

Nadzor kvalitete električne energije u zgradi Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek

Balenović, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:410367>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science
and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni studij

**Nadzor kvalitete električne energije u zgradi Fakulteta
elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Diplomski rad

Ivan Balenović

Osijek, 2022.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak diplomskog rada.....	1
2. PREGLED PODRUČJA TEME	2
3. VAŽNOST KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE	3
3.1. Napon kao važna komponenta kvalitete električne energije.....	4
3.2. Važnost kvalitete električne energije s ekonomske strane.....	5
3.3. Obilježja napona - pokazatelji kvalitete električne energije	6
3.4. Utjecaj distribuirane proizvodnje.....	8
4. NADZOR KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE	10
4.1. Razmatranje praćenja kvalitete.....	11
4.2. Metode prikazivanja naponskih događaja.....	12
4.3. Odabir mjesta za praćenje kvalitete.....	15
4.4. Opcije za trajni nadzor kvalitete električne energije.....	16
4.5. Pronalaženje izvora smetnji	17
4.6. Uređaji za nadzor kvalitete električne energije.....	17
5. PQube 3e UREĐAJ ZA NADZOR KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE ..	22
5.1. Rukovanje uređajem PQube 3e	25
5.2. PQube program za konfiguraciju uređaja.....	27
5.3. Mjerenje električnih veličina.....	28
6. ANALIZA MJERENJA	34
7. ZAKLJUČAK	46
LITERATURA	47
Sažetak.....	48
Abstract-	49
Životopis	50

1. UVOD

Napretkom tehnologije, pa tako i uređaja u kućanstvu i industriji, sve veća je potreba za kvalitetnom električnom energijom. Osim amplitude i frekvencije napona dolaze i drugi parametri, pa tako i norme bitne za opisivanje kvalitete električne energije. Dodavanjem distribuiranih izvora u mrežu, dolazi do promjena tokova snaga u mreži. Nadalje, korištenjem uređaja kojima je upravljanje i rad izveden energetsom elektronikom, ubacuju se dodatne smetnje u mrežu. Gledajući tržište, električna energija se prikazuje kao roba kojom se trguje. Stoga elektroprivredi je bitno da njihova roba odnosno predana električna energija ima što veću kvalitetu, jer u suprotnom dolazi do negodovanja i pritužbi od krajnjih kupaca, odnosno tada je isporučena električne energija neadekvatne kvalitete.

Nadzor kvalitete električne energije predstavlja proces prikupljanja, analize i tumačenja neobrađenih mjernih rezultata. Bitna stvar prilikom analize rezultata, osim prikaza i usporedbe parametara je pronaći uzroke narušavanja kvalitete električne energije, što za primjer mogu biti distribuirana proizvodnja (npr. fotonaponska elektrana na zgradi fakulteta). Razvoj tehnologije daje nove metode za praćenje, nadzor i analizu, pa tako na tržištu postoje uređaji koji mjere, pohranjuju i šalju obrađene ili neobrađene podatke internetskom vezom do udaljenog računala ili servera.

1.1. Zadatak diplomskog rada

Opisati osnovne pojmove o nadzoru kvalitete električne energije. Opisati sustav nadzora kvalitete električne energije u zgradi Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Analizirati rezultate dugotrajnog mjerenja kvalitete električne energije, s naglaskom na mikromrežu i utjecaj fotonaponskih elektrana te baterijskih spremnika.

2. PREGLED PODRUČJA TEME

R. C. Dugan, M. F. McGranaghan Surya Santoso, H. Wayne Beaty, u knjizi [1], opisuju i prikazuju smetnje i varijacije napona kod potrošača koje je uzrokovano onečišćenjem mreže, te prikazuju način nalaženja problema, pri čemu se traži mjesto s kojeg nastaju problemi, a to mogu biti prijenos, distribucija ili krajnji korisnik sa svojim uređajima ili načinom korištenja energije.

Z. Klaić u svom radu [3], karakterizira sve naponske parametre, te prikazuje primjere nadzora kvalitete električne energije. Ukazuje na ispravan rad elektrodistribucijskih sustava uključujući i spojenu opremu. Daje primjere kojima se prikazuje razlika „loše“ i „dobre“ kvalitete električne energije, te primjere uzroka koji narušavaju kvalitetu električne energije.

G. R. Rey, L. Martinez Muneta, u knjizi [4] prikazuju detaljan opis metoda prikazivanja naponskih događaja preko statičkih pokazatelja kvalitete električne energije. Daju uvid utjecaja distribuirane proizvodnje na elektroenergetsku mrežu, te potrošače koji se nalaze spojeni na mrežu. Modelom fotonaponske elektrane spojene na mrežu putem invertera prikazuju analizu kvalitete električne energije.

Z. Klaić i S. Nikolovski, u znanstvenom radu [5], prikazuju granične vrijednosti parametra napona kao pokazatelja kvalitete električne energije prema normi HRN EN 50160:2012 odnosno europske norme za kvalitetu napona u javnim distributivnim visokonaponskim, srednje, naponskim i niskonaponskim mrežama pri nominalnim pogonskim uvjetima.

3. VAŽNOST KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Postoje različite definicije kvalitete energije, što ovisi o načinu razmatranja problema. Kvaliteta električne energije može biti se definirati kao skup karakteristika napajanja koje omogućuju ispravan rada nekog uređaja prema specifikacijama proizvođača. U konačnici kvaliteta električne energije predstavlja pojam kod krajnjeg potrošača odnosno korisnika. Stoga bi univerzalna definicija kvalitete električne energije glasila: svaki problem s napajanjem koji se očituje u odstupanju napona, struje ili frekvencije i rezultira kvarom ili neispravnim radom uređaja.

Ispitivanjem korisnika koje je provela *Georgija Power Company* nad svojim zaposlenicima i korisnicima došlo se do sljedećih zaključaka: s gledišta proizvođača i distributera glavni krivac za narušenu kvalitetu električne energije uglavnom su prirodne pojave (atmosferska pražnjenja); ako se pitaju krajnji kupci, tada glavni krivac predstavljaju distributeri i proizvođači energije koji su u očima kupaca zasigurno napravili neki propust [1].

Elektroničke komponente degradiraju tijekom vremena, a ta se degradacija ubrzava kolebanjem napona. Sadašnji sustavi i uređaji građeni su tako da bolje podnose kolebanja napona u odnosu na prve uređaje (računala) koji su bili znatno osjetljiviji. Daljnjim razvojem tehnologije sve je bitnija kvaliteta isporučene električne energije.

Kvalitetu isporučene električne energije teško je kvalificirati. Kvaliteta električne energije okarakterizirana je veličinama koje je moguće izmjeriti, te standardima za napon. Stoga mjerenje kvalitete prikazuje se kroz performanse i učinkovitost krajnjeg korisnika. Ako isporučena električna energija nije adekvatna za nekog korisnika odnosno proces, tada se govori o lošoj kvaliteti električne energije. Prvi nadzor kvalitete električne energije izveden je uz pomoć fenomena zvanog „treptajući sat“ koji bi upozoravao korisnika na moguće netočno vrijeme uslijed gubitka napajanja. Sam gubitak napajanja, odnosno kašnjenje sata daje informaciju da nastaju povremena kolebanja napona napajanja. Modernizacijom, u uređaje se ubacuju baterija, čime se dobiva neovisnost unutarnjeg sata o događajima u mrežnom napajanju.[1].

3.1. Napon kao važna komponenta kvalitete električne energije

Uobičajen izraz za opisivanje kvalitete električne energije potrošača je snaga, međutim to je zapravo kvaliteta napona. Prilikom isporuke energije, odnosno snage koja se dobiva umnoškom struje i napona, napon je ona komponenta na čiju kvalitetu sustav može utjecati, a struja ovisi o tehnologiji trošila i opterećenju te je kao karakteristika potrošača u nekoj mjeri nepredvidljiva. Stoga su standardi u području kvalitete električne energije fokusirani na održavanje napona napajanja u određenim granicama. Prijenos i distribucija izvedeni su za rad frekvencijom 50 Hz (60 Hz) sinusnog napona. Bilo koje značajno odstupanje u amplitudi, frekvenciji, valnom obliku te simetričnosti, ako se govori o trofaznom sustavu, predstavlja potencijalni problem za kvalitetu električne energije. Iako generatori mogu proizvoditi i održavati gotovo savršen sinusni oblik napona, impedancija mreže utječe na smetnje i varijacije napona kod potrošača [1].

Primjeri događaja prilikom kojih dolazi do narušavanja razine kvalitete električne energije:

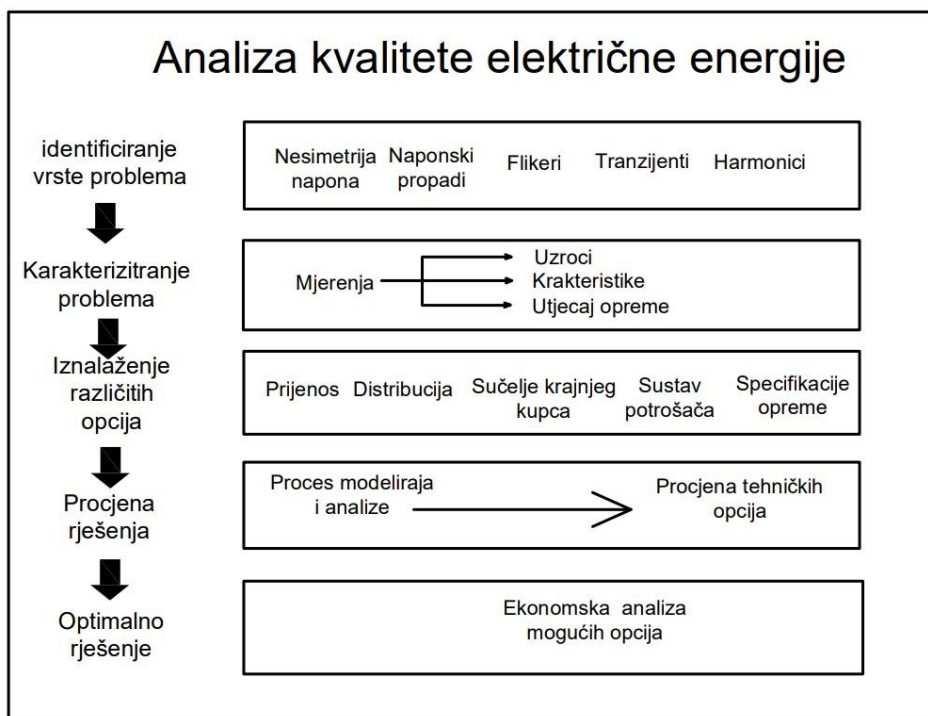
- Kratak spoj, nastaje struja kratkog spoja koja dovodi do propada napona ili do prekida napajanja, ukoliko kratki spoj traje dulje od predviđenog.
- Atmosferska pražnjenja, odnosno udara groma dolazi do velikih impulsa napona i probijanja izolacije voda te nastanka kratkog spoja.
- Korištenje modernih uređaja koji koriste reaktivne komponente. Pod reaktivne komponente spadaju zavojnice i kondenzatori koji u mrežu unose više harmonike osnovne frekvencije od 50 Hz, te tako iskrivljuju sinusni valni oblik. Takav valni oblik predaje se drugim korisnicima koji za posljedicu ima smanjenje vijeka trajanja uređaja i njihov neispavan rad.

Stoga obilježjima napona karakterizira se kvaliteta isporučene električne energije u sustav do krajnjeg korisnika.

3.2. Važnost kvalitete električne energije s ekonomske strane

U konačnici kvaliteta električne energije ima veliku ekonomsku ulogu. Kvaliteta ima velik utjecaj na mnoge industrijske procese pa i na krajnje potrošače u distribuciji. Napretkom tehnologije zastarjelo upravljanje procesima u industrijama zamijenjeno je novim tehnologijama pri čemu se u sve više procesa ubacuje automatsko upravljanje. Upravo automatska kontrola i napredne tehnologije daju na znanje da se govori o korištenju opreme koja je osjetljivija na promjene i odstupanja u naponu napajanja. Zbog elektronike unutar upravljačkih jedinica procesa uveden je novi standard (SEMI Standard F-47) koji govori kako poluvodička upravljačka jedinica mora biti imuna na određene padove napona napajanja. Ako dođe do prekida napajanja duljeg od dopuštenog ili do nekog drugog poremećaja koji nije dopušten, mogući su veliki gubici u industrijama sa slijednim procesom (ljevaonice željeza, autoindustrija), a ako se proces zaustavi potrebno je nekoliko sati, pa čak i nekoliko dana i velika svota novca da bi se pogon vratio u početno stanje.

S problemom kvalitete energije upoznata je i sama elektroprivreda. Ono što je bitno elektroprivredi je održati razinu kvalitete električne energije i ispunjavati očekivanja kupaca. Ako se govori o kućanstvima, tada manju ulogu ima financijski aspekt jer nema procesa koji će, ako stane, uzrokovati financijski gubitak. Kod kućanstava veću ulogu ima komfor koji bi bio narušen lošom kvalitetom isporučene energije, pogotovo ako kućanstvo posjeduje pametne uređaje koji su u nekoj mjeri osjetljivi na kolebanja napona zbog elektronike koja se nalazi u njima (osobna računala). Na lošu kvalitetu isporučene energije reagirat će potrošači svojim pritužbama, a elektroprivreda treba ulagati u istraživanja i radnje da se izbjegnu neugodne situacije s potrošačima. Na slici 2.1 prikazan je postupak analize i nalaženje optimalnog rješenja ako dođe do problema u kvaliteti isporučene električne energije. U prvom koraku identificira se problem, a to mogu biti flikeri, propadi napona, nesimetrija, tranzijentne promjene napona ili harmonici. Mjerenjem napona dobivaju se podaci potrebni pri analizi kvalitete energije da bi se uvidjelo o kojem se problemu radi. Pronalaskom problema, traži se mjesto s kojeg nastaju problemi, a to mogu biti prijenos, distribucija ili krajnji korisnik sa svojim uređajima ili načinom korištenja energije [1].



Slika 2.1 Prikaz postupka analize kvalitete el. energije [1]

3.3. Obilježja napona - pokazatelji kvalitete električne energije

Kvalitetu električne energije moguće je karakterizirati sljedećim naponskim osobinama: naponski propadi i prekidi, naponska nesimetrija, tranzijentni prenaponi, harmonici, kolebanja napona, promjene osnovne frekvencije, prisutnost istosmjerne komponente i signalnih napona. Europska norma za kvalitetu napona u javnim distributivnim visokonaponskim, srednje, naponskim i niskonaponskim mrežama pri nominalnim pogonskim uvjetima je: Naponske karakteristike električne energije iz javnih distribucijskih mreža (HRN EN 50160:2012)

Prilikom normalnih pogonskih uvjeta mreže, 95 % desetominutnih srednjih vrijednosti efektivne vrijednosti opskrbnog napona svakog tjednog intervala mora biti u granicama: $U_n \pm 10\%$. Preostalih 5 % desetominutnih srednjih vrijednosti efektivne vrijednosti opskrbnog napona treba biti u granicama: $U_n + 10\% / -15\%$ [5].

Promjenom tereta u kućanstvu, industriji i sklapanjima u mreži dolazi do brzih promjena napona. Brza promjena u pravilu ne prelazi 5 % nazivnog napona pri normalnim pogonskim uvjetima. Kratke brze promjene napona do 10 % U_n mogu se pojaviti u nekim okolnostima više puta.

Prekidom napajanja smatra se promjena napona prilikom koje napon je manji od 5 % U_n . Prekidi mogu biti: dugotrajni (dulji od 3 minute), kratkotrajni (do uključivo 3 minute), planirani i neplanirani.

Flicker (dugotrajna jakost treperenja) prema normi HRN EN 50150 ne smije prelaziti graničnu vrijednosti od: $P_{lt} = 1$, tijekom bilo kojeg dana u tjednu. Za očekivati je da pri normalnim pogonskim uvjetima, godišnje će se pojaviti do nekoliko tisuća naponskih propada. Uglavnom naponski propadi traju kraće od 1 s, s dubinom propada manjom od 60 % U_n , pri normalnim pogonskim uvjetima. Pojedini propadi koji se ne pojavljuju često, mogu imati veće dubine propada i duže trajanje. Primjer su sklapanja velikih potrošača u industrijama (veliki motori, lučne peći), koji mogu imati dubinu između 10 % i 15 % U_n [5].

