

GUBICI RADNE SNAGE U MREŽI POJEDINIH PRIJENOSNIH PODRUČJA U RAZDOBLJU 2000., 2005. I 2010. GODINE

Goran Majstrovic, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Vukovarska 37, ZAGREB

Summary: This paper deals with power losses in Croatian transmission system. Croatian transmission system is divided in four regions with its centers in Split, Opatija, Zagreb and Osijek. Power losses are analyzed on each voltage level (400 kV, 220 kV and 110 kV) and in each transformer. The final results are presented in this paper for every region for the period of 2000, 2005 and 2010. It is also observed maximum and minimum load for each period. Power systems in 2005 and 2010 are modeled according to the plans presented in publication "Transmission system development for the period 1997 – 2030 (Master plan)", Energy institute "H.Požar", Zagreb. Following figures are presenting Croatian transmission system development for the period of next 10 years.

Keywords: transmission system, power losses, relative power losses to the load, transmission system development

1. UVOD

Sastavni dio svakog elektroenergetskog sustava je prijenosna mreža. Zadatak prijenosne mreže je povezivanje proizvodnih postrojenja i velikih grupa potrošača koji se nalaze na međusobno većim ili manjim udaljenostima, s ciljem da se električna energija proizvedena u bilo kojoj elektrani u sustavu prenese do svih čvorišta mreže preko više mogućih pravaca. Stoga prijenosna mreža omogućava najekonomičniju i najpovoljniju kombinaciju proizvodnje elektrana u sustavu određenog trenutka, te opskrbu potrošača (direktnih ili pojedinih čvorišta na nivou razdjelne mreže) sa dovoljnom sigurnošću, ovisno o njoj izgrađenosti. Jedan od aspekata razmatranja stanja prijenosne mreže je svakako i analiza gubitaka. Ukupni gubici u prijenosnoj djelatnosti mogu se jednostavno definirati kao razlika električne energije koju proizvodne jedinice injektiraju u prijenosni sustav i električne energije koju prijenosna mreža preda razdjelnim mrežama.

2. DEFINIRANJE KARAKTERISTIČNIH PARAMETARA

U ovoj studiji će biti govora o gubicima radne snage u pojedinim prijenosnim područjima i to po naponskim nivoima i u transformatorima. Razmotrit će se stanje prijenosne mreže 2000., 2005., i 2010. godine, u skladu sa planiranim razvojem prijenosne mreže Hrvatske opisanim u studiji "Razvitak elektroenergetskog sustava Hrvatske do

2030.godine (Masterplan)", Energetskog instituta "Hrvoje Požar".

U slijedećim tablicama su prikazani neki opći podaci iz 2000. godine o prijenosnoj mreži Hrvatske i karakteristike 400, 220 i 110 kV vodova.

Tablica 1.1. Opći podaci o prijenosnoj mreži Hrvatske 2000. godine

OPĆI PODACI O PRIJENOSNOJ MREŽI				
	PrP Opatija	PrP Split	PrP Zagreb	PrP Osijek
Naponski nivo	Ukupna duljina	Ukupna duljina	Ukupna duljina	Ukupna duljina
(kV)	(km)	(km)	(km)	(km)
400	257,6	169,3	273,4	202,2
220	352,3	424,2	380,7	66,6
110	911,5	1201,7	1737,9	865,5
kabeli 110	50,1	41	14,2	0
UKUPNO	1571,4	1836,1	2406,3	1134,3

Tablica 1.2. Podaci o starosti vodova po pojedinim naponskim nivoima

starost (god)	HRVATSKA	PrP Opatija	PrP Split	PrP Zagreb	PrP Osijek
	Ukupna duljina	Ukupna duljina	Ukupna duljina	Ukupna duljina	Ukupna duljina
	(km)	(km)	(km)	(km)	(km)
>40	938,1	156,9	193,7	444,1	77,52
35-40	1058,5	253,5	278,9	385,7	100,43
30-35	517,0	95,8	12,3	286,2	120,1
25-30	997,8	206,0	398,1	270,4	180,1
20-25	1150,8	282,8	335,7	403,6	249,0
<20	1228,1	576,4	617,4	616,2	407,2

