

Josip Bošnjak, dipl. ing.
EL-EN-TEL d.o.o. Zastupstvo firme Tyco Electronics Raychem GmbH
Manfred Wilck, dipl. ing. i Wolfgang Haverkamp
Tyco Electronics Raychem GmbH

B1 – 08

CJELOVIT SUSTAV SPAJANJA ZA SN KABELE S IZOLACIJOM OD UMJETNIH MASA

SAŽETAK

Uvođenje jednožilnih kabela s primarnom izolacijom od umreženog polietilena znatno je pojednostavilo konstrukciju kabela i time korisnicima olakšalo njihovo polaganje i spajanje.

No i dalje proizvođači kabela nastoje u svojoj konstrukciji kabela, pored osnovnih zahtjeva koji su definirani međunarodnim normama ugraditi i neke specifičnosti najčešće uvjetovane zahtjevima njihovih glavnih kupaca. Tako danas u međunarodnim kao i u domaćim tender dokumentacijama, pod opisom kabela najčešće susrećemo samo skraćeni opis konstrukcije kabela. Obično se daju samo podaci o presjeku vodiča i električne zaštite kabela te nazivni napon kabela. Odabir odgovarajućeg spojnog pribora, a posebno spojnica i čahura može predstavljati poteškoću kada točnih podataka o konstrukciji kabela nema.

U referatu se opisuje jedan cjelovit i univerzalan sustav spajanja za SN kabele s izolacijom od umjetne mase temeljen na tehnologiji toploskupljajućih materijala. On je odgovor na pitanje spajanja najrazličitijih konstrukcija SN kabela širom svijeta. Usporedno su također prikazani i zahtjevi za tipskim ispitivanjima i to za spojnu čahuru kao i za kompletnu spojnicu.

Ključne riječi: vijčana čahura, spojnica, primarna izolacija, kontrola el. polja, električna zaštita kabela, električna vodljivost

INTEGRAL JOINTING SYSTEM FOR POLYMERIC MEDIUM VOLTAGE CABLES

SUMMARY

The introduction of one-core cables with primary cross-linked dielectric, have produced simplified constructions and therefore simplified cable installation for the end user.

Beside the basic requirements defined by international standards, cable manufacturers tend to build in some particularities required by their main customers. So today in international and national calls for tenders, only restricted description of the cable construction is given. In documentation is only mentioned information about conductor and electrical shield cross section as well as voltage level. Selection of correct cable accessories is hardly possible when exact data are missing. Problematic are conductor and shield connections.

The paper describes an integral jointing system for MV polymeric cables based on usage of heat-shrink technology, which is the answer to the question of connecting the most different MV cable construction world wide. There is also an overview of type testing requirements for connectors as well as for complete joint.

Key words: mechanical connector, joint, primary cross-linked dielectric, electrical shield, electrical conductivity

1. UVOD

Unatoč stalnim naporima za normizacijom kabela donošenjem novih normi, i danas u upotrebi susrećemo velike različitosti u konstrukciji sredjenaponskih kabela. Analizirajući i uspoređujući veliki broj kako domaćih tako i međunarodnih tender dokumentacija, detaljniji opis konstrukcije kabela u najčešće slučajeve je izostavljen ili smanjen na najmanju moguću mjeru.

Tako u tender dokumentaciji kod opisa kabela najčešće susrećemo kratak opis i to:

„Jednožilni XLPE-kabel 150 mm² Al, 12/20 kV u skladu s IEC 60502-2 ili CENELEC HD 620-1“

Ovaj skraćeni opis omogućava između ostaloga i slijedeće varijacije u konstrukciji kabela:

- vodič: okrugli jednožični (OJ) ili okrugli višezični (OV); stupanj zbijenosti za višezični vodič, tvrdoća materijala vodiča, uzdužna vodonepropusnost vodiča
- vanjski poluvodljivi sloj: zavareni ili lagano skidajući ("banana") sloj
- električna zaštita i vanjski plašt: presjek i konstrukcija električne zaštite, poprečna i uzdužna vodonepropusnost kabela, vrsta materijala od kojeg je vanjski plašt izrađen itd.

Odabir ispravnog kablenskog pribora uz tako oskudne podatke o kabeu jedva je moguć. Problematici su najčešće vodič i električna zaštita kabela. Zbog toga se sve više i više zahtjeva isporuka kompletne spojnice kao spojnog mjesta dvaju kabela. Ispravan odabir npr. spojnih čahura je prilično težak, pogotovo što nedostaju i podaci o alatima koji se koriste na terenu prilikom montaže.

U referatu se opisuje jedan cjelovit sustav spajanja kabela za nazivni napon do 36 kV ($U_m=42$ kV), a koji omogućava rješenje prethodno opisanih dilema.