Kratki prekidi događaju se učestalo, od nekoliko desetaka do više stotina godišnje, uz uvjet da 70 % prekida mora biti kraće od jedne sekunde da bi ih se smatrao kratkim prekidima opskrbe [5].

Prethodno opisani parametri, prikazani su i u tabličnom obliku, tablicom 2.1.

Tablica 2.1 Parametri napona [5]

Parametar		Osnovna veličina (vrijednost)	Vrijeme usrednjavanja	Promatrano razdoblje	Granične vrijednosti
Frekvencija		Prosječna	10 s	1 godina	$\pm 1\%$ 99.5 % vremena, 4 % / 6 % 100% vremena
Kolebanje napona	SN	Efektivna	10 min	1 tjedan	99 % vrijednosti < +10% 99 % vrijednosti > - 10%
	NN	Efektivna	10 min	1 tjedan	100 % vrijednosti $\pm 15\%$ 95 % vrijednosti $\pm 15\%$
Treperenje		Izračunata	$P_{lt} - 120$ min	1 tjedan	95 % vrijednosti $P_{lt} < 1$
Viši harmonici		Efektivna	10 min	1 tjedan	Prema tablici
THD		Efektivna	10 min	1 tjedan	< 8 %
Nesimetričnost		Efektivna	10 min	1 tjedan	< 2 %
Prekid	Kratki	Broj	< 3 min. – od desetaka do nekoliko stotina godišnje		
	Dugi	Broj	≥ 3 min. - < 10 – 50 godišnje		
Propad		Broj	Od nekoliko desetaka do tisuću godišnje		

3.4. Utjecaj distribuirane proizvodnje

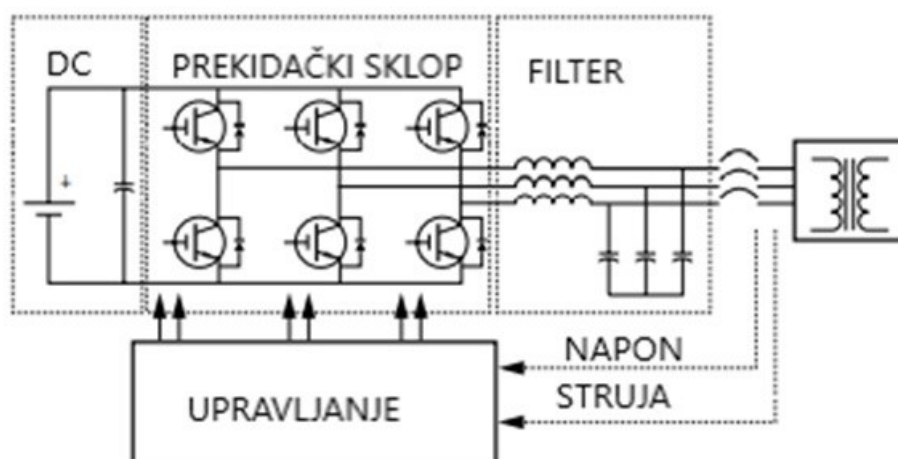
Distribuirana proizvodnja ima takav utjecaj na distributivnu mrežu da mijenja tokove snaga unutar mreže tako što kompenzira dio potrošnje te na taj način smanjuje tokove snaga kroz mrežni transformator. Klasično razumijevanje mreže se mijenja, uvode se novi načini generiranja električne energije, distributivna mreža nije sačinjena više samo od potrošača nego i od kupca s vlastitom proizvodnjom koji svojim postojanjem u mreži mijenjaju njezin smisao.

Uvođenje distribuirane proizvodnje u elektroenergetsku mrežu imat će utjecaj na snagu i kvalitetu električne energije. Ako se govori o manjim elektranama, one će imati lokalni utjecaj, a elektrane većih snaga koje su spojene na prijenos imat će veći globalni utjecaj. Daljnjim razvojem distribuirane proizvodnje dolazi i do promjena utjecaja na kvalitetu električne energije. Kod uvođenja generatorskih jedinica u mrežu dolazi do povećanja emisija smetnji, a te smetnje prikazuju se preko harmonika, kolebanja napona, nesimetrije te smetnji prilikom uključivanja generatora. Korištenjem jednofaznih generatora dolazi do nesimetrije napona u trofaznom sustavu. Ako se govori o sinkronim generatorima, tad se može reći da su oni najbolji od svih drugih izvora električne energije zbog savršenog sinusnog valnog oblika napona kojeg generiraju.

Varijacije u proizvodnji električne energije kod fotonaponske elektrane ovise o vremenskim prilikama, o dobu godine, temperaturi, vremenskom razdoblju te nagibu Zemljine osi. Zbog tih uvjeta solarna elektrana tijekom smo jednog dana ima velike varijacije u snazi čime potencijalno utječe na naponske razine u mreži na koju je priključena. Snaga joj varira tijekom dana od maksimalne za vrijeme idealnog ljetnog dana bez oblaka kad je najveće sunčevo zračenje, do nule tijekom noći. Zbog tako velikih promjena u isporučenoj snazi potrebni su dodatni sustavi za pohranu energije i regulacije napona. Budući da sam PV članak energiju svjetlosti pretvara u istosmjernu struju za priključenje elektrane na mrežu potreban je pretvarač odnosno izmjenjivač. Sam sklop izmjenjivača sastoji se od energetske elektronike kod koje je karakteristično da će, bila ona potrošač ili izvor energije kao u slučaju solarne elektrane, u mrežu utiskivati harmonike koji negativno utječu na mrežu i potencijalno na potrošače u njezinoj blizini. Do viših harmonika dolazi zbog brzih uklapanja i isklapanja elemenata energetske elektronike čija je zadaća održati napon na vrijednosti napona mreže na koju je spojena elektrana i osigurati što bolji sinusni izlazni napon stalne frekvencije od 50 Hz, koji ipak nikad neće biti savršen kao kod rotacijskih strojeva, točnije sinkronih generatora koji daju savršen sinusni valni oblik.

Rani tiristorski pretvarači imali su lošu reputaciju zbog viših harmonika, to jest dio energije prenosio se na višim frekvencijama, što je uzrokovalo problem sa zagrijavanjem vodova i žica. Korištenjem PWM-a (pulsno-širinske modulacije) postigla se bolja kontrola i izbjegnuti su problemi s harmonicima te su se - kao posljedica toga - umanjili negativni utjecaji prema mreži. Sadašnji pretvarači koriste IGBT tranzistore koji svojim uklapanjima i isklapanjima ostvaruju sinusni valni oblik napona. Frekvencije uklapanja i isklapanja su od 50 do 100 puta veće od frekvencije mreže. Na izlazu pretvarača nalaze se filtri koji prigušuju visokofrekventne komponente napona i struje. Najveći harmonici u tom slučaju su obično treći i peti, dok su ostali zanemarivi. Što se tiče proizvođača, oni mogu štedjeti na nefiltriranju ili algoritmima za upravljanje tranzistorima, ali kod modernih pretvarača to je manje bitno ako se gleda kakav su utjecaj imali pretvarači sa starijim tehnologijama. Postoji standard IEEE 519-2014 koji govori koliki može biti THD struja, a ograničenje je 5 %.

Na slici 2.2 prikazan je pojednostavljeni shematski prikaz pretvarača. Ako se gleda smjer energije, tada prvo nailazi izvor DC, koji je u ovom slučaju PV članak, odnosno serijsko-paralelni spoj solarnih panela zbog dobivanja odgovarajuće snage. Istosmjerna proizvedena struja dolazi do prekidačkog (IGBT) sklopa koji je transformira u izmjeničnu sinusnu struju koja ima frekvenciju kao i frekvencija mreže na koju se priključuje. Takva sinusna struja dolazi do filtra koji uklanja više harmonike prije negoli ode u mrežu. Sklop za upravljanje služi za vremena okidanja IGBT-a da bi se dobio sinusni valni oblik [4].



Slika 2.2 Pojednostavljeni shematski prikaz pretvarača [4]

Svi navedeni utjecaji nenamjerni su, čak i ako su nekim dijelom pozitivni oni su zanemarivi. Međutim, može se koristiti distribuirana proizvodnja da bi se namjerno poboljšala kvaliteta

električne energije. Prisutnost distribuirane proizvodnje ima pozitivan utjecaj na određene poremećaje u mreži. Neki od tih poremećaja su: padovi napona, harmonici i varijacije napona. Samo uvođenje distribuiranog izvora čini mrežu jačom i stabilnijom te povećava prigušenje tih smetnji, ali od velike je važnosti i mjesto ugradnje proizvodnje u mrežu. Napon na stezaljkama generatorske jedinice može se aktivno kontrolirati i to kontrolom toka jalove snage između generatora i mreže. To je moguće kada su generatori upareni s uređajima koji posjeduju energetska elektronika. Korištenjem aktivne kontrole moguće je ublažiti padove i kolebanja napona; također, može se upravljati i razinom napona. Harmonike je moguće ublažiti pomoću naprednih opcija upravljanja koje nude moderni pretvarači energetske elektronike. Pretvarači također mogu osigurati prigušenje određenog spektra harmonika i na taj način ograničiti izobličenje napona uzrokovano višim harmonicima.

4. NADZOR KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Nadzor kvalitete električne energije predstavlja skup procesa prikupljanja, analize i tumačenja neobrađenih mjernih rezultata dobivenih s kritičnih mjesta u promatranoj mreži. Prikupljanje podataka provodi se kroz proces koji traje dulje vrijeme, a mjeri se napon i struja. Postupak analize i ubacivanja ranije se izvodio ručno, ali modernizacijom i razvojem tehnologije u obradi signala i umjetnoj inteligenciji omogućuje ubacivanje sustava za automatsku obradu i prikazivanje neobrađenih podataka u korisne informacije uz minimalnu potrebu za ljudskom kontrolom. Programi koji se koriste za praćenje kvalitete električne energije uglavnom se vode potražnjom i poboljšanjem kvalitete električne energije u cijelom sustavu. Mnoge industrije, pa tako i kućanstva posjeduju potrošače koji su osjetljivi na poremećaje napona te je stoga važno razumjeti kvalitetu napona koji se predaje. Primjer osjetljivih potrošača i industrija su: računalni centri, bolnice, laboratoriji, banke, pogoni kojima bi dulji nestanak električne energije ili njena neadekvatna kvaliteta nanijela velike financijske gubitke. Iz tog razloga u novije vrijeme sve više ugrađuju programe za praćenje kvalitete električne energije.

4.1. Razmatranje praćenja kvalitete

Prije početka bilo kakvog praćenja kvalitete električne energije potrebno je jasno definirati ciljeve praćenja i mjerenja. Ciljevi praćenja često određuju izbor opreme za praćenje, pragove, metode za prikupljanje i pohranu podataka te zahtjeve analize i tumačenja. Praćenje karakteristika sustava predstavlja najopćenitiji zahtjev. Proizvođač električne energije taj cilj može smatrati važnim ako ima potrebu razumjeti karakteristike svog sustava i zatim ih uskladiti da se karakteristike sustava podudaraju sa zahtjevima potrošača.

Svojstvo sustava je kreativan pristup praćenju kvalitete električne energije. Razumijevajući kvalitetu napona, odnosno snage sustava u normalnom stanju, davatelj usluga može brzo identificirati probleme te može ponuditi informacije svojim potrošačima kako bi mogli uskladiti karakteristike svoje osjetljive opreme s realnim karakteristikama kvalitete električne energije. Većina ljudi i tvrtki koje se bave promatranjem kvalitete električne energije rješavaju problem s kvalitetom danog napona tako da izvode kratkoročna praćenja na specifičnim mjestima kod potrošača ili pri velikim opterećenjima. To je kompleksan način praćenja kvalitete električne energije, ali često identificira uzrok nekompatibilnosti opreme, što je prvi korak do rješenja.

Mnogi proizvođači trenutačno razmatraju dodatne usluge kako bi ih ponudili kupcima. Jedna od njih je ponuditi različite razine kvalitete električne energije koja odgovara potrebama specifičnih kupaca. Davatelj usluga i kupac mogu zajedno postići taj cilj izmjenom elektroenergetskog sustava ili ugradnjom posebnih uređaja kod potrošača.

Ako se govori o nadzoru kvalitete kao prediktivnog ili pravovremenog održavanja, podaci o kvaliteti energije prikupljeni s vremenom mogu se analizirati kako bi se dobile informacije koje se odnose na performanse određene opreme. Pronalaskom mogućeg kvara omogućuje se pravodobno održavanje opreme kako bi se izbjegao neki katastrofalni kvar, čime se, naprimjer, sprječavaju velike smetnje u kvaliteti električne energije koja će u konačnici utjecati na ukupne karakteristike predane snage odnosno napona. Program praćenja mora biti osmišljen na temelju odgovarajućih ciljeva, a informacije o kvaliteti moraju se dati u prikladnom obliku i pravodobno. Najopsežniji pristup praćenju bit će trajno instalirani nadzorni sustav s automatskim prikupljanjem informacija o stanjima u mreži, kvaliteti energije i poremećajima unutar nje [1].

4.2. Metode prikazivanja naponskih događaja

Postoji više statističkih pokazatelja koji prikazuju kvalitetu električne energije i kojima se obavlja i prikazuje njezin nadzor. Neke od njih su $SARIF_x$, CBEMA, ITIC krivulja i koordinacijski grafikon pada napona prema IEEE Std.493 i 1346.

SARIF (System Average RMS Indeks Freuency Variation) prikazuje koliko često napon pada ispod dopuštenog praga, odnosno SAFRI prikazuje broj ili postotak padova napona, prenapona i prekida napajanja u određenom vremenskom razdoblju. Koristi se samo kod kratkotrajnih efektivnih promjena napona. Može biti definiran za pojedino mjesto nadzora, pojedino trošilo, dio ili cijeli promatrani sustav. Sustavni pokazatelj učestalosti promjena može biti: trenutni, kratkotrajni ili prolazni te se može za pojedino mjesto definirati kao:

$$SARIF_x = \frac{N}{D} 30dana [3] \quad (1)$$

N - prikazuje broj događaja,

D - prikazuje broj mjernih dana na mjernom mjestu.

