Primjena gorivnih članaka u maloj obalnoj plovidbi

Čorak, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:231:946788

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository

zir.nsk.hr

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
ODSJEK ZA POLITEHNIKU

PRIMJENA GORIVNIH ČLANAKA U MALOJ OBALNOJ PLOVIDBI

- Diplomski rad -

Ivan Čorak

Rijeka, 2017.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
Odsjek za politehniku

Studijski program: Diplomski studij politehnike i informatike
Student: Ivan Čorak, mat. broj: 0009064611

Tema diplomskog rada: **Primjena gorivnih članaka u maloj obalnoj plovidbi**

Mentor:

Doc. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger, dipl. ing.

Rijeka, rujan 2017.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Sveučilište u Rijeci
STUDIJ POLITEHNIKE
Povjerenstvo za završne i diplomske radove

U Rijeci, 1. lipnja 2017. godine

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Pristupnik: Ivan Čorak

Naziv zadatka: Primjena gorivnih članaka u maloj obalnoj plovidbi

Rješenjem zadatka potrebno je obuhvatiti sljedeće:

Pristupnik pri realizaciji zadatka treba opisati način rada, trenutnu i potencijalnu primjenu gorivnih članaka, prednosti i nedostatke tehnologije, te dati prikaz primjene gorivnih članaka s posebnim osvrtom na brodski pogon uz opis postojećih primjera primjene u pomorstvu, prikazati primjenu na nekoj od mogućih domaćih linija male obalne plovidbe i usporediti s korištenjem brodova na konvencionalni pogon, posebno s gledišta prednosti za okoliš. Potrebno je predložiti načine edukacije stručne javnosti i učenika tehničkih i pomorskih škola o primjeni gorivnih članaka za pogon plovila.

U diplomskom se radu obavezno treba pridržavati **Uputa o izradi diplomskog rada.**

Zadatak uručen pristupniku:	1. lipnja 2017.
Rok predaje diplomskog rada:	3 mjeseca
Datum predaje diplomskog rada:	4. rujna 2017.

Predsjednik povjerenstva:	**Mentor:**
Doc. dr. sc. Tomislav Senčić, dipl. ing.	Doc. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger, dipl.ing.
T. Senčić	

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad na temu „Primjena gorivnih članaka u maloj obalnoj plovidbi“ izradio samostalno uz upotrebu navedene literature.

Tijekom pisanja diplomskog rada svojim savjetima i uputama vodila me je mentorica diplomskog rada, Doc. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger, kojoj se prvenstveno zahvaljujem na pruženoj pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

Također, veliko hvala mojoj obitelji, prijateljima i kolegama koji su tijekom cijelog obrazovanja bili uz mene, podržavali me i usmjeravali te uljepšali moje studentsko razdoblje.

Ivan Čorak

_____

U Rijeci, rujna 2017.

SADRŽAJ

SAŽETAK I

SUMMARY II

POPIS OZNAKA III

POPIS SLIKA IV

POPIS TABLICA VI

1. UVOD 1

2. IZVORI ENERGIJE I UTJECAJ NA OKOLIŠ 3

2.1. Drvo za ogrjev 4

2.2. Fosilna goriva 4

2.2.1. Ugljen 5

2.2.2. Nafta 5

2.2.3. Prirodni plin 6

2.3. Električna energija 7

2.4. Obnovljiva energija u Hrvatskoj 7

3. GORIVNI ČLANAK 10

3.1. Princip rada gorivnog članka 11

3.2. Povijest gorivnih članaka 13

3.3. Podjela gorivnih članaka 15

3.4. Komponente gorivnih članaka 17

3.4.1. Vodikov ciklus 17

3.4.2. Zračni ciklus 17

3.4.3. Rashladni ciklus 17

3.4.4. Električni sklop 18

3.5. Svojstva vodika i rizici 20

3.5.1. Sigurno korištenje vodika 20

3.5.2. Sigurnosna uporaba vodika u vozilima 21

3.6. Proizvodnja i dobivanje vodika 22

3.6.1. Dobivanje iz metana 22

3.6.2. Elektrolizom vode 23

3.6.3. Stanica za punjenje vodika 23

3.6.4. Alternativni načini dobivanja vodika 23

3.6.4.1. Energija iz biomase 23

3.6.4.2 Metoda dobivanja mikrovalovima plazme 24

3.6.4.3 Termokemijski proces 24

3.6.4.4 Vodik kao nusproizvod 24

3.7. Predviđanje troškova proizvodnje vodika 24

3.8. Skladištenje vodika 26
3.8.1. Skladištenje pod tlakom 26
3.8.2. Skladištenje u tekućem obliku 27
3.8.3. Metalni hidrid 27
3.8.4 Prirodna skladišta 27
3.9. Transport vodika 28
3.9.1. Cjevovod 28
3.9.2. Prijevoz kopnom i morem 29
3.10. Utjecaj gorivnog članka na okoliš 30
4. GORIVNI ČLANAK U POMORSKOM SEKTORU I PRIMJENA ZA MALU OBALNU PLOVIDBU 31
4.1. Korištenje gorivnih članaka na brodu 32
4.2. Način oživotvorenja 34
4.2.1. Dizajn 34
4.2.2. Skladištenje 34
4.2.3. Punjenje 34
4.2.4. Održavanje 35
4.2.5. Odnos prema okolišu 35
4.2.6. Regulative 36
4.3. Projekti u svijetu 36
4.4. Mogući primjeri na našoj liniji (Rijeka-Krk) 38
4.4.1. Prvo istraživanje 41
4.4.2. Drugo istraživanje 41
4.4.3. Rezultat prvog istraživanja 42
4.4.4. Rezultat drugog istraživanja 46
4.5. Usporedba s norveškim modelom 47
4.6. Usporedba primjene gorivnog članka s ostalim gorivima 48
4.7. Rezultati analize i zaključci 49
4.8. Prednosti i nedostaci modela pogonjenog gorivnim člancima 50
5. METODIČKI DIO 53
5.1 Izvedbeni nastavni plan i program 54
5.2 Nastavna priprema za izvođenje nastave 59
6. ZAKLJUČAK 70
7. LITERATURA 72

SAŽETAK

U radu su obrađeni najčešće korišteni obnovljivi i neobnovljivi izvori energije i njihovo djelovanje na okoliš, te princip rada gorivnog članka i korištenje energije vodika kao značajnog potencijalnog izvora energije u bližoj budućnosti, uz navedene njegove karakteristike te način skladištenja i transporta.

Razmatra se primjena tehnologije gorivnih članaka na brodskoj liniji Rijeka - Krk, te se dobiveni rezultati uspoređuju s norveškim modelom na liniji Bergen - Ålesund.
Temeljem dobivenih rezultata razmatra se koja je tehnologija najprikladnija s ekonomskog i ekološkog gledišta.

U metodičkom dijelu diplomskog rada predlaže se proširenje programa srednje strukovne škole na primjeni gorivnih članaka u pomorstvu i razrađuje priprema za izvođenje nastave iz tog područja.

SUMMARY

This paper deals with the most commonly used renewable and non-renewable energy sources and their environmental effects, as well as the principle of fuel economy and the use of hydrogen energy as a significant potential source of energy in the near future, along with the mentioned storage and transportation methods.

The application of fuel-efficient technology on the Rijeka- Krk line is considered and the results are compared with the Norwegian model on the Bergen- Ålesund line.
Based on the results obtained, it is considered which technology is most appropriate from an economic and ecological point of view.

In the methodological part, the extension of the secondary vocational school program is proposed for the application of fuel articles in maritime science and elaborates the preparation for teaching in this area.

POPIS OZNAKA

Kratica	*Značenje*
IPCC	Međuvladin panel o klimatskim promjenama (eng. Intergovernmental Panel on Climate Change)
EPA	Agencija za zaštitu okoliša (eng. Environmental Protection Agency)
GE	General Electric Company
AFC	Alkalni gorivni članak
PEMFC	Gorivni članak s protonskom membranom
DMFC	Gorivni članci s metanolom
PAFC	Gorivni članak s fosfornom kiselinom
MCFC	Gorivni članak s tekućim ugljikom
SOFC	Gorivni članak s čvrstofaznim oksidom
ECA	Područje za kontrolu emisija plinova (eng. Emission Control Areas)
IMO	Međunarodna pomorska organizacija (eng. International Maritime Organisation)
UCT	Ukupna cijena troškova
CAPE	Infrastruktura + Pogonski sklop
OPEX	Trošak održavanja + Trošak goriva

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Rafinerija nafte „Urinj“

Slika 3.1. Princip rada gorivnog članka

Slika 3.2. Shematski prikaz gorivnog članka

Slika 3.3. Gorivni članak

Slika 3.4. Prikaz jednadžbi kemijske reakcije u gorivnom članku

Slika 3.5. Skica gorivnog članka William Grove-a

Slika 3.6. Očekivana cijena po kW snage gorivnih članaka

Slika 3.7. Predviđena godišnja proizvodnja gorivnih članaka u cilju veće konkurentnosti

Slika 3.8. Stanica za punjenje vodika

Slika 3.9. Predviđeni troškovi proizvodnje vodika

Slika 3.10. Odnos cijene i količine pohranjenog vodika

Slika 3.11. Boca vodika pod tlakom

Slika 3.12. Brod za prijevoz vodika

Slika 4.1. Karta postojećih i potencijalnih ECA zemalja

Slika 4.2. Propulzijski sustav na brodu

Slika 4.3. Nemo H2, turistički brod u Amsterdamu

Slika 4.4. Viking lady, trgovački brod

Slika 4.5 Pramčani propeler

Slika 4.6. Ukupna cijena troškova za tri različita goriva

Slika 4.7. Utjecaj cijene vodika na UCT za tri različite učinkovitosti

Slika 4.8. Utjecaj cijene plavog dizela na UCT za tri različita goriva

Slika 4.9. Utjecaj cijene baterija na UCT za tri različita goriva

Slika 4.10. Utjecaj cijene električne struje na UCT za tri različita goriva

Slika 4.11. Odnos UCT i udaljenosti prijeđenog puta za tri različita pogonska goriva

Slika 4.12. SWOT matrica korištenja gorivnih članaka

Slika 5.1 Laboratorijski list

Slika 5.2 Informacijski list

Slika 5.3 Instrukcijski list

Slika 5.4 Laboratorijski list 2

Slika 5.5 Laboratorijski list 3

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Vrste gorivnih članaka

Tablica 3.2. Usporedba karakteristika vodika i metana

Tablica 3.3. Karakteristike vodika dobivenog različitim postupcima

Tablica 3.4. Postupci skladištenja vodika

Tablica 3.5. Odnos udaljenosti prijevoza vodika i cijene

Tablica 4.1. Projekti integracije gorivnih članaka u svijetu

Tablica 4.2. Karakteristike pogonskih sklopova broda

Tablica 4.3. Karakteristike katamarana

Tablica 4.4. Radne karakteristike katamarana

Tablica 4.5. Rezultati prvog istraživanja

1. UVOD

Naše stoljeće suočava se s dva glavna izazova u pogledu korištenja i opskrbe energijom. Prvi se odnosi na globalno zatopljenje pa tako Svjetska organizacija za očuvanje prirode upozorava međunarodnu zajednicu kako je nužno da se temperatura na globalnoj razini ne povećava za više od 2° C. Ovo pitanje je povezano s ljudskom djelatnošću zbog stvaranja efekta staklenika, a transportni sektor odgovoran je za trećinu emisija štetnih plinova koji utječu na taj efekt.

Drugi je izazov povezan s opskrbom energijom zbog iscrpljivanja resursa fosilnih goriva. Plinska i naftna polja dostižu vrhunac proizvodnje, nakon čega slijedi pad. Kako se rast našeg gospodarstva oslanja na potrošnju energije, ovaj čimbenik resursa stavlja sve veći pritisak na pronalaženje alternativnih izvora energije. U takvoj situaciji tehnologija vodika i gorivnih članaka predstavlja odgovor na te izazove. Doista, vodik bi mogao postati sljedeći energent za transportni sektor, ako se koristi u gorivnim člancima za rad električnih motora. Prednost ove opcije leži u visokom energetskom sadržaju vodika, učinkovitosti gorivnih članaka i svojstvu ovog sustava da oslobađa vodu. Međutim, vodik kao nositelj energije treba proizvesti, a i tehnologija gorivnih članaka je vrlo skupa u ovom trenutku. Nadalje, mora se natjecati s drugim tehnologijama niske emisije, kao što su biogoriva i baterije, istovremeno ispunjavajući isti zahtjev kao fosilna goriva. Stoga pronalaženje ispravne ravnoteže između ekonomske konkurentnosti, ekološke koristi i operativnih zahtjeva za tehnologijom vodika i gorivnih članaka predstavlja izazov. Hrvatska treba provoditi politiku usvajanja tehnologija prihvatljivih za okoliš i također ima prirodne resurse i gospodarsko bogatstvo koje može podupirati tu politiku. Nadalje u ovom radu autor će pokušati objasniti princip rada gorivnih članaka, njihovu komercijalnu uporabu, te koliku ulogu u tome ima vodik.

Cilj ovog rada je odrediti na koji način je moguća primjena tehnologije gorivnih članaka u maloj obalnoj plovidbi u Hrvatskoj, te pobuđivanje svijesti o korištenju energije vodika. Nakon uvodnog dijela, autor analizira najčešće korištene izvore energije u svijetu. Potom autor opisuje gorivne članke, princip rada gorivnog članka i vrste, utjecaju vodika i njegove karakteristike, kao i primjene vodika. Slijedi poglavlje u kojem autor razmatra primjenu gorivnih članaka u pomorstvu i to na primjeru linije Rijeka - Krk. Uspoređuju se troškovi korištenja energije dobivene iz gorivnih članaka, baterije i motora s unutarnjim izgaranjem, te linija Rijeka - Krk s norveškim linijom Bergen - Ålesund. U zadnjem poglavlju autor u metodičkom dijelu rada

opisuje kako bi temu „Primjena gorivnih članaka u maloj obalnoj plovidbi“ primijenio u nastavi i na koji način bi učenicima prezentirao korištenje gorivnih članaka.

2. IZVORI ENERGIJE I UTJECAJ NA OKOLIŠ

Utjecaj energetske industrije na okoliš može imati različite oblike. Ljudi već tisućama godina iskorištavaju energiju. U početku se koristila vatra za svjetlo, toplinu, kuhanje i sigurnost, a njena uporaba se može pratiti unazad najmanje 1,9 milijuna godina.
Potrošnja fosilnih goriva dovodi do globalnog zatopljenja i klimatskih promjena. Problemi sa neobnovljivim izvorima energije su također i u njihovoj količini i rasprostranjenosti jer zalihe fosilnih goriva su ograničene i brzo nestaju. S druge strane obnovljivi izvori energije predstavljaju neiscrpan prirodan vid energije koja se nalazi svuda oko nas. Pod pojmom obnovljivi izvori energije, podrazumijevaju se izvori energije koji se nalaze u prirodi i obnavljaju se.
Posljednjih godina došlo je do trendova povećane komercijalizacije raznih obnovljivih izvora energije. Tehnologije koje brzo napreduju mogu postići tranziciju proizvodnje energije, gospodarenja vodama i otpadom, te proizvodnje hrane u cilju bolje prakse korištenja okoliša i energije.

Najveće onečišćenje okoliša i globalno zatopljenje su uzrokovani antropogenim emisijama od kojih većina dolazi iz izgaranja fosilnih goriva s deforestacijom. Proučavanje 2013. godine pokazalo je da dvije trećine industrijskih emisija stakleničkih plinova uzrokuje proizvodnja fosilnih goriva (i cementa) od strane samo devedeset tvrtki širom svijeta (između 1751. i 2010. godine). [1]

Iako postoji poricanje klimatskih promjena, velika većina znanstvenika koji se bave klimatologijom prihvaća da je to posljedica ljudske aktivnosti. Izvješće IPCC-a (Intergovernmental Panel on Climate Change) o klimatskim promjenama iz 2007. govori da će klimatske promjene uzrokovati nestašice hrane i vode i povećati rizik od poplava koji će utjecati na milijarde ljudi, osobito onih koji žive u siromaštvu. [1]

Mjerenje s obzirom na staklenički plin i usporedbe energetskih izvora mogu se naći u projektu Instituta Paul Scherre i Sveučilišta u Stuttgartu, koji je financirala Europska komisija. Prema tom istraživanju, hidroelektrana proizvodi najnižu emisiju CO_2, vjetar proizvodi drugu najnižu emisiju CO_2, nuklearna energija proizvodi treću i solarni fotonaponski proizvodi četvrtu najnižu emisiju CO_2. [1]

Slično tome, ista istraživačka studija od 1995. do 2005. godine utvrdila je da bi troškovi proizvodnje električne energije iz ugljena ili nafte bili dvostruko veći od sadašnje vrijednosti, a trošak proizvodnje električne energije plinom porastao bi za 30%. Uzeti su u obzir eksterni troškovi, poput oštećenja okoliša i ljudskog zdravlja, od zračnih čestica, dušikovih oksida, kroma i emisija arsena proizvedenih iz tih izvora. U studiji se procjenjuje da vanjski troškovi fosilnih goriva čine 1% -2% ukupnog bruto domaćeg proizvoda (BDP) EU-a, s time što nisu uključeni i vanjski troškovi globalnog zatopljenja iz tih izvora. Istraživanje je također pokazalo da su troškovi korištenja biomase i fotonaponskih solarnih panela trideset puta niži od ugljena dok su izvori energije s najnižim vanjskim ekološkim i zdravstvenim troškovima povezani s vjetroelektranama. (0,0009 € / kWh.) [1]

U nastavku su navedena najčešće korištena goriva u našoj svakodnevici.

2.1. Drvo za ogrjev

U Hrvatskoj se u ukupnoj potrošnji kao primarni izvor energije koristi drvo i iznosi 14.3%. [2]

Prekomjerna sječa šuma može međutim dovesti do gubitka bioraznolikosti i erozije zbog nestanka šumskog pokrova. Primjer toga je 40-godišnja studija koju je provelo Sveučilište u Leedsu proučavajući afričke šume, koje čine trećinu ukupne tropske šume u svijetu, a ona pokazuje da je Afrika značajan ugljični „čistač“. Poznati znanstvenik koji proučava klimatske promjene, Lee White, navodi da kada bi se mogla zamisliti sama vrijednost „čistača“, u pitanju je uklanjanje gotovo 5 milijardi tona ugljičnog dioksida iz atmosfere nedirnutim tropskim šumama. [1]

Prema provedenom istraživanju u Ujedinjenom Kraljevstvu, afrički kontinent gubi šumu dvaput brže nego ostatak svijeta. Jednom davno, Afrika je imala sedam milijuna četvornih kilometara šume, ali trećina je izgubljena, a najveći dio toga, otišao je na proizvodnju ugljena. [1]

2.2. Fosilna goriva

Tri najčešće korištena fosilna goriva su ugljen, nafta i prirodni plin. Procjenjuje se da su u 2006. godini primarni izvori energije bili nafta (36,8%), ugljen (26,6%), prirodni plin (22,9%), što čini 86% udjela fosilnih goriva u proizvodnji primarne energije u svijetu.
Godine 2013. fosilna goriva proizvela su oko 32 milijarde tona ugljičnog dioksida i dodatnog onečišćenja zraka. To je uzrokovalo negativne posljedice od 4,9 trilijuna dolara zbog globalnog zatopljenja i zdravstvenih problema (> 150 $ / t ugljičnog dioksida). [1]

2.2.1. Ugljen

Utjecaj ugljena na okoliš uključuje pitanja poput korištenja zemljišta, gospodarenja otpadom, onečišćenja vode i zraka uzrokovanog rudarstvom, preradom i korištenjem svojih proizvoda. Osim atmosferskog onečišćenja, izgoreni ugljen proizvodi godišnje stotine milijuna tona krutog otpada, uključujući pepel i mulj za odsumporavanje plinova koji sadrže živu, uranij, arsen i druge teške metale.
Postoje ozbiljni zdravstveni učinci uzrokovani spaljivanjem ugljena. Prema izvješću Svjetske zdravstvene organizacije 2008. godine, procjenjuje se da onečišćavanje ugljičnim česticama skraćuje oko 1.000.000 života godišnje u svijetu. Istraživanje iz 2004. godine koje su naručile skupine za zaštitu okoliša, ali koje je osporio američko EPA (Environmental Protection Agency – Agencija za zaštitu okoliša), zaključilo je da gorenje ugljena košta 24.000 života godišnje u Sjedinjenim Državama. [1]
Povijesno gledano, rudarstvo je vrlo opasna aktivnost, a popis povijesnih katastrofa rudarstva je dugačak. Podzemne rudarske opasnosti uključuju gušenje, trovanja plinom i eksplozije plina. Otvorene razne opasnosti uglavnom su neispravnosti mina i zastoji vozila. [2]

2.2.2. Nafta

Utjecaj nafte na okoliš često je negativan jer je ona toksična za gotovo sve oblike života, a uvelike utječe i na klimatske promjene. Nafta, obično nazivana uljem, usko je povezana s gotovo svim aspektima sadašnjeg društva, posebno za transport i grijanje za domove i za komercijalne aktivnosti. Kada se nafta ili naftni destilati spale, obično izgaranje nije dovršeno. To znači da se uz samo vodu i ugljični dioksid stvaraju proizvodi nepotpunog izgaranja. Drugi spojevi često su otrovni za život. Primjeri su ugljični monoksid i metanol. Također, fine čestice čađe štetno djeluju na pluća ljudi i drugih životinja te uzrokuju probleme rada srca ili smrt. Čađa je uzrok raka. Visoke temperature stvorene izgaranjem nafte uzrokuju da dušikovi plinovi

u doticaju s okolnim zrakom oksidiraju, stvarajući dušikove okside. Dušikovi oksidi, zajedno sa sumpornim dioksidom iz sumpora u nafti, kombiniraju se s vodom u atmosferi kako bi se stvorila kisela kiša. Kisela kiša uzrokuje mnoge probleme kao što su mrtva stabla i zakiseljena jezera s mrtvim ribama. Kisela kiša dovodi do povećane korozije strojeva i naprava te sporog uništavanja arheoloških struktura poput mramornih ruševina u Rimu i Grčkoj. Koraljni grebeni u svjetskim oceanskim područjima i sav morski ekosustav su ugroženi zakiseljavanjem mora. Na slici 2.1 je prikazana rafinerija za preradu nafte „Urinj“.

