

ŠOLSKI CENTER VELENJE
GIMNAZIJA VELENJE
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

**PRIMERJAVA AVTOMOBILOV S
POGONOM NA VODIK IN ELEKTRIKO**

Tematsko področje: PROMET

Avtor:
Mark Šehič, 2. letnik

Mentorja:
Ivan Jovan, mag. inf.
Peter Jevšenak, univ. dipl. inž. fiz.

Velenje, 2024

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Gimnaziji Šolskega centra Velenje.

Mentorja: Ivan Jovan, mag. inf., Peter Jevšenak, univ. dipl. inž. fiz.

Datum predavitve:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Gimnazija Velenje, šolsko leto 2023/2024

KG avtomobil na vodik / električni avtomobil / energetska učinkovitost / vpliv na okolje
/ mobilnost prihodnosti

AV ŠEHIČ, Mark

SA JOVAN, Ivan / JEVŠENAK, Peter

KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

ZA Gimnazija ŠC Velenje

LI 2024

IN PRIMERJAVA AVTOMOBILOV S POGONOM NA VODIK IN ELEKTRIKO

TD Raziskovalna naloga

OP VIII, 51 str., 11 pregl., 8 sl., 3 graf., 34 vir.

IJ SL

JI sl / en

AI Ta raziskovalna naloga se poglobi v svet električnih in vodikovih avtomobilov, razkriva njihove tehnične, okoljske in ekonomske vidike ter razkriva, katera tehnologija je boljša za prihodnost trajnostne mobilnosti. Ugotovitve kažejo, da so električni avtomobili trenutno bolj učinkoviti, ekonomični in okolju prijazni, vendar pa vodikovi avtomobili ponujajo daljši doseg, hitrejše polnjenje in manjši vpliv na okolje pri proizvodnji in reciklaži. Naloga predstavlja vizijo prihodnosti mobilnosti, ki bo verjetno zahtevala kombinacijo različnih tehnologij, ki bodo ustrezale različnim potrebam in okoliščinam. Električni in vodikovi avtomobili se lahko dopolnjujejo in sodelujejo v skupnem sistemu, ki bo zagotavljal čisto, varno in učinkovito prevozno rešitev. Naloga odpira vrata za nadaljnje raziskave, razvoj in investicije v infrastrukturo, tehnologijo in zakonodajo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Gimnazija ŠC Velenje, school year 2023/2024

CX hydrogen car / electric car / energy efficiency / impact on the environment / mobility of the future

AU ŠEHIČ, Mark

AA JOVAN, Ivan / JEVŠENAK, Peter

PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

PB Gimnazija ŠC Velenje

PY 2024

TI COMPARISON OF HYDROGEN AND ELECTRIC CARS

DT Research work

NO VIII, 51 p., 11 tab., 8 fig., 3 graf., 34 ref.

LA SL

AL sl / en

AB This research work delves into the world of electric and hydrogen cars, reveals their technical, environmental and economic aspects, and reveals which technology is better for the future of sustainable mobility. The findings show that electric cars are currently more efficient, economical and environmentally friendly, but hydrogen cars offer longer range, faster charging and less environmental impact in production and recycling. The research work presents a vision of the future of mobility, which is likely to require a combination of different technologies to suit different needs and circumstances. Electric and hydrogen cars can complement each other and participate in a common system that will provide a clean, safe and efficient transportation solution. The research work opens the door for further research, development and investment in infrastructure, technology and legislation.

Vsebina

1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 Alternativna goriva	2
2.1.1 Alternativna goriva za vozila z ničelnimi izpusti.....	2
2.1.2 Obnovljiva goriva.....	3
2.1.3 Alternativna fosilna goriva za prehodno obdobje	3
2.2 Tehnologija pogona električnih avtomobilov	4
2.3 Tehnologija pogona vodikovih avtomobilov	5
2.4 Infrastruktura za polnjenje električnih avtomobilov.....	7
2.4.1 Stroški nakupa in polnjenja	9
2.5 Infrastruktura za polnjenje vodikovih avtomobilov.....	11
2.6 Stroški električnih in vodikovih avtomobilov	12
2.6.1 Subvencije in ugodnosti za električna vozila (2023)	14
3 MATERIAL IN METODE DE LA	15
3.1 Material	15
3.2 Metode dela.....	15
4 REZULTATI IN DISKUSIJA.....	17
4.1 Primerjava stroškov za uporabnike električnih in vodikovih avtomobilov	17
4.1.1 Cena polnjenja električnega avtomobila	17
4.1.2 Cena polnjenja vodikovega avtomobila	21
4.1.3 Cena novega avtomobila, subvencije in cena servisa	23
4.1.4 Primerjava in obračun vseh stroškov	24
4.2 Energetska učinkovitost in izpusti CO ₂ , ki jih povzročajo elektrarne	26
4.2.1 Energetska učinkovitost	26

4.2.2	Proizvodnja električne energije za električne avtomobile in elektrolizo vode	27
4.3	Vpliv proizvodnje in reciklaže električnega in vodikovega avtomobila na okolje	30
4.3.1	Vpliv baterije vodikovega avtomobila na okolje	33
4.3.2	Vpliv baterije električnega avtomobila na okolje	36
4.3.3	Prikaz podatkov in primerjava	37
4.4	Primerjava vseh podatkov še z avtomobilom na fosilna goriva	40
5	ZAKLJUČEK	43
6	POVZETEK	45
7	SUMMARY	46
8	VIRI IN LITERATURA.....	47
8.1	VIRI SLIK	51

KAZALO SLIK

Slika 1:	Zgradba električnega avtomobila (1)	5
Slika 2:	Delovanje gorivne celice (2)	5
Slika 3:	Vozilo na vodikove gorivne celice (3)	6
Slika 4:	Gruče polnilnih mest za električne avtomobile po metodi OPTICS (4)	7
Slika 5:	Polnilna postaja MOON Community PRO (6)	10
Slika 6:	Vodikova polnilnica v Lescah (7)	11
Slika 7:	Sestava vodikovega avtomobila Toyota MIRAI II (10)	33
Slika 8:	Sestava električnega avtomobila Volkswagen ID.5 GTX (12)	36

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tehnologije polnjenja električnih avtomobilov [4].....	8
Tabela 2: Glavne vrste vtičnic za polnjenje električnih avtomobilov [5] (5).....	8
Tabela 3: Cena polnjenja za registrirane uporabnike, 30.12.2023 [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].....	10
Tabela 4: Tehnologija polnjenja vodikovih avtomobilov [16] (8, 9)	12
Tabela 5: Cena polnjenja, Nemčija [17, 18].....	12
Tabela 6: Primerjava med izbranim električnim in vodikovim avtomobilom [19, 20, 21, 22, 23].....	13
Tabela 7: Pregled vseh ugodnosti za fizične in pravne osebe [24, 25].....	14
Tabela 8: Primerjava stroškov med električnim in vodikovim avtomobilom	26
Tabela 9: Izpusti elektrarn [33]	29
Tabela 10: Primerjava okoljskega vpliva proizvodnje in recikliranja električnega in vodikovega avtomobila	39
Tabela 11: Primerjava stroškov z avtomobilom na fosilna goriva	41

KAZALO GRAFIKONOV

Graf 1: Povprečna vsebnost elementov v bateriji (11)	34
Graf 2: Izpusti za proizvodnjo in reciklažo avtomobila	40
Graf 3: Letni izpusti CO ₂ zaradi goriva.....	42

SEZNAM OKRAJŠAV

itd. – in tako dalje

oz. – oziroma

t. i. – tako imenovano

sv. – svetovna

ZDA – Združene države Amerike

npr. – na primer

CO₂ – ogljikov dioksid

SO₂ – žveplov dioksid

NO_x – dušikovi oksidi

PM₁₀ – prašni delci

H₂ – vodik

NH₃ – amonijak

kWh – kilovatna ura

MWh – megavatna ura

GWh – gigavatna ura

AC – izmenični tok

DC – enosmerni tok

Drive-train – pogonski sklop

1 UVOD

V današnjem času se vedno bolj zavedamo naraščajočih okoljskih izzivov in potrebe po trajnostnih rešitvah, zato se alternativni načini prevoza počasi vzpenjajo na vrh. Z izjemno hitrim napredkom na področju avtomobilske tehnologije, električni avtomobili in avtomobili na vodik postajajo ključnega pomena, saj lahko prispevajo k znatnemu zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in zmanjšajo odvisnost od fosilnih goriv. To odpira vrata bolj trajnostni mobilnosti, ki lahko pomembno vpliva na kakovost našega okolja in način življenja. Kljub tem obetavnim vidikom pa ostaja vprašanje, katera tehnologija predstavlja za prihodnost trajnostne mobilnosti boljše rešitev. V raziskovalni nalogi sem se osredotočil prav na to ključno vprašanje in ga poskušal razjasniti.

Namen raziskovalne naloge je izvesti celovito primerjavo med avtomobili s pogonom na vodik in avtomobili s pogonom na elektriko. Glavna naloga je torej raziskati in analizirati tehnični, okoljski in ekonomski vidik obeh tehnologij.

Glavni cilj raziskovalne naloge je zagotoviti jasno in objektivno sliko o prednostih in omejitvah avtomobilov na vodik in na elektriko ter njihovem vplivu na okolje. Z nalogo poskušam izboljšati razumevanje in ozaveščenost o tehnologijah, ki imajo potencial za spreminjanje načina našega transporta in prispevajo k okoljsko odgovornemu pristopu k mobilnosti.

HIPOTEZE

1. Električni avtomobili so bolj energetske učinkoviti od vodikovih avtomobilov.
2. Letna cena električne energije je na povprečno število prevoženih kilometrov (13.750 km) na avtomobil nižja kot cena vodika.
3. Proizvodnja vodika povzroča več emisij toplogrednih plinov kot proizvodnja električne energije, na prevoženih 13.750 km.
4. Proizvodnja in reciklaža električnega avtomobila povzročata več izpustov CO₂ od proizvodnje in reciklaže avtomobila na vodik.
5. Glede na gorivo, električni in vodikov avtomobil proizvedeta manj izpustov CO₂ kot avtomobil na fosilna goriva.

2 PREGLED OBJAV

2.1 Alternativna goriva

Alternativna goriva so vir energije, ki se uporablja za zamenjavo tradicionalnih fosilnih goriv, kot so nafta, premog in zemeljski plin. So ključna za prehod na bolj trajnostne oblike energije, saj ponujajo možnosti za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in zmanjšanje naše odvisnosti od fosilnih goriv. Poleg tega so pogosto obnovljiva, kar pomeni, da njihovih virov ne izčrpamo in s tem tudi zmanjšamo vpliv na okolje, kar prispeva k trajnostni prihodnosti. Uporaba alternativnih goriv je pomemben korak k doseganju globalnih ciljev glede podnebnih sprememb in čistejšega okolja. [1]

2.1.1 Alternativna goriva za vozila z ničelnimi izpusti

ELEKTRIČNA ENERGIJA: je alternativno gorivo, ki se lahko proizvaja iz fosilnega ogljika, jedrske energije ali obnovljivih virov. Električna vozila imajo visoko energetske učinkovitost, ne onesnažujejo in ne povzročajo hrupa. Za njihovo uporabo je potrebna ustrezna infrastruktura za polnjenje, ki mora biti združljiva z obstoječim električnim omrežjem. Električna energija se lahko uporablja tudi za pogon vlakov, letal in plovil. [1]

VODIK (H₂): je obetavno alternativno gorivo za promet, kjer je elektrifikacija težja. Vodik se lahko uporablja v gorivnih celicah, ki pretvarjajo kemično energijo v električno. Prispeva lahko k zmanjšanju emisij CO₂, če se proizvaja iz obnovljivih virov. Vodik je primeren za težka cestna vozila, vlake, plovila in letala. Za njegovo uporabo je potrebna ustrezna infrastruktura za oskrbo in skladiščenje. [1]

AMONIJAK (NH₃): je molekula, ki se pri sobni temperaturi in normalnem tlaku pojavlja kot plin. Lahko se tudi shranjuje kot tekočina pri nizkih temperaturah (pod -33 °C) in/ali pod tlakom. Amonijak se lahko uporablja kot gorivo, zlasti za pomorski promet, kjer lahko nadomesti nekatera težka goriva, ki imajo visoke emisije toplogrednih plinov. Amonijak ima nizko hitrost plamena in visoko odpornost proti samovžigu, zato se njegova učinkovitost izboljša, če se meša z drugimi gorivi. [1]

2.1.2 Obnovljiva goriva

BIOGORIVA: so alternativni vir energije, ki se pridobiva iz bioloških virov, kot so rastline in živalski odpadki. V EU predstavljajo pomemben del strategije za zmanjšanje odvisnosti od fosilnih goriv in emisij toplogrednih plinov. Biogoriva lahko uporabljamo v različnih oblikah, vključno z bioetanolom, biodizlom in bioplinom. So ključnega pomena za doseganje ciljev EU na področju obnovljive energije in lahko prispevajo k zmanjšanju emisij CO₂, če se proizvajajo na trajnosten način. Za njihovo širšo uporabo je potreben razvoj infrastrukture in tehnologij, ki omogočajo učinkovito proizvodnjo, distribucijo in uporabo biogoriv. [1]

2.1.3 Alternativna fosilna goriva za prehodno obdobje

UTEKOČINJENI ZEMELJSKI PLIN: je alternativno gorivo, ki se lahko proizvaja iz zemeljskega plina. Je čist, učinkovit in ima visoko energetske gostoto, kar ga naredi primerne za uporabo v prometu, industriji in gospodinjstvih. Za njegovo uporabo je potrebna ustrezna infrastruktura za oskrbo in skladiščenje. Lahko se uporablja tudi za pogon ladij, tovornjakov in vlakov, saj omogoča zmanjšanje emisij CO₂ in drugega onesnaževanja. Zaradi svoje oblike shranjevanja je primeren za dolge razdalje in velike količine prevoza. [1]

