

TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA ENERGIJE I ENERGETSKA UČINKOVITOST: OSVRT NA NJIHOVU ULOGU U FUNKCIJI MOBILNOSTI I ODRŽIVOG RAZVOJA / ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES AND ENERGY EFFICIENCY: A REVIEW OF THEIR ROLE IN MOBILITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Medina Mehic¹

¹Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Fakultet politehničkih nauka Travnik,
Aleja Konzula – Meljanac bb, Bosna i Hercegovina
e-mail: medinamehic78@gmail.com

Pregledni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20261501292>

UDK / UDC 620.9:656:502.131.1

Sažetak

Tehnologije skladištenja energije i energetska učinkovitost su ključne komponente modernih elektroenergetskih sistema, jer doprinose optimalnom korištenju resursa, smanjenju gubitaka i podršci održivom razvoju. Cilj rada je analiza savremenih metoda skladištenja energije i njihove uloge u poboljšanju energetske učinkovitosti, s posebnim fokusom na mobilnost i održivost. U radu je izvršena komparativna studija postojećih tehnologija kao što su baterijski sistemi, superkondenzatori i termalno skladištenje. Rezultati istraživanja teme pokazuju da integracija naprednih tehnologija za skladištenje energije može značajno smanjiti energetske gubitke, povećati autonomiju električnih vozila i doprinijeti smanjenju emisije štetnih gasova. Tehnologije skladištenja energije podržavaju fleksibilnost mreže i omogućavaju bolje upravljanje obnovljivim izvorima energije. Značaj ovih rezultata ogleda se u njihovom doprinosu održivom razvoju, smanjenju zavisnosti od fosilnih goriva i unapređenju ekološke i energetske održivosti transporta i industrije.

Ključne riječi: tehnologije skladištenja energije, energetska učinkovitost, mobilnost, održivi razvoj

JEL klasifikacija: L94, R48, Q42, Q48, Q55

Abstract

Energy storage technologies and energy efficiency are key components of modern power systems, as they contribute to optimal resource utilization, reduction of losses and support for sustainable development. The aim of the paper is to analyze modern energy storage methods and their role in improving energy efficiency, with a special focus on mobility and sustainability. In the paper, a comparative study of existing technologies such as battery systems, supercapacitors and thermal storage was performed. The results of the research on the topic show that the integration of advanced energy storage technologies can significantly reduce energy losses, increase the autonomy of electric vehicles and contribute to the reduction of harmful gas emissions. Energy storage technologies support grid flexibility and enable better management of renewable energy sources. The significance of these results is reflected in their contribution to sustainable development, reducing dependence on fossil fuels, and improving the environmental and energy sustainability of transport and industry.

Keywords: energy storage technologies, energy efficiency, mobility, sustainable development
JEL classification: L94, R48, Q42, Q48, Q55

UVOD

Savremeni elektroenergetski sistemi se nalaze pred velikim izazovima koji su uslovljeni sa rastućim globalnim potražnjama za energijom, ograničenošću fosilnih goriva i sve izraženijim posljedicama klimatskih promjena. Prelazak na održive izvore energije postaje jedan od ključnih prioriteta na globalnom nivou. Obnovljivi izvori energije, poput solarne i vjetroenergije, postavljaju se kao značajan potencijal za smanjenje emisije štetnih gasova i očuvanje životne sredine, ali njihova prirodna varijabilnost i nepredvidivost proizvodnje postavljaju potrebu za razvojem efikasnih rješenja za upravljanje energijom. Zbog toga, tehnologije skladištenja energije zauzimaju glavno mjesto u procesu energetske tranzicije, jer omogućavaju balansiranje između proizvodnje i potrošnje, povećavaju pouzdanost sistema i doprinose stabilnosti elektroenergetskih mreža. Razvoj i primjena sistema za skladištenje energije omogućavaju akumulaciju manjka proizvedene energije u periodima niske potrošnje i njihovu upotrebu u trenucima povećane potražnje. Koncept energetske učinkovitosti dobija sve veći značaj, jer podrazumijeva racionalno korištenje energije uz zadržavanje istog nivoa funkcionalnosti i kvaliteta usluga. Posebno važnu ulogu ove tehnologije imaju u sektoru mobilnosti. Razvoj električnih i hibridnih vozila, kao i integracija pametnih sistema punjenja, dodatno naglašavaju značaj skladištenja energije kao ključnog faktora za povećanje energetske efikasnosti i smanjenje negativnog uticaja transporta na okoliš. Savremena rješenja omogućavaju ne samo efikasnije korištenje energije, već i aktivno učešće korisnika u energetsom sistemu kroz koncept decentralizacije i pametnih mreža. Cilj ovog rada je analiza savremenih tehnologija skladištenja energije i njihove uloge u unapređenju energetske učinkovitosti, s posebnim osvrtom na njihovu primjenu u mobilnosti i doprinos održivom razvoju. Kroz pregled različitih tehnoloških rješenja i njihovih karakteristika, nastoji se ukazati na značaj integracije ovih sistema u moderne energetske tokove, kao i na njihov potencijal u procesu dekarbonizacije i transformacije energetskog sektora.

1. TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA ENERGIJE I ENERGETSKA UČINKOVITOST

Obnovljivi izvori energije i veća energetska učinkovitost su neophodni za postizanje klimatske neutralnosti Evropske unije do 2050. godine. Ostvaren je veliki napredak u primjeni tehnologija obnovljivih izvora energije, od kojih su neke sada dobro uspostavljene, što uključuje solarne, hidro i vjetroelektrane. Nedavni razvoj tehnologije električnih vozila i ciljevi politike u mnogim zemljama mogu značiti da obnovljivi izvori energije igraju značajniju ulogu u transportu. Postavlja se sve veći naglasak na tehničkim i ekonomskim izazovima integracije većeg udjela obnovljivih izvora energije u elektroenergetsku mrežu. Stvara se potreba za novim pristupima i tehnologijama koje omogućavaju praćenje nove tehnologije proizvodnje za osiguravanje otpornosti mreže. Tehnologije dijele potencijal za olakšavanje i unapređenje primjene i upotrebe obnovljivih izvora energije. Lista tehnologija koje imaju potrebu za omogućavanjem nije potpuna, ali pokriva tehnologije krajnje upotrebe, skladištenje energije i tehnologije upravljanja energijom na strani potražnje. Sa porastom inovacija i primjene obnovljivih izvora energije, došlo je do poboljšanja u korištenju navedenih izvora energije. Neka od poboljšanja uključuju električna vozila u elektroenergetsku mrežu, omogućavanje digitalnih tehnologija u energetske sistemima i razvoj tehnologija za skladištenje električne energije. S ciljem prisustva i potrebe za električnim vozilima, postoji mogućnost korištenja električnih vozila kao uređaja za skladištenje, s potencijalom prodaje električne energije nazad u mrežu tokom vršne potražnje dok se vozila ne koriste [1].

Tehnologija skladištenja energije je jedna od glavnih komponenti integracije obnovljivih izvora energije i dekarbonizacije svjetskih energetskih sistema. Ima korist u rješavanju pomoćnih energetskih usluga, stabilnosti kvalitete energije i pouzdanosti snabdijevanja energijom.

Razvoj tehnologije skladištenja energije klasifikovan je na elektromehaničke, mehaničke, elektromagnetne, termodinamičke, hemijske i hibridne metode [2]. Pružaju primarne izvore energije za prenosive uređaje i vozila i koriste se u električnim mrežama kao rezerva za osiguravanje stabilnog i konstantnog snabdijevanja energije. Skladištenje energije je posebno potrebno za mreže koje se oslanjaju na obnovljive izvore energije (solarna energija i energija vjetra), tako da se tokom perioda bez sunčeve svjetlosti ili vjetra kada generatori ne rade, električna energija i dalje može slati potrošačima [3].

2. ENERGETSKA UČINKOVITOST

Energetska učinkovitost je količina isplaniranih i provedenih mjera koje imaju za cilj minimalno korištenje moguće količine energije tako da na nivo udobnosti i stope proizvodnje ostanu sačuvane. Energetska učinkovitost znači da se upotrijebi manja količina energije (energenata) uz obavljanje istog posla (grijanje ili hlađenje prostora, rasvjeta, proizvodnja raznih proizvoda, pogon vozila, i dr.). Pod pojmom energetska učinkovitost podrazumijeva se efikasna upotreba energije u svim sektorima krajnje potrošnje energije (industrija, saobraćaj, uslužne djelatnosti, poljoprivreda, domaćinstva, i sl.). Bitno je naglasiti da se energetska učinkovitost ni na koji način ne smije posmatrati kao štednja energije. Štednja uvijek podrazumijeva određena odricanja, dok učinkovita upotreba potrošnje energije ne podrazumijeva samo primjenu tehničkih rješenja [4].

