



# UTICAJ DISTRIBUIRANIH PROTOČNIH ELEKTRANA NA RIZIK NAPAJANJA POTROŠAČA, EDUKATIVNI SOFTVER ZA POTREBE CEFES MAGISTARSKIH STUDIJA

M. Nimrihter, S. Gušavac, J. Lukić

Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, FTN Novi Sad, Republika Srbija

**Sadržaj:** *Ocena uticaja dsitribuiranih hidroelektrana na rizik napajanja potrošača je jedna od fundamentalnih aktivnosti pri donošenju odluka o gradnji novih postrojenja. U članku se opisuje postupak ocene numeričkih pokazatelja rizika LOLP i EUE u uslovima kada su dotok vode i potrebe potrošača neravnomerni tokom godine.*

**Ključne reči:** *Distributed Generator, Hidroelektrana*

## 1. UVOD

Distriburani generatori (DG) su elektroenergetski izvori, relativno male snage, koji se priključuju na elektroenergetski/distributivni sistem u blizini potrošača, često u srednje naponskim (SN) distributivnim električnim mrežama (DEM). Tu spadaju vetrene farme, gorivne ćelije, fotonaponski izvori, male hidroelektrane, gasne turbine. Ovi izvori često koriste obnovljivu energiju sunca u različitim oblicima, kao što je vetar, direktna primena sunčeve toplote, vodeni tokovi, ali i neobnovljive izvore kao što je metanol, vodonik i/ili zemni gas. Protočne elektrane imaju male akumulacije vode ili ih čak i nemaju. Težište rada u ovom članku je na oceni uticaja nepouzdanosti dotoka vode kao primarnog izvora energije kod protočnih elektrana na rizik otkaza dela ili celog postrojenja elektrane.

U mnogim slučajevima su vodotokovi primarni izvori energije koje treba transformisati u električnu energiju. Dobro poznata činjenica je da prisustvo vode i njen energetski potencijal varira tokom godine. Tako, postoje sušni periodi kao što je leto i delom zima, proizvodnja energije je redukovana. Vlažni periodi kao proleće i jesen obiluju vodom i protočne hidroelektrane mogu da rade punom snagom. Planiranje uticaja ovih promena na sistem je od velikog značaja na njegov razvoj.

U fazi planiranja gradnje novih distribuiranih generatora od posebnog značaja je ocena uticaja snage, mesta gradnje i raspoloživosti DG na rizik napajanja potrošača. Rizik se numerički ocenjuje nizom pokazatelja u koje spadaju dobro poznati LOLP, i EUE.

Na UNS Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, Departman za energetiku elektroniku i telekomunikacije, organizovane su magistarske studije CEFES. U okviru ovih studija se analizira palniranje sa stanovišta veličine rizika. Za edukativne potrebe, pored ostalih softvera, razvijen je i softver za analizu uticaja protočnih elektrana na rizik napajanja potrošača. Ovaj softverski alat treba da omogući studentima CEFES studija da bolje i brže razumeju uticaje različitih promena na rizik napajanja potrošača. Težište rada će biti na opisu matematičkih modela na kojima se zasniva ocena rizika napajanja, ali i opisu softverskog alata, i njegove primene na numeričkim primerima. Softverski alat može da posluži za izradu studija različitih slučajeva.

## 2. OCENA POUZDANOSTI SISTEMA: HE - POTROŠAČI

Odata – trenutna snaga hidroelektrane zavisi od nominalne snage generatora, ali i od brzine protoka vode ( $m^3/h$ ) koja pokreće turbine. Protok vode se menja u pojedinim vremenskim periodima u toku godine, pa se tako menja odata snaga.

Za formiranje matematičkog modela protoka vode potrebno je sprovesti višegodišnje statističko istraživanje realizacija protoka. Na ovaj način se dobijaju odgovarajuće funkcije gustine raspodele verovatnoća i funkcije trajanja protoka u posmatranom periodu.

### 2.1. Reprezentativni hidrološki uslovi

Višegodišnjim merenjem protoka vode na mestu gradnje buduće HE dobija se realizacija protoka odnosno energija vodenog toka, u određenim vremenskim intervalima. Skup realizacija, na primer, energije vodenog toka, se može podeliti na više klasa, često na pet klasa, jednakih širina.