2.2.3. Prirodni plin

Prirodni plin često se opisuje kao najčišće fosilno gorivo, čime se isporučuje manje onečišćujućih tvari od ostalih fosilnih goriva. Ipak, u apsolutnom je smislu značajno pridonio globalnim emisijama ugljika, a ovaj se doprinos povećava. Prema Izvješću IPCC-a 2004. godine prirodni plin proizvede oko 5.300 Mt / god emisije CO_2, dok je ugljen i nafta proizveden 10.600 i 10.200 ali do 2030. godine, prirodni plin bi bio izvor od 11.000 Mt / god, a ugljen i nafta sada su 8.400 i 17.200. (Ukupne globalne emisije za 2004. godinu procijenjene su na više od 27.200 Mt.) Inače, prirodni plin je staklenički plin mnogo jačeg djelovanja od ugljičnog dioksida kada se oslobađa u atmosferu. [2]



Slika 2.1 Rafinerija nafte „Urinj“ [3]

2.3. Električna energija

Utjecaj proizvodnje električne energije na okoliš je značajan jer moderno društvo koristi velike količine električne energije. Ova energija se obično generira u elektranama koje pretvaraju neku drugu vrstu energije u električnu energiju. Svaki takav sustav ima prednosti i nedostatke, ali mnogi od njih predstavljaju opasnost za okoliš.
Tehnološki napredak će uzrokovati da svi oni koji trenutno rade s fosilnim gorivima, trebaju dodatno obrazovati, kako bi ostali konkurentni na tržištu prilikom prelaska na neki drugi oblik energije. Glavne napredne tehnologije su vodikovi gorivni članci, solarne ćelije i vjetroturbine.

2.4. Obnovljiva energija u Hrvatskoj

Ukupna proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj iznosila je u 2013. godini 13 431,1 GWh, pri čemu je iz obnovljivih izvora energije, uključujući i velike hidroelektrane, proizvedeno oko 65,2 %. U tome postotku su velike hidroelektrane sudjelovale sa 60,3 %, a 4,9 % električne energije proizvedeno je iz ostalih obnovljivih izvora (male hidroelektrane, energija vjetra, biomasa, bioplin i fotonaponski sustavi). U ukupnoj potrošnji električne energije u Hrvatskoj, električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora energije sudjelovala je s 48,2 %. Pri tome je električna energija proizvedena u velikim hidroelektranama ostvarila udio od 44,6 %, dok je električna energije proizvedena iz ostalih obnovljivih izvora sudjelovala s 3,6 %. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije iznosio je u 2013. godini 28 % (primjenom EIHP metodologije), odnosno oko 16,5 % ako se u proračunu primjeni EUROSTAT metoda. [4]

Hrvatska je u travnju 2007. godine ratificirala Protokol iz Kyota i time preuzela obvezu smanjenja emisije stakleničkih plinova iz antropogenih izvora za 5 % u razdoblju od 2008. do 2012. godine, u odnosu na referentnu 1990. godinu. Navedene obveze koje je Hrvatska preuzela Protokolom iz Kyota su ispunjene, kako zbog provođenja mjera smanjenja emisije tako i zbog pada gospodarskih aktivnosti uzrokovanih ekonomskom krizom.
Ulaskom u EU, Republika Hrvatska je preuzela zajednički europski cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za 20 % do 2020. godine u odnosu na 1990. godinu. [4]

Hrvatska ima potencijala za smanjenje štetnih plinova i prelazak na alternativne izvore energije, uključujući energiju vodika. Prof. Dr. Barbir navodi da industrijsku grupaciju pri zajedničkom

poduzeću za gorivne članke i vodik čini gotovo 100 tvrtki iz Europe. Među njima ima puno poznatih imena – osim svih proizvođača automobila, tu su Siemens, Bosch, Michelin, Vaillant, Viessman, Shell, Linde… no, nažalost, ni jedna iz Hrvatske. [5]
Vodik kao gorivo za automobile, odnosno automobili na pogon vodikom nije „science fiction" – on je već u komercijalnoj prodaji. Prodaja je (za sada) ograničena samo na ona područja na kojima ima dovoljan broj postaja za punjenje vodikom. U svijetu već postoji stotinjak takvih postaja, ali dovoljan broj na jednom području za komercijalnu primjenu postoji samo u Japanu, Kaliforniji, Njemačkoj i Danskoj. [5]

Veza vodika s obnovljivim izvorima je izražena, a proces proizvodnje vodika iz električne energije – elektroliza vode, vrlo jednostavan. Problem je, naravno, u cijeni ulazne električne energije. Ali u budućnosti je teško zamisliti sustav 100 posto baziran na obnovljive izvore energije u kojem vodik nema svoju ulogu (kao gorivo za automobile i kao način pohrane energije). U takvom sustavu pojavit će se veliki viškovi električne energije koja u tom trenutku nikome neće trebati, pa će njena cijena biti jako mala, pa će se isplatiti njena pretvorba u vodik. Da nebi ispalo da energija vodika i električna energija „guše" jedna drugu, već se oni zapravo nadopunjuju i uz pomoć tehnologije gorivnih članaka lako pretvaraju iz jednog u drugo. Međutim, možemo usporediti električni automobil s gorivnim člancima i električni automobil s baterijama. Naravno, da su proizvođači automobila već napravili takve usporedbe i došli do zaključka da su za gradsku vožnju (do stotinjak km) električni automobili s baterijama praktičniji i ekonomičniji. Ali njihova praktičnosti i ekonomičnost naglo opada s povećanjem radijusa kretanja, pa su tako automobili s gorivnim člancima praktičniji i ekonomičniji kada je potreban doseg na kakav smo se naučili u današnjim automobilima (400-500 km). Na primjer punjenje spremnika vodika traje manje od 3 minute, gotovo isto kao i punjenje današnjih automobila benzinom ili naftom. A ako uzmemo da idemo električnim automobilom u Zagreb i da svakih 100-150 km moramo stati napuniti baterije, a punjenje traje i po nekoliko sati, to je već problem. [5]
Tvrtka Končar Institut za elektrotehniku radi na jednom zanimljivom projektu koji se bazira na energiji vodika i gorivnom članku. Nužna je suradnja tvrtki i fakulteta koja rezultira transferom znanja. [5]
Hrvatska mora u sebi prepoznati priliku i iskoristiti je da u nečemu bude lider, a ne zemlja koja uzima tehnologije koje razvijene zemlje više ne žele. Hrvatska može biti lider u primjeni obnovljivih izvora energije, posebice sunca i vjetra, ali i tehnologija vodika. Za takve kompleksne sustave vrlo je važno upravljanje njima (kada ih uključiti kada isključiti, kada preći

s jednoga na drugi oblik, itd.) i tu su znanja koja se mogu steći samo primjenom. Bitno je jedino da se sa primjenom počnem prije drugih. Ako budemo neodlučni i čekali (p)ostati ćemo samo korisnici. Kombinacijom informacijskih tehnologija (u kojima smo već jaki) i tehnologija za korištenje obnovljivih izvora energije (uključujući i vodikove tehnologije) u kojima možemo postati jaki ako se na to fokusiramo možemo postati izvoznici pametnih energetskih tehnologija.[5]

3. GORIVNI ČLANAK

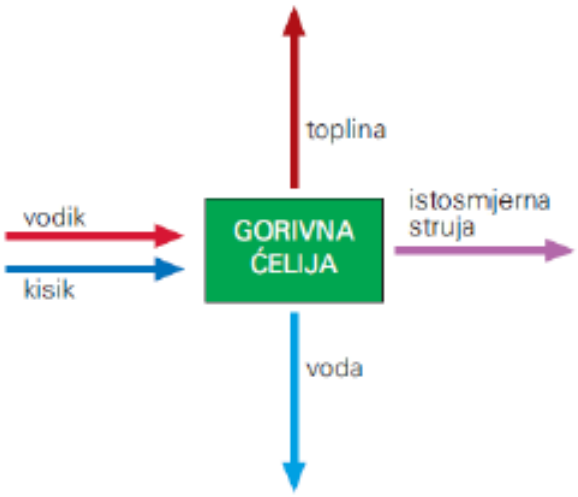
> *Dobivanje goriva iz vodika često se smatra tehnologijom visokog potencijala u potrazi za učinkovitijim i manje onečišćujućim izvorom energije ali pogled na sadašnje stanje tih tehnologija nameće dvostruko pitanje: jesmo li spremni za vodik i s druge strane, je li vodik spreman za komercijalizaciju velikih razmjera? [5]*

Vodik kao gorivo se proučava duži niz godina, a prvi podaci datiraju još od prve polovice devetnaestog stoljeća. I dok je društvo, zabrinuto zbog klimatskih promjena, potaknulo istraživanje i inovacije, tržišni je odgovor na energiju vodika do sada bio mnogo slabiji nego kod ostalih obnovljivih izvora energije. U automobilskoj industriji - najzaslužnijem sektoru za tržište gorivnih članaka su za sada nekoliko koraka ispred ostalih tržišta alternativnih izvora energije. Oni su došli do te točke u kojoj su započeli intrigirati ulagače koji ulažu milijarde eura u potrebnu infrastrukturu za opskrbu gorivom iz gorivnih članaka.[1]

Prvo, postoji zabrinutost oko sigurnosti vodika, koji se kao što navodi dr. Lourdes F. Vega u intervjuu za projekt H2TRUST [6], temelji na zabludama i nedostatku svijesti, a ne na stvarnim nedostacima tehnologije. Zatim, postoje troškovi: oni su veći u usporedbi s električnim vozilima na baterije, te uz to veći je i trošak gradnje pripadajuće infrastrukture za punjenje goriva. Kada se podvuče crta, najbitnije pitanje je kolika je isplativost takve tehnologije.
Da bi se poboljšala ekonomija vodika, Europska komisija zajedno s industrijama za proizvodnju vodika stvorila je Zajedničku tehnološku inicijativu Fuel Cells and Hydrogen (JTI) s godišnjim proračunom od 470 milijuna eura. [6]

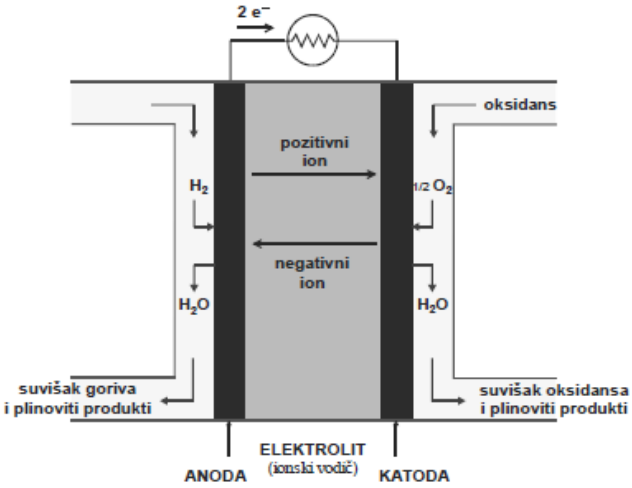
3.1. Princip rada gorivnog članka

Gorivni članak je elektrokemijski uređaj za izravnu pretvorbu kemijske energije u električnu energiju, odnosno on omogućuje neposrednu transformaciju kemijske energije u istosmjernu električnu energiju i toplinu. Na slici 3.1 prikazan je princip rada gorivnog članka.



Slika 3.1. Princip rada gorivnog članka [7]

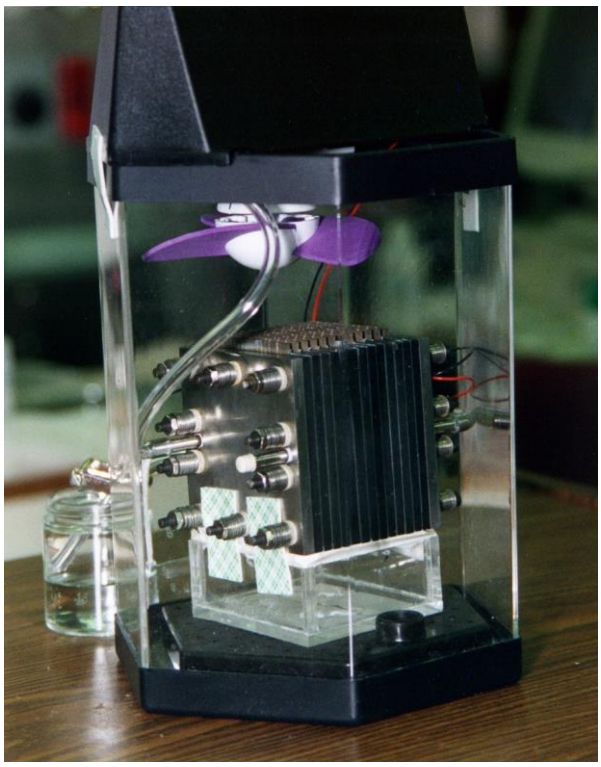
Ovaj kemijski proces suprotan je procesu elektrolize vode ali je rad gorivnog članka sličan radu baterije (galvanskog članka), no u ovom slučaju zahtijeva se stalan dotok "goriva" i kisika. Na slici 3.2 prikazan je shematski prikaz gorivnog članka.



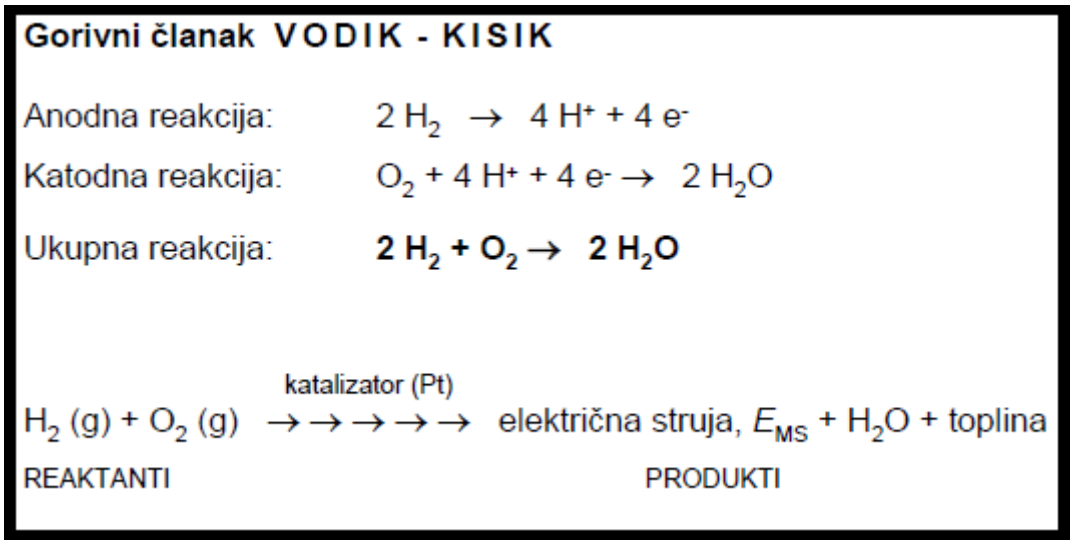
Slika 3.2. Shematski prikaz gorivnog članka [8]

Gorivni članak, slično kao i baterija, sastoji se od dviju elektroda uronjenih u jednaki elektrolit. Na slici 3.3 prikazan je gorivni članak. Na anodi gorivnog članka oksidira gorivo (kemijski element ili spoj visokog sadržaja unutrašnje energije). Elektroni, koji su dobiveni oksidacijom goriva, dovode se od anode vanjskim krugom vodiča i preko trošila idu do katode. Na katodi se neki drugi element (oksidans) reducira zahvatom elektrona dobivenih na anodi. Rezultati reakcije, negativno i pozitivno nabijeni ioni, spajaju se u elektrolitu, a nastali produkt odvodi se iz gorivnog članka. Na slici 3.4 prikazane su jednadžbe kemijskih reakcija u gorivnom članku. Često je rezultat reakcije u gorivnom članku isti kao da je gorivo izgorjelo u oksidansu uz izravnu pretvorbu kemijske energije u toplinsku. Od tuda i slijedi naziv gorivni članak.

Pojedinačni gorivni članci pobuđuju relativno male električne potencijale, oko 0,7 volti, tako da se stanice slože ili stave u seriju kako bi stvorili dovoljan napon da zadovolje određene zahtjeve. Tim nadovezivanjem gorivnih članaka jednih na druge, formiraju skup, odnosno stog gorivnih članaka. Uz struju, gorivni članci proizvode vodu, toplinu i ovisno o izvoru goriva, vrlo male količine dušikovog dioksida i drugih emisija. Energetska učinkovitost gorivnog članka općenito je između 40-60%, no međutim, ako se toplinski gubici reduciraju ili smanje može se postići učinkovitost do 85%. [8]



Slika 3.3. Gorivni članak [9]



Slika 3.4. Prikaz jednadžbi kemijske reakcije u gorivnom članku [8]

Postoje različite vrste gorivnih članaka koje rade s različitim gorivima, različitim elektrolitima ili rasponima temperature ali osnovni princip je isti za sve njih.