2. ZAHTJEVI

Cjelovit i univerzalni sustav spajanja morao bi udovoljavati slijedećim postavljenim zahtjevima:

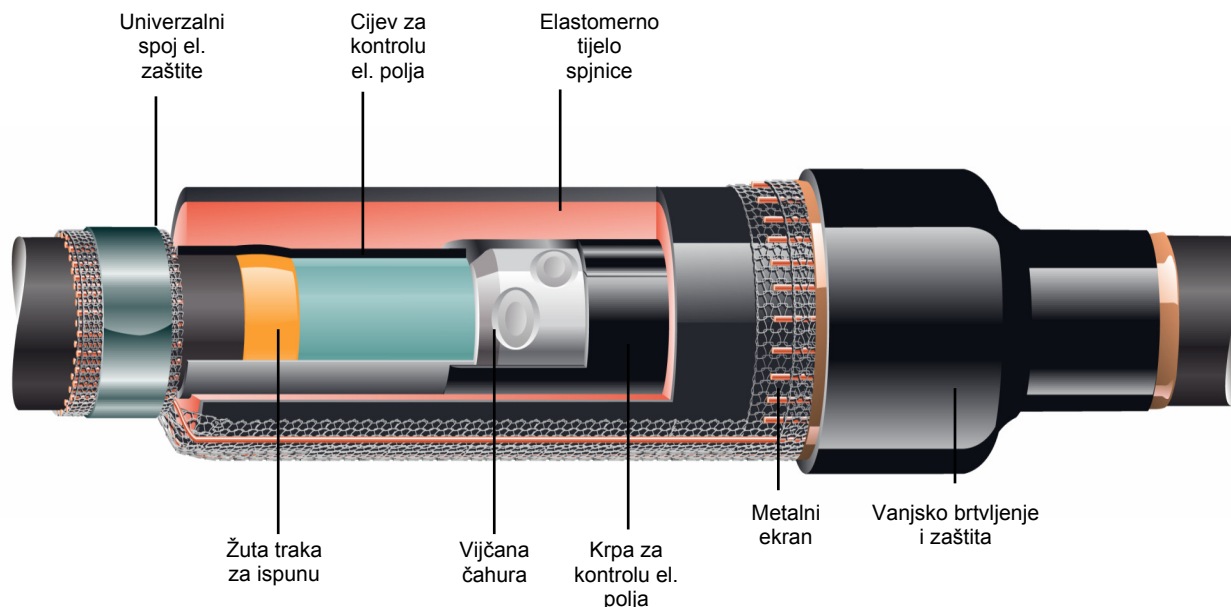
- primjenjivost na sve uobičajene konstrukcije kabela
- jednostavnost i pouzdanost ugradnje uz uobičajenu obuku montera
- ugradnja bez specijalnih alata
- kratka i kompaktna konstrukcija koja će omogućiti polaganje kabela zajedno s ugrađenom spojnicom i to ili kablskim plugom ili uvlačenjem kabela u cijevi ili kablске kanale
- mehanička čvrstoća spojnice morala bi biti jednaka mehaničkoj čvrstoći vanjskog polietilenskog (HPDE) plašta, kako bi se uz posebne zahtjeve, omogućilo polaganje spojnice bez posteljice od pijeska
- mogućnost upotrebe kod izvanrednog pogona, gdje radna temperatura vodiča dostiže 130°C
- područje primjene trebalo bi pokrivati nekoliko susjednih presjeka vodiča, tako da su omogućeni prijelazi s različitih presjeka vodiča, a troškovi skladištenja takvog proizvoda trebali bi biti minimalni
- komplet mora biti isporučen zajedno sa čahuricom za spajanje vodiča kao i priborom za spajanje električne zaštite kabela

3. OPIS KONSTRUKCIJE SPOJNICE I PRIPADAJUĆIH KOMPONENTI

Prethodno navedeni zahtjevi mogu su u cijelosti ispuniti jedino upotrebom provjerenih komponenata koje su već dokazane u dugogodišnjoj eksploataciji.

Uz manje izmjene veličina pojedinih toploskupljajućih komponenti kao i postupaka njihove ugradnje, nastao je jedan novi koncept cjelovite spojnice koji su korisnici vrlo brzo prihvatili.

