

TEHNIČNA IN EKONOMSKA PREDSTAVITEV SANACIJE SREDNJENAPETOSTNIH KABLOV Z METODO CABLECURE

Mag. Viktor Lovrenčič, univ.dipl.inž.el.

C&G d.o.o., Riharjeva 38, 1000 Ljubljana

Tel.: +386 1 283 41 05 – Faks: +386 1 283 40 25 - E-mail : viktor.lovrencic@c-g.si

Anton Pretnar, inž.el.

Elektro Gorenjska d.d., Mirka Vadnova 3, 4000 Kranj

Tel.: +386 4 208 30 00– Faks: +386 4 208 36 00 - E-mail : anton.pretnar@elektro-gorenjska.si

Bojan Luskovec, inž.el.

Elektro Gorenjska d.d., Mirka Vadnova 3, 4000 Kranj

Tel.: +386 4 208 30 00– Faks: +386 4 208 36 00 - E-mail : bojan.luskovec@elektro-gorenjska.si

Sandi Sitar, inž.el.

C&G d.o.o., Riharjeva 38, 1000 Ljubljana

Tel.: +386 1 283 41 05 – Faks: +386 1 283 40 25 - E-mail : sandi.sitar@c-g.si

POVZETEK

Tehnologija CableCURE predstavlja ekonomično alternativo zamenjave SN kablov, ki so že v okvari ali pa blizu tega. Tehnologija povečanja dielektrične trdnosti kabla se izvede z vbrizgavanjem dielektrične tekočine v žile kabla. Tekočina prodira vzdolž žil v kabel in preko ekrana v področje polietilena, ki je poškodovan z vodnim drevesom, pri čemer pride do reakcije z vodo ali vlažnostjo v izolaciji. Reakcija poveča velikost silikonske molekule, kar ima za posledico njeno trdno zasidranje v izolacijo. Taka reakcija z vodo ostane mnoga leta in je tako zaščita pred prodorom eventuelne dodatne vode po tretmanu popolna in je kabel ob 20 letni finančni garanciji saniran.

1. PREDSTAVITEV PILOTSKEGA PROJEKTA

Elektro Gorenjska d.d. (v daljnem tekstu EG) ima zelo razvejano SN omrežje, nadzemnih vodov (cca 1000 km) in kablovodov v dolžini cca 750 km (50.212 m 35 kV, 590.886 m 20 kV in 92.122 m 10 kV) [1].

C&G d.o.o. Ljubljana (v daljnem tekstu C&G) je že leta 2000 izdelal dva eleborata za sanacijo 10 kV kablovodov v TALUM-u Kidričevo [2] in 35 kV kablovoda v Elektrolstra Pula, Hrvaška [3].

Razvoj in novogradnja SN omrežja v EG ima za posledico, da so v kabelskem omrežju vgrajeni že najsodobnejši SN kabli iz XLPE (umreženi polietilen) z zelo dobrimi karakteristikami osnovne izolacije – ti kabli niso predmet obdelave.

EG je sredi leta 2003 dala pobudo za sanacijo nekaterih kablovodov, ki so v zadnjem obdobju imeli električne preboje na izolaciji. EG je pripravila zahtevek za dielektrično sanacijo več SN kablovodov na področju Kranja in Žirovnice. Ta referat je obdelal pilotski projekt »**20 kV KBV TP PARTIZANSKA – TP STOLPNICA ZA HOTELOM**« v Kranju.

Za pilotski projekt [4] je izbran kabel, tipičen predstavnik generacije SN kablov iz sedemdesetih let prejšnjega stoletja, tip A2YHSY oz. EHP 48A 3x1x150/25 mm²/20 kV (npr. proizvajalec ELKA, Zagreb; FKN, Negotino; ...). Kabel je položen leta 1978 na trasi dolžine 435 m v naselju, kabel je dolžine 483 m, uporabljeni so Raychem končniki, do prebojev je prišlo 5x (dne 4.8.98, 31.8.01, 3.7.02, 10.7.03 in 25.9.03) in okvare so sanirane s Raychem spojko.

Kabli iz sedemdesetih let tip PHP (PVC izolacija) in EHP (PE izolacija) so tipični predstavniki zelo slabe generacije SN kablov, ki so zelo občutljivi na degradacijo osnovne izolacije oz. so kabli z nizko življenjsko dobo. Dejstvo je, da so izsledki raziskav SN kablov izdelanih z osnovno izolacijo iz PE potrdili močno skrajšano življenjsko dobo le teh. Študije omenajo tudi PVC izolacijo katera je še bolj občutljiva na degradacijo in so kabli s PVC izolacijo iz obratovalnega stališča s še slabšimi karakteristikami kot tisti s PE izolacijo.

Statistični prikazi EG [1] za 7 letno obdobje (1996-2002) opozarjajo na napake na kabliah (skupaj NN in SN), ki dosegajo med 25 in 39 dogodkov letno ali med 20 in 40 % vseh dogodkov na elektroenergetskih napravah EG na letnem nivoju.

Strokovnjaki EG so izdelali predračune za elektromontažna in gradbena dela kot osnovo za dejansko primerjavo stroškov med variantami popolne zamenjave starega z novim kablovdom in dielektrično sanacijo starega kablovoda z metodo CableCURE. Strokovnjaki C&G so dopolnili varianto sanacije kablovoda še z dodatnimi stroški elektromontažnih del, strokovnega nadzora oz. vodenja projekta, začasnega uvoza opreme in izvedbe CableCURE tehnologije na terenu.

