

Ivana Rendulić
HEP – ODS d.o.o., Zagreb
ivana.rendulic@hep.hr

Ivan Periša
HEP – ODS d.o.o., Zagreb
ivan.perisa@hep.hr

Iva Čačić
HEP – ODS d.o.o., Zagreb
iva.cacic@hep.hr

Mate Lasić
KONČAR – Institut za elektrotehniku d.d., Zagreb
mate.lasic@koncar-institut.hr

EKONOMSKI OKVIRI ZA KVALITETU ELEKTRIČNE ENERGIJE

SAŽETAK

Kvaliteta električne energije s povećanjem stupnja gospodarskog razvoja postaje sve složeniji pojam. U početku je najvažniji element kvalitete električne energije bila njezina dostupnost, napon i frekvencija. Uspostavom tržišta električne energije promijenjeno je klasično shvaćanje kvalitete električne energije. Dakle, električna energija postaje roba na tržištu, tj. roba određene kvalitete. Kvaliteta električne energije nesumnjivo je prepoznata kao vrlo bitno pitanje, no ne postoji konsenzus o tome koji je njen ukupni ekonomski utjecaj. Ne postoji čak ni konsenzus o tome kako mjeriti taj utjecaj.

Postoji širok spektar potencijalnih rješenja za ublažavanje posljedica loše kvalitete električne energije od kojih svako ima različite razine učinkovitosti i troškova. Sama evaluacija različitih rješenja za poboljšanje, odnosno, ublažavanje posljedica loše kvalitete električne energije je problem ekonomske prirode. Harmonizacija ekonomskih utjecaja varijacija kvalitete električne energije s troškovima koji iziskuju različita rješenja za njeno poboljšanje prethodit će izboru ekonomski opravdanih i učinkovitih rješenja. Dakle, svako rješenje je funkcija troška i učinkovitosti. U ovome radu opisat će se ekonomski aspekt kvalitete električne energije.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, ekonomski okviri, električna energija

ECONOMIC FRAMEWORK FOR POWER QUALITY

SUMMARY

The quality of electrical energy with increasing degree of economic development becomes more complex concept. In the beginning the most important element of the power quality was its accessibility, voltage and frequency. The establishment of the electricity market has changed the classic understanding of power quality. Thus, electricity becomes a commodity market, ie a certain quality of goods. Power Quality is undoubtedly recognized as a very important issue, but there is no consensus about it's overall economic impact. There is not even consensus on how to measure this impact.

There is a wide range of potential solutions to mitigate the effects of poor power quality, of which each has different levels of efficiency and cost. The evaluation of different solutions for improvement, ie, mitigation of poor power quality problem is economic in nature. Harmonisation of the economic impact of power quality variations with costs that require different solutions for its improvement will be preceded by the choice of economically viable and effective solutions. Therefore, every solution is a function of cost and efficiency. This paper will describe the economic aspects of power quality.

Key words: power quality, the economic framework, electricity

1. UVOD

Kvaliteta električne energije s povećanjem stupnja gospodarskog razvoja postaje sve složeniji pojam. U početku je najvažniji element kvalitete električne energije bila njezina dostupnost, napon i frekvencija. Uspostavom tržišta električne energije promijenjeno je klasično shvaćanje kvalitete električne energije. Dakle, električna energija postaje roba na tržištu, tj. roba određene kvalitete.

Kvaliteta električne energije nesumnjivo je prepoznata kao vrlo bitno pitanje, no ne postoji konsenzus o tome koji je njen ekonomski utjecaj. Ne postoji čak ni konsenzus o tome kako mjeriti taj utjecaj.

Mnoga regulatorna tijela, konzultanti, financijski menadžeri, menadžeri proizvodnje i mnogi drugi svjesni su veličine utjecaja troškova loše kvalitete električne energije na privredu te traže način kako kontrolirati te troškove. Tehnike za izbjegavanje ili smanjivanje negativnog utjecaja kvalitete električne energije su vrlo dobro poznate i troškove njihove implementacije je relativno lako za odrediti. Međutim, procjenu potencijalnih troškova koje uzrokuje loša kvaliteta električne energije je teško odrediti zbog niza problema kao što su npr. ulaganja u odgovarajuću opremu i efekt kontinuiranosti procesa koji je po prirodi statistički i teško ga je kvantificirati.