UTEKOČINJEN NAFTNI PLIN: je alternativno gorivo, ki se lahko proizvaja iz surove nafte in zemeljskega plina in je najbolj razširjeno alternativno gorivo v Evropi. Omogoča takojšnjo uporabo z obstoječo infrastrukturo in ima nizke emisije delcev ter dušikovih oksidov. Je primeren za avtomobile, saj prispeva k izboljšanju kakovosti zraka in zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Za prihodnost je možna tudi proizvodnja iz biomase, kar bi še dodatno zmanjšalo njegov ogljični odtis. [1]

STISNjeni zemeljski plin: je alternativno gorivo, ki ima nizke emisije onesnaževal in je zato primeren za mestne avtobuse, komunalna vozila in taksije. Takšna vozila so cenovno konkurenčna in energetske učinkovita. Za njihovo uporabo je potrebna ustrezna infrastruktura za polnjenje. [1]

SINTETIČNA IN PARAFINSKA GORIVA: sintetična goriva, kot je GTL (gorivo iz plina v tekočino), so alternativna goriva, ki se lahko proizvajajo iz različnih virov, vključno s fosilnimi gorivi in obnovljivimi viri energije. Ta goriva imajo visoko energetska učinkovitost in čistost zgorevanja, kar zmanjšuje emisije onesnaževal in CO₂. Zaradi pretiranih stroškov je trenutno uvajanje na trg omejeno. [1]

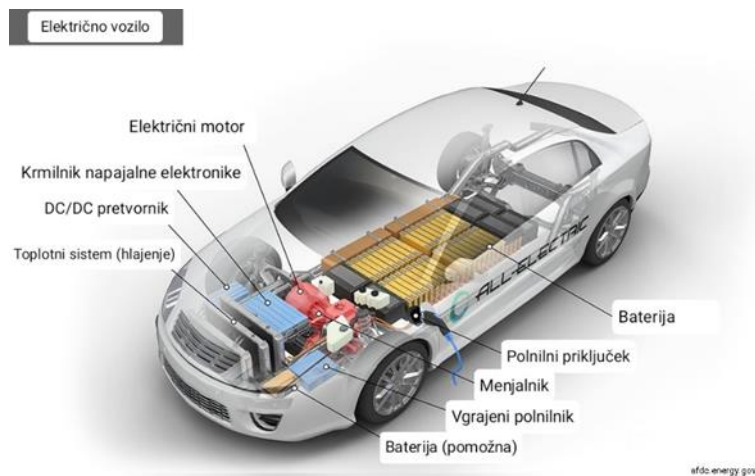
2.2 Tehnologija pogona električnih avtomobilov

Električni avtomobil deluje na osnovi elektromotorja, ki pretvarja električno energijo iz baterij v mehansko energijo. Ta proces je zelo učinkovit, saj elektromotorji dosežejo izkoristek do 90 odstotkov. Ko voznik pritisne na pedal za pospeševanje, se električna energija iz baterije prenese na elektromotor, ki nato poganja kolesa avtomobila. [2]

Med zaviranjem se elektromotor lahko uporablja kot generator, ki pretvarja kinetično energijo nazaj v električno energijo, ki se nato shrani v baterijo. To se imenuje regenerativno zaviranje in pomaga povečati doseg avtomobila. [2]

Baterije so ključni del električnega avtomobila, saj shranjujejo električno energijo, potrebno za pogon. Razvoj lahkih, poceni baterij z veliko kapaciteto je bistven za prihodnost električnih vozil, saj omogočajo daljši doseg in manjše stroške. [2]

Zaradi manjšega števila gibljivih delov v primerjavi z motorji z notranjim zgorevanjem električni avtomobili zahtevajo manj vzdrževanja in so boljši za okolje, saj ne proizvajajo izpušnih plinov. V prihodnosti se pričakuje, da bodo električna vozila postala še bolj dostopna, kar bo prispevalo k večji energetska učinkovitosti in zmanjšanju emisij. [2]

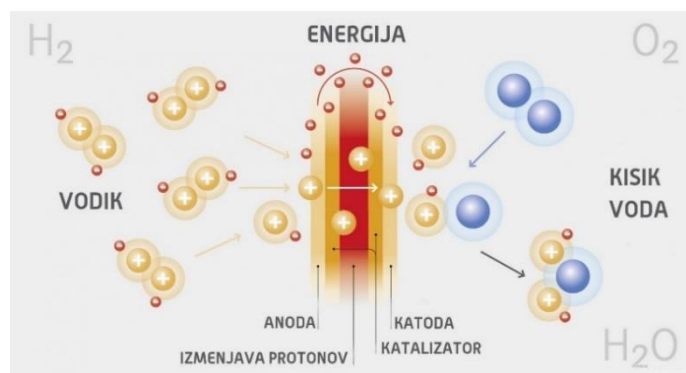


Slika 1: Zgradba električnega avtomobila (1)

2.3 Tehnologija pogona vodikovih avtomobilov

Vodikovi avtomobili delujejo na osnovi gorivnih celic, ki pretvarjajo vodik v električno energijo. Ta proces je zelo učinkovit, saj gorivne celice dosežejo visok izkoristek. Ko voznik pritisne na pedal za pospeševanje, se vodik iz rezervoarja prenese v gorivne celice, ki nato proizvajajo električno energijo za pogon elektromotorja. [3]

Gorivne celice delujejo na osnovi kemične reakcije med vodikom in kisikom. Vodik se razcepi na protone in elektrone, ki potujejo skozi elektrolit in se združijo s kisikom na drugi strani, pri čemer nastane voda. Elektroni, ki potujejo skozi zunanji tokokrog, ustvarjajo električni tok, ki poganja elektromotor. [3]

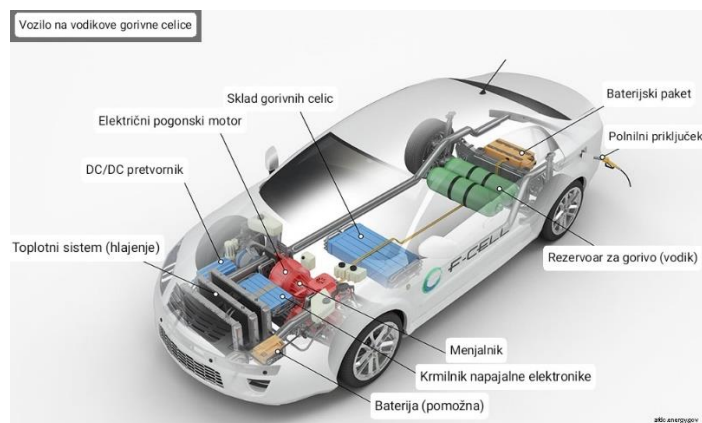


Slika 2: Delovanje gorivne celice (2)

Elektromotor v vodikovem avtomobilu deluje na podoben način kot v električnem avtomobilu, saj pretvarja električno energijo v mehansko energijo. Ta energija se nato prenese na kolesa avtomobila, kar omogoča gibanje. [3]

Ključne komponente vodikovega avtomobila vključujejo rezervoar za vodik, gorivne celice, elektromotor, pretvornik, regulator in krmilno enoto. Rezervoar za vodik shranjuje vodik pod visokim tlakom. Pretvornik in regulator nadzorujeta pretok vodika in električne energije, da zagotovita optimalno delovanje. Krmilna enota usklajuje delovanje vseh komponent in zagotavlja varnost in učinkovitost. [3]

Vodikovi avtomobili so zelo dobra alternativa, saj ne proizvajajo izpušnih plinov in snovi, ki bi škodovala okolju. Poleg tega vodikovi avtomobili omogočajo daljši doseg in hitrejše polnjenje v primerjavi z baterijskimi električnimi avtomobili, kar jih naredi privlačne za določene načine uporabe. Z vse večjim napredkom v tehnologiji se pričakuje, da bosta razvoj infrastrukture za vodik in zmanjšanje stroškov gorivnih celic prispevala k večji uporabi vodikovih avtomobilov. [3]



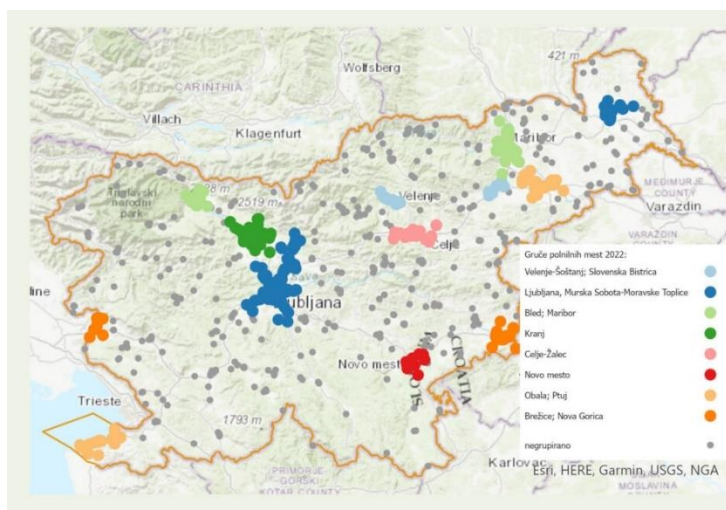
Slika 3: Vozilo na vodikove gorivne celice (3)

2.4 Infrastruktura za polnjenje električnih avtomobilov

V Sloveniji je infrastruktura za polnjenje električnih avtomobilov dobro razvita in se še naprej razvija. Med letoma 2019 in 2022 se je število polnilnih mest povečalo s 308 na 918, kar predstavlja skoraj 200-% rast. Največ polnilnih mest se nahaja v večjih mestih, kot so Ljubljana, Maribor, Koper in Novo mesto, kar odraža večjo potrebo po polnilnih mestih v urbanih območjih. [6]

Analiza gostote polnilnih mest je pokazala, da so polnilna mesta najbolj skoncentrirana na širših območjih Ljubljane in Maribora ter na diagonalni smeri od severovzhoda proti jugozahodu, kjer potekajo glavni prometni koridorji. Po drugi strani pa so območja z manjšo gostoto prebivalstva, kot so južni, zahodni in severozahodni del Slovenije, s polnilnimi mesti manj pokrita. [6]

Z uporabo metode OPTICS, ki je ena izmed metod za analizo gručenja, je bilo ugotovljeno, da obstaja 13 gruč polnilnih mest, ki vsebujejo 458 od vseh 918 polnilnih mest. Največja gruča je na območju Ljubljane, kjer je 162 polnilnih mest. Sledijo ji gruča na območju Maribora, Kopra in Kranja. Ostale gruča so manjše in bolj razpršene po Sloveniji. [6]



Slika 4: Gruče polnilnih mest za električne avtomobile po metodi OPTICS (4)

Cilj Evropske Unije je do leta 2030 zmanjšati izpuste CO₂ za 55 %, kar zahteva hitrejšo in bolj enakomerno namestitev polnilnih postaj za električne avtomobile. Slovenija je pri tem še v dokaj solidnem položaju, saj se infrastruktura za polnjenje električnih avtomobilov v Sloveniji nenehno izboljšuje in prilagaja potrebam uporabnikov. [6]


Po podatkih nacionalnega spletnega portala NAP Slovenija je bilo v času pisanja te raziskovalne naloge v Sloveniji 1585 polnilnih mest za električna vozila. [7]





Tabela 1: Tehnologije polnjenja električnih avtomobilov [4]

Hitrost in vrsta polnilnika	Nazivna moč	Približen čas polnjenja*
Počasna (enofazni polnilnik na izmenični tok)	3–7 kW	7–16 ur
Običajna (trifazni polnilnik na izmenični tok)	11–22 kW	2–4 ure
Hitra (polnilnik na enosmerni tok)	50–100 kW	30–40 minut
Ultra hitra (polnilnik na enosmerni tok)	> 100 kW	< 20 minut

* Odvisno tudi od zmogljivosti akumulatorja in drugih spremenljivk.

Tabela 2: Glavne vrste vtičnic za polnjenje električnih avtomobilov [5] (5)

Vrsta vtičnice	Tok	Moč	Značilnosti	Slika
Type 1	AC	do 7,4 kW	Razširjena na področju Severne Amerike in Japonske.	

Type 2	AC/DC	od 3,7 kW do 44 kW	Standardizirana na področju EU, omogoča polnjenje na enofaznih in trofaznih priključkih.	
CCS Combo 2	DC	do 350 kW	Standardizirana na področju EU, omogoča hitro polnjenje.	
CHAdeMO / Type 4	DC	do 50 kW	Omogoča dvosmerni pretok električne energije (V2G).	
TESLA Supercharger	DC	do 150 kW	Zasnovana samo za polnjenje električnih vozil TESLA.	

2.4.1 Stroški nakupa in polnjenja

Stroški nakupa in namestitve polnilnih postaj za električna vozila so odvisni od vrste in zmogljivosti polnilne postaje, lokacije, potrebnih gradbenih del in priključitve na električno omrežje. Na splošno so AC-polnilne postaje cenejše od DC-polnilnih postaj, saj imajo manjšo moč in hitrost polnjenja. Po nekaterih ocenah se stroški nakupa in namestitve AC-polnilne postaje gibljejo med 500 in 3000 evri, stroški nakupa in namestitve D-polnilne postaje pa med 10.000 in 40.000 evri.

