

Sprega simulacionog planerskog alata sa alatom za proračun tokova snaga: Studija slučaja Republike Srbije

Coupling of the Simulation Planning and Power Flow Calculation Tools: Case Study of the Republic of Serbia

Nikola Rajaković*, Bojan Ivanović**, Ilija Batas Bjelić***, Tomislav Rajić*

*Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

**ODS Elektrodistribucija Srbije, Beograd Srbija

***Institut Tehničkih Nauka SANU, Beograd, Srbija

Rezime - Planiranje nacionalnog energetskeg sistema preko sagledavanja alternativnih investicionih odluka kroz godišnje simulacije (korišćenjem alata EnergyPlan) zbog svoje (kombinatorne) složenosti ostavlja malo prostora za eksplicitnost u pogledu uticaja mreže na planerske odluke i zato postoji potreba da se sagledaju i tokovi snaga u mreži. Investicione odluke koje se donose ostaju sa dozom nedorečenosti u tehničkom pogledu, koja se ovom spregom može otkloniti. Alat CASE se koristi za brojne sistemske proračune tokova snaga, struja kratkog spoja, rednih kvarova, stabilnosti na male poremećaje i tranzijentne stabilnosti. U programu su implementirani i proračuni koji se baziraju na proračunu tokova snaga: redukcija mreže, sigurnost (N-1 i N-X), NTC i OTDF/PTDF. Sprega programa CASE i EnergyPlan je ostvarena preko izlaznog tekstualnog fajla EnergyPlan-a koji po satima hronološki u toku cele godine, sadrži razdvojenu ukupnu proizvodnju elektrana po tipu, ukupan konzum sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvoz i uvoz iz regulacione oblasti. CASE učitava izlazni fajl EnergyPlan-a i ukupnu proizvodnju po tipovima elektrana CASE raspodeljuje na svaku pojedinačnu elektranu u sistemu prema unapred definisanim koeficijentima raspodele, dok ukupan konzum raspodeljuje proporcionalno postojećim opterećenjima po čvorovima mreže. Tako se za svaki sat u toku godine definiše model sistema za proračun tokova snaga. Rezultati proračuna za svaki sat se čuvaju u operativnoj memoriji CASE programa i mogu se sortirati po najopterećenijem elementu sistema, najvećoj razmeni posmatrane regulacione oblasti, gubicima u regulacionoj oblasti, proizvodnji po određenom tipu elektrane, konzumu, itd. Na ovaj način je omogućeno da se efikasno analizira rad sistema po različitim kriterijumima. Cilj ovog rada je pre svega realizacija sprege dva softverska alata, koja do sada nije bila ostvarena, kao i prikaz nekih od najznačajnijih rezultata izabranih među brojnim opcijama sortiranja stanja. Rezultat rada je integracija softverskih alata koja služi na dobrobit planerskih aktivnosti u smislu njihove tehničke izvodljivosti, odnosno da preciznije ispita da li je neki perspektivni scenario realan sa aspekta tokova snaga u prenosnoj mreži.

Ključne reči - elektroenergetski sistem, planiranje, obnovljivi izvori energije, softverski alat

Abstract - Planning of the national energy system by looking at alternative investment decisions through annual simulations (using the EnergyPlan tool) due to its (combinatorial) complexity leaves little room for explicitness regarding the network's impact on planning decisions and therefore there is a need to look at the power flows in the network. The investment decisions that are made remain with a degree of vagueness in the technical aspect, which can be removed with this connection. The CASE tool is used for numerous system calculations of power flows, short-circuit currents, series faults, stability to small disturbances and transient stability. Calculations based on the calculation of power flows are also implemented in the program: network reduction, security (N-1 and N-X), NTC and OTDF/PTDF. The coupling of the CASE program and EnergyPlan was achieved through the output text file of EnergyPlan, which contains the total production of power plants by type, the total consumption of the system divided into several subtypes, export and import from the regulatory area. CASE loads the output file of EnergyPlan and distributes the total production by power plant types to each individual power plant in the system according to predefined distribution coefficients, while the total consumption is distributed proportionally to the existing loads by network nodes. Thus, a system model for power flow calculation is defined for each hour of the year. Calculation results for each hour are stored in the working memory of the CASE program and can be sorted by the most loaded element of the system, the largest exchange of the observed control area, losses in the control area, production by a certain type of power plant, consumption, etc. In this way, it is possible to efficiently analyse the operation of the system according to different criteria. First of all, the goal of this work is to couple the two software tools, which has not been realized until now, as well as the presentation of some of the most significant results selected from among the numerous options of state sorting. The result of the work is the integration of software tools that serve the benefit of planning activities in terms of their technical feasibility, that is, to examine more precisely whether a prospective scenario is realistic from the aspect of power flows in transmission grid.