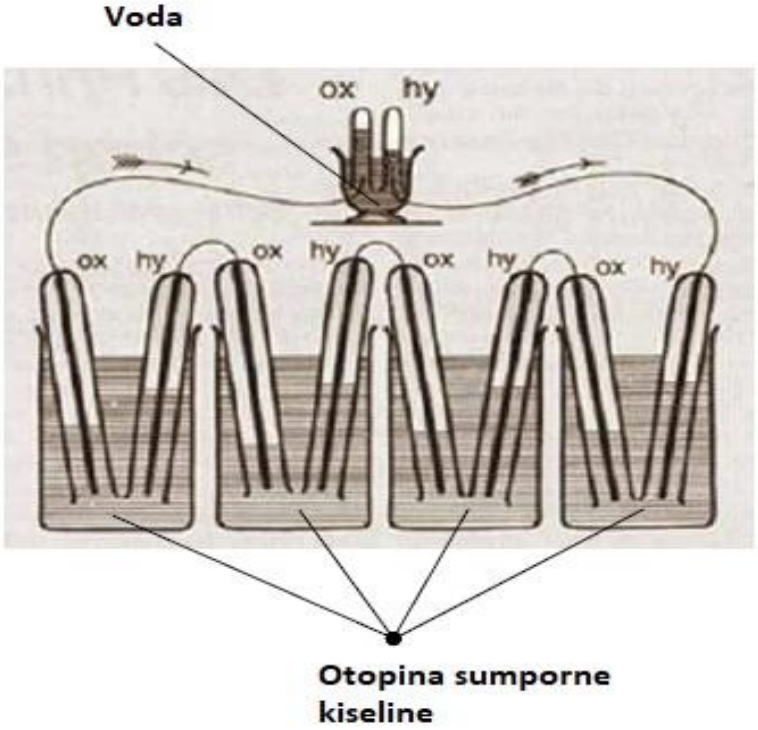
3.2. Povijest gorivnih članaka

Prva upućivanja na vodikove gorivne članke pojavile su se 1838. godine. U pismu u listopadu 1838. godine, ali objavljenom u izdanju Londonskog i Edinburgh Philosophical Magazine i Journal of Science u prosincu 1838., velški fizičar i odvjetnik William Grove napisao je o razvoju svojeg prvog gorivnog članka. Koristio je kombinaciju limova od bakra i porculana, te otopine sulfata bakra i razrijeđene kiseline. Na slici 3.5. prikazana je skica gorivnog članka William Grove-a. U pismu napisanom u prosincu 1838., ali objavljenom u lipnju 1839., njemački fizičar Christian Friedrich Schönbein raspravljao je o prvom članku za gorivo koju je izumio. Njegov rad obrađivao je tekućinu sačinjenu od vodika i kisika otopljenog u vodi. Grove je kasnije skicirao svoju zamisao u 1842., u istom časopisu. Za gorivni članak koji je napravio, upotrijebio je slične materijale koje se nalaze u današnjem gorivnom članku s fosfornom kiselinom.[8]

Godine 1939. britanski inženjer Francis Thomas Bacon uspješno je razvio 5 kW jaki stacionarni gorivni članak. Godine 1955. W. Thomas Grubb, kemičar koji radi za General Electric Company (GE), dodatno je izmijenio originalni dizajn članka korištenjem sulfonirane polistirenske ionske izmjene kao elektrolita. Tri godine kasnije još jedan GE kemičar, Leonard Niedrach, osmislio je način stavljanja platine na membranu koja je služila kao katalizator za potrebnu oksidaciju vodika i reakcije redukcije kisika. To je postalo poznato kao "Grubb-Niedrach gorivni članak". GE je nastavio razvijati ovu tehnologiju s NASA-om i McDonnell zrakoplovom, što je dovelo do njegove upotrebe tijekom projekta Gemini. Svemirski program Gemini bio je drugi program svemirskih letova s ljudskom posadom NASA-e, Američke civilne svemirske agencije. Ovo je bila prva komercijalna uporaba gorivnog članka. Godine 1959. tim koji je vodio Harry Ihrig sagradio je vozilo od 15 kW za Allis-Chalmers, koji je prikazan diljem SAD-a na državnim sajmovima. Ovaj sustav koristi kalijev hidroksid kao elektrolit i komprimiran vodik i kisik kao reaktante. Kasnije u 1959, Bacon i njegovi kolege pokazali su praktičnu jedinicu snage 5kW sposobnu za napajanje stroja za zavarivanje. Šezdesetih godina prošlog stoljeća, Pratt i Whitney su licencirali Baconove američke patente za uporabu u američkom svemirskom programu za opskrbu električnom energijom i pitkom vodom (vodik i kisik su lako dostupni iz tankova svemirskih letjelica). Godine 1991, prvi automobil koji se pogonio na vodik razvio je Roger Billings.[8]

UTC Power je prva tvrtka koja je proizvodila i komercijalizirala veliki, stacionarni sustav gorivnih članaka za korištenje kao elektrana za koprodukciju u bolnicama, sveučilištima i velikim poslovnim zgradama.

U znak priznanja industriji gorivnih članaka i uloge Amerike u razvoju gorivnih članaka, američki Senat priznao je 8. listopada 2015. kao Nacionalni dan vodika i gorivnih članaka. Datum je odabran kao prepoznavanje atomske težine vodika (1.008). [8]



Slika 3.5. Skica gorivnog članka William Grove-a [9]

3.3. Podjela gorivnih članaka

Najčešća podjela gorivnih članka je prema elektrolitu (protonski vodljiv, ionski vodljiv, čvrsti, kapljeviti...), zatim prema području radnih temperatura i tlakova (niskotemperaturne, T<200°C; visokotemperaturne, T>400°C), proizvodnji, obradi i vrsti goriva...

Izbor elektrolita određuje i područje radnih temperatura, a time, uz uporabno vrijeme (trajnost), i fizikalno-kemijska te toplinsko-mehanička svojstva materijala korištenih za izradu članka, kao i vrstu goriva. Tablica 3.1 prikazuje vrste gorivnih članaka.

Tablica 3.1. Vrste gorivnih članaka [1]

Vrsta gorivnog članka	**Puni naziv**	**Gorivo**	**Elektrolit**	**Raspon temp.**	**Početak reakcije**	**Primjena**
AFC	Alkalni gorivni članak	Čisti vodik i kisik	30%-50% kalijeve lužine	60-90	neposredan	Svemir, transport, podmornice
PEMFC	Gorivni članak s protonskom membranom	Čisti vodik i zrak	Protonska polupropusna membrana	50-80	neposredan	Svemir, transport, podmornice
DMFC	Gorivni članci s metanolom	Metanol i zrak	Protonska polupropusna membrana	80- 100	neposredan	transport
PAFC	Gorivni članak s fosfornom kiselinom	Vodik i zrak	Fosforna kiselina	160-220	30 min	transport
MCFC	Gorivni članak s tekućim ugljikom	Vodik/ ugljični monoksid/ metan/ ugljen/ prirodni plin; zrak	Tekući ugljik	620-660	Nekoliko sati	Stacionarno postrojenje
SOFC	Gorivni članak s čvrstofaznim oksidom	Vodik/ ugljični monoksid/ metan/ ugljen/ prirodni plin; zrak	Ionizirajuća polupropusna keramika	800-1000	Nekoliko sati	Stacionarno postrojenje

Kao što je vidljivo iz tablice 3.1 u transportnom sektoru se može koristiti više gorivnih članaka.

Međutim, vrsta PEMFC ima prednost zbog niske radne temperature (50-80 ° C), jednostavnog goriva (čisti H_2 i zrak) i širokog raspona snage (do 300 kW) i njegove specifične težine (2 kW/kg). Nadalje, u njegovo usavršavanje se trenutno ulaže mnogo sredstava zbog svog potencijalnog postizanja boljih performansi kao što su duža trajnost i niži troškovi. [7]

3.4. Komponente gorivnih članaka

Da bi gorivni članak ispravno radio, vodik se mora povezati s drugim komponentama. Te komponente mogu se podijeliti na vodikov ciklus, zračni ciklus, rashladni ciklus i električni sklop.

3.4.1. Vodikov ciklus

Vodik se može pohraniti na različite načine, ali trenutno u transportnom sektoru spremnik pod pritiskom je najčešći izbor. Ovaj spremnik visokog tlaka od ugljičnog vlakna može se napuniti pod tlakom od 350 bara ili 700 bara i povezan je s dobavljanjem vodika gorivnom članku.

3.4.2. Zračni ciklus

Budući da je membrana u gorivnom članku vrlo osjetljiva na bilo koju nečistoću, zrak mora biti što čišći. Ostali plinovi uz kisik koji su prirodno prisutni u zraku (uglavnom dušik) ne reagiraju s vodikom ali je potreban učinkovit filtar za zrak kako bi se povećala učinkovitost stogova gorivnih članaka.
Što je veći pritisak to je bolja učinkovitost i zato je zračni kompresor potreban da komprimira zrak i da omogući cirkulaciju zraka s malim nadtlakom. Postoji više vrsta gorivnih članaka i razlikuju se od jednog do drugog projektnog rješenja. Neki moraju imati i ovlaživače zraka te izmjenjivače topline budući da djelotvornost membrane zna ovisiti o temperaturi i vlažnosti zraka.

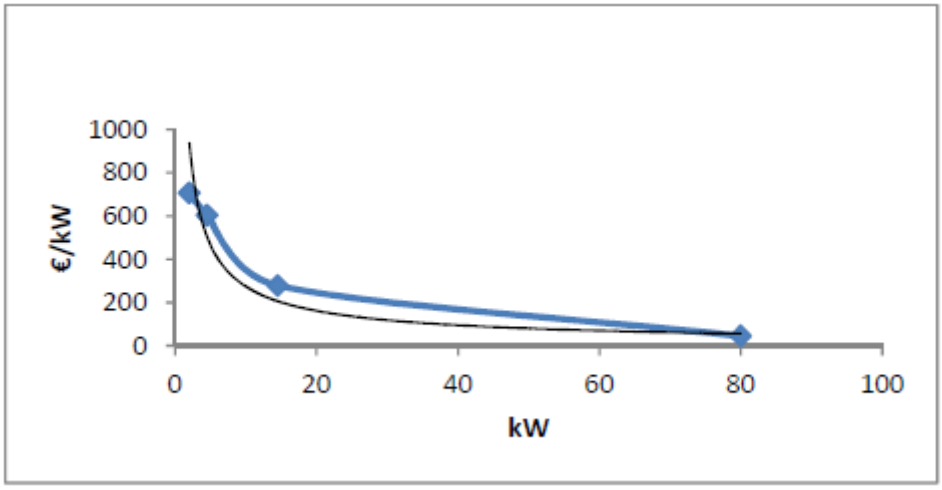
3.4.3. Rashladni ciklus

S obzirom da gorivni članci stvaraju puno topline (proporcionalne snazi) konvekcija nije dovoljna i treba instalirati rashladni krug. Iz tog su razloga odabrani voda ili posebna vrsta rashladne tekućine koja se koristi zbog svojih kemijski neutralnih svojstava i dobrog kaloričnog kapaciteta. Osim toga, izmjenjivač topline mora biti osmišljen tako da voda omogući odvođenje dovoljno topline, a kao i u gotovo svakom vodenom krugu, mora se instalirati ekspanzijska posuda.

3.4.4. Električni sklop

U slučaju serijskog spajanja, goriva se spajaju na glavnu bateriju koja osigurava snagu za električni motor i stoga se izlazni AC napon mora pretvoriti u ispravan istosmjerni napon koji odgovara potrebama napona akumulatora.

Jedan od razloga visokih cijena gorivnih članaka je niska količina same proizvodnje izazvana niskim prodorom na tržište. Stoga se cijena PEMFC sustava može smanjiti s obzirom na ekonomiju koja je ekvivalentna proizvodnji tisuća proizvoda. Ako pretpostavimo masovnu proizvodnju od 500 000 jedinica godišnje, grafikon 3.6 prikazuje očekivanu cijenu po kW gorivnih članaka u funkciji kapaciteta. Te vrijednosti će se koristiti u daljnjim ekonomskim proračunima u ovom radu.

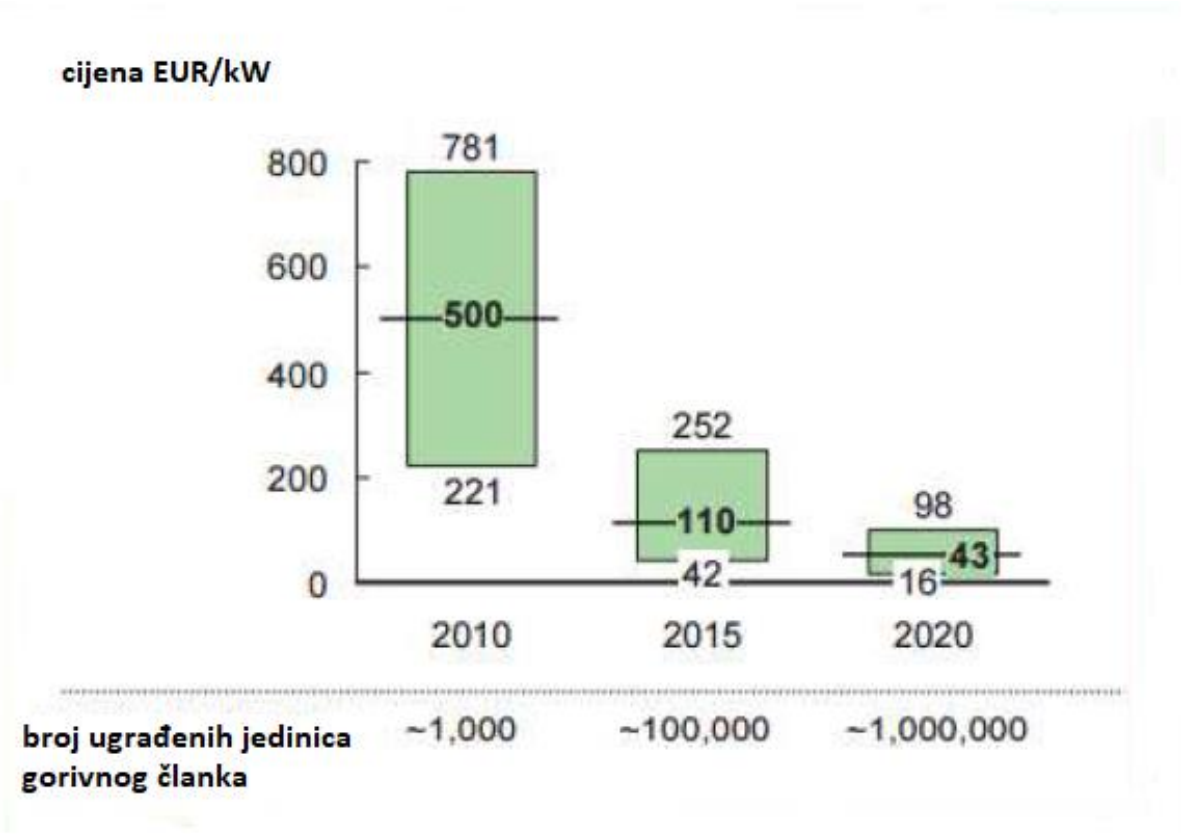


Slika 3.6. Očekivana cijena po kW snage gorivnih članaka [1]

S obzirom da više povezanih gorivnih članaka sačinjavaju stog, moraju se otkloniti neki mehanički problemi. Na primjer, potrebno je da je kompresija homogena, odnosno da je spoj povezanih gorivnih članaka homogen, kako bi se izbjeglo savijanje stoga, a što je veći stog to je teži zadatak. Kako tekućine (voda, vodik i zrak) cirkuliraju u stogu, također je potrebno izbjeći preveliki kanal koji će također generirati velike gubitke. U slučaju prevelikog gubitka , hlađenje ne bi bilo učinkovito i gorivo ne bi dopiralo do posljednjih stanica stogova. Iz tih razloga preporučuje se projektno rješenje od maksimalno 200 kW . Stoga će motor veće snage od 200 kW biti paralelno isporučen u nekoliko gorivnih članaka.

Trošak prototipa PEMFC gorivnog članka može trenutno premašiti 1.800 do 2.000 $ / kW, no proizvođači su uvjereni su da bi masovna proizvodnja vozila koja se pogone gorivnim člancima mogla smanjiti troškove ispod 100 $ / kW.

Međutim, kako bi bio konkurentan s motorima s unutarnjim izgaranjem, trošak PEMFC-a trebao bi biti manji od 50 $ / kW . S obzirom na očekivano poboljšanje u različitim komponentama, troškovi proizvodnje, se procjenjuju na 16 € / kW do 98 € / kW za proizvodnju od 500.000 takvih sustava godišnje . Na slici 3.7 prikazana je predviđena godišnja proizvodnja gorivnih članaka u cilju veće konkurentnosti



Slika 3.7. Predviđena godišnja proizvodnja gorivnih članaka u cilju veće konkurentnosti [1]

Jedno od važnih obilježja PEMFC je životni vijek. Obično je taj parametar mjeren brojem radnih sati. PEMFC ovisi o operativnom radu i uvjetima (početak rada, temperatura, vlažnost, čistoća goriva). U radnim uvjetima u vozilu se pojavljuju razna ciklička opterećenja, što prosječno omogućuje tipičan životni vijek PEMFC-a na oko 5.000 sati (150.000 km). Ciljni životni vijek je oko 20.000 sati za autobuse.

Što se tiče MCFC i SOFC, trenutna cijena varira od $ 12,000 do $ 15,000 / kW i njihov životni vijek je oko 5 godina. [1]

3.5. Svojstva vodika i rizici

Vodikov atom (H_2) je najlakši element periodičnog sustava i najraširenija je kemijska supstanca u svemiru, međutim na Zemlji on uglavnom dolazi u prirodnom obliku u kemijskim spojevima (najčešće voda i ugljikovodici) i kao plin u slobodnom stanju. Vodik je vrlo rijedak (1 ppm po volumenu u atmosferi zemlje) i može se naći samo u prirodnom plinu i nekim vulkanskim plinovima. Na standardnoj temperaturi i tlaku vodik je a bezbojan, bez okusa i mirisa te lako zapaljiv plin. Kao rezultat toga nastaje atom vodika ali njegov životni vijek je vrlo kratak, budući da se atomi spajaju u molekule.
Tablica 3.2 u nastavku prikazuje glavne značajke molekula vodika i uspoređuje ih s karakteristikama metana (CH_4)

Tablica 3.2. Usporedba karakteristika vodika i metana [1]

Svojstvo	**Jedinica**	**H2**	**CH4**
Molarna masa	g/mol	2.016	16.043
Toplinska vrijednost	kJ/g	120	50
Gustoća plina	g/l	0,090	0,718
difuzivnost	(m^2/s *10^5)	6,11	1,60
Cp	KJ/kg.K	14,2	2,22
Granica eksplozivnosti	Vol%	4,0-77,0	4,4-17,0
Granica detonacije	Vol%	18,3-59,0	6,3-17,0
Temperatura izgaranja	K	833	868

Ta obilježja nameću tehničke propozicije za skladištenje vodika i moraju biti vrlo zahtjevne zbog sigurnosnih problema kao što su niska granica eksplozije i minimalna energije paljenja.

3.5.1. Sigurno korištenje vodika

Prije svega, važno je napomenuti da se vodik koristi u industrijskim postrojenjima već desetljećima i radi toga se već imaju znanja i vještine za sigurno rukovanje ovim plinom. Zbog svojih kemijskih svojstava vodik, kada se skladišti u posudi, može reagirati s većinom metala i

tako bi se formirao neki metalni hidrid. Ova reakcija čini metal slabijim zbog gubitka duktilnosti, fraktura i pukotina i završava pun vodikovih mjehura. Kako bi se izbjegla takva reakciju potrebno je koristiti neke posebne čelike poput austenitskih čelika krom-nikal-mangan (A302-B, Cr18Ni10, A212-B ili A372-B). Kako bi se što jasnije definirala brzina istjecanja vodika, dovoljno je reći da na tlu je potrebno otprilike minuta, da izađe 1900 litara vodika. Kao drugi sigurnosni problem potrebno je izbjeći bilo kakav potencijalni zapaljivi izvor. Ti izvori paljenja mogu biti trenje, udarna iskra, električna iskra, vrući objekt, plamen ili opušak. Stoga sva oprema i priključci moraju biti osigurani, a neke alate koje iskre ili su zapaljivi treba izbjegavati (npr. vunena odjeća). Sve komponente i projektna rješenja koji se odnose na uporabu vodika moraju biti ovjereni i u skladu s međunarodnim standardima. Ti standardi zahtijevaju poseban dizajn cjevovoda, dimenzije cijevi, uređaje za mjerenje tlaka, uređaje za skladištenje vodika, spremnike, cilindre i ostalo.

3.5.2. Sigurnosna uporaba vodika u vozilima

Posebno u sektoru cestovnog prometa vozilo s gorivnim člankom ima neke nedostatke, ali i prednosti u usporedbi s konvencionalnim vozilima. Kao što je prije spomenuto, vodik je lakše zapaljiv nego metan ili benzin, stoga će u slučaju iniciranja nezgode, biti potrebna manja količina energije. Nadalje, kako je bez mirisa i boje, a plamen je bezbojan te ga je gotovo nemoguće otkriti bez posebnih instrumenta. Vodik je vrlo lagan, što znači da će se plin vrlo brzo izdići u zrak i time udaljiti od svog izvora paljenja. To nije slučaj za metan ili čak benzin koji su teža goriva od zraka i njihovo područje djelovanja je u blizini nezgode. Spremnik s vodikom može biti problem zbog visokog tlaka u njemu, ali je dizajniran da oslobađa sadržaj kada je dosegao određenu temperatura ili tlak te stoga ne postoji rizik od eksplozije spremnika. Plovila koja koriste vodik ili tekući vodik kao gorivo, osmišljeni su da se odupru bilo kakvoj nezgodi koja se odnosi na plovidbenu nesreću. Također dizajnirana su tako da oslobode svoj sadržaj u slučaju nagle promjene ubrzanja, što se najčešće događa u plovidbenim prometnim nesrećama. S obzirom da je vodik u upotrebi u industriji već dugi niz godina, za tu granu postoje neki standardi. Na slici 3.8 prikazana je stanica za punjenje vodika. Ti standardi pokrivaju većinu radnji u kojima se barata s vodikom, ali ne pokrivaju sve grane napredne tehnologije (npr. visokotlačni spremnici ili benzinske postaje). [2]



Slika 3.8. Stanica za punjenje vodika [10]

3.6. Proizvodnja i dobivanje vodika

Opći opis tehnologija vodika i gorivnih članaka ne bi bio potpun bez osvrta na proizvodnju vodika, što je dio vrlo relevantno s ekološke točke gledišta zbog mnoštva proizvodnih procesa koji mogu i imaju važan utjecaj na okoliš.

Vodik se može proizvesti iz raznih izvora energije putem nekoliko procesa, ali sljedeći dio ima za cilj kratko opisati neke od najrazvijenijih procesa.

