

UDK 658.562:621.311.1

ISTRAŽIVANJE I UTVRĐIVANJE STANJA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

RESEARCHING AND DEFINING THE QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY CONDITIONS

Marijana ŽIVIĆ ĐUROVIĆ – Vitomir KOMEN – Renato ČUČIĆ

Sažetak: *Provedbom deregulacije te uvođenjem tržišta električne energije u prvi plan dolaze interesi korisnika mreže: mogućnost nabave električne energije po što nižoj cijeni i ostvarivanje što bolje kvalitete električne energije. Električna energija postaje roba kojom se trguje na otvorenom tržištu, a koja mora ispunjavati zadane kriterije vezane uz kvalitetu isporuke, kvalitetu napona i kvalitetu usluga. Istraživanje i utvrđivanje stanja kvalitete električne energije izvršeno je obradom rezultata višegodišnjih pojedinačnih mjerenja kvalitete električne energije.*

Ključne riječi: – kvaliteta električne energije
– sigurnost opskrbe
– distribucija

Abstract: *The process of liberalization and the introduction of the electricity market have put user interests into focus, in particular: the ability of procuring cheaper electricity and the ability of producing electrical energy of better quality. Electric power has become a freely traded open market product, meeting predetermined quality standards determined by the continuity of supply, voltage quality and commercial quality. Researching and defining the quality of electrical energy conditions is based on analyzing results from several years of continuous individual measurement of the quality of electrical energy.*

Keywords: – quality of electrical energy
– security of electricity supply
– distribution system

1. UVOD

Tradicionalno organiziranje elektroprivredne djelatnosti na način prirodnog monopola bilo je uobičajeno sve donedavno. Tijekom devedesetih godina 20. stoljeća i u prvim godinama novog stoljeća pristupilo se međutim preustroju kako bi se ustroj elektroprivrede prilagodio novom ustroju cjelokupnoga gospodarstva temeljenog na ekonomiji slobodnog tržišta. Elektroprivredna djelatnost jedna je od gospodarskih grana, u kojoj i kratkotrajni poremećaj u opskrbi električnom energijom izaziva veoma osjetljiv zastoj svakodnevnih aktivnosti, a dugotrajni je nezamisliv zbog dalekosežnih nepovoljnih posljedica u društvu. Uspostavom slobodnog tržišta javilo se mješovito elektroprivredno zakonodavstvo gdje se uz tradicionalne pojmove: pouzdanost opskrbe električnom energijom, pouzdanost elektroenergetskog sustava, sigurnost elektroenergetskog sustava, redovitost opskrbe električnom energijom, neopasnost i ostale, pojavljuju i novi pojmovi koji nisu samo tehničke, već i gospodarske pa i političke naravi.

1. INTRODUCTION

Traditionally, the electric power industry, up until recently, was organized as a monopoly. Through the nineties and in the beginning of the new century, the electric power industry has been restructured and adapted to the new constitution of economies based on the free market economy. Special characteristics of the technical-economic system for electricity supply as a public service makes it very different from other technical-economic systems, where the free market economy is already in place. The electrical power industry is an industry in which short-lived interruption in the electricity supply endangers everyday life and long-lived interruption is unimaginable, for it will provoke unacceptable consequences in society. Creating a free market, mixed electric power legislature is established, where along with traditional terms there are the matters of: reliability of electrical supply, security and regularity of electricity supply, and new ones are created, which are not only of a technical, but also of an economical and political nature.

2. SIGURNOST OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Proizvod se općenito može definirati kao svako proizvedeno materijalno dobro kojim se može zadovoljiti neka ljudska potreba. Robom ga se naziva tek kada se pojavi na trgovačkim policama, odnosno kada se razmjenjuje za novac. Pod uslugom se podrazumijeva svaka neopipljiva stvar koja zadovoljava neku ljudsku potrebu i na tržištu se može kupiti za novac.

U uvjetima liberalizacije elektroenergetskog sektora električna energija postala je tržišna roba, a zahtjevi na elektroenergetski sustav sve su veći. Da bi sustav funkcionirao, on mora biti trajno nadziran s različitih aspekata, među kojima je jedan od najvažnijih kvaliteta električne energije. Odgovarajuća razina kvalitete električne energije osnovni je zahtjev na sve dijelove elektroenergetskog sustava, a najveći utjecaj na kvalitetu električne energije ima upravo distribucijski sustav, odnosno mreža. Stoga je razumljivo da se problematika kvalitete električne energije prije svega veže za operatore distribucijskog sustava, koji su zaduženi i odgovorni za osiguranje odgovarajuće razine kvalitete električne energije prema potrošačima.

Istaknutije su posljedice deregulacije elektroenergetskoga gospodarstva zahtjevi za smanjenjem: cijene proizvodnje električne energije; cijena električne energije krajnjim kupcima; naknada za korištenje mreže. Zahtjev za smanjenje naknada za korištenje mreže ima izravni utjecaj na razvoj i izgradnju prijenosnih i distribucijskih mreža, pa tako i njihovu efikasnost. Pri tome se ne smije dopustiti da zbog stalnog smanjenja cijena dođe do smanjenja sigurnosti odnosno kvalitete opskrbe električnom energijom. Sigurnost opskrbe električnom energijom znači da kupci mogu dobiti električnu energiju u trenutku kada im ona zatreba, po mjerljivoj kvaliteti i prihvatljivoj cijeni. Razlika u položaju sigurnosti opskrbe električnom energijom prije i poslije deregulacije elektrogospodarstva prikazana je na Slici 1.