Index terms - Power system, Planning, Renewable energy sources, Software tool

I UVOD

EnergyPlan je softverski alat koji služi za modelovanje i analizu elektroenergetskih sistema. Ovaj alat simulira veličine od interesa kod nacionalnih energetske sistema na satnom nivou za potrebe izračunavanja bilansa energije, emisija gasova i troškova na godišnjem nivou [1]. Ovim analizama obuhvaćene su proizvodnja i potrošnja energije u sektorima električne energije, toplotne energije i saobraćaja, kao i emisije ugljen dioksida i aktualizovani godišnji troškovi sa investicionim i eksploatacionim karakteristikama.

Planiranje nacionalnog energetske sistema preko sagledavanja alternativnih investicionih odluka kroz godišnje simulacije (korišćenjem alata EnergyPlan) zbog svoje (kombinatorne) složenosti ostavlja malo prostora za eksplicitnost u pogledu uticaja mreže na planerske odluke i zato postoji potreba da se sagledaju i tokovi snaga u mreži [2-4]. Alat CASE se koristi za brojne sistemske proračune poput tokova snaga, struja kratkog spoja, rednih kvarova, stabilnosti na male poremećaje i tranzijentne stabilnosti. U programu su implementirani i proračuni koji se baziraju na proračunu tokova snaga: redukcija mreže, sigurnost (N-1 i N-X), NTC i OTDF/PTDF. Sprega programa CASE i EnergyPlan je ostvarena preko izlaznog tekstualnog fajla EnergyPlan-a koji po satima hronološki u toku cele godine, sadrži razdvojenu ukupnu proizvodnju elektrana po tipu, ukupan konzum sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvoz i uvoz iz regulacione oblasti.

Cilj rada je da se pokaže kakve su performanse sistema pri velikoj penetraciji obnovljivih izvora energije [5-7]. Pretpostavljeno je da je instalirano 2000 MW koji se dobijaju od energije vetra i 2500 MW od energije sunca. U pitanju je pretpostavljeno perspektivno stanje za 2030. godinu. Softver EnergyPlan računa godišnju proizvodnju svakog tipa elektrane posebno. Kako bi se što realnije modelovao elektroenergetski sistem Srbije i proračunale razmene energije sa susednim zemljama, uneti su delovi 400 kV i 220 kV prenosnih mreža svih susednih država i Slovenije sa velikim priključenim elektranama poput HE Potile De Fier, NE Kozluduj, HE Piva, TE Pljevlja, NE Pakš, TE Gacko, HE Trebinje, HE Višegrad, NE Krško i TE Podlog. U Crnoj Gori je u TS Lastva modelovan jednosmerni kabl prema Italiji kao potrošnja od 1000 MW priključena na 400 kV sabirnica ove TS. Simulacioni model je napravljen u CASE softveru. U radu su prikazani rezultati nekoliko scenarija i analizirani su gubici i opterećenja grana, odnosno transformatora u mreži elektroenergetskog sistema Srbije. Ovakav pristup bi imao velike prednosti i pruža mnogobrojne pogodnosti u planiranju elektroenergetskog sistema, prvenstveno zbog efikasnosti i brzine proračuna [8, 9].

II SPREGA SOFTVERSKIH ALATA

Sprega programa CASE i EnergyPlan je ostvarena preko izlaznog tekstualnog fajla EnergyPlan-a. Izlazni fajl sadrži informacije na satnom nivou o: ukupnoj proizvodnji elektrana po tipu, ukupom konzumu sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvozu i uvozu iz regulacione oblasti.

EnergyPlan simulira ponašanje nacionalnih energetske sistema na satnom nivou. Vršiti se izračunavanje bilansa energije, emisija gasova staklene bašte i troškova na godišnjem nivou. Ovim

analizama obuhvaćene su proizvodnja i potrošnja energije u sektorima električne energije, toplotne energije i saobraćaja, kao i emisije ugljen dioksida i aktualizovani godišnji troškovi sa investicionim i eksploatacionim karakteristikama. Kako obnovljiva energija postaje sve izraženija u energetskim sistemima, fleksibilnost kompletnog elektroenergetskog sistema je već postala ozbiljna tema. Jedna od najpristupačnijih metoda stvaranja fleksibilnosti je integracija elektroenergetskog, toplotnog i transportnog sektora koristeći tehnologije kao što su kombinovana postrojenja za toplotnu i električnu energiju, toplotne pumpe, skladištenje energije i električna vozila. Glavna svrha ovog softvera je pomoć u kreiranju nacionalnih strategija energetske planiranja na osnovu tehničkih i ekonomskih analiza koje su posledica različitih nacionalnih energetske sistema i investicija [1].

EnergyPlan je napravljen kao *input/output* model. Kao ulazne veličine planirane su potrošnje energije u svim sektorima od interesa, obnovljivi izvori energije, kapaciteti elektrana, troškovi i planirani uvoz i izvoz električne energije, višak proizvedene energije, tipovi dostupnih energenata, specifični troškovi energenata i opreme, itd. Izlazni podaci su bilans snage i godišnja proizvodnja energije, potrošnja goriva, uvoz i izvoz električne energije i ukupni troškovi uključujući prihode od prodaje električne energije [1].

