



Šolski center Celje
Srednja šola za storitvene dejavnosti in logistiko

**ELEKTRIČNA VOZILA V PRIMERJAVI Z MOTORJI Z NOTRANJIM
IZGOREVANJEM**

RAZISKOVALNA NALOGA

Mentor:
mag. Peter Kerš

Avtorice:
Lea Saje
Taja Mitić
Pina Levar

Mestna občina Celje, Mladi za Celje
Celje, marec 2026

Kazalo

1	Uvod.....	5
1.1	Problem, predmet in raziskovalno vprašanje	5
1.2	Hipoteza	6
1.3	Struktura naloge	6
1.4	Metodologija raziskave	7
2	Električna vozila	8
2.1	Princip delovanja električnega vozila	8
2.1.1	Elektromotor	8
2.1.2	Baterija.....	8
2.1.3	Inverter.....	9
2.2	Baterije.....	9
2.2.1	Vrste baterij	9
2.2.2	Življenjska doba.....	10
2.2.3	Reciklaža.....	10
2.3	Doseg in polnjenje	11
2.3.1	Realni doseg.....	11
2.3.2	Polnjenje	11
2.3.3	Polnilna infrastruktura	12
2.4	Prednosti	12
2.4.1	Tiho delovanje.....	12
2.4.2	Čisto okolje	12
2.4.3	Nižji stroški.....	13
2.5	Slabosti.....	13
2.5.1	Omejen doseg.....	13
2.5.2	Degradacija baterije pri pogostem hitrem polnjenju.....	13
2.5.3	Polnjenje v mestnih območjih.....	13
2.5.4	Surovine	14
3	Vozila na MNZ – dizel.....	15
3.1	Kako deluje dizelski motor	15
3.1.1	Poraba goriva	16
3.1.2	Vzdrževanje	17
3.1.3	Prednosti in slabosti	17

3.2	Vpliv motorizacije na okolje.....	18
3.3	Lastnosti ogljikovodikov	19
3.4	Postopki za zmanjševanje škodljivih emisij	19
3.4.1	Posegi na motorju	20
3.4.2	Posegi zunaj motorja.....	20
3.4.3	Zgorevanje	20
4	Stisnjen zemeljski plin CNG.....	21
4.1	Sestava CNG	21
4.2	Shranjevanje CNG	22
4.3	Razvoj uporabe CNG.....	22
4.4	Princip delovanja	23
4.4.1	Motor.....	23
4.4.2	Rezervoarji.....	24
4.5	Dostopnost infrastrukture.....	25
4.5.1	Polnilnice	25
4.5.2	Omejitve.....	26
4.6	Prednosti in slabosti	27
4.6.1	Nižje emisije	27
4.6.2	Omejena ponudba	28
5	Primerjalna analiza.....	29
5.1	Uvod.....	29
5.2	Določitev primerjalnih kriterijev	29
5.3	Teoretična primerjava	29
5.4	Primerjava z vidika okolja	30
5.5	Primerjava z vidika stroškov.....	33
5.5.1	Osnovni scenarij: 73.000 km/leto	33
5.6	Analiza občutljivosti	34
5.6.1	Scenarij 15.000 km/leto	34
5.6.2	Scenarij 30.000 km/leto	35
5.7	Interpretacija	37
5.8	Primerjava tehničnih karakteristik	38
6	Zaključek.....	42

Kazalo tabel

Tabela 1: Proizvodnja vozila.....	31
Tabela 2: Emisije pri vožnji	31
Tabela 3: Življenjski cikel.....	32
Tabela 4: Skupne emisije	32
Tabela 5: Recikliranje	32
Tabela 6: Stroškovna postavka.....	35
Tabela 7: Energetski stroški	36
Tabela 8: Vzdrževanje.....	36
Tabela 9: Motorske značilnosti	40
Tabela 10: Doseg in polnjenje.....	40
Tabela 11: Kapaciteta.....	41
Tabela 12: Zanesljivost	41

Kazalo slik

Slika 1: Delovanje motorja CNG.....	24
Slika 2: Energijska vrednost	25

1 Uvod

V zadnjih letih se uporaba električnih vozil hitro povečuje zaradi zavedanja o vplivu prometa na okolje, pa tudi zaradi vedno boljših zmogljivosti dosega avtomobila in dostopnejših cen električne energije. Kljub temu pa so električna vozila še vedno predmet razprav glede njihove ekonomičnosti dosega in časovne učinkovitosti v primerjavi z vozili z motorjem na notranje izgorevanje. Pomembno vlogo pri zmanjševanju emisij toplogrednih plinov, hrupa in porabe fosilnih goriv imajo tudi vozila na stisnjen zemeljski plin (CNG), ki predstavljajo prehodno obliko trajnostne mobilnosti. V delu se bomo osredotočili na primerjavo stroškov, tehničnih specifikacij in vpliva na okolje.

1.1 Problem, predmet in raziskovalno vprašanje

Problem raziskovalne naloge izhaja iz ugotovitve, da ni dovolj definirano, kateri avtomobil je ekonomsko in tehnično bolj učinkovit, električni ali avtomobil z motorjem na notranje izgorevanje. Zaradi naraščajoče okoljske ozaveščenosti ekonomskih in tehničnih dejavnikov, se čedalje več pozornosti namenja električnim vozilom. Električni avtomobil ima sicer ničelne lokalne emisije, vendar je njegov prevoz čist le tako, kot je čist proizvod elektrike, ki ga poganja. Težava, ki jo bomo raziskovale, je nejasnost glede dejanskih stroškov in tehničnih razlik med tremi vrstami pogonov, in sicer električnim, dizelskim in CNG.

Problem raziskovalne naloge izhaja iz ugotovitve, da ni dovolj definirano, kateri izmed pogonov je najbolj optimalen iz tehničnih, ekonomskih in okoljskih pogledov. Težava, ki jo bomo raziskovali je, da ni dovolj javno dostopnih podatkov glede dejanskih stroškov in tehničnih razlik med tremi vrstami pogonov.

Kateri pogonski sistem (EV, dizel ali CNG) je v Sloveniji najbolj optimalen z vidika okoljskih, ekonomskih in tehničnih kriterijev pri različnih stopnjah kilometrine.

1.2 Hipoteza

Na osnovi podatkov, ki jih bomo analitično obdelali, in kriterijev, ki jih bomo raziskovali, bomo izvedli primerjalno analizo vseh treh vrst pogonov z vidika ekonomske in tehnične učinkovitosti ter okoljskega vidika. Na osnovi analize bomo ugotovili, kateri tip pogona je najbolj učinkovit.

1.3 Struktura naloge

Raziskovalna naloga je razdeljena na teoretični in analitični del.

V prvem delu so predstavljene tri vrste pogonov:

- električna vozila (princip delovanja, baterije, doseg, polnjenje, prednosti in slabosti),
- vozila z motorjem na notranje izgorevanje - dizel (delovanje, emisije, tehnične značilnosti),
- vozila na stisnjen zemeljski plin - CNG (princip delovanja, shranjevanje, tehnične lastnosti).

V drugem delu je izvedena primerjalna analiza, kjer je vidna primerjava vozil z vidika:

- vpliva na okolje (emisije CO₂ in življenjski cikel),
- ekonomičnosti (stroški energije, vzdrževanja in nakupa),
- tehničnih karakteristik (moč, izkoristek, doseg, čas oskrbe z energijo).

V zaključnem delu so predstavljene ugotovitve raziskave in preverba postavljenih hipotez.

1.4 Metodologija raziskave

Raziskovalna naloga temelji na kombinaciji teoretične analize strokovne literature, analize sekundarnih statističnih podatkov ter kvantitativne primerjalne analize stroškov in emisij. Gre za sekundarno raziskavo, saj podatki niso bili pridobljeni z eksperimentalnim testiranjem vozil, temveč z analizo obstoječih virov (Evropska komisija, EEA, ICCT, IEA, SURS, Eko sklad, ADAC).

Omejitev raziskave:

- Analiza temelji na sekundarnih podatkih.
- Cene energentov so lahko spremenljive.
- Uporabljen je referenčni model vozila (ni popolna reprezentativnost).
- Analiza ne vključuje sprememb vrednosti vozila ob prodaji (depreciacija).

2 Električna vozila

Prihajajo novi tipi avtomobilov, ki namesto notranjega izgorevanja goriva uporabljajo baterijo in električni motor. Takšni avtomobili so mnogo tišji, ne proizvajajo nobenih izpustov, imajo pa krajši doseg, ker so baterije težke in drage.

2.1 Princip delovanja električnega vozila

Električno vozilo ali e-vozilo (kratica EV) je vozilo, ki ga poganja eden ali več električnih motorjev.

2.1.1 Elektromotor

Delovanje električnega motorja je popolnoma drugačno od motorja z notranjim izgorevanjem. Največja razlika je v tem, kako motor proizvaja moč in navor. Pri električnem motorju je maksimalen navor na voljo takoj, ko pritisneš na pedal. V praksi to pomeni, da električni avtomobil ob pospeševanju ne potrebuje nobenega ogrevanja, saj je vsa moč na voljo takoj, brez zamika.

