmi, kar je v primerjavi z ameriškimi 8-valjnimi motorji, ki so lahko proizvedli od 250 do 400 konjskih moči, kar malo.

2.2.3. Razvoj novih tipov motorja

Zgodnji razvoj avtomobilskih motorjev je ustvaril veliko večji obseg vrst motorjev, kot jih danes uporabljamo. Motorji so imeli od 1 do 16-valjev, kar je vplivalo na velikost, težo idr. Večina jih je bila 4-valjnih, ki so imeli od 19 do 120 konjskih moči. Izdelanih je bilo več trivaljnih, dvotaktnih modelov, medtem ko je večina motorjev imela vrstno konfiguracijo valjev. Obstajalo je tudi več V-motorjev in protibatnih motorjev s štirimi ali dvema batoma. Manjši motorji so bili običajno zračno hlajeni in nameščeni na zadnji strani vozila; kompresijska razmerja pa so bila relativno nizka. V sedemdesetih in osemdesetih letih prejšnjega stoletja se je povečalo zanimanje za izboljšano ekonomičnost porabe goriva, kar je povzročilo vrnitev manjših V-6 in štirivaljnih motorjev s kar petimi ventili na valj za izboljšano učinkovitost.

Bugatti Veyron 16.4 ima W16 motor, kar pomeni, da sta dva V8 motorja postavljena drug ob drugem, da ustvarita W obliko, ta pa si delita isto ročično gred.

Največji motor z notranjim zgorevanjem, ki je bil kadarkoli izdelan, je Wärtsilä-Sulzer RTA96-C, gre za 14-valjni 2-taktni dizelski motor s turbopolnilnikom, ki je bil zasnovan, da poganja največjo kontejnersko ladjo na svetu Emma Mærsk. Ta motor ima maso 2300 ton in pri vožnji pri 102 obrati/min proizvede več kot 80 MW in lahko porabi do 250 ton goriva na dan.



Slika 3 Transportacija Wärtsilä-Sulzer RTA96-C - največjega motorja z notranjim izgorevanjem

2.3. Vrste motorjev

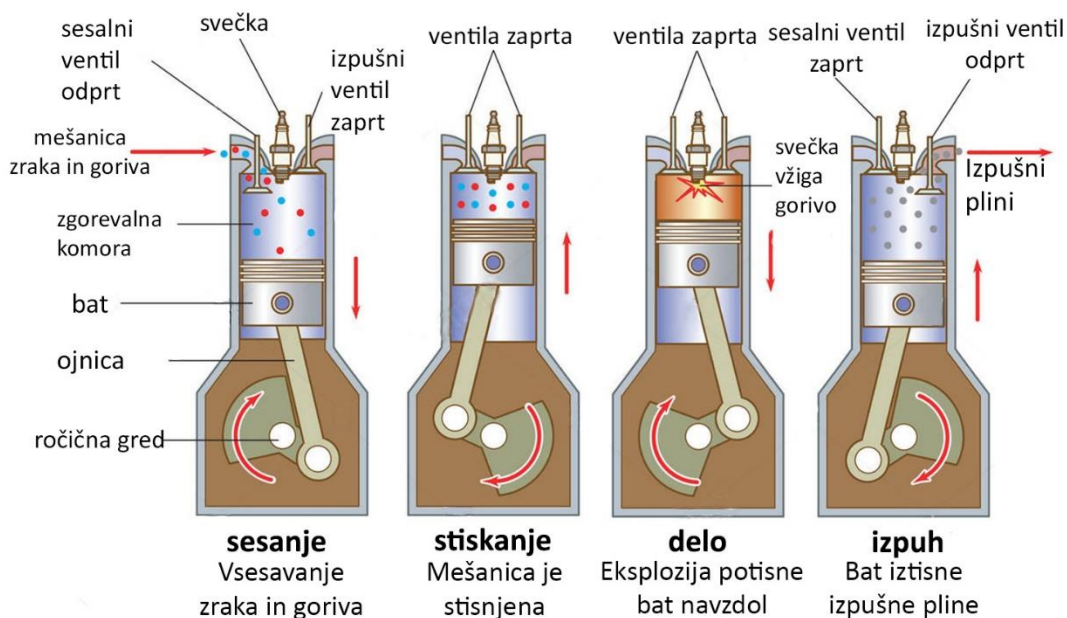
Motorje lahko v glavnem razvrstimo glede na obliko energije, ki jo uporabljajo za proizvodnjo gibanja, ter glede na vrsto gibanja, ki ga ustvarjajo.

2.3.1. Toplotni motorji

Motor z notranjim izgorevanjem

Motor z notranjim izgorevanjem je vrsta motorja v katerem se vžig goriva (največkrat fosilnega) pripeti z oksidatorjem (po navadi z zrakom) v zgorevalni komori. V motorju z notranjim izgorevanjem se energija razširjanja vročih plinov in visoke temperature, ki nastanejo pri vžigu, neposredno prenese na dele motorja, kot so: bati, turbine ali šobe in z gibanjem teh ustvarja mehansko delo.

Delovanje motorja z notranjim izgorevanjem poteka v več korakih oz. taktih: stiskanje delovne snovi, segrevanje/zgorevanje, raztegovanje (ekspanzija) delovne snovi in vračanje delovne snovi na izhodiščno stanje. Delovna snov je v vsakdanjih primerih gorivo zmešano z zrakom, s katero se prej omenjeni procesi dogajajo v napravi (korak 1, 2, 3) in zunaj nje (4. korak). Kot toplotni stroj, motor z notranjim izgorevanjem sprejema toploto, ki nastane z izgorevanjem, odpadno pa oddaja v okolico v obliki izpušnih plinov.



Slika 4 Delovanje 4-taktnega motorja

Motor z zunanjim izgorevanjem

Motor z zunanjim izgorevanjem je toplotni motor, ki za delovanje uporablja delovno snov, ki se segreva z zunanjim virov toplote, skozi stene motorja. Delovna snov se ob segrevanju razteza in poganja mehanizem motorja in s tem proizvaja mehansko delo. Delovna snov je nato ohlajena in ponovno uporabljena, ali izvržena.

Izgorevanje se pri motorju z zunanjim izgorevanjem dogaja izven motorja, kjer gorivo gori in proizvaja toploto. Delovna snov je lahko plin, kot na primer v Stirlingovem motorju, vodna para ali kakšna organska tekočina(n-pentan).



