

PROCJENA RIZIKA OD PRENAPONA U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

Mr. sc. Ivan Matković, Zagreb

UDK 621.316.93:614.8
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Sve veća osjetljivost el. uređaja na pojavu prenapona te sve veća umreženost el. instalacija zahtijeva proučavanje vjerojatnosti pojave prenapona u el. instalacijama te, sukladno tome, procjenu rizika od prenapona. Da bi se procijenio rizik od prenapona u el. instalacijama identificirana je opasnost od prenapona, prenaponi su promatrani prema uzrocima nastanka, dani su iznosi i vjerojatnosti pojave prenapona u el. instalacijama, upozoreno je koje se štete od prenapona u el. instalacijama mogu očekivati, povezane su vjerojatnosti pojave prenapona s vjerojatnostima nastanka šteta od prenapona, te napravljena procjena rizika od prenapona. Na osnovi te procjene zaključeno je da se skoro svaku el. instalaciju isplati štiti uređajima za zaštitu od prenapona.

Ključne riječi: prenapon, vjerojatnost pojave prenapona, šteta od prenapona, prenaponska kategorija, vjerojatnost nastanka šteta od prenapona, procjena rizika od prenapona.

1. UVOD

Cilj ovog uratka je procijeniti koliki je rizik od prenapona u električnim instalacijama te odrediti opravdanost zaštite električne instalacije uređajima za zaštitu od prenapona. Kod toga je pretpostavljeno da su visokonaponska, srednjonaponska i niskonaponska postrojenja opremljena svom propisanom opremom za zaštitu od prenapona. Korištena je metoda procjene rizika koja se zasniva na šest osnovnih koraka: identifikaciji opasnosti od nastanka prenapona u električnim instalacijama, učestalosti pojave prenapona s obzirom na načine i uzroke nastanka, razdvajanju potencijalno opasnih prenapona od onih za koje se ocijeni da su potencijalno neopasni, povezivanju učestalosti pojave prenapona s učestalošću pojave štete od prenapona, procjeni šteta od potencijalno opasnih prenapona i procjeni rizika od prenapona.

2. IDENTIFIKACIJA OPASNOSTI OD PRENAPONA U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

Prenapon se najčešće definira kao "kratkotrajno nastupajuću napon između dva vodiča ili vodiča i zemlje koji prekoračuje najviši dozvoljeni iznos pogonskog napona". Negativni utjecaji prenapona očituju se u naprezanju izolacije električne opreme ugrađene u električnu instalaciju i u naprezanju izolacije uređaja priključenih na električnu instalaciju. U krajnjoj liniji sve to može dovesti ili do proboja izolacije ili do preskoka u zraku ili do kliznog proboja preko površine izolacije.

Do prije tridesetak godina smatralo se da je klasična (vanjska) zaštita od munje dovoljna i za zaštitu od prenapona. Unutar građevina se nalazila jednostavna električna instalacija, električni uređaji i u električnu instalaciju ugrađena oprema bili su s mehaničkim kontaktima, energetske uređaji su bili bez elektroničkih dijelova, zračni razmaci veliki, dijelovi unutar sklopnih uređaja robustni i često predimenzionirani, rasvjetna tehnika klasična i slično. Tada je došlo do naglog prodora elektronike u sve pore ljudske djelatnosti; elektronika je postala primarna u području radio- i TV-tehnike, u telekomunikacijama i informatici. Daljnjim razvojem i intenziviranjem računalne tehnologije, mjernih, upravljačkih i regulacijskih uređaja došlo je do sve veće uporabe mikroprocesora. Kako su elektronički dijelovi koji se primjenjuju za te svrhe sve osjetljiviji na prenapone to je i opasnost od štetnog djelovanja prenapona na njih sve veća. To je dovelo do toga da danas već relativno mali prenapon od nekoliko desetaka volti na informatičkom kabelu može dovesti do razaranja nekog dijela u osobnom računalu. Za razaranje nekog električnog uređaja dovoljna je višestruko manja energija u odnosu na energiju dovoljnu za razaranje prvih, robustnih električnih uređaja.

Drugi razlog sve većem značenju prenapona je u sve većem korištenju upravljačkih komponenata u uređajima koji se koriste u kućanstvima i proizvodnji. U elektronički upravljanim ili s elektronikom povezanim uređajima postoje različiti spojevi kao ispravljači, regulatori s primjenom tiristora i trijaka i slično. Kod njihovog rada dolazi do stvaranja prenapona koji utječu na ostale korištene uređaje. Tako je s jedne strane došlo

do smanjenja otpornosti električnih uređaja na smetnje uzrokovane prenaponima, a s druge strane došlo je do povećanog broja smetnji.

Nekoliko karakterističnih primjera šteta nastalih zbog djelovanja prenapona su:

- prenapon koji uđe u objekt preko elektroenergetske instalacije može utjecati na loše upravljanje tijekom proizvodnog procesa, a posljedica može biti škartni proizvod, požar, eksplozija, ...
- djelovanjem prenapona na mjernu, upravljačku i regulacijsku tehniku robota može doći do opasnog tijeka njegovog rada,
- informacijski vodovi mogu biti zbog prenapona djelomično ili potpuno uništeni što može dovesti do problema s nadziranjem, javljanjem i regulacijom u proizvodnom procesu,
- zbog djelovanja prenapona mogu uređaji za zaštitu od opasnog napona dodira postati nedjelotvorni, što je opasno za život korisnika električnih uređaja,
- alarmni uređaji mogu biti djelovanjem prenapona uništeni, odnosno njihovi vodovi mogu biti onesposobljeni, što može posredno dovesti do opasnosti za čovjeka, odnosno objekte koje nadziru.