V tej raziskovalni nalogi bom uporabil polnilnico znamke MOON kot primer hišne električne polnilnice. Ta polnilnica zagotavlja moč polnjenja do 7,4 kW (1. faza) in do 22 kW (3. faze) ter uporablja priključek AC-Type 2. Cena te polnilnice je 1.396,90 €, medtem ko se cena montaže giblje med 467,00 € in 816,00 €. [8]



Slika 5: Polnilna postaja MOON Community PRO (6)

Tabela 3: Cena polnjenja za registrirane uporabnike, 30.12.2023 [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]

	Cena EUR/kWh	Pristojbina
Polnjenje doma	0,22 €	/
Petrol*		
do 22 kWh	0,39 €	/
do 50 kWh	0,50 €	/
nad 50 kWh	0,70 €	/
Elektro Ljubljana		
do 22 kWh	0,35 €	0,50 €
do 50 kWh	0,45 €	1,00 €
nad 50 kWh	0,45 €	1,00 €
Moon		
do 22 kWh	0,35 €	0,50 €
do 50 kWh	0,45 €	1,00 €
nad 50 kWh	0,65 €	1,00 €
Ionity	0,79 €	/
Ionity z naročnino	0,59 €	/
Tesla Supercharger**	0,36 €*** / 0,43 €****	*****

MegaTel		
do 22 kWh	0,39 €	0,50 €
do 50 kWh	0,49 €	1,00 €
nad 50 kWh	0,59 €	1,00 €

* cena za registrirane uporabnike

** povprečje za Slovenijo

*** izven časa konic

**** čas konic

***** v Ljubljani je potrebno še plačilo parkirnine dva evra za eno uro

2.5 Infrastruktura za polnjenje vodikovih avtomobilov

V Sloveniji v času pisanja te raziskovalne naloge ne obratuje nobena vodikova polnilnica. Polnilnico na bencinskem servisu v Lescah občasno napolnijo, ampak je nikoli ne odprejo za stranke. Ker v Sloveniji trenutno nimamo stalno obratujoče vodikove polnilnice, sem se odločil za primer v tej raziskovalni nalogi uporabiti Nemčijo, ki je v EU med najbolj naprednimi pri tej tehnologiji.



Slika 6: Vodikova polnilnica v Lescah (7)

Tabela 4: Tehnologija polnjenja vodikovih avtomobilov [16] (8, 9)

Vrsta polnilnika	Tlak	Tip vozila za polnjenje	Slika
H35	350 bar / 35 MPa	srednje težka do težka gospodarska vozila	
H70	700 bar / 70 MPa	majhna gospodarska vozila	

Tabela 5: Cena polnjenja, Nemčija [17, 18]

	Cena EUR/kg
H2 MOBILITY	
H35	9,50 €–13,85 €
H70	11,00 €–15,25 €
Povprečna cena (3. četrletje 2023)	13,85 €

2.6 Stroški električnih in vodikovih avtomobilov

V tej raziskovalni nalogi sem primerjal električni in vodikov avtomobil, ki imata približno enako maloprodajno ceno z vključenim DMV (davek na motorna vozila) in DDV (davek na dodano vrednost).

Primer električnega avtomobila: Volkswagen ID.5 GTX

Primer vodikovega avtomobila: Toyota MIRAI II

Tabela 6: Primerjava med izbranim električnim in vodikovim avtomobilom [19, 20, 21, 22, 23]

	ID.5 GTX	Toyota MIRAI II
Gorivo	električna energija	vodik
Cena (vklj. z DDV)	63.800 €	63.900 €
Doseg (po WLTP)	533 km	650 km
Največja moč , kW (KM)	250 (340)	134 (182)
Masa praznega vozila	2242 kg	1920 kg
Masa baterije	495 kg	45 kg
Masa gorivnih celic	/	52 kg
Tip baterije	litij-ionska	litij-ionska
Kapaciteta baterije (neto)	77 kWh	1,2 kWh
Prostornina rezervoarja	/	5,6 kg
Poraba (kWh/100 km, kg/100 km)	16,4****	0,76
Čas polnjenja		približno 5 min
domača vtičnica (AC) z 2 kW	približno 34 h 13 min*	/
domača polnilnica (AC) z 11 kW**	približno 6 h 13 min*	/
javna polnilnica (AC) z 11 kW**	približno 6 h 13 min*	/
hitra javna polnilnica (DC) s 125 kW***	približno 32 min*	/

* čas polnjenja za stopnjo napoljenosti do 80 %

** moč polnjenja baterije z izmeničnim tokom (AC) do 11 kW

*** moč polnjenja baterije z enosmernim tokom (DC) do 175 kW

**** kombinirana poraba (WLTP)

2.6.1 Subvencije in ugodnosti za električna vozila (2023)

Tabela 7: Pregled vseh ugodnosti za fizične in pravne osebe [24, 25]

Ugodnosti	Fizične osebe	Pravne osebe
Subvencija za nova el. vozila do 35.000 € z DDV ¹	do 6.500 €	Pravne osebe, ki ustrezajo pogojem razpisa. ⁴
Subvencija za nova el. vozila od 35.000 € do 65.000 € z DDV ¹	do 4.500 €	Pravne osebe, ki ustrezajo pogojem razpisa. ⁴
Subvencija za rabljena/testna el. vozila do 30.000 € z DDV ¹	do 3.000 €	/
Subvencija za rabljena/testna el. vozila do 30.000 € do 65.000 € z DDV ¹	do 2.000 €	/
Ugodnejši kredit Eko sklada	<ul style="list-style-type: none"> • trimesečni EURIBOR +1,0 % • fiksna obrestna mera: 2,8 % 	<ul style="list-style-type: none"> • trimesečni EURIBOR +1,0 % • fiksna obrestna mera: 2,8 %
Možnost odbitka DDV do 80.000 € ²	/	odbitek DDV pri nakupu
Možnost odbitka DDV pri servisiranju ²	/	odbitek DDV pri servisiranju
Boniteta za službena vozila brez omejitve ³	/	boniteta 0 €

1. Višina spodbude ni več omejena na 20 % vrednosti. Poleg tega je z novim javnim pozivom najvišja vrednost vozila, za katero je mogoče pridobiti spodbudo, omejena na največ 65.000 € bruto, kar vključuje DDV, popuste in najem baterije. 2. Spremembe podjetjem v letu 2022 (zavezancem za DDV) omogočajo uveljavljanje vstopnega davka pri nakupu 100-% električnih vozil, uveljavljajo pa ga lahko tudi pri servisnih storitvah in nakupu nadomestnih delov za ta vozila. Vstopni davek bo mogoče uveljavljati samo za vozila z vrednostjo do 80.000 € (vključno z DDV in drugimi dajatvami). Možnost uveljavljanja vstopnega davka velja samo za baterijska 100-% električna vozila, ne pa tudi za priključne hibride. 3. NOVOST: po novem znaša boniteta za zasebno uporabo službenega električnega vozila 0 evrov, ne glede na vrednost vozila! Boniteta za službena vozila je tako brez omejitve – največja vrednost vozila z DDV ni več omejena na 60.000 €. Za točne informacije preverite novelo Zakona o dohodnini, kjer je bila v uradnem listu RS potrjena omenjena davčna spodbuda za električna vozila. 4. Upravičene pravne osebe za pridobitev

subvencije: ni subvencij za davčne zavezance, ki imajo vozila za nadaljnjo prodajo. Upravičene osebe po JP 108SUB: - pravne osebe javnega prava, ki imajo stvarno premoženje v svoji lasti, razen neposrednih uporabnikov državnega proračuna; - nevladne organizacije s statusom nevladne organizacije v javnem interesu, skladno z zakonom, ki ureja nevladne organizacije; pravne osebe zasebnega prava, ki imajo pravico do odbitka DDV, skladno s c) točko 66. člena Zakona o davku na dodano vrednost (Uradni list RS, št. 117/06 in nasl.; v nadaljnjem besedilu: ZDDV-1), in sicer za nakup vozil, ki se uporabljajo za opravljanje dejavnosti prevoza potnikov in blaga, dajanje v najem in zakup (razen vozil, ki se uporabljajo za namen nadaljnje prodaje), za nakup vozil, ki se uporabljajo v avtošolah za izvajanje programa usposabljanja iz vožnje v skladu z veljavnimi predpisi, za nakup kombiniranih vozil za opravljanje dejavnosti javnega linijskega in posebnega linijskega prevoza ter za nakup osebnih specialnih vozil, prilagojenih izključno za prevoz pokojnikov; - pravne osebe zasebnega prava, ki v času vložitve vloge niso zavezanci za DDV in skladno z ZDDV-1 nimajo pravice do odbitka DDV.

3 MATERIAL IN METODE DELA

3.1 Material

Pri izdelavi raziskovalne naloge sem uporabljal domačo in tujo literaturo, članke in zapise na spletnih straneh.

3.2 Metode dela

Vse od leta 2021, odkar imamo pri hiši električni avtomobil (Volkswagen ID.3), opazujem in beležim njegovo zmogljivost ter porabo pri različnih temperaturah, načinu vožnje, napoljenosti, vremenskih razmerah ... Te podatke sem v raziskovalni nalogi uporabil kot osnovo za primerjavo prednosti in slabosti med avtomobili s pogonom na vodik in avtomobili na elektriko. Prav tako sem lahko preizkusil polnjenje doma in na javnih polnilnicah ter pridobljene podatke uporabil v raziskovalni nalogi.

Raziskovalno nalogo sem naredil z uporabo teoretičnega dela, teoretičnega eksperimentiranja, statistične obdelave podatkov, matematičnega modeliranja in napovednih modelov.

Pri matematični in statistični obdelavi podatkov sem uporabil splošno veljavne in preverjene enačbe za:

1. povprečno ceno električne energije na polnilnicah (enačba 1, 2, 3)
2. število prevoženih kilometrov na osebni avtomobil, 2022 (enačba 8)
3. stroške električnih polnilnic (enačba 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12)
4. stroške vodikovih polnilnic (enačba 23)
5. čas polnjenja električnega avtomobila (enačba 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 29, 30)
6. čas polnjenja vodikovega avtomobila (enačba 31)
7. izračun letnega stroška (enačba 25, 26, 28, 32, 33, 82)
8. ceno (na 100 km) električne energije, vodika, fosilnega goriva (enačba 22, 27, 81)
9. količino letno porabljene električne energije, vodika, fosilnega goriva (enačba 17, 24, 79)
10. potrebo po električni energiji (enačba 34, 35, 37, 58, 63)
11. potrebo po vodi (enačba 36)
12. proizvodnjo električne energije (enačba 38, 39, 40, 41, 42, 43)
13. količino izpustov CO₂ (enačba 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 59, 64, 69, 74, 78)
14. količino izpustov SO₂ (enačba 52, 55, 60, 65, 70, 75)
15. količino izpustov NO_x (enačba 53, 56, 61, 66, 71, 76)
16. količino izpustov PM₁₀ (enačba 54, 57, 62, 67, 72, 77)
17. količino porabe električne energije na avtomobil (enačba 68, 73)
18. povprečno ceno fosilnega goriva (dizel, bencin) (enačba 80)

4 REZULTATI IN DISKUSIJA

4.1 Primerjava stroškov za uporabnike električnih in vodikovih avtomobilov

4.1.1 Cena polnjenja električnega avtomobila

V Sloveniji je veliko različnih ponudnikov javnih električnih polnilnic, kar pa pomeni, da tudi cene električnega polnjenja niso povsem enotne (glej tabelo 3), zato sem se najprej odločil izračunati povprečno ceno polnjenja električnega avtomobila. Na javnih električnih polnilnicah v Sloveniji so na voljo tri različne moči polnjenja, zato sem tudi za vsako posebej izračunal povprečno ceno.

Povprečna cena polnjenja električnega avtomobila na javnih polnilnicah, do 22 kWh (glej tabelo 3) :

$$(0,39 \text{ €/kWh (Petrol)} + 0,35 \text{ €/kWh (Elektro Ljubljana)} + 0,35 \text{ €/kWh (Moon)} + 0,39 \text{ €/kWh (MegaTel)}) \div 4 = \mathbf{0,37 \text{ €/kWh}} \quad \dots (1)$$

Povprečna cena polnjenja električnega avtomobila na javnih polnilnicah, do 50 kWh (glej tabelo 3) :

$$(0,50 \text{ €/kWh (Petrol)} + 0,45 \text{ €/kWh (Elektro Ljubljana)} + 0,45 \text{ €/kWh (Moon)} + 0,49 \text{ €/kWh (MegaTel)}) \div 4 \approx \mathbf{0,47 \text{ €/kWh}} \quad \dots (2)$$

Povprečna cena polnjenja električnega avtomobila na javnih polnilnicah, nad 50 kWh (glej tabelo 3) :

$$(0,70 \text{ €/kWh (Petrol)} + 0,45 \text{ €/kWh (Elektro Ljubljana)} + 0,65 \text{ €/kWh (Moon)} + 0,59 \text{ €/kWh (MegaTel)}) \div 4 \approx \mathbf{0,60 \text{ €/kWh}} \quad \dots (3)$$

Ko sem imel določene cene za polnjenje na javnih polnilnicah z različno močjo, sem lahko v nadaljevanju izračunal povprečno vsoto, s katero lahko v povprečju prevozimo 100 km. Seveda je cena za povprečno porabo zelo odvisna tudi od velikosti in znamke (in

drugih dejavnikov, ki so podrobneje obrazloženi v nadaljevanju) avtomobila, zato sem si že pred raziskavo izbral avtomobil, ki bo osnova za naslednje izračune in končno primerjavo. Za nadaljnje izračune sem kot primer uporabil karakteristike avtomobila **Volkswagen ID.5 GTX**, ki ima povprečno porabo **16,4 kWh/100 km** (glej tabelo 6). Prav tako je pri večini polnilnic potrebno plačati pristojbino, zato sem jo upošteval tudi pri izračunih. Izračunal sem tudi povprečno ceno za polnjenje doma.

