

# ANALIZA MAKSIMALNIH I MINIMALNIH KRATKOSPOJNIH PRILIKA U PRIJENOSNOJ MREŽI HRVATSKE 2000. GODINE

Mr. sc. Davor Nevećerel, Zagreb

UDK 644.1.1:621.317  
STRUČNI ČLANAK

U članku su prikazani usporedni rezultati proračuna maksimalnog i minimalnog kratkog spoja za mrežu 2000. godine. Pri tome su rezultati maksimalnog kratkog spoja ažurirani u odnosu na podatke za nazivnu 2000. godinu prema referentnoj studiji [1].

**Ključne riječi:** proračun kratkog spoja, maksimalni kratki spoj, minimalni kratki spoj.

## 1. UVOD

U dosadašnjim analizama kratkospojnih prilika prijenosne mreže Hrvatske uobičajena praksa je bila računanje maksimalnog početnog kratkog spoja, potrebnog za dimenzioniranje i kontrolu opreme elektroenergetskih postrojenja. Zadnja sustavna studija proračuna kratkospojnih prilika u EES-a Hrvatske provedena 1999. godine [1] odnosila se je na razvoj kratkospojnih prilika od nazivne 2000. do nazivne 2010. godine.

Zbog razlika između stvarne konfiguracije i predviđenog stanja mreže nazivne 2000. godine, a što je posljedica usporene dinamike obnove i izgradnje prijenosne mreže, ukazala se potreba da se kratkospojne prilike sagledaju za stvarnu konfiguraciju mreže u 2000. godini.

U okvirima analize kratkog spoja koja se odnosi na stvarnu današnju mrežu, korisno je provesti i širu analizu, koja pored proračuna maksimalnog kratkog spoja uključuje i proračun minimalnog kratkog spoja. Sagledane prilike minimalnog kratkog spoja služe kao nužna podloga za kontrolu rada relejne zaštite mreže, s aspekta udešenja i selektivnosti.

Navedeni proračuni se provode prema internacionalnom standardu IEC 909/1988 za karakteristični simetrični kvar (tropolni kratki spoj) i karakteristični nesimetrični kvar (jednopolni kratki spoj), te stoga traže šire modeliranje elektroenergetskog sustava.

Proračun maksimalnog kratkog spoja pretpostavlja pri tome kompletnu prijenosnu mrežu u paralelnom radu, uz angažiranje svih proizvodnih jedinica i direktno uzemljenje svih interkonektivnih transformatora, blok transformatora i transformatora 110/x. Kontrola kratkospojnih prilika provedena u tom slučaju upozorava na moguća prekoračenja kratkospojne čvrstoće postojeće opreme i daje dalje nužne podatke za dimenzioniranje opreme budućih postrojenja.

Nakon što je proveden proračun maksimalnog kratkog spoja za postojeću mrežu 2000. godine, prikazan je i osvrt na razlike prema proračunu kratkog spoja u nazivnoj 2000. godini, provedeno u referentnoj studiji [1]. Proračun minimalnog kratkog spoja prema internacionalnom standardu IEC 909/1988 pretpostavlja naponski faktor  $c = 1.0$  i smanjeno uklopno stanje prema dogovoru. Uvrštenje generatora usuglašeno je s *Naručiteljem* za prilike minimalnog angažiranja proizvodnih agregata. Za tako usuglašenu mrežu provedena je dalje analiza pojedinačnih ispada svakog od priključenih vodova i transformatora za sva postrojenja 400, 220 i 110 kV.

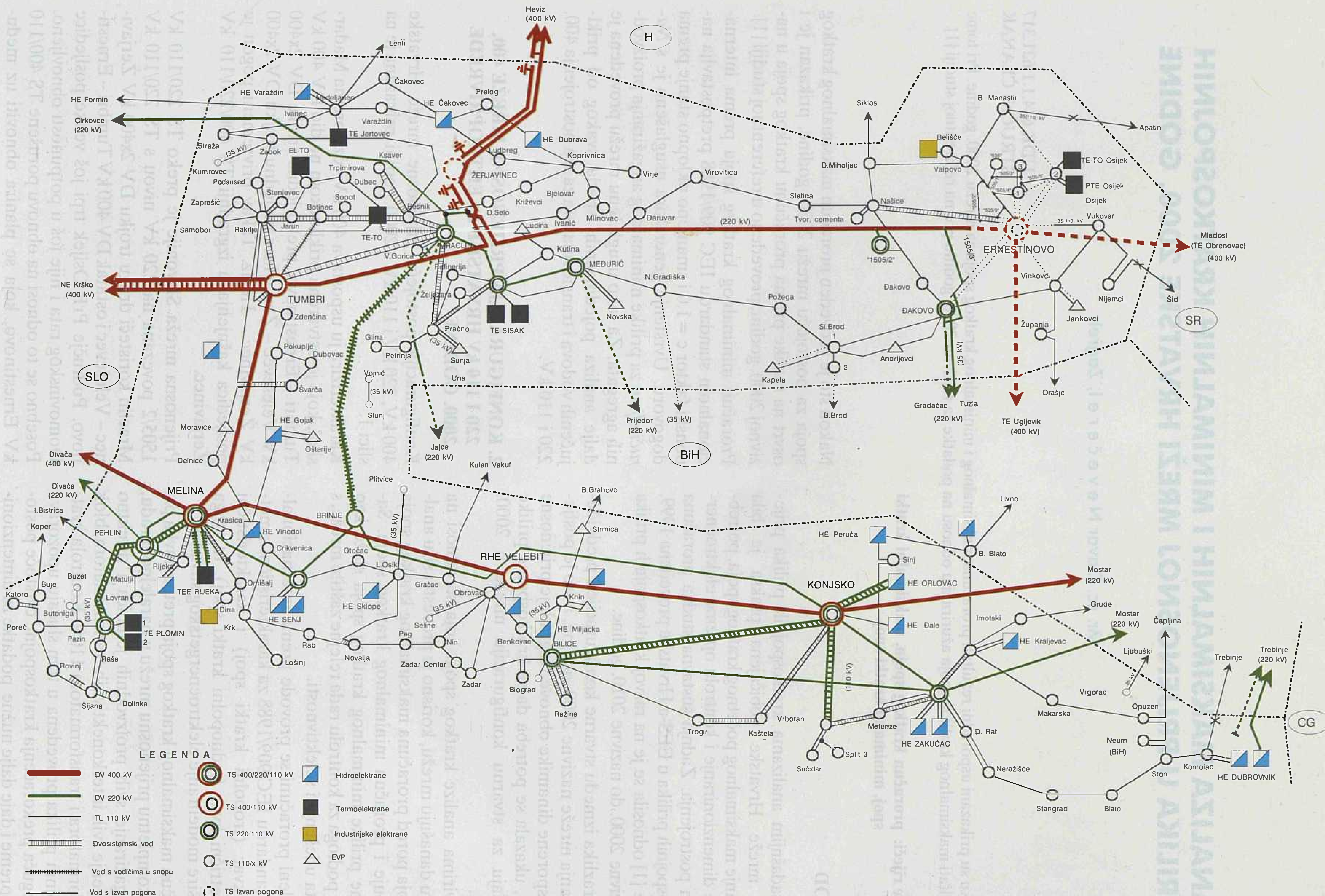
## 2. KONFIGURACIJA PRIJENOSNE MREŽE 400, 220 I 110 kV HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE 2000. GODINE

Konfiguracija postojeće prijenosne mreže Hrvatske 400 kV, 220 kV i 110 kV u 2000. godini prikazana je na slici 1.

Karakterizira ju uspostava 400 kV veze prema Mađarskoj, koja je ostvarena priključkom na dio DV 400 kV Tumbri – Ernestinovo, preko jedne trojke DV 2x400 kV Veleševac – Žerjavinec na jednu trojku DV 2x400 kV Žerjavinec – Heviz. Takav privremeni pogon je posljedica kašnjenja u izgradnji TS 400/220/110 kV Žerjavinec.

Prijenosna mreža Slavonije je preko TS 220/110 kV 1505/2 povezana na 220 kV nivou s TS 220/110 kV Mraclin koristeći drugu trojku DV 2x400 kV Žerjavinec – Veleševac i ostatak DV 400 kV Tumbri – Ernestinovo. Područje PrP Osijek trpi još velike posljedice Domovinskog rata i nije još u potpunosti obnovljeno. Posebno se to odnosi na obnovu porušene TS 400/110 kV Ernestinovo, koja se planira obnoviti uz međunarodnu pomoć.





Slika 1. Prijenosna mreža 400 – 220 – 110 kV EES Hrvatske – stanje 2000. godine



Prijenosnu mrežu 2000. godine karakteriziraju ulasci novih proizvodnih objekata u pogon, TE Plomin 2 snage 247 MVA i novih agregata u postrojenju 110 kV TE-TO Zagreb snage 3x80 MVA.

Povezivanje s prijenosnom mrežom 400 i 220 kV BiH i SR još nije u potpunosti uspostavljeno (posljedice ratnih razaranja). U pogonu su jedino vodovi 220 kV Đakovo – Tuzla, Konjsko – Mostar (DV 400 kV privremeno pod naponom 220 kV) i Zakučac – Mostar.

### 3. PRORAČUN UKUPNIH VELIČINA NAJVEĆIH MOGUĆIH POČETNIH STRUJA TROPOLNOG I JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA

Proračun maksimalnog kratkog spoja proveden je prema [2] i [3], uz pretpostavku napona prije nastanka kvara jednakim nazivnom naponu pomnoženom s naponskim faktorom  $c = 1.1$ . Treba naglasiti da proračun maksimalnog kratkog spoja predstavlja skup od  $N$  proračuna (gdje je  $N$ =broj čvorova mreže) koji predstavljaju maksimalne kratkospojne prilike u svakom od razmatranih čvorova.

Struje u čvorištu  $k$  gdje je nastao kvar određuju se prema matricnom izrazu:

$$\underline{I}_{k(F)}^{\text{sim}} = \underline{Y}_F^{\text{sim}} (1 + \underline{Z}_{kk}^{\text{sim}} \underline{Y}_F^{\text{sim}})^{-1} \underline{E}_{k(0)}^{\text{sim}} \quad (3.1)$$

Struje u granama  $i$ - $j$  se dalje određuju prema izrazu:

$$\underline{i}_{ij(k)}^{\text{sim}} = \underline{y}_{i-j}^{\text{sim}} (\underline{E}_{i(k)}^{\text{sim}} - \underline{E}_{j(k)}^{\text{sim}}) \quad (3.2)$$

U izrazima (3.1) i (3.2) pojedine matrice u sustavu simetričnih komponenata (sim) imaju sljedeće značenje:

- $\underline{Z}_{kk}$  = vlastita impedancija čvorišta  $k$
- $\underline{Z}_{ik}$  = vlastita impedancija grane  $i$ - $k$
- $\underline{E}_{k(0)}$  = vektor napona prije nastanka kvara
- $\underline{E}_{i(k)}, \underline{E}_{j(k)}$  = vektori napona čvorišta  $i, j$
- sim = općenita oznaka za simetrične komponenta
- $\underline{y}_{i-j}$  = vodljivost grane  $i$ - $j$
- $\underline{Y}_F$  = matrica kvara [3], sljedećeg iznosa za trolpolni i jednopolni kratki spoj:

	trolpolni kratki spoj			jednopolni kratki spoj		
$\underline{Y}_F$	0	0	0	1	1	1
	0	1	0	1	1	1
	0	0	1	1	1	1

