

Jurica Karakašić, mag. ing. el.

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA ELEKTRIČNU VUČU

1. Uvod

Električna je vuča energetski učinkovitija i ekološki prihvatljivija od dizelske vuče. Sam postupak elektrifikacije dijela željezničke pružne mreže donosi znatne uštede u pogonskoj energiji, što je prvi korak prema postizanju ušteda. Da bi se ostvarile dodatne uštede na troškovima električne energije za električnu vuču, potrebno je kontinuirano pratiti i analizirati potrošnju električne energije. Praćenje potrošnje električne energije i uvid u postojeće stanje postrojenja za napajanje električne vuče podloga su za definiranje zaključaka, područja koja se mogu obuhvatiti i aktivnosti koje se mogu provesti kako bi se postigle dodatne uštede električne energije, odnosno kako bi se smanjili troškovi za električnu energiju.

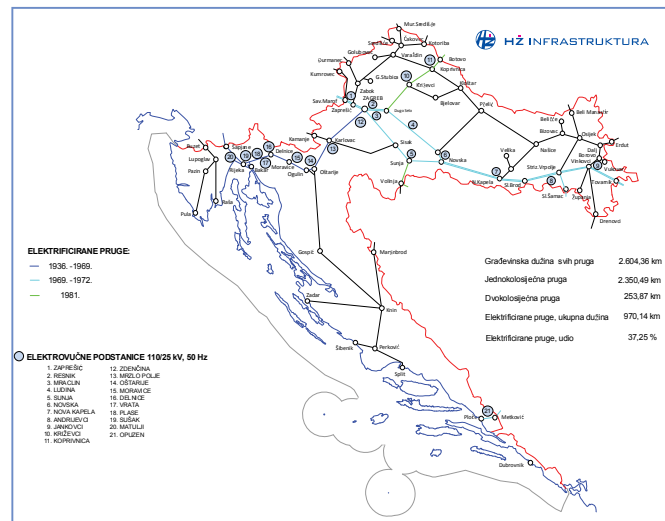
1.1. Elektrovučne podstanice za napajanje električne vuče

Napajanje izmjeničnog sustava električne vuče na prugama HŽ Infrastrukture ostvaruje se iz prijenosne mreže 110 kV raznim načinima priključka te transformacijom 110/25 kV u elektrovučnim podstanicama. Elektrovučne podstanice smještene su uz mrežu željezničkih pruga na međusobnoj udaljenosti od 40 do 60 km na nizinskim prugama te na kraćim udaljenostima na brdskim prugama, a ovisno o nagibu pruge. Napajanje je kontaktne mreže radialno, a područja napajanja napajana pojedinim elektrovučnim podstanicama odvojena su neutralnom sekcijom. U slučaju potrebe napajanja područja susjedne elektrovučne podstanice ili paralelnog rada izvode se određene manipulacije sklopnim aparatima u postrojenjima za sekcioniranje kod neutralne sekcije [1].

U HŽ Infrastrukturi za napajanje električne vuče električnom energijom u pogonu je 21 elektrovučna podstanica. Teritorijalna rasprostranjenost elektrovučnih podstanica prikazana je na slici 1.

1.2. Tarifni sustavi za prijenos električne energije i opskrbu električnom energijom

Stupanjem na snagu Zakona o tržištu električne energije [2] definirani su pojedini subjekti na tržištu



Slika 1. Teritorijalna rasprostranjenost elektrovučnih podstanica na prugama HŽ Infrastrukture

kao i njihova pojedinačna uloga s definiranim pravima i obvezama. U procesu napajanja električne vuče električnom energijom na tržištu ključna su dva subjekta, i to hrvatski operator prijenosnog sustava koji upravlja prijenosnom mrežom i opskrbljivač koji električnu vuču opskrbljuje električnom energijom. Na temelju navedenog definirani su Tarifni sustav za prijenos električne energije [3] i Tarifni sustav za opskrbu električnom energijom [4], koji utvrđuju definiciju tarifnih stavki za pružanje usluge. Tarifni sustav za prijenos električne energije sadrži sljedeće tarifne stavke:

- radnu energiju – kn/kWh (viša tarifa – VT, niža tarifa – NT)
- radnu snagu – kn/kW
- prekomjerno preuzetu jalovu energiju – kn/kVArh (PPJE)
- naknadu za mjernu uslugu – kn/mj (NMJU).

Odlukom o visini tarifnih stavki u tarifnome sustavu za prijenos električne energije definira se jedinična cijena pojedinih tarifnih stavki [5]. Tarifni sustav za opskrbu električnom energijom sadrži sljedeće tarifne stavke:

- radnu energiju – kn/kWh (viša tarifa – VT, niža tarifa – NT)
- radnu snagu – kn/kW
- naknadu za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora – kn/kWh (OIE)
- trošarinu za poslovnu uporabu električne energije – kn/kWh (TRP).

Jedinična cijena pojedinih tarifnih stavki za opskrbu električnom energijom određena je na temelju Ugovora o opskrbi električnom energijom [6].

2. Pregled potrošnje električne energije po tarifnim stavkama

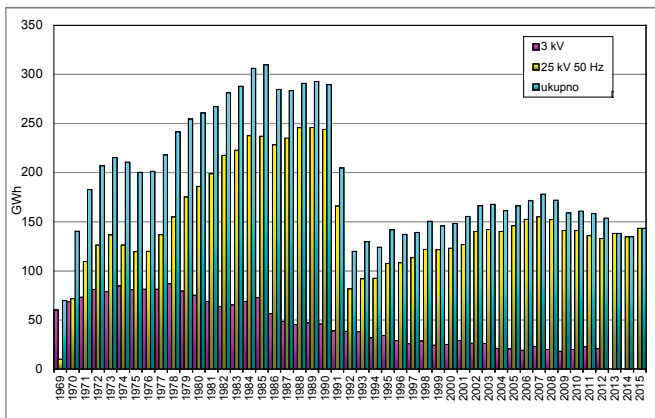
2.1. Radna energija

Radna energija preuzeta iz prijenosne mreže evidentira se mjerenjem kroz dva tarifna razdoblja tijekom dana, a ovisno o dobu dana. Radna energija preuzeta od 7 sati do 21 sat (zimsko računanje vremena) odnosno od 8 sati do 22 sata (ljetno računanje vremena) obračunava se po višim dnevnim tarifnim stavkama, dok se radna energija isporučena u preostalom periodu obračunava po nižim dnevnim tarifnim stavkama.