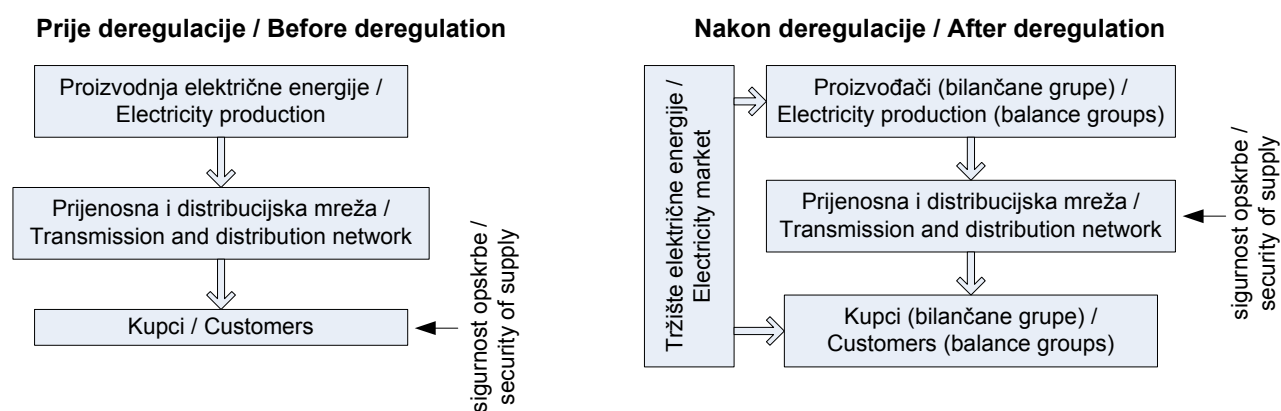
2. SECURITY OF ELECTRICITY SUPPLY

Products can be generally defined as any material goods that can satisfy a human need. It can be called merchandise upon its being placed on the market shelf, or when exchanged for money. The service is any intangible item that can satisfy a human need and can be bought on the market for money.

As a result of electricity market liberalization, electrical energy has become a type of merchandise traded on the open market and significant changes in the field of electricity supply have arisen. For its proper functioning, a system must be continuously supervised from various perspectives and the quality of electrical energy is the most important. The appropriate level of the quality of electrical energy is required from all parts of the electric power system, but the most important influence on the quality of the electrical system is in the distribution system (grid). Problems regarding the quality of electrical energy are, understandably, connected to the distribution system operators, which are responsible for maintaining the appropriate levels of quality for customers.

Major repercussions regarding deregulation of the electric power industry are requests for the following: reducing prices for electricity production; reducing prices of electrical energy for all customers; reducing compensations for all grid users. The request for reducing compensation for all grid users has a direct impact on development and building transmission and distribution grids and their efficiency. While doing these price reductions, it is not allowed to reduce security, i.e. the quality of electrical energy. Security of the electricity supply means that customers must get electricity when they need it, with standard quality and acceptable price.

The difference in the position of the security of electricity supply before and after deregulation of the electric power industry is shown on Figure 1.



Slika 1. Proces opskrbe električnom energijom prije i poslije deregulacije elektrogospodarstva
Figure 1. Electricity supply process before and after deregulation of electric power industry

Prije deregulacije, za sigurnost su opskrbe električnom energijom bile nadležne i odgovorne samo vertikalno organizirane elektroprivredne tvrtke, a nakon deregulacije dolazi do podjele te nadležnosti i odgovornosti na više odvojenih subjekata na tržištu električne energije, te je nužno propisivanje mehanizama regulacije sigurnosti opskrbe [1].

Sigurnost opskrbe električnom energijom sveobuhvatni je pojam kojim se izražava sposobnost elektro-energetskog sustava da bude u stanju ispunjavati namijenjenu mu funkciju dugoročno i kratkoročno, uz zadovoljenje postojećih normi i postojećih ugovornih obveza za isporuku električne energije, kao i specificiranih uvjeta za prodaju električne energije [2]. Sigurnost opskrbe odnosi se na buduće razdoblje koje trajanjem odgovara dugoročnom planskom razdoblju razvitka elektroenergetskog sustava za koje je izrađena strategija razvitka energetike. Uvjeti na koje se odnosi sigurnost opskrbe su tehnički, tržišni, i politički, u što su uključeni i uvjeti zaštite i očuvanja prirodnog okoliša i tarife. S obzirom na temeljne funkcije elektroenergetskog sustava sigurnost opskrbe električnom energijom zapravo se odnosi na kvalitetu opskrbe električnom energijom.

3. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Pojam kvalitete električne energije relativno je nov pojam i za razliku od kvalitete većine drugih roba teško mjerljiv. K tome ne postoji ni jedinstvena definicija kvalitete električne energije. Definicije se razlikuju prema tome definira li se pojam s aspekta operatora distribucijskog sustava ili s aspekta potrošača. U današnjim tržišnim uvjetima najvažniji kontrolori kvalitete električne energije upravo su potrošači, pa bi stoga praktična definicija kvalitete električne energije mogla glasniti: to je odsutnost svake nepravilnosti u bilo kojoj veličini, koja bi prouzročila kvar ili nepravilno djelovanje trošila potrošača. Uz to tehničke norme ne reguliraju kvalitetu električne energije u cjelini, nego napon, struju, frekvenciju i druge tehničke veličine koje je moguće egzaktno mjeriti. Stoga, u biti, pod kvalitetom električne energije zapravo podrazumijevamo kvalitetu napona, a to proizlazi iz pretpostavke da elektroenergetski sustav može osigurati i jamčiti kvalitetni napon, a ne može utjecati na struje koje iz sustava uzimaju pojedini potrošači, iako postoji čvrsta korelacija između napona i struje [3].

3.1. Norme za kvalitetu električne energije

Jedina u Hrvatskoj važeća norma za upravljanje kvalitetom (HRN:EN:ISO9001) govori da prihvaćanje sustava upravljanja kvalitetom treba biti strateška odluka organizacije na koju utječu razne potrebe, konkretni ciljevi, ponuđeni proizvodi, uspostavljeni

Before deregulation, only vertically organized electric power industries were responsible for supervising the security of the electricity supply. After deregulation, that responsibility and supervision was divided into several separate subjects on the electricity market and it was necessary to establish regulation mechanisms for the security of the electricity supply [1].

The security of the electricity supply is a comprehensive term which expresses the electric power system's ability to fulfill its function, both long- and short-term, in compliance with present standards and existent contracts for electricity delivery, as well as special conditions regarding the selling of electrical energy [2]. The security of the electricity supply relates to a future period that is time-compatible for long-term planning of the electric power system development and for which the strategy of energy development is created. Requirements with regard to the security of the electricity supply are of a technical, commercial and political nature, which includes requirements for protection and preservation of the environment and tariffs. Regarding basic functions of the electric power system, the security of the electricity supply is actually referred to as the quality of electrical energy.

3. QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY

The concept of the quality of electrical energy is relatively new and unlike the quality of most other merchandise, its measurement is difficult. A unique definition of the quality of electrical energy is nonexistent. The definitions differ according to who defines it: the distribution system operator or customers. The most important controllers of the quality of electrical energy are customers, so the only practical definition of quality of electrical energy would be that it is the absence of any irregularities in any measure, which cause failures or irregular operations of customer equipment. Technical standards also do not regulate the quality of the electrical energy as a whole, but individually: voltage, current, frequency and other technical measures that can be exactly measured. Essentially, the concept of the quality of electrical energy implies voltage quality, which arises from the assumption that an electric power system can ensure and guarantee an adequate quality of voltage and cannot influence currents taken from a system individually by consumers, even though there is a connection between voltage and current [3].

3.1. Standards for quality of electrical energy

The only valid standard for quality control of electrical energy in Croatia (HRN:EN:ISO9001) says that acceptance of a quality control system must be an organization's strategic decision which is affected by different needs, offered products, established process

procesu te veličina i ustrojstvo organizacije. Da bi organizacija radila učinkovito, mora utvrditi brojne međusobno povezane radnje i njima upravljati.

Model sustava upravljanja kvalitetom temeljen na procesnom pristupu koji obuhvaća sve zahtjeve spomenute međunarodne norme pokazuje da kupac ima važnu ulogu u utvrđivanju zahtjeva kao ulaznih podataka. Trajno praćenje zadovoljstva kupca zahtijeva vrednovanje informacija koje se odnose na kupčevu predodžbu o tome je li organizacija ispunila njegove zahtjeve.

U svijetu se primjenjuju različite norme kojima se definira kvaliteta električne energije [4]:

- IEEE 1159–1995 (Amerika i neke druge zemlje);
- EN 50160 – 1994 (Europa);
- IEC 61000-4-30–2000 (Međunarodna norma).

Europska norma EN 50160 obrađuje i određuje osnovne zahtjeve na kvalitetu električne energije u sredjonaponskim i niskonaponskim mrežama. Norma je sadržajno zbirka pravila i razina elektromagnetske kompatibilnosti definiranih kroz trinaest parametara napona. Normom se reguliraju elektromagnetske smetnje u točkama (mjesto priključenja i predaje) NN i SN mreža u kojima se susreću potrošači i operator mreže (javna mreža). U tim se točkama valni oblik, amplituda i stalnost napona definiraju parametrima koji su funkcijski ovisni o čvrstoći mreže koja se iskazuje: snagom kratkog spoja u točki priključenja, postojećim elektromagnetskim smetnjama u mreži koje uzrokuju okolni potrošači kao i potrošači u drugim dijelovima mreže i na drugim naponskim razinama, nelinearnostima elemenata elektroenergetskog sustava i karakteristikama potrošača (nelinearnosti i druge značajke potrošača).