CASE softver je realizovan za potrebe široke lepeze proračuna potrebnih u elektroenergetskom sistemu. Na jednostavan način se mogu formirati mreže i vršiti analize. Za ovaj rad iskorišćena je njegova mogućnost uvoza modela prenosnog sistema Srbije iz tzv. UCTE formata u kom su sve elektrane modelovane na visokom naponu. Na Slici 1 je dat izgled softvera CASE na čijoj interaktivnoj jednodimenzionalnoj šemi je prikazan deo 400 kV prenosnog sistema u istočnoj Srbiji.

Veličine koje se pojavljuju prilikom definisanja jednačina za snage u čvorovima su aktivna snaga (P), reaktivna snaga (Q), napon (U) i fazni stav napona (Θ), odnosno razlika u odnosu na fazni stav referentnog (balansnog čvora). Ukoliko bi sve veličine bile nepoznate, moralo bi postojati 4 N jednačina. Međutim, u sistemu postoji 2 N jednačina, gde N predstavlja broj čvorova. Da bi sistem bio rešiv, potrebno je da u svakom čvoru budu unapred poznate dve veličine. U Tabeli 4 prikazan je pregled koje veličine su poznate u odgovarajućim čvorovima [2-4].

Tabela 1. Poznate veličine u zavisnosti od tipa čvora

Tip čvora	P	Q	U	Θ
generatorski	x		x	
potrošački	x	x		
balansni			x	x

Generatorski čvorovi se još nazivaju i (P , U) čvorovi. Kod njih se aktivna snaga injektiranja održava na zadatoj vrednosti. Potrošački čvorovi se nazivaju i (P , Q) čvorovi. To su čvorovi u kojima su injektiranja aktivne i reaktivne snage zadate veličine. Pošto je prema konvenciji pozitivno injektiranje sa smerom u mrežu, to su onda ove snage negativne, ako su u pitanju čisto potrošački čvorovi. Balansni čvor je čvor sa zadatim modulom napona (U) i konstantnim faznim stavom (Θ). Ako bi u ovom

čvoru bila definisana i unapred poznata aktivna snaga injektiranja (P), onda bi problem bio predefinisana, jer bi taj parametar bio poznat u svim čvorovima [2-4].

Konačno, kada se odrede snage u svim čvorovima, mogu se vrlo jednostavno izračunati gubici u sistemu. Razlika snaga generisanja i potrošnje u svakom čvoru definiše snagu injektiranja u tom čvoru. Gubici se izračunavaju tako što se algebarski sabere sve snage injektiranja za čvorove sistema

$$P^{gub} = \sum (P_G - P_P) \quad (1)$$

$$Q^{gub} = \sum (Q_G - Q_P) \quad (2)$$

gde su:

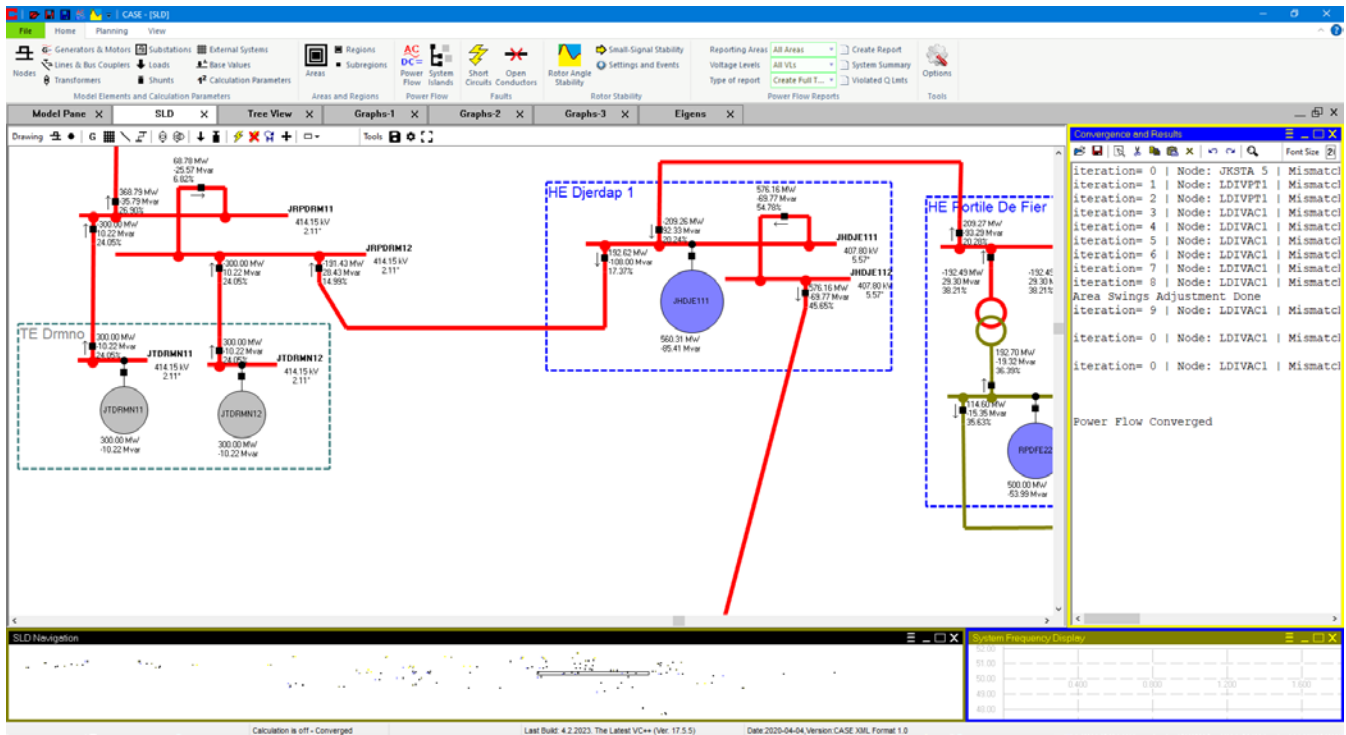
P^{gub} i Q^{gub} – gubici aktivne i reaktivne snage u sistemu