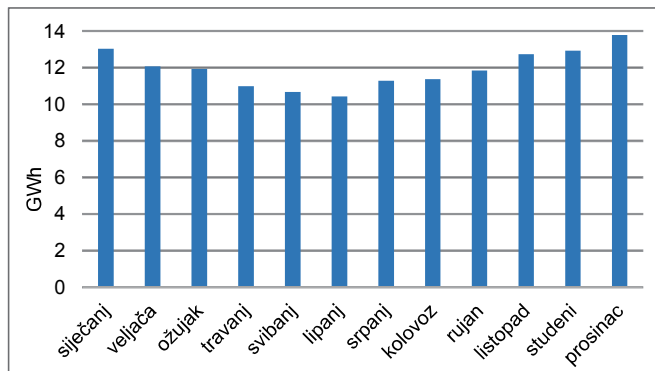
Potrošnja električne energije za električnu vuču počela se evidentirati 1969., a pregled kretanja potrošnje radne energije kroz godine prikazan je na slici 2 [7].

Ukupna potrošnja radne energije za električnu vuču u 2015. iznosi 143,05 GWh. Uspoređujući potrošnju radne energije s potrošnjom u 2014., potrošnja radne energije povećana je za 6,47 posto. Pregled kretanja potrošnje radne energije za električnu vuču kroz godinu prikazan je na slici 3. Na slici 4. prikazan je pregled kretanja potrošnje radne energije po prugama, dok je na slici 5. prikazan pregled potrošnje radne energije po pojedinim elektrovučnim podstanicama.

Analizirajući podatke, vidljivo je da je najveća mjesečna potrošnja radne energije zabilježena u prosincu, u iznosu od 9,64 posto ukupne potrošnje radne energije, dok je najmanja mjesečna potrošnja radne energije zabilježena u lipnju, u iznosu od 7,29 posto ukupne potrošnje radne energije. Također je vidljivo to da je potrošnja radne energije povećana tijekom zimskog razdoblja. Opravdanje jest to što se tada znatan dio postrojenja za grijanje skretnica napaja radnom energijom iz kontaktne mreže.

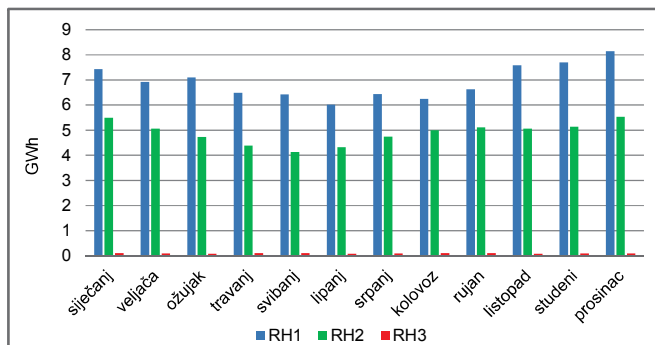


Slika 2. Pregled kretanja potrošnje radne energije za električnu vuču kroz godine

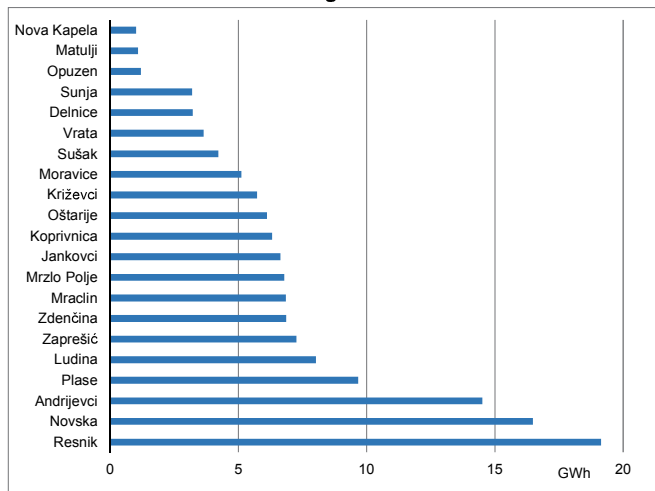


Slika 3. Pregled kretanja potrošnje radne energije za električnu vuču kroz godinu

Najveća potrošnja radne energije po prugama zabilježena je na pruzi Dobova – Tovarnik (koridor RH1), i to u iznosu od 58,09 posto ukupne potrošnje radne energije. Navedeno zapažanje u korelaciji je s brojem instaliranih elektrovučnih podstanica na promatranome koridoru željezničke mreže elektrificiranih pruga te s intenzitetom i vrstom željezničkog prometa. Na pruzi Botovo – Šapjane (koridor RH2) udio potrošnje radne energije u ukupnoj potrošnji radne energije iznosi 41,07 posto, dok na pruzi DG – Metković – Ploče (koridor RH3) udio potrošnje radne energije u ukupnoj potrošnji radne energije iznosi 0,84 posto.