Cilj je norme EN 50160 propisati značajke napona napajanja u odnosu na valni oblik, visinu, frekvenciju i simetriju kod trofazne mreže na mjestu predaje potrošaču. Te se značajke pri normalnom pogonu mijenjaju zbog promjena opterećenja, smetnji iz određenih postrojenja ili kvarova izazvanih vanjskim događajima. No kompletni ispad mreže ne može se smisleno opisati putem graničnih vrijednosti. Zbog toga norma ne zadaje stvarne granične vrijednosti, nego postavlja one vrijednosti koje ne smiju biti premašene tijekom 95% vremena promatranja. Mjeri se, ovisno o mjerenoj veličini, 10-sekundna ili 10-minutna srednja vrijednost mjerene veličine. Mjerenje traje jedan tjedan.

Norma je službeno u upotrebi od srpnja 1995. godine, ali u Hrvatskoj još nije preuzeta kao obvezna premda se primjenjuje pri mjerenjima kvalitete električne energije.

and size and structure of the organization. For an organization to work effectively, many interconnected actions must be determined and controlled.

The model of the quality control system, based on the processing approach, which includes all demands of the aforementioned international standards, shows the important role of the customer in determining requests as input data. Continuous monitoring of customer satisfaction demands the evaluation of information (benchmarking) which refers to customer perception of whether its requests have been fulfilled by the organization. Different standards that define the quality of electrical energy are used throughout the world [4]:

- IEEE 1159–1995 (America and some other countries);
- EN 50160 – 1994 (Europe);
- IEC 61000-4-30 – 2000 (international standard).

The European standard EN 50160 processes and determines basic demands on the quality of electrical energy in medium voltage (MV) and low voltage (LV) electrical grids. Substantially, the standard EN 50160 is a collection of rules and levels of electromagnetic compatibility defined through thirteen voltage parameters. It also regulates electromagnetic disturbances at low voltage (LV) and medium voltage (MV) grid points (points of connection and delivery - terminals) in which the consumer and grid operator meet. At these points, waveform, amplitude and continuity of supply voltage are defined by parameters that functionally depend on the strength of the grid as described by: short circuit power at the point of connection; existing electromagnetic disturbances caused by surrounding consumers, as well as consumers from other parts of the electric grid or on other voltage levels; nonlinearity of elements of the electric power system and consumer characteristics (nonlinearity and other characteristics).

The main goal of the EN 50160 standard is to create characteristic voltage values regarding waveform, amplitude, frequency and symmetry of a three-phase electric grid at the points of connection and delivery (terminals). These values change during standard operation due to load change, disturbances from other parts of substations or failures caused by external occurrences. Total failure of an electric grid cannot be reasonably explained through limiting values. Therefore, the standard determines values that cannot be exceeded during 95% of monitoring time. Measured values are 10-second, or 10-minute mean value, depending on the category. Duration of the measurement is one week.

Standard is officially in use from July, 1995, but in Croatia it is not yet binding, but it's used at quality of electrical energy measurements.