3. DEFINIRANJE KARAKTERISTIČNIH VREMENSKIH PERIODA

U ovom članku razmatraju se tri karakteristična vremenska perioda i to stanje mreže "nazivne" **2000. godine, 2005. godine i 2010. godine**. Za svaku pojedinu nazivnu godinu razmotriti će se maksimalno i minimalno opterećenje u sustavu. Na taj način dobijamo šest karakterističnih opcija za svako pojedino prijenosno područje. Modelirano minimalno opterećenje iznosi oko 60 % maksimalnog opterećenja kod svih promatranih opcija. Transformatori se moraju promatrati odvojeno, na poseban način, budući da su njegovi gubici radne snage prisutni tokom cijelog vremena kroz koje je transformator priključen na mrežu, a gubici u

željezu relativno malo ovise o promjenama opterećenja. Mreža za 2000. godinu je modelirana s podacima dobivenim iz Direkcije za prijenos HEP-a, dok se mreže 2005. i 2010. godine temelje na spomenutom Masterplanu.

4. GUBICI PO PRIJENOSNIM PODRUČJIMA 2000. GODINE

U tablicama koje slijede navedeni su gubici po pojedinim prijenosnim područjima i to po naponskim nivoima, kao i gubici u transformatorima prilikom maksimalnog i minimalnog opterećenja u sustavu 2000. godine. Na slici 4.1. prikazano je stanje prijenosne mreže 2000. godine.

Tablica 4.1. Gubici po prijenosnim područjima 2000. godine pri maksimalnom opterećenju u sustavu

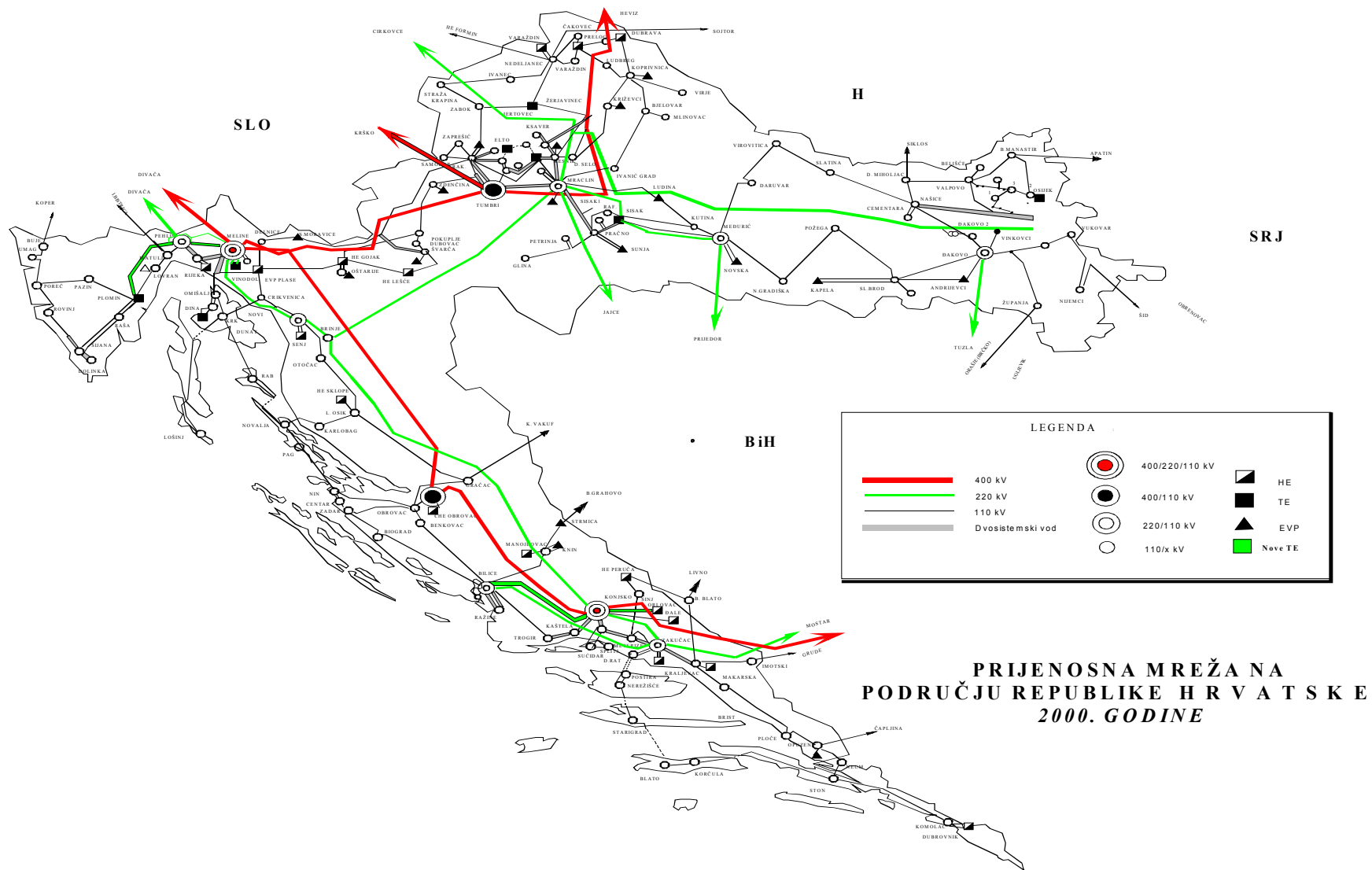
2000. godina (maksimalno opterećenje)	ukupno maksimalno istodobno opterećenje po PrP (MW)	gubici radne snage u vodovima po naponskim nivoima (MW)			gubici radne snage u transformatorima (MW)	ukupni gubici radne snage u PrP (MW)	relativni iznos gubitaka (%)
		400 kV	220 kV	110 kV			
PrP Split	585.3	0.3	1.46	5.23	0.42	7.408	1.27 %
PrP Opatija	426.9	0.07	2.28	6.79	0.29	9.45	2.21 %
PrP Zagreb	1235.5	0.69	2.24	22.96	0.66	25.94	2.1 %
PrP Osijek	333.6	-	1.27	7.44	0.39	9.11	2.72%