Slika 5 Model Stirlingovega toplotnega motorja

Toplotni motor brez izgorevanja

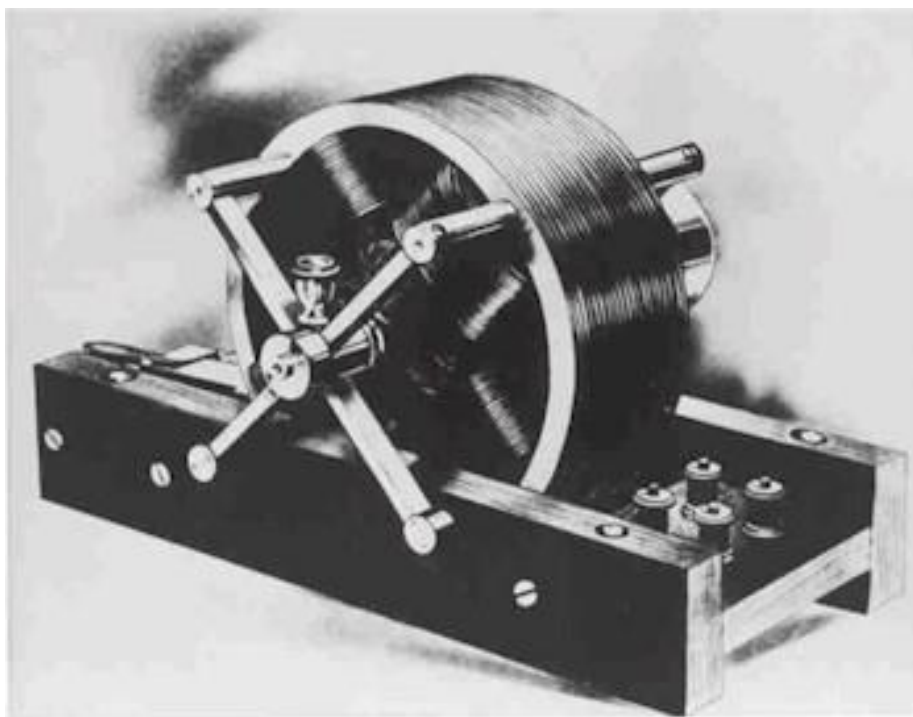
Nekateri motorji pretvarjajo toploto iz ne-izgorevalnih procesov v mehansko delo, kot na primer jedrska elektrarna, ki uporablja toploto iz jedrske reakcije za produkcijo vodne pare, ki poganja parni motor ali turbino, prav tako lahko raketne motorje poganja razpadajoči se vodikov peroksid. Takšne vrste motorji se glede konstrukcije ne razlikujejo prav veliko od motorjev z zunanjim izgorevanjem. Še ena vrsta takšnih motorjev je termo-akustični motor, ki uporablja temperaturno razliko za ustvarjanje visoko-amplitudnih zvočnih valov, za proizvodnjo mehanskega dela.

2.3.2. Električni motorji

Električni motor uporablja električno energijo za proizvodnjo mehanskega dela, običajno z medsebojnim delovanjem magnetnih polj in prevodnikov. Obratni proces, ki proizvaja električno energijo iz mehanske energije, se doseže z generatorjem ali dinamom. Elektro motorji, ki se uporabljajo na vozilih, pogosto opravljajo obe nalogi. Električni motorji v vozilih lahko torej poganjajo vozilo in tudi proizvajajo elektriko.

Elektro motorje najdemo povsod: v ventilatorjih, črpalkah, orodjih, gospodinjskih aparatih,... Napajani so lahko z enosmernim tokom (na primer baterijo) ali z izmeničnim tokom iz električnega distribucijskega omrežja.

Najmanjše motorje lahko najdemo v ročnih urah. Motorji srednje velikosti s standardnimi dimenzijami zagotavljajo primerno delovanje za industrijsko uporabo. Največji elektro motorji se uporabljajo za poganjanje velikih ladij in za namene kot so črpalke za cevovode. Načelo proizvodnje mehanskega dela z električnim tokom in magnetnim poljem je bilo znano že leta 1821. Učinkovitejši elektro motorji so bili zgrajeni v 19. stoletju, toda komercialna uporaba le-teh je zahtevala učinkovita električna distribucijska omrežja in močne generatorje.



Slika 6 Skica električnega motorja Nikole Tesle

2.3.3. Fizično poganjani motorji

Nekatere motorje poganja potencialna ali kinetična energija, npr. utež, ki poganja uro na stolpu. Pod druge oblike potencialne energije, ki poganjajo te motorje spadajo plini pod tlakom (pnevmatski motorji) in vzmeti (motorji urnih mehanizmov). Skozi zgodovino so velike katapulte in udarne ovne poganjali potencialna in kinetična energija.

Pnevmatski motor

Pnevmatski motor je naprava, ki pretvarja potencialno energijo v obliki stisnjenega zraka, v mehansko delo. Pnevmatski motorji po navadi pretvarjajo energijo v obliki stisnjenega zraka v linearno ali rotacijsko gibanje.

Hidravlični motor

Hidravlični motor je tip motorja, ki za mehansko delo izkorišča tekočino pod pritiskom. Ker tekočine niso stisljive so odlični za naloge, ki zahtevajo veliko moči. Uporabljajo se v težkih strojih, kot so dvigala, žerjavi, bagri, ...

2.4. Pomembne lastnosti motorjev

Pri motorju se glede na njegovo uporabo gledajo njegove specifične lastnosti, oziroma njegove specifikacije. Glede na te lastnosti, lažje izberemo motor za določeno nalogo. Ene najpomembnejših so: hitrost motorja, potisk, navor, moč, učinkovitost in glasnost.

2.4.1. Hitrost motorja

Glede na to, da se pri večini motorjev hitrost nanaša na rotacijo, se hitrost motorjev meri v obratih na minuto (RPM-revolutions per minute). Motorje lahko razvrščamo na nizko-hitrostne, srednje-hitrostne in visoko-hitrostne, a te razvrstitve so relativne in so odvisne od tipa motorja, ki ga gledamo. Največkrat dizel motorji delujejo pri nižjih hitrostih (~1500-2000 RPM) za avtomobilske motorje, če jih primerjamo z bencinskimi motorji (~2200-3400RPM). Električni motorji lahko v primerjavi s prejšnjimi motorji dosežejo zelo visoke hitrosti(10 000+ RPM).

2.4.2. Potisk motorja

Potisk je reakcijska sila, ki nastane, takrat ko sistem izvrže ali pospeši maso v eni smeri. Skladno z Newtonovimi zakoni gibanja posledično nastane sila - potisk - na ta sistem z enako velikostjo in nasprotno smerjo. Meri se ga, kot druge sile; v Newtonih: 1 N pospeši kilogram mase z 1 m/s^2 . Potisk motorja se nanaša na turbo-reaktivne in raketne motorje.