SIARIF prikazuje broj ili postotak padova napona, prenapona i prekida tijekom razdoblja mjerenja. Specifični događaji su oni kojima je veličina manja od x za padove napona ili veća od x za prenapone, u trajanju od 0.5 do 30 perioda (10 do 500 ms).

$$SIARIF_x = \frac{N_{IE}}{D} 30dana [3] \quad (2)$$

N_{IE} – broj kratkotrajnih naponskih događaja

D – trajanje razdoblja mjerenja

SMARIF definiran je za kratkotrajne promjene efektivne vrijednosti napona, koje su u rasponu od 0.1 do 3 sekunde za prekide i 500 ms i 3 s za prenapone.

$$SMARIF_x = \frac{N_{ME}}{D} 30dana [3] \quad (3)$$

N_{ME} – broj kratkotrajnih naponskih događaja

D – trajanje razdoblja mjerenja

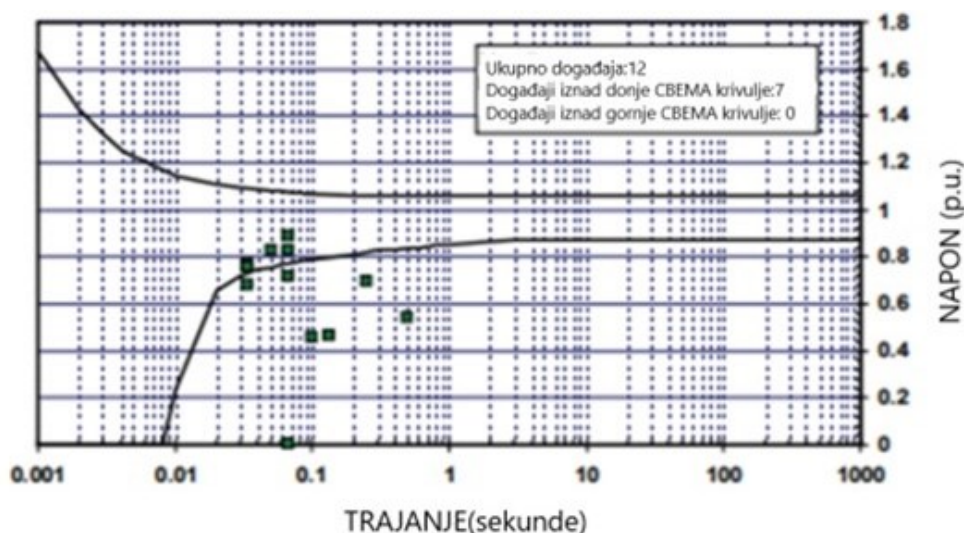
STARIF prikazuje učestalost prolaznih promjena efektivne vrijednosti napona. Definiran je za prolazna odstupanja s trajanjem od 3 do 60 sekundi.

$$STARIF_X = \frac{N_{TE}}{D} 30dana [3] \quad (4)$$

N_{TE} – broj kratkotrajnih naponskih događaja

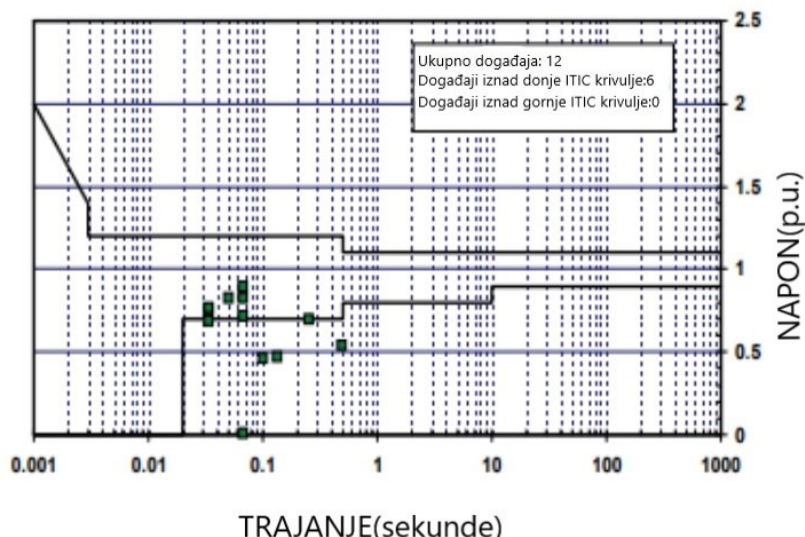
D – trajanje razdoblja mjerenja

Krivulja CBEMA predstavlja dijagram raspršenja veličine napona i trajanja događaja za svaku efektivnu promjenu. Predstavlja se kao grafikon kojim je vizualno prikazano predviđanje pogrešnog rada opreme zbog varijacija u efektivnoj vrijednosti napona. Krivulja CBEMA prikazana je uz pomoć dviju krivulja, a ako se događaj nalazi ispod gornje krivulje i iznad donje krivulje, velika je vjerojatnost da će prouzrokovati pogrešan rad opreme spojene na nadzirani izvor. Primjer prikaza događaja korištenjem krivulje CBEMA prikazan je na slici 2.3 [4].



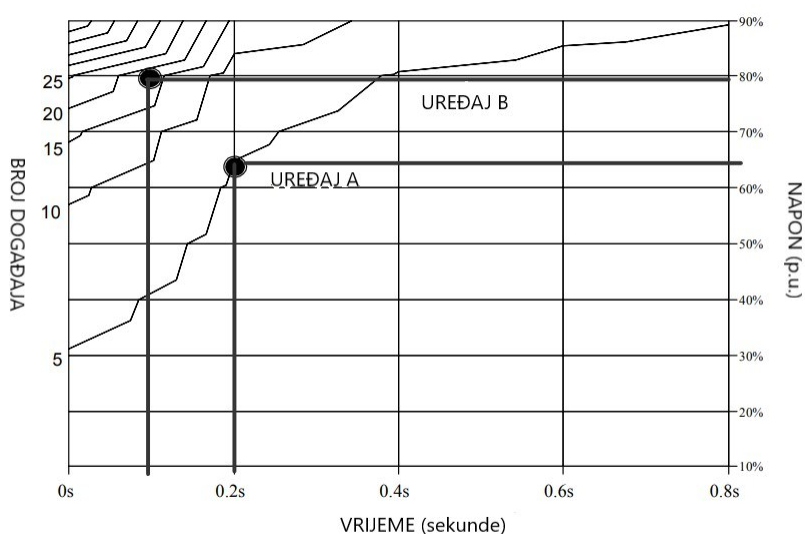
Slika 2.3 Primjer krivulje CBEMA [4]

Krivulja ITIC opisuje granice između kojih se vrijednosti napona i njegove promjene mogu tolerirati. Događaji iznad ili ispod krivulje ITIC uzrokuju pogreške opreme tijekom rada te učestalim događajima između krivulja dovodi do pregaranja odnosno kvarenja opreme. Primjer krivulje ITIC prikazan je na slici 2.4 [4].



Slika 2.4 Primjer krivulje ITIC [4]

Koordinacijski grafikon pada napona prema IEEE Sd.493 i 1346 prikazuje performanse napajanja za određeno mjesto u određenom razdoblju. Prednost je te metode u tome što se rad uređaja može izravno usporediti s performansama napajanja odnosno sustava. Nedostatak je te metode što je za opisivanje mjesta događaja potrebna dvodimenzionalna funkcija. Koordinacijski grafikon prikazan je na slici 2.5. Promotri li se grafikon, uočljivo je da postoji pet događaja tijekom godine kada napon padne ispod 40 % nazivnog napona za vrijeme od 0,1 s i dulje. Postoji pet događaja tijekom godine kod kojih napon padne ispod 70 % nazivnog napona i trajanja 250 ms [4].

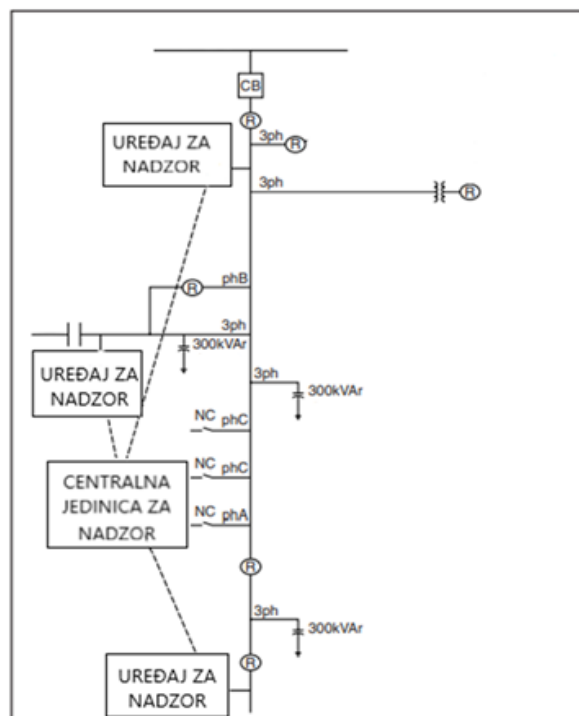


Slika 2.5 Primjer koordinacijskog grafikona [4]

4.3. Odabir mjesta za praćenje kvalitete

Da bi se mogli pratiti uvjeti na određenim lokacijama u sustavu, te da bi se razumjeli tokovi snaga u sustavu, bitna su mjesta gdje će se postaviti uređaji za mjerenje i pohranu podataka. Takva praćenja mogu biti skupa te postoje izazovi u upravljanju, prikazivanju i analiziranju podataka, ali problem se rješava tako da se mjeri s određenih strateški odabranih lokacija na kojima se dobivaju informacije o cjelokupnom sustavu. Stoga je vrlo važno da ta mjesta budu pažljivo odabrana na temelju ciljeva kojima se vodi mjerenje. Važan element pri određivanju mjesta uređaja za nadzor kvalitete električne energije je postavljanje uređaja što bliže opremi koja utječe na varijacije kvalitete električne energije odnosno kolebanje napona. Važno je da uređaj za praćenja kvalitete električne energije vidi iste varijacije kako i oprema koja je sama osjetljiva na promjene u kvaliteti. Ako se govori o prijelaznim procesima visoke frekvencije, tada veliko značenje ima razdvojenost između uređaja za praćenje kvalitete i osjetljive opreme [1].

Dobar je kompromisni pristup nadzora na niskonaponskoj strani trafostanice i na odabrane priključne lokacije potrošača. Trafostanica je važna jer predstavlja točku zajedničkog spajanja na mrežu. Ako dođe do kolebanja napona na pojnom vodu trafostanice, to će se odraziti na sve potrošače koje napaja ta trafostanica. Osjetljivost potrošača i lokacija na mreži određuju mjesta mjerenja kvalitete električne energije u mreži, što je prikazano na slici 3.1.



Slika 3.1 Prikaz nadzora kvalitete električne energije napojne mreže [1]

4.4. Opcije za trajni nadzor kvalitete električne energije

U nastavku se navode neka rješenja za nadzor kvalitete električne energije za cjelokupni sustav.

DRF(digitalni snimač grešaka) - predstavlja tehnologiju koja već postoji u trafostanicama. Prilikom izrade i dizajniranja uređaja DFR nije se promišljalo o tome da se koristi specifično za nadzor kvalitete električne energije nego, ukoliko je potrebno će se aktivirati i odvojiti dio mreže od ostatka mreže te će za taj događaj zabilježiti oblike napona i struja koji karakteriziraju taj događaj. To ih čini korisnima i vrijednima za karakterizaciju poremećaja kao što su padovi napona tijekom događaja u mreži. Uređaj DRF također je koristan za snimanje valnog oblika koji je u daljnjem analiziranju korišten za izračunavanje harmonijskog izobličenja.

Pametni releji i drugi uređaji IED. Mnoge vrste opreme u trafostanicama imaju mogućnost ugradnje inteligentnih elektroničkih uređaja (IED) s mogućnošću nadzora kvalitete. Proizvođači uređaja koji ionako nadziru struju dodaju mogućnost snimanja smetnji i čine informacije dostupnim za analizu i kontrolu kvalitete električne energije na centralnom uređaju. Ti se uređaji mogu nalaziti unutar opskrbne mreže i u trafostanicama.

Snimači napona. Davatelji usluga električne energije koriste se snimačima napona za nadzor kvalitete napona unutar distribucije. Snimači su sve sofisticiraniji te mogu prepoznati i okarakterizirati kolebanja napona pa čak i razinu harmonijskog izobličenja. Tipično, snimač napona „snima“ i prikazuje promjene za maksimalni, minimalni i srednji napon unutar nekog vremena uzorkovanja.

Uređaji za nadzor kvalitete snage u postrojenju. Uobičajeno je da sustavi nadzora u industriji imaju neke mogućnosti za nadzor kvalitete energije. Ti se uređaji uglavnom nalaze na ulazu u postrojenje koje nadziru, a neke su mogućnosti nadzora kvalitete: snimanje valnog oblika napona prilikom pada napona za procjenu harmonijskog izobličenja, kolebanje napona i snimanje valnih oblika naponskih propada. Kod tih uređaja nije neuobičajeno da imaju mogućnost praćenja tranzijentnih pojava.

Mjerači prihoda. Mjerači prihoda ionako prate napon i struju, pa im se slobodno može dodati zadatak praćenja isporučene snage. Gotovo svi proizvođači izrađuju uređaje s dodanom opcijom nadzora kvalitete koji se mogu naknadno spojiti u cjelokupni sustav zadužen za kvalitetu električne energije [1].

Novije tehnologije za praćenje kvalitete električne energije koriste se značajno kompliciranijim sustavima sa znatno većom rezolucijom praćenja pojava u mreži. Visoka rezolucija uzorkovanja znači mogućnost prikaza viših harmonika napona i struje.

4.5. Pronalaženje izvora smetnji

Prvi je korak u identificiranju izvora poremećaja korelacija valnog oblika s mogućim uzrocima. Nakon što je određena kategorija uzroka, identificiranje postaje jednostavnije. Praćenje sljedećih točaka pomoći će pri pronalasku uzroka problema.

- Kolebanja napona visoke frekvencije bit će ograničene i postojat će samo u blizini izvora smetnji. Niskonaponske instalacije (vodovi manji od 600 V) umanjit će visokofrekventne komponente vrlo brzo zbog otpora strujnog kruga. Stoga će uređaji za mjerenje kvalitete detektirati smetnje samo u blizini trošila koji proizvodi smetnje.
- Prekidi struje napajanja u blizini mjesta nadzora prouzročit će vrlo naglu promjenu napona. Prekidi struje udaljeni od mjesta nadzora rezultirat će padanjem napona zbog pohranjene energije u rotirajućim masama strojeva i kapaciteta u kondenzatorima.
- Najveće harmonijsko izobličenje napona pojavit će se blizu kondenzatora koji uzrokuju probleme s rezonancijom. U tom slučaju jedna će frekvencija dominirati nad spektrom kada se razlože frekvencije valnog oblika napona [1].

4.6. Uređaji za nadzor kvalitete električne energije

Iako postoje različiti instrumenti koji omogućuju mjerenje širokog spektra veličina i dalje se koriste instrumenti koji su zaduženi samo za jednu veličinu. Osnovne su kategorije tih uređaja:

- uređaji za ispitivanje ožičenja i uzemljenja
- multimetri
- osciloskopi
- analizatori smetnji
- harmonijski i analizatori spektra
- kombinirani analizatori smetnji i harmonika
- mjerači flikera
- uređaji za nadzor energije.

U nastavku su dana kratka objašnjenja o uređajima koji nisu u tolikoj mjeri popularni i široko korišteni.

Analizatori smetnji i poremećaja te uređaji za nadzor kvalitete čine kategoriju instrumenata koji su razvijeni posebno za provjeru, nadgledanje i analizu kvalitete električne energije. Oni mogu mjeriti veliki raspon poremećaja u sustavu: od vrlo kratkih prolaznih promjena napona do dugotrajnih ispada. Instrumenti imaju mogućnost postavljanja pragova te mogućnost samostalnog rada da bilježe smetnje tijekom određenog vremenskog razdoblja. U prošlosti su se te informacije bilježile na papirnatu vrpcu, a moderni uređaji imaju integriranu memoriju ili disk za spremanje podataka mjerenja. Jedan od modernijih uređaja proizvođača Fluke prikazan je na slici 3.1.



Slika 3.2 Prikaz mobilnog instrumenta za nadzor kvalitete PQ-Box 200

Postoje dvije kategorije tih uređaja:

1. Konvencionalni analizatori koji sažimaju događaje sa specifičnim informacijama kao što su vrijednosti podnapona i prenapona, padova napona, nagli porasti napona, te prijelazne pojave.
2. Grafički zasnovani analizatori koji spremaju i ispisuju stvarni valni oblik zajedno s opisom događaja koji bi zabilježio konvencionalni analizator. Određene karakteristike poremećaja ponekad je teško opisati konvencionalnim analizatorom, naprimjer - oscilatorni prijelazni proces ne može se učinkovito opisati maksimalnom vrijednosti i

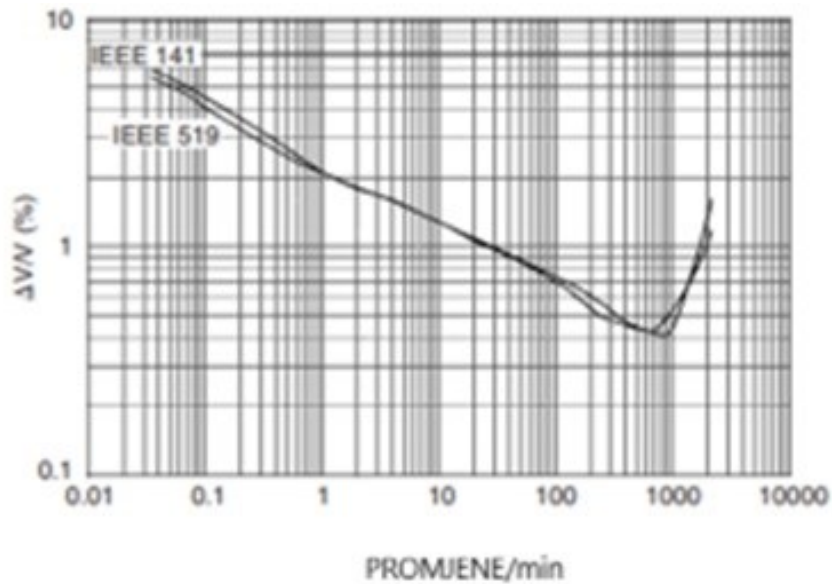
trajanjem poremećaja. Stoga je prioritet imati sposobnost pohranjivanja valnog oblika događaja u sustavu za detaljnu analizu problema kvalitete energije.