Na pripremljene krajeve kabela s kojih je prethodno skinut poluvodljivi sloj, postavljaju se najprije toploskupljajuće cijevi za kontrolu električnog polja te se uz upotrebu plamenika za propan-butan plin, grijanjem skupe. Ove cijevi se uspješno koriste već više od 20 godina i za napone do max. 72 kV. Cijevi ostvaruju kontakt s vanjskim poluvodljivim slojem kabela (nalazi se na potencijalu zemlje) a završavaju ravno s krajem primarne izolacije tik do spojne čahure (potencijal vodiča). Ovime je izbjegnuto međukorak privremenog parkiranja cijevi za kontrolu električnog polja preko kraja kabela, a prije ugradnje spojne čahure, čime se doprinosi većoj sigurnosti kod montaže. Tako ostaju samo ekranizirano izolacijsko tijelo spojnice i vanjska zaštitna cijev koje se parkiraju na jedan od krajeva kabela a prije ugradnje spojne čahure. Čahura je sastavni dio kompleta, a sadrži kontaktne vijke sa samokidajućim glavama i može se koristiti za cijeli raspon presjeka vodiča.



Slika 1. Presjek konstrukcije 20 kV-tne spojnice sa vijčanom čahurom

Jednom ugrađena čahura trajno osigurava traženi kontaktni pritisak neovisno o konstrukciji vodiča i vrsti materijala od kojeg je vodič izrađen. Nakon pucanja glave vijaka, izvan geometrije tijela čahure ne ostaju ispuščenja ili oštri vrhovi.

Ovdje je potrebno spomenuti da su kompresione spojne čahure, posebno za veće presjeka vodiča, znatno duže od vijčanih. Kako je preskočni razmak između kraja poluvodljivog sloja i spojne čahure za određeni naponski nivo uglavnom konstantan, to ukupnu dužinu spojnice određuje dužina čahure za određenu grupu presjeka. Spojnice uz korištenje vijčanih čahura, čija je dužina za određenu grupu presjeka unaprijed definirana, postaju znatno kraće što također predstavlja bitnu prednost kod montaže.

Preko ugrađene vijčane čahure postavlja se vodljiva masa u obliku krpe koja električki pokriva spojnu čahuru te povezuje susjedne krajeve cijevi za kontrolu električnog polja. Kratka dužina spojnice omogućava da se postupkom grijanja i u samo jednom koraku, sigurno ugradi kompaktno jednodijelno tijelo spojnice.

Tijelo spojnice se sastoji od dva tvornički istovremeno brizgana sloja i to: unutarnjeg izolacijskog i mehanički rastegnuto elastoernog sloja te vanjskog vodljivog toploskupljajućeg sloja koji je ujedno i noseći sloj. Dovođenjem toplinske energije za vrijeme ugradnje, pouzdanost ponovnog skupljanja elastomera je zagarantirana pa čak i nakon dugogodišnjeg skladištenja. Naime, sila skupljanja vanjskog nosećeg sloja, upotrebom toplinske energije, osigurava bez obzira na eventualno dugogodišnje uskladištenje spojnice, sigurnu i tehnički ispravnu montažu.

Spajanje električne zaštite kabela u spojnici osigurano je tzv. "bezlemlnim postupkom" tj. bez lemljenja ili prešanja. Ovaj spoj se sastoji od dva specijalna kontaktna prstena i bakrene pokositrene mrežice čime je omogućeno univerzalno spajanje električne zaštite kabela od bakrenih žica presjeka do 50 mm².

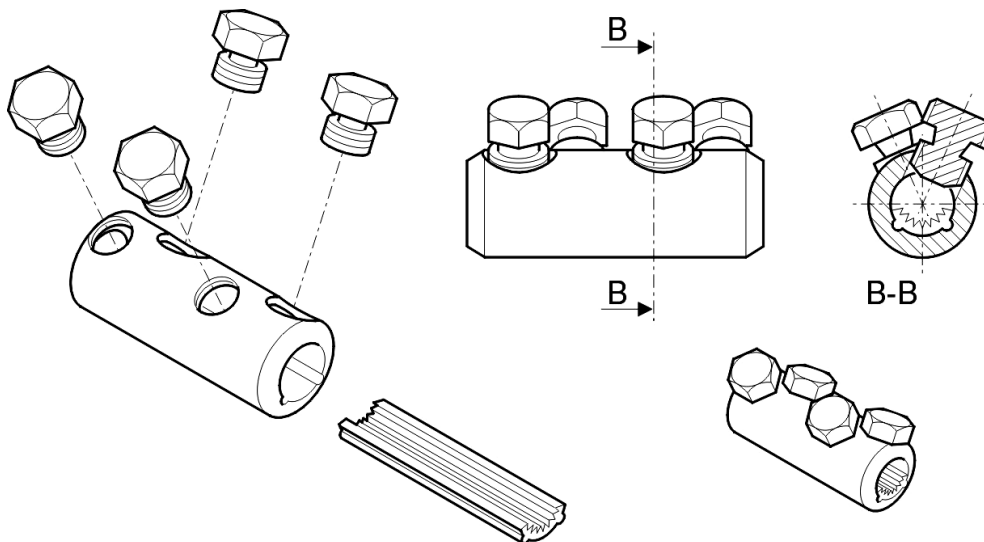
U slučaju kabela s bakrenim ili aluminijskim trakama, kompletu spojnice se dodaje i bakrena pokositrena pletenica presjeka 25 mm². Uz pomoć fine bakrene pokositrene mrežice s upletenim nitima, cijelo područje spojnice se električki zaštićuje i ekranizira.

