

Postrojenje s gorivim člancima

Diklić, Anamarija

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:087795>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI
ODSJEK ZA POLITEHNIKU

POSTROJENJE S GORIVNIM ČLANCIMA
(Diplomski rad)

Mentor:

Doc. dr. sc. Tomislav Senčić

Studentica:

Anamarija Diklić

Rijeka, 2015.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Pristupnik: Anamarija Diklić

Studij: **Sveučilišni diplomski studij politehnike i informatike (nastavnički smjer)**

Naslov diplomskog rada: **Postrojenje s gorivnim člancima**

Kratak opis zadatka:

Gorivi članci prema mnogim autorima predstavljaju tehnologiju dobivanja energije budućnosti, unatoč mnogim tehničkim problemima koji ju prate. Iako još nisu zaživjeli, potiče se instalacija eksperimentalnih postrojenja kako bi se stimulirao razvoj. Rad treba obuhvatiti:

- uvodni dio o razlozima primjene alternativnih izvora energije te o tehnologiji gorivih članaka,
- procjenu i proračun potrebne toplinske i električne energije
- odabir tehnologije gorivih članaka uz obrazloženje
- shemu postrojenja s gorivnim člancima

Zadatak uručen pristupniku: **11. ožujka, 2015. godine**

Diplomski rad predan:

Datum obrane diplomskog rada:

Članovi ispitnog povjerenstva: 1. predsjednik - _____

2. mentor - _____

3. član - _____

Konačna ocjena: _____

Mentor

doc. dr. sc. Tomislav Senčić

Izjava

Izjavljujem da sam diplomski rad izradila samostalno, koristeći se vlastitim znanjem i dostupnom literaturom.

U radu mi je pomagao svojim savjetima i uputama mentor diplomskog rada doc. dr. sc. Tomislav Senčić te mu se iskreno zahvaljujem.

Anamarija Diklić

Zahvala

Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Tomislavu Senčiću na ukazanom povjerenju i pomoći oko izrade diplomskog rada.

Također se zahvaljujem Ivanu Grguriću, Lovri Liveriću i Ivanu Oplaniću koji su mi bili od velike pomoći pri izradi diplomskog rada.

Hvala mojoj prijateljici Moreni Poljančić koja je uvijek tu za mene.

Najveće hvala mojim dragim roditeljima i bratu koji su bili moja vjerna podrška i potpora.

SAŽETAK

U današnjem se svijetu javlja sve veća potreba za energijom. Većina energije koju danas koristimo dolazi iz fosilnih goriva koja osim što su neobnovljiva i što ima treba nekoliko tisuća godina da se obnove, jedni su od najvećih zagađivača našeg okoliša. Svijet se nalazi pred teškim problemima: kako smanjiti onečišćenja zraka i emisija stakleničkih plinova u atmosferu zbog čega nastaje globalno zatopljenje, ozonske rupe, kisele kiše i ostale negativne posljedice. U posljednjih nekoliko godina počelo se sve više istraživati i ulagati u obnovljive izvore energije (sunce, vjetar, plimu i oseku, i ostali obnovljivi izvori) koji ne zagađuju naš okoliš i koji su sveprisutni.

Cilj je ovog diplomskog rada prikazati razloge korištenja obnovljivih izvora energije te pobliže objasniti tehnologiju gorivnih članaka koja se temelji na vodikovoj tehnologiji, a predstavlja još jednu alternativu osim obnovljivih izvora energije. Također prikazat će se proračun i postrojenje za dobivanje električne i toplinske energije pomoću gorivnih članaka za opskrbu hotela.

Ključne riječi: fosilna goriva, onečišćenje okoliša, obnovljivi izvori energije, postrojenje s gorivnim člancima

SUMMARY

In today's world there is a growing need for energy. Most of the energy we use today comes from fossil fuels. Not only is it non-renewable and takes be several thousand years to restore but it is, one of the biggest polluters of our environment. The world is facing severe problems: how to reduce air pollution and the greenhouse gas emissions into the atmosphere which cause causing global warming, the ozone hole, acid rain and other adverse effects. In recent years we increseangly began to invenst in and explore renewable energy sources (the sun, wind, tide, and other sources) that do not pollute our environment and are on present.

The aim of this M.A. thesis is to show the uses of renewable energy sources and to explain the technology of fuel cells based on hydrogen technology as another alternative to renewable energy sources. Will be presented in the thesis. A budget and a plant for the production of electric and heat energy using fuel cells to supply the hotel.

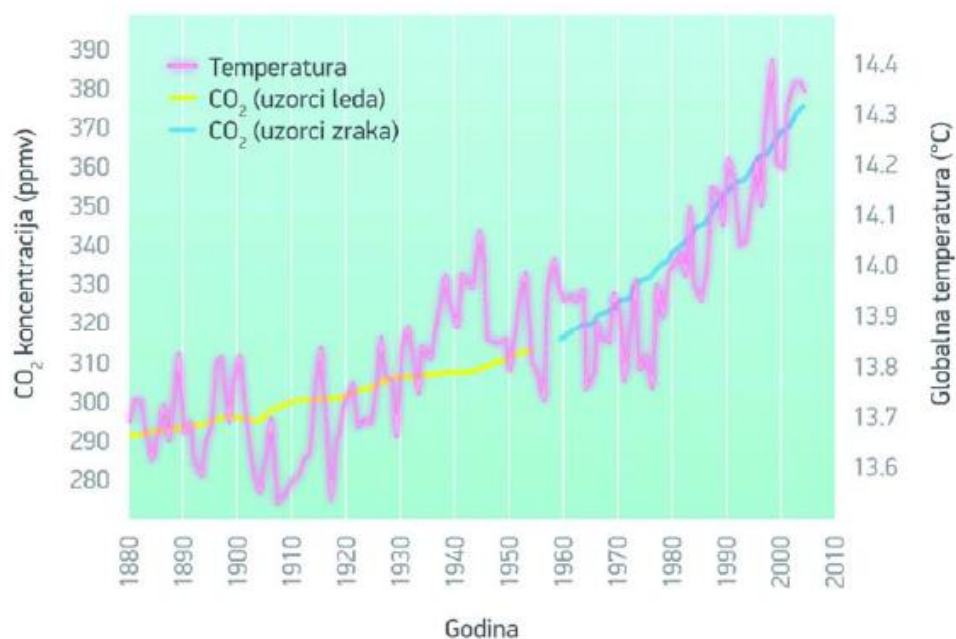
Keywords: fossil fuels, pollution, renewable energy, the plant with fuel cells

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Problemi vezani za fosilna goriva	3
1.2. Protivnici teze o globalnom zatopljenju	5
2. Energetska učinkovitost	8
3. Tehnologija gorivnih članaka	10
3.1. Općenito o gorivnim člancima	10
3.2. Princip rada gorivnih članaka	12
4. Vrste gorivnih članaka	13
4.1. Vrste gorivnih članaka prema radnoj temperaturi	13
4.2. Vrste gorivnih članaka prema načinu rada	14
4.3. Vrste rada prema vrsti elektrolita	15
4.4. Tržišne izvedbe gorivnih članaka	17
4.4.1. Podjela gorivnih članaka prema ostalim kriterijima	21
4.5. Gorivni članci u sklopu postrojenja s obnovljivim izvorima energije	25
5. Vodik	26
5.1. Proizvodnja vodika	26
5.1.1. Proizvodnja vodika elektrolizom vode	27
5.1.2. Proizvodnja vodika katalitičkim reformingom prirodnog plina ...	28
5.2. Skladištenje vodika	29
5.3. Prijevoz vodika	29
5.4. Mjere opreza pri korištenju vodika	29
6. Prednosti i nedostaci gorivnih članaka	31
7. Proračun električne i toplinske energije za opskrbljivanje hotela	32
7.1. Proračun transmisijskih gubitaka	32
7.2. Proračun električne energije	40
8. Odabir tehnologije	43
9. Nacrt postrojenja s gorivnim člancima u hotelu	44
10. Zaključak	45
11. Metodički dio	47
11.1. Priprema za nastavu	50
12. Literatura	65

1. Uvod

Današnjem svijetu treba sve više i više energije što predstavlja jedan od bitnih globalnih problema. Upravo povećanje potrošnje energije i smanjene rezervi energenata dovodi do sve većeg zagađenja okoliša te povećanja političke nestabilnosti područja u kojima se nalaze najveće zalihe energije. Najviše energije danas se dobiva iz fosilnih goriva (nafta, ugljen, plin). Fosilna goriva su neobnovljivi izvori energije kojima treba i po nekoliko milijuna godina da bi ponovno nastali. Ono što zabrinjava svijet su ograničene rezerve fosilnih goriva, a predviđa se da bi se za 50-100 godina mogle iscrpiti posljednje rezerve nafte i plina [1]. Energija iz fosilnih goriva dobiva se njihovim izgaranjem, prilikom čega nastaju otrovni i štetni plinovi kao što su ugljikov monoksid, ugljikov dioksid, sumporov dioksid, dušikovi oksidi i mnogi drugi. Mnogi stručnjaci kao jednog od glavnih krivca za globalno zatopljenje smatraju upravo staklenički plin CO₂ koji nastaje sagorijevanjem fosilnih goriva (slika 1) [2].



Slika 1. Koncentracija CO₂ i promjena globalne klime

Kako se globalno zatopljenje također smatra jednim od većih problema koji zahvaća čovječanstvo u nastavku su navedene neke od posljedica globalnog zatopljenja:

- doći će do podizanje razine mora i oceana
- povećanja broja ekstremnih vremenskih događaja (više oluja, vrućina, poplava, itd)

- topljenjem glečera prvo će se povećati dotok vode, a zatim će doći do nestašice vode
- širenje raznih bolesti kojima će pogodovati visoke temperature i toplija okolina
- bioraznolikost, izumrijeti će one biljne ili životinjske vrste koje se se neće moći prilagoditi novoj klimi

Iz tih razloga, ali i mnogih drugih razloga koji će kasnije biti detaljnije opisani nastoji se težiti energetskej učinkovitosti koja podrazumijeva učinkovitu upotrebu energije koja ne narušava uvjete u kojima živimo, s ciljem da se smanji količina potrošnje energije što za sobom povlači i smanjenje zagađenja okoliša. Svjedoci smo stalne promjene cijene sirove nafte. Činjenica je da je nesigurnost u cijenu nafte probudila sve veće zanimanje za obnovljivim izvorima energije.

U budućnosti, civilizacije će biti prisiljene na istraživanje i razvoj obnovljivih (alternativnih) izvora energije (energije sunca, energije vjetra, geotermalne energija, energija vode, vodik itd). Prednost obnovljivih izvora je prvenstveno u smanjenju emisije stakleničkih plinova ali i povećavanju energetske održivosti sustava [1]. Neki od najpoznatijih obnovljivih izvora energije su: sunčeva energija (koja svjetlost pretvara u toplinsku i/ili električnu energiju), energija vjetra (koja kinetičku energiju pretvara u električnu energiju), geotermalna energija (koja unutarnju toplinu pretvara u toplinsku i/ili električnu energiju), vodik (koji nije izvor energije, već medij za skladištenje i prijenos energije koji privlači sve veću pažnju mnogih stručnjaka) i drugi. Da bi čovječanstvo zadovoljilo potrebu za energijom mnoge tvrtke u energetskej industriji traže nove načine dobivanja energije iz obnovljivih izvora. Postotak obnovljivih izvora koji trenutno proizvode električnu energiju je relativno malen, ali u budućnosti bi se taj udio trebao znatno povećati jer je neobnovljivih izvora sve manje, a i sve su skuplji. Sredstva koja su usmjerena u istraživanje i instalacije postrojenja sa obnovljivim izvorom energije su izuzetno mala u odnosu na sredstva koja se izdvajaju za kupovinu, transport, rafiniranje i distribuciju fosilnih goriva. Ulaganje u obnovljive izvore energije (vjetar, sunce, voda i biomasa) trebao bi predstavljati jedan od temeljnih pravaca razvoja energetike jer predstavljaju neiscrpnu vrstu energije koja se nalazi u prirodi i obnavlja se u potpunosti ili djelomično [1]. Razvoj obnovljivih izvora energije važan je iz nekoliko razloga, a to su vrlo važna uloga u smanjenju emisije ugljičnog dioksida u atmosferu, povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetskej održivost sustava (smanjuje se uvoz

energetskih sirovina i električne energije) te se očekuje da će postati ekonomski konkurentni konvencionalnim izvorima energije [23]. Neke od tehnologija (energija vjetra, male hidroelektrane, biomasa, sunčeva energija) su već sada ekonomski konkurentne. Proces prihvaćanja i uvođenja novih tehnologija vrlo je spor, a glavni razlog tome je početna cijena instalacije takvih postrojenja. Upravo taj razlog podiže cijene dobivene energije u prvih nekoliko godina što opet dovodi do korištenja konvencionalno dostupnih izvora energije. Trenutno najzanimljiviji obnovljivi izvori energije su energija vjetra, Sunca, vode i energija biomase.

1.1. Problemi vezani uz fosilna goriva

Obično kad se postavi pitanje vezano za fosilna goriva i ekološke probleme, prvo na što se pomisli su kisele kiše i globalno zatopljenje kojima su glavni uzročnici štetni plinovi koji se javljaju pri sagorijevanju fosilnih goriva, no postoji cijeli niz problema koji mogu pogubno utjecati na naš okoliš. Problemi se javljaju i pri samom vađenju, transportu, skladištenju te proizvodnji energije iz fosilnih goriva (ugljen, nafta, prirodni plin). No isto tako moramo biti svjesni da je bez fosilnih goriva nezamisliva današnja industrija i tehnologija [3]. Osim spomenutih ekoloških problema fosilna goriva imaju gospodarski i društveni utjecaj.

Ekološki problemi koji se javljaju uz fosilna goriva su [3]:

- globalno zatopljenje
- kisele kiše
- onečišćenje zraka
- izlivanje nafte
- zdravstveni problemi ljudi - udisanjem štetnih ugljikovodika, dušikovih oksida i čestica koje uzrokuju kronični bronhitis, bol u prsima, smanjenje funkcija pluća, oštećenje živaca, urođene mane, invalidnost, rak, pa čak i smrt)
- onečišćenja krajolika koja se javljaju pri eksploataciji nafte i plina, a mogu prouzrokovati nepovratne štete za krajolik

Mnogim ovdje navedenim problemima najveći krivci su štetni i otrovni plinovi (ugljični monoksid, ugljični dioksid, sumporov dioksid, dušikovi oksidi) koji nastaju izgaranjem fosilnih goriva.

Kisele kiše mogu utjecati na cijeli biosustav. Nastaju vezanjem sumpor i dušik oksida s vodenom parom koje potom u obliku padalina padaju na Zemlju. Kisele kiše predstavljaju jedan od najvećih uzroka odumiranja šuma. Sumporov dioksid u spoju s vodom ima pogubno djelovanje na čitavu floru. Osim za šume kisele kiše ozbiljno zagađuju i vode kojima se drastično smanjuje pH vrijednost. Smanjenje pH vrijednosti dovodi do izumiranja mikroorganizama i problema pitke vode. Još neki od problema koji se javljaju uz kisele kiše osim navedenih su: zdravstveni problemi ljudi (kada štetne čestice kiša uđu u voće, povrće, vodu i životinje koje ljudi kasnije konzumiraju ozbiljno narušavaju zdravlje), oštećenje boje na automobilima, narušavanje vidljivosti (ispunjavajući zrak sitnim česticama).

Postoji nekoliko vrsta onečišćenja zraka nastalih upotrebom fosilnih goriva, ali najvažniji od njih je smog. Smog je mješavina onečišćenih tvari u zraku koji stvaraju izmaglicu u blizini tla. Smog nastaje kao rezultat sagorijevanja ugljena i drugih goriva. Najveće koncentracije smoga vidljive su u velikim gradovima u kojima je prisutna industrija. Posljedice onečišćenja zraka smogom su respiratorne bolesti kod ljudi, onečišćenje vegetacije te raspadanje/propadanje materijala.

Ekološki problemi vezani uz fosilna goriva nastaju i pri probijanju i crpljenju naftnih bušotina, jer se osim sirove nafte iz podzemnih rezervoara izvlači i morska voda. Ova mješavina sadrži brojne nečistoće koje moraju biti vraćene u dublje slojeve ili pročišćene radi kasnijeg bezopasnog korištenja. Nakon izvlačenja sirova nafta ona mora biti transportirana. Pri transportu nafte uvijek postoji velika opasnost od istjecanja nafte iz spremnika što doveli do ozbiljnog narušavanja života u moru i njegovoj okolini. Uzroci izljevanja nafte pri transportu mogu biti razni, ali neki od najčešćih su: kvarovi na opremi, teroristički napadi, prirodni uzročnici npr. uragani koji mogu uzrokovati prevrtanje tankera i mnogi drugi. Još jedan problem javlja se pri eksploataciji ugljena. Problem se javlja pri samom iskopavanju ugljena, gdje strojevi svojim radom (uklanjanjem zemlje i kamenog sloja) narušavaju prirodni okoliš [3].

