

Vodik in acilen kot goriva prihodnosti

Raziskovalno področje: interdisciplinarno področje

Raziskovalna naloga

Avtorji:

Izabela Palhartinger

Lucija Jelušič

Jaša Lakota

Mentor:

Primož Trontelj

Šola: OŠ prof. dr. Josipa Plemlja Bled

Bled, april 2025

Kazalo

1. Uvod	9
1.2. Hipoteza	9
1.3. Raziskovalno vprašanje	9
2. Teoretična izhodišča	10
2.1. Vodik	10
2.1.1. Splošno o vodiku	10
2.1.2. Načini pridobivanja vodika	10
2.1.3. Fizikalne in kemijske lastnosti	11
2.2. Acetilen	12
2.2.1. Splošno o acetilenu	12
2.2.2. Načini pridobivanja acetilena	12
2.2.3. Fizikalne in kemijske lastnosti	13
2.3. Električna vozila	13
2.3.1. Kako delujejo električna vozila?	13
2.3.2. Litijeve baterije in njihov vpliv	14
2.3.3. Pridobivanje baterij in okoljski vpliv	14
2.4. Primerjava med vodikom in acetilenom kot gorivoma	15
2.5. Uporaba vodika in acetilena v industriji in energetiki	15
2.5.1 Uporaba vodika	15
2.5.2. Uporaba acetilena	16
2.6. Pomen raziskav na področju obnovljivih virov energije	16
2.7. Kako iz acetilena pridobivamo vodik?	17
2.7.1. Ali bi se dalo iz preostalega ogljika izdelati diamant?	18
2.8. Varnost pri uporabi in shranjevanju vodika in acetilena	18
2.8.1. Varnost pri uporabi vodika	18
2.8.2. Varnost pri uporabi acetilena	19
2.8.3. Varnost pri shranjevanju acetilena	19
2.8.4. Varnost pri shranjevanju vodika	19
3. Raziskovalni del	20
3. 1. Eksperimenti	20
3.1.1. Pridobivanje vodika	20
3.1.1.1. Reakcija cinka in klorovodikove kisline	20
3.1.2. Pridobivanje acetilena	23

3.2. Ogljični odtis gorenja vodika in acetilena	24
3.3. Proizvodnja vodika iz apnenca	24
3.3.1. Koliko vodika lahko pridobimo iz 10 kg apnenca?	25
3.3.2. Koliko energije izgubimo/pridobimo	26
4. Rezultati in diskusija	26
4.1. Pregled rezultatov meritev za vodik	26
4.2. Pregled rezultatov meritev za acilen	27
4.3. Primerjava rezultatov za oba plina	27
4.4. Ovrednotenje hipotez	28
4.5. Analiza in interpretacija podatkov	28
5. Zaključek	28
6. Viri	29
7. Priloge	31
7.1. Izračuni množin, mas in prostornin pri 3.1.	31

Kazalo grafov

GRAF 1 primerjava stroškov za 2 grama vodika pri različnih reakcijah.....	27
---	----

Kazalo slik

SLIKA 1: Vodikovi mehurčki	SLIKA 2: Aparatura	20
SLIKA 3: Aluminijeva palčka	SLIKA 4: Veseli znanstvenici.....	21
SLIKA 5: Reakcija	SLIKA 6: Vodikov balon	22
SLIKA 7: Balon na stropu	SLIKA 8: Eksplozija.....	22
SLIKA 9: Dokaz za vodik.....		23
SLIKA 10: Reakcija		23
SLIKA 11: Eksplozija acetilena.....		23
SLIKA 12: Črni ostanki.....		24

Povzetek

Raziskava preučuje okolju prijazni gorivi, vodik in acetilen, ki še nista široko uporabljena. Cilj je najti najbolj učinkovit način pridobivanja. Hipoteza predvideva, da je vodik obetavnejši zaradi lažje proizvodnje, večje učinkovitosti in manjšega ogljičnega odtisa, medtem, ko acetilen zaradi visoke vsebnosti ogljika morda ni primeren.

Vodik se pridobiva z elektrolizo vode, acetilen pa z reakcijo kalcijevega karbida. Eksperimenti so pokazali, da oba plina eksplodirata ob stiku s plamenom. Vodik je čistejši in učinkovitejši, vendar ga je težje shraniti, medtem ko acetilen gori pri višjih temperaturah, vendar ni tako ekološki in je eksploziven.

Vodik je učinkovit in ekološko sprejemljiv (če je pridobljen na okolju prijazen način), a zahteva nadzor in razvijajočo se infrastrukturo. Acetilen je ključen v industriji, vendar nevaren in prispeva k ogljičnemu odtisu. Električna vozila so varna in učinkovita, a odvisna od vira elektrike ter povzročajo odpadke iz baterij. Vsak vir ima svoje prednosti in omejitve, trajnostna prihodnost pa bo temeljila na njihovi kombinaciji.

Ključne besede: vodik, acetilen, gorivo prihodnosti, eksplozija, zelena energija

Abstract

This research explores environmentally friendly fuels, hydrogen and acetylene, which are not widely used. The aim is to identify the most efficient production method. The hypothesis suggests that hydrogen is more promising due to easier production, higher efficiency, and a lower carbon footprint, while acetylene may not be suitable due to its high carbon content.

Hydrogen is produced through methods like water electrolysis, while acetylene is obtained from calcium carbide. Experiments showed that both gases exploded when exposed to flames. Hydrogen is cleaner and more efficient but harder to store, while acetylene burns at higher temperatures but is less eco-friendly and explosive.

Hydrogen is efficient and environmentally acceptable (if it is green), but requires regulation and a developing infrastructure. Acetylene is essential in industry, but dangerous and contributes to the carbon footprint. Electric vehicles are safe and efficient, but depend on a source of electricity and generate waste from batteries. Each source has its advantages and limitations, and a sustainable future will be based on their combination.

Keywords: hydrogen, acetylene, fuel of the future, explosion, green energy

Zahvala

Iskreno se zahvaljujemo vsem, ki ste nam pomagali pri izvedbi raziskovalne naloge.

Posebna zahvala gre učitelju za strokovno podporo in nasvete ter našim staršem za spodbudo in zaupanje. Hvala šolskim čistilkam, ki so nam omogočile dostop do šole v večernih urah. Zahvaljujemo se tudi učiteljicam kemije, geografije in angleščine, ki so nam omogočile dodatni čas za raziskovanje.

Vsem skupaj iskrena hvala – brez vas naloge ne bi mogli izvesti!

1. Uvod

Idejo za raziskovalno nalogo smo dobili med strokovno ekskurzijo v Parizu prejšnje leto. Mesto nas je navdušilo, vendar smo opazili močno onesnaženje, predvsem reke Sene. To nas je spodbudilo k razmišljanju o okoljskih problemih, zato smo po novoletnih počitnicah svoje zamisli predstavili učitelju. Z veseljem nas je podprl in skupaj smo začeli raziskovati možnosti uporabe okolju prijaznejših goriv.

