Optimalno korištenje baterijskog spremnika električnog vozila u sustavu s fotonaponskom elektranom na zajedničkom parkingu u tržišnim uvjetima

Pleskalt, Martin

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:198839

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

OPTIMALNO KORIŠTENJE BATERIJSKOG SPREMNIKA ELEKTRIČNOG VOZILA U SUSTAVU S FOTONAPONSKOM ELEKTRANOM NA ZAJEDNIČKOM PARKINGU U TRŽIŠNIM UVJETIMA

Diplomski rad

Martin Pleskalt

Osijek, 2022.

Sadržaj

1. UVOD 1

1.1. Zadatak diplomskog rada 1

2. PREGLED PODRUČJA RADA 2

3. ELEKTRIČNA VOZILA 4

3.1. Baterijska električna vozila 4

3.2. Hibridna vozila 6

3.3. Plug-in hibridna vozila 8

3.4. Električna vozila s gorivim ćelijama 11

4. FOTONAPONSKI SUSTAVI 14

4.1. Fotonaponske ćelije 14

4.2. Fotonaponski sustavi 14

4.2.1. Off-grid FN sustavi (samostalni FN sustavi) 15

4.2.2. FN sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu 16

4.3. Vrste priključka FN elektrane na mrežu 18

4.3.1. Mrežni FN sustav s centralnim izmjenjivačem 18

4.3.2. Mrežni FN sustav s izmjenjivačem za svaki FN niz 19

4.3.3. Mrežni FN sustav s više izmjenjivača (modularni priključak) 19

5. MATEMATIČKI MODEL OPTIMALNOG KORIŠTENJA BATERIJSKOG SPREMNIKA ELEKTRIČNIH VOZILA 21

5.1. Funkcija cilja za minimizaciju troškova električne energije objekta 21

6. PRIMJERI OPTIMALNOG KORIŠTENJA BATERIJSKIH SPREMNIKA ELEKTRIČNIH VOZILA 24

6.1. Proizvodnja električne energije zgrade 24

6.2. Potrošnja zgrade 25

6.3. Troškovi opskrbe električnom energijom 26

6.4. Odabrano baterijsko električno vozilo – Tesla Model 3 28

6.5. Primjer punionice električnih vozila 28

6.6. Pisanje programskog koda u programu GAMS 29

6.7. Opis simulacijskih modela..... 30

6.8. Scenarij 1: Zahtjev za SOC ≈ 100% u t =16h..... 30

6.9. Scenarij 2: Punjenje/pražnjenje baterijskih spremnika s zahtjevom SOC (t=16h) = SOC (t=8h)..... 34

6.10. Scenarij 3: Punjenje/pražnjenje spremnika, uz uvjet da minimalna napunjenost ne smije pasti ispod SOC ≈ 65%..... 37

6.11. Scenarij 4: Proizvodnja/potrošnja električne energije zgrade bez priključenih električnih vozila na punionice..... 40

7. ZAKLJUČAK.....44

SAŽETAK.....45

ABSTRACT.....46

LITERATURA.....47

ŽIVOTOPIS.....51

.

1. UVOD

Kako potražnja za električnom energijom raste iz dana u dan tako i nekadašnji pasivni kupci električne energije postaju aktivni kupci, to jest potrošači s vlastitom proizvodnjom (engl. Prosumer). U ovom radu aktivan kupac se predstavlja kao jedna tvrtka s povećim radnim objektom koja ima fotonaponsku elektranu te se u scenarijima optimalnog punjenja baterijskih spremnika želi prikazati koliko je zapravo isplativo uvoditi, uz postojeću elektranu, i punionice za električna vozila za vlastite zaposlenike i korist objekta. U predloženom modelu uzete su pretpostavke kako svi zaposlenici imaju iste električne automobile radi lakših izračuna ukupnih troškova.

Ovaj rad sastoji se od 6 poglavlja, u drugom poglavlju prikazan je pregled literature korištene pri istraživanju o električnim vozilima, njihovim spremnicima, motorima i o fotonaponskim sustavima. U trećem poglavlju predstavljene su različite vrste električnih vozila, njihove karakteristike i shematski prikaz njihova pogona. U četvrtom poglavlju opisani su fotonaponski sustavi te je dan detaljan pregled o njima. U petom poglavlju dan je opis matematičkog modela optimalnog korištenja baterijskog spremnika, dok su u šestom poglavlju predloženi različiti scenariji za punjenje/pražnjenje baterijskog spremnika električnih vozila na zajedničkom parkingu s fotonaponskom elektranom. U sedmom poglavlju dan je zaključak o cijelom radu.

1.1. Zadatak diplomskog rada

U diplomskom radu potrebno je dati pregled tehničkih karakteristika na tržištu dostupnih električnih vozila i fotonaponskih sustava. Nadalje, potrebno je izraditi računalni optimizacijski model za izradu plana punjenja i pražnjenja baterijskog spremnika električnog vozila za primjer zajedničkog parkinga s instaliranom fotonaponskom elektranom.

2. PREGLED PODRUČJA RADA

Prema [1] električna vozila su prikladan instrument prema većoj održivosti buduće mobilnosti, budući su četiri puta učinkovitija u usporedbi s vozilima koja koriste motore s unutrašnjim izgaranjem, stoga se sama električna vozila smatraju prekretnicom ka velikoj transformaciji u potpunu neovisnost prometa o fosilnim gorivima. U [2] dan je pregled električnih vozila te tehnologije baterija korištenih u tim vozilima. U literaturi [3] dan je pregled o dizajnu i primjeni tehnologija za sve vrste električnih vozila u što spadaju mopedi, automobili, autobusi i vlakovi, također dan je i pogled na buduće konceptualne modele, učinkovitost vozila, potrošnja energije te sam utjecaj na okoliš. U izvješću [4] su sažeti važna istraživanja koja su provedena radi poboljšanja pasivne sigurnosti električnih vozila, sama poboljšanja podijeljena su na tri razine, a to su: dizajn baterije, izbor ugradnje u automobil te optimizacija susjednih struktura baterijskih paketa. U članku [5] autori se bave usporedbom različitih tehnologija motora i baterija koje se koriste u aktualnoj automobilskoj industriji električnih vozila. Rad također pokazuje modeliranje i simulaciju električnog automobila i preporučuje ljudima da prijeđu s konvencionalnih na električna vozila. U radu [6] dan je pregled različitih elektromotora s obzirom na njihovu jednostavnost dizajna, cijenu, robusnost i učinkovitost te je konačno dokazano da je DC motor bez četkica učinkovit i najprikladniji kandidat za pogon električnih vozila, međutim njegova kontrola je neprikladna, ali je u radu prikazan koncept metoda poboljšanja kontrole.

Rad [7] usredotočuje se na fotonaponske sustave koji proizvode električnu energiju, gdje prvi dio rada daje pregled načina na koji se električna energija stvara u solarnoj ćeliji, dok drugi dio predstavlja fotonaponske module, to jest njihove različite dostupne vrste, međusobnu povezanost i performanse modula. U radu [8] proučeni su učinci oksidacije na degradaciju temeljnih poluvodičkih sklopova solarnih panela i učinak starenja na životni vijek solarnih FN sustava. U literaturi [9] pokriveni su različiti aspekti solarnih FN sustava uključujući mjerenje sunčevog zračenja, solarni FN moduli, nizovi s implementacijom MATLAB-a, najnovije MPPT tehnike, ravnoteže sustava te sama mrežna integracija. U radu [10] predložen je model više ciljne optimizacije za odluke o dimenzioniranju FN sustava povezanog na mrežu. Ciljevi razmatraju ekonomski aspekt u smislu minimalizacije troškova životnog vijeka projekta i neekonomskih aspekata, uključujući maksimiziranje pouzdanosti sustava i smanjenje emisije CO_2.

U radu [11] predstavljeno je optimalno planiranje FN sustava i baterijskih sustava za električna vozila nekog kućanstva. Glavni cilj problema optimizacije je minimalizirati trošak električne energije uz zadovoljavanje projektnih ograničenja tijekom 20-godišnjeg životnog vijeka projekta.

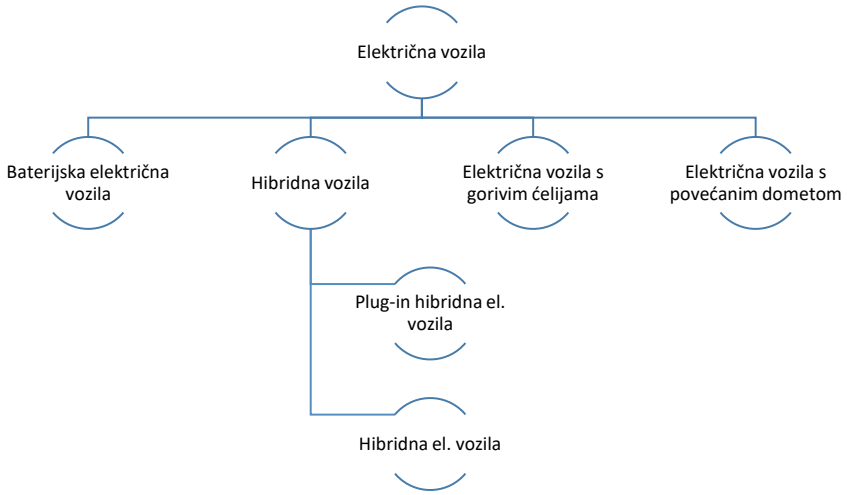
U radu [12] fokus je stavljen posebno na usporedbu električnih vozila i kućnih baterijskih sustava, tako da se koristio algoritam dinamičkog programiranja za minimalizaciju troškova električne energije u okviru četiri različite tarife. U radu je dokazano da baterije električnih vozila zajedno sa FN krovnim sustavom smanji trošak od 12 do 19% ovisno o tarifnoj strukturi, dok kućni baterijski sustavi zajedno s FN sustavom smanji troškove od 8 do 14%. N. Radić u svom radu [13] pomoću programa GAMS prikazuje rezultat simulacije ponašanja baterijskog spremnika električnog automobila i stacionarnog baterijskog spremnika. U samu simulaciju su također uključene i cijene za zimske i ljetne tarifne sustave koje također igraju veliku ulogu u pronalasku optimalnog rješenja. M. Stanić u svom radu [14] predstavlja optimizacijski model održavanja razine napunjenosti baterijskog spremnika električnog vozila u slučaju aktivnog kupca (Prosumer) u nekoliko različitih scenarija.

3. ELEKTRIČNA VOZILA

Električnim vozilom smatra se svako vozilo koje za svoj pogon koristi električnu energiju koja se pohranjuje u spremnicima električne energije, to jest baterijama.

Električna vozila mogu se klasificirati prema vrstama pogonskog mehanizma koji su:

1. Baterijska električna vozila (engl. Battery Electric Vehicles - BEVs)
2. Hibridna električna vozila (engl. Hybrid Electric Vehicles - HEVs)
3. Električna vozila s gorivim ćelijama (engl. Fuel Cell Electric Vehicles - FCEVs)
4. Električna vozila s povećanim dometom (Extended Range Electric Vehicles - EV-ER)



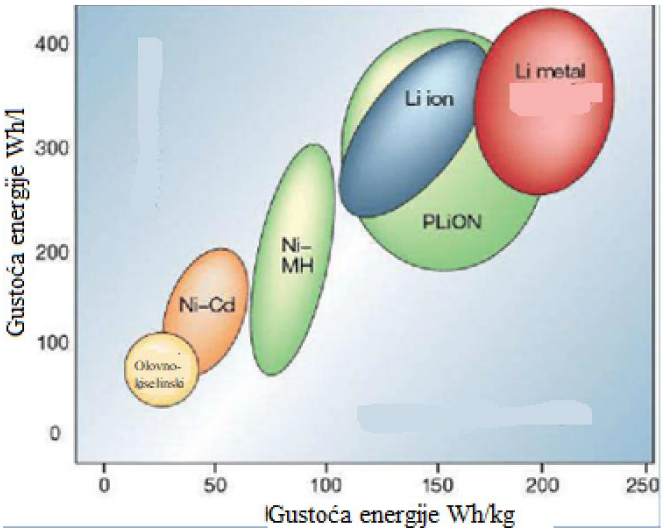
Slika 3. 1. Klasifikacija električnih vozila

3.1. Baterijska električna vozila

Prema [15] baterijska električna vozila koriste elektromotor umjesto klasičnog motora na unutrašnje izgaranje, također umjesto tekućih goriva ona koriste baterije kao svoj izvor energije. Baterijska električna vozila sastoje se od:

- Elektromotornog sustava
- Baterijskog sustava (jedinica za punjenje, BMS)
- Pomoćni sustavi (hlađenje/grijanje, pumpe itd.)

Prema [16] može se vidjeti graf na slici ispod (Slika 3.2.) koji prikazuje usporedbu baterijskih članaka s obzirom na volumnu i gravimetrijsku energetsku gustoću, također i utjecaj veličine samog baterijskog članka.



Slika 3. 2. Različiti baterijski članci s obzirom na volumnu i gravimetrijsku energetsku gustoću i veličinu[16]

Iz grafa može se uočiti kako baterijska električna vozila koriste litij-ionske i nikal-metal hibridne (NiMH) baterijske članke. Kod BEV popularnije su litij-ionske baterije jer imaju mogućnost pohrane veće količine energije kao što se vidi na grafu, dok NiMH se uglavnom koriste za hibridna vozila.