No osim što fosilna goriva imaju utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi, ona imaju i gospodarski i društveni utjecaj. Većina Svjetske ekonomije 21. stoljeća temelji se na cijenama fosilnih goriva i to nafte. Prema izvješćima Međunarodnog monetarnog fonda moguće je zaključiti da će porast cijene nafte itekako utjecati na gospodarstvo cijelog svijeta i to na sljedeće načine:

- porast cijene nafte utjecati će na porast troškova proizvodnje dobara i usluga
- utjecat će na razinu cijena i na stopu inflacije
- utjecat će izravno ili neizravno na financijska tržišta

Svjedoci smo da za porast cijena u posljednje vrijeme glavni utjecaj imaju fosilna goriva koja za sobom povlače i porast cijena ostalih energenata, prehrambenih proizvod, prijevoza, itd. Fosilna goriva su važan globalni problem koji je sve prisutan. Većina ratova koji se trenutno vode upravo su zbog fosilnih goriva (rezervi nafte i plina). Treba uočiti da se sve zalihe nafte nalaze u politički nestabilnim zemljama, a tu se posebno ističu Srednji Istok, Venezuela i Nigerija. Posebice treba istaknuti Nigeriju koja posjeduje velika naftna bogatstva u kojoj se s vremena na vrijeme događaju velike nesreće upravo zbog krađe nafte [4].

1.2. Protivnici teze o globalnom zatopljenju

Mediji sve češće govore o fenomenu porasta prosječne temperature, globalnom zatopljenju. Raspravlja se o samim posljedicama globalnog zatopljenja, a najviše neslaganja i mišljenja javlja se oko krivca za ovu pojavu. Mnogi stručnjaci osporavaju teoriju globalnog zagrijavanja kao posljedicu emisije štetnih plinova i to smatraju prijevarom u kojoj su namjerno pogrešno tumačeni podaci o klimi. Znanstvenici i stručnjaci imaju različita mišljenja neki smatraju da je riječ o zavjeri, jedni da je riječ o globalnom zatopljenju, a jedni o globalnom zahlađenju. No svim tim promjenama traži se krivac i upravo su se zbog toga stručnjaci podjelili u dvije skupine, na one koji čovjeka smatraju krivcem za globalno zatopljenje i na one koji smatraju da je za sve kriva priroda [5]. Znanstvenici zagovornici čovjekovog utjecaja na globalno zatopljenje smatraju da je za povećanje temperature najveći krivac čovjek i njegovo djelovanje. Pa s toga navode da čovjek svakodnevno mijenja sastav atmosfere sagorijevanjem fosilnih goriva, krčenjem šuma, poljoprivrednim aktivnostima i drugim djelatnostima kojima pokušava zadovoljiti svoje potrebe za hranom, energijom i energijom. Zato stručnjaci koji zagovaraju ovu teoriju zaključuju da ako čovjek ovom brzinom nastavi smanjivati prozornost Zemljine atmosfere zbog učinka staklenika doći će do velikih povećanja temperature Zemljine površine. Nasuprot njima njihovi protivnici tvrde da su uzroci klimatskih promjena daleko složeniji. Oni smatraju da krivca za promjene temperature treba tražiti u prirodnim uzrocima i aktivnostima Sunca, a ne u koncentraciji stakleničkih plinova u atmosferi.

Prirodni uzroci globalnog zatopljenja su:

- oceani i oceanske struje koje mogu konzervirati veliku količinu topline i koje čini klimu toplijom nego što jest
- vulkanske erupcije su također jedan od uzroka globalnog zahlađenja. Materijal izbačen vulkanskom erupcijom sprječava prodor sunčeve svjetlost
- oblaci koji reflektiraju sunčevu svjetlost natrag u Svemir
- dugoročne promjene nagiba osi Zemljine rotacije te promjene njezinih orbitalnih parametara
- Sunčeve aktivnosti
- emisije CO₂ iz vulkana, velikih požara,
- vodena para

Mnogi stručnjaci pa tako i naš akademik Vladimir Paar složili su se da je zapravo riječ o globalnom zahlađenju, a ne globalnom zatopljenju. O globalnom zahlađenju počelo se govoriti od 2008. godine nakon vala arktičke hladnoće koji je smrznuo beskućnike diljem Europe. Hlađenje i zagrijavanje Zemlje su prirodni procesi koji se događaju već milijunima godina, no da nije bilo ispuštanja stakleničkih plinova već bismo bili u ledenom dobu (posljednje ledeno doba završilo je prije otprilike 13 000 godina). Ono što akademik Vladimir Paar tvrdi je činjenica da su temperature u 70-im i 80-im godinama prošlog stoljeća rasle, no posljednjih 16 godina je prestala rasti, štoviše počela je padati. Također i ruski klimatolog i astrofizičar Habibullo Abdussamatov istaknuo je da će se globalno zahlađenje dogoditi bez obzira dali će industrijski razvijene zemlje smanjiti ili održati emisiju stakleničkih plinova. Također je napomenuo da imamo pogrešne pretpostake o ljudskom utjecaju na klimu i da sve što se događa ima veze s prirodnim ciklusima [6].

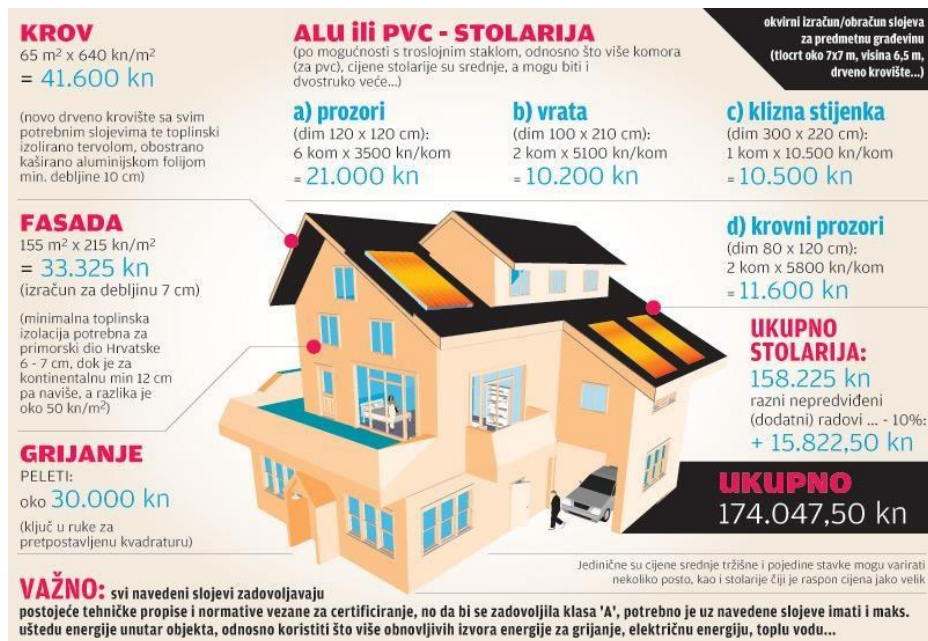
Ono što se može zaključiti je da nemožemo jednoznačno odrediti tko je krivac za globalno zatopljenje. Ako je krivac za globalno zatopljenje ipak čovjek tada se različitim mjerama i postupcima mogu smanjiti neke aktivnosti koje utječu na promjenu globalne temperature, no ako je krivac ipak priroda tada se na to nemože utjecati.

2. Energetska učinkovitost

Kao što je u samom uvodu navedeno da bi se smanjio nastanak stakleničkih plinova je potrebno potaknuti svijest ljudi o racionalnom korištenju energije jer upravo domaćinstva i hoteli spadaju među najveće potrošače električne i toplinske energije [7]. Među najvećim potrošačima energije su zgrade, gdje se prvenstveno misli na starije kuće i hotele koji nisu građeni prema propisima o potrebama toplinske zaštite zgrada i koji su sada najveći potrošači električne i toplinske energije. Tako primjerice neizolirane stare kuće godišnje troše oko 200-280 kWh/m² energije za grijanje, standardno izolirane kuće troše ispod 100 kWh/m², dok niskoenergetske troše 30 kWh/m², a pasivne kuće i manje od 15 kWh/m² energije za grijanje [20]. Ono o čemu treba voditi računa je odgovornost prema okolišu uz što manju energetska ovisnost što je od temeljne važnosti prilikom planiranja energetske učinkovite gradnje. Iz tog se razloga danas pokušavaju graditi kuće i zgrade s većom energetska učinkovitošću, a to se prvenstveno odnosi na toplinsku zaštitu postojećih i novih kuća i hotela korištenjem kvalitetnijih materijala koji povećavaju učinkovitost sustava grijanja, hlađenja, ventilacije, rasvjete i ostalih energetskih trošila [24]. Najčešće mjere za smanjenje gubitka energije i povećanja energetske učinkovitosti su :

- zamjena prozora novim i efikasnijim prozorima koji imaju manji koeficijent prolaska topline
- izolacija prostora koji se grije
- zamjena neobnovljivih izvora energije obnovljivim izvorima
- zamjena energetska neefikasnih potrošača efikasnim (pri tome se misli na one potrošače koji imaju veliki stupanj djelovanja tj, male gubitke pri transformaciji jednog oblika energije u drugi)

Trenutno se u Republika Hrvatska krenula s natječajem za energetska obnovu kuća, svi zainteresirani građani mogu se javiti u Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost i na taj način ostvariti poticaje za obnove svojih domova. Poticaji pokrivaju slijedeće: zamjenu vanjske stolarije, toplinsku zaštitu vanjske ovojnice (vanjski zid, krov, pod na tlu, strop, itd) te ugradnju sustava za korištenje obnovljivih izvora energije [7], u nastavku je dan proračun za obnovu jedne obiteljske kuće (slika 2) .



Slika 2. Prikaz izračuna za obnovu obiteljske kuće

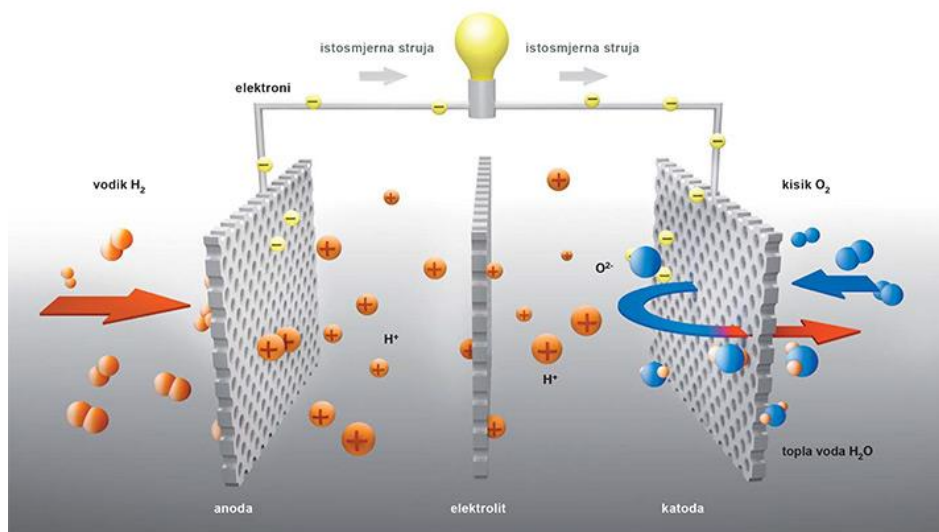
Na taj se način primjerice mogu obnoviti stare kuće i zgrade (građene prije 1980.g) koje nemaju potrebnu izolaciju i veliki su potrošači električne i toplinske energije te se može postići ušteda potrošnje energije za čak 60 % [20].

Također krenulo se i s mjerama poticaja kupnje energetski učinkovitih kućanskih aparata (bojleri, štednjaci, strojevi za pranje rublja ili suđa, hladnjaci, zamrzivači) [8]. Kako bi sačuvali okoliš, ali i znatno smanjili potrošnju novca, potrebno je smanjiti potrošnju električne energije odabirom onih uređaja s oznakom A⁺⁺⁺.

3. Tehnologija gorivnih članka

3.1. Općenito o gorivnim člancima

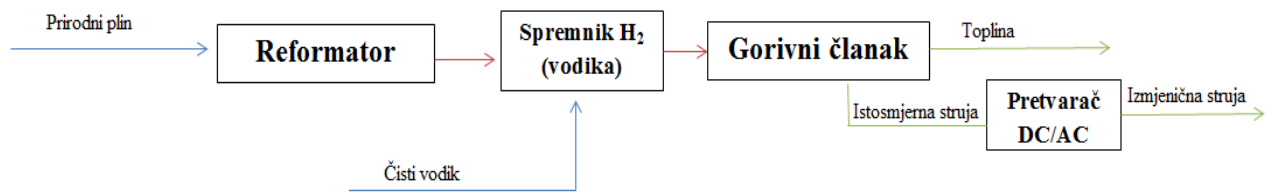
Gorivni članak je elektrokemijski uređaj koji služi za pretvorbu kemijske energije u istosmjernu električnu struju, a kao nusprodukti javljaju se toplina i voda. Sam proces je čist, tih i vrlo učinkovit. Gorivnim člancima prvi se počeo baviti britanski fizičar William Robert Grove 1840. godine koji je tada gorivne članke nazvao Voltinom plinskom baterijom. Gorivni članci slični su bateriji samo sa stalnim dotokom goriva i kisika. Gorivni članak (Slika 3.) sastoji se od anode na kojoj oksidira gorivo, katode na koju preko vanjskog kruga trošila dolaze elektroni proizvedeni oksidacijom goriva na anodi te elektrolita na kojem se spajaju negativni i pozitivni ioni (produkti reakcije). Da bi se ubrzale reakcije na elektrodama one su prekrivene slojem katalizatora, a katalizator ovisi o tipu gorivnog članka. Elektrolit koji inducira elektrokemijsku reakciju u gorivnom članku može biti sastavljen od tekućeg ili čvrstog medija. Prema elektrolitu razlikuju se i tipovi gorivnih članaka o kojima će kasnije biti riječ [9].



Slika 3. Struktura gorivnog članka [12]

Najčešće gorivo koje se javlja u gorivnim člancima je vodik. Vodik je najrasprostranjeniji element na našoj planeti, no nikada se ne javlja u elementarnom stanju već u vezi s kisikom (voda), ali ga u značajnoj količini ima i u fosilnim gorivima. Vodik se do sada najčešće dobivao iz prirodnog plina pomoću posebnih uređaja koji se nazivaju reformeri, no osim njega mogu se koristiti i metanol ili bilo koji drugi plin gdje je vodik vezan s CO_2 , N_2 i CO . Kisik potreban za odvijanje same reakcije (oksidacije goriva) ako je moguće

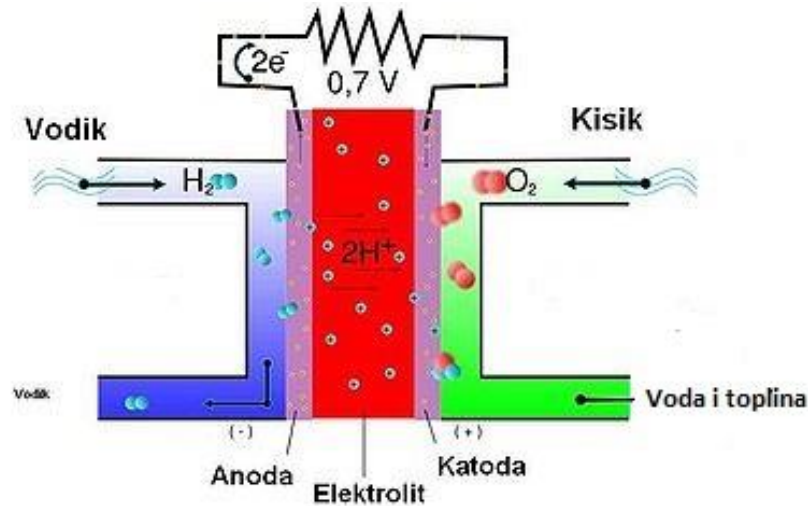
uzima se direktno iz atmosfere. Da bi gorivni članak uopće funkcionirao on ne može biti sam. Za njegov rad u sklopu postrojenja potrebni su: reformer (uređaj koji se koristi za pročišćavanje i izdvajanje vodika), spremnik vodika (u kojeg se sprema vodik dobiven reformacijom ili čisti vodik), sklop odgovarajućeg broja gorivnih članaka koji daju veću izlaznu snagu nego što bi dao jedan pa se često može naići na pojam svežanj gorivnih članaka, pretvarači DC/AC (to su uređaji koji dobivenu istosmjernu struju pretvaraju u izmjeničnu struju) te sistemi za iskorištavanje otpadne topline (Slika 4).



Slika 4. Shematski prikaz sustava za proizvodnje električne i toplinske energije pomoću gorivnog članka

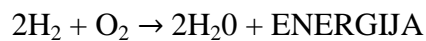
3.2. Princip rada gorivnog članka

Princip rada gorivnog članka najlakše se može objasniti na sustavu u kojem se vodik javlja kao gorivo, a kisik kao oksidans (Slika 5) [22].