Iako razaranje samih uređaja zbog prenapona može biti dojmljivo, veće štete nastaju zbog dugotrajnih prekida u proizvodnji ili u poslovanju. Štete se mjere u milijardama bilo koje novčane jedinice. Prema nekim procjenama [1] od svih istraživanih 7737 šteta nastalih na elektronici tijekom 1998. godine u jednom osiguravajućem društvu njih 27,4 % bilo je uzrokovano prenaponima. S obzirom na sve šire korištenje električnih uređaja, sve niže razine signala koji se koriste u njima i sve veće širenje informacijske tehnologije za očekivati je da će štete od prenapona biti sve veće.

3. UZROCI, IZNOSI I UČESTALOSTI POJAVE PRENAPONA

Prenaponi u električnim instalacijama mogu se pojaviti zbog različitih vrsta događaja ili mehanizama, njihovi iznosi mogu biti veći ili manji, učestalost njihove pojave može biti veća ili manja, njihov utjecaj na električnu instalaciju može biti znatan ili nikakav. U daljnjem će ih se promatrati prema uzrocima nastanka s time da će se odmah navoditi i ostale karakteristike bitne za procjenu rizika. Prema uzrocima nastanka prenaponi se u osnovi mogu podijeliti u tri osnovne kategorije:

- prenaponi uzrokovani munjom,
- prenaponi uzrokovani sklapanjima,
- prenaponi nastali zbog međudjelovanja različitih instalacija.

3.1. Prenaponi uzrokovani munjom

Munja je prirodni i neizbježni događaj koji svojom pojavom može uzrokovati nastanak prenapona u električnoj instalaciji. Najznačajniji parametri koji

određuju utjecaj munje na nastanak prenapona u električnoj instalaciji su njezin valni oblik, tjemena vrijednost i učestalost pojavljivanja. Prema podrijetlu prenaponi uzrokovani munjom mogu se klasificirati u:

- prenapone zbog direktnog udara munje u nadzemne vodove srednjeg i niskog napona,
- prenapone inducirane u nadzemnim vodovima srednjeg i niskog napona zbog bliskog udara munje,
- prenapone uzrokovane udarom munje u zgradu ili neposredno uz nju.

Prenaponi nastali direktnim (iznosa do 180 kV) odnosno bliskim udarom munje (iznosa do 30 kV) u nadzemnim vodovima srednjeg napona šire se kroz srednjonaponsko postrojenje i prenose u vodove niskog napona. Kod širenja uzduž vodova dolazi do njihovog gušenja zbog gubitaka na vodovima, odnosno zbog proboja na izolatorima. Drugo ograničenje prenapona se događa pomoću uređaja za zaštitu od prenapona koji se ugrađuju na primarnoj strani transformatora srednji/niski napon ili na ulazu u mrežu niskog napona.

Prenaponi proizvedeni u srednjonaponskom postrojenju prenose se u niskonaponsku mrežu ili kapacitivnim i magnetskim povezivanjem preko transformatora srednji/niski napon ili povezivanjem preko zemlje. Visina prenesenog prenapona ovisi o mnogo parametara; izvedbi niskonaponske mreže, izvedbi transformatora, uvjetima povezivanja i sl. Između faznog i neutralnog vodiča u niskonaponskoj mreži može se prenijeti prenapon iznosa do 2 % nazivnog napona srednjonaponskog postrojenja, dok se između faznog vodiča i zemlje može prenijeti do 8 % nazivnog napona srednjonaponskog postrojenja. Širenjem uzduž vodova niskog napona dolazi do gušenja tih prenapona. Iz ovog je vidljivo da su prenaponi nastali zbog direktnog udara munje u srednjonaponski nadzemni vod ili zbog bliskog udara munje uz srednjonaponski nadzemni vod relativno neopasni za električnu instalaciju.

Prenaponi nastali u niskonaponskoj nadzemnoj mreži zbog direktnih ili bliskih udara munje su, također, visokih tjemena vrijednosti i često imaju za posljedicu preskok između vodiča ili preskok prema zemlji preko stupova nadzemne mreže. U niskonaponskoj mreži kombiniranoj iz nadzemnih i kabelskih vodova dolazi do smanjenja visine prenapona kod ulaska u kabelsku mrežu, ali ono nije dovoljno. Ovi prenaponi, ako nisu ničim ograničeni, su najveća opasnost za električnu instalaciju.

U slučaju direktnog udara munje u zemlju na mjestu udara se povećava potencijal te točke (do nekoliko stotina kV) zbog udarnog otpora zemlje koja se u tom slučaju javlja kao uzemljivač. Sličan je slučaj kad munja udari u gromobransku instalaciju zgrade; svi dijelovi objekta koji su električki povezani s gromobranskom instalacijom dolaze na visoki potencijal prema zemlji. Između gromobranske instalacije i električne instalacije koja se nalazi u objektu dolazi do razlike potenci-

jala koja može uzrokovati preskoke ili proboje. Dodatno je kod udara munje u gromobransku instalaciju potrebno uzeti u obzir da struja munje zbog brze promjene stvara napon na induktivitetu munjovoda. Uz prosječne vrijednosti induktiviteta munjovoda od $1,5 \mu\text{H/m}$ i brzine promjene struje munje od $1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ dobiva se iznos pada napona od $1,5 \text{ kV/m}$ koji se približava naponu nastalom na uzemljivaču zbog udarnog otpora uzemljivača.

3.2. Prenaponi uzrokovani sklapanjem

Prenaponi sklapanja su događaji koji mogu nastupiti:

- zbog namjernih radnji u elektroenergetskim postrojenjima (sklapanje tereta ili kapaciteta u prijenosnom ili razdjelnom dijelu),
- zbog namjernih radnji u električnim instalacijama (uklapanja i isklapanja električnih pogonskih sredstava),
- zbog nenamjernih radnji u elektroenergetskim postrojenjima (isklapanje prekidača zbog struje kvara i njezinog otklanjanja),
- zbog nenamjernih radnji u električnoj instalaciji (isklapanje automatskih prekidača, odnosno osigurača zbog struje kvara).

