



Ivica Petrović  
HEP – OPS d.o.o., PrP Osijek  
[ivica.petrovic@hep.hr](mailto:ivica.petrovic@hep.hr)  
Krešimir Tačković  
HEP – ODS d.o.o., DP Elektroslavonija Osijek  
[kresimir.tackovic@hep.hr](mailto:kresimir.tackovic@hep.hr)

Hrvoje Glavaš  
Elektrotehnički fakultet Osijek  
[hrvoje.glavas@etfos.hr](mailto:hrvoje.glavas@etfos.hr)

## ANALIZA GUBITAKA I OPTEREĆENJA INTERKONEKTIVNIH VODOVA S ASPEKTA FORMIRANJA CIJENA TRANZITA NA SLOBODNOM TRŽIŠTU

### SAŽETAK

Tema rada je analiza međusobne ovisnosti opterećenja i djelatnih gubitaka kod nekih značajnih i karakterističnih za pogon prijenosnih dalekovoda 400 kV PrP-a Osijek. Na osnovu zadanih odnosa P, Q i U te korištenjem iskustvenih podataka o međusobnim odnosima simulacijom na računalnom modelu dolazimo do međuovisnosti istih.

Određivanje točke do koje je optimalno opteretiti pojedini dalekovod iz krivulje gubitaka na prijenosnim interkonektivnih vodovima 400 kV u ovisnosti o opterećenju istih važno nam je i za određivanje prijenosne moći nekog dalekovoda u tržišnim uvjetima, a samim tim i za eventualno određivanje mogućih tarifa u prijenosu odnosno tranzitu.

Analiza istih pokazuje da je naročito kod duljih vodova pravilnije vrednovanje opterećenja pri određivanju naknade za prijenos pravilnije.

**Ključne riječi:** gubici, opterećenje prijenosnih vodova, tarife

## ANALYSIS OF LOSSES AND LOAD FOR TRANSMISSION INTERCONNECTIONS LINES FROM ASPECT OF TRANSIT COST DETERMINATION IN CASE OF OPEN MARKET

### SUMMARY

This article analyze real power losses dependence on load for some 400 kV distribution lines in PrP Osijek. Given P, Q and U, using experience data on mutual variable relations computer simulations show variable dependence.

Optimal load level for each power line is calculated. This optimal level is determined by lost curves on 400 kV interconnection transmission lines based on the current load. Optimal level calculation is important for transmission capability determination of each power line in free market circumstances. It is also important for transit cost determination.

Analyses show that load estimation for transit cost determination is more regular in very long power lines scenario.

**Key words:** losses, load transmission line, cost determination

## 1. UVOD

### 1.1. Problemi optimiranja

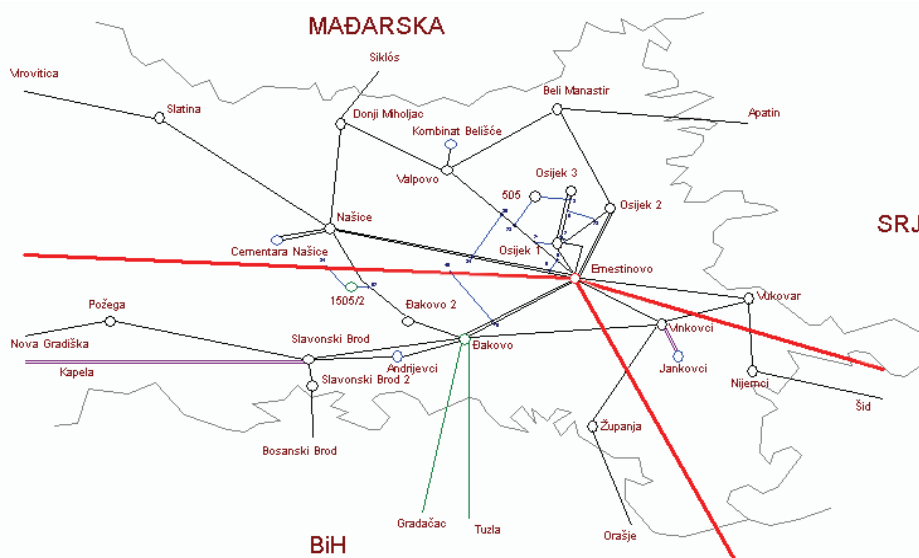
Problemi optimiranja u elektroenergetici danas su naročito aktualni. U najširem smislu to je uravnoteženje cjelokupnog tehnološkog procesa od elektrane do potrošača, tako da budu zadovoljeni traženi uvjeti kvalitete i standardi sigurnosti.