## 2.2. Model sistema potrošača

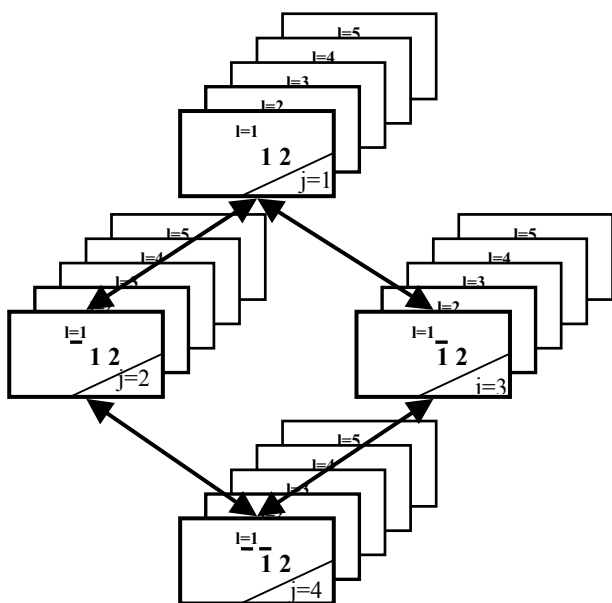
Sistem potrošača se modeluje dijagramom trajanja optrećenja. Ovaj dijagram trajanja, u normalizovanom obliku po smislu odgovara kumulativnoj funkciji verovatnoće  $P(x \geq X)$  Realizovan je u Worksheet-u „Potrošači“ programa [HidrogenBezVode.xls](#).

## 2.3. Model kojim se kombinuje raspoloživost generatora i model hidroloških uslova za primer dva generatora

U slučaju da se generatori predstavljaju sa dva stanja rada i u analiziranom primeru postoje dva generatora, ukupan broj stanja raspoloživosti sistema se definiše kao:

$$2^n = 2^2 = 4$$

Ako se uzme, u skladu sa prethodnim tekstom, da postoji 5 hidroloških uslova ( $l=1(1)5$ ), moguća raspoloživa stanja sa hidrološkim uslovima mogu se predstaviti dijagramom prikazanim na slici 3.2:



Sl. 1. Dijagram stanja raspoloživosti sa pojedinim hidrološkim uslovima

Posmatrani sistem se može naći u bilo kom od 4 stanja raspoloživosti (u zavisnosti od ispravnosti generatora) i 5 hidroloških uslova. Odavde sledi da u ovome primeru ima ukupno 20 stanja koja se realizuju sa različitim verovatnoćama, trajanjima i snagama generatora.

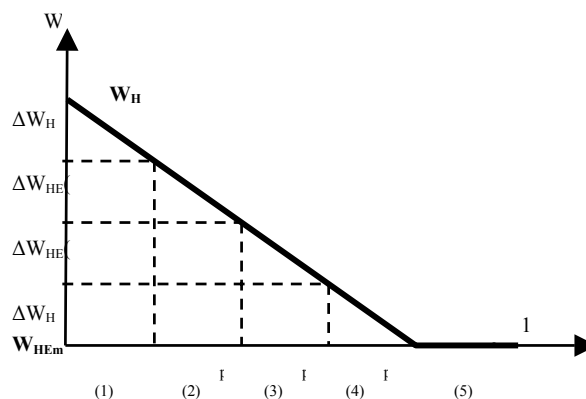
Tabela 1. Podaci o sistemu hidroelektrana

Maksimalna energija dotoka $W_{HEM}$ [MWh]	Verovatnoća hidroloških uslova sa vodom $p_{kvode}$	Broj generatora u hidroelektrani $j$	Nominalna snaga generatora $C_{ng}$ [kW]	Verovatnoća ispravnog rada jedinice $p$	Verovatnoća potpunog otkaza jedinice $q$
5500	0,700	2	250	0,965421	0,034579
Jedinična cena elektrane $c$ [€/kW]				300	
Prosečna cena proizvedene energije $c_e$ [€/kWh]				0,04	

## 2.4. Ocena snage generatora u l-tom hidrološkom uslovu

Snaga protočnih hidrogeneratora ne zavisi samo od stanja pouzdanosti  $j$ , već i od hidrološkog stanja  $l=1(1)5$ .