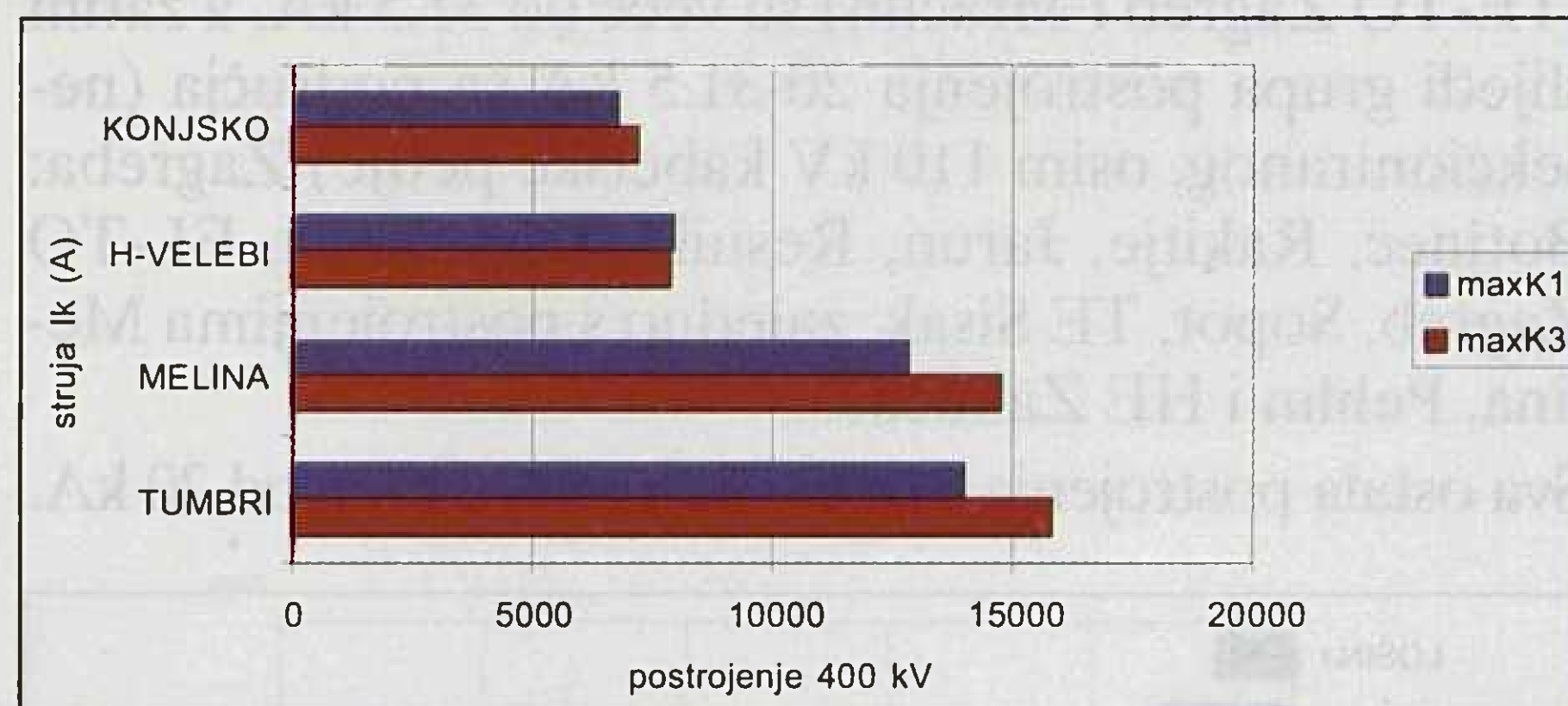
Relacija između faznih i simetričnih veličina opisana je Fortescueovom matricom transformacija  $\underline{T} : \underline{A}^{\text{faz}} = \underline{T} \underline{A}^{\text{sim}}$ .

### 4. REZULTATI PRORAČUNA NAJVEĆIH MOGUĆIH POČETNIH STRUJA TROPOLNOG I JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA NA SABIRNICAMA 400, 220 I 110 kV PRIJENOSNE MREŽE HEP-a

Kompletni rezultati proračuna najvećih mogućih početnih struja trolpolnog i jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama 400, 220 i 110 kV prijenosne mreže

Hrvatske elektroprivrede nalaze se u [6]. Pregled osnovnih podataka proračuna trolpolnog i jednopolnog kratkog spoja prikazan je na slikama 2–4.

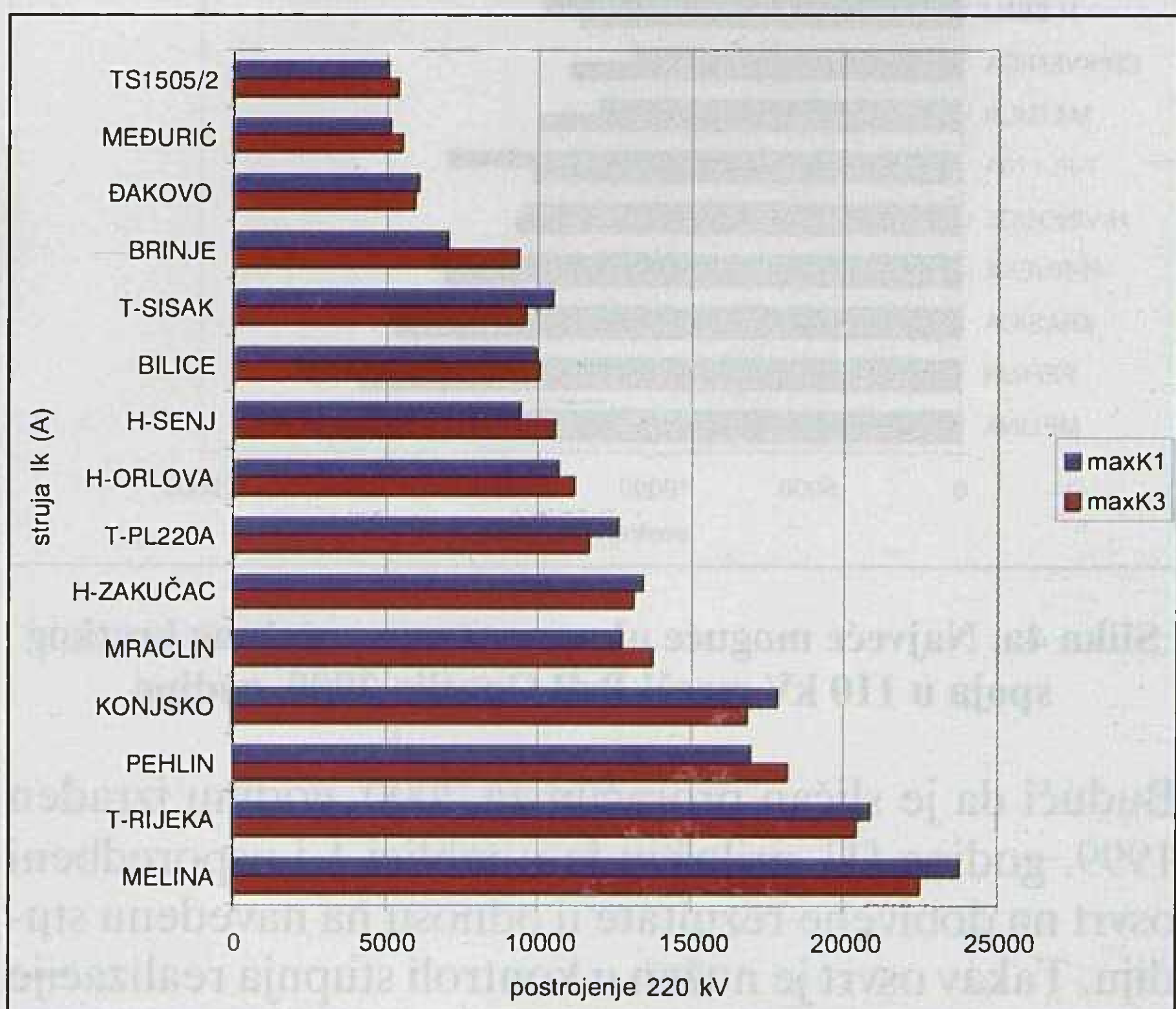
Slika 2 prikazuje rezultate proračuna maksimalnog trolpolnog i jednopolnog kratkog spoja u 400 kV mreži Hrvatske elektroprivrede 2000. godine, svrstanih prema kriteriju veličina struja trolpolnog kratkog spoja. Radi se o ukupno četiri postrojenja, od kojih se postrojenja Tumbri i Melina na pragu od 16 kA, dok se preostala dva postrojenja H-Velebit i Konjsko još ne dosižu 10 kA (TS Konjsko još nema uspostavljenu 400 kV vezu sa Mostarom).



Slika 2. Najveće moguće ukupne struje kratkog spoja u 400 kV mreži HEP-a

Karakteristično je za kratkospojne prilike u 400 kV mreži Hrvatske, da su struje početnog trolpolnog kratkog spoja uglavnom veće od struja jednopolnog kratkog spoja, što je posljedica nedostatka izvora na 400 kV nivou prijenosnog sustava HEP-a.

Slika 3 prikazuje rezultate proračuna maksimalnog trolpolnog i jednopolnog kratkog spoja u 220 kV mreži Hrvatske elektroprivrede 2000. godine, svrstanih prema kriteriju veličina struja trolpolnog kratkog spoja. Radi se o ukupno petnaest postrojenja, gdje svega dva postrojenja (Melina i TE Rijeka) prelaze prag od 20 kA, sljedeća dva (Pehlin i Konjsko) se nalaze u grupi 16-20 kA, dok su sva ostala postrojenja ispod praga od 16 kA.



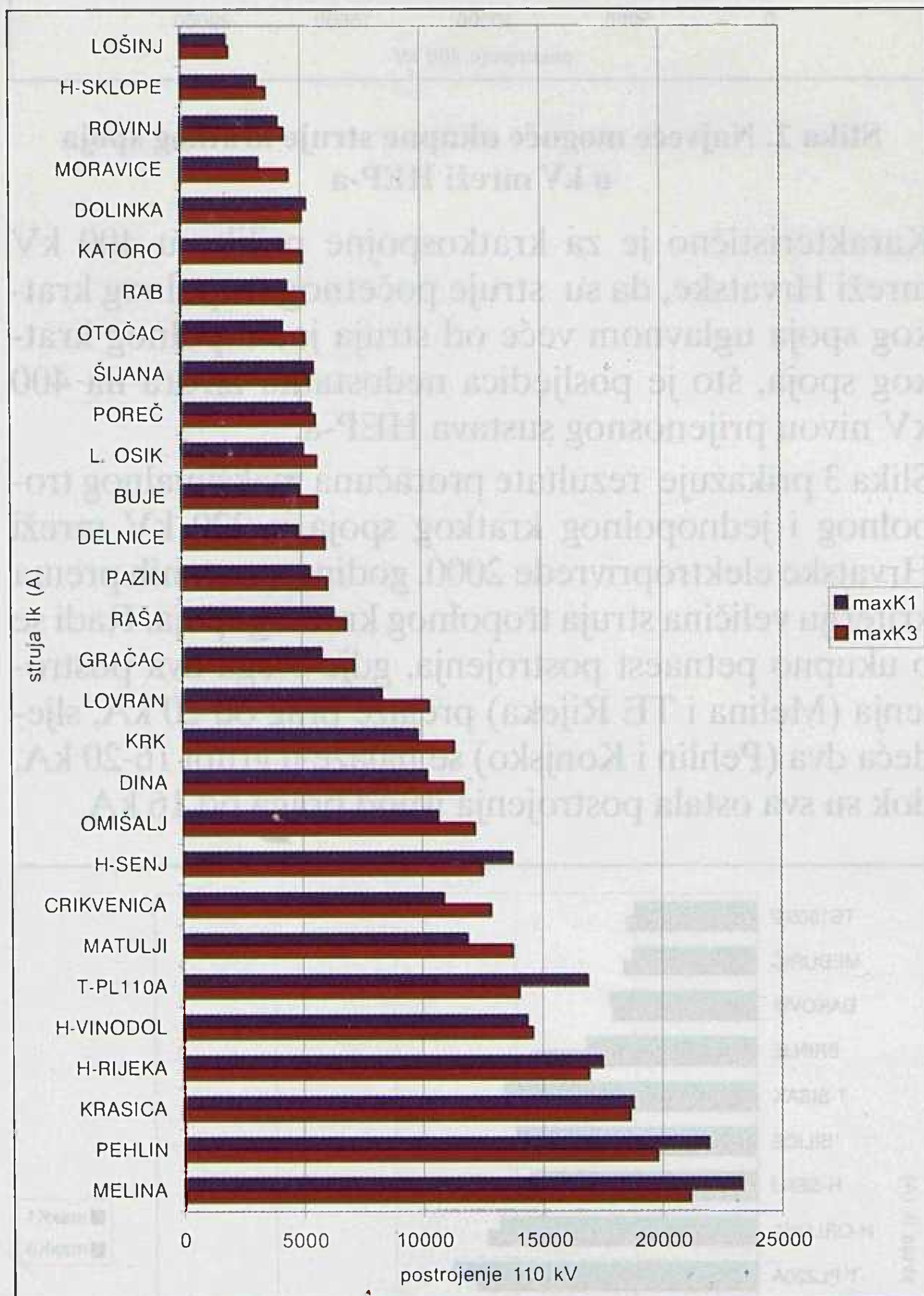
Slika 3. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u mreži 220 kV HEP-a