Sanacija zajema stroške revitalizacije SN kablov tipa EHP 48A z metodo CableCURE in finančno garancijo za vsaj 20 letno podaljšanje življenjske dobe (v primeru ponovitve napake se povrnejo vsi stroški sanacije).

Zaključek optimistično ponuja metodo CableCURE kot ekonomsko in tehnično zelo uporabno metodo in predlaga izvedbo projekta sanacije kablovoda »**20 kV KBV TP PARTIZANSKA – TP STOLPNICA ZA HOTELOM**« saj sanacija predstavlja le nekaj manj kot 28% stroškov izgradnje novega kablovoda.

2. SN KABLI Z RDEČIM PVC PLAŠČEM OBRATOVALNO VISOKO RIZIČNI ENERGETSKI KABLI

2.1. Razvoj SN kablov s sintetično izolacijo

Svetovni razvoj [5,6,7] polietilena (Poly Ethylene = PE) je davnega leta 1941 sprožil dramatične spremembe v konstrukciji električnih energetskih kablov.

Tako je sintetična izolacija začela izrivati s papirjem izolirane kable (leta 1890 je položen prvi 10 kV KB med Deptfordom in Londonom), ki so v slovenski distributivni mreži še vedno prisotni oz. v obratovanju.

Temnoplastični PE, ki je dosegel široko uporabo v 70-ih letih prejšnjega stoletja je prvotno uporabljan v času druge svetovne vojne za visokofrekvenčne kable. Za energetski kabel je PE prvič uporabljen za 15 kV KB leta 1947.

V ZDA je v 60-ih prišlo do razvoja sistema Underground Residential Distribution (URD), ki je spremenil odnos do podzemnih kablov, saj je pred tem veljal kot ekskluzivna luksuzna rešitev.

Žal, so ta tehnološki »raj« zmotile prve poškodbe PE kablov. V zgodnjih 70-ih je iz vseh koncev sveta prihajalo do poročil o prebojih kablov. Tako se je ponovno v inženirski slovar vrnila beseda »treeing« ki pa ni imela več enak pomen kot za s papirjem izolirane kable.

Poročila iz leta 1976 (npr. EPRI) so potrdila dejstva, da so kabli s PE izolacijo v obratovanju pokazali visoko rast napak. Sočasno so poročila ugotovila, da so z XLPE izolirani kabli veliko bolj zanesljivi (to so potrdili tudi evropski inštituti).

Umreženi polietilen (CrossLinked PolyEthylene=XLPE) je bil patentiran že leta 1959 kot polnilo ter 1963 za kabelsko aplikacijo. Sočasno je razvita tudi sintetična guma (Ethylene Propylene Rubber=EPR).

Pritisk na ekonomično gradnjo URD sistema (bitka s cenami izgradnje nadzemnega sistema) v ZDA je preprečila takojšnjo uporabo izolacije iz XLPE in EPR, saj je bila cena te izolacije še previsoka.

V vmesnem obdobju je po letu 1968 celoten URD sistem baziral na PE izolaciji z »veliko molekularno težo« (High Molecular Weight PolyEthylene = HMWPE) saj je z višjo molekularno težo PE imel boljše električne karakteristike. Sredi 70-ih se je v omejenem komercialnem tržnem deležu začel uporabljati HMWPE s sposobnostjo preprečitve pojava dreves (Tree-Retardent oz. TR-HMWPR).

Gibanja na ameriškem trgu energetskih kablov so razvidna v spodnji tabeli.

Tabela 1: Tržni delež energetskih kablov glede na tip izolacije v ZDA [5]

Delež v letih	EPR	HMWPE	TR - HMWPE	XLPE	TR - XLPE
Po letu 1976	5 %	30 %	20 %	45 %	-
Po letu 1984	10 %	-	25 %	65 %	-
Po letu 1995	20 %	-	-	35 %	45 %

Nadaljnji razvoj [5,6,7] enegetskih kablov je prinesel z vsako novostjo večjo zanesljivost in sicer; nove tehnološke rešitve proizvodnje izolacije (pri proizvodnji XLPE je leta 1981 vpeljan suhi proces »dry cure« in je nadomeščena uporaba postopka s paro pod visokim pritiskom – dejansko je izločitev vode postala zahteva!); na to se je začel uporabljati plašč (v 80-ih je plašč postal nenadomestljiv, saj je preprečitev vdora vode postala tudi konstrukcijska zahteva s ciljem podaljševanja življenjske dobe z odpravo »vodnega drevesa«); razviti so novi tipi izolacije (leta 1982 je razvit nov XLPE z možnostjo preprečitve drevesa tip TR-XLPE; praktično je ukinjena proizvodnja HMWPE in TR-HMWPE, ki je dejansko umaknjen s trga po letu 1983); v poznih 80-tih so se začele uporabljati prečne in vzdolžne vodne zapore ter kakovostni materiali za bolj gladke in čiste vodnike.

Današnja stopnja izolacije SN energetskih kablov ob uporabi vseh tehnoloških spoznanj omogoča varno obratovanje 30, 40 ali celo 60 let.