P_P i Q_P – snage potrošnje u pojedinim čvorovima i

P_G i Q_G – snage generisanja u pojedinim čvorovima.

Proračun osim osnovne *Newton-Raphson* petlje ima još dve spoljašnje petlje:

1. Za dovođenje generatora u okvire reaktivnih ograničenja. To je pretvaranje PV u PQ čvor kada se naruše reaktivna ograničenja i vraćanje iz PV u PQ kada se za to steknu uslovi, tzv. algoritam sa pogledom unazad (*backward looking*).
2. Za podešavanje regulacione snage oblasti na zadatu vrednost. Za to je zadužen balansni generator oblasti. U našem slučaju, to je HE "Đerdap 1". To je i u stvarnosti tako, pošto se preko 90% sekundarne regulacije u Srbiji obavlja sa HE "Đerdap 1".



Slika 1. Izgled softvera CASE

Program EnergyPlan daje podatke o proizvodnji i potrošnji električne energije za celokupan elektroenergetski sistem Srbije, ali ne daje mogućnost da se proračunaju tokovi snaga po granama. Za to je zadužen program CASE. Za svaki sat, na osnovu rezultata iz programa CASE, dobijaju se informacije o tome da li ima preopterećenih grana ili transformatora. Pomoću EnergyPlan programa, dobijaju se snage koje proizvode svi izvori energije kako bi se zadovoljila potrošnja. Prioritet se daje obnovljivim izvorima energije, a sve što je potrebno za ostatak potrošnje, proizvodi se iz termoelektrana, jer one proizvode najviše CO₂ gasa. Izlaz iz softvera je zbirna snaga za svaku posebno vrstu elektrane. Međutim, softver ne daje pojedinačne snage po elektranama. Uvaženo je da se sva proizvedena snaga deli na sve elektrane istog tipa, prema instalisanoj snazi srazmerno. Kasnije se proračuni tokova snaga vrše u softveru CASE.

III MODELOVANJE SISTEMA SRBIJE

Cilj rada je da se pokaže kakve su performanse sistema pri velikoj penetraciji obnovljivih izvora energije. Pretpostavljeno je da je instalirano 2000 MW koji se dobijaju od energije vetra i 2500 MW od energije sunca. U Tabeli 2, prikazane su instalisane snage iz različitih izvora energije. U pitanju je pretpostavljeno perspektivno stanje za 2030. godinu. Softver EnergyPlan računa godišnju proizvodnju svakog tipa elektrane posebno.

Usvojeno je da prosečna cena električne energije iznosi 40 EUR/MWh. Za sistemsku balansnu referentnu mašinu izabran je bugarski Kozloduj. Kako bi se što realnije prikazao elektroenergetski sistem i kako bi se proračunale razmene energije sa susednim zemljama, u CASE softveru su formirani ekvivalentni modeli zemljama sa kojima se graniči Srbija i Slovenije.

Tabela 2. Instalirane snage iz različitih izvora energije u elektroenergetskom sistemu Srbije u 2030. godini

Tip elektrane	Instalirana snaga [MW]	Godišnja proizvodnja [TWh/god]
Termoelektrana	3500	16,93
Hidroelektrane	2240	11,68
Vetroelektrane	2000	4,68
Solarne elektrane	2500	3,86
Geotermalna i nuklearna	5	0,03