Slika 4. Pregled kretanja potrošnje radne energije po prugama kroz godinu



Slika 5. Pregled potrošnje radne energije po elektrovučnim podstanicama

S aspekta pojedinih elektrovučnih podstanica, najveći je potrošač radne energije na godišnjoj razini elektrovučna podstanica Resnik s 13,38 posto ukupne potrošnje radne energije. Ključni je razlog njezina najvećeg udjela u ukupnoj potrošnji radne energije taj što ona napaja znatan dio mreže željezničke pruge na području grada Zagreba i Zagrebačke županije, gdje je željeznički promet vrlo frekventan. Drugi po veličini udio od 11,52 posto u ukupnoj potrošnji radne energije na godišnjoj razini odnosi se na elektrovučnu podstanicu Novska, dok je na trećemu mjestu elektrovučna podstanica Andrijevcima s 10,14 posto ukupne potrošnje radne energije. U elektrovučnim podstanicama Novska i Andrijevcima potrošnja radne energije povećana je u odnosu na uobičajenu zbog režima rada ispomoći pri napajanju područja elektrovučne podstanice Nova Kapela koja je u rekonstrukciji od sredine veljače 2015. U ostalim elektrovučnim podstanicama registrirana potrošnja radne energije prati trendove iz prethodnih godina [1,7].

Uz poznatu ukupnu potrošnju radne energije za električnu vuču koja iznosi 143,05 GWh može se izračunati prosječna specifična potrošnja radne energije koja iznosi 0,0291 kWh/brtkm. S aspekta ovisnosti o profilu pruge, specifična potrošnja električne energije kreće se u intervalu od 0,02 do 0,03 kWh/brtkm na nizinskim prugama, odnosno u intervalu od 0,04 do 0,05 kWh/brtkm na brdskim prugama [8]. Promatrajući izračunati iznos prosječne specifične potrošnje radne energije za električnu vuču, dobivena vrijednost nalazi se na gornjoj granici intervala specifične potrošnje radne energije na nizinskim prugama [1,7].

2.2. Radna snaga

Radna (obračunska) snaga određuje se na temelju odnosa ugovorene i izmjerene ostvarene snage koja se obračunava za mjesečno obračunsko razdoblje. Do prijedloga iznosa snage koji se planira ugovoriti za sljedeću godinu dolazi se analizom kretanja izmjerene, ugovorene i obračunske snage za prethodne tri godine. Teško je detaljno predvidjeti hoće li biti znatnih odstupanja izmjerene snage od ugovorene snage jer u trenutku planiranja nije poznato što se sve može dogoditi tijekom provedbe planiranoga voznog reda. Snaga se istodobno mjeri na svim obračunskim mjernim mjestima u sklopu jedne građevinske lokacije te se utvrđuje kao najveći zbroj istodobno izmjerenih snaga na svim obračunskim mjernim mjestima, a u doba više tarife. Istodobno se mjeri na svim obračunskim mjernim mjestima jer se elektrificirane pruge u Republici Hrvatskoj priključene na prijenosnu mrežu smatraju jednom građevinskom lokacijom. Odstupanja izmjerene snage

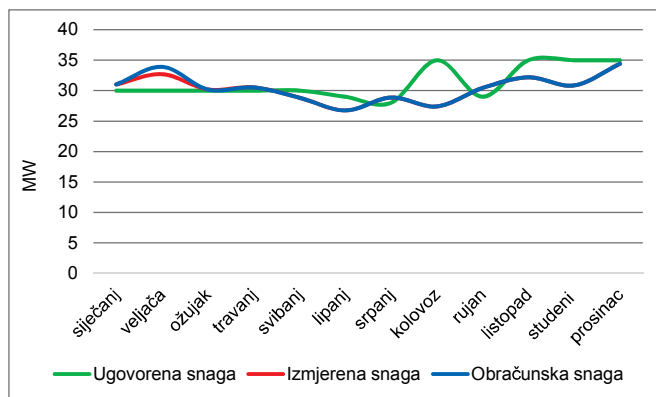
u odnosu na ugovorenu snagu obračunavaju se ako se izmjerena snaga razlikuje u odnosu na ugovorenu snagu [3].

U tablici 1. prikazane su vrijednosti ugovorene, izmjerene i obračunske snage za svaki mjesec u 2015. godini. Također su prikazane vrijednosti od 85 (70) i 105 (130) posto ugovorene snage kako bi se istaknulo u kojim je mjesecima naplaćena veća obračunska snaga od izmjerene snage jer iznos izmjerene snage nije u intervalu 85 (70) – 105 (130) posto. Početkom kolovoza 2015. kada su na snagu stupili Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom [9] proširen je interval mogućeg odstupanja izmjerene snage od ugovorene sa 85 posto na 70 posto za donju granicu odnosno sa 105 posto na 130 posto za gornju granicu.

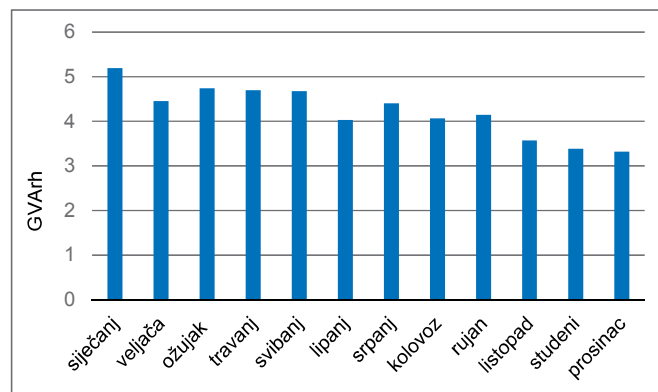
U veljači se pojavio slučaj gdje je izmjerena snaga prešla gornju granicu od 105 posto ugovorene snage pa je obračunska snaga u tome razdoblju bila jednaka izmjerenoj snazi uvećanoj za dvostruku razliku između izmjerene snage i vrijednosti 105 posto ugovorene snage. U preostalim mjesecima do kraja srpnja izmjerena je snaga bila u intervalu 85 – 105 posto ugovorene snage pa je obračunska snaga bila jednaka izmjerenoj snazi. Od početka kolovoza proširen je dopušteni interval odstupanja izmjerene snage od ugovorene pa su vrijednosti obračunske snage također bile jednake izmjerenoj snazi. Na slici 6. prikazano je kretanje ugovorene, izmjerene i obračunske snage za 2015. kako bi se vizualno dodatno prikazala zapažena kretanja [1,7].