Povprečna cena porabe na 100 km, uporaba polnilnice z močjo do 22 kWh:

$$0,37 \text{ €/kWh} \times 16,4 \text{ kWh/100 km} + 0,50 \text{ €} \approx \mathbf{6,57 \text{ €/100 km}} \quad \dots (4)$$

Povprečna cena porabe na 100 km, uporaba polnilnice z močjo do 50 kWh:

$$0,47 \text{ €/kWh} \times 16,4 \text{ kWh/100 km} + 1,00 \text{ €} \approx \mathbf{8,71 \text{ €/100 km}} \quad \dots (5)$$

Povprečna cena porabe na 100 km, uporaba polnilnice z močjo nad 50 kWh:

$$0,60 \text{ €/kWh} \times 16,4 \text{ kWh/100 km} + 1,00 \text{ €} = \mathbf{10,84 \text{ €/100 km}} \quad \dots (6)$$

Povprečna cena porabe na 100 km, uporaba domače polnilnice:

$$0,22 \text{ €/kWh} \times 16,4 \text{ kWh/100 km} \approx \mathbf{3,61 \text{ €/100 km}} \quad \dots (7)$$

Pridobljene rezultate sem v nadaljevanju uporabil za izračun letnega zneska polnjenja avtomobila. Edina slabost zgornjih izračunov je ta, da nisem mogel dobiti čisto realnih podatkov za napolnitev baterije avtomobila na javnih polnilnicah, saj ima vsak ponudnik tudi omejen čas polnjenja po osnovni tarifi. Ko se ta čas izteče, se prične izračunavati dodatna tarifa, ki pa se zelo razlikuje glede na ponudnika. Prav tako se razlikuje tudi dovoljen čas polnjenja na osnovni tarifi. Zaradi teh dveh razlogov zgornji računi niso čisto realni, saj bi bilo potrebno ob izteku časa na osnovni tarifi avtomobil izključiti in večkrat obiskati isto postajo, kar pa bi pomenilo tudi dodatno pristojbino.

Osebnih avtomobilov so leta **2022** na domačem in tujem cestnem omrežju prevozili **16.606.000.000 km**. Prav tako je bilo leta 2022 skupaj registriranih **1.207.755** osebnih avtomobilov. [26, 27]

Povprečno število prevoženih kilometrov na osebni avtomobil (2022):

$$16.606.000.000 \text{ km} \div 1.207.755 \approx \mathbf{13.750 \text{ km}} \quad \dots (8)$$

S podatkom, da je v letu 2022 vsak avtomobil povprečno prevozil **13.750 km** (glej enačbo 8), sem lahko v nadaljevanju izračunal povprečno letno ceno električne energije na avtomobil. Prav tako sem upošteval javne polnilnice z različno močjo in polnjenje z domačo polnilnico.

Povprečna letna cena električne energije na avtomobil, uporaba polnilnice z močjo do 22 kWh:

$$6,57 \text{ €/100 km} \times 13.750 \text{ km} \approx \mathbf{903,38 \text{ €}} \quad \dots (9)$$

Povprečna letna cena električne energije na avtomobil, uporaba polnilnice z močjo do 50 kWh:

$$8,71 \text{ €/100 km} \times 13.750 \text{ km} \approx \mathbf{1.197,63 \text{ €}} \quad \dots (10)$$

Povprečna letna cena električne energije na avtomobil, uporaba polnilnice z močjo nad 50 kWh:

$$10,84 \text{ €/100 km} \times 13.750 \text{ km} = \mathbf{1.490,50 \text{ €}} \quad \dots (11)$$

Povprečna letna cena električne energije na avtomobil, uporaba domače polnilnice:

$$3,61 \text{ €/100 km} \times 13.750 \text{ km} \approx \mathbf{496,38 \text{ €}} \quad \dots (12)$$

Ker je pomembno izpostaviti tudi čas polnjenja in ne samo stroške, sem v naslednjem izračunu pokazal približen čas polnjenja za javne polnilnice različnih moči in za domačo polnilnico. Pri izračunih sem upošteval največjo moč polnjenja pri izmeničnem toku (AC) za izbran električni avtomobil, ki je **11kWh**, in največjo moč polnjenja z enosmernim tokom (DC), ki pa je **175 kWh** (glej tabelo 6). Za nadaljnje izračune sem kot primer domače polnilnice uporabil polnilno postajo **MOON Community PRO**, ki zagotavlja moč polnjenja do **7,4 kW** (1.faza) in do 22 kW (3.faze). Upošteval sem 1-fazno polnjenje (7,4 kWh).

Povprečen čas polnjenja električnega avtomobila za popolnoma napolnjeno baterijo, uporaba polnilnice z močjo do 22 kWh (AC):

$$77 \text{ kWh} \div 11 \text{ kWh/h} = \mathbf{7,00 \text{ h}} \quad \dots (13)$$

Povprečen čas polnjenja električnega avtomobila za popolnoma napolnjeno baterijo, uporaba polnilnice z močjo do 50 kWh (DC):

$$77 \text{ kWh} \div 50 \text{ kWh/h} = \mathbf{1,54 \text{ h}} \quad \dots (14)$$

Povprečen čas polnjenja električnega avtomobila za popolnoma napolnjeno baterijo, uporaba polnilnice z močjo nad 50 kWh (DC):

$$77 \text{ kWh} \div 175 \text{ kWh/h} = \mathbf{0,44 \text{ h}} \quad \dots (15)$$

Povprečen čas polnjenja električnega avtomobila za popolnoma napolnjeno baterijo, uporaba domače polnilnice (7,4 kWh):

$$77 \text{ kWh} \div 7,4 \text{ kWh/h} \approx \mathbf{10,41 \text{ h}} \quad \dots (16)$$

Po pregledu in primerjavi zgornjih podatkov lahko ugotovimo, da je polnjenje z domačo polnilnico znatno cenejše od ostalih, vendar se je potrebno zavedati, da je takšno polnjenje veliko počasnejše od ostalih in da je čas polnjenja za veliko ljudi nevzdržen.

Za nadaljnje izračune o povprečnem letnem času polnjenja za javne polnilnice različnih moči in za domačo polnilnico sem moral najprej izračunati še povprečno količino letno porabljene električne energije. Pri naslednjih izračunih sem upošteval povprečno porabo električnega avtomobila **Volkswagen ID.5 GTX**, ki znaša **16,4 kWh/100 km** (glej tabelo 6), in povprečno število letno prevoženih kilometrov na avtomobil, ki znaša **13.750 km** (glej enačbo 8).

Povprečna količina letno porabljene električne energije za električni avtomobil:

$$16,4 \text{ kWh/100 km} \times 13.750 \text{ km} = \mathbf{2.255 \text{ kWh}} \quad \dots (17)$$

Ko sem imel podatek za povprečno količino letno porabljene električne energije za električni avtomobil, sem lahko izračunal tudi povprečni letni čas polnjenja za javne polnilnice različnih moči in za domačo polnilnico. Pri izračunih sem upošteval največjo moč polnjenja pri izmeničnem toku (AC) za izbran električni avtomobil, ki je **11 kWh**, in največjo moč polnjenja z enosmernim tokom (DC), ki pa je **175 kWh** (glej tabelo 6).

Povprečni letni čas polnjenja električnega avtomobila, uporaba polnilnice z močjo do 22 kWh:

$$2.255 \text{ kWh} \div 11 \text{ kWh/h} = \mathbf{205,00 \text{ h}} \quad \dots (18)$$

Povprečni letni čas polnjenja električnega avtomobila, uporaba polnilnice z močjo do 50 kWh:

$$2.255 \text{ kWh} \div 50 \text{ kWh/h} = \mathbf{45,10 \text{ h}} \quad \dots (19)$$

Povprečni letni čas polnjenja električnega avtomobila, uporaba polnilnice z močjo nad 50 kWh:

$$2.255 \text{ kWh} \div 175 \text{ kWh/h} \approx \mathbf{12,89 \text{ h}} \quad \dots (20)$$

Povprečni letni čas polnjenja električnega avtomobila, uporaba domače polnilnice:

$$2.255 \text{ kWh} \div 7,4 \text{ kWh/h} \approx \mathbf{304,73 \text{ h}} \quad \dots (21)$$

4.1.2 Cena polnjenja vodikovega avtomobila

V Sloveniji v času pisanja te raziskovalne naloge ni stalno obratujoče in za javnost odprte polnilnice na vodik, zato sem se odločil, da bom kot primer uporabil Nemčijo, ki je ena najrazvitejših držav na področju infrastrukture vodikovih polnilnic.

Za naslednje izračune sem uporabil povprečno ceno vodika, ki je v Nemčiji veljala v 3. četrtletju 2023, in je znašala **13,85 €/kg** (glej tabelo 5). Preden sem lahko izračunal povprečen letni strošek za vodikov avtomobil, pa sem moral pridobiti še povprečno

porabo na 100 km. Seveda je cena za povprečno porabo zelo odvisna tudi od velikosti in znamke (in drugih dejavnikov, ki so podrobneje obrazloženi v nadaljevanju) avtomobila, zato sem si že pred raziskavo izbral avtomobil, ki bo osnova za naslednje izračune in končno primerjavo. Za nadaljnje izračune sem kot primer uporabil karakteristike avtomobila **Toyota MIRAI II**, ki ima povprečno porabo **0,76 kg/100 km** (glej tabelo 6).

Povprečna cena porabe na 100 km:

$$13,85 \text{ €/kg} \times 0,76 \text{ kg/100 km} \approx \mathbf{10,53 \text{ €/100 km}} \quad \dots (22)$$

Ko sem imel podatek za povprečno ceno vodika na 100 km, sem lahko izračunal tudi povprečno letno ceno vodika na avtomobil.

Povprečna letna cena polnjenja vodikovega avtomobila na javnih polnilnicah :

$$10,53 \text{ €/100 km} \times 13.750 \text{ km} \approx \mathbf{1.447,88 \text{ €}} \quad \dots (23)$$

Kot lahko razberemo iz zgornjega izračuna, je povprečna letna cena vodika znatno višja od najnižje cene električne energije. Kljub razliki v ceni pa moramo vseeno upoštevati, da je čas povprečnega polnjenja vodikovega avtomobila približno **5 min**. Prav to je lahko za veliko ljudi ključni podatek.

Za lažjo primerjavo in nadaljnje raziskovanje sem izračunal tudi povprečno količino letno porabljenega vodika na avtomobil. Pri naslednjih izračunih sem upošteval povprečno porabo vodikovega avtomobila **Toyota MIRAI II**, ki znaša **0,76 kg/100 km** (glej tabelo 6), in povprečno število letno prevoženih kilometrov na avtomobil, ki znaša **13.750 km** (glej enačbo 8).

Povprečna količina letno porabljenega vodika za vodikov avtomobil:

$$0,76 \text{ kg/100 km} \times 13.750 \text{ km} = \mathbf{104,50 \text{ kg}} \quad \dots (24)$$

4.1.3 Cena novega avtomobila, subvencije in cena servisa

Cena avtomobila je večinoma prva stvar, ki jo kupec želi vedeti, in je zato tudi zelo pomembno, da jo izpostavim. Električni avtomobili imajo razmeroma širok cenovni izbor, saj njihove cene segajo od 15.000 € vse do več kot 100.000 €. Po drugi strani pa se cene vodikovih avtomobilov gibljejo med 60.000 € in več kot 100.000 €. To nam pove, da je večina električnih avtomobilov veliko cenejša od vodikovih avtomobilov. S tem v mislih sem moral za primerjavo izbrati avtomobila, ki sta podobne nakupne cene in hkrati nista popolnoma nedostopna povprečnemu kupcu v Evropi. Po temeljiti raziskavi sem se odločil za izbor električnega avtomobila **Volkswagen ID.5 GTX** z nakupno ceno **63.800 €** in vodikovega avtomobila **Toyota MIRAI II** z nakupno ceno **63.900 €**. Ta dva avtomobila sta osnova za vse izračune in primerjave v tej raziskovalni nalogi.

Zelo pomembno je tudi da izpostavim subvencije, saj prav te zelo veliko pripomorejo k velikemu zanimanju za električne avtomobile. Zaenkrat so subvencije možne samo za nova in rabljena električna vozila, medtem ko za vozila na vodik subvencije še ne obstajajo. V času pisanja te raziskovalne naloge je lahko fizična oseba ob nakupu novega električnega vozila **do 35.000 €** (vključno z DDV) dobila subvencijo v višini **do 6.500 €**, ob nakupu novega električnega vozila **od 35.000 € do 65.000 €** (vključno z DDV) pa do **4.500 €** (glej tabelo 7).

Servisni interval in cena servisa se zelo razlikujeta glede na pogonsko gorivo in znamko avtomobila. Volkswagen ID.5 GTX mora opraviti **dva servisna pregleda** v roku **5 let**, pri čemer **ni omejitve prevoženih kilometrov**. Skupni strošek teh dveh servisov, brez posebne okvare, znaša **760 €**. To je razmeroma nizek znesek v primerjavi z vozili na fosilna goriva. Toyota MIRAI II pa mora opraviti **en servisni pregled** vsaka **3 leta** oz. na **56.000 prevoženih kilometrov**. Skupni strošek tega servisa, brez posebne okvare, znaša **434 €**. [28, 29, 30]

Iz zgornjih podatkov lahko razberemo, da je cena servisa pri električnem avtomobilu nižja, ampak je skupni strošek zaradi dveh servisov na 5 let večji kot pri vodikovem avtomobilu, ki ima dva servisa na 6 let.

Cena servisa na leto, električni avtomobil:

$$760 \text{ €} \div 5 \text{ let} = \mathbf{152 \text{ €/leto}} \quad \dots (25)$$

Cena servisa na leto, vodikov avtomobil:

$$434 \text{ €} \div 3 \text{ let} \approx \mathbf{144,67 \text{ €/leto}} \quad \dots (26)$$

Kot je prikazano v zgornjih izračunih, je letna cena za servis višja pri električnem avtomobilu.