Trenutni trend i najprodavaniji automobil koji je potpuno električni je Tesla Model Y koji je u prošloj 2021. godini imao 172 700 prodaja.[17]. U nastavku su dane slika (Slika 3.3.) i tablica performansi (Tablica 3.1.) za Tesla Model Y, može se primijetiti kako je to automobil s povećanim dometom od 514km te pogonom na sva četiri kotača uz dualni motor.

Slika 3. 3. Tesla Model Y[18]

Tablica 3. 1. Specifikacije automobila Tesla Model Y[18]

Tip	Srednja klasa
Proizvodnja	Serijska
Pogon	4X, pogon na sve kotače
Motor	Dualni: 1.AC indukcijski 2. AC s permanentnim magnetima
Kapacitet baterije	75 kWh
Maksimalna brzina	250 km/h
Masa	1995 kg
Domet	514 km

3.2. Hibridna vozila

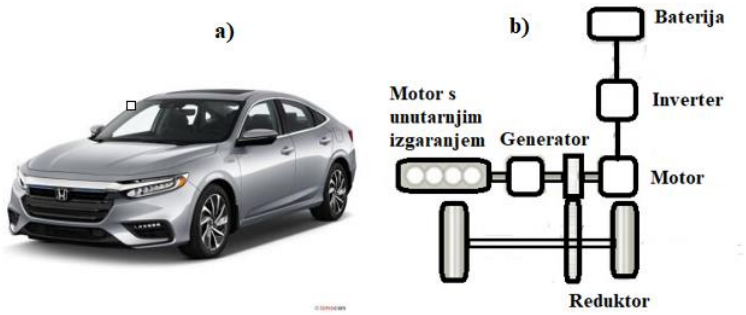
Prema [15] hibridna električna vozila su ona koja kombiniraju bilo koja dva izvora. Tipično jedna komponenta se koristi kao spremnik, dok druga se koristi za pretvorbu goriva u korisnu energiju. Kombinacije mogu biti sačinjene od benzin ili dizel motora s unutarnjim izgaranjem s baterijom ili gorivu ćeliju u kombinaciji s baterijom.

Prema [15] općenito postoje četiri dizajna hibrida:

1) Serijski hibrid – ova konfiguracija je najjednostavnija konfiguracija hibridnih vozila. Mehanička snaga motora s unutarnji izgaranjem se pretvara u električnu energiju preko generatora, nakon toga električna energija se koristi za punjenje baterije ili kao direktno napajanje elektromotora za vožnju. Primjer ovakvog vozila je Chevrolet Volt koji se može vidjeti na slici 3.4. a), dok shema serijskog sustava može e vidjeti na slici 3.4. b).

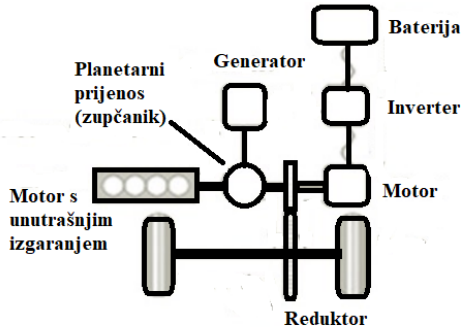
Slika 3. 4. a) Chevrolet volt - primjer serijskog hibridnog vozila, b) shema serijskog hibridnog sustava[19]

2) Paralelni hibrid – pri ovakvom pogonu motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor koriste se za vožnju. Propulzija se može ostvariti od oba motora zasebno ili mogu kao jedna jedinica zajedno dati snagu za vožnju. Primjer ovakvog vozila je Honda Insight koja se može vidjeti na slici 3.5. a), dok shema paralelnog sustava se može vidjeti na slici 3.5. b)



Slika 3. 5. a) Honda Insight - primjer paralelnog hibridnog vozila, b) shema paralelnog sustava hibridnog vozila[19]

3) Serijsko – paralelni hibrid – ovakva vozila imaju ukomponirane značajke serijskih i paralelnih hibridnih vozila. Uključena je mehanička veza kao kod serijskog hibrida te također ima generator kao kod paralelnog hibrida. Shema sustava se može vidjeti na slici 3.6.



Slika 3. 6. Shema serijsko - paralelnog hibridnog pogona vozila[19]

4) Kompleksni hibridni sustav – ovaj sustav sastoji se od dvosmjernog toka energije elektromotora u kompleksnom hibridu i jednosmjernog toka energije generatora u serijsko – paralelnom hibridu. Primjer vozila koje koristi ovakav sustav je Toyota Prius koja se može vidjeti na slici 3.7.

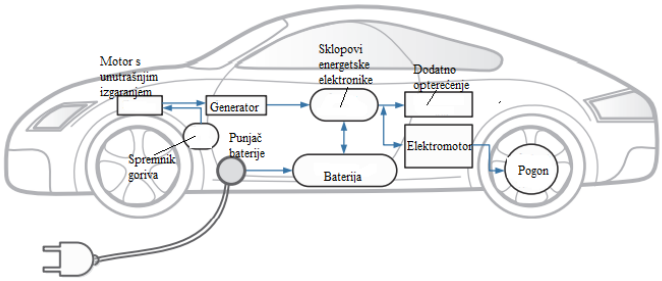
Slika 3. 7. Toyota Prius - primjer kompleksnog sustava hibridnog vozila[15]

3.3. Plug-in hibridna vozila

Prema [20] plug-in hibridna električna vozila su vozila koja kao i ostali hibridi koriste energiju od fosilnih goriva i električnu energiju za pogon. Također ovisno o dizajnu pogonskog sklopa vozila i njegovom radu, plug-in hibridno vozilo može se ponašati kao čisto električno, čisto motorno ili kao hibridno vozilo.

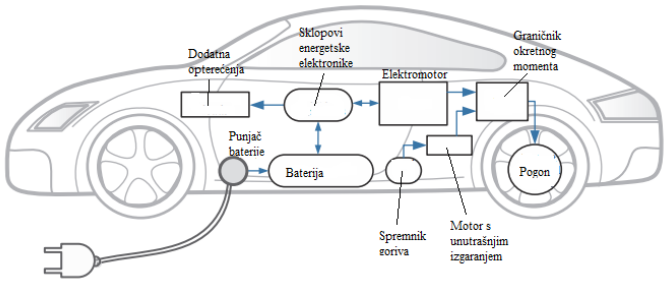
Prema [20] plug-in hibridna vozila imaju kao i općenito hibridna vozila serijski, paralelni i složeni pogon.

- Serijsko plug-in hibridno vozilo – u ovoj konfiguraciji pogona motor s unutrašnjim izgaranjem, generator, baterija i elektromotor povezani su u nizu, a sama baterija se može puniti iz vanjskog izvora, to jest utičnica. Izgled ovog pogona može se vidjeti na slici 3.8.



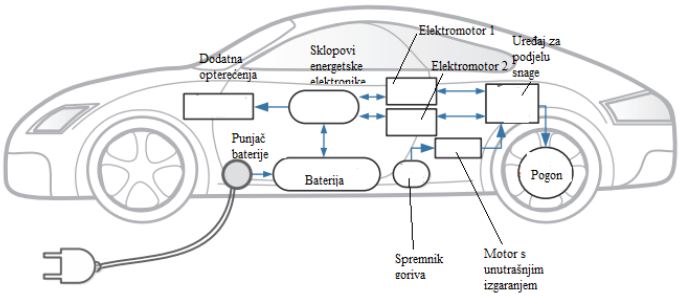
Slika 3. 8. Konfiguracija serijskog pogona[20]

- Paralelno plug-in hibridno vozilo – ovi hibridi omogućuju napajanje vozila iz primarnog i sekundarnog izvora. Baterija obično služi kao primarni izvor i može se puniti na vanjskim izvorima napajanja priključenjem punjača u utičnicu, dok motor s unutrašnjim izgaranjem se koristi za direktni pogon kotača pomažući elektromotoru kada je dodatna snaga potrebna. Na slici 3.9. prikazana je konfiguracija paralelnog pogona.



Slika 3. 9. Konfiguracija paralelnog pogona[20]

- Složeno plug – in hibridno vozilo – u ovom pogonu kao i kod općenito hibridnih vozila mehanički i električni tok snage djeluju na složen način, u kojem se implementira planetarni set zupčanika (uređaj za podjelu snage) za podjelu i kombiniranje snage. Na slici 3.10. može se vidjeti konfiguracija složenog pogona plug – in hibridnog vozila.



Slika 3. 10. Složena konfiguracija pogona[20]

Svaka konfiguracija u sebi sadrži dodatna opterećenja kao što se može vidjeti na slikama (Slika 3.8. - Slika 3.10.). Uz sva ostala dodatna opterećenja koje koriste svi automobili, hibridna vozila još koriste: Kočna vakumska pumpa (Brake Vacuum Pump), pumpa za hlađenje energetske elektronike (Power electronics cooling pump), DC-DC pretvarač (DC-DC converter) i pumpu za pomoćni prijenos (Auxiliary Transmission Pump).[21]

U 2021 godini najprodavaniji plug- in hibrid automobil bio je Tesla model 3 koji se može vidjeti na slici 3.11. i njegove specifikacije u tablici 3.2.

Slika 3. 11. Tesla model 3

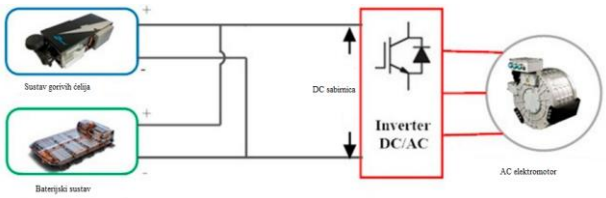
Tablica 3. 2. Specifikacije automobila Tesla Model 3

Tip	Srednja klasa
Proizvodnja	Serijska
Pogon	4X, pogon na sve kotače
Motor	Dualni: 1.AC indukcijski (prednji) 2. Sinkroni motor s permanentnim magnetima (zadnji)
Kapacitet baterije	50 kWh
Maksimalna brzina	235 km/h
Masa	1830 kg
Domet	602 km

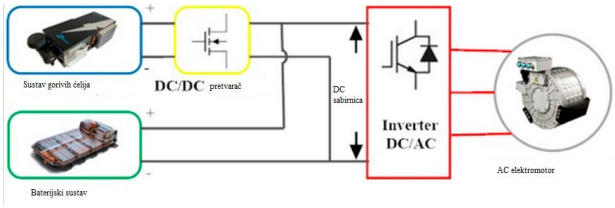
3.4. Električna vozila s gorivim ćelijama

Prema [15] električna vozila s gorivim ćelijama kao i baterijska električna vozila koriste potpuno električni pogon, ali baterijska električna vozila koriste baterije kao izvor energije, dok vozila s gorivim ćelijama su hibridi koji energiju dobivaju iz vodikovih gorivih ćelija i također baterija.

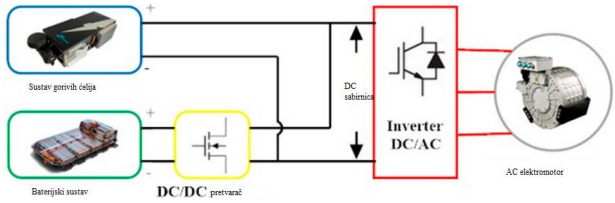
Prema [22] električna vozila s gorivim ćelijama mogu se podijeliti u tri kategorije: gorive ćelije i baterije (FC + B), gorive ćelije i ultrakondenzatori (FC + UC) i gorive čelije, ultrakondenzatori i baterije (FC + B + UC). Budući je zadnja konfiguracija vrlo složena, a i ultrakondenzatori imaju nisku gustoću energije, glavna konfiguracija dizajna je ona s gorivim ćelijama i baterijama koja se može podijeliti na četiri različite topologije prikazane na slikama (Slika 3.12 – Slika 3.15.).