Tablica 4.2. Gubici po prijenosnim područjima 2000. godine pri minimalnom opterećenju u sustavu

2000. godina (minimalno opterećenje)	ukupno minimalno istodobno opterećenje po PrP (MW)	gubici radne snage u vodovima po naponskim nivoima (MW)			gubici radne snage u transformatorima (MW)	ukupni gubici radne snage u PrP (MW)	relativni iznos gubitaka (%)
		400 kV	220 kV	110 kV			
PrP Split	351.2	0.38	0.39	4.65	0.18	5.6	1.59 %
PrP Opatija	256.1	0.33	1.58	3.73	0.14	5.78	2.25 %
PrP Zagreb	741.2	0.92	1.12	13.86	0.33	16.24	2.2 %
PrP Osijek	200.16	-	1.06	5.15	0.18	6.38	3.18%

Relativni iznos gubitaka pri **maksimalnom opterećenju** u sustavu se kreće od 1.27% u PrP Split do 2.72% u PrP Osijek. Proračun pokazuje da se u svim slučajevima najveći gubici radne snage javljaju na 110 kV nivou. Posebno veliki gubici se javljaju na 400 kV vodu Divača-Pehlin (dio voda u Hrvatskoj) ($P_g=1.22$ MW, uz pad napona na vodu $\Delta U=1.55$ kV), 110 kV vodu Daruvar-Međurić ($P_g=1.88$ MW, uz pad napona $\Delta U=3.04$ kV), 110 kV Daruvar-Virovitica ($P_g=1.79$ MW, $\Delta U=2.34$ kV), Bjelovar-Ivanić ($P_g=1.095$ MW, $\Delta U=1.47$ kV), Mraclin-Ivanić ($P_g=1.969$