Na kraju, vanjska zaštita spojnice je ostvarena pomoću jedne debelostjenkaste toploskupljajuće cijevi koja je prethodno tvornički po cijeloj dužini oslojena ljepilom. Grijanjem se cijev skuplja i prekriva vanjski plašt kabela na prethodno određenoj dužini, dok istovremeno ljepilo teče i popunjava sav međuprostor. Ovime se postiže efikasno brtvljenje protiv vanjskih utjecaja i istovremeno dostatna mehanička zaštita spojnice.

4. SPAJANJE VODIČA

Kod konstrukcije spojnice, za sam spoj vodiča bili su postavljeni slijedeći zahtjevi koji su morali biti ispunjeni:

- sigurna i pouzdana ugradnja bez upotrebe specijalnih alata
- primjena na Al ili Cu vodičima, okruglim ili sektorskim, jednožičnim ili višežičnim
- primjena na uzdužne vodonepropusne ili masom natopljene vodiče
- kratak i kompaktan dizajn
- optimalno prilagođenje područja pokrivanja čahure u odnosu na područje primjene toploskupljajućeg tijela spojnice
- primjena u izvanrednim pogonskim uvjetima i kod temperature vodiča od 0 do 130°C.



Slika 2. Univerzalna vijčana čahura EXRM-1260 (sastavni dijelovi i presjek)

Tablica I. Pregled dimenzija vijčanih čahura serije EXRM-1260

Veličina čahure EXRM-1260-	S barijerom/ Bez barijere	Područje primjene (mm ²)	Dužina čahure (mm)	Promjer Čahure (mm)	Širina glave vijka (SW, mm)	Dužina kont. pločice (mm)
25/ 70-T	S barijerom	25 - 70	60	21	13	27 x 2
70/150	Bez barijere	70 - 150	80	28	17	80
70/150-T	S barijerom	70 - 150	80	28	17	37 x 2
120/240	Bez barijere	120 - 240	90	34	19	90
120/240-T	S barijerom	120 - 240	95	34	19	45 x 2
150/300	Bez barijere	150 - 300	110	37	22	110
400/630	Bez barijere	400 - 630	170	52	27	170

Odgovor na ove zahtjeve bila je stezaljka čije je tijelo izrađeno od Al-legure koja kombinira dobru vodljivost i dostatnu elastičnost materijala. U tijelo stezaljke postavljeni su vijci međusobno u V-oblik (slika 2), omogućujući tako mali međusobni razmak i smanjenje uzajamnog utjecaja kontaktnog pritiska svakog para vijaka. Promjer vijaka je tako odabran da je izbjegnuta mogućnost izostavljanja ili izbacivanje pojedinih žica u ukupnom kontaktu vodiča i vijka. Vijci su izrađeni od Al-legure i opremljeni su samokidajućim glavama koje pucaju na unaprijed određenom momentu pritezanja. Na taj način je osigurano da će sloj oksida na površini vodiča biti ostrugan, a da istovremeno efektivni presjek vodiča neće biti stanjen postupkom mljevenja. Za navoj koristi se fini uspon od 1 mm kako bi se postigao visoki kontaktni pritisak kada se primjeni uobičajeni moment pritezanja kod montaže. Kod višežičnih vodiča traži se uvijek visoki kontaktni pritisak radi ostvarivanja dobre poprečne vodljivosti između međusobno koncentričnih slojeva vodiča. Za dovođenje manjih dimenzija vodiča u centrični položaj u odnosu na tijelo čahure, koristi se kontaktna pločica koja je s unutarnje strane prilagođena promjeru vodiča a s vanjske strane unutarnjem promjeru čahure.

Pločica se uz pomoć vodilica ulaže u dva utora na donjem dijelu tijela čahure čime je uvijek osiguran njen ispravan položaj. Unutarnja stijenka tijela čahure kao i kontaktna pločica koncentrično su nazubljeni, kako bi se kod ugradnje probio Al-oksidi na površini vodiča.

Stezaljka je tvornički napunjena kontaktnom mašću koja sprečava ponovno stvaranje oksidnog sloja a istovremeno održava dugotrajnu stabilnost kontakata.