3. PODJELA TEHNOLOGIJA ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE

Tehnologije skladištenja energije zbog svoje velike funkcionalnosti i velikog obima rasprostranjenosti se mogu grupisati prema sljedećim vrstama:

- Baterijske tehnologije za skladištenje energije

Baterijske tehnologije za skladištenje energije se zasnivaju na primjeni elektrohemijskih baterija koje mogu da skladište energiju koja je proizvedena u postrojenjima za obnovljive izvore energije. Poznati su i kao elektrohemijski energetski sistemi. Kod baterijskih tehnologija za skladištenje energije, električna energija koja je proizvedena u elektrani ili bilo kojoj drugoj metodi proizvodnje se skladišti, a nakon toga, oslobađa u željeno vrijeme i trenutke. Specifičnost baterijskih tehnologija za skladištenje energije leži u tehnici koja se koristi za skladištenje (baterija se puni akumuliranjem naboja određenih materijala u jednom od dva pola i nakon toga teku do drugog pola tokom perioda pražnjenja). U baterijske tehnologije skladištenja energije spadaju: litij-jonske, olovno-kiselinske, natrij-sumporne, protočne i solid-state baterija.

Litij-jonske baterije su najrasprostranjenija, najefikasnija i najpristupačnija tehnologija koja je dostupna na današnjici. Koriste litij u kombinaciji sa drugim materijalima, kao što su željezo i fosfat koji se koriste u litij ferofosfatnim baterijama. Olovno-kiselinske baterije se dosta koriste, a dok aluminij-sumporne se dovode u procese proučavanja i eksperimentisanja. Olovno-kiselinske baterije su veliki broj godina služile kao jezgro za skladištenje energije u vozilima. Novije metode tehnologija uključuju i protočne baterije, kod kojih se mijenja unutrašnja dinamika, tj. elektroliti se pohranjuju u odvojenim spremnicima, a zatim teku u centralnu ćeliju gdje reaguju tokom faza punjenja i na modele cink-brom i cink-željezo. Protočne baterije su idealne za sisteme skladištenja ne udaljenim mjestima. Solid-state baterije su baterijske čvrstog stanja (npr. keramički ili sintetički materijali) [5].



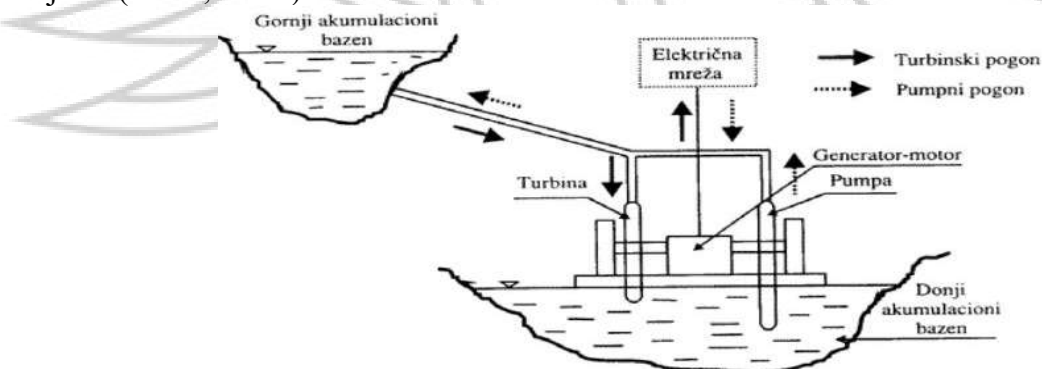
Slika 1. Baterijske tehnologije skladištenja energije u blizini solarne i vjetroelektrane

Izvor: <https://www.neteon.net/neteon-blogs/industrial-networking-for-energy-storage> (Datum pristupa: 07.04.2026.)

- Hidroakumulacija i skladištenje komprimiranim zrakom

Važnost za mehaničku metodu skladištenja energije čini reverzibilna hidroelektrana. To je oblik skladištenja čiste energije koji je idealan za pouzdanost i stabilnost električne mreže. Količina energije koju reverzibilna hidroelektrana može da uskladišti zavisi od veličine i visinske razlike dva rezervoara od kojih je sastavljena, dok količina električne energije koju može istovremeno proizvesti zavisi od veličine turbina. Reverzibilne hidroelektrane su najveća svjetska tehnologija skladištenja energije, s globalnim instalisanim kapacitetom od 200 MW što čini 94% svjetskog kapaciteta dugotrajnog skladištenja energije, značajno više od litij-jonskih i drugih vrsta baterija. Prema Međunarodnom udruženju za hidroenergiju (IHA) procjenjuje se da ova tehnologija skladištenja energije širom svijeta skladišti do 9000 GWh električne energije [6].

Reverzibilne hidroelektrane su hidroenergetski objekti koji imaju mogućnost promjene funkcije agregata, pa isti uređaj može da radi kao električni motor i pumpa, a potom kao generator i turbina. Kada sistem radi kao pumpa, akumulirše vodu i pokreće ga motor koji se napaja iz mreže. Reverzibilna hidroelektrana ima dva skladišta vodene mase. Prvo je gornja akumulacija i ima istu ulogu kao akumulaciono jezero kod klasičnih hidroelektrana. Kroz gradnju brane osigurava se akumulacija vode, koja kada protiče kroz postrojenja ima za posljedicu proizvodnju električne energije. Drugo je donja akumulacija i unutar nje voda koja izlazi iz hidroelektrane prelazi u drugo, donje, akumulaciono jezero i ne vraća se u osnovni tok rijeke. (Simić, 2012.)



