



Alen Katić, dipl.ing.  
HEP – Distribucija d.o.o., DP Elektra Karlovac  
prof.dr.sc. Davor Škrlec, dipl.ing.  
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb

C6 – 05

## STALNOST ISPORUKE KAO MJERILO KVALITETE OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM U SREDNJENAPONSKOJ MREŽI DP ELEKTRA KARLOVAC

### SAŽETAK

U radu je prikazan proračun indeksa pouzdanosti i raspoloživosti SN mreže DP Elektra Karlovac u 2004. godini kao indikator stalnosti isporuke električne energije odnosno kao jedno od mjerila kvalitete opskrbe električnom energijom. Ulazni podaci za proračun su trajanja prekida opskrbe uzrokovanih kvarovima u SN mreži i trajanja najavljenih prekida opskrbe uslijed redovnog održavanja postrojenja. Indeksi SAIDI, SAIFI, CAIDI i ASAI izračunavaju se po mjesecima i naponskim razinama (35 kV i 10(20) kV).

**Ključne riječi:** kvaliteta usluge, kvaliteta opskrbe električnom energijom, stalnost isporuke, indeksi pouzdanosti i raspoloživosti mreže

## CONTINUITY OF SUPPLY AS A MEASURE OF THE QUALITY OF ELECTRICITY SUPPLY - DP ELEKTRA KARLOVAC STUDY CASE

### SUMMARY

The paper presents the results of the calculation of the availability and reliability indices of the MV network of DP Elektra Karlovac in the year 2004 as a measure of the continuity of supply. Input data for calculation are number and durations of the planned (notified) and unplanned (un-notified) interruptions in the MV network. Monthly values of SAIDI, SAIFI, CAIDI and ASAI indices are calculated for the standard voltage levels (35 kV and 10(20) kV) of the MV network.

**Key words:** quality of service, quality of electricity supply, continuity of supply, network reliability and availability indices

### 1. UVOD

Kvaliteta usluge (engl. *quality of service*) koja se pruža kupcima električne energije prepoznaje se u obliku **kvalitete opskrbe električnom energijom** (engl. *quality of electricity supply*) kao stvarna vrijednost koju kupac dobiva u zamjenu za plaćanje te usluge. Kvaliteta usluge se sastoji od tri mjerila kvalitete: poslovne kvalitete, stalnosti isporuke i kvalitete napona. Svako od ovih mjerila može se dalje objašnjavati samo za sebe, tj. za svako od njih se mogu izračunati neki parametri ili dati određene ocjene te iz njih zaključiti o kvaliteti usluge.

Ovaj rad će se baviti stalnosti isporuke električne energije koja opisuje broj i trajanje prekida opskrbe električnom energijom. Vrsta indikatora stalnosti isporuke, broj prekida ili vrijeme trajanja prekida, izražen je nekim od indeksa raspoloživosti.

Do prekida u napajanju električnom energijom dolazi zbog raznih uzroka. Prekidi se dijele na najavljene prekide i kvarove. Najavljeni prekidi su oni koje isporučitelj namjerno uzrokuje radi redovnog ili interventnog održavanja i ispitivanja postrojenja te u slučajevima kada isporučitelj vrši prekapčanja u mreži. Ovi prekidi se obavezno najavljaju putem interneta ili putem glasila javnog priopćavanja. Kvarovi su nenajavljeni prekidi koji su uzrokovani višom silom, kvarom na postrojenju ili utjecajem vanjskih faktora na elektroenergetsku mrežu.

## 2. INDEKSI POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI MREŽE

Stalnost isporuke el.energije najbolje se može opisati indeksima pouzdanosti i raspoloživosti mreže. Svaki od tih indeksa pokazuje kvalitetu isporučene električne energije u određenom vremenskom periodu kroz broj prekida, trajanje prekida ili ukupno trajanje svih prekida u isporuci električne energije. U radu će biti računati indeksi SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI i ASNI.

### 2.1. Indeks SAIDI

Indeks SAIDI ( engl.- System average interruption duration index – srednje trajanje prekida napajanja sustava ) je prosječno ukupno trajanje svih prekida napajanja koje kupac električne energije osjeti u određenom vremenskom periodu. Indeks se računa kao omjer ukupnog broja sati prekida napajanja kupaca prema ukupnom broju kupaca. Raspoloživost sustava je veća što je indeks manji.