Općenito, sklapanje je svaka iznenadna promjena unutar mreže koja prevodi mrežu iz jednog stabilnog stanja u drugo stabilno stanje. U pravilu, ta promjena je povezana s nastupanjem prenapona, čiji iznos ovisi o mnogo faktora kao što su: vrsta električnog sustava, vrsta sklapanja (uklapanje, isklapanje, ponovno paljenje), vrsta tereta te način sklapanja. S obzirom na kompleksnost teoretskih studija kojima bi se trebalo obraditi svako pojedino sklapanje u nastavku su iznesene samo osnovne postavke potrebne za razumijevanje nastanka prenapona, a njegov iznos i učestalost ponavljanja su potkrijepljeni rezultatima mjerenja.

Sklopke se u svakom dijelu elektroenergetskog postrojenja vrlo široko primjenjuju za upravljanje električnim uređajima. Učestalost sklapanja zavisi o mjestu korištenja; visoka je učestalost u industrijskom pogonu i niža u kućanstvima. Isklapanjem mehaničkog sklopnog aparata (bilo da se odvija ručno ili elektromehanički) dolazi do pojave električnog luka. Iznenadna promjena struje zajedno s induktivitetima i kapacitetima koji su uvijek prisutni u svakom dijelu postrojenja uzrokuje pojavu visokofrekventnih titraja. Mjerenja provedena u industrijskim i drugim postrojenjima [2] pokazuju da je statističko očekivanje prenapona iznosa većeg od $2,5 \text{ kV}$ samo $0,1 \%$ od svih nastupajućih prenapona. No, i to je puno uzimajući u obzir veliku učestalost sklapanja u, naprimjer, industrijskim postrojenjima.

Sve veća uporaba posebnih proizvodnih sredstava, kao što su strojevi za erodiranje metala kod izrade alata ili robota za zavarivanje, uzrokuje veliki broj sklopnih prenapona koji, iako nisu tako visokog iznosa da mogu

oštetiti elektroničke uređaje, mogu uzrokovati smetnje u njihovom radu.

Automatski prekidač se koristi u niskonaponskoj instalaciji za zaštitu od preopterećenja i od kratkog spoja. Za iznos nastalog prenapona interesantno je isklapanje automatskog prekidača u slučaju kratkog spoja; prema [3] nastali prenaponi su iznosa do 400 V . No, još je interesantniji odgovor automatskog prekidača na uklapanje elektromotora s visokom uklopnom strujom. To je slučaj kad je automatski prekidač loše dimenzioniran s obzirom na struju uklapanja motora ili ako je istodobno na tom strujnom krugu priključeno više trošila tako da je trenutna struja puno veća od nazivne struje automatskog prekidača. Prema [3] u takvim slučajevima mogu nastati prenaponi iznosa do $2,7 \text{ kV}$ koji su opasni jer se nalaze direktno u električnoj instalaciji.

Rastalni osigurač se također u električnoj instalaciji koristi za zaštitu od preopterećenja i kratkog spoja. Zbog mehanizma prekidanja struje kratkog spoja nastali prenapon iznosi do $2,6 \text{ kV}$ [3] i relativno je visok s obzirom da je uzročnik nastanka u električnoj instalaciji.

Svi električni uređaji koje se koriste kao pogonska sredstva proizvode prenapon većeg ili manjeg iznosa. Kod većine prenosivih električnih alata (električna bušilica, električna pila, električna blanjalica i slično) koristi se univerzalni elektromotor čije isklapanje prema [3] u strujnom maksimumu može prouzročiti prenapon iznosa do $1,9 \text{ kV}$ na njegovoj priključnoj strani. To je visoka vrijednost s obzirom da se taj prenapon direktno (bez gušenja) prenosi u električnu instalaciju.

3.3. Prenaponi nastali zbog međudjelovanja različitih instalacija

U kućanstvu, poslovnim uredima i tehničkim uredima za vođenje proizvodnje postoji velik broj elektroničkih uređaja koji imaju, osim priključka na elektroenergetsku instalaciju, i druge priključke. Takvi uređaji su:

- telefax-uređaji, automatske tajnice i osobna računala priključeni i na telekomunikacijsku mrežu,
- osobna računala priključena i na informatičku mrežu,
- mjerni-, regulacijski- i upravljački uređaji priključeni i na signalne vodove,
- radio-, tv- i video uređaji priključeni i na antensku instalaciju ili kabelsku mrežu,
- alarmni uređaji priključeni i na dojavne vodove.

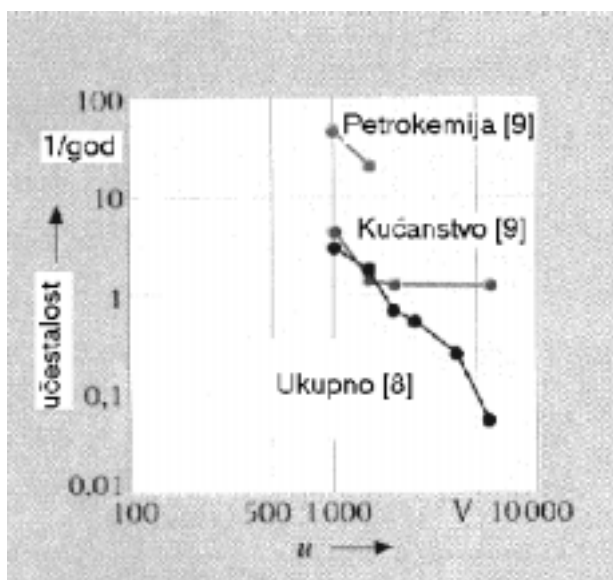
U mrežama koje su položene slično nadzemnim elektroenergetskim mrežama nastaje prenapon na sličan način kako je opisano već prije kod prenapona nastalog zbog izravnog ili bliskog udara munje u elektroenergetsku mrežu. Na sličan način može npr. prenapon "prodrijeti" u kućnu telekomunikacijsku instalaciju gdje može uzrokovati oštećenje uređaja priključenih na nju.