Instrumenti u kategoriji analizatora poremećaja imaju vrlo ograničenu sposobnost harmonijske analize. Neki od boljih analizatora imaju mogućnosti određivanja harmonika nižeg reda korištenjem brze Fourierove transformacije (FFT). Međutim, ako je cilj harmonijska analiza, tada su potrebni posebni instrumenti dizajnirani za tu radnju. Važne mogućnosti za harmonijsku analizu:

- sposobnost istovremenog mjerenja napona i struje da se dobile informacije o harmonijskom sadržaju
- sposobnost mjerenja veličine i faznog kuta pojedinog harmonika
- usklađenost i brzina uzorkovanja (treba biti na određenoj razini da bi se dobila točna mjerenja za harmonijsku analizu do najmanje 37. harmonika).

Ako se govori o kombinaciji instrumenata za harmonijsku analizu i analizatora poremećaja u sustavu, oni predstavljaju najnovije instrumente s funkcijom nadzora s potpunom mogućnošću praćenja poremećaja. Prikaz je grafički, konstruiran s podacima dobivenim s udaljenih mjesta putem telekomunikacijske mreže. Podaci su dostupni i omogućene su manipulacije u drugim programima kao što su naprimjer tablice.

Mjerači treperenja odnosno flikera predstavljaju uređaje koji koriste jednostavne mjerne instrumente RMS s ukomponiranom krivuljom treperenja (slika 3.3) te koji koriste točno ugođene filtre i statičku analizu za procjenu treperenja napona. Ako se govori o europskim zemljama, tada se koristi standard 61000-4-158.



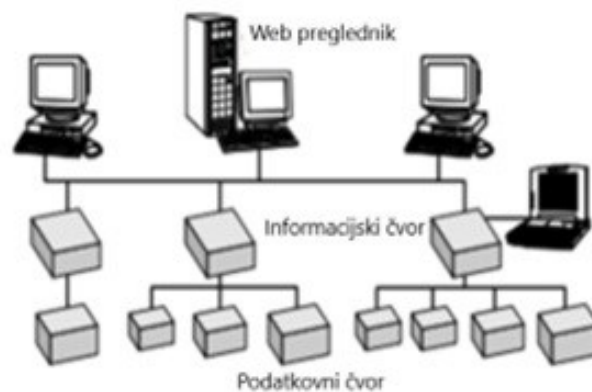
Slika 3.3 Krivulje IEEE standarda 141 i 519 [1]

Povijesno gledano, treperenje se mjerilo korištenjem RMS-metara, trajanjem ciklusa opterećenja i krivuljom treperenja. Ako dođe do iznenadnih efektivnih odstupanja napona s frekvencijom koja prelazi vrijednosti s krivulje prikazane na slici 3.3, tada je sustav osjetio flikere (treperenje). Noviji instrumenti, zbog složenosti kvalificiranja razina treperenja koji se temelje na ljudskoj percepciji, dosta su kompleksniji. Instrument demodulira signal treperenja te provodi statičku analizu prema krivuljama treperenja. Flikermetar se može ugrubo podijeliti na tri glavna dijela:

- Prvi dio predstavlja ulaz instrumenta u koji „ulazi“ vani oblik te se on demodulira, čime se uklanja signal nosioca. Kao rezultat rada demodulatora nastaje visokofrekventni pomak i visokofrekventni članovi.
- Drugi dio uklanja nepoželjne dijelove signala ostavljajući samo potrebni signal treperenja.
- Posljednji, odnosno treći dio instrumenta, zadužen je za statičke analize izmjenjenog treperenja.

Pametni uređaji za nadzor kvalitete električne energije objedinjuju prikupljanje, analizu i sposobnost lokalnog interpretiranja i određivanja što se događa u elektroenergetskom sustavu. Svi prethodno opisani instrumenti za mjerenje kvalitete električne energije dizajnirani su za prikupljanje podataka, neki mogu poslati podatke putem telekomunikacijske mreže do središnje lokacije za obradu. Trend kod novih uređaja predstavlja prijam podataka, pretvaranje tih podataka u korisnu informaciju i prikaz krajnjem korisniku dok se svi ti procesi događaju unutar

uređaja. Ti uređaji predstavljaju se kao pametni uređaji za nadzor kvalitete električne energije kod kojeg je dobiven signal sustava direktno preveden u informaciju potrebnu korisniku. Prednost koju je donijela nova tehnologija je korištenje interneta i povezivanje uređaja na velike udaljenosti u jednu centralnu jedinicu. Takav sustav dijeli se na podatkovne čvorove koji su spojeni na mrežu na ciljno planiranim lokacijama te s tih lokacija šalju podatke o trenutnim vrijednostima snage, napona, struje i drugim veličinama; ti podaci dolaze mrežom do informacijskih čvorova koji daju cjelokupnu funkcionalnost sustavu. Podatkovni čvorovi predstavljaju specijalne servere na koje se moguće spojiti putem interneta, odnosno osobnog računala i pristupiti podacima i raditi daljnja istraživanja s njima.



Slika 3.4 Arhitektura pametnog nadzora kvalitete električne energije [1]

5. PQube 3e UREĐAJ ZA NADZOR KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

PQube 3e predstavlja najčešći izbor uređaja za nadzor kvalitete električne energije od linije uređaja PQube proizvođača Powerside. U većini instalacija on je preprogramiran za obavljanje nadzora kvalitete te nije potrebno dodatno programiranje i mijenjanje nekih bitnih postavki (*plug and play*) [6]. Automatski prepoznaje frekvenciju mreže na koju je postavljen te ožičenje i nazivni napon. Na uređaj se može dovesti do 600 V nazivnog napona, izračunava 4-kanalni ANSI klasu 0.2 prihod, što bi značilo da razvrstava energiju na osam jednofaznih kanala i certificiran je za kvalitetu energije klase *A* prema IEC 61000-4-30 Ed3. Može zadržati podatke do tri godine i tisuće događaja u mreži na memorijskoj kartici koja ima 32 gigabajta. Značajna je karakteristika uređaja za nadzor kvalitete električne energije točnost vremena, odnosno da su takvi uređaji u sinkronizmu. Stoga svaki od uređaja posjeduje modul GPS kojim se povremeno moduli međusobno sinkroniziraju. Problem kod nesinkroniziranih uređaja je dobivanje lažnih informacija o događajima. Primjer: ako dođe do nekog događaja u mreži i to registrira prvi uređaj, drugi kojem se ne podudara vrijeme također će registrirati promjenu, ali s pogrešnim vremenom. Kada se pregleda zabilježeno vrijeme s jednog i drugog uređaja, bit će prikazana dva događaja što je pogrešno.

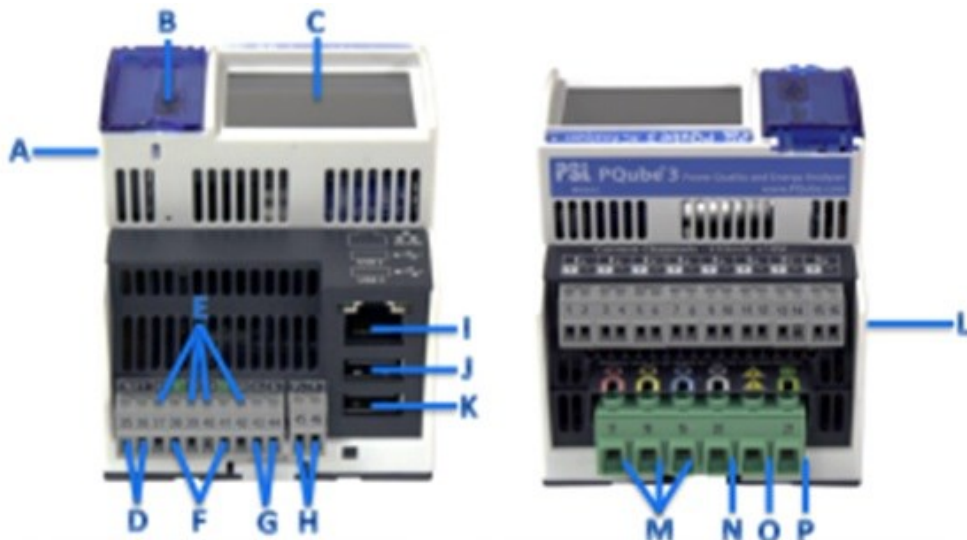


Slika 4.1 PQube 3e [2]

U odnosu na PQube 3, kao osnovni model, PQube 3e može nadzirati do četiri trofazna trošila, dok PQube 3 može pratiti do dva trofazna trošila. Sve ostale karakteristike poput unutarnje memorije, dimenzija su iste za oba uređaja. Tablicom 4.1 prikazane su tehničke karakteristike uređaja, dok su tablicom 4.2 prikazani ulazi PQube uređaja.

Tablica 4.1 Tehničke karakteristike PQube uređaja

Svaki Pqube ima:
Tri AC- kanala
osam strujnih kanala
četiri analogna kanala za dodatna mjerenja
jedan digitalni kanal
relej za obavještanje PLC-a da se dogodio događaj
10/100 ethernet ulaz
USB 2.0 velike brzine
dva USB-a 2.0 standardne brzine
zaslon u boji osjetljiv na dodir
32 GB interne memorije
jednu memorijsku karticu s 16 GB memorije



Slika 4.2 Ulazi PQube 3e uređaja [2]

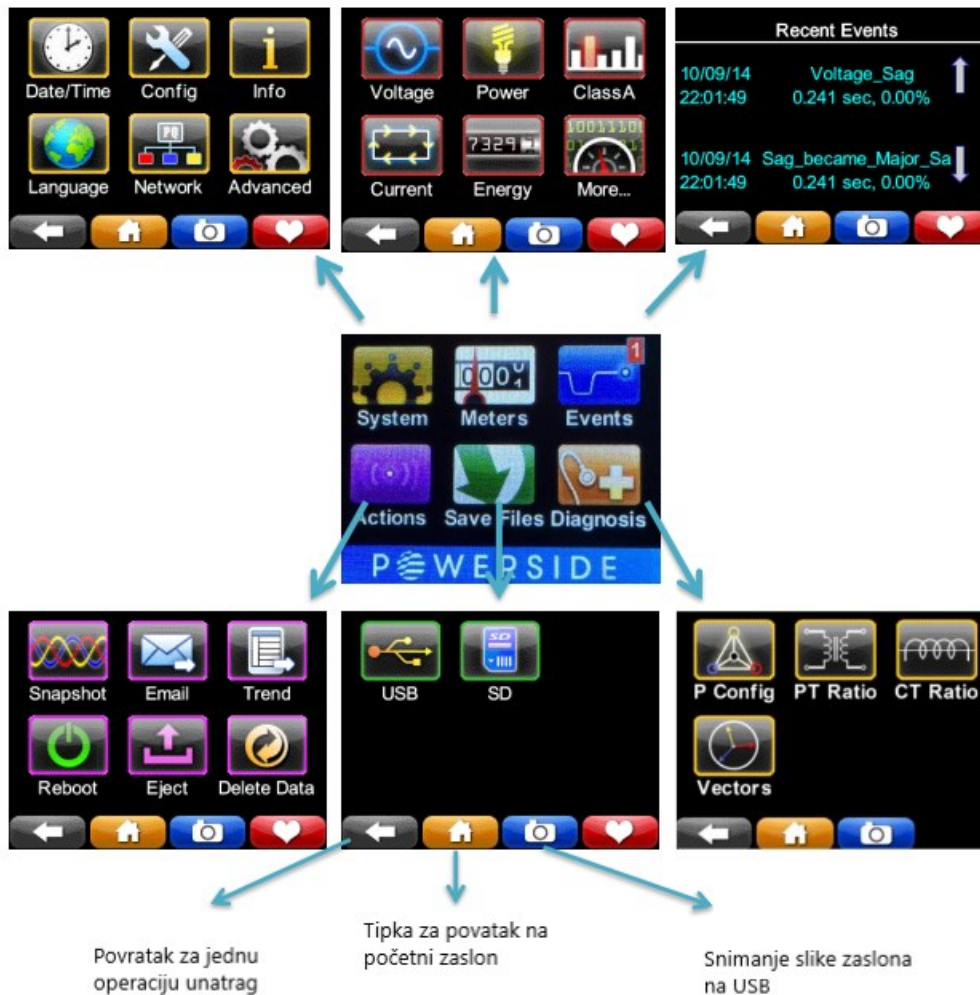
Tablica 4.2 Ulazi PQube 3e uređaja

Ulazi PQube 3e uređaja	
A	Baterija - koristi se za napajanje ukoliko dođe do prekida napajanja
B	USB-1 2.0 velike brzine
C	Zaslona osjetljiv na dodir
D	Izlazi za signalni relej
E	Analogni ulazi
F	Uzemljenje- koristi se kao referentna točka kod analognih ulaza
G	Digitalni ulaz
H	Napajanje
I	RJ-45 ulaz
J	USB-2 1.0 korišten samo sa ENV2 sondama
K	USB-3 1.0 korišten samo sa ENV2 sondama
L	Ulaz strujnog transformatora
M	L1, L2, L3 ulazi
N	Neutralni ulaz
O	/
P	Uzemljenje- koristi se kao referentna točka kod mjerenja napona

PQube uređaj u ormarić se ugrađuje na standardnu šinu DIN, te instalaciju treba izvesti osoba kvalificirana za to. Prilikom ugradnje uređaja PQube, potrebno je na ulaz napajanja dodati nadstrujnu zaštitu, ali ako već postoji strujna zaštita unutar ormarića za ostala trošila, tada ta zaštita može služiti i za zaštitu uređaja PQube. Dodatno mora biti postavljen prekidač koji je jasno označen da služi za isključivanje uređaja s mreže.

5.1. Rukovanje uređajem PQube 3e

Uređajem PQube upravlja se putem zaslona osjetljivog na dodir, koji se nalazi s prednje strane uređaja, a predstavlja prednost kod jednostavnijih operacija i dobivanja informacija jer nije potrebno osobno računalo za prikaz mjerenja.



Slika 4.3 Prikaz izbornika uređaja PQube 3e [2]

U tablici 4.3 objašnjene su osnovne radnje koje je moguće pokrenuti sa zaslona uređaja PQube 3e iz izbornika radnje (*Actions*). Mogućnost pohrane mjerenja jako je bitna pa iz tog razloga PQube ima mogućnost spremanja mjerenja na USB, memorijsku karticu ili na svoju unutarnju memoriju.

