

TIPOLOGIJA OŠTEĆENJA KOMPOZITNIH IZOLATORA U PRIJENOSNIM I RAZDJELNIM MREŽAMA HRVATSKE

Ante S e k s o, Zagreb

UDK 621.316.1:621.315.62
STRUČNI ČLANAK

Svrha je rada da identificira, grupira i klasificira vrste kvarova na kompozitnim izolatorima koji su se pojavili tijekom dosadašnje primjene u razdjelnim i prijenosnim mrežama u Hrvatskoj. Kompozitni izolatori kao sasvim nova vrsta izolacijske opreme vodova i postrojenja visokih napona pojavili su se na tržištu prije više od 4 desetljeća, a u Hrvatskoj su u uporabi znatno kraće vrijeme. Međutim, već do sada prikupljeno je dosta uzoraka s kvarovima, kakvi su tipični baš za tu novu vrstu izolacije. Primjeri pogoršavanja svojstava, oštećenja izolatora i njihovih definitivnih kvarova zabilježenih kod nas su ilustrirani fotografijama s terena, a neki degradirani izolatori dodatno su analizirani u laboratoriju. U analizama i donesenim zaključcima treba voditi računa o mrežnim prilikama i općenito o uvjetima koordinacije izolacije za konkretne slučajeve.

Ključne riječi: izolatori, pogoršanja, oštećenja, kvarovi, koordinacija izolacije.

1. UVODNO O MJESTIMA I VRSTAMA OŠTEĆENJA I KVAROVA NEKERAMIČKIH IZOLATORA

Visokonaponski izolatori nove tehnologije i novih materijala označavaju se najopćenitije [1] imenom “nekeramički izolatori” (engl. kratica NCI), iako se najčešće u Europi [5] koristi izraz “kompozitni izolatori”, a ponekad [4] se posebno razlikuju tzv. “polimerni izolatori”, ali ima i drugih [2] skupnih naziva (npr. “kompozitni polimerni izolatori”, engl. kratica CPI). Kod nas [3, 7] se do sada najviše udomaćio izraz “kompozitni izolatori” ili “kompoziti”, pa ćemo ga najčešće koristiti. Takvi novi izolatori pružaju nekoliko prednosti u odnosu na klasične izolatore od keramike (porculana) i stakla, a to su manja težina, bolje uklapanje u okoliš, povećana otpornost na vandalizam, te mogućnost kompaktiranja nadzemnih vodova. Kako su u suvremenoj elektroprivrednoj djelatnosti poduzeća prisiljena osiguravati maksimalnu pouzdanost svojih prijenosnih i razdjelnih vodova to oštećenja individualnih komponenti kakvi su izolatori postaju kritično važnim. Pojavu oštećenja i kvarova kompozitnih izolatora uvjetuju specifična svojstva novih izolatorskih materijala, ali i njihova kombinacija u potpunim izolatorskim konstrukcijama u različitim okolišnim i mrežnim uvjetima njihove primjene.

1.1. Mrežni i okolišni uvjeti rada kompozitnih izolatora

Djelovanje *atmosferskog električnog pražnjenja* izaziva na nadzemnim vodovima putne valove koji se šire

vodičima tražeći put najkraćeg preskoka do zemlje. Obično je minimalni razmak lociran na izolatorskim konstrukcijama. Da bi se osigurao preferentni put između vodiča i zemlje izvan osjetljive površine kompozitnog izolatora obično su izolatorske konstrukcije opremljene iskrištima. Iskrišta se postavljaju bočno u odnosu na nosne konstrukcije, a povrhu u odnosu na zatezne konstrukcije. Razmak iskrišta je uvijek manji od lučne udaljenosti na suhom kompozitnom izolatoru. Stoga kada zračno iskrište kao posljedica inducirano grmljavinskog vala postane ionizirano dolazi do preskoka prema zemlji. Preskočna staza se potom napaja energijom voda pogonske frekvencije i u slučaju dobre konstrukcije razvije se luk pogonske frekvencije među vrhovima iskrišta izvan izolatorske jedinice (sl. 1) sve do ispada voda djelovanjem relejne zaštite. Energija slijednog luka (luka snage) pogonske frekvencije može biti znatna ovisno o svojstvima mreže, pa je stoga potrebno da presjek iskrišta i pripadnih metalnih dijelova bude adekvatan da izdrži toplinska naprezanja.