Da se podsetimo da kod protočnih elektrana može doći i do situacije da u toku dela godine nema vode. Tada je dijagram hidroloških uslova, u slučaju aproksimacije pomoću prave, prikazan slikom 2:



Sl. 2. Dijagram trajanja pojedinih realizacija energije vodenog toka u slučaju nestanka vode u jednom delu godine

## 3. PRIMER REALIZACIJE MODELA HIDROGENERATORA U EXCEL-U, U SLUČAJU NESTANKA VODE

Realizacija modela hidrogeneratora u Excel-u u slučaju postojanja perioda u toku godine sa nestankom vode, je ostvarena u programu [HidrogenBezVode.xls](#), a organizovana je u tri Worksheet-a sa nazivima „Potrošači“, „Hidrogeneratori“ i „LOLP i EUE“.

### 3.1. Reprezentativni hidrološki uslovi

Proračuni vezani za reprezentativne hidrološke uslove obrađeni su u Worksheet-u „Hidrogeneratori“ programa [HidrogenBezVode.xls](#). Zadaje se verovatnoća hidroloških uslova sa vodom,  $p_{kvode}$ , koja predstavlja kumulativnu verovatnoću svih hidroloških stanja sa dotokom vode. Pored ove vrednosti u Tabelu 1 zadaju se i maksimalna energija dotoka,  $W_{HEM}$ , zatim broj generatora u sistemu hidroelektrane,  $n$ , nominalna snaga generatora,  $C_{ng}$ , verovatnoća ispravnog rada jedinice,  $p$ , i verovatnoća potpunog otkaza jedinice,  $q$ .

Određivanje hidroloških uslova, njihovih verovatnoća, kao i kumulativne verovatnoće pojave hidroloških uslova i energije dotoka pojedinih hidroloških uslova vrši se u tabeli 2.

Za energiju dotoka pojedinih hidroloških uslova uzeta je minimalna energija u tom hidrološkom uslovu

Tabela 2. *Određivanje hidroloških uslova*

Hidrološki uslov I	Širina klase energije $\Delta W$ [MWh]	Energija dotoka $W_{HE(I)}$ [MWh]	Kumulativna verovatnoća $p_k$	Verovatnoća hidrološkog uslova $p(I)$
1	1375	4125	0,1750	0,1750
2	1375	2750	0,3500	0,1750
3	1375	1375	0,5250	0,1750
4	1375	0	0,7000	0,1750
5	0	0	1,0000	0,3000

### 3.2. Verovatnoće stanja grupe generatora

Posle određivanja hidroloških uslova potrebno je izvršiti određivanje stanja raspoloživosti, a to se obavlja u okviru tabele, na osnovu izraza:

$$P(\Delta P_{HEj}) = \prod_{r=1}^{Rj} p_r \cdot \prod_{n=1}^{Nj} q_n \quad (1)$$

Dobijena tabela, sa obzirom da postoje dve generatorske jedinice i ima 4 stanja raspoloživosti, dobija sledeći izgled:

Tabela 3. *Određivanje stanja raspoloživosti*

Stanje raspoloživosti j	Verovatnoća stanja j, $p(\Delta P_{Gj})$	Napomena
1	0,932037707	1.raspoloživ 2.raspoloživ
2	0,033383293	1.neraspoloživ 2.raspoloživ
3	0,033383293	1.raspoloživ 2.neraspoloživ
4	0,001195707	1.neraspoloživ 2.neraspoloživ

U Tabeli 4. se određuju srednje hidrološke energije  $y(I)$  zatim se u ostalim kolonama iste tabele izračunavaju vrednosti trajanja srednje snage  $\tau(I)$ , srednja snaga

dotoka  $P_{phe,d}(I)$ , kao i srednja moguća snaga generatora  $C_{phe,d}(I)$ , za pojedine hidrološke uslove „I“.