Tablica 1. Ugovorena, izmjerena i obračunska snaga

Razdoblje	Snaga, MW				
	Ugovorena	85 (70) % ugovorene	105 (130) % ugovorene	Izmjerena	Obračunata
Siječanj	30	25,50	31,50	31,02	31,02
Veljača	30	25,50	31,50	32,71	33,92
Ožujak	30	25,50	31,50	30,18	30,18
Travanj	30	25,50	31,50	30,54	30,54
Svibanj	30	25,50	31,50	28,84	28,84
Lipanj	29	24,65	30,45	26,75	26,75
Srpanj	28	23,80	29,40	28,86	28,86
Kolovoz	35	24,50	45,50	27,41	27,41
Rujan	29	20,30	37,70	30,43	30,43
Listopad	35	24,50	45,50	32,19	32,19
Studeni	35	24,50	45,50	30,84	30,84
Prosinac	35	24,50	45,50	34,41	34,41
Ukupno	376	263,20	488,80	364,19	365,40



Slika 6. Pregled kretanja ugovorene, izmjerene i obračunske snage kroz godinu



Slika 7. Pregled kretanja ukupne prekomjerno preuzete jalove energije kroz godinu

2.3. Prekomjerno preuzeta jalova energija

Prekomjerno preuzeta jalova energija predstavlja pozitivnu razliku između stvarno izmjerene ukupne jalove energije i jalove energije koja odgovara prosječnoj faktoru snage manjem od 0,95, što približno odgovara iznosu od 33 posto radne energije. Prekomjerno preuzeta jalova energija obračunava se za mjesečno obračunsko razdoblje [3]. Postrojenja za kompenzaciju jalove energije instalirana su i u pogonu u 12 elektro-ručnih podstanica. Izvedena su kao centralna, na način da su smještena u elektro-ručnoj podstanici i to u pravilu na sekundarnoj strani energetskih transformatora preko kojih se električna energija isporučuje u kontaktnu mrežu. S aspekta načina prilagodbe uvjetima u mreži, postrojenja za kompenzaciju jalove energije izvedena su kao fiksna i u njima se postavljena snaga kompenzacije ne mijenja bez obzira na uvjete u mreži [10].

Neka od postrojenja za kompenzaciju jalove energije trenutačno su isključena iz pogona jer se pokazalo da u skladu sa sadašnjim uvjetima Tarifnog sustava za prijenos električne energije ne zadovoljavaju postojeće uvjete u smislu udjela jalovih komponenti u određivanju ukupne prekomjerno preuzete jalove energije, odnosno troškova za prekomjerno preuzetu jalovu energiju. Postrojenja tehnički izvedena s fiksnom kompenzacijom rješavaju problem prekomjerno preuzete induktivne jalove energije, ali ne i kapacitivne prekomjerno predane jalove energije. Povoljniji rezultati postigli bi se statičkom kompenzacijom koja omogućuje kontinuiranu kompenzaciju jalovih komponenti. U 2016. planiran je dovršetak izgradnje i uključanje u pogon prvih statičkih postrojenja za kompenzaciju jalove energije u elektro-ručnim podstanicama Mrzlo Polje i Oštarije.

Pregled kretanja ukupne prekomjerno preuzete jalove energije po elektro-ručnim podstanicama u 2015. prikazan je na slikama 7. i 8.

U elektro-ručnim podstanicama Sunja i Mraclin postrojenja za kompenzaciju jalove energije isključena

su iz pogona u svibnju 2015. zbog velikog udjela predane kapacitivne jalove energije u prijenosnu mrežu i negativnog utjecaja na iznos ukupne prekomjerno preuzete jalove energije. Promatrajući kretanje ukupne prekomjerno preuzete jalove energije nakon isključenja postrojenja za kompenzaciju jalove energije iz pogona, primijećeno je da je došlo do znatnog smanjenja ukupne prekomjerno preuzete jalove energije u promatranim elektro-ručnim podstanicama. Do trenutka isključenja iz pogona, u postrojenjima za kompenzaciju jalove energije bio je podešen najniži stupanj instalirane snage.

S prestankom režima rada ispomoći elektro-ručne podstanice Zaprešić zbog napajanja električnom energijom područja elektro-ručne podstanice Resnik u prosincu 2014. zabilježen je znatan porast predane kapacitivne jalove energije u prijenosnu mrežu jer je smanjeno opterećenje elektro-ručne podstanice, a time su smanjene i potrebe za kompenzacijom induktivne jalove energije. Bez obzira na činjenicu što je snaga postrojenja za kompenzaciju jalove energije smanjena, trend je nastavljen i u 2015. pa je u svibnju 2015. postrojenje za kompenzaciju jalove energije također isključeno iz pogona, što je rezultiralo smanjenjem ukupne prekomjerno preuzete jalove energije u promatranom elektro-ručnoj podstanici.

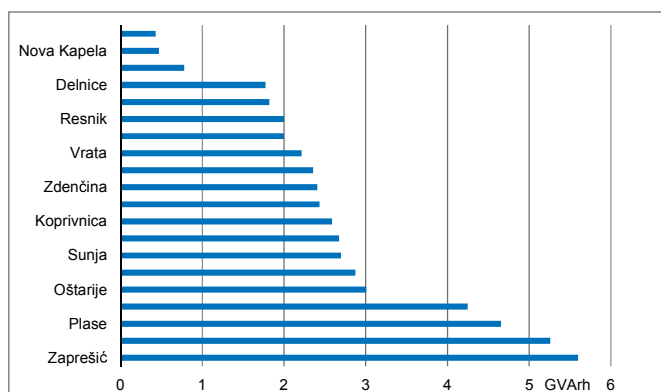
Elektro-ručna podstanica Resnik uključena je u pogon u prosincu 2014. nakon završetka rekonstrukcije. Promatrajući iznose registrirane preuzete induktivne i predane kapacitivne jalove energije i ukupne prekomjerno preuzete jalove energije, vidljivo je da sadašnje tehničko rješenje postrojenja za kompenzaciju jalove energije održava induktivni faktor snage blizu željenog iznosa pa je postrojenje i dalje u pogonu.