2.2. EHP kabli – tehnološko neuspešna generacija kablov

Tipičen predstavnik SN kablov iz 70-ih let prejšnjega stoletja je kabel tip EHP 48A 1x150/25 mm²/20 kV (npr. proizvajalec ELKA, Zagreb, FKN, Negotino ...). Elementi tipske oznake najbolj pogosto uporabljanega kabla ELKALEN-20 v slovenski distribuciji in industriji [8] so:

- E – vrsta izolacije – termoplastični polietilen PE – debelina 5,5 mm
- P – vrsta plašča – polivinilklorid PVC – debelina 2,2 mm
- H – polvodljiv sloj za omejitev električnega polja (radialno polje)
- 48 – električna zaščita iz bakra
- A – vodnik iz aluminija
- 150 – presek Al vodnika 150 mm²
- 25 – presek zaščitnega bakrenega ekrana 25 mm²

Zaradi kompletnejše slike je predstavljen tudi SN kabel proizvajalca Fabrika kablova Zaječar z osnovno izolacijo iz PVC (PolyVinil Clorid), kar je zelo redek primer saj je jugoslovanska proizvodnja kablov v 70-ih letih kot osnovno izolacijo uporabljala PE (PolyEthylene). Tak kabel je uporabljen v TALUM-u [2] in sicer tip PHP kabel, PHP 81, 3x120 mm², Cu, 6/10 kV, ki je dobavljen v 70-ih letih.

Tipaska oznaka kabla PHP 81, 3x120 mm², Cu, 6/10 kV pomeni:

- P – vrsta izolacije – polivinilklorid PVC (beli) – debelina 5,5 mm
- P – vrsta plašča – polivinilklorid PVC (rdeči) – debelina 2,2 mm
- H – polprevoden sloj za omejitev električnega polja (radialno polje)
- 81 – električna zaščita iz bakra
- 120 – presek Cu vodnika 120 mm²
- 6/10 kV – nazivna napetost kabla

Za lažjo identifikacijo kablov so v spodnji tabeli zbrane [9] tipske oznake po JUS-u in VDE standardih:

JUS OZNAKA	VDE OZNAKA	IZOLACIJA	PLAŠČ	VODNIK
IPHO 13	NEKBA	papir	svinec	Cu
IPHO 13A	NAEKBA	papir	svinec	Al
EHP 48	2YHSY	PE	PVC	Cu
EHP 48A	A2YHSY	PE	PVC	Al
XHE 49	N2xS2Y	PE-X	PE	Cu
XHE 49A	NA2xS2Y	PE-X	PE	Al

Ko se je ta kabel, kabel s PHP/EHP izolacijo, pojavil na trgu kot nadomestilo za papirne (impregnirane z oljem) kable, je elektrotehniška stroka menila, da je dobila odlično nadomestilo za vzdrževalce, dokaj zahteven in problematičen oljni kabel (problem občutljivosti na vlago in agresivne sestavine tal, problemi polaganja na strminah in drugo).

Žal so se po slabih desetih letih začeli preboji PE kablov. Prve analize so pokazale izjemno hitro propadanje dielektrične trdnosti. EHP kabli so namesto pričakovanih 40 let življenjske dobe doživeli v povprečju le 10-15 let.

2.3. Rdeči PVC plašč opozorilo vzdrževalcem

Elaborat [3] je podrobno obdelal problematiko sanacije 35 kV kablovoda, ki je v obratovanju od leta 1977. Kabel ELKALEN tipa EHP 48 3x1x150/25 mm² v dolžini 1792 m je tipičen predstavnik polietilenskega kabla, kateremu se je življenjska doba iztekla, saj je v trasi zaradi prebojev vgrajeno že 27 spojk.

Kabel je po vsakem popravilu prestal preizkuse vendar je že po nekaj urah obratovanja ponovno prebil. Obratovalci so ga izločili iz 35 kV mreže in so ga kot rezervnega predvideli za obratovanje v 10 kV mreži.

Dejstvo je, da je v slovenski distribuciji in industriji vgrajeno veliko število kablov od 6 do 35 kV tipa EHP 48 in 48A. Ta ugotovitev je opozorilo vzdrževalcem, da indentificirajo vse RDEČE kable s PVC plaščem, saj so po vseh raziskavah že na koncu oz. robu svoje življenjske dobe (statistično so zelo rizični).

2.4. Vodno drevo vzrok zgodnjega staranja EHP kablov

Fenomen »treeing« (prevod avtorja »drevesenje«) [5,6,7] v kabljih je poznan že od leta 1915. Leta 1920 je »tree« (»drevo«) povezano s papirno izolacijo, ki je zelo različno od »drevesa« v sintetični izolaciji, saj v papirju »drevo« raste kot posledica ogljikovih stez vžganih v papirno izolacijo.

Leta 1932 je ob analizah prebojev sintetične izolacije in ob razvoju meritev korona detekcije oz. parcialnih praznitvev »drevo« prvič indicirano kot možen vzrok preboja kabla.

Potem ko so ameriški strokovnjaki leta 1972 HMWPE izolacijo direktno povezali z obstojem »drevesa«, so tudi potrjene že poznane predhodne japonske raziskave vzrokov.

Scenarij razvoja drevesa lahko tudi opišemo; »praznitve so ujete v izolacijsko telo; praznitve se širijo s toploto ali mehanskimi premiki in zato lahko ustvarjajo tunele od mehurčka do mehurčka«.