Slika 2. Shema reverzibilne hidroelektrane

Izvor: Simić, J., (2012). Reverzibilne hidroelektrane, 5, INFOTECH Jahorina.

Još jedna prisutna mehanička metoda za skladištenje energije je skladištenje energije komprimiranim zrakom. To je metoda skladištenja energije koja funkcioniše na način tako što koristi električnu energiju za komprimovanje zraka i njegovo skladištenje u podzemnom rezervoaru (npr. slana pećina, iscrpljeno gasno polje ili vodonosnik). Kada je potrebna energija, komprimirani zrak se oslobađa, zagrijava, a zatim širi u turbini za proizvodnju električne energije. Osnovni princip ove vrste skladištenja energije se zasniva na termodinamičkim principima. Tokom kompresije, zrak se zagrijava, ova toplota se idealno hvata i skladišti za kasniju upotrebu. Kada se komprimirani zrak ispusti, on se hladi dok se širi. Kao jedna ključna cjelina, doprinose stabilnost i pouzdanost mreže kroz regulaciju frekvencije gdje mogu da brzo reaguju na promjene frekvencije mreže podešavanjem svoje proizvodnje, praćenje opterećenja i mogućnost pokretanja bez struje. U slučaju nestanka struje, ova metoda skladištenja energije može da se koristi za ponovno pokretanje mreže, čime se pruža pouzdan izvor rezervne energije [7].

- Superkondenzatori

Superkondenzatori (ultrakondenzatori, dvoslojni kondenzatori ili elektrohemijski kondenzatori) imaju mogućnost skladištenja energije u sebi putem elektrostatičkog sistema. Negativni i pozitivni naboji su odvojeni izolatorom (dielektrikom) koji se nalazi između ploča superkondenzatora. Zbog ovog odvajanja, uređaj je u stanju da skladišti energiju, a zatim je otpušta u vrlo kratkom periodu. Koriste se u neprekidnim izvorima napajanja, električnim vozilima i raznim primjenama energetske elektronike. Stabilnost napona se može postići upotrebom ovog uređaja. Pružaju pomoć u održavanju stabilnosti napajanja kada se opterećenje stalno mijenja [8].

- Zamajac

Skladištenje energije uz pomoć zamajca je metoda skladištenje za elektromehaničku konverziju energije. Tokom procesa skladištenja energije, pretvarač snage pretvara vanjsku električnu energiju kako bi pokrenuo motor, a motor pokreće rotor zamajca da ubrzava dok ne dostigne određenu postavljenu brzinu. Tokom procesa ubrzavanja zamajca, zamajac skladišti energiju u obliku kinetičke energije, čime dovršava proces skladištenja energije pretvaranjem električne energije u mehaničku kinetičku energiju, a energija se skladišti u tijelu zamajca koji se brzo rotira. Tokom oslobađanja energije, motor se koristi kao generator, a zamajac koji se brzo rotira vuče motor za generisanje električne energije. Pretvarač snage daje struju i napon koji su pogodni za opterećenje, čime dovršavaju proces oslobađanja energije kroz pretvaranje mehaničke kinetičke energije u električnu [9].

- Superprovodljivo magnetno skladištenje energije

Superprovodljivo magnetno skladištenje energije je nova tehnologija koja je napravljena s ciljem da riješi vrlo specifičan problem u elektroenergetskim sistemima. Ova tehnologija se ne oslanja na hemijske reakcije ili pokretne dijelove, već se električna energija skladišti direktno kao magnetno polje koje je stvoreno cirkulirajućom strujom u superprovodljivoj zavojnici. Sve dok se održava ta superprovodljivost, struja ostaje dostupna trenutno. Budući da je uskladištena energija električna, a ne hemijska ili mehanička, ova tehnologija skladištenja može da reaguje trenutno. Energetska elektronika koja je povezana sa zavojnicom omogućava brz dvosmjernan protok čime se apsorbira višak energije ili se ubrizgava energija nazad u mrežu unutar dijela perioda trajanja [10].

- Skladištenje toplotne energije

Skladištenje toplotne energije opisuje tehnologije koje na privremen način skladište energiju kroz zagrijavanje ili hlađenje različitih medija za skladištenje zbog kasnije ponovne upotrebe. Ova tehnologija radi na principu odvajanja dostupne toplote koja je generisana iz obnovljivih izvora energije, solarne toplotne energije, s ciljem pomaganja u dekarbonizaciji industrijskih procesa i grijanju ili hlađenju domaćinstava i sl. Postoje različite vrste ovih tehnologija za skladištenje energije koje se razlikuju po izvorima energije iz kojih crpe energiju, medijima za skladištenje koje koriste i hemijskim ili fizičkim procesima koji su u njihovoj osnovi.