Jasno iz tako formuliranog zadatka slijedi da nije nužno dovoljno optimirati samo jedan parametar EES-a, već je potrebno razmišljati o optimiranju svih. Da bi došli do toga nužno je pravilno odrediti pojedine elemente optimiranja.

Naravno, samo pravilno i korektno vrednovanje svakog pojedinog elementa EES-a može dovesti do pravilnog sagledavanja optimiranja.

Jedan od elemenata je pravilno (korektno) vrednovanje gubitaka ponajprije gubitaka pri povećanom opterećenju, a mi smo se u ovom radu, usredotočili samo na taj jedan element tj. na analizu gubitaka interkonektivnih (400 kV) vodova, slika 1.

Određivanje točke do koje je optimalno opteretiti DV iz dijagrama ovisnosti gubitaka o opterećenju važno je za ekonomsko vrednovanje prijenosne moći svakog pojedinog DV u tržišnim uvjetima a samim tim za određivanje mogućih tarifa u prijenosu odnosno tranzitu.



Slika 1. Prikaz mreže

### 1.2. Općenito o prijenosu snage i djelatnim gubicima

Svaki prijenos određene količine električne energije u elektroenergetskom sustavu izaziva gubitke u toj istoj prijenosnoj mreži. Veličina tih gubitaka ne ovisi samo djelatnoj i/ili jalovoj snazi koja se prenosi već i o mnogim drugim faktorima a tu posebnu ulogu igraju naponske prilike.

Ovisnost naponskih prilika o toku jalove snage jeste izravna pa tako ukoliko imamo tok jalove snage do nekog čvora, ista doprinosi porastu napona tog čvora.

Osim toga pri određivanju prijenosa snage nekim vodom značajnu ulogu ima važna karakteristika svakog pojedinačnog voda, a to jeste prirodna snaga voda.

Kako prirodna snaga ovisi o naponu, neposredno je proporcionalna s kvadratom napona, a kako vrijednost napona ovisi o prenesenoj jalovoj snazi jasno proizlazi da prirodna snaga ovisi o jalovoj snazi. Iz navedenog jasno proizlazi međusoban utjecaj jednih veličina na druge i njihov doprinos na djelatne gubitke.

## 2. KORIŠTENI PODACI O OPTEREĆENJU DV I GUBICI

Tokovi snaga u mreži podložni su velikim dnevnim i sezonskim promjenama pa je trajan prijenos neke konstantne djelatne snage iluzoran. Jednako tako se ne može izbjeći prijenos stanovite jalove snage.

U analizi tokova snaga, odnosno odabiru karakterističnih veličina kod prijenosa snage vodom te odabiru opterećenja nije nužno analizirati sve moguće varijante, već će biti analizirane samo one koji se iskustveno najčešće pojavljuju.

U analizi opterećenja i gubitaka predmet iste bili su 400 kV dalekovodi prijenosne mreže HEP-a, Prijenosnog područja Osijek. Opći podaci o vodovima, tipu stupova, presjeku i materijalu vodiča te jediničnim konstantama koji su korišteni nisu posebno navedeni.

Značajno jeste to da su neke veličine kao što je: tip stupova, materijal i presjek vodiča, a samim tim i jedinične konstante voda identične dok se jedino duljine vodova u nekim slučajevima znatno razlikuju.