2.1.2 Baterija

Baterije v električnih avtomobilih energijo vedno shranjujejo v obliki enosmernega toka, torej DC. Električni motorji, ki poganjajo avtomobil, pa delujejo na izmenični tok, AC. Med baterijo in motorjem zato stoji inverter, ki ima nalogo, da električno energijo pretvori iz DC v AC obliko.

2.1.3 Inverter

Inverter je eden ključnih delov električnega avtomobila, čeprav se o njem redko govori. Od njegove kakovosti je v veliki meri odvisna poraba vozila, saj vsaka pretvorba energije povzroča izgube v obliki toplote. Boljši in sodobnejši inverter ima manj izgub, kar pomeni, da je celoten pogonski sistem učinkovitejši. Zaradi tega lahko dva popolnoma enaka avtomobila z enako baterijo in enakim motorjem dosegata različno porabo energije, če ima eden boljši inverter kot drugi.

Pomembno je tudi to, da inverter ne deluje samo v eno smer. Pri zaviranju se električni motor spremeni v generator in začne proizvajati električno energijo. Inverter to energijo pretvori nazaj v enosmerni tok in jo pošlje v baterijo, kjer se shrani. Temu procesu pravimo regenerativno zaviranje.

2.2 Baterije

2.2.1 Vrste baterij

Trenutno se v električnih avtomobilih najpogosteje uporabljajo litij-ionske baterije (Li-ion). Gre za tehnologijo, ki že vrsto let predstavlja glavno izbiro proizvajalcev, saj ponuja dobro ravnovesje med težo, zmogljivostjo in ceno. Prav te baterije so omogočile, da so električni avtomobili postali uporabni za vsakodnevno vožnjo. Kljub temu pa tehnologija ni brez težav, predvsem zaradi okoljskih in etičnih vprašanj, povezanih s pridobivanjem surovin.

Za zelo dobro rešitev v električnih avtomobilih se vse pogosteje izkazujejo LFP baterije, s polnim imenom litij-železo-fosfatne baterije (LiFePO_4). Gre za posebno obliko litij-ionske tehnologije, ki ima več pomembnih prednosti. Ena glavnih je, da jih je mogoče polniti do 100 odstotkov brez večjega vpliva na življenjsko dobo. Poleg tega so varnejše in imajo bistveno daljšo življenjsko dobo, saj prenesejo tudi 3000 ali več polnih ciklov polnjenja. Njihova slabost je nekoliko nižja energijska gostota, kar pomeni večjo težo in velikost za enak doseg.

2.2.2 Življenjska doba

Življenjska doba baterije je v veliki meri odvisna od načina uporabe. Pri klasičnih litij-ionskih baterijah velja priporočilo, da se jih polni do približno 80 odstotkov in prazni do okoli 20 odstotkov. Ob upoštevanju tega, lahko baterija zdrži tudi do približno 7000 polnilnih ciklov. V praksi to pomeni, da lahko vozilo redno polnimo, pri tem pa omejimo največjo raven napolnjenosti, s čimer podaljšamo življenjsko dobo baterije.

Če baterijo redno polnimo do 100 odstotkov in jo praznimo skoraj do ničle, se njena življenjska doba bistveno zmanjša, in sicer na približno 700 ciklov. Kljub temu pa konec življenjske dobe baterije ne pomeni, da ta preneha delovati. Takrat ima običajno še okoli 50 odstotkov prvotne kapacitete, kar pomeni manjši doseg, vendar je baterija še vedno uporabna za vsakodnevno vožnjo.

Slabo upravljanje temperature, je bil eden glavnih razlogov za težave pri zgodnjih električnih avtomobilih. Ti niso imeli dovolj naprednih sistemov za hlajenje in nadzor, kar je povzročalo hitrejša izgube kapacitete in okvare baterij.

2.2.3 Reciklaža

Baterije iz električnih vozil je mogoče reciklirati in iz njih ponovno pridobiti dragocene materiale, kot so litij, kobalt in nikelj. Te surovine se lahko ponovno uporabijo pri izdelavi novih baterij, kar je pomembno, saj so drage, omejene in okoljsko obremenjujoče za pridobivanje. Z reciklažo se zmanjša potreba po novem rudarjenju, kar je boljše za okolje in dolgoročno tudi cenejše.

Veliko električnih avtomobilov je iz uporabe izločenih iz različnih razlogov, na primer zaradi prometnih nesreč ali starosti vozila, pri tem pa je baterija pogosto še vedno uporabna in ima 70 ali 80 odstotkov prvotne kapacitete. Takšne baterije se ne reciklirajo takoj, ampak dobijo drugo življenje.

Uporabljajo se kot stacionarne baterije, namenjene shranjevanju električne energije. Ti sistemi pomagajo pri uravnavanju porabe elektrike, saj shranjujejo energijo v času nizke porabe in jo oddajajo ob konicah. Na ta način razbremenimo elektroenergetsko omrežje in zmanjšamo stroške.

Ko baterije tudi za stacionarno uporabo niso več primerne, se jih pošlje v reciklažo. Gre za primer krožnega gospodarstva, kjer baterija najprej služi v vozilu, nato v energetskega sistema, na koncu pa se materiali ponovno uporabijo za izdelavo novih baterij. S tem se zmanjša vpliv na okolje in iz iste baterije se pridobi največja možna vrednost.

2.3 Doseg in polnjenje

Doseg električnega vozila pomeni razdaljo, ki jo lahko prevozi z enim polnjenjem baterije. Na doseg vplivajo različni dejavniki, kot so velikost baterije, teža vozila, vozni slog, vremenske razmere in uporaba dodatne opreme, na primer klimatska naprava ali ogrevanje.

Polnjenje električnih vozil poteka na dva glavna načina. Počasnejše polnjenje poteka preko izmeničnega toka (AC), hitrejšo polnjenje pa preko enosmernega toka (DC).

2.3.1 Realni doseg

Realni doseg je odvisen od različnih faktorjev, in sicer od velikosti baterije, zunanje temperature, načina vožnje, aerodinamičnosti vozila, teže vozila ... Z zimskimi gumami porabo povečamo za 5 do 10 odstotkov, zaradi večjega zračnega upora. Sicer to velja tudi pri vozilih z MNZ, ampak je pri električnih vozilih bolj opazno, saj spremljamo odstotek napolnjenosti in kako hitro pada. Tudi klimatska naprava vpliva na porabo. Z vklopljeno klimatsko napravo lahko poraba naraste približno za 5 odstotkov, z ogrevanjem pa naraste približno za 10 do 15 odstotkov. Zaradi tega se večina voznikov električnih vozil na avtocesti vozi od 100 do 110 km/h namesto 130 km/h. To je najhitrejša možnost vožnje na dolge razdalje, saj pri 130 km/h električni avtomobil porabi več energije, kar vpliva na pogostost polnjenja.

2.3.2 Polnjenje

Večina proizvajalcev EV objavlja podatke o hitrosti polnjenja v minutah od 20 odstotkov do 80 odstotkov. To je najbolj optimalno polnjenje za večino EV, saj se pri 80-odstotni napolnjenosti baterije, polnjenje upočasni. Pri višjih odstotkih baterija počasneje sprejema energijo, kar privede do počasnejšega polnjenja.

Domače polnjenje je omejeno na priključke, ki jih ima posamezni dom. Večina hiš v Evropi ima varovalke 3-krat 25 amperov. Nekaj energije se porabi tudi za dom. Uveljavi se standard polnjenja na 3 faze po 16 amperov. To pomeni, da lahko avtomobil v nekaj urah napolniš s primerno polnilnico.

2.3.3 Polnilna infrastruktura

Polnilna infrastruktura se je v zadnjih letih precej izpopolnila, še vedno pa zaostaja za potrebami – predvsem poleti in, v prometnih konicah. V poletnih mesecih je polnjenje v Dalmaciji praktično nemogoče. Predvsem ob sobotah. Polnilnice so polne, čakalne vrste so dolge in čaka se lahko več ur. Pomembno in potrebno je poti načrtovati in se izogibati polnjenju med vikendi, da ne pride do slabe volje in nepotrebnega stresa. Največja ovira pri gradnji električnih polnilnic pa je Elektro. Tako na Hrvaškem trenutno že več kot leto dni na priključitev 64 hitrih postaj čaka Tesla, naslednje leto pa jih pričakujejo še 72.

2.4 Prednosti

2.4.1 Tiho delovanje

Vožnja v električnih vozilih je tiha in udobna. Razlog za to je preprosta zgradba tovrstnih vozil, saj nimajo veliko gibljivih delov, nima ne menjalnika niti izpušnih sistemov, v motorju ne eksplodira mešanica zraka in goriva kot v vozilih na notranje izgorevanje. Delujejo na električni tok, ki vrti rotor popolnoma gladko.

2.4.2 Čisto okolje

Električni avtomobili izpušnih plinov ne proizvajajo. Imajo veliko baterijo, v kateri je shranjena električna energija, ki pošlje elektriko v motor, motor pa požene kolesa.

2.4.3 Nižji stroški

Poraba EV je med 15 in 20 kWh na 100 km. Pri povprečni ceni gospodinjskega toka 17 centov na kW je, strošek prevoza za 100 km cca 3€, medtem ko povprečni avtomobil še vedno porablja 6 l na 100 km. Če predvidevamo ceno goriva, 1.50 € je strošek 9 € za 100 km.