Osredotočili smo se na vodik in acetilen, dve gorivi, ki smo ju spoznali pri pouku fizike in kemije. Izbrali smo ju, ker sta si med seboj zelo različna in smo ju želeli preučiti. Ugotovili smo, da se ti gorivi v vsakdanjem življenju redko uporabljata, zato smo želeli raziskati njen potencial kot alternativni vir energije.

1.1. Cilji raziskave

Cilj naše raziskave je izvesti čim več poskusov pridobivanja vodika in acetilena in ugotoviti, kateri način je najbolj izvedljiv in učinkovit. Super bi bilo, da bi našli način, ki bi se ga dalo uporabiti v vsakdanjem življenju. V raziskovalni nalogi bomo našli najboljši način za sintezo vodika in acetilena. Naš glavni cilj je narediti finančni in ekonomski načrt uvedbe acetilena in vodika na komercialni trg.

1.2. Hipoteza

Pri postavljanju hipotez smo se usmerili predvsem na trajnostno in varnostno oceno vodika in acetilena ter njuno praktično uporabnost.

Naše hipoteze so:

1. Gorenje acetilena ni zelena energija.
2. Gorenje vodika je zelena energija.
3. Vodik in acetilen sta nevarna.
4. Vodika in acetilena ne moremo proizvesti doma.
5. Acetilen in vodik sta gorivi prihodnosti.

1.3. Raziskovalno vprašanje

Pri pouku kemije smo spoznali acetilen (C_2H_2) in vodik (H_2), ter še veliko drugih goriv. Najbolj nas je navdušil vodik, saj ne vsebuje ogljika in naj bi bil okolju prijazen, zato smo si ga izbrali

za našo raziskovalno nalogo. Zelo zanimiv se nam je zdel tudi acetilen, ampak o njem nismo vedeli prav veliko, zato smo se odločili, da o njem izvemo več. Acetilen smo izbrali tudi zaradi podobnosti formul med vodikom in acetilenom. Naše raziskovalno vprašanje je: Ali sta vodik in acetilen lahko uporabna v praksi kot gorivo?

2. Teoretična izhodišča

2.1. Vodik

2.1.1. Splošno o vodiku

Vodik je prvi element v periodnem sistemu, ter najpogostejši element v vesolju. V Zemljini atmosferi ga je malo, saj je izredno lahek plin relativno na druge pline v ozračju (CO_2 , N_2 , O_2 ...). Je zelo uporaben tako v plinasti kot v tekoči obliki. Uporabljajo ga za raketno gorivo (ob tekočem kisiku ali kerozinu), v prehranski industriji, pri proizvodnji amonijaka in orožja. Prisoten je tudi v jedrski fuziji v središčih zvezd [1].

2.1.2. Načini pridobivanja vodika

Vodik lahko pridobivamo na različne načine:

Iz obnovljivih virov:

- Elektroliza vode – razgradnja vode (H_2O) na vodik (H_2) in kisik (O_2) z elektrolizo iz obnovljivih virov (zeleni vodik).
- Biološka proizvodnja – nekatere bakterije in alge proizvajajo vodik med presnovnimi procesi.
- Termo kemična razgradnja biomase – les, rastlinski odpadki in drugi organski materiali se segrejejo, pri čemer nastane vodik [2].

Iz fosilnih goriv:

- Parna reformacija zemeljskega plina – metan (CH_4) reagira z vodno paro pri visokih temperaturah (sivi vodik, če se CO_2 ne zajame, ali modri vodik, če se CO_2 zajame in shrani) [2].

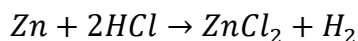
Drugi načini:

- Piroлиза metana – metan se pri visokih temperaturah razgradi na vodik in trdni ogljik (turkizni vodik).

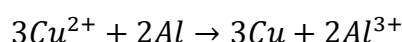
- Visokotemperaturna elektroliza – uporablja toploto iz jedrskih ali sončnih elektrarn za bolj učinkovito razgradnjo vode [19, 21].

Vodik lahko pridobimo tudi z različnimi kemijskimi reakcijami kot na primer:

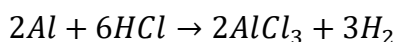
- Z reakcijo cinka (Zn) in klorovodikove kisline (HCl),



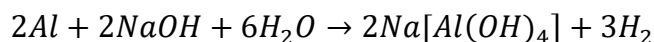
- Z reakcijo aluminija (Al), klorovodikove kisline (HCl) in modre galice (CuSO₄),



- Z reakcijo aluminija s klorovodikovo kislino,



- Z reakcijo aluminija (Al) in natrijevega hidroksida (NaOH) v vodni raztopini.

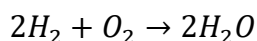


Najboljši način pridobivanja vodika je z elektrolizo vode, saj vodik pri tem postopku pridobimo direktno iz vode. Voda je obnovljiv vir energije, kar pomeni, da bi imeli goriva neomejeno. Prav tako ne onesnažuje okolja [1].

Pridobivanje vodika z reakcijo cinka in klorovodikove kisline je lahko in ni nevarno ter ga lahko izvedemo tudi v šoli. Težava so le odpadki, ki pri reakciji nastanejo [2].

2.1.3. Fizikalne in kemijske lastnosti

Vodik je zelo reaktiven element, saj tvori vezi s številnimi drugimi elementi. Zaradi močne kovalentne vezi tvori molekulo H₂. Pri gorenju z oranžnim plamenom reagira s kisikom in tvori vodo, kar je opisano z enačbo:



S kovinami tvori hidride, kot sta natrijev hidrid (NaH) in kalcijev hidrid (CaH₂). Vodik deluje kot reducent in pogosto sodeluje v oksidacijsko-redukcijskih reakcijah. Zaradi visoke

energijske vrednosti pri izgorevanju se uporablja kot gorivo. V vesolju ima ključno vlogo pri nastanku zvezd in pri jedrskih reakcijah [1].

Fizikalno je vodik brezbarven plin brez vonja in okusa. Je najlažji plin, saj ima relativno atomsko maso 1,008. Pri sobni temperaturi je v plinastem stanju, njegovo vrelišče je $-252,87\text{ }^{\circ}\text{C}$, tališče pa $-259,16\text{ }^{\circ}\text{C}$. V vodi je slabo topen, njegova gostota pa je približno $0,0899\text{ g/L}$ pri temperaturi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ in tlaku 1 atm [1].

2.2. Acetilen

2.2.1. Splošno o acetilenu

Acetilen (ali etin) je pomemben ogljikovodik v industriji, predvsem za rezanje ter spajanje kovin, ko gori v kisiku. Uporaben je tudi za pridobivanje sintetičnih vlaken in pospeševanje zorenja sadja. Nekoč je bil uporaben za osvetlitev s karbidnimi svetilkami, danes pa je uporaben pri eksperimentiranju v vesoljski tehnologiji [3].

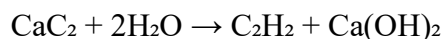
Pridobi se ga lahko z reakcijo kalcijevega karbida in vode. Je izjemno nevaren, še posebej pod visokim tlakom, saj hitro pride do samovžiga. Previdni moramo biti, da ga ne izpostavimo v bližini isker ali določenih kovin [3].