4. POTENCIJALNO OPASNI PRENAPONI U ELEKTRIČNIM INSTALACIJAMA

Ako je ostali dio elektroenergetske mreže i rasklopnog postrojenja izveden uvažavajući sva pravila struke [4], tada se može uzeti da su za električne uređaje priključene na električnu instalaciju i za električnu opremu ugrađenu u električnu instalaciju zbog svojeg iznosa i učestalosti najopasniji prenaponi koji nastaju zbog bliskih udara munje uz štice objekta, jer značajno i učestalo oštećuju izolaciju smanjujući vijek trajanja električnih uređaja. Prenaponi nastali zbog direktnih udara munje u gromobranksku instalaciju po svojem iznosu su relativno visoki, značajno oštećuju izolaciju električnih uređaja, ali im je učestalost manja. Prenaponi sklapanja vrlo su značajni ne toliko zbog svojeg iznosa koliko zbog učestalosti (malo pomalo oštećujući izolaciju električnog uređaja).

Da bi se dobili podaci o stvarnim prenaponima koji se pojavljuju u elektroenergetskim instalacijama organizirana je serija mjerenja prenapona [5] i [6]. Mjerenje je trajalo neprestano skoro dvije godine; u zbroju mjernog vremena od skoro 700 mjeseci registrirano je više od 5000 prenapona. Prema izvješćima o tim mjerenjima [7] i [8] najveći broj registriranih prenapona nije prekoračio iznos od 1000 V. Vrlo rijetko je prenapon prekoračio tjemenu vrijednost od nekoliko kV.

U slici 1 iz [8] prikazane su srednje učestalosti nastanka prenapona različitih tjemениh vrijednosti za sva mjerna mjesta u 400-voltnoj električnoj instalaciji (dobivene tako da je zbroj svih impulsa iste veličine u svim mjernim mjestima podijeljen sa zbrojem trajanja mjerenja u svim mjernim mjestima).



Slika 1. Mjerenjima dobivene učestalosti prenapona

U drugoj seriji mjerenja prenapona [9] na 25 mjernih mjesta provedena su mjerenja isključivo na 400 V-noj električnoj instalaciji u ukupnom trajanju mjerenja od

500 mjeseci. Dobiveni rezultati učestalosti prenapona uglavnom potvrđuju prijašnje mjerenje uz primjedbu da je učestalost pojave prenapona kod obiteljskih kuća povećana kod tjemениh vrijednosti 2,5 kV i 6 kV, slika 1, podaci iz [9].

5. ŠTETE NASTALE OD PRENAPONA I UČESTALOST NJIHOVA NASTANKA

Prema posljedicama štete od prenapona mogu biti štete zbog zamjene ili popravka električnih uređaja ili opreme, štete zbog smanjene funkcije pogona ili štete zbog ispada pogona.

Popravak ili zamjena električnih uređaja ili opreme. To je najvidljivija posljedica prenapona; o uzroku štete može se odmah zaključiti znajući da je bilo nevrjeme s grmljavinom, a šteta je vidljiva i laiku. Radi li se o kućanstvu tada su najčešće štete na kućnom priključku, na razdjelnicima, kućnim električnim uređajima za primanje i obradu slike i tona te na osobnim računalima. Osiguravajuća društva te vrste šteta isplaćuju bez daljnjih istraživanja.

Smanjenje funkcije pogona. Prekid proizvodnje ili problemi u proizvodnji su najčešće štete koje se javljaju zbog relativno niskih prenapona od kojih nisu štice sve osjetljiviji uređaji za vođenje i upravljanje proizvodnjom. Sa sofisticiranošću proizvodnog pogona utjecaj tih šteta je sve veći.

Ispad pogona. Ovo su najteže posljedice prenapona jer dolazi do potpunog ispadanja funkcije poduzeća; osobna računala, telekomunikacijski uređaji i uređaji za upravljanje više ne funkcioniraju ili nisu više međusobno povezani. Za osposobljavanje funkcije cijelog sustava potrebno je određeno vrijeme te su gubici znatni.

Da bi se provela procjena troškova šteta nastalih zbog prenapona uzimaju se u obzir:

- troškovi popravka ili zamjene električnih uređaja i električne opreme,
- troškovi zbog zastoja u proizvodnji, smanjene otpreme i prodaje proizvedene robe (uzima se u obzir smanjenje dobiti),
- uštede zbog smanjenih troškova proizvodnje za vrijeme dok pogon nije radio.

Prenaponi mogu prouzročiti različite vrste šteta zavisno o tome u kakvom prostoru se električne instalacije nalaze i za što je taj prostor namijenjen.

Tipične štete koje nastaju zbog prenapona u kućanstvima su:

- elektroinstalacijski vodovi su iščupani iz zidova,
- uređaji za antenski prijam su razoreni (satelitski i obični),
- razdjelnici s opremom su razoreni,
- električni uređaji su razoreni.

Male ili srednje velike obrtničke radionice ili industrijski pogoni obično imaju jednostavne uređaje i alate za rad (fiksne bušilice i glodalice većih snaga, uređaji za zavarivanje,...) ili za vođenje poslova (osobno računalo, telefax, automatska tajnica,...). Štete koje nastaju odnose se na popravak ili zamjenu električnih uređaja ili električne opreme, ali se mogu pojaviti i štete zbog smanjene funkcije pogona.