Sažetak tablice na kraju će pružiti odgovarajuće podatke za svaki proizvodni proces

3.6.1. Dobivanje iz metana

Danas je reduciranje para metana najčešće korištena metoda za dobivanje vodika, a njegova raširenost je u 95% svijeta. Uglavnom metan je pomiješan s vodenom parom i pri visokoj temperaturi kroz dva različita postupka dobivamo sljedeće reakcije iz kojeg dobivamo vodik. Formula dobivanja vodika prikazana je u formuli 3.1.

$$CH_4 + H_20\ (+\ toplina) \rightarrow CO + 3H_2 \quad (3.1)$$

3.6.2. Elektrolizom vode

Jedan od najperspektivnijih procesa za naredno razdoblje je elektroliza vode. Ovaj poznati proces koristi električnu istosmjernu struju za razdvajanje molekule vode u vodik i kisik. Ovaj proces je osobito zanimljiv za skladištenje energije s prekidima izvora (obnovljivi).

Reakcija se odvija u elektrolizatoru koji reproducira obrnuto od procesa gorivnog članka prikazana formulom (3.2.):

$$2\,H_20\,(l) \rightarrow 2H_2\,(g) + O_2\,(g) \quad (3.2.)$$

Kao i kod gorivnog članka, moguće je koristiti različite tipove elektrolita. Dvije najčešće korištene su alkalna elektroliza i elektroliza PEM (elektrolitska polimerna membrana). Glavna razlika leži u elektrolitu koji je tekući za alkalni elektrolizator, ali krut (membrana) za PEM elektrolizator.

3.6.3. Stanica za punjenje vodika

Kako bi se osigurao vodik "spreman za uporabu", moraju se razmotriti neki dodatni troškovi. Uz one osnovne troškove koji se odnose na kompresor, spremnik, mjesto skladištenja, hladnjak, instalacije, cjevovode i maržu proizvođača, moraju se uključiti i troškovi stanice za punjenje vodika.

3.6.4. Alternativni načini dobivanja vodika

Sljedeći procesi nisu svi komercijalno dostupni i teško se procjenjuju troškovi proizvodnje za svaki od njih, međutim, svi oni obećavaju i imaju potencijal za proizvodnju vodika u bliskoj budućnosti.

3.6.4.1. Energija iz biomase

Izravna proizvodnja vodika iz biomase je vrlo zanimljiva i iz perspektive ciklusa CO_2. Prednost ovog postupka je korištenje lokalnog goriva poput poljoprivrednog otpada ili nusproizvoda iz drvne industrije. Međutim, važno je za napomenuti da je uporaba biomase za proizvodnju vodika relativno nova i stoga nije dobro razvijena.

3.6.4.2 Metoda dobivanja mikrovalovima plazme

Nekoliko tehnika koristi plazmu za diobu prirodnog plina u vodik i ugljik u prahu, ali oni se razlikuju po svojoj temperaturi i pritisku djelovanja. Jedan od tih procesa naziva se Kværnerov proces (po norveškoj tvrtki Kværner) i opisan je u nastavku. Plazma stvara luk pri temperaturi od 1500 ° C kako bi se metan podijelio u čisti vodik i čisti ugljik te prašak (također poznat kao čađa koja je vrijedan proizvod, s omjerom od 24 kWh / kgH_2).
Ova metoda je manje učinkovita od SMR metode (3 kWh / kgH_2), ali ima znatnu prednost, a to je da se ne emitiraju CO_2 plinovi u procesu proizvodnje, međutim, manje je učinkovit nego sustav elektrolize (0,41 kWh / kWhH_2 = 1/3 učinkovitosti elektrolize). Ovaj proces je već u funkciji i bit će korišten za komercijalnu proizvodnju vodika.

3.6.4.3 Termokemijski proces

Ovaj proces koristi svojstvo vode koja se razgrađuje u H_2 i O_2 pri 2200 ° C. Takva temperatura se može dobiti zahvaljujući solarnom postrojenju za koncentraciju sunčeve energije. Teškoća ipak ostaje u odvajanju H_2 i O_2 na takvoj temperaturi. Nedavni eksperiment očito je riješio taj problem, ali industrijalizacija i šira uporaba još uvijek nije izgledna.

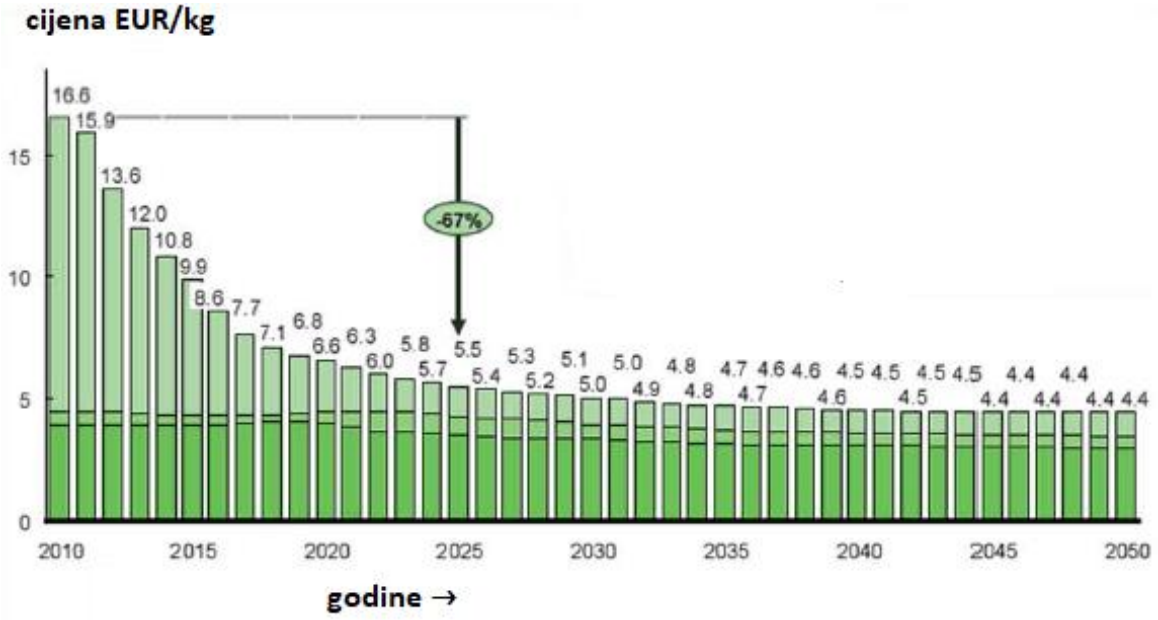
3.6.4.4 Vodik kao nusproizvod

Vodik se također može stvoriti kao nusproizvod u kemijskoj industriji (klor, etilen i acetilen). Drugi način prikupljanja vodika kao sekundarnog produkta je tijekom katalitičke reakcije u rafinerijama. Međutim, vodik proizveden u rafinerijama često se koristi se na licu mjesta za opskrbu procesa. Jedan od nedostataka vodika kao nusprodukta je to da je u plinovitom stanju i trebao bi biti konzumiran u blizini mjesta nastanka.[1]

3.7. Predviđanje troškova proizvodnje vodika

Temeljem nekoliko pretpostavki vezanih uz korištenje energije u Europi i europsku studiju o gorivnim člancima i vodiku, predviđeni su troškovi za razvoj vodikovih tehnologija. Grafikon na slici 3.9 pokazuje da će u idućih deset godina distribucija i maloprodajna cijena biti značajno smanjeni što će utjecati na cijenu vodika.

Kao što je proizvodnja ovisna o cijeni električne energije, može se vidjeti da će se troškovi progresivno smanjivati od 2020. jer će i cijena električne energije biti manja. U tablici 3.3 prikazane su karakteristike vodika dobivenog različitim postupcima.



Slika 3.9. Predviđeni troškovi proizvodnje vodika [1]

Tablica 3.3. Karakteristike vodika dobivenog različitim postupcima [1]

Tehničke pojedinosti	**Jedinica**	**Vodik iz metana**	**Elektroliza vode**	**Biomasa**	**Mikrovalovi plazme**	**Termokemijski postupak**
Kapacitet	kgH2/day	400	400	3,740	N/A	100 000
Energetska vrijednost	kWhH2/kWh (%)	75	60	46	58	10
Specifična korisnost	€/kgH2/day	4819 (c)	4875 (c)	1700	N/A	3800 (1020) (a)
Cijena vodika	€/kgH2	0,77	5,52	2,05	N/A	14.8 (2)
Emisija CO2	kgCO2/kgH2	13,7	0.82	-	0.38	-

(a) – ciljana vrijednost koja se želi postići

(c) – cijene usuglašene s benzinskim crpkama

3.8. Skladištenje vodika

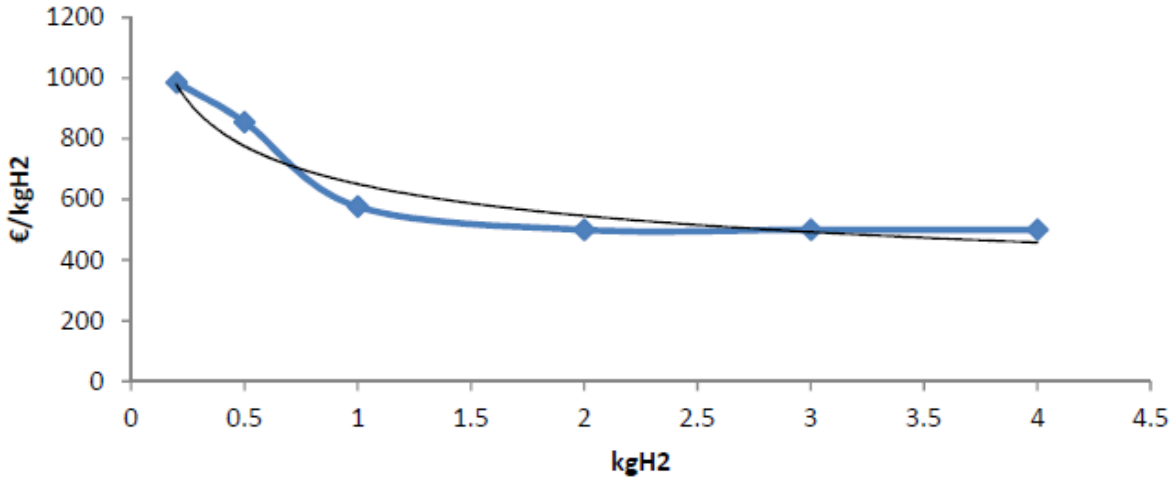
Zbog svojih fizičkih svojstava vodik je vrlo teško pohraniti i danas je jedno od najkritičnijih pitanja koja treba riješiti u sektoru prometa. Međutim, male količine vodika mogu biti pohranjene s obzirom da prosječni lagani automobil može preći 80 do 125 km s jednim kilogramom vodika.

Slijedeći odjeljak ima za cilj objasniti postojeće metode pohrane, njihovu cijenu i ključne točke kako bi se bolje razumjeli izazovi koje vodik predstavlja u prometu.

3.8.1. Skladištenje pod tlakom

S obzirom da je u standardnim uvjetima (1m, 293K), vodik u plinovitom obliku, najlakši način za pohranu je da ga se komprimira. Proces koristi niz kompresora do tlaka od 350 bar ili 700 bara, zatim se plin pohranjuje u spremnik odgovarajuće debljine i robusnosti. Energetska potrošnja za komprimiranje 1 kg vodika je jednaka 10-17 MJ, ovisno o konačnom tlaku koji odgovara 9% do 15% svoje niže toplinske vrijednosti. Kao i u mnogim tehnologijama, specifični troškovi komponente ovise o veličini.

Grafikon na slici 3.10 pokazuje razvoj cijena u odnosu na količinu pohranjenog vodika.



Slika 3.10. Odnos cijene i količine pohranjenog vodika [1]

Spremnik za skladištenje vodika je prikazan na slici 3.11.



Slika 3.11. Boca vodika pod tlakom [11]

3.8.2. Skladištenje u tekućem obliku

Korištenjem niza procesa (niska temperatura) moguće je ukapljiti vodik. Gustoća te tekućine iznosi 70,8 gH2 / l što je 796 puta više od 1 litre plinovitog vodika pod standardnim uvjetima, međutim, jako puno energije je potrebno da se plin ohladi na 21 K. Drugi aspekt ove tehnike skladištenja jest isparavanje (kao i kod svih drugih kriogenih tekućina).

3.8.3. Metalni hidrid

Metoda se sastoji od integriranja vodikovog atoma u rešetku metala, legure ili kemijskog spoja. Ova metoda omogućuje veliku volumetrijsku gustoću ali zahtijeva postupanje toplinom (toplina je potrebna za oslobađanje atoma vodika)

3.8.4 Prirodna skladišta

Koncept je zamišljen da se vodik ubrizgava u geološki formirano skladište. Ova tehnika već se koristi za skladištenje prirodnog plina i isto tako mogu se koristiti za manje količine vodika pod tlakom zbog njegovih specifičnosti. Tlak može varirati između 50 i 100 bara u ukupnoj količini,

a zbog dobrog brtvljenja za to su poželjni rudnici soli i prazni vodospremnici. Postupci skladištenja vodika prikazani su u tablici 3.4.

Tablica 3.4. Postupci skladištenja vodika [1]

Način skladištenja	**kWh/kg**	**Vol%**	**Cost (€/kgH2)**
Komprimirani vodik (35Mpa)	1,8	1,8	495
Komprimirani vodik (70Mpa)	1,7	2,8	588
Tekući vodik	1,9	4,2	372
Metalni hidrid	0,4	1,2	N/A

3.9. Transport vodika

Kao i u većini slučajeva, učinkovitije je proizvoditi vodik u jednom velikom pogonu nego u nekoliko malih. Dakle, aspekt prijevoza mora biti pokriven. Odjeljak koji slijedi ima za cilj analizirati različite alternative za prijevoz vodika iz svog proizvodna okoliša do njegove točke potrošnje.

3.9.1. Cjevovod

Tehnika cjevovoda je već dobro razvijena, a neki vodikovodi već postoje u Europi za opskrbu određenih industrija vodika. Jedna od glavnih osobitosti vodikovoda je da mora biti izrađen od neporoznog metala (tj. od nehrđajućeg čelika) što povećava troškove ulaganja. Također je moguće transportirati do 30 vol% vodika u konvencionalnom plinovodu (CH_4).

U tablici 3.5 navedena je odnos udaljenosti prijevoza vodika i cijene.

„Prijevoz“ se odnosi na transport od mjesta proizvodnje do mjesta isporuke
„Distribucija“ se odnosi na transport od točke otpreme do konačnog mjesta.

Tablica 3.5. Odnos udaljenosti prijevoza vodika i cijene [1]

Tehničke pojedinosti	**Jedinica**	**Transport**	**Distribucija**
Ulaganje	k€/km	560	250
Prosječna udaljenost	km	300	50

k – označava red veličine „tisuća“

3.9.2. Prijevoz kopnom i morem

Za cestovni prijevoz najučinkovitiji je način prijevoza tekućeg vodika, ali to se čak može učiniti i sa komprimiranim vodikom. To je moguće zahvaljujući cilindričnim super izoliranim posudama u poluprikolicama. Pomorski transport vodika može se postići, ali je relativno novi. Na slici 3.12 prikazan je brod za prijevoz vodika. Trenutno je moguće prevoziti do 100 000 Nm3 u roku od 60 dana. Ovo maksimalno vremensko ograničenje je iz razloga da vodik nebi ispario.[1]



Slika 3.12. Brod za prijevoz vodika [12]

3.10. Utjecaj gorivnog članka na okoliš

PEMFC ne koristi ugljikovodik, samo vodik, pa izravne emisije plinova ne postoje dok MCFC ili SOFC koriste prirodni plin tako da se emisije ugljičnog dioksida mogu pojaviti. Međutim, s obzirom da se prirodna reakcija razlikuje od klasičnih reakcija u motoru (niža temperatura) ispušta se CO_2, ali nema stvaranja štetnih plinova NOx. Kao nova tehnologija u svijetu, tehnologija vodika se suočava s nekim dilemama u svezi s njenom sigurnosti. Još veći problem od toga je da mali broj demonstracijskih projekata radi u korist rješavanja ovog pitanja. Propisi koji se moraju bolje provesti su ciljevi EU, a jedan od projekata koji radi na tome je „H2trust Project“.

4. GORIVNI ČLANAK U POMORSKOM SEKTORU I PRIMJENA ZA MALU OBALNU PLOVIDBU

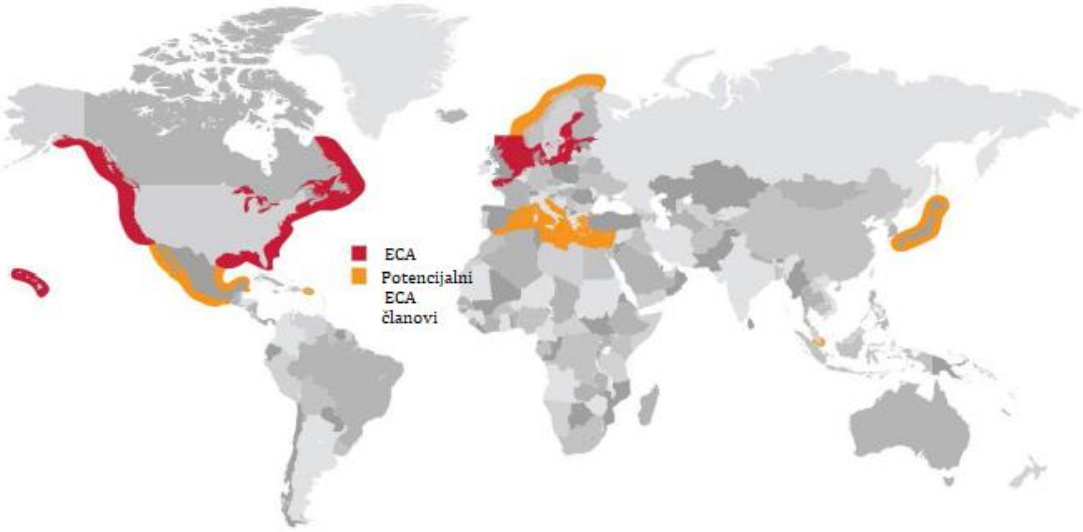
Ovo poglavlje posvećeno je mogućnosti uporabe tehnologije vodika i gorivnih članaka u pomorskom sektoru. Velika većina brodova u Hrvatskom pomorskom prometu je pogonjena konvencionalnim motorom s unutrašnjim izgaranjem. Slijedom toga pomorski sektor predstavlja veliki udio u štetnim emisijama ispuštanja stakleničkih plinova u transportnom sektoru. Ponajprije se razmatra aspekt zaštite okoliša, zatim primjena tehnologije vodika i gorivnih članaka, te usporedba s ostalim gorivima u cilju ispitivanja ekonomičnosti i korisnosti. Na kraju se ispituje mogućnost primjene tehnologije vodika i gorivnih članaka na primjeru brodske linije u Hrvatskoj i to Rijeka-Krk. Dobivene rezultate nakon usporedbe s ostalim gorivima na primjeru linije Rijeka-Krk, autor koristi kako bi analizirao mogućnosti korištenja vodika i gorivnih članaka.

Emisije štetnih plinova s brodova mogu utjecati na kakvoću zraka u obalnim područjima pa čak i dalje u unutrašnjosti. Brodovi obično koriste goriva na bazi teških goriva s visokim sadržajem sumpora i stoga imaju tendenciju ispuštanja sumpornog dioksida (SO_2) zajedno s drugim onečišćivačima kao što su dušični oksidi (NOx), sitne čestice, ugljični dioksid (CO_2) i ostali staklenički plinovi. Brodovi ispuštaju znatne količine onečišćujućih tvari, ne samo tijekom plovidbe, već i tijekom njihovog boravka na vezu. Ovo je osobito važno za gradove luke, jer brodske emisije plinova mogu uvelike pridonijeti regionalnom onečišćenju zraka zbog kojih neki od EU standarda neće biti ispunjeni. (CO_2 i NO_2).

Na temelju prethodnih podataka jasno je da gorivni članci i vodik mogu igrati ključnu ulogu u smanjenju štetnih emisija plinova. Još jedna činjenica leži u tome, a to je da međunarodni propisi sve više i više vrše pritisak na ovo pitanje. Korištenje gorivnih članaka za pogon brodova čini važnu razliku za „komfornost“ rada. Posljedično tome, javnost je zadovoljna i operateri (mornari, ribari, tehničari) mogu raditi u boljim uvjetima, a to nisu neznatni pomaci. Isto tako izravan pozitivan utjecaj na lokalno okruženje osnažuje da društveno prihvaćanje bude bolje. Slabija zastupljenost vodika i gorivnih članaka na tržištu dovodi do nedostatka kvalificirane radne snage za održavanje tih sustava. Kako bi se postiglo održivo provođenje tehnologije vodika i gorivnih članaka u pomorskom sektoru, različite proizvodne tvrtke će morati

osposobiti dovoljan broj radnika. Radnici na brodu će također morati biti svjesni rizika koji ta tehnologija nosi i osigurati da svi sigurnosni propisi budu zadovoljeni kako bi se izbjegle sve nezgode koje bi bile jako štetne za reputaciju vodika.