2.2.2. Načini pridobivanja acetilena

Acetilen (C_2H_2) se pridobiva na več načinov, od klasičnih kemijskih reakcij do sodobnih industrijskih metod:

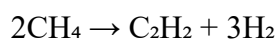
- Reakcija kalcijevega karbida z vodo [3].

Pri tej reakciji kalcijev karbid (CaC_2) reagira z vodo in tvori acetilen ter kalcijev hidroksid (gašeno apno). To je tradicionalna metoda, ki se uporablja v manjših obratih ali pri terenski uporabi, kot so karbidne svetilke [3].

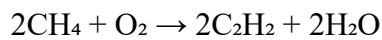


- Piroliza metana pri visokih temperaturah (industrijska metoda).

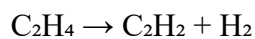
Metan (CH_4) se segreje na $1500\text{--}2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ brez prisotnosti kisika. Po hitrem hlajenju nastaneta acetilen in vodik. Ta metoda je danes najpogosteje uporabljena v industriji zaradi svoje gospodarnosti in večje čistosti produkta [3].



- Oksidacijska piroliza ogljikovodikov. Metan ali drugi ogljikovodiki reagirajo s kisikom pri visokih temperaturah. Potreben je natančen nadzor pogojev, da nastane čim več acetilena in ne drugih produktov, kot je ogljikov dioksid [3, 22].



- Termična razgradnja etena. Eten (C_2H_4) se segreje pri visokih temperaturah, kar povzroči odcep vodika in nastanek acetilena. Ta metoda se uporablja redkeje, saj je etilen pogosto dragocena surovina za druge procese [3].



2.2.3. Fizikalne in kemijske lastnosti

Acetilen je brezbarven plin z rahlo sladkim vonjem, če je nečist, sicer pa je brez vonja. Njegova gostota pri 0 °C in atmosferskem tlaku znaša 1,097 g/L. V vodi je slabo topen, vendar se dobro raztaplja v organskih topilih. Njegovo tališče je -80,8 °C, vrelišče pa -84 °C [4].

Acetilen je zelo reaktiven zaradi trojne vezi med ogljikovimi atomi. Lahko polimerizira v benzen ali druge spojine. Gori z močno svetlim, sajastim plamenom, pri čemer nastajata ogljikov dioksid in voda ($\text{C}_2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$). Pri visoki koncentraciji in tlaku je eksploziven. Reagira s halogeni, vodikom in oksidanti ter tvori acetilide s kovinami, kot sta srebro (Ag_2C_2) in baker (Cu_2C_2), ki so občutljivi na udarce [3].

2.3. Električna vozila

Električna vozila (EV) postajajo vse bolj priljubljena zaradi nižjih emisij in večje energetske učinkovitosti v primerjavi s klasičnimi avtomobili z motorjem na notranje izgorevanje. Njihovo delovanje temelji na baterijah, ki shranjujejo električno energijo in jo uporabljajo za pogon elektromotorjev [5].

2.3.1. Kako delujejo električna vozila?

Električna vozila uporabljajo enega ali več elektromotorjev namesto klasičnega motorja. Ključne komponente vključujejo baterijo, ki shranjuje električno energijo, elektromotor, ki pretvarja elektriko v mehansko gibanje, ter pretvornik, ki spremeni enosmerni tok (DC) v izmenični tok (AC). Pomembna tehnologija je tudi regenerativno zaviranje, pri katerem elektromotor deluje kot generator in del energije vrača v baterijo [5].

2.3.2. Litijeve baterije in njihov vpliv

Večina električnih vozil uporablja litij-ionske baterije, ki delujejo na principu elektrokemijskih reakcij med katodo in anodo. Kapaciteta baterije določa doseg vozila, ki se pri majhnih mestnih modelih giblje med 150 in 300 km (20–40 kWh), pri srednje velikih avtomobilih med 300 in 500 km (50–80 kWh), pri zmogljivejših modelih pa presega 500 km (90–120 kWh) [6].

Cena baterij se postopoma znižuje in znaša približno 100–150 USD/kWh. Najpogostejše kemijske sestave so nikelj-mangan-kobalt (NMC), ki zagotavlja dobro ravnotežje med zmogljivostjo in življenjsko dobo, litij-železo-fosfat (LFP), ki ima daljšo življenjsko dobo in nižjo ceno, ter nikelj-kobalt-aluminij (NCA), ki omogoča visoko energijsko gostoto [7, 15].

2.3.3. Pridobivanje baterij in okoljski vpliv

Pridobivanje surovin, kot so litij, kobalt in nikelj, je energetsko intenziven proces, ki pogosto povzroča uničevanje ekosistemov, onesnaževanje vodnih virov in visoke emisije CO₂. Rudarjenje litija poteka predvsem v Avstraliji, Čilu in na Kitajskem. Poleg same proizvodnje baterij pa predstavlja velik izziv tudi njihova reciklaža, saj vsebujejo toksine, ki lahko onesnažijo podtalnico [8, 20].

2.3.4. Prednosti in slabosti električnih vozil

Električna vozila imajo številne prednosti in slabosti, ki vplivajo na njihovo širšo uporabo. Ena največjih prednosti je, da med vožnjo ne proizvajajo emisij, kar prispeva k čistejšemu zraku in zmanjšanju toplogrednih plinov. Poleg tega imajo nižje stroške vzdrževanja, saj imajo manj gibljivih delov kot avtomobili z motorjem na notranje izgorevanje. Pomembna prednost je tudi manjša odvisnost od fosilnih goriv, kar zmanjšuje porabo nafte in prispeva k energetski neodvisnosti [5].

Kljub prednostim pa imajo električna vozila tudi nekatere slabosti. Njihova začetna cena je še vedno visoka, kar otežuje dostopnost širšemu krogu uporabnikov. Poleg tega imajo daljše čase polnjenja v primerjavi s klasičnim točenjem goriva, njihov doseg pa je omejen, kar lahko predstavlja težavo pri daljših poteh. Dodatno skrb vzbuja okoljski vpliv proizvodnje baterij, saj pridobivanje surovin, kot sta litij in kobalt, povzroča onesnaženje in izkoriščanje naravnih virov [5, 17].

Kljub izzivom tehnologija električnih vozil hitro napreduje, kar pomeni, da se bodo njihove slabosti v prihodnosti verjetno zmanjšale [5].

2.4. Primerjava med vodikom in acetilenom kot gorivoma

Vodik je čistejše gorivo z visoko energijsko vrednostjo, a ga je težje shranjevati in je dražji.

Acetilen gori pri višjih temperaturah in je idealen za varjenje, a je manj ekološki in eksploziven [1, 3, 16].