Veliki industrijski pogoni u slučaju prenapona mogu imati iste ili slične probleme kao i male ili srednje obrtničke radionice ako je djelovanje prenapona bilo lokalizirano. Ako je prenapon bio naročito visok, a zaštita od njega nije bila dosljedno provedena osim troškova popravka i zamjene električnih uređaja i električne opreme mogu nastati dodatni troškovi zbog ispada pogona i vremena potrebnog za obnovu kakvog-takvog poslovanja. Prema jednoj procjeni [10] ponovno osposobljavanje sustava kod ispada informatičke mreže u banci traje 2 dana, kod prodajno orijentiranog poduzeća 3,3 dana, kod proizvodnog pogona 4,9 dana, kod osiguravajućeg poduzeća 5,6 dana.

U poslovnim uredima nezamisliv je rad bez osobnih računala sa svim svojim perifernim uređajima priključenim na telekomunikacijsku mrežu i međusobno umreženim preko interne informatičke mreže, telefaksa, uređaja za kopiranje, ... Štete samo na uređajima zbog zamjene ili popravka mogu biti znatne, ali su nemjerljivo veće štete zbog prekida poslovanja.

Osobito kritična postrojenja su ona kod kojih može, osim troškova popravka ili zamjene uređaja i opreme, doći do direktne opasnosti po život (naprimjer bolnice), doći do posredne opasnosti po život (naprimjer petrokemijska postrojenja) ili doći do opasnosti po okolinu (također petrokemijska postrojenja).

Nakon što su sakupljeni podaci o učestalosti pojave prenapona i opisane štete prema posljedicama i mjestima pojavljivanja potrebno je povezati učestalost pojave prenapona s učestalošću nastanka šteta.

Zbog pojave prenapona električna instalacija je napregnuta i između električki aktivnih dijelova može doći do proboja, preskoka u zraku, odnosno kliznog proboja preko površine izolacijskog materijala. Prema otpornosti na udarne prenapone električni uređaji moraju biti projektirani, izrađeni i ispitani s obzirom na prenaponske kategorije [11]. Postoje četiri prenaponske kategorije; za svaki projektirani napon uređaja definira se za određenu prenaponsku kategoriju podnosivi udarni napon (oblika $1,2/50 \mu s$) koji taj uređaj mora zadovoljiti (tablica 1). Podnosivi udarni napon je podatak o otpornosti električne izolacije električnog uređaja na prenapon.

Četiri prenaponske kategorije na primjeru električne instalacije 230/400 V znače sljedeće:

- IV. prenaponska kategorija predstavlja područje napajanja električnom energijom i vrijedi za električno brojilo, glavne osigurače i ostalu opremu na ili u blizini točke priključka. Električna oprema mora biti projektirana s obzirom na udarni napon od 6 kV.

Tablica 1.

Projektirani pogonski napon prema zemlji (V)	Prenaponska kategorija			
	I.	II.	III.	IV.
	Podnosivi udarni napon (V)			
230/400 i 277/480	1500	2500	4000	6000
400/690	2500	4000	6000	8000

- III. prenaponska kategorija predstavlja područje fiksne električne instalacije koje se nastavlja na prenaponsku kategoriju IV i predstavlja područje razdjelbe električne energije; vrijedi za razdjelnike, instalacijske vodove i kabele, sklopke, utičnice i sličnu opremu električne instalacije koja se fiksno postavlja. Električna oprema mora biti projektirana s obzirom na udarni napon od 4 kV.
- II. prenaponska kategorija predstavlja područje korištenja električne energije koje se nastavlja na prenaponsku kategoriju III. Vrijedi za kućanske uređaje i prenosiva pogonska sredstva, a električni uređaji i pogonska sredstva moraju biti projektirani s obzirom na udarni napon iznosa od 2,5 kV.
- I. prenaponska kategorija predstavlja područje za osobito osjetljive električne uređaje. Uređaji moraju biti projektirani za udarne napone od 1,5 kV.

Pretpostavke i ograničenja koja su uzeta u obzir kod procjene učestalosti nastanka šteta zbog prenapona:

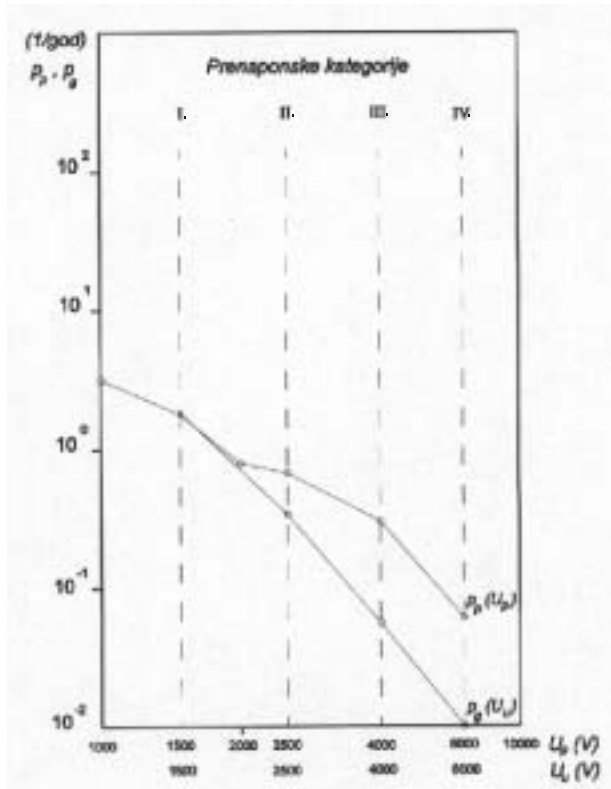
- životna dob izolacije ne utječe na visinu probojnog napona električnih uređaja i opreme,
- oblik prenapona ne utječe na visinu probojnog napona električnih uređaja i opreme,
- električna izolacija svih uređaja i opreme izvedena je tako da izdrži sve prenapone iznosa manjeg od podnosivog udarnog napona, a nakon prekoračenja tog iznosa sigurno dolazi do proboja.