2.5 Slabosti

2.5.1 Omejen doseg

Doseg avtomobila je omejen z velikostjo in težo baterije. Proizvodna cena 100 kW/h baterije, ki bi zadostovala za povprečen avtomobil preko 600 km dosega, je 5000 €. Proizvajalci avtomobilov po lastni presoji vgrajujejo primerne baterije v avtomobile, da jih naredijo po nižji ceni.

2.5.2 Degradacija baterije pri pogostem hitrem polnjenju

Liti-ionska baterija se pri polnjenju pregreva, zato se sčasoma degradira. Če baterijo polnimo na hitrih DC-polnilcih, je degradacija to še večja, saj baterijo polni na previsokih temperaturah. Avtomobil med hitrim polnjenjem vključi hlajenje baterije tako, da je hitrost polnjenja odvisna od zmogljivosti hlajenja.

2.5.3 Polnjenje v mestnih območjih

Polnjenje električnih vozil v mestnih območjih je ena izmed ključnih izzivov trajnostne mobilnosti. Glavna težava je omejen prostor za parkiranje, zaradi česar je težko umestiti dovolj polnilnic, hkrati pa so obstoječe pogosto zasedene, kar povzroča čakalne vrste. Tehnično je problem tudi obremenitev lokalnega elektro omrežja, saj večje število hkrati zahteva več energije. Poleg tega pa različni polnilni standardi in različne vrste vtičnic otežujejo enotno

uporabo. Mnogi mestni stanovanca nimajo lastnih parkirnih mest, kar jim onemogoča redno polnjenje doma, medtem ko je polnjenje na javnih mestih pogosto dražje in manj dostopno.

2.5.4 Surovine

Baterije, ki so trenutno v uporabi, vsebujejo snovi, ki jih pridobivamo na etično sporen način. Pridobivanje surovin za baterije električnih vozil je sporno zaradi velikega vpliva rudnikov na okoljske težave, težkih delovnih pogojev in izkoriščanja delavcev, nizke stopnje recikliranja baterij ter geopolitične odvisnosti od nekaj držav

3 Vozila na MNZ – dizel

Motor z notranjim izgorevanjem je naprava, v katerem se notranja energija goriva pretvarja v mehansko delo. Zanje je značilno, da gorivo zgori v delovnem prostoru motorja.

Dizelski motor deluje ob izgorevanju fosilnega goriva (plinsko olje). Dizelski motor sesa zrak, ki ga stisne. V stisnjen zrak nato brizga gorivo. Povišana temperatura stisnjenega zraka povzroči samovžig goriva.

3.1 Kako deluje dizelski motor

Sodobno osebno vozilo sestavljajo štiri temeljne komponente: motor za pogon vozila; transmisija (prenos), ki skrbi za prenos moči z motorja na kolesa; električna oprema vozila in na koncu nosilna konstrukcija z lupinasto nadgradnjo, zavorami in mehanizmom za krmiljenje vozila. Princip delovanja avtomobila je enak ne glede na to, kje je vgrajen motor. Pri najbolj običajni in najcenejši izvedbi, kjer je motor vgrajen spredaj, pogon pa je na zadnjih kolesih, se moč motorja prenaša prek sklopke, menjalnika, kardanske gredi in diferenciala na kolesa.

S pomočjo sklopke lahko vklopimo in prekinemo zvezo med motorjem in kolesi vozila, pretikamo v različne prestave menjalnika, gladko speljujemo in ustavimo vozilo, ne da bi ugasnili motor. Kadar voznik pritisne na pedal sklopke in je vozilo v prestavi, se prekine zveza med motorjem in preostalim delom prenosnika moči. Če pedal spusti, se zveza obnovi.

Dizelski motor nima svečic za vžiganje zmesi goriva in zraka. Šoba za vbrizgavanje goriva vbrizga in razprši gorivo v valj v trenutku, ko bat stisne in segreje zrak za zgorevanje. Bat je takrat blizu zgornje mrtve lege. Zaradi visoke temperature se razpršeno gorivo vžge, produkti zgorevanja pa odrivajo bat proti spodnji mrtvi legi. Ročična gred poganja tudi tlačilko za gorivo. Kot bencinski štiritaktni motor ima tudi dizelski motor par ventilov. Eden krmili pretok zraka za zgorevanje, drugi pa izpušne pline. Moč motorja je odvisna od količine vbrizganega goriva, ki ga stlači tlačilka za gorivo. Tlačilko krmili voznik s pedalom v kabini. Ročična gred poganja preko klinastih jermenov še ventilator za hlajenje vode (zraka) in alternator.

Osebni avtomobili imajo danes večinoma 4-taktne motorje. Njihov krog delovanja vključuje 4 faze:

- Dovod z obračanjem ročične gredi iz 0 do 180°. Na tej stopnji zrak vstopi preko odprtega ventila.
- Stiskanje: v tem gibu ročična gred potuje od 180 do 360°. Bat povzroči, da se zrak v komori stisne in njegova temperatura naraste do 700 do 900°C.
- Izgorevanje: na tej stopnji ročična gred potuje 360 do 540°. Gorivo se vbrizga in se vname. Snovi, ki nastajajo pri tem, potisnejo bat navzdol.
- Izpuh: ko ročična gred potuje 540 do 720° glede na izhodiščni položaj, se bat premakne navzgor, zgoreti plini pa se odstranijo.

V dizelskem motorju ima turbina posebno vlogo, saj dizelski motor deluje z vžigom goriva zaradi visoke temperature in tlaka stisnjenega zraka. Večja količina zraka pomeni več razpoložljivega kisika, kar omogoča vbrizg večje količine goriva brez nepopolnega zgorevanja. Posledično se povečata moč in navor motorja, hkrati pa se izboljša izkoristek in zmanjša specifična poraba goriva. Uporaba turbine omogoča tudi konstrukcijo manjših motorjev z enako ali večjo močjo, kar prispeva k nižjim emisijam in boljši energijski učinkovitosti sodobnih dizelskih motorjev.

3.1.1 Poraba goriva

Notranja specifična poraba goriva [g/kWh] predstavlja maso goriva, porabljeno v enoti časa, in sicer po enoti pridobljene notranje moči. Ta parameter prikazuje gospodarnost realnega krožnega procesa.

Vrednost specifične porabe goriva se lahko določi s preizkusi na obstoječem motorju, na osnovi časovne porabe goriva in istočasno določene notranje moči.

Orientacijske vrednosti za notranjo specifično porabo:

- za dizelske motorje: (veliki motorji) od 140 g/kWh do 210 g/kWh, (mali motorji) od 240 do 340 g/kWh,
- za Ottove motorje: od 240 do 340 g/kWh.

3.1.2 Vzdrževanje

Pri vozilih z Ottovimi motorji (z zunanjim virom vžiga) in dizelskimi motorji (samovžig zaradi visokih temperatur) je treba v predpisanih časovnih intervalih opraviti preverjanja emisijske primernosti vozila. Od leta 2010 je zakonsko predpisano preverjanje količin škodljivih emisij izpušnih plinov ob vsakem tehničnem pregledu. Preverjanje škodljivih emisij predstavlja samostojni del tehničnega pregleda. Opravijo in potrdijo ga lahko usposobljene in pooblašene avtomehanične delavnice.

3.1.3 Prednosti in slabosti

Prednosti:

V primerjavi z bencinskim motorjem ima dizelski:

- večji izkoristek,
- daljšo življenjsko dobo,
- manjši strošek vzdrževanja,
- manjšo porabo goriva pri delni obremenitvi,
- nižjo temperaturo izpušnih plinov,
- manj ogljikovega dioksida v izpušnih plinih.

Slabosti:

- višji nabavni stroški,
- večja teža,
- bolj hrupno obratovanje.

Dizelski motor je zaradi višjega kompresijskega razmerja bolj učinkovit od Ottove-ga motorja. Iz istega razloga pa mora biti konstrukcija bolj robustna, kar nekoliko zmanjša prednost dizelskega motorja.

3.2 Vpliv motorizacije na okolje

Motorji so zelo zmogljivi in učinkoviti, imajo pa tudi veliko slabosti. Za svoje delovanje potrebujejo gorivo, ki ga pridobivamo iz surove nafte. Gorivo in kisik v notranjosti motorja popolnoma zgorita. Produkt zgorevanja pa sta ogljikov dioksid in voda. Gorivo, ki poganja motorje z notranjim izgorevanjem, vsebuje še mnogo drugih primesi. Te se pri izgorevanju vežejo v spojine, ki so okolju in človeku nevarne. Porast emisije CO₂ in drugih plinov ter trdih delcev ustvarjajo učinek tople grede. Posledica segrevanja ozrača je taljenje ledu, zaradi česar se dviguje morska gladina, poplavlja se obmorska področja, zmanjšuje se količina pridelane hrane, širijo se bolezni in izumirajo živalske vrste.

Pri vsakem zgorevanju nastajajo škodljivi stranski produkti: ogljikov monoksid, nezgoreli ogljikovodiki in v izpušnih plinih motorjev še dušikovi oksidi, svinčeve soli, železov oksid in saje. Že nekaj časa imamo predpise, ki določajo najvišje dopustne koncentracije nekaterih škodljivih sestavin v izpušnih plinih bencinskih in dizelskih motorjev.