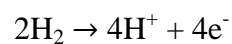


Slika 5. Princip rada gorivnog članka

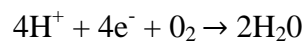
Kad se dovedu u kontakt vodik i kisik u plinovitom stanju, oni reagiraju, a kao produkti javljaju se voda i energija:



Na anodi se odvija oksidacija vodik, odnosno oslobađaju se elektroni:



Protoni prolaze kroz elektrolit, a elektroni se kroz vanjski vodiči preko trošila odvede na katodu, gdje se reducira kisik:



4. Vrste gorivnih članaka

Postoji više različitih vrsta gorivnih članaka koji se razlikuju po vrsti elektrolita. Osim prema elektrolitu gorivne članke možemo ih podijeliti i prema temperaturi na kojoj rade te prema načinu rada.

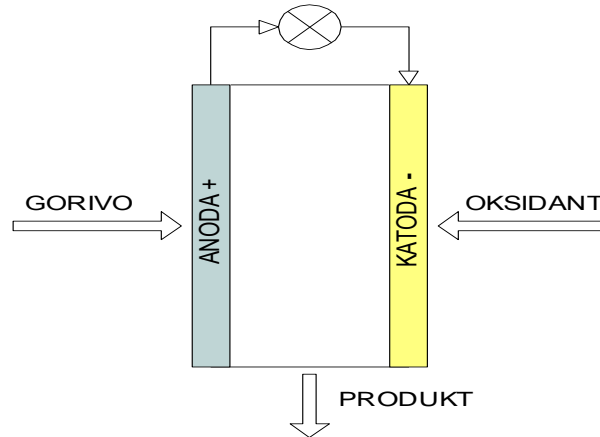
4.1. Vrste gorivnih članaka prema radnoj temperaturi

Visoko-temperaturni gorivni članci – rade pri temperaturama iznad 600°C , te omogućuju unutrašnji reforming lakih ugljikovodika (npr. metana). Zbog svog rada pri izrazito visokim temperaturama ovi gorivni članci nisu pogodni za brzi start, ali zato oslobađaju visoko-temperaturnu otpadnu toplinu koja se može iskoristiti u različite svrhe. Ne zahtjevaju katalitičke elektrode na bazi platine, ali su zbog visokih temperatura podložni koroziji pa je važno da konstrukcijski materijali budu kvalitetniji. Najznačajniji visoko-temperaturni gorivni članci jesu MCFC (*eng. Molten Carbonate Fuel Cell*) gorivni članci s rastaljenim karbonatima i SOFC (*eng. Solid Oxide Fuel Cell*) gorivni članci s čvrstim oksidima [10].

Nisko-temperaturni gorivni članci – rade na temperaturama nižim od 250°C i ono što se može zaključiti da oni za razliku od visoko-temperaturnih gorivnih članaka nemaju mogućnost unutarnje reformacije goriva pa je njima potrebno osigurati čisti vodik ili koristiti reformer. Pogodni su za brzi start te su manje podložni koroziji nego visoko-temperaturni. Najznačajni nisko-temperaturni gorivni članci jesu AFC (*eng. Alkaline Fuel Cell*) gorivni članci s alkalnim elektrolitom, PAFC (*Phosphoric Acid Fuel Cell*) gorivni članci s fosfornim elektrolitom te PEMFC (*eng. Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) gorivni članci s polimernom membranom [10].

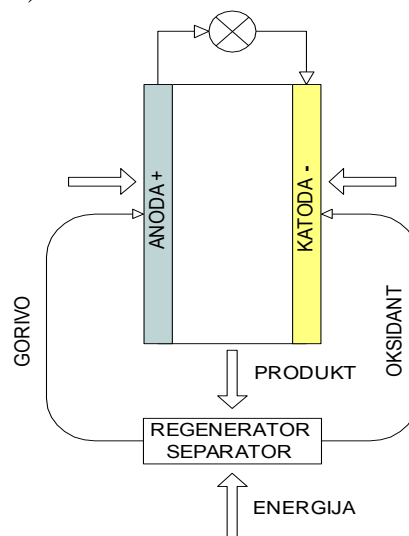
4.2. Vrste gorivnih članaka prema načinu rada

Primarni gorivni članci – kod njih se tijekom rada neprestano dovode novo gorivo i oksidans iz vanjskog spremnika, a produkti reakcije odvođe se iz članka (slika 6). Primjer primarnog gorivnog članka je alkalni gorivni članak koji se koristi u svemirskim letjelicama kod kojih se nastala voda može koristiti za piće.



Slika 6. Princip rada primarnog gorivnog članka

Sekundarni (regenerativni) gorivni članci – produkti reakcije se regeneriraju u polazne reaktante uz utrošak energije (slika 7).



Slika 7. Princip rada sekundarnog (regenerativnog) gorivnog članka

4.3. Vrste gorivnih članaka prema elektrolitu

Najvažnija podijela gorivnih članaka je ona prema elektrolitu. Elektrolit prema tome određuje radnu temperaturu, efikasnost i područje snage, što utječe i na samu primjenu gorivnog članka. Trenutno je nekoliko različitih vrsta gorivnih članaka prema elektrolitu koji svoju primjenu imaju od napajanja malih telefonskih stanica (0,5 W) do primjene u malim elektranama kod industrijske upotrebe ili napajanja malog grada (10 MW) [25]. Tablica 1. prikazuje vrste gorivnih članaka prema elektrolitu [10].

Vrsta gorivnog članka	Elektrolit	Radna temperatura	Gorivo	Efikasnost i snaga	Područje primjene
Gorivni članci s alkalnim elektrolitom (eng. <i>Alkaline Fuel Cell</i>)	Kalijeva lužina	60-220°C	Vodik	65% 1W- 100kW	Svemirske letjelice, pogon vozila i podmornica, kogeneracija stacioniranih objekta
Gorivni članci s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom (eng. <i>Molten Carbonate Fuel Cell</i>)	Karbonati litija, natrija i kalija	650°C	Prirodni ili bio plin	50-60% 100kW- 10MW	Kogeneracija u industrijskim postrojenjima
Gorivni članci s fosfornim elektrolitom (eng. <i>Phosphoric Acid Fuel Cell</i>)	Fosforna kiselina	150-200°C	Vodik	40-45% 10kW- 1MW	Kogeneracija u javnim zgradama (bolnice, poslovni objekti..)
Gorivni članci s polimernom membrnom kao elektrolitom (eng. <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i>)	Polimerna membrana	60-120°C	Vodik	45-60% 1W- 100kW	Široka primjena (vozila, kogeneracija)
Gorivni članci s čvrstim oksidom kao elektrolitom (eng. <i>Solid Oxide Fuel Cell</i>)	Kruti keramički elektrolit	800-1000°C	Prirodni plin	60-65% 1kW- 10MW	Kogeneracija u industriji, javnim i stambenim zgradama

Tablica 1. Vrste gorivnih članaka

Gorivni članci s alkalnim elektrolitom (*eng. Alkaline Fuel Cell - AFC*) – karakteristike AFC gorivnih članaka poboljšale su se kad se prešlo s kiselog elektrolita na lužnati elektrolit. Prednost ovih članaka za razliku od drugih je jeftina izrada i to prvenstveno zbog katalizatora na elektrodama koji može biti izrađen od brojnih jeftinih materijala te visoka iskoristivost. Gorivni članci s alkalnim elektrolitom rade na relativno niskim temperaturama, brzo pokreću izvor napajanja i visok stupanj iskoristivosti goriva [11]. Nedostaci su osjetljivost na prisutnost ugljičnog dioksida i ugljičnog monoksida što predstavlja ozbiljni nedostatak ovih članaka. Glavna prepreka komercijalnoj upotrebi ovih gorivnih članaka je relativno velika količina platine kao katalizatora, što uzrokuje visoke troškove.

Gorivni članci s polimernom membranom kao elektrolitom (*eng. Proton Exchange Membrane Fuel Cell - PEMFC*) – posebna prednost ovih gorivnih članaka je niska radna temperatura (niža od 100°C) i visoka snaga s obzirom na dimenzije i masu te se na njihovoj primjeni intenzivno radi [11]. Ovi gorivni članci za gorivo osim vodika mogu koristiti i tekući metanol. Prednosti ovih gorivnih članaka jesu dobra tolerantnost na ugljični dioksid, povećana sigurnost pri radu, rad pod niskim tlakom itd. Nedostaci su niska tolerantnost na ugljični monoksid, skupu membranu i katalizator što povećava cijenu članka.

Gorivni članci s fosfornom kiselinom (*eng. Phosphoric Acid Fuel Cell - PAFC*) – su najrazvijenija vrsta gorivnih članaka, no i ova vrsta gorivnih članaka ima svojih problema, a u njihovom slučaju to su unutarnje kemijske reakcije i korozija [11]. Prednosti gorivnih članaka s fosfornom kiselinom jesu jednostavna izvedba, nizak stupanj ishlapljivosti elektrolita i velika stabilnost.

Gorivni članci s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom (*eng. Molten Carbonate Fuel Cell - MCFC*) – zbog visoke radne temperature proizvode velike količine otpadne topline koja se koristi za proizvodnju pare i dodatnu vanjsku proizvodnju električne energije. Ovi članci još uvijek imaju mehaničke i kemijske probleme s obzirom na visoku temperaturu rastaljenog elektrolita. Prednosti su im mogućnost izdvajanja vodika iz niza goriva koristeći unutarnji ili vanjski reformator te manje stvaranje ugljikovog dioksida, efikasnost i ne zahtijevaju katalizatore od plemenitih plinova, a nedostaci su visoka temperatura koja povećava koroziju i uzrokuje raspadanje materijala te su zbog toga potrebni visoko kvalitetni konstrukcijski materijali otporni na koroziju.

Gorivni članci s čvrstim oksidom kao elektrolitom (eng. *Solid Oxide Fuel Cell - SOFC*) – radna temperatura ovih gorivnih članaka je 1000°C , na tako visokoj temperaturi reakcije se odvijaju jako brzo te omogućuju da se vodik dobije unutar gorivnog članka iz različitih ugljikovodika [11]. Prednosti ove vrste gorivnih članaka su visokotemperaturna otpadna toplina koja se može lako iskoristiti, koristi čvrsti elektrolit te nezahtjeva skupe katalizatore od plemenitih plinova. Oni su pak s druge strane izloženi visokim fizikalnim i kemijskim problemima te s toga nije posve sigurna njihova veća primjena u budućnosti.

4.4. Tržišne izvedbe gorivnih članaka

Gorivni članci za dobivanje električne i toplinske energije (kogeneraciju) u stacioniranim objektima još uvijek su u fazi demonstracije zbog niza poteškoća koje ih prate, proizvođači (Vaillant, Buderus, Viessmann, Sulzer...) (slika 8.) na različite načine pokušavaju poboljšati njihove karakteristike i krenuti s njihovom primjenom [12].



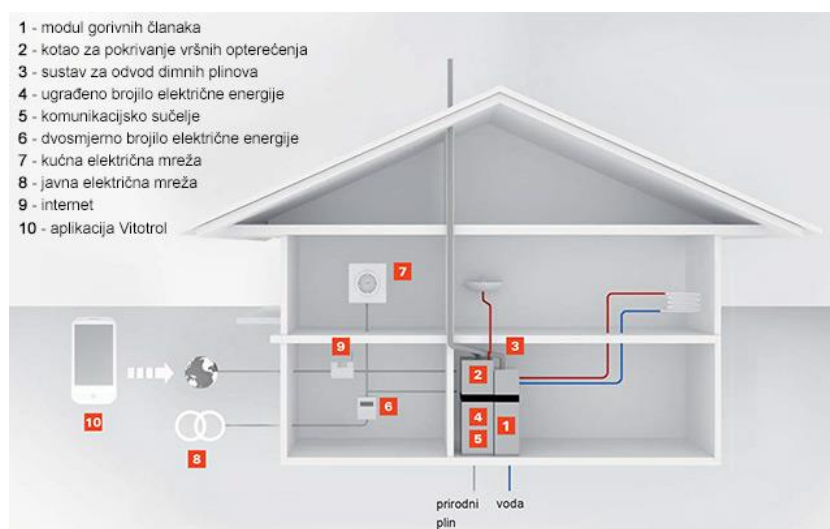
Slika 8. Uređaji za kogeneraciju pomoću gorivnih članaka

Najnovije informacije dolaze od Veissmanna koji je na tržište izašao s novim uređajima Vitovalor 300-P (Slika 9.) na gorivne članke za opskrbu obiteljske kuće električnom i toplinskom energijom [13].



Slika 9. Viessmann uređaj na gorivne članke

Tvrtka Viessmann kao glavne kriterije postavlja pouzdanost i dugotrajnost te primjenjuje provjerenu tehniku u suradnji s Panasonicom iz koje je i izašao uređaj Vitovalor 300 – P. Tako je Viessmann integrirao gorivne članke u savršeno usklađen sustav grijanja s plinskim kondenzacijskim uređajem te spremnikom tople vode i regulacijom. Na slici 10 prikazan je sustav s uređajem Vitoval 300 – P.



Slika 10. Primjena uređaja na gorivne članke u obiteljskoj kući

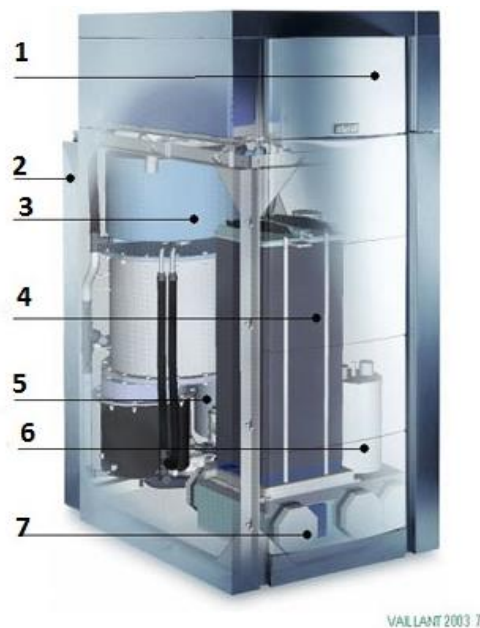
U Hrvatskoj se do sada gorivnim člancima bavio samo Končar (Institut za elektrotehniku) koji je projekt nazvao Vodik. Realizirano je postrojenje nazivne snage 10 kW_{el} i 10 kW_t

koji koristi prirodni plin za dobivanje vodika (reformacijom) te gorivne članke za proizvodnju električne i toplinske energije.

Gorivni članci koji se najčešće spominju za proizvodnju električne i toplinske energije (kogeneracija) su [14]:

- gorivni članci s polimernom membranom (PEMFC *eng. Proton Exchange Membrane Fuel Cell*)
- gorivni članci s krutim oksidom kao elektrolitom (SOFC *eng. Solid Oxide Fuel Cell*)
- gorivni članci s fosfornom kiselinom kao elektrolitom (PAFC *eng. Phosphoric Acid Fuel Cell*)
- gorivni članci s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom (MCFC *eng. Molten Carbonate Fuel Cell*)

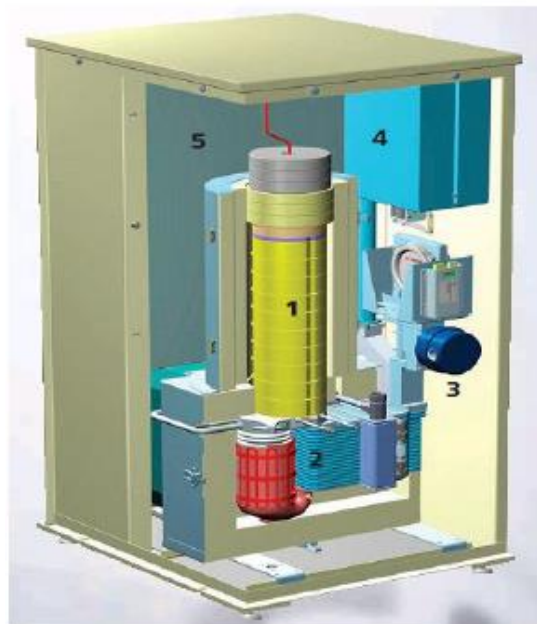
Pri tome veća se prednost daje gorivnim člancima s polimernom membranom (PEMFC *eng. Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) (slika 11) i gorivnim člancima s krutim oksidom (SOFC *eng. Solid Oxide Fuel Cell*) (slika 12).