Dielektrična trdnost osnovne izolacije je določena z vrsto izolacije in z njeno tehnološko čistostjo. Žal, dielektrična trdnost, izražena npr. v kV/mm ni absolutna številka in je njena vrednost odvisna od številnih faktorjev in celo od metode meritve. V praksi je dielektrična trdnost določena z najvišjo eksperimentalno vrednostjo električne napetosti dosežene s prebojem izolacije. Čim bolj čista in homogena je izolacija, tem višja je dielektrična trdnost le-te. Idealnih pogojev proizvodnje izolacije

ni, kar pomeni, da je potrebno težiti k pogojem s čim nižjo vsebnostjo nehomogenosti izolacije (razpoke, zračni mehučki in drugo).

Prisotnost zraka v izolaciji predstavlja do 200-krat nižjo dielektrično trdnost v zračnem mehurčku kot v izolaciji. Zato prihaja do parcialnih praznitev, ki povzročajo ustvarjanje »novih vej na drevesu« – ko drevo doseže površino izolacije pride do preboja oz. napake!

Parcialne praznitve v izolaciji [7,10] so dobro poznan fenomen, ki se pojavlja pri izmenični visoki napetosti, kar pomeni pojav majhnih prebojev na šibkih točkah v izolaciji npr. zračni mehurčki. Te praznitve se dogajajo posamično, nenadoma ali kontinuirano in ne povzročajo takojšnje okvare, saj je energija teh praznitev majhna in se izraža v pC. Nivo energije parcialnih praznitev s časom narašča, kar pripelje do dokončne okvare in poškodbe osnovne izolacije. Le te povzročajo tudi termično obremenitev zaradi izgub v izolaciji kar predstavlja termično staranje izolacije (krajšanje življenjske dobe).

Drevesenje je serija tankih praznih stez (manj kot 0,02 mm), oblikovanih v izolaciji, ki povzročajo napako oz. okvaro izolacije. Ta problem zahteva resno obravnavo s strani distributerja, saj uničuje enenergetske kable.

Elektro drevo je pogost pojav zaradi parcialnih praznitev. Drevo je produkt podaljšanja nepopravljivih (neozdravljivih) obločnih stez. Nastaja zaradi vpliva visoke napetosti na izolacijo in ne zaradi vode, in sicer v kratkem času. Lahko izmerimo korona praznitve.

»Water tree« oz. vodno oz. elektro - kemično drevo predstavlja pojav po dolgotrajnem vplivu vode in/ali zaradi nepravilnosti v kablju oz. izolaciji z neizmerljivo korona praznitvami.

»Treeing« (drevesenje) v ekstrudirani izolaciji je pojem, s katerim je opisan tip električne okvare v obliki drevesa oz. stezami skozi steno izolacije. Ta forma je radialna na os kabla in korenine so v smeri električnega polja.

Drevo kot pojavna oblika v PE, XLPE in EPR kabljih se potemtakem javlja v dveh tipih [6]:

- elektro drevo
- vodno drevo (lahko tudi elektro-kemično drevo ali kemično drevo).

Obstajajo naslednje razlike:

Elektro drevo:

- votle cevčice
- voda ni prisotna
- hitra rast (ure, tedni)

Vodno drevo:

- zračni mehučki ločeni z izolacijo
- prisotna je vlaga
- počasna rast (meseci, leta)
- mora biti vidna umazanija/nečistoča – kemični vzrok (v ali zunaj kabla)

Vodno drevo je odvisno od:

- vlage
- zračnih mehučkov
- kontaminacije

- ionizirane nečistoče
- temperature
- temperaturnega gradienta
- življenjske dobe
- električne napetosti
- PH faktorja.

Veliko razprav je bilo napisanih o vzrokih nastanka vodnega drevesa in vpeljane so bile mnoge inovacije in uporabne spremembe pri konstrukciji kablov. Teorija »water treeing« je zelo kompleksna in po 25 letih raziskovanja tega fenomena, stroka ne more dati dokončnega pojasnila v zvezi s tem pojavom.

Lahko povzamemo nekaj teorij [11,12], iz katerih je razvidno, da vodno drevo nastaja kot posledica naslednjih vzrokov:

- mesto napake se nahaja v izolaciji ali na mejah proti polprevodnima slojema
- električno polje v izolaciji kabla - »water treeing« je posledica električne degradacije zaradi parcijalnih praznitev, ki pospešujejo elektrone tako, da spremenijo molekularno strukturo izolacije in prihaja do pojava razpok, katere sledijo mejo kristalov izolacije v obliki drevesnih vejic oz. korenin (od tukaj ime »vodno drevo« oz. »water tree«)
- prisotnost vode na mejni površini izolacije.
- »water tree« je posledica mehanske degradacije na mikroskopskem nivoju zaradi osmotskih (osmotic) in/ali dielektroforetičnih (dielectrophoretic) sil. Obstaja tudi predpostavka, da izolacija vsebuje v vodi topljive sestavine in da zaradi vsrkavanja vode v molekularno strukturo izolacije prihaja do povečanja pritiska v izolaciji in pokanja na mejah kristala – te razpoke prodirajo v izolacijo
- »water treeing« je posledica elektrokemične degradacije, kjer električno polje inducira redox reakcijo (redox=redukcija/oksidacija), ki kemijsko degradira polimer.

»Voda je inhibitor za rast drevesa!«

Mikroskopska analiza s posebno metodo obarvanih vzorcev kabla odkriva različne oblike kot so tree (drevo) ali schrub (grm) ali fan (pahljača). Lahko prepoznamo dva osnovna tipa in sicer »ventend tree« oziroma rastoče razpoke od roba izolacije in plašča proti notranjosti in »bow-tie tree« oziroma rastoče drevo znotraj izolacije kot posledica nečistoč (slika št.1).