Tabela 4. *Ocena snage generatora u pojedinim hidrološkim uslovima*

Hidrološki uslov I	Srednja hidrološka energija $y(I)$ [MWh]	Trajanje srednje snage $\tau(I)$	Srednja snaga dotoka $P_{phe,d}(I)$ [kW]	Srednja moguća snaga generatora $C_{phe,d}(I)$ [kW]
1	4576,903	0,1170	2985,586	2418,325
2	3345,549	0,274	1091,177	883,853
3	2006,421	0,444	436,273	353,381
4	647,257	0,617	105,554	85,499
5	0,000	1,0000000	0,000	0,000

### 3.3. Proračun pokazatelja pouzdanosti

Proračun pokazatelja pouzdanosti za svako stanje raspoloživosti za zadati hidrološki uslov, zatim proračun pokazatelja pouzdanosti za posmatrani hidrološki uslov, kao i izračunavanje ukupnih pokazatelja pouzdanosti izvedeno je u Worksheet-u „LOLP i EUE“ programa [HidrogenBezVode.xls](#). Rezultati su organizovani u šest tabela, gde prvih pet tabela predstavlja proračun za pet hidroloških uslova, dok šesta tabela vrši sumiranje

rezultata iz prethodnih pet tabela i daje kao rezultat ukupne pokazatelje pouzdanosti.

Proračun  $LOLP_{I,j}$  i  $EUE_{I,j}$  svakog stanja raspoloživosti u okviru jednog hidrološkog uslova, se vrši na osnovu datih relacija:

$$LOLP_{I,j} = \frac{t_{I,j}}{T} = \tau_{I,j} \quad (2)$$

$$EUE_{1,j} = \int_0^{t_{1,j}} P(t)dt - C_{phe,g} \cdot t_{1,j} \quad (3)$$

Vrednost vremenskog intervala sa manjkom proizvodnih kapaciteta, u odnosu na potrebe potrošača, „ $t_{1,j}$ “ se izračunava iz dijagrama trajanja opterećenja, prema sledećem izrazu:

$$t_{1,j} = \frac{P_M - C_{phe,g}}{k} \quad (4)$$

Ovde je  $C_{phe,g}$ - snaga (capacity) hidroelektrane. Pri proračunu  $t_{1,j}$ , moguća je pojava negativnih vrednosti u slučajevima kada je  $C_{phe,g}$  veće od  $P_M$ . Vrednost  $t_{1,j}$ , je ograničena sa gornje strane Excel-ovom IF funkcijom i može imati za maksimalnu vrednost vreme perioda razmatranja  $T$ .

Dakle dobija se pet tabela za pet hidroloških uslova respektivno, od kojih će se, radi ograničenosti prostora, prikazati samo prva i peta -poslednja:

Tabela 5. Hidrološki uslov 1

Stanje raspoloživosti $j$	Nominalna raspoloživa snaga generatora $C_{n,phe}$ [kW]	Ostvarena el. snaga generatora $C_{phe,g}$ [kW]	Trajanje neisporučenja energije $t_j$ [dana]	LOLP <sub>1,j</sub>	EUE <sub>1,j</sub> [kWh]
1	500	500	-212,916	0	0
2	250	250	167,2916	0,4583	220825
3	250	250	167,2916	0,4583	220825
4	0	0	365	1	2102400

Tabela 6. Hidrološki uslov 5

Stanje raspoloživosti $j$	Nominalna raspoloživa snaga generatora $C_{n,phe}$ [kW]	Ostvarena el. snaga generatora $C_{phe,g}$ [kW]	Vreme neisporučenja energije $t_j$ [dana]	LOLP <sub>5,j</sub>	EUE <sub>5,j</sub> [kWh]
1	500	0	365	1	2102400
2	250	0	365	1	2102400
3	250	0	365	1	2102400
4	0	0	365	1	2102400

Proračun za očekivanu vrednost neisporučene energije EUE u prethodnim tabelama se svodi na proračun površine ispod prave koja aproksimira dijagram trajanja opterećenja.

Po dobijanju ovih tabela vrši se sumiranje podataka po stanjima raspoloživosti za svaki hidrološki uslov prema sledećim izrazima:

$$LOLP_1 = \sum_{j=1}^J \frac{t_{1,j}}{T} \cdot P(\Delta P_{HEj}) = \sum_{j=1}^J \tau_{1,j} \cdot P(\Delta P_{HEj}) \quad (5)$$

$$EUE_1 = \sum_{j=1}^J EUE_{1,j} \cdot P(\Delta P_{HEj}) \quad (6)$$

Na kraju se integralni podaci koji su sređeni u narednoj tabeli. U njoj su prikazani pokazatelji pouzdanosti za svaki hidrološki uslov i ukupni pokazatelje pouzdanosti, kao i proračun maksimalne moguće proizvodnje električne energije u pojedinim hidrološkim uslovima i sveukupne električne energije.