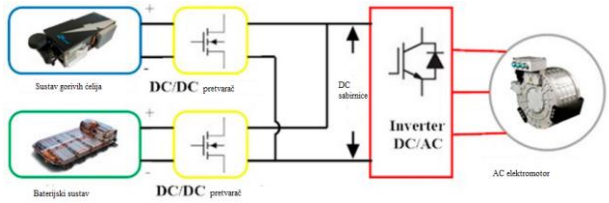
Slika 3. 12. Topologija 1



Slika 3. 13. Topologija 2



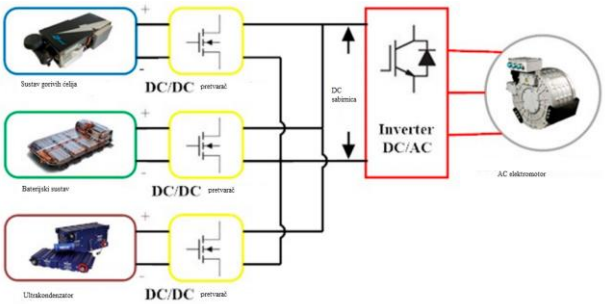
Slika 3. 14. Topologija 3



Slika 3. 15. Topologija 4

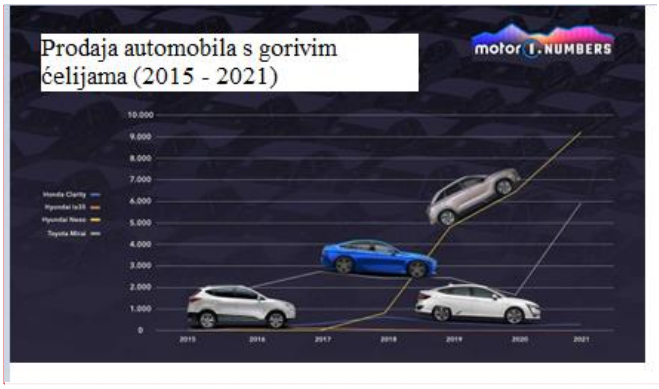
Na slikama može se vidjeti kako u prvoj topologiji baterijski sustav i sustav gorivih ćelija direktno spojeni na DC/AC pretvarač od elektromotora. U drugoj topologiji može se vidjeti kako sustav gorivih ćelija je na inverter spojen preko DC/DC pretvarača što olakšava distribuciju energije između oba sustava. Treća topologija je vrlo slična drugoj jer DC/DC pretvarač spojen na baterijski sustav dok je sustav gorivih ćelija direktno spojen na inverter, ali ostvaruje se ista kontrola distribucije energije između sustava. Četvrta topologija je najsloženija. U ovoj topologiji baterijski sustav i sustav gorivih ćelija spojeni su na inverter preko DC/DC pretvarača što je najpovoljniji slučaj jer pruža visoku fleksibilnost u upravljanju protokom snage.

Svaka nova modifikacija pogonskog sustava početnoj konfiguraciji stvara hibridno vozilo s primarnim izvorom iz sustava gorivih ćelija. Takve konfiguracije su vrlo složene i može se vidjeti na slici 3.16. gdje se sustavu gorivih ćelija i baterijskom sustavu dodaje sustav ultrakondenzatora. U takvom rasporedu baterijski sustav i sustav ultrakondenzatora mogu se prazniti/puniti u više ciklusa dajući snagu koliko cijeli sustav vozila to zahtjeva.



Slika 3. 16. Konfiguracija hibridnog električnog vozila s gorivim ćelijama[22]

Trenutni trendovi u svijetu prikazuju kako je u 2021 bio skok od 84% više prodanih automobila s gorivim ćelijama u odnosu na prethodnu 2020. godinu. Na slici 3.17. mogu se vidjeti najprodavaniji automobili s gorivim ćelijama od kojih automobil s najviše prodaja u 2021. godini je Hyundai Nexo.[23]



Slika 3. 17. Najprodavaniji automobili s gorivim ćelijama u razdoblju od 2015 do 2021 godine[23]

Commented [GK1]: Ukloniti (odrezati) gornji dio na engl jeziku.

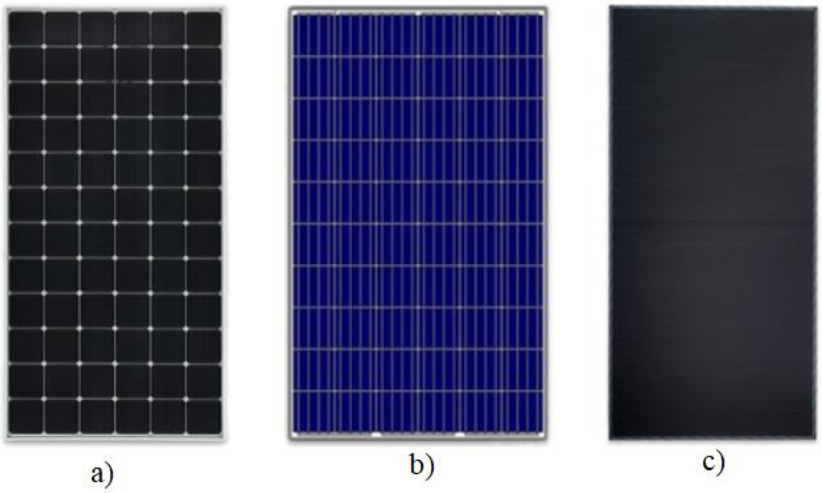
4. FOTONAPONSKI SUSTAVI

4.1. Fotonaponske ćelije

Prema [24] solarna ćelija je uređaj s primarnom funkcijom pretvorbe energije sunca u električnu energiju kroz fotonaponski učinak te se električne karakteristike koje uključuju struju, napon ili otpor razlikuju se s izlaganjem svjetlosnoj energiji iz bilo koje izvora bilo prirodnog ili umjetnog.

Razlikujemo više vrste solarnih ćelija koje tvore module, a najpoznatije su:[24]

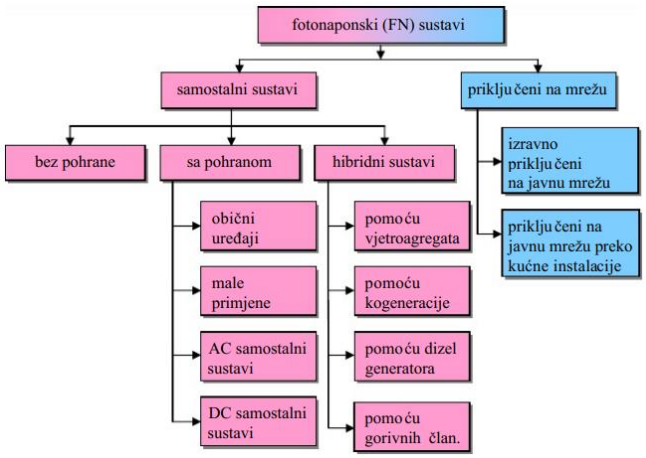
a) Monokristalne solarne ćelije – slika 4.1. a)
b) Polikristalne solarne ćelije – slika 4.1. b)
c) Tehnologija tankog filma – slika 4.1. c)



Slika 4. 1. Najpoznatije i najrašireniye vrste solarnih ćelija [24]

4.2. Fotonaponski sustavi

Prema [25] solarni fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na dvije osnove skupine, a to su: FN sustavi koji su priključeni na elektroenergetsku mrežu i samostalni (engl. off-grid) FN sustavi koji nisu spojeni na elektroenergetsku mrežu. (Slika 4.2.).



Slika 4. 2. Temeljna podjela FN sustava [25]

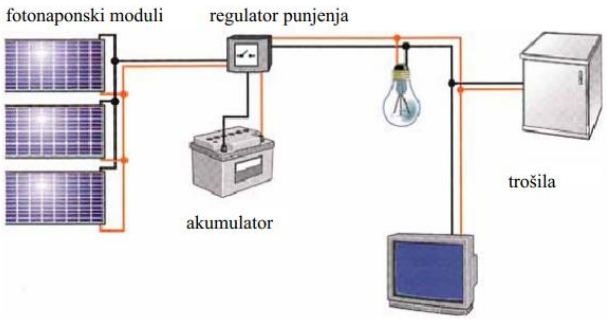
4.2.1. Off-grid FN sustavi (samostalni FN sustavi)

Kao što je već rečeno, to su sustavi koji nisu spojeni na javnu elektroenergetsku mrežu, također oni mogu biti sa ili bez baterijskih sustava za pohranu energije. Također postoje i hibridni sustavi koji uz FN elektranu mogu sadržavati još neki izvor električne energije kao vjetroagregat, kogeneraciju i slično.

Osnovne komponente off-grid FN sustava su:[25]

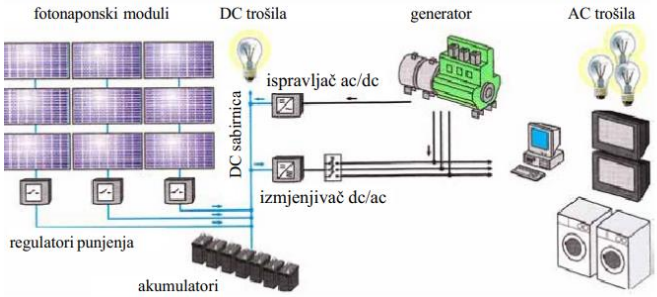
- FN moduli (spojeni paralelno ili serijski)
- Regulator punjenja
- Akumulator
- Izmjenjivač
- Trošila

Na slici 4.3. može se vidjeti primjer samostalnog FN sustava sa svim osnovnim komponentama osim izmjenjivača.



Slika 4. 3. Off-grid FN sustav za istosmjerna trošila[25]

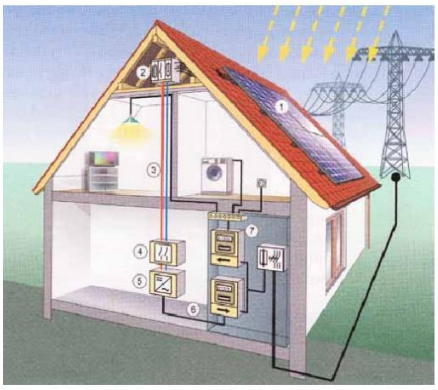
Na slici 4.4. može se vidjeti primjer hibridnog FN sustava. U takvim sustavima električna energija generirana u FN modulima ili nekom drugom izvoru el. energije (vjetroagregat, dizelski agregat itd.) inicijalno se napajaju trošila, dok se višak proizvedene energije pohranjuje u baterijske sustave. Baterijski sustav služi kako bi pokrio potrošnju trošila u slučajevima kada je nikakva ili mala proizvodnja električne energije iz fotonaponske elektrane i elektrane koja koristi neki agregat.



Slika 4. 4. Primjer hibridnog FN sustava s generatorom[25]

4.2.2. FN sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu

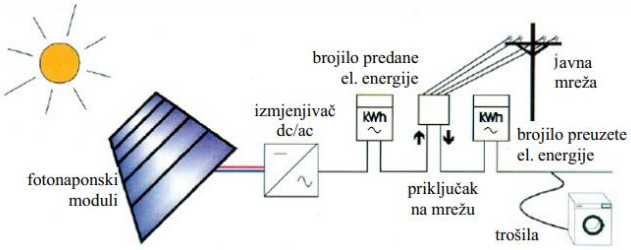
Ovi sustavi priključeni preko kućnih instalacija na mrežu pripadaju distribuiranoj proizvodnji električne energije, kako im i samo ime kaže oni omogućuju povezivanje na distribucijske sustave, to jest na sustave na niskonaponskoj razini. Primjer takvog jednog sustava ože se vidjeti na slici 4.5.



Slika 4. 5. Primjer FN sustava priključenog na distribucijsku mrežu[25]

Na slici 4.5. može se vidjeti kako FN moduli (1) proizvode istosmjernu struju pretvorbom sunčevog zračenja te su povezani u nizove. Svi kabeli iz polja FN modula se postavljaju u razvodni ormar modula (2), sa svom zaštitnom opremom, uglavnom odvodnicima i DC sklopkama. Iz razvodnog ormara napaja se svaka grupa fotonaponskih modula, distribuira se istosmjernim razvodnim kabelom (3) preko glavne rastavne sklopke (4) do solarnog izmjenjivača (5). Pretvarač solarne energije pretvara istosmjernu struju solarnih modula u izmjenični napon određenog iznosa i frekvencije, koji je sinkroniziran s naponom i frekvencijom mreže, a generirana izmjenična struja prenosi se u dom putem distribucijskog AC kabela (6) za priključenje na elektroenergetsku mrežu, odnosno elektro ormar u kojem se nalazi brojilo. Brojilo električne energije (7) nalazi se u ormaru i bilježi energiju proizvedenu u mrežu i energiju utrošenu iz mreže.

Ovakvi fotonaponski sustavi namijenjeni su za pokrivanje potrošnje kućanstva na kojoj se nalaze moduli, a sav višak električne energije predaje se u javnu elektroenergetsku mrežu. U slučaju kada je potrošnja kućanstva veća od proizvodnje iz fotonaponske elektrane na krovu tada se potrošnja kućanstva pokriva iz javne mreže. Sva predana i preuzeta električna energija prati se pomoću uređaja koji se naziva brojilo predane električne energije koji se također spaja serijski u sustav. Na slici 4.6. može se vidjeti shema spajanja elektrane na javnu mrežu.

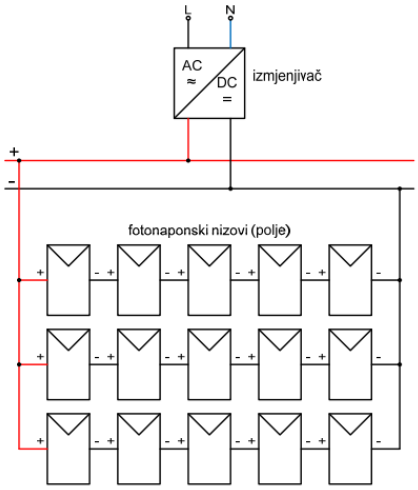


Slika 4. 6. Shema spajanja FN elektrane na javnu mrežu preko brojila predane el. energije[25]

4.3. Vrste priključka FN elektrane na mrežu

4.3.1. Mrežni FN sustav s centralnim izmjenjivačem

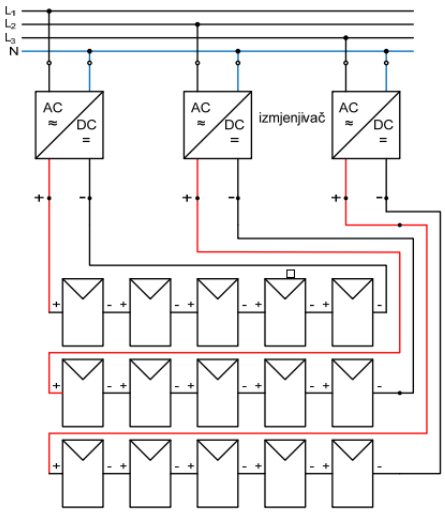
Ovaj sustav priključka FN elektrane na mrežu koristi se za elektrane manjih snaga gdje su svi nizovi spojeni na jedan izmjenjivač (slika 4.7.). Svi nizovi moraju biti jednaki što znači da moraju imati jednak broj modula i module istih karakteristika. Prednosti ovog sustava su najviše ekonomske prirode jer su troškovi izgradnje i održavanja niski, dok nedostatci su u slučaju kvara izmjenjivača isključuje se cijela elektrana te također u slučaju zasjenjenja dolazi do puno većeg smanjenja snage nego u drugim izvedbama.