4. ISTRAŽIVANJE I UTVRĐIVANJE STANJA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

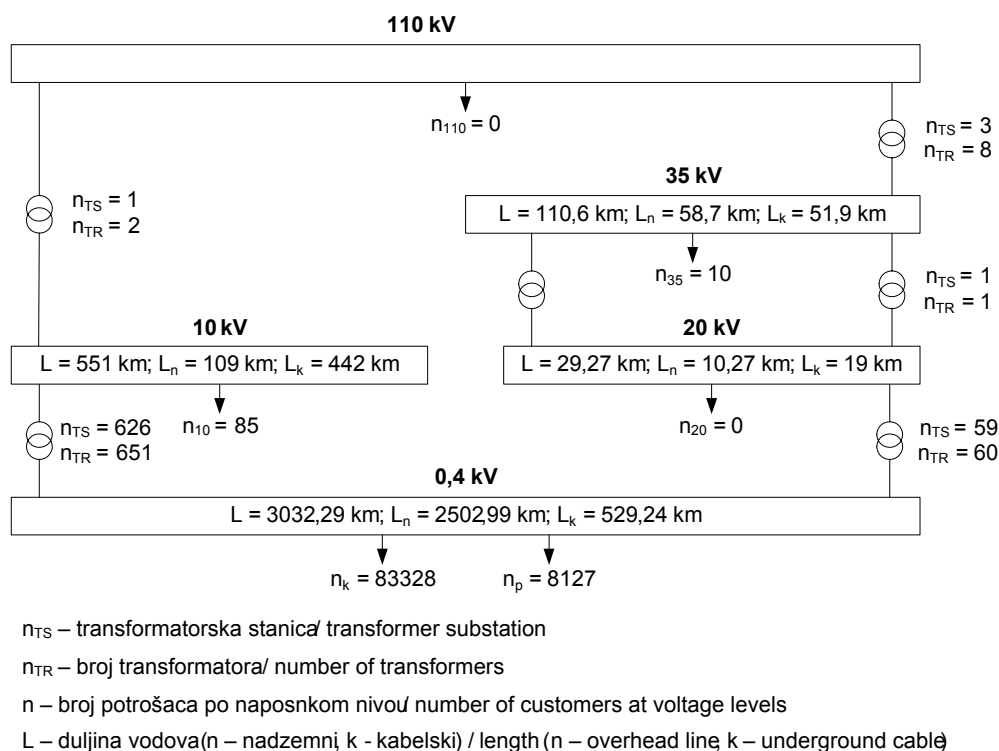
4.1. Osnovni podaci istraživane mreže

Istraživanje i utvrđivanje stanja kvalitete električne energije izvršeno je obradom rezultata višegodišnjih pojedinačnih mjerenja kvalitete električne energije u različitim točkama promatrane mreže. Obradivana mreža je distribucijska mreža DP Elektroprimorje Rijeka [5]. U naravi je to distribucijska mreža širega područja (grad i prigrad) grada Rijeke. Po strukturi mreža je reprezentativna, kako po strukturi elemenata mreže tako i po strukturi potrošača. Ekvivalentni model distribucijske mreže prikazan je na Slici 2.

4. RESEARCHING AND DEFINING THE QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY

4.1. Distribution grid - basic data

Researching and defining the quality of electrical energy conditions are based on analyzing results from several years of continuous individual measurement of the quality of electrical energy at different points of the monitored electric grid. The monitored grid is the distribution grid DP Elektroprimorje Rijeka [5]. By nature, it is a distribution grid of a larger area of the city of Rijeka. Structurally, the grid is representative regarding the structure of grid elements, as well as the structure of grid users. The equivalent model of the distribution grid is shown in Figure 2.



Slika 2. Ekvivalentni model obrađivane distribucijske mreže pogona Rijeka
 Figure 2. Equivalent model of processed distribution grid of the Rijeka area

Na promatranoj distribucijskoj mreži izvršeno je ukupno 80 mjerenja. Sva su mjerenja izvršena u niskonaponskoj mreži i to na elementima mreže od sabirnica napojnih TS 10(20)/0,4 kV do priključno-mjernih ormarića potrošača. Od 80 mjerenja 35 (43,75%) je izvršeno po potpunoj proceduri mjerenja iz europske norme EN 50160, a ostala su mjerenja djelomična. Za ocjenu stanja parametara kvalitete električne energije primijenjeni su sljedeći kriteriji iz europske norme EN50160:

A total of 80 measurements are carried out on the monitored distribution grid. All measurements are carried out in low voltage electric grid from busbars of transformer substations 10(20)/0,4 kV to terminal-measuring cabinets of all grid users. 35 out of 80 measurements (43,75%) are carried out according to the complete measurement procedure from the EN 51160 standard, while other measurements are partial. For evaluation of the parameters of the quality of electrical energy, the following criteria from the EN 51160 standard are used:

– Pogonska frekvencija – 50 Hz; za sinkronu vezu srednja 10-sekundna vrijednost mora biti: +/- 1% (95% tjedna) i +/- 4% (100% promatranog vremena = tjedan dana); za nesinkronu vezu s krutom mrežom srednja 10-sekundna vrijednost mora biti: +/- 2% (95% tjedna) i +/- 15% (100% tjedna);

– Veličina napona napajanja – srednja 10 minutna rms mora biti: +/- 10% (95% tjedna) i +10%/-15% (100% tjedna);

– Brze naponske promjene (flikeri) – subjektivni osjećaj promjene gustoće svjetla. Mjere se vrijednosti samo kratkotrajne jakosti treperenja P_{st} tijekom vremenskoga intervala od 10 min, dok se dugotrajna jakost treperenja P_{lt} izračunava temeljem niza od 12 uzastopnih vrijednosti P_{st} :

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} P_{st}^3} \quad (1)$$

P_{lt} ne smije prijeći vrijednost 1 tijekom 95% tjedna.

– Naponski propadi – nastaju najčešće zbog kvarova u postrojenjima potrošača ili u javnoj distribucijskoj mreži. Definiiraju se kao nagla, kratkotrajna (od 10 ms do 1 min) smanjenja opskrbnog napona na neku vrijednost u pojasu od 90% pa do 1% U_n , nakon čega se ponovo uspostavlja nazivni napon. Pad napona u niskonaponskim mrežama računa se prema izrazu [6]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \frac{\Delta S_A}{S_{k3}''} U_n \quad (2)$$

gdje je S_{k3}'' rasklopna snaga za trolni kratki spoj, a ΔS_A gubitak snage na potrošaču. Dopusćeni orijentacijski broj propada napona tijekom jedne godine smije se kretati u opsegu od 10 do 1000.

– Kratki prekidi napajanja – stanje pri kojem je opskrbeni napon na mjestu predaje manji od 1% U_n . Razlikuju se planirani i neplanirani, te kratkotrajni i dugotrajni prekidi. Trajanje oko 70% kratkih prekida (<3 min) godišnje mora biti kraće od 1s. Za duge prekide opskrbnog napona (>3 min) dopušta se 10–50 prekida godišnje.

– Neuravnoteženost napona – pri normalnim pogonskim uvjetima rada nijedna 10-minutna rms inverzna komponenta napona ne smije tijekom 95% tjedna prelaziti 2% odgovarajuće direktne komponente.