Veliko naraščanje tlaka v valju v času druge periode zgorevanja, ki poveča hrup, je zlasti prisotno v prostem teku in pri nizkih obremenitvah motorja, ko je temperatura v valju relativno nizka. Nastanek hrupa je v glavnem posledica podaljšane periode zakasnitve vžiga. Idealno je, če zgorevanje poteka postopoma, ko vbrizgane kapljice goriva dosežejo zgorevalni prostor. Če je zakasnitev vžiga dolga, se zaradi velike količine par vbrizganega goriva, pomešanih z zrakom, sprosti ob vžigu ogromna količina energije. Veliko naraščanje tlaka je doseženo pri zelo majhnem kotu zavrtitve ročične gredi, kar vodi do nekontroliranega procesa izgorevanja ob velikem hrupu. V primeru dolge zakasnitve vžiga, je ob izgorevanju prisoten hrup motorja, ki ga označujemo kot klenkanje pri dizelskem motorja.

3.3 Lastnosti ogljikovodikov

Vsa goriva, ki jih uporabljamo v današnjem času, so zmesi različnih ogljikovodikov, spojin ogljika in vodika ali čistega vodika. Pri zgorevanju ogljikovodikov se atomi vodika in ogljika iz molekule v gorivu spojijo s kisikom, pri tem pa nastaneta voda (H_2O) in ogljikov dioksid (CO_2). Samo del energije, ki se sprosti pri tej kemični reakciji, je možno spremeniti v mehansko energijo. Današnji dizelski motorji lahko za pogon izkoristijo največ 46 odstotkov energije, bencinski motorji pa največ 35 odstotkov. Večji del sproščene energije iz goriva samo segreva okolje. Ogljikov dioksid, ki nastaja pri zgorevanju ogljikovodikov, učinkuje kot toplogredni plin in prispeva k segrevanju ozračja, zato pospešeno iščejo alternative obstoječemu motorju z notranjim izgorevanjem.

Snovi, ki imajo kratke verige ogljikovodikov, npr. propan (C_3H_8), so plinaste, snovi, ki imajo dolge verige, npr. cetan ($C_{16}H_{34}$), pa so kapljevine. Viskoznost narašča s številom ogljikovih atomov. Molekule ogljikovodikov imajo strukturo verige ali obroča.

Parafini in olefini (to so parafini z dvojno vezjo med dvema atomoma ogljika) so molekule s preprosto verigasto obliko. Z naraščajočo dolžino teh verig narašča tudi naklonjenost k samovžigu. Zaradi te lastnosti so primerni za izdelavo goriva za dizelske motorje.

3.4 Postopki za zmanjševanje škodljivih emisij

Da bi lahko dosegli mejne vrednosti, ki jih predpisujeta standarda EURO 4 in 5, je potrebno optimalno uskladiti posege na pogonskem motorju in zunaj njega.

3.4.1 Posegi na motorju

Posegi na motorju se nanašajo na:

- optimizacijo izgorevanja,
- uvedbo višjih tlakov vbrizgavanja goriva,
- uvedbo hranilnega katalitičnega pretvornika za NO,
- krmiljenje vstopnih cevi za zrak,
- krmiljenje žarilne svečke,
- optimizacijo začetka, trajanja in količine vbrizga,
- nego goriva,
- uvedbo več-ventilske tehnike,
- uvedbo krmiljenja tlačne polnitve motorja.

3.4.2 Posegi zunaj motorja

Med posege zunaj motorja spadajo:

- uvedba oksidacijskega katalitičnega pretvornika,
- uvedba povratnega toka izpušnih plinov,
- uvedba hranilnega katalitičnega pretvornika za NO,
- uvedba filtra za prašne delce,
- uvedba selektivnega - SCR katalitičnega pretvornika,
- uvedba kombiniranega filtra DPNR za zmanjšanje emisij prašnih delcev in NO (Particulate and NO, Reduction System).

3.4.3 Zgorevanje

Med produkti izgorevanja dizelskega goriva v motorju s samovžigom prevladujejo dušik, kisik, vodna para in ogljikov dioksid. Čeprav so vse te komponente nestrupene, pa je v zadnjem času vedno večja želja po zmanjšanju emisije CO₂, in sicer zaradi učinka tople grede.

4 Stisnjen zemeljski plin CNG

Stisnjen zemeljski plin, za katerega uporabljamo kratico CNG (ang. Compressed natural gas – CNG), pri nas je znan tudi kot metan, je alternativno pogonsko gorivo. Gre za tehnološko obdelan zemeljski plin, ki je stisnjan na tlak približno 200 barov oziroma 20-25 megapaskalov, s čimer zavzame manj kot 1 odstotek prostornine, ki bi jo imel pri normalnem atmosferskem tlaku. CNG je gorivni plin, ki je večinoma sestavljen iz metana (CH_4) in je shranjen ter distribuiran v trdnih jeklenkah, običajno valjaste ali kroglaste oblike. Zaradi majhne prostornine je primeren kot pogonsko gorivo za osebna vozila, poslovna in tovorna vozila ter za javni potniški promet. Ima večjo kalorično vrednost kot bencin in dizel ter čistejše izgorevanje, pri katerem nastaja manj nezaželenih plinov, motorji pa so tišji. Čeprav je CNG fosilno gorivo in pri njegovem izgorevanju nastajajo toplogredni plini, velja za okolju varnejšo alternativo, saj je zemeljski plin lažji od zraka in se ob sprostitvi hitro razprši. Uporablja se v klasičnih bencinskih motorjih z notranjim izgorevanjem, ki so predelani v dvogorivni ali bifuel pogon, dizel ali utekočinjen naftni plin (LPG), s katerim se pogosto zmotno zamenjuje, čeprav gre za popolnoma različno vrsto goriva.

4.1 Sestava CNG

Sestava CNG je ključnega pomena, ker neposredno vpliva na kakovost izgorevanja, emisije in zanesljivost motorja. CNG je v glavnem sestavljen iz metana (CH_4), ki običajno sestavlja 85 odstotkov do 98 odstotkov mešanice. Preostanek so manjše količine ogljikovodikov (etan, propan, butan) ter negorljive primesi (dušik, ogljikov dioksid, sledovi H_2S ali vodne pare). Višja vsebnost metana praviloma pomeni stabilno delovanje motorja. Metan dosega zelo visoko oktansko število (120), kar zmanjšuje možnosti klenkanja in omogoča ugodnejše nastavitve vžiga. Težji ogljikovodiki lahko povečajo energijsko vrednost, vendar lahko prispevajo k manj enakomernemu izgorevanju in višjim emisijam, medtem ko N_2 in CO_2 mešanico »razredčita«, znižata hitrost plamena ter poslabšata toplotni izkoristek. Zaradi teh razlik se pri uporabi CNG kot motornega goriva upoštevajo specifikacije kakovosti (npr. standard ISO 15403), ki so namanjene temu, da je gorivo bolj »enotno« za varno delovanje motorjev in komponent ter primerljivo po energijskih lastnostih.

4.2 Shranjevanje CNG

Shranjevanje CNG temelji na visokotlačnih posodah (jeklenkah/rezervoarjih) za vgradnjo v vozilo, pri čemer se v praksi uporabljajo različne konstrukcije zaradi razmerja med maso, trdnostjo in varnostjo. Zemeljski plin se stisne do približno 200 barov pri referenčni temperaturi 15c. Takšno stiskanje močno zmanjša prostornino plina in omogoča njegovo uporabo v vozilih. Jeklenke, v katere se CNG shranjuje, so vgrajene v vozilo in so izdelane iz kovine ali iz kombinacije kovine in kompozitnih materialov. Glede na konstrukcijo jih delimo na tipe od 1 do 4, pri čemer so sodobnejše kompozitne jeklenke bistveno lažje, a hkrati zelo trdne. Varnost shranjevanja je zagotovljena s strogimi standardi in dodatnimi varnostnimi elementi, kot so razbremenilni ventili, ki v primeru pregrevanja ali požara nadzorovano sprostijo plin ter preprečijo porušitev jeklenke. Zaradi teh tehničnih rešitev in regulativnih zahtev je shranjevanje CNG v vozilih varno in zanesljivo.

4.3 Razvoj uporabe CNG

Uporaba zemeljskega plina kot goriva se je začela že v prvi polovici 20. stoletja. Vzrok je bil pomanjkanje tekočih goriv. V sodobnem času se je CNG uveljavil kot alternativno gorivo predvsem zaradi:

- nižjih emisij CO₂,
- manjših izpustov trdnih delcev in Nox,
- tišjega motorja,
- večje energetske učinkovitosti.

CNG je postal zanimiv zlasti za mestni promet, javni prevoz in vozne parke, kjer je infrastruktura dostopna.

4.4 Princip delovanja

Pri vozilih na CNG se kot gorivo uporablja stisnjen zemeljski plin. Njegova glavna sestavina je metan (CH_4). Princip delovanja temelji na uporabi zemeljskega plina kot goriva, ki je shranjen v plinasti obliki pri zelo visokem tlaku, in se pred vstopom v motor ustrezno obdela, da postane primeren za izgorevanje. Celoten sistem mora omogočati varno shranjevanje plina, njegovo nadzorovano sproščanje ter natančno uravnavanje tlaka in količine goriva, ki vstopa v motor.