Pregled dimenzija vijčanih čahura prikazan je u Tablici I.

5. TIPSKA ISPITIVANJA SPOJNE ČAHURE

Normizacija metoda i postupaka ispitivanja za spojeve vodiča nije međunarodno gledano još završena.

Tablica II prikazuje usporedni pregled glavnih ispitnih kriterija prema danas korištenim normama za spojne čahure.

Tablica II. Usporedni pregled glavnih ispitnih kriterija za vijčane čahure a prema važećim normama

	IEC 61238-1:1993.08 klasa A	VDE 0220 Dio 2 0.478 (kompresione spojne čahure do 300 mm ²)	ANSI C119.4 – 1991 (Klasa A, opterećenje za klasu 3)
Broj ciklusa	1000	1000	500
Temperatura	T _{vodiča} = 100°C Temperatura čahure	T _{vodiča} = 100°C Temperatura čahure	T _{vodiča} = 90°C + 32K Temperatura vodiča
Ispitivanje strujom KS-a	T _{vodiča} = 250÷270°C Temperatura vodiča t = 1 sek 6 puta	T _{vodiča} = 250÷270°C Temperatura vodiča t = 1 sek 3 puta	Nema zahtjeva --
Mehaničko opterećenje	σ = 40N/mm ² za Al σ = 60N/mm ² za Cu max. 20.000N	σ = 40N/mm ² za Al σ = 60N/mm ² za Cu	5% od nazivne prekidne čvrstoće vodiča
Broj uzoraka koji se ispituju	6	6	4
Glavni kriterij prolaza	$T_{con\ max} \leq T_{c\ max}$ Omjer faktora otpornosti $\lambda = \frac{k}{k_0} \leq 1.5$	$T_{con\ max} \leq T_{c\ max}$ Omjer faktora otpornosti $\lambda = \frac{k}{k_0} \leq 2.0$	$T_{con\ max} \leq T_{c\ max}$ Odstupanje otpora spoja max. ± 5% od prosjeka za sva mjerenja

Skraćenice: T_c = Temperatura vodiča; T_{con} = Temperatura čahure

Od tri ovdje navedene norme, globalno gledano prednost se daje IEC 61238-1 (klasa A) normi za ispitivanje električkih i mehaničkih svojstava spojnih čahura za energetske kabla. Zbog zahtjeva mnogih korisnika da se ovaj dokument proširi i ispitivanjima za dokazivanje svojstava kod preopterećenja, isti je na diskusiji.

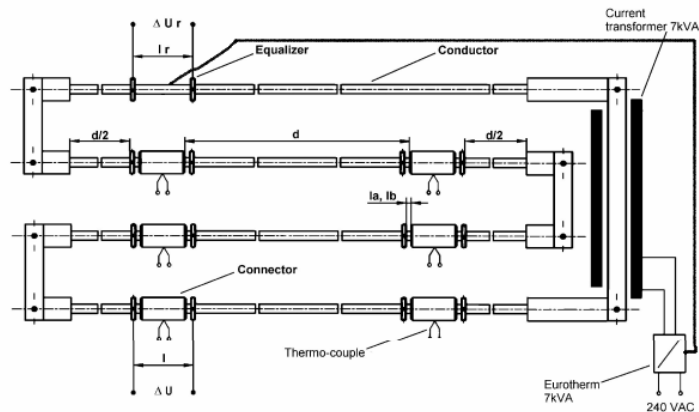
Od 1999. postoji nacrt amandmana na IEC 61238 Izdanje 2 kao i istovjetan CENELEC nacrt prEN 61238-1; 2001. Ovi nacrti normi ograničili su primjenjivost samo na spojne čahure za kabla nazivnog napona do 36 kV (Um = 42 kV) a omogućavaju za vrijeme ispitivanja i veću promjenu vrijednosti prijelaznog otpora čahure (povećanje max. omjera faktora otpornosti λ od 1.5 na 2.0). Ovo planirano smanjenje zahtjeva nije do danas naišlo na potrebni zajednički konsenzus.

Za ocjenu rezultata dugotrajnih ispitivanja kao i ispitivanja na preopterećenje te za kvalificiranje spojne čahure tipa EXRM-1260, pored IEC zahtjeva korišteni su i dodatni zahtjevi s proširenim ciklusima opterećenja za temperaturu spojne čahure od 100°C i 130°C kao i dodatni pokusi KS-a s max. temperaturom vodiča do 330°C.