2.4.3. Navor

Navor je sila, ki deluje na teoretični vzvod povezan na ročično gred motorja. Matematično je navor vektorska količina, ki se jo izračuna kot vektorski produkt med ročico r , to je krajevni vektor od izhodišča v osišču do prijemališča sile, in silo F :

$$\mathbf{M} = \mathbf{r} * \mathbf{F},$$

Velikost navora je:

$$M = r' F_t = r F \sin \varphi$$

2.4.4. Moč

Moč je količina dela, ki se opravlja ali energija, ki se proizvaja, v odvisnosti s časom. To prikazuje formula:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

Pri premem gibanju je moč enaka skalarnemu produktu hitrosti prijemališča sile in komponente sile v smeri hitrosti:

$$\mathbf{P} = \mathbf{F} * \mathbf{v}$$

pri vrtenju pa je moč enaka skalarnemu produktu navora in kotne hitrosti:

$$\mathbf{P} = \mathbf{M} * \boldsymbol{\omega}$$

2.4.5. Učinkovitost

Učinkovitost toplotnih motorjev je razmerje med vso energijo goriva in energijo uporabljeno za mehansko delo. Iz matematičnega vidika je definirano kot razmerje med opravljenim delom in med dovedeno toploto.

$$\eta = \frac{\text{mehansko delo}}{\text{vpita toplota}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

2.4.6. Glasnost

V primeru glasnosti ima delovanje motorja največji vpliv na mobilna prevozna sredstva, kot so avtomobili in tovornjaki. Hrup motorja je posebej pomemben za vozila, ki delujejo pri nižjih hitrostih, kjer je aerodinamični hrup in hrup pnevmatik manj pomemben.

Na splošno velja, da bencinski in dizelski motorji oddajajo manj hrupa kot turbofan motorji enakovredne izhodne moči; Elektromotorji zelo pogosto oddajajo manj hrupa kot njihovi ekvivalenti na fosilna goriva.

Motorji s potisno močjo, kot so turboreaktivni motorji in rakete, oddajajo največjo količino hrupa, ker je njihova metoda izdelave potiska neposredno povezana s proizvodnjo zvoka.

Za zmanjšanje hrupa so bile razvite različne metode; bencinski in dizelski motorji so opremljeni z dušilci zvoka. Obstajajo pa tudi metode za zmanjšanje hrupa v raketah brez zmanjšanja potiska.

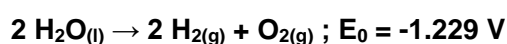
3. Elektroliza

Elektroliza je kemijski postopek, pri katerem spojino razcepimo na elemente. Tej reakciji pravimo tudi redukcija in oksidacija. Elektroliziramo večinoma taline in raztopine snovi. Pri elektrolizi imamo dve elektrodi ena je katoda, druga pa je anoda. Elektroliza poteka tako, da se snov razcepi na osnovne delce, nato pa kationi potujejo k negativno nabiti katodi, anioni pa k pozitivno nabiti anodi. Za izvajanje elektrolize je potrebno dovesti energijo. Za dovajanje energije uporabljamo enosmerni tok. Elektrolizo lahko tudi uporabljamo kot postopek posrebljenja snovi, saj lahko pri določenih pogojih elektrodi razpadeta. Postopek lahko tudi obrnemo, pri čemer se energija sprošča, iz kisika in vodika pa nastaja voda.

Elektrolizi lahko tudi rečemo redoks reakcija ali redukcijsko-oksidacijska reakcija.

Najenostavnejši redoks reakciji sta oksidacija ogljika v ogljikov dioksid in redukcija ogljika v metan. Poznamo tudi bolj zapletene reakcije kot so na primer oksidacija sladkorjev. Izraz redoks izhaja iz pojmov redukcija in oksidacija. Redukcija je zmanjšanje oksidacijskega stanja, oksidacija pa povečanje oksidacijskega stanja. Če v reakciji ne pride do spremembe oksidacijskega stanja je reakcija dvojna substitucija ali metateza.

Najpogosteje uporabljamo elektrolizo vode. Pri čemer se voda razcepi na vodikov ion in kisikov ion. Primer te reakcije :



3.1. Voda

Voda je kemijska spojina. Sestavljena je iz dveh atomov vodika, ki ju veže atom kisika. Njena formula je H_2O . Pri standardnih pogojih je v tekočem stanju, lahko pa preide v trdno agregatno stanje ali v plinasto. V trdnem agregatnem stanju jo imenujemo led, v plinastem pa vodna para. Molekule vode preidejo v superkritično stanje pri temperaturah višjih od 647 K in tlaku večjemu od 22,064 MPa. To pa pomeni, da kapljevinske skupine plavajo znotraj parne faze. Sistematično je voda divodikov oksid, ampak se to poimenovanje ne uporablja.

Njena molekula je polarna z negativnim polom pri kisiku. Molekule s takšno razliko v naboju se imenujejo dipol. To se pa kaže v tem, da med molekulami nastaja vodikova vez. Zaradi tega, ker tvori vodikove vezi je pri sobnih pogojih v tekočem stanju, ter ima veliko specifično toploto. To pa v praksi pomeni, da moramo vodi v tekočem stanju dovesti veliko energije, da preide tekočina v plinasto agregatno stanje. Vodikova vez med molekulami povzroča tudi, da se voda pri strjevanju razširi. To se kaže v tem, da led plava na vodi.

Voda je najgostejša pri 4 °C, to pa je pomembno, saj med zimskim časom zmrzne samo zgornja plast vode, spodnja pa ostane tekoča. Zaradi tega ribe pozimi preživijo. Voda se lahko tudi uporablja v vlogi topila. To se najbolj kaže v našem telesu, saj opravlja naloge kot so transport snovi ter odstranitev odpadnih snovi, ki nastanejo pri biokemičnih postopkih v našem telesu npr. celično dihanje.

3.2. Vodik

Sestavni del vode je vodik. Vodik je najpogostejši kemični element v našem vesolju, saj predstavlja kar 75 % vse barionske mase. Vodik je najlažji kemijski element s simbolom H, atomskim številom 1 ter atomsko maso 1,00794 u. Največ vodika najdemo v plazmatskem stanju in sicer v zvezdah. Vodik ima tri stabilne izotope:

- ^1H vodik (najpogostejši izotop vodika)
- ^2H devterij (znan je tudi pod imenom težki vodik)
- ^3H tritij (radioaktivni izotop vodika)

Sintetizirali so tudi druge izotope (^4H do ^7H), ki pa so zelo nestabilni. Najdaljši razpolovni čas ima ^5H in sicer 910 jektosekund (9.1×10^{-22}), najkrajši razpolovni čas pa ima ^7H in sicer 23 jektosekund (2.3×10^{-23}).