Na osnovi učestalosti prenapona iz slike 1 (mjerjenje prema [8]) u slici 2 prikazana je učestalost pojave prenapona p_{pi} u zavisnosti o tjemenoj vrijednosti prenapona U_{pi} . Zatim su u tu sliku uneseni podaci o podnosivim udarnim naponima U_{ui} za svaku od prenaponskih kategorija. Sada se može povezati učestalost nastanka šteta od prenapona s učestalošću pojave prenapona; do pojave štete zbog prenapona na električnom uređaju doći će sigurno ako je prenapon koji je narinut na uređaj veći od podnosivog udarnog napona za koji je projektiran taj uređaj. Sukladno tome, može se definirati i učestalost nastanka štete p_{gi} za uređaje i opremu određene prenaponske kategorije (za koju je definiran podnosivi udarni napon U_{ui}):

$$p_{gi}(U_{ui}) = \sum_{U_u > U_{ui}} p_{pi}(U_{pi}) \quad (1)$$

pri čemu je p_{pi} učestalost pojave prenapona kod određenog iznosa prenapona U_{pi} .

Na taj način je nastala krivulja učestalosti nastanka šteta o podnosivom udarnom naponu $p_g(U_u)$ električnog uređaja ili opreme u slici 2.



Slika 2. Veza između učestalosti pojave prenapona i učestalosti nastanka šteta u električnoj instalaciji

Sada se svaka šteta može povezati s određenim električnim uređajem ili opremom. Svaki električni uređaj ili oprema pripada određenoj prenaponskoj kategoriji. Kako je već prije došlo do povezivanja učestalosti nastanka štete s iznosima prenapona, to se sada može za svaki pojedini promatrani slučaj (obiteljska kuća, poslovni ured, obrtničku radionicu, proizvodni pogon) povezati iznos šteta T_{pi} u zavisnosti o iznosu prenapona U_{ui} .

6. PROCJENA RIZIKA OD PRENAPONA, PRIHVATLJIVOST RIZIKA I PROCIJENJENA NEODREĐENOST IZRAČUNATOG RIZIKA

Iz dosadašnjeg razmatranja je vidljivo da treba pristupiti na sasvim osobit način procjeni rizika od prenapona koji može nastupiti u električnoj instalaciji. U prvom koraku je potrebno odrediti u kojoj kerauničkoj zoni je smješten objekt u kojem se nalazi električna instalacija. Zatim je potrebno provjeriti da li objekt ima izvedenu gromobransku zaštitu, da li se antenski sustav nalazi na krovu zgrade, da li je priključak na elektroenergetsku mrežu izveden preko zračnih vodova ili preko kabela, te da li se u neposrednoj blizini zgrade nalaze drugi objekti s ugrađenom gromobranskom zaštitom ili s antenskim sustavom. Uzimajući u obzir sve te podatke može se procijeniti učestalost pojave prenapona u električnoj instalaciji te njegova tjemena vrijednost. U drugom koraku je potrebno napraviti popis uređaja na koje može prenapon djelovati razara-

juće, njihovu međusobnu povezanost i procijeniti međusobne utjecaje. U trećem koraku je potrebno procijeniti zastoje u poslovanju te štete zbog toga, kao i direktne štete zbog uništenja uređaja te troškove zbog otklanjanja tih šteta.

Kod same procjene rizika od prenapona u električnim instalacijama nije prikladno koristiti tzv. Vjerojatnostnu procjenu rizika [12] jer ona procjenjuje rizik malo vjerojatnih događaja na jednom izoliranom i tehnički kompliciranom postrojenju s potencijalno velikim ili potencijalno pogubnim posljedicama u kratkom vremenskom razdoblju na relativno velikom prostoru (na primjer rizik zbog rada nuklearnih elektrana). Isto tako nije prikladno koristiti tzv. Metodu brze procjene rizika [13] jer ona procjenjuje rizik od velikih nezgoda na više stacionarnih industrijskih postrojenja smještenih na relativno velikom prostoru u različitim vremenskim razdobljima s potencijalno velikim i pogubnim posljedicama na relativno velikom prostoru (naprimjer zbog događanja u različitim rizičnim postrojenjima u kojima može doći do požara, eksplozija ili ispuštanja opasnih tvari).

Procjeni rizika od prenapona u električnoj instalaciji treba pristupiti kao vrlo vjerojatnom događaju koji se može dogoditi u svakoj električnoj instalaciji, uzimajući u obzir da iznos šteta ovisi o puno parametara. Svaka promatrana električna instalacija predstavlja posebni problem koji treba rješavati od slučaja do slučaja. No, ipak je moguće odrediti osnovne postavke za rješavanje problema.

Rizik od prenapona u električnoj instalaciji se može definirati kao zbroj umnožaka učestalosti pojave štete zbog prenapona u određenoj prenaponskoj kategoriji i procijenjene štete na uređajima i opremi te zastoja zbog otklanjanja šteta na toj istoj prenaponskoj kategoriji:

$$R_i = \sum_i p_{gi} * T_{pi} \quad (2)$$

Za potpuno razumijevanje problema, a da se ne izgubi osnovna nit, dobro je međusobno povezati podnosive udarne napone za svaku od prenaponskih kategorija U_{ui} , učestalost pojave prenapona p_{pi} , učestalost pojave štete od prenapona p_{gi} , procijenjeni iznos nastale štete od prenapona T_{pi} i rizik od prenapona R_i . To je sve (uz procjene šteta dane od autora) napravljeno u tablici 2 za poslovne prostore sa servisom jednog srednje velikog prodavatelja automobila, a u tablici 3. za primjer jedne srednje velike obiteljske kuće.

Prema [14] troškovi ugradnje zaštite od prenapona u sva tri stupnja zaštite bili bi oko 13000 EUR-a, a time bi se vjerojatnost pojave prenapona svela praktični na nulu.

U tablici 3 izračunat je rizik od prenapona u električnoj instalaciji jedne srednje velike obiteljske kuće.