Karta na slici 4.1 prikazuje postojeće i moguće ECA korisnike (Emission Control Areas) na svijetu. Kao što se može vidjeti Hrvatska bi se trebala zalagati za ovu strožu regulaciju ispuštanja štetnih emisija u Jadranu.[1]



Slika 4.1. Karta postojećih i potencijalnih ECA zemalja [1]

4.1. Korištenje gorivnih članaka na brodu

U pomorskom sektoru gorivo i veličina su važni, ali postoji i bolja fleksibilnost u odnosu na vrijeme odziva i radnu temperaturu. Stoga je izbor ne samo otvoren za PEMFC nego i za MCFC, SOFC (čak i DMFC može biti zanimljiv).
Pomorska primjena omogućava i uvođenje PEMFC visoke temperature (HTPEMFC) koji je manje osjetljiv na čistoću vodika i stoga se može koristiti na brodu.

Tehnički gledano, moguće je koristiti tehnologiju gorivnih članaka u tri različite konfiguracije na brodu:

1. Kao pomoćna pogonska jedinica

S obzirom na povećanu električnu potrošnju na brodu, gorivni članak može proizvesti potrebnu količinu električne energije bez ometanja propulzije plovila. Ova konfiguracija dovodi do korisne potrošnje goriva.

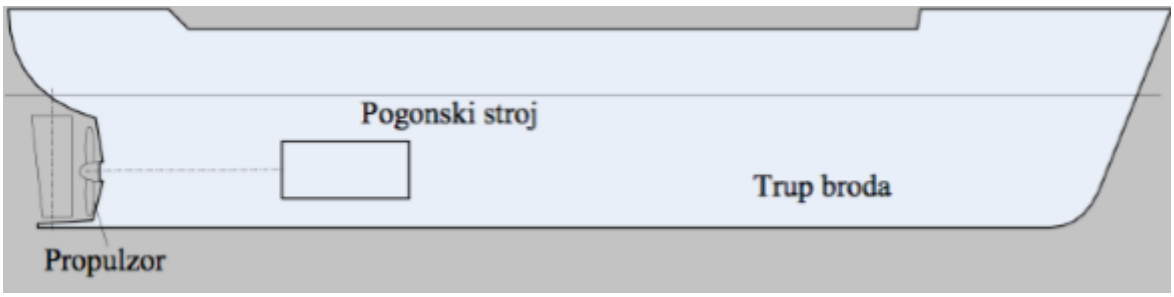
2. Hibridni pogon

Ova se konfiguracija može postaviti na način da gorivni članak djeluje kao osnovno opterećenje (kontinuirano pružajući dovoljno snage) ili kao vršno opterećenje kako bi se izbjegao prijelaz na motor s unutarnjim izgaranjem zbog nedostatka snage. Ovaj sustav se također može kombinirati s baterijom.

3. Propulzija pri punoj snazi

Također je moguće opremiti sustav samo s gorivnim člankom i akumulatorom. Gorivni članak pruža svu potrebne snagu, a baterija djeluje za ostatak sustava. Na slici 4.2 prikazan je propulzijski sustav na brodu.

* Svrha propulzijskog sustava broda je da osigura pogon brodu za svladavanje otpora mora



Slika 4.2. Propulzijski sustav na brodu [13]

4.2. Način oživotvorenja

4.2.1. Dizajn

Različite konfiguracije koje su gore spomenute dovode do različitih oblika projektnih rješenja, ali sve te konfiguracije zahtijevaju više prostora nego kada je samo jedan pogonski stroj u brodu. Sustav gorivnih članaka zahtjeva više prostora zbog skladištenja vodika, ali u drugu ruku moduli se mogu postaviti u nekoliko različitih mjesta na brodu. Zajedno s nižim vibracijama i manjom bukom, nedostatak mjesta u prostoriji čini se manje važnim. Iako sigurnosna ograničenja i regulative utječu na dizajn, ako se njima rukuje na odgovarajući način, ova modularnost osigurava visok stupanj fleksibilnosti dizajna. Ništa manje nisu važni i udarni šokovi koji se događaju na trupu broda, te stoga treba razmotriti prilikom dizajniranja kako bi se najbolje mogle izbjeći vibracije koje mogu ometati rad gorivnog članka, kao i njegov vijek trajanja.

4.2.2. Skladištenje

Način skladištenja ovisit će o količini pohranjenog vodika. Za velike količine vodik u tekućem obliku je najbolji izbor zbog manjeg volumena, dok je male i srednje količine dobro čuvati pod tlakom (35MPa ili 70 MPa). Naravno, domet broda i dužina puta ovisi izravno o količini vodika pohranjenog u spremnike, ali i o brzini broda, njegovoj težini i veličinu baterije. Suprotno cestovnom prijevozu teško je izreći potrošnju vodika (kao 1kg H_2 / 100km) jer se karakteristike značajno razlikuju od jednog broda do drugog.
Međutim, kasnije u tekstu predočena je okvirna slika potrošnje vodika iz različitih projekata koji iskazuju točnije podatke u ovisnosti o veličini broda i brzini plovidbe.

4.2.3. Punjenje

U pomorskom sektoru nisu razvijeni objekti za točenje vodika kao goriva. Za svaki projekt broda koji bi se pogonio na vodik potrebno je izgraditi stanicu za punjenje ili gorivo mora biti isporučeno kamionom. Ovisno o veličini brodskog spremnika, gorivo se može puniti nekoliko minuta za one najmanje ili par sati za one najveće brodove. S druge strane, nije izuzeto u bliskoj budućnosti da će se koristiti crpke za različite načine prijevoza (npr. pomorski i cestovni prijevoz), dok se vodik može proizvesti i na licu mjesta (npr. elektrolizom vode)

4.2.4. Održavanje

Suprotno konvencionalnim motorima, sustav gorivnih članaka nema rotirajućih dijelova i samim time ima potrebu za manjim održavanjem (podmazivanje, korozija, vibracija). Međutim, zbog vijeka trajanja, membrane u gorivnim člancima moraju se redovito mijenjati (svakih 10.000 sati) kako bi održali potrebnu razinu izvedbe. Usporedbe radi, konvencionalna postrojenja imaju 20 godina životnog vijeka ali širu usporedba ovog održavanja pojasnit će se kasnije kroz ovaj rad. Ovisno o vrsti gorivnih članaka, membrane mogu biti vrlo osjetljive na sastav zraka. PEMFC će biti osjetljiviji na salinitet vode ili na brzinu vlažnosti, dok će MCFC raditi podjednako.

4.2.5. Odnos prema okolišu

U sklopu europskog projekta „FC SHIP“, procjena životnog vijeka (LCA) su 2004. godine provele tvrtke L-B-Systemtechnik i MTU Friedrichshafen. Procjena životnog vijeka uključuje proizvodnju goriva, opskrbu i uporabu, proizvodnju gorivnih članaka i kraj životnog vijeka, a životni ciklus se uspoređuje s konvencionalnim motorima na brodu. Između ostalog navodi se sljedeće:

„Analiza dolazi do zaključka da gorivni članci nude potencijal za značajno poboljšanja okoliša kako u pogledu kakvoće zraka tako i zaštite klime. Lokalne emisije onečišćujućih tvari i emisije stakleničkih plinova mogu se gotovo potpuno eliminirati tijekom punog životnog ciklusa korištenjem obnovljivih primarnih izvora energije. Izravna uporaba prirodnog plina u visokotemperaturnim gorivnim člancima u velikim brodovima i korištenje prirodnog plina izvedenog od vodika u PEM gorivnim člancima instaliranim na malim brodovima omogućuju smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20% - 40%. Gorivni članci imaju potencijal daljnjeg poboljšanja učinkovitosti i time bi se dalje još više smanjila emisija stakleničkih plinova nastalih od fosilnih goriva.“ [1]

Osim onečišćenja zraka i njezinih posljedica, buka koju izazivaju konvencionalni propulzijski sustavi također su nepovoljniji od sustava sa gorivnim člancima. Bez obzira na gorivne članke (PEMFC, MCFC, SOFC, DMFC), svi oni pružaju električnu opskrbu za pogonski sustav. Ova elektrifikacija ima za posljedicu znatno snižavanje razine buke za oba faktora, opremu na brodu i okolinu. Ovaj tihi režim rada također je od najveće važnosti za određene primjene poput znanstvenih istraživanja morskih životinja.

4.2.6. Regulative

U ovom trenutku u pomorskoj industriji nedostaju propisi koji se odnose na vodik i tehnologije gorivnih članaka na brodu. IMO (International Maritime Organisation) koji je zadužen za međunarodno pomorstvo je objavilo dokument o toj temi 2013. godine, ali do sada još nema službenog priopćenja. Međutim, IMO nije jedini koji će nastaviti raditi na toj temi, a tvrtka DNV je objavila svoju preporuku o dizajnu i sigurnosti vodika kao goriva. Čak i kada istraživanje da zaključak da su sustavi gorivnih članaka tehnički ostvarivi, i dalje ključnu ulogu ima IMO koji mora osigurati proces odobravanja izgradnje novih brodova s ugrađenom tehnologijom vodika i gorivnih članaka.[1]

4.3. Projekti u svijetu

Da bi se dobio kratki pregled trenutne aktivnosti za integraciju gorivnih članaka i vodika u pomorski sektor, uspostavljen je popis postojećih projekata. Ovaj popis obuhvaća uglavnom različite veličine projekata i različitih tehnologija širom svijeta.

Na slici 4.2 prikazan je Nemo H2, turistički brod iz Amsterdama koji se pogoni gorivnim člancima.



Slika 4.3. Nemo H2, turistički brod u Amsterdamu [14]

U tablici 4.1 prikazani su projekti integracije gorivnih članaka u svijetu.Tablica 4.1. Projekti integracije gorivnih članaka u svijetu [1]

Naziv projekta	Opis	Snaga	Spremnik vodika	Gorivni članak	Baterija	Doseg
Nemo H2, Amsterdam	87 putnika	90kW	24kg, 35Mpa	70 kW, PEMFC	50 kW	9h, 9 čvorova
The Viking Lady	Trgovački brod		Prirodni plin	330 kW MCFC	500 kWh	
Scandlines FC ship	1500 putnika, 2200m dugačka staza za automobile		3.1 tona	8.3 MW PEMFC		48h 17 čvorova
FILHyPyNE project, France	12-metarski ribarski brod	200kW	120 kg, 35 Mpa	210 kW	124 kWh	3 dana ribarenja
La Compagnie des Bateaux Mouches, France	Turistički brod, mase 250 tona koji može prevesti 1000 putnika		600 kgH2	400 kW		

Na slici 4.4 prikazan je trgovački brod Viking lady koji se pogoni gorivnim člancima.



Slika 4.4. Viking lady, trgovački brod [15]

4.4. Mogući primjeri na našoj liniji (Rijeka-Krk)

Za potrebe ovog rada, obrađuje se brodska linija između Rijeke i Krka na način da je osmišljen ekološki katamaran. Ovaj katamaran je pogonjen gorivnim člancima i u potpunosti ne ispušta nikakve štetne emisije plinova. Katamaran je kapaciteta 150 putnika, a putovati će 8 puta dnevno, sa svakim izletom koji traje oko 40 minuta kako bi prevalio put od dvadeset pet kilometara. Katamaran je dugačak 37 metara, a propulzijski sustav broda čine električni pramčani propeler snage 18 kW i električni propeler na krmi broda snage 130 kW. Katamaran se pogoni vodikom dobivenim iz 4 PEMFC gorivna članka snage 35kW s integriranom baterijom od 120 kWh. Vodik je skladišten u 10 spremnika pod tlakom koji iznosi 35 MPa, a masa skladištenog vodika je 25kg. Maksimalna brzina katamarana je 12 čvorova.



Slika 4.5 Pramčani propeler [16]

Istraživanje ima za cilj usporediti ukupnu cijenu troškova (UCT) različitih pogonskih goriva tijekom 10 godina rada. Te opcije su katamaran pogonjen gorivnim člancima (PEMFC), katamaran na baterije i dizelski trajekt. Zahvaljujući izračunima, UCT će biti izražena za svaku opciju i omogućit će određivanje najrelevantnije opcije iz ekonomske perspektive. Prvo, usporedba će se provesti u odnosu na trenutne tehnološke troškove, a zatim će se utvrditi utjecaj svakog tehnološkog troška (cijena dizela, cijena vodika i cijena akumulatora) za različite opcije. U drugom istraživanju UCT svakog pogonskog sklopa će se procijeniti za nekoliko putnih udaljenosti. Ovo drugo istraživanje će nam omogućiti da generaliziramo naše izračune u različitim radnim uvjetima.

Ukupna cijena troškova definira ukupne troškove posjedovanja imovine. U našem slučaju imovina je pokretačka jedinica broda i trošak se sastoji od infrastrukture, snage i troška goriva.

Da bismo dovršili izračune koristili smo nekoliko tehnoloških troškova, kao i životni vijek komponenti i njihovu učinkovitost. [1]

Tablica 4.2. Karakteristike pogonskih sklopova broda [1]

	Trajekt pogonjen gorivnim člankom	**Električni trajekt**	**Dizelski trajekt**
Vijek trajanja	10 000 h (b)	10 godina	> 10 godina (c)
Troškovi pogonskog sklopa	Pogledati poglavlje 4.4.3	500€/kWh	28 €/kW
Cijena goriva	5.5 €/kgH2 (d)	0.1 €/kWhe	0.9 €/l (f)
Efikasnost korištene tehnologije	58% (e)	85%	25%
Cijena infrastrukture	4 875€/kgH2/day	2.15 M€ (a)	(f)

a) Trošak infrastrukture sastoji se od infrastrukture za punjenje katamarana na obje obale
b) Životni vijek goriva temelji se na stacionarnoj operaciji (nekoliko pokretanja i zaustavljanja)
c) Stopa obnove motora s unutarnjim izgaranjem smatrana je nepostojećima.
d) Odabran je postupak elektrolize s obzirom da je vjerojatno da će biti najrasprostranjeniji
e) Pretpostavljamo potpunu recirkulaciju vodika tako da je iznesena samo elektrokemijska učinkovitost
f) Infrastruktura za dizelsko gorivo smatra se već postojećom

Zatim, kako bismo odredili UCT, smatramo CAPEX i OPEX gdje:

CAPEX = Infrastruktura + Pogonski sklop (baterija, skladištenje vodika, gorivni članci, motor s unutarnjim izgaranjem)

OPEX = Trošak održavanja (obnova gorivnih članaka i baterija) + Trošak goriva

OPEX se izračunava s obzirom na vremensku vrijednost budućih troškova, zato se stopa amortizacije od 5% godišnje primjenjuje se na sve troškove koji se pojavljuju nakon prve godine (uglavnom trošak goriva). Ovaj ukupni trošak tijekom deset godina s godišnjom amortizacijom će biti sadašnja neto vrijednost (SNV-10yr) i izračunava se na način prikazan formulom 4.1.

$$SNV = C_0 + \sum_{i=1}^{T} \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (4.1.)$$

Gdje je:

C_0 *= početno ulaganje (CAPEX),*

C = Godišnji trošak (OPEX),

r = Diskontna stopa.

Ovdje T = vremenski okvir istraživanja = 10 godina tako da će SNV biti izražen kao "SNV-10god".

S obzirom da T = 10 god i r = 0.041 možemo pojednostaviti SNV prikazano formulom 4.2.

$$\text{SNV-10god (C0, Ci)} = 8.0707 * \text{Ci} - 2 * 10^{-13} + \text{C0} \quad (4.2.)$$

Zatim se UCT dobiva jednostavnom podjelom prikazano formulom 4.3.

$$\text{UCT (€/km)} = \frac{SNV-10god}{vijek\ trajanja} \quad (4.3)$$

Da bi se dobili što točniji podatke o ekonomskoj isplativosti različitih pogonskih goriva, moraju se napraviti dva istraživanja. U prvom istraživanju se proučavaju UCT za tri različita goriva i težina postrojenja, dok se u drugom istraživanju proučava odnos UCT i udaljenost prijeđenog puta za 3 različita pogonska goriva.

4.4.1. Prvo istraživanje

Prvo istraživanje ima za cilj procijeniti utjecaj varijacija cijena različitih tehnologija. Parametri u istraživanju su cijena vodika, cijena baterije, cijena dizela i cijena električne energije. Ovo prvo istraživanje koristi morsku udaljenosti između Rijeke i Krka kao stvarnu udaljenost, no linija još nije stvarno zaživjela. Najvažnije vrijednosti izračuna navedene su u tablici 4.3..

Tablica 4.3. Karakteristike katamarana [1]

Prijeđena udaljenost	73000 km
Radni dani	365 dana godišnje
Broj putovanja po danu	8 putovanja
Prijeđena udaljenost po putu	25 km
Prosječna potrošnja	1,37 kgH_2/km ili 26,4kWh/km ili 8,8L dizela/km
Snaga motora	140 kW
Period proučavanja	10 godina
Stopa amortizacije	5%

4.4.2. Drugo istraživanje

Za drugo istraživanje ključan parametar je duljina putovanja. Bitno je za odrediti koja je prijeđena udaljenost optimalna za različite tehnologije dok one zadržavaju ostale značajke kao što su: opće karakteristike katamarana, količina ukapljenog vodika i veličina akumulatora.
Trošak infrastrukture za katamaran na baterije se smatra konstantnim, dok je cijena punjenja vodika na postajama za punjenje, proporcionalna dnevnoj potrošnji vodika. U tablici 4.4 su prikazane radne karakteristike katamarana.

Tablica 4.4. Radne karakteristike katamarana [1]

Brzina plovidbe	18 km/h
Broj radnih sati po danu	5,5 h
Potrošnja energije	1,37 kgH_2/km

4.4.3. Rezultat prvog istraživanja

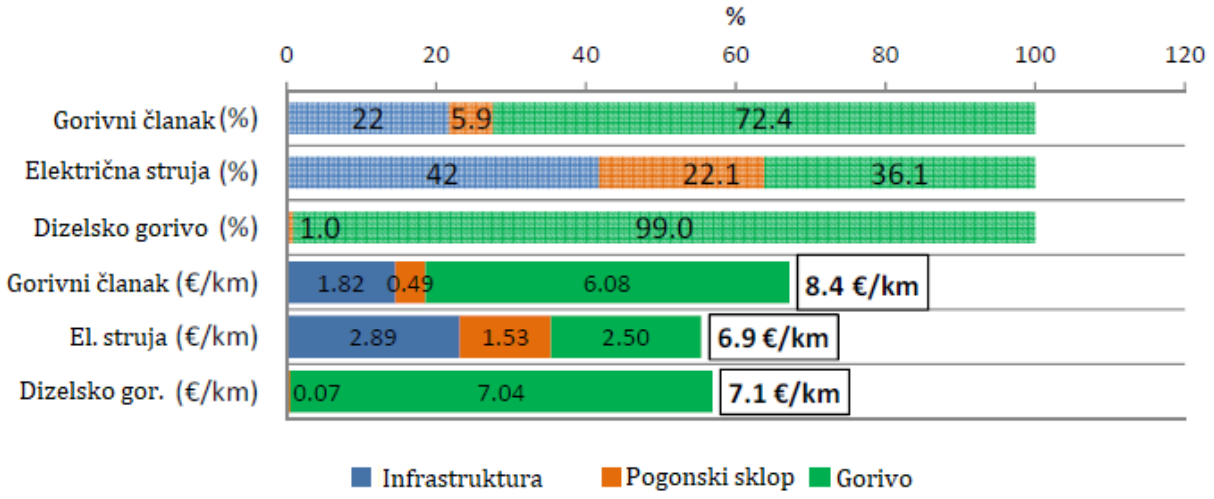
Slijede rezultati dobiveni za različita pogonska goriva s kratkim komentarima svakog grafikona. Do rezultata se došlo računajući troškove infrastrukture, pogonskog sklopa i cijene goriva za svaki pogonski sklop. Uz to, pretpostavljena je i težina postrojenja koja se temelji na težini spremnika i svih komponenti za pogon katamarana. U tablici 4.5 prikazani su rezultati prvog istraživanja.