Kratkospojne prilike u 220 kV mreži Hrvatske karakteriziraju uglavnom veće struje početnog jednopolnog kratkog spoja u odnosu na struje trolnog kratkog spoja, što je posljedica veće izgrađenosti izvora na 220 kV nivou prijenosnog sustava HEP-a u kombinaciji sa simetričkim karakteristikama interkonektivnih transformatora.

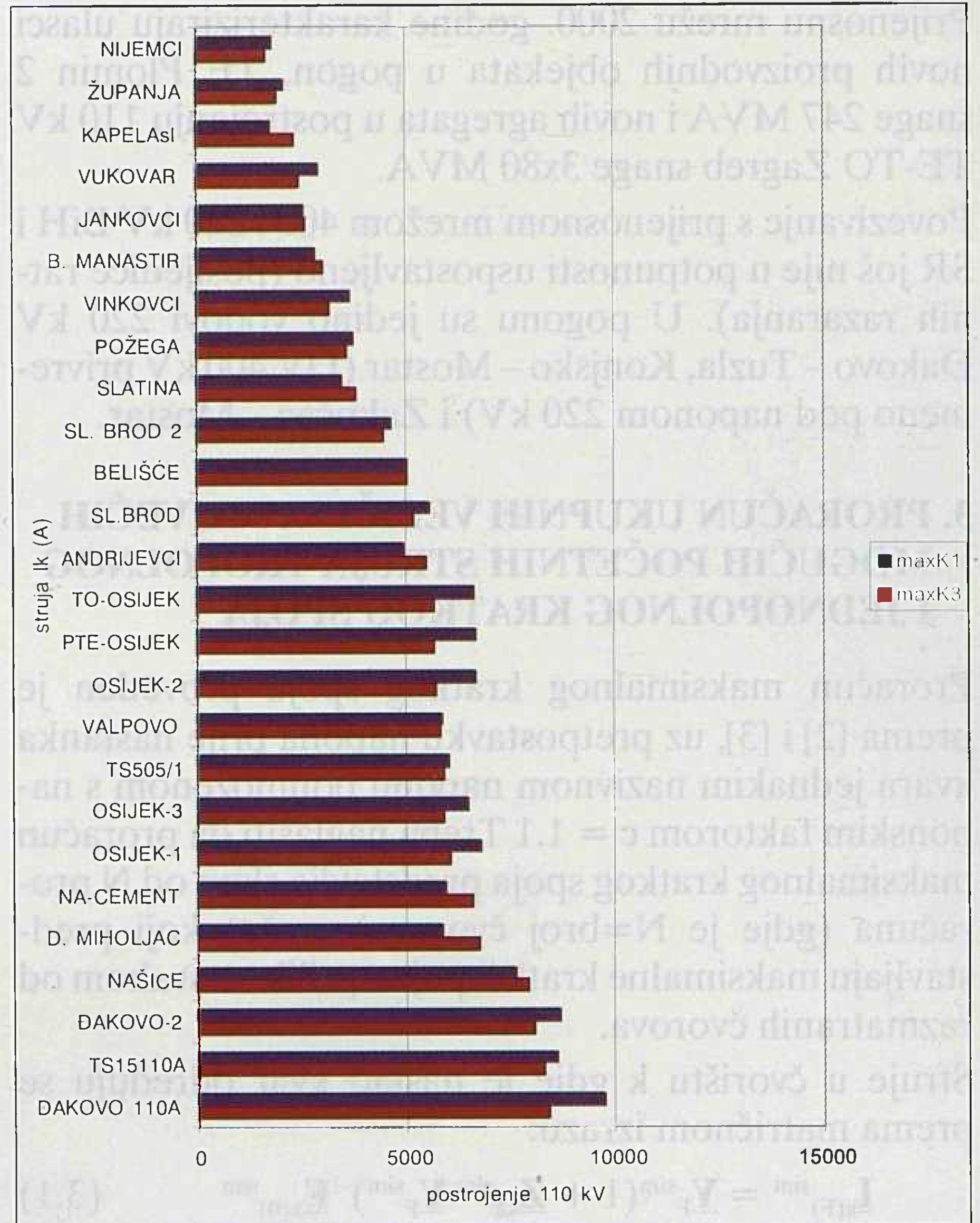
Dalje slijedi slika 4 (podijeljena na četiri elektroprijenosna područja PrP Osijek, Opatija, Split i Zagreb) koja se odnosi na prilike u 110 kV mreži Hrvatske elektroprivrede. Najveće struje kratkog spoja su u TS Tumabri (na pragu 40 kA), kod sljedeća dva postrojenja (TE-TO Zagreb i Mraclin) su veće od 31.5 kA, a zatim slijedi grupa postrojenja 20-31.5 kA sa područja (nesekcioniranog, osim 110 kV kabelske petlje) Zagreba: Botinec, Rakitje, Jarun, Resnik, Trpimirova, EL-TO Zagreb, Sopot, TE Sisak, zajedno s postrojenjima Melina, Pehlin i HE Zakučac.

Sva ostala postrojenja 110 kV ne prelaze prag od 20 kA.

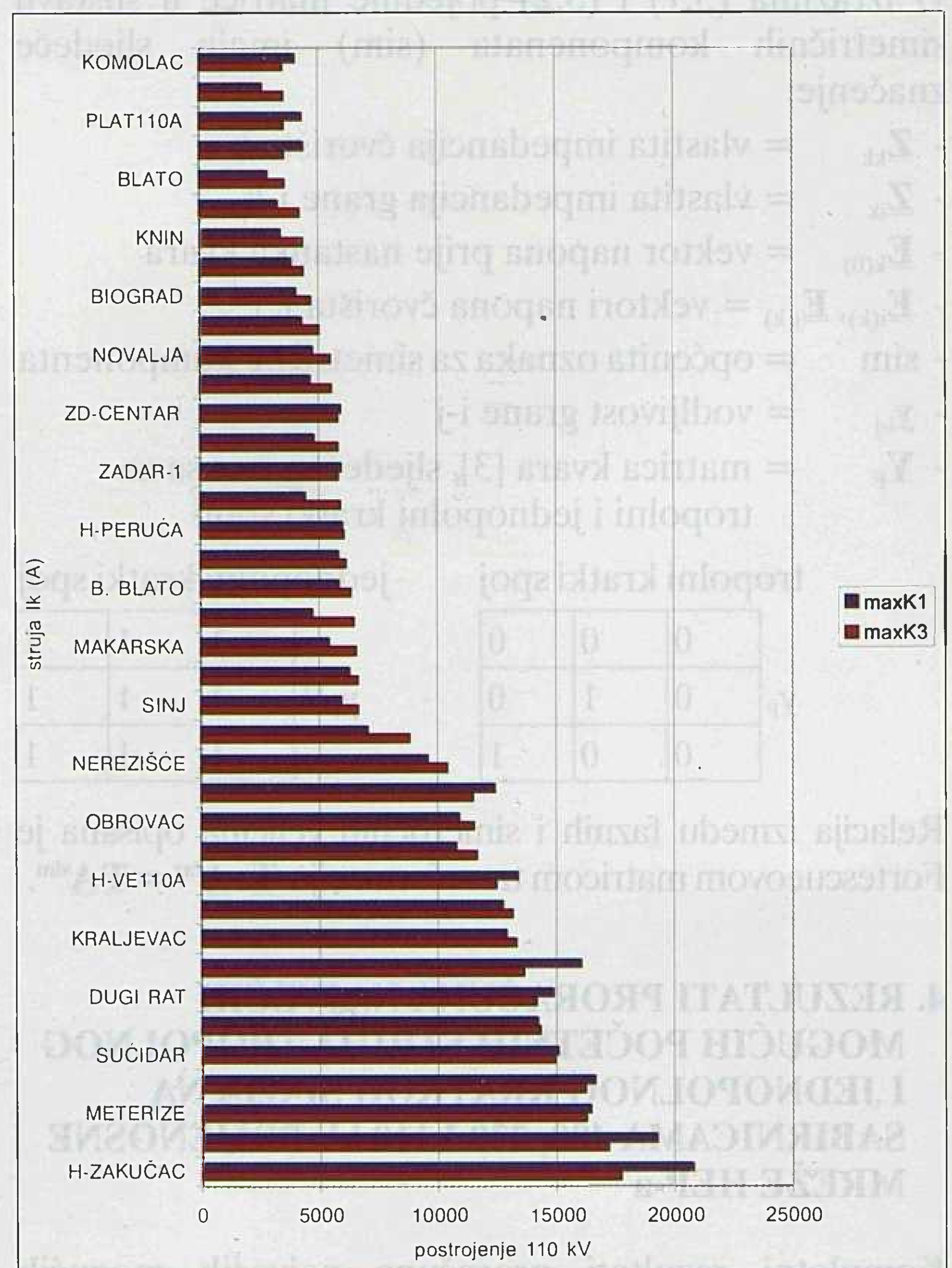


Slika 4a. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u 110 kV mreži PrP Opatija 2000. godine

Budući da je sličan proračun za 2000. godinu izrađen 1999. godine [1], priložen je u tablici 1 i usporedbeni osvrt na dobivene rezultate u odnosu na navedenu studiju. Takav osvrt je nužan u kontroli stupnja realizacije predviđenih sagledavanja planirane mreže, koja je sada polazište za usporedbu s rezultatima minimalnog kratkog spoja.