2. EKONOMSKE ZNAČAJKE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kvaliteta električne energije je pojam koji opisuje mjeru u kojoj je električna energija dostupna korisniku kompatibilna s njegovim potrebama. Efekti nedostatka kompatibilnosti nazivaju se **problemi** u kvaliteti električne energije. Na kompatibilnost utječu mnogi parametri kao što su:

- a) mrežna frekvencija;
- b) veličina napona;
- c) kolebanje napona (spore promjene);
- d) brze promjene napona;
- e) treperenje napona (flikeri);
- f) propadi napona;
- g) kratkotrajni prekidi napajanja;
- h) dugotrajni prekidi napajanja;
- i) povremeni prenaponi mrežne frekvencije između faznih vodiča i zemlje;
- j) prijelazni prenaponi između faznih vodiča i zemlje;
- k) naponske nesimetrije;
- l) naponski harmonici;
- m) signalni naponi superponirani opskrbnom naponu.

Prema istraživanju neovisne i neprofitne organizacije EPRI (The Electric Power Research Institute), od svih smetnji u kvaliteti električne energije, propadi napona su najčešći i uzrokuju najveći pad prihoda zbog toga što izazivaju česte kvarove opreme. Druga najčešća smetnja su naponski harmonici (neželjena harmonička izobličenja u valnom obliku napona), iza kojih slijede ostale smetnje.

Kada dođe do manjka kompatibilnosti može doći do problema u radu ili potpunog prestanka rada opreme krajnjih korisnika. Stanje dodatno komplicira činjenica da su mnogi problemi u kvaliteti električne energije uzrokovani djelovanjem ili neispravnim djelovanjem opreme krajnjih korisnika.

Najviše se nameću dva pristupa potpune kompatibilnosti između električne mreže i opreme krajnjih korisnika. Prvi je izgradnja idealne električne mreže, a drugi je osigurati da svi krajnji korisnici implementiraju opremu koja ima potpunu otpornost na uobičajene probleme uzrokovane lošom kvalitetom električne energije. Nažalost, iz više razloga, nijedan od ovih pristupa ne predstavlja ekonomski optimum. Prije svega svaki dio opreme krajnjih korisnika je uglavnom neosjetljiv na mnoge pojave u fluktuaciji kvalitete električne energije, ali je istovremeno osjetljiv na samo neke određene pojave. Primjerice žarulje sa žarnom su neosjetljive na harmonike napona, dok su istovremeno, u kombinaciji s ljudskim faktorom, iznimno osjetljive na flikere (treperenje). S druge strane elektronička oprema je otporna na razinu promjena napona koja uzrokuje flikere, no vrlo je osjetljiva na propade napona i izobličenje napona viših harmonika. Ostvarivanje potpune kompatibilnosti je nepotrebno i neisplativo, ali svakako je potrebno postići optimum koji će jamčiti određenu razinu kompatibilnosti uz što manje troškove.

2.1. Utjecaj kvalitete električne energije na krajnje korisnike

Ekonomske posljedice loše kvalitete električne energije na krajnje korisnike prema utjecaju na opremu možemo svrstati u tri općenite kategorije:

- Potpuni ili djelomični gubici jednog ili više radnih procesa (propadi napona);
- Loša dugoročna produktivnost ili kakvoća proizvoda (flikeri);
- Povećanje troškova uzrokovanih smanjenjem životnog vijeka opreme koji rezultiraju preuranjenim kvarovima (harmonici).

Kvarovi/gubici uzrokovani lošom kvalitetom energije, kao što su primjerice propadi napona, imaju trenutne posljedice nakon kojih slijedi period oporavka tijekom kojeg se mogu pojaviti dodatni troškovi. Relativno je lako utvrditi troškove koji su rezultat jednog događaja ili barem procijeniti moguće troškove.

Kontinuirane ili dugotrajne pojave kao što su flikeri mogu smanjiti dugoročnu produktivnost. Ukoliko je problem dugotrajan i raširen može imati značajan utjecaj na konkurentnost poslovnog subjekta.