CNG motorji večinoma delujejo po Ottovem principu, kar pomeni, da je zmes zraka in plina vžgana s pomočjo svečke. Razlika v primerjavi z bencinskim motorjem je predvsem v gorivu, ki je plinasto in ima zelo visoko oktanski število, zato je odpornejši proti klenkanju in omogoča mirnejše in enakomernejše izgorevanje.

CNG vozila so lahko:

- Mono-fuel (delujejo samo na CNG),
- Bi-fuel (lahko delujejo na CNG ali bencin),
- Redkeje dual-fuel (kombinacija dizla in CNG pri tovornih vozilih).

4.4.1 Motor

V vozilu, ki deluje na CNG, je gorivo shranjeno kot visokotlačni plin. Motor ga za delovanje potrebuje pod bistveno nižjim tlakom. Količine morajo biti zelo natančno odmerjene. Zato je celotni sistem zgrajen kot zaporedje stopenj: shranjevanje, zapiranje/varovanje, znižanje tlaka, doziranje, izgorevanje.



Slika 1: Delovanje motorja CNG

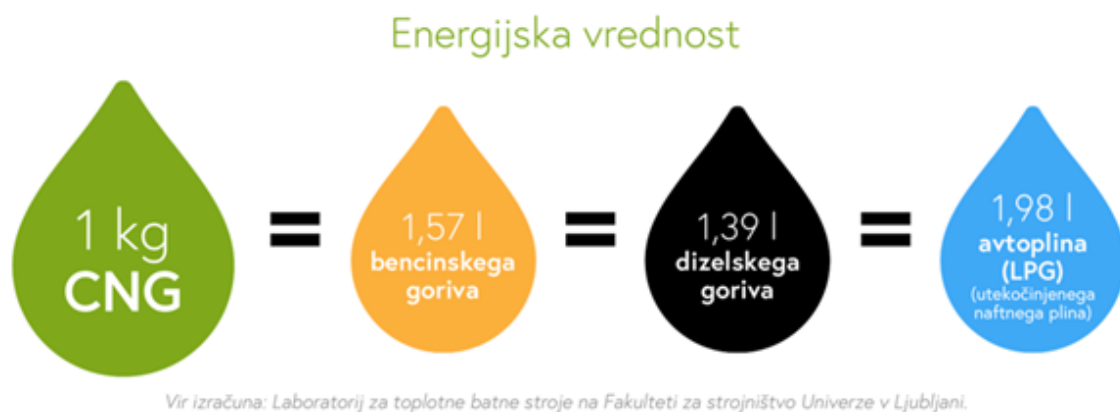
CNG iz jeklenke teče po visokotlačnem vodu do motornega prostora, kjer se tlak najprej zniža z regulatorjem tlaka. Regulator je bistven, saj iz tlaka v jeklenki naredi stabilen delovni tlak za nadaljnje doziranje. Pri sodobnih izvedbah sistema plin po znižanju tlaka prehaja skozi elemente za prilagoditev pretoka in nato do sistema za pripravo zmesi, pri starejših vozilih tega sistema pa do mešalnika plina in zraka.

4.4.2 Rezervoarji

Vsako vozilo na CNG ima dva rezervoarja, in sicer enega za CNG in drugega za bencin. Domet vozil je odvisen od velikosti obeh rezervoarjev, načeloma pa je enak ali večji kot domet avtomobilov z bencinskim motorjem.

Energijska vrednost enega kilograma CNG je enaka:

- 1,57 litra bencinskega goriva,
- 1,39 litra dizelskega goriva,
- 1,98 litra avto plina.



Slika 2: Energijska vrednost

4.5 Dostopnost infrastrukture

Slovenska infrastruktura za stisnjen zemeljski plin (CNG) je majhna, vendar strateško umeščena in funkcionalna. Trenutno v državi deluje sedem javnih CNG polnilnic, od katerih jih je kar pet v Ljubljani, ena v Celju in ena v Mariboru. To jasno kaže, da se uporaba CNG-ja najbolj koncentrira v urbanih središčih, kjer je največji promet in največ uporabnikov, ki se vsakodnevno vozijo na delo. Polnilnice so razporejene tako, da pokrivajo glavne prometne vpadnice in industrijske cone, kar omogoča enostaven dostop voznikom osebnih vozil, dostavnikov ter komunalnim in mestnim avtobusom.

4.5.1 Polnilnice

Ljubljana ima najrazvitejšo mrežo, saj ponuja več lokacij z različnimi tipi dostopa, in sicer od povsem avtomatiziranih 24-urnih postaj do kombiniranih CNG/LNG objektov. To je tudi posledica vključevanja CNG vozil v mestni javni promet. Celjska in mariborska postaja sta zasnovani tako, da omogočata hiter dostop z glavnih cest in omogočata učinkovito delovanje CNG vozil v vzhodnejšem delu države. Kljub omejenemu številu polnilnic sistem ostaja uporaben, saj je CNG gorivo energijsko učinkovito, vozila pa imajo velik doseg, zato uporabniki pot med polnilnimi postajami brez težav premostijo. Načrtovani državni razvojni

dokumenti predvidevajo širitev mreže tudi v druga regionalna središča, kar potrjuje, da bo infrastruktura v prihodnje še dostopnejša.

4.5.2 Omejitve

Slovenske CNG-polnilnice imajo kljub uporabnosti in strateški razporeditvi po večjih mestih tudi nekaj pomembnih omejitev, ki vplivajo na njihovo širšo dostopnost in uporabo. Največja omejitev je zelo majhno število obratovalnih postaj, saj jih je v Sloveniji samo sedem, kar potrjujejo uradni podatki, ki navajajo pet postaj v Ljubljani ter po eno v Celju in Mariboru. Prostorsko so zelo skoncentrirane, kar pomeni, da imajo uporabniki iz drugih regij, kot so Primorska, Gorenjska ali Dolenjska, bistveno slabšo dostopnost, čeprav imajo vozila na CNG sicer velik doseg in zato lahko med postajami potujejo brez večjih težav. Dodatna omejitev je različen čas delovanja posameznih postaj, saj vse ne delujejo neprekinjeno. Nekatere ljubljanske lokacije omogočajo 24-urni dostop, druge, na primer na Letališki cesti, obratujejo le med 6. in 22. uro, kar lahko uporabnikom omeji fleksibilnost polnjenja. Poleg tega je večina postaj samopostrežnih in deluje brez osebja. To zahteva uporabo plačilnih kartic in samostojno rokovanje z opremo, kar za nekatere uporabnike predstavlja dodatno oviro. V Sloveniji je opazen tudi počasen razvoj infrastrukture. Čeprav so v državni strategiji predvidene nove lokacije v številnih mestnih občinah, trenutni obseg infrastrukture zaostaja za načrtovanimi cilji in za povprečjem tehnološko naprednejših evropskih držav. Širitev je počasna tudi zaradi splošnega zmanjševanja vlaganj v plinovodno infrastrukturo v Sloveniji, ki je del širšega energetskega prehoda. Nazadnje velja omeniti, da imajo nekatere lokacije specifične tehnične omejitve – na primer različne vrste dostopa, omejitve za težka vozila ali obvezno uporabo določenih vrst plačilnih kartic, kar lahko vpliva na uporabniško izkušnjo. To je razvidno iz pregledov posameznih polnilnic, ki navajajo, ali omogočajo samo kreditne kartice, ali gre za avtomatizirano postajo, ali pa za mešano CNG/LNG infrastrukturo, ki je namenjena tudi težjim vozilom.

4.6 Prednosti in slabosti

Prednosti

Slovenske CNG polnilnice so umeščene v ključna urbana središča, kar pomeni, da so dobro dostopne tistim, ki se vozijo v večja mesta, predvsem v Ljubljano, kjer je teh postaj največ. Čeprav je polnilnic malo, so postavljene ob pomembnih mestnih vpadnicah, zato omogočajo redno in učinkovito uporabo CNG vozil. Poleg tega CNG vozila zaradi večjega dosega niso močno odvisna od zelo goste mreže postaj, kar omogoča normalno rabo tudi ob manjšem številu polnilnic.

Slabosti

Največja slabost je omejeno število polnilnic. V Sloveniji jih je le sedem, kar povzroča slabo pokritost celotne države in pomeni, da so določene regije brez dostopa. Nekatere postaje imajo časovne omejitve delovanja (npr. Letališka cesta deluje le med 6.00 in 22.00), večina pa je samopostrežnih in zahteva plačilo s kartico, kar je za del uporabnikov lahko dodatna ovira. Zaradi počasnega razvoja plinske infrastrukture se mreža ne širi dovolj hitro, kar dodatno omejuje dolgoročni potencial uporabe CNG v prometu.