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{\text{broj var ova}} (\text{broj\_kupaca})_i \times (\text{vrijeme\_trajanje})_i}{N_{\text{ukupno}}} \quad (1)$$

### 2.2. Indeks SAIFI

Indeks SAIFI ( engl.- System average interruption frequency index – srednja učestalost prekida napajanja sustava ) je prosječan broj prekida napajanja koje kupac osjeti u određenom vremenskom periodu. Indeks se računa kao omjer ukupnog broja prekida napajanja kupca prema ukupnom broju napajanih kupaca. Pouzdanost sustava je veća što je indeks manji.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{\text{broj var ova}} (\text{broj\_kupaca})_i}{N_{\text{ukupno}}} \quad (2)$$

### 2.3. Indeks CAIDI

Indeks CAIDI ( engl.- Customer average interruption duration index – srednje trajanje prekida napajanja potrošača ) je prosječno trajanje jednog prekida napajanja za kupca koji je osjetio prekid napajanja u određenom periodu. Indeks CAIDI za ukupni broj svih prekida je suma dobivena zbrajanjem svih vremenskih perioda za sve prekide podijeljeno sa sumom dobivenom zbrajanjem broja kupaca u svakom prekidu. Što je indeks niži to znači da su prekidi kraće trajali. Kada su izračunati indeksi SAIDI i SAIFI, onda se vrlo lako može dobiti i indeks CAIDI kao omjer ova dva indeksa.

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{\text{broj var ova}} (\text{broj\_kupaca})_i \times (\text{vrijeme\_trajanja})_i}{\sum_{i=1}^{\text{broj var ova}} (\text{broj\_kupaca})_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3)$$

## 2.4. Indeks ASAI

Indeks ASAI ( engl.- Average system availability index – indeks srednje raspoloživosti sustava ) je omjer ukupnog broja sati napajanja kupca u vremenskom periodu prema broju sati u tom istom vremenskom periodu. Što je koeficijent viši to sustav ima veću raspoloživost. Najviša vrijednost indeksa je 1 odnosno 100 %. Ako je indeks 1 onda to znači da je sustav bio raspoloživ cijeli vremenski period, tj. nije bilo prekida u napajanju.

$$ASAI = \frac{N \times \text{vrijeme}_{\text{ napajanja}}}{\sum_{i=1}^{\text{broj var ova}} (\text{broj}_{\text{ kupaca}})_i \times (\text{vrijeme}_{\text{ trajanja}})_i} = \frac{8760 - SAIDI}{8760} \quad (4)$$

## 2.5. Indeks ASNI

Indeks ASNI ( engl.- Average system notavailability index – indeks srednje neraspoloživosti sustava ) je negacija indeksa ASAI te govori koliko sustav nije bio raspoloživ u određenom vremenskom periodu. Što je koeficijent viši to sustav ima veću neraspoloživost. Najviša vrijednost indeksa je 1 odnosno 100 %. To znači da je sustav bio neraspoloživ cijeli vremenski period, tj. da nije bilo napajanja cijelo vrijeme.

$$ASNI = 1 - \frac{N \times \text{vrijeme}_{\text{ napajanja}}}{\sum_{i=1}^{\text{broj var ova}} (\text{broj}_{\text{ kupaca}})_i \times (\text{vrijeme}_{\text{ trajanja}})_i} = 1 - \frac{8760 - SAIDI}{8760} = 1 - ASAI \quad (5)$$

Izrazi (1), (2), (3), (4) i (5) izračunavaju se iz vrijednosti koje su:

N - ukupni broj ukupno napajanih kupaca u određenom vremenskom razdoblju,

broj\_kupaca – broj kupaca bez napajanja u određenom prekidu napajanja,

vrijeme\_trajanja – trajanje određenog prekida

vrijeme\_napajanja – ukupno vrijeme napajanja u određenom vremenskom razdoblju.

U izrazima (4) i (5) za vremenski rok od godinu dana pretpostavljeno je trajanje 8760 sati. Ukoliko je ukupni promatrani vremenski period drugačiji, uzima se ta druga vrijednost.