Ovdje će biti dat pregled samo važnijih ispitivanja i to:

1. 200 ciklusa, 100°C temperatura čahure
2. 4 ispitivanja strujom KS-a, 330°C temperatura vodiča
3. 2 ispitivanja strujom KS-a, 250°C temperatura vodiča
4. 800 ciklusa, 100°C temperatura čahure
5. 250 ciklusa, 130°C temperatura čahure
6. 350 ciklusa, 100°C temperatura čahure
7. 6 ispitivanja strujom KS-a, 250°C temperatura vodiča
8. 800 ciklusa, 100°C temperatura čahure

Za vrijeme ispitivanja iz točke 1., 4. i 5. mjerena je temperatura čahure, dok ja za ispitivanja iz točke 6. i 8. mjerena temperatura vodiča. Ispitivanje je rađeno prema uobičajenom ispitnom krugu koji je prikazan na slici 3.

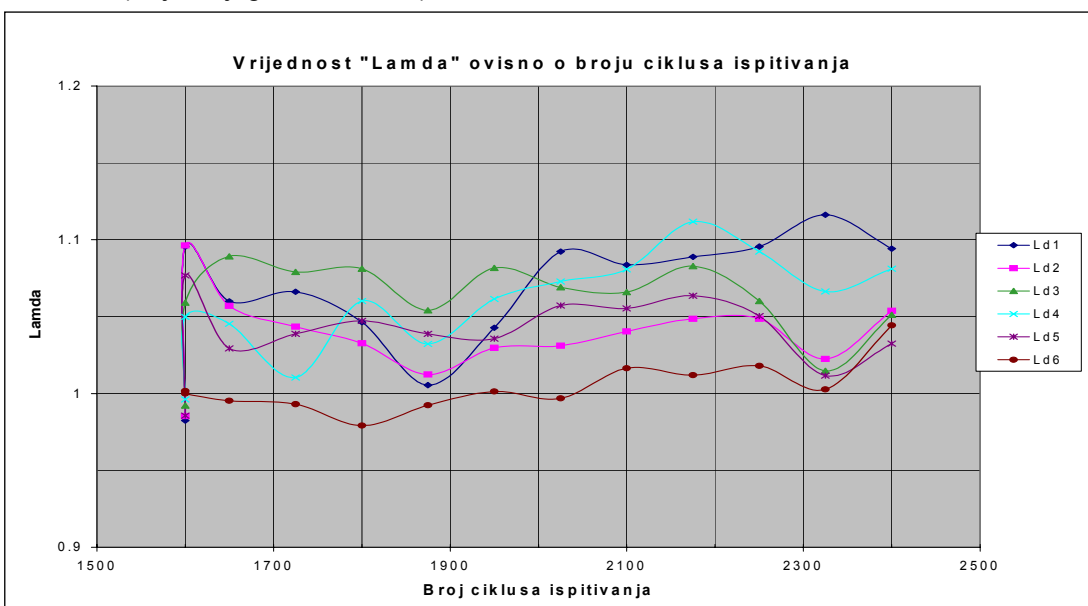


Slika 3. Uobičajeni ispitni krug za tipiska ispitivanja spojnih čahura prema IEC 61238-1

Na opisani način ispitane su vijčane čahure tipa EXRM 1260-120/240 na višežičnom, okruglom i kompaktiranom Al vodiču 240 mm².

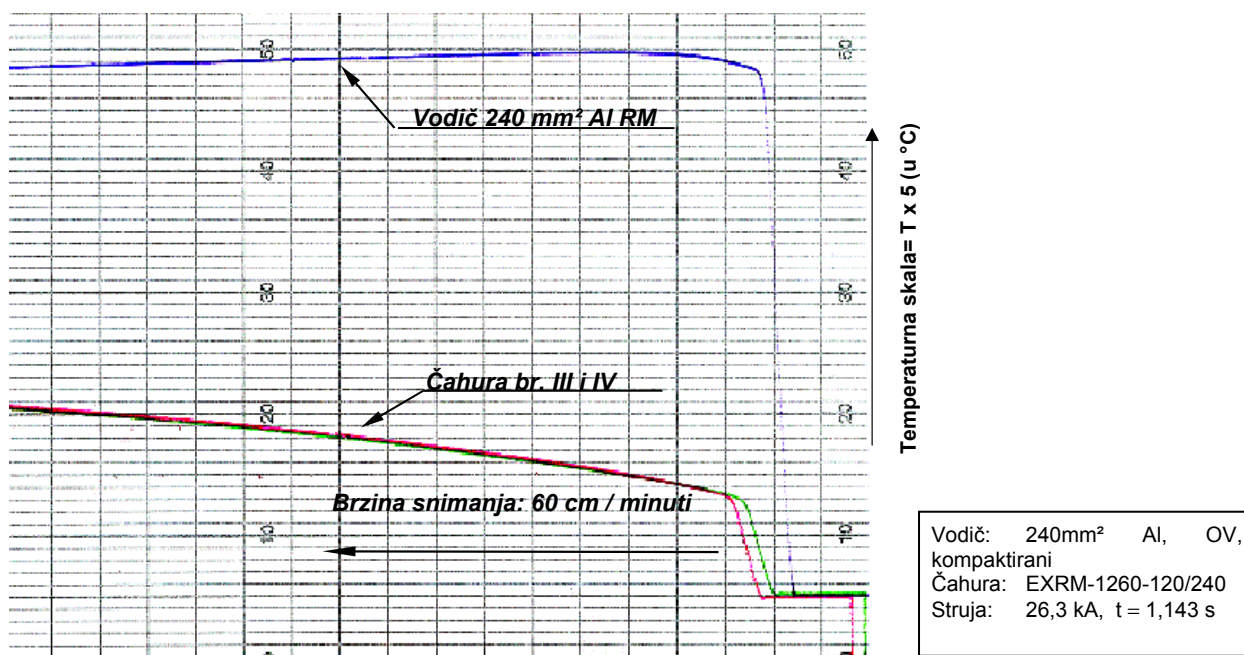
Kod ove konfiguracije najveći zahtjevi na spojnu čahuru dolaze uslijed neznatne razlike masa čahura/vodič kao i zahtjeva na poprečnu vodljivost zbog povećanog broja koncentričnih slojeva žica koje čine vodič.