Tablica 4.5. Rezultati prvog istraživanja [1]

	Ukupna cijena troškova (€/km)	Težina postrojenja (u tonama)
Trajekt pogonjen gorivnim člankom	8,4	7,5
Električni trajekt	6,9	10
Dizelski trajekt	7,1	1,2

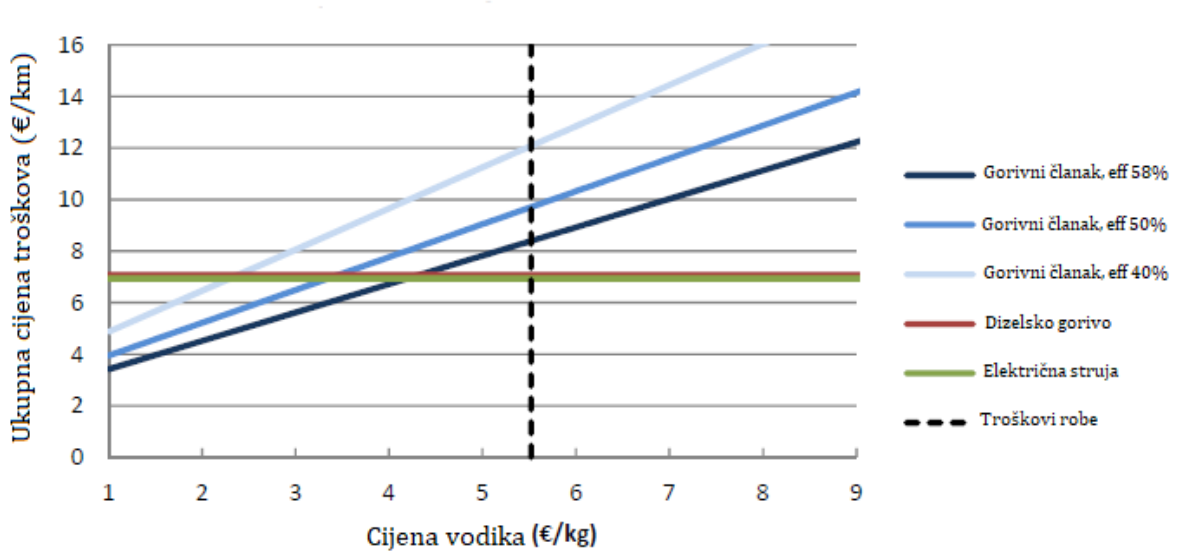
Vrijednosti se dobivaju uz trenutne troškove odgovarajuće tehnologije.

Slika 4.6. omogućuje da se vidi razdioba troškova za svaku UCT. Podjela je između troškova infrastrukture, troškova pogonskih sklopova i troškova goriva. U prvom dijelu tablice su ti troškovi izneseni u postocima, a zatim u €/km. Kao što je ranije spomenuto, dizelski katamaran nema novih infrastrukturnih troškova zbog već postojeće infrastrukture, pa vrijednost čine samo troškovi pogonskog sklopa i troškovi goriva. Iz tog razloga zbog nepostojeće ili slabo postojeće infrastrukture, katamarani pogonjeni gorivnim člankom i električnom strujom imaju značajne troškove infrastrukture. Zbog zahtjevnijeg pogonskog sklopa (npr. veličina baterije), katamaran pogonjen električnom strujom ima najveći udio troškova pogonskog sklopa u UCT. Kada se uzmu troškovi goriva, nakon dizelskog katamarana, slijedi katamarana pogonjen gorivnim člancima, a zatim električni katamaran s najnižim troškovima goriva.



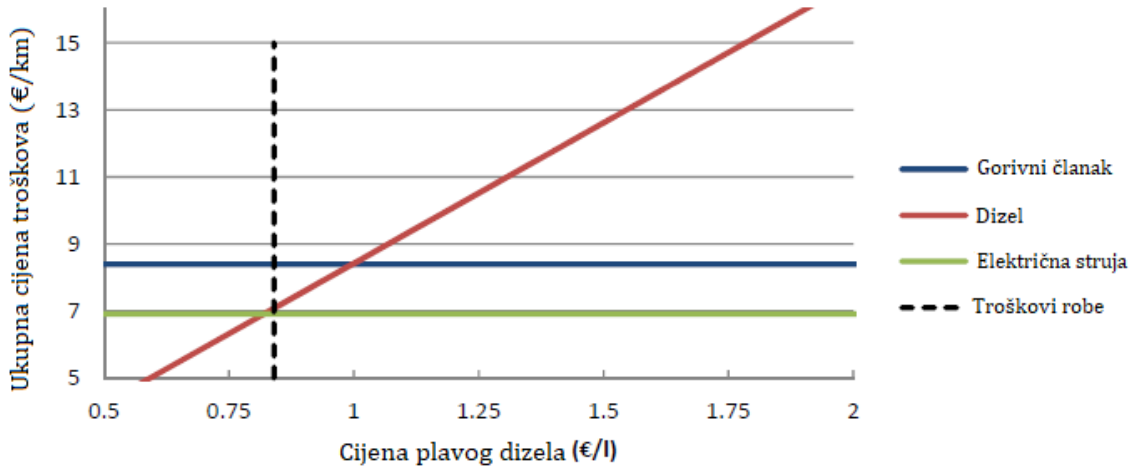
Slika 4.6. Ukupna cijena troškova za tri različita goriva [1]

Na slici 4.7 prikazan je utjecaj cijene vodika na UCT za tri različite učinkovitosti. Na učinkovitost gorivnih članaka može utjecati opterećenje, dok na troškove vodika mogu utjecati cijena električne energije i troškovi proizvodnje elektrolizera. S druge strane troškovi mogu biti i svedeni na minimum ako se koristi npr. višak električne energije proizveden vjetroelektranom.



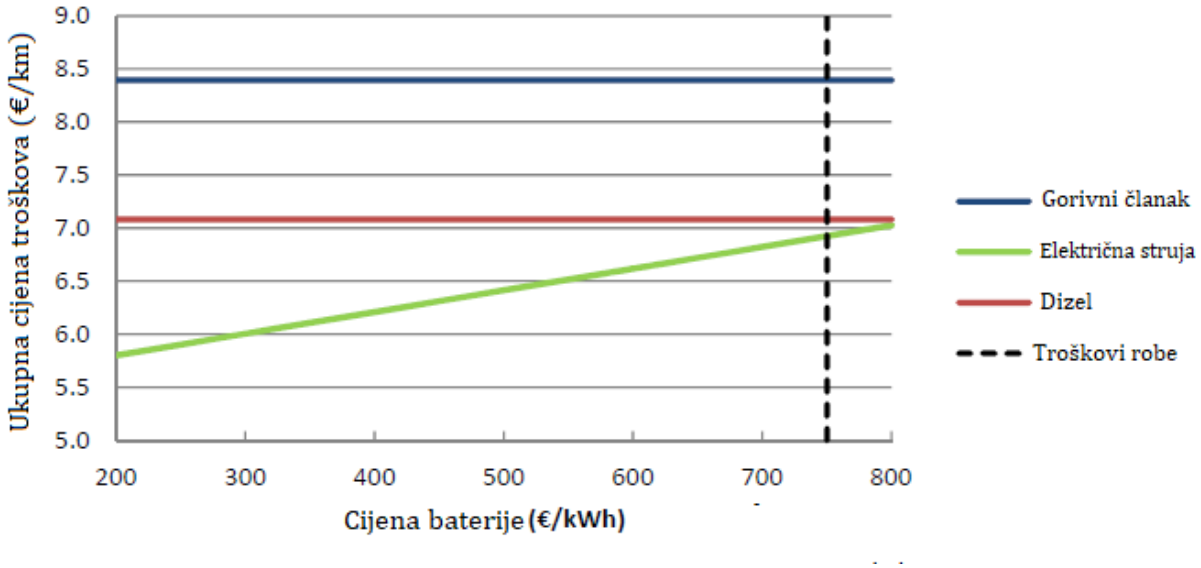
Slika 4.7. Utjecaj cijene vodika na UCT za tri različite učinkovitosti [1]

Na slici 4.8 prikazan je utjecaj cijene plavog dizela na UCT za tri različita goriva. Dok UCT za trajekte pogonjene gorivnim člankom i električne trajekte ostaju isti na 8,4 € / km, odnosno 6,9 € / km, dizelska cijena vrlo je promjenjiva i ovisi o globalnom tržištu. Međutim sve veći broj naftnih polja polako dostiže svoj proizvodni vrhunac, te s obzirom na povećanje svjetske potražnje za energijom i jednostavnom matematikom dolazi se do zaključka da je mogućnost će se cijena nafte povećati što će imati negativan utjecaj na brodove na dizelski pogon.



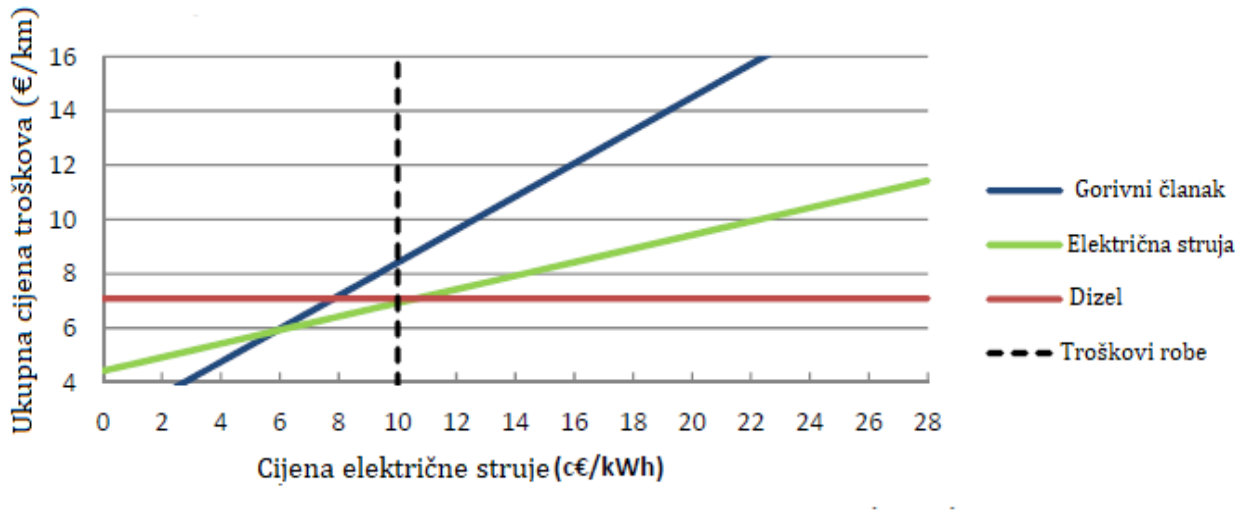
Slika 4.8. Utjecaj cijene plavog dizela na UCT za tri različita goriva [1]

Na slici 4.9 prikazan je utjecaj cijene baterija na UCT za tri različita goriva. Dok je UCT katamarana pogonjenog gorivnim člankom i dizelskog trajekta ista, 8.4 € / km, odnosno 7.1 € / km, cijena baterija trebala bi se u narednim godinama znatno smanjiti zahvaljujući gospodarskim pomacima na globalnoj razini.



Slika 4.9. Utjecaj cijene baterija na UCT za tri različita goriva [1]

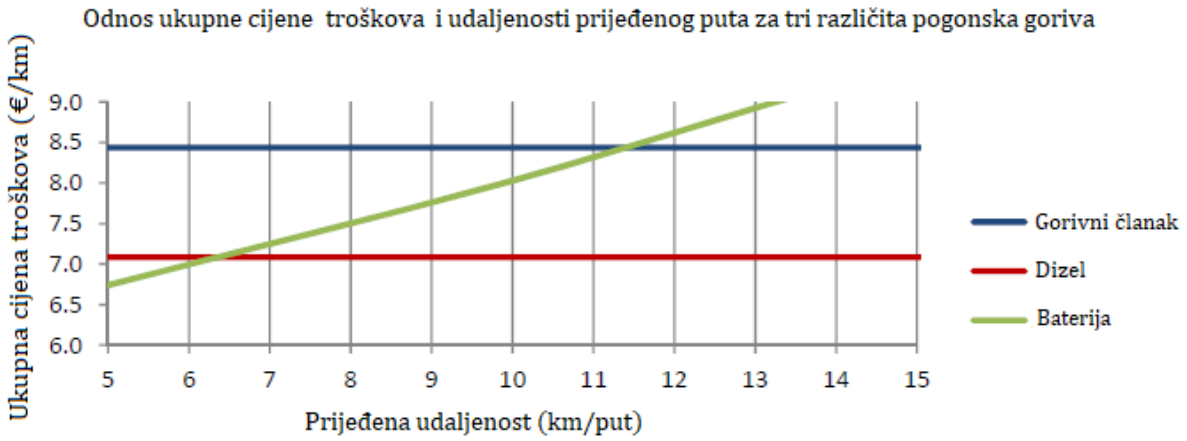
Na slici 4.10 prikazan je utjecaj cijene električne struje na UCT za tri različita goriva. Osim katamarana pogonjenog električnom energijom, funkcija ovog parametra je i katamaran pogonjen gorivnim člankom zbog dobivanja vodika elektrolizom vode. UCT dizelskog katamarana ostaje jednaka, 7,1 € / km. Vrlo je malo vjerojatno da će cijena električne energije pasti ispod 10 c / kWh jer hidroelektrane su jedan od najjeftinijih načina proizvodnje električne energije i predstavlja većinu izvora proizvodnje električne energije u Hrvatskoj. Cijena bi mogla pasti ako se poveća proizvodnja iz ostalih izvora energije kao npr. sunčeva energija i energija vjetra.



Slika 4.10. Utjecaj cijene električne struje na UCT za tri različita goriva [1]

4.4.4. Rezultat drugog istraživanja

Na slici 4.11 prikazan je odnos UCT i udaljenosti prijeđenog puta za tri različita pogonska goriva. Ovdje je UCT katamarana pogonjenog na bateriju sve veća, dok je katamaran pogonjen gorivnim člancima i dizelski katamaran konstantan na 8.43 € / km, odnosno 7.08 € / km.



Slika 4.11. Odnos UCT i udaljenosti prijeđenog puta za tri različita pogonska goriva [1]

4.5. Usporedba s norveškim modelom

Kako je u pomorskom prometu prelazak na alternativne izvore energije kao pogonski sklop neophodan, neke zemlje već uvelike rade na tome. Jedna od njih je i Norveška koja je pred nekoliko godina otvorila brodsku liniju Bergen-Ålesund na kojoj plovi ekološki katamaran s nultom emisijom štetnih plinova.

Uspoređujući rezultate primjene gorivnog članka na relaciji Rijeka-Krk sa norveškim modelom na relaciji Bergen-Ålesund dobiveni su sljedeći rezultati. Hrvatski model ima sličnosti s norveškim, osim što hrvatski model kao pogonski sklop koristi gorivni članak, dok je norveškom modelu izvor struje u baterijskom sklopu. To je temeljna razlika za ova dva istraživana slučaja. Za oba primjera proučavana je ukupna cijena troškova različitih pogonskih goriva za period upotrebe od 10 godina. U projektiranju broda i Norveškoj liniji Bergen-Ålesund mogu se uvidjeti neke različitosti, no u samoj konačnici rezultat ukupne cijene troškova je sličan. Razlike u projektu su što norveški model ima kapacitet borda za 360 putnika i 120 automobila, dok hrvatski model ima kapacitet za 150 putnika. Budući da je udaljenosti između Bergen-a i Ålesund-a manja nego relacija od Rijeke do Krka i iznosi 6km, katamaran ima više dnevnih putovanja, što u ovom slučaju iznosi 34 puta, dok katamaran Rijeka-Krk ima 8 dnevnih linija zbog veće udaljenosti između Rijeke i Krka koja iznosi oko 25km. Norveški trajekt ima veći kapacitet, te služi i za prijevoz automobila, samim time ima i jače pogonske motore koji imaju snagu 450kW, te bateriju snage 1000kW dok hrvatski model ima snagu motora od 140kW i integriranu bateriju od 120kWh. Kada se uzme broj prijeđenih kilometara godišnje, dođe se do brojke između 73000 i 75000 km godišnje za oba slučaja. Budući da je hrvatski katamaran lakši i prevozi manji broj putnika, ali ima motore s manje snage, postignute brzine su između 18 km/h i 18,5 km/h. Iz toga se dobije i dnevni broj radnih sati brodova, pa tako norveški trajekt provede 11 radnih sati u moru, dok hrvatski katamaran provede 5,5 radnih sati u moru.

U nastavku se razmatra ekonomska i ekološka isplativost opisane vrste prijevoza.

4.6. Usporedba primjene gorivnog članka s ostalim gorivima

Prije svega važno je napomenuti da za svaku tehnologiju kupnja goriva predstavlja glavni trošak tijekom životnog vijeka. To je važno zbog količine energije potrebne za svako pojedinačno putovanje i cjelogodišnje putovanje katamarana. Usporedbe radi, u norveškom modelu, UCT dizelskog osobnog automobila iznosi oko 0,2 € / km, a za trajekt UCT je oko 7.1 € / km što je oko 30 puta više.

Započet će se s analizom dizelskog katamarana, zatim električnog katamarana i katamarana pogonjenog gorivnim člancima.

Dizelski pogon ima UCT od 7,1 € / km i gledajući dijagram UCT-a može se vidjeti da 99% ovakve vrste prijevoza je vezana za troškove goriva, a upravo to čini ovu vrstu prijevoza osjetljivu zbog nestabilne cijene plavog dizela na svjetskom tržištu. Važno je napomenuti da je brodski dizel mnogo jeftiniji od klasičnog dizela jer je gorivo manje rafinirano. Zahvaljujući nestabilnosti cijene plavog dizela može se uočiti da čim cijena plavog dizela padne ispod 0,8 €/l, UCT dizelskog katamarana postaje isplatljivija nego katamaran pogonjen na bateriju. S druge strane čim je cijena plavog dizela iznad 1 € / L, dizelski katamaran postaje neisplatljiviji od katamarana pogonjenog gorivnim člancima. Dizelski katamarani mogu se isplatiti za dulje plovidbe, no međutim kako su čak i kratkoročna predviđanja rizična vezana za cijenu plavog dizela, može se sa sigurnošću reći da će se cijena s vremenom sigurno i povećavati.

Električni katamaran s baterijom ima najnižu UCT od 6,9 € / km (-18% od katamarana pogonjenog gorivnim člankom) ako se uzmu u obzir kraće relacije. Unatoč visokoj početnoj investiciji (troškovima infrastrukture i baterijama), troškovi goriva predstavljaju samo 36% UCT. Ta razlika se može objasniti zahvaljujući baterijinoj učinkovitosti koja je oko 85% i koja je danas najučinkovitija tehnologija u smislu energije, a isto tako ima i male troškove električne energije (10 c € / kWh). S obzirom na vijek trajanja baterije, njena potrošnja nema prevelik značaj za UCT, no međutim životni vijek ima dosta utjecaja na cijenu električne energije kao što možemo vidjeti na slici 4.6. Na kraju može se vidjeti da je katamaran pogonjen baterijama koristan samo za kratke udaljenosti zbog niske cijene goriva, dok za srednje i duge izlete ova tehnologija je ograničena zbog povećanja cijena troškova. [1]

Katamaran pogonjen gorivnim člancima ima najveću UCT od 8,4 € / km. Poput dizelskog katamarana, trošak gorivnih članaka uvelike ovisi o cijeni vodika na tržištu koja predstavlja 72,4% svog trenutnog UCT. Taj parametar je vrlo važan da bi ovaj način prijevoza bio konkurentan dizelskom i električnom katamaranu, a to je jedino u slučaju niske cijene vodika (4.2 € / kgH2). Uz cijenu vodika, bitan faktor je i njegova učinkovitost koja varira između 58% za najveću i 40% za najniži postotak učinkovitosti. Ovo istraživanje naglašava potrebu izrade gorivnog članka koji radi na niskoj razini opterećenja s većim stupnjem iskoristivosti.

Zanimljivi podatak sa slike 4.10 nam govori da u slučaju niske cijene električne energije (niža od 6 c € / kWh), električni katamaran će biti skuplji od onoga pogonjenog gorivnim člankom. Ovakav slučaj se može dogoditi u slučaju prekomjerne proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora čime će se postići da cijena električne energije bude niska i pomoću nje će se moći raditi elektroliza vode iz koje će se dobivati vodik. Tada, dijagram na slici 4.6 pokazuje značajan udio troškova infrastrukture (18%) dok katamaran iznosi poput cijele crpke za točenje vodika. Moguće je smanjiti ove troškove infrastrukture ako bi drugi brodovi i automobili dijelili infrastrukturu za napajanje vozila vodikom čime bi se povećala njena isplativost. Iz te perspektive, katamaran pogonjen gorivnim člankom nije pogodan za kratke relacije, no međutim, ako se ulaže u razvoj ovakve tehnologije, on postaje zanimljiv da bude pogonsko gorivo katamaranima na dužim relacijama. Zapravo, katamaran na gorivni članak ima nižu UCT od katamarana na baterije za udaljenosti veće od 11,5km.

4.7. Rezultati analize i zaključci

Zahvaljujući prethodno opisanim rezultatima vidljivo je da je za norveški model električni katamaran najkonkurentniji u odnosu na gorivni članak i dizelski katamaran. Ovaj konačni rezultat je uglavnom zbog visoke potrošnje goriva i niske cijene električne energije. Međutim drugo istraživanje je istaknulo da ovo istraživanje vrijedi samo za kratke relacije kao što i je Bergen-Ålesund. Utvrđeno je da za jako dugačka putovanja, dizelski katamarani postaju najjeftiniji izbor. Što se tiče katamarana pogonjenog gorivnim člancima, ta tehnologija je isplativa za srednje dugačka putovanja i u budućnosti bi se mogla primjenjivati ako bude uvedena u praksu nulta emisija ispuštanja štetnih plinova. Upravo je to razlog zašto se ova tehnologija koristila na relaciji Rijeka-Krk. Tehnologija gorivnih članaka najbolje je moguće

rješenje zbog srednje udaljenosti prijeđenog puta, niske potrošnje, visoke učinkovitosti, a najvažnije, nije štetna za ljude i okoliš.