Lastnost	Vodik (H ₂)	Acetilen (C ₂ H ₂)
Kalorična vrednost	120 – 142 MJ/kg (zelo visoka)	48 MJ/kg (srednje visoka)
Temperatura gorenja	Do 2800°C (v kisiku)	Do 3300°C (v kisiku)
Produkt gorenja	Voda (H ₂ O) – čisto zgorevanje	CO ₂ in H ₂ O, lahko tudi CO in saje pri nepopolnem zgorevanju
Shranjevanje in varnost	Zahteva visoke pritiske ali tekočo obliko (-253°C), nevarnost uhajanja	Shranjuje se raztopljen v acetonu, eksploziven pri visokih tlakih
Ekološki vpliv	Brez CO ₂ emisij, okolju prijazen	Izpusti CO ₂
Cena in dostopnost	6-15 € na kg, težje dostopen	Lažje dostopen, a dražji od zemeljskega plina (okoli 24 €/kg)

TABELA 1: primerjava vodika in acetilena

2.5. Uporaba vodika in acetilena v industriji in energetiki

2.5.1 Uporaba vodika

Vodik je eden najpomembnejših industrijskih in energetskih plinov zaradi svoje visoke energijske vrednosti in vsestranskosti. V industriji se uporablja pri proizvodnji amonijaka (NH₃), ki je ključna sestavina za gnojila, pri čemer poteka sinteza po Haber-Boschovem procesu. Pomemben je tudi pri rafiniranju nafte, kjer se uporablja za odstranjevanje nečistoč pri hidrogenaciji goriv. V metalurgiji deluje kot redukcijsko sredstvo pri pridobivanju kovin iz rude. V kemijski industriji je nujen za proizvodnjo metanola, plastike in farmacevtskih izdelkov [1, 9].

V energetiki ima vodik ključno vlogo pri vodikovih gorivnih celicah, ki zagotavljajo čisto energijo za vozila, elektrarne in vesoljske tehnologije. Pomemben je tudi pri uporabi zelene energije, saj omogoča shranjevanje presežne električne energije iz obnovljivih virov. V tekoči obliki se uporablja kot raketno gorivo v vesoljski industriji, na primer pri Nasinih projektih [9].

2.5.2. Uporaba acetilena

Acetilen je zelo energetsko bogat plin, ki se zaradi svoje visoke temperature gorenja uporablja predvsem v industriji. Njegova najpogostejša uporaba je pri varjenju in rezanju kovin, saj plamen doseže temperaturo do 3200 °C. V kemijski industriji je ključen pri sintezi PVC, akrilnih vlaken in sintetičnega kavčuka. Prav tako se uporablja v farmacevtski industriji pri sintezah zdravil in kemikalij [10].

V energetiki ima acetilen manjšo vlogo, a se raziskuje njegova uporaba kot eksperimentalno gorivo v vesoljski tehnologiji. Poleg tega se uporablja v pirotehniko in pri izdelavi eksplozivov, saj je sestavni del nekaterih gorljivih mešanic [10].

2.6. Pomen raziskav na področju obnovljivih virov energije

Raziskave na področju obnovljivih virov energije so ključne za trajnostni razvoj, zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in energetske neodvisnosti. Njihov pomen se kaže v več vidikih, ki vplivajo na okolje, gospodarstvo in energetske varnost [2].

Eden od pomembnih ciljev raziskav je razvoj učinkovitih tehnologij za pridobivanje in shranjevanje energije. Izboljšave na področju solarnih celic, vetrnih turbin in hidroelektrarn omogočajo večji izkoristek energije iz obnovljivih virov, kar prispeva k njihovi večji konkurenčnosti v primerjavi s fosilnimi gorivi. Napredek pri vodikovih gorivnih celicah ter pri različnih metodah shranjevanja energije, kot so baterije, vodik in gravitacijsko shranjevanje, omogoča boljšo stabilnost in prilagodljivost energetskih sistemov [13].

Poleg tehnološkega razvoja imajo raziskave pomembno vlogo pri zmanjševanju negativnih vplivov na okolje. Zmanjšanje odvisnosti od fosilnih goriv neposredno pripomore k nižjim emisijam ogljikovega dioksida in zmanjšanju obremenitve ekosistemov. Tako se naravni viri izkoriščajo učinkoviteje, brez dolgoročnih posledic za okolje [11].

Obnovljivi viri energije so ključni tudi za energetske varnost in neodvisnost. Razvoj lokalnih virov energije zmanjšuje potrebo po uvozu fosilnih goriv, s čimer se zmanjšujejo geopolitična

tveganja in odvisnost od nestabilnih mednarodnih trgov. Hkrati pametna omrežja in napredne rešitve za distribucijo energije izboljšujejo zanesljivost oskrbe in stabilnost energetskih sistemov [12].

Gospodarski vidik raziskav na tem področju je prav tako pomemben. Razvoj obnovljivih virov energije ustvarja nova delovna mesta v sektorju zelenih tehnologij in prispeva k inovacijam, ki omogočajo cenovno dostopnejše in učinkovitejše rešitve za širšo uporabo trajnostne energije. To spodbuja gospodarsko rast in razvoj novih industrij, ki temeljijo na čisti energiji [11].

Poleg tega raziskave omogočajo pripravo na prihodnost, saj prispevajo k razvoju novih metod shranjevanja presežne energije in izboljšanju energetske infrastrukture. Nove tehnologije, kot so umetna fotosinteza, biogoriva in fuzijska energija, bodo v prihodnosti igrale pomembno vlogo pri zagotavljanju stabilne in trajnostne energetske oskrbe [13].

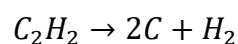
Zato so raziskave na področju obnovljivih virov energije bistvene za prehod v čistejšo, varnejšo in bolj trajnostno prihodnost. Njihov razvoj bo omogočil, da obnovljivi viri energije prevzamejo osrednjo vlogo v globalnem energetskem sistemu in prispevajo k zmanjšanju negativnih vplivov na okolje, hkrati pa zagotavljajo energetske varnost in gospodarsko stabilnost [11].

2.7. Kako iz acetilena pridobivamo vodik?

Iz acetilena (C_2H_2) lahko pridobimo vodik (H_2) s postopkom katalitske hidrogenolize, delne oksidacije ali termične razgradnje.

1. Termična razgradnja (piroliza)

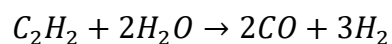
Pri visoki temperaturi (nad $800\text{ }^\circ\text{C}$) se aceten razgradi:



Ogljik ostane v trdni obliki, vodik pa se sprosti kot plin [3].

2. Katalitska hidrogenoliza

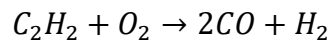
Aceten reagira s paro pri visoki temperaturi in v prisotnosti katalizatorjev (npr. nikelj, platina):



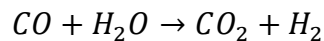
Nastane sintezni plin ($\text{CO} + \text{H}_2$), ki se nato lahko nadalje obdelava za pridobivanje čistega vodika [1].

3. Delna oksidacija

Acetilen lahko zgoreva s kontrolirano količino kisika:



Tudi v tem primeru dobimo ogljikov monoksid in vodik, ki ju lahko ločimo z nadaljnjimi procesi, npr. reakcijo premenskega plina.



CO_2 nato odstranimo z absorpcijo, preostali vodik pa je uporaben v industrijske namene [2].