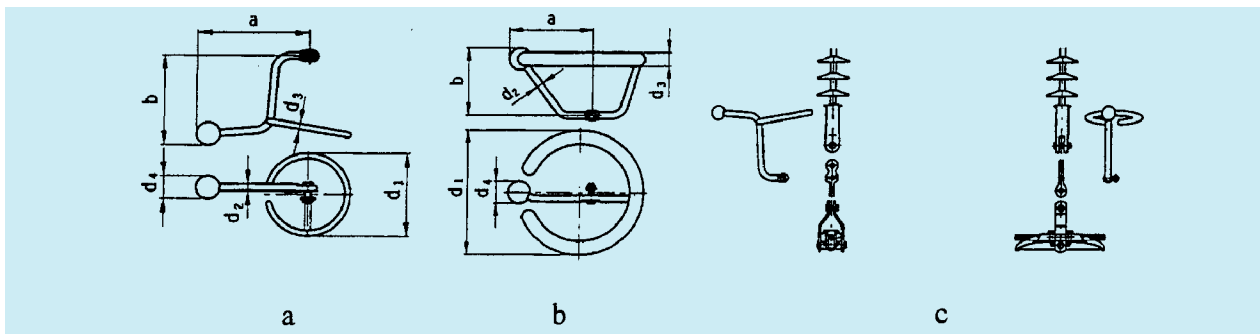
Slika 1. Luk među iskrištima kompozitnog izolatora za razdjelnu mrežu izazvan udarnim naponom brzog čela (grmljavinskog oblika) – ispitivanje u IE, Zagreb [21]

Za vrijeme pojave *sklopnih prenapona* preferentni put preskoka treba biti opet preko luka među krajevima iskrišta. Općenito se opet razvija slijedni luk (luk snage) pogonske frekvencije, pa stoga iskrišta trebaju biti tako dimenzionirana da pruže istu zaštitu površine kompozitnog izolatora kao i kod preskoka izazvanog grmljavinom.

Kompozitni izolator (slično izolatorskom keramičkom lancu) podvrgnut je djelovanjem pogonskog napona *naponskoj distribuciji* koja nije jednolika po čitavoj izolatorskoj duljini. Dijelovi kompozitnog izolatora uz spoj s mrežnim naponom preuzimaju viši dio napona u odnosu na dijelove spojene na ovjesište (električki: zemlju). Razdioba napona može se značajno popraviti specijalno projektiranim tzv. zaštitnim prstenovima koji omogućuju postizavanje dopuštenih RIV razina (radio interferentni naponi), ali i mnogo jednolikije razdiobe pogonskog napona duž kompozita, a time i njegovog duljeg vijeka.

Kompozitni izolatori izloženi uvjetima *onečišćenja atmosfere* izazvane prirodnim uvjetima (morska sol, pustinjski pijesak i sl.) ili djelovanjem čovjeka (industrija, promet i sl.) posebno su osjetljivi na svojoj po-

tzv. zaštitnih prstenova i iskrišta za izolatorske konstrukcije baš s kompozitima. Osnovni parametri dobrog projektiranja zaštitne armature i iskrišta su lučna udaljenost od površine kompozita (veća od 100 mm), potom promjer prstena, njegov presjek, način montaže i drugo. Ne ulazeći ovdje u detalje dat će se samo skica (sl. 2) lučnih prstena kakvi se u Češkoj montiraju na naponskom kraju kompozitnih izolatora i koji su nedavno prezentirani u Hrvatskoj [12]. Na sl. 2 prikazane su izvedbe za mreže 220 kV i 400 kV, te posebno naglašeni detalji montaže prstena na kraju izolatora. Ukoliko se zaštitni prsteni montiraju direktno na krajnji spojnik kompozitnog izolatora ispitivanja u institutu EGÚ (Prag) pokazala su da luk snage zatvarajući se kroz krajnji spojnik dovodi do pregrijavanja jezgre od staklenih vlakana, a to rezultira smanjenom mehaničkom čvrstoćom izolatora. Stoga su obvezni spojni umetci kao na sl. 2 c. Nadalje, zaštitni prsten ili prstenasto iskrište treba biti udaljeno od površine prvih rebara izolatora, jer se u suprotnom mogu pojaviti površinska oštećenja jezgre izolatora. Primjeri nekih loših rješenja zaštitnih armatura i iskrišta na našim izolatorskim konstrukcijama s kompozitnim izolatorima (sl. 7) potvrđuju gornje preporuke.