MW, $\Delta U=3.09$ kV), Podsused-Zabok ($P_g=1.226$ MW, $\Delta U=1.47$ kV), te 110 kV vodu Đakovo 2 – Našice ($P_g=2.599$ MW, uz $\Delta U=3.769$ kV). Pri **minimalnom opterećenju** u sustavu gubici radne snage se kreću od 1.59% u PrP Split do 3.18% u PrP Osijek. Značajni gubici se kod minimalnog opterećenja javljaju na vodovima: Đakovo-Našice ($P_g=2.304$ MW, $\Delta U=2.198$ kV) i Daruvar-Međurić ($P_g=1.74$ MW, $\Delta U=1.25$ kV). Gubici u transformatorima predstavljaju nekoliko postotaka ukupnog iznosa gubitaka.



Slika 4.1. Prijenosna mreža Hrvatske 2000. godine

5. GUBICI PO PRIJENOSNIM PODRUČJIMA 2005. GODINE

Analogno prethodnom poglavlju u slijedećim tablicama su prikazani gubici radne snage pri maksimalnom i minimalnom opterećenju u sustavu, po pojedinim prijenosnim područjima za "nazivnu" 2005. godinu. Na slici 5.1.

posebno su označeni dijelovi prijenosne mreže čija se izgradnja planira do kraja "nazivne" 2005. godine. Pretpostavljeni porast opterećenja u razdoblju od 2001. do 2005. godine iznosi 3.3%.

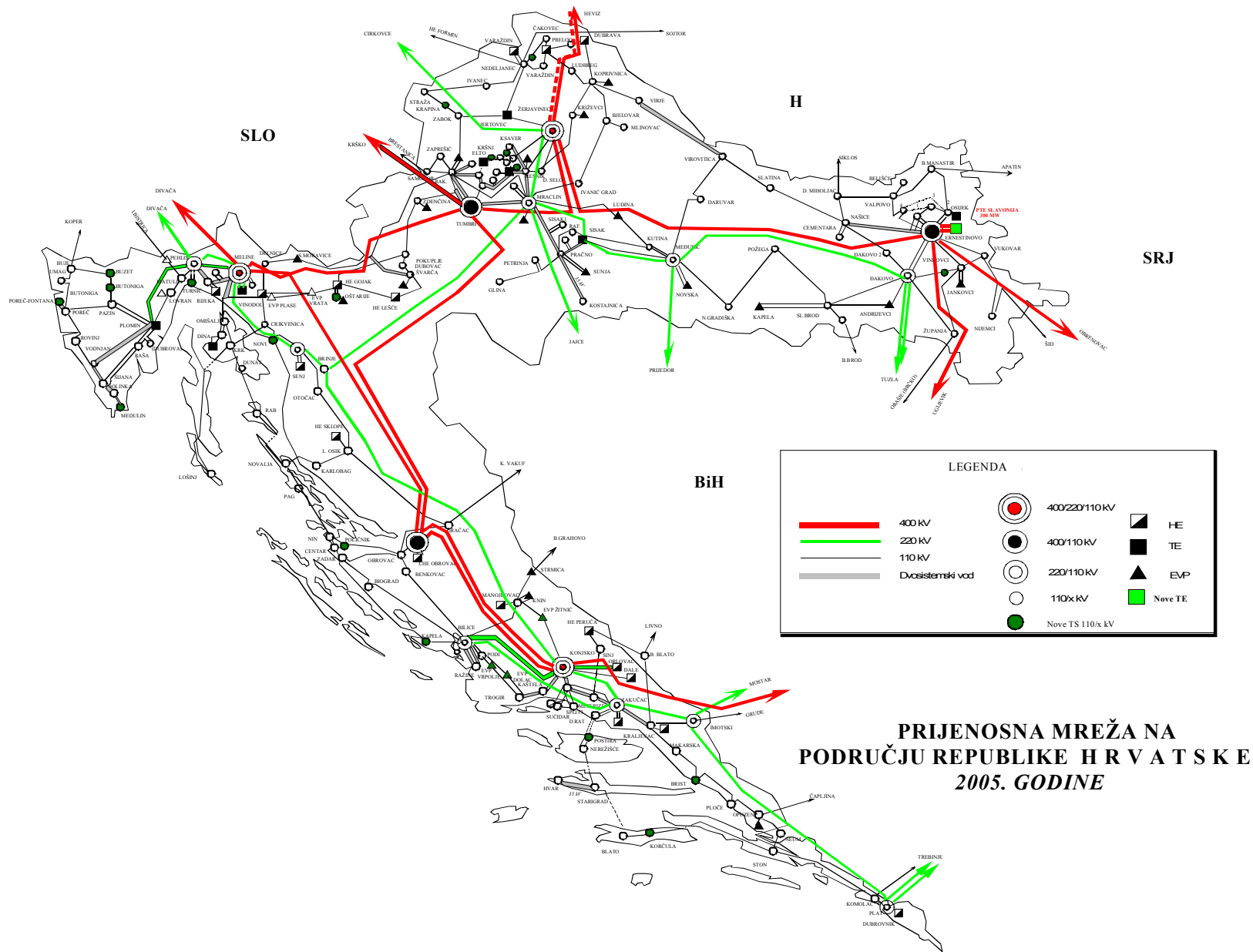
Tablica 5.1. Gubici po prijenosnim područjima 2005. godine pri maksimalnom opterećenju u sustavu