Preuranjeni kvarovi opreme će obično rezultirati prekidima proizvodnih procesa sa sličnim posljedicama kao i kod problema u lošoj kvaliteti električne energije koji uzrokuju prekide proizvodnih procesa. Razlika je u tome da se uzroci nalaze u prošlosti te da nisu bili primijećeni što navodi na zaključak da je predviđanje tih troškova vrlo teško bez uvođenja nadzorne procedure.

Ekonomske posljedice loše kvalitete električne energije na krajnje korisnike, ovisno o kojem se procesu radi, mogu biti trivijalne, ali i katastrofalne. Korisnici obično imaju različite pristupe pa tako mogu:

- Ne poduzimati ništa i suočiti se s posljedicama;
- Preuzeti odgovornost tako da ulože u održavanje opreme i instalacija;
- Surađivati s operatorom sustava kako bi poboljšali razinu kvalitete električne energije;
- Pregovarati s operatorom sustava kako bi dobili garanciju za određeni stupanj razine kvalitete električne energije.

Prvi koraci analize za određenu organizaciju ili segment njenog poslovanja sastoje se od prikupljanja detaljnih i kontinuiranih mjerenja relevantnih parametara kvalitete električne energije:

- Evidentiranje prekida poslovnih procesa, njihovih troškova te povezanosti s pojavama u kvaliteti električne energije;
- Procjena vjerojatnih točaka i učestalosti prekida procesa i opreme;
- Razmatranje mogućnosti redizajniranja procesa kako bi se smanjila njihova međuovisnost te smanjio rizik gomilajućih prekida;
- Istražiti mogućnost povećavanja otpornosti opreme na događaje vezane uz kvalitetu električne energije.

Poboljšanjem radnog učinka opreme za vrijeme promjena u kvaliteti električne energije mogu se ostvariti značajne uštede i postići konkurentna prednost. Stoga je jako bitno da korisnici i operatori sustava rade zajedno na najboljem rješenju za postizanje željene razine radnog učinka.

2.2. Uloga operatora sustava

Uloga operatora sustava je nužna kako bi se održala određena razina kvalitete opskrbe prema krajnjim korisnicima, a obično su propisani lokalnim zakonima ili pravilima. Kvalitetu opskrbe može definirati veći broj parametara kao što su dostupnost i stabilnost napona. Postizanje željene razine kvalitete iziskuje da operator investira u primjerice:

- Nadzorni program za prepoznavanje potencijalnih kvarova (npr. transformatora) kako bi se popravci ili radovi na održavanju mogli planirati, a izbjegla neplanirana nedostupnost mreže;
- Pažljivo planiranje održavanja kako bi se izbjegla prekomjerna nedostupnost mreže;
- Radove održavanja s ciljem izbjegavanja štete na vodovima kao što su programi sječe drveća.

Operatori sustava moraju osigurati da su korisnici priključeni prikladno (primjerice na odgovarajućoj razini napona) kako bi se izbjegli negativni utjecaji. Neke od mjera koje se poduzimaju kako bi se smanjio utjecaj problema kvalitete električne energije zahtijevaju uvođenje dodatne opreme. Osim očitog problema troškova ta oprema ostavlja posljedice i na okoliš; učinkovitost električne energije je smanjena te dodatna oprema iziskuje materijale i energiju za njezinu proizvodnju.

2.3. Utjecaj kvalitete električne energije na društvo

Zadnjih nekoliko godina ekspanzija održivog razvoja, „čistih“ razvojnih mehanizama i raznih drugih globalnih (zelenih) inicijativa iziskuje sagledavanje lokalnih kratkoročnih aspekata i dugoročnih učinaka kako bi se utvrdilo potpuno djelovanje industrijske aktivnosti na društvo.