Slika 2. Lučni prstenovi za kompozitne izolatore za 220 kV (a) i 400 kV (b), te priključci na izolator (c) – češke preporuke [12]

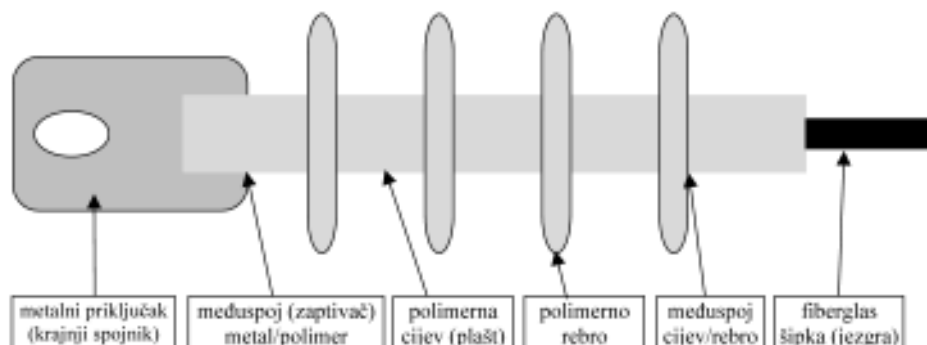
vršini, ali i u dubljim strukturama (međuspoj jezgropokrov, jezgra i sl.). Kompozitni izolatori imaju posebno razvijena svojstva vodoodbojnosti (hidrofobnosti), a neki tipovi materijala i do sada nepoznato svojstvo povratka ili oporavka hidrofobnosti. Međutim, pravilan izbor tipa vanjskog materijala (pokrov), duljine klizne staze, tipa materijala za nosnu jezgru i sl. zahtijeva niz predznanja o okolišu u kojem će ti izolatori biti ugrađeni s namjerom da djeluju ispravno u prosječnoj dobi nadzemnih vodova (oko 40 godina i više). To postavlja vrlo oštre uvjete za sve projektante i investitore u kompozitne izolatore za prijenosne i razdjelne mreže u Hrvatskoj. Ignoriranje bilo kojeg od nabrojanih uvjeta mreže i okoliša može vrlo brzo dovesti do oštećenja, a potom i fatalnih kvarova kompozitnih izolatora čime njihove ranije naglašene prednosti bivaju potpuno eliminirane.

Na kraju ovog sažetog prikaza vrsta i utjecaja mrežnih i okolišnih uvjeta na kompozitne izolatore može se izdvojiti pitanje pravilnog formiranja i dimenzioniranja

1.2. Tipovi pogoršanja, oštećenja i kvarova kompozitnih izolatora

Kompozitni izolatori su izloženi u životnom vijeku nekim tipičnim vrstama kvarenja svojstava, koja se općenito svrstavaju u tri grupe prema IEC, CIGRÉ i STRI terminologiji [6, 14, 18, 19, 20]. Prvo će se dati definicije tih triju grupa redukcija svojstava kompozitnih izolatora, a potom će se nabrojiti unutar pojedinih grupa tipični slučajevi. Osnovne grupe redukcije karakteristika kompozitnih izolatora su sljedeće:

Pogoršanja su definirana kao kozmetička ili površinska starenja koja se na kompozitnim izolatorima javljaju kao direktni rezultat izloženosti pogonskom okolišu, električnim mrežnim naprezanjima, mehaničkom opterećenju ili nepažljivom rukovanju. Za ovu vrstu starenja ne očekuje se da uzrokuje znatnije redukcije izolatorskih karakteristika i/ili dugovječnosti. Naime, pogoršanja ne reduciraju značajno debljinu polimernog kućišta koje sprječava pristup vlazi do jezgre, a smanjuju kliznu stazu samo do 10 % otprilike.