Vodik pri standardni temperaturi in tlaku tvori plin s simbolom H_2 . Z večino nekovinskih elementov tvori kovalentne vezi. Največ vodika je vezano v vodi. Vodik lahko tvori negativen anion z imenom ahidrid in pozitivni kation s simbolom H^+ . Vodikov atom ima tudi teoretično uporabnost, saj je edini nevtralen atom z analitsko rešitvijo Schrödingerjeve enačbe. Vodik so prvič umetno pridobili v 16. stoletju z mešanjem kovin in kislin. Henry Cavendish je prvi prepoznal, da vodik pri zgorevanju tvori vodo. Zaradi te lastnosti je nato dobil ime hidrogen (v grščini to pomeni vodotvoren).

Vodik lahko pridobivamo na več načinov; najpogosteje s parnim reformingom naravnega plina. Eden izmed načinov je elektroliza, ki pa je bolj energetsko potratna. Večina proizvedenega vodika se uporabi za obdelavo fosilnih goriv, proizvodnjo amonijaka, polnjenje balonov in v zadnjem času kot vir energije v gorivnih celicah.

3.3. Vpliv električnega toka na elektrolizo

Električni tok vpliva na elektrolizo tako, da moč toka določa koliko vodika in kisika se proizvede. En kulon (1 A v 1 s) proizvede 1 mol elektronov, od tega 0,5 mola H_2 in 0,25 mola O_2 .

3.4. Kisik

Kisik je kemijski element s simbolom O in atomskim številom 8. Kisik je nekovina, ki pri standardni temperaturi in tlaku tvori plin s simbolom O₂. V zraku je 20,8 % dvoatomarnega kisika. Kisik je v vodi bolj topen kot dušik, zato ga je v vodi več kot pa v zraku. Topnost je odvisna od temperature vode. Kisik se utekočini pri 90,20 K in zmrzne pri 54,36 K. Leta 1990 so odkrili kovinski kisik, ki nastane pri tlaku večjem od 96 GPa. Leta 1998 so dokazali, da ta faza pri nizkih temperaturah postane superprevodna. Kisik je tretji najpogostejši element v našem vesolju. Kisik ima tri stabilne izotope in sicer:

- ¹⁶O (najpogostejši v vesolju)
- ¹⁷O
- ¹⁸O

Kisik ima poleg teh treh izotopov še 14 radioaktivnih izotopov. Med njimi je najbolj stabilen ¹⁵O z razpolovnim časom 122,24 s in ¹⁴O z razpolovnim časom 70,606 s. Izotopi lažji od ¹⁶O razpadejo po β⁺ razpadu pri katerem nastaja dušik. Izotopi težji od ¹⁸O razpadejo po β razpadu, pri čemer nastaja fluor.

Kisik lahko tudi tvori molekulo s formulo O₃ znan pod imenom ozon. Ozon nastane zaradi tega, ker se kisik spaja z atomi molekul kisika, ki pa so bile pred tem razcepljene zaradi UV-žarkov. V višjih predelih ozračja tvori ozonski plašč, ki nas ščiti pred UV-žarki. Večino elementarnega kisika v našem ozračju se nahaja med 160 in 2000 km od Zemljinega površja. To pa povzroča korozijo vesoljskih plovil.

Kisik pridobivamo industrijsko s frakcionirno destilacijo utekočinjenega zraka. Pri tem postopku dušik izpari, kisik pa ostane v tekoči obliki. Lahko ga tudi pridobimo z elektrolizo vode ter drugimi postopki. Elementarni kisik se uporablja pri proizvodnji jekla in plastike, za varjenje in rezanje jekla ter drugih kovin. Lahko pa se tudi uporablja za pogon vesoljskih plovil in sistemih za vzdrževanje življenja v letalih, podmornicah, vesoljskih plovilih ter pri potapljanju.

3.5. Voda kot gorivo

Vodik, ki se proizvede pri elektrolizi se lahko uporablja kot gorivo ampak proces elektrolize porabi več energije, kot pa se proizvede pri izogrevanju vodika. To dejstvo pa je podkrepljeno z drugim zakonom termodinamike. Pri celotne procesu se izgubi približno 2/3 potrebe energije, razen če v postopku elektrolize sodelujejo elektrode same. To se po navadi zgodi pri uporabi elektrod iz nerjavečega jekla.

3.6. Drugi zakon termodinamike

Drugi zakon termodinamike govori o spremembi entropije sistema pri dovajanju toplote.

Drugi zakon termodinamike ima več formulacij:

- Kelvinova formulacija:
Ni mogoča takšna krožna sprememba, pri kateri bi sistem prejel toploto iz toplotnega rezervoarja in oddal enako veliko delo, ne da bi se pri tem spremenilo karkoli drugega v okolici.
- Clausiusova formulacija:
Ni mogoča takšna krožna sprememba, pri kateri bi se prenesla toplota s hladnejšega na toplejše telo, ne da bi se pri tem spremenilo karkoli drugega v okolici.
- TD formulacija:
Toplotno energijo lahko spremenimo v mehansko delo le takrat, kadar v krožnem procesu med gibom tja in gibom nazaj pade temperatura.

Enačba, ki prikazuje drugi zakon termodinamike:

$$S_2 - S_1 \geq \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}$$

Pri tem je S_1 entropija sistema pred spremembo, torej pri temperaturi T_1 , S_2 pa po spremembi, pri temperaturi T_2 . dQ je toplota, dovedena pri temperaturi T . Za reverzibilne spremembe velja enačaj, za ireverzibilne spremembe pa neenačaj.

4. Primerjava vodikovih motorjev

4.1. Motorja z notranjim izgorevanjem: vodik vs. bencin

Če primerjamo delovanje motorja, ki uporablja vodik kot gorivo, katero se vname in poganja motor, opazimo, da se ne razlikuje preveč od 4 taktnega bencinskega motorja. Ker delovanje 4-taktnega motorja že poznamo, bomo govorila o 8 glavnih razlikah med vodikovimi motorji in bencinskimi motorji z izgorevanjem.

4.1.1. Proces vžiga goriv

Najprej si oglejmo razlike med gorivoma. Kadar se vodik vname v teoriji nastane čista voda, kar prikazuje enačba: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$. To bi pomenilo, da so pri vodikovih motorjih edine emisije voda. Na žalost v realnosti ni tako, saj je reakcija bolj podobna:

$2\text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{NO}_x$. Zaradi visokih temperatur, ki jih najdemo v motorju, dušik reagira s kisikom in tvori škodljive NO_x emisije.

Pri bencinu dobimo enačbo: $\text{C}_x\text{H}_y + \text{O}_2 + \text{N}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_x$

(C_xH_y predstavlja poljuben ogljikovodik).