Predmet izračuna gubitaka i vrednovanja opterećenja, za svaki pojedini vod bili su :

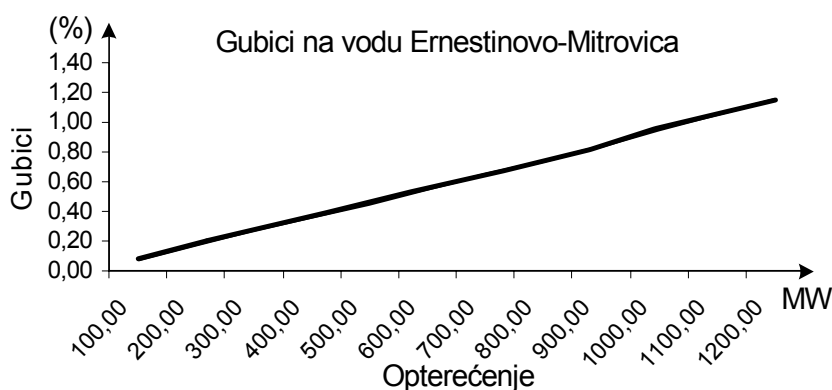
- napon na početku voda 420 kV
- napon na kraju voda 400 kV
- $\cos \varphi_{opt} = 0,98$

Prethodni podaci zorno oslikavaju najčešća stanja u pogonu EES-a odnosno opterećenja DV-a .

## 2.1. DV 400 kV Ernestinovo - S. Mitrovica

Tablica I. Opterećenje, gubici i relativni gubici na DV 400 kV Ernestinovo - S.Mitrovica

MW	100,00	300,00	400,00	500,00	600,00	700,00	800,00	900,00	1000,00	1100,00	1200,00
Mvar	20,00	60,00	80,00	100,00	120,00	140,00	160,00	180,00	200,00	220,00	240,00
Gubici MW	0,08	0,81	1,44	2,27	3,30	4,51	5,94	7,59	9,44	11,51	13,82
Relativni gubici %	0,08	0,27	0,36	0,45	0,55	0,64	0,74	0,84	0,94	1,05	1,15

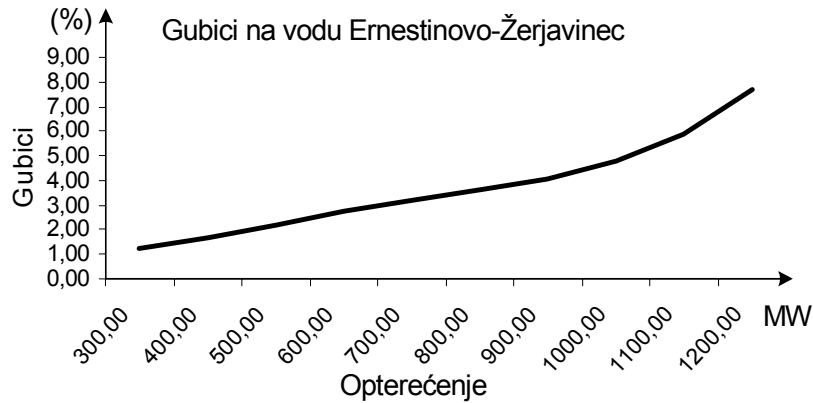


Slika 2. Dijagram ovisnosti relativnih djelatnih gubitaka o opterećenju

## 2.2. DV 400 kV Ernestinovo - Žerjavinec

Tablica II. Opterećenje, gubici i relativni gubici na DV 400 kV Ernestinovo - Žerjavinec

MW	100,00	300,00	400,00	500,00	600,00	700,00	800,00	900,00	1000,00	1100,00	1200,00
Mvar	20,00	60,00	80,00	100,00	120,00	140,00	160,00	180,00	200,00	220,00	240,00
Gubici MW	0,50	3,78	6,75	10,98	16,62	22,12	29,22	36,30	47,71	64,38	92,74
Relativni gubici %	0,50	1,26	1,69	2,20	2,77	3,16	3,65	4,03	4,77	5,85	7,73