Slika 4. 7. FN sustav s centralnim izmjenjivačem[26]

4.3.2. Mrežni FN sustav s izmjenjivačem za svaki FN niz

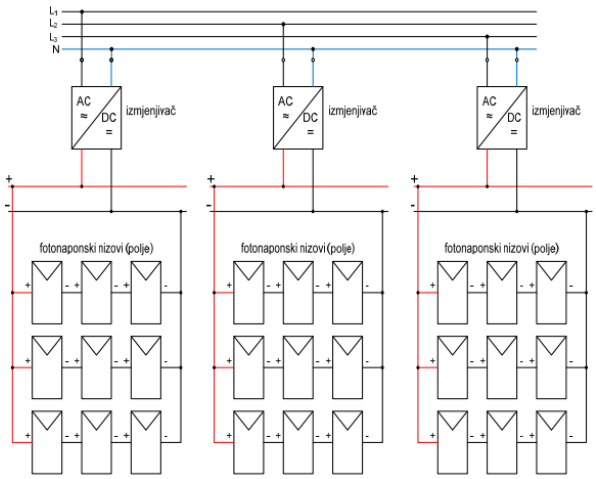
Ovaj sustav priključka FN elektrane na mrežu koristi se za elektrane srednjih snaga (slika 4.8.). Svaki FN niz spojen je na vlastiti izmjenjivač te prati svoju točku maksimalne snage što u konačnici povećava učinkovitost i pouzdanost samog sustava. U slučaju kvara jednog izmjenjivača ili jednog niza u ovom sustavu neće doći do isključenja cijele elektrane. Također prednost ovog sustava naspram prethodnog je da svaki niz može imati različite karakteristike jer su potpuno odvojeni jedni od drugih.



Slika 4. 8. FN sustav u izvedbi s jednim izmjenjivačem za svaki fotonaponski niz[26]

4.3.3. Mrežni FN sustav s više izmjenjivača (modularni priključak)

Ovaj sustav priključka FN elektrane na mrežu koristi se za elektrane većih snaga (slika 4.9.). FN polje podijeljeno je na više podpolja s time da svako podpolje ima svoj izmjenjivač na kojeg su paralelno spojeni više FN nizova. Prednost ovakvih sustava je u slučaju kvara jednog izmjenjivača neće doći do isključenja cijele elektrane već samo do isključenja tog podpolja, također za elektranu iste snage troškovi za ovakvu izvedbu su manji nego za izvedbu gdje svaki niz ima svoj izmjenjivač.



Slika 4. 9. FN sustav u izvedbi s više izmjenjivača[26]

5. MATEMATIČKI MODEL OPTIMALNOG KORIŠTENJA BATERIJSKOG SPREMNIKA ELEKTRIČNIH VOZILA

5.1. Funkcija cilja za minimizaciju troškova električne energije objekta

Cilj modela je minimizacija troškova zgrade. Funkcija cilja je minimizacija troškova električne energije koji se postižu na zgradi s fotonaponskom elektranom i parkiralištem održavanjem optimalne razine napunjenosti baterijskih spremnika električnih vozila u kombinaciji sa samom fotonaponskom elektranom.

Problem optimizacije može se zapisati:

Minimiziraj:

→ *Kupljena električna energija – prodana električna energija*

Ograničenja:

→ *Ravnoteža električne energije*
→ *Stanje napunjenosti baterijskog spremnika (engl. State Of Charge – SOC)*
→ *Ograničenje trenutne maksimalne preuzete snage iz mreže*
→ *Ograničenje trenutne maksimalne predane snage u mreže*

Minimizacija troškova definira se sljedećom relacijom (5-1):

$$min \sum_{t=1}^{24} (Pk_t \cdot \mathrm{ck_t} - Pp_t \cdot \mathrm{cp_t}) \qquad (5\text{-}1)$$

gdje članovi relacije predstavljaju:

- Pk_t → količina električne energije preuzeta iz mreže u vremenu *t*,
- $\mathrm{ck_t}$ → cijena električne energije preuzete iz mreže u vremenu *t*,
- Pp_t → količina električne energije predana u mreže u vremenu *t*,
- $\mathrm{cp_t}$ → cijena električne energije predane u mrežu u vremenu *t*.

Za član *t* promatra se duljina vremenskog intervala od 24h, uz vremenski korak od 1h. Prvi član u relaciji (5-1), to jest umnožak Pk_t*$\mathrm{ck_t}$ predstavlja trošak kupnje električne energije iz mreže koji se umanjuje za drugi član, to jest umnožak Pp_t*$\mathrm{cp_t}$ koji predstavlja prihod prodane od električne energije u mrežu.

Commented [GK2]: Varijable se pišu kurzivom, parametri ne.

Ravnoteža električne energije zadana je relacijom (5-2):

$$L_t + P_{ch_t} - P_{PV_t} - Pk_t + Pp_t - P_{dch_t} = 0 \quad (5\text{-}2)$$

Gdje članovi relacije predstavljaju:

- L_t → količina potraživane električne energije samog objekta gdje se nalazi elektrana u vremenu *t*.
- Pch_t → električna energija potrebna za punjenje baterijskih spremnika električnih vozila u vremenu *t*.
- P_{PVt} → električna energija koju proizvodi fotonaponska elektrana u vremenu *t*.
- $Pdch_t$ → električna energija dobivena pražnjenjem baterijskih spremnika električnih vozila u vremenu *t*.

Ograničenje za SOC (engl. State Of Charge – stanje napunjenosti) baterijskih spremnika električnih vozila izračunava se relacijom (5-3) za t=1, odnosno prvi sat u danu:

$$SOC_t = SOC_{start} + \eta_{ch} \cdot P_{ch_t} - \frac{P_{dch_t}}{\eta_{dch}} \quad (5\text{-}3)$$

Za sve ostale sate osim prvog vrijedi relacija (5-4):

$$SOC_t = SOC_{t-1} + \eta_{\mathrm{ch}} \cdot P_{ch_t} - \frac{P_{dch_t}}{\eta_{\mathrm{dch}}} \quad (5\text{-}4)$$

Gdje članovi relacija predstavljaju:

- SOC_t – stanje napunjenosti baterijskih spremnika električnih vozila na kraju vremena *t*.
- SOC_{start} – stanje napunjenosti baterijskih spremnika električnih vozila na početku prvog perioda (t_1)
- SOC_{t-1} – stanje napunjenosti baterijskih spremnika električnih vozila u prethodnom periodu (*t-1*)
- η_{ch} – učinkovitost punjenja baterijskih spremnika električnih vozila.
- η_{dch} – učinkovitost pražnjenja baterijskih spremnika električnih vozila.

Ograničenje maksimalne trenutne snage preuzete iz mreže u vremenu *t* definira se relacijom (5-5):

$$0 \leq Pk_t \leq Pk_{max} \tag{5-5}$$

Ograničenje maksimalne trenutne snage predane u mrežu u vremenu *t* definira se relacijom (5-6):

$$0 \leq Pp_t \leq Pp_{max} \tag{5-6}$$

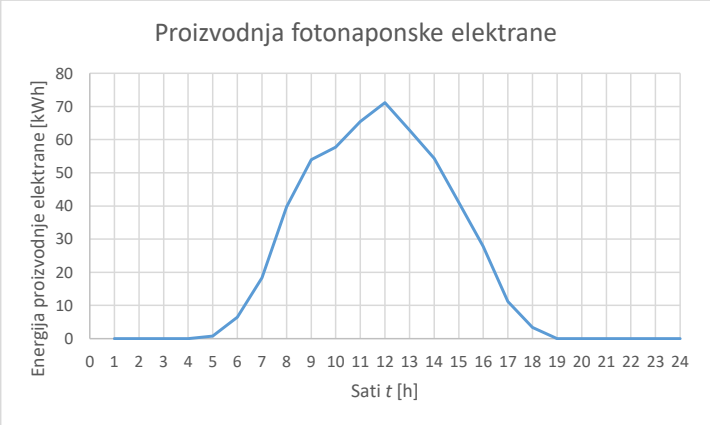
Ograničenje za SOC baterijskih spremnika električnih vozila definirano je relacijom (5-7):

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \tag{5-7}$$

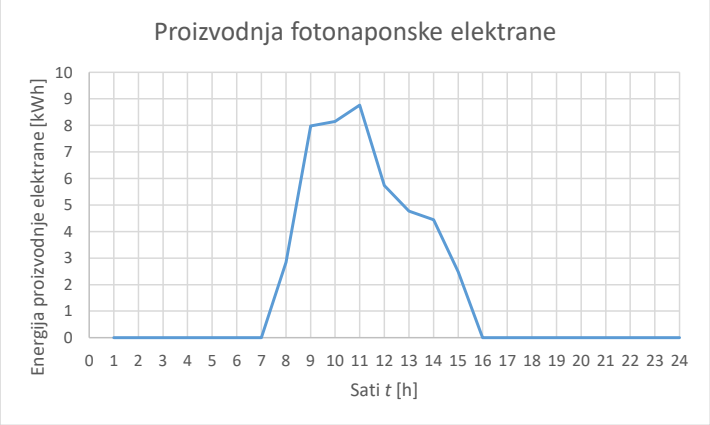
6. PRIMJERI OPTIMALNOG KORIŠTENJA BATERIJSKIH SPREMNIKA ELEKTRIČNIH VOZILA

6.1. Proizvodnja električne energije zgrade

Podaci korišteni u modelu za količinu proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane preuzeti su sa stranice PVGIS. Odabrana lokacija je Osijek, a odabrana instalirana snaga elektrane je 96 kW, koja se uzima kao primjer elektrane sa zajedničkim parkiralištem. Za bolju vizualizaciju razlike u proizvodnji tijekom godine odabrana su dva dana u godini od kojih je jedan u ljetu (20.07.2020), a drugi u zimu (20.01.2020). Na slici 6.1. može se vidjeti grafički prikaz proizvodnje električne energije ljetnog dana, dok na slici 6.2. može se vidjeti proizvodnje električne energije tijekom zimskog dana.



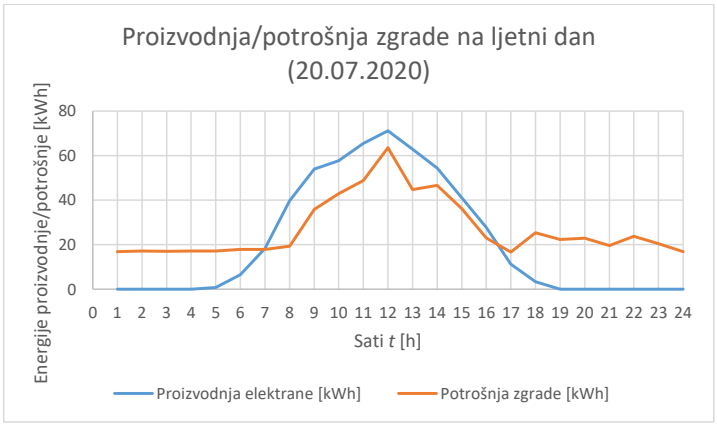
Slika 6. 1. Proizvodnje fotonaponske elektrane zgrade za ljetni dan (20.07.2020)



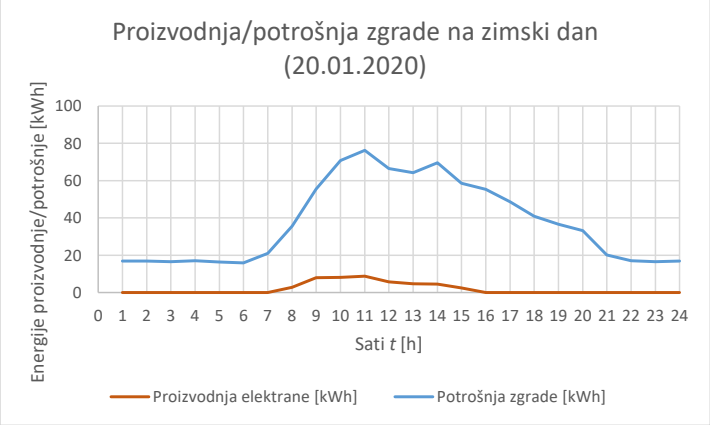
Slika 6. 2. Proizvodnje fotonaponske elektrane zgrade za zimski dan (20.01.2020)

6.2. Potrošnja zgrade

Na sljedećim slikama (slika 6.3. i slika 6.4.) prikazane snage potrošnje zgrade tijekom ljetnog i zimskog dana koji su izabrani. Sama potrošnja zgrade je pretpostavljena.