4.1.4 Primerjava in obračun vseh stroškov

Za prikaz povprečne cene goriva električnega avtomobila na prevoženih 100 km sem upošteval 25 % polnjenja na vsaki od različnih moči oz. hitrosti polnjenja. Prav tako sem na enak način izračunal povprečno letno ceno električne energije.

Povprečna cena električne energije na 100 km z upoštevanjem 25 % polnjenja na vsaki od različnih moči polnjenja:

$$0,25 \times (6,57 \text{ €/100 km} + 8,71 \text{ €/100 km} + 10,84 \text{ €/100 km} + 3,61 \text{ €/100 km}) \approx \mathbf{7,43 \text{ €/100 km}} \quad \dots (27)$$

Povprečna letna cena električne energije z upoštevanjem 25 % polnjenja na vsaki od različnih moči polnjenja:

$$0,25 \times (903,38 \text{ €} + 1.197,63 \text{ €} + 1.490,50 \text{ €} + 496,38 \text{ €}) \approx \mathbf{1.021,97 \text{ €}} \quad \dots (28)$$

Poleg cene polnjenja je za mnoge ključnega pomena tudi čas, ki ga porabimo za polnjenje avtomobila. Za prikaz povprečnega časa enega in letnega polnjenja, ki je potreben za polnjenje električnega avtomobila, sem uporabil že prej omenjeni način, ki upošteva 25 % za vsako od različnih moči oz. hitrosti polnjenja. To mi je omogočilo, da sem se čim bolj približal realnemu času polnjenja za povprečnega uporabnika.

Povprečni čas enega polnjenja (77 kWh) z upoštevanjem 25 % polnjenja na vsaki od različnih hitrosti polnjenja:

$$0,25 \times (7,00 \text{ h} + 1,54 \text{ h} + 0,44 \text{ h} + 10,41 \text{ h}) \approx \mathbf{4,85 \text{ h}} \quad \dots (29)$$

Povprečni čas letnega polnjenja z upoštevanjem 25 % polnjenja na vsaki od različnih moči polnjenja:

$$0,25 \times (205,00 \text{ h} + 45,10 \text{ h} + 12,89 \text{ h} + 304,73 \text{ h}) = \mathbf{141,93 \text{ h}} \quad \dots (30)$$

Ko sem imel podatek za povprečni čas letnega polnjenja za električni avtomobil, sem izračunal tudi povprečni čas letnega polnjenja vodikovega avtomobila. Pri tem sem upošteval povprečni čas polnjenja rezervoarja Toyote MIRAI II s prostornino **5,6 kg**, ki znaša **5 min**.

Povprečni letni čas polnjenja vodikovega avtomobila:

$$104,5 \text{ kg} \div 5,6 \text{ kg} \times (5 \text{ min} \div 60) \approx \mathbf{1,56 \text{ h}} \quad \dots (31)$$

Po pregledu in primerjavi zgornjih podatkov in podatkov za električni avtomobil lahko ugotovimo, da je polnjenje električnega avtomobila na katerikoli od polnilnic še vedno veliko počasnejše kot polnjenje vodikovega avtomobila. Moramo se zavedati, da čeprav je polnjenje na električnih polnilnicah cenejše od polnjenja na vodikovih polnilnicah, je čas polnjenja znatno daljši za električni avtomobil in prav to je odločilnega pomena za večino ljudi, ki se zaradi tega za električni avtomobil ne odločijo.

V naslednjih izračunih sem seštel vse stroške za električni in za vodikov avtomobil, da sem prišel do skupnega letnega stroška, ki sem ga prav tako uporabil v končni primerjavi.

Skupni strošek (za 1 leto), električni avtomobil:

$$152 \text{ €} + 1.021,97 \text{ €} = \mathbf{1.173,97 \text{ €}} \quad \dots (32)$$

Skupni strošek (za 1 leto), vodikov avtomobil:

$$144,67 \text{ €} + 1.447,88 \text{ €} = \mathbf{1.592,55 \text{ €}} \quad \dots (33)$$

Tabela 8: Primerjava stroškov med električnim in vodikovim avtomobilom

	Električni avtomobil	Vodikov avtomobil
Cena (vklj. z DDV)	63.800 €	63.900 €
Subvencije	4.500 €	/
Servis (letno)	152,00 €	144,67 €
Cena goriva na 100 km	7,43 €	10,53 €
Letna cena goriva (prevoženih 13.500 km)	1.021,97 €	1.447,88 €
Čas enega polnjenja (77 kWh/5,8 kg)	4,85 h	5 min
Letni čas polnjenja	141,93 h	1,56 h
Strošek nakupa (novega avtomobila)	59.300 €	63.900 €
Skupni strošek (za 1 leto)	1.173,97 €	1.592,55 €

4.2 Energetska učinkovitost in izpusti CO₂, ki jih povzročajo elektrarne

4.2.1 Energetska učinkovitost

Energetska učinkovitost pomeni uporabo manjše količine energije za opravljanje istega dela, kar sem prikazal s porabo električne energije na 100 km. Pri električnem avtomobilu je poraba električne energije na 100 km že znana in v povprečju znaša **16,4 kWh/100 km**. Pri vodikovih avtomobilih pa ni tako. Za nadaljnje izračune sem upošteval, da ima vodik (plin pri tlaku 100 bar) specifično energijo **33,3 kWh/kg**. S tem podatkom sem lahko izračunal količino porabljene energije na 100 km.

Količina porabljene energije na 100 km, vodikov avtomobil:

$$0,76 \text{ kg}/100 \text{ km} \times 33,30 \text{ kWh/kg} \approx \mathbf{25,31 \text{ kWh}/100 \text{ km}} \quad \dots (34)$$

Iz zgornjih podatkov lahko razberemo, da je električni avtomobil, glede na gorivo, bolj energetsko učinkovit kot vodikov avtomobil.

4.2.2 Proizvodnja električne energije za električne avtomobile in elektrolizo vode

V tem poglavju sem se prav tako posvetil proizvodnji potrebne električne energije, ki pa je temeljila na letni ravni. Vsak električni avtomobil na leto porabi približno **2.255 kWh** električne energije (glej enačbo 17). Prav tako vemo, da vsak vodikov avtomobil na leto porabi približno **104,5 kg** vodika (glej enačbo 24). Pri naslednjih izračunih sem upošteval, da za **1 kg** vodika, ki ga pridobimo z elektrolizo, potrebujemo **8 kg** vode in **162 MJ** električne energije. S temi podatki sem izračunal potrebno količino električne energije in vode za vodikov avtomobil na leto. [31]

Povprečna količina potrebne električne energije na leto, vodikov avtomobil:

$$104,5 \text{ kg} \times 162 \text{ MJ/kg} = \mathbf{16.929 \text{ MJ}} \quad \dots (35)$$

Povprečna količina potrebne vode na leto, vodikov avtomobil:

$$104,5 \text{ kg} \times 8 = \mathbf{836 \text{ kg}} \quad \dots (36)$$

Ko sem imel podatek o povprečni količini potrebne električne energije na leto za vodikov avtomobil, sem ta podatek s spodnjim izračunom pretvoril iz MJ v kWh. Pri izračunu sem upošteval, da je **1 MJ** enak približno **0,28 kWh**.

Pretvorba električne energije iz MJ v kWh:

$$16.929 \text{ MJ} \times 0,28 \text{ kWh/MJ} = \mathbf{4.740,12 \text{ kWh}} \quad \dots (37)$$

Iz zgornjih izračunov lahko razberemo, da je pri vodikovem avtomobilu za pridobitev letne količine goriva potrebne več kot 2-krat več električne energije kot pri električnem avtomobilu.

V nadaljevanju bom po vzorcu pridobivanja električne energije v Sloveniji prikazal razliko v izpustih pri pridobivanju električne energije za električne in vodikove avtomobile in kakšen vpliv na okolje to prinaša.

Po podatkih iz Statističnega urada Republike Slovenije (SURs) za leto 2022 je Slovenija **27 %** električne energije pridobila s **hidroelektrarnami**, **29 %** s **termoelektrarnami** in

44 % z jedrsko elektrarno. Ti podatki temeljijo na proizvodnji električne energije na pragu elektrarn. [32]

Ko sem imel vse potrebne podatke, sem izračunal letno količino električne energije, ki jo mora za en električni ali vodikov avtomobil proizvesti vsaka od vrst elektrarn.

Letna količina električne energije, ki jo mora proizvesti hidroelektrarna za en električni avtomobil:

$$2.255 \text{ kWh} \times 0,27 = \mathbf{608,85 \text{ kWh}} \quad \dots (38)$$

Letna količina električne energije, ki jo mora proizvesti hidroelektrarna za en vodikov avtomobil:

$$4.740,12 \text{ kWh} \times 0,27 \approx \mathbf{1.279,83 \text{ kWh}} \quad \dots (39)$$

Letna količina električne energije, ki jo mora proizvesti termoelektrarna za en električni avtomobil:

$$2.255 \text{ kWh} \times 0,29 = \mathbf{653,95 \text{ kWh}} \quad \dots (40)$$

Letna količina električne energije, ki jo mora proizvesti termoelektrarna za en vodikov avtomobil:

$$4.740,12 \text{ kWh} \times 0,29 \approx \mathbf{1.374,64 \text{ kWh}} \quad \dots (41)$$

Letna količina električne energije, ki jo mora proizvesti jedrska elektrarna za en električni avtomobil:

$$2.255 \text{ kWh} \times 0,44 = \mathbf{992,20 \text{ kWh}} \quad \dots (42)$$

Letna količina električne energije, ki jo mora proizvesti jedrska elektrarna za en vodikov avtomobil:

$$4.740,12 \text{ kWh} \times 0,44 \approx \mathbf{2.085,65 \text{ kWh}} \quad \dots (43)$$

Poleg podatkov o sistemu pridobivanja električne energije sem moral za nadaljnje izračune pridobiti tudi podatke o izpustih ogljikovega dioksida elektrarn.

Tabela 9: Izpusti elektrarn [33]

Elektrarne	Izpusti gCO₂/kWh
Termoelektrarna (lignit)	1.100
Jedrska elektrarna	10
Hidroelektrarna	8

* Emisije toplogrednih plinov na proizvedeno kWh električne energije in ob upoštevanem celotnem življenjskem ciklu (izdelava komponent in izgradnja elektrarne, pridobivanje in predelava goriva, proizvodnja električne energije, ravnanje z odpadki in razgradnja proizvodnega objekta).

S pomočjo zgornjih izračunov in podatkov o izpustih elektrarn lahko sem izračunal tudi letno količino izpustov CO₂, ki so posledica pridobivanja električne energije za en električni ali vodikov avtomobil.

Letna količina izpustov CO₂, ki jo proizvede hidroelektrarna za en električni avtomobil:

$$608,85 \text{ kWh} \times 8 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = \mathbf{4.870,8 \text{ gCO}_2} \quad \dots (44)$$

Letna količina izpustov CO₂, ki jo proizvede hidroelektrarna za en vodikov avtomobil:

$$1.279,83 \text{ kWh} \times 8 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = \mathbf{10.238,64 \text{ gCO}_2} \quad \dots (45)$$

Letna količina izpustov CO₂, ki jo proizvede termoelektrarna za en električni avtomobil:

$$653,95 \text{ kWh} \times 1.100 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = \mathbf{719.345 \text{ gCO}_2} \quad \dots (46)$$

Letna količina izpustov CO₂, ki jo proizvede termoelektrarna za en vodikov avtomobil:

$$1.374,64 \text{ kWh} \times 1.100 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = \mathbf{1.512.104 \text{ gCO}_2} \quad \dots (47)$$

Letna količina izpustov CO₂, ki jo proizvede jedrska elektrarna za en električni avtomobil:

$$992,20 \text{ kWh} \times 10 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = \mathbf{9.922 \text{ gCO}_2} \quad \dots (48)$$

Letna količina izpustov CO₂, ki jo proizvede jedrska elektrarna za en vodikov avtomobil:

$$2.085,65 \text{ kWh} \times 10 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = \mathbf{20.856,5 \text{ gCO}_2} \quad \dots (49)$$

Za lažjo uporabo podatkov sem z naslednjima izračunoma dobljene podatke za električni ali vodikov avtomobil, za vsakega posebej, seštel.

Letna količina izpustov CO₂, ki jo proizvedejo elektrarne za en električni avtomobil:

$$4.870,8 \text{ gCO}_2 + 719.345 \text{ gCO}_2 + 9.922 \text{ gCO}_2 = \mathbf{734.137,8 \text{ gCO}_2} \approx \mathbf{734,14 \text{ kgCO}_2} \quad \dots (50)$$

Letna količina izpustov CO₂, ki jo proizvedejo elektrarne za en vodikov avtomobil:

$$10.238,64 \text{ gCO}_2 + 1.512.104 \text{ gCO}_2 + 20.856,5 \text{ gCO}_2 = \mathbf{1.543.199,14 \text{ gCO}_2} \approx \mathbf{1.543,2 \text{ kgCO}_2} \quad \dots (51)$$

Iz zgornjih podatkov lahko razberemo, da so izpusti CO₂ za en vodikov avtomobil več kot 2-krat večji kot za en električni avtomobil.

4.3 Vpliv proizvodnje in reciklaže električnega in vodikovega avtomobila na okolje

Poleg ostalih podatkov je bilo zelo pomembno, da sem raziskal tudi vpliv na okolje, ki ga povzročajo različni deli električnih in vodikovih avtomobilov.

»Glider« je del vozila, ki vključuje karoserijo, podvozje, zavore, kolesa, odbijače, sedeže, vrata, luči in druge komponente, ki ne spadajo med glavne dele avtomobila. Vpliv gliderja na okolje je odvisen od materialov, energije in emisij, ki so potrebni za njegovo proizvodnjo, vzdrževanje in odstranjevanje.