Ova tehnologija skladišti energiju u tečnostima ili čvrstim materijama putem promjene temperature bez promjene njihovog agregatnog stanja. Ovaj proces uključuje pretvaranje obnovljive električne energije u toplotu kroz uobičajene procese. Mediji za skladištenje uključuju rezervoare za vodu, rastopljenu sol i materijale kao što su vulkanske stijene, minerali, keramika ili beton [11].

4.PRIMJERI IMPLEMENTACIJE U SVIJETU

U savremenoj praksi, brojne države već implementiraju različite tehnologije skladištenja energije i energetske učinkovitosti u cilju unapređenja stabilnosti elektroenergetskih sistema i održivog razvoja. Primjer toga je projekat Hornsdale Power Reserve u Australiji, koji predstavlja jedan od najvećih baterijskih sistema skladištenja energije na svijetu i koristi se za stabilizaciju mreže i integraciju obnovljivih izvora energije. U Evropi, značajnu ulogu imaju reverzibilne hidroelektrane, poput postrojenja Goldisthal u Njemačkoj, koje omogućava balansiranje između proizvodnje i potrošnje električne energije. Također u Njemačkoj, postrojenje Huntorf predstavlja prvi komercijalni primjer skladištenja energije komprimiranim zrakom, gdje se energija skladišti u podzemnim rezervoarima i koristi u periodima povećane potražnje. Pored toga, solarna elektrana Gemasolar u Španiji koristi tehnologiju skladištenja toplotne energije putem rastopljene soli, što omogućava proizvodnju električne energije i izvan perioda sunčevog zračenja [12].

5. SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I ENERGETSKA UČINKOVITOST U MOBILNOSTI

Tehnologije skladištenja energije u mobilnosti kao npr. kroz primjenu u električnim vozilima, dostupni su u mnogim specifičnim figurama, što uključuje sve prisutne vrste skladištenja energije (od baterija, pa sve do skladištenja toplotne energija).

Visoka specifična snaga, značajan kapacitet skladištenja, visoka specifična energija, brzo vrijeme odziva, duži životni ciklusi, visoka operativna učinkovitost i niski troškovi održavanja su poželjne karakteristike elektroenergetskog sistema za ispunjavanje energetske potreba u električnim vozilima. Tehnologija skladištenja kroz superkondenzatore i zamajce koristi se u električnim vozilima za snabdijevanje i skladištenje pomoćne energije zajedno sa baterijom u situacijama kada baterije nisu adekvatne za zadovoljavanje dugog dometa vožnje, niske gustoće struje i nedostatka infrastrukture za punjenje.

Primjena superkondenzatora u električnim vozilima se zasniva tokom početnog napajanja zbog njihove visoke gustoće snage. Da bi se osiguralo sigurno i efikasno funkcionisanje sistema baterija, potreban je dobar sistem za upravljanje baterijama za dijagnostiku i predviđanje kvarova. Brojne savremene metode (računarstvo u oblaku, blockchain tehnologija, digital twins, mašinsko učenje, Internet stvari) dobijaju veliku pažnju za dijagnostiku problema i nepravilnosti povezanih s baterijama u električnim vozilima [13].

6. RAD ELEKTRIČNIH VOZILA, SKLADIŠTENJE ENERGIJE I PAMETNO PUNJENJE

Sa prethodno navedenim osvrtom na skladištenje električne energije u mobilnosti, tj. kroz primjer električnih vozila, na njihovu veliku važnost ključno je i spomenuti njihovu strukturu, princip rada i povezanost sa skladištenjem električne energije. Ono što čini električno vozilo je električna baterija, elektromotor, kontroler i punjač baterije. Elektromotor, pored baterije, je najvažniji dio svakog električnog vozila. U početku su to bile olovne baterije, odnosno, upotrebljavale su se akumulatorske baterije čiji je sastav bio olovo.

Nakon olovnih, razvile su se litij-jonske baterije. U poređenju sa olovnim, dosta su pristupačnije, imaju duži životni ciklus trajanja i lakše su što je od ključne važnosti za razvoj energetske učinkovitosti vozila.