Slika 11. Uređaj s PEMFC (*eng. Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) gorivnim člankom

Dijelovi uređaja s PEMFC (*eng. Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) gorivnim člankom:

1. Upravljački sistem
2. Pretvarač DC/AC (inverter)
3. Reformator
4. PEMFC gorivni članak
5. Uređaj za odsumporavanje
6. Sistem za odvod vodene pare
7. Sustav ventila



Slika 12. Uređaj s SOFC gorivnim člankom

Dijelovi uređaja s SOFC (*eng. Solid Oxide Fuel Cell*) gorivnim člankom:

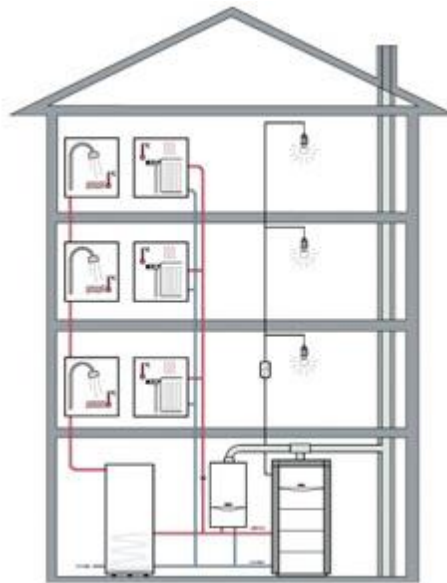
1. SOFC gorivni članak
2. Obrada zraka/razmjena topline
3. Sistem za odvod zraka
4. Sistem za zagrijavanje vode
5. Pretvarač DC/AC (inverter) i upravljački sistem

4.4.1. Podjela gorivnih članaka prema drugim kriterijima

Osim podjela koje su već prije navedene gorivne članke za proizvodnju električne energije možemo podjeliti i prema još nekim kriterijima. Pa ih se tako može podjeliti s obzirom na namjenu (osnovni ili dodatni izvor energije), na način smještaja gorivnih članaka (otvorenom, zatvorenom ili odvojenoj kombinaciji), na nazivnu izlaznu snagu te mogućnost kogeneracije [21].

a) Podjela gorivnih članaka za proizvodnju električne energije prema namjeni

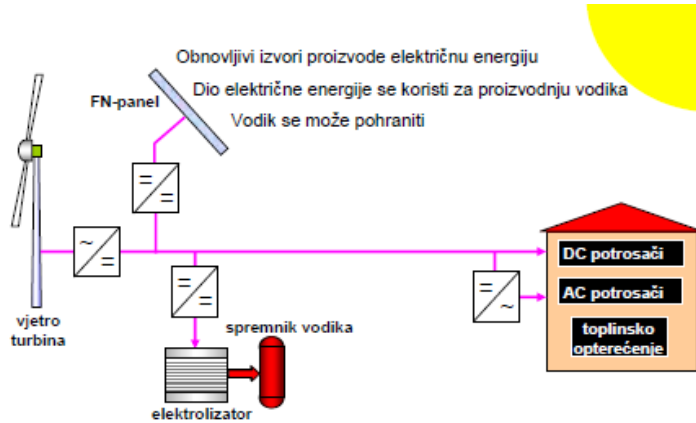
- osnovni izvor energije (kad u cijelosti zamjenjuje postojeći sustav opskrbe ili kada sustava uopće nema) [21] (slika 13)



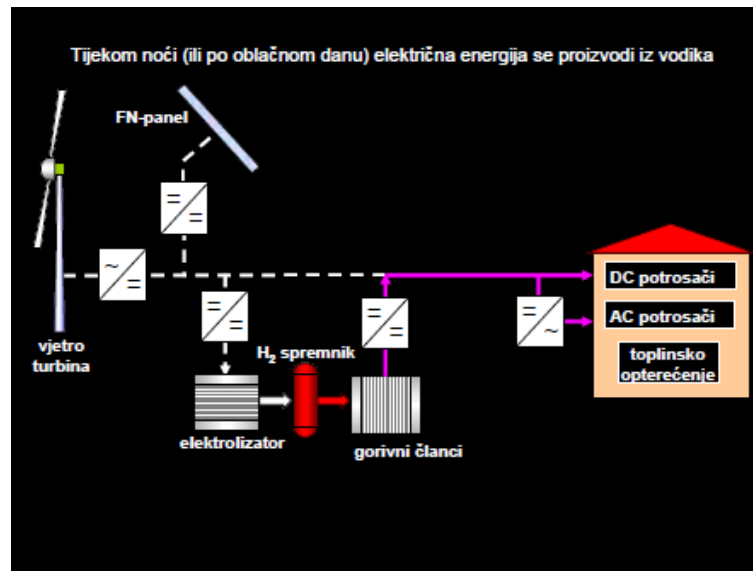
Slika 13. Osnovni izvor energije gorivni članak

- dodatni (pomoćni) izvor energije (u paralelnom radu s elektroenergetskim sustavom za pokrivanje temeljnih ili vršnih opterećenja) [21]

- dodatni izvor energije u kombinaciji s obnovljivim izvorom energije koji nemogu uvijek pokrivati potrošnju (FN ćelije, vjetroelektrane) (slika 14a i 14b) [12]



Slika 14a. Obnovljivi izvori energije (Sunce, Vjetar) proizvode električnu i toplinsku energiju

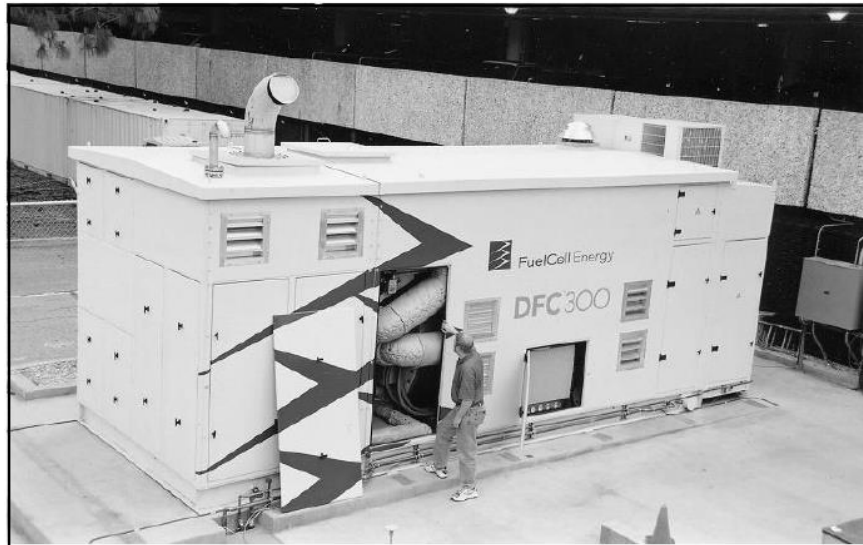


Slika 14b. Obnovljivi izvori ne mogu pokrivati potrošnju

- pričuvni izvor energije u slučaju prekida uobičajene opskrbe [21]

b) **Podjela gorivnih članaka za proizvodnju električne energije prema smještaju:**

- na otvorenom, pri čemu se cijelom sustavu mora osigurati otpornost na vanjske utjecaje [21] (slika 15)



Slika 15. Gorivni članci na otvorenom

- u zatvorenom, potrebno je poštovati norme i propise koji propisuju način instalaciju sustava s gorivnim člancima u zatvorenom prostoru [21] (slika 16)



Slika 16. Gorivni članci na zatvorenom prostoru

- u odvojenoj izvedbi kad je jedan dio sustava vani (priprema goriva (reformer), sklop gorivnih članaka), a jedan dio unutra (regulacija) [21]
-

c) Podjela gorivnih članaka prema nazivnoj izlaznoj vrijednosti

- 1-5 kW (za individualne stambene jedinice)
- 5-20 kW (za manje zgrade)
- 200-300 kW (za veće potrošače (hotele, bolnice, trgovačke centre,...))

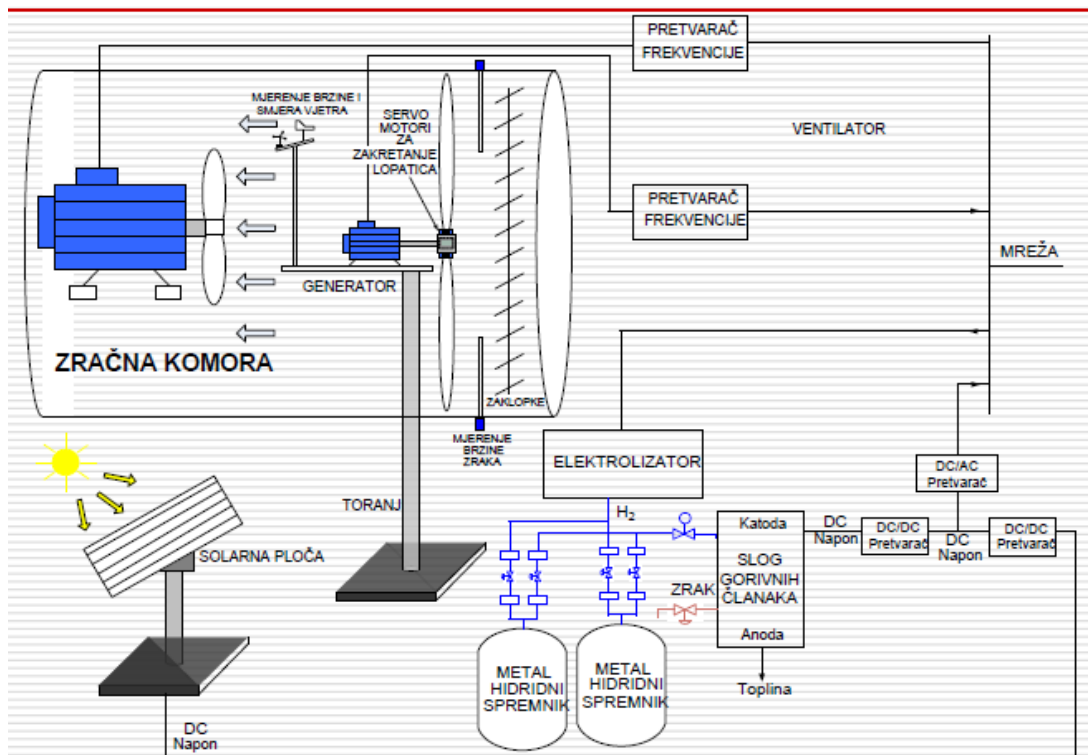
d) Podjela gorivnih članaka prema mogućnosti kogeneracije

Sama riječ kogeneracija označava istovremenu proizvodnju električne i korisne toplinske energije. Kad govorimo o gorivnim člancima oni osim što proizvode električnu energiju, oslobađaju i dio toplinske energije koja se može iskoristiti za [21]:

- pripremu potrošne tople vode
 - te kao dodatan izvor u sustavima grijanja
-

4.5. Gorivni članci u sklopu postrojenja s obnovljivim izvorima energije

Ono na čemu trenutno rade brojni stručnjaci jesu regenerativni gorivni članci, nova vrsta gorivnih članaka. Kao što je na navedeno u poglavlju 4.4.1. gorivni članci mogu doći u kombinaciju s obnovljivim izvorom (solarni paneli, vjetroelektrane) gdje se dio energije koja se proizvede koristi za proizvodnju vodika pomoću elektrolize. Kad sunčeva energija nije na raspolaganju, vodik i kisik proizvode električnu energiju, a kao nusprodukt javlja se voda koja se posebnim pumpa ponovno vodi u dio u kojem se odvija elektroliza. Na taj način dobivamo samoodrživi sustav koji s okolinom ne razmjenjuje čak ni vodu, nego samo višak topline (slika 17). Budućnost leži u dobivanju električne energije pomoću obnovljivih izvora, a od njegovog će se viška proizvodit gorivo (vodik) [14].



Slika 17. Sustav regenerativnih gorivnih članaka

5. Vodik

Vodik je plin bez boje i mirisa, najrasprostranjeniji element u Svemiru [26]. Na našoj planeti vodik se ne nalazi u elementarnom stanju, ali ga ima u ograničenim količinama vezanog sa kisikom u vodi koja zauzima 70% zemljine kore, a dio iako ne u velikim količinama nalazi se u fosilnim gorivima. Zbog već prije spomenutih problema koji prijete našoj planeti (globalno zatopljenje, oštećenje omotača, smanjenje svjetskih resursa fosilnih goriva) vodik se nametnuo kao energent budućnosti. Činjenica je da sagorijevanjem vodika nastaje čista voda, dok primjerice kod nekih drugih goriva nastaju i štetni plinovi, što dovodi do zaključka da vodik najmanje onečišćuje okoliš. Vodik se danas može izdvojiti iz spojeva, koji se nazivaju ugljikovodici, a sam proces se naziva reformiranje vodika. Vodik se može dobiti i elektrolizom vode, tj. razdvajanjem vode na njene sastavne dijelove, vodik i kisik, pomoću električne energije [26].

No potrebno je napomenuti da vodik nije izvor energije, već je njegova uloga baterije za spremanje i skladištenje energije [15]. U slučaju uspješne i održive nuklearne fuzije (proces spajanja više atomskih jezgiri pri čemu teža atomska jezgra i oslobađa se energija) vodik bi tada mogao postati izvor velikih količina energije.

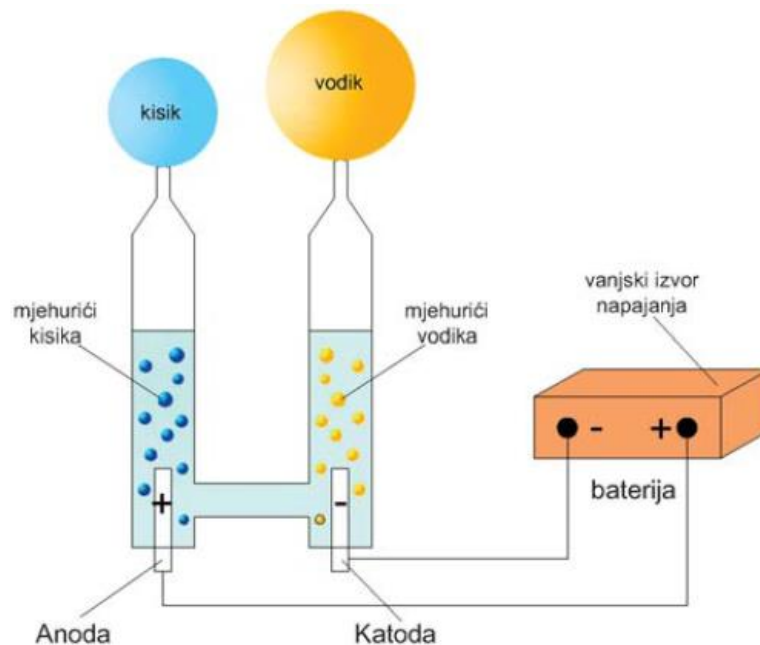
5.1. Proizvodnja vodika

Najzastupljeniji tehnološki procesi proizvodnje vodika su katalitički reforming koji iz prirodnog plina uz prisustvo vodene pare i katalizatora proizvodi vodik visoke čistoće te elektroliza vode. Nešto manje zastupljeni tehnološki procesi su izdvajanje vodika iz ugljena ili koks, fotoelektroliza, fotobiološka proizvodnja i visokotemperaturne razgradnje [16]. Znanstvenici u posljednje vrijeme sve više rade na razvoju novih i prihvatljivih procesa dobivanja vodika, kao što su termokemijski proces rasplinjavanja biomase ili pak fotobiološka proizvodnja pomoću živih organizama koji uz prisustvo svjetlosti proizvode vodik, na njih se dalje nadovezuje fotoelektrokemijska proizvodnja koja kao i fotobiološki procesi koriste sunčevu svjetlost za disocijaciju (razdvajanje) vode na vodik i kisik. Do sada se najviše radilo na procesu dobivanja vodika rasplinjavanjem biomase, dok su fotobiološka i fotoelektrokemijska proizvodnja još uvijek je u početnom stadiju razvoja. Također potrebno je istaknuti da su elektroliza, termokemijska i fotokemijska metoda relativno skupe za proizvodnju vodika, dok je ekonomičniji i pristupačniji način

proizvodnje vodika još uvijek katalitički reforming prirodnog plina. U nastavku će biti opisani dva najzastupljenija procesa dobivanja vodika elektrolizom vode i katalitički reforming prirodnog plina [16].

5.1.1. Proizvodnja vodika elektrolizom vode

Elektroliza je elektrokemijski proces razgradnje elektrolita (vode) djelovanjem istosmjerne električne energije. Izvor napajanja spojen je na dvije elektrode koje su uronjene u vodu. Ioni koji nastaju elektrolitskom disocijacijom privučeni su na elektrode, na katodi pojaviti će se vodik (redukcija), a na anodi kisik (oksidacija) (slika 18). Ovakav način proizvodnje vodika koristi se onda kada je potrebna velika čistoća vodika [17].



Slika 18. Prikaz dobivanje vodika elektrolizom vode

Sam proces elektrolize odnosno dobivanja vodika iz vode obrnut je principu rada gorivnog članka odnosno reakcija koje se u njemu odvijaju.