Slika 1. Oblike vodnih dreves »ventend tree« in »bow-tie tree«

Kot primer [13,14] je predstavljena nemška distribucija HEAG, ki je bila zelo prizadeta s problemom »water treeing«-a. Imela je okrog 736 km PE kablov (tip EHP), na katerih je bilo zaznано več kot 400 okvar zaradi »water tree«. V obdobju od 1985 do 1989 so bile narejene raziskave v FEH Mannheim na 20 kV kablji (6,4 km 20 kV kabla z napetostjo 24 kV več kot 3,7 let in z 48 kV več kot 2,5 let). Ugotovljeno je, da je PE izolacija dosegla v povprečju le 12 do 13 let življenjske dobe od načrtovanih 40 let.

3. CableCURE TEHNOLOGIJA

Raziskave ameriških laboratorijev [5] so na osnovi izvedenih anket ugotovili, da je na vgrajenih SN kablji, 60.000 km (PE) in 116.000 km (XLPE), koncem leta 1983 bilo 5-6 x več napak kot v Nemčiji oz. Evropi. Tako veliko število napak je posledica zelo zgodnjega prehoda ZDA na sintetično izolacijo, ko še niso bile poznane vse omejitve uporabe teh odličnih materialov.

Tako kot so ameriški laboratoriji zgodaj ugotovili problematiko vodnega drevesa, tako je logično, da so prav v ZDA začeli iskati »zdravilo« za to »bolezen« kablov.

UTILX Corporation [16] je razvil tehnologijo revitalizacije PE kablov prizadetih z vodnim drevesom in je ponudil tržišču Cable CURE/XL tekočino. XL tekočina potem, ko prodira skozi žilo vodnika prodre v telo vodnega drevesa in polimerizira z vodo na mikrorazpokah ter jih zapolni z dielektrično tekočino. Velikost te molekule je 47x večja od vodne molekule jo tako zapre in preprečuje nadaljno rast vodnega drevesa.

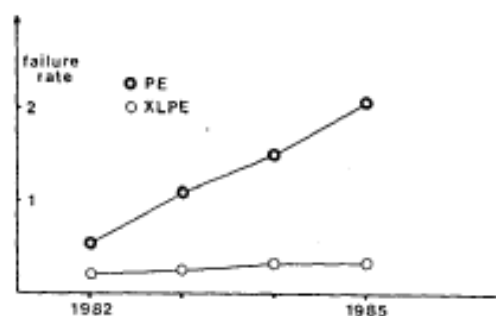
Ugotovljeno je, da vodno drevo nastaja s sočasnim delovanjem treh faktorjev:

- mesto napake se nahaja v izolaciji ali na mejni površini (notranji ali zunanji polprevodni sloj)
- električno polje v izolaciji kabla
- prisotnost vode v mejni površini izolacije

Na spodnji slikah št. 2. in 3. je prikazana statistika števila okvar na 100 km/leto na kablji iz PE (HMWPE – težke molekule PE) in XLPE [16].



Slika 2.



Slika 3.

Širitev vodnega drevesa se lahko omeji s posegi v proizvodnji kablov in sicer:

- zmanjšanje napak v izolaciji in v mejnih slojih
- preprečiti prodor vode v kabel (prečne in vzdolžne zapore)
- trdo zavarjeni zunanji in notranji polprevodni sloji
- uporabiti na vlago neobčutljiv izolacijski material

- uporaba materiala za polprevodne sloje, pri katerih ne prihaja do reakcije na difundirano vodo
- visoka čistoča izolacijskih materialov

Ker pri PHP in EHP kabljih teh ukrepov ni bilo ostaja le, da se čaka preboj v načelih kabljih ali da le ti zamenjajo z novimi XLPE kabli ali da se PHP/EHP kabli sanirajo s CableCURE tehnologijo.

3.1. Revitalizacija SN kablov poškodovanih z vodnim drevesom – CableCURE

Tehnologija CableCURE [16] predstavlja ekonomično alternativo zamenjave več sto kilometrov kablov, ki so že v okvari ali pa blizu tega. Tehnologija povečanja dielektrične trdnosti kabla se izvede z vbrizgavanjem dielektrične tekočine v žile kabla. Tekočina prodira vzdolž žil v kabel in preko ekrana v področja polietilena, ki je poškodovan z vodnim drevesom, pri čemer pride do reakcije z vodo ali vlažnostjo v izolaciji. Reakcija poveča velikost silikonske molekule, kar ima za posledico njeno trdno zasidranje v izolacijo. Taka reakcija z vodo ostane mnoga leta in je tako zaščita pred prodorom eventualne dodatne vode po tretmanu popolna.

V Združenih državah Amerike je bilo v zadnjih štirinajstih letih na ta način obdelanih več kot 11.000 kilometrov kablov. Rezultati so impresivni. Od leta 1993 se tehnologija CableCURE uporablja tudi v Evropi, tako da je bilo do sedaj obdelanih več kot 1.700 km SN polietilenskih kablov v večih državah vključno z Nizozemsko, Norveško, Švedsko, Avstrijo in predvsem v Nemčiji.