Glavni zadatak baterije je da skladišti električnu energiju. Životni vijek litij-jonske baterije se procjenjuje na period od 15 do 20 godina. Baterija utiče na cijenu, autonomiju i raspoloživost vozila. Pored baterije, veliku važnost ima i elektromotor. Njegov osnovni zadatak je da kroz proces elektromagnetne indukcije transformiše struju u mehaničku energiju. Kontroler ili upravljač ima zadatak da kontroliše količinu i snagu energije iz motora koja kontroliše brzinu vožnje. Punjač, kao zadnji osnovni dio električnog vozila, služi za punjenje baterije. Postoje dvije osnovne vrste, stacionarni punjači koji rade u stanju mirovanja i punjači koji su ugrađeni u vozilo. Kod stacionarnih punjača vrijeme koje je potrebno za napajanje je između 20 do 30 minuta, dok se kod ugrađenih punjenja vrši isključivo preko utičnice do čak nekoliko sati. (Petričević, 2022.)

Funkcija tehnologije skladištenja energije proteže se čak i na dalje cjeline od samih električnih vozila. Upotreba velikih stacionarnih rješenja za skladištenje energije se na brzi način povećava na lokacijama stanica za punjenje, zajedno sa depoima ili komercijalnim objektima gdje se vrši punjenje. Stacionarna rješenja se koriste za stvaranje energetske ravnoteže s električnom mrežom, skladištenje obnovljive energije izvan vršnih perioda i obezbjeđivanje dostupnosti energije za električno vozilo tokom vršnih perioda punjenja. Tehnologije skladištenja energije omogućavaju pouzdano punjenje električnih vozila umjesto nepredvidivog punjenja, čime se stvara bolje iskustvo upotrebe električnog vozila. Veliku važnost predstavlja i funkcija pametnog punjenja upravljanja napajanjem što omogućava određivanje koliko se energije primi na efikasniji način od drugih vrsta sistema koji samo obezbjeđuju napajanje. Tradicionalni pristup je obezbjeđivanje jednog električnog priključka za snabdijevanje električnom energijom, dok pametno punjenje stvara sofisticirani sistem [14].

Skladištenje energije i pametno punjenje mogu da integrišu rast električnih vozila sa obnovljivom energijom kroz korištenje solarne energije i energije vjetra. Spajanje proizvodnje obnovljive energije sa skladištenjem energije i pametnim punjenjem omogućava pouzdanu dostupnost obnovljive energije za podršku infrastrukturi električnih vozila. Stanice za punjenje mogu da koriste uskladištenu obnovljivu energiju, što omogućava manje oslanjanje na električnu energiju na bazi fosilnih goriva i niže emisije tokom cijelog životnog ciklusa vozila. Napredni koncepti kao što je Vehicle to Grid mogu da poboljšaju odnos između obnovljive energije i električnih vozila.

7. HIBRIDNA ELEKTRIČNA VOZILA I VOZILA NA VODIK

Hibridna električna vozila kombinuju pogonski sistem motora sa unutrašnjim sagorijevanjem sa električnim pogonskim sistemom za povećanje ekonomičnosti goriva. Veliki broj hibridnih električnih vozila koristi nikl-metal hibridne baterije umjesto skupljih litij-jonskih baterija.

Baterije se pune kombinacijom prikupljanja energije koja je izgubljena tokom kočenja (regenerativno kočenje) i motora sa unutrašnjim sagorijevanjem. Hibridno električno vozilo proizvodi manje emisija ispuštenih gasova od benzinskog automobila koje je slične veličine, budući da je hibridni benzinski motor manji od vozila slične veličine na čisti benzinski pogon i ako se ne koristi za direktno pokretanje automobila, može da se podesi za rad sa maksimalnom efikasnošću, što na dodatan način poboljšava ekonomičnost goriva [15].

Energija vodika je svestran i spada u čisti izvor energije koji je privukao dosta značajnu pažnju kao potencijalno rješenje za suočavanje s klimatskim promjenama i prelazak na održivu energetske budućnost.

Jedna od glavnih prednosti energije vodika su njene ekološke prednosti, kada se koristi kao gorivo, vodik proizvodi samo vodenu paru kao nusprodukt, što ga čini izvorom energije s nultom emisijom.

Ovo je dosta važno u sektorima kao što je transport, gdje se vodikove gorivne ćelije mogu koristiti za napajanje električnih vozila, čime nude dug domet vožnje i brzo vrijeme punjenja gorivom. Energija vodika ima potencijal da podrži integraciju obnovljivih izvora energije i skladištenje energije.

HFCV su električna vozila koja koriste vodik kao izvor goriva. Unutar ovih vozila, plinoviti vodik se kombinuje s kisikom iz zraka u gorivnoj ćeliji kako bi se proizvela električna energija, koja pokreće električni motor. Jedini nedostatak ovog procesa je vodena para, što vozila s gorivnim ćelijama čini vozilima s nultom emisijom. Vozila s gorivnim ćelijama nude par prednosti, što uključuje duži domet vožnje i kraće vrijeme punjenja gorivom u poređenju s električnim vozilima na baterije. Njihova komercijalna primjena je ograničena zbog izazova kao što su visoki troškovi, ograničena infrastruktura za punjenje vodikom za daljnjim napretkom u tehnologiji gorivnih ćelija [16].