Slika 3. Tipični profil kompozitnog vodnog izolatora i mjesta mogućih slabljenja svojstava

Oštećenja su definirana kao promjene koje se na kompozitnim izolatorima javljaju kao posljedica progresivne pogoršanja ili vanjskih utjecaja uključivo nepažljivog rukovanja. Može se očekivati da oštećenja imaju negativan utjecaj na karakteristike izolatora i njegovu dugovječnost.

Kvarovi se dijele općenito na električne i mehaničke, pri čemu prvi dovode do gubljenja izolacijskih svojstava, a drugi do toga da izolator ne može više držati mehanički teret. Stoga se obje vrste kvarova ponekad nazivaju "slom životne dobi" (engl.: End of life failure modes).

Različiti nabrojani tipovi redukcije svojstava kompozitnih izolatora mogu se pojaviti u različitim zonama duž njegove konstrukcije. Stoga su na sl. 3 prikazana ta tipična mjesta na profilu jednog vodnog kompozitnog izolatora.

Među degradacije svojstava kompozitnih izolatora spada više tipova, koji će se samo nabrojiti dok su detaljnije definicije dane u IEC i STRI dokumentima navedenim u Literaturi [20,18]. Tipovi su:

Pogoršanja: krednjenje (brašnjenje), promjena boje, sitne pukotine, korozija priključka, curenje masti, lagana erozija, manje odvajanje, manje pukotine, blago sniženje hidrofobnosti itd.

Oštećenja: izloženost jezgre, odvajanje, erozija, odljepljivanje, oštećenje lukom snage, rupe, pukotine, stvaranje tragova, grananje, prskanje, jaki pad hidrofobnosti, pojava hidrolize itd.

Kvarovi se općenito dijele na električne i mehaničke i oni će ovdje biti nešto detaljnije opisani.

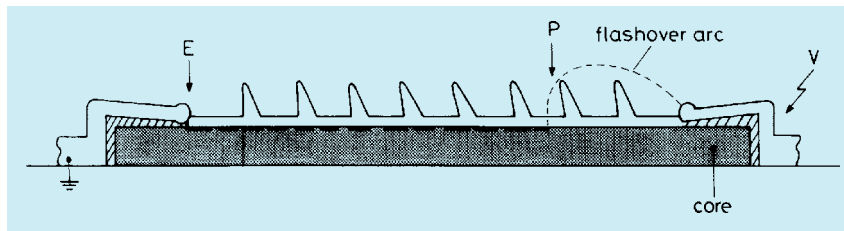
Mehanički kvar je prekid izolatorske jezgre koji dovodi do toga da izolator ne može dalje podnositi mehanički teret. Prekid jezgre od staklenih vlakana može uslijediti npr. radi duboke erozije i/ili nepovratne degradacije stvaranjem dubokih tragova ili staza na polimernom plaštu. Međutim, poseban oblik mehaničkog kvara je tzv. *krhi prijelom* (engl. Brittle fracture) tipičan za šipku jezgre od fiberglasa i to:

a) kao glatka prijelomna površina koja leži uglavnom okomito na os šipke od fiberglasa

- b) ponekad kao stupnjevita formacija glatkih površina
 c) kao prekid staklenih vlakana i veziva na istoj ravni
 d) kao čista prijelomna površina (bez finih čestica stakla ili veziva).

Krhki prijelom kao tipični i teški kvar kompozitnih izolatora predmet je brojnih istraživanja [npr. 12, 13, 18] i svaki uzorak s terena je dragocjen. Nosivu jezgru kompozitnih izolatora čine plastične šipke pojačane staklenim vlaknima ili fiberglasom (engl. kratica FRP), pri čemu tip stakla može biti različit (E-staklo, ECR-staklo itd.). Najozbiljniji problem je krhki prijelom izazvan kemijskim napadom na staklena vlakna. Da bi se taj problem dobro riješio potrebno je poznavati strukturu kemijskih agensa koji napadaju izolator na mjestu ugradnje, te primijeniti staklena vlakna otporna na napad korozije. Tako E-staklo može biti napadnuto od same kišnice, dok je ECR-staklo otporno čak i na kiseline. Voda može penetrirati kroz kućište difuzionim procesom tzv. hidrolize što može dovesti do pražnjenja u polimeru, a ona mogu izazvati organske kiseline. Dopunskim djelovanjem mehaničkih naprezanja kao rezultat nastaje konačni mehanički kvar u vidu krhkog prijeloma jezgre, ako sastav jezgre nije pažljivo i adekvatno odabran.