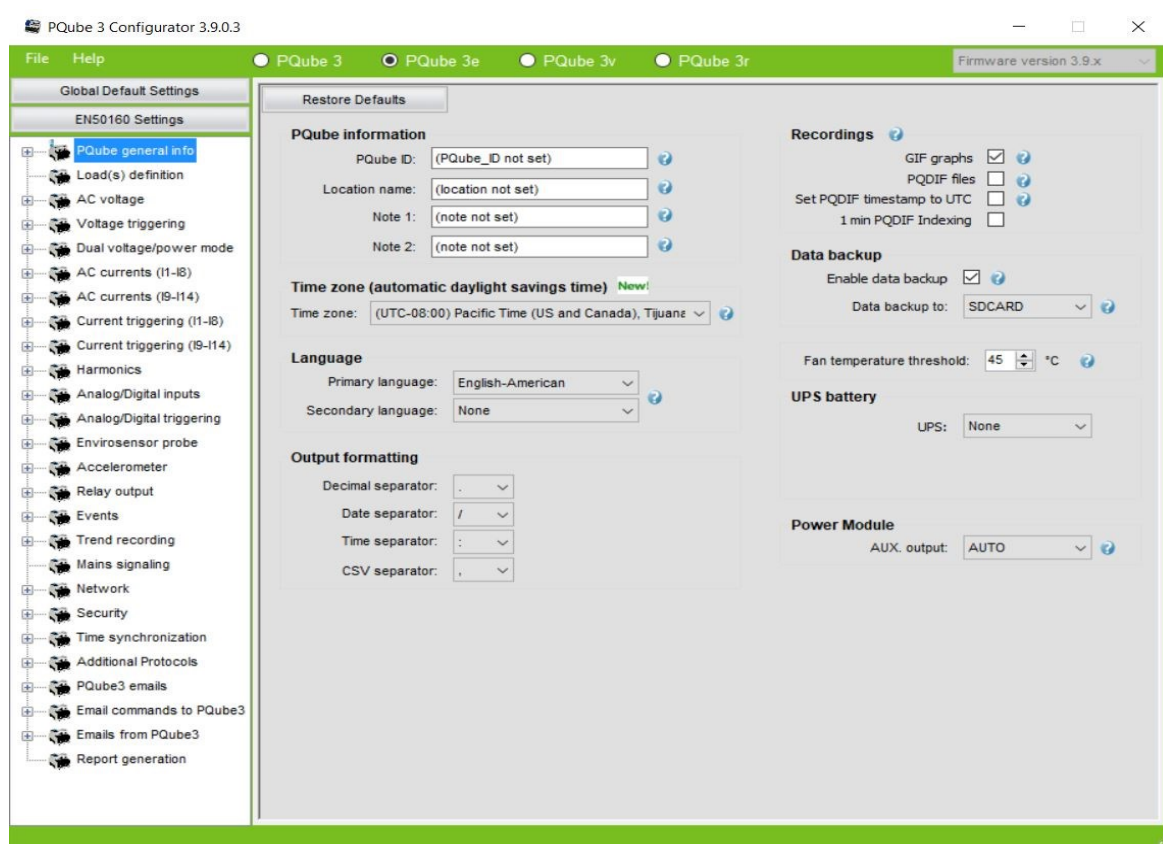
Tablica 5.3 Radnje na uređaju PQube 3e

Simbol radnje	Objašnjenje radnji
	<p>Snimanje slike zaslona, odnosno snimke mjerenog valnog oblika.</p>
	<p>Slanje probne e-mail poruke.</p>
	<p>Praćenje trenda od ponoći do vremena kada je pokrenuta operacija, a to se praćenje trenda ponavlja svakog dana.</p>
	<p>Ponovno pokretanje uređaja.</p>
	<p>Izbacivanje USB-a ili memorijske kartice.</p>
	<p>Brisanje svih događaja i trendova s uređaja.</p>

5.2. PQube program za konfiguraciju uređaja

PQube koristi se računalnim programom PQube 3 Configurator kojim se preprogramira uređaj. Verzija programa korištena za mjerenja je 3.9.0.3. Specifičnost PQube uređaja je što tijekom rada uređaj ima mogućnosti pohranjivanja mjerenja i pregled trenutnih vrijednosti mjerenih veličina, dok podešavanja mjerenja su moguća koristeći se samo programom PQube Configurator.

Prije korištenja PQube uređaja potrebno je uređaj pretkonfigurirati, što bi značilo da sve granice parametra napona i struje je potrebno podesiti prema predviđenim vrijednostima. Datoteka koja se dobije konfiguratorom prebacuje se na USB. Sa USB-a putem USB utora na uređaju prebacuje se datoteka, te je tada uređaj pretprogramiran i spreman za rad. Uređaj od tog trenutka kreće bilježiti i spremati podatke mjerenja u svoju internu memoriju. Mjerenja koja se preuzimaju s uređaja mogu biti dnevna, tjedna, ili mjesečna u obliku mape u kojoj se nalaze dijagrami i sažeci mjerenja u gif slikovnom obliku. Slikom 4.4 prikazana je početna stranica konfiguratora gdje se u gornjem retku odabire model uređaja, dok se u lijevom dijelu nalaze grupe podešavanja uređaja.

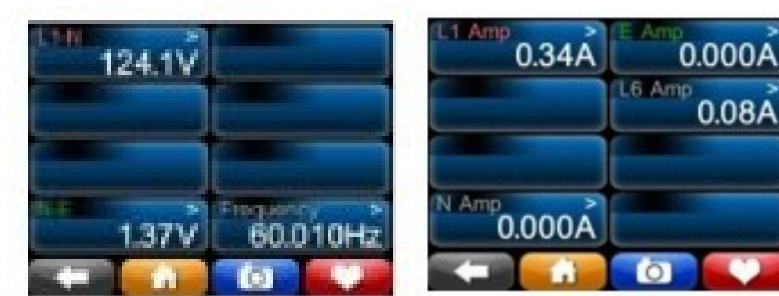


Slika 5.4 PQube 3 konfigurator

5.3. Mjerenje električnih veličina

Što se tiče napona, uređaj mjeri RMS-vrijednosti napona, i to linijski, fazni i između neutralnog voda i zemlje. Različiti prikazi mjerenja bit će prikazani na ekranu, a to ovisi o konfiguraciji. Primjer: ako se govori o trokut-spoju, tada neće postojati L-N mjerenje napona jer ne postoji neutralni vod u toj konfiguraciji.

PQlog 3e prikazuje RMS vrijednost struje. Omogućeno je računalno postavljanje prijenosnog omjera pri čemu je omogućeno prikazivanje vrijednosti struje u kiloamperskom pa čak i u megaamperskom području. Na zaslonu će se prikazati različita mjerenja koja ovise o vrsti spoja isto kao kod mjerenja napona, što je prikazano na slici 4.5.



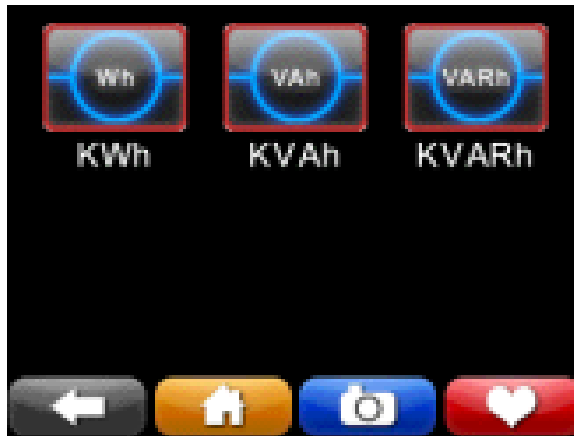
Slika 4.5 Prikaz vrijednosti napona, frekvencije i struje na zaslonu [2]

Na slici 4.6 prikazan je zaslon s izbornikom mjerenja snaga i vršnih vrijednosti. Uređajem PQlog omogućeno je mjerenje i snimanje radne, jalove, prividne snage i faktora snage. Za svaku fazu omogućeno je mjerenje snage u istom vremenu te se prikazuje i suma trenutnih snaga tijekom mjerenja. Dodatna je mogućnost snimanje maksimalne vrijednosti snage na trošilu u watima (W) ili varima.



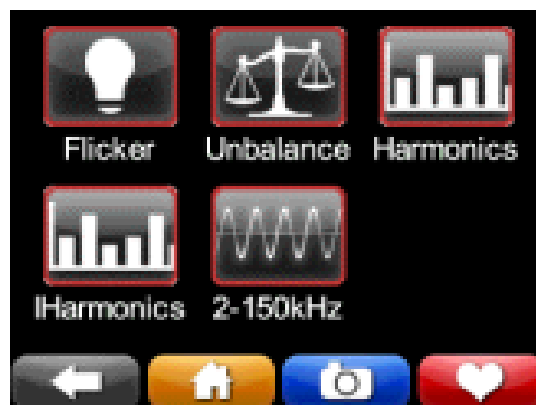
Slika 4.6 izbornik mjerenja snage i vršnih vrijednosti [2]

Uređaj PQlog 3e ima mogućnost praćenja potrošnje električne energije. Za svaku fazu moguće je mjeriti potrošnju energije te omogućava prikaz zbroja ukupne energije za sve tri faze. Omogućen je prikaz prividne, ukupne i reaktivne energije, što je prikazano na slici 4.7.



Slika 4.7 Izbornik mjerenja energije [2]

Na slici 4.8 pokazani su pokazatelji kvalitete električne energije, a to su filkeri (treperenje), nesimetričnost, harmonici, međuharmonici i mjerenje frekvencije.



Slika 4.8 Parametri kvaliteti električne energije [2].

Što se tiče flikera, uređaj ih prikazuje prema standardu IEC 61000-4-13. Sa slike 4.8 lijevo oznakom P_{inst} na zaslonu prikazana je trenutna vrijednost flikera u prvoj fazi; oznakom P_{st} prikazana je kratkotrajna vrijednost fikera. Kratkotrajna vrijednost flikera prikazuje usrednjenu 10-minutnu vrijednost. Oznakom P_{lt} prikazuje se mjerenje dugotrajnih vrijednosti flikera odnosno treperenja. Dugotrajno treperenje računa se na temelju 12 uzastopnih P_{st} prema sljedećoj jednadžbi:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad [3]. \quad (2)$$

Nesimetrija je prikazana u postocima te se na zaslonu prikazuje strujna i naponska nesimetrija po fazama. PQube ima mogućnost prikaza nesimetrije prema ANSI C84.1 metodi, IEC ili GB metodi.

Na zaslonu se mogu prikazati harmonici do pedesetog reda napona i struje, ali moguće je prikazati samo vrijednosti jednog harmonika tijekom mjerenja. Na slici 4.9 prikazan je peti harmonik te njegove vrijednosti napona i struje po fazama. Međuharmonici mogu biti prikazani također do pedesetog harmonika te sve operacije kod međuharmonika mogu biti prikazane kao kod harmonika.



Slika 4.9 Prikaz flikera, nesimetrije i harmonika [2]

Ova vrsta instrumenta unutar uređaja PQube prikazuje visokofrekventne smetnje - supraharmonike koje uglavnom utiskuju pretvarači kod solarnih elektrana te tako daje informaciju o kvaliteti električne energije, što je prikazano slikom 4.10.



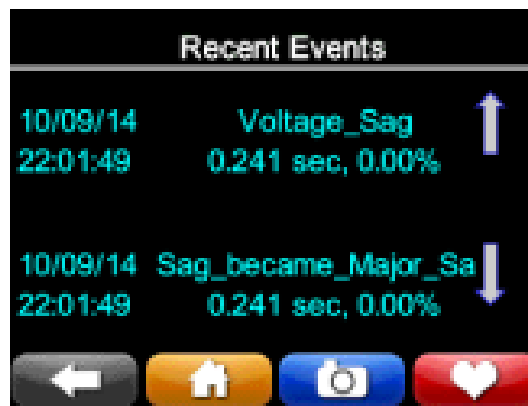
Slika 4.10 Mjerenje emisije smetnji [2]

Korištenjem analognih kanala prikazuje se RMS-vrijednost napona kao i kod DC-ulaza. Ono što dodatno ima uređaj Pqube, to je mogućnost mjerenja temperature, vlažnosti zraka i tlaka zraka, što je prikazano slikom 4.11. Digitalni ulaz DIG1 prikazuje srednju vrijednost tijekom jednog perioda, a koristi se kada dolazi do brzih promjena u signalu.



Slika 4.11 Dodatni instrumenti unutar uređaja [2]

Na slici 4.12 predočena je mogućnost prikaza do 10 posljednjih događaja u mreži na koju je uređaj spojen. Za svaki od događaja dobiva se vrijeme, datum, amplituda i trajanje. Strelicama s desne strane navigira se kroz događaje.



Slika 4.12 prikaz nedavnih događaja [2]

Tablicama 4.3 i 4.4 prikazani su parametri napona, struje i vremena te njihove vrijednosti prikazane kao prosječne, minimalne i maksimalne vrijednosti koje uređaj PQube može mjeriti i zabilježiti za daljnju analizu.

Tablica 4.4 Pokazatelji napona

PARAMETRI NAPONA	VRIJEME								
	10 s	1 min			10 min			2 sata	
	Srednja vrijednost	Srednja vrijednost	min.	max.	prosjek	min.	max.	prosjek	max.
Efektivna vrijednost - sve 3 faze		X	X	X	X	X	X	X	
Efektivna vrijednost - između faze i nule, i faze i faze		X	X	X					
Efektivna vrijednost - između faze i zemlje		X	X	X					
Frekvencija	X	X	X	X	X				
Flikeri Pinst		X			X				
Flikeri Pst		X			X				
Flikeri Plt		X			X				X
NegSeq nesimetrija		X	X	X	X				
ZeroSeq nesimetrija		X	X	X	X				
Ukupno harmonijsko izobličenje		X	X	X					
Prvi harmonik					X		X		X
Drugi harmonik					X		X		X
Pedeseti harmonik					X		X		X
Prvi međuharmonik							X		
Drugi međuharmonik...							X		
...							X		
...Četrdesetdeveti međuharmonik					X		X		

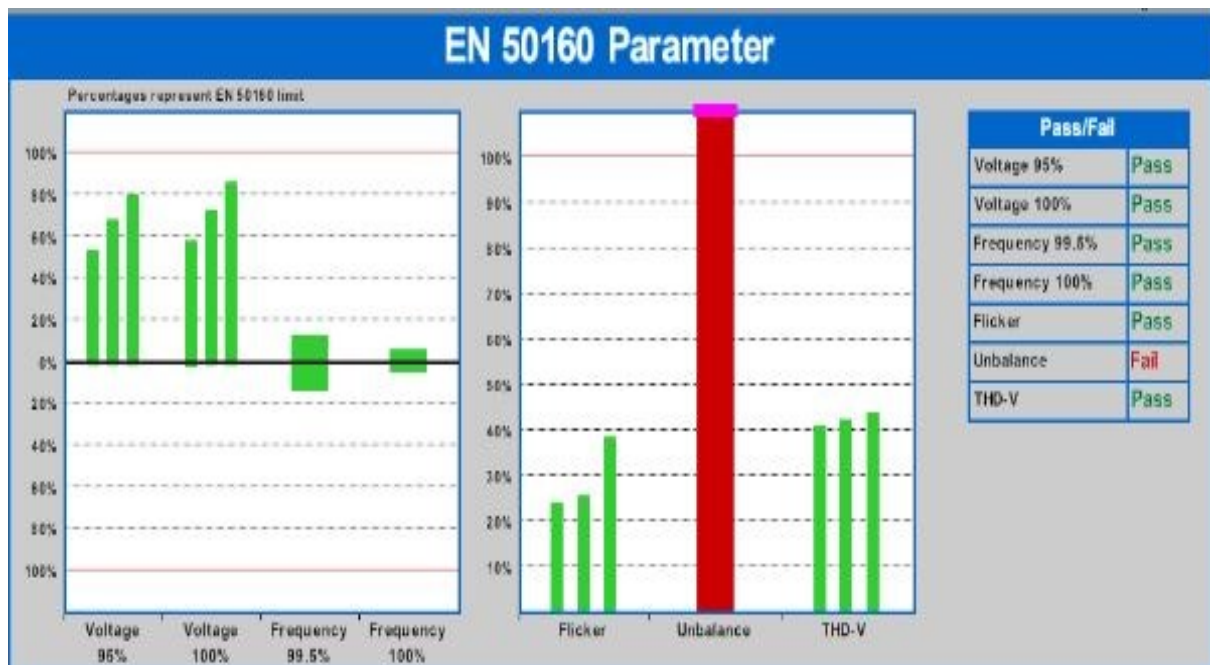
Tablica 4.5 Pokazatelji struje

PARAMETRI STRUJE	VRIJEME								
	10 s	1 min			10 min			2 sata	
	Srednja vrijednost	Srednja vrijednost	min.	max.	prosjek	min.	max.	prosjek	max.
Efektivna vrijednost - sve 3 faze		X	X	X	X			X	
Efektivna vrijednost - između faze i nule i faze i faze		X	X	X					
Efektivna vrijednost - između faze i zemlje		X	X	X					
Frekvencija		X	X	X					
Flikeri Pinst		X	X	X					
Flikeri Pst		X	X	X					
Flikeri Plt		X	X	X					
NegSeq nesimetrija		X	X	X	X			X	
ZeroSeq nesimetrija		X	X	X	X			X	
Ukupno harmonijsko izobličenje		X	X	X	X			X	
Prvi harmonik		X			X		X	X	
Drugi harmonik		X			X		X	X	
Pedeseti harmonik		X			X		X	X	
Prvi međuharmonik		X			X		X	X	
Drugi međuharmonik...		X			X		X	X	
...		X			X		X	X	
...Četrdesetdeveti međuharmonik		X			X		X	X	