8.PRIMJERI IMPLEMENTACIJE

U sektoru mobilnosti, Nizozemska se ističe razvojem infrastrukture za pametno punjenje električnih vozila, čime se omogućava optimizacija potrošnje energije i efikasnija integracija vozila u elektroenergetski sistem. S druge strane, Japan razvija koncept Vehicle-to-Grid, koji omogućava električnim vozilima da vraćaju energiju u mrežu i tako djeluju kao distribuirani sistemi za skladištenje energije. U kontekstu novih rješenja, Danska razvija projekte zasnovane na Power-to-X tehnologiji, gdje se višak energije iz obnovljivih izvora pretvara u vodik, koji se može skladištiti i koristiti kao energent u transportu i industriji. Ovi primjeri ukazuju na značaj primjene različitih tehnologija skladištenja energije u cilju povećanja energetske učinkovitosti, smanjenja emisija i razvoja održivih energetske sistema [12].

9.ODRŽIVI RAZVOJ SKLADIŠTENJA ENERGIJE

Održivi razvoj u savremenim energetske sistemima podrazumijeva usklađivanje ekonomskih, ekoloških i društvenih aspekata proizvodnje i potrošnje energije. U tom kontekstu, tehnologije skladištenja energije imaju ključnu ulogu jer omogućavaju veću integraciju obnovljivih izvora energije, smanjenje emisija stakleničkih plinova i stabilizaciju elektroenergetskih mreža. Prema analizama iz savremenih istraživanja, sistemi skladištenja energije doprinose održivosti prvenstveno kroz povećanje fleksibilnosti energetske sistema.

Međutim, održivost ovih tehnologija ne može se posmatrati isključivo kroz njihovu upotrebu. Važno je analizirati njihov cjelokupan životni ciklus, uključujući proizvodnju, korištenje i reciklažu.

Istraživanja ukazuju na to da postoje značajni izazovi vezani za eksploataciju sirovina poput litijuma i kobalta, kao i za upravljanje otpadom nakon završetka životnog vijeka baterija. Upravo zbog toga se sve više koriste metode poput analize životnog ciklusa (LCA) i tehnokoekonomskih analiza (TEA) kako bi se procijenio stvarni uticaj tehnologija skladištenja energije na okoliš i društvo. Osim ekoloških aspekata, održivi razvoj podrazumijeva i ekonomsku isplativost. Iako su troškovi ovih tehnologija još uvijek relativno visoki, kontinuirani tehnološki napredak i povećanje obima proizvodnje doprinose njihovom postepenom smanjenju. Time se otvara mogućnost šire primjene u energetske i transportnim sistemima [17].

ZAKLJUČAK

Tehnologije skladištenja energije imaju ključnu ulogu u razvoju savremenih energetske sistema i unapređenju energetske učinkovitosti. Njihova primjena omogućava efikasnije korištenje dostupnih energetske resursa, smanjenje energetske gubitaka i povećanje pouzdanosti elektroenergetskih mreža. Poseban značaj ovih tehnologija ogleda se u njihovoj sposobnosti da omoguće veću integraciju obnovljivih izvora energije, čime se direktno doprinosi smanjenju emisije štetnih gasova i ublažavanju klimatskih promjena. Različite tehnologije skladištenja energije, uključujući baterijske sisteme, hidroakumulaciju, superkondenzatore, zamajce i termalne sisteme, imaju specifične prednosti i ograničenja, zbog čega njihova primjena zavisi od konkretnih potreba i uslova sistema. Kombinovana upotreba ovih tehnologija omogućava postizanje optimalnih performansi u pogledu kapaciteta, brzine odziva i trajnosti, što je od posebne važnosti za stabilnost i fleksibilnost energetske sistema. U sektoru mobilnosti, tehnologije skladištenja energije predstavljaju osnovu razvoja električnih i hibridnih vozila, čime se značajno doprinosi povećanju energetske učinkovitosti i smanjenju negativnog uticaja transporta na okoliš. Integracija pametnih sistema punjenja i koncepta poput Vehicle to Grid dodatno unapređuje povezanost između energetske i transportnog sektora, omogućavajući efikasnije upravljanje energijom i veću iskoristivost obnovljivih izvora. Iako ove tehnologije imaju veliki potencijal, njihov dalji razvoj suočava se s određenim izazovima, uključujući visoke troškove, dostupnost sirovina i pitanja vezana za njihov životni ciklus i reciklažu. Međutim, kontinuirani tehnološki napredak i povećanje ulaganja u istraživanje i razvoj doprinose njihovom unapređenju i širenju primjene. Njihova dalja implementacija i razvoj imaju potencijal da značajno transformišu energetske i transportni sektor, smanje zavisnost od fosilnih goriva i doprinesu stvaranju ekološki prihvatljivijeg i energetske stabilnijeg društva.