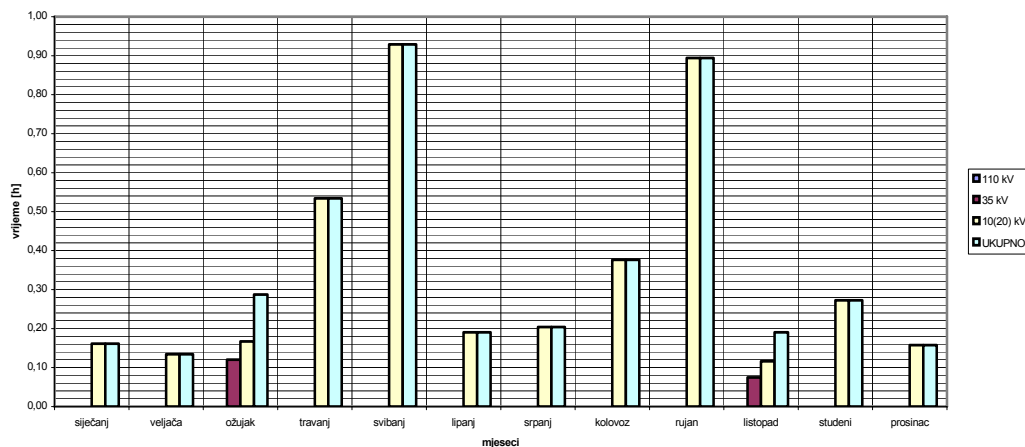
## 3. PRORAČUN INDEKSA SN MREŽE DP ELEKTRE KARLOVAC U 2004. GODINI

Iz prethodno navedenih izraza vidi se da je glavni podatak potreban za proračun indeksa pouzdanosti i raspoloživosti mreže vrijeme trajanja svakog pojedinačnog prekida i broj kupaca električne energije kojima je električna energija prekinuta tijekom tog prekida. Dežurna i dispečerska služba DP Elektro Karlovac ažurno vode podatak o svakom prekidu napajanja u SN mreži. U knjigama evidencije prekida vodi se mjesto prekida, vrijeme trajanja, uzrok kvara, broj područja (transformatorskih stanica) pogođenih tim kvarom i neisporučena električna energija tijekom kvara. Osnovni problem koji je nastao tijekom prikupljanja ulaznih podataka za proračun je nepoznat broj kupaca koji nisu imali napajanje za vrijeme prekida. Manji utjecaj na proračun je predstavljala činjenica da se statistika prekida odnosila na 2004. godinu, a broj kupaca na trenutačno stanje u 2005. godini. Veći utjecaj na proračun ima promjena uklopnog stanja mreže jer je poznat samo broj područja (transformatorskih stanica) koja nisu imala napajanja u promatranom periodu.

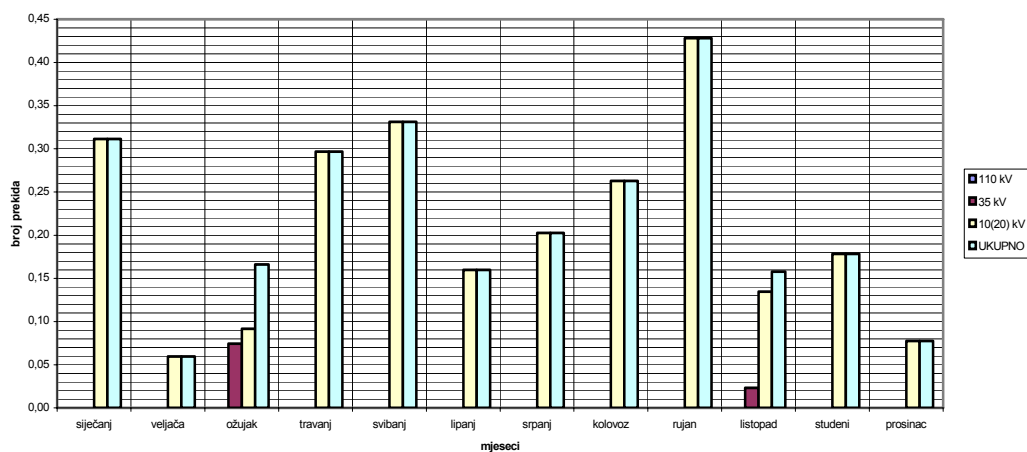
Za kvalitetan proračun je zato trebalo doznati koja područja (transformatorske stanice) nisu imala napajanje tijekom jednog prekida. Ovaj podatak se ipak može doznati iz knjiga uklopa koje se vode u svakom pogonu distribucijskog područja u kojima je zapisan način napajanja mreže.

Nakon toga, trebalo je doznati broj kupaca koji se napaja iz određene transformatorske stanice. Ovaj podatak je dobiven iz baze podataka kupaca električne energije DP Elektra Karlovac.

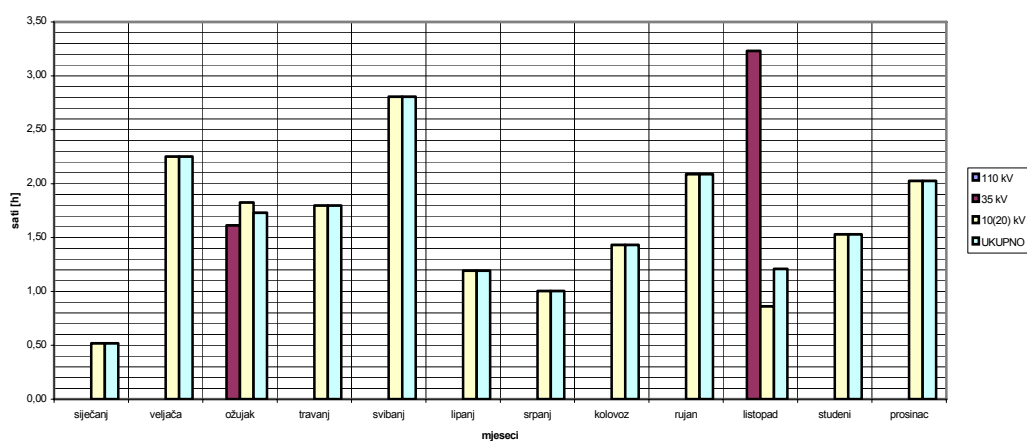
Proračun indeksa je idealan za tablično množenje odnosno zbrajanje u programu Microsoft Excel. U jedan stupac upisivana je naponska razina na kojoj se je dogodio prekid, u drugi stupac vrijeme trajanja promatranog prekida te u treći stupac broj kupaca pogođenih tim prekidom. U četvrtom stupcu se je računao umnožak vremena trajanja i broja kupaca. Nakon toga, proračun indeksa je bio relativno jednostavan, tj. zbrajanjem određenih stupaca i dijeljenjem s ukupnim brojem kupaca dobivali su se podaci za računanje indeksa SAIDI i SAIFI.