V tem primeru je vodik vseeno boljša izbira, saj se znebimo CO_2 emisij, kar pomeni, da ne jemljemo ogljika iz tal in ga razpršujemo v ozračje. A kot sva že zapisala, se še vedno soočamo z NO_x emisijami.

4.1.2. Stehiometrično razmerje zrak-gorivo

Stehiometrično razmerje pri katerem izgori vsa zrak v komori in vso gorivo je pri vodiku 34:1 glede na maso. Pri bencinu pa 14,7:1 glede na maso. Glavna prednost vodika v tem primeru je, da lahko vodik gori že pri stehiometričnem razmerju 180:1 po masi, kar pomeni, da lahko deluje z zelo nizko porabo goriva in posledično manj emisijami. V primerjavi z vodikom je najvišje stehiometrično razmerje zraka-bencina 37:1.

Glavne prednosti vodika v tem primeru so: enostaven vžig motorja, saj ni potrebno veliko plinastega vodika za začetek gorenja, z manjšo porabo vodika povečamo učinkovitost motorja in hkrati izboljšamo največjo težavo vodikovih motorjev, ki pa je izpuščanje NO_x v ozračje. Toda spet ni vse tako lepo, saj z manjšo porabo vodika in z visokimi stehiometričnimi razmerji zmanjšamo moč samega motorja.

4.1.3. Vžigalna energija

Vžigalna energija je energija, ki je potrebna za vžig goriva. V primeru vodika je ta energija enaka 0,02mJ, v primeru bencina pa nekje 0,24mJ. Nizka vžigalna energija vodika omogoča enostaven vžig vodika, kar je hkrati največji plus in minus vodika v tem primeru. Ker se tako enostavno vname lahko v primeru vročih mest v motorju pride do samovžiga, kar lahko povzroči težave v delovanju motorja.

4.1.4. Hitrost gorenja

Hitrost gorenja je še ena ogromna prednost za vodik, saj se plamen giblje hitreje, kot v primeru bencina. Ker večina vodika zgori pri vrhu komore, preden se bat začne gibati navzdol, lahko iz gibanja dobimo več uporabnega dela.

Hitrejše gorenje vodika torej omogoča večjo moč motorja, višjo učinkovitost in višjo hitrost vrtenja. Ta hitrost gorenja velja pri stehiometričnem razmerju 34:1, če pa želimo zmanjšati porabo in emisije z višjim stehiometričnim razmerjem pa drastično zmanjšamo hitrost gorenja.

4.1.5. Difuzivnost goriva

Difuzivnost goriva je razmerje, ki nam pove s kakšno hitrostjo se gorivo po vbrizgu enakomerno razporedi v komori z zrakom. To je še ena prednost vodika, saj se zelo hitro razporedi v komori in tvori enakomerno mešanico zrak-gorivo, kar omogoča, da celotna mešanica izgori in hkrati viša hitrost motorja. Ker se vodik tako hitro razporedi je tudi varnejši v primeru uhajanja plina, saj bi se zelo hitro razširil nad njegovo maksimalno stehiometrično razmerje.

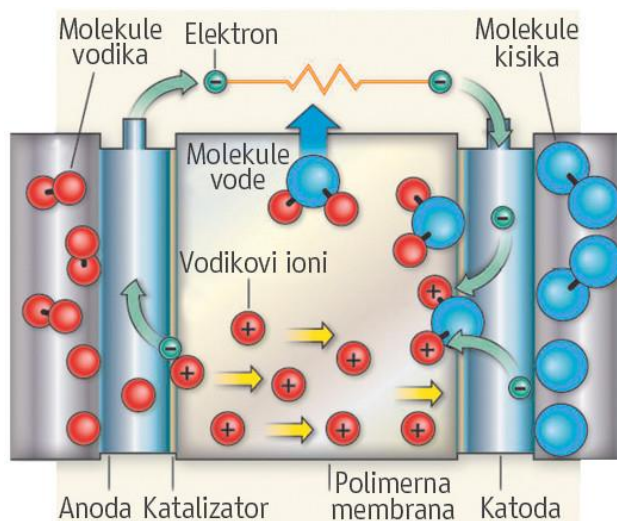
4.2. Vodikov toplotni motor vs. vodikove gorivne celice

Vodikov toplotni motor in vodikova gorivna celica uporabljata vodik za proizvodnjo dela. Vodikov toplotni motor uporablja vžig goriva (vodika), za proizvodnjo mehanskega dela, med tem ko pa vodikove gorivne celice uporabljajo kemijsko energijo vodika in jo pretvarjajo v električno energijo, katera poganja elektromotor.

V obeh primerih imamo enako osnovno reakcijo: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, ki se v primeru toplotnega motorja preoblikuje v $2\text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{NO}_x$, v primeru gorivnih celic pa v $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$. V obeh enačbah opazimo, da motorja ne proizvajata CO_2 , a izgorovalni motor še vedno proizvaja NO_x emisije.

Enačba $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ prikazuje delovanje vodikovih gorivnih celic; v prvem koraku se s katalizatorjem vodik odstrani elektroni, ki pogonjajo elektromotor, v naslednjem koraku se ti elektroni združijo z vodikom in kisikom ter nastane voda.

Vodikov toplotni motor ima končno učinkovitost 25%, med tem ko pa vodikove celice 60%, ki se kasneje zmanjša na 50% zaradi izgube elektrike skozi toploto, itd. To pomeni, da so vodikove celice 2 krat učinkovitejše, kar pomeni, da za isto prevoženo razdaljo porabi 2 krat manj vodika, kar prihrani na prostoru in denarju. Toda težava z vodikovimi celicami je, da so dražje, saj potrebujemo več komponent v primerjavi s toplotnimi motorji.