– Napon harmonika - može se prikazati na dva načina: pojedinačno, njihovim amplitudama (U_h) svedenim na amplitudu osnovnog harmonika U_1 , ili zajednički,

– Power frequency - 50 Hz; for synchronous connection, mean value of fundamental measured over 10 s must be: +/- 1% (95% of week) and +/- 4% (100% of week); for a non-synchronous connection, mean value of fundamental measured over 10 s must be: +/- 2% (95% of week) and +/- 15% (100% of week);

– Nominal voltage of the system - the mean 10-minute rms must be: +/- 10% (95% of week) and +10%/-15% (100% of week);

– Rapid voltage changes (flicker) - impression of unsteadiness of visual sensation induced by a light stimulus. Only short-term severity (P_{st}) is measured over a period of 10 minutes, while long-term severity (P_{lt}) is calculated from a sequence of 12 P_{st} - values according to the following expression:

P_{lt} must not exceed the value 1 for 95% of week.

– Supply voltage dips - generally occur because of failures in customers' substations or in the public distribution grid. It is defined as a sudden reduction of the supply voltage (from 10 ms and 1 minute) between 90% and 1% of U_n of the declared voltage. The supply voltage dip in a low voltage (LV) electrical grid is defined as [6]:

where S_{k3}'' is three-phase short circuit power, and ΔS_A power losses at the customer level. The tolerable orientation number of supply voltage dips is 10 to 1000 times per year.

– Short interruptions - is a condition in which the voltage at the supply terminals is lower than 1% U_n . A supply interruption is classified as prearranged and accidental (long and short). Duration of approximately 70% of short supply interruptions (<3 min) per year must be shorter than 1s. For long interruptions, (>3 min) 10-50 interruptions per year are allowed.

– Supply voltage unbalance - at normal operation, mean 10-minute inverse rms voltage values are up to 2% of the matching direct component for 95% of week.

– Harmonic voltages - can be evaluated individually, by their relative amplitude (U_h) related to the fundamental voltage U_1 , or globally, usually by the

preko ukupnog sadržaja viših harmonika, koji se računa pomoću izraza:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2} \frac{100\%}{U_1} \quad (3)$$

Tijekom svakoga 10-minutnog intervala vrijednost THD-a mora biti manja od 8% vrijednosti prvog harmonika, dok vrijednost pojedinih harmonika mora imati iznose u pojasu od 0,5% do 6% vrijednosti prvog harmonika.

4.2. Rezultati stanja kvalitete električne energije

Mjerenja parametara kvalitete električne energije izvršena su u 80 mjernih točaka u niskonaponskim mrežama, a parametri su razvrstani u tri tipa:

SAB: mjerna točka na sabirnicama 0,4 kV u TS 10(20)/0,4 kV

GRO: glavni priključni ormar potrošača kategorije *poduzetništvo*

KPMO: priključno-mjerni ormar potrošača kategorije *kućanstvo*

Mjerni je uzorak brojem i strukturom reprezentativan za ocjenu stanja kvalitete električne energije, s napomenom da mjerni uzorak nije sastavljen prema uobičajenim statističkim načelima slučajnim ili sustavnim odabirom, već su mjerne točke u uzorku one točke za koje je postojala sumnja operatora mreže ili prijava potrošača o odstupanjima kvalitete električne energije.

total harmonic distortion factor (THD), calculated using the following expression:

During every 10 minute interval, THD value must be lower than 8% of the fundamental harmonic value, while the values of individual harmonics must be within 0,5% to 0,6% of the fundamental harmonic value.

4.2. Results of quality of electrical energy conditions

Measurement of the parameters of the quality of electrical energy is carried out on 80 measuring points in low voltage electric grids and is categorized in three types:

SAB: measuring points on busbars 0,4 kV in transformers substations 10(20)/0,4 kV

GRO: main terminal cabinet for customers from category residential.

KPMO: terminal cabinet for customers from category commercial.

The measured sample is, according to number and structure, representative of the evaluation of the quality of electrical energy conditions, with the comment that the measured sample is not created according to regular statistical principles by random or systematic selection, but measuring points in the sample are the ones with existing suspicion either from the grid operator or customer complaints regarding the quality of electrical energy deviation.

Tablica 1. Udio mjernih točaka s odstupanjima parametara kvalitete

Table 1. Percentage of measurement points with quality parameters deviation

Mjerne točke / Measuring points		Broj mjernih točaka / Number of measuring points	Broj mjernih točaka koje ne zadovoljavaju EN 50160 / Number of measuring points that do not satisfy EN 50160
Sve mjerne točke / All measuring points	SAB+GRO+KPMO	80	45 (56,25 %)
Sabirnice / Busbars	SAB	23	11 (47,83%)
Svi potrošači / All customers	GRO + KPMO	57	34 (59,64%)
Poduzetništvo / Commercial	GRO	10	8 (80%)
Kućanstva / Residential	KPMO	47	26 (55,32%)

Razdiobe učestalosti odstupanja pojedinih parametara kvalitete električne energije od normiranih vrijednosti za različite skupine mjernih točaka prikazane su u Tablici 2.

The distribution rate deviation of individual parameters of the quality of electrical energy from standard values for different groups of measuring points is shown in Table 2.