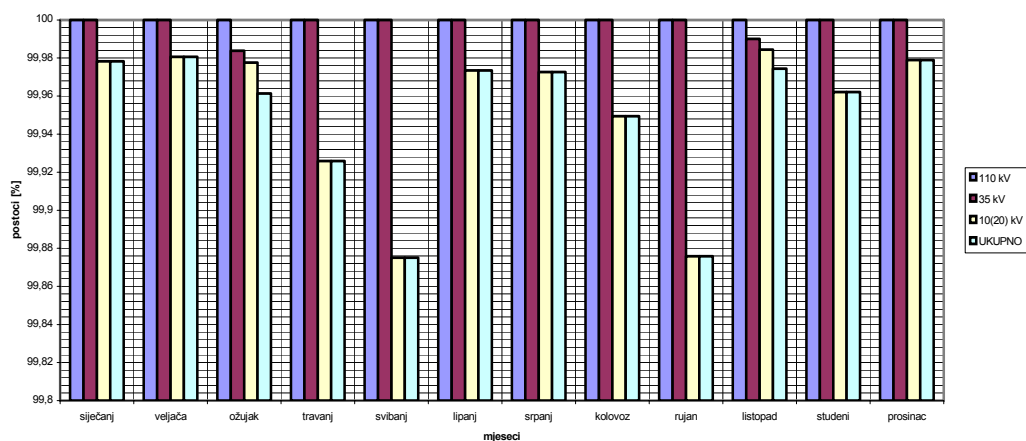
Graf 1. Indeks SAIDI prethodno najavljenih radova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



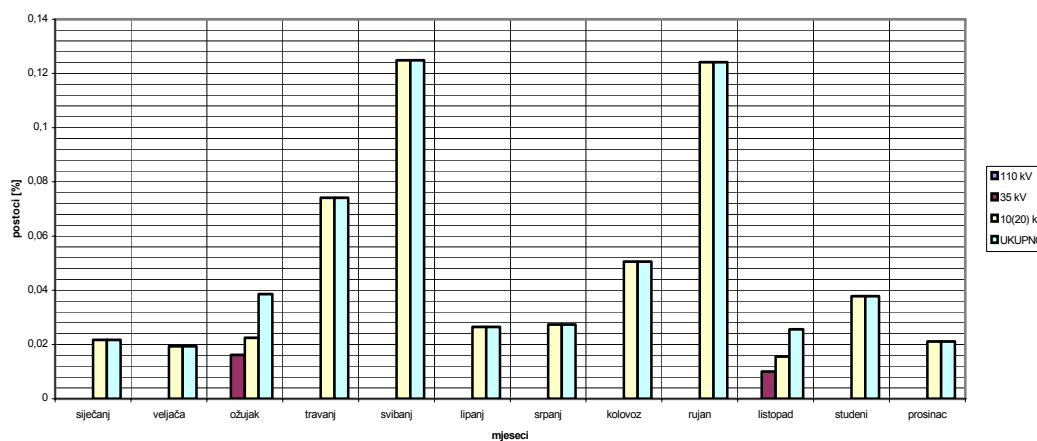
Graf 2. Indeks SAIFI prethodno najavljenih radova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



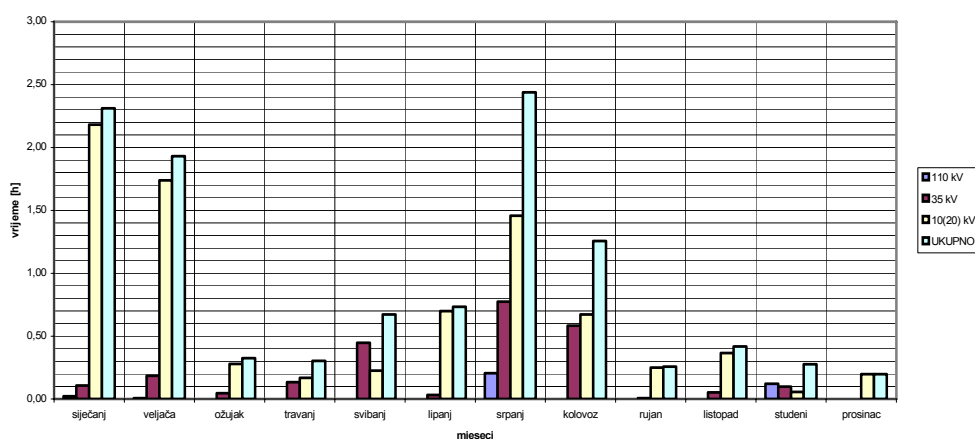
Graf 3. Indeks CAIDI prethodno najavljenih radova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