S energetskeg gledišta, fokus se pomiče sa lokalnih kratkoročnih učinaka na dugoročne globalne učinke. Povećanje kvalitete električne energije dovodi do pogodnosti za različite sudionike procesa. Tako će krajnji korisnik osjetiti izravne ekonomske koristi zbog primjerice manjih računa za električnu energiju. Zatim, operatori sustava će profitirati zbog smanjenih gubitaka u prijenosu i distribuciji električne energije, boljeg upravljanje resursima te više razine operativne efikasnosti. Proizvođači električne energije će također profitirati u smislu boljeg upravljanja resursima i više razine operativne učinkovitosti. Naposljetku, društvo će osjetiti pogodnosti u obliku smanjenja emisije stakleničkih plinova, smanjenog globalnog zatopljenja i održivog razvoja.

Regulatori bi trebali promišljati o dugoročnim društvenim učincima te težiti slijedećim ciljevima:

- Povećanju investicijskih odluka koje vode računa o dugoročnim društvenim utjecajima u odnosu na one koji vode računa o lokalnim kratkoročnim pogodnostima;
- Usmjeravanju državnih pravilnika i odluka o ulaganjima;
- Formuliranju odgovarajućeg tarifnog sustava kako bi se iskazao pravi trošak kvalitete električne energije što neizravno utječe na inicijative poboljšanja kvalitete električne energije.

2.4. Uloga regulatora

Zbog osjetljivosti opreme krajnjih korisnika, kvaliteta električne energije je najvažnija značajka za industrijske korisnike, pružatelje usluga pa čak i za kupce kategorije kućanstvo. Produktivnost i konkurentnost proizvodnje i sektorskih usluga ovisi (u velikoj mjeri) o kvaliteti opskrbe energije. Iako, i nakon liberalizacije tržišta električne energije, kvaliteta električne energije uglavnom ovisi o prijenosnoj i distribucijskoj mreži. Kao posljedica, razina kvalitete električne energije je bitno pitanje ne samo za operatore distribucijskog i prijenosnog sustava, proizvođače opreme i projektante električnih instalacija, već i za regulatore tržišta električne energije.

Nakon mnogo godina posvećenih primarno komercijalnoj kvaliteti i kontinuiranoj opskrbi, Europski regulatori se sve više uključuju u regulaciju kvalitete električne energije. Iako je postojanje standarda vrlo važno, za postavljanje regulatornog okvira regulatorima trebaju informacije o troškovima krajnjih korisnika uzrokovanih promjenama napona kao i razini kvalitete napona koje pružaju operatori distribucijskog sustava i troškovima koji su potrebni za održavanje razine te kvalitete.

Podjela odgovornosti vezana uz regulaciju kvalitete električne energije bi trebala biti rezultat dogovora između operatora sustava, krajnjih korisnika, proizvođača opreme i regulatora. Stoga, zahtjevi regulatora ne bi trebali biti u konfliktu s tehničkim standardima. Isto tako, zahtjevi ne bi trebali nalagati neodržive troškove niti za jednu interesnu skupinu. Europski regulatori su već krenuli u ovome smjeru, pod okriljem ERGEG (European Regulatory Group for Electric and Gas). ERGEG je već predložila nekoliko revizija norme EN 50160.

3. EKONOMSKI UTJECAJ LOŠE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE SA STAJALIŠTA KRAJNJEG KORISNIKA MREŽE

Mnoge studije pokazale su da propadi napona i kratkotrajni prekidi uzrokuju značajne financijske gubitke za krajnje korisnike u različitim sektorima.

U početku se ovaj fenomen pratio isključivo metodama anketiranja korisnika, no konstantno su se razvijale metode za kvantificiranje ekonomskog utjecaja određenih poremećaja.

Pored poznatih parametara kvalitete električne energije koji mogu (uslijed neadekvatne razine kvalitete električne energije) utjecati na stvaranje financijskih gubitaka, najznačajniji su (za korisnika) gubici uslijed posljedica propada napona i kratkotrajnih prekida te harmonika napona i struja.

3.1. Utjecaj propada napona i kratkotrajnih prekida

Propadi napona i kratkotrajni prekidi opskrbe (do 3 minute) u načelu su glavni uzroci ekonomskih gubitaka sa stajališta krajnjeg korisnika. Sama procjena ekonomskih gubitaka nastalih uslijed propada napona i kratkotrajnih prekida je vrlo složen proces. Naime, koliko će propadi napona i kratkotrajni prekidi utjecati na

krajnjeg korisnika, uvelike ovisi o karakteristikama i specifičnostima samoga korisnika (kao npr. kategorija korisnika, specifičnosti procesa/aktivnosti korisnika, razina utjecaja poremećaja na opremu korisnika i sl.).