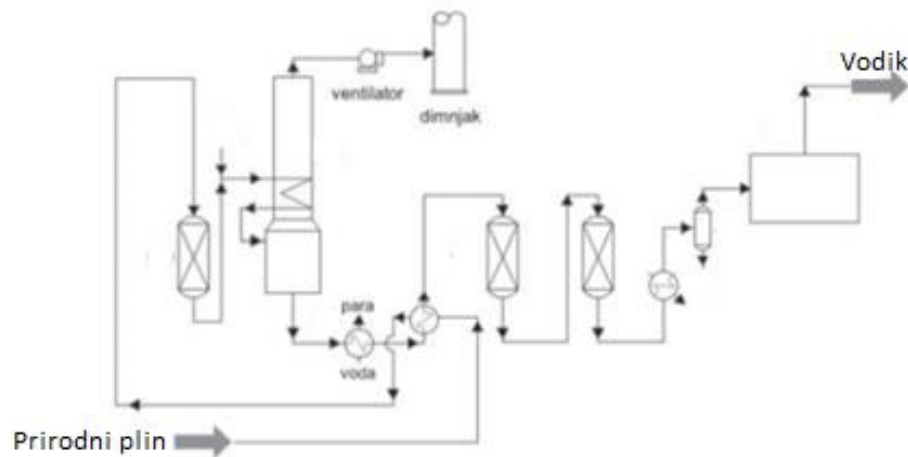
5.1.2. Produkcija vodika katalitičkim reformiranjem prirodnog plina

Katalitički reforming prirodnog plina odvija se u dvije faze. U prvoj fazi odvija se pročišćavanje prirodnog plina od sumporovodikovih spojeva, a proces se naziva odsumporavanje. Dobiveni plin dalje se miješa sa vodenom parom i upućuje na prvi reaktor. Prolazeći kroz nikal-katalizator prirodni plin reagira s vodenom parom i pri tlaku od 3-25 bara stvara smjesu vodika, ugljičnog monoksida, ugljičnog dioksida, metana i pare koji se naziva sirovi reformat. Prolazeći dalje preko katalizatora koji je u ovom slučaju na bazi željeznog oksida ugljični monoksid reagira s parom i stvara ugljični dioksid i vodik. Po završetku katalitičkog reforminga kao proizvod izlazi vodik i ugljični dioksid koji se sprema u posebne spremnike (slika 19). Omjer izlaznih produkata koji se u završnoj fazi nazivaju čistim reformatom je sljedeći [17] :

75% vodika (H_2)

17-19% ugljičnog dioksida (CO_2)

2% netransformiranog metana



Slika 19. Prikaz sustava za proizvodnje vodika katalitičkim reformiranjem

5.2. Skladištenje vodika

Kako je već navedeno u uvodnom dijelu o vodiku, vodik je najlakši element i zbog toga puno lakše izlazi iz spremnika i cijevi nego ostala konvencionalna goriva. Do danas je razvijeno nekoliko metoda skladištenja vodika i to pomoću visokotlačnih spremnika plinovitog vodika izrađenih od kompozitnih materijala ojačanih karbonskim vlaknima koji omogućuju skladištenje vodika pri tlaku od 450 bara, niskotemperaturnih (- 259 °C) spremnika tekućeg vodika te konvencionalnih čeličnih spremnika plinovitog vodika koji omogućuju skladištenje pri tlaku od 200 bara [17]. Ovo su metode koje su dostupne i koje se primjenjuju pri skladištenju vodika. Istraživanja vezana za skladištenje vodika idu dalje, glavni zadatak je povećati količinu energije koja se može skladištiti. Stručnjaci razmatraju još jednu novu i efikasniju metodu skladištenja vodika, koja se zasniva na svojstvima nekih materijala koji imaju mogućnost upijanja vodika, u slučajevima kad je taj vodik potreban zagrije ih se te oni ispuštaju prethodno upijen vodik [18].

5.3. Prijevoz vodika

Kad je riječ o transportu vodika na manje udaljenosti, veću prednost ima vodik u plinovitom stanju koji se transportira se pomoću cjevovoda. Da bi ova tehnologija bila prihvaćena potrebno je riješiti probleme vezane uz djelovanje vodika na materijal cjevovoda koja ovisi o samom materijalu te o tlaku u cjevovodu. Kad je riječ o transportu vodika na velike udaljenosti, tada veću prednost ima tekući vodik od vodika u plinovitom stanju. Transport tekućeg vodika odvija se pomoću brodova, kamiona i vlakova i to u spremnicima od 3500 do 70000 kg. No važno je napomenuti da je cijena prijevoza tekućeg vodika znatno veća od cijene prijevoza ostalih goriva. [16].

5.4. Mjere opreza pri korištenju vodika

Pri korištenju vodika kao goriva ipak se treba pridržavati nekih mjera opreza, kako samo korištenje vodika nebi prouzročilo više štete nego koristi, u nastavku su date kratke i najvažnije mjere opreza koje se trebaju uzeti u obziri pri korištenju vodika. Poseban oprez treba posvetiti pri projektiranju, određivanju radnog vijeka i održavanju opreme za manipulaciju vodika tu treba voditi računa o tome da se onemogućiti nekontrolirano

ispuštanje vodika u atmosferu. Kod korištenja visokotlačnih spremnika, spremnici moraju biti smješteni na otvorenom i dobro ventiliranom prostoru zbog što je tada onemogućeno prisustvo uzročnika paljenja. Mnogi smatraju da je vodik opasan, no ako se s njim rukuje na odgovarajući način, on može biti manje opasniji od nekih konvencionalnih goriva (benzina i prirodnog plina). Ako slučajno i dođe do istjecanja vodika iz spremnika, pošto je lakši od zraka on se diže i širi u atmosferu i zbog toga su jako male šanse da se zapali [17].

6. Prednosti i nedostaci gorivnih članaka

Iako se tehnologija gorivnih članaka smatra tehnologijom budućnosti ona još uvijek nailazi na mnoge poteškoće prije nego se krene u komercijalnu primjenu. Neke od prednosti gorivnih članaka za razliku od drugih tehnologija jesu obnovljive i neograničene količine vodika dostupne u spojevima te visoki stupanj korisnog djelovanja i male ili nikakve emisije štetnih plinova. Najveći problem koji se javlja pri primjeni gorivnih članaka je skupa proizvodnja. Problemi kreću već od same konstrukcije gorivnog članka i to njenih osnovnih dijelova elektroda (katode i anode) i elektrolita koji znatno povisuju cijene proizvodnje gorivnih članaka. Primjerice alkalni gorivni članci zahtijevaju čisti vodik kao gorivo što predstavlja veliki problem jer dobivanje i skladištenje čistog vodika predstavlja svojvrstan problem. Također i niže radne temperature gorivnog članka s polimernom membranom zahtjeva korištenje skupih katalizatora koji također povećavaju cijenu proizvodnje. Gorivni članci s čvrstim oksidom s druge strane pak imaju visoke radne temperature koje također kompliciraju rad i održavanje samog sustava. Slijedeći problem nastaje pri samoj proizvodnji vodika za koju je potrebno utrošiti jako puno energije. Na taj se način direktno pridonosi emisiji CO₂ i drugih štetnih plinova, a problem se javlja i pri skladištenju i transportu vodika [27]. Ono na čemu se trenutno radi je pronalazak novih i jeftinijih materijala te primjenom automatizirane visokoserijske proizvodnje kojom će se smanjiti troškovi i produžiti vijek trajanja gorivnih članaka.

Također potrebno je u obzir uzeti i neke prednosti gorivnih članaka ispred tehnologija koje se sada koriste za proizvodnju električne energije:

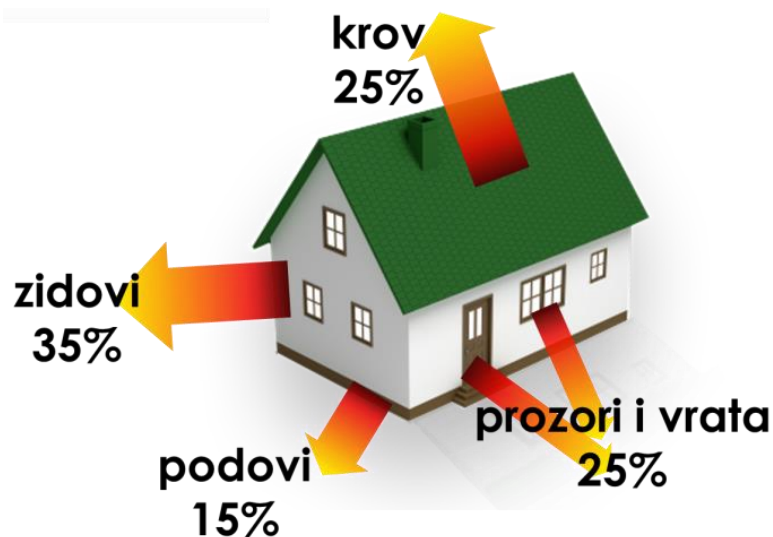
- pri izradi gorivnih članak ne koriste se toksični materijali
 - ne stvaraju buku (tihi rad)
 - dostupnost vodika (riješio bi se problem onih zemalja koji nemaju pristup električnoj energiji)
 - ne proizvodi radioaktivni otpad
 - fleksibilni pri samoj montaži (mogu biti ili na otvorenom ili u zatvorenom, dok ostale tehnologije mogu biti montirane samo na otvorenom)
-

7. Proračun potrebene toplinske i električne energije za hotel

U ovom dijelu biti će prikazan način proračuna toplinske i električne energije potrebne za hotel koji će se kasnije koristiti za odabir odgovarajućih gorivnih članaka. Za proračun toplinske i električne energije uzet je hotel (smještaj (prizemlje, 1.kat, 2.kat) + bar) na području Rovinja, ukupne površine 1770,52 m².

7.1. Proračun transmisijjskih gubitaka

Transmisijjski gubici su oni gubici koji se javljaju zbog temperaturne razlike između grijanog prostora i vanjskog okoliša, a to su gubici kroz zidove, stropove, vrata i prozore (slika 21). Da bi se smanjili transmisijjski gubici potrebno je upotrijebiti materijale sa dobrim izolacijskim svojstvima ili pak povećati debljine na već postojećem materijalu.



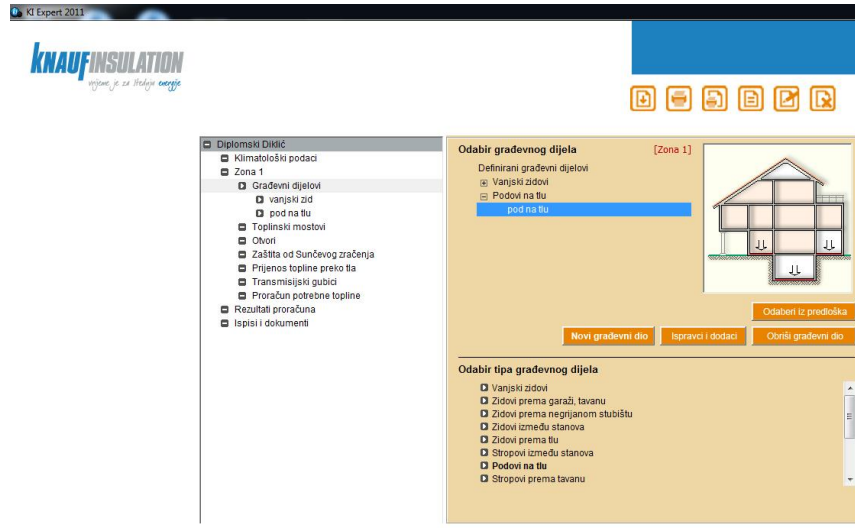
Slika 21. Transmisijjski gubici

Za proračun transmisijjskih gubitaka potrebni su nam sljedeći podatci:

- (A) površine vanjskih zidova, podova, prozora, vrata i krova [m²]
- (U) koeficijent prolaza topline vanjskih zidova, podova, vrata, prozora i krovova [W/m²K]
- (T_{int}) unutarnja temperatura prostorija [°C] = 20 °C
- (T_e) vanjska projektne temperature [°C] = - 6°C

Za proračun koeficijenta prolaza topline koristiti će se KI EXPERT 2011 – program za građevinsku fiziku s CAD izvedbenim detaljima.

Toplinski gubici kroz pod



Površina podova (A_{PT})

$A_{PT_{hotela}} = \text{širina podova hotela (b)} * \text{dužina podova hotela (l)}$

$$b_{hotela} = 14,63 \text{ m}$$

$$l_{hotela} = 45,20 \text{ m}$$

$$A_{PT_{hotela}} = 14,63 * 45,20 = 661,27 \text{ [m}^2\text{]}$$

$A_{PT_{bara}} = \text{širina podova bara (b)} * \text{dužina podova bara (l)}$

$$b_{bara} = 10,47 \text{ m}$$

$$l_{bara} = 15,31 \text{ m}$$

$$A_{PT_{bara}} = 10,47 * 15,31 = 160,29 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{Tukupno} = 661,27 + 160,29 = 821,56 \text{ [m}^2\text{]}$$

Koeficijent prolaza topline kroz pod

$$U_{PT} = 0,40 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Površina zidova hotela i bara

$$A_{VZ} = \text{širina zidova}(b) * \text{visina zidova}(h) * \text{broj zidova}$$

Hotel ima 4 zida slijedećih dimenzija:

a) $b_{\text{hotela}} = 14,63 \text{ m}$

$$h_{\text{hotela}} = 9,90 \text{ m}$$

Broj zidova tih dimenzija = 2

$$A_{VZ \text{ hotela}} = \text{širina} * \text{visina} * \text{broj zidova} = 14,63 * 9,90 * 2 = 289,67 \text{ [m}^2\text{]}$$

b) $b_{\text{hotela}} = 45,20 \text{ m}$

$$h_{\text{hotela}} = 9,90 \text{ m}$$

Broj zidova tih dimenzija = 2

$$A_{VZ \text{ hotela}} = \text{širina} * \text{visina} * \text{broj zidova} = 45,20 * 9,90 * 2 = 894,96 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{VZ \text{ ukupno hotela}} = 289,67 + 894,96 = 1184,63 \text{ [m}^2\text{]}$$

Bar ima 3 zida slijedećih dimenzija:

a) $b_{\text{bara}} = 15,31 \text{ m}$

$$h_{\text{bara}} = 3,30 \text{ m}$$

Broj zidova tih dimenzija = 2

$$A_{VZ \text{ bara}} = \text{širina} * \text{visina} * \text{broj zidova} = 15,31 * 3,30 * 2 = 101,04 \text{ [m}^2\text{]}$$

b) $b_{\text{bara}} = 10,41 \text{ m}$

$$h_{\text{bara}} = 3,30 \text{ m}$$

Broj zidova tih dimenzija = 1

$$A_{VZ \text{ bara}} = \text{širina} * \text{visina} * \text{broj zidova} = 10,41 * 3,30 * 1 = 34,35 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{VZ \text{ ukupno bara}} = 101,04 + 34,35 = 135,39 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{VZ \text{ ukupno hotela i bara}} = 1184,63 + 135,39 = 1320,02 \text{ [m}^2\text{]}$$

Koeficijent prolaza topline kroz zidove hotela i bara

$$U_K = 0,47 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

U = 0,47 [W/m²K] < U_{max} = 0,60 [W/m²K]

U pogledu minimalne toplinske zaštite i najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska U (W/m²K) (tablica 5., Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama) građevni dio:

Zadovoljava

Naziv Materijala	λ [W/mK]	d [cm]	R [m ² K/W]
Vapneno-cementna žbuka	1	0,50	0,010
Šuplji blokovi od gline	0,48	20,00	0,417
Ekspandirani polistiren (EPS)	0,04	6,00	1,500
Silikatna žbuka	0,9	0,50	0,010
		R _{si} =	0,130
		R _{se} =	0,040
		RT =	2,107

Toplinskih gubitci kroz zidove hotela i bara

$$A_{Vzukupno} \text{ (ukupna površina zidova hotela i bara)} = 1320,02 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$U_K \text{ (koeficijent prolaza topline)} = 0,47 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$T_{int} \text{ (unutarnja projektna temperatura)} = 20^\circ\text{C}$$

$$T_e \text{ (vanjska projektna temperatura)} = -6^\circ\text{C}$$

$$Q_{VZ} = A_{VZ} * U_{VZ} * (T_{int} - T_e) = 1320,02 * 0,47 * (20 - (-6)) = 16130,68 \text{ [W]}$$

Toplinski gubici za prozore i vrata

Površina vanjskih vrata (A_{VV})

$$A_{VV} = \text{širina vanjskih vrata (} b_{VV} \text{)} * \text{visina vanjskih vrata (} h_{VV} \text{)} * \text{broj vanjskih vrata}$$

$$b_{VV} = 2,00 \text{ m}$$

$$h_{VV} = 2,20 \text{ m}$$

$$\text{broj vanjskih vrata} = 1$$

$$A_{VV} = 2,00 * 2,20 * 1 = 4,40 \text{ m}^2$$

Površina balkonskih vrata (A_{BV})

A_{BV} = širina balkonskih vrata (b_{BV})*visina balkonskih vrata(h_{BV})*broj balkonskih vrata

$$b_{BV} = 1,70 \text{ m}$$

$$h_{BV} = 2,20 \text{ m}$$

$$\text{broj balkonskih vrata} = 35$$

$$A_{BV} = 1,70 * 2,20 * 35 = 130,90 \text{ m}^2$$

Površina prozora na baru (A_{PP})

A_{PP} = širina prozora (b_{PP})*visina prozora (h_{PP})* broj prozora

$$b_{PP} = 3,73 \text{ m}$$

$$h_{PP} = 2,50 \text{ m}$$

$$\text{Broj prozora} = 3$$

$$A_{PP} = 3,73 * 2,50 * 3 = 27,98 \text{ m}^2$$

Ukupna površina vanjskih vrata, balkonskih vrata i prozori koji se nalaze na hotelu i baru

$$A_{VV, BV, PP} = 4,40 + 130,90 + 27,98 = 163,28 \text{ m}^2$$

Koeficijent prolaza kroz vanjska vrata, balkonska vrata i prozori

$$U_{VV, BV, PP} = 1,4 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Toplinski gubitci kroz vanjska vrata, balkonska vrata i prozore

$$A_{VV, BK, PP} \text{ (površine vanjskih vrata, balkonskih vrata i prozora na hotelu i baru)} = 163,28 \text{ [m}^2\text{]}$$