S druge strane UCT ne odražava sve segmente kao što su raspoloživa nosivost broda, vrijeme punjenja goriva ili fleksibilnost katamarana. Iako električni katamaran ima najzanimljiviju UCT, ima manju nosivost broda za prijevoz putnika i vozila radi baterijskog pogonskog sklopa mase 10 tona, dok je taj isti sklop za gorivne članke težak 7,5 tona. Kao što je već ranije napomenuto, vrijeme punjenja baterija je važno i u norveškom slučaju ono bi iznosilo cijelu noć. Ovo je bitan nedostatak naspram dizela i vodika iz razloga jer njihovo vrijeme punjenja je između 15 i 20 minuta. Kada se uzme da se je ovdje radila pretpostavku za prijevoz putnika, bez tereta i vozila, vidljivo je da je to teško prenijeti na neki drugi tip broda, npr. teretni brod, brod za krstarenje, ribarski brod jer tamo prevladavaju drugačiji parametri, počevši od veličine broda do potrebne infrastrukture na brodu. Za ovakav ekološki brod pogonjen gorivnim člancima, stanica za punjenje je potrebna uz sam katamaran u pristaništu. Zahvaljujući drugom istraživanju, ipak neki od dobivenih parametara mogu se prenijeti na druge tipove brodova, odnosno mogu se generalizirati kao npr. duljina plovidbe. Ovo istraživanje je utemeljeno na nekoliko pretpostavki koje su značajno utjecalo na rezultat, a jedan od bitnijih je trošak održavanja dizelski motora koji je dosta podcijenjen. Isto tako, trošak izgradnje benzinske postaje ne uključuje gradnju ili nabavu zemljišta, što isto ima utjecaj na ovo istraživanje i rezultate. Također je pretpostavljen stalan rad baterije tijekom svog životnog ciklusa, što je vrlo malo vjerojatno. Neki prijedlozi zanimljivih slučajeva za poboljšanje ovih karakteristika navedeni su u nastavku.

4.8. Prednosti i nedostaci modela pogonjenog gorivnim člancima

Pomorski sektor sve više podliježe povećanom pritisku društva za zaštitu okoliša, izraženom kroz razne propise i poreze. Provedba postavljanja katalizatora za obradu otpadnih plinova na brodu neki su od pokazatelja da pomorske kompanije i grupacije sve više skreću pozornost na tu problematiku. Ti propisi najveći značaj stavljaju na uporabu hibridnih pogonskih goriva i goriva s niskim emisijama štetnih plinova u određenim zonama blizu naseljenih područja. Nakon proučavanja različitih goriva i pogonskih sustava, u tu kategoriju spadaju samo dva idealna goriva i jedno koje može bit prolazno. Zahvaljujući svojstvima nulte emisije štetnih plinova i predviđenim troškovima korištenja, tehnologija gorivnih članaka kao i tehnologija korištenja baterija, idealna su pogonska goriva za pomorski sektor u bližoj budućnosti. Vidljiva su ograničenja energije vodika i gorivnih članaka ali s poboljšanjem

karakteristika gorivnog članka i smanjenjem cijene vodika kao i smanjenje cijene implementacije nove infrastrukture, vrlo je vjerojatno da će gorivni članci biti glavni pogonski sklop unutar 10 godina za srednje i duge plovidbe. Isto tako jedna od glavnih prednosti gorivnih članaka je ta što su lakši i fleksibilniji od postavljanja baterijskog sklopa na brodu. Prema ovom istraživanju autor je došao do zaključka da je takav oblik energije vrlo konkurentan dizelskim trajektima, ali ta konkurentnost uvelike ovisi o cijeni vodika i dizela na svjetskom tržištu. Baterija će se zbog svoje težine, male količine skladištenja i prije navedenih troškova, vrlo vjerojatno više koristiti za kraće udaljenosti u pomorskom prometu, u područjima niske emisije ispušnih plinova ili kao izvor energije prilikom praznog hoda u luci.

Primjena gorivnih članaka kao osnovni pogonski sklop čini se kao najbolja opcija. Takav način rada bio bi odličan preduvjet da jednog dana motori s unutarnjim izgaranjem potpuno nestanu i zamjene ih hibridni pogonski sustavi. Druga goriva koja su spomenuta u ovom istraživanju (biogorivo, LPG) ne pružaju dovoljno prednosti u odnosu na njihove nedostatke da bi mogli imati veću i širu uporabu. Ako se gleda s ekonomskog aspekta, čini se da su količina potrošene energije i cijena goriva najvažniji parametri koji se proučavaju. Doista raste udio obnovljivih izvora energije (energija vjetra i sunca) u proizvodnoj mreži zbog čega polako dolazi do pada cijene električne energije, a samim time i proizvodnja vodika. To daje najveću nadu da će se energija vodika uskoro još više komercijalno koristiti.
Na slici 4.11 prikazana je SWOT matrica koja će sažeti sve što je rečeno u ovom istraživanju vezano za korištenje energije vodika i gorivnih članaka. [1]

SWOT - S - Strengths → **prednosti**
W - Weaknesses → **slabosti**
O - Opportunities → **prilike**
T - Threats → **prijetnje**

PREDNOSTI	SLABOSTI
Nikakva ili minimalna emisija štetnih plinova Tihi režim rada Manji broj mehaničkih komponenti Lakše upravljanje nego dizelskim motorom Veća mogućnost proizvodnje vodika Prilagodljiviji dizajn Veća mogućnost izbora gorivnih članaka Brže punjenje retervoara Lakši i fleksibilniji od baterije	Velike sigurnosne mjere opreza prilikom uporabe Manja autonomija Problemi sa skladištenjem Kvaliteta zraka (slanost, vlažnost) za PMFC Opetovani udari u trupu broda Cijena Nedostatak povratnih informacija Rok trajanja
PRILIKE	**PRIJETNJE**
Postojeći projekti s uporabom MCFC-a Brodovi za kratke udaljenosti Isplativost goriva Bolji uvijeti rada za ribarske brodove Rastuća svijetska zainteresiranost za uporabu tehnologije gorivnih članaka Padajuća cijena vodika Nestabilna cijena dizela Udovoljavanje budućim regulativnim zahtjevima glede emisija	Nepotpuni zakoni koji se odnose na upotrebu vodika Konkurencija drugih tehnologija (baterija) Socijalna prihvaćenost Neobrazovanost posade za uporabu s vodikom Nedovoljna infrastruktura

Slika 4.12. SWOT matrica korištenja gorivnih članaka [1]

5. METODIČKI DIO

Osnovna namjena odabira ove teme jest ukazati na jedan od alternativnih izvora energije koji će u bližoj budućnosti poprimit sve veću i širu upotrebu, a to je gorivni članak.. Gorivni članci su jedan od izvora energije koji raspolažu s najširom mogućnosti korištenja, dok s druge strane učenicima treba pobuditi svijest o zaštiti okoliša, te kako su neobnovljivi izvori energije pri kraju svojih resursa, a logični slijed toga je prelazak na jedan od alternativnih izvora energije.

Postojanje nacionalnog kurikuluma važno je za svaku zemlju i njen odgojno-obrazovni sustav. Atribut nacionalni proizlazi iz obrazovnih vrijednosti i ciljeva koji se donose nacionalnim konsenzusom, tj. okosnicu takvog kurikuluma čine nacionalni standardi učenja i poučavanja. Jedni od glavnih problema su zastarjeli nastavni planovi i programi kao i tradicionalistički načini poučavanja. U osnovnim školama, nastavni planovi i programi dijelom su modernizirani prije desetak godina, u vrijeme provođenja HNOS-a, ali u gimnazijama nisu dirani od devedesetih godina prošlog stoljeća.

Prema svojedobnim procjenama stručnjaka, iz programa bi se moglo izbaciti i tridesetak posto gradiva, a u nastavi, djeca su još uvijek objekt, a ne subjekt. Nastava je predavačka, nastavnik izgovori ono što misli da treba, a u obradu nove lekcije rijetko se uključuju učenici. Oni sudjeluju samo kao slušači koji će kući još jednom pročitati lekciju i to kada dođe vrijeme ispitivanja.

Što se tiče edukacije stručne javnosti izvan obrazovnog sustava, mora se biti još aktivniji i angažiraniji. Po tom pitanju se mora više napraviti jer je redovni obrazovni proces dugotrajan i nefleksibilan, a treba djelovati brzo. U doba visoko razvijene tehnologije, mogućnost za održavanjem predavanja, radionica i sličnih događanja s ciljem informiranja i educiranja šire stručne javnosti je velik. Takva vrsta predavanja i radionica je temelj za osiguranje kvalitete, djelotvornosti i sigurne primjene čistih tehnologija gorivnih članaka i općenito novih hibridnih pogonskih tehnologija. Predavanja bi trebala bit organizirana od strane istaknutih stručnjaka i poznavaoca tehnologije gorivnih članaka te raznih predstavnika inovativne industrije i sveučilišta. Najava skupova sa sadržajem programa, uvjetima sudjelovanja bi trebao biti lako dostupan javnosti, te je vrlo važno da se na kraju održanog skupa napravi osvrt sa zaključcima i konkretnim dogovorima za daljnja usavršavanja. To je jedini ispravni put za pobuđivanje svijesti o zaštiti okoliša i prelaska na alternativne izvore energije kao što su gorivni članci.

Primjerice, tvari nastale nuklearnom reakcijom ostaju radioaktivne godinama, sagorijevanjem fosilnih goriva (ugljena, nafte i plina) oslobađa se ugljični dioksid u zemljinu atmosferu, a to sve pospješuje stvaranje efekta staklenika. Europske norme i pravila su sve stroži i kazne za nepoštivanje istih su rigorozne, te je nužna tranzicija na obnovljive izvore energije.

Ovom tematikom se bavi energetika, a učenicima će uvelike olakšati da budu u trendu i sa svojim znanjima potiču razvoj novih alternativnih tehnologija, a to je jedan od ključnih problema zašto se ti oblici energije ne koriste više, nedovoljno znanja kod ljudi.

5.1 Izvedbeni nastavni plan i program

Nastavni predmet: Obnovljivi izvori energije
Broj sati: 70 Školska godina: 2016./2017.

Cilj(evi) programa *(Navesti koje sadržaje, znanja, vještine i vrijednosti će učenik usvojiti i zbog čega će usvojiti – svrha)*

Program predmeta „Obnovljivi izvori energije“ za srednju tehničku školu izrađen je tako da učenika upozna s obnovljivim izvorima energije i njihovom primjenom u svakodnevnom životu. Težište programa je stavljeno na upoznavanje s osnovnim obnovljivim izvorima energije, a to su sunčeva energija, energija vjetra i vode. Cilj obrazovanja iz područja energetike u prvom razredu jest stjecanje osnovnih znanja o obnovljivim izvorima energije i pobuđivanje svijesti učenika o važnosti tih izvora za očuvanje okoliša.

Ishodi učenja (Zadaci) *(Navesti što će učenik nakon obrađenog programa znati, što moći uraditi, te kakve odgojne vrijednosti usvojiti)*

- Razlikovati osnovne vrste obnovljivih izvora energije
- Definirati toplinske aparate i uređaje
- Objasniti što je to energetska učinkovitost
- Samostalno rješavati jednostavne zadatke iz pojedinih tema

- Samostalno sastavljati dijelove vježbi iz pojedinih tema

Materijalno-tehnički uvjeti za izvođenje nastave
(Detaljni opis uvjeta i materijalno-tehničkih sredstava potrebnih za uspješnu realizaciju programa)

Za održavanje nastave iz predmeta „Obnovljivi izvori energije“ potrebna je učionica s dovoljno mjesta za učenike, kao i dovoljno mjesta i materijala za izvođenje vježbi.(spajanje solarnog panela)

Slijedi tablični prikaz plana za 1. razred

redni broj	Sat	Kompleks- tema	Planirano vrijeme			Metode, oblici, sredstva, izvori	Provjera
			Sati		Kalendarski		
			T	V			
1.	2	Uvod u sadržaj predmeta	2		RUJAN	Nastava se izvodi u specijaliziranoj učionici - Frontalni oblik rada - Verbalne metode - Demonstracione metode - - Vježbe u grupama Sredstva: - Slike - Sheme - Grafofolije - Tehnička po magala -Tehnička dokumentacija -Kompjutorski programi -Kompjutorski LCD projektor	Provjera znanja se provodi pisanim ispitom i usmenim ispitivanjem
2.	3	Definicija i vrste energije	1				
3.	4	Izmjenjivači topline	1				
3.1	5	Izmjenjivači u klima uređaju	1				
3.2	6	Podjela izmjenjivača	2				
3.3	7	Ponavljanje gradiva	1				
3.4	8	Sunčeva energija	1		LISTOPAD		
3.5	9	Osnovni podaci o Suncu	1				
4.	10	Mjerenje Sunčeva zračenja, osunčavanja i osvjetljenja	1				
5.	11	Primjena energije Sunca	1				
5.1	12	Pismena provjera znanja	1				
5.2	14	Solarni kolektori	1				
5.3	15	Ponavljanje gradiva	1				
5.4	16	Vrste solarnih kolektora	1				
6.	17	Elementi sustava za proizvodnju toplinske energije	1				
6.1	18	Energetske značajke solarnih zgrada	1				
6.2	19	Solarne elektrane	1		STUDENI		
6.3	20	Instalacija za pripremu potrošne vode	1				
6.4	22	Proračun i shema solarne instalacije	2				
6.5	23	Solarno hlađenje	1				
6.6	24	Ponavljanje gradiva	1				

redni broj	Sat	Kompleks- tema	Planirano vrijeme			Metode,oblici, sredstva, izvori	Provjera
			Sati		Kalendarski		
			T	V			
6.7	25	Pismena provjera znanja	1		PROSINAC	Nastava se izvodi u specijaliziranoj učionici - Frontalni oblik rada - Verbalne metode - Demonstracione metode - - Vježbe u grupama Sredstva: - Slike - Sheme - Grafofolije - Tehnička po magala -Tehnička dokumentacija -Kompjutorski programi -Kompjutorski LCD projektor	Provjera znanja se provodi pisanim ispitom i usmenim ispitivanjem
7.	26	Fotonaponske ćelije	1				
7.1	27	Razvoj i nastanak solarnih ćelija	1				
7.2	28	Izrada solarnih ćelija	1				
7.3	29	Vrste fotonaponskih sustava	1				
7.4	30	Sustavi priključeni na mrežu, otočni i hibridni sustavi	1				
7.5	31	Elementi fotonaponskih sustava	1				
7.6	32	Ponavljanje gradiva	1		SIJEČANJ		
8.	33	Energija iz okoliša	1				
8.1	34	Fizikalne osnove geotermalne energije	1				
8.2	35	Direktno i indirektno korištenje	1				
8.3	36	Izvori topline za dizalice topline	1				
8.4	37	Proračun dizalice topline s ekonomskom analizom	1				
8.5	38	Izvedbe sustava s dizalicom topline	1		VELJAČA		
8.6	39	Ponavljanje gradiva	1				
9.	40	Pismena provjera znanja	1				
9.1	41	Energija vodika	1				
9.2	42	Dobivanje i skladištenje vodika	1				
9.3	43	Gorivni članci i mogućnost njihove primjene	1				
9.4	44	Princip rada i vrste gorivnih članaka	1				
9.5	45	Primjena gorivnih članaka u vozilima i sustavima grijanja objekata	1				
9.6	46	Ponavljanje gradiva	1				
9.7	47	Perspektiva primjene vodika	1		OŽUJAK		

redni broj	Sat	Kompleks- tema	Planirano vrijeme			Metode,oblici, sredstva, izvori	Provjera
			Sati		Kalendarski		
			T	V			
9.8	48	Demonstracija sustava s gorivnim člankom		1	OŽUJAK	Nastava se izvodi u specijaliziranoj učionici - Frontalni oblik rada - Verbalne metode - Demonstracione metode - - Vježbe u grupama Sredstva: - Slike - Sheme - Grafofolije - Tehnička po magala -Tehnička dokumentacija -Kompjutorski programi -Kompjutorski LCD projektor	Provjera znanja se provodi pisanim ispitom i usmenim ispitivanjem
10.	49	Toplinska izolacija objekata uz primjenu alternativnih izvora energije	1				
10.1	50	Koeficijent prolaza topline k	1				
10.2	51	Proračun k	1				
10.3	52	Zadavanje samostalnog rada	1				
11.	53	Energija vjetra	1				
11.1	54	Osnove o prirodi vjetra	1		TRAVANJ		
11.2	55	Ponavljanje gradiva	1				
11.3	56	nastanak, fizikalne značajke	1				
11.4	57	Tehnologije za korištenje energije vjetra	1				
11.5	58	Vrste vjetroagregata	1				
11.6	59	Utjecaj na okoliš i prostor	1				
11.7	60	Vjetroelektrane	1				
11.8	61	Primjena energ. vjetra kod nas i usvijetu	1		SVIBANJ		
11.9	62	Ponavljanje gradiva	1				
12	63	Pismena provjera znanja	1				
13.	66	Energija vodenih površina i tokova	1				
13.1	67	Iznošenje učeničkih referata	3				
13.2	68	Energija pada vode	1				
13.3	69	Energija plime i oseke	1				
	70	Zaključivanje ocjena	1		LIPANJ		

5.2 Nastavna priprema za izvođenje nastave

Škola: Tehnička škola za strojarstvo i brodogradnju Rijeka Mjesto: Rijeka

Razred: 1. (prvi) Zanimanje: Računalni tehničar za strojarstvo

Nastavni predmet: Obnovljivi izvori energije

Nastavna cjelina: Gorivni članak

Podjela kompleksa na teme/vježbe

Redni broj	**Naziv tema u kompleksu**	**Broj sati**	
		Predavanja	**Vježbe**
43	Gorivni članci	1	
44	Princip rada i vrste gorivnih članaka	1	
45	*Primjena gorivnih članaka u prijevozu i drugim sustavima*		*1*
46	Perspektiva primjene vodika	1	

Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice

Formativni- stjecanje vještine primjene gorivnog članka

PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA

Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:

(Navedite što od učenika očekujete na kraju, nakon obrade nastavne građe, zbog čega se građa obrađuje)

Učenici će upoznati svojstva vodika i radne karakteristike gorivnog članka, te samostalno spojiti sve komponente za dobivanje vodika elektrolizom vode.

Ishodi učenja (postignuća učenika koja treba ostvariti za postizanje cilja):

(Posebno upišite obrazovne/materijalne – znanja; funkcionalne – sposobnosti, vještine umijeća; odgojne – stavovi, interesi, navike/ponašanje/, koji su jasno formulirani i jednoznačni te se mogu nedvojbeno provjeriti)

Znanje i razumijevanje (obrazovna postignuća):

Navesti komponente gorivnog članka

Objasniti princip rada gorivnog članka

Objasniti postupak elektrolize vode

Nabrojati svojstva vodika

Vještine i umijeća (funkcionalna postignuća):

Spojiti komponente gorivnog članka

Koristiti solarni panel i bateriju za dobivanje vodika elektrolizom vode

Samostalnost i odgovornost (odgojna postignuća):

Slijediti upute za sigurno spajanje gorivnog članka

oprezno baratati sa svim komponentama vježbe

održavati radno mjesto urednim

Organizacija nastavnog rada – artikulacija metodičke jedinice:

(Pregledno u tablicu upišite, zasebno za uvodni, glavni i završni dio u obliku teza: ŠTO se obrađuje – sadržaj, KAKO se obrađuje – metode rada i KOLIKO se obrađuje – trajanje nastavnog rada)

Uvod:	**priprema za rad:** - materijalno tehnička priprema **najava teme:** - najaviti novu nastavnu jedinicu : *Primjena gorivnih članaka u vozilima i sustavima* motivacija učenika **uvođenje u novi sadržaj:** - podsjećanje na poznate sadržaje - razgovor o obnovljivim i neobnovljivim izvorima energije -razgovor o gorivnim člancima i vodiku	- dijalog o različitim izvorima energije	3'
Glavni dio:	**obrada novog gradiva:** - podsjećanje na princip rada gorivnog članka **praktični dio:** - spajanje gorivnog članka - elektroliza vode solarnim panelom i baterijom - uporaba gorivnog članka i ispunjavanje zadataka	- prisjećanje o gorivnom članku, vodiku i njihovoj uporabi -pokazivanje ključnih elementa gorivnog članka - zaključivanje na temelju dobivenih rezultata	38'

Završni dio:	**sistematizacija sadržaja:** - sistematizacija po ključnim dijelovima sadržaja gradiva - evaluacija rada	- ponavljanje obrađenog gradiva	4'

Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:

(Navedite što je konkretno potrebno i količine koje su potrebne. Izdvojite zasebno sredstva, pomagala i ostalo)

Gorivni članak, destilirana voda, baterija, solarni panel, propeler.