4.6.1 Nižje emisije

Ena ključnih prednosti CNG kot pogonskega goriva je njegova občutno nižja emisijska obremenitev okolja v primerjavi s klasičnimi fosilnimi gorivi, kot sta bencin in dizel. CNG sestavlja predvsem metan, ki pri izgorevanju proizvaja manj ogljikovega dioksida ter bistveno nižje količine dušikovih oksidov in delcev. To pomeni čistejše izpušne pline, manjši vpliv na kakovost zraka in s tem manjšo obremenitev urbanih okolij. Slovenski energetske ponudniki poudarjajo, da je CNG »učinkovita alternativa bencinu, dizlu in avtoplinu« ter da njegova uporaba »znatno prispeva k čistejšemu okolju«. Prav zato se CNG v Sloveniji pogosto uporablja tudi v mestnih avtobusnih sistemih in komunalnih službah, kjer je zmanjšanje emisij še posebej pomembno.

4.6.2 Omejena ponudba

CNG ima v Sloveniji tudi izrazito slabost, ki omejuje njegov širši potencial. To je zelo omejena ponudba oziroma dostopnost polnilnic. Po podatkih slovenskega portala CNG.si je v državi trenutno na voljo samo sedem javnih CNG polnilnic, od tega jih je pet koncentriranih v Ljubljani, ena v Celju in ena v Mariboru. Ta geografska razpršenost pomeni, da velika območja Slovenije, zlasti regije izven Posočja, Gorenjske, Dolenjske, Primorske in Koroške, nimajo neposrednega dostopa do polnilne točke. Zaradi majhnega števila postaj so uporabniki v veliki meri vezani na vožnjo v tri glavna urbana središča. Podatki iz mednarodne baze CNG Europe potrjujejo enako stanje in navajajo celo konkretne lokacije teh postaj, kar še enkrat potrjuje omejenost slovenske mreže.

5 Primerjalna analiza

5.1 Uvod

V drugem delu raziskovalne naloge smo izvedli primerjalno analizo avtomobila z motorjem na notranje zgorevanje, in sicer na dizel, CNG ter avto na elektriko.

Namen analize je ugotoviti, kateri je najbolj primeren z vidika okolja, ekonomičnosti in tehničnih lastnosti.

5.2 Določitev primerjalnih kriterijev

Na podlagi kriterijev raziskovalne naloge bo predstavljena tudi primerjalna analiza. Analizirali bomo na podlagi ekonomskih, tehničnih in okoljskih kriterijev.

5.3 Teoretična primerjava

Ob široki ponudbi električnih, dizelskih vozil in vozil, ki delujejo na CNG, se je težko odločiti, katerega izbrati. med ljudmi je še vedno neznano vV tem poglavju je predstavljena teoretična primerjava raziskovanih vozil. V tem poglavju je predstavljena teoretična primerjava raziskovanih vozil. Namen poglavja je objektivno prikazati razlike med tehnologijami, brez vključevanja osebnih mnenj avtorjev ali uporabnikov.

5.4 Primerjava z vidika okolja

Električna vozila med vožnjo ne proizvajajo neposrednih emisij CO₂, dušikovih oksidov (Nox) in trdnih delcev (PM10), zato so lokalne emisije 0 g/km. Emisije nastajajo predvsem v fazi proizvodnje baterij, kjer se v povprečju ustvari 10–15 ton CO₂ na vozilo.

Pri povprečnem Evropskem energetičnem miksu emisije električnih vozil znašajo približno 50–80 g CO₂ /km, v Sloveniji pa zaradi hidroelektrarn in jedrske energije le 30–50 g CO₂ /km. Po približno 40.000–60.000 prevoženih kilometrih električno vozilo doseže točko, ko ima manjše skupne življenjske emisije kot primerljivo vozilo z motorjem na notranje izgorevanje.¹

Vozila z notranjim izgorevanjem na dizel imajo nižje emisije v fazi proizvodnje (6–8 ton CO₂), vendar med uporabo stalno proizvajajo izpuste. Povprečne emisije CO₂ znašajo pri klasičnih vozilih med 120 in 180 g/km, poleg tega pa proizvajajo tudi Nox (0,06–0,4 g/km) in trdne delce PM10. Skupne življenjske emisije klasičnega vozila pri 150.000 km znašajo med 28 in 35 ton CO₂, kar je več kot pri električnem vozilu.²

Vozila na stisnjen zemeljski plin (CNG) predstavljajo okolju ugodnejšo alternativo klasičnim vozilom. Emisije CO₂ pri vožnji znašajo približno 120–130 g/km, kar je približno 20–25 odstotkov manj kot pri dizlu. Emisije Nox in trdnih delcev so zelo nizke, saj CNG izgoreva čisteje. Kljub temu CNG vozila še vedno proizvajajo neposredne emisije in imajo večji skupni okoljski vidik kot električna vozila, zlasti v državah z nizkoogljičnim pridobivanjem električne energije, kot je Slovenija.³

¹ • Evropska komisija – Life Cycle Emissions

<https://climate.ec.europa.eu>

• ICCT (International Council on Clean Transportation)

<https://theicct.org>

² European Environment Agency (EEA)

<https://www.eea.europa.eu>

³ NGVA Europe

<https://www.ngva.eu>

Tabela 1: Proizvodnja vozila

KATEGORIJA	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	KOMENTAR
CO₂ emisije (proizvodnja)	10–15-ton CO ₂	6–8-ton CO ₂	7–9-ton CO ₂	CNG brez velike baterije
Vodni odtis	Visok	Srednji	Srednji	CNG manj kot EV
Rudarstvo	Litij, kobalt, nikelj	Manjše	Minimalno	Ni baterije

Tabela 2: Emisije pri vožnji

KATEGORIJA	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	KOMENTAR
CO₂ emisije (vožnja)	0 g/km	150–180 g/km	120–150 g/km	20–30 odstotkov manj kot dizel
NO_x emisije	0	Visoke	Zelo nizko	CNG je zelo čist
PM 10 delci	0	Prisotni	Minimalni	CNG skoraj brez delcev
Hrup	60–65 dB	70–80 dB	65–75 dB	CNG tišji kot dizel

Tabela 3: Življenjski cikel

KATEGORIJA	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	KOMENTAR
CO ₂ emisije (EU mix)	50–80 g/km	150–180 g/km	110–140 g/km	CNG nižje kot dizel
CO ₂ emisije (Slovenija mix)	30–50 g/km	150–180 g/km	90–120 g/km	CNG srednja vrednost

Tabela 4: Skupne emisije

KATEGORIJA	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	KOMENTAR
Celotne emisije (150 000 km)	18–25 ton	28–35 ton	22–28 ton	CNG bistveno nižje kot dizel
Celotne emisije (200 000 km)	28–35 ton	45–55 ton	38–48 ton	CNG srednja vrednost

Tabela 5: Recikliranje

KATEGORIJA	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	KOMENTAR
Recikliranje	90–95 %	80 %	80–90 %	CNG brez baterije

5.5 Primerjava z vidika stroškov

Izračuni temeljijo na enakih predpostavkah porabe in cen energentov kot osnovni scenarij:

- letna kilometrina: 73.000 km (200 km/dan)

- poraba:

- električna vozila: 20 kWh/100 km

- dizel: 7 L/100 km

- CNG: 4,7 kg/100 km

- cene energentov (Slovenija, 2025):

- elektrika: ~0,15 €/kWh

- dizel: 1,441 €/L

- CNG: 1,06 €/kg

Trenutni izračuni temeljijo na letni kilometrini 73.000 km, kar predstavlja zelo intenzivno oziroma profesionalno uporabo vozila (približno 200 km dnevno). Ker takšna kilometrina ni značilna za povprečnega uporabnika osebnega vozila v Sloveniji, smo izvedli tudi analizo občutljivosti z dodatnima scenarijema:

- 15.000 km/leto – povprečen uporabnik osebnega vozila

- 30.000 km/leto – intenzivnejša oziroma službena uporaba

5.5.1 Osnovni scenarij: 73.000 km/leto

Električna vozila imajo višjo začetno nakupno ceno, ki se giblje med 35.000 in 50.000 €, medtem ko klasična vozila stanejo približno 25.000–35.000 €. Električna vozila so v Sloveniji upravičena do nepovratne subvencije Eko sklada (do 4.500 €), kar zmanjša začetno investicijo.

Letni strošek električne energije znaša približno 2.190 €, skupni strošek energije v petih letih pa približno 10.950 €. Stroški vzdrževanja so nižji, saj ni menjave motornega olja, filtrov goriva, sklopke in izpušnega sistema.

Dizelska vozila imajo nižjo nakupno ceno, vendar bistveno višje obratovalne stroške. Letni strošek goriva pri 73.000 km znaša približno 7.360 €, petletni strošek pa približno 36.800 €. Povprečni stroški vzdrževanja znašajo približno 800 € letno, kar v petih letih pomeni dodatnih 4.000 €.

Vozila na CNG predstavljajo stroškovno vmesno rešitev. Letni strošek goriva znaša približno 3.635 €, petletni strošek pa približno 18.175 €. Stroški vzdrževanja so nekoliko nižji kot pri dizelskih vozilih zaradi čistejšega izgorevanja.