Slika 6. 3. Proizvodnja/potrošnja električne energije zgrade za ljetni dan (20.07.2020)



Slika 6. 4. Proizvodnja/potrošnja električne energije zgrade za zimski dan (20.01.2020)

6.3. Troškovi opskrbe električnom energijom

Kako bi se izvršila simulacija osim proizvodnje i potrošnje potrebne su i cijene električne energije. Kako nije lako doći do točnih cijena električne energije u kategoriji poduzetništvo jer se baziraju na individualnim ugovorima, troškovi opskrbe električnom energijom će se bazirati na tarifnom modelu za poduzetništvo Hrvatske elektroprivrede (HEP).[27]

Kategorija/ naponska razina		Tarifni model	Tarifni element					
			Radna energija			Radna snaga	Prekomjerna jalova energija	Naknada za obračunsko mjerno mjesto i Naknada za opskrbu
			JT	VT	NT			
			[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kvarh]	[kn/mj]
			Tarifne stavke					
Poduzetništvo	Visoki napon	Bijeli	-	3,1065	1,8238	14,00	0,16	103,00
	Srednji napon	Bijeli	-	3,0393	1,7755	26,00	0,16	101,00
	Niski napon	Plavi	3,1340	-	-	-	0,16	76,30
		Bijeli	-	3,6412	2,0825	-	0,16	76,30
		Crveni	-	3,0524	1,7661	39,00	0,16	76,30
		Žuti (javna rasvjeta)	2,4501	-	-	-	-	15,45
	VN-OPS*	Bijeli	-	3,0665	1,8038	-	-	35,00

Slika 6. 5. Tarifne stavke svih tarifnih modela za kupnju električne energije.[27]

Na slici 6.5. prikazane su tarifne stavke svih tarifnih modela gdje su bijeli i plavi standardni modeli dok je crveni model za korisnike s priključnom snagom većom od 20 kW, a žuti model je vezan za javnu rasvjetu. Kako je zgrada koja se promatra sa priključnom snagom većom od 20 kW promatrati će se crveni tarifni model, ali uz zanemarenje ukupne zakupljene radne snage koja ima utjecaj na cijenu prijenosa i distribucije u fiksnom iznosu (promatrati će se samo radna energija). Prema promatranom crvenom tarifnom modelu radna energija u višoj tarifi iznosi 3,0524 kn/kWh, dok u nižoj tarifi iznosi 1,7661 kn/kWh. Za ljetno razdoblje viša tarifa se računa od 8 h do 22 h, a ostatak od 22 h do 8 h se računa nižom tarifom, dok u zimskom periodu viša tarifa računa se od 7 h do 21 h, a niža tarifa se računa od 21 h do 7 h. Pri konačnom izračunu cijene za radnu energiju tim iznosima dodaje se i „Naknada za obnovljive izvore i visokoučinkovite kogeneracije“ iznosa 0,105 kn/kWh te također dodaje je se i PDV od 13%. Tako račun za radnu energiju više tarife iznosi:

$$C_{viša} = (3{,}0524 + 0{,}105) \cdot 1{,}13 = 3{,}567862\ kn/kWh \tag{6-1}$$

Dok račun za radnu energiju niže tarife iznosi:

$$C_{niža} = (1{,}7661 + 0{,}105) \cdot 1{,}13 = 2{,}114343\ kn/kWh \tag{6-2}$$

Cijena za prodaju električne energije u mrežu je također pretpostavljena zbog gore navedenog u iznosu 2,024325 kn/kWh [27]. Ta vrijednost dobiva se na osnovu modela „Kupac s vlastitom proizvodnjom“ kao srednja vrijednost cijene električne energije koje su prikazane slikom 6.6. bez troškova prijenosa i distribucije uz određeni koeficijent, pri niskoj i visokoj tarifi kao što je prikazano izrazom (6-3). Također pretpostavlja se da je kupac prilikom formiranja cijene potrošio jednaku količinu električne energije.

Commented [GK3]: Ovo nije baš točno. Vi ste izračunali srednju vrijednost između cijena. Stvarno se treba izračunati srednja vrijednost cijene na osnovu ukupnih troškova u nižoj i višoj tarifi. U vašem slučaju se pretpostavlja da potrošač ima jednaku potrošnju u višoj i nižoj tarifi.

Tarifne stavke nakon dva mjeseca korištenja zajamčene opskrbe

Tarifni modeli		Tarifne stavke za radnu energiju (kn/kWh)			Opskrbna naknada [kn/mjes.]
		EN_{JT}	EN_{VT}	EN_{NT}	
Visoki napon		–	3,0665	1,8038	35,0
Srednji napon		–	2,8993	1,7055	35,0
Niski napon	Crveni	–	2,8324	1,6661	35,0
	Bijeli	–	3,2512	1,9125	35,0
	Plavi	2,8240	–	–	35,0
	Žuti	2,2101	–	–	0,0

Slika 6. 6. Tarifne stavke svih tarifnih modela za kupnju/prodaju električne energije bez troškova prijenosa i distribucije [28]

$$C_{prodaje} = 0{,}9 \cdot \frac{2{,}8324 + 1{,}6661}{2} = 2{,}024325\ kn/kWh \quad (6\text{-}3)$$

6.4. Odabrano baterijsko električno vozilo – Tesla Model 3

Električno vozilo koje će se koristiti za izradu simulacije je Tesla Model 3, jer je to trenutno u svijetu automobil s najviše kupaca. U simulaciji neće biti samo jedno vozilo, već će se uzeti primjer s 20 istih vozila koji budu priključeni na punionice u kombinaciji fotonaponske elektrane i zajedničkog parkirališta zgrade. Specifikacije baterije i punjača i različite vrste punjenja nalaze se u tablici 6.1.:

Tablica 6. 1. Specifikacije vozila Tesla Model 3 te načini punjenja baterije [29]

Tesla Model 3 standard			
Tehnologija	Litij-ionska	**Punjač u vozilu**	Priključak Type 2 - 11 kW
Ukupan napon(V)	350	**Priključak za brzo punjenje**	CCS 100 kW
Kapacitet (kWh)	50		
• **Punjenje baterije – Rapid Supercharger od 120 kW (min)** 20min, 0-80%			
• **Punjenje baterije – Rapid 100 kW** 30min , 0-80%			
• **Punjenje baterije – Rapid 50 kW** 1h, 0-80%			
• **Punjenje baterije – Fast 22 kW** 5,5h, 0-100%			
• **Kabel za punjenje (vanjske punionice ili *wallbox* od 7,4 kW)** 8,5h, 0-100%, Kabel Mode 3/ T2-T			

6.5. Primjer punionice električnih vozila

U ovom simulacijskom modelu punjenje baterije biti će preko vanjskog punjača, wallbox quasar snage punjenja od 7,4 kW s 5 m dužine kabela, koji ima mogućnost punjenja i pražnjenja baterijskog spremnika električnog vozila u mrežu. Za ovu metodu punjenja uzima se također pretpostavljena vrijednost od η = 95% za učinkovitost punjenja i pražnjenja baterijskog spremnika električnog vozila.

Odabrani tip punionice na kojoj će se bazirati simulacije može se vidjeti na slici 6.6. te također njegove karakteristike mogu se vidjeti u tablici 6.2.

Slika 6. 7. Wallbox Quasar punionica za električna vozila [30]

Tablica 6. 2. Karakteristike wallbox quasar punionice za električna vozila [30]

Napajanje	1F + N + PE
Radni napon	AC230V ± 10% / 50Hz
Izlazna struja	6 – 32 A
Izlazni napon	AC230V ± 10% / 50Hz
Izlazna snaga	7,4 kW
Duljina kabela	5m
Dimenzije [mm]	350x350x150
Okolne radne temperature	-40°C - +50°C

6.6. Pisanje programskog koda u programu GAMS

U programskom jeziku GAMS izrađen je simulacijski model optimalnog korištenja baterijskih spremnika električnih vozila na zajedničkom parkiralištu zgrade s fotonaponskom elektranom.

Prema [31] GAMS je napredni sustav modeliranja za matematičko programiranje i optimizaciju. Sastoji se od jezičnog prevoditelja i niza povezanih prevoditelja (engl. *Compiler*). Programski jezik za modeliranje GAMS omogućuje programerima brzo prevođenje optimizacijskih problema iz stvarnog svijeta u računalni kod. GAMS jezični prevodilac zatim prevodi ovaj kod u format koji

rješavač (engl. *solver*) može razumjeti i riješiti. Ova arhitektura pruža veliku fleksibilnost, dopuštajući promjenu korištenog rješavača bez promjene formulacije modela.

6.7. Opis simulacijskih modela

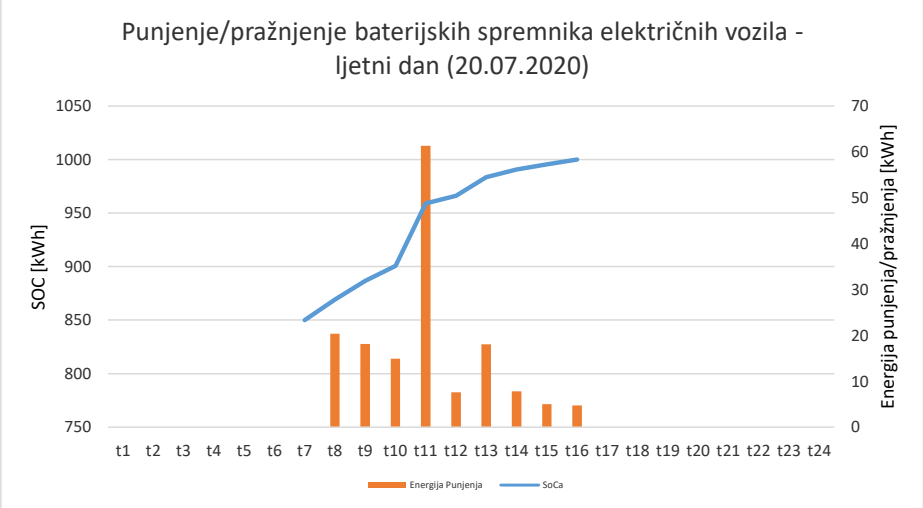
U simulacijskom modelu za sve slučajeve postojati će dva dijela od kojih će prvi dio promatrati optimizaciju baterijskih spremnika električnih vozila tijekom ljetnog dana, a drugi dio tijekom zimskog dana.

U prvom slučaju biti će zahtjev za određenom napunjenosti baterijskog spremnika u nekom trenutku tijekom dana, dok u drugom scenariju bude punjenje/pražnjenje baterijskog spremnika s zahtjevom da baterijski spremnici budu iste napunjenosti kada su se spojili na punionice. Treći slučaj promatrati će se optimalno punjenje/pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila gdje minimalna napunjenost samih spremnika neće smjeti pasti ispod zadane vrijednosti. Četvrti scenarij predstavlja referentni slučaj gdje nema priključenih automobila na punionicama već se samo promatra preuzeta/predana električna energija zgrade.

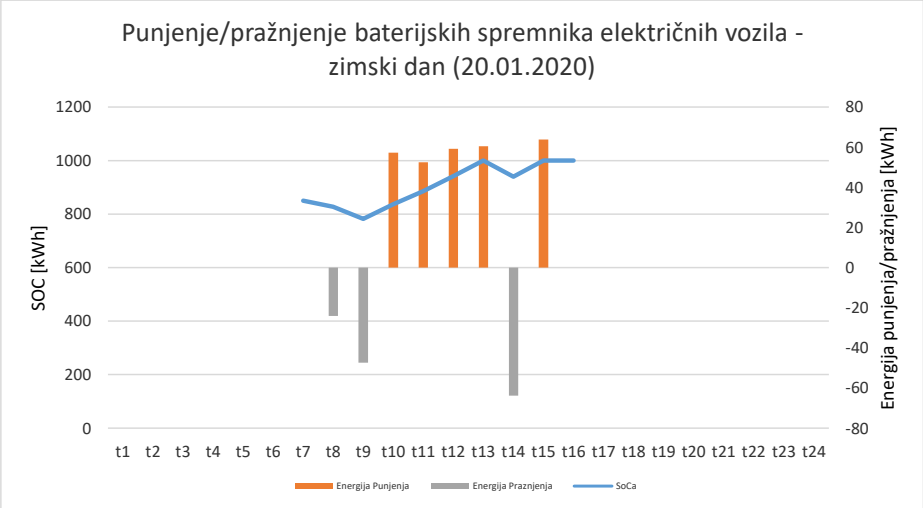
6.8. Scenarij 1: Zahtjev za SOC ≈ 100% u t =16h

U ovom scenariju promatra se slučaj kada bi vlasnici vozila punili vozila u svojim domovima preko noći, ali dolaskom na posao potroše vrlo mali postotak baterije što prosječno u trenutku kada se sva vozila nalaze na parkiralištu iznosi SOC = 85%. Također u ovom scenariju sva vozila budu prisutna tijekom cijelog radnog vremena od 8 do 16 h. Promatrati će se optimalan slučaj punjena i pražnjenja baterijskih spremnika prisutnih vozila, kako bi se ostvarili minimalni troškovi kupnje/prodaje električne energije, u scenariju također će se obratiti pozornost na više i niže tarife za ljetno i zimsko razdoblje. Ovom simulacijskom modelu zadan je uvjet da na kraju radnog vremena sva vozila budu napunjena do maksimuma, to jest da je SOC ~ 100% u periodu t = 16 h. Učinkovitost punjenja/pražnjenja iznosi η = 95%, dok maksimalna snaga punjenja iznosi P_{ch_t}= 7,4 kW za svako vozilo posebno što ukupno za sva vozila snaga maksimalna snaga iznosi P_{ch_t}= 148 kW.