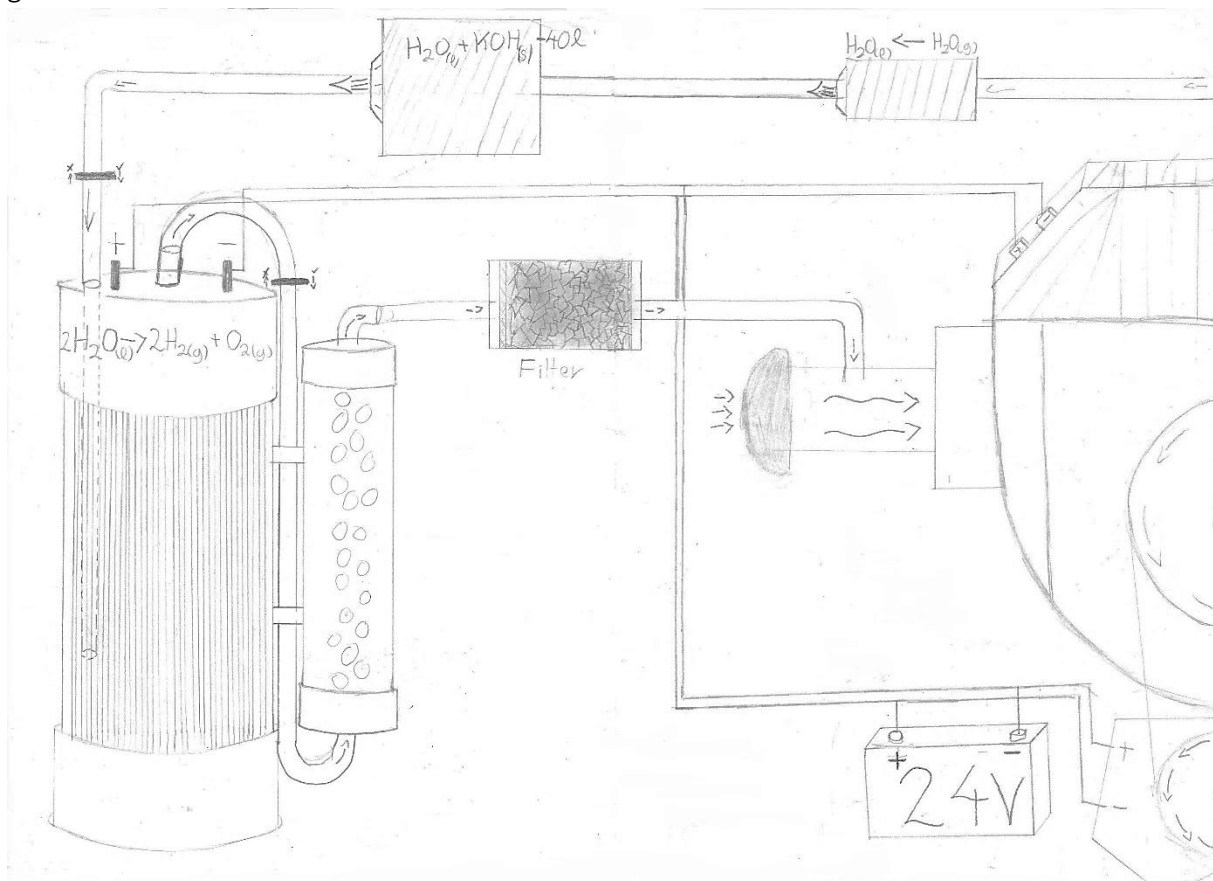


Slika 7 Delovanje vodikove gorivne celice

5. Načrtovanje sistema

5.1. Splošna ideja

Vse se je začelo z enostavno skico na kateri je bil zarisani generator vodika, motor, akumulator in alternator. Načrt je bil, da izdelava kompakten generator vodika, ga poveževa v 4-taktni motor, ki poganja alternator in polni akumulator in da hkrati zbirava vodno paro, ki nastane pri delovanju motorja in jo kondenzirava ter dovajava nazaj v generator vodika.



Slika 8 Skica, ki prikazuje idejno zasnovo sistema

Skica prikazuje tudi ogljikov filter in 40 l rezervoar, za katere sva pa se odločila, da jih ne potrebujeva za prikaz delovanja ideje v manjši razsežnosti. Prav tako sva 24V akumulator zamenjala s 12V. Zaradi uporabe 2-taktnega motorja sva morala opustiti kondenzacijo vodne pare, saj je zraven izgorevalo tudi olje.

5.2. Načrtovanje generatorja vodika

Po raziskovanju različnih modelov generatorjev vodika sva se odločila za načrt, Grant Thompsona. Njegov načrt je bil enostaven in je bil zelo učinkovit, saj lahko z 12V proizvedeš do 3 litre plina na minuto. Njegov načrt sva prilagodila, glede na dostopnost materialov in merskega sistema.



Slika 9 Generator vodika Granta Thompsona

5.3. Kako dovajati vodik v motor?

Naslednja stvar s katero sva se morala soočiti je bila, kako dovajati vodik varno v motor. Po nekaj raziskovanju sva se odločila, da je najboljši način za to dovajanje skozi dovod za zrak. Naslednja komplikacija je bila, kako dobiti olje v motor, saj je motor dvotaktni in potrebuje olje med delovanjem, ki je zmešano z gorivom. Ker olja ne moreva zmešati s plinom ga je bilo potrebno postopoma dovajati skozi dovod za gorivo. Zanj sva načrtovala konstrukcijo z injekcijo, ki je počasi spuščala olje v dovod za gorivo.

5.4. Poganjanje generatorja vodika

Za poganjanje generatorja vodika sva načrtovala 12V akumulator, ki bi nama omogočal proizvesti do 3 litre vodika na minuto. Povezan bi naj bil na generator s kabli. Ker sva želela prikazati, da lahko najina ideja deluje samozadostno brez potrebe po dovajanju dodatne električne energije sva dodala 12V alternator, ki bi naj polnil akumulator ter poganjal generator vodika.

6. Izdelava sistema

6.1. Izdelava generatorja vodika

Z znanjem, ki sva ga dobila glede elektrolize in po nekaj brskanja po spletu, sva prilagodila načrt Grant Thompsona iz YouTube kanala »Grant Thompson The King of Random«. Ker nisva potrebovala generatorja, ki bi vodik proizvajal ločeno od kisika, sva elektrode postavila v konfiguraciji, ki je omogočala enostavno zbiranje obeh plinov nad elektrodami.

6.1.1. Izdelava elektrod

Za material elektrod sva uporabila nerjaveče jeklo, saj v vodi ne rjavi in dobro prevaja elektriko. Uporabila sva:

- 12 ploščič dimenzij: 15,2 x 7,6 cm
- 4 ploščice dimenzij: 15,2 x 3,8 cm
- 1 ploščico dimenzij: 2,5 x 15,2 cm upognjena v obliko U z dvema 90° zavojema 5 cm od roba na vsaki strani
- 1 ploščico dimenzij: 2,5 x 11 cm upognjena za 90° 5 cm od roba
- 1 ploščico dimenzij: 2,5 x 8,3 cm upognjeno za 90° 1,2 cm od roba

Za elektrode sva poleg ploščič uporabila še dva plastična vijaka (7,9 mm x 10 cm), plastične podložke (debele 1,2 mm), matice iz nerjavečega jekla in 2 vijaka iz nerjavečega jekla (7 mm x 50 mm).

16 večjih ploščič sva pobrusila z brusnim papirjem, tako da sva dobila diagonalne zareze v obliki X, med tem ko sva manjše ploščice pustila takšne kot so, saj bodo te uporabljene kot pritrdilne ploščice.