1

- **Eko sklad Republike Slovenije** – subvencije za električna vozila, okvirne nakupne cene, spodbude
<https://www.ekosklad.si>
- **Statistični urad Republike Slovenije (SURS)** – cene energentov (elektrika, goriva), povprečne cene v Sloveniji
<https://www.stat.si>
- **ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club)** – primerjalni stroški vozil, poraba, vzdrževanje (EV, dizel, CNG)
<https://www.adac.de>

5.6 Analiza občutljivosti

5.6.1 Scenarij 15.000 km/leto

EV: ≈ 450 € letno (≈ 2.250 € v 5-ih letih)

Dizel: ≈ 1.514 € letno (≈ 7.570 € v 5-ih letih)

CNG: ≈ 747 € letno (≈ 3.735 € v 5-ih letih)

Pri manjših kilometrih je razlika v absolutnih zneskih manj izrazita, zato ima večji vpliv začetna nakupna cena vozila.

5.6.2 Scenarij 30.000 km/leto

EV: ≈ 900 € letno (≈ 4.500 € v 5-ih letih)

Dizel: ≈ 3.027 € letno (≈ 15.135 € v 5-ih letih)

CNG: ≈ 1.494 € letno (≈ 7.470 € v 5-ih letih)

Pri tej kilometrini postane razlika med električnim in dizelskim vozilom že bistveno izrazitejša.

Tabela 6: Stroškovna postavka

STROŠKOVNA POSTAVKA	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	KOMENTAR
Osnovno vozilo	35 000 €- 50 000 €	25 000 €- 35 000 €	28 000 €- 38 000 €	Primer: e- kombi vs dizel vs CNG kombi
Subvencije (SI)	4 500 €	0 €	0 €	Subvencije večinoma pri EV
Registracija	0–50 €	150–300 €	150–300 €	EV ima davčne ugodnosti
Zavarovanje	5–10 % višje	standard	standard	Višja vrednost pri EV

Tabela 7: Energetski stroški

STROŠKOVNA POSTAVKA	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	KOMENTAR
Poraba	20 kWh/100km	7 L/100km	4,7 kg/100km	WV Caddy Maxi TGI referenca
Cena energenta	0,15 €/kWh	1,55 €/L	1,0574 €/kg	Energetika Ljubljana
Strošek energenta/ 100 km	0–50 €	150–300 €	150–300 €	EV ima davčne ugodnosti
Letni strošek (73 000 €)	2 190 €	7 915 €	3 628 €	Primer je na dostavnem vozilu

Tabela 8: Vzdrževanje

STROŠKOVNA POSTAVKA	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	KOMENTAR
Redno vzdrževanje	300 € na leto	800 € na leto	600 € na leto	EV ima manj komponent
Pnevmatike	600 € na 3 leta	500 € na 3 leta	1 500 € na 3 leta	podobno
Baterija/ rezervoar	3 000/8 000 €	N/A	1 000–2 000 €	CNG rezervoar dolgoročno
Letni strošek (73 000 €)	2 190 €	7 915 €	3 628 €	Primer je na dostavnem vozilu

5.7 Interpretacija

Analiza jasno pokaže, da se ekonomska prednost električnega vozila povečuje z višjo letno kilometrino. Pri profesionalni uporabi (73.000 km/leto) so razlike v stroških energije zelo velike. Pri 30.000 km/leto je električno vozilo še vedno občutno cenejše glede obratovalnih stroškov. Pri 15.000 km/leto pa razlika sicer obstaja, vendar je manj izrazita in ima začetna investicija večji vpliv na končno odločitev.

Na podlagi tega lahko zaključimo, da je električno vozilo ekonomsko najbolj smiselno pri večjih letnih kilometrih, medtem ko je pri manjših kilometrih odločitev bolj odvisna od investicijskih stroškov in individualnih potreb uporabnika.

Čeprav ekonomski vidik predstavlja pomemben dejavnik pri izbiri vozila, stroški niso edini kriterij odločanja. Na primernost vozila pomembno vplivajo tudi tehnične karakteristike, kot so izkoristek pogona, moč, navor, doseg, čas oskrbe z energijo ter uporabnost v različnih razmerah.

V nadaljevanju raziskave sledi primerjava teh tehničnih značilnosti električnih, dizelskih in CNG vozil, ki omogoča celovito oceno njihove učinkovitosti in uporabnosti v praksi.

5.8 Primerjava tehničnih karakteristik⁴

Tehnične karakteristike vozil pomembno vplivajo na njihovo zmogljivost, učinkovitost in primernost za različne načine uporabe.

Električna vozila dosegajo zelo visoko pogonsko učinkovitost, saj električni motor pretvori približno 85–90 odstotkov energije v mehansko delo. Moč električnih vozil se giblje med 100 in 150 kW, navor pa med 300 in 400 Nm, ki je na voljo takoj ob speljevanju. Pospešek od 0 do 100 km/h dosežemo v približno 6–9 sekundah. Najvišja hitrost je običajno omejena na 130–150 km/h, kar prispeva k optimizaciji porabe energije. Električna vozila imajo bistveno manj gibljivih delov (okoli 20–30), kar vpliva na večjo zanesljivost in daljše servisne intervale.

Vozila z motorjem na notranje zgorevanje (dizel) dosegajo moč med 75 in 120 kW ter navorom med 200 in 300 Nm, ki je dosegljiv pri višjih vrtiljajih motorja. Pospešek do 100 km/h znaša približno 10–14 sekund, kar je precej več kot električna vozila. Izkoristek dizelskega motorja znaša le 20–30 odstotkov, saj se večina energije izgubi v obliki toplote. Klasična vozila imajo veliko več gibljivih delov (okoli 2.000), kar pomeni večje zahteve pri rednem vzdrževanju.

-
- ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club)
– tehnični podatki vozil, izkoristki pogonov, pospeški, doseg, vzdrževanje
<https://www.adac.de>
(primerjave električnih, dizelskih in CNG vozil, realni testi)
 - International Energy Agency (IEA)
– energijski izkoristki motorjev, učinkovitost električnih pogonov, doseg EV
<https://www.iea.org>
(85–90 % izkoristek EV, 20–30 % dizel, 30–35 % CNG)
 - European Alternative Fuels Observatory (EAFO)
– doseg, čas polnjenja, poraba, tehnične značilnosti alternativnih pogonov
<https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu>
 - Volkswagen – tehnični podatki (Caddy Maxi Cargo 1.5 TGI)
– moč, navor, pospešek, nosilnost vozil na CNG
<https://www.volkswagen-commercial-vehicles.com>

Vozila na CNG predstavljajo tehnično vmesno rešitev med električnimi in dizelskimi vozili. Referenčni model VW Caddy Maxi Cargo 1.5 TGI dosega moč 96 kW (130 KM) in navor 200 Nm, kar je primerljivo z vozili podobnega razreda. Pospešek od 0 do 100 km/h znaša približno 12 sekund. Motor na CNG deluje tišje in z manj vibracijami kot dizelski motor, saj zemeljski plin izgoreva čisteje. Izkoristek energije pri motorjih na CNG znaša približno 35–40 odstotkov.

Z vidika dosega imajo električna vozila realni doseg med 200 in 400 km, pri mestni vožnji lahko zaradi regenerativnega zaviranja dosežejo tudi do 500 km, medtem ko se pri avtocestni vožnji doseg zmanjša na približno 150–300 km. Dizelska vozila dosegajo doseg med 600 in 900 km, vozila na CNG pa približno 400–500 km.

Čas oskrbe z energijo predstavlja pomembno tehnično razliko. Električna vozila potrebujejo za polnjenje 20–60 minut na hitrih polnilnicah, pri počasnem polnjenju pa 6–8 ur. Vozilom na dizel lahko rezervoar napolnimo v 3–5 minutah, enako velja tudi za vozila na CNG, kar omogoča hitro nadaljevanje poti.

Kar zadeva nosilnost in uporabnost, imajo električna vozila zaradi mase baterije nekoliko manjšo nosilnost (500–1.000 kg) in manjši tovorni volumen (3–6 m³). Dizelska vozila dosegajo nosilnost med 800 in 1.500 kg ter večji tovorni volumen. Vozila na CNG imajo nosilnost nekoliko manjšo kot dizelska vozila (za približno 50–150 kg), vendar primerljiv tovorni volumen.

Pri delovanju v zimskih razmerah se doseg električnih vozil zmanjša za 30–40 odstotkov, predvsem zaradi ogrevanja kabine in zmanjšane učinkovitosti baterije. Dizelska vozila imajo manjši padec dosega, približno 10–15 odstotkov. Pri vozilih na CNG se doseg v zimskih razmerah zmanjša za približno 10–20 odstotkov, kar je manj kot pri električnih vozilih.