Poznavanje opreme i procesa koje koristi korisnik mreže je ključan preduvjet ka određivanju ekonomskih gubitaka uslijed poremećaja. S jedne strane potrebno je poznavati učestalost pojavljivanja poremećaja (propada napona i prekida), a s druge strane osjetljivost opreme/procesa korisnika na navedene poremećaje. Pored navedenog potrebno je poznavati i ostale direktne i indirektne troškove nastale uslijed posljedica poremećaja. Kod prikupljanja navedenih podataka koriste se razne metode, od mjerenja u određenim vremenskim intervalima, pa sve do metoda procjena i predviđanja.

Jednom kada se odrede tzv. „profili propada napona i prekida“ i osjetljivost opreme i procesa korisnika na navedene poremećaje, moguće je odrediti, odnosno procijeniti ekonomske gubitke nastale uslijed poremećaja. Dodavanjem ostalih direktnih i indirektnih troškova/gubitaka povezanih s tim događajima dobiva se ukupna procjena ekonomskih gubitaka uslijed propada napona i kratkotrajnih prekida sa stajališta krajnjeg korisnika.

Kao jedan od primjera je IEEE 1346-1998 Standard koji donosi smjernice kod određivanja, odnosno procjene ekonomskih gubitaka za krajnjeg korisnika uslijed propada napona. Ova metoda bazira se na poznavanju:

- profila propada napona (za mrežu i korisnika mreže) – *voltage-dip performance*;
- osjetljivosti opreme i procesa korisnika na propade napona;
- ekonomske evaluacije gubitaka nastalih kao posljedica prekida procesa uslijed propada napona.

Metoda procjene koja je predložena ovim standardom omogućava odrediti ekonomske gubitke nastale uslijed propada napona, no određene pretpostavke su ograničavajuće i unose svojevrsnu grešku u evaluaciju (npr. metoda predviđa procjenu osjetljivosti cijelog procesa i opreme korisnika na propade napona na osnovu najosjetljivije komponente u sustavu). U ovome slučaju nije uračunata značajnost odabrane komponente za cijeli sustav i sam proces (možda su neke druge komponente značajnije za stabilnost procesa od one na osnovu koje se radi evaluacija?!). Isto tako ekonomske procjene gubitaka nastalih uslijed poremećaja su bazirane na podacima iz prošlosti što direktno ukazuje na upitnu iskoristivost ovih podataka za nove tehnologije.

3.2. Utjecaj harmonika napona i struja

Kroz praksu su uočene posljedice zagađenja harmonicima struja i napona kao što su dodatni gubici energije, prerano starenje opreme i nefunkcioniranje (kvar) opreme.

Sukladno tome razvijane su i razne metode evaluacije ekonomskih gubitaka nastalih uslijed navedenih posljedica koje one uzrokuju.

Općenito se može reći da su izražena dva pristupa, odnosno dvije metode procjene:

- deterministička metoda;
- probabilistička metoda.

Deterministička metoda je vremenski starija i u osnovi je postavila načela, odnosno okvire studija i za probabilističke metode. Kod ove metode važno je poznavati sve ulazne parametre potrebne za evaluaciju ekonomskih učinaka. Zbog toga je ova metoda relativno dobro primjenjiva za korisnike čiji su procesi stabilni i ponavljajući. Stoga je dovoljno napraviti „povijesne“ analize i povezati ih sa stvarnim podacima o ostvarenim gubicima. Kako su se razvijale ove metode, uključivano je sve više parametara u samo kalkulaciju ekonomskog učinka, odnosno gubitaka. U početku osnova izračuna bili su ukupni gubici energije i troškovi kompenzacije. Npr. utjecaj zagađenja harmonicima na prerano starenje opreme nije uzet u obzir. Slično je i za posljedice kvara opreme.