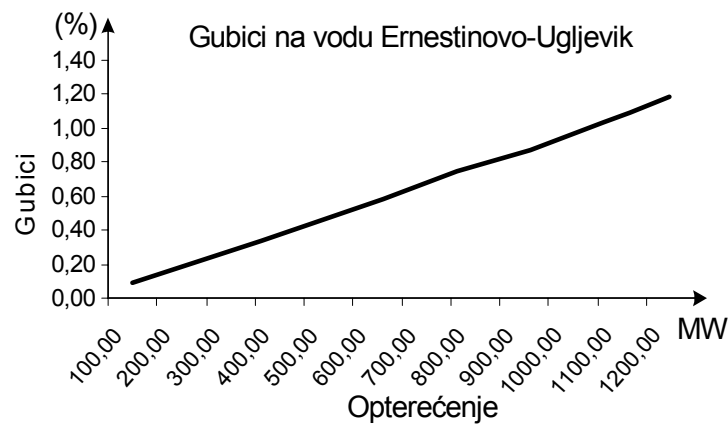


Slika 3. Dijagram ovisnosti relativnih djelatnih gubitaka o opterećenju

### 2.3. DV 400 kV Ernestinovo - Ugljevik

Tablica III. Opterećenje, gubici i relativni gubici na DV 400 kV Ernestinovo-Ugljevik

MW	100,00	300,00	400,00	500,00	600,00	700,00	800,00	900,00	1000,00	1100,00	1200,00
Mvar	20,00	60,00	80,00	100,00	120,00	140,00	160,00	180,00	200,00	220,00	240,00
Gubici MW	0,09	0,82	1,48	2,34	3,40	4,68	6,16	7,68	9,57	11,69	14,06
Relativni gubici %	0,09	0,27	0,37	0,47	0,57	0,67	0,77	0,85	0,96	1,06	1,17

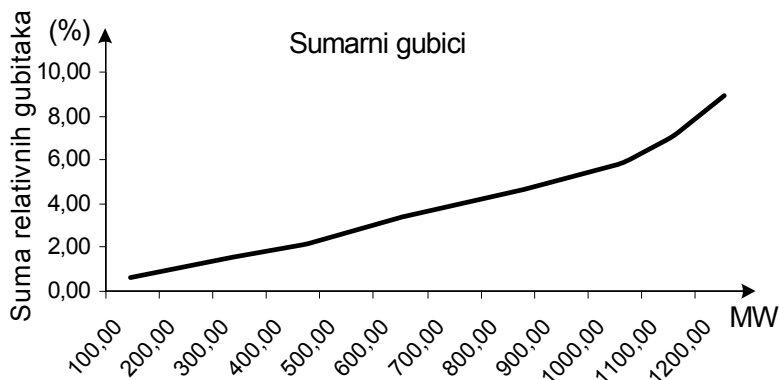


Slika 4. Dijagram ovisnosti relativnih djelatnih gubitaka o opterećenju

### 2.4. Ukupni gubici na DV 400 kV S.Mitrovica - Ernestinovo - Žerjavinec npr. u tranzitu

Tablica IV. Opterećenje, gubici i relativni gubici na DV 400 kV S.Mitrovica – Ernestinovo - Žerjavinec

MW	100,00	300,00	400,00	500,00	600,00	700,00	800,00	900,00	1000,00	1100,00	1200,00
Gubici MW	0,60	4,59	8,18	13,25	19,92	26,63	35,16	43,89	57,15	75,89	106,56
Relativni gubici %	0,60	1,53	2,05	2,65	3,32	3,80	4,40	4,92	5,72	6,90	8,88



Slika 5. Dijagram ovisnosti relativnih djelatnih gubitaka o opterećenju

### 3. NAKNADE ZA PRIJENOS, OPTEREĆENJE DV-a I GUBICI

Definiranjem karakteristične krivulje opterećenja odredili smo moguću granicu optimalnog opterećenja jasno sa stajališta gubitaka. Jasno, ekonomsko vrednovanje istih samo sa navedenog stanovišta ne može biti jedini kriterij cjelovitog sagledavanja problema.

Dobivene karakteristične točke ukazuju nam na moguće pravce djelovanja glede vrednovanja granice optimalnog opterećenja.