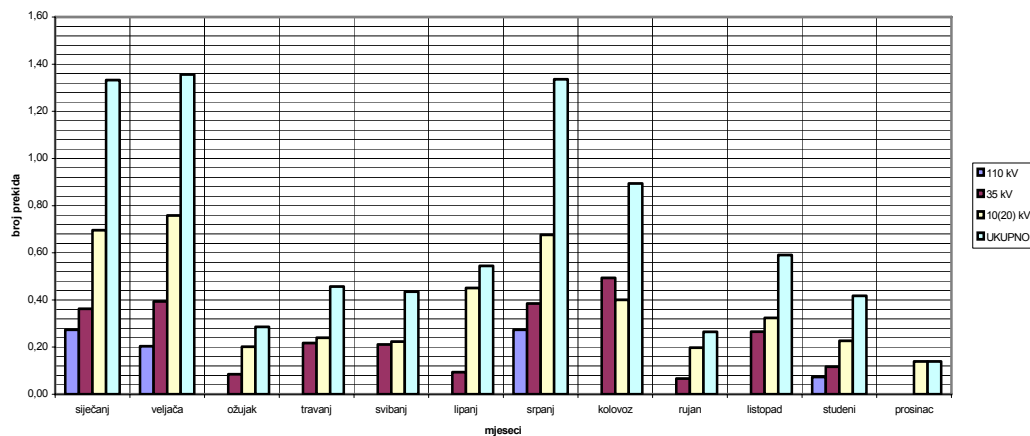
Graf 4. Indeks ASAI prethodno najavljenih radova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



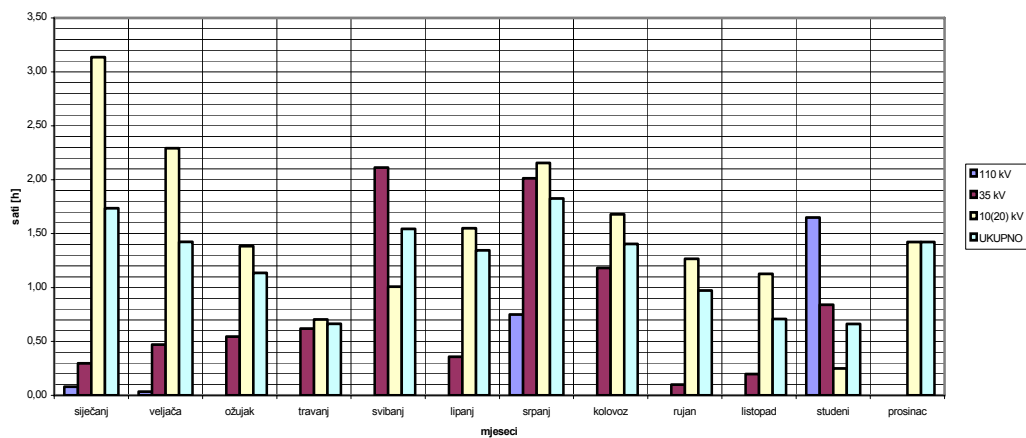
Graf 5. Indeks ASNI prethodno najavljenih radova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



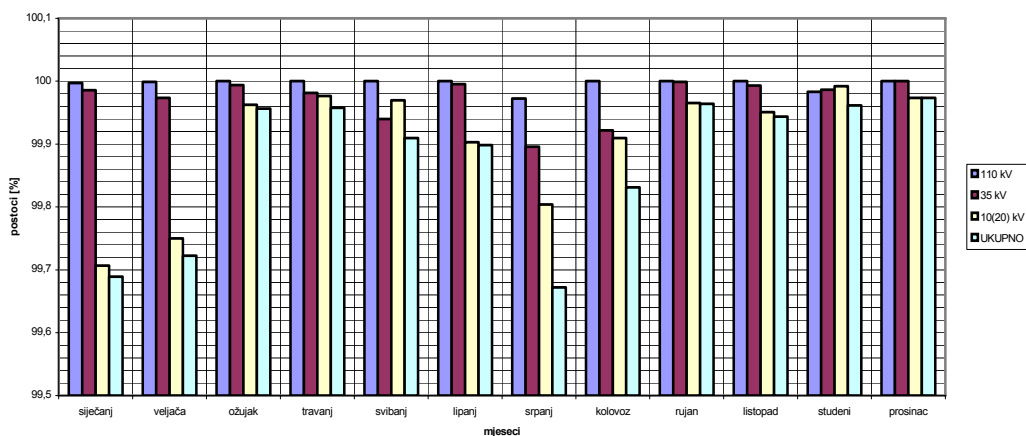
Graf 6. Indeks SAIDI kvarova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