Tablica 2. Razdioba učestalosti odstupanja pojedinih parametara kvalitete

Table 2. Distribution rate deviation of individual parameters of quality

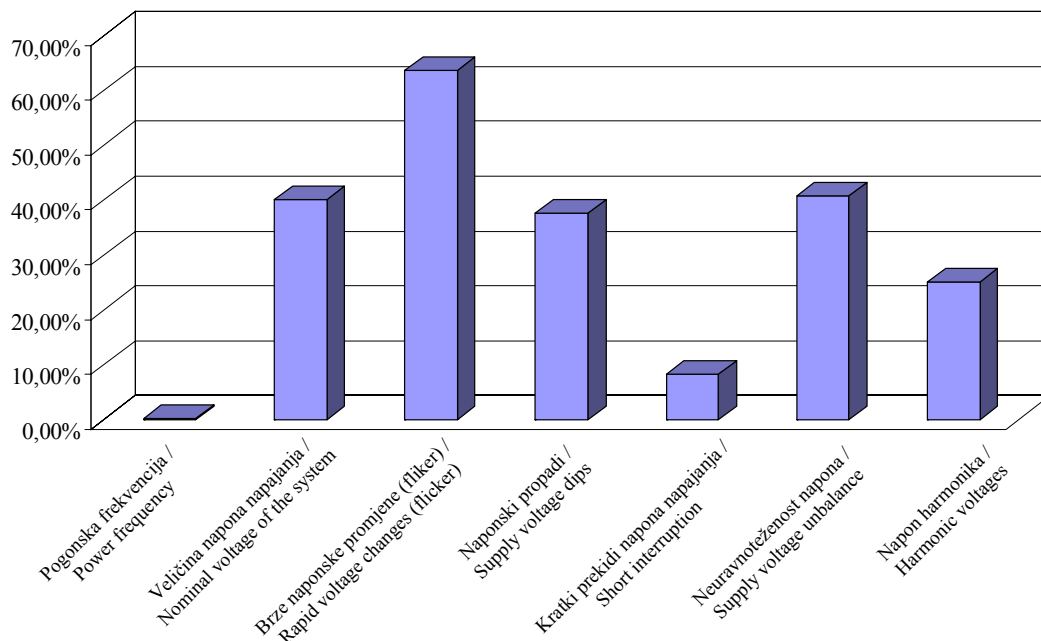
	Sve mjerne točke / All measuring points	Mjerne točke koje ne zadovoljavaju EN50160 / Measuring points that do not satisfy EN 50160	Sabirnice TS SN/NN / Busbars MV/LV	Svi potrošači / All customers	GRO	KPMO
Broj mjernih točaka / Number of measuring points	80	45	23	57	10	47
Pogonska frekvencija / Power frequency	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Veličina napona napajanja / Nominal voltage of the system	40,00%	71,11%	17,39%	49,12%	30,00%	53,19%
Brze naponske promjene (flicker) / Rapid voltage changes (flicker)	63,64%	46,67%	30,43%	22,81%	60,00%	14,89%
Naponski propadi / Supply voltage dips	37,50%	13,33%	4,35%	8,77%	10,00%	8,51%
Kratki prekidi napona napajanja / Short interruptions	8,33%	4,44%	0,00%	3,51%	10,00%	2,13%
Neuravnoteženost napona / Supply voltage imbalance	40,63%	28,89%	17,39%	15,79%	20,00%	14,89%
Napon harmonika / Harmonic voltages	25,00%	22,22%	26,09%	7,02%	30,00%	2,13%

Iz rezultata razdioba učestalosti odstupanja parametara kvalitete vidljivo je da:

- na razini ukupnog broja mjernih točaka u najvećem broju točaka (63,64%) odstupa parametar *brze naponske promjene (flickeri)*
- na razini potrošača – kategorija kućanstvo – u najvećem broju točaka (53,19%) odstupa parametar *veličina napona napajanja*.

From the distribution rate deviation of individual parameters of quality, it can be seen that:

- from the total number of measuring points, the parameter that deviates the most (63,64%) are rapid voltage changes (flickers);
- at the customer level (residential category)—the parameter that deviates the most (53,19%) is the nominal voltage of the system.



Slika 3. Razdioba učestalosti odstupanja parametara kvalitete na uzorku svih mjernih točaka
Figure 3. Distribution rate deviation of parameters of quality on sample of all measuring points

Utjecaj i struktura tehnološke vrste priključka potrošača (poduzetništvo GRO i kućanstva KPMO) kod potrošača kod kojih postoje odstupanja parametara kvalitete električne energije prikazan je u Tablici 3. iz koje je vidljivo da od svih potrošača s odstupanjima, 71,43% ima nadzemni priključak.

The importance and structure of the technological category of customer terminals (commercial GRO and residential KPMO) for customers with a distribution rate deviation of parameters of quality is shown in Table 3. It can be seen that of all customers with a deviation, 71,43% have overhead terminal.