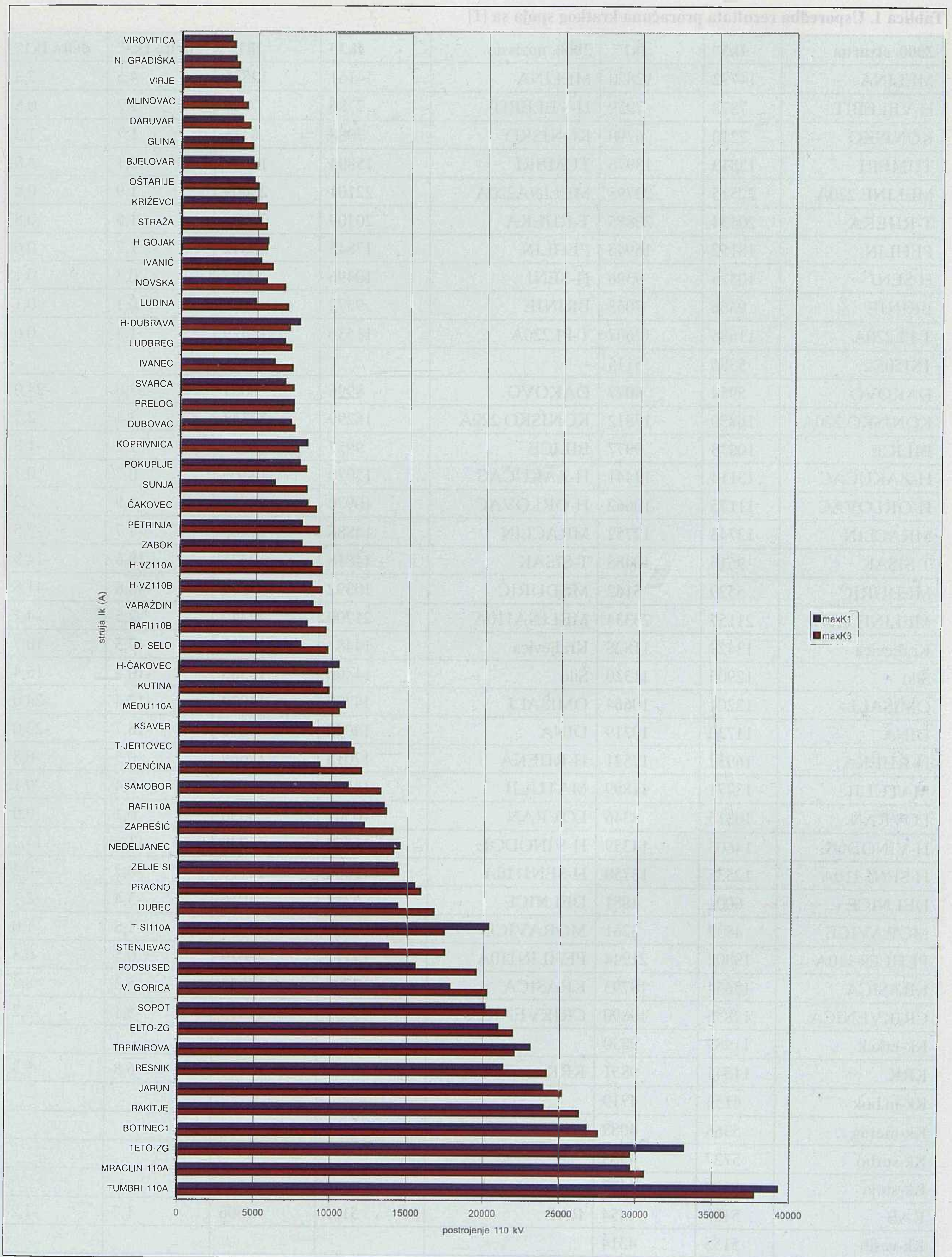


Slika 4b. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u 110 kV mreži PrP Osijek



Slika 4c. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u 110 kV mreži PrP Split 2000. godine





Slika 4d. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u 110 kV mreži PrP Zagreb 2000.



Tablica 1. Usporedba rezultata proračuna kratkog spoja sa [1]

2000. stvarna	Ik3''	Ik1''	2000. nazivna	Ik3''	Ik1''	delta Ik3''	delta Ik1''
MELINA	14792	12820	MELINA	14161	12535	4,5	2,3
H-VELEBIT	7878	7959	H-VELEBIT	7786	7897	1,2	0,8
KONJSKO	7210	6790	KONJSKO	7088	6711	1,7	1,2
TUMBRI	15813	13976	TUMBRI	15804	14674	0,1	-4,8
MELINE 220A	22515	23795	MELINA220A	22101	23609	1,9	0,8
T-RIJEKA	20434	20885	T-RIJEKA	20109	20725	1,6	0,8
PEHLIN	18152	16945	PEHLIN	17845	16842	1,7	0,6
H-SENJ	10525	9396	H-SENJ	10496	9385	0,3	0,1
BRINJE	9366	7053	BRINJE	9372	7062	-0,1	-0,1
T-PL220A	11685	12607	T-PL220A	11530	12529	1,3	0,6
TS1505/2	5386	5115					
ĐAKOVO	5954	6077	ĐAKOVO	8996	8001	-33,8	-24,0
KONJSKO 220A	16850	17812	KONJSKO 220A	16299	17343	3,4	2,7
BILICE	10073	9977	BILICE	9957	10156	1,2	-1,8
H-ZAKUČAC	13114	13441	H-ZAKUČAC	13020	13400	0,7	0,3
H-ORLOVAC	11175	10662	H-ORLOVAC	10970	10536	1,9	1,2
MRACLIN	13743	12752	MRACLIN	14888	13786	-7,7	-7,5
T-SISAK	9616	10488	T-SISAK	11818	12325	-18,6	-14,9
MEĐURIĆ	5529	5162	MEĐURIĆ	10392	8876	-46,8	-41,8
MELINE 110A	21157	23334	MELINA110A	21709	24340	-2,5	-4,1
Kraljevica	13429	11828	Kraljevica	14484	13239	-7,3	-10,7
Šilo	12905	11320	Šilo	14400	13385	-10,4	-15,4
OMIŠALJ	12204	10664	OMIŠALJ	14780	14029	-17,4	-24,0
DINA	11730	10219	DINA	14090	13276	-16,7	-23,0
H-RIJEKA	16932	17521	H-RIJEKA	17018	17669	-0,5	-0,8
MATULJI	13771	11899	MATULJI	13714	11892	0,4	0,1
LOVRAN	10315	8346	LOVRAN	10301	8350	0,1	0,0
H-VINODOL	14603	14359	H-VINODOL	16550	16748	-11,8	-14,3
H-SENJ 110A	12535	13750	H-SENJ110A	12562	13776	-0,2	-0,2
DELNICE	6001	4881	DELNICE	6214	5016	-3,4	-2,7
MORAVICE	4532	3261	MORAVICE	4601	3294	-1,5	-1,0
PEHLIN 110A	19802	21944	PEHLIN110A	19712	22020	0,5	-0,3
KRASICA	18654	18793	KRASICA	17708	17357	5,3	8,3
CRIKVENICA	12855	10890	CRIKVENICA	13552	11493	-5,1	-5,2
Kk-krckk	11983	9830					
KRK	11345	9851	KRK	12171	10867	-6,8	-9,3
Kk-m.bok	6153	4719					
Kk-merag	5365	4088					
Kk-surbo	5737	4583					
Kk-stoja	5559	4477					
RAB	5193	4454	RAB	5105	4506	1,7	-1,2
Kk-vasib	5155	4314					
LOŠINJ	2011	1913	LOŠINJ	2037	1926	-1,3	-0,7
Karlobag	4813	3881					
Kk-korom	5155	4285					



2000. stvarna	Ik3''	Ik1''	2000. nazivna	Ik3''	Ik1''	delta Ik3''	delta Ik1''
kk-toret	5200	4336					
T-PL110A	14052	16894	T-PL110A	14334	17328	-2,0	-2,5
DOLINKA	5065	5242	DOLINKA	6465	6445	-21,7	-18,7
SIJANA	5376	5532	SIJANA	7599	7644	-29,3	-27,6
BUJE	5700	4959	BUJE	6703	6168	-15,0	-19,6
RAŠA	6857	6359	RAŠA	9384	9249	-26,9	-31,2
PAZIN	6098	5352	PAZIN	7024	6589	-13,2	-18,8
POREČ	5607	5438	POREČ	5998	5812	-6,5	-6,4
ROVINJ	4327	4084	ROVINJ	5337	4854	-18,9	-15,9
KATORO	5097	4341	KATORO	5454	4948	-6,5	-12,3
L. OSIK	5658	5110	L. OSIK	5655	5176	0,1	-1,3
H-SKLOPE	3557	3197	H-SKLOPE	3556	3208	0,0	-0,3
OTOČAC	5197	4262	OTOČAC	5199	4271	0,0	-0,2
GRAČAC	7196	5837	GRAČAC	7231	5955	-0,5	-2,0
TS15110A	8310	8602					
ĐAKOVO110A	8418	9777	ĐAKOVO110A	15999	16315	-47,4	-40,1
OSIJEK-1	6086	6801	OSIJEK-1	15148	15806	-59,8	-57,0
OSIJEK-2	5718	6683	OSIJEK-2	15508	17077	-63,1	-60,9
OSIJEK-3	5940	6508	OSIJEK-3	14699	15799	-59,6	-58,8
TO-OSIJEK	5707	6661	TO-OSIJEK	15385	16869	-62,9	-60,5
PTE-OSIJEK	5713	6668	PTE-OSIJEK	15450	16938	-63,0	-60,6
B. MANASTIR	3019	2861	B. MANASTIR	7654	6580	-60,6	-56,5
D. MIHOLJAC	6768	5882	D. MIHOLJAC	9250	7506	-26,8	-21,6
ĐAKOVO-2	8077	8692	ĐAKOVO-2	13470	12416	-40,0	-30,0
VALPOVO	5839	5902	VALPOVO	9494	8898	-38,5	-33,7
VINKOVCI	3184	3692	VINKOVCI	9442	8867	-66,3	-58,4
ŽUPANJA	1925	2095	ŽUPANJA	3207	3043	-40,0	-31,2
SL. BROD	5194	5583	SL. BROD	8872	8547	-41,5	-34,7
SL. BROD2	4494	4653	SL. BROD2	7707	7092	-41,7	-34,4
POŽEGA	3619	3743	POŽEGA	5101	4771	-29,1	-21,5
NAŠICE	7933	7638	NAŠICE	10619	8755	-25,3	-12,8
SLATINA	3844	3512	SLATINA	5072	4345	-24,2	-19,2
VUKOVAR	2483	2918	VUKOVAR	7973	7601	-68,9	-61,6
NIJEMCI	1682	1814	NIJEMCI	4133	3737	-59,3	-51,5
ANDRIJEVCI	5497	4962	ANDRIJEVCI	8384	6426	-34,4	-22,8
JANKOVCI	2623	2601	JANKOVCI	7171	5898	-63,4	-55,9
KAPELA <sub>sl</sub>	2365	1784	KAPELA <sub>sl</sub>	4393	3255	-46,2	-45,2
NA-CEMENT	6590	5964	NA-CEMENT	8342	6652	-21,0	-10,3
BELIŠĆE	5041	5059	BELIŠĆE	7355	6819	-31,5	-25,8
TS505/1	5929	6041					
H-VE110A	12500	13417	H-VE110A	12466	13418	0,3	0,0
ZADAR-1	5830	5968	ZADAR-1	5822	6274	0,1	-4,9
BILIBRIG	5814	5925	BILIBRIG	5805	6238	0,2	-5,0
ZD-CENTAR	5820	5953	ZD-CENTAR	5812	6272	0,1	-5,1
NIN	6160	5838	NIN	6147	6135	0,2	-4,8
Kk-kulin	5571	4933					