U varijanti kada određeni ulazni parametri nisu poznati, odnosno kada su funkcija neizvjesnosti, probabilističke metode postaju nužne. Okviri za probabilističke metode su postavljeni u determinističkim metodama. Dodatno, ovdje se uvode statističke metode i funkcije vjerojatnosti kako bi se odredili ekonomski učinci.

Metode evaluacija ekonomskih gubitaka za nefunkcioniranje, odnosno kvar opreme, kao i za metode kod posljedica propada napona i općenito situacije kada određena oprema ne radi su u pravilu identične. Dakle, potrebno je dobro poznavati koja je to oprema na koju poremećaj utječe, u koje je procese uključena i na posljepku koliko zaustavljanje tog procesa u pravilu košta.

4. EKONOMSKI UTJECAJ LOŠE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE SA STAJALIŠTA OPERATORA SUSTAVA

Operator sustava je obično odgovoran za odražavanje propisane razine kvalitete električne energije u mreži. Cijena kvalitete električne energije za krajnjeg korisnika je relativno dobro dokumentirana i razvijene su metode procjene ekonomskih gubitaka uslijed loše kvalitete električne energije. Za operatora sustava troškovi kvalitete električne energije uračunati su standardne rutine poslovanja i održavanja.

Iz perspektive operatora sustava, ekonomski utjecaj kvalitete električne energije, uglavnom su involvirani u:

- aktivnosti u svezi sa žalbama kupaca;
- poboljšavanje kvalitete električne energije kroz razvoj mreža (dizajn i sl.), upravljanje imovinom i održavanjem;
- troškove mjera za osiguranje pouzdanosti napajanja.

Dakle, troškovi su, generalno gledani klasificirani u dvije kategorije:

- troškovi koji su posljedica „PQ događaja - smetnji“;
- troškovi koji su posljedica aktivnosti za poboljšanje kvalitete električne energije.

Prvu kategoriju je najčešće jednostavno kvantificirati u smislu troškova i povezati sa pojedinim problemima/uzrocima u lošoj kvaliteti električne energije. Uglavnom su tu troškovi aktivnosti kod rješavanja problema s kvalitetom (reakcije na žalbe kupaca, izlasci na teren, mjerenja, konzultacije i sl.)

Troškovi koji nastaju kroz aktivnosti za poboljšanje kvalitete električne energije u mreži uglavnom su generalno dio standardnih aktivnosti povećanja pouzdanosti napajanja i redovnog održavanja mreže i sustava i treba ih znati izdvojiti ukoliko ih želimo kvantificirati.

Generalno gledano, glavni problemi s kvalitetom električne energije definiraju se kao:

- propadi napona;
- harmonijska izobličenja;
- promjene napona;
- nesimetrija napona;
- fluktuacije napona;
- tranzijenti.

Za operatora, povijesno gledano, najbitnija stvar bila je kontinuitet opskrbe i iznos napona. Gledano s ekonomskog stajališta, danas u najveće probleme s kvalitetom električne energije spadaju propadi napona, varijacije napona i harmonici.

Jedna od glavnih zadaća operatora distribucijskog sustava je pouzdano dovesti električnu energiju do kupaca po razumnim cijenama. Svakako treba voditi računa o tome da cijena ovisi i o kvaliteti – što je kvaliteta viša, viša je i cijena.

Kao što je ranije spomenuto, operator je odgovoran za kvalitetu električne energije u mreži. To je jedan od razloga zbog kojih operator nastoji rješavati probleme s kvalitetom električne energije. S druge strane, kada je kupac uzrok pogoršanju kvalitete električne energije, operator nastoji uvjetovati kupcu svođenje negativnog djelovanja unutar dopuštenih granica.

Generalno gledano, poznavanje ekonomskog utjecaja loše kvalitete električne energije bitno je kod opravdavanja pojedinih investicija u poboljšanje kvalitete električne energije. Dakle, mogućnost kvantificiranja benefita od povećanja kvalitete električne energije važna je kako za operatora, tako i za korisnike mreže.