6. ANALIZA MJERENJA

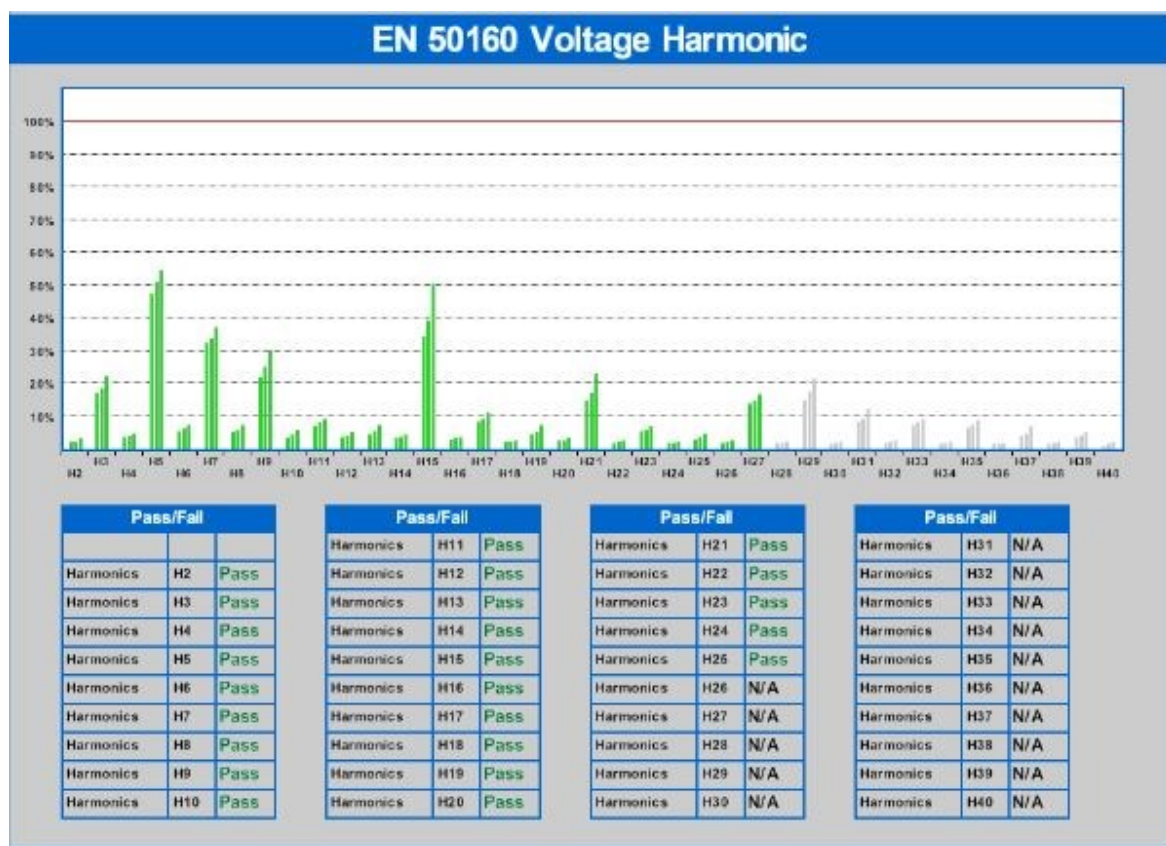
Za mjerenje, pohranu i analizu podataka korišten je analizator kvalitete električne energije PQube 3e. Karakterizira ga brza ugradnja i laka upotreba. Dobivene rezultate moguće je vidjeti direktno s uređaja, pomoću ugrađenog ekrana osjetljivog na dodir, kojim se upravlja kroz izbornike uređaja. Postoji nekoliko načina kako da se podaci pošalju s uređaja: putem maila, prebacivanjem podataka na USB, putem USB ulaza koji se nalazi na uređaju ili putem MicroSD ulaza. Preuzimanjem podataka s PQube uređaja na USB, dobiva se mapa u kojoj se nalaze podaci događaja i parametara napona, koje je uređaj snimio u mreži na koju je spojen. Prikazana analiza mjerenja odnosi se na vrijeme od 00:00, 11.7.2022 do 23:59, 17.7.2022., a uređaj PQube 3e je postavljen u razvodni ormar SE1 koji se nalazi na trećem katu zgrade fakulteta, te mjeri napone i struje za tri fotonaponske elektrane, pri čemu su rezultati mjerenja odrađeni za 20kW fotonaponsku elektranu.

Prema sumiranim pokazateljima kvalitete sa slike 5.1, nesimetrija napona je prekoračila normu EN 50160. Uzrok nesimetrije je pogreška prilikom montaže odnosno spajanja mjernog uređaja. Naknadnom analizom je utvrđeno da je redosljed faza naponskih sondi u lijevom, umjesto u desnom okretnom polju. Ostali pokazatelji napona: frekvencija, flikeri, THD i naponska razina su u granicama norme.



Slika 6.1 Sumarni pokazatelji kvalitete prema normi EN 50160

Slikom 5.2 prikazan je sumarni prikaz harmonika za gledano razdoblje u trajanju od tjedan dana. Svi harmonici su u granicama norme EN 50150. Najveće vrijednosti postižu harmonici 3., 5., 7., 9., 21. i 27. harmonik.



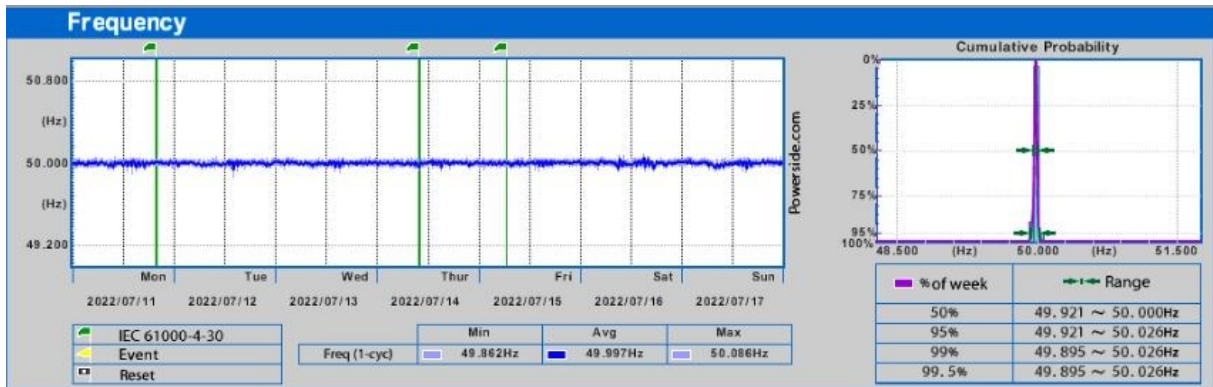
Slika 6.2 Sumarni prikaz harmonika

Minimalna vrijednost THD-V iznosi 1,57 %, srednja vrijednost iznosi 2,62 %, a maksimalna vrijednost iznosi 3,91 %, što je prikazano na dijagramu sa slike 5.3 THD-V je u skladu s normom EN 50160.



Slika 5.3 Dijagram THD-V

Slikom 5.4 prikazana je oscilacija vrijednosti frekvencije u mjernom tjednu. Minimalna vrijednost frekvencije unutar mjerenog vremena iznosi 49,862 Hz, srednja vrijednost iznosi 49,997 Hz, a maksimalna vrijednost iznosi 50,086 Hz. Vrijednost frekvencije je u skladu s normom EN 50160.

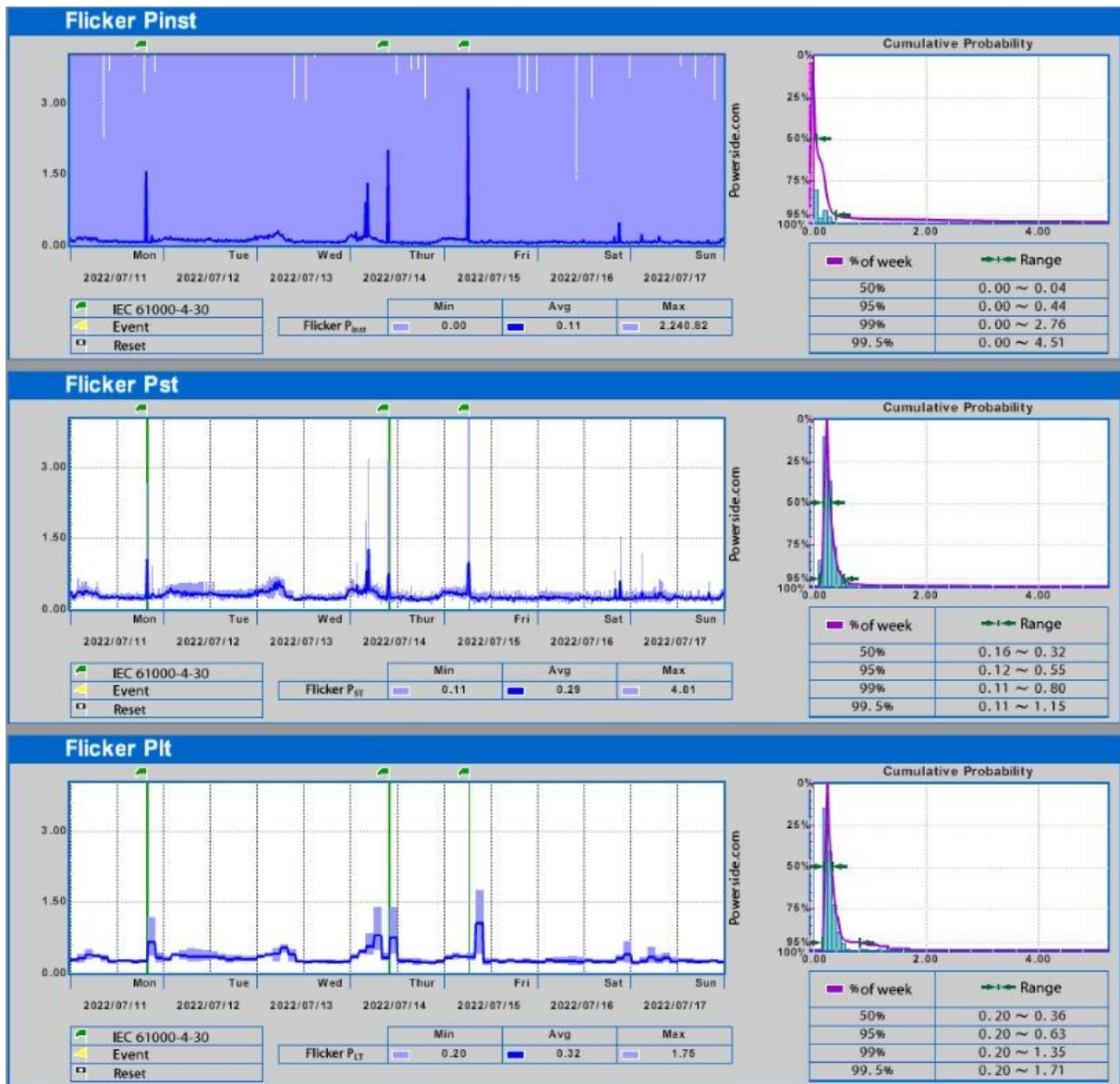


Slika 6.4 Dijagram frekvencije

Na slici 5.5 prikazani su dijagrami trenutni P_{inst} , kratkotrajni P_{st} i dugotrajni flikeri P_{lt} koje je zabilježio uređaj za nadzor kvalitete električne energije PQube 3e. Flikeri kao parametar kvalitete napona su u skladu s normom EN 50160. Tablicom 5.1 prikazan je: minimum, prosjek i maksimum vrijednosti: trenutnih, kratkotrajnih i dugotrajnih flikera.

Tablica 6.1 Sumarni prikaz flikera

Flikeri			
Vrijednost	Trenutni P_{inst}	Kratkotrajni P_{st}	Dugotrajni P_{lt}
Minimum	0	0,11	0,20
Prosjek	0,11	0,29	0,32
Maksimum	2240,82	4,01	1,75

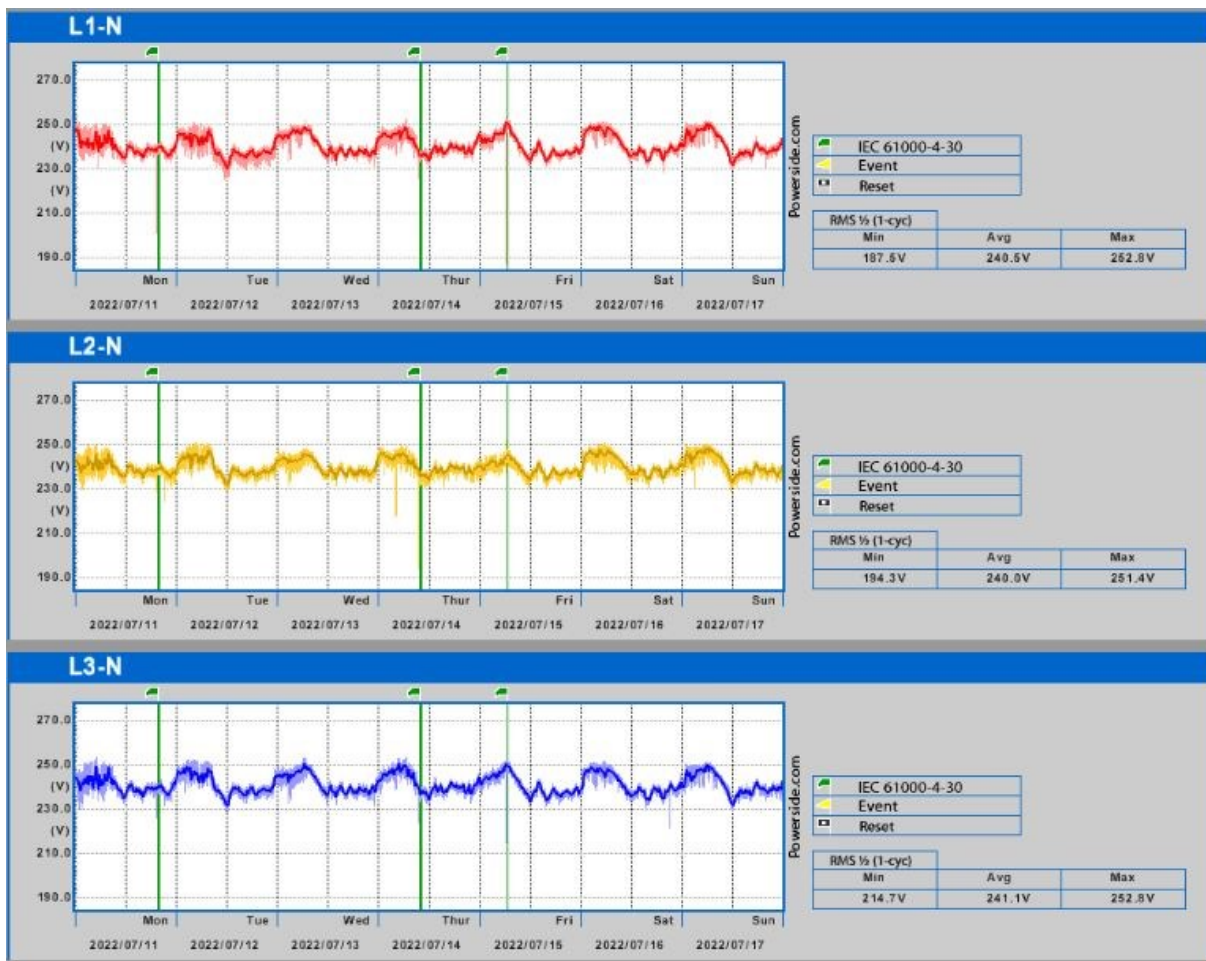


Slika 5.5 Dijagrami flikera

Slikom 5.6 prikazane su vrijednosti faznih napona kroz razdoblje mjerenja od tjedan dana. S dijagrama se uočava povećanje napona tijekom dana na sve tri faze. Uzrok tomu je proizvodnja električne energije fotonaponskom eletranom koja se nalazi na zgradi fakulteta. Vrijednosti napona su u skladu s normom EN 50160. Tablicom 5.2 prikazane su fazne vrijednosti napona.