Glider je sestavljen iz različnih materialov, kot so jeklo, aluminij, steklo, guma, plastika in drugi. Največji delež materialov predstavlja jeklo, sledijo mu plastika, aluminij in guma. Ti materiali zahtevajo različne količine energije in povzročajo različne emisije

pri njihovi proizvodnji. Pri izračunih sem upošteval povprečno težo gliderja, ki znaša **650 kg**.

Glider v povprečju zahteva **66,5 MJ** energije in povzroča **3,74 kgCO₂** emisij. Največ energije in emisij je potrebno za proizvodnjo jekla, aluminija in stekla. Treba se je zavedati, da glider pri svoji proizvodnji porabi tudi električno energijo, zemeljski plin, dizelsko olje in vodo. [34]

Poleg potrebne energije in izpustov CO₂, glider povzroča tudi izpuste **SO₂**, **NO_x** in **PM₁₀**, ki prav tako niso zanemarljivi. Vrednosti izpustov gliderja za življenjski cikel avtomobila znašajo **10,5 kgSO₂**, **7,36 kgNO_x** in **4,12 kgPM₁₀**. Ti podatki temeljijo na prevoženih **150.000 km**. [34]

Zdaj sem lahko s pomočjo pridobljenih podatkov izračunal tudi letne izpuste SO₂, NO_x in PM₁₀ na prevoženih **13.750 km**.

Letna količina izpustov SO₂ za en avtomobil, zaradi gliderja (prevoženih 13.750 km):

$$10,50 \text{ kgSO}_2 \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,96 \text{ kgSO}_2} \quad \dots (52)$$

Letna količina izpustov NO_x za en avtomobil, zaradi gliderja (prevoženih 13.750 km):

$$7,36 \text{ kgNO}_x \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,67 \text{ kgNO}_x} \quad \dots (53)$$

Letna količina izpustov PM₁₀ za en avtomobil, zaradi gliderja (prevoženih 13.750 km):

$$4,12 \text{ kgPM}_{10} \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,38 \text{ kgPM}_{10}} \quad \dots (54)$$

Ker imata električni in vodikov avtomobil večino podobnih delov in je razlika v vplivu proizvodnje in recikliranja teh delov zanemarljiva, sem za »drive-train« upošteval enake podatke za oba.

Drive-train ali pogonski sklop vozila je sistem, ki pretvarja energijo (običajno iz goriva ali baterije) v mehansko gibanje. Vpliv pogonskega sklopa na okolje je odvisen od vrste pogonskega sklopa, uporabljenih materialov, energije, ki se uporablja za njegovo proizvodnjo in delovanje, ter emisij, ki jih povzroča.

Drive-train je sestavljen iz različnih materialov, kot so jeklo, aluminij, baker, magneti, elektronika in drugi. Ti materiali zahtevajo različne količine energije in povzročajo različne emisije pri njihovi proizvodnji.

Drive-train za električni in vodikov avtomobil v povprečju zahteva **21,9 MJ** energije in povzroča **1,35 kgCO₂** emisij. Največ energije in emisij je potrebno za proizvodnjo jekla, aluminijskega in bakra. Pogonski sklop porabi tudi električno energijo, zemeljski plin, dizelsko olje in vodo pri svoji proizvodnji. [34]

Poleg potrebne energije in izpustov CO₂, drive-train povzroča tudi izpuste **SO₂**, **NO_x** in **PM₁₀**, ki prav tako niso zanemarljivi. Vrednosti izpustov drive-traina za življenjski cikel avtomobila znašajo **6,21 kgSO₂**, **3,2 kgNO_x** in **1,31 kgPM₁₀**. Ti podatki temeljijo na prevoženih **150.000 km**. [34]

Zdaj sem tako lahko s pomočjo pridobljenih podatkov izračunal tudi letne izpuste SO₂, NO_x in PM₁₀ za **Volkswagen ID.5 GTX** in **Toyota MIRAI II** na prevoženih **13.750 km**.

Letna količina izpustov SO₂ za en Volkswagen ID.5 GTX ali Toyota MIRAI II, zaradi drive-traina (prevoženih 13.750 km):

$$6,21 \text{ kgSO}_2 \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,57 \text{ kgSO}_2} \quad \dots (55)$$

Letna količina izpustov NO_x za en Volkswagen ID.5 GTX ali Toyota MIRAI II, zaradi drive-traina (prevoženih 13.750 km):

$$3,20 \text{ kgNO}_x \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,29 \text{ kgNO}_x} \quad \dots (56)$$

Letna količina izpustov PM₁₀ za en Volkswagen ID.5 GTX ali Toyota MIRAI II, zaradi drive-traina (prevoženih 13.750 km):

$$1,31 \text{ kgPM}_{10} \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,12 \text{ kgPM}_{10}} \quad \dots (57)$$

4.3.1 Vpliv baterije vodikovega avtomobila na okolje

Glavni deli vodikovega avtomobila

1. Gorivne celice: so naprave, ki pretvarjajo kemično energijo vodika in kisika v električno energijo in so glavni del vodikovega avtomobila.
2. Rezervoar za vodik: vodik se shranjuje v visokotlačnih rezervoarjih, ki so zasnovani tako, da varno hranijo vodik pri visokem tlaku.
3. Elektromotor z enostopenjskim menjalnikom: električna energija, ki jo proizvajajo gorivne celice, se uporablja za napajanje električnega motorja, ki poganja avtomobil.
4. Vlečna baterija: nekateri vodikovi avtomobili imajo tudi baterijo, ki lahko shranjuje električno energijo za kasnejšo uporabo.
5. Krmilna enota: računalnik, ki centralizira vse informacije o motorju in na podlagi tega sprejema odločitve ter prilagaja delovanje motorja na vsako okoliščino.
6. Menjalnik: omogoča prenos moči iz motorja do koles.



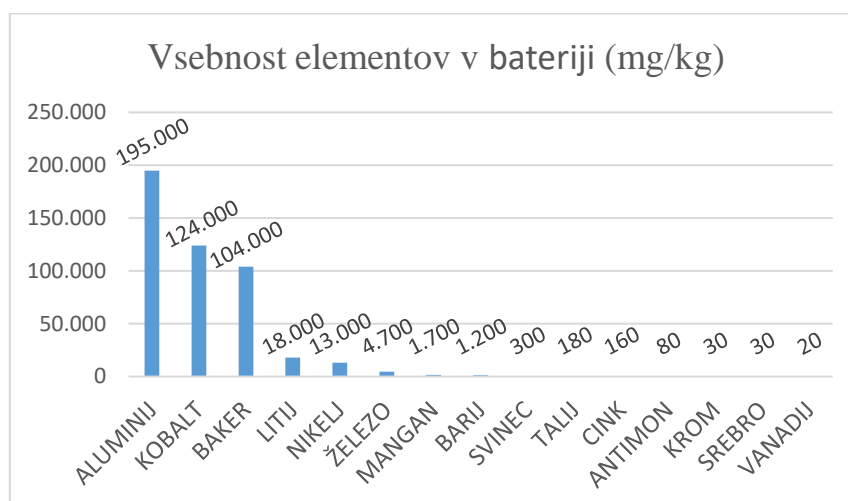
Slika 7: Sestava vodikovega avtomobila Toyota MIRAI II (10)

V nadaljnjih izračunih sem se posvetil vplivu proizvodnje in razgradnje vlečne 1,2 kWh litij-ionske baterije vodikovega avtomobila **Toyota MIRAI II**, saj je onesnaževanje pri izdelavi gorivnih celic zanemarljivo.

Proizvodnja litij-ionskih baterij zahteva veliko energije in surovin, vključno z litijem, kobaltom in nikeljem. Pridobivanje teh materialov lahko povzroči okoljsko škodo, vključno z onesnaževanjem vode, zraka in tal. [34]

Med uporabo litij-ionske baterije ne proizvajajo neposrednih emisij onesnaževal. Vendar pa je okoljski vpliv električnih vozil odvisen od vira električne energije, ki se uporablja za polnjenje baterij. [34]

Na koncu življenjske dobe se litij-ionske baterije lahko reciklirajo, da se pridobijo dragocene surovine. Vendar pa je trenutno stopnja recikliranja litij-ionskih baterij relativno nizka. [34]



Graf 1: Povprečna vsebnost elementov v bateriji (11)

Litij-ionska baterija z maso **300 kg** v povprečju zahteva **31,2 MJ** energije in povzroča **1,8 kgCO₂** emisij. Največ energije in emisij je potrebno za recikliranje baterije. Najbolj nevarno za okolje je pridobivanje kobalta, ki je v litij-ionski bateriji drugi najbolj uporabljen element. [34]

Poleg potrebne energije in izpustov CO₂, litij-ionska baterija povzroča tudi izpuste **SO₂**, **NO_x** in **PM₁₀**, ki prav tako niso zanemarljivi. Vrednosti izpustov baterije za življenjski

cikel avtomobila znašajo **13,1 kgSO₂**, **5,33 kgNO_x** in **2,51 kgPM₁₀**. Ti podatki temeljijo na litij-ionski bateriji z maso **300 kg** in prevoženih **150.000 km**. [34]

Ko sem imel vse potrebne podatke, sem lahko izračunal potrebno energijo in izpuste CO₂ za proizvodnjo litij-ionske baterije za **Toyota MIRAI II**, ki ima baterijo z maso **45 kg** (glej tabelo 6).

Količina energije, ki je potrebna za proizvodnjo baterije za eno Toyota MIRAI II:

$$31,2 \text{ MJ/kg} \times (45 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) = \mathbf{4,68 \text{ MJ}} \quad \dots (58)$$

Količina izpustov CO₂, ki je posledica proizvodnje baterije za eno Toyota MIRAI II:

$$1,8 \text{ kgCO}_2/\text{kg} \times (45 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) = \mathbf{0,27 \text{ kgCO}_2} \quad \dots (59)$$

Prav tako lahko s pomočjo pridobljenih podatkov izračunam tudi letne izpuste SO₂, NO_x in PM₁₀ na prevoženih **13.750 km** za **Toyota MIRAI II**.

Letna količina izpustov SO₂ za eno Toyota MIRAI II, zaradi baterije (prevoženih 13.750 km):

$$13,1 \text{ kgSO}_2 \times (45 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,18 \text{ kgSO}_2} \quad \dots (60)$$

Letna količina izpustov NO_x za eno Toyota MIRAI II, zaradi baterije (prevoženih 13.750 km):

$$5,33 \text{ kgNO}_x \times (45 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,07 \text{ kgNO}_x} \quad \dots (61)$$

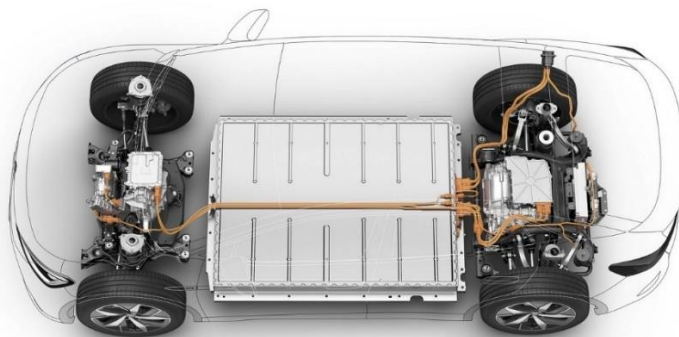
Letna količina izpustov PM₁₀ za eno Toyota MIRAI II, zaradi baterije (prevoženih 13.750 km):

$$2,51 \text{ kgPM}_{10} \times (45 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,03 \text{ kgPM}_{10}} \quad \dots (62)$$

4.3.2 Vpliv baterije električnega avtomobila na okolje

Glavni deli električnega avtomobila

1. Električni motor: zagotavlja moč vrtenja koles. Lahko je enosmerni ali izmenični, vendar so pogostejši motorji z izmeničnim tokom.
2. Pretvornik: pretvori električni tok v obliki enosmernega v izmenični tok.
3. Baterijski sklop: baterije shranjujejo električno energijo, potrebno za električni pogon vozila.
4. Krmilna enota: računalnik, ki centralizira vse informacije o motorju in na podlagi tega sprejema odločitve ter prilagaja delovanje motorja na vsako okoliščino.
5. Enostopenjski menjalnik: omogoča prenos moči iz motorja do koles.
6. Izhod za polnjenje baterije: omogoča priključitev vtičnice ali polnilnega mesta za električna vozila.



Slika 8: Sestava električnega avtomobila Volkswagen ID.5 GTX (12)

V nadaljnjih izračunih sem se posvetil vplivu proizvodnje in razgradnje 77-kWh litij-ionske baterije električnega avtomobila **Volkswagen ID.5 GTX**, saj proizvodnja in recikliranje baterije močno vplivata na okolje.

S pomočjo podatkov, ki sem jih zbral že v prejšnjem poglavju, sem lahko izračunal potrebno energijo in izpuste CO₂ za proizvodnjo litij-ionske baterije za **Volkswagen ID.5 GTX**, ki ima baterijo z maso **495 kg** (glej tabelo 6).

Količina energije, ki je potrebna za proizvodnjo baterije za en Volkswagen ID.5 GTX:

$$31,2 \text{ MJ/kg} \times (495 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) = \mathbf{51,48 \text{ MJ}} \quad \dots (63)$$

Količina izpustov CO₂, ki je posledica proizvodnje baterije za en Volkswagen ID.5 GTX:

$$1,8 \text{ kgCO}_2/\text{kg} \times (495 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) = \mathbf{2,97 \text{ kgCO}_2} \quad \dots (64)$$

Prav tako lahko s pomočjo prej pridobljenih podatkov izračunam tudi letne izpuste SO₂, NO_x in PM₁₀ na prevoženih **13.750 km** za **Volkswagen ID.5 GTX**.