Izvedeno je bilo veliko laboratorijskih (KEMA i EFI) in terenskih testiranj (EWE, OBAG, PFALZWERVE, HEAG i EnBW) za potrditev povečane dielektrične trdnosti kablov. Terenski preizkusi v Nemčiji v celoti potrjujejo povečanje dielektrične trdnosti po tretmanu.

Na voljo so rezultati, ki sta jih izvedli dve podjetji v Nemčiji (napetostni preiskusi) po 4, 9 in 18 mesecih po tretmanu, ki potrjujejo izboljšanje dielektrične trdnosti (prvo je nemško podjetje PFALZWERK AG, ki je tretma izvedlo leta 1994, drugo je podjetje HEAG, ki je tretma izvedlo 1997 na NA2XSU 20 kV kablu iz leta 1981).

Vsi testi [10] potrjujejo dolgotrajno izboljšanje dielektrične trdnosti SN kablov (PE, XLPE kakor tudi EPR), ki so poškodovani s vodnim drevesom. Ocenjuje se, da se tako življenjska doba kablov podaljša za več kot 20 let.

3.2. Opis metode CableCURE [16]

Tehnologija CableCURE (zdravljenje kabla) predstavlja ekonomično alternativo zamenjavi številnih kilometrov inštaliranih kablov, ki so poškodovani ali še bodo zaradi »water treeing«-a.

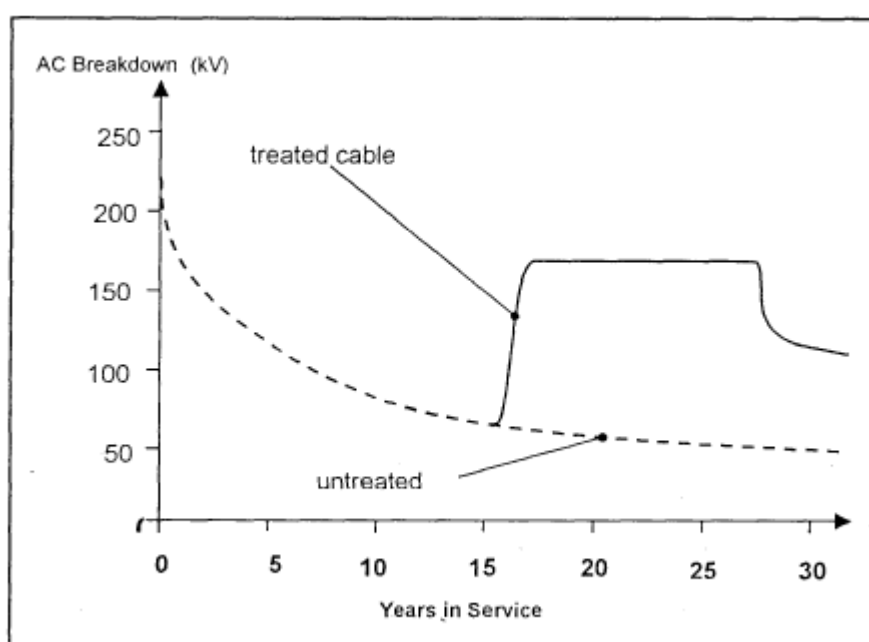
V zadnjih 14 letih je bilo z uporabo silikonske dielektrične tehnologije revitalizacije v Severni Ameriki podaljšana življenjska doba za 20 let več kot 11.000 km SN kablom poškodovanih z »water tree«-em.

Leta 1993 se je CalbeCURE tehnologija začela uporabljati v Evropi in od takrat je saniranih več kot 1.700 km SN polietilenskih elektroenergetskih kablov v številnih evropskih državah.

Opravljeni su številna laboratorijska in terenska preizkušanja, ki so izvedena z namenom, da bi se dokazala porast dielektrične trdnosti.

Na sliki št. 4 so prikazani rezultati meritev po uporabi CableCURE na EHP kablích saniranih v nemški distribuciji PFALZWERKE AG 1994 leta.

Vsi rezultati testiranj v PFALZWERKE govoriyo o uspešnosti sanacije kar je posebej podčrtano na dijagramu na sliki št. 4, na katerem se vidi, da je po sanaciji poboljšana dielektrična trdnost za 350% in podaljšana življenjska doba za 20 let.



Slika 4.

Proces metode CableCURE je najenostavneje opisana v petih korakih [11]:

- 1. korak: Diagnostika – zajema serijo meritev, s katerimi določimo kondicijo in stanje kabla
- 2. korak: Potiskanje – zajema fazo potiskanja CableCURE tekočine pod tlakom od 5-7 barov v kabel skozi potisni priključek
- 3. korak: Prodiranje – zajema prodiranje CableCURE tekočine v kabel – čas prodiranja je odvisen od dolžine in preseka kabla in je lahko od 30 min do 30 ur. Kabel v času prodiranja tekučine sme biti pod napetostjo.
- 4. korak: Vakuumiranje – zajema postopek vakuumiranja na nasprotni strani kabla od potisnega priključka
- 5. korak: Polimerizacija – zajema fazo ko tekočina CableCURE polimerizira z izolacijo in vodo ter tako izpolni mikrorazpoke oziroma «water tree». Tako nastala molekula je 47 x večja od molekule vode, tako da blokira daljnjo bodočo rast «water tree».

Metoda je potrjena v praksi tako, da podjetje CableCure oz. UTILX ob sanaciji nudi finančno garancijo za polno vrednost sanacije kabla za obdobje 20 let. UTILX CORPORATION Kent/Seattle USA ima eskluzivno licenco od DOW CORNING za uporabo CableCURE tekučne.