Električni kvar u vidu vanjskog preskoka ili unutarnjeg proboja dovodi do trajnog smanjenja dielektrične čvrstoće, pa izolator više ne može podnositi napon sustava. Jedan od posebno teških oblika električnog konačnog kvara kompozitnih izolatora uzrokovan je tzv. međuspojom invazijom na spoju "polimerni plašt – fiberglas jezgra" (sl. 4). Razlozi međuspojne invazije mogu biti različiti, a jedan od njih je slabljenje spoja "metal – polimer" na metalnom priključku zbog mehaničkih naprezanja posebno kod zateznih izolatora. Kada nevidljiva invazija prođe dovoljno daleko može kroz rupu na kućištu nastupiti preskok preko rezidualne vanjske površine obično uz mehanički kolaps izolatora. Što se tiče vanjskih preskoka preko čitave površine kompozitnih izolatora, njih najčešće uzrokuju jaki erozivni napadi.



E – potencijal zemlje, P – rupa na polimernom plaštu, V – napon mreže

Slika 4. Prijenos potencijala zemlje duž međuspoja "fiberglas šipka – polimerni plašt" putem tzv. invazije [1]

2. PRIMJERI DEGRADACIJE KOMPOZITNIH IZOLATORA U HRVATSKOJ

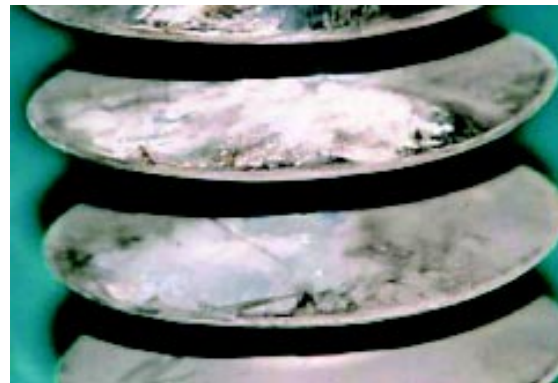
U vidu fotodokumentacije [8, 9, 10, 11, 22] dat će se neki tipični slučajevi degradacija svojstava kompozitnih izolatora u hrvatskim razdjelnim i prijenosnim mrežama. Ilustrirat će se različiti tipovi opisani prethodno, a moguća objašnjenja za neke slučajeve dat će se u potpisu slika. Na slikama su obuhvaćeni gotovo svi

oblici stradanja izolatora uz napomenu da su najstariji izolatori u pogonu manje od 10 godina (izolatori sa Otočne veze 110 kV), a većina prikazanih i znatno manje (2 do 3 godine). Ovaj podatak posebno naglašava važnost ovakve sistematizacije i potrebu daljnjeg rada na tome.

2.1. Primjeri pogoršanja svojstava kompozitnih izolatora



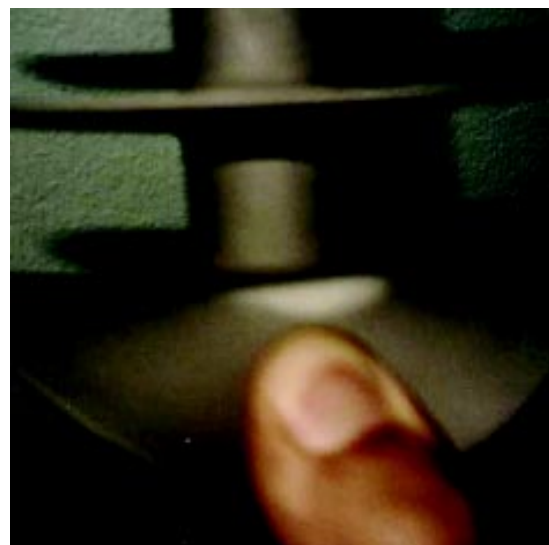
Slika 5. Porast indeksa hidrofobnosti gornjeg rebra (HC 3 do 4 prema STRI klasifikaciji)