2000. stvarna	Ik3''	Ik1''	2000. nazivna	Ik3''	Ik1''	delta Ik3''	delta Ik1''
Kk-selin	5523	4871					
PAG	5032	4313	PAG	5009	4458	0,5	-3,3
Kk-deda	5219	4373					
NOVALJA	5536	4773	NOVALJA	5494	5106	0,8	-6,5
OBROVAC	11568	10930	OBROVAC	11554	11023	0,1	-0,8
BIOGRAD	4703	4081	BIOGRAD	4700	4120	0,1	-0,9
BENKOVAC	5932	4441	BENKOVAC	5930	4771	0,0	-6,9
STRMICA	3564	2660	STRMICA	3214	2476	10,9	7,4
KONJSKO 110A	17249	19298	KONJSKO 110A	17299	19395	-0,3	-0,5
H-ZA110A	17760	20820	H-ZA110A	18070	21184	-1,7	-1,7
H-ĐALE	6661	6303	H-ĐALE	6666	6308	-0,1	-0,1
METERIZE	16301	16485	METERIZE	16430	17043	-0,8	-3,3
SUĆIDAR	14971	15112	SUĆIDAR	15303	16152	-2,2	-6,4
Pujanke	15070	15172					
VISOKA	14346	14240	VISOKA	16046	17005	-10,6	-16,3
KAST110A	11690	10794	KAST110A	11848	10939	-1,3	-1,3
VRBORAN	16251	16667	VRBORAN	16368	17381	-0,7	-4,1
DUGI RAT	14186	14896	DUGI RAT	14456	15227	-1,9	-2,2
Kk-d.rat	14002	14672	kk-d.rat	14267	14996	-1,9	-2,2
Kk-posti	10901	9732	kk-posti	11104	9957	-1,8	-2,3
Kk-lozna	11973	11685	kk-lozna	12198	11956	-1,8	-2,3
NEREZIŠĆE	10427	9620	NEREZIŠĆE	10664	9991	-2,2	-3,7
Kk-slati	7153	5908	kk-slati	7372	6141	-3,0	-3,8
Kk-travn	6666	5466	kk-travn	6886	5703	-3,2	-4,2
STARIGRAD	5563	4664	STARIGRAD	5788	4921	-3,9	-5,2
kk-medve	4355	3399	kk-medve	4606	3741	-5,4	-9,1
kk-prapa	3919	3041	kk-prapa	4191	3451	-6,5	-11,9
BLATO	3602	2875	BLATO	3913	3431	-7,9	-16,2
kk-strec	3263	2492	KORČULA	3792	3167	-14,0	-21,3
kk-perna	3259	2489	kk-perna	3800	3157	-14,2	-21,2
STON	4380	3889	STON	7567	6157	-42,1	-36,8
IMOTSKI	6483	4734	IMOTSKI	6543	4759	-0,9	-0,5
KRALJEVAC	13349	12912	KRALJEVAC	13607	13100	-1,9	-1,4
H-KRALJEVICA	13192	12755	H-KRALJE	13443	12938	-1,9	-1,4
TROGIR	8836	7056	TROGIR	9112	7337	-3,0	-3,8
H-PERUĆA	6079	6021	H-PERUĆA	6101	6155	-0,4	-2,2
B. BLATO	6352	5866	B. BLATO	6394	5898	-0,7	-0,5
SINJ	6666	5972	SINJ	6690	6448	-0,4	-7,4
MAKARSKA	6568	5448	MAKARSKA	6730	5609	-2,4	-2,9
BILI110A	13667	16079	BILI110A	13665	16683	0,0	-3,6
RAZINE	11511	12436	RAZINE	12889	15466	-10,7	-19,6
KNIN	4368	3440	KNIN	3692	3032	18,3	13,5
KNIN-evp	4228	3308	KNIN-evp	3591	2928	17,7	13,0
OPUZEN	5829	4820	OPUZEN	6656	5570	-12,4	-13,5
KOMOLAC	3528	4053	KOMOLAC	10883	10268	-67,6	-60,5
PLAT110A	3574	4324	PLAT110A	11882	13469	-69,9	-67,9



2000. stvarna	Ik3''	Ik1''	2000. nazivna	Ik3''	Ik1''	delta Ik3''	delta Ik1''
H-DUBROVNIK	3584	4377	H-DUBROVNIK	11423	12792	-68,6	-65,8
MEDU110A	10437	10865	MEDU110A	13170	13274	-20,8	-18,1
NOVSKA	6769	5579	NOVSKA	7826	6158	-13,5	-9,4
IVANIĆ	5956	5185	IVANIĆ	5961	5461	-0,1	-5,1
N. GRADIŠKA	3735	3503	N. GRADIŠKA	6731	5564	-44,5	-37,0
DARUVAR	4441	3967	DARUVAR	5466	4612	-18,8	-14,0
KUTINA	9769	9342	KUTINA	11020	10166	-11,4	-8,1
KOPRIVNICA	7671	8255	KOPRIVNICA	9473	9726	-19,0	-15,1
LUDBREG	7207	6775	LUDBREG	7980	7000	-9,7	-3,2
VIROVITI	3469	3233	VIROVITI	5933	5556	-41,5	-41,8
VIRJE	3767	3534	VIRJE	6037	5305	-37,6	-33,4
KRIŽEVCI	5527	4838	KRIŽEVCI	6278	5320	-12,0	-9,1
BJELOVAR	4846	4644	BJELOVAR	5135	5010	-5,6	-7,3
MLINOVAC	4250	3950	MLINOVAC	4471	4292	-4,9	-8,0
H-ČAKOVEC	9685	10397	H-ČAKOVEC	10514	11057	-7,9	-6,0
ČAKOVEC	8856	8272	ČAKOVEC	9280	8721	-4,6	-5,1
PRELOG	7361	7384	PRELOG	8025	7984	-8,3	-7,5
H-DUBRAV	7083	7757	H-DUBRAV	7890	8443	-10,2	-8,1
NEDELJAN	14092	14487	NEDELJAN	14635	14912	-3,7	-2,9
IVANEC	7287	6100	IVANEC	7415	6164	-1,7	-1,0
H-VZ110A	9276	8594	H-VZ110A	9497	8729	-2,3	-1,5
H-VZ110B	9284	8603	H-VZ110B	9500	8734	-2,3	-1,5
VARAŽDIN	9293	8673	VARAŽDIN	9667	8900	-3,9	-2,6
ZABOK	9194	7944	ZABOK	9306	8020	-1,2	-0,9
T-JERTOVI	11451	11245	T-JERTOVI	12838	12354	-10,8	-9,0
STRAŽA	5570	5146	STRAŽA	5627	5181	-1,0	-0,7
T-SI110A	17409	20310	T-SI110A	18515	21474	-6,0	-5,4
PRACNO	15860	15466	PRACNO	16231	16145	-2,3	-4,2
SUNJA	8233	6147	SUNJA	8339	6253	-1,3	-1,7
PETRINJA	9074	7973	PETRINJA	9197	8322	-1,3	-4,2
RAFI110A	13589	13428	RAFI110A	14259	13927	-4,7	-3,6
RAFI110B	9546	8306	RAFI110B	9684	8466	-1,4	-1,9
ZELJE-SI	14429	14327	ZELJE-SI	14985	14836	-3,7	-3,4
GLINA	4613	4001	GLINA	4645	4063	-0,7	-1,5
POKUPLJE	8204	7780	POKUPLJE	8140	7745	0,8	0,5
H-GOJAK	5606	5641	H-GOJAK	5825	5820	-3,8	-3,1
OSTARIJE	4984	4743	OSTARIJE	5157	4869	-3,4	-2,6
ZDENCINA	11946	9201	ZDENCINA	11515	9039	3,7	1,8
SVARČA	7343	6808	SVARČA	7265	6765	1,1	0,6
DUBOVAC	7440	7205	DUBOVAC	7369	7164	1,0	0,6
TUMB110A	37736	39299	TUMB110A	32875	35994	14,8	9,2
RESNIK	24141	21278	RESNIK	28190	25799	-14,4	-17,5
TETO-ZG	29620	33128	TETO-ZG	29637	33457	-0,1	-1,0
LUDINA	6948	4859	LUDINA	7167	4939	-3,1	-1,6
MRAC110A	30558	29628	MRAC110A	26394	26720	15,8	10,9
SOPOT	21472	20101	SOPOT	20365	18850	5,4	6,6



2000. stvarna	Ik3''	Ik1''	2000. nazivna	Ik3''	Ik1''	delta Ik3''	delta Ik1''
JARUN	25138	23909	JARUN	18514	18449	35,8	29,6
ELTO-ZG	21920	20945	ELTO-ZG	16900	16913	29,7	23,8
RAKITJE	26280	23938	RAKITJE	21754	21325	20,8	12,3
STENJEVAC	17447	13764	STENJEVAC	15336	12861	13,8	7,0
PODSUSED	19500	15543	PODSUSED	17189	14930	13,4	4,1
SAMOBOR	13215	11053	SAMOBOR	11971	10465	10,4	5,6
V. GORICA	20202	17810	V. GORICA	18297	16730	10,4	6,5
D. SELO	9684	7919	D. SELO	14840	12630	-34,7	-37,3
ZAPREŠIĆ	14010	12117	ZAPREŠIĆ	12619	11412	11,0	6,2
KSAVER	10735	8678	KSAVER	11946	8466	-10,1	2,5
DUBEC	16742	14352	DUBEC	24964	21858	-32,9	-34,3
BOTINEC1	27502	26759	BOTINEC1	19171	18197	43,5	47,1
TRPIMIROVA	22035	23072	TRPIMIROVA	22059	23394	-0,1	-1,4
TRPIMIRx	19043	17910	TRPIMI-X	15142	14919	25,8	20,0

Iz gornjeg pregleda je vidljivo u kojoj mjeri nisu realizirani planovi razvoja prijenosne mreže za današnje stanje mreže 2000. godine. Zato uvodimo i često navođeni pojam "nazivne" mreže, koja je vezana uz zadanu topologiju i stupanj izgrađenosti mreže u proizvodnji, prijenosu i distribuciji.

Konstatirajmo u našem slučaju razlike između postojeće 2000. godine i nazivne 2000. godine iz [1]:

- 400 kV mreža Hrvatske 2000. godine sadržava (u zagradi su brojke iz mreže nazivne 2000. godine): 4 postrojenja 400 kV (6),
- 220 kV mreža Hrvatske 2000. godine sadržava (u zagradi su brojke iz mreže nazivne 2000. godine): 15 postrojenja 220 kV (16),
- 110 kV mreža Hrvatske 2000. godine na području sva četiti prijenosna poduzeća sadržava (u zagradi su brojke iz mreže nazivne 2000. godine), po prijenosnim poduzećima:
  - PrP Opatija 29 postrojenja 110 kV (41),
  - PrP Osijek 26 postrojenja 110 kV (26),
  - PrP Split 39 postrojenja 110 kV (43),
  - PrP Zagreb 56 postrojenja 110 kV (60),

Tako razlike u broju 400 kV postrojenja između stvarne i nazivne 2000. godine dolaze od neizgrađenosti planiranih TS 400/(220)/110 kV Ernestinovo i Žerjavinec, dok razlike u broju 220 kV postrojenja između stvarne i nazivne 2000. godine dolaze od neizgrađenosti planiranih TS Plat i Žerjavinec 220 kV i još i dalje privremenog pogona TS 220/110 kV 1505/2.

Razlike u broju 110 kV postrojenja između stvarne i nazivne 2000. godine dolaze od neizgrađenosti planiranih TS 110/x kV u nazivnoj 2000. godini, redom:

PrP Opatija: TS Vodnjan i Sušak, EVP Podvezica, Šapjane, Vrata, Plase i Ivani (prelaz elektrovuče na 25 kV izmjenično) i TS Dunat, Karlobag, Butoniga, Buzet i D.Lapac (transformacija trajno izvan pogona)

PrP Osijek: TS Ernestinovo i Osijek 4, uz još dalje privremeni pogon TS 1505/2 i TS 505/1.