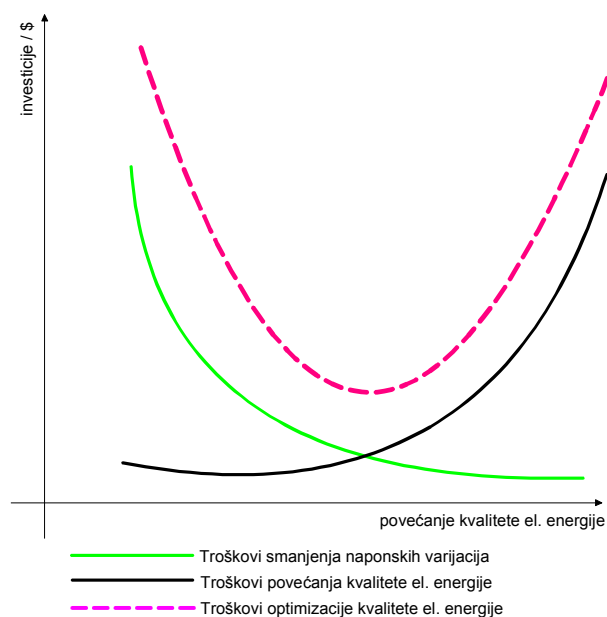
5. EKONOMSKA PROCJENA ODABIRA OPTIMALNOG PQ RJEŠENJA

Kako bi se dobio kvalitetniji uvid u ekonomski utjecaj kvalitete električne energije pri određivanju troškova možemo se fokusirati na četiri najbitnija dijela: trošak prekida procesa uslijed događaja uzrokovanih lošom kvalitetom električne energije, trošak rada i održavanja opreme za smanjivanje rizika i smanjene energetske učinkovitosti opreme, trošak smanjenog vijeka trajanja opreme i trošak nabave i uvođenja opreme za ublažavanje rizika.

Za analizu troškova događaja uzrokovanih lošom kvalitetom električne energije informacije o troškovima unaprjeđenja opreme/smanjenja rizika potrebno je prikupiti podatke o troškovima krajnjih korisnika (oprema/instalacija) te operatora sustava (mrežna infrastruktura), a prilikom mjerenja kvalitete električne energije bitno je usmjeriti se na ukupni broj smetnji u mreži (sve smetnje nemaju utjecaj na opremu) i samo na broj smetnji koji imaju utjecaj na opremu.

Pristup analizi troškova namijenjen je da omogući balansiranje troškova loše kvalitete električne energije i troškova preventivnih mjera u cilju postizanja najviše „neto sadašnje vrijednosti“ svih koristi i troškova. Iako bi potpuna prevencija svih ekonomskih gubitaka uslijed loše kvalitete električne energija bila najbolja varijanta, posebno sa stajališta krajnjeg korisnika, to nije ekonomski isplativo i zbog toga moguće.

Dakle, naglasak je na pronalaženju ravnoteže između troškova investiranja u poboljšanje kvalitete električne energije i troškova koji su posljedica loše kvalitete električne energije



Slika 1. Krivulja optimalnih troškova za održavanje kvalitete električne energije

Metoda NSV (neto sadašnja vrijednost) pruža gotovo neograničene mogućnosti kod evaluacije PQ rješenja (PQ rješenje - rješenje za poboljšanje kvalitete električne energije, odnosno rješenje u kojem je PQ na optimalnoj razini). Bilo koji element koji predstavlja trošak ili korist može se uvrstiti u NSV analizu, odnosno moguće je složiti veliki broj scenarija i kombinacija u kojima se svaki scenarij tretira jednako i odabire se najbolji. Dakle, sam broj tipova, odnosno kategorija troškova i koristi koje možemo primijeniti u NSV analizi je teoretski gledano neograničen.

Najčešće korištene kategorije/tipovi troškova su:

- troškovi gubitka produktivnosti nastalih zbog loše PQ;
- kapitalni troškovi ulaganja u PQ rješenja (za poboljšanje);
- troškovi održavanja PQ rješenja.

Najčešće korištene kategorije/tipovi koristi su:

- smanjenje troškova održavanja sustava;
- smanjenje troškova zamjene oštećenih dijelova opreme i sl.;
- smanjenje troškova plaćanja penala zbog neizvršenja ugovornih obaveza, itd.