Prostor i materijalni uvjeti rada:

učionica s dovoljno osvjetljenja

Nastavna sredstva i pomagala:

PowerPoint prezentacija

Korelativne veze metodičke jedinice s ostalim predmetima i područjima:

(Navedite nastavni predmet i konkretno područje – temu.)

Energetika – obnovljivi izvori energije

Metodički oblici koji će se primjenjivati tijekom rada:

(Upišite na koji način ćete prezentirati sadržaj u pojedinom dijelu sata ili nastavnog rada)

UVODNI DIO :

Dijalog s učenicima kroz motivaciju i najavu teme koju ćemo obrađivati. Uključiti učenike u razgovor o obnovljivim i neobnovljivim izvorima energije

Podsjećanje na poznato o gorivnom članku i vodiku

GLAVNI DIO :

Izvođenje praktične vježbe

Nadgledanje i provjeravanje učenika tijekom praktične vježbe

ZAVRŠNI DIO

Sistematizacija obrađenoga sadržaja ponavljanjem i najavom nove teme za sljedeći sat

Izvori za pripremanje nastavnika:

(Literatura s potpunim bibliografskim podacima, prikupljenim podacima, uvidom u konkretnu praksu i drugo.)

[1] Rajka Budin, Alka Mihelić-Bogdanić - Izvori i gospodarenje energijom u industriji

Izvori za pripremanje učenika:

(Udžbenik ili/i pomoćna literatura s potpunim bibliografskim podacima i sl.)

[1] Bilješke nastavnika

TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE - NASTAVNI RAD

UVODNI DIO

- **Materijalno-tehnička priprema** - priprema računala, projektora, dokumentacije za učenike i dodatnih materijala (PowerPoint prezentacija).

- Uvođenje u novo gradivo

U dijalogu s učenicima raspravljam o neobnovljivim vrstama energije i obnovljivim. Prilikom razgovora više se baziram na obnovljivim izvorima energije i pitam ih dali znaju koliki je značaj tih izvora. Nakon toga slijedi ponavljanje osnovnih pojmova o gorivnom članku i energiji vodika. Početni razgovor služi kao i motivacija za daljnju temu. Pitanja koja ih pitam su:

Nabrojite mi neke neobnovljive izvore energije i zašto imaju taj naziv?

Nabrojite mi neke obnovljive izvore energije i zašto imaju taj naziv?

Zašto dolazi do sve veće uporabe obnovljivih izvora energije?

Objasnite mi princip rada gorivnog članka.

Zašto se koristi vodik kao gorivo u gorivnom članku?

Nakon motivacije učenika najavljuje se današnja tema nastavne jedinice te naslov piše na ploču*:*

Primjena gorivnih članaka u prijevozu i drugim sustavima

GLAVNI DIO

Da se nadovežem na početak sata učenike pitam da li ih gorivni članak podsjeća na nešto slično. Očekivani odgovor je da ih asocira na galvanski članak na što se ja nadovezujem. Gorivni

članak je elektrokemijski uređaj za izravnu pretvorbu kemijske energije u električnu energiju. Ovaj kemijski proces suprotan je procesu elektrolize vode ali je rad gorivnog članka sličan radu baterije (galvanskog članka), no u ovom slučaju zahtijeva se stalan dotok "goriva" i kisika. Često je rezultat reakcije u gorivnom članku isti kao da je gorivo izgorjelo u oksidansu uz izravnu pretvorbu kemijske energije u toplinsku. Od tuda i slijedi naziv gorivni članak. Ima nekoliko brsta gorivnih članaka a one su:

Nakon što smo rekli princip rada gorivnog članka, nastavnik piše na ploču vrste, a učenici u svoje bilježnice.

Alkalni gorivni članak - AFC
Gorivni članak s protonskom membranom - PEMFC
Gorivni članci s metanolom - DMFC
Gorivni članak s fosfornom kiselinom - PAFC
Gorivni članak s tekućim ugljikom - MCFC
Gorivni članak s čvrstofaznim oksidom - SOFC

Nakon obrađenih glavnih pojmova vezanih uz gorivni članak prelazimo na praktičnu vježbu. Nastavnik učenicima daje laboratorijski list, informacijski list i instrukcijski list. Učenici se raspoređuju u grupe po 4 tako i svaka grupa dobiva jedan gorivni članak s komponentama, bateriju, solarni panel i destiliranu vodu. Cilj ove vježbe je vidjeti konkretan rad gorivnog članka i popuniti sljedeće zadatke. Izračunati napon u jedinici vremena koji se javlja na gorivom članku prilikom spajanja elektromotora, odnosno „vjetrenjače" u 3 slučaja: a) gorivi članak spojen na bateriju, b) gorivi članak spojen na solarni panel izložen sunčevoj svjetlosti, c) gorivi članak spojen na solarni panel izložen dnevnoj svjetlosti u prostoriji.

Učenici nakon provedenih ispitivanja popunjavaju dobivene tablice i odgovaraju na pitanja. Za vrijeme provođenja vježbe nastavnik obilazi učenike i nadgleda njihov rad.

ZAVRŠNI DIO

Završni dio se sastoji od evaluacije učeničkih radova, donošenja zaključaka na temelju vježbe te letimičnog ponavljanja najvažnijih pojmova gradiva ukoliko ostane dovoljno vremena za to.

Dokumentacija za učenike

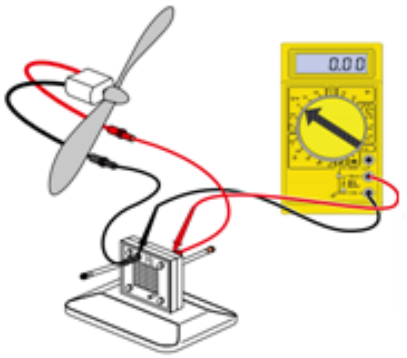
Vježba 6. Laboratorijska vježba u nastavi politehničkog sadržaja

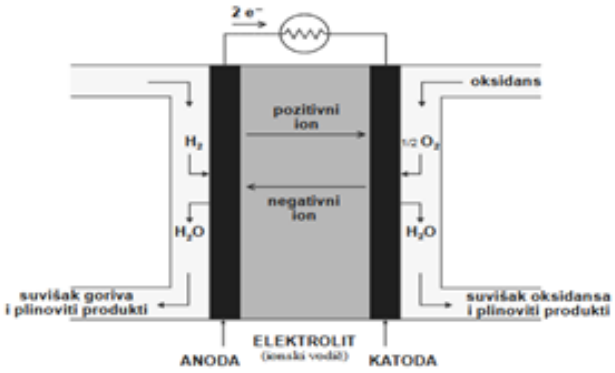
Laboratorijski list	*Naziv vježbe:* *GORIVI ČLANAK*	*Student/Učenik:*

1. Radni zadatak

Izračunati napon u jedinici vremena koji se javlja na gorivom članku prilikom spajanja elektromotora, odnosno „vjetrenjače" u 3 slučaja: a) gorivi članak spojen na bateriju, b) gorivi članak spojen na solarni panel izložen sunčevoj svjetlosti, c) gorivi članak spojen na solarni panel izložen dnevnoj svjetlosti u prostoriji.

2. Skica vježbe ili shema spoja





3. Sredstva za izvođenje vježbe

1) Gorivi članak
2) Sprica za dodavanje vode
3) Destilirana voda
4) Solarni panel
5) Posude za vodu
6) Elektromotor
7) Krilca
8) Voltmetar

4. Tijek rada *(kraći opis provedbe vježbe)*

Pripremiti potrebna sredstva: gorivi članak, destiliranu vodu, voltmetar, solarni panel, elektromotor i posude za vodu. Postaviti vježbu prema instrukcijskom listu i izvršiti tražena mjerenja. Na kraju vježbe rješiti pitanja te napisati osvrt na vježbu.

Slika 5.1 Laboratorijski list

Informacijski list	*Naziv vježbe:*	*Student/učenik:*

1. Potrebne informacije o subjektu vježbe *(o onom što se promatra, ispituje ili spaja)*

U zadatku se promatra količina dobivene energije u gorivom članku prilikom spajanja istog na bateriju i solarni panel. Potrebno je primjetiti kojom brzinom se izvodi faza punjenja i faza pražnjenja gorivog članka, te objasniti zašto dolazi do te razlike.

2. Potrebne informacije o uređajima, instrumentima i priboru za izvođenje vježbe

Princip rada gorivnog članka može se najlakše objasniti na sustavu s vodikom kao gorivom i kisikom kao oksidansom, kao što smo radili u ovoj vježbi. Kada se vodik i kisik u plinskom stanju dovedu u kontakt i aktiviraju, oni reagiraju, spajaju se u vodu i oslobađaju energiju: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ + energija.
U gorivnom članku ta se ukupna reakcija sastoji od dviju reakcija, od kojih svaka teče na jednoj elektrodi. Na anodi se oksidira vodik i oslobađaju se elektroni. Elektroni se vode kroz vanjske vodiče preko trošila na katodu, gdje se reducira kisik.

3. Zaštita na radu *(opis korištenja posebnih sredstava za rad)*

Prilikom izvođenja ove vježbe potrebno je oprezno rukovati s multimetrom i paziti da uređaj ne dođe u doticaj s destiliranom vodom.

Slika 5.2 Informacijski list

Instrukcijski list	*Naziv vježbe:*	*Student/učenik:*

Red. br.	**Instrukcija** *(postupak, operacija)*	**Ključni momenti**
1)	Odrezati komad crijeva i spojiti na gorivi članak.(oznaka O_2) Putem šprice kroz gumu ubrizgati destilirane vode sve dok se ne počne izlijevati van. Pustiti da miruje 2-3 minute.	- pripaziti da se točno spaja crijevo
2)	U dvije posude naliti destilirane vode do razine 0. Na vrhove spojiti crijevo i odrezati na dužinu približno 20cm. Ukoliko se razina vode pomakne, pripaziti da bude na 0.	- pripaziti da je razina vode točno na 0.
3)	Spojiti crijeva na gorivi članak po principu, vodik s vodikom i kisik s kisikom. (oznake su na posudama i gorivom članku)	- pripaziti da su crijeva točno spojena
4)	Preostale ulaze spojiti na bateriju ili solarni panel, prilikom čega će se pojaviti mjehurići koji će označiti početak reakcije u gorivom članku. Kada se mjehurići počnu pojavljivati u posudi s oznakom vodika, znači da je proces završio.	- pratiti početak pojavljivanja mjehurića
5)	Spojite motor s krilcima na gorivi članak i provjerite zakreću li se zakrilca. Spojite mjerne uređaje i provjerite koliki se napon javlja. Vremenski pratiti trajanje zakretanja ventilatora	- točno spojiti mjerni uređaj i vremenski pratiti trajanje reakcije u gorivom članku
6)	Zapisati očitane vrijednosti prilikom spajanja gorivog članka na bateriju, na solarni panel izložen sunčevoj svjetlosti, na solarni panel izložen dnevnoj svjetlosti	- pratiti promjene za sve 3 situacije

Slika 5.3 Instrukcijski list

Laboratorijski list 2	*Naziv vježbe:*	*Student/učenik:*

1. Obrada rezultata *(potrebni grafikoni, sheme, proračuni, opisi i zaključci)*

Popuniti sljedeću tablicu prema očitanim mjerenjima:
U tablici je potrebno napisati napon i vrijeme punjenja i pražnjenja gorivog članka. Nakon popunjene tablice, grafički prikazat odnos napona i vremena za period pražnjenja. *(Prilikom faze pražnjenja u tablici su tamnije označena polja koja treba popuniti prateći zadane vrijednosti jer su potrebne za crtanje dijagrama.)*

BATERIJA	SOLARNI PANEL IZLOZEN SUNCU	SOLARNI PANEL IZLOZEN DNEVNOJ SVJETLOSTI
$U_{PUNJENJA}$ =	$U_{PUNJENJA}$ =	$U_{PUNJENJA}$ =
$t_{PUNJENJA}$=	$t_{PUNJENJA}$=	$t_{PUNJENJA}$=
$U_{PRAŽNJENJA}$ =	$U_{PRAŽNJENJA}$ =	$U_{PRAŽNJENJA}$ =
$t_{PRAŽNJENJA}$=	$t_{PRAŽNJENJA}$=	$t_{PRAŽNJENJA}$=
t_1 =	**t_1 =**	**t_1 =**
U_1 =	**U_1 =**	**U_1 =**
t_2 =	**t_2 =**	**t_2 =**
U_2 =	**U_2 =**	**U_2 =**
t_3 =	**t_3 =**	**t_3 =**
U_3 =	**U_3 =**	**U_3 =**
t_4 =	**t_4 =**	**t_4 =**
U_4 =	**U_4 =**	**U_4 =**
η_t=	η_t=	η_t=
η_U=	η_U=	η_U=

Slika 5.4 Laboratorijski list 2

Laboratorijski list 3	*Naziv vježbe:*	*Student/učenik:*

DIJAGRAM OČITANIH REZULTATA

Slika 5.5 Laboratorijski list 3

Izgled ploče

(Skicirati potpuni izgled ploče nakon obrađene teme /naslov, skice, crteži, tekst/ .)

Primjena gorivnih članka u vozilima i sustavima

Podjela:

Alkalni gorivni članak - AFC

Gorivni članak s protonskom membranom - PEMFC

Gorivni članci s metanolom - DMFC

Gorivni članak s fosfornom kiselinom - PAFC

Gorivni članak s tekućim ugljikom - MCFC

Gorivni članak s čvrstofaznim oksidom - SOFC

_____

(potpis studenta)

*Pregledao:_____

*Datum:_____

Osvrt na izvođenje:

(Sažet kritički osvrt na sadržajnu, stručno – teorijsku, organizacijsko – tehničku i subjektivnu komponentu vođenja nastavnog procesa.)

*Ocjena:_____ _____

_____

(Potpis ocjenjivača) (Datum)

* Popunjava se ako se obrazac koristi za nastavnu praksu studenata.

6. ZAKLJUČAK

Složena energetska situacija, uvjetovana vrlo brzim smanjivanjem zaliha fosilnih goriva i sve većim ekološkim prijetnjama uvjetovala je potrebu za iznalaženjem novog energenta, odnosno pogonskog goriva koje će biti ujedno i ekonomično, a i bezopasno za okoliš i atmosferu. Takav uvjet savršeno zadovoljava vodik koji svojim karakteristikama i dostupnošću te povoljnim utjecajem na okoliš predstavlja gorivo budućnosti.

Ovim radom je analizirana moguća primjena gorivnih članaka za pogon na katamaranskoj liniji Rijeka-Krk.

U Hrvatskoj bi najrelevantniji način dobivanja vodika mogao biti elektrolizom vode zahvaljujući dostatnoj vodenoj pokrivenosti Hrvatske i potencijalu dobivanja električne struje iz obnovljivih izvora energije. Također, PEMFC se čini najprikladnijom vrstom gorivnog članka u pomorskom sektoru iz razloga jer nema puno tehničkih prepreka za korištenje, iako se nedovoljno razvija zbog konkurentnosti drugih alternativnih izvora energije (baterija), nedovoljne edukacije ljudi i slabo razvijene infrastrukturne mreže. Kao nada za skorim korištenjem energije gorivnih članaka može biti sve veći pritisak udruga za zaštitu okoliša na smanjenje emisija štetnih plinova i nesigurna cijena dizela, kojim se pogoni velika većina pomorskog prometa.

Ovo istraživanje, pokazuje da je manja potrošnja goriva prednost baterije, dok katamaran pogonjen gorivnim člankom ima veću fleksibilnost i veći doseg. Upravo kombinacija gorivnih članaka i baterijskog sklopa mora biti budućnost pomorskog prijevoza koji bi zajedničkim djelovanjem sakrivali pojedine mane i pokazali se kao najbolje rješenje za ljude i okoliš. Osim pomorskog prometa, gorivne članke je moguće primijeniti i u nekim drugim oblicima prijevoza, npr. cestovnom. Kako se ta tehnologija i razvija najvećom brzinom i postoje komercijalne uporabe gorivnih članaka u svijetu, za očekivati je da će se pomorski promet nadograditi na cestovni u smislu korištenja infrastrukture i transporta vodika. Raspon korištenja gorivnih članaka u pomorskom sektoru je velik, što je i obrađeno u ovom radu. Iako je ovo istraživanje uzeto na primjeru domaće male obalne plovidbe koju treba razvijati, dobiveni rezultati i analize primjenjivi su za većinu država u europskom i svjetskom kontekstu.

Planiranje razvoja energetskog sustava u budućnosti mora se provoditi uz uvažavanje sve većih ekoloških problema. Buduće generacije zaslužuju živjeti u čistom okolišu, pa je potrebna tranzicija, no nikada nije kasno donijeti bolje zakone, uvesti strože kazne za kršenja pravila o onečišćenju i nikada nije kasno započeti živjeti bolje i odgovornije. Ispuh vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem je toksičan, a alternative postoje. Ljudi ne trebaju fosilna goriva da prežive kao vrsta, ali voda i kisik su životne potrepštine. Kada se okoliš onečišćuje, nisu ugroženi samo ljudi, već i ostatak vrsta na Zemlji.

7. LITERATURA

[1] Karel Ludovic Hubert – „Economic and technical assessment of hydrogen and fuel cells opportunities in the Norwegian transport sector“

[2] „Coal“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/Coal , 5.rujna 2017

[3] „Naftno postrojenje Urinj“, s Interneta, https://www.google.hr/search?client=firefoxb&biw=1280&bih=915&tbm=isch&sa=1&q=naftno+postrojenje+urinj&oq=naftno+postrojenje+urinj&gs_l=psyab.3...2391.3218.0.3520.6.6.0.0.0.0.111.536.5j1.6.0....0...1.1.64.psyab..0.0.0.Lxlzld_WA5c#imgrc=n3SxLnGxkCnOwM, 5.rujna2017

[4] „Nacionalni portal energetske učinkovitosti“ s Interneta, https://www.enu.hr/ee-u-hrvatskoj/20-20-20-i-dalje/rezultati/energija-hr/ , 5.rujna 2017

[5] „Naš vrhunski znanstvenik otkriva u čemu Hrvatska može biti svjetski lider“, s Interneta, https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/nas-vrhunski-znanstvenik-otkriva-u-cemu-hrvatska-moze-biti-svjetski-lider-20160105 , 5.rujna 2017

[6] „Building trust in fuel cell hydrogen safetys“, s Interneta, http://cordis.europa.eu/news/rcn/122218_en.html, 5.rujna 2017

[7] Energijske tehnologije – Fakultet elektrotehnike i računarstva – Zavod za visoki napon i energetiku

[8] „Fuel cell“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell, 5.rujna 2017

[9] Dr. sc. Ante Jukić – Gorivni članci, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

[10] „hydrogen fuel“, s Interneta, https://www.google.hr/search?client=firefoxb&biw=1280&bih=915&tbm=isch&sa=1&q=hydrogen+fuel&oq=hydrogen+fuel&gs_l=psyab.3..0i19k1l4.20156.24633.0.24793.13.13.0.0.0.0.103.1198.12j1.13.0....0...1.1.64.psyab..0.13.1197...0.t1pHTXz5ZRY#imgrc=AIxXTw7LVIMMiM, 5.rujna 2017

[11] „hydrogen tank“, s Interneta, https://www.google.hr/search?client=firefoxb&biw=1280&bih=915&tbm=isch&sa=1&q=hydrogen+tank&oq=hydrogen+tank&gs_l=psyab.3..0i19k1l4.8314.9190.0.9397.4.4.0.0.0.0.104.86.3j1.4.0....0...1.1.64.psyab..0.4.385...0j0i30k1.n52hACBXdEY#imgrc=08JJkAwYyOpfoM, 5.rujna 2017

[12] „Kawasaki and Shell team on liquefied hydrogen ships“, s Interneta, http://www.marinelog.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=10704:kawasaki-and-shell-team-on-liquefied-hydrogen-ships&Itemid=257, 5.rujna 2017

[13] „propulzija broda“, s Interneta, hidra_09_vrste_propulzora_propeleri_uvod-1.pdf , 5.rujna 2017

[14] „Nemo H2“s Interneta, https://www.pinterest.com/pin/520306563170037940/?lp=true, 5.rujna 2017

[15] „the Viking lady“s Interneta, http://gcaptain.com/tag/viking-lady/, 5.rujna 2017

[16] „pramčani propeler“, s Interneta, https://www.google.hr/search?q=pram%C4%8Dani+propeler&client=firefoxb&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjwxNDOte3VAhUI7RQKHUjcBBoQ_AUICigB&biw=1280&bih=915#imgrc=jng277L09ML_oM, 5.rujna 2017