Slika 6. Krednjenje i promjena boje izolatora



Slika 7. Lagana erozija plašta jezgre 110 kV izolatora (neadekvatno rješenje zaštitnog prstena)



Slika 8. Manje odvajanje rebra od plašta jezgre

2.2. Primjeri oštećenja kompozitnih izolatora



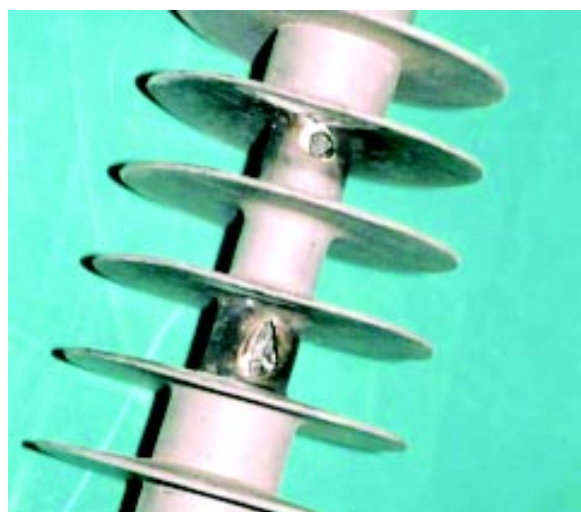
Slika 9. Pukotine i oštećenja rebara na provodnom izolatoru 110 kV u KK Toreta (Pag)



Slika 10. Stvaranje tragova, oštećenje lukom (sa 20 kV voda HEP Elektroistre)



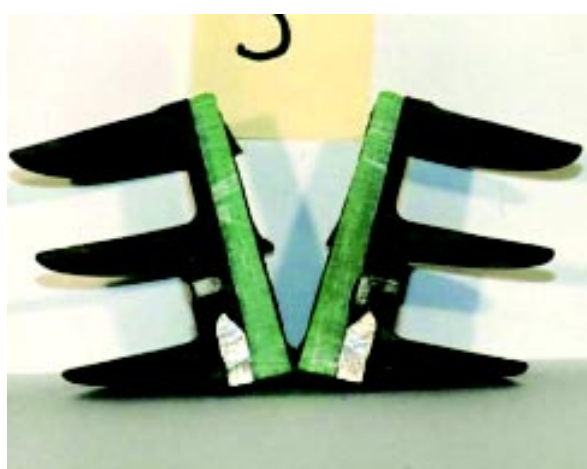
Slika 11. Izloženost fibreglas jezgre utjecaju okoliša



Slika 12. Rupa i veća pukotina na plaštu jezgre



Slika 13. Rupa u polimernom kućištu iznad srednjeg rebra razdjelnog izolatora

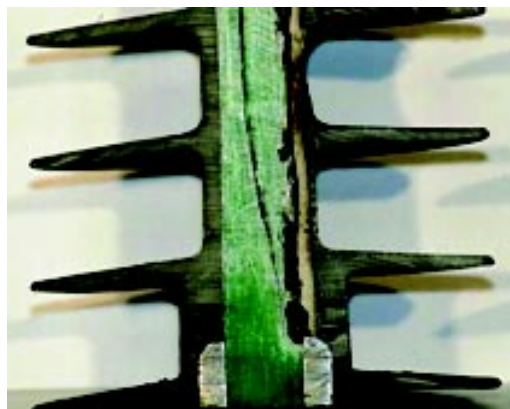


Slika 14. Presjek rupe s unutarnje strane (spoj prema metalnom priključku)

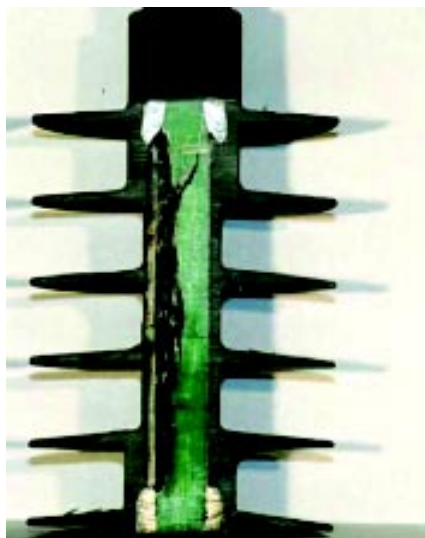
2.3. Primjeri kvarova (uništenja) kompozitnih izolatora