6. ODABIR OPTIMALNOG PQ RJEŠENJA

Osnovni pristup kod primjene NSV metode analize troškova za evaluaciju ekonomskog utjecaja smanjenja kvalitete električne energije se zasniva na slijedećim parametrima:

- poznavanju informacija o godišnjem trošku zbog neublažavanja posljedica loše kvalitete električne energije;

- identifikaciji kapitalnih troškova ulaganja u poboljšanje PQ, troškova budućih aktivnosti i troškova održavanja različitih rješenja za povećanje kvalitete električne energije;
- poznavanju vremenskog perioda kojeg obuhvaća NSV analiza (preporuka 10 g.);
- poznavanje diskontnih i inflacijskih stopa kako bi se odredila stvarna vrijednost novca (u odnosu na vrijeme).

Navedeni parametri se primjenjuju za svaki scenarij/tip PQ rješenja posebno i na osnovu dobivenih rezultata odabire se najbolji (optimalni).

Kategorije, odnosno tipovi troškova i koristi koje koristimo u NSV pristupu odnose se vremenski gledano na cijeli vijek opreme za koju se radi analiza. Kako bi se na osnovu navedenih ulaznih parametara mogla donijeti odluka o optimalnom PQ rješenju, potrebno je prilagoditi iznose troškova i koristi tijekom cijelog vremenskog perioda nad kojim se provodi analiza u jednu zajedničku točku – sadašnjost. Dakle, potrebno je odrediti sadašnje novčane vrijednosti budućih troškova i koristi za čega su nam poznavanje diskontnih i inflacijskih stopa nužne.

Iduća formula prikazuje sadašnju neto vrijednost (NSV) za primjerice jedan scenarij/tip PQ rješenja.

$$NPV = CI + \sum_{t=0}^n \frac{(C_{tb} + C_{tc}) \times (1+e)^t}{[(1+r) \times (1+i)]^t} \quad (1)$$

gdje su:

NPV – neto sadašnja vrijednosti (NSV)

CI – inicijalni troškovi ulaganja (izraženi kao negativna vrijednost)

C_{tb} – komponenta koristi na početku perioda t

C_{tc} – komponenta troška na početku perioda t (izražena kao negativna vrijednost)

n – broj vremenskih perioda (obično u godinama)

e – eskalacijski faktor (odgovara vrijednosti stope inflacije)

r – diskontna stopa (u odnosu na inflaciju)

i – stopa inflacije

Ovako izračunata sadašnja neto vrijednosti (NSV) se sada može uspoređivati za razna PQ rješenja. Dakle scenarij za koje je NSV (engl. NPV) najviša (ili barem najmanje negativna!) bi bio najbolje rješenje.

7. ZAKLJUČAK

Evaluacija različitih rješenja za poboljšanje kvalitete električne energije je prije svega problem ekonomske prirode. Potrebno je uspoređivati ekonomske utjecaje promjena u kvaliteti električne energije s troškovima koji iziskuju različita rješenja za poboljšanje kvalitete električne energije. Najbolji izbor će ovisiti o troškovima problema i ukupnim operativnim troškovima različitih rješenja.

Metoda sadašnje neto vrijednosti pokazala se kao vrlo korisna metoda za ekonomsku evaluaciju rješenja za povećanje kvalitete električne energije. Ova metoda omogućava direktnu usporedbu promatranih scenarija za povećanje kvalitete električne energije i moguće ju je primijeniti na gotovo neograničen broj primjera i solucija. Bitno je voditi računa da se analiza provodi za optimalan vremenski period (preporuka je nekih 10 godina) – duži vremenski period omogućava uključivanje više ekonomskih faktora u evaluaciju čime dobivamo pouzdanije rezultate.

LITERATURA

- [1] JWG CIGRE-CIRED C4.107, "Economic Framework for Power Quality", CIGRE, lipanj 2011
- [2] G. Šagovac, I. Klarić: "Razmatranje kvalitete električne energije u distribucijskim mrežama", 5. Simpozij o elektrodistribucijskoj djelatnosti HO CIGRE, travanj 2004