Letna količina izpustov SO₂ za en Volkswagen ID.5 GTX, zaradi baterije (prevoženih 13.750 km):

$$13,1 \text{ kgSO}_2 \times (495 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{1,98 \text{ kgSO}_2} \quad \dots (65)$$

Letna količina izpustov NO_x za en Volkswagen ID.5 GTX, zaradi baterije (prevoženih 13.750 km):

$$5,33 \text{ kgNO}_x \times (495 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,81 \text{ kgNO}_x} \quad \dots (66)$$

Letna količina izpustov PM₁₀ za en Volkswagen ID.5 GTX, zaradi baterije (prevoženih 13.750 km):

$$2,51 \text{ kgPM}_{10} \times (495 \text{ kg} \div 300 \text{ kg}) \times (13.750 \text{ km} \div 150.000 \text{ km}) \approx \mathbf{0,38 \text{ kgPM}_{10}} \quad \dots (67)$$

4.3.3 Prikaz podatkov in primerjava

Seštel sem vse podatke, da sem lahko prikazal, kolikšna energija, izpusti CO₂, SO₂, NO_x in PM₁₀ se sprostijo v okolje za proizvodnjo in recikliranje enega električnega in vodikovega avtomobila.

Količina porabe energije za en Volkswagen ID.5 GTX:

$$66,5 \text{ MJ} + 21,9 \text{ MJ} + 51,48 \text{ MJ} = \mathbf{139,88 \text{ MJ}} \quad \dots (68)$$

Količina izpustov CO₂ za en Volkswagen ID.5 GTX:

$$3,74 \text{ kgCO}_2 + 1,35 \text{ kgCO}_2 + 2,97 \text{ kgCO}_2 = \mathbf{8,06 \text{ kgCO}_2} \quad \dots (69)$$

Letna količina izpustov SO₂ za en Volkswagen ID.5 GTX:

$$0,96 \text{ kgSO}_2 + 0,57 \text{ kgSO}_2 + 1,98 \text{ kgSO}_2 = \mathbf{3,51 \text{ kgSO}_2} \quad \dots (70)$$

Letna količina izpustov NO_x za en Volkswagen ID.5 GTX:

$$0,67 \text{ kgNO}_x + 0,29 \text{ kgNO}_x + 0,81 \text{ kgNO}_x = \mathbf{1,77 \text{ kgNO}_x} \quad \dots (71)$$

Letna količina izpustov PM₁₀ za en Volkswagen ID.5 GTX:

$$0,38 \text{ kgPM}_{10} + 0,12 \text{ kgPM}_{10} + 0,38 \text{ kgPM}_{10} = \mathbf{0,88 \text{ kgPM}_{10}} \quad \dots (72)$$

Količina porabe energije za eno Toyota MIRAI II:

$$66,5 \text{ MJ} + 21,9 \text{ MJ} + 4,68 \text{ MJ} = \mathbf{93,08 \text{ MJ}} \quad \dots (73)$$

Količina izpustov CO₂ za eno Toyota MIRAI II:

$$3,74 \text{ kgCO}_2 + 1,35 \text{ kgCO}_2 + 0,27 \text{ kgCO}_2 = \mathbf{5,36 \text{ kgCO}_2} \quad \dots (74)$$

Letna količina izpustov SO₂ za eno Toyota MIRAI II:

$$0,96 \text{ kgSO}_2 + 0,57 \text{ kgSO}_2 + 0,18 \text{ kgSO}_2 = \mathbf{1,71 \text{ kgSO}_2} \quad \dots (75)$$

Letna količina izpustov NO_x za eno Toyota MIRAI II:

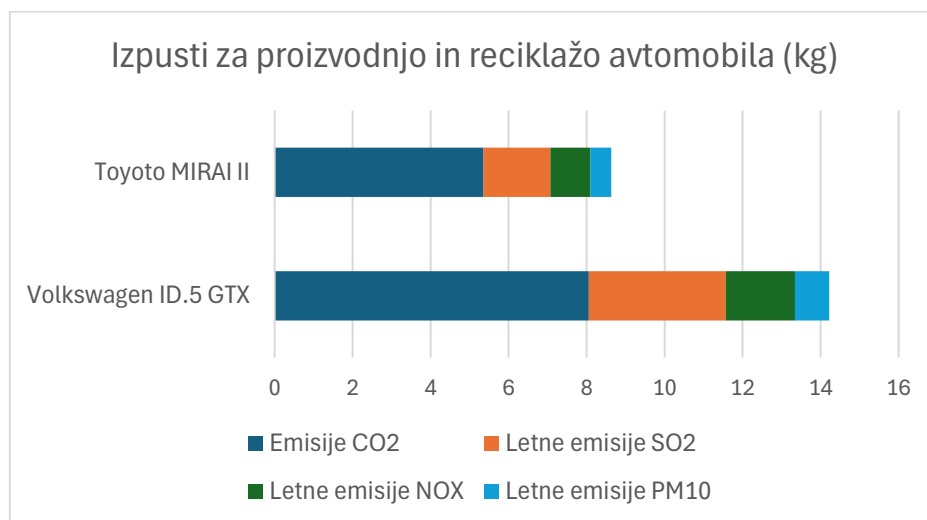
$$0,67 \text{ kgNO}_x + 0,29 \text{ kgNO}_x + 0,07 \text{ kgNO}_x = \mathbf{1,03 \text{ kgNO}_x} \quad \dots (76)$$

Letna količina izpustov PM₁₀ za eno Toyota MIRAI II:

$$0,38 \text{ kgPM}_{10} + 0,12 \text{ kgPM}_{10} + 0,03 \text{ kgPM}_{10} = \mathbf{0,53 \text{ kgPM}_{10}} \quad \dots (77)$$

Tabela 10: Primerjava okoljskega vpliva proizvodnje in recikliranja električnega in vodikovega avtomobila

	Volkswagen ID.5 GTX	Toyoto MIRAI II
Povprečna poraba energije	16,4 kWh/100 km	25,31 kWh/100 km
Letna poraba električne energije	2.255 kWh	4.740,12 kWh
Letna količina izpustov elektrarn na avtomobil	734,14 kgCO ₂	1.543,2 kgCO ₂
»Glider« avtomobila		
Poraba energije	66,5 MJ	66,5 MJ
Emisije CO₂	3,74 kgCO ₂	3,74 kgCO ₂
Letne emisije SO₂	0,96 kgSO ₂	0,96 kgSO ₂
Letne emisije NO_x	0,67 kgNO _x	0,67 kgNO _x
Letne emisije PM₁₀	0,38 kgPM ₁₀	0,38 kgPM ₁₀
»Drive-train« avtomobila		
Poraba energije	21,9 MJ	21,9 MJ
Emisije CO₂	1,35 kgCO ₂	1,35 kgCO ₂
Letne emisije SO₂	0,57 kgSO ₂	0,57 kgSO ₂
Letne emisije NO_x	0,29 kgNO _x	0,29 kgNO _x
Letne emisije PM₁₀	0,12 kgPM ₁₀	0,12 kgPM ₁₀
Baterija avtomobila		
Poraba energije	51,48 MJ	4,68 MJ
Emisije CO₂	2,97 kgCO ₂	0,27 kgCO ₂
Letne emisije SO₂	1,98 kgSO ₂	0,18 kgSO ₂
Letne emisije NO_x	0,81 kgNO _x	0,07 kgNO _x
Letne emisije PM₁₀	0,38 kgPM ₁₀	0,03 kgPM ₁₀
Seštevek in vpliv na okolje		
Poraba energije	139,88 MJ	93,08 MJ
Emisije CO₂	8,06 kgCO ₂	5,36 kgCO ₂
Letne emisije SO₂	3,51 kgSO ₂	1,71 kgSO ₂
Letne emisije NO_x	1,77 kgNO _x	1,03 kgNO _x
Letne emisije PM₁₀	0,88 kgPM ₁₀	0,53 kgPM ₁₀



Graf 2: Izpusti za proizvodnjo in reciklažo avtomobila

Kot lahko razberemo iz zgornje tabele, proizvodnja in recikliranje električnega avtomobila veliko bolj onesnažujeta okolje kot pri vodikovem avtomobilu. Edino emisije CO₂ so ob upoštevanju še letne količine izpustov elektrarn višje pri vodikovih avtomobilih.

4.4 Primerjava vseh podatkov še z avtomobilom na fosilna goriva

Po podatkih iz spletne strani SURS so bili leta 2021 povprečni izpusti CO₂ na kilometer pri novih osebnih avtomobilih **133,9 gCO₂**. S pomočjo teh podatkov sem izračunal povprečno letno količino izpustov CO₂ za avtomobil na fosilna goriva (ob prevoženih 13.750 km)

Letna količina izpustov CO₂, ki jih povzročajo avtomobili na fosilna goriva (prevoženih 13.750 km):

$$133,9 \text{ gCO}_2/\text{km} \times 13.750 \text{ km} = \mathbf{1.841.125 \text{ gCO}_2} \approx \mathbf{1.841,13 \text{ kgCO}_2} \quad \dots (78)$$

Da bom lahko izračunal letno količino porabljenega goriva na avtomobil, sem upošteval, da je povprečna poraba avtomobila **7 l/100 km**.

Letna količina porabljenega goriva za avtomobil na fosilna goriva (prevoženih 13.750 km):

$$71 \times (13.750 \text{ km} \div 100 \text{ km}) = \mathbf{962,5 \text{ l}} \quad \dots (79)$$

Za konec sem še izračunal povprečni letni strošek goriva za avtomobil na fosilna goriva. Pri tem sem upošteval podatke s spletne strani SURS za 3. četrletje leta 2023, v katerem je bila cena dizelskega goriva **1,57 €/l** in cena bencinskega (95) goriva **1,52 €/l**.

Povprečna cena goriva (dizel in bencin):

$$(1,57 \text{ €/l} + 1,52 \text{ €/l}) \div 2 \approx \mathbf{1,55 \text{ €/l}} \quad \dots (80)$$

Povprečni strošek goriva za avtomobil na fosilna goriva, na 100 km:

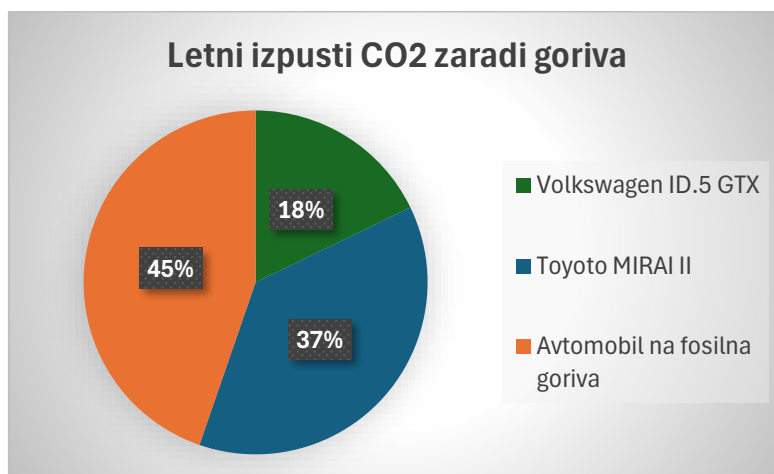
$$1,55 \text{ €/l} \times 71 = \mathbf{10,85 \text{ €}} \quad \dots (81)$$

Letni strošek goriva za avtomobil na fosilna goriva (prevoženih 13.750 km):

$$1,55 \text{ €/l} \times 962,5 \text{ l} \approx \mathbf{1.491,88 \text{ €}} \quad \dots (82)$$

Tabela 11: Primerjava stroškov z avtomobilom na fosilna goriva

	Volkswagen ID.5 GTX	Toyota MIRAI II	Avtomobil na fosilna goriva
Poraba na 100 km	16,4 kWh/100 km	25,31 kWh/100 km	7 l/100 km
Cena goriva na 100 km	7,43 €	10,53 €	10,85 €
Letna poraba goriva	2.255 kWh	104,5 kg	962,5 l
Letni strošek goriva	1.021,97 €	1.447,88 €	1.491,88 €
Letni izpusti CO₂ zaradi goriva	734,14 kgCO ₂	1.543,2 kgCO ₂	1.841,13 kgCO ₂



Graf 3: Letni izpusti CO₂ zaradi goriva

V zgornji tabeli lahko vidimo, da je letni strošek goriva najdražji za avtomobile na fosilna goriva in najcenejši za električne avtomobile. Opazimo lahko tudi, da so letni izpusti CO₂ prav tako najvišji pri avtomobilih na fosilna goriva in prav tako najnižji pri električnih avtomobilih.

5 ZAKLJUČEK

V tej raziskovalni nalogi sem primerjal električne in vodikove avtomobile s tehničnega, okoljskega in ekonomskega vidika. Glavne ugotovitve so:

- energetska učinkovitost: električni avtomobili so bolj energetsko učinkoviti od vodikovih, saj imajo manjše izgube pri pretvorbi energije. Vodikovi avtomobili pa imajo prednost pri daljšem dosegu in hitrejšem polnjenju.
- stroški za uporabnike: električni avtomobili so za uporabnike cenejši od vodikovih avtomobilov, saj imajo nižje stroške polnjenja, vzdrževanja in dostopne subvencije. Vodikovi avtomobili pa imajo višje stroške polnjenja, proizvodnje in infrastrukture.
- vpliv na okolje: električni in vodikovi avtomobili imajo manjši vpliv na okolje od avtomobilov na fosilna goriva, saj ne proizvajajo izpušnih plinov, vendar pa je njihov vpliv odvisen tudi od načina proizvodnje električne energije in vodika, ki lahko povzročata emisije CO₂. Poleg tega je treba upoštevati tudi vpliv proizvodnje in reciklaže baterij, ki lahko vsebujejo nevarne snovi.