Tabela 7. Proračun sveukupnog LOLP i EUE

Hidrološki uslov $I$	Verovatnoća hidrološkog uslova $p(I)$	LOLP <sub>1</sub>	EUE <sub>1</sub> [kWh]	Moguća proizvodnja u godini $W_m(I)$ [kWh]
1	0,175	0,03179	17257,586	4380000
2	0,175	0,03179	17257,586	4380000
3	0,175	0,05750	18002,731	3095620,229
4	0,175	1	1354326,989	748968,557
5	0,3	1	2102400	0
<b>LOLP</b>		0,496191593		
<b>EUE</b>			876917,8564	
<b>W<sub>m</sub>[kWh]</b>				2205803,038

Kao što se može primetiti, verovatnoća neisporučenja opterećenja LOLP kao i očekivna neisporučena energija EUE, za slučaj sa periodom u godini sa nestankom vode, su daleko veći nego u slučaju kada vode ima u toku cele godine.

### 3.4. Proračun ekonomske opravdanosti gradnje HE

Procenjena vrednost odnosa cene gradnje HE „C“ i godišnje dobiti „B“ predstavlja trajanje otplate utrošenih novčanih sredstava. Ako je odnos C/B kraći od neke maksimalne dopuštene vrednosti, na primer (C/B)granično=7 godina tada se može zaključiti da je gradnja HE ekonomski opravdana.

Proračun za COST/BENEFIT analizu detaljno opisan u poglavlju 3.4, dat je u Tabeli 8, koja kao rezultate daje prodatu energiju, uloženu vrednost novca (COST), godišnju dobit (BENEFIT) i rok otplate

Tabela 8. *COST/BENEFIT analiza*

Jedinična cena elektrane $c_e$ [€/kW]	Prosečna cena proizvedene energije $c_e$ [€/kWh]	Prodana energija $W_{prod}$ [kWh]	Cost C	Godišnja dobit B	Rok otplate C/B
300	0,04	1225482,144	150000	49019,28	3,06

#### 4. ZAKLJUČAK

U toku edukativnog procesa, tokom studija elektroenergetike, neophodno je izučavati metode planiranja gradnje malih izvora, a među njima i hidroenergetskih izvora. Problem planiranja gradnje je složen i za potrebe edukacije je razvijen program kojim se rešava simplifikovan problem ocene pouzdanosti "ostrvskog" sistema koji ima samo dva generatora. Pri tome se uvažava raspoloživost pojedinih generatora i verovatnoća dotoka hidroenergije. Konačni rezultat su numerički pokazatelji rizika LOLP, EUE i godišnje proizvedena električna energija u zadatim uslovima. Rezultati cost/benefit analize su osnova za donošenje odluke o gradnji hidroelektrane na posmatranom mestu.

#### 5. LITERATURA

- [1] V. Levi, „Planiranje Razvoja Elektroenergetskih Sistema Pomoću Računara“ Stylos, Novi Sad 1998.  
 [2] R. Billinton, R. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press 1996.

[3] W. Li, "Risk Assessment of Power Systems", IEEE Press, 2005.

[4] M. Nimrihter, „PLANIRANJE RADNJE DISTRIBUIRANIH GENERATORA“ - CEFES studije FTN Novi Sad, Skripte u pripremi, 2007.

#### INFLUENCE OF DISTRIBUTED HYDRO POWER PLANTS ON THE RISK, EDUCATIVE SOFTWARE FOR CEFES MASTER STUDY

**Abstract:** *The estimation of distributed hydro power plants risk influence is one of the fundamental activities by making decisions about building new facilities. In the paper is described the approach to estimation of numerically risk indices, like LOLP and EUE, in considering water flow and customer load are not regularly.*

**Key words:** *Distributed Generators, Hydro power plants, risk*