Iz dijagrama opterećenja i gubitaka kraćih vodova Ernestinovo-Ugljevik i Ernestinovo-S.Mitrovica duljina kraćih od 100 km vidljivo je slijedeće da relativni djelatni gubici rastu linearno od 0.1 do 1.2 % za opterećenja do 1200 MW. Gotovo bi mogli zaključiti da za promjenjivo opterećenje možemo imati konstantnu naknadu za prijenos a to bi mogla biti tarifa 1.

Međutim, kod opterećenja duljih vodova, a to jeste 400 kV Ernestinovo-Žerjavinec, za duljine veće od 200 km vidljivo je slijedeće da relativni djelatni gubici rastu linearno od 1 do 7,6 % u najnepovoljnijem slučaju za opterećenja do 1200 MW.

Tablica V. Opterećenje i tarife u prijenosu

Područje opterećenja (MW)	0 – 400	400 – 800	800 – 1000	1000 – 1200
Tarifa	1	2	3	4

Iz navedenog vidljivo je da je s aspekta analize gubitaka kod duljih vodova nužno postojanja viših tarifa za veća opterećenja pa čak i moguća ograničenja prijenosne moći istih, jer bi u protivnom naknada za prijenos mogla biti nedovoljna čak i za pokrivanje gubitaka u prijenosnoj mreži.

### 4. ZAKLJUČAK

Karakteristična krivulja opterećenja i određivanje granice optimalnog opterećenja svakog pojedinog voda sa stanovišta gubitaka važan je zadatak. Jasno, ekonomsko vrednovanje samo sa stanovišta ovisnosti gubitaka i opterećenja ne može biti jedini kriterij cjelovitog sagledavanja problema.

Naime u analizi se ne može se zanemariti utjecaj i doprinos susjednih vodova koji mogu biti iste ili drugačije naponske razine, na raspoloživu prijenosnu moć i određivanje iste. Jasno, taj doprinos susjednih vodova i opterećenje istih može biti negativan ili pozitivan na raspoloživu prijenosnu moć pa samim time na povećanje ili smanjenje gubitaka na vodovima i mreži prouzročenih tranzitom i ne samo njime.

Taj utjecaj susjednih vodova i efekt „razlijevanja“ opterećenja po susjednim dalekovodima i mreži i samim time na smanjenje gubitaka u mreži spada u pozitivne aspekte koje su posljedica koje donosi rekonekcija.

S druge strane, neophodno je da će se u budućnosti morati valorizirati stvarni troškovi izgradnje, pogona i održavanja te svakako naknade gubitaka prema ostvarenim tokovima odnosno stvarnim gubicima u mreži prouzročenim nekim tokovima snaga.

Sadašnji prihod od tranzita naročito u izrazito duljim vodovima ili mrežama destimulira gradnju novih interkonektivnih vodova jer taj prihod nije ovisan o duljini vodova ili mreže, što je posebno nelogično posebno kod mreža ili sustava koje karakteriziraju dulji vodovi.

Samo ekonomsko vrednovanje rezultata omogućuje formiranje mogućih različitih cijena tranzita obzirom na opterećenje nekog dalekovoda.

I na kraju, karakteristične točke na krivuljama gubitaka i opterećenja ukazuju nam na moguće pravce djelovanja glede vrednovanja granice optimalnog opterećenja i jedno novo i drugačije razmišljanje o aspektima naknada za prijenos i tarife u prijenosu.

## LITERATURA

- [1] M. Ožegović: Električne energetske mreže I, Udžbenici sveučilišta u Splitu, Split 1996.
- [2] M. Ožegović: Električne energetske mreže III, Udžbenici sveučilišta u Splitu, Split 1997.
- [3] HEP-OPS Dnevno dispečersko izvješće za razdoblje 2005-2006.
- [4] Power System Economics Designing Markets for Electricity© Steven Stoft, (IEEE/Wiley)
- [5] ISBN 0-471-15040-1. February 2002.
- [6] Program VOTRAS, ETF Osijek - HEP d.d., Osijek 2002.
- [7] S. Nikolovski, D. Šljivac: Elektroenergetske mreže, Elektrotehnički fakultet u Osijeku, Osijek 2000.