2005. godina (maksimalno opterećenje)	ukupno maksimalno istodobno opterećenje po PrP (MW)	gubici radne snage u vodovima po naponskim nivoima (MW)			gubici radne snage u transformatorima (MW)	ukupni gubici radne snage u PrP (MW)	relativni iznos gubitaka (%)
		400 kV	220 kV	110 kV			
PrP Split	694	0.5	1.71	8.13	0.34	10.68	1.54 %
PrP Opatija	462.4	0.29	2.63	6.53	0.26	9.71	2.09 %
PrP Zagreb	1397.7	1.46	2.09	15.87	0.6	20.03	1.43 %
PrP Osijek	419	0.42	0.15	4.97	0.42	5.97	1.42%

Tablica 5.2. Gubici po prijenosnim područjima 2005. godine pri minimalnom opterećenju u sustavu

2000. godina (minimalno opterećenje)	ukupno minimalno istodobno opterećenje po PrP (MW)	gubici radne snage u vodovima po naponskim nivoima (MW)			gubici radne snage u transformatorima (MW)	ukupni gubici radne snage u PrP (MW)	relativni iznos gubitaka (%)
		400 kV	220 kV	110 kV			
PrP Split	416.4	0.19	0.81	3.81	0.22	5.03	1.2 %
PrP Opatija	277.4	0.81	1.66	2.49	0.1	5.06	1.82 %
PrP Zagreb	838.6	1.55	0.25	14.26	0.28	16.33	1.94 %
PrP Osijek	251.4	0.38	0.79	1.84	0.19	3.2	1.27%

Iz tablica je očito da se relativni iznos gubitaka radne snage u prijenosnoj mreži Hrvatske ne mijenja značajno u odnosu na razmatranu 2000. godinu. Drugim riječima gubici radne snage pri **maksimalnom opterećenju** u mreži bi se kretali između 1.42% do 2.09%, dok pri minimalnom opterećenju u sustavu od 1.2% do 1.94%. Zamjetno veliki gubici pri maksimalnom opterećenju se javljaju na 110 kV vodovima Jertovec – Nedeljanec ($P_g=1.396$ MW, $\Delta U=2.73$ kV) i Mraclin – Jajce ($P_g=1.212$ MW, $\Delta U=209.9$ V). Gubici na ostalim vodovima su i po nekoliko desetaka puta manji. Pri **minimalnom opterećenju** u sustavu i raspoloživosti svi vodova ne javljaju se značajno veliki gubici na prijenosnim vodovima.



**PRIJENOSNA MREŽA NA
PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE
2005. GODINE**

Slika 5.1. Prijenosna mreža Hrvatske 2005. godine

6. GUBICI PO PRIJENOSNIM PODRUČJIMA 2010. GODINE

U sljedećim tablicama su prikazani gubici po pojedinim prijenosnim područjima za nazivnu

2010. godinu. Pretpostavljeni porast opterećenja u razdoblju od 2006. do 2010. godine iznosi 2.8%.