Zahtjevi prema IEC 61238-1:1993, (Tablica 2), kao i dodatni zahtjevi za cikličkim ispitivanjima, bili su u cijelosti ispunjeni tako da je izmjerena max. λ -vrijednost od 1,1 bila znatno ispod dozvoljene vrijednosti od 1,5 (vidjeti dijagram na slici 4).



Slika 4. Prikaz λ -vrijednosti (dodatna ciklička ispitivanja u odnosu na prethodni IEC 61238-1;1993., točke 6., 7. i 8.)

Na kraju ispitivanja, temperatura čahure bila je 20°C niža od temperature izmjerene na referentnom vodiču. Na slici 5. prikazani su dijagrami temperature mjerene tijekom i neposredno nakon ispitivanja strujom KS-a. Temperatura na površini čahure dosegla je pri ovom ispitivanju samo 75°C, dok je istovremeno temperatura vodiča dosegla traženih 250°C.



Slika 5. Temperaturni dijagram čahura (uzorci III i IV) i vodiča tijekom ispitivanja strujom KS-a

Ispitivanja na drugim presjecima vodiča, različitim prijelazima presjeka vodiča kao i na Cu vodičima, provedena su u cijelosti prema IEC 61238-1:1993. a detaljni podaci nalaze se u odgovarajućim tipskim izvještajima.

6. ISPITIVANJE KOMPLETNE SPOJNICE

Tablica III: Pregled ispitnih napona s vremenima trajanja i max. dozvoljenim vrijednostima parcijalnih izbijanja za kableske spojnice $U_0/U (U_m) = 12/20(24)$ kV

	CENELEC HD629.1.S1	IEC 60502-4	IEEE 404
Istosmjerni napon	72 kV, 5 min	54 kV, 5 min opcija: 58 kV, 15 min	83 kV, 15 min
Izmjenični napon	54 kV, 5 min 30 kV, 15 min	54 kV, 5 min alternativno:	54 kV, 5 min 42 kV, 5 h
Za vrijeme cikličkih ispitivanja	30 kV, 1008 h	30 kV, 504 h	36 kV, 720 h
Udarni napon	± 125 kV; 10 x kod temperature okoline ± 125 kV; 10 x kod temperature vodiča 90°C	± 125 kV; 10 x kod temperature okoline ± 125 kV; 10 x kod temperature vodiča 90°C	± 128 kV; 10 x kod temperature vodiča 25°C ± 128 kV; 10 x kod temperature vodiča 130°C
Parcijalna izbijanja	Max. 10 pC kod 20 kV	Max. 10 pC kod 20 kV	Max. 3 pC kod 18 kV

Normizacija postupaka ispitivanja SN kablenskog pribora smatra se nacionalno i internacionalno, zaključenom.

Tablica III prikazuje usporedbu ispitnih napona i vremena trajanja ispitivanja danas primjenjivih normi za ispitivanje izolacije od umreženih materijala (XLPE, EPR). Redosljed postupaka ispitivanja u tablici je proizvoljan.