Iz plastičnih vijakov sva odrezala glavo in na konec vsakega pritrdila matico. Nato sva na spodnji vijak nataknila pritrdilno ploščico v obliki U (2,5 x 15,2 cm) na zgornji pa pritrdilno ploščico (2,5 x 8,3 cm) in preko obeh vijakov manjšo ploščico (15,2 x 3,8 cm), kateri sta sledili plastični podložki na vijakih in matici. Nato je sledila velika ploščica, plastični podložki, ploščica, vijak in tako dalje do 3 setov velikih ploščič.

Po vijaku je sledila pritrdilna ploščica na zgornjem vijaku in še ena matica, na spodnjem pa samo dodatna matica. Nato sva nadaljevala s polaganjem ploščice, podložke, ploščice, vijaka; dokler nama ni zmanjkalo velikih ploščic, takrat sva po vijaku nataknila manjšo ploščico, plastično podložko, manjšo ploščico in na spodnjem vijaku nataknila drugo stran U pritrdilne ploščice in matico na obeh vijakih. In s tem so bile elektrode sestavljene.



Slika 10 Izdelane elektrode generatorja vodika

6.1.2. Izdelava ohišja generatorja

Ker sva želela videti, kaj se dogaja v generatorju, sva se odločila, da bova za ohišje uporabila cev iz pleksi stekla, za zgornji in spodnji del ohišja sva pa uporabila plastične čepe za odvodne cevi.

Na zgornjem čepu so pritrjene elektrode in ventil za dotok vodika in kisika. Najprej sva na sredini čepa izvrtala luknjo skozi katero sva potisnila spodnji del ventila in ga pritrdila z matico, ter zatesnila s silikonom. Elektrode sva pritrdila na zgornji čep, tako da sva skozi njega izvrtala luknji, ki se prekrivata s tistimi na pritrdilnih ploščicah elektrod. Skozi luknje sva iz spodnje strani potisnila vijaka in na zgornji strani čepa nataknila podložko z gumijastim tesnilom ter matico.

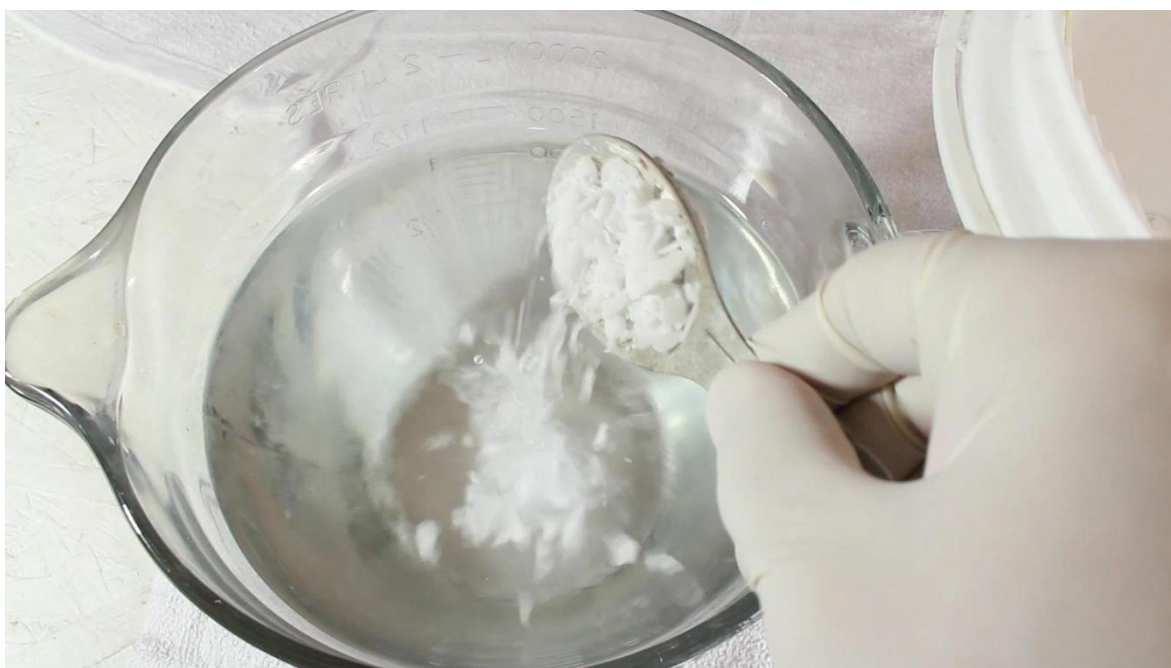
Na prozorno cev sva najprej nataknila čep brez elektrod in ga na cev zatesnila s prozornim silikonom, da bi preprečila iztekanje mešanice vode z elektrolitom. Za silikon sva se odločila, zaradi njegove lastnosti, da potem ko se strdi, ne reagira z veliko kemikalijami. Potem, ko se je silikon na spodnjem delu strdil sva enak postopek ponovila na zgornjem čepu z elektrodami.

6.1.3. Izdelava »bubbler« filtra

Zaradi varnosti sva izdelala »bubbler« filter, ki preprečuje povratek kakršnekoli eksplozije v sam generator. Uporabila sva manjšo plastično cev in dva plastična čepa skozi katera sva izvrtala luknji in nanje pritrdila ventile, ki sta omogočala, da sva s cevjo povezala generator in filter. Filter sva pritrdila na stran generatorja, pritrdila cev na dno in ga napolnila z destilirano vodo. Nato sva na vrh filtra nataknila cev dolžine 1 metra. S tem je bila konstrukcija generatorja končana.

6.1.4. Polnjenje generatorja vodika s vodo

Po čakanju, da se je silikon popolnoma strdil, sva lahko končno napolnila generator vodika z vodo. Voda iz pipe ima veliko nečistoč, zato sva se odločila za destilirano vodo, ki pa ne prevaja elektrike preveč dobro. Zato sva morala dodati nekakšen katalizator. Odločila sva se za kalijev hidroksid, za katerega sva prebrala, da je zelo učinkovit. 1 litru destilirane vode sva dodala 4 čajne žličke kalijevega hidroksida. Mešanico sva, čez filtrirni papir, skozi ventil prelila v generator. V generatorju sva pustila 1,5 cm prostora za nabiranje plinov nad elektrodami.