Na slici 6.6. i slici 6.7. može se vidjeti za ljetni i zimski dan respektivno u kojim trenutcima kada su vozila prisutna se vrši punjenje baterijskih spremnika, to jest kada se vozila ponašaju kao trošila električne energije, a također može se vidjeti i kada se vrši pražnjenje spremnika u trenutcima kada se vozila ponašaju kao izvor električne energije.



Slika 6. 8. Optimalno punjenje/pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila na ljetni dan



Slika 6. 9. Optimalno punjenje/pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila na zimski dan

Iz grafikona (slika 6.7. i slika 6.8.) može se uočiti kako tijekom ljetnog dana punjenje baterijskih spremnika se odvija tijekom cijelog vremena kada su vozila prisutna, dok u tijeku zime punjenje se odvija u većini vremena odnosno u 5 od 8 sati dok su vozila prisutna.

U tablici 6.3. može se vidjeti koliko iznose optimalni troškovi punjenja/pražnjenja baterijskih spremnika vozila. Prema samoj tablici vidi se kako je slučaj u ljetnom danu mnogo povoljniji što je i logično jer tada je veća proizvodnja u fotonaponskoj elektrani, a također je i manja potrošnja same zgrade.

U djelu izračuna troškova za ljetni dan može se primijetiti kako je tablica slabije popunjena u vremenskom intervalu kada su vozila prisutna na punionicama, razlog tome je što je proizvodnja elektrane na zgradi vrlo velika, dok je potrošnja vrlo mala, što znači da sav višak energije koji se generira iz elektrane se troši na punjenje vozila ili se prodaje u mrežu, kupljena energija tek dolazi do izražaja kada sunce zalazi i tada proizvodnja elektrane zgrade vrlo mala, a energija za pokriće punjenja i potrošnje zgrade se tada uzima iz mreže. U stupcu kupljene energije za zimski dan može se primjeriti kako su vrijednosti kupljene energije za vrijeme vremenskog intervala kada su vozila prisutna vrlo visoke, to jest dolaze do gornje granice od 120 kW kako bi se pokrila veća potrošnja zgrade, a i u isto vrijeme punili baterijski spremnici električnih vozila. Također može se primijetiti kako tijekom zimskog dana nema prodane energije u mrežu jer proizvodnja elektrane zgrade je niska i ne može pokriti visoku potrošnju i punjenje baterijskih spremnika.

Iz prethodno navedene tablice također se može vidjeti izračunat ukupni trošak koji za ljetni dan iznosi 854,07 kn, dok za zimski dan iznosi 3411,80 kn.

Tablica 6. 3. Kupljena/prodana električna energija za scenarij 1

	Ljetni dan (20.07.2020)				Zimski dan (20.01.2020)			
	Kupljena el.en. [kWh]	Prodana el.en. [kWh]	Trošak kupljene el.en. [kn]	Prihod od prodane el.en. [kn]	Kupljena el.en. [kWh]	Prodana el.en. [kWh]	Trošak kupljene el.en. [kn]	Prihod od prodane el.en. [kn]
t1	16,84		35,61	0,00	16,81		35,54	0,00
t2	17,22		36,41	0,00	19,64		41,53	0,00
t3	17,05		36,05	0,00	16,54		34,97	0,00
t4	17,09		36,13	0,00	17,01		35,96	0,00
t5	16,47		34,82	0,00	16,35		34,57	0,00
t6	11,30		23,89	0,00	15,89		33,60	0,00
t7		0,43	0,00	0,87	21,05		75,10	0,00
t8			0,00	0,00	8,55		30,51	0,00
t9			0,00	0,00			0,00	0,00
t10			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t11	44,62		159,20	0,00	120,00		428,14	0,00
t12			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t13			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t14			0,00	0,00	1,30		4,64	0,00
t15			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t16			0,00	0,00	55,41		197,70	0,00
t17	5,48		19,55	0,00	48,56		173,26	0,00
t18	21,91		78,17	0,00	40,94		146,07	0,00
t19	22,27		79,46	0,00	36,60		130,58	0,00
t20	22,94		81,85	0,00	33,22		118,52	0,00
t21	19,64		70,07	0,00	20,15		71,89	0,00
t22	23,78		84,84	0,00	17,08		36,11	0,00
t23	20,47		43,28	0,00	16,55		34,99	0,00
t24	16,84		35,61	0,00	16,81		35,54	0,00
∑ (C)			854,94	0,87			3411,80	0,00
∑			854,07				3411,80	

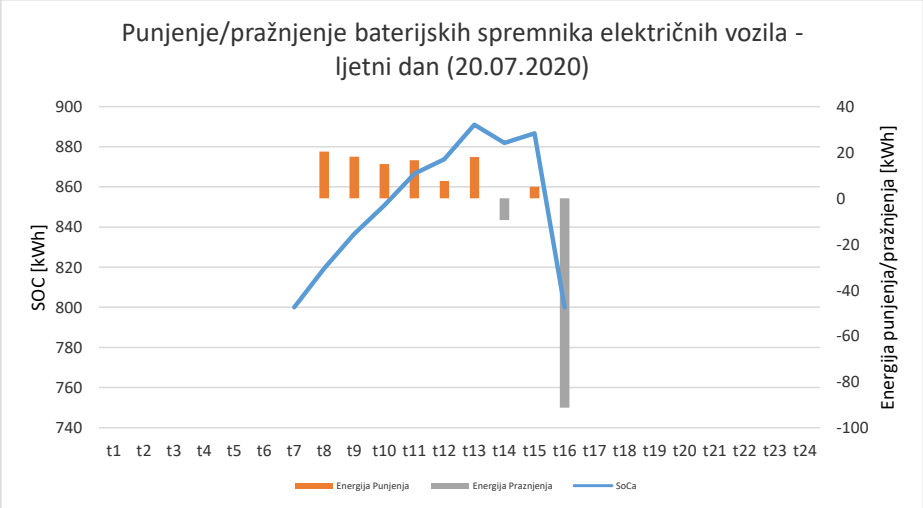
Commented [GK4]: Prihod od prodane el.en. Isto kao prethodni komentar.

(UT)

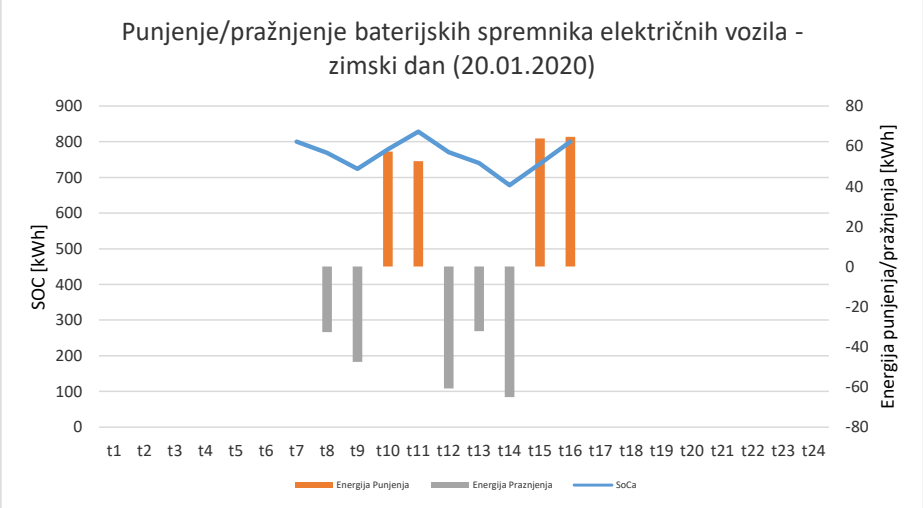
6.9. Scenarij 2: Punjenje/pražnjenje baterijskih spremnika s zahtjevom SOC (t=16h) = SOC (t=8h)

U ovom scenariju promatrati će se vrlo sličan slučaj kao u prethodnom scenariju, što znači da sva vozila opet imaju visoku napunjenost baterije, to jest u ovom slučaju imati će SOC = 80%. Također kao i u prethodnom scenariju svi 20 vozila bude prisutno od 8 do 16 h, to jest sva su vozila prisutna tokom cijelog radnog vremena.

Promatra se slučaj optimalnog korištenja baterijskog spremnika električnih vozila kako bi se ostvarili što manji troškovi pri kupnji/prodaji električne energije. U ovom simulacijskom modelu zadan je uvjet da na kraju radnog vremena sva vozila budu napunjena do iste razine koju su imala i kada su tek se u jutarnjim satima spojili na punjač, to jest da je SOC ~ 80% u periodu t = 16 h. Maksimalna snaga punjenja/pražnjenja i učinkovitost također su kao u prošlom scenariju iznosi P_{ch_t}= 148 kW (P_{ch_t}= 7,4 kW za svako vozilo posebno) i η = 95% .



Slika 6. 10. Optimalno punjenje/pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila na ljetni dan



Slika 6. 11. Optimalno punjenje/pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila na zimski dan

Iz grafikona (slika 6.9. i slika 6.10.) može se uočiti kako tijekom ljetnog dana punjenje baterijskih spremnika se odvija uglavnom tijekom cijelog radnog vremena kada su vozila prisutna osim u zadnjim satima kada se vrši pražnjenje baterijskih spremnika kako bi se zadovoljio unaprijed postavljen uvjet, dok u tijeku zime punjenje/ pražnjenje se odvija nasumično svaka 2 sata.

U tablici 6.4. može se vidjeti koliko iznose optimalni troškovi punjenja/pražnjenja baterijskih spremnika vozila. Prema samoj tablici vidi se kako je slučaj u ljetnom danu mnogo povoljniji što je i logično jer tada je veća proizvodnja u fotonaponskoj elektrani zgrade, a također je i manja potrošnja same zgrade.

Također u djelu tablice za zimski dan može se primijetiti kako kupljena energija doseže granicu od 120 kW, razlog tome je što sama proizvodnja je vrlo mala iz fotonaponske elektrane, a potrošnja zgrade je vrlo velika te u tim satima se vrši punjenje baterijskih spremnika.

Iz prethodno navedene tablice također se može vidjeti izračunat ukupni trošak koji za ljetni dan iznosi 465,58 kn, dok za zimski dan iznosi 2848,44 kn.

Tablica 6. 4. Kupljena/prodana električna energija za scenarij 2

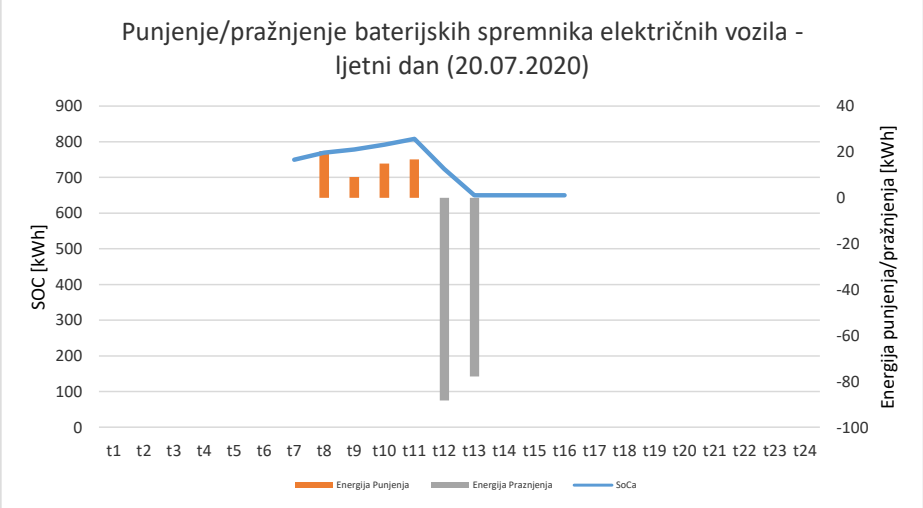
	Ljetni dan (20.07.2020)	Zimski dan (20.01.2020)