PrP Split: TS Dobri, Drniš, Podi i Ploče

PrP Zagreb: TS Siscia, Zerjavinec, Trnje 2 i Volovčica, mreža nije poprečno sekcionirana, osim kabela 110 kV TE-TO Zagreb – EL-TO Zagreb – Jarun.

Na navedenu situaciju dodatno utječu još dva faktora: iako su zbog neostvarenja svih planova izgradnje prijenosne mreže rezultati kratkog spoja sniženi u odnosu na nazivnu 2000. godinu, zbog preciznijeg modeliranja nadomjesne mreže Italije vidi se neznatan porast kratkospojnih struja u PrP Opatija, dok je porast struja kratkog spoja na zagrebačkom području posljedica privremenog paralelnog rada 110 kV mreže Zagreba.

## 5. PRORAČUN UKUPNIH VELIČINA NAJNIŽIH OČEKIVANIH POČETNIH STRUJA TROPOLNOG I JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA NA SABIRNICAMA 400, 220 I 110 KV PRIJENOSNE MREŽE HEP

Proračun ukupnih veličina najnižih očekivanih početnih struja trolnog i jednopolnog kratkog spoja proveden je uz sljedeće pretpostavke:

1. proračun minimalnog kratkog spoja proveden je prema IEC 909/1981 uz naponski faktor  $c = 1.0$
2. pretpostavljeno je početno stanje sniženog angažiranja elektrana koje odgovara ljetnom minimumu prema tablici 2
3. izračunate su veličine kratkog spoja uz pretpostavku isključenja (neraspoloživosti) redom svake od grana neposredno priključenih na svako razmatrano postrojenje 400, 220 i 110 kV prijenosne mreže HEP-a.

Proračun minimalnog kratkog spoja prema gornjim pretpostavkama proveden je modifikacijom programa RIMA [5]. Za potrebe obrade rezultata otvoren je novi



kanal za spremanje karakterističnih rezultata proračuna minimalnog kratkog spoja. To su: struja u fazi R trolnog kratkog spoja i struja  $3I_0$  jednopolnog kratkog spoja. Rezultati su paralelno tabelirani, da se jasno može prepoznati ispad pojedinog elementa mreže (u tom slučaju udio iz isključene grane je jednak nuli).

Modifikacija početnog stanja prema pretpostavki 2. (sniženje angažiranja elektrana, tablica 2) provedeno

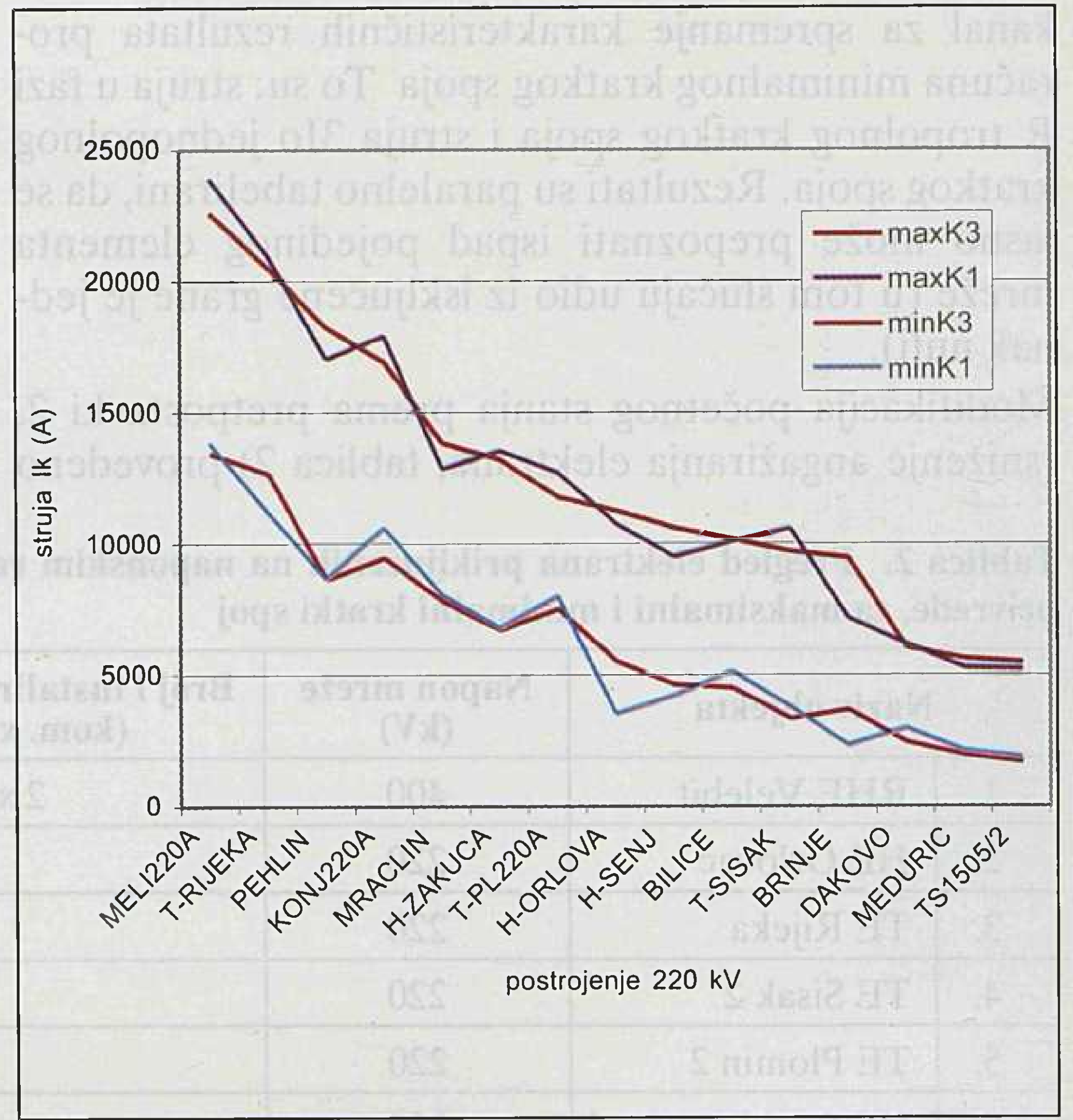
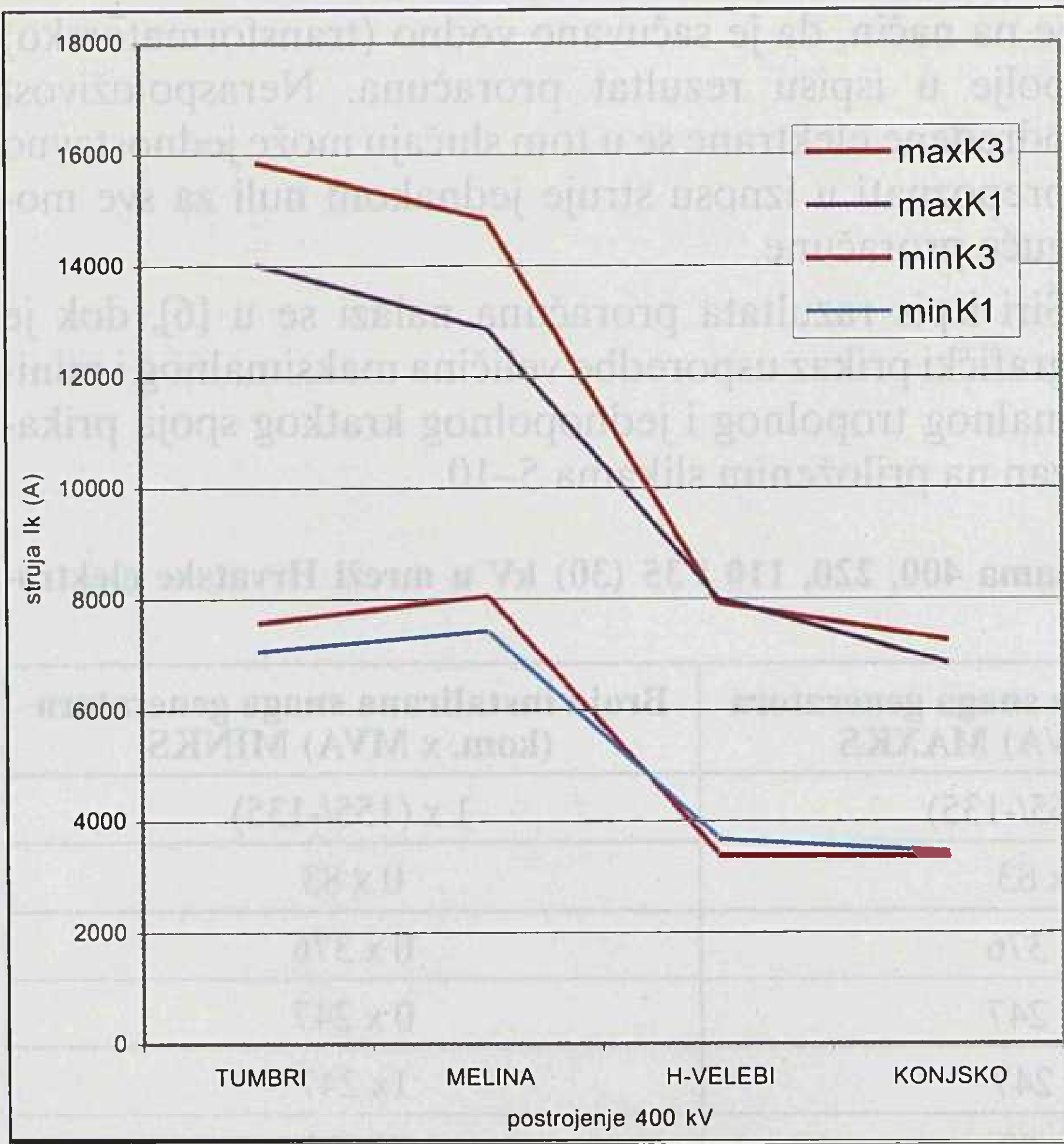
je na način, da je sačuvano vodno (transformatorsko) polje u ispisu rezultat proračuna. Neraspoloživost određene elektrane se u tom slučaju može jednostavno prepoznati u iznosu struje jednakom nuli za sve moguće proračune.

Širi ispis rezultata proračuna nalazi se u [6], dok je grafički prikaz usporedbe veličina maksimalnog i minimalnog trolnog i jednopolnog kratkog spoja prikazan na priloženim slikama 5–10.