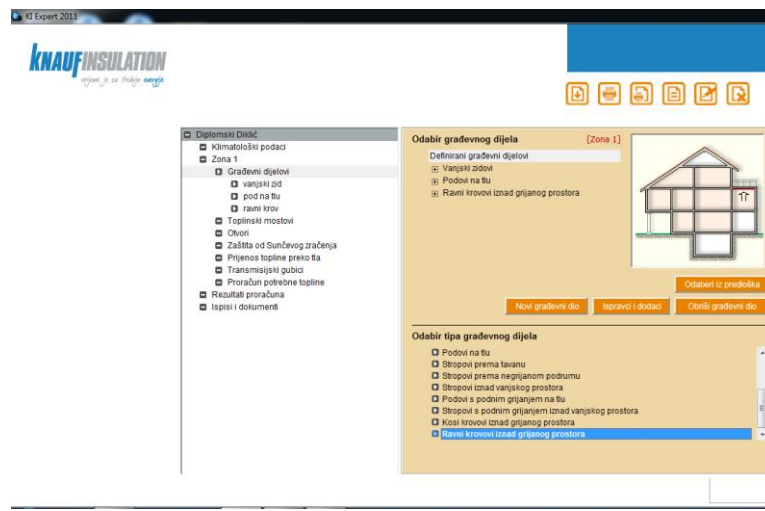
$$U_{VV, BK, PP} \text{ (koeficijenti prolaza topline)} = 1,4 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$T_{\text{int}} \text{ (unutarnja projektna temperatura)} = 20^\circ\text{C}$$

$$T_e \text{ (vanjska projektna temperatura)} = -6^\circ\text{C}$$

$$Q_{VV, BK, PP} = A_{VV, BK, PP} * U_{VV, BK, PP} * (T_{\text{int}} - T_e) = 163,28 * 1,4 * (20 - (-6)) = 5943,39 \text{ [W]}$$

Toplinski gubici kroz ravni krov



Površina ravnog krova (A_{RK})

$A_{RK} = \text{tlocrtna površina} * \text{koeficijent}$

$$A_{RK} = 821,56 \text{ m}^2 * 1,001 (\text{nagib } 2^\circ) = 822,38 \text{ m}^2$$

Koeficijent prolaza topline kroz ravni krov

$$U_{RK} = 0,27 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$U = 0,27 \text{ [W/m}^2\text{K]} < U_{max} = 0,40 \text{ [W/m}^2\text{K]}$

U pogledu minimalne toplinske zaštite i najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska U (W/m²K) (tablica 5., Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama) građevni dio:

Zadovoljava

Naziv Materijala	λ [W/mK]	d [cm]	R [m ² K/W]
Armirani beton	2,6	18,00	0,069
Polim. hidro. traka na bazi PVC-P	0,14	1,50	0,107
Ekstrudirana polistir. pjena (XPS)	0,03	10,00	3,333
PE - folija (pričvršćena metalnim s...	0,6	0,30	0,010
			Rsi = 0,100
			Rse = 0,040
			RT = 3,659

Toplinski gubitci kroz ravan krov

$$A_{RK} (\text{površina ravnog krova}) = 822,38 \text{ m}^2$$

U_{RK} (koeficijent prolazka topline) = 0,27 [W/m²K]

T_{int} (unutarnja projektna temperatura) = 20 °C

T_e (vanjska projektna temperatura) = -6 °C

$Q_{RK} = A_{RK} * U_{RK} * (T_{int} - T_e) = 822,38 * 0,27 * (20 - (-6)) = 5773,10$ [W]

Ukupni toplinski gubitci za hotel i bar

$Q_{ukupni} = \sum A * U * (T_{int} - T_e) = 8544,22 + 16130,68 + 5943,39 + 5773,10 = 36391,39$ [Wh]

= 36,39 [kWh]

7.2. Proračun električne energije

Da bi izračunali potrebnu električnu energiju koju koristi hotel potrebno je popisati sve uređaje koji se nalaze u hotelu i baru te njihove snage. Isto tako važno je znati da se električna energija osim za pogon uobičajenih uređaja (TV prijemnika, računala, perilica, hladnjaca, aparata za kavu) i rasvjete koristi i za pogon klima uređaja koji služe za hlađenje prostora. Također pri samom proračunu važno je znati da u danu ima trenutaka kad je potrošnja električne energije nešto niža i kad je potrošnja električne energije nešto viša. U ranojutarnjim satima potrošnja električne energije je zanemariva, ona se postepeno povećava kako se gosti vraćaju s plaže (pošto je riječ o hotelu na moru), a najveća potrošnja je u večernjim satima kad se gosti odmaraju [19]. Na najveću potrošnju električne energije značajno utječe i rasvjeta koja je upaljena, pa se preporuča korištenje štedne rasvjete, što će biti prikazano na samom hotelu. Isto tako u obzire se treba uzeti i to da je potrošnja električne energije daleko veća u ljetnim mjesecima (veliki broj gostiju) nego u zimskim mjesecima (kad je broj gostiju znatno manji) [19].

Potrebna snaga električne energije računa se prema slijedećim formulama:

a) *Snaga uređaja*

$$P_i = \text{snaga uređaja} * \text{količina uređaja [W]}$$

b) *Ukupna snaga električne energije*

$$P_{el.uk} = \sum P_i$$

a) Proračun snage električne energije za hotel

Naziv uređaja	Snaga uređaja [W]	Broj uređaja	Ukupno [W]
Rasvjeta u sobi	70 W	35	2450 W
Rasvjeta u hodniku sobe	60 W	35	2100 W
Rasvjeta u kupaonici	60W	35	2100 W
Noćne lampice	40W	35	1400 W
TV prijemnik	30 W	35	1050 W
Klima uređaj	2000 W	35	70000 W
Rasvjeta u hodniku hotela (štedne žarulje (20 W odgovaraju običnoj žarulji od 100 W)	20 W	24	480 W
Reflektori (štedne žarulje 36W odgovara običnoj od 150W)	36 W	35	1260 W
Mini bar	40 W	35	1400 W
$P_i = \text{snaga uređaja} \cdot \text{broj uređaja}$		Σ	82240 W 82,24 kW

a) Proračun snage električne energije za bar

Naziv uređaja	Snaga uređaja	Broj uređaja	Ukupno
Hladnjak	400 W	1	400 W
Aparat za kavu	6000 W	1	6000 W
Perilica čaša	2800 W	1	2800 W
TV prijemnik	67 W	1	67 W
Rasvjeta u baru (štedne žarulje 20W odgovara običnoj žarulji od 100 W)	20	5	100 W
Klima uređaj	8800 W	1	8800 W
Reflektori (štedne žarulje 36 W odgovaraju običnoj 150 W)	36 W	5	180 W
$P_i = \text{snaga uređaja} * \text{broj uređaja}$		Σ	18347 W 18,347 kW

b) Ukupna snaga električne energije

$$P_{el.uk} = \Sigma P_i$$

$P_{el.uk} = \text{snaga el.energije za hotel} + \text{snaga el.energije za bar}$

$$P_{el.uk} = 82240 \text{ W} + 18347 \text{ W}$$

$$= 100587 \text{ [W]}$$

$$= 100,58 \text{ [kW]}$$

8. Odabir tehnologije za proizvodnju električne i toplinske energije pomoću gorivnih članaka

Za gore odabran hotel za potrebe proizvodnje električne i toplinske energije koristiti će se gorivni članci s čvrstim oksidom kao elektrolitom (SOFC *eng. Solid Oxide Fuel Cell*) ali kao dodatni izvor zajedno s obnovljivim izvorom energije (energija Sunca – fotonaponske ćelije). Snaga gorivnog članka koji će se koristiti za proizvodnju električne i toplinske energije hotela je $138 \text{ kW}_{\text{el+t}}$. Sam princip proizvodnje električne i toplinske energije ovakvom kombinacijom izvora biti će slijedeći, fotonaponske ćelije proizvode električnu energiju koja se koristi za opskrbljivanje hotela, a dio električne energije odlazi u elektrolizer za proizvodnju vodika. Kad nema Sunca (loši vremenski uvjeti, noću) ili ako dođe do nekog kvara na sustavu s obnovljivim izvorom energije, tada vodik iz spremnika i kisik iz zraka u gorivnom svežnju proizvode električnu i toplinsku energiju. Otpadna toplina koju proizvodi gorivni članci iskoristit će se za grijanje prostora. Kako je za ovo postrojenje odabrana tehnologija gorivnih članaka s krutim keramičkim oksidom SOFC (*eng. Solid Oxide Fuel Cell*) nije potreban poseban reformator za proizvodnju vodika jer su SOFC (*eng. Solid Oxide Fuel Cell*) visokotemperaturni gorivnim člancima pa unutar sebe proizvode potreban vodik. Prednost tehnologije gorivnih članaka s keramičkim oksidom kao elektrolitom (SOFC *eng. Solid Oxide Fuel Cell*) u odnosu na ostale gorivne članke je u tome što proizvodi velike količine otpadne topline koja će se u slučaju hotela koristiti za grijanje (kao dodatan izvor u sustavu grijanja). Samo postrojenje s gorivnim člancima (gorivni članak, spremnik vodika te elektrolizer) biti će smješteni u podrumu hotela.

9. Nacrt postrojenja s gorivnim člancima u hotelu

Nacrt prikazuje improvizirani sustav s gorivnim člancima i obnovljivim izvorima energije za opskrbu hotela električnom i toplinskom energijom. Nacrt prikazuje presjek hotela u kojem se nalaze osnovni dijelovi postrojenja s gorivnim člancima (gorivni članak, spremnik H_2 , elektrolizer), fotonaponske ćelije, sustav grijanja (radijatori) te potrošač električne energije (rasvjeta). Nacrt hotela i postrojenja s gorivnim člancima nalazi se u prilogu na kraju rada.

10. Zaključak

Suočavamo se s sve većim i većim problemima vezanim za nedostatke energije, a posebno električne energije. Brz ekonomski razvoj i suvremeni način života doprinose sve većoj potrošnji energije. Porast potrošnje energije odražava se na okoliš, povećane iznose računa za energente te povećanu nestabilnost u područjima u kojima se još uvijek nalaze zalihe. Sve veću perspektivu imaju obnovljivi izvori energije (energija vjetra, sunca, geotermalna energija, itd) koji su dostupni i koji bi mogli preuzeti glavnu ulogu u proizvodnji električne energije koji će omogućiti potrebne količine energije, ali i koji će biti manje štetni za okoliš. No još uvijek su ulaganja u obnovljive izvore znatno manja nego u neobnovljive izvore energije. Neke od prednosti obnovljivih izvora energije su te da povećavaju energetske sigurnost, smanjuju ovisnost o uvozu nafte te jačaju ekonomije. No svakako da bi se smanjila potrošnja energije moramo i sami početi djelovati. U Republici Hrvatskoj krenule se s poticajima za energetske obnovu kuća i zgrada koje će uvelike smanjiti potrebu za toliko velikom količinom energije. Također krenulo se i s poticajima za kupnju uređaja čija je oznaka A++ i koriste znatno manje energije nego klasični uređaji.

No osim standardnih obnovljivih izvora energije, sve više se govori i o vodikovoj tehnologiji (mediju za skladištenje i prijenos energije) koja je u nekim područjima (prijevoz i stacionirana postrojenja) razvijena i do same komercijalizacije. No ipak vodikova tehnologija (gorivni članci) još uvijek imaju puno prepreka da se s njima krene u ozbiljniju primjenu. U razvoju gorivnih članaka postoje mnogi tehnički i inženjerski problemi. Najviše se radi na komponentama kao što su katoda i anoda, elektrolit te na temperatura na kojima rade, ali javljaju se problemi vezani uz sam vodik, a to je skladištenje i transport. Glavni ciljevi istraživanja gorivnih članaka za slijedećih nekoliko godina su snižavanje troškova, pojednostavljenje i povećanje sigurnosti.

U radu je prikazan hotel koji zadanu električnu i toplinsku energiju dobiva pomoću gorivnih članaka. Ovdje se gorivni članci pojavljuju kao dodatni izvor energije uz obnovljive izvore energije (energiju Sunca). Za hotel odabrana je tehnologija gorivnih članaka s krutim keramičkim oksidom (*eng. Solid Oxide Fuel Cell*) koja se pokazala kao vrlo učinkovita u sustavima kao što je hotel, a isto tako ima i veću učinkovitost od ostalih jer uz električnu energiju proizvodi i veliku količinu toplinske energije. Ovakav sustav odabran je iz više razloga, kao što je već pisano ranije gorivni članci za sada još uvijek imaju dosta problema (vijek trajanja, komponente, skladištenje vodika, transport vodika, ...), pa kao

sam sustav nebi bili najidealnije rješenje za hotel. No isto tako imaju prednost odnosno prednost vodika je mogućnost skladištenja energije koju proizvode fotonaponske ćelije i kasnijeg korištenja. Ovakav sustav rezultira visokom učinkovitošću. Također kako je u radu bilo riječi o energetskej učinkovitosti za izolaciju hotela korišteni su oni materijali koje zadovoljavaju prema Tehničkim propisima o racionalnoj uporabi energije i toplinskej zaštiti odnosno imaju manji koeficijent prolaznosti topline, što se može vidjeti iz slika koje se nalaze u poglavlju 7.1. Isto tako osim materijala za izolaciju u hotelu su korišteni i potrošači koji troše manje električne energije (npr. štedne zarulje, televizori i hladnjaci).

11. Metodički dio

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta donjelo je odluku o dopuni nastavnog plana izbornim predmetom "Obnovljivi izvori energije" za zanimanje tehničar za mehatroniku. Uvođenje ovog predmeta je značajan korak za edukaciju tehničara koji će moći primjeniti stečeno znanje u praksi i to na projektiranju, instalacijama i održavanju energetske postrojenja na obnovljive izvore energije.

Tema diplomskog rada je Postrojenje s gorivnim člancima odnosno dobivanje električne i toplinske energije pomoću gorivnih članaka. Sadržaj diplomskog rada se u potpunosti može primjeniti u izbornom predmetu u strukovnim školama za prethodno spomenuto zanimanje. U prilogu na kraju rada nalazi se detaljni izvedbeni plan za izborni predmet "Obnovljivi izvori energije".

Predmet je namjenjen učenicima četvrtog razreda smjer tehničar za mehatroniku. Nastavni sadržaj realizira se kroz teorijsku i praktičnu nastavu. Teorijska i praktična nastava održava se sa cijelim razredom 1 puta tjedno s tim da je jedan tjedan teorijska nastava, a drugi tjedan praktična nastava. Ukupni godišnji broj sati iznosi 144 sata. Za provedbu teorijske nastave potrebno je računalo, LCD projektor, ppt prezentacij. Za provedbu praktične nastave potrebno računalo, projektor PVGIS (pruža popis solarnih energetske resursa i procjenu proizvodnje električne energije iz FN sustava), FN model i dr. Tijekom nastave učenici su dužni voditi dokumentaciju u kojoj moraju upisane sve zadaće i vježbe. U nastavku se nalazi priprema za nastavu za temu "Način dobivanje električne energije pomoću gorivnih članaka te njihov utjecaj na okoliš". U nastavku je dan skraćeni izvedbeni plan za provedbu sadržaja iz nastavne cjeline "Gorivni članci".

Naziv nastavne	Cilj učenja (ishodi učenja)	Metodičko oblikovanje	Nastavna sredstava	Broj sati	Mjesto izvođenja	Napomena
----------------	-----------------------------	-----------------------	--------------------	-----------	------------------	----------

cjeline (kompleksa) i nastavne teme	za učenik)	aktivnosti koje provode učenici i nastavnici	i pomagala	T V			
GORIVNI ČLANCI 1.1. Princip rada gorivnog članka i podjela po vrsti elektrolita	Upoznati učenike s pojmom gorivnog članka, principom rada te podjelom po vrsti elektrolita	Popularno predavanje o samom pojmu gorivnog članka, podjeli i primjeni. Demonstracija principa rada gorivnog članka.	Projektor, računalo, ploča, kreda	1		Učionica	
1.2. Način dobivanja električne energije pomoću gorivnih članaka i utjecaj na okoliš	Upoznati učenike s načinom dobivanja el. energije pomoću g. čl. (postrojenjem) te njihovim utjecajem na okoliš	Popularno predavanje o problemima s električnom energijom u svijetu. Demonstracija načina dobivanja el.energije pomoću g.č. Razgovor i uočavanje prednosti i nedostataka g.č.	Projektor, računalo, ploča, kreda	1		Učionica	

		nasuprot nekih drugih izvora za dobivanje ele.energije				
1.3. Načini dobivanja vodika kao goriva	Učenike upoznati s vodikom kao gorivom i načinima na koji se dobiva vodik kao gorivo	Popularno predavanje o vodiku (karakteristike). Prezentacija o načinima dobivanja vodika (elektroliza, kataalitički reforming) Kroz razgovor s učenicima uočiti prednosti i nedostatke vodika kao goriva.	Ploča, kreda, projektor, računalo	1		Učionica

11.1. Priprema za nastavu

Škola: Elektroindustrijska i obrtnička škola Rijeka **Mjesto:** Rijeka

Razred: 4A **Zanimanje:** Tehničar za mehatroniku

Nastavni predmet: Obnovljivi izvori energije

Kompleks: GORIVNI ČLANCI

Metodička (nastavna) jedinica: Način dobivanja električne energije pomoću gorivnih članaka te njihov utjecaj na okoliš

Datum izvođenja: 1. Sat (8:00-8:45), učionica

S A D R Ž A J N I P L A N

Podjela kompleksa na teme (vježbe, operacije)

Redni broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		teorija	vježbe
1.	Princip rada gorivnog članka i podjela po vrsti elektrolita	1	
2.	<u>Način dobivanja električne energije pomoću gorivnih članaka i utjecaj na okoliš</u>	1	
3.	Načini dobivanje vodika kao goriva	1	

Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice

Informativni – upoznavanje učenika s osnovnim pojmovima vezanim za dobivanje električne energije pomoću gorivne ćelije i dobivanje vodika kao goriva

PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA

Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:

Učenici će steći osnovna znanja o načinu dobivanja električne energije pomoću gorivnih članaka te njihovom utjecaju na okoliš zbog razvijanja tehničkog mišljenja o primjeni gorivnih članaka.