Na podlagi teh ugotovitev lahko sklepam, da so električni avtomobili boljša izbira za trajnostno mobilnost v sedanosti, medtem ko so vodikovi avtomobili bolj primerni za prihodnost, ko se bo izboljšala tehnologija in znižali stroški. Za doseganje ciljev glede podnebnih sprememb in čistejšega okolja je potrebno spodbujati razvoj in uporabo obeh tehnologij, saj lahko prispevata k zmanjšanju odvisnosti od fosilnih goriv in emisij toplogrednih plinov.

V tej raziskovalni nalogi sem se osredotočil na primerjavo med električnimi in vodikovimi avtomobili, vendar obstajajo tudi druga alternativna goriva in tehnologije, ki bi jih bilo zanimivo raziskati. Nekatera od teh so amonijak, biogoriva, sintetična goriva in hibridna vozila. Prav tako bi bilo zanimivo raziskati možnosti za izboljšanje infrastrukture, integracijo z obnovljivimi viri energije in vpliv na družbo in gospodarstvo.

HIPOTEZA 1: Električni avtomobili so bolj energetsko učinkoviti od vodikovih avtomobilov.

Ta hipoteza je **POTRJENA**. Povprečna poraba električne energije na 100 km pri električnih avtomobilih znaša 16,4 kWh, pri vodikovih avtomobilih pa 25,31 kWh (glej enačbo 34).

HIPOTEZA 2: Letna cena električne energije je na povprečno število prevoženih kilometrov (13.750 km) na avtomobil nižja kot cena vodika.

Ta hipoteza je **POTRJENA**. Letna cena električne energije na prevoženih 13.750 km znaša 1.021,97 € (glej enačbo 28), cena vodika pa 1.447,88 € (glej enačbo 23).

HIPOTEZA 3: Proizvodnja vodika povzroča več emisij toplogrednih plinov kot proizvodnja električne energije, na prevoženih 13.750 km.

Ta hipoteza je **POTRJENA**. Proizvodnja vodika na prevoženih 13.750 km povzroča 1.543,2 kgCO₂ (glej enačbo 51) emisij, medtem ko proizvodnja električne energije povzroča 734,14 kgCO₂ (glej enačbo 50) emisij.

HIPOTEZA 4: Proizvodnja in reciklaža električnega avtomobila povzročata več izpustov CO₂ od proizvodnje in reciklaže avtomobila na vodik.

Ta hipoteza je **POTRJENA**. Proizvodnja in reciklaža električnega avtomobila povzročata 8,06 kgCO₂ (glej enačbo 69) izpustov, medtem ko proizvodnja in reciklaža avtomobila na vodik povzročata 5,36 kgCO₂ (glej enačbo 74) izpustov.

HIPOTEZA 5: Glede na gorivo, električni in vodikov avtomobil proizvedeta manj izpustov CO₂ kot avtomobil na fosilna goriva.

Ta hipoteza je **POTRJENA**. Glede na gorivo in prevoženih 13.750 km, električni avtomobil proizvede 734,14 kgCO₂ (glej enačbo 50) izpustov, vodikov avtomobil proizvede 1.543,2 kgCO₂ (glej enačbo 51) izpustov, avtomobil na fosilna goriva pa proizvede 1.841,13 kgCO₂ (glej enačbo 78) izpustov.

6 POVZETEK

V tej raziskovalni nalogi sem primerjal električne in vodikove avtomobile s tehničnega, okoljskega in ekonomskega vidika. Uporabil sem podatke iz različnih virov in izvedel lastne izračune, da bi dobil objektivno in celovito sliko o prednostih in slabostih obeh tehnologij.

Ugotovil sem, da so električni avtomobili bolj energetske učinkoviti, cenejši za uporabo in imajo manjši vpliv na okolje, če se električna energija proizvaja iz obnovljivih virov. Vodikovi avtomobili pa imajo daljši doseg, hitrejše polnjenje in manjši vpliv na okolje pri proizvodnji in reciklaži vozila. Obe tehnologiji imata potencial za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in prispevanje k trajnostni mobilnosti.

Prihodnost mobilnosti bo verjetno zahtevala kombinacijo različnih tehnologij, ki bodo ustrezale različnim potrebam in okoliščinam. Električni in vodikovi avtomobili se lahko dopolnjujejo in sodelujejo v skupnem sistemu, ki bo zagotavljal čisto, varno in učinkovito prevozno rešitev. Za to pa je potrebno še veliko raziskav, razvoja in investicij v infrastrukturo, tehnologijo in zakonodajo.

7 SUMMARY

In this research work, I compared electric and hydrogen cars from technical, environmental and economic points of view. I used data from various sources and performed my own calculations to get an objective and comprehensive picture of the advantages and disadvantages of both technologies.

I have found that electric cars are more energy efficient, cheaper to run and have less impact on the environment if the electricity is generated from renewable sources. Hydrogen cars, on the other hand, have a longer range, faster charging and less impact on the environment in the production and recycling of the vehicle. Both technologies have the potential to reduce greenhouse gas emissions and contribute to sustainable mobility.

The future of mobility is likely to require a combination of different technologies to suit different needs and circumstances. Electric and hydrogen cars can complement each other and participate in a common system that will provide a clean, safe and efficient transportation solution. This requires a lot of research, development and investment in infrastructure, technology and legislation.

8 VIRI IN LITERATURA

[1] Alternative fuels, European Commission, pridobljeno 23. 11. 2023 s:

<https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/general-information/alternative-fuels>

[2] Kako deluje električni avto?, pridobljeno 30. 11. 2023 s:

<https://www.varcevanje-energije.si/elektricna-vozila/kako-deluje-elektricni-avto.html>

[3] Kam nas vodi vodik? So gorivne celice dolgoročna rešitev za čisto mobilnost?, 10. 12. 2023 s:

<https://avto-magazin.metropolitan.si/aktualno/kam-nas-vodi-vodik-so-gorivne-celice-dolgorocna-resitev-za-cisto-mobilnost/>

[4] Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s, pridobljeno 23. 12. 2023 s:

<https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/01%202020%20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf>

[5] E-mobilnost, pridobljeno 23. 12. 2023 s:

<https://www.nap.si/sl/e-mobility>

[6] Pokritost Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile narašča – EOL 171, pridobljeno 27. 12. 2023 s:

<https://www.zelenaslovenija.si/esg/pokritost-slovenije-s-polnilnimi-postajami-za-elektricne-avtomobile-narasca-eol-171/>

[7] Nacionalna točka dostopa, pridobljeno 27. 12. 2023 s:

<https://www.nap.si/sl>

[8] MOON POWER COMMUNITY ELEKTRIČNA HIŠNA POLNILNICA, pridobljeno 29. 12. 2022 s:

https://shop.porscheinterauto.net/produkti/vse_za_vas_avto/elektricne_polnilnice/21996/moon_community_elektricna_hisna_polnilnica/

[9] Cene energentov, pridobljeno 30. 12. 2023 s:

<https://www.stat.si/StatWeb/Field/Index/2/30>

[10] Cenik storitve polnjenja električnih vozil - Slovenija, pridobljeno 30. 12. 2023 s:

<https://www.petrol.si/mobilnost/zasebni-uporabniki/javne-elektricne-polnilnice/cenik-polnjenje>

[11] Ceniki Elektra Ljubljana in naših partnerjev, pridobljeno 30. 12. 2023 s:

<https://www.gremonaelektriko.si/vozniki#Cenik>

[12] Cenik storitve polnjenja električnih vozil za uporabnike storitve polnjenja MOONcharge, pridobljeno 30. 12. 2023 s:

<https://www.vrhunskamobilnost.si/media/uploads/Cenik-polnjenja-MOON-charge.pdf>

[13] DIRECT ACCESS & PAYMENT, pridobljeno 30. 12. 2023 s:

<https://ionity.eu/en/network/access-and-payment>

[14] Tesla Supercharger Prices: Europe, pridobljeno 30. 12. 2023 s:

<https://chargeinsights.com/tesla-supercharger-price-analysis-europe/>

[15] CENIK STORITVE eMobilnost, pridobljeno 30. 12. 2023 s:

<https://www.megatel.si/inc/files/CENIK%20ZA%20eMobilnost.pdf>

[16] Keep on rolling – you'll go far with hydrogen, pridobljeno 1. 1. 2024 s:

<https://h2-mobility.de/en/our-h2-stations/>

[17] Help center, pridobljeno 1. 1. 2024 s:

<https://h2-mobility.de/en/frequently-asked-questions/>

[18] Energiekostenvergleich für Pkw, pridobljeno 1. 1. 2024 s:

<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/2021-08-pkw-energiekostenvergleich.html>

[19] Popolnoma električni ID.5 GTX z dvomotornim štirikolesnim pogonom, pridobljeno 2. 1. 2024 s:

<https://www.volkswagen.si/id5/id5-gtx>

[20] ID.5, pridobljeno 2. 1. 2024 s:

<https://www.vrhunskaemobilnost.si/e-vozila/volkswagen/id-5/>

[21] ID.5, pridobljeno 2. 1. 2024 s:

https://cf-cdn-v6.volkswagen.at/media/Kwc_Basic_DownloadTag_Component/76951-paragraphs-1047053-text-147-child/default/a0e5c5cf/1700720201/tehnichni-podatki-in-oprema-id-5.pdf

[22] 2023 Mirai, pridobljeno 2. 1. 2024 s:

<https://www.toyota.com/mirai/>

[23] Toyota MIRAI II, pridobljeno 2. 1. 2024 s:

<https://h2.live/en/fuelcell-cars/toyota-mirai-ii/>

[24] JAVNI POZIV 107SUB-EVOB23, pridobljeno 3. 1. 2024 s:

https://ekosklad.si/uploads/f35f4977-0edc-4569-abe0-2df98b49aea0/Javni_poziv_107SUB-EVOB23.pdf

[25] SUBVENCIIJE EKO SKLADA ZA ELEKTRIČNA VOZILA 2023 - najnovejše spremembe!, pridobljeno 3. 1. 2024 s:

<https://www.porscheinterauto.net/elektricni-avtomobili/subvencija-za-elektricna-vozila/>

[26] Obseg cestnega prometa – vozni kilometri, 2022, pridobljeno 14. 1. 2024 s:

<https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/11105>

[27] Registrirana cestna motorna vozila in prikolice, 2022, pridobljeno 14. 1. 2024 s:

<https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/10910>

[28] Nacenejši in najdražji servis? Razlika kar tisoč evrov., pridobljeno 20. 1. 2024 iz:

<https://siol.net/avtomoto/novice/so-servisi-res-ugodnejši-kot-obljubljajo-podatki-so-zelo-nazorni-606761>

[29] Toyota Mirai se je z 1360 prevoženimi brezemisijskimi kilometri brez dodatnega polnjenja uvrstila v Guinnessovo knjigo rekordov., pridobljeno 20. 1. 2024 s:

<https://www.toyota.si/company/news/2021/toyota-mirai>

[30] Toyota Service Pricing, pridobljeno 20. 1. 2024 s:

<https://www.toyota.co.uk/owners/servicing-and-aftercare/service-pricing>

[31] Vodik kot pogonsko gorivo, pridobljeno 27. 1. 2024 s:

<https://www.petrol.si/poslovne-resitve/resitve/vodik>

[32] Proizvodnja električne energije po vrstah elektrarn (GWh), Slovenija, letno, pridobljeno 28. 1. 2024 s:

<https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/H029S.PX/>

[33] OSKRBA Z ENERGIJO DANES, pridobljeno 28. 1. 2024 s:

<https://www.esvet.si/energetska-oskrba-slovenije/oskrba-z-energijo-danes#viri-energije-za-oskrbo-slovenije>

[34] Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles, pridobljeno 3. 2. 2024 s:

<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es903729a>

8.1 VIRI SLIK

- (1) <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- (2) <https://avto-magazin.metropolitan.si/aktualno/kam-nas-vodi-vodik-so-gorivne-celice-dolgorocna-resitev-za-cisto-mobilnost/>
- (3) <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>
- (4) <https://www.zelenaslovenija.si/esg/pokritost-slovenije-s-polnilnimi-postajami-za-elektricne-avtomobile-narasca-eol-171/>
- (5) <https://www.nap.si/sl/e-mobility>
- (6) <https://www.vrhunskaemobilnost.si/e-polnilnice/polnilna-postaja-community-pro/>
- (7) <https://www.petrol.si/poslovne-resitve/resitve/vodik#reference>
- (8) <https://www.weh.us/weh-fueling-nozzle-tk17-h-35-mpa-for-fast-filling-cars-singlehanded-operation-selfservice.html>
- (9) <https://www.weh.us/weh-fueling-nozzle-tk17-h-70-mpa-for-fast-filling-cars-singlehanded-operation-selfservice.html>
- (10) <https://cfm.pl/2022/11/07/czy-hybrydy-sa-tansze-w-utrzymaniu-najwazniejsze-korzysci-samochodow-hybrydowych/>
- (11) <https://www.monitor.si/clanek/litijevi-umazani-pomocniki/175027/>
- (12) <https://www.automobil.si/volkswagen-id-5-in-id-5-gtx-nova-elegantna-elektricna-suv-coupeja-v-sloveniji/>

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorjema, prof. Ivanu Jovanu in prof. Petru Jevšenaku, za pomoč in podporo pri izdelavi raziskovalne naloge.

Prav tako se zahvaljujem tudi prof. Sonji Lubej, ki je lektorirala raziskovalno nalogo.

Zahvaljujem se družini, ki me je ves čas podpirala pri izvedbi te raziskovalne naloge.

Hvala tudi vsem ostalim, ki ste mi pri izdelavi raziskovalne naloge kakorkoli pomagali.