Postrojenje za kompenzaciju jalove energije u elektro-ručnoj podstanici Andrijevcu također proizvodi više kapacitivne jalove energije nego što je to potrebno, ali je ukupna prekomjerno preuzeta jalova energija manja

nego prije uključenja postrojenja za kompenzaciju jalove energije u pogon pa je postrojenje i dalje u pogonu.

Znatno iznos prekomjerno preuzete jalove energije registriran je u elektrovučnim podstanicama Matulji, Sušak, Plase, Vrata i Delnice na koridoru RH2, koje su izgrađene u sklopu izmjene sustava za napajanje električne vuče. U promatranim elektrovučnim podstanicama postrojenja za kompenzaciju jalove energije isključena su iz pogona u prosincu 2014. Isključena su iz pogona također zbog velikog udjela predane kapacitivne jalove energije u prijenosnu mrežu, što izravno utječe i na ukupnu prekomjerno preuzetu jalovu energiju. Do trenutka isključenja iz pogona u postrojenjima za kompenzaciju jalove energije bio je podešen najniži stupanj instalirane snage.

Elektrovučna podstanica Novska uključena je u pogon u prosincu 2014. nakon završetka rekonstrukcije, dok je postrojenje za kompenzaciju jalove energije uključeno u pogon u srpnju 2015. Promatrajući iznose registrirane preuzete induktivne i predane kapacitivne jalove energije odnosno ukupne prekomjerno preuzete jalove energije, nakon što je u pogon uključeno postrojenje za kompenzaciju jalove energije smanjena je ukupna prekomjerna preuzeta jalova energija te je postrojenje i dalje u pogonu. U postrojenju za kompenzaciju jalove energije podešen je najniži stupanj instalirane snage.

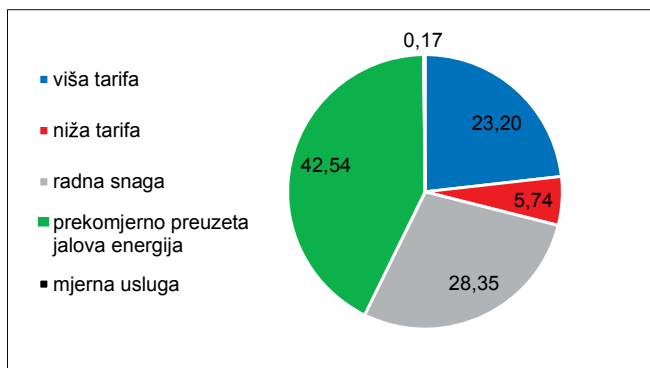


Slika 8. Pregled kretanja prekomjerno preuzete jalove energije po elektrovučnim podstanicama

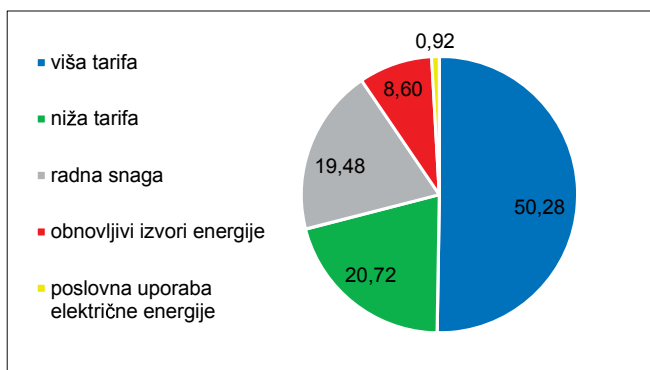
2.4. Troškovi

Ukupni troškovi električne energije za električnu vuču sastoje se od troškova za korištenje prijenosne mreže i troškova za opskrbu električnom energijom, a u 2015. oni su iznosili 77,48 milijuna kuna. Struktura troškova električne energije za električnu vuču sukladno tarifnim stavkama tarifnih sustava prikazana je dijagramima na slikama od 9. do 11.

Uspoređujući iznos ukupnih troškova za korištenje prijenosne mreže i troškova za opskrbu električnom



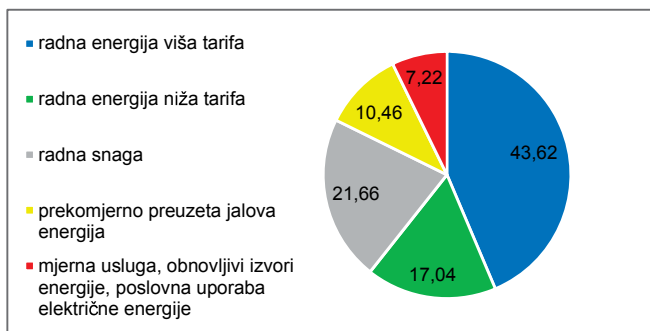
Slika 9. Struktura troškova za korištenje prijenosne mreže



Slika 10. Struktura troškova za opskrbu električnom energijom

energijom, 75,41 posto ukupnih troškova odnosno 58,43 milijuna kuna odnosi se na troškove za opskrbu električnom energijom, dok se preostali iznos od 24,59 posto odnosno 19,05 milijuna kuna odnosi na troškove za korištenje prijenosne mreže.

Analizirajući strukturu troškova tarifnih stavki za navedene tarifne sustave prema slici 11, vidljivo je da najveći udio u ukupnim troškovima za električnu energiju čine troškovi za radnu energiju u iznosu od 60,66 posto, i to 43,62 posto za višu tarifu odnosno 17,04 posto za nižu tarifu. Drugi važan udio odnosi se na radnu snagu i on iznosi 21,66 posto ukupnih troškova. Udio troškova za prekomjerno preuzetu jalovu energiju iznosi 10,46 posto, dok najmanji udio od 7,22 posto pripada troškovima za mjernu uslugu, poticanje



Slika 11. Struktura ukupnih troškova električne energije za električnu vuču

proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i za poslovnu uporabu električne energije [1,7].