Želi li se smanjiti rizik od prenapona troškovi ugradnje zaštite od prenapona u sva tri stupnja bi iznosili oko 1400 EUR-a [14], a time bi se smanjila vjerojatnost pojave prenapona praktički na nulu.

Tablica 2.

U_p (V)	p_p (1/god)	U_u (V)	p_g (1/god)	Uređaji koji bi bili uništeni	Troškovi (EUR)			Rizik od prenapona (EUR/god)
					uređaja	ostali	ukupni	
1000	3							
1500	1,73	1500	1,78	fax, aut. tajnica, kopirni uređaji, PC+perif.,	25000	100000	125000	222500
2000	0,8							
2500	0,65	2500	0,33	utikači, svjetiljke,	4000	800	4800	1584
4000	0,27	4000	0,06	razdjelnici + oprema,	3000	900	3900	234
				sklopke, utičnice				
6000	0,06	6000	0	KPMO + ugrađena oprema	4500	800	5300	0
Ukupni rizik :								224318

Tablica 3.

U_p (V)	p_p (1/god)	U_u (V)	p_g (1/god)	Uređaji koji bi bili uništeni	Troškovi (EUR)			Rizik od prenapona (EUR/god)
					uređaja	ostali	ukupni	
1000	3							
1500	1,73	1500	1,78	TV+satelit, fax, video+audio PC+perif.,	6000	0	6000	10680
2000	0,8							
2500	0,65	2500	0,33	utikači, svjetiljke,	1000	300	1300	429
4000	0,27	4000	0,06	razdjelnici + oprema,	1000	500	1500	90
				utičnice, sklopke				
6000	0,06	6000	0	KPMO + ugrađena oprema (NH osig., brojilo)	1300	400	1700	0
Ukupni rizik :								11199

Time su dane osnove za procjenu prihvatljivosti rizika; ako je rizik (prikazan kroz EUR/god) da se dogodi šteta zbog neugrađene zaštite od prenapona veći od troškova ugradnje zaštite od prenapona (u EUR) tada je rizik neprihvatljiv! Iz gornjeg je vidljivo da je procijenjeni rizik od prenapona u odnosu na troškove ugradnje zaštite u oba slučaja puno veći, tako da svakako treba pristupiti smanjenju rizika od nastanka prenapona. Kako se to radi i na koji način nije više tema ovog uratka.

Potrebno je još istražiti kolika je neodređenost procijenjenog rizika. U tu svrhu može se postaviti nekoliko pitanja:

1. pitanje: je li primijenjeni model procjene rizika dobro izabran? Autor je postavio njemu nigdje poznati i opisani model procjene rizika od prenapona u električnim instalacijama. Naročita originalnost se sastoji u povezivanju učestalosti pojave prenapona i učestalosti nastanka šteta zbog prenapona. Autoru je poznat jedan rad koji se bavio ovom problematikom [15], no on se zasniva na mjerenjima izdržljivosti izolacija na prenapone koja su provedena radi ispitivanja pouzdanosti izolacije na prenapone.

2. pitanje: koliko su točni iznosi učestalosti prenapona s kojima se ušlo u proračun? To je najslabija točka ovog rada. Već je u t. 3 rečeno s kojim ograničenjima se može uzeti rezultate mjerenja učestalosti.

3. pitanje: koliko kod procjene učestalosti pojave šteta zbog prenapona utječu pretpostavke dane u t. 4 na iznos procijenjenog rizika:

- Nema utjecaja životne dobi izolacije na visinu probojnog napona električnih uređaja i opreme, što svakako nije točno, jer se probojni napon smanjuje sa životnom dobi izolacije.
- Oblik prenapona nema utjecaja na visinu probojnog napona električnog uređaja i opreme, što također nije točno, jer brzina porasta prenapona utječe na iznos probojnog napona.
- Električna izolacija svih uređaja i opreme izvedena je tako da do podnosivog udarnog napona sigurno izdrži prenapon, a nakon prekoračenja podnosivog udarnog napona sigurno dolazi do proboja; to također nije točno jer se uređaji i oprema u stvarnosti ne mogu proizvesti s takvom izolacijom.

Kako je najsporniji podatak onaj o učestalosti pojave prenapona određenog iznosa, a on najviše utječe na

neodređenost procijenjenog iznosa to je ponovljen cijeli izračun za obiteljsku kuću uz pretpostavku da je učestalost prenapona veća za tjemene vrijednosti prenapona 4000 V, 6000 V i novouvedenu vrijednost 10000 V (tablica 4). To se može obrazložiti time da međudjelovanje različitih mreža može biti znatno i vrijednosti prenapona nastalih na taj način znatne.

Također je ponovljen cijeli proračun za slučaj da uopće nema prenapona tjemених vrijednosti većih od 2000 V (tablica 5). Iz dobivenih podataka vidljivo je a) da je procijenjeni rizik jako zavisao o učestalosti pojave prenapona te b) da je i uz male učestalosti pojave prenapona opravdano ugraditi zaštitu od prenapona u električne instalacije.

rištenjem relativno malog broja elektroničkih uređaja i električne opreme). Na osnovu ovih zaključaka o nužnosti i opravdanosti ugradnje zaštite od prenapona u električnim instalacijama slijedeći korak koji se nameće je postaviti osnovne zahtjeve da se to riješi.

LITERATURA

- [1] F. GRONEMEIER: "Vermeidung von Blitz- und Überspannungsschäden an elektrischen und elektronischen Anlagen unter EMV-Gesichtspunkten", DE Der Elektro- und Gebäudetechniker Nr.6/97
- [2] E Beiblatt1 zu DIN VDE 0100-534/07.1999: Elektrische Anlagen von Gebäuden, Allgemeine Grundinforma-

Tablica 4.