Slika 15. Jaka erozija i uništenje površine provodnog izolatora 110 kV (neadekvatan izbor)



Slika 16. Parcijalna invazija i unutarnja pogrješka u fibreglas jezgri (dijagonalno)



Slika 17. Potpuna invazija i unutarnji proboj razdjelnog kompozitnog izolatora



Slika 18. Odljepljivanje na metalnom priključku kao izvor invazije



Slika 19. Krhki prijelom fibreglas jezgre kompozita (kod ispitivanja u laboratoriju uz 90% tereta)



Slika 20. Lom međufazne izolatorske konstrukcije (djelovanje leda i vjetra, loša izvedba)

3. UMJESTO ZAKLJUČKA

Navedeni pregled tipologije i primjera degradacije svojstava kompozitnih izolatora u mrežama Hrvatske prvi je takav pokušaj sistematizacije kod nas. On je daleko od završenog posla, ali već i takav pokazuje stanovita iskustva u prvim godinama većeg korištenja te nove izolacijske tehnike u našoj distribuciji i prijenosu energije. Pokazuje se da su se vrlo brzo pojavili kod nas gotovo svi poznati slučajevi pogoršavanja svojstava, oštećenja i konačnih kvarova kompozitnih izolatora. Neki su izazvani nesavršenošću nove tehnologije, neki pogreškama u izvedbi konstrukcija s kompozitnim jedinicama, a neki su posljedica neadekvatnog izbora tipa kompozitnih izolatora. Sve to stavlja Hrvatsku elektroprivredu u situaciju da preispita politiku izbora, kupnje i konstrukcija kompozitnih izolatora, kako bi smanjenjem svih vrsta kvarova doista došlo do izražaja brojne prednosti tih novih visokonaponskih uređaja.

4. PITANJA ZA RASPRAVU

1. Mogu li se slikom i dopunskim podacima ilustrirati slični slučajevi iz hrvatskih mreža?
2. Zašto u HEP-ovoj godišnjoj Statistici pogonskih događaja nema detaljnih izolatorskih podataka?
3. Radi čega se uporno HEP ne pojavljuje u CIGRÉ, IEC i sl. anketama o vanjskoj izolaciji?