U Mađarskoj je izvršeno modelovanje do NE Pakš i ubačene su njihove 400 kV veze prema Hrvatskoj, Rumuniji i Srbiji: Pečuj-Ernestinovo (dvostruki), Heviz-Žerjavinec (dvostruki), Šandofalva-Arad i Šandofalva-Subotica. U Sloveniji su modelovani NE Krško i TE Podlog. Hrvatska nema velike elektrane tako da je ubačena samo njena 400 kV mreža do Zagreba i prema Krškom. U BiH su modelovane TE Ugljevik, TE Gacko, HE Trebinje i HE Višegrad. To su elektrane koje imaju najveći uticaj na elektroenergetski sistem Srbije. U Crnoj Gori unete su TE Pljevlja i HE Piva i potrošnja oba pola podmorskog kabla u TS Lastva od 1000 MW. Zbog ovog kabla TS Lastva je ujedno i TS sa najvećom potrošnjom u regionu. U Bugarskoj se zatvara 400 kV prsten do NE Kozloduj koja je systemska swing mašina. Postoji i 400 kV veza u Sloveniji između TS Divača i TS Redipuglia u Italiji preko koje ide veliki izvoz od oko 500 MW. TS Divača je karakteristična po tome što poseduje dva phase-shift transformatora 400/400 kV, snage 2x600 MVA, za upravljanje tokovima aktivne snage u tom delu mreže.

U elektroenergetskom sistemu Srbije modelovane su tri solarne elektrane. Dve velike solarne elektrane su priključene na 400 kV sabirnice u TS 400/110 kV Vranje i TS 400/110 kV Kragujevac, a jedna mala je priključena u TS 110/35 kV Belo Polje. Faktori učešća dve velike solarne elektrane su 0,475, a male 0,05.

IV REZULTATI

Prvi korak jeste učitavanje satnih vrednosti za brzinu vetra u različitim oblastima i regionima. Time se dobijaju ulazni parametri za proračun očekivane snage svih vetroelektrana na satnom nivou. Takođe, potrebno je uneti i satnu sunčevu iradijaciju za svaku solarnu elektranu. Postoji mogućnost i da se učitaju satne vrednosti za potrošački konzum. Izlazni tekstualni fajl softvera EnergyPlan obezbeđuje potrebne informacije po satima hronološki u toku cele godine. Izveštaj sadrži razdvojenu ukupnu proizvodnju elektrana po tipu, ukupan konzum sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvoz i uvoz iz regualcione oblasti. Izlazni fajl EnergyPlan-a je ulaz za softver CASE.

CASE učitava izlazni fajl EnergyPlan-a i ukupnu proizvodnju po tipovima elektrana raspodeljuje na svaku pojedinačnu elektranu u sistemu prema unapred definisanim koeficijentima raspodele, dok ukupan konzum raspodeljuje proporcionalno postojećim opterećenjima po čvorovima mreže. Tako se za svaki sat u toku godine definiše model sistema za proračun tokova snaga.

Pretpostavlja se da je godina prestupna i sadrži 366 dana, odnosno 8784 sata. Softver CASE nudi pregledni prikaz rezultata po satima. Rezultati za prva 24 sata, prikazani su na slici 2. U poslednjoj koloni prikazana je razlika svih proizvodnih kapaciteta i svih potrošača za dati sat. Uvoz je na straniprodukcije a izvoz na strani konzuma. Svih 8784 scenarija konvergiraju. Najveći izvozi su u sledećim satima:

1. Sat br. 3179. Izvoz 4442 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-1991 MW, SE-2308 MW;
2. Sat br. 3251. Izvoz 4355 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-1749 MW, SE-2395 MW;
3. Sat br. 4547. Izvoz 4211 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-2000 MW, SE-2175 MW;
4. Sat br. 4979. Izvoz 4094 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-1749 MW, SE-2220 MW;
5. Sat br. 5003. Izvoz 4058 MW. U ovom satu je proizvodnja iz VE i SE u Srbiji: VE-2000 MW, SE-1997 MW;

Softver CASE ima mogućnost da sortira rezultate po unapred definisanim kriterijumima. U nastavku će biti prikazani rezultati za sate kada se javljaju najveća opterećenja po granama ikada se javljaju najveći gubici po oblastima. Najveća preopterećenja se javljaju u satu broj 5309. Program CASE pokazuje rezultate za ukupnu aktivnu i reaktivnu snagu po oblastima/državama. Rezultati su prikazani na slici 3.

U pomenutom satu, najveći naponi se javljaju u čvorovima:

JSUBO311	V[kV]=421,08	V_upper[kV]=420,00
	V_lower[kV]=380,00	
JSOMB31	V[kV]=422,38	V_upper[kV]=420,00
	V_lower[kV]=380,00	
JSMIT212	V[kV]=421,79	V_upper[kV]=420,00
	V_lower[kV]=380,00	
JSMIT211	V[kV]=421,79	V_upper[kV]=420,00
	V_lower[kV]=380,00	

Preopterećene grane su:

JWALIB51	JPANC251	1	I _{max} [A]=585,00	I ₁₂ [A]=1697,94
			I _{L12} [%]=290,25	I ₂₁ [A]=1696,08
				I _{L21} [%]=289,93
JVRS15	JVRS25	1	I _{max} [A]=720,00	I ₁₂ [A]=1288,20
			I _{L12} [%]=178,92	I ₂₁ [A]=1288,13
				I _{L21} [%]=178,91
JCVSTR5	JVRS25	1	I _{max} [A]=720,00	I ₁₂ [A]=755,25
			I _{L12} [%]=104,90	I ₂₁ [A]=755,65
				I _{L21} [%]=104,95
JPANC251	JCVSTR5	1	I _{max} [A]=720,00	I ₁₂ [A]=730,47
			I _{L12} [%]=101,45	I ₂₁ [A]=735,07
				I _{L21} [%]=102,09
JALIBU5	JWKOSA51	1	I _{max} [A]=585,00	I ₁₂ [A]=734,66
			I _{L12} [%]=125,58	I ₂₁ [A]=735,97
				I _{L21} [%]=125,81
JVRS15	JWKOSA51	1	I _{max} [A]=720,00	I ₁₂ [A]=1327,51
			I _{L12} [%]=184,38	I ₂₁ [A]=1327,82
				I _{L21} [%]=184,42

Ni u jednom satu nema preopterećenih transformatora.

Najveći gubici u elektroenergetskom sistemu u Republici Srbiji se javljaju u 2007. satu. Izlaz iz programa CASE za pomenuti sat je prikazan na slici 4.

U pomenutom satu, nema napona u čvorovima koji su veći od dozvoljenih. Preopterećene grane su:

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Hour	Demand [MW]	Cooling Demand [MW]	HPP-RoR [MW]	WPP [MW]	SPP [MW]	TPP-Coal [MW]	TPP-Gas [MW]	RHPP-Load [MW]	RHPP-Gen [MW]	Import [MW]	Export [MW]	CEEP [MW]	HPP+WPP+SPP+TPPCoal+TPPGas+RHPPGen+Import- (Demand+Cool.Demand+RHPPLoad+Export+CEEP)
1	5263	0	1415	0	0	3497	0	0	0	554	0	0	203
2	5179	0	1415	72	0	3497	0	0	0	399	0	0	204
3	4811	0	1415	291	0	3316	0	0	0	0	0	0	211
4	4459	0	1415	348	0	2910	0	0	0	0	0	0	214
5	4348	0	1415	164	0	2988	0	0	0	0	0	0	219
6	4207	0	1415	79	0	2934	0	0	0	0	0	0	221
7	4089	0	1415	72	0	2826	0	0	0	0	0	0	224
8	4047	0	1415	15	4	2835	0	0	0	0	0	0	222
9	4280	0	1415	15	239	2802	0	0	0	0	0	0	191
10	4608	0	1415	0	262	3103	0	0	0	0	0	0	172
11	4791	0	1415	18	456	3051	0	0	0	0	0	0	149
12	4977	0	1415	115	681	2892	0	0	0	0	0	0	126
13	5009	0	1415	348	608	2750	0	0	0	0	0	0	112
14	4987	0	1415	427	820	2424	0	0	0	0	0	0	99
15	4973	0	1415	427	348	2888	0	0	0	0	0	0	105
16	5047	0	1415	277	121	3358	0	0	0	0	0	0	124
17	5246	0	1415	291	0	3497	0	0	0	186	0	0	143
18	5387	0	1415	218	0	3497	0	0	0	411	0	0	154
19	5380	0	1415	486	0	3497	0	0	0	147	0	0	165
20	5345	0	1415	427	0	3497	0	0	0	179	0	0	173
21	5306	0	1415	291	0	3497	0	0	0	287	0	0	184
22	5245	0	1415	107	0	3497	0	0	0	419	0	0	193
23	5215	0	1415	72	0	3497	0	0	0	433	0	0	202
24	4980	0	1415	0	0	3497	0	0	0	280	0	0	212

Slika 2. Prikaz rezultata proračuna izvršenih u softveru CASE za prva 24 časa

SYSTEM SUMMARY

AREA	ACTIVE POWER [MW]						REACTIVE POWER [MVar]				
	GENERATION	LOAD	LOSSES	DESEXP	EXPORT	TRANZIT	GENERATION	LOAD	LOSSES	EXPORT	TRANZIT
RS	4742.4	2324.0	222.372	2196.0	2196.0	157.6	8.6	398.9	-320.36	-69.9	73.5
RO	820.0	640.0	42.757	ndf	137.2	314.6	-108.3	239.1	146.716	-494.1	282.8
HU	1001.3	671.5	5.197	ndf	324.6	93.1	-200.0	379.7	-568.927	-10.8	6.7
BG	-924.2	180.7	7.575	slack	-1112.5	0.0	3.3	43.4	-376.184	336.1	0.0
MK	0.0	270.0	5.392	ndf	-275.4	48.9	0.0	74.0	-66.972	-7.0	20.7
HR	0.0	466.2	9.200	ndf	-475.4	381.8	0.0	174.0	-446.405	272.4	13.7
SI	888.0	595.2	6.806	ndf	286.0	380.0	-92.6	178.6	-173.758	-97.5	40.5
BA	818.4	418.4	3.027	ndf	397.0	96.0	102.2	112.0	-198.986	189.2	24.8
ME	460.3	1280.0	39.752	ndf	-859.5	0.0	113.0	70.0	309.905	-266.9	0.0
XX	0.0	617.5	0.779	ndf	-618.3	68.0	0.0	-121.7	-26.995	148.7	34.9
SUM	7806.1	7463.5	342.857	2196.0	-0.2		-173.8	1548.0	-1721.963	0.1	