Tablica 2. Pregled elektrana priključenih na naponskim razinama 400, 220, 110 i 35 (30) kV u mreži Hrvatske elektroprivrede, za maksimalni i minimalni kratki spoj

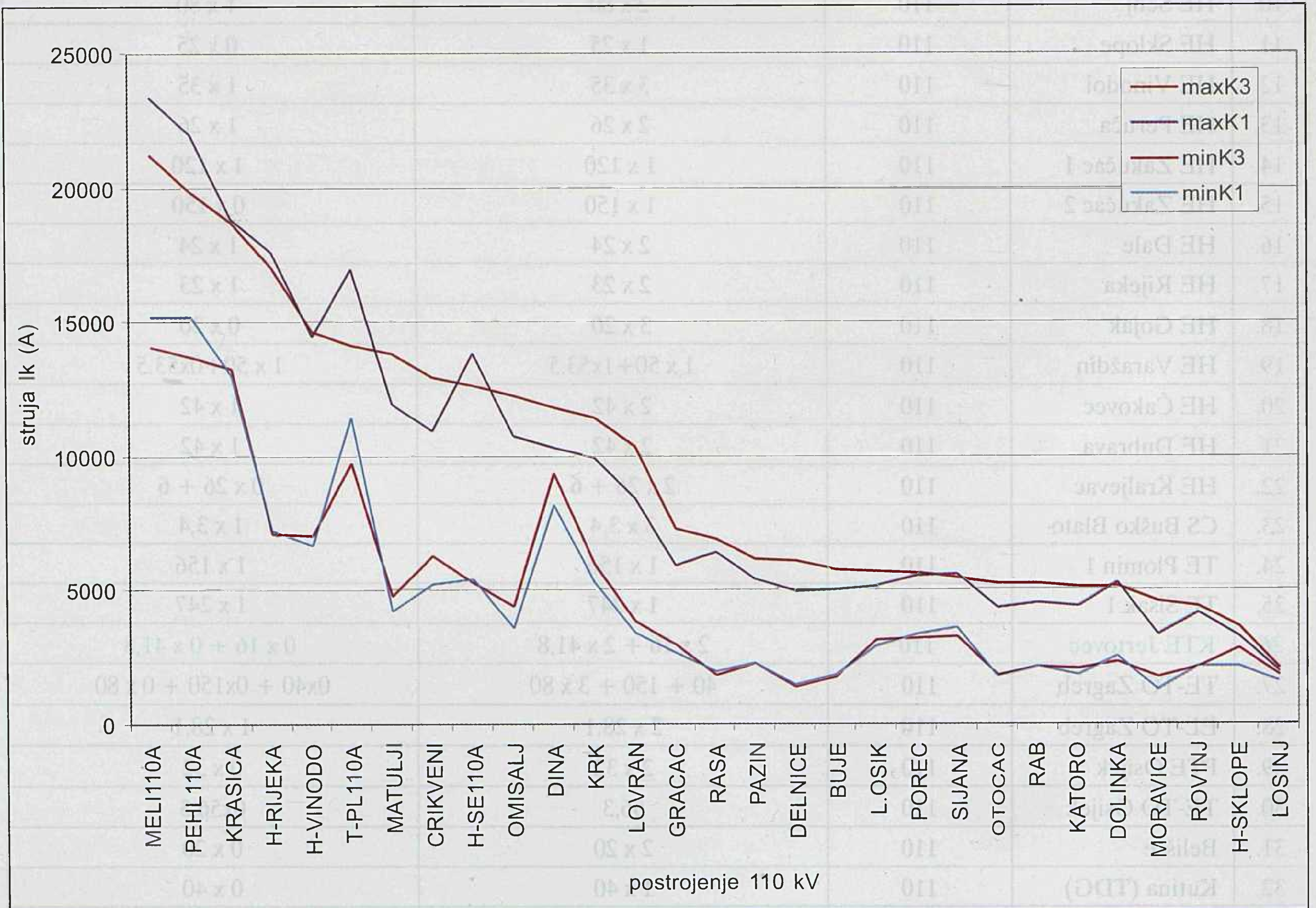
Naziv objekta		Napon mreže (kV)	Broj i instalirana snaga generatora (kom. x MVA) MAXKS	Broj i instalirana snaga generatora (kom. x MVA) MINKS
1.	RHE Velebit	400	2 x (155/-135)	1 x (155/-135)
2.	HE Orlovac	220	3 x 83	0 x 83
3.	TE Rijeka	220	1 x 376	0 x 376
4.	TE Sisak 2	220	1 x 247	0 x 247
5.	TE Plomin 2	220	1 x 247	1 x 247
6.	HE Senj	220	1 x 80	0 x 80
7.	HE Zakučac 1	220	1 x 120	1 x 120
8.	HE Zakučac 2	220	1 x 150	0 x 150
9.	HE Dubrovnik	110	1 x 120	1 x 120
10.	HE Senj	110	2 x 80	1 x 80
11.	HE Sklope	110	1 x 25	0 x 25
12.	HE Vinodol	110	3 x 35	1 x 35
13.	HE Peruča	110	2 x 26	1 x 26
14.	HE Zakučac 1	110	1 x 120	1 x 120
15.	HE Zakučac 2	110	1 x 150	0 x 150
16.	HE Đale	110	2 x 24	1 x 24
17.	HE Rijeka	110	2 x 23	1 x 23
18.	HE Gojak	110	3 x 20	0 x 20
19.	HE Varaždin	110	1 x 50 + 1 x 53,5	1 x 50 + 0 x 53,5
20.	HE Čakovec	110	2 x 42	1 x 42
21.	HE Dubrava	110	2 x 42	1 x 42
22.	HE Kraljevac	110	2 x 26 + 6	0 x 26 + 6
23.	CS Buško Blato	110	3 x 3,4	1 x 3,4
24.	TE Plomin 1	110	1 x 156	1 x 156
25.	TE Sisak 1	110	1 x 247	1 x 247
26.	KTE Jertovec	110	2 x 16 + 2 x 41,8	0 x 16 + 0 x 41,8
27.	TE-TO Zagreb	110	40 + 150 + 3 x 80	0 x 40 + 0 x 150 + 0 x 80
28.	EL-TO Zagreb	110	2 x 28,1	1 x 28,1
29.	PTE Osijek	110	2 x 32	0 x 32
30.	TE-TO Osijek	110	56,3	0 x 56,3
31.	Belišće	110	2 x 20	0 x 20
32.	Kutina (TDG)	110	1 x 40	0 x 40
33.	HE Miljacka	35	1 x 6 + 3 x 8	1 x 6 + 0 x 8
34.	EL-TO Zagreb	30	1 x 15,7 + 1 x 37,5	0 x 15,7 + 0 x 37,5
			0,5	





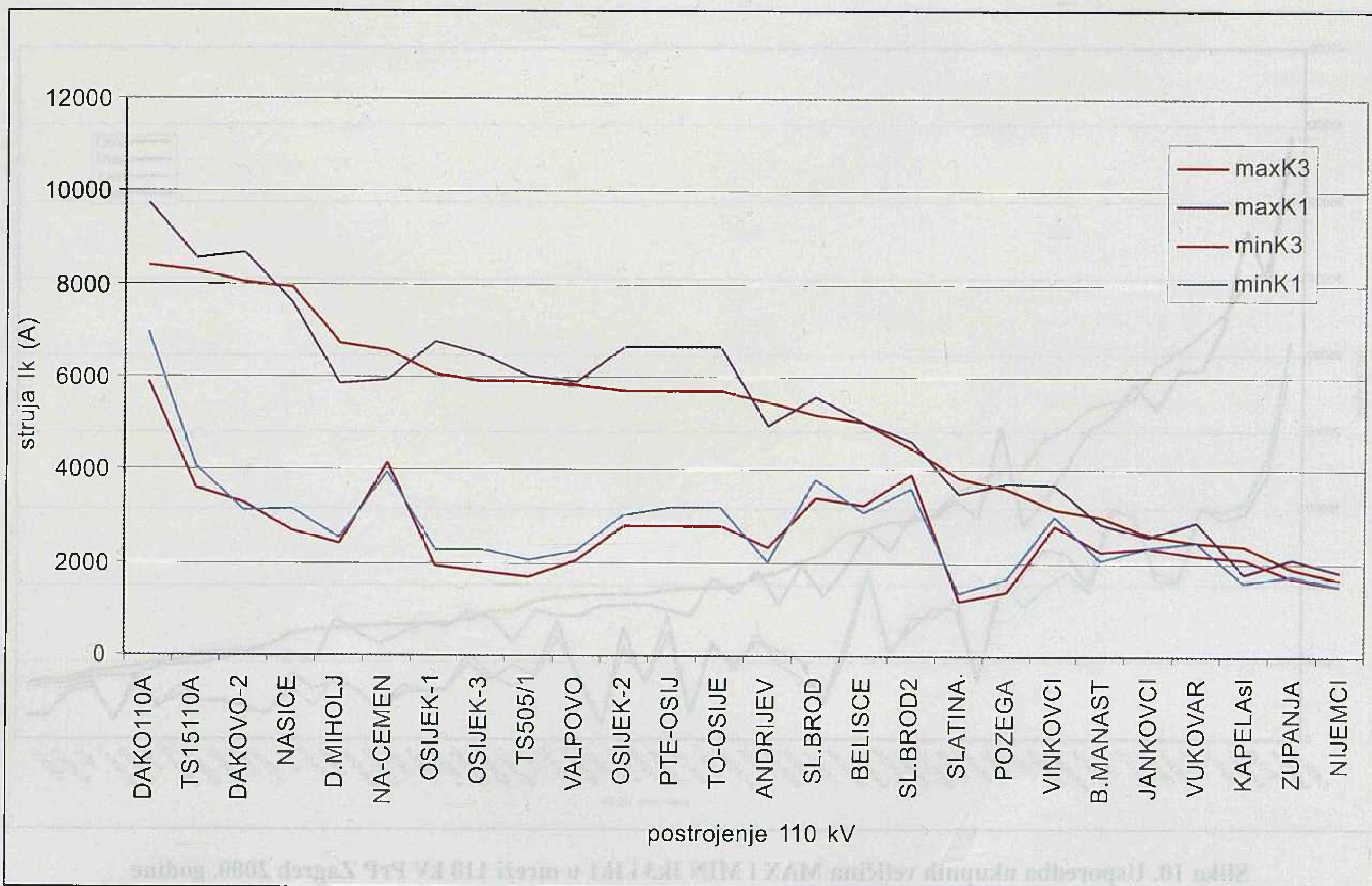
Slika 5. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN Ik3 i Ik1 u 400 kV mreži Hrvatske 2000. godine

Slika 6. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN Ik3 i Ik1 u 220 kV mreži Hrvatske 2000. godine