2.7.1. Ali bi se dalo iz preostalega ogljika izdelati diamant?

Pri postopku katalitske hidrogenolize nastaneta ogljik in vodik. Vodik bi lahko uporabili kot gorivo, medtem ko bi ogljik teoretično lahko pretvorili v diamant. Vendar bi bil ta postopek zelo zahteven, saj zahteva obdelavo pri ekstremnih pogojih. V naravi se diamanti oblikujejo pod visokim tlakom in pri visokih temperaturah, zato bi bilo za njihovo umetno sintezo potrebno ustvariti podobne razmere. Poleg tega bi za uspešno pretvorbo ogljika v diamant potrebovali posebne katalizatorje in napredne tehnološke postopke [10].

2.8. Varnost pri uporabi in shranjevanju vodika in acetilena

2.8.1. Varnost pri uporabi vodika

Vodik (H_2) je zelo vnetljiv plin, ki se pogosto uporablja kot gorivo in v industrijskih procesih. Zaradi svojih lastnosti zahteva posebno previdnost pri ravnanju:

Vnetljivost in eksplozivnost: Vodik tvori eksplozivne zmesi z zrakom že pri nizkih koncentracijah (4–75 % volumske koncentracije). Iskre, odprt plamen ali celo statična elektrika lahko povzročijo vžig [1, 2].

Neviden plamen: Pri gorenju vodika nastane skoraj neviden plamen, kar otežuje zaznavanje požara. Zato je pri delu s plinom nujno uporabljati detektorje uhajanja.

Shranjevanje: Vodik se shranjuje v tlačnih jeklenkah, ki morajo biti pravilno označene in zaščitene pred mehanskimi poškodbami ter visokimi temperaturami.

Prezračevanje: Zaradi nizke gostote vodik hitro uhaja in se nabira pod stropi zaprtih prostorov, kar povečuje tveganje za eksplozijo. Zagotoviti je treba dobro prezračevanje.

Uporaba primerne opreme: Materiali morajo biti odporni na vodik, saj le-ta lahko povzroči krhkost kovin (vodikova krhkost), kar povečuje nevarnost razpok in puščanja [1].

2.8.2. Varnost pri uporabi acetilena

Acetilen (C_2H_2) je plin, ki se pogosto uporablja pri varjenju in rezanju kovin. Njegova uporaba zahteva posebno previdnost zaradi naslednjih nevarnosti:

Nestabilnost: Acetilen je kemično nestabilen in lahko eksplodira že pri tlaku nad 2 bara, če ni raztopljen v acetonu ali dimetilformamidu v tlačnih jeklenkah.

Vnetljivost: Mešanice acetilena z zrakom so eksplozivne že pri nizkih koncentracijah (2,5–82 %). Za vžig zadostujeta iskra ali odprt plamen.

Shranjevanje in ravnanje: Acetilenske jeklenke morajo stati pokončno in biti oddaljene od virov toplote, odprtega ognja ter oksidacijskih plinov, kot je kisik [4].

Preprečevanje povratnega ognja: Pri varjenju in rezanju se uporabljajo posebni nepovratni ventili, ki preprečujejo vdor plamena v cevovode, kar bi lahko povzročilo eksplozijo.

Prezračevanje: Acetilen je težji od zraka, zato se nabira pri tleh. Dobro prezračevanje delovnega prostora je ključno za preprečevanje nevarnih koncentracij plina [3].

2.8.3. Varnost pri shranjevanju acetilena

Acetilen (C_2H_2) se v jeklenkah ne shranjuje kot stisnjen plin, saj bi pri visokem tlaku postal nestabilen in bi lahko eksplodiral. Namesto tega ga raztopimo v acetonu, ki omogoča varno shranjevanje. Jeklenke vsebujejo porozno maso, ki preprečuje nastanek večjih mehurčkov plina in zmanjšuje tveganje eksplozije. Ta način shranjevanja omogoča varno uporabo acetilena pri varjenju, rezanju kovin in drugih industrijskih procesih [3].

2.8.4. Varnost pri shranjevanju vodika

Vodik (H_2) se shranjuje na več načinov, odvisno od namena uporabe in varnostnih zahtev:

Kot stisnjen plin – Shranjuje se v jeklenkah pod visokim tlakom (običajno 200–700 barov). Ta način je pogost pri industrijski uporabi in gorivnih celicah, a zahteva močne jeklenke zaradi tveganja uhajanja in eksplozije [2].

Kot utekočinjen plin – Pri temperaturi -253 °C se vodik utekočini in shrani v izoliranih kriogenih posodah. Ta metoda omogoča večjo gostoto shranjevanja, a zahteva energijsko intenzivno hlajenje.

Kot kemijsko vezan vodik – Vodik se lahko veže v kovinske hidride ali druge spojine (kot so amoniak in metanol), iz katerih se nato sprošča po potrebi. To je raziskovalno področje za varnejše shranjevanje in transport [1].

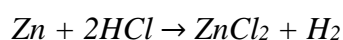
3. Raziskovalni del

3.1. Eksperimenti

3.1.1. Pridobivanje vodika

3.1.1.1. Reakcija cinka in klorovodikove kisline

V erlenmajerico smo nalili 5,8 ml (0,0612 mol) 32% klorovodikove kisline (HCl) in vanjo potopili 2 g (0,0306 mol) cinka (Zn). Začel se je proizvajati plin vodik, katerega smo preusmerili v posodico z vodo ter milnico. Po nekaj minutah so se na površini bazične tekočine začeli nabirati mehurčki vodika. Te smo zajeli z rokami in jih vžgali s plamenom, nato pa se je zgodila manjša eksplozija.



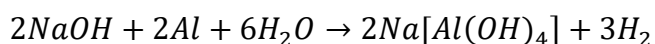
SLIKA 1: Vodikovi mehurčki



SLIKA 2: Aparatura

3.1.1.2. Reakcija natrijevega hidroksida z aluminijem

Po teoriji bi morali v 250 ml erlenmajerico naliti vodo, vanjo dodati 3,7 g (0,0926 mol) NaOH in dodati 2,5 g (0,0926 mol) aluminija. Nastalo je 0,281 g vodika, ki smo ga ujeli v balon. Balon, narejen na takšen način, nam na žalost ni poletel. Sklepamo, da je povprečna gostota gume balona, ujetega vodika in primesi večja od gostote zraka. Balonu smo previdno približali gorečo trsko, ki je zaradi tega eksplodiral.



3.1.1.2.1. Popoln vodikov balon z reakcijo opisano v 3.1.1.2.

Popoln vodikov balon je balon, ki vsebuje čim več vodika in čim manj primesi. Naša največja težava je bila v tem, da balon ni želel poleteti, kljub temu, da smo uporabili balone iz zelo tanke gume. Ugotovili smo, da smo zaradi eksotermnosti reakcije v balon poleg vodika ujeli tudi vodno paro. Po mnogih poskusih smo ugotovili recept. V 250 ml erlenmajerico je potrebno naliti 100 ml vode, vanjo dodati v presežku 7,5 g (0,185 mol) NaOH in dodati 2,5 g (0,0926 mol) aluminija. Nujno je, da uporabimo aluminijasto folijo. Potrebno jo je zviti v zelo stisnjeno palčko, ki ima približno enako višino, kot erlenmajerica. Tako ne reagira celoten aluminij, vendar le površina, ki je izpostavljena raztopini baze. Na ta način smo zagotovili, da je reakcija počasnejša, hladnejša in kontrolirana. Z uporabo opisanega postopka nam je uspelo vsakokrat narediti vodikov balon, ki je poletel.