Slika 3. Rezultati za aktivnu i reaktivnu snagu po oblastima/državama za sat 5309

SYSTEM SUMMARY

AREA	ACTIVE POWER [MW]						REACTIVE POWER [MVar]				
	GENERATION	LOAD	LOSSES	DESEXP	EXPORT	TRANZIT	GENERATION	LOAD	LOSSES	EXPORT	TRANZIT
RS	7283.2	6957.0	325.766	0.0	0.4	1183.3	1325.3	1100.3	567.61	-342.6	110.9
RO	820.0	640.0	25.720	ndf	154.3	227.5	-62.9	239.1	-83.982	-218.0	103.3
HU	1001.3	671.5	5.818	ndf	324.0	166.7	-111.5	379.7	-557.193	66.0	76.9
BG	1255.7	180.7	12.933	slack	1062.1	0.0	-239.4	43.4	-312.401	29.6	0.0
MK	0.0	270.0	5.200	ndf	-275.2	0.0	0.0	74.0	-68.203	-5.8	0.0
HR	0.0	466.2	9.169	ndf	-475.4	381.7	0.0	174.0	-444.802	270.8	13.5
SI	888.0	595.2	6.813	ndf	286.0	380.0	-84.5	178.6	-173.711	-89.3	40.0
BA	818.4	418.4	3.616	ndf	396.4	107.2	197.4	112.0	-190.781	276.2	45.9
ME	460.3	1280.0	34.803	ndf	-854.5	94.9	156.3	70.0	220.884	-134.6	21.5
XX	0.0	617.5	0.806	ndf	-618.3	68.0	0.0	-121.7	-25.992	147.7	34.9
SUM	12526.9	12096.5	430.644	0.0	-0.2		1180.8	2249.4	-1068.570	-0.1	

Slika 4. Rezultati za aktivnu i reaktivnu snagu po oblastima/državama za sat 2007

JWALIB51 JPANC251 1 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=1601,24
 I_{L12}[%]=273,72 I₂₁[A]=1599,48 I_{L21}[%]=273,42
 JPANC251 JPANC152 2 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=710,10
 I_{L12}[%]=121,38 I₂₁[A]=709,80 I_{L21}[%]=121,33
 JPANC251 JPANC45 1 I_{max}[A]=720,00 I₂[A]=772,00
 I_{L12}[%]=107,22 I₂₁[A]=771,83 I_{L21}[%]=107,20
 JBGD3 51 JBGD165 1 I_{max}[A]=720,00 I₂[A]=724,84
 I_{L12}[%]=100,67 I₂₁[A]=724,79 I_{L21}[%]=100,67
 JBGD3 52 JPANC152 1 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=705,38
 I_{L12}[%]=120,58 I₂₁[A]=707,07 I_{L21}[%]=120,87
 JBGD335 JPANC151 1 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=639,92
 I_{L12}[%]=109,39 I₂₁[A]=640,88 I_{L21}[%]=109,55
 JVRSA15 JVRSA25 1 I_{max}[A]=720,00 I₂[A]=1268,88
 I_{L12}[%]=176,23 I₂₁[A]=1268,80 I_{L21}[%]=176,22
 JRHBBA21 JBBAST21 1 I_{max}[A]=1233,00 I₂[A]=1738,35
 I_{L12}[%]=140,99 I₂₁[A]=1737,99 I_{L21}[%]=140,96
 JRHBBA22 JBBAST22 2 I_{max}[A]=1233,00 I₂[A]=1736,10
 I_{L12}[%]=140,80 I₂₁[A]=1735,75 I_{L21}[%]=140,77
 JALIBU5 JWKOSA51 1 I_{max}[A]=585,00 I₂[A]=705,26
 I_{L12}[%]=120,56 I₂₁[A]=706,72 I_{L21}[%]=120,81
 JVRSA15 JWKOSA51 1 I_{max}[A]=720,00 I₂[A]=1369,57
 I_{L12}[%]=190,22 I₂₁[A]=1369,81 I_{L21}[%]=190,25

Ni u jednom satu nema preoprećenih transformatora.

Rezultati pokazuju da se na jednostavan način može doći do zaključka kakav je bilans snaga na satnom nivou. Prilikom velike proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, dobija se velika izvezena energija. Takođe, može se i proceniti kada će biti mala proizvodnja iz obnovljivih izvora energije kako bi se na vreme planirao uvoz električne energije. Proračuni su pokazali da prilikom priključenja velikih snaga obnovljivih izvora energije, na godišnjem nivou bi se imala velika izvezena električna energija. Prioritet bi bio da se zadovolji potrošnja i to se pokazuje kao uspešno obavljen zadatak. Nekoliko čvorova bi imalo veće vrednosti napona od dozvoljenih i nekoliko grana bi imalo preopterećenja. To je posledica velike proizvodnje iz obnovljivih izvora energije što se svakako može korigovati isključenjem tih elektrana ili redukovanom proizvodnjom.