3.3. Prednosti in izkušnje metode CableCURE [16]

Kot je že zapisano, uporaba silikonske tekučine CableCURE je potrjena na več kot 12.000 km uspešno »ozdravljenih« kabliah v ZDA in v Evropi v obdobju zadnjih 14 let.

V ZDA je metodo CableCURE v praksi preverilo z zelo velikim uspehom 10 do 15 največjih distribucij.

CableCURE v Evropi že uspešno uporabljajo v Nemčiji, Avstriji, Nizozemski, Norveški in Švedski od leta 1993. Do danes je tretirano okrog 1.700 km kabla.

Narejena so testiranja v laboratorijih KEMA in EFI ter na terenu v Nemčiji v distribucijah EWE, OBAG, PFALZWERKE, HEAG i EnBW.

Najpomembnejše prednosti metode CableCURE so:

- ekonomska upravičenost
- garancija
- zanesljivost
- zadovoljstvo kupcev električne energije

Ekonomsko upravičenost je lahko definirana:

- nizki stroški v primerjavi z izgradnjo novega kabelskega voda
- povprečni stroški so 20-60 % stroškov novega kabelskega voda
- zelo hitro rešavanje problema
- uporaba stare trase

Zanesljivost je lahko dokazana:

- zaščita kabla proti napakam v izolaciji
- potrjena povečana dielektrična trdnost do 350%
- uspešnost metode 99,5%
- povečana življenjska doba 20 in več let

Garancija UTILEX v trajanju 20 let je potrjena s finančno garancijo na polno vrednost projekta.

Zadovoljstvo kupca električne energije se manifestira:

- dobava električne energije brez prekinitve in motenj
- brez motenj prometa zaradi gradbenih del na trasi
- za okolico primerna tehnologija.

4. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA METODE SANACIJE IN PONUDBA ZA SANACIJO

Analiza je narejena na oceni stroškov 485 m kablovoda [17,18].

4.1. Zamenjava starega z novim kablom

Zamenjava starega kabla tip A2YHSY oz. EHP 48A 1x150/25 mm²/20 kV z novim kablom tipa XHE 49A 1x150/25 mm²/20 kV predstavlja naslednje stroške:

1. Elektromontažna dela:

- nabava kabla
- polaganje kabla
- nabava in vgradnja kabelskih glav
- nabava i vgradnja drugega materiala (PVC opozorilni trak, pocinkani valjanec...)

2. Gradbena dela:

- izkop kanala
- zasipanje kanala
- dobava in montaža jaškov
- odvoz viška materiala
- planiranje terena
- dobava peska
- dobava zemlje
- delno betoniranje
- rezanje asfalta
- ponovno asfaltiranje

Strokovnjaki EG so izdelali kalkulacijo predstavljeno v spodnji tabeli [17]:

Elektromontažna dela (Skupaj kalkulacija 2.940.088 SIT)	
1. Dobava in uvlačenje 20 kV kabla 3 x XHE49-A 1x150 mm ² v kabelsko kanalizacijo	
m	270
2. Dobava in polaganje 20 kV kabla 3 x XHE49-A 1x150 mm ² , komplet s pocinkanim valjancem 25x4 mm, opozorilnim trakom in gal ščitniki v kabelski jarek	
m	190
3. Dobava in montaža 20 kV kabelske glave Raychem, tip POLT- 24D/3XI za notranjo montaio	
gar	2
4. Snemanje kabelske trase in izdelava izvršilnega načrta	
m	485
5. Priklop kabla oz. kabelskega končnika v TP	
kos	6
6. Razna manjša nepredvidena dela, drobni in pomožni nespacificirani material in delo, prevozi materiala in oseb komplet	
kompl	1

Gradbena dela (Skupaj kalkulacija 10.062.492 SIT)	
1. Izdelava kableske kanalizacije z PVC cevmi 2x110+1x160 mm, komplet z izkopom jarka dimenzij 0,7 x 1,2 m preko asfaltiranih površin, položitev PVC cevi fi 110 mm, obbetoniranjem do 10 cm pod nivojem asfaltirane površine, ponovno asfaltiranje ter odvoz odvečnega materiala	m 250
2. Dobava in montaža montažnega jaška dimenzij 1,5 x 1,5 x 1,5 m z litoželeznim pokrovom 15 t, komplet z izkopom in zasutjem jame v IV.ktg zemljišča ter odvozom odvečnega materiala	kos 5
3. Izkop in zasutje jarka dimenzij 0,4 x 0,8 m, komplet z dobavo in izdelavo peščene blazinice v IV.ktg zemljišča GAL pokrovi, opozorilnim trakom	m 190
4. Priprava del, nadzor in režija - komplet	kompl 1
5. Drobní in pomožni nespecificirani material in delo, prevozi materiala in oseb	kompl 1

ELEKTROMONTAŽNA DELA	2.940.088 SIT
GRADBENA DELA	10.062.492 SIT
SKUPAJ	13.002.580 SIT

4.2. Uporaba CableCURE metode

Stroški CableCURE metode so:

1. CableCURE postopek:

- vodenje projekta in nadzor C&G
- postopek CableCURE
- tekočina CableCURE
- začasni uvoz opreme (vozilo, oprema) - logistika/carina
- gradbena dela in zamenjava starih spojk
- nove 20 kV kableske glave