SLIKA 3: Aluminijeva palčka



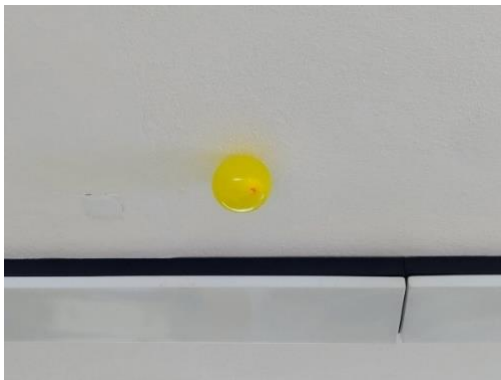
SLIKA 4: Veseli znanstvenici



SLIKA 5: Reakcija



SLIKA 6: Vodikov balon



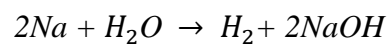
SLIKA 7: Balon na stropu



SLIKA 8: Eksplozija

3.1.1.3. Reakcija natrija z vodo

Z reakcijo 1,0 g (0,0131 mol) natrija (Na) in vode (H₂O) v presežku smo pridobili plin vodik, ki smo ga ujeli v epruveto. Pred dodatkom natrija smo v vodo dali nekaj kaplic fenolftaleina in z rožnato barvo dokazali prisotnost bazične raztopine. Ulovljen vodik v epruveti smo hitro približali sveči ter zaslišali pok, ki je dodatno razkril da smo ujeli pokalni plin. Ta reakcija ni primerna za pridobivanje vodika v praksi, saj 1 g natrija ustvari le 0,0439 g vodika. Smiselno pa je omeniti tudi dejstvo, da je natrij približno desetkrat dražji od vodika.



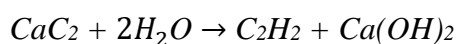


SLIKA 9: Dokaz za vodik

3.1.2. Pridobivanje acetilena

3.1.2.1. Reakcija vode in kalcijevega karbida

V 250 ml erlenmajerico smo nalili vodo (H₂O) v presežku in dodali 15 g kalcijevega karbida (CaC₂). Na ta način smo pridobili plin aceten (C₂H₂) katerega smo ulovili v balon. K balonu smo približali plamen in balon je eksplodiral ter izpustil vidne črne znake ogljika. Pri tem smo morali biti zelo previdni. Uporabili smo en meter dolgo palico in s tem zagotovili varnost naših rok. Ugotovili smo, da je takšno gorenje nepopolno.



SLIKA 10: Pridobivanje acetilena



SLIKA 11: Eksplozija acetilena

3.2. Ogljični odtis gorenja vodika in acetilena

Pri eksplozijah vodika in acetilena smo opazili ključno razliko. Po eksploziji vodikovega balona smo na mestu, kjer je balon eksplodiral, opazili nekaj kapljic vode. To je smiselno, saj je voda produkt gorenja vodika. Po eksploziji acetilena pa smo opazili velik črn madež, za katerega smo sklepali, da je ogljik (pepel). To se nam je zdelo čudno, saj naj bi bila produkta gorenja acetilena voda in ogljikov dioksid. Sklepamo, da je gorenje nepopolno, naš acetilen pa poln nečistoč.

Vodik ne vsebuje nobenih drugih elementov, zato je masni delež ogljika v vodiku [14]:

$$\omega = \frac{Ar(C)}{Mr} = 0 = 0\%$$

Acetilen nam pri svoji eksploziji pusti črn dim in madež. Masni delež ogljika je zelo velik:

$$\omega = \frac{Ar(C)}{Mr} = \frac{24,02}{26,04} = 0,9224 = 92,24\%$$



SLIKA 12: Črni ostanki eksplozije

3.3. Proizvodnja vodika iz apnenca

Po pregledu vseh kemijskih enačb smo ugotovili, da bi kot vir pridobivanja vodika lahko uporabili apnenec. Idejo za to smo dobili, ko smo se vozili mimo Jesenic, kjer poteka izkop druge cevi karavanškega tunela. Razmišljali smo, koliko vodika bi se dalo proizvesti iz vsega izkopenega apnenca. Naš namen namreč ni razstreljevanje Alp, temveč pridobivanje apnenca na okolju in človeku prijazen način. V kolikor je ideja realno in ekonomsko izvedljiva, bi bila dragocena pridobitev za celoten svet z vidika energetske trajnosti.

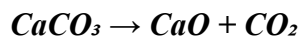
Za pridobivanje vodika iz apnenca in kalcijevega karbida je potrebno izvesti več korakov kemijskih reakcij. Najprej se apnenec (CaCO_3) segreje, da nastaneta kalcijev oksid (CaO) in ogljikov dioksid (CO_2). Nato je potrebno kalcijev oksid reagirati z ogljikom (C), da nastaneta

kalcijev karbid (CaC_2) in ogljikov monoksid (CO). V naslednjem koraku se kalcijev karbid doda vodi, kar povzroči nastanek acetilena (C_2H_2) in kalcijevega hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) [24].

Ta postopek je ekonomsko ugoden, saj uporablja cenovno dostopne surovine. Poleg tega je relativno preprosta kemijska reakcija, kar omogoča enostavno izvedbo tudi v večjem merilu. Čeprav je metoda obetavna, zahteva temeljito oceno za možnost večje industrijske uporabe.

3.3.1. Koliko vodika lahko pridobimo iz 10 kg apnenca?

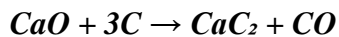
S pomočjo spodnjih kemijskih enačb smo ugotovili, da se množini uporabljenega apnenca in proizvedenega vodika ujemata. Ker je molska masa apnenca (100,09 mol) približno petdesetkrat večja, pomeni, da pridobimo približno petdesetkrat manjšo maso vodika v primerjavi z maso uporabljenega apnenca [14, 18, 24].



$$n(10 \text{ kg CaCO}_3) = 100,09 \text{ mol}$$

$$m(\text{CaO}) = 100,09 \text{ mol} \cdot 56,08 \text{ g/mol}$$

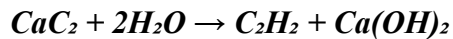
$$m(\text{CaO}) = 5,613 \text{ kg}$$



$$n(\text{CaC}_2) = 100,09 \text{ mol}$$

$$m(\text{CaC}_2) = 100,09 \text{ mol} \cdot 64,1 \text{ g/mol}$$

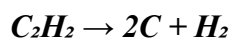
$$m(\text{CaC}_2) = 6,416 \text{ kg}$$



$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = 100,09 \text{ mol}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_2) = 100,09 \text{ mol} \cdot 26,04 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_2) = 2,606 \text{ kg}$$



$$n(\text{H}_2) = 100,09 \text{ mol}$$

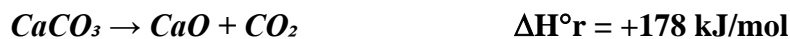
$$m(\text{H}_2) = 100,09 \text{ mol} \cdot 2,02 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{H}_2) = 202,2 \text{ g}$$

Izračunali smo, da teoretično lahko iz 10 kg apnenca pridobimo 201,8 g vodika.