LITERATURA

- [1] J. S. T. LOOMS: Insulators for high voltages, Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1988.
- [2] R. S. GORUR, E. A. CHERNEY, J. T. BURNHAM: Outdoor insulators, R.S. Gorur, Inc., Phoenix, Ar., USA 1999.
- [3] K. SOKOLIJA: Visokonaponski izolatori, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo 2000.
- [4] E. KUFFEL, W. S. ZAENGL, J. KUFFEL: High voltage engineering: Fundamentals, Newnes (Butterworth-Heinemann), Oxford, UK, 2001.
- [5] H. M. RYAN (editor): High voltage engineering and testing, Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1994.
- [6] D. A. SWIFT, J. P. REYNDERS, C. S. ENGELBRECHT, A. SEKSO-TELENTO, J. L. FIERRO-CHAVEZ et al.: Polluted insulators: A review of current knowledge, CIGRE Monography, Publication No. 158, Paris, 2000.
- [7] A. SEKSO, Z. RIMAC: Metodologija istraživanja zagađenja i zaštite vanjske izolacije elektroenergetskih objekata, JUGEL, Beograd, 1990.
- [8] A. SEKSO: End-of-life failure modes experienced with NCI on 110 kV "Island connection" in Croatia, P. No. 3.4 on CIGRE Sc 33 Colloquium, Harare, Zimbabwe, 1995.
- [9] A. DELONGA, S. ALJINOVIĆ, A. SEKSO-TELENTO: Examples of damages on transmission lines in Dalmatia, Croatia due to ice, snow and wind, Paper No. IWD 195, on CIGRE Working Group B2-03 "Insulators", Cavtat, 2003.
- [10] S. BOJIĆ, A. SEKSO-TELENTO: Some types of failure modes on composite insulators in Croatia, Lecture No. 6 on Round Table "Composite insulators – Experiences and Perspectives", HK CIGRE & SC B2, Cavtat 2003.
- [11] S. ALJINOVIĆ: Examples of operational experiences with NCI in HEP PrP Split, Lecture No. 7, Ibid.
- [12] V. SKLENIČKA: Utilization and service experience with composite insulators in Czech power system, L. No. 2, Ibid.
- [13] R. MUNTEANU: Field experiences and investigations on NCI in Israel Electric Co., L. No. 3, Ibid.
- [14] C. de TOURREIL, G. RIQUEL et al.: Composite insulator handling guide, CIGRE WG 22-03 Publication, Paris 2002.
- [15] A. SEKSO: Politika Svjetske banke u nabavi izolatora za visokonaponske prijenosne vodove, ER/EM, str. 12-15, No. 2, Zagreb, rujan 2001.
- [16] M. ZIMMERMAN: Bushings: An overview – Market forces, Present technologies & future directions, INMR Vol. 10, No 4 & 6, Montreal, Canada, 2002.
- [17] STRI: Hydrophobicity classification guide, Guide 1, STRI AB, Ludvika, Sweden 1992.
- [18] STRI: Composite insulator status program: Field inspection of composite line insul., Guide 3, Ibid. 2002.
- [19] STRI: Guide for visual identification of deteriorations and damages of suspension composite insulators, Guide 5, Ibid, 2003.
- [20] IEC: Composite insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V, Int. Standard No. 1109, Geneva, March 1992 (prijevod na hrvatski u ETO 36, DZNM)
- [21] S. BERTALANIĆ i dr.: Izvještaj o ispitivanju izolatorskih konstrukcija za Dalekovod, IE izv. TR-6559/03, Zagreb 2003.
- [22] A. SEKSO, S. BOJIĆ, Z. BERTALANIĆ i dr.: Izvještaj o ispitivanju kompozitnih izolatora za DP Elektroistra, Pogon Poreč, IE, Izvještaj u rukopisu, Zagreb 2003.

TYPOLOGY OF COMPOSITE INSULATORS IN TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORKS OF CROATIA

The scope of the work is to identify, group and classify type of faults on composite insulators that occurred during their usage in distribution and transmission networks in Croatia. Composed insulators as a completely new insulation equipment for transmission lines and stations appeared more than forty years ago, but in Croatia they have been used for a much shorter while. However, there are already enough samples with faults typical for that new kind of insulation. Examples of characteristics deterioration, insulator damage and their definite faults are illustrated by photos from the field, and some degraded insulators are additionally treated in the lab. In all analyses and conclusions the network state and general insulation coordination have to be taken into account for certain cases.

GEPRÄGEKUNDE ÜBER BESCHÄDIGUNGEN AN KOMPOSITEN ISOLATOREN IN ÜBERTRAGUNGS- UND VERTEILUNGSNETZEN

Ziel dieser Arbeit ist Erkennung, Gliederung und Gruppierung der Schaden an bisher in kroatischen Übertragungs- und Verteilungsnetzen angewandten kompositen Isolatoren. Als eine ganz neue Art des Isolationsrüstzeugs für Hochspannungsleitungen und -Anlagen, erschienen sie am Markt schon vor mehr als 4 Jahrzehnten, in Kroatien aber wurden sie erst unlängst angewandt worden. Mittlerweile sind doch genügend Exemplare mit für diese Isolatorenart kennzeichnenden Schaden gesammelt. Beispiele der Herabsetzung von Eigenschaften, Beschädigungen und endgültiger Fehler sind hierzulande verzeichnet, mit Aufnahmen an Ort

und Stelle veranschaulicht; einige entwertete Isolatoren sind zusätzlich im Laboratorium untersucht worden. Bei den Untersuchungen und Schlußfolgerungen soll man in konkreten Fällen Rechnung von Netzumständen und von allgemeinen Koordinierungsbedingungen der Isolation tragen.

Naslov pisca:

Ante Sekso, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i
energetiku d.d.
Ul. grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2004 – 09 – 24.