2.5. Povratna energija od regenerativnog kočenja

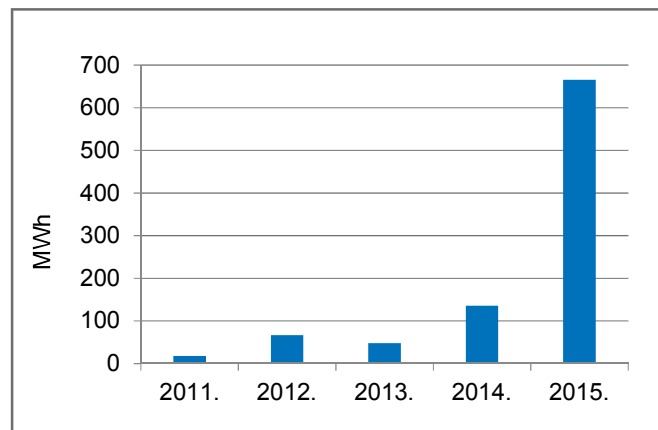
Pregled kretanja ukupno registrirane radne energije od regenerativnog kočenja na prugama HŽ Infrastrukture na godišnjoj razini od kolovoza 2011. do kraja 2015. prikazan je na slici 12., a na slici 13. prikazan je pregled kretanja registrirane radne energije od regenerativnog kočenja u 2015. Pregled kretanja registrirane radne energije od regenerativnog kočenja po elektrovučnim podstanicama u 2015. prikazan je na slici 14.

Nije registrirana radna energija proizvedena regenerativnim kočenjem potrošena za napajanje pomoćnih sustava ili sustava za održavanje udobnosti u vlaku te za napajanje drugih elektrovučnih vozila koja su se našla na istome odsjeku kontaktne mreže gdje je došlo do povrata radne energije.

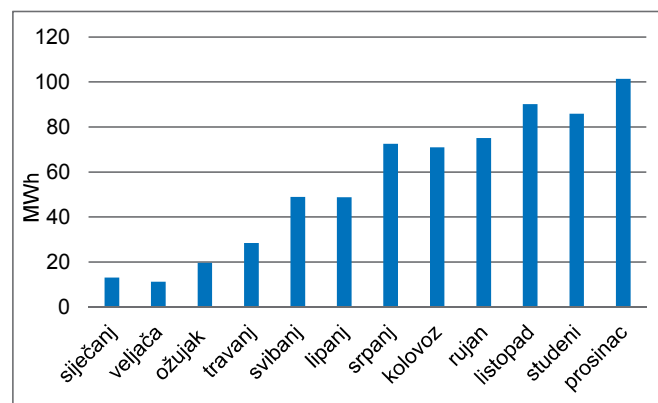
Iz analize rezultata registrirane radne energije od regenerativnog kočenja po elektrovučnim podstanicama vidljivo je da je niskopodni elektromotorni vlak za regionalni prijevoz vozio na relaciji Zagreb – Sisak – Sunja – Novska – Zagreb, odnosno da je radna energija od regenerativnog kočenja registrirana u elektrovučnim podstanicama Mraclin i Sunja.

Radna energija od regenerativnog kočenja registrirana je i u elektrovučnim podstanicama Mrzlo Polje, Oštarije, Moravice, Koprivnica, Novska, Andrijevi i Jankovci, što ukazuje na to da je niskopodni elektromotorni vlak za regionalni prijevoz vozio na relacijama Zagreb – Ogulin – Moravice – Zagreb, Zagreb – Koprivnica – Zagreb i Zagreb – Vinkovci – Zagreb. U elektrovučnim podstanicama Zdenčina, Križevci i Ludina, koje također pripadaju navedenim relacijama na kojima voze niskopodni elektromotorni vlakovi za regionalni prijevoz, nije registrirana vraćena radna energija od regenerativnog kočenja jer su u tim elektrovučnim podstanicama ugrađena jednosmjerna brojila za mjerenje radne energije. Neznatan iznos vraćene radne energije zbog regenerativnog kočenja registriran je u elektrovučnim podstanicama Plase, Vrata, Sušak i Matulji.

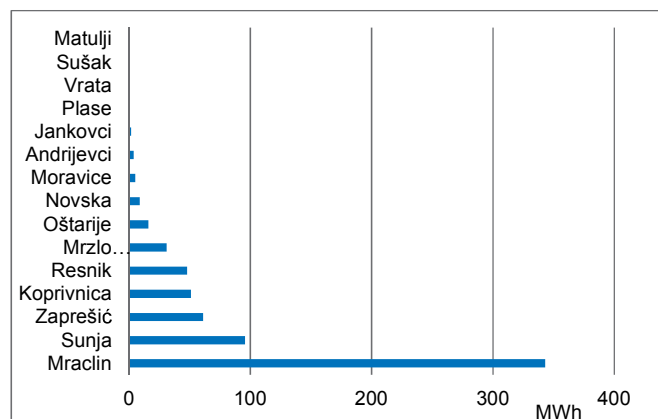
Niskopodni elektromotorni vlak za gradsko-prigradski prijevoz vozio je na relaciji Dugo Selo – Harmica – Dugo Selo, također uz uporabu regenerativne kočnice. Tijekom rekonstrukcije elektrovučne podstanice Resnik u 2014. elektrovučna podstanica Zaprešić napajala je električnom energijom i područje elektrovučne podstanice Resnik. Zbog takvog pogonskog stanja navedenih elektrovučnih podstanica i kontaktne mreže procjenjuje se da su znatan dio vraćene radne



Slika 12. Pregled kretanja registrirane radne energije od regenerativnog kočenja po godinama



Slika 13. Pregled kretanja registrirane radne energije od regenerativnog kočenja kroz godinu



Slika 14. Pregled kretanja registrirane radne energije od regenerativnog kočenja po elektrovučnim podstanicama

energije od regenerativnog kočenja niskopodnoga elektromotornog vlaka za gradsko-prigradski prijevoz u kontaktnu mrežu preuzeli drugi vlakovi koji su istodobno vozili na tome području. Pred kraj 2014., nakon što je u pogon uključena elektrovučna podstanica Resnik, područje napajanja elektrovučnih podstanica Resnik i Zaprešić odvojeno je postrojenjem za sekcioniranje kod neutralne sekcije. Zbog toga je u odnosu na pret-

hodno razdoblje rada obiju elektrovučnih podstanica registriran veći udio radne energije od regenerativnog kočenja vraćene u prijenosnu mrežu jer se smanjila vjerojatnost istodobnog pojavljivanja jednakog broja vlakova na podijeljenim odsjecima. Trend je nastavljen i u 2015. te je u 2015. u navedenim elektrovučnim podstanicama registriran znatan udio vraćene radne energije od regenerativnog kočenja [1,7].