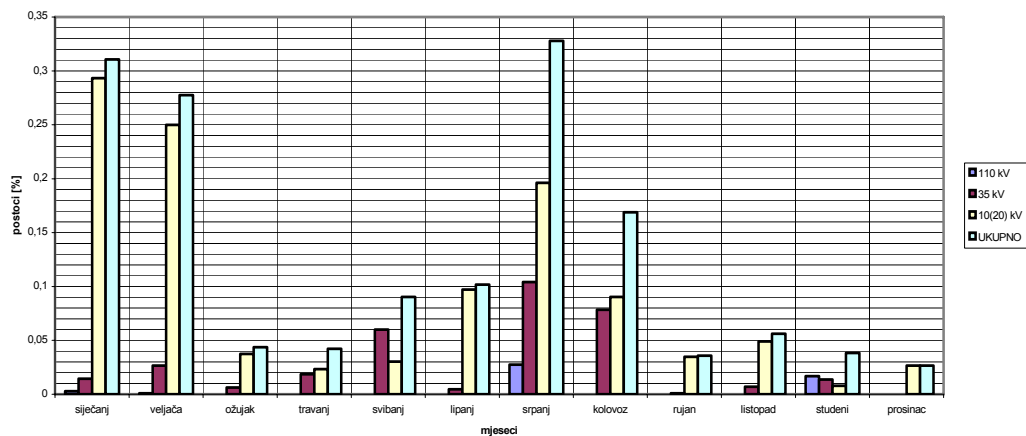
Graf 7. Indeks SAIFI kvarova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



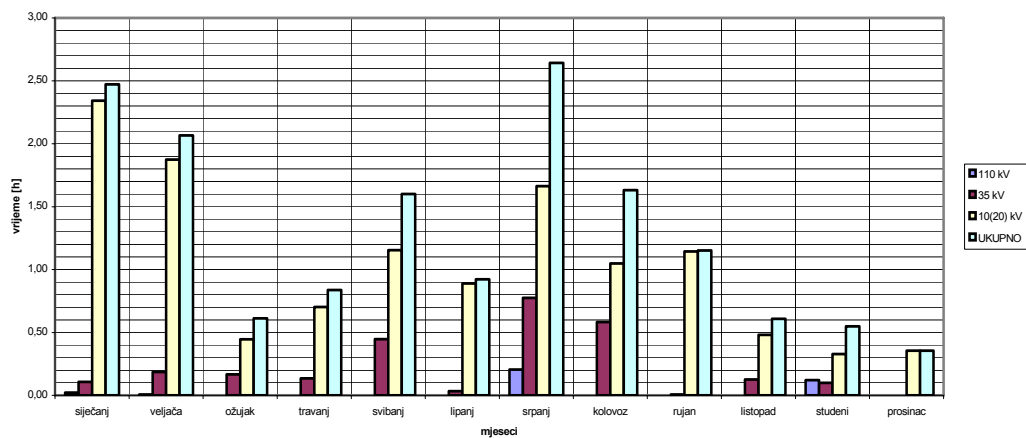
Graf 8. Indeks CAIDI kvarova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



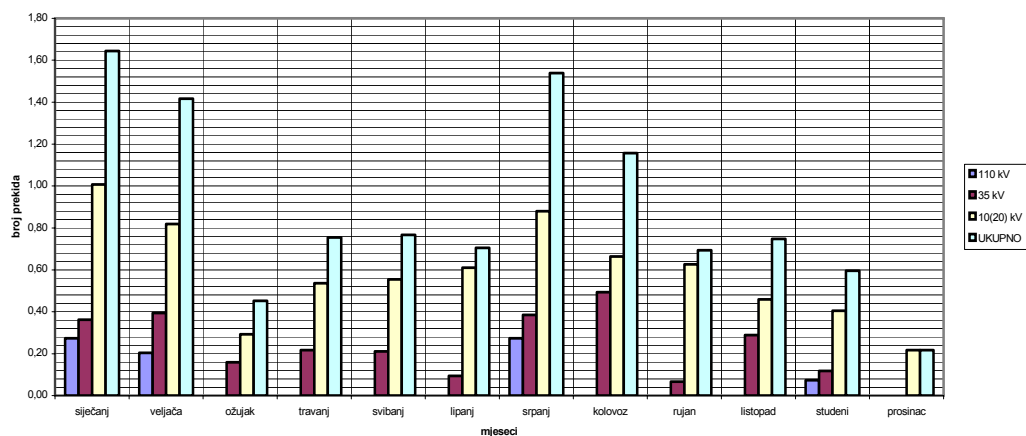
Graf 9. Indeks ASAI kvarova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