Tablica 6.1. Gubici po prijenosnim područjima 2010. godine pri maksimalnom opterećenju u sustavu

2005. godina (maksimalno opterećenje)	ukupno maksimalno istodobno opterećenje po PrP (MW)	gubici radne snage u vodovima po naponskim nivoima (MW)			gubici radne snage u transformatorima (MW)	ukupni gubici radne snage u PrP (MW)	relativni iznos gubitaka (%)
		400 kV	220 kV	110 kV			
PrP Split	821.2	0.31	2.12	12.4	0.63	15.34	1.86 %
PrP Opatija	480	1.47	3.35	5.89	0.24	10.95	2.28 %
PrP Zagreb	1573.5	2.66	1.99	17.3 3	0.525	22.5	1.43 %
PrP Osijek	472.4	0.65	0.32	6.55	0.39	7.9	1.67%

Tablica 6.2. Gubici po prijenosnim područjima 2010. godine pri minimalnom opterećenju u sustavu

2000. godina (minimalno opterećenje)	ukupno minimalno istodobno opterećenje po PrP (MW)	gubici radne snage u vodovima po naponskim nivoima (MW)			gubici radne snage u transformatorima (MW)	ukupni gubici radne snage u PrP (MW)	relativni iznos gubitaka (%)
		400 kV	220 kV	110 kV			
PrP Split	492.7	0.18	1.44	5.05	0.22	6.89	1.4 %
PrP Opatija	288	0.28	1.07	2.01	0.11	3.48	1.2 %
PrP Zagreb	944.1	1.07	1.29	11.7 4	0.2	14.3	1.52 %
PrP Osijek	283.4	0.98	0.06	2.27	0.27	3.59	1.26%

Relativni iznos gubitaka se ne mijenja značajnije u odnosu na prethodna dva razmatrana perioda. Pri maksimalnom opterećenju u sustavu zamjetno veliki gubici se javljaju na 110 kV vodovima i to: Jertovec-Nedeljanec ($P_g=2.48$ MW, $\Delta U=58.7$ V), te Ivanić-Mraclin ($P_g=1.88$ MW, $\Delta U=3.33$ kV). Pri minimalnom opterećenju nema nekih značajnijih odstupanja u iznosima gubitaka.