Vreme proračuna svih 8784 scenarija sa formiranjem izveštaja u operativnoj memoriji na desktop računaru je manje od 9 minuta. Karakteristike računara su: procesor Intel i5-10400 2.9 GHz, RAM 8 GB, operativni system MS Windows 10 Pro.

V ZAKLJUČAK

U radu je prikazana sprega programa CASE i EnergyPlan. Sprega programa CASE i EnergyPlan je ostvarena preko izlaznog tekstualnog fajla EnergyPlan-a koji po satima hronološki u toku cele godine, sadrži razdvojenu ukupnu proizvodnju elektrana po tipu, ukupan konzum sistema podeljen na nekoliko podtipova, izvoz i uvoz iz regulacione oblasti. CASE učitava izlazni fajl EnergyPlan-a i ukupnu proizvodnju po tipovima elektrana raspodeljuje na svaku pojedinačnu elektranu u sistemu prema unapred definisanim koeficijentima raspodele, dok ukupan konzum raspodeljuje proporcionalno postojećim opterećenjima po čvorovima mreže. Tako se za svaki sat u toku godine definiše model sistema za proračun tokova snaga.

Proračuni su pokazali da prilikom priključenja velikih snaga obnovljivih izvora energije, na godišnjem nivou bi se imala

velika izvezena električna energija. Prioritet bi bio da se zadovolji potrošnja i to se pokazuje kao uspešno obavljen zadatak. Nekoliko čvorova bi imalo veće vrednosti napona, i nekoliko grana bi imalo preopterećenja. To je posledica velike proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, što se svakako može korigovati isključenjem tih elektrana ili redukovanom proizvodnjom. Analiza pokazuje da je opisani pristup veoma produktivan, jer kombinuje dva pouzdana softverska paketa i da se može doći do korisnih zaključaka sa aspekta planiranja elektroenergetskog sistema. Pored toga, po prvi put se u našoj literaturi razmatraju karakteristični očekivani planerski scenariji u elektroenergetskom sistemu sa velikim učešćem obnovljivih izvora energije. U narednim radovima, potrebno je analizirati radna stanja sa još većim učešćem obnovljivih i pokušati ustanoviti koja su to radna stanja od interesa za analizu na tako dugačkim planerskim horizontima.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Lund, H., Thellufsen, J. Z. EnergyPLAN - Advanced energy systems analysis computer model (Version 15.1), Zenodo, 2020. <https://zenodo.org/records/4017214> [pristupljeno 23.04.2023]
- [2] Rajaković, N. *Analiza elektroenergetskih sistema I*, Akademska misao, Beograd, 2002.
- [3] Rajaković, N. *Analiza elektroenergetskih sistema II*, Akademska misao, Beograd, 2002.
- [4] Bibić, K., Stamenić, I., Rajić, T. Analiza uticaja ispada proizvodnih jedinica u TENT A i B na gubitke u prenosnom sistemu Srbije, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 4, pp. 75-79, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-4.75B>
- [5] Aleksić, V., Batas Bjelić, I. Da li nam treba više ambicije za tranziciju na obnovljive izvore u Srbiji? Temelji upravljanja i planiranja energije, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp 1-9, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.01A>
- [6] Rajaković, N. Da li je pravo vreme za izgradnju velike solarne elektrane u Srbiji?, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 2, pp. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-2.01R>
- [7] Janković, S., Ivanović, B. Implementacija i razvoj pravila za priključenje generatorskih jedinica koje su preko invertora povezane na mrežu u Nemačkoj, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 4, pp. 59-63, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-4.59J>
- [8] Mandić-Lukić, J., Milovanović, Đ., Stipić, M., Raković, R., Petrović-Bećirović, S. Energetska tranzicija - inteligentna, pravedna i ekološki prihvatljiva, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, pp. 68-74, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.68ML>
- [9] Ristić, V., Žikić, M., Vujanović, D., Trkulja, I., Mijušković, O. Definisane optimalnog proizvodnog miksa u dekarbonizovanom energetskom sistemu, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 22-27, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.22R>

AUTORI/AUTHORS

dr Nikola Rajaković, redovni profesor u penziji, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, rajakovic@etf.rs, ORCID [0009-0004-2268-4631](https://orcid.org/0009-0004-2268-4631)

Bojan Ivanović, ODS Elektrodistribucija Srbije, bojan.b.ivanovic@ods.rs, ORCID [0009-0008-4743-8559](https://orcid.org/0009-0008-4743-8559)

dr Ilija Batas Bjelić, naučni saradnik, Institut tehničkih nauka SANU, ilija.batas-bjelic@itn.sanu.ac.rs, ORCID [0000-0002-4747-7186](https://orcid.org/0000-0002-4747-7186)

dr Tomislav Rajić, docent, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, rajić@etf.rs, ORCID [0000-0003-4796-4117](https://orcid.org/0000-0003-4796-4117)