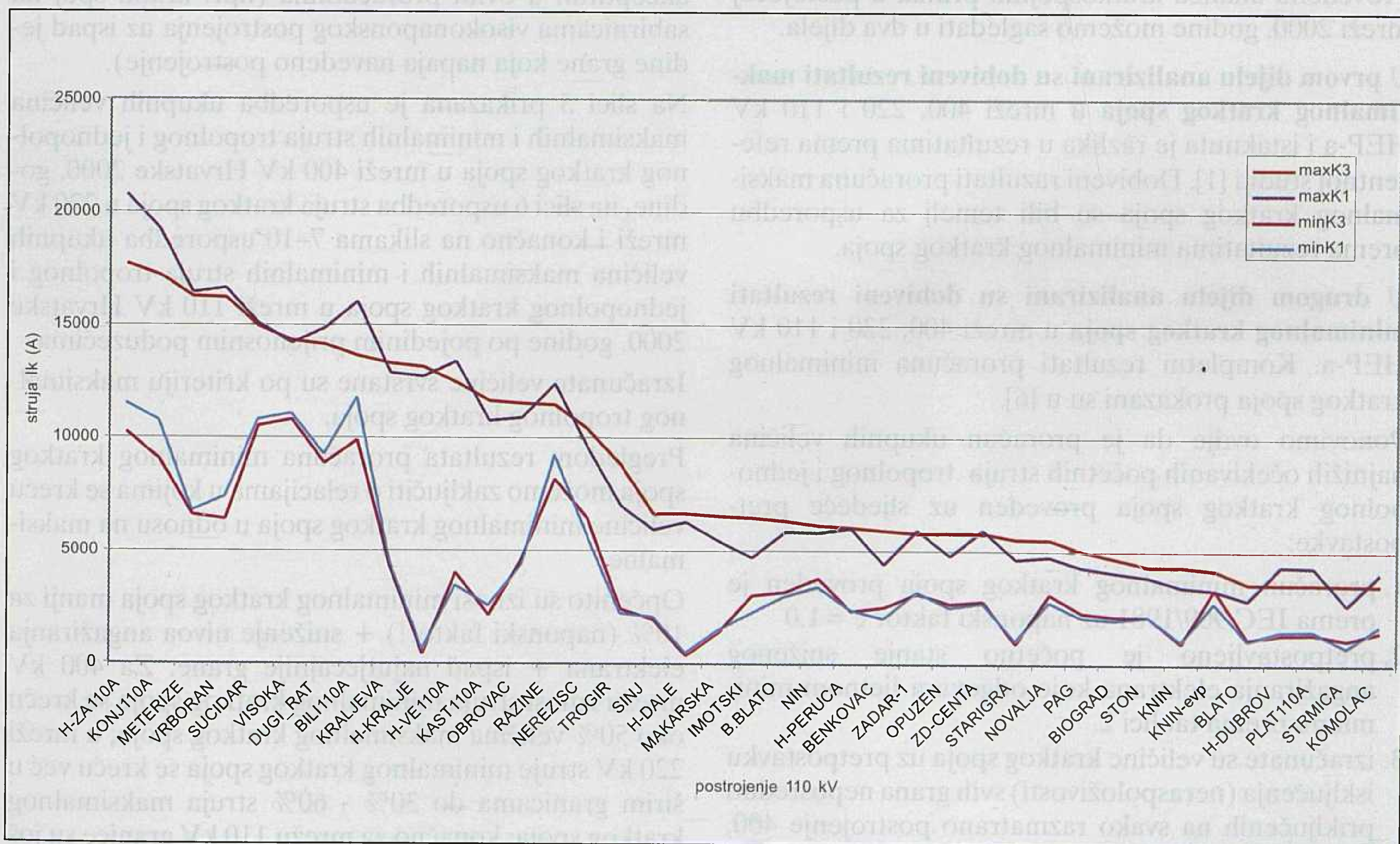


Slika 7. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN Ik3 i Ik1 u mreži 110 kV PrP Opatija 2000. godine



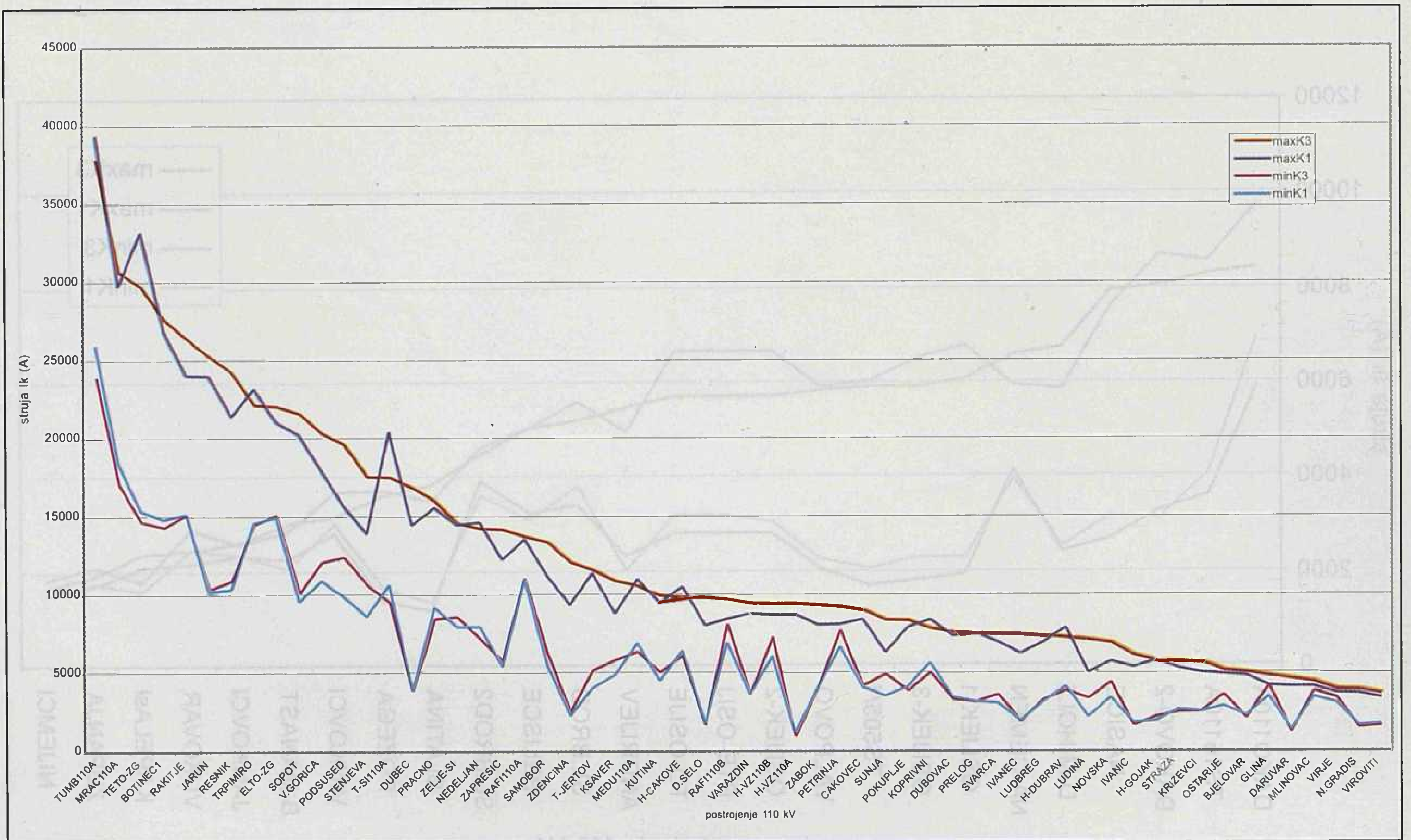


Slika 8. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN Ik3 i Ik1 u 110 kV PrP Osijek 2000. godine



Slika 9. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN Ik3 i Ik1 u mreži PrP Split 2000. godine





Slika 10. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN Ik3 i Ik1 u mreži 110 kV PrP Zagreb 2000. godine

## 6. ZAKLJUČAK

Provedenu analizu kratkospojnih prilika u postojećoj mreži 2000. godine možemo sagledati u dva dijela.

**U prvom dijelu analizirani su dobiveni rezultati maksimalnog kratkog spoja** u mreži 400, 220 i 110 kV HEP-a i istaknuta je razlika u rezultatima prema referentnoj studiji [1]. Dobiveni rezultati proračuna maksimalnog kratkog spoja su bili temelj za usporedbu prema rezultatima minimalnog kratkog spoja.

**U drugom dijelu analizirani su dobiveni rezultati minimalnog kratkog spoja** u mreži 400, 220 i 110 kV HEP-a. Kompletni rezultati proračuna minimalnog kratkog spoja prokazani su u [6].

Ponovimo ovdje da je proračun ukupnih veličina najnižih očekivanih početnih struja trofaznog i jednofaznog kratkog spoja proveden uz sljedeće pretpostavke:

1. proračun minimalnog kratkog spoja proveden je prema IEC 909/1981 uz naponski faktor  $c = 1.0$
2. pretpostavljeno je početno stanje sniženog angažiranja elektrana koje odgovara ljetnom minimumu prema tablici 2.
3. izračunate su veličine kratkog spoja uz pretpostavku isključenja (neraspoloživosti) svih grana neposredno priključenih na svako razmatrano postrojenje 400, 220 i 110 kV prijenosne mreže HEP-a

Veličine najnižih struja izračunate su uz istodobno uvažavanje svih triju navedenih pretpostavki. Situacije

minimalnog kratkog spoja koje vode prema struji jednakoj nuli nisu razmatrane, tj. minimum = 0 nije akceptiran u ovim proračunima (npr. kratki spoj na sabirnicama visokonaponskog postrojenja uz ispad jedine grane koja napaja navedeno postrojenje).

Na slici 5 prikazana je usporedba ukupnih veličina maksimalnih i minimalnih struja trofaznog i jednofaznog kratkog spoja u mreži 400 kV Hrvatske 2000. godine, na slici 6 usporedba struja kratkog spoja u 220 kV mreži i konačno na slikama 7–10 usporedba ukupnih veličina maksimalnih i minimalnih struja trofaznog i jednofaznog kratkog spoja u mreži 110 kV Hrvatske 2000. godine po pojedinim prijenosnim poduzećima.

Izračunate veličine svrstane su po kriteriju maksimalnog trofaznog kratkog spoja.

Pregledom rezultata proračuna minimalnog kratkog spoja možemo zaključiti o relacijama u kojima se kreću veličine minimalnog kratkog spoja u odnosu na maksimalne.

Općenito su iznosi minimalnog kratkog spoja manji za 10% (naponski faktor!) + sniženje nivoa angažiranja elektrana + ispad najutjecajnije grane. Za 400 kV mrežu iznosi struja minimalnog kratkog spoja se kreću oko 50% veličina maksimalnog kratkog spoja; u mreži 220 kV struje minimalnog kratkog spoja se kreću već u širim granicama do 30% - 60% struja maksimalnog kratkog spoja; konačno za mrežu 110 kV granice su još puno šire, od 5% - 90%, ovisno o situaciji priključka razmatranog postrojenja 110 kV na elektroenergetski sustav HEP-a.



Općenito, ekstremi su povezani uz radijalnu topologiju mreže, s maksimalnim vrijednostima u slučaju radijalno priključenih transformatorskih postrojenja 110 kV, do minimalnih vrijednosti u slučajevima radijalno priključenih manjih proizvodnih postrojenja na 110 kV sustav.

#### LITERATURA

- [1] D. NEVEČEREL: "Proračun kratkog spoja u mreži Hrvatske 2005. i 2010. godine", IE, Zagreb, III/1989.
- [2] W. STAGG, A. H. EL-ABIAD: "Computer Methods iz Power System Analysis, McGraw-Hill Book Company, 1968. "
- [3] IEC 909/First edition 1988.:Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems.
- [4] H. SELJESETH, A. CAMPLING, K. H. FEIST, M. KUUSSAARI: "Station Earthing - Safety and Interference Aspects" - Electra, No 71, - July 1980.
- [5] D. NEVEČEREL: "Programski sustav RIMA za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama" (R), Energija, god.37/1988/3, str.221-230.
- [6] D. NEVEČEREL: "Analiza maksimalnih i minimalnih kratkospojnih prilika u prijenosnoj mreži Hrvatske 2000. godine" , IE, Zagreb, VII/2000.

#### MAXIMAL AND MINIMAL SHORT CIRCUIT CIRCUMSTANCE ANALYSIS OF THE CROATIAN TRANSMISSION NETWORK IN THE YEAR 2000

The paper presents the network's comparable maximal and minimal short circuit calculation results for the year 2000. The maximal short circuit results are updated in relation to the base year 2000 and according to the study referred [1].

#### UNTERSUCHUNG MAKSIMALER UND MINIMALER KURZSCHLUSSANGELEGENHEITEN IM ÜBERTRAGUNGSNETZ KROATIENS IM JAHRE 2000

Hier sind Ergebnisse des Vergleichs von Berechnungen des maximalen und minimalen Kurzschlusses im Netz des Jahres 2000 dargestellt. Dabei sind, laut der entsprechenden Studie /1/, die Folgen des maximalen Kurzschlusses auf den Netz im neuesten Zustand gebracht worden.

Naslov pisca:

**Mr sc. Davor Nevečerel, dipl. ing.**  
**Institut za elektroprivredu d.d.**  
**Ulica grada Vukovara 37**  
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
2001-05-11.