Tablica 6.2 Sumarni prikaz faznih napona

Fazni naponi			
Vrijednost	L1-N	L2-N	L3-N
Minimum [V]	187,5	194,3	214,7
Prosjek [V]	240,5	240,0	241,1
Maksimum [V]	252,8	251,4	252,5

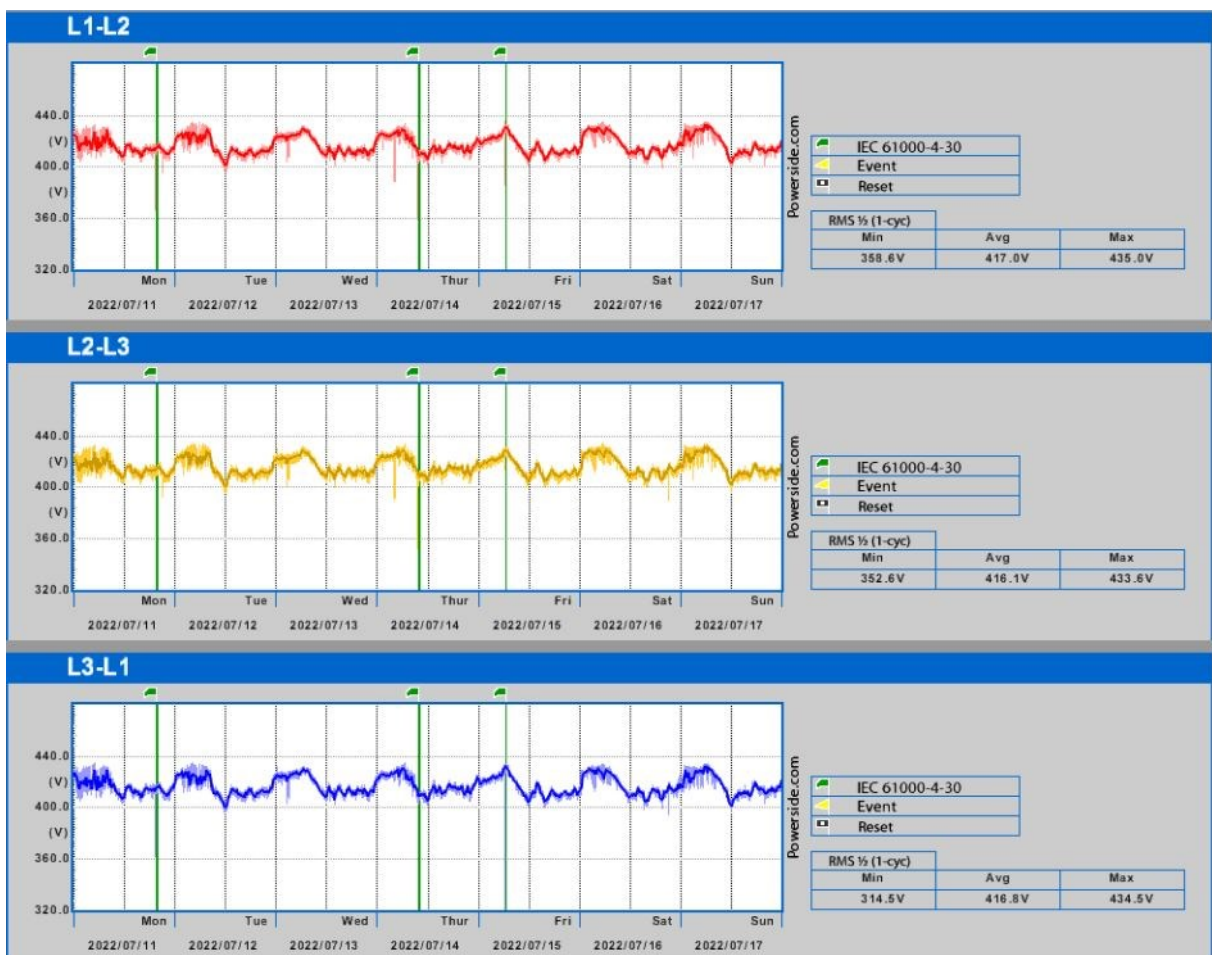


Slika 5.6 Dijagram vrijednosti faznih napona

Slikom 5.7 prikazani su dijagrami vrijednosti linijskih napona tokom tjedna. Kao i kod faznih napona uočljivo je povećanje napona tijekom sunčanih sati svakog dana, kojeg uzrokuje proizvodnja električne energije fotonaponske elektrane na zgradi fakulteta. Vrijednosti napona su u skladu s normom EN 50160. Tablicom 5.3 prikazani su: minimum, prosjek i maksimum vrijednosti za svaki linijski napon.

Tablica 6.3 Sumarni prikaz linijskih napona

Linijski naponi			
Vrijednost	L1-L2	L2-L2	L3-L1
Minimum [V]	358,6	352,6	315,4
Prosjek [V]	417,0	416,1	416,8
Maksimum [V]	435,0	433,6	434,5

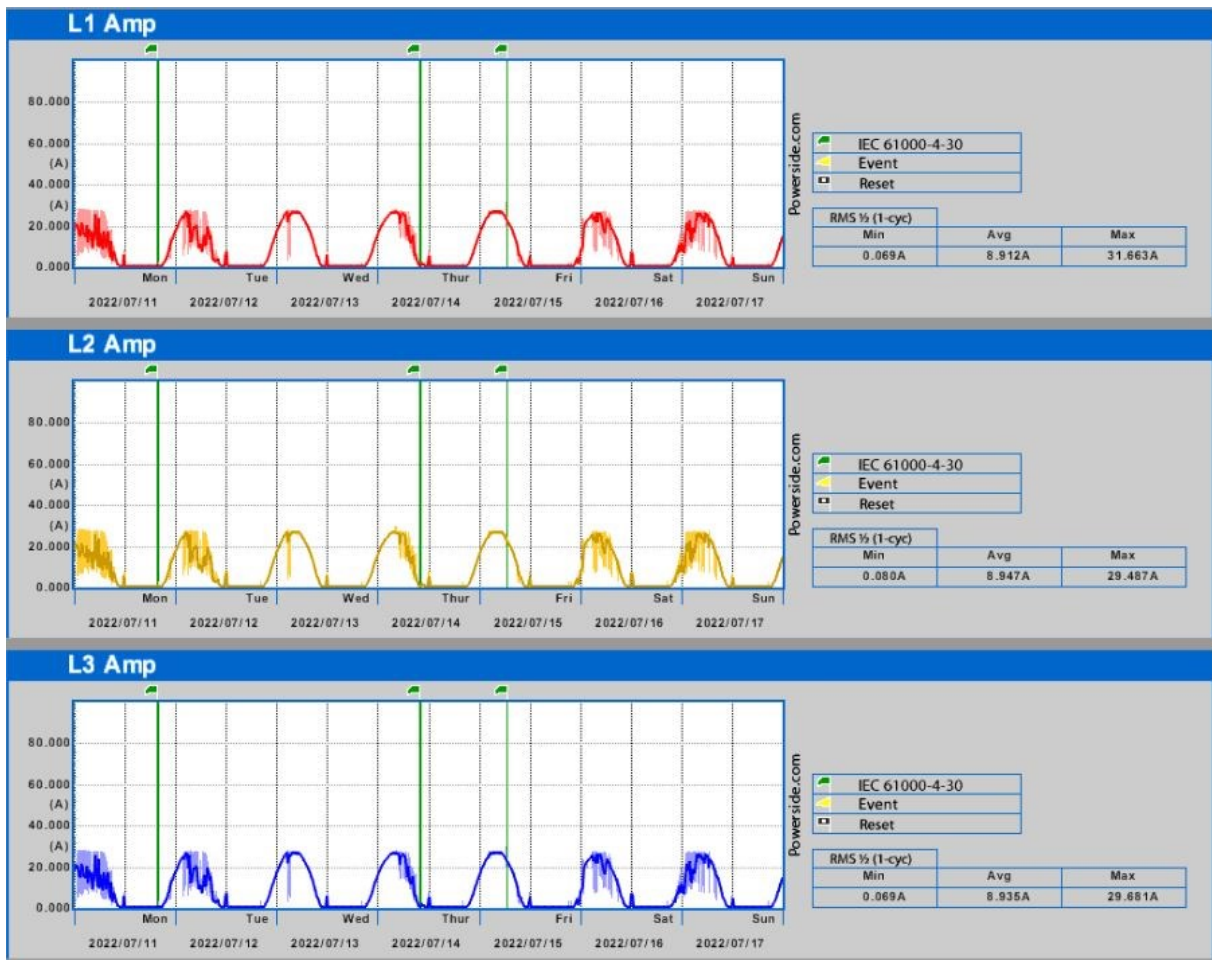


Slika 5.7 Dijagram vrijednosti linijskih napona

Prema dijagramu sa slike 5.8 primjetno je da struja prati proizvodnju fotonaponske elektrane. Uređaj PQube 3e ima mogućnost praćenja do 14 strujnih krugova, pri čemu na slici 5.9 prikazane su fazne struje fotonaponske elektrane nazivne snage 20 kW. Tablicom 5.4 prikazani su: minimum, prosjek i maksimum vrijednosti struja.

Tablica 6.4 Sumarni prikaz struja

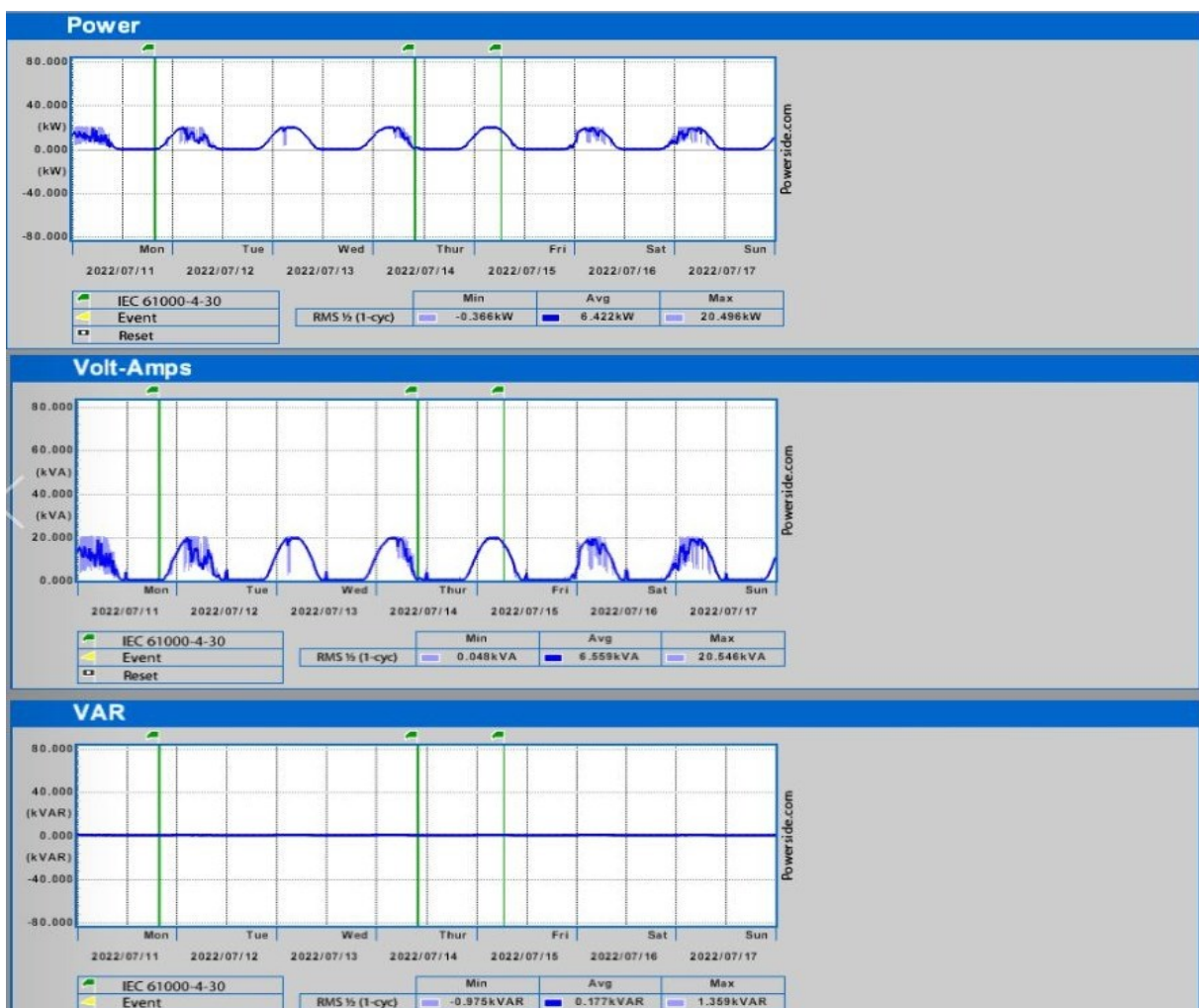
Struja			
Vrijednost	L1 Amp	L2 Amp	L3 Amp
Minimum [A]	0,069	0,080	0,069
Prosjek [A]	8,921	8,947	8,935
Maksimum [A]	31,663	29,487	29,651



Slika 6.8 Dijagram struje

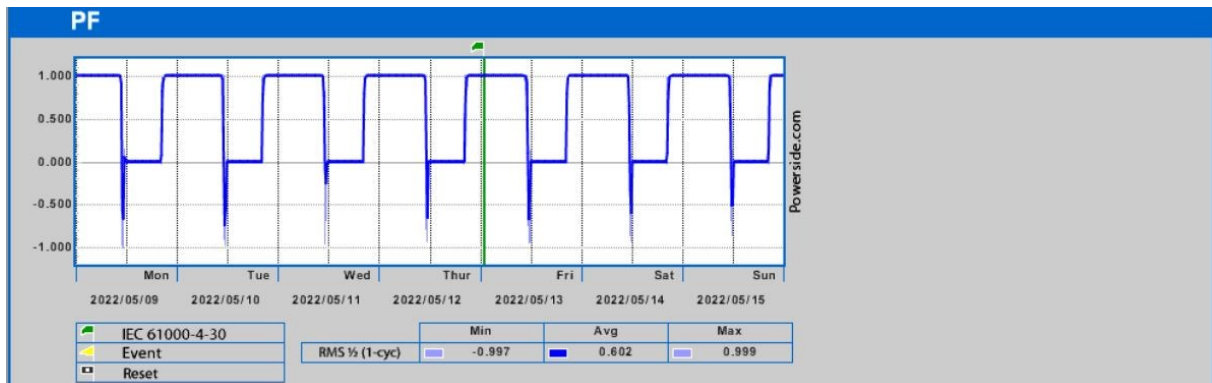
Snaga unutar promatranog strujnog kruga prati proizvodnju električne energije iz solarne elektrane koja se nalazi na zgradi fakulteta. Slikom 5.9 prikazani su dijagrami: radne, prividne i jalove snage. Tablicom 5.5 prikazane su: radna, prividna i jalova snaga, te njihove sumarne vrijednosti. Tablica 6.5 Sumarne vrijednosti snaga

Tip snage	Minimum	Prosjek	Maksimum
Radna [kW]	-0,366	6,422	20,496
Prividna [kVA]	0,048	6,559	20,545
Jalova [kVAR]	-0,975	0,177	1,359