	Kupljena el.en. [kWh]	Prodana el.en. [kWh]	Trošak kupljene el.en. [kn]	Prihod od prodane el.en. [kn]	Kupljena el.en. [kWh]	Prodana el.en. [kWh]	Trošak kupljene el.en. [kn]	Prihod od prodane el.en. [kn]
t1	16,84		35,61	0,00	16,81		35,54	0,00
t2	17,22		36,41	0,00	19,64		41,53	0,00
t3	17,05		36,05	0,00	16,54		34,97	0,00
t4	17,09		36,13	0,00	17,01		35,96	0,00
t5	16,47		34,82	0,00	16,35		34,57	0,00
t6	11,30		23,89	0,00	15,89		33,60	0,00
t7		0,43	0,00	0,87	21,05		75,10	0,00
t8			0,00	0,00			0,00	0,00
t9			0,00	0,00			0,00	0,00
t10			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t11			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t12			0,00	0,00			0,00	0,00
t13			0,00	0,00	27,36		97,63	0,00
t14		17,27	0,00	34,96			0,00	0,00
t15			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t16		96,00	0,00	194,34	120,00		428,14	0,00
t17	5,48		19,55	0,00	48,56		173,26	0,00
t18	21,91		78,17	0,00	40,94		146,07	0,00
t19	22,27		79,46	0,00	36,60		130,58	0,00
t20	22,94		81,85	0,00	33,22		118,52	0,00
t21	19,64		70,07	0,00	20,15		71,89	0,00
t22	23,78		84,84	0,00	17,08		36,11	0,00
t23	20,47		43,28	0,00	16,55		34,99	0,00
t24	16,84		35,61	0,00	16,81		35,54	0,00
∑ (C)			695,74	230,17			2848,44	0,00
∑ (UT)			465,58				2848,44	

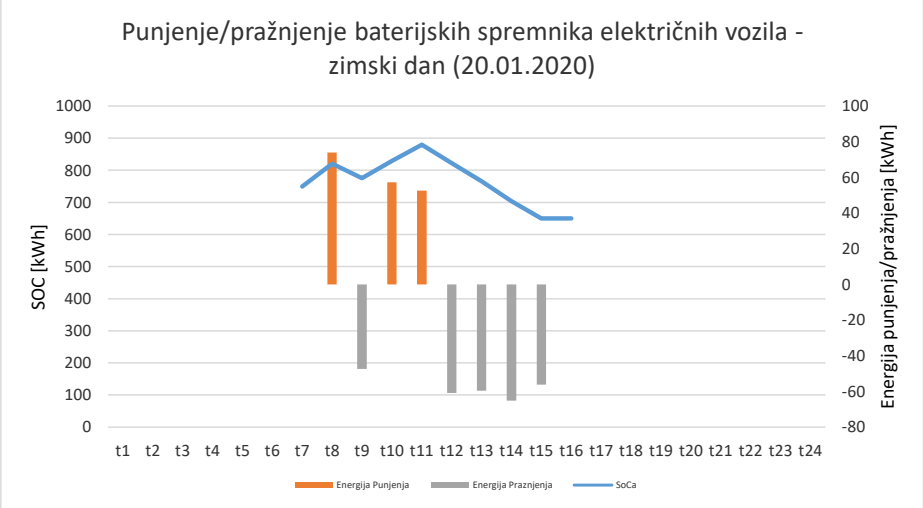
6.10. Scenarij 3: Punjenje/pražnjenje spremnika, uz uvjet da minimalna napunjenost ne smije pasti ispod SOC ≈ 65%.

U ovom scenariju promatrati slučaj da sva vozila u trenutku spajanja na punionicu opet imaju visoku napunjenost baterije, to jest u ovom slučaju imati će SOC = 75%. Također kao i u prethodna dva scenarija vozila će biti prisutna od 8h do 16h.

Promatra se slučaj optimalnog korištenja baterijskog spremnika električnih vozila kako bi se ostvarili što manji troškovi pri kupnji/prodaji električne energije. U ovom simulacijskom modelu zadan je uvjet da tijekom cijelog radnog vremena razina napunjenosti baterijskih spremnika ne padne ispod vrijednosti od SOC ~ 65%. Maksimalna snaga punjenja/pražnjenja i učinkovitost također su kao u prethodna dva scenarija iznosi P_{ch_t}= 148 kW (P_{ch_t}= 7,4 kW za svako vozilo posebno) i η = 95%.



Slika 6. 12.Optimalno punjenje i pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila na ljetni dan



Slika 6. 13. Optimalno punjenje i pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila na zimski dan

Na slikama 6.11. i 6.12. mogu se vidjeti intervali u kojima se vrši punjenje odnosno pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila za ljetni dan i za zimski dan respektivno.

U tablici 6.5. može se vidjeti koliko iznose optimalni troškovi punjenja/pražnjenja baterijskih spremnika vozila. Prema samoj tablici vidi se kako je slučaj u ljetnom danu mnogo povoljniji što je i logično jer tada je veća proizvodnja u fotonaponskoj elektrani, a također je i manja potrošnja same zgrade.

Također u tablici može se primijetiti kako se u početnim satima za oba dana pune baterijski spremnici, a kasnije se onda prazne kako bi početni uvjet bio zadovoljen. U ljetnom danu punjenje spremnika se odvija dosta sporije jer se punjenje vrši električnom energijom proizvedenom u fotonaponskoj elektrani, a pošto u tim trenutcima je proizvodnja dovoljno visoka da pokrije potrošnju, ostatak proizvedene energije se direktno koristi za punjenje spremnika.

Iz prethodno navedene tablice također se može vidjeti izračunat ukupni trošak koji za ljetni dan iznosi 252,48 kn, dok za zimski dan iznosi 2472,88 kn.

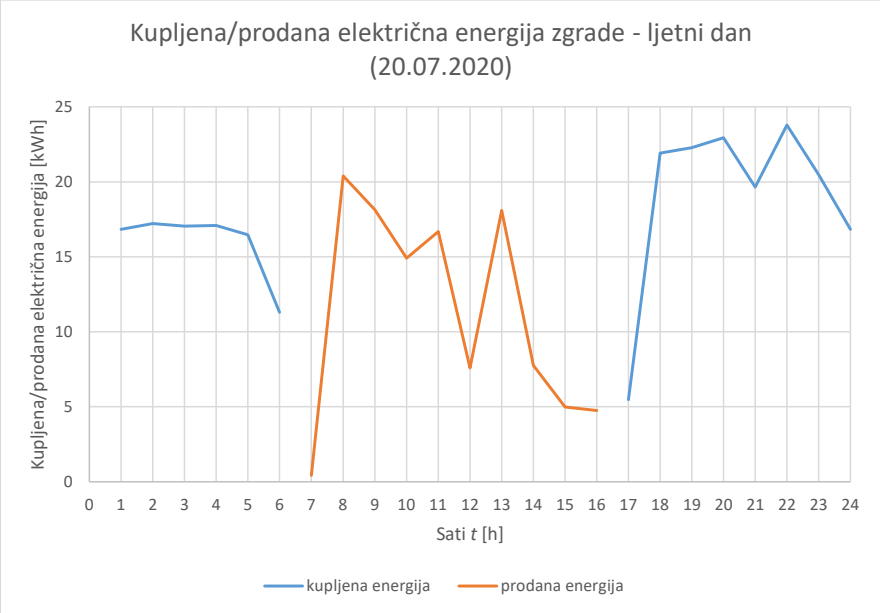
Tablica 6. 5. Kupljena/prodana električna energija za scenarij 3

	Ljetni dan (20.07.2020)				Zimski dan (20.01.2020)			
	Kupljena el.en. [kWh]	Prodana el.en. [kWh]	Trošak kupljene el.en. [kn]	Prihod od prodane el.en. [kn]	Kupljena el.en. [kWh]	Prodana el.en. [kWh]	Trošak kupljene el.en. [kn]	Prihod od prodane el.en. [kn]
t1	16,84		35,61	0,00	16,81		35,54	0,00
t2	17,22		36,41	0,00	19,64		41,53	0,00
t3	17,05		36,05	0,00	16,54		34,97	0,00
t4	17,09		36,13	0,00	17,01		35,96	0,00
t5	16,47		34,82	0,00	16,35		34,57	0,00
t6	11,30		23,89	0,00	15,89		33,60	0,00
t7		0,43	0,00	0,87	21,05		75,10	0,00
t8			0,00	0,00	106,69		380,66	0,00
t9		9,05	0,00	18,32			0,00	0,00
t10			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t11			0,00	0,00	120,00		428,14	0,00
t12		96,00	0,00	194,34			0,00	0,00
t13		96,00	0,00	194,34			0,00	0,00
t14		7,77	0,00	15,73			0,00	0,00
t15		4,98	0,00	10,08			0,00	0,00
t16		4,74	0,00	9,60	55,41		197,70	0,00
t17	5,48		19,55	0,00	48,56		173,26	0,00
t18	21,91		78,17	0,00	40,94		146,07	0,00
t19	22,27		79,46	0,00	36,60		130,58	0,00
t20	22,94		81,85	0,00	33,22		118,52	0,00
t21	19,64		70,07	0,00	20,15		71,89	0,00
t22	23,78		84,84	0,00	17,08		36,11	0,00
t23	20,47		43,28	0,00	16,55		34,99	0,00
t24	16,84		35,61	0,00	16,81		35,54	0,00
∑ (C)			695,74	443,27			2472,88	0,00
∑			252,48				2472,88	

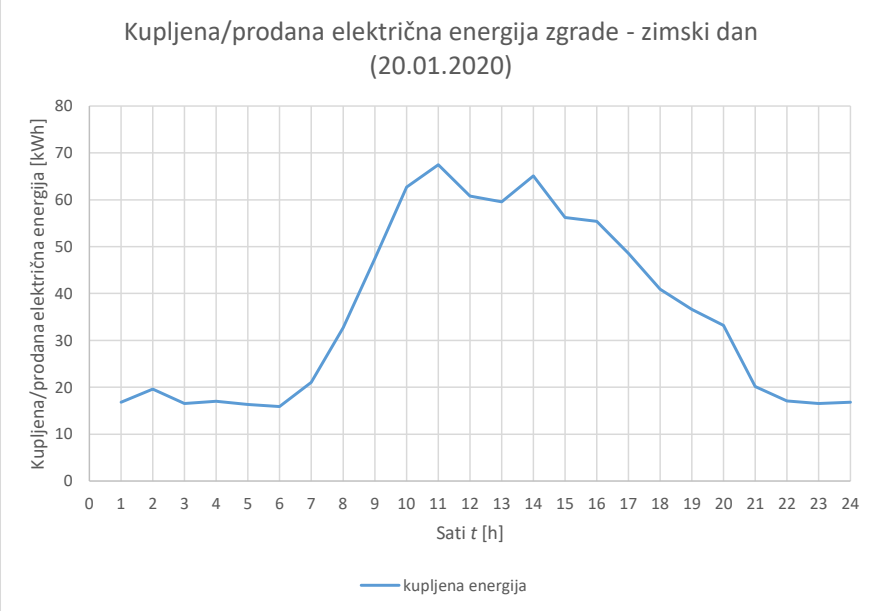
(UT)

6.11. Scenarij 4: Proizvodnja/potrošnja električne energije zgrade bez priključenih električnih vozila na punionice

U ovom scenariju promatra se slučaj kada na parkiralištu nije parkirano niti jedno vozilo, te se samo kupnja i prodaja električne energije zgrade.



Slika 6. 14. Kupljena/prodana električna energija zgrade u ljetnom danu bez priključenih električnih vozila



Slika 6. 15. Kupljena/prodana električna energija zgrade u zimskom danu bez priključenih električnih vozila

Iz grafikona (slika 6.13. i slika 6.14.) može se vidjeti kako u ljetnom danu proizvodnja električne energije iz fotonaponske elektrane je dovoljno visoka te pokriva svu potrošnju zgrade te još ostaje višak proizvodnje koji se predaje u mrežu, također može se primijetiti za zimski dan kako je proizvodnja iz elektrane vrlo mala, a potrošnja zgrade velika što dovodi do kupnje velike količine električne energije iz mreže.

Prema podatcima iz tablice 6.6. može se vidjeti kako su troškovi za scenarij kada nema priključenih automobila na punionicama za ljetni da iznose 465,56 kn, dok za zimski dan iznose 2848,51 kn.

Podatci iz tablice 6.6. mogu se usporediti sa sva tri prethodna scenarija kako priključenje električnih vozila utječe na same troškove zgrade. Usporedbom prvog i četvrtog scenarija može se primijetiti kako da bi se ispunio uvjet u prvom scenariju SOC (t=16 h) = 100% mora se koristiti više električne energije nego u referentnom slučaju što se može vidjeti i na samim iznosima troškova.

Usporedbom drugog i četvrtog scenarija može se vidjeti kako troškovi su jednaki u oba scenarija što govori da ako se vozila koriste kao privremeni spremnici električne energije u nekom

vremenskom intervalu tada ukupni troškovi zgrade neće odstupati od referentnog slučaja kada nema automobila na punionicama.

Usporedbom treće i četvrtog scenarija dolazi se do zaključka da ako postoji uvjet za vozila da ne smiju imati manju napunjenost od određene vrijednosti, ta ista vozila se tada mogu dodatno iskoristiti kao izvor električne energije kada je sustavu to potrebno te tako smanjiti troškove zgrade, a vozila se mogu puniti, ako postoji višak energije u sustavu koji se negdje treba iskoristiti.