U_p (V)	p_p (1/god)	U_u (V)	p_g (1/god)	Uređaji koji bi bili uništeni	Troškovi (EUR)			Rizik od prenapona (EUR/god)
					uređaja	ostali	ukupni	
1000	3							
1500	1,73	1500	2,95	TV+satelit, fax, video + audio PC+perif.,	6000	0	6000	17700
2000	0,8							
2500	0,65	2500	1,5	utikači, svjetiljke,	1000	300	1300	1950
4000	0,6	4000	0,9	razdjelnici + oprema, Utičnice, sklopke	1000	500	1500	1350
6000	0,5	6000	0,4	KPMO + ugrađena oprema (NH osig., brojilo)	1300	400	1700	680
10000	0,4							
Ukupni rizik :								21680

Tablica 5.

U_p (V)	p_p (1/god)	U_u (V)	p_g (1/god)	Uređaji koji bi bili uništeni	Troškovi (EUR)			Rizik od prenapona (EUR/god)
					uređaja	ostali	ukupni	
1000	3							
1500	1,73	1500	0,85	TV + satelit, fax, video + audio PC + perif.,	6000	0	6000	5100
2000	0,8							
Ukupni rizik :								5100

7. ZAKLJUČAK

U radu je na originalan način povezana učestalost pojave prenapona s učestalošću nastanka štete od prenapona i mogućim štetama zbog prenapona u električnoj instalaciji. Procjena rizika od prenapona u električnim instalacijama pokazuje da je opravdana ugradnja zaštite od prenapona (čak i za obiteljske kuće s ko-

tionen zu Überspannungen und Schutz bei Überspannungen in Niederspannungs-Starkstromanlagen mit Wechselspannungen

- [3] W. PFEIFFER, F. SCHEUERER: "Überspannungserzeugende Betriebsmittel", etz Elektrotechnik + Automation Heft 3/1993
- [4] DIN EN 60099-5/2000-09: Überspannungsableiter – Teil 5: Anleitung für die Auswahl und die Anwendung

- [5] K. STIMPER, S. SCHWETZ: "Der DKE-Rundversuch 'Überspannungsmessungen', etz Elektrotechnik + Automation Heft 3/1991
- [6] K. STIMPER: "Rundversuch zur Messung transientser Überspannungen beginnt im Herbst", etz Elektrotechnik + Automation Heft 18/1988
- [7] G. ACKERMANN, M. HUDASCH, S. SCHWETZ, K. STIMPER: "Überspannungen in Niederspannungsanlagen", etz Elektrotechnik + Automation Heft 3 / 1993
- [8] S. SCHWETZ: "Gefahren am Arbeitsplatz durch transiente Überspannungen", etz Elektrotechnik + Automation Heft 3/1993
- [9] G. ACKERMANN, K. SCHEIBE, K. STIMPER: "Isolationsgefährdende Überspannungen im Niederspannungsbereich", etz Elektrotechnik + Automation Heft 1-2/1997
- [10] P. HASSE: "Blitzschutz mit integriertem Störschutz als Massnahme der EMV", de Der Elektro- und Gebäudetechniker Nr.4/1994
- [11] DIN VDE 0100-443/2002-01: Errichten von Niederspannungsanlagen –Teil 4: Schutzmassnahmen; Kapitel 44: Schutz bei Überspannungen; Hauptabschnitt 443: Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen
- [12] V. MIKULIČIĆ, Z. ŠIMIĆ, I. VRBANIĆ: "Vjerojatnostna procjena tehničkih rizika", Energija 51/2002
- [13] D. ŠKANATA, N. MALBAŠA i drugi: "Procjena rizika od energetskih i drugih kompleksnih gospodarskih sustava na području grada Zagreba", Gospodarstvo i okoliš 1/1995
- [14] O. BOM: "Mehr Sicherheit mit Überspannungsschutz", Sonderdruck Nr.49 Dehn + Sohne
- [15] H. KÜTTNER: "Zuverlässigkeitsisolierungen von Niederspannungsisolierungen bei transienten Spannungen", etz Elektrotechnik + Automation Heft 113/1992

OVERVOLTAGE RISK ASSESSMENT OF ELECTRICAL INSTALLATIONS

Growing sensitivity of electrical equipment on overvoltage occurrence and electrical installation network requires probability assessment of overvoltage occurrence in electrical installations as well as risk assessment. In order to evaluate overvoltage risk in electrical installations, the dan-

ger of overvoltage is identified, and its causes observed. Values are given as well as probabilities of overvoltage occurrence in electrical installations, including damages caused by overvoltage. Probability of overvoltage is brought into relation with possibility of damage, and risk assessment is done. Based on that evaluation it is concluded that almost all electrical installations could be protected by overvoltage equipment in a cost-effective way.

DIE EINSCHÄTZUNG DER ÜBERSpannungSGEFahren IN ELEKTRISCHEN ANLAGEN

Die immer grössere Überspannungsempfindlichkeit elektrischer Einrichtungen, sowie die andauernd wachsende Verknüpfung der Anlagennetze verlangt eine Erforschung der Wahrscheinlichkeit vom Überspannungsaufreten in elektrischen Anlagen, und damit übereinstimmend, eine Einschätzung der Überspannungsgefahren, welche man zu diesem Zweck erforscht hat. Überspannungen wurden nach Ursachen unterteilt und deren Höhen sowie Erscheinungserwartungen in den Anlagen angegeben. Man machte auf die in elektrischen Einrichtungen zu erwartenden Schäden aufmerksam; in Zusammenhang wurden die Wahrscheinlichkeiten der Entstehung von Überspannungen mit der daherstammenden Schadenwahrscheinlichkeit gebracht, und die Schaden von denen abgeschätzt. Das Ergebniss dieser Abschätzung ist: bei fast jeder Anlage hat der Überspannungsschutz seinen Grund.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Ivan Mateković, dipl. ing.
Elektrokontakt d.d.
Radnička cesta b. b.
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 02 – 12.