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

ZNANJE I RAZUMIJEVANJE (*obrazovna postignuća*):

- Navesti dijelove postrojenja za dobivanje električne i toplinske energije pomoću gorivnih članaka
- Objasniti način dobivanja električne energije pomoću gorivnih članaka

VJEŠTINE I UMIJEĆA (*funkcionalna postignuća*):

- Usporediti trenutne načine dobivanja električne energije i vodikovu tehnologiju (gorivne članke)
- Uočiti prednosti dobivanja električne energije pomoću gorivnih članaka
- Uočiti trenutne probleme vezane za dobivanje električne energije

SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST (*odgojna postignuća*):

- Aktivno promišljati o problemima proizvodnje energije pomoću neobnovljivih izvora.
 - Suradivati s nastavnikom i ostalim učenicima
-

Organizacija nastavnog rada – artikulacija metodičke jedinice:

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
UVODNI SAT	<p>Ponavljjanje</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kroz razgovor s učenicima ponoviti najvažnije pojmove s prošlog sata <p>Najava teme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Najava teme današnjeg nastavnog sata 	Razgovor s učenicima.	5 min
SREDIŠNJI DIO	<p>Uvod u temu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Učenike potaknuti na razmišljanja o trenutnom stanju vezanom za proizvodnju energije i utjecaju na okoliš <p>Obrada novog sadržaja</p> <ul style="list-style-type: none"> • Načini dobivanje električne energije pomoću gorivnih članaka i dobivanje vodika te utjecaj na okoliš • Demonstracija principa dobivanja el.energije pomoću gorivnih članaka <p>Zaključak</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kroz razgovor s učenicima uočiti prednosti korištenja gorivnih članaka za proizvodnju električne energije 	<p>Populano predavanje o trenutnom stanju vezanom za dobivanje električne energije</p> <p>Izlaganje novog sadržaja vezanog za dobivanje el.energije pomoću gorivnih ćelija i dobivanje vodika</p> <p>Demonstracija načina dobivanja el.energije pomoću gorivnih ćelija i dobivanje vodika elektrolizom</p> <p>Razgovor s učenicima s učenicima uočiti prednosti odnosno</p>	35 min

		nedostatke korištenja gorivnih članaka	
ZAVRŠNI DIO	Sistematizacija sadržaja <ul style="list-style-type: none"> Sustavno ponoviti ključne dijelove sadržaja i zaključiti temu 	Pitanjima o ključnim dijelovima postrojenja, načinu dobivanja el.energije pomoću gorivnih članaka ponoviti najvažnije pojmove	5 min

Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:

- Power Point Prezentacija (koristi ju nastavnik u svhu preznetacije gradiva i motivacije)
- Računalo s projektorom (koristi nastavnik za izvođenje prezentacije)
- Školska ploča i kreda (koristi nastavnik pri prezentaciji i demonstraciji gradiva)

Metodički oblici koji će se primjenjivati tijekom rada:

Uvodni dio

- razgovor s učenicima o najvažnijim pojmovima koje smo učili prošli tjedan (gorivnih članaka, dijelovi, vrste gorivnih članaka s obzirom na elektrolit)

Središnji dio

- populano predavanje vezano za trenutno stanje dobivanja električne energije pomoću obnovljivih i neobnovljivih izvora energije,
- izlaganje novog sadržaja vezanog za dobivanje električne energije pomoću gorivnih članaka i dobivanja vodika,
- navođenje najvažnijih djelova postrojenja,
- demonstracija postrojenja za dobivanje električne energije,
- razgovor s učenicima u kojem će oni uočiti prednosti korištenja gorivnih članaka za proizvodnju električne energije

Završni dio

- pitanjima s učenicima ponoviti ključne pojmove (postrojenje s gorivnim člancima, dakle dijelovi postrojenja i objasniti način dobivanja el.energije pomoću slike postrojenja)

Izvori za pripremanje nastavnika:

- Obnovljivi izvori energije, Graphis, doc.dr.sc. Ljubomir Majdandžić
- <http://marjan.fesb.hr/~fbarbir/PDFs%20Termoenergetska%20postrojenja/10%20Nove%20tehnologije%20-%20gorivni%20clanci.pdf>
- https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Jukic_EM_2.pdf
- <http://www.obnovljivi.com/nove-tehnologije/969-ideja-za-proizvodnju-vodika-samo-pogonjen-uredjaj-za-proizvodnju-vodika>

Izvori za pripremanje učenika:

- Obnovljivi izvori energije, Graphis, doc.dr.sc. Ljubomir Majdandžić
- Bilješke učenika

TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD

UVODNI DIO

Ponavljanje

Na početku sata s učenicima kroz razgovor ponoviti najvažnije pojmove koje su obrađivali na prošlom nastavnom satu.

- Što su to gorivni članci?
 - ✓ Gorivni članci su elektrokemijski uređaji koji kemijsku energiju pretvaraju u električnu energiju, a kao nusprodukti javljaju se toplina i voda ili
 - ✓ Uređaji koji kemijsku energiju goriva i oksidansa pretvaraju u električnu energiju
 - Princip rada gorivnog članka
 - ✓ Na anodi oksidira gorivo (vodik) na protone i elektrone, protoni prolaze kroz elektrolit, dok se elektroni preko vanjskog trošila vode do katode, gdje
-

se ponovno spajaju protoni i elektroni koji se spajaju s oksidansom (kisikom) i dobivamo električnu energiju, toplinu i vodu.

- Navedite vrste gorivnih članaka s obzirom na elektrolit
 - ✓ Gorivni članci s alkalnim elektrolitom
 - ✓ Gorivni članci s polimernom membranom
 - ✓ Gorivni članci s krutim keramičkim oksidom kao elektrolitom
 - ✓ Gorivni članci s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom
 - ✓ Gorivni članci s fosfornim elektrolitom

Najava teme

Nakon ponavljanja najvažnijih pojmova, od učenika će se još tražiti da se prisjete i navedu primjere primjene gorivnih članaka (pogon vozila, proizvodnju električne energije (kogeneracija), zamjena za baterije, i sl) . Kad navedu primjere najaviti će se tema kojom će se danas baviti, a to je "**Dobivanjem električne energije pomoću gorivnih članaka te njihov utjecaj na okoliš**". Tema će se zapisati na ploču.

SREDIŠNJI DIO

Uvod u temu

Prije same obrade novog sadržaja održati će se kratko populano predavanje vezano za trenutno stanje dobivanja električne energije i razloga sve većeg razvijanja obnovljivih izvora i gorivnih članaka kao sustava za dobivanje električne energije.

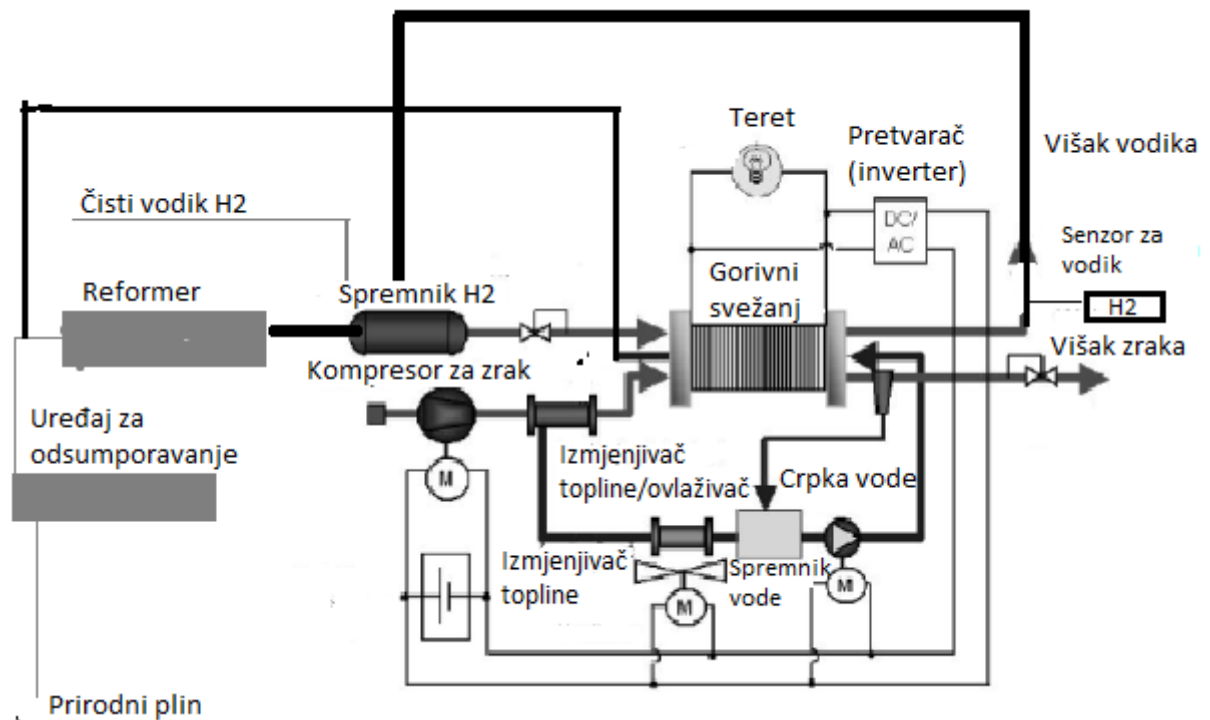
Danas u svijetu ima čak dvije milijarde ljudi koji nemaju pristup električnoj energiji, a taj će se problem sve više povećavati zbog porasta broja populacije, također navesti će se da su fosilnih goriva koja su danas jedni od najvećih nosioca (proizvođača) električne i toplinske bitne energije sve manje. Također navesti će se da upravo smanjenje rezervi fosilnih goriva utječu na cijene, političku nestabilnost područja u kojima se nalaze rezerve nafte, itd.

Upitati učenike da navedu na koji načine (koje su učili) možemo dobiti električnu energiju ?

- Nuklearne elektrane
 - Vjetroelektrane
 - Fotonaponski paneli
 - Hidroelektrane
-

Obrada novog sadržaja

Obrada novog sadržaja započeti će time da se učenicima kaže da se gorivnim člancima osim za proizvodnju električne energije istodobno koriste i za proizvodnju toplinske energije (kogeneracija), toplina je nusprodukt gorivnih članaka. Navesti da se njihova učinkovitost povećava istodobnom proizvodnjom električne i toplinske energije 50-70%. Inače sama učinkovitost sustava je od 35-40% . Pomoću slika 1. učenicima će se prikazati sustav s gorivnim člancima i način na koji se odvija dobivanje električne energije pomoću gorivnog članka. Na ploču će se zapisivati najvažniji dijelovi postrojenja s gorivnim člancima koje će učenici zapisati.



Slika 1. Postrojenje s gorivnim ćelijama

Objašnjenje principa dobivanja električne energije

Reformer je uređaj kojeg koristimo za pročišćavanje vodika iz smjese ugljikovodika. On može biti interni ili eksterni što ovisi o radnim temperaturama gorivnih članaka. Kad se postigne temperatura od $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ prirodni plin ulazi u sustav kroz komoru za odsumporavanje, gdje se odstranjuje sumpor, a prirodni plin preko ventila i izmjenjivača topline ulazi u reformer. U izmjenjivačima topline se voda pretvara u vodenu paru te se dodaje protoku prirodnog plina, nakon toga počinje proces reformiranja koji podrazumjeva

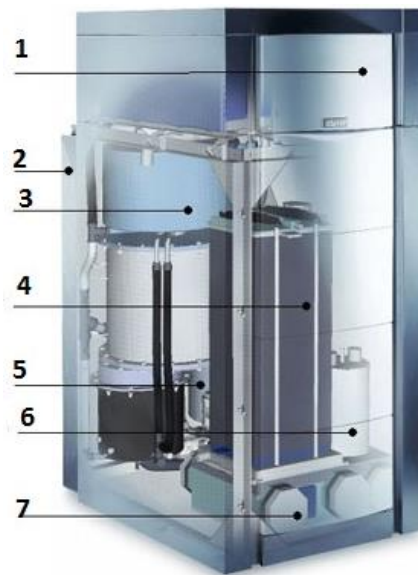
pretvaranje prirodnog plina i vodene pare u ugljični monoksid, ugljični dioksid i vodik koji se zajedno nazivaju sirovi reformat. Nakon odstranjivanja ugljičnog monoksida na kraju dobivamo čisti reformer koji sadrži:

- 75% vodika
- 17 – 19% ugljičnog dioksida
- 2 % netransformiranog metana

Nakon što dobijemo reformat (vodik) ili ako imamo čisti vodik on iz spremnika ulazi u **gorivni svežanj**, a nakon njega i zrak iz kompresora prelazi preko izmjenjivača topline/ovlaživača (mora postojati određena temperatura zraka (kisika) prije ulaska u gorivni svežanj. Nakon što gorivni svežnja odradi svoje procese oksidacije goriva i ponovne redukcije iz njega izlaze sljedeći produkti istosmjerna električna struja i njegovi nusprodukti voda i toplina. Voda se odvodi u spremnik vode gdje se zajedno s toplinom pretvara u vodenu paru, pomoću vodene crpke dio se koristi za ovlaživanje gorivnog članka , a dio se odvodi u reformator gdje se ponovno koristi za proces reformiranja. Nakon toga izmjenična struja se predaje u **pretvarač (inverter)** koji istosmjernu struju pretvara u izmjeničnu struju.

Nakon toga učenicima se treba reći da smo na početku naveli da se gorivni članci nikad ne koriste samo za proizvodnju električne energije već i za proizvodnju toplinske energije i predstaviti im gorivne članke koji se najčešće koriste i njihove dijelove:

- PEMFC (gorivni članak s polimernom membranom kao elektrolitom) (slika 2a)
 - SOFC (gorivni članak s krutim keramičkim oksidom kao elektrolitom) (slika2b)
-

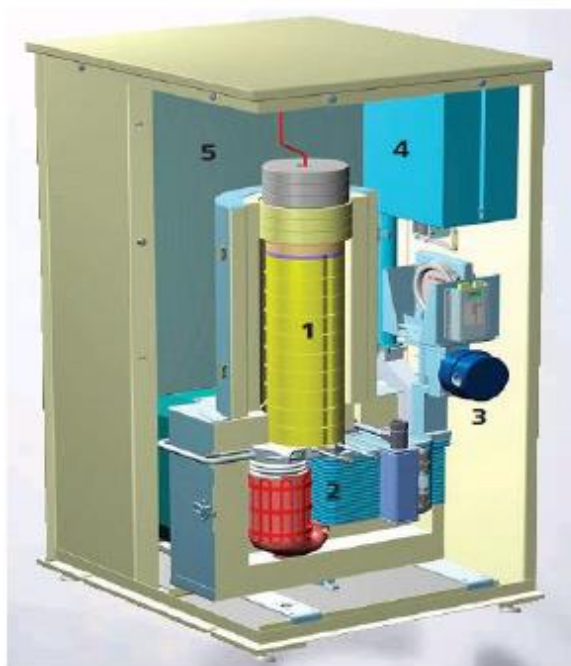


VALLANT 2003 7

2a. Uređaj s PEMFC gorivnom ćelijom

Dijelovi:

1. Upravljački sistem
2. Pretvarač DC/AC (inverter)
3. Reformator
4. PEMFC gorivni članak
5. Uređaj za odsumporavanje
6. Sistem za odvod vodene pare
7. Sustav ventila



Slika 2b. Uređaj s SOFC gorivnim ćelijama

Najvažniji dijelovi:

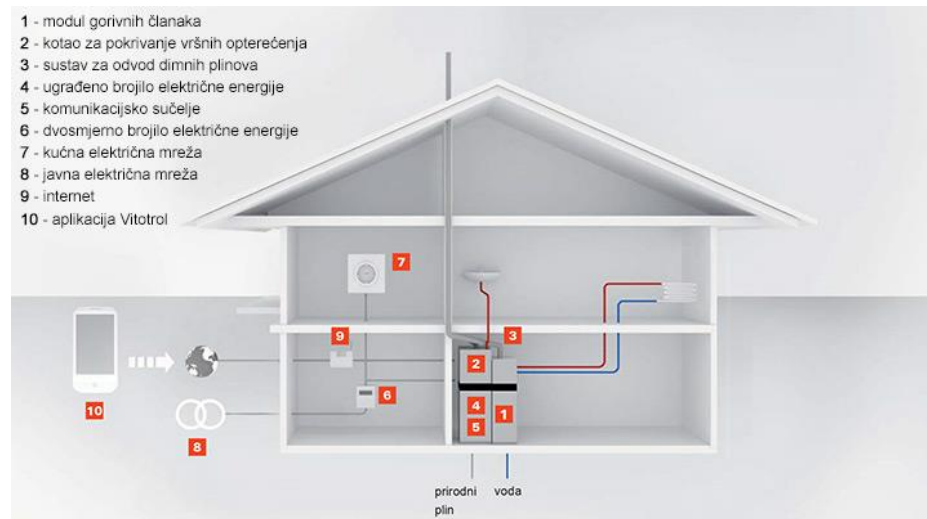
12. SOFC gorivni članak
13. Obrada zraka/razmjena topline
14. Sistem za odvod zraka
15. Sistem za zagrijavanje vode
16. Pretvarač DC/AC (inverter) i upravljački sistem

Upitati učenike dali su možda uočili da nedostaje neki od djelova na uređaju sa SOFC gorivnim člancima? Valja uočiti da nedostaje reformer. Nakon toga navesti ih na razmišljanje zbog čega SOFC gorivnim člancima ne treba reformtor ? Zbog visoke temperature (SOFC gorivni članci su visokotemperaturni gorivni članci koji potreban vodik proizvode unutar sebe, to se učilo na prethodnom satu kad je teme bila "**Princip rada gorivnog članka i podjela prema vrsti elektrolita**") jer oni sami sebi proizvode potreban vodik, ne treba im dodatni reformer, koriste zapravo interni reformer.