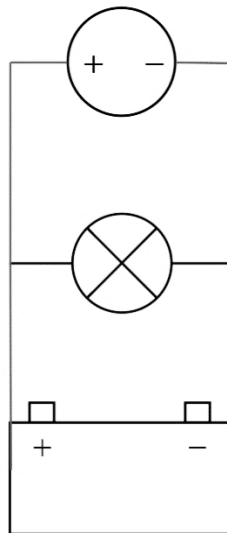
Slika 11 Mešanje kalijevega hidroksida z destilirano vodo

6.2. Izdelava sistema za dovajanje vodika v motor

Za dovajanje vodika v motor sva uporabila dovod za zrak. Iz motorja sva odstranila ohišje zračnega filtra in namesto njega nanj pritrdila plastično posodico za začimbe. Pokrov posodice sva prevrtala ter pritrdila čez dotok za zrak. Dno posodice sva odrezala ter nanj nataknila gobo za čiščenje avtomobilov, katero sva obrezala. V posodico sva izvrtala luknjo za cevčico, ki prihaja iz generatorja vodika in jo potisnila v komoro ter zatesnila. Ker sva uporabila 2-taktni motor sva morala razmisliti kako bova dovajala motorno olje zraven vodika. Na koncu sva se odločila za postopno dovajanje skozi dovod za gorivo. Odstranila sva rezervoar in nanj nataknila tanko cevčico na koncu katere sva pritrdila injekcijo brez igle in jo napolnila z oljem, ki je počasi dotekalo v motor ob delovanju.

6.3. Sestavljanje električnega vezja

Za poganjanje generatorja sva uporabila 12V 60 A 100 Ah akumulator. Z njim sva lahko proizvedla do 3 litre plina na minuto. Ker pa sva želela dokazati, da lahko z vodikom proizvedeva dovolj elektrike za poganjanje generatorja brez pomoči akumulatorja, sva na motor pritrdila tudi 12V alternator, ki bi polnil akumulator ter poganjal generator. Alternator, generator in akumulator sva povezala vzporedno.



Slika 12 Skica električnega vezja z alternatorjem na vrhu, generatorjem na sredini in akumulatorjem na dnu

Zaključek

Med pisanjem naloge sva se naučila veliko o delovanju motorjev, elektrolizi, vodikovih gorivnih celicah,... S pridobljenim znanjem o elektrolizi nama je uspelo izbrati in izdelati najin lasten generator vodika, ki zaradi njegovih eksplozivnih lastnosti lahko poganja toplotni motor, kar je tudi potrdilo najino prvo hipotezo o pretvarjanju vode v gorivo za motor. Pri poganjanju dvotaktnega motorja z vodikom iz generatorja, sva alternator priklopila neposredno na generator vodika in z začetnim vžigom s pomočjo akumulatorja, proizvajala dovolj plina, da sva ohranila delovanje motorja, kar je potrdilo najino drugo hipotezo, da lahko s poganjanjem motorja z vodikom proizvedemo več električne energije, kot jo porabljamo za napajanje generatorja vodika. V večji razsežnosti (avtomobilski motor) to morda ne bo delovalo, a zaradi časovnih in denarnih omejitev tega ne moreva potrditi v tem trenutku. Z izdelavo najinega generatorja vodika sva proizvedla več kot 3 litre plina na minuto, kadar je bil priključen na 12V akumulator, kar je bilo več kot dovolj za poganjanje 2-taktnega motorja motorne kose zaradi česa sva tudi potrdila najino tretjo in zadnjo hipotezo o proizvodnji dovolj vodika za samozadostno poganjanje 2-taktnega motorja s kompaktnim generatorjem vodika.

Družbena odgovornost

Globalno segrevanje in druge klimatske spremembe so posledica toplogrednih plinov, ki jih ljudje spuščamo v ozračje. Z najino nalogo sva želela najti način zelenega poganjanja vozil s pomočjo vode. Najino idejo bi lahko uporabili v avtomobilski industriji, saj so električni avtomobili trenutno veliko dražji in z razvijanjem najine ideje sva prepričana, da bi bil preskok na električno energijo lažji. V prihodnosti bova poskušala najino idejo razvijati in jo uporabiti v avtomobilu in če nama uspe, začeti razvijati enostavne komplete za predelavo vozil na vodni pogon.

Viri in literatura

- 1.) Dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Engine#Pneumatic_motor (18. 12 2018)
- 2.) Dawkins, Richard: Od magije do resničnost;. 2012 Ljubljana, Modrijan
- 3.) Dostopno na: <https://www.instructables.com/id/How-to-Convert-Water-into-Fuel-by-Building-a-DIY-O/> (20.12. 2018)
- 4.) Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Elektroliza> (11. 01. 2019)
- 5.) Dostopno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrolysis> (11. 01. 2019)
- 6.) Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Vodik> (11. 01. 2019)
- 7.) Dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_hydrogen (11. 01. 2019)
- 8.) Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Kisik> (13. 01. 2019)
- 9.) Dostopno na: https://sl.wikipedia.org/wiki/Drugi_zakon_termodinamike (15. 01 2019)
- 10.) Dostopno na: <https://si.openprof.com/wb/stehiometrija?ch=613> (20. 01. 2019)
- 11.) Dostopno na: <https://youtu.be/1Ajq46qHp0> (22. 01. 2019)
- 12.) Dostopno na: <https://www.youtube.com/watch?v=l6ECwRnJOSg> (22. 01. 2019)
- 13.) EG&G Technical Services, Inc. (2004). *Fuel Cell Technology-Handbook, 7th Edition*. U.S. Department of Energy
- 14.) Dostopno na: <http://www1.lsbu.ac.uk/water/electrolysis.html> (23. 01. 2019)

Viri slik

Slika 1: <https://www.telegraph.co.uk/news/science/8367976/James-Watt-Britains-head-of-steam.html>

Slika 2: <https://www.theglobeandmail.com/globe-drive/reviews/classics/the-engine-that-benz-built-still-survives/article4317376/>

Slika 3: <https://www.mechanicshub.com/toolbox/worlds-largest-combustion-engine-wartsila-sulzer-rta96/>

Slika 4: <https://nebulaquad.wordpress.com/2-stroke-vs-4-stroke>

Slika 5: https://www.gyroscope.com/d.asp?product=KS90T_SOL_KIT

Slika 6: <https://science.howstuffworks.com/innovation/famous-inventors/nikola-tesla2.htm>

Slika 7: http://www.avto-fokus.si/Tehnika/Toyota_FCV_z_vodikovimi_gorivnimi_celicami_Koncno_avto_na_vodik/

Slika 8: Lasten vir

Slika 9: <https://www.instructables.com/id/How-to-Convert-Water-into-Fuel-by-Building-a-DIY-O/>

Slika 10: <https://www.instructables.com/id/How-to-Convert-Water-into-Fuel-by-Building-a-DIY-O/>

Slika 11: <https://www.instructables.com/id/How-to-Convert-Water-into-Fuel-by-Building-a-DIY-O/>

Slika 12: Lasten vir