3.3.2. Koliko energije izgubimo/pridobimo

Če uporabimo 1 mol apnenca (CaCO_3), se reakcijske entalpije naslednje [14].



Reakcija je endotermna. Potrebujemo 178 kJ energije, da reagira 1 mol CaCO_3 .



Reakcija je endotermna. Potrebujemo 464 kJ energije, da reagira 1 mol CaO .



Reakcija je eksotermna. Pri reakciji 1 mol CaC_2 se sprosti 127 kJ energije.



Reakcija je endotermna. Potrebujemo 226 kJ energije, da razpade 1 mol C_2H_2 .

Za vzpostavitev takšnega sistema reakcij v povprečju izgublamo energijo, saj se nam v enem ciklu reakcije sprosti le 127 kJ energije, medtem ko je moramo porabiti kar 868 kJ. Z našega vidika vzpostavitev reakcijskega cikla ni smiselna. Zadevo bi si moral ogledati kakšen kemijski tehnolog, inženir ali ekonomist, da bi morda dobila svoj smisel.

4. Rezultati in diskusija

4.1. Pregled rezultatov meritev za vodik

Po vseh reakcijah, ki smo jih izvedli, smo prišli do sklepa, da ne moremo določiti najboljše, saj ima vsaka svoje kvalitete. Cenovno najbolj ugodna reakcija je reakcija natrijevega hidroksida z vodo ter aluminijem, po izvedbi najenostavnejša je reakcija cinka in klorovodikove kisline, najuporabnejši stranski produkt pa ima reakcija natrija in vode. Meritve so pokazale, da pri zgorevanju vodika nastaja le voda, kar pomeni, da ne prispeva k emisijam CO_2 . Najbolj nam je

bila vseč reakcija aluminija, vode in natrijevega hidroksida.



GRAF 1: Primerjava stroškov za 2 grama vodika pri različnih reakcijah

4.2. Pregled rezultatov meritev za acetylen

Pri acetilenu smo izvedli le eno reakcijo, ki je sicer najbolj enostavna v primerjavi z ostalimi, ki pa jih nismo izvedli. Strošek te reakcije znaša okoli 0,384 €, da iz nje pridobimo 26 g acetilena.

4.3. Primerjava rezultatov za oba plina

Vodik in acetylen imata različne kemijske in fizikalne lastnosti, kar vpliva na njuno uporabo in vpliv na okolje. Vodik je čistejši energijski vir, saj pri zgorevanju ne povzroča emisij CO₂, medtem ko acetylen pri zgorevanju proizvaja ogljikov dioksid. Pri proizvodnji acetilena iz kalcijevega karbida nastajajo stranski produkti, medtem ko je piroliza metana bolj učinkovita in zmanjšuje emisije. Če bi se metan pridobival iz bioplina, bi bil postopek še bolj trajnosten. Vodikove gorivne celice so zelo učinkovite in primerne za uporabo v transportu in energetiki, medtem ko se acetylen uporablja predvsem v industriji. Pri transportu vodika so izzivi povezani z njegovo nizko gostoto in potrebo po posebnih rezervoarjih, medtem ko acetylen zahteva raztopine za varno shranjevanje.

4.4. Ovrednotenje hipotez

V naši raziskavi smo potrdili prvo hipotezo, da gorenje acetilena ni zelena energija, saj močno onesnažuje okolje. Prav tako smo potrdili drugo hipotezo, da je gorenje vodika zelena energija, saj vodik ne vsebuje ogljika, kar pomeni, da pri zgorevanju ne nastajajo škodljivi izpusti. Tretjo hipotezo, da sta vodik in aceten nevarna, smo delno potrdili. Oba plina sta eksplozivna, vendar ob ustreznih varnostnih ukrepih njuna uporaba ni tveganja za zdravje. Četrto hipotezo, da vodika in acetilena ni mogoče proizvesti doma, pa smo ovrgli. Ugotovili smo, da je ob primernih sestavinah in postopkih mogoče oba plina pridobiti brez večjih težav. Peto hipotezo, da je sta aceten in vodik gorivi prihodnosti, smo delno potrdili. Aceten sam po sebi res ni idealen energent, vendar ga lahko uporabimo za pridobivanje vodika. Vodik je gorivo prihodnosti, vendar je potrebnega še veliko raziskovanja na tem področju. Cilj je, da vodik kot gorivo pride v komercialno rabo.

4.5. Analiza in interpretacija podatkov

Z vidika trajnosti in zmanjševanja ogljičnega odtisa ima vodik večji potencial kot aceten, saj ne prispeva k emisijam CO₂ in se lahko pridobiva iz obnovljivih virov. Razvoj obnovljivih virov energije in tehnologij, kot so vodikove gorivne celice, lahko zmanjša odvisnost od fosilnih goriv. Pri acetilenu je ključna optimizacija proizvodnih procesov in transporta, da se zmanjša okoljski vpliv. Implementacija politik, kot so ogljični davek, subvencije za obnovljive vire in trgovanje z emisijami, lahko pripomorejo k zmanjšanju emisij pri proizvodnji obeh plinov.

Dolgoročno gledano bo prehod na čistejša tehnologije, kot je elektroliza vode za pridobivanje vodika, ključen za doseganje podnebnih ciljev in trajnostnega razvoja industrije ter energetike. Kmalu bomo morali najti način, kako uspešno predstaviti vodik kot gorivo širšemu trgu in zagotoviti njegov preboj na komercialni trg goriv. Cilj v prihodnosti je prehod proizvajalcev vozil iz električnih vozil na vozila, ki delujejo na izgorevanju vodika.

5. Zaključek

Naša raziskava o vodiku in acetilenu kot gorivih prihodnosti je pomembna, ker obravnava možnosti za čistejša in učinkovitejša vira energije. V njej smo spoznali mnogo novih stvari, predvsem o acetilenu, o katerem prej nismo vedeli skoraj nič. Naučili smo se proizvajati vodik in aceten ter kako narediti popoln vodikov balon. Ugotovili smo, da električna vozila niso tako popolna kot vsi pravijo, ampak imajo tudi svoje slabosti. Oba plina, ki smo ju raziskali imata

potencial biti gorivi v prihodnosti. Vodik se sicer res uporablja že danes pri nekaterih japonskih avtomobilih kot npr. Toyota Mirai (Mirai - prihodnost), vendar premalo in vsesplošno dostopen in uporaben. Super se nam zdi, da se iz acetilena da pridobivati vodik. Še drznejša je ideja o pridobivanju vodika iz apnenca. Izvedeli smo tudi, kako varno ravnati z vodikom in acetilenom, da se ne poškodujemo. Na podlagi lastnih izkušenj smo ugotovili, da se ju da pridobiti iz vsakdanjih snovi [23].