Dalje učenicima reći da gorivne članke za proizvodnju električne energije može podijeliti u nekoliko skupina i to prema namjeni, nazivnoj izlaznoj snazi, smještaju itd, ali ove su trenutno najbitnije:

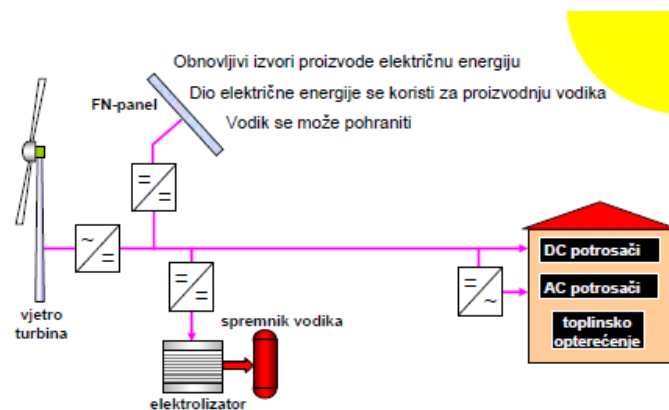
Prema namjeni

- osnovni izvor energije (kad u cijelosti zamjenjuje postojeći sustav opskrbe ili kada sustava uopće nema)

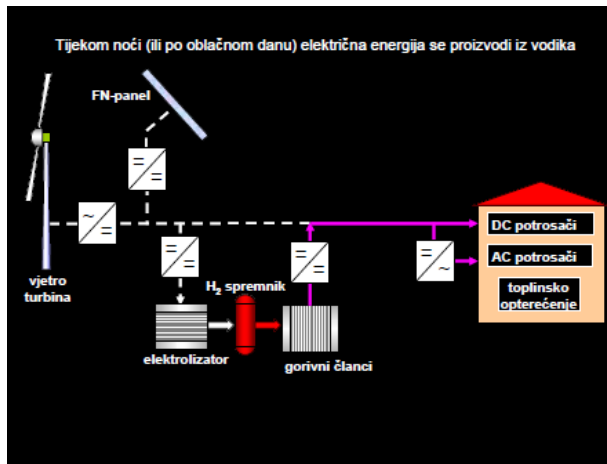


Slika 3. Osnovni izvor energije

- dodatni izvor energije u kombinaciji s obnovljivim izvorom energije koji nemogu uvijek pokrivati potrošnju (FN ćelije, vjetroelektrane) (slika 4a i 4b)



Slika 4a. Obnovljivi izvori energije (Sunce, Vjetar) proizvode električnu energiju



Slika 4b. Kad obnovljivi izvori ne mogu pokrivati potrošnju

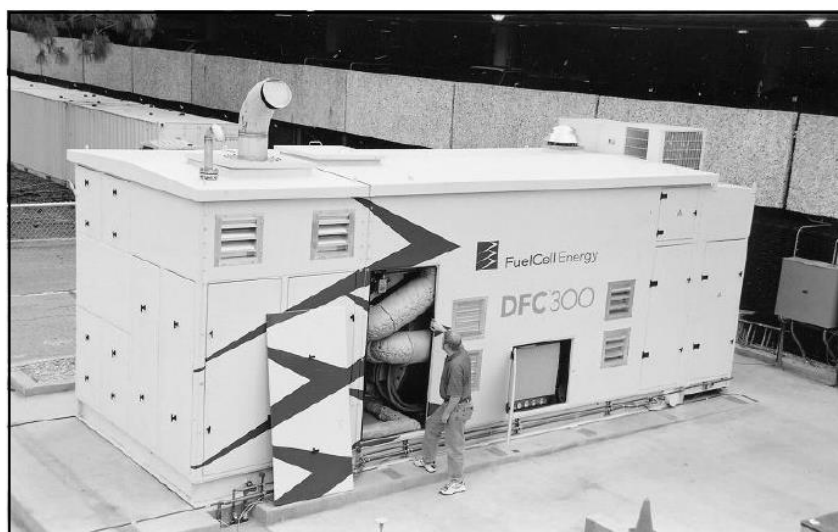
- pričuvni izvor energije u slučaju prekida uobičajene opskrbe

Prema nazivnoj snazi:

- 1 - 5 kW (stambene jedinice)
- 5 - 20 kW (manje zgrade)
- 200 - 300 kW (veće zgrade (hoteli, bolnice, trgovački centri))

Prema smještaju:

- na otvorenom, pri čemu se mora osigurati otpornost na vanjske utjecaje (slika 5)



Slika 5. Gorivni članci na otvorenom

- u zatvorenom, pri čemu valja poštovati norme i propise koji to određuju (slika 6)



Slika 6. Uređaj na zatvorenom dijelu

- u odvojenoj izvedbi kad je jedan dio sutava vani (priprema goriva (reformer), sklop gorivnih članaka), a jedan dio unutra (regulacija)

Nakon obrade učenici će u paru zapisati prednosti i nedostatke gorivnih članaka nasuprot nekih izvora i tehnologija koje su se ranije obrađivale. Biti će im ponuđene:

- energija Sunca (fotonaponske ćelije)
- energija vjetra (vjetroelektrane)
- energija vode (hidroelektrane)

Oni će morati odabrati jednu od njih i usporediti ju s gorivnim člancima (učenici će upotrijebiti već prethodna znanja o gorivnim člancima) ali potrebno je zapisati one prednosti i nedostatke koji se odnose na sam okoliš. Zapisano će se kasnije prokomentirati i najznačajnije prednosti i nedostaci gorivnih članaka zapisati će se na ploču i u bilježnice.

Prednosti:

- ne proizvode ili proizvode male emisije štetnih plinova (nema klasičnog izgaranja)
- vodik je dostupan svuda pa se time rješava problem zemalja koje nemaju pristup električnoj energiji
- Nemaju pokretnih dijelova (tihi rad), ne stvaraju buku

Nedostatak :

- Proizvodnjom vodika proizvodi se ugljični dioksid i ugljički monoksid, ali u znatno manjoj količini nego kod ostalih, al ipak postoji određeni dio

ZAVRŠNI DIO

Sistematizacija gradiva

Na kraju sata s učenicima će se ponoviti ključni pojmovi :

- Nabrojiti najvažnije dijelove postrojenja s gorivnim ćelijama
- Pomoću slike objasniti način dobivanja električne energije

Također učenike uputiti na stranicu koja će im još pojasniti sve što smo do sad učili o gorivnim člancima

- Fuel Cell Today (<http://www.fuelcelltoday.com/>)

Na kraju sata učenicima najaviti temu sljedećeg sata "**Načini dobivanja vodika**" i zaključiti sat.

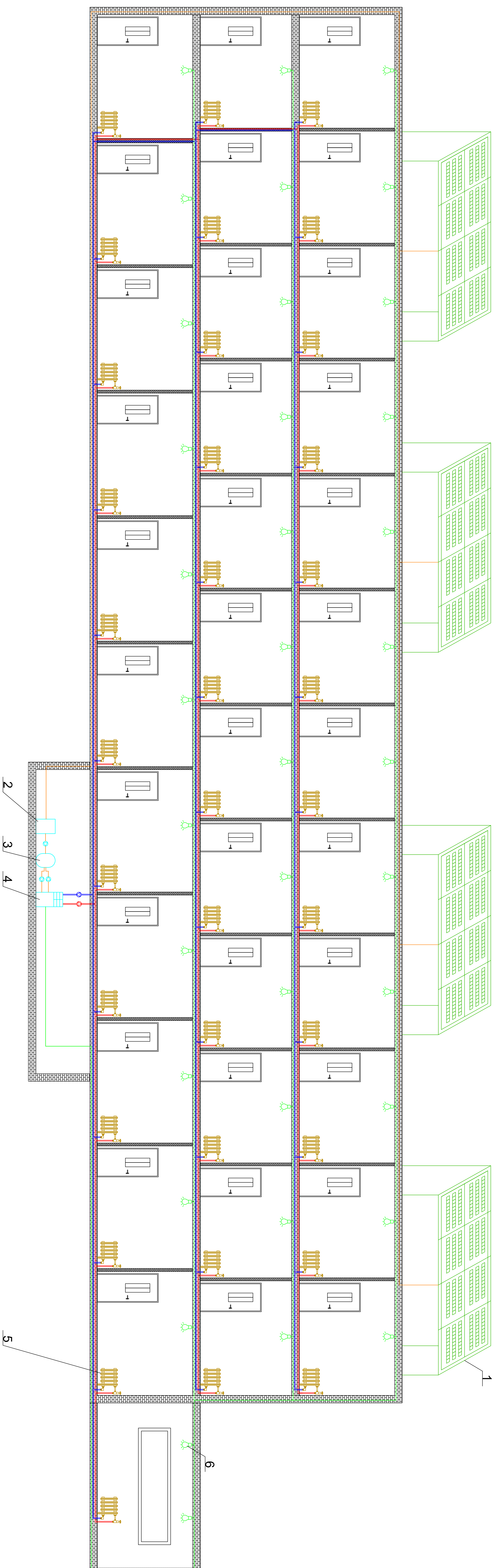
Izgled ploče

Način dobivanja električne energije pomoću gorivnih članaka i njihov utjecaj na okoliš	
<p>Postrojenje s gorivnim člancima: Reformer – uređaj za pročišćavanje vodika Može biti: INTERNI EKSTERNI</p> <p>Gorivni svežanj – sklop više povezanih gorivnih članaka Pretvarač DC/AC – uređaj koji istosmjernu električnu struju pretvara u izmjeničnu električnu struju</p> <p>Najčešće vrste:</p> <p>PEMFC (gorivni članci s polimernom membranom) SOFC (gorivni članci s krutim oksidom)</p> <p>Podjela prema:</p> <p>a)namjeni:</p> <p style="padding-left: 40px;">osnovni izvor</p> <p style="padding-left: 40px;">dodatni izvor u kombinaciji s obnovljivim izvorom</p> <p style="padding-left: 40px;">pričuvni izvor</p> <p>c) nazivnoj izlaznoj snazi:</p> <p style="padding-left: 40px;">1 - 5 kW (stambene jedinice)</p> <p style="padding-left: 40px;">5 - 20 kW (manje zgrade)</p> <p style="padding-left: 40px;">200 - 300 kW (veće zgrade (hoteli, bolnice, trgovački centri)</p>	<p>c)smještaju:</p> <p style="padding-left: 40px;">na otvorenom</p> <p style="padding-left: 40px;">zatvorenom</p> <p style="padding-left: 40px;">odvojena izvedba</p> <p>Prednosti gorivnih članka:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ne proizvodi radioaktivni otpad• Vodik dostupan (prješenje problema zemalja koji nemaju pristupa el.energiji)• Tihi rad <p>Nedostaci gorivnih članaka :</p> <ul style="list-style-type: none">• Proizvodnja ugljikovog dioksida i monoksida

12.Literatura

- [1] http://www.izvorienergije.com/svijet_treba_obnovljive_izvore_energije.html (preuzeto 25.3.2015)
- [2]http://apeironsrbija.edu.rs/icama2009/022_Sasa%20Zeljko%20-%20Gorive%20celije.pdf (preuzeto 25.3.2015)
- [3] Schalger N, Weisblatt J: Alternative energy, Thomson Gale, a part of the Thomson Corporation, 2006.
- [4]http://www.fkit.unizg.hr/download/repository/5_predavanje_Energetika_UE_prema_pred_u_Power_pointu_fosilna_goriva_nafta.pdf (preuzeto 25.5.2015)
- [5] http://www.periodni.com/enig/klimatske_promjene.html (preuzeto 25.5.2015)
- [6]<http://www.novi-svjetski-poredak.com/2013/12/18/16-znakova-da-je-globalno-zatopljenje-laz-i-da-smo-sada-usli-u-razdoblje-globalnog-zahladenja/> (preuzeto 25.5.2015)
- [7] Morvanj Z., Sučić B., Zanki V., Čačić G.:Priručnik za energetske pregled zgrada, Zagreb 2010.
- [8] <http://www.index.hr/vijesti/clanak/objavljeni-detalji-o-postupku-energetske-obnove-kuca-poticaji-od-80-60-ili-40-posto/816903.aspx> (preuzeto 10.4.2015)
- [9]<https://www.scribd.com/doc/80926570/Gorivne-Celije-Izvori-Elektricne-Energije> (preuzeto 25.3.2015)
- [10] Stanojević D., Tomić, M.: Goriva ćelija juče, danas i sutra, Zorka- centar za istraživanja, Tehnološki fakultet Zvornik, Šabac, 2005.
- [11] Fuel Cell Handbook (Seventh Edition), National Energy Technology Laboratory, West Virginia, 2004.
- [12]<http://www.energetika-net.com/specijali/nove-tehnologije/prvi-uredaj-na-gorivne-clanke-u-serijskoj-proizvodnji-19765> (preuzeto 10.4.2015)
- [13] Barbir F.:Obnovljivi izvori energije i održivi razvoj, Vodikove tehnologije, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
- [14] <http://www.sk.rs/2008/04/sknt01.html> , Regenerativni gorivni članci (preuzeto 25.5.2015)
- [15] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Vodik> (preuzeto 25.4.2015)
-

- [16] https://bib.irb.hr/datoteka/53519.EE2000frankovic_et_al.pdf (preuzeto 20.4.2015)
- [17] http://www.ex-agencija.hr/wp-content/uploads/2014/12/ex_bilten_59_9_vodik_proizvodnja_i_sigurnost_prilikom_eksploatacije.pdf (preuzeto 20.4.2015)
- [18] Paar V. : Energetska kriza: Gdje (ni)je izlaz? , Školska knjiga, Zagreb 1984
- [19] Bratić, S: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2010.
- [20] <http://www.poslovni.hr/domace-kompanije/energetski-najefikasnije-graevine-trose-18-puta-manje-energije-od-starih-kuca-205573> (preuzeto 10.4.2015)
- [21] <http://www.hrastovic-inzenjering.hr/alter-energija/34-hrastovic/savjeti/342-osnove-primjene-vodika-h2.html> (preuzeto 10.4.2015)
- [22] https://hr.wikipedia.org/wiki/Gorivi_%C4%8Dlanak (preuzeto 10.4.2015)
- [23] <http://www.radiodux.me/naslovnica/945-obnovljivi-izvori-energije> (preuzeto 10.4.2015)
- [24] Šare, A: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje, Diplomski rad, 2010 (http://powerlab.fsb.hr/neven/pdf/supervision_of_bsc_thesis/21_12_2010_Zavrzni_Analiza_Sare.pdf) (preuzeto 10.4.2015)
- [25] Glavaš, H: Uvod u tehnologiju gorivnih elemenata, Diplomski rad, 2007, Osijek (<https://www.yumpu.com/hr/document/view/14040623/0710-hkordic-diplomskipdf-elektrotehnicki-fakultet-osijek-/7>) (preuzeto 25.3.2015)
- [26] <http://www.mojaenergija.hr/index.php/me/Knjiznica/Zelim-znati/Skola-energetike/20-Vodik-i-buduci-izvori-energije> (preuzeto 25.4.2015)
- [27] <https://www.scribd.com/doc/14832721/Seminar-Gorive-Celije> (preuzeto 25.4.2015)
-



LEGENDA:

- 1 - FOTONAPONSKA ČELIJA
- 2 - ELEKTROLIZOR
- 3 - SPREMNIK VODIKA
- 4 - GORIVI ČLANCI
- 5 - POTROŠAČ EL.ENERGIJE (RASVJETA)
- 6 - SUSTAV GRIJANJA (RADIJATORI)