Postopek CableCURE (Skupaj kalkulacija 3.169.000 SIT)	
1. Vodenje projekta in nadzor C&G	
2. Izvedba projekta CableCURE	
3. Začasni uvoz - logistika/carina	
4. Elektromontažna in gradbena dela	

4.3. Primerjava variant

Kompletna zamjena starega kabla tip A2YHSY oz. EHP 48A 1x150/25 mm²/20 kV z novim kablom tipa XHE 49A 1x150/25 mm²/20 kV predstavlja stroške:

13.002.580,60 SIT brez DDV

Izvedba projekta CableCURE predstavlja stroške:

3.601.384,00 SIT brez DDV

RAZMERJE ZAMENJAVE KABLA S CableCURE je: **0,2769**

5. ZAKLJUČEK IN PREDLOG IZBIRE CableCURE METODE

Referat je predstavil pilotski projekt »**20 kV KBV TP PARTIZANSKA – TP STOLPNICA ZA HOTELOM**« v Kranju. Za pilotski projekt je izbran kabel, tipičen predstavnik generacije SN kablov iz sedemdesetih let prejšnjega stoletja, tip A2YHSY oz. EHP 48A 3x1x150/25 mm²/20 kV. Kabel je položen leta 1978 na trasi dolžine 435 m v naselju, kabel je dolžine 483 m.

Referat je predstavil vse prednosti in izkušnje uporabe metode CableCURE za sanacijo «water treeing»-om poškodovanega kabla.

Ekonomska primerjava stroškov kompletne zamjena starega kabla tip A2YHSY oz. EHP 48A 1x150/25 mm²/20 kV z novim kablom tipa XHE 49A 1x150/25 mm²/20 kV in CableCURE metode je pokazala da stroški CableCURE predstavljajo nekaj manj kot 28 % stroškov klasične zamenjave kabla.

Strokovnjaki EG so na osnovi podatkov iz elaborata ocenili smiselnost izvedbe pilotskega projekta, ki se bo kot prvi takšne vrste realiziral v Sloveniji maja 2004.

6. LITERATURA

- /1/ Letno poročilo 2001 o proizvodnji, pretoku in razdelitvi električne energije preskrbovalnega območja Elektro Gorenjske, Kranj, julij 2002
- /2/ V. Lovrenčič, Elaborat, Ocena stanja 10 kV PHP kablov Talum, Kidričevo, C&G d.o.o. Ljubljana, november 2000
- /3/ V. Lovrenčič, Elaborat, Sanacija kablovoda TS 35/10(20) kV Centar – TS 35/10(20) kV Pula – Zapad (HEP, DP Elektroistra Pula, 35 kV kabel tip EHP 48 3x1x150/25 mm², 1977 leto, dolžina 1792 m), C&G d.o.o. Ljubljana, maj 2000

- /4/ V. Lovrenčič, S.Sitar, A.Pretnar, B.Luskovec, Elaborat dielektrične revitalizacije srednjenapetostnih PHP/EHP kablov poškodovanih z vodnim drevesom, Pilotski projekt kablovoda »20 kV KBV TP PARTIZANSKA – TP STOLPNICA ZA HOTELOM«, C&G d.o.o. Ljubljana, januar 2004/10/
- /5/ Electrical Wire Handbook, Part 1 – Wire and Cable Production Materials, The Wire Association International, inc., Boston, USA
- /6/ W.A.Thue, Electrical Power Cable Engineering, Marcel Dekker, Inc., NY, 1999, USA
- /7/ R.Bartniks, K.D.Srivastava, Power and Communication Cables, Theory and Applications, IEEE press series on POWER ENGINEERING, McGraw-Hill Book Company, 2000, UK
- /8/ Prospekt srednjenapetostnih kablov ELKALEN, Elka, Zagreb, Hrvaška
- /9/ V. Lovrenčič, Dialektrična revitalizacija srednjenapetostnih kablov, poškodovanih z vodnim drevesom, er, št.2/00, 2000
- /10/ Barry Clegg, Underground CABLE FAULT »Location«, McGraw-Hill Book Company, UK
- /11/ P. Ruckel, Proven means to protect solid dielectric power cables from water treeing, GECA-TAPES, 1999
- /12/ H. Schmidt, Dielektrična revitalizacija srednjenaponskih kabela oštećenih water-tree-em, IV. savjetovanje HR CIGRE, 1999, Cavtat
- /13/ M. Fischer, F. Merschel, U. Winkler, P. Blasius, K.-H. Weck, Ageing of 20 kV XLPE cables with EVS and RWE Energie, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95, 1996
- /14/ P. Blasius, H. Lindemann, K. Schreiber, K.-H. Weck, Ageing of 20 kV XLPE cables in service with HEAG, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94, 1995
- /15/ G:F:Moore, Electric Cables Handbook, BICCCables, Blackwell Science Ltd, 1997, USA
- /16/ Dokumentacija, CableCURE a service of UTILX; CableCURE, Maximum reliability – minimum cost, prospekt (CD); Reference »Overview CableCURE Europe«; Reference »CableCURE Research Results – Germany«
- /17/ Predračun št.:704-3137, Zamenjava 20 kV KBV TP PARTIZANSKA – TP STOLPNICA ZA HOTELOM; Priloga 2:Predračun št.: 722-3137, Izdelava spojk
- /18/ Dokumentacija za pilotski projekt »20 kV KBV TP PARTIZANSKA – TP STOLPNICA ZA HOTELOM«