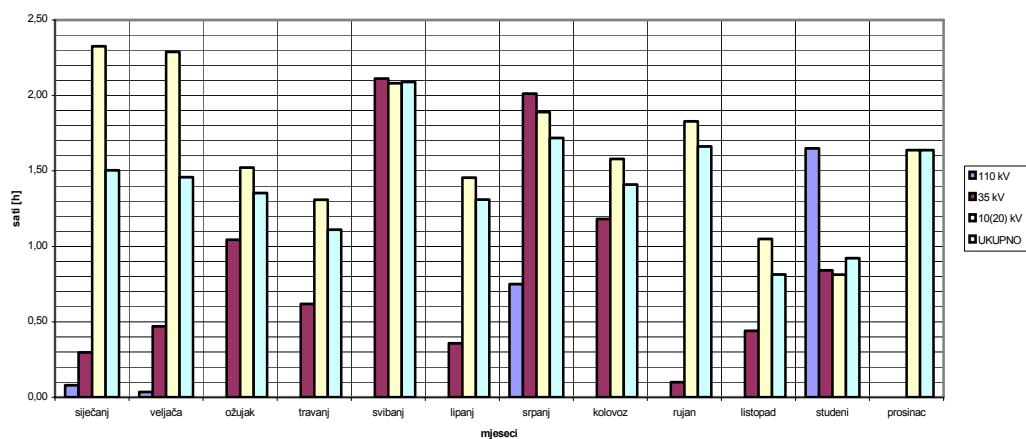
Graf 10. Indeks ASNI kvarova u SN mreži DP Elektre Karlovac u 2004. godini



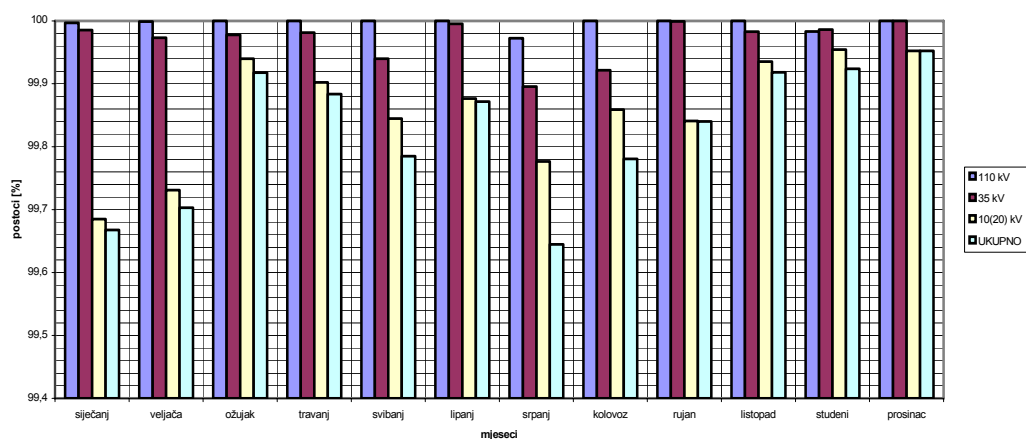
Graf 11. Indeks SAIDI DP Elektre Karlovac u 2004. godini



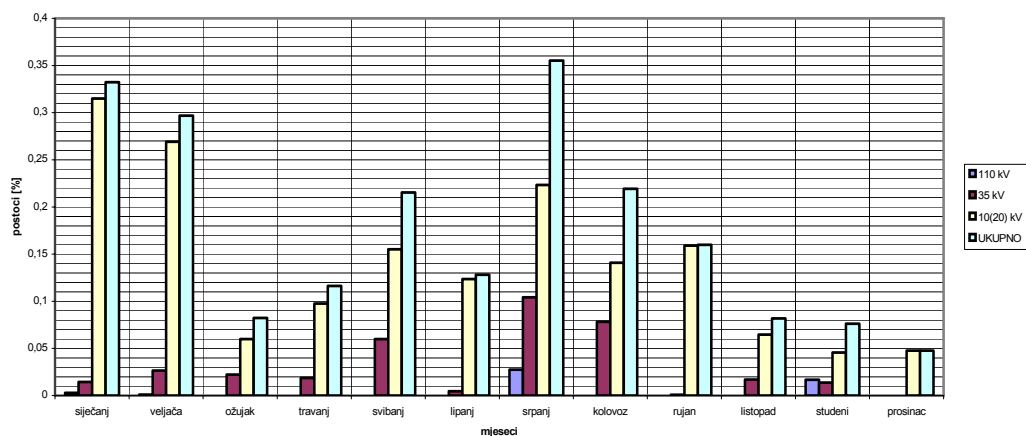
Graf 12. Indeks SAIFI DP Elektre Karlovac u 2004. godini



Graf 13. Indeks CAIDI DP Elektre Karlovac u 2004. godini



Graf 14. Indeks ASAI DP Elektre Karlovac u 2004. godini



Graf 15. Indeks ASNI DP Elektre Karlovac u 2004. godini

Grafovi od 1 do 15 prikazuju dobivene rezultate proračuna po mjesecima. Iz grafova 1 do 5 može se primijetiti da je najviše najavljenih prekida u napajanju bilo tijekom mjeseci svibnja i rujna. Podatak je logičan stoga što su to mjeseci kada se i najviše radi na održavanju postrojenja. Tijekom kolovoza i srpnja može se primijetiti značajnije smanjenje najavljenih prekida. U mjesecu srpnju su se više sanirali kvarovi u mreži (uzrokovani ljetnim olujama), dok je u mjesecu kolovozu prema odluci Uprave kolektivni godišnji, pa se je i manje radilo na održavanju.