Uspoređujući registrirani iznos radne energije od regenerativnog kočenja vraćen u prijenosnu mrežu u 2015. s onim registriranim u prethodnim godinama, vidljivo je da su isporuka i puštanje u promet novih niskopodnih elektromotornih vlakova za regionalni i gradsko-prigradski prijevoz znatno utjecali na povećanje iznosa radne energije od regenerativnog kočenja vraćene u prijenosnu mrežu. Realno je očekivati da će se trend nastaviti jer se očekuje isporuka i puštanje u promet preostalih ugovorenih niskopodnih elektromotornih vlakova za regionalni i gradsko-prigradski prijevoz.

U ovome trenutku teško je procijeniti kolike bi bile uštede radne energije zbog regenerativnog kočenja na prugama HŽ Infrastrukture jer uvjeti nisu definirani i nije poznat model za obračun ukupno vraćene radne energije u prijenosnu mrežu.

3. Prijedlog mjera za učinkovito korištenje električne energije

Znatnije uštede električne energije za električnu vuču, a time i smanjenje troškova za električnu energiju u HŽ Infrastrukturi, mogu se postići aktivnostima koje obuhvaćaju infrastrukturne podsustave te optimiranje, pouzdanost i stabilnost voznog reda. U građevinske infrastrukturnom podsustavu moguće uštede u potrošnji električne energije mogu nastupiti zbog korekcije parametara pruge koji utječu na otpor pruge, a to su nagib pruge i radijusi zakrivljenosti pruge. Uz navedene aktivnosti, veliku ulogu ima i redovito održavanje tračnica u cilju ostvarivanja minimalne sile trenja između kotača elektrovučnog vozila i tračnica, a dovoljne za ostvarivanje adhezije. Korekcija nagiba pruge i radijusa zakrivljenosti pruge provodi se zbog većih zahvata odnosno remonta željezničke pruge, a u skladu s konfiguracijom terena.

U elektrotehničkome infrastrukturnom podsustavu najveći je potencijal pri smanjenju potrošnje električne energije i ukupnih troškova za električnu energiju na području kompenzacije jalove energije i uvođenja regenerativnog kočenja. Osim navedenog, uštede u troškovima za električnu energiju mogu se postići pravilnim optimiranjem rada energetskih transformatora u elektrovučnim podstanicama.

Izgrađena postrojenja za kompenzaciju jalove energije koja su izvedena kao fiksna trenutačno ne zadovoljavaju uvjete tarifnog sustava za prijenos električne energije. Povoljniji rezultati postići će se statičkom kompenzacijom koja omogućuje kontinuiranu kompenzaciju jalovih komponenti, i induktivnih i kapacitivnih. Velik potencijal uštede radne energije temelji se na korištenju regenerativnog kočenja elektrovučnih vozila koja imaju ugrađenu regenerativnu kočnicu. Radna energija vraćena u kontaktnu mrežu raspoloživa je za napajanje drugih elektrovučnih vozila, što izravno utječe na smanjenje iznosa radne energije preuzete iz prijenosne mreže, a osim na uštede u potrošnji radne energije velik je utjecaj i na ekološki aspekt odnosno na smanjenje onečišćenja okoliša.

Dodatne uštede mogu se postići analizom i manipulacijom pogonskih stanja energetskih transformatora u pojedinim elektrovučnim podstanicama. Nazivna snaga energetskih transformatora projektira se u skladu s opsegom planiranoga željezničkog prometa i proračunatim maksimalnim opterećenjima za buduće potrebe. S obzirom na trenutačni opseg željezničkog prometa, u određenim elektrovučnim podstanicama jedan energetski transformator može napojiti postojeći broj vlakova na promatranome odsjeku napajanja. Ušteda koja je ostvarena u 2015. u dijelu elektrovučnih podstanica u kojima je u pogon uključen samo jedan energetski transformator iznosi 497.267,41 kn.

Optimiranje voznog reda odnosno povećanje učinkovitosti željezničkog prometa postiglo bi se uvođenjem suvremenoga centraliziranog upravljanja željezničkim prometom koji podrazumijeva primjenu sustava za prilagodbu voznog reda stvarnome stanju u prometu, u kombinaciji s primjenom sustava podrške u vožnji. Taj učinak ponajprije bi došao do izražaja u prometu gradsko-prigradskih vlakova, i to zbog karakterističnog režima vožnje koji podrazumijeva česta usporavanja i ubrzavanja vlakova, odnosno nagle promjene u brzini vlakova. Centralizirano upravljanje vožnjom vlakova velik je potencijal u pogledu povećanja stabilnosti voznog reda i uštede električne energije. Moguće je izbjeći i ostvarivanje maksimuma snage, koji nastupa prilikom istodobne vožnje više vlakova na istome prostornom odsjeku jedne elektrovučne podstanice [11].

U sklopu procesa otvaranja tržišta željezničkih usluga vrlo je važno pitanje pravedne naplate potrošene električne energije pojedinim željezničkim prijevoznicima. U skladu s time sustav je potrebno prilagoditi na način da svi željeznički prijevoznici imaju jednake uvjete te način utvrđivanja i naplate potrošene električne energije.