Tablica 3. Odstupanja od dozvoljenih vrijednosti u ovisnosti o vrsti priključka
Table 3. Deviation from standard values regarding terminal category

Vrsta priključka / Terminal category	Broj mjernih točaka / Number of measuring points	Broj mjernih točkaka koje ne zadovoljavaju EN50160 / Number of measuring points that do not satisfy EN 50160
Kabelski / Cable	22	9 (40,91%)
Nadzemni/Overhead	35	25 (71,43%)

5. ZAKLJUČAK

Kvaliteta električne energije (kvaliteta napona) kao dio ukupne kvalitete opskrbe potrošača električnom energijom u dereguliranim uvjetima elektro-energetskoga gospodarstva i liberaliziranog tržišta električne energije, postaje značajan regulacijski parametar za operatore mreže i značajan ugovorni parametar na tržištu električne energije. Operatori mreže dužni su uspostaviti sustav pojedinačnih mjerenja i sustav trajnog nadziranja parametara kvalitete električne energije, radi utvrđivanja stanja i poboljšanja parametara do normirane razine. Izvršeno istraživanje stanja kvalitete električne energije u realnoj distribucijskoj mreži pokazuje nešto lošije stanje od stvarnog, s obzirom na to da su mjerne točke izabrane temeljem utvrđenih stvarnih kritičnih točki mreže, a ne

5. CONCLUSION

The quality of electrical energy as a part of the overall quality of electricity supply regarding deregulated conditions in the electric power industry and liberated electricity market becomes an important parameter of control for grid operators and a significant contracting parameter on the electricity market. Grid operators are obliged to establish an individual measurement system and system of continuous monitoring of the parameters of quality of electrical energy, with the purpose of determining the parameters condition and its improvements to standard levels. Conducted research of the quality of electrical energy conditions in a real distribution grid shows that the situation may be understood as worse than it is, taking

prema uobičajenim statističkim načelima slučajnim ili sustavnim odabirom.

Prikazani rezultati relativno reprezentativne distributivne mreže predstavljaju podlogu za moguća usmjeravanja primjene tehničkih mjera za poboljšanje parametara kvalitete električne energije, odnosno za planiranje razvoja distribucijske mreže u cjelini.

6. POPIS OZNAKA

duljina vodova	L, km
broj potrošača određenog napona	n, -
broj transformatorskih stanica	n_{TS} , -
broj transformatora	n_{TR} , -
kratkotrajna jakost treperenja	P_{st} , -
dugotrajna jakost treperenja	P_{lt} , -
nazivni napon	U_n , kV
pad napona	ΔU , V
gubitak snage na potrošaču	ΔS_A , VA
snaga trolnoga kratkog spoja	S_{k3} , VA
prvi harmonik napona	U_1 , V

LITERATURA REFERENCES

- [1] Brauner G. OVE, VDE, VDI, IEEE: „Deregulierung und Sicherheit in der Energieversorgung“, Stručni časopis „e&i“ OVE Verbandszeitschrift, Heft 10/2002., str. 324-327, Wien, Austria
- [2] Babić S., Babić B.: „Sigurnost opskrbe električnom energijom“ (I – IV dio); Elektroenergetika – stručni časopis, br. 01/2006 (svibanj 2006., str. 22-25), 02/2006 (srpanj 2006., str. 10-14), 03/2006 (listopad 2006., str. 22-25), 04/2006 (prosinac 2006., str. 28-32), Zagreb, 2006. god.

Primljeno / Received: 30.4.2008

Prethodno priopćenje

Adresa autora / Authors' address:

Mr. sc. Marijana Živić Đurović, dipl. ing.

Dr. sc. Vitomir Komen, dipl. ing.

Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

Vukovarska 58, 51000 Rijeka

Renato Čučić, dipl. ing.

HEP-ODS d.o.o. Elektroprimorje Rijeka

Viktora Cara Emina 2, 51000 Rijeka

HRVATSKA (CROATIA)

Marijana.Zivic@riteh.hr

Vitomir.Komen@hep.hr

Renato.Cucic@hep.hr

into account that points are selected according to the stated critical points of the related real grid and not according to regular statistical principles by random or systematic selection. The presented results might be used as the groundwork for implementation of technical measures regarding improvement of the quality of electrical energy parameters and overall planning of distribution grid development.

6. LIST OF SYMBOLS

L, km	line length
n, -	number of customers at voltage levels
n_{TS} , -	number of transformer substations
n_{TR} , -	number of transformers
P_{st} , -	short term severity
P_{lt} , -	long term severity
U_n , kV	nominal voltage
ΔU , V	voltage dip
ΔS_A , VA	power losses at customer level
S_{k3} , VA	three-phase short circuit power
U_1 , V	fundamental voltage harmonic

- [3] Dugan R. C., McGranaghan, Beaty H. W.: „Electrical Power Systems Quality“, McGraw-Hill, 1996. god
- [4] Power Quality in European Electricity Supply Networks – 2nd edition, Eurelectric, 2003. god.
- [5] Temeljni podaci (statistički ljetopis), HEP - Distribucija d.o.o., DP Elektroprimorje Rijeka za 2000. god, 2001. god, 2002. god, 2003. god, 2004. god, 2005. god. i 2006. god.
- [6] Dirk Blume, Jürgen Schlabach, Thomas Stephanblome: Spannungsqualität in elektrischen Netzen, VDE-Verlag, Berlin, OFFenbach, 1999. ISBN 3-8007-2265-8.

Prihvaćeno / Accepted: 29.10.2008

Preliminary note