Tabela 9: Motorske značilnosti

PARAMETER	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	PREDNOST	KOMENTAR
Moč (kW)	100–150 kW	75–120 kW	96 kW	EV	EV ima več navora dizel pa je primerljiv z CNG
Navor (Nm)	300–400 Nm	200–300 Nm	200 Nm	EV	EV ima največji navor
Pospešek 0–100 km/h	6–9 s	10–14 s	12 s	EV	Ev je najhitrejši
Učinkovitost	85–90 %	20–30 %	35–40 %	EV	CNG boljši kot dizel
Hrup	Zelo tiho	70–85 dB	Tišje kot dizel	EV	CNG tišji kot dizel

Tabela 10: Doseg in polnjenje

PARAMETER	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	PREDNOST	KOMENTAR
Doseg (realen)	200–400 km	600–900 km	400–500 km	Dizel	CNG srednji doseg
Doseg (mesto)	250–500 km	400–600 km	450–550 km	EV/CNG	CNG stabilen doseg
Doseg (avtocesta)	150–300 km	700–1 000 km	350–450 km	Dizel	Dizel najboljši doseg
Čas polnjenja/tankanja	30 min–8h	4–5 min	4–5 min	Dizel/CNG	CNG hitro tankanje goriva

Tabela 11: Kapaciteta

PARAMETER	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	PREDNOST	KOMENTAR
Tovorna kapaciteta	500–1000 kg	800–1500 kg	700–1200 kg	Dizel	CNG primerljiv z dizlom
Volumen	3–6 m ³	4–8 m ³	4–8 m ³	Dizel/CNG	CNG enak kot dizel
Vlečna sposobnost	500–750 kg	1500–2500 kg	1200–2000 kg	Dizel	CNG blizu dizlu

Tabela 12: Zanesljivost

PARAMETER	ELEKTRIČNO VOZILO	DIZELSKO VOZILO	CNG VOZILO	PREDNOST	KOMENTAR
Število gibljivih delov	~20	~2000	~1500	EV	CNG manj komponent kot dizel
Življenjska doba	15–20 let	12–15 let	12–15 let	EV	CNG podobno kot dizel
Interval servisov	30000 km	15000 km	20000 km	EV	CNG srednje vzdrževanje

6 Zaključek

Na podlagi teoretične analize, primerjave stroškov, tehničnih značilnosti in vpliva na okolje, lahko ugotovimo, da med posameznimi vrstami pogonov ni univerzalno najboljše rešitve, temveč je optimalna izbira odvisna od načina uporabe vozila.

Električna vozila se izkažejo kot najbolj učinkovita z vidika energijske učinkovitosti in lokalnega vpliva na okolje. Imajo najvišji izkoristek pretvorbe energije, najnižje obratovalne stroške ter bistveno manj gibljivih delov, kar pomeni manj vzdrževanja. Ob upoštevanju slovenskega energetskega miksa imajo tudi nižje skupne življenjske emisije CO₂ kot vozila z motorjem na notranje izgorevanje. Slabosti električnih vozil ostajajo višja začetna cena, daljši čas polnjenja ter občutljivost dosega na zunanjo temperaturo.

Dizelska vozila so še vedno zelo primerna za dolge relacije in intenzivno uporabo, saj omogočajo hiter čas oskrbe z energijo in velik doseg. Vendar imajo višje obratovalne stroške in stalne emisije toplogrednih plinov ter drugih škodljivih snovi, kar dolgoročno predstavlja večjo okoljsko obremenitev.

Vozila na CNG predstavljajo vmesno rešitev. Imajo nižje emisije kot dizelska vozila ter ugodnejše stroške goriva, vendar še vedno proizvajajo neposredne emisije CO₂ in so omejena z infrastrukturo polnilnih mest.

Če hipotezo ovrednotimo glede na izbrane kriterije (ekonomski, tehnični in okoljski vidik), lahko zaključimo, da so električna vozila dolgoročno najbolj učinkovita rešitev predvsem za mestno in vsakodnevno uporabo ter za države z nizkoogljično proizvodnjo električne energije, kot je Slovenija. Za specifične primere, kot so dolge avtocestne relacije ali območja brez razvite polnilne infrastrukture, pa so vozila z motorjem na notranje izgorevanje ali CNG še vedno praktična alternativa.

Raziskava potrjuje, da prihodnost mobilnosti temelji na postopnem prehodu k elektrifikaciji, ob sočasnem razvoju polnilne infrastrukture, baterijske tehnologije in energetske proizvodnje iz nizkoogljičnih virov. Končna odločitev posameznika pa mora temeljiti na realnih potrebah, letni kilometrini in dostopnosti infrastrukture.

Viri

1. **NGVA Europe.** *NGVA Europe – Natural Gas Vehicles Association.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://www.ngva.eu>.
2. **Evropska komisija.** *Climate Action – Life Cycle Emissions.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://climate.ec.europa.eu>.
3. **ICCT – International Council on Clean Transportation.** *The ICCT.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://theicct.org>.
4. **European Environment Agency (EEA).** *European Environment Agency.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://www.eea.europa.eu>.
5. **Eko sklad Republike Slovenije.** *Nepovratne finančne spodbude za električna vozila.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://www.ekosklad.si>.
6. **Statistični urad Republike Slovenije (SURS).** *Cene energentov in pogonskih goriv.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://www.stat.si>.
7. **ADAC – Allgemeiner Deutscher Automobil-Club.** *Kosten, Verbrauch und Technik von Fahrzeugen.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://www.adac.de>.
8. **International Energy Agency (IEA).** *Energy efficiency and transport.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://www.iea.org>.
9. **European Alternative Fuels Observatory (EAFO).** *Alternative fuels and vehicles.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu>.
10. **Volkswagen Commercial Vehicles.** *Caddy Maxi Cargo 1.5 TGI – Technical data.* [Elektronski] [Navedeno: 5. 2. 2026.] <https://www.volkswagen-commercial-vehicles.com>.
11. **FISCHER** Richar. *Motorno vozilo.* [Knjižni] [Navedeno: 4.1.2026.]
12. **JOHNSTONE** Michael. *Pogled v notranjost motorjev.* [Knjižni] [Navedeno: 4.1.2026.]
13. **TRENC-FRELIH** Irena. *Stroj.* [Knjižni] [Navedeno: 4.1.2026.]

14. **MACKAY** David J. C. Trajnostna energija – brez vročega zraka. [Knjižni] [Navedeno: 4. 1. 2026]
15. **KEGL** Breda. Osnove motorjev z notranjim zgorevanjem. [Knjižni] [Navedeno: 4. 1. 2026]
16. **TUMA** Matija in **SEKAVČNIK** Mihael. Energetski stroji in naprave. [Knjižni] [Navedeno: 4. 1. 2026]
17. Electric Car Converts. *Electric car batteries — everything you need to know* (2022). Electric Car Converts. 2022. [Elektronski] [Navedeno: 7. 2. 2026.] Dostopno na: <https://www.electrincarconverts.com/insights/electric-car-batteries-everything-you-need-to-know-2022/>
18. Electric Motor Engineering. *An electric motor works — how it works in a car*. Electric Motor Engineering. [Elektronski] [Navedeno: 7. 2. 2026.] Dostopno na: <https://www.electricmotorengineering.com/an-electric-motor-works-car/>
19. Exro Technologies. *Advancements in electric vehicle traction inverter design: Evolution of traction inverters (Part 3 of 3)*. Exro Technologies Inc. [Elektronski] [Navedeno: 7. 2. 2026.] Dostopno na: <https://www.exro.com/industry-insights/advancements-in-electric-vehicle-traction-inverter-design-evolution-of-traction-inverters-part-3-of-3>
20. Felss Group. *Electric motors in electric vehicles — an overview*. Felss Group. [Elektronski] [Navedeno: 7. 2. 2026.] Dostopno na: <https://felss.com/en/blog/electric-motors-in-electric-vehicles-an-overview/>
21. Panasonic Industrial. *AP6 Technical Notes – Lithium-ion Battery Basics*. Panasonic Industrial Company. [Elektronski] [Navedeno: 7. 2. 2026.] Dostopno na: <https://industrial.panasonic.com/ww/ds/ss/technical/ap6>
22. Gharebaghi, M. *A survey on using second-life batteries in stationary application systems*. MDPI Energies. 2024. [Elektronski] [Navedeno: 6. 2. 2026.] Dostopno na: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/1/42>
23. Stefan, I. *Enabling value retention in circular ecosystems for the electric vehicle battery lifecycle*. Elsevier – Journal of Cleaner Production. 2025. [Elektronski] [Navedeno: 6. 2. 2026.] Dostopno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344924005354>
24. The International Council on Clean Transportation. *Scaling up reuse and recycling of electric vehicle batteries*. ICCT. 16. 2. 2023. [Elektronski] [Navedeno: 6. 2. 2026.] Dostopno na: <https://theicct.org/publication/recycling-electric-vehicle-batteries-feb-23/>
25. Battery University. *BU-808: How to prolong lithium-based batteries*. Cadex Electronics Inc. [Elektronski] [Navedeno: 6. 2. 2026.] Dostopno na: <https://batteryuniversity.com/article/bu-808-how-to-prolong-lithium-based-batteries>

IZJAVA

Mentor/-ica mag. Peter Kers v skladu z 21. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, izjavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom

ELEKTRIČNA VOZILA V PRIMERJAVI Z MOTORJI Z NOTRAJNIM IZGOREVANJEM
katere avtorji so

Lea Saje, Taja Mitic, Pina Levar

– pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature, – da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu, – da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje, – da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju, – da smo pri pripravi raziskovalne naloge upoštevali etična načela in smernice v skladu z veljavnimi pravnimi akti raziskovalnega področja, – da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.



Celje, 7.2.2026

Podpis avtorja-jev:

ev:

Saje
Mitic
Levar

Podpis mentorja-jev:

Lea Saje
Taja Mitic

osebe:

Podpis odgovorne

San Sil