Znatnije uštede električne energije, a time i troškova za električnu energiju, željeznički prijevoznici mogu postići nabavom električnih lokomotiva, vagona i elek-

tromotornih vlakova koji su ergonomski oblikovani, u cilju ostvarivanja što boljih aerodinamičkih uvjeta u vožnji. Uz oblikovanje aerodinamike, intenzivno se može posvetiti pozornost smanjenju otpora koji djeluju pri pokretanju i kretanju vlaka odnosno pravilnome održavanju voznog parka. Drugi je pristup uštedi električne energije implementacija sustava za podršku u vožnji vlaka što rezultira energetski učinkovitim kretanjem vlaka [12]. Potrebno je predvidjeti mogućnost poticanja strojovođe, jer se štedljivom vožnjom može uštedjeti znatan iznos električne energije. U budućnosti se može očekivati daljnji razvoj tehnologije u regulaciji upravljanja vožnjom vlaka, koja će omogućiti dodatnu uštedu u potrošnji električne energije.

Aktivnosti na području električne energije za električnu vuču koje podupire Europska unija provode se pod okriljem Međunarodne željezničke unije (UIC – *Union Internationale des Chemins de fer*) [13]. Za očekivati je da će se u bližoj budućnosti i HŽ Infrastruktura aktivno uključiti u programe energetske učinkovitosti koje provodi Međunarodna željeznička unija.

4. Zaključak

Uz početne financijske uštede koje se postižu elektrifikacijom mreže željezničkih pruga u cilju dodatnih financijskih ušteda potrebno je nastaviti pratiti i analizirati potrošnju električne energije za električnu vuču. Navedene aktivnosti proizlaze iz činjenice da troškovi električne energije za električnu vuču predstavljaju znatne materijalne troškove, a cilj svake tvrtke teži ka smanjenju materijalnih troškova poslovanja. U HŽ Infrastrukturi se do sada nije u dovoljnoj mjeri vodilo računa o štednji električne energije za električnu vuču, ali se kontinuirano prikupljaju podaci i prate trendovi potrošnje električne energije. U skladu s time u radu je prikazana potrošnja električne energije za električnu vuču u 2015. te su prikazana moguća područja koja je potrebno obuhvatiti i aktivnosti koje je poželjno provesti kako bi se postigle dodatne uštede električne energije, a na taj način i uštede u ukupnim troškovima poslovanja HŽ Infrastrukture.

Literatura:

- [1] Karakašić, J.: Analiza potrošnje električne energije za električnu vuču (specijalistički rad), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstava, Zagreb, 2015.
- [2] Zakon o tržištu električne energije, Narodne novine 22/13
- [3] Tarifni sustav za prijenos električne energije, bez visine tarifnih stavki, Narodne novine 143/06, 26/10
- [4] Tarifni sustav za opskrbu električnom energijom, s iznimkom povlaštenih kupaca, bez visine tarifnih stavki, Narodne novine 143/06, 26/10
- [5] Odluka o visini tarifnih stavki u tarifnom sustavu za prijenos električne energije, bez visine tarifnih stavki, Narodne novine 49/12

- [6] Ugovor o opskrbi električnom energijom povlaštenog kupca /O-14-2880, HEP Opskrba d.o.o., Zagreb, 2014.
- [7] Statistika Službe za upravljanje održavanjem i obnovu elektroenergetskih postrojenja i energetiku, HŽ Infrastruktura d.o.o., Zagreb, 2015.
- [8] Mandić, M.: Metoda za optimiranje potrošnje energije električnih vlakova (doktorska disertacija), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstava, Zagreb, 2010.
- [9] Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom, Narodne novine 85/15
- [10] Jergović, D.; Bogutovac, I.; Ungarov, J.; Macan, M.: Statička kompenzacija jalove energije za električnu vuču, 12. savjetovanje HRO CIGRÉ, 8-11. studenoga 2015., Šibenik
- [11] Željeznički sigurnosno signalni i komunikacijski sustavi (izvod s predavanja), Specijalistički studij Željeznički elektrotehnički sustavi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstava, Zagreb, 2014./2015.
- [12] Željeznička tračnička vozila (izvod s predavanja), Specijalistički studij Željeznički elektrotehnički sustavi, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstava, Zagreb, 2014./2015.
- [13] Jergović, D.: Učinkovito korištenje električne energije na željeznici, Željeznice 21, broj 4, Zagreb, 2009.

UDK: 621.33

Adresa autora:

Jurica Karakašić, mag. ing. el.
HŽ Infrastruktura d.o.o. / UŽIP
Kneza Branimira 27, 10 000 Zagreb
jurica.karakasic@hzinfra.hr

SAŽETAK

U radu je prikazana potrošnja električne energije za električnu vuču u 2015. te je dan pregled elektrovučnih podstanica za napajanje električne vuče. Na temelju tarifnih stavki tarifnih sustava za prijenos i opskrbu električnom energijom grafički su prikazani kretanje potrošnje radne i jalove energije, iznosi angažirane snage te struktura pojedinih troškova. Prikazan je iznos registrirane električne energije vraćene u prijenosnu mrežu zbog primjene regenerativnog kočenja te je dan prijedlog mogućih aktivnosti koje mogu dovesti do smanjenja potrošnje električne energije za električnu vuču, a samim time i ukupnih troškova za električnu energiju.

Ključne riječi: napajanje električne vuče, električna energija, registrirana energija zbog regenerativnog kočenja, ušteda električne energije

SUMMARY

CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY FOR ELECTRIC TRACTION

In this work the consumption of the electrical energy for the electric traction in 2015 and the overview of the substation for power supply of electric traction has been presented. On the basis of the tariff items of tariff systems for electrical energy transfer and supply, the movement of operating and reactive energy, amount of the engaged power and the structure of the costs have been presented graphically. The amount of the recorded electrical energy returned into the transfer net during the application of regenerative braking has been presented and the possible actions have been proposed that could lead to the decrease in the consumption of the electrical energy for the electric traction, and thereby to the decrease in the total costs for the electrical energy.

Key words: electric traction power supply, electrical energy, recorded energy from regenerative braking, savings of the electrical energy