Kvarova je najviše bilo u mjesecima: siječnju, veljači i srpnju. Siječanj i veljača 2004. godine su bili s mnogo padalina ( snijega ) tako da su ti kvarovi mahom uzrokovani višom silom. U mjesecu srpnju ljetna oluja je snažno poharala područje Pogona Jastrebarsko, tako da je to razlog povećanog broja kvarova u tom mjesecu. Kraj 2004. godine bio je obilježen mirnim, stabilnim vremenom tako da je i kvarova bilo manje.

Tablica I. Indeksi pouzdanosti i raspoloživosti u 2004. godini

SAIDI [h]	SAIFI [broj prekida]	CAIDI [h]	ASAI [%]	ASNI [%]	naponska razina [kV]	vrsta prekida
0,00	0,00	0,00	100,0000	0,0000	110	najavljeni prekidi
0,19	0,10	2,00	99,9978	0,0022	35	
4,14	2,54	1,63	99,9529	0,0471	10	
4,33	2,63	1,65	99,9507	0,0493	Ukupno	
0,36	0,82	0,43	99,9960	0,0040	110	kvarovi
2,47	2,69	0,92	99,9719	0,0270	35	
8,30	4,54	1,83	99,9056	0,0944	10	
11,12	8,05	1,38	99,8734	0,1255	Ukupno	
0,36	0,82	0,43	99,9960	0,0040	110	najavljeni prekidi i kvarovi ukupno
2,66	2,79	0,95	99,9697	0,0303	35	
12,43	7,07	1,76	99,8585	0,1415	10	
15,45	10,69	1,45	99,8241	0,1759	Ukupno	

Tablica I. prikazuje ukupne vrijednosti indeksa u cijeloj 2004. godini. Ovi rezultati prikazuju stalnost isporuke električne energije u DP Elektri Karlovac tijekom godine. Rezultati su znakoviti i mogu se uzeti u razmatranje s [4] posebno s onim člancima koji se odnose na dozvoljeni broj i trajanje prekida u SN mrežama isporučitelja.

U prijedlogu podzakonskog akta [4], broj dozvoljenih prekida i dozvoljeno ukupno trajanje prekida odredit će se nakon izrade sustava za prikupljanje, obradu i pohranu podataka o poremećajima i prekidima napajanja električnom energijom.

#### 4. ZAKLJUČAK

Ovaj proračun indeksa pouzdanosti i raspoloživosti SN mreže na području DP Elektre Karlovac računat je za DP Elektru Karlovac prvi put. Smatramo da je ovo jedan od načina kako egzaktno izračunati kvalitetu isporučene električne energije. Model proračuna indeksa potrebno je proširiti i na niskonaponsku mrežu te time dobiti ukupnu sliku za DP Elektra Karlovac.

Nakon kalkulacije potrebno je dati konkretne mjere kako povećati pouzdanost napajanja električnom energijom kupaca. Pouzdanost mreže povećava se sanacijom one mreže koja je u prekidu više puta tijekom određenog vremenskog razdoblja. Nadalje, raspoloživost mreže se povećava uključivanjem što većeg broja elemenata mreže u sustav daljinskog vođenja te izgradnjom spojnih vodova kada se postojeći vod napaja radialno. Time se smanjuju vremena beznaponskog stanja u slučaju redovnih prekapčanja u mrežama.

#### LITERATURA

- [1] Alen Katić, dipl.ing., prof.dr. Davor Škrlec, dip.ing., Isplativost priključivanja malih hidroelektrana na mrežu sa stanovišta smanjenja gubitaka i povećanja pouzdanosti i raspoloživosti mreže, VI. savjetovanje Cigre 2003., Cavtat, 2003. godina,
- [2] mr.sc. Vitomir Komen, dipl.ing., Boris Krstulja, dipl.ing., Praćenje kvalitete opskrbe električnom energijom na području Elektroprimorja Rijeka, Energija, Zagreb, 2004. godina
- [3] mr.sc. Zlatko Zmijarević, dipl.ing., prof.dr. Slavko Krajcar, dipl.ing, prof.dr. Davor Škrlec, dip.ing., Outage management, FER Zagreb - Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb, 2002. godina

- [4] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom – Nacrt prijedloga, Zagreb, veljača 2005. godina
- [5] Second Benchmark Report on Quality of Electricity Supply, CEER, September 2003.