Tablica 6. 6. Kupljena/prodana električna energija za scenarij 4

	Ljetni dan (20.07.2020)				Zimski dan (20.01.2020)			
	Kupljena el.en. [kWh]	Prodana el.en. [kWh]	Cijena kupljene el.en. [kn]	Cijena prodane el.en. [kn]	Kupljena el.en. [kWh]	Prodana el.en. [kWh]	Cijena kupljene el.en. [kn]	Cijena prodane el.en. [kn]
t1	16,84		35,61	0,00	16,81		35,54	0,00
t2	17,22		36,41	0,00	19,64		41,53	0,00
t3	17,05		36,05	0,00	16,54		34,97	0,00
t4	17,09		36,13	0,00	17,01		35,96	0,00
t5	16,47		34,82	0,00	16,35		34,57	0,00
t6	11,30		23,89	0,00	15,89		33,60	0,00
t7		0,43	0,00	0,87	21,05		75,10	0,00
t8		20,39	0,00	41,28	32,72		116,74	0,00
t9		18,14	0,00	36,72	47,44		169,26	0,00
t10		14,90	0,00	30,16	62,70		223,70	0,00
t11		16,69	0,00	33,79	67,47		240,72	0,00
t12		7,59	0,00	15,36	60,78		216,85	0,00
t13		18,08	0,00	36,60	59,56		212,50	0,00
t14		7,77	0,00	15,73	65,10		232,27	0,00
t15		4,98	0,00	10,08	56,20		200,51	0,00
t16		4,74	0,00	9,60	55,41		197,70	0,00
t17	5,48		19,55	0,00	48,56		173,26	0,00
t18	21,91		78,17	0,00	40,94		146,07	0,00
t19	22,27		79,46	0,00	36,60		130,58	0,00
t20	22,94		81,85	0,00	33,22		118,52	0,00
t21	19,64		70,07	0,00	20,15		71,89	0,00
t22	23,78		84,84	0,00	17,08		36,11	0,00
t23	20,47		43,28	0,00	16,55		34,99	0,00
t24	16,84		35,61	0,00	16,81		35,54	0,00
Σ (C)			695,74	230,19			2848,51	0,00
Σ (UT)			465,56				2848,51	

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad prikazuje optimizacijski model punjenja i pražnjenja baterijskog spremnika više vozila na zajedničkom parkingu s fotonaponskom elektranom pri tržišnim uvjetima s ciljem minimizacije troškova el. energije za promatranu zgradu. Kako bi se prikazala valjanost izrade efikasnog plana optimizacijskog punjenja i pražnjenja baterijskog spremnika, sam model prikazuje u nekoliko slučajeva, to jest scenarija. Rezultati rada prikazuju pozitivan utjecaj fotonaponske elektrane na troškove zgrade gdje postoji i zajedničko parkiralište s punionicama za električna vozila.

Prvi scenarij prikazuje optimalno korištenje baterijskih spremnika električnih vozila sa što manjim troškovima kupnje/prodaje električne energije kada postoji uvjet da pri isključenju vozila imaju punu napunjenost svojih baterijskih spremnika.

U drugom scenariju prikazano je optimalno punjenje/pražnjenje baterijskih spremnika električnih vozila uz što manje troškove te uz postavljen uvjet da vozila u trenutku priključka i isključenja s punionica imaju jednaku napunjenost baterijskih spremnika.

Trećim scenarijem prikazano je optimalno korištenje baterijskih spremnika električnih vozila uz uvjet da napunjenost samih spremnika ne padne ispod neke unaprijed određene vrijednosti te također uz što manje troškove promatrane zgrade.

Četvrti scenarij predstavlja usporedni scenarij gdje električna vozila nisu priključena na punionice tijekom cijelog dana već se samo promatra kupnja/prodaja električne energije u uvjetima da promatrana zgrada nema parkiralište s punionicama već samo vlastitu fotonaponsku elektranu, također uspoređeni su troškovi ovog scenarija s prethodnima kako bi se vidio utjecaj priključenja više električnih vozila u sustav.

SAŽETAK

Svrha ovog rada je izraditi model za optimizaciju punjenja, odnosno pražnjenja baterijskog spremnika više električnih vozila, na primjeru zgrade na čijem je krovu ugrađena fotonaponska elektrana i koja ima zajedničko parkiralište na kojem se sama vozila spajaju na punionice.

Postavljena je teorijska osnova za moderna električna vozila dostupna na tržištu. Navedene su i objašnjene glavne tehnologije, fotonaponskih modula te sami fotonaponski sustavi.

Postavljena je funkcija cilja za minimizaciju troškova električne energije zgrade te je izrađen računalni model u programu GAMS za optimizaciju korištenja baterija električnih vozila. Nakon primjene optimiziranog modela na različite scenarije, prikazani su rezultati simulacije, konačni troškovi i komentari za svaki scenarij.

Ključne riječi: električna vozila, fotonaponski sustavi, baterijski spremnik, optimizacija, tržište

ABSTRACT

The purpose of this work is to create a model for optimizing the charging and discharging of the battery tank of several electric vehicles, using the example of a building on the roof of which a photovoltaic power plant is installed and which has a common parking lot where the vehicles themselves are connected to charging stations.

The theoretical basis for modern electric vehicles available on the market has been laid. The main technologies of photovoltaic modules and the photovoltaic systems themselves are listed and explained.

An objective function was set to limit building costs, and a computer model was created in the GAMS program to optimize the use of electric vehicle batteries. After applying the optimized model to different scenarios, simulation results, final costs and comments for each scenario are presented.

Key words: electrical vehicles, photovoltic systems, battery tank, optimization, market

LITERATURA

[1] German advisory council on global change (WBGU), „World in transition:A social contract for sustainability.“, Berlin, 2011. Pristupljeno: veljača 14, 2022.. Dostupno na: https://www.wbgu.de/en/publications/publication/world-in-transition-a-social-contract-for-sustainability [pristupljeno 14.02.2022]

[2] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, i J. M. Marquez-Barja, „A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges“, *Smart Cities*, sv. 4, izd. 1, str. 372–404, 2021, dostupno na: https://pdfs.semanticscholar.org/59c4/9d38b703b01346865ad3fd11dfc5d6b6936e.pdf [pristupljeno 14.02.2022]

[3] Husain Iqbal, *Electric and Hybrid Vehicles*, 2. izd. CRC Press, 2010.

[4] Eversafe, „Literature scan of vehicle batteries “. dostupno na: http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1367933/FULLTEXT02.pdf [pristupljeno 05.05.2022]

[5] M. Irfan, R. Deshmukh, M. S. Teja, i P. Joshi, „Electric vehicle technology: The transformation of conventional vehicle-based travel to an electric mobility in urban India“, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, sv. 981, str. 042068, prosinac. 2020, dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/347365412_Electric_vehicle_technology_The_transformation_of_conventional_vehicle-based_travel_to_an_electric_mobility_in_urban_India [pristupljeno 05.05.2022]

[6] Tahir, T. Zarma, A. Galadima, i A. Maruf, *A Review of Motors for Electric Vehicles*. 2019. dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/334285900_A_Review_of_Motors_for_Electric_Vehicles [pristupljeno 05.05.2022]

[7] R. Bansal i R. Prasad, „Photovoltaic Systems“, siječanj 2011, dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/46279888_Photovoltaic_Systems [pristupljeno 05.05.2022]

[8] T. Chandel, *Oxidation: A dominant source for reduced efficiency of silicon solar photovoltaic modules*. 2020. dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/339525282_Oxidation_A_dominant_source_for_reduced_efficiency_of_silicon_solar_photovoltaic_modules [pristupljeno 05.05.2022]

[9] M. Jamil, M. Rizwan, i D. P. Kothari, *Grid Integration of Solar Photovoltaic Systems*. 2017.

[10] A. Attia, A. Hanbali, H. Saleh, O. Alsawafy, A. Ghaithan, i A. Mohammed, „A Multi-Objective Optimization Model for Sizing Decisions of a Grid-Connected Photovoltaic System“, *Energy*, sv. 229, str. 120730, svibanj 2021, dostupno na: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221009786 [pristupljeno 05.05.2022]

[11] S. Merrington, R. Khezri, i A. Mahmoudi, „Optimal planning of solar photovoltaic and battery storage for electric vehicle owner households with time-of-use tariff“, *IET Generation, Transmission & Distribution*, veljača 2022 dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/354796598_Optimal_planning_of_solar_photovoltaic_and_battery_storage_for_electric_vehicle_owner_households_with_time-of-use_tariff [pristupljeno 13.05.2022]

[12] S. Bjarghov, M. Korpås, i S. Zaferanlouei, *Value comparison of EV and house batteries at end-user level under different grid tariffs*. 2018. doi: 10.1109/ENERGYCON.2018.8398742. dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/326051302_Value_comparison_of_EV_and_house_batteries_at_end-user_level_under_different_grid_tariffs [pristupljeno 13.05.2022]

[13] N. Radić, „Optimalno korištenje stacionarnog spremnika energije u sustavu s fotonaponskom elektranom i električnim vozilom“, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2021.

[14] M. Stanić, „Optimalno korištenje baterijskog spremnika električnog vozila u tržišnim uvjetima“, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2021.

[15] M. Nikowitz, *Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration*. Springer International Publishing, 2016.

[16] J.-M. Tarascon i M. Armand, „Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries“, *Nature*, sv. 414, izd. 6861, str. 359–367, 2001, doi: 10.1038/35104644. dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/11640856_Issues_and_Challenges_Facing_Rechargeable_Lithium_Batteries [pristupljeno 02.05.2022]

[17] Anne White, „12 Bestselling Electric Vehicles of 2021“. dostupno na: https://www.caranddriver.com/features/g36278968/best-selling-evs-of-2021/ [pristupljeno 03.05.2022]

[18] Tesla, „Tesla Model Y“, 2022. dostupno na: https://www.tesla.com/hr_hr/modely [pristupljeno 03.05.2022]

[19] Muneer Mujahed Lyati, „Hybrid Electric Vehicles (HEV): classification, configuration, and vehicle control“, *Journal of SA Electronics*, dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/348549061_Hybrid_Electric_Vehicles_HEV_classification_configuration_and_vehicle_control [pristupljeno 13.05.2022]

[20] Y. Yang, W. Jiang, i P. Suntharalingam, „Plug-In Hybrid Electric Vehicles“, 2014, str. 465–490. doi: 10.1201/b17506-15. dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/289739564_Plug-In_Hybrid_Electric_Vehicles [pristupljeno 13.05.2022]

[21] D. E. Perkins, L. R. Gantt, R. J. Alley, i D. J. Nelson, „An assessment of accessory loads in a hybrid electric vehicle“, u *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2011, str. 1–6. doi: 10.1109/VPPC.2011.6043045. dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/224262243_An_assessment_of_accessory_loads_in_a_hybrid_electric_vehicle [pristupljeno 13.05.2022]

[22] I.-S. Sorlei *i ostali*, „Fuel Cell Electric Vehicles—A Brief Review of Current Topologies and Energy Management Strategies“, *Energies (Basel)*, sv. 14, str. 252, sij. 2021, doi: 10.3390/en14010252. dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/348267713_Fuel_Cell_Electric_Vehicles-A_Brief_Review_of_Current_Topologies_and_Energy_Management_Strategies [pristupljeno 14.05.2022]

[23] Juan Felipe Munoz, „The Hydrogen Powered Car Is Alive: Sales Up By 84 Percent In 2021“, dostupno na: https://www.motor1.com/news/574229/hydrogen-powered-car-alive-sales-up-84-percent/ [pristupljeno 14.05.2022]

[24] K. Sarah, „A Review of Solar Photovoltaic Technologies“, *International Journal of Engineering Research and*, sv. V9, srp. 2020, doi: 10.17577/IJERTV9IS070244. dostupno na:

https://www.researchgate.net/publication/343101798_A_Review_of_Solar_Photovoltaic_Technologies [pristupljeno 30.06.2022]

[25] Lj. Majdandžić, „Fotonaponski sustavi“, Zagreb. Dostupno na: https://pdfslide.net/download/link/fotonaponski-sustavi-ljubomir-majdandzic [pristupljeno 06.09.2022]

[26] T. D. Šljivac D., *Obnovljivi izvori električne energije*. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, 2018.

[27] HEP - Hrvatska elektroprivreda, „službena stranica“, 2022. dostupno na: https://www.hep.hr/ [pristupljeno 29.06.2022]

[28] Hrvatska Energetska Regulatorna Agencija (HERA), „Odluka o iznosu tarifnih stavki za zajamčenu opskrbu električnom energijom“, Narodne novine, NN 61/2022, dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_06_61_885.html [pristupljeno 10.09.2022]

[29] Chris Lilly, „Tesla Model 3 charging guide“, dostupno na: https://www.zap-map.com/ [pristupljeno 16.06.2022]

[30] Wallbox, „Wallbox catalog - quasar dc charger“, 2022., dostupno na: https://wallbox.com/en_catalog/quasar-dc-charger [pristupljeno 10.09.2022]

[31] GAMS, „The General Algebraic Modeling System“., dostupno na: https://www.gams.com/ [pristupljeno 26.06.2022]

ŽIVOTOPIS

Martin Pleskalt rođen je 17. veljače 1998. u Bjelovaru, gdje također odrasta i završava osnovu školu u III. Osnovnoj školi Bjelovar te završava srednju školu 2017. godine u Tehničkoj školi Bjelovar smjer elektrotehničar s vrlo dobrim uspjehom te upisuje sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Preddiplomski studij završava 2020. godine i stječe naziv univ. bacc. ing te upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika, modul održiva energetika.

_____
Potpis autora