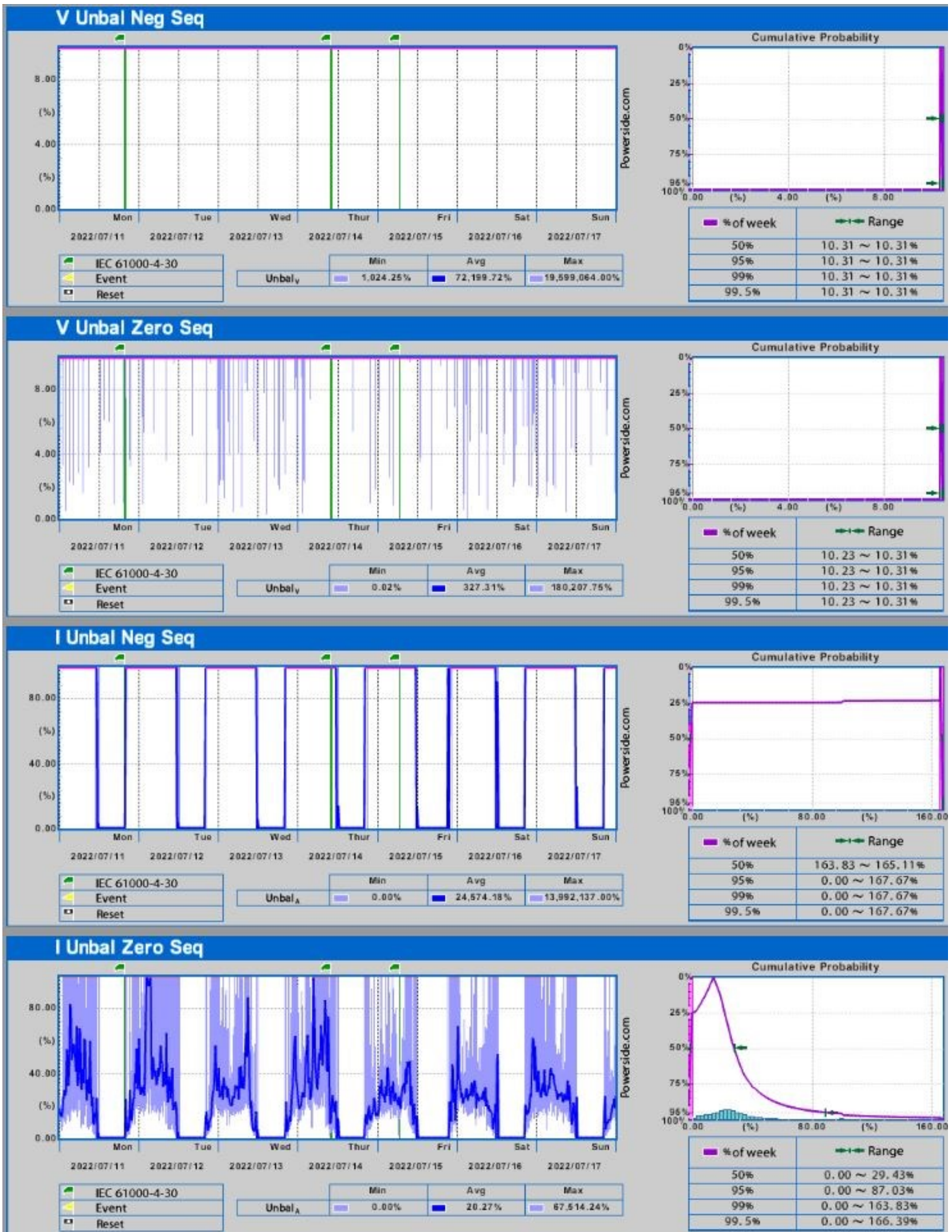
Slika 6.9 Dijagrami radne, prividne i jalove snage

Faktor snage se kreće po fazama od minimalne vrijednosti -0,997, do maksimalne vrijednosti 0,999, dok je srednja vrijednost 0,602, što je prikazano na slici 5.11.



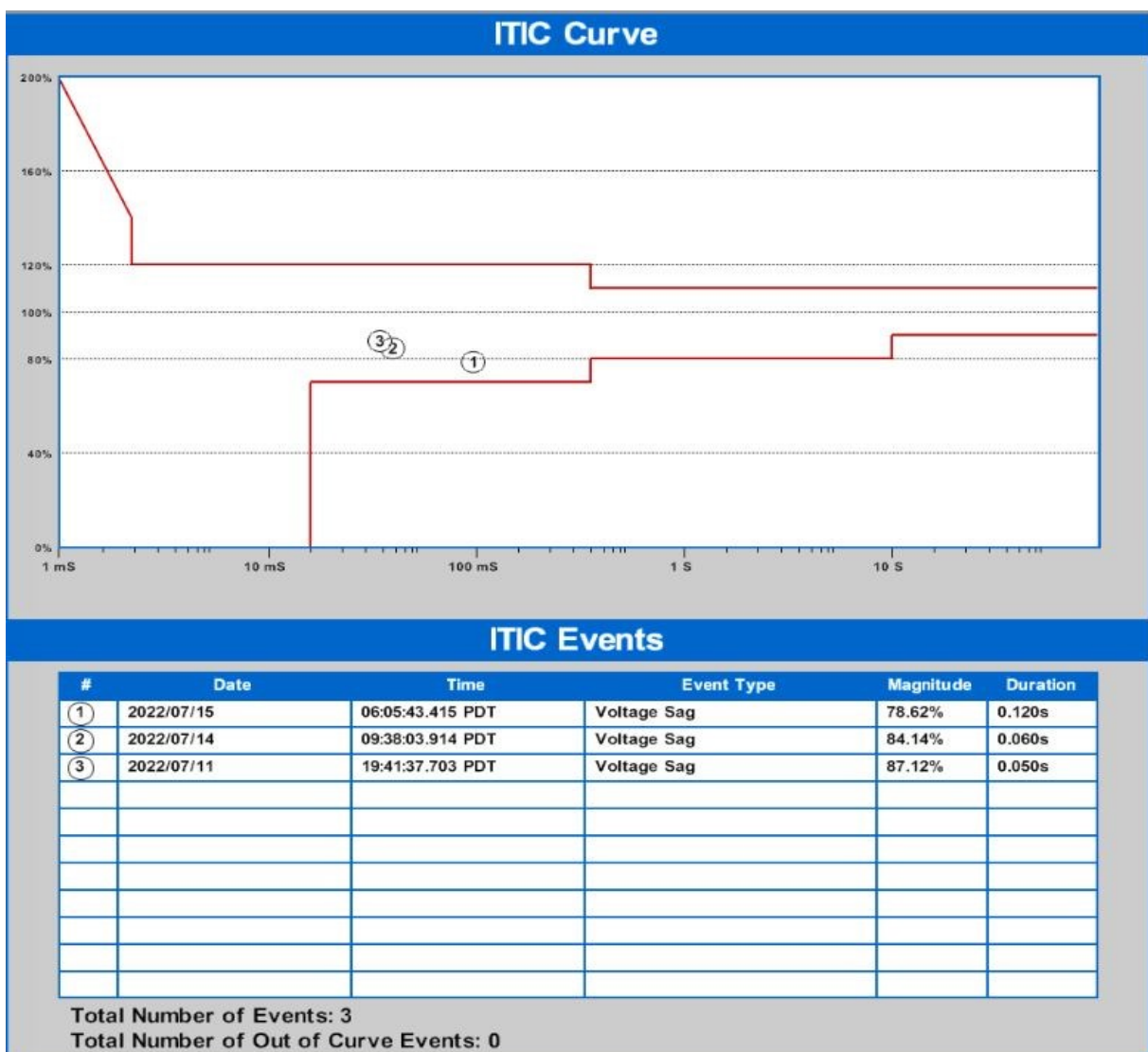
Slika 5.10 Dijagram faktora snage ($\cos \varphi$)

Prema rezultatima mjerenja, nesimetrija napona nije u granicama norme EN 50160 <2 % što je prikazano na slici 5.11. Međutim, kako je ranije već objašnjeno, stvarna nesimetrija je unutar graničnih vrijednosti norme EN 50160, a uzrok previsokih vrijednosti je pogreška prilikom montaže (spajanja) mjernog uređaja, odnosno krivi redoslijed faznih napona.



Slika 5.11 Dijagrami nesimetrije napona i struje

ITIC krivulja opisuje toleranciju računalne opreme, kao što su: računala, serveri, uređaji za automatsko upravljanje i telekomunikacijsku opremu, prema naponskim prekidima, prenaponima i naponskim propadima. Ukoliko se događaji nalaze ispod donje krivulje, dolazi do moguće netočne naredbe u uređajima, isključivanje ili gubitak podataka, a ako se događaji nalaze iznad gornje krivulje, dolazi do kvarova i pregrijavanja opreme. S druge strane ukoliko se događaji nalaze iznad donje krivulje, te ispod gornje krivulje tada je za očekivati pravilan rad računalne opreme. Događaji (naponski propadi) koji su se dogodili u promatranom vremenu su u granicama prihvatljivog. U koliko bi se na ITIC krivulji prikazali događaji iznad ili ispod krivulje, to je znak da tada Slikom 5.12 prikazana je ITIC krivulja, vrsta događaja, datum vrijeme, veličina i njegovo trajanje.



Slika 5.12 ITIC krivulja

ITIC krivuljom te tablicom događaja u promatranoj mreži prikazani su događaji koji su se dogodili u promatranom periodu mjerenja. Uzrok promjena napona u zgradi fakulteta je promjena opterećenja. U ranim jutarnjim satima kada je i najmanja potreba za električnom energijom raste naponska razina, dok tijekom dana, kada je potrebna električna energija dolazi do smanjenja vrijednosti napona u mreži. U normalnom pogonu brza promjena napona u pravilu ne prelazi 5 % nazivnog napona. U nekim okolnostima mogu se više puta dnevno pojaviti kratkotrajne brze promjene napona do 10 % U_n , stoga promjene veće od 10 % U_n zabilježit će uređaj PQube 3. Osim pada napona, zbog potrošnje u dijelu dana kada se održava nastava, moguće je da zbog fotonaponske elektrane dođe do povećanja naponske razine. Prilikom sunčanog dana, fotonaponska elektrana će raditi punim kapacitetom, te podmirivati potrebe za električnom energijom trošila (rasvjeta, klimatizacijski sustav, serveri) unutar zgrade fakulteta, a višak će energije utiskivati u mrežu, što za posljedicu ima povećanje naponske razine.

Tablicom 5.6 prikazane su ocjene parametara kvalitete električne energije, ocjenama zadovoljava ili ne zadovoljava.

Tablica 5.6 Ocjena kvalitete električne energije

Pokazatelji kvalitete električne energije	Ograničenje prema normi EN 50160	Vremensko razdoblje	Zadovoljava/Ne zadovoljava normu EN 50160
Odstupanje napona	230 V ± 10 %	95 %	Zadovoljava
	230V +10% / 15 %	100 %	Zadovoljava
Odstupanje frekvencije	50 Hz ± 1 %	99,5 %	Zadovoljava
	50 Hz ± -6 / 4 %	100 %	Zadovoljava
THD napona	< 8 %	95 %	Zadovoljava
Nesimetrija	< 2 %	95 %	Ne zadovoljava
Flikeri	Plt (dugotrajni) <1	95 %	Zadovoljava

7. ZAKLJUČAK

Napretkom tehnologije, sve više se brine o kvaliteti električne energije. Svaki potrošač, bila to industrijska postrojenja ili kućanstvo u distribuciji treba dobiti adekvatnu kvalitetu električne energije. Upravo zbog korištenja sve kompleksnijih uređaja koji u sebi posjeduju energetska elektronika koja je osjetljiva na kolebanja napona napajanja, propisani su standardi i norme koje ograničavaju veliko fluktuiranje kvalitete i razine dovedenog napona. Propusti elektroprivrede odnosno davatelja električne energije moraju se svesti na minimum. Što se tiče potrošača, posebice industrija ima veliku ulogu kao izvor kolebanja i treperenja napona, a razlog tomu su velika opterećenja (uklapanje kondenzatora za korekciju faktora snage, lučne peći, uređaji za lučno zavarivanje). Kućanstva također utječu na napon u mreži uključivanjem i isključivanjem električnih uređaja velike snage. Samim tim utječe se na velik broj drugih potrošača koji su spojeni na istu mrežu, odnosno smanjuje se kvaliteta dovedene električne energije. Osim konvencionalnog razmišljanja o prijenosu energije od proizvođača prema potrošaču, sve je učestaliji slučaj kog kojeg potrošač ima dualnu ulogu potrošača i proizvođača. Takvi potrošači ubrajaju se u distribuirane izvore, koji mijenjaju tokove snage i utječu na naponske razine, što za sobom povlači narušavanje kvalitete električne energije. Fotonaponska elektrana na zgradi fakulteta prema dobivenim mjerenjima utječe na naponsku razinu tijekom sunčanog dana, pri čemu tijekom dnevnih sati kada je osunčanost najvećeg intenziteta diže naponsku razinu. Korištenjem uređaja za praćenje kvalitete električne energije dobivaju se podaci o svim parametrima napona. Stoga napon predstavlja onu komponentu kojom se opisuje kvaliteta dovedene električne energije. Razlog tomu je što struju određuju potrošači, a napon sam izvor odnosno davatelj usluge.

LITERATURA

[1] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan Surya Santoso, H. Wayne Beaty, Electrical Power System Quality, second edition, 2022.

[2] PQube 3 Quickstart Guide – Narrow Print – Revision 10, www.PowerStandards.com, pristup: 3.2022.

[3] Izv.prof.dr.sc. Zvonimir Klaić, INTEGRACIJA OIE I NAPREDNE MREŽE, 3. kvaliteta električne energije, 2022, Osijek

[4] Gregorio Romero Rey, Lusia Martinez Muneta, Electrical generation and distribution systems and power quality disturbances, 2nd Edition, 2016.

[5] Izv.prof.dr.sc. Zvonimir Klaić, dipl.ing, prof.dr.sc. Srete Nikolovski, dipl.ing. Kvaliteta električne energije- mjerenja prema normi EN50160.

[6] POWERSIDE, PQube 3 Power Analyzers, <https://powerside.com/products/monitoring/pqube-3-power-analyzers/> , pristup: 28.6.2022.

Sažetak

U ovom radu prikazani su parametri napona kao pokazatelji kvalitete električne energije, koji se mjere i analiziraju posebnim uređajima. Mjerenja i analiza provedena je s uređajem PQube 3e proizvođača Powerside. Kvaliteta dovedene električne energije utječe na komfor kućanstava, dok kod industrija može uzrokovati financijske gubitke i kvarove. Utjecaj distribuiranih izvora ima sve veći utjecaj u kvaliteti isporučene električne energije. Mijenja se prikazivanje tokova energije od proizvođača do potrošača, dižu se naponske razine, jer u modernim mrežama potrošač može imati dualnu ulogu potrošača i proizvođača. Zbog promjene potrošnje tijekom dana u zgradi fakulteta, mijenja se i naponska razina. Fotonaponska elektrana ima velik utjecaj kod promjene naponske razine tako što diže naponsku razinu tijekom sunčanih sati u danu.

Ključne riječi: Kvaliteta, energija, pokazatelj, PQube, mjerenje, analiza, fotonapon.

Abstract-

This paper presents the voltage parameters as indicators of the quality of electricity, which are measured and analyzed with special devices. Measurements and analysis were carried out with the PQube 3e device manufactured by Powerside. The quality of supplied electricity affects the comfort of households, while it can cause financial losses and breakdowns in industries. The influence of distributed sources has an increasing impact on the quality of delivered electricity. The presentation of energy flows from producer to consumer is changing, voltage levels are rising, because in modern networks the consumer can have a dual role of consumer and producer. Due to the change in consumption during the day in the faculty building, the voltage level also changes. Photovoltaic power plant has a big impact on changing the voltage level by raising the voltage level during the sunny hours of the day.

Keywords: Quality, energy, indicator, PQube, measurement. analysis, photovoltaics.

Životopis

Ivan Balenović rođen je 2. kolovoza 1998. godine u Bjelovaru. Odrastao je u Orovcu selu kraj Bjelovara, osnovnu školu pohađao je u područnoj školi OŠ „Ivana Viteza Trnskog“ u Novoj Rači od 2004. do 2013. godine. 2013. upisuje se u prvi razred srednje tehničke škole u Bjelovaru. Srednju školu završava 2017. godine te iste godine upisuje Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, kojeg završava 2020. Diplomski studij održive elektroenergetike upisuje 2020. godine, a završava 2022. godine.