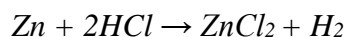
6. Viri

- [1] Abe, I. (2010). Physical and chemical properties of hydrogen. V Encyclopedia of Life Support raziskave na področju Systems (EOLSS). Eolss Publishers. Pridobljeno 6. aprila 2025: <https://eolss.net/sample-chapters/c08/E3-13-01-01.pdf>
- [2] Balat, M., & Kirtay, E. (2010). Hydrogen from biomass – Present scenario and future prospects. International Journal of Hydrogen Energy, 35(14), 7416–7426. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.04.137>
- [3] Miller, S. A. (1965). Acetylene: Its Properties, Manufacture, and Uses (Vol. 1). Academic Press.
- [4] Airgas. (2021). Acetylene – Safety data sheet. Pridobljeno 6. 4. 2025:4 <https://www.airgas.com/msds/001001.pdf>
- [5] Kalar, M., & Vukasović, T. (2024). Stališča potrošnikov do nakupa električnih avtomobilov in njihovega vpliva na okolje v Sloveniji. Revija za podjetništvo in management, 12(1), 45–58. Pridobljeno 2. 4. 2025: https://www.researchgate.net/publication/359232105_Staliska_potrosnikov_do_nakupa_elektr_icnih_avtomobilov_in_njihovega_vpliva_na_okolje_v_Sloveniji
- [6] Nagaura, T., & Tozawa, K. (1990). Lithium ion rechargeable battery. Progress in Batteries & Battery Materials, 9(3), 209–217.
- [7] Conrad Electronic. (2023). Baterije in akumulatorji NMC. Tehnologija nikelj-mangan-kobalt. Pridobljeno 2. 4. 2025: <https://www.conrad.si/sl/guides/tehnika-pomiarowa-i-zasilanie/nmc-technologie.html>
- [8] Monitor. (2021). Litijevi umazani pomočniki. Monitor, 27(7), 54–61. Pridobljeno 4. 4. 2025: <https://www.monitor.si/clanek/litijevi-umazani-pomocniki/175027/>

- [9] Novak, P. (2020). Slovenski zeleni vodik in trajnostne tehnologije. SiPlin. Pridobljeno 4. 4. 2025: https://www.siplin.si/wp-content/uploads/1616/00/5-1s_revija_plin.pdf.pdf
- [10] Lide, D. R. (Ed.). (2005). CRC Handbook of Chemistry and Physics (86th ed.). CRC Press.
- [11] Badr, Z. A., Rashid, M. H., & Shah, S. H. Z. (Leto izdaje). Renewable energy: Power for a sustainable future.
- [12] Ehrlich, R. (2010). Renewable energy: A first course. Wiley.
- [13] Fay, J. A., & Golomb, D. S. (2002). Energy and the environment. Prentice Hall.
- [14] Lazarini, F., & Brenčič, J. (1998). *Splošna in anorganska kemija* (2. izd.). DZS.
- [15] Uredništvo. (2024, 4. oktober). Končno (bolj) poceni vodik? T3TECH. Pridobljeno 4. 4. 2025: <https://www.t3tech.si/trendi/novica/koncno-bolj-poceni-vodik>
- [16] Varesi. (n.d.). Acetilen. Varesi. Pridobljeno 4. 4. 2025: <http://www.varesi.si/trgovina/catalog/tehni%C4%8Dni-plini/acetilen>
- [17] Uredništvo. (2024, 28. november). Evropske baterije za električna vozila se množično pošiljajo na odpad. *Avto Fokus*. Pridobljeno 4. 4. 2025: https://www.avto-fokus.si/Novice/evropske_baterije_za_elektricna_vozila_se_mnozicno_posiljajo_na_odpad/
- [18] Uredništvo. (n.d.). Reakcije apnenca. OŠ Belokranjskega odreda Semič. Pridobljeno 4. 4. 2025: https://www.osbos.si/ekemija/e-gradivo/6-sklop/reakcije_apnenca.html
- [19] Trajnostna energija. (b.d.). Vodik. Trajnostna energija. Pridobljeno 5. 4 2025, z <https://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostna-energija/Ohranite-okolje-cisto/Vodik>
- [20] Huš, M. (2021, junij). Kam gre odsluženi litij. Monitor. Pridobljeno 5. 4. 2025: <https://www.monitor.si/clanek/kam-gre-odsluzeni-litij/208675/>
- [21] OpenProf. (n.d.). Elektroliza. OpenProf.com. Pridobljeno 5. 4. 2025: <https://si.openprof.com/wb/elektroliza?ch=653>
- [22] Avtor. (n.d.). Ogljikovodiki se predstavijo. eUčbeniki. Pridobljeno 5. 4. 2025: <https://eucbeniki.sio.si/kemija9/992/index.html>
- [23] Toyota Slovenija. (n.d.). Vozila na vodikove gorivne celice. *Toyota Slovenija*. Pridobljeno 5. 4. 2025: <https://www.toyota.si/discover-toyota/environment/cleaner-mobility/fuel-cell>
- [24] BIRD d.o.o. (b. d.). *Izdelava*. APNENI DUŠIK. Pridobljeno 5. 4. 2025: <https://www.apneni-dusik.com/izdelava.html>

7. Priloge

7.1. Izračuni množin, mas in prostornin pri 3.1.



$$m(\text{Zn}) = 2 \text{ g}$$

$$M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{Zn}) = m/M = (2 \text{ g mol})/(65,4 \text{ mol}) = 0,0306 \text{ mol}$$

$$n(\text{HCl}) = 2 \cdot n(\text{Zn}) = 0,0612 \text{ mol}$$

$$m(\text{HCl}) = n \cdot M = 0,0612 \text{ mol} \times 35,45 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{HCl}) = 2,23 \text{ g} \rightarrow 100 \% \text{ HCl}$$

$$w = 32 \% = 0,32$$

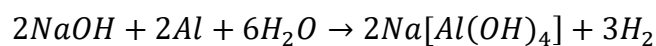
$$m_T = w \cdot m_R$$

$$m_R = m_T/w = 2,23 \text{ g}/0,32 = 6,97 \text{ g}$$

$$V(\text{HCl}) = 5,8 \text{ ml}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,0306 \text{ mol} \cdot 2,02 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,062 \text{ g}$$



$$m(\text{NaOH}) = 3,7 \text{ g}$$

$$n(\text{NaOH}) = m/M = 0,0926 \text{ mol}$$

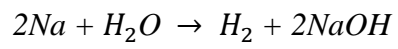
$$m(\text{Al}) = 2,5 \text{ g}$$

$$n(\text{Al}) = 0,0926 \text{ mol}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ ml}$$

$$n(\text{H}_2) = 0,1389 \text{ mol}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,281 \text{ g}$$

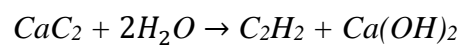


$$m(\text{Na}) = 1,0 \text{ g}$$

$$n(\text{Na}) = 0,0435 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{Na}) = 0,0218 \text{ mol}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,044 \text{ g}$$



$$m(\text{CaC}_2) = 15 \text{ g}$$

$$n(\text{CaC}_2) = 0,234 \text{ mol}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,234 \text{ mol}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_2) = 6,09 \text{ g}$$

[14]