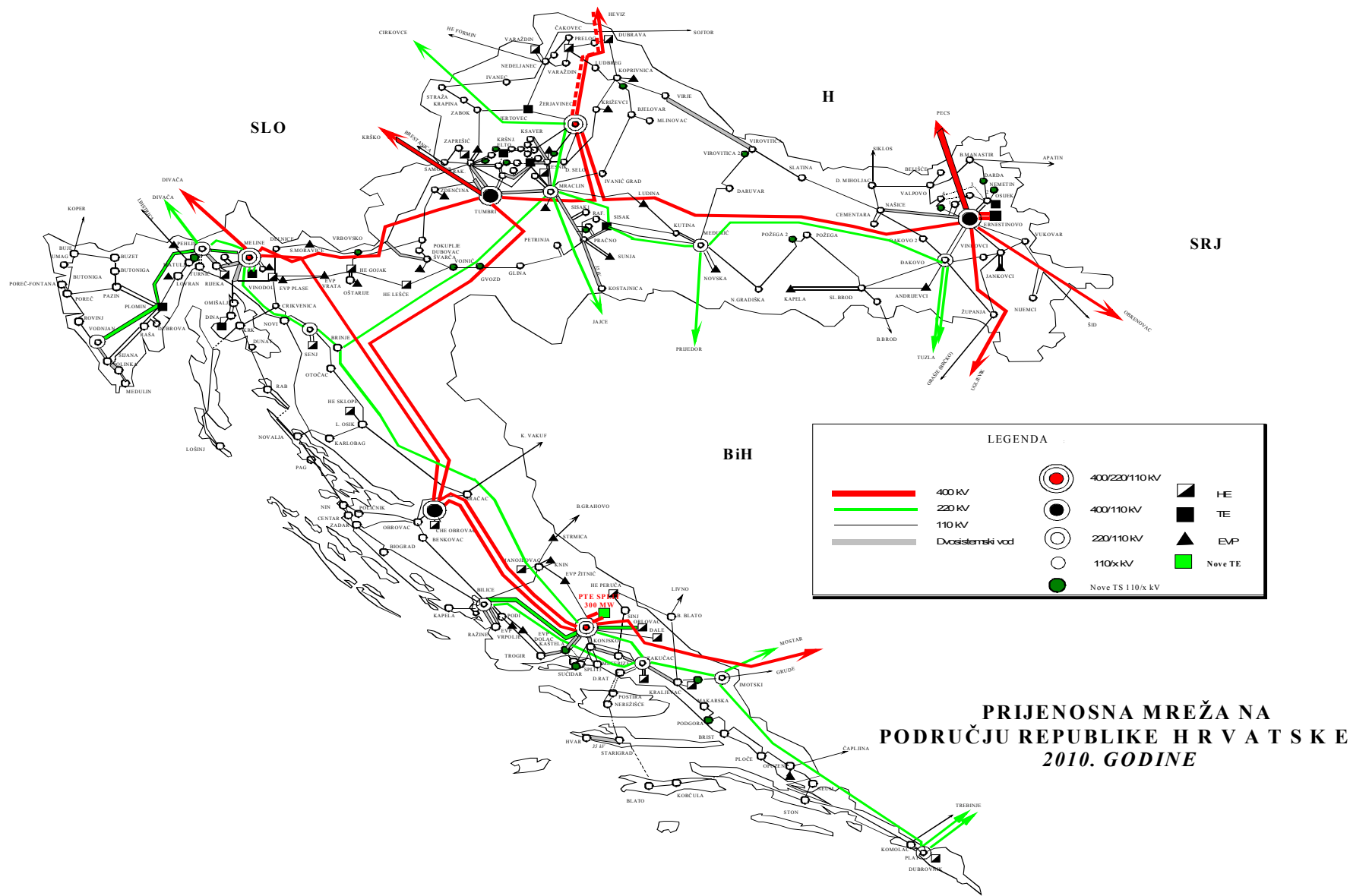
7. ZAKLJUČAK

Razmatranja su provedena za slučaj da su sustav Hrvatske i sustavi susjednih zemalja uravnoteženi, odnosno da nema razmjena ni tranzita preko hrvatske prijenosne mreže. Dobiveni rezultati pokazuju da se najveći gubici u apsolutnom iznosu javljaju 2000. godine. Ukupni gubici radne snage u prijenosnoj mreži iznose od 1.2% do 3.18%. Također se može reći da najveći dio gubitaka otpada na 110 kV mrežu, i to od 45% do 89% ukupnih gubitaka u mreži, ovisno o prijenosnom području i promatranom razdoblju. Gubici u transformatorima iznose

od 1.7% do 4.1% ukupnih gubitaka u mreži. Gubici pri minimalnom opterećenju u sustavu su 40% i više manji od gubitaka pri maksimalnom teretu, opet ovisno o promatranom razdoblju i prijenosnom području. Općenito se ne može reći da za promatrano razdoblje i uz maksimalno opterećenje u sustavu imaju tendenciju rasta ili tendenciju pada. Izgradnja mreže utječe na smanjenje ukupne impedancije mreže, čime se smanjuju gubici. Međutim, porast opterećenja općenito utječe na povećanje gubitaka. Stoga je jedino moguće razmatrati razinu gubitaka u nekom periodu po pojedinim prijenosnim područjima.

LITERATURA

- [1] D.Bajs: "Razvitak elektroenergetskog sustava Hrvatske do 2030. godine, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 1997.
- [2] T.Baričević, S.Žutobradić: "Tehnički gubici u distribucijskim mrežama", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 1999.



Slika 6.1. Prijenosna mreža Hrvatske 2010. godine