LITERATURA

Knjige:

[1] Petričević, K., (2022). Istraživanje utjecaja finansijskih instrumenata na kupnju energetske učinkovitih vozila, Veleučilište Velika Gorica.

Naučni rad:

[1] Simić, J., (2012). *Reverzibilne hidroelektrane*, 5, INFOTECH Jahorina.

Web stranice:

[1] Korts, M. (2024) „Energy storage and energy efficiency as the key enablers of greater use of renewable energy in electricity consumption“ <https://www.ensecoe.org/publications/energy-storage-and-energy-efficiency/> (Datum pristupa: 06.04.2026.)

[2] Amir, M., Deshmukh, R.G., Khalid, H.M., Said, Z., Raza, A., Muyeen, S.M., Nizami, A., Elavarasan, R.M., Saidur, R. & Sopian, K. (2023) „Energy storage technologies: An integrated survey of developments, global economical/environmental effects, optimal scheduling model, and sustainable adaption policies“, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X23020911> (Datum pristupa: 06.04.2026.)

[3] Smith, R. (2024) Energy Storage Technologies, <https://www.ebsco.com/research-starters/power-and-energy/energy-storage-technologies> (Datum pristupa: 06.04.2026.)

[4] Centar za razvoj i podršku „Energetska efikasnost“, <https://crp.org.ba/energetska-efikasnost> (Datum pristupa: 07.04.2026.)

[5] Enel Group „BESS: Battery Energy Storage Systems“, <https://www.enel.com/learning-hub/storage/bess> (Datum pristupa: 07.04.2026.)

[6] „Pumped Storage Hydropower“, <https://www.hydropower.org/factsheets/pumped-storage> (Datum pristupa: 07.04.2026.)

- [7] (2025) „How Does Case Work?“, <https://energy.sustainability-directory.com/question/how-does-caes-work/> (Datum pristupa: 07.04.2026.)
- [8] „What are supercapacitors?“, <https://www.fomtechnologies.com/insights-blog/energy-storage-technologies-supercapacitors> (Datum pristupa: 08.04.2026.)
- [9] (2024) „What is flywheel energy storage system?“, <https://www.infinitepowerht.com/what-is-flywheel-energy-storage-system.html> (Datum pristupa: 08.04.2026.)
- [10] (2026) „What Is Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)?“, <https://www.infinitepowerht.com/what-is-superconducting-magnetic-energy-storage.html> (Datum pristupa: 10.04.2026.)
- [11] „Thermal Energy Storage (TES)“, <https://www.renewablethermal.org/thermal-energy-storage-tes/> (Datum pristupa: 10.04.2026.)
- [12] (2024) „Global Case Studies on Successful Utility-Scale Energy Storage Deployment“, <https://nenpower.com/blog/global-case-studies-on-successful-utility-scale-energy-storage-deployment/> (Datum pristupa: 10.04.2026.)
- [13] Waseem, M., Lakshmi, G.S., Ahmad, M. & Suhaib, M. (2025) „Energy storage technology and its impact in electric vehicle: Current progress and future outlook“, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949821X24001078> (Datum pristupa: 11.04.2026.)
- [14] Energetica India (2025) „Read more at: <https://energetica-india.net/articles/the-role-of-energy-storage-and-smart-charging-in-accelerating-ev-adoption>“, <https://www.energetica-india.net/articles/the-role-of-energy-storage-and-smart-charging-in-accelerating-ev-adoption#:~:text=The%20advancement%20of%20electric%20mobility,charging%20provides%20intelligence%20and%20efficiency.> (Datum pristupa: 11.04.2026.)
- [15] „Hybrid-Electrical Vehicle“, <https://www.sciencedirect.com/topics/social-sciences/hybrid-electric-vehicle> (Datum pristupa: 11.04.2026.)
- [16] Hassan, Q., Azzawi, I.D., Sameen, A.Z. & Salman, H.M. (2023) „Hydrogen Fuel Cell Vehicles: Opportunities and Challenges“, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11501#B27-sustainability-15-11501> (Datum pristupa: 11.04.2026.)
- [17] Eroglu, H. & Kurtuluş, O. (2025) „Strategic design of wind energy and battery storage for efficient and sustainable energy systems“, <https://www.nature.com/articles/s41598-025-18863-5> (Datum pristupa: 12.04.2026.)