Danas ispitna norma CENELEC vrijedi u svim zemljama EU, Norveškoj, Švicarskoj, Malti, Češkoj Republici a bit će uskoro prihvaćena i u ostalim zemljama srednje i istočne Europe. Kod nas u Hrvatskoj ove norme su na snazi od 2001. godine i nose HR prefix (npr. HR HD 629.1.S1). U zemljama Sjeverne i Južne Amerike preferira se korištenje IEEE –norme dok se u ostalim zemljama svijeta (npr. Afrika) preferiraju IEC-norme.

Ove tri norme mogu se uspoređivati kako u postupku ispitivanja tako i u visini ispitnih napona. Znatno se razlikuju jedino u trajanju cikličkih ispitivanja: CENELEC 1008 h; IEC 504 h; IEEE 720 h.

6.1. Dugotrajna ispitivanja na starenje

Tipska ispitivanja kablenskog pribora ne sadrže dugotrajna ispitivanja na starenje kao što ih sadrže tipska ispitivanja za kabele. Za procjenjivanje trajanja životnog vijeka (danas se očekuje najmanje 40 godina trajanja u pogonu) potrebna su dugotrajna vremenska ispitivanja i to pod pojačanim utjecajima okoline (električnog polja, UV zračenja, zagađenja, slane kiše i sl.)

Ovdje se moramo prisjetiti da je tijekom 70-tih godina kod tipskih ispitivanja kabela sa PE ili XLPE izolacijom, došlo do velikog broja kvarova i to na samom početku trajanja dugotrajnih ispitivanja. Kako bi se spriječile slične pojave u praksi, od strane korisnika i proizvođača kabela, postavljene su nove norme za dugotrajna ispitivanja koja predviđaju vrijeme ispitivanja u trajanju od 2 godine.

U tablici IV dan je pregled trenutno primjenjivih dugotrajnih ispitivanja za SN kabele.

Tablica IV. Usporedba dugotrajnih ispitivanja na starenje za SN kabele

	UNIPED E * (Harmonizirano)	VDE 0276 (HD 620)	CENELEC (Trenutno stanje na diskusiji)
Ispitivanja:			
- Ispitni uzorak (količina x broj x dužina)	1 x 12 x 5 m	4 x 5 x 10 m	2 x 6 x 10 m
- Predkondicioniranje: suho vlažno	Bez (55 ±5)°C / 500 h	90°C / 168 h Bez	Bez (55 ±5)°C / 500 h
- Ispitivanje	Žila, žila s el. zaštitom	Žila, žila s el. zaštitom, kabel	Žila, žila s el. zaštitom
Parametri starenja			
- Voda	Slana 0,3 g NaCl / l	Iz pipe	Iz pipe
- Prodor vode	Iz vana i u vodič	Iz vana i u vodič	Iz vana
- Napon/frekvencija	3 U ₀ / 50 Hz	4 U ₀ / 50 Hz	3 U ₀ / 50 Hz
- Temperatura	(25 ±10)°C	(50 ±5)°C	(40 ±5)°C
- Trajanje	2 godine	0; 0.5; 1; 2 godine	1; 2 godine
Ispitni zahtjevi			
- Na originalnom uzorku (novi)	-	15 U ₀ (Weibull razd. 63 %)	-
- Na uzorcima nakon starenja (stari)	Svi ≥ 14 kV/mm Min. 8 ≥ 18 kV/mm Samo 4 ≥ 22 kV/mm	12 U ₀ (Weibull razd. 63 %) 9 U ₀ (najniža vrijednost)	Trenutno je u postupku nacionalnih određivanja

* UNIPED E – International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy

Po prirodi stvari, spojnica se mora promatrati kao kratak komad kabela što za posljedicu ima da se ispitivanje životnog vijeka za spojnicu smatra korisnim. U daljnjem tekstu se opisuju dugotrajna ispitivanja na starenje koja su provedena za spojnicu i to kao ispitivanja izmjeničnim ciklusima opterećenja. Zahvaljujući ovom pojačanom ispitnom kriteriju sa izmjeničnim ciklusima opterećenja, dugotrajno ispitivanje je skraćeno na prihvatljivo trajanje od jedne godine (umjesto dvije godine koliko je za kabele). Završna dielektrična ispitivanja spojnice trebala bi najmanje zadovoljiti zahtjeve postavljene iz CENELEC HD 629.1.S1 a za naponski nivo 12/20 (24)kV i to:

- Ispitivanja izmjeničnim naponom
- Ispitivanja istosmjernim naponom
- Ispitivanje parcijalnih izbijanja

6.2. Ispitni krug

Ispitivanju su podvrgnute ukupno četiri spojnice tipa POLJ-24/1x120-240 s vijčanim čahurama tipa EXRM-1260 i sa spojem električne zaštite (2 kontaktna prstena i Cu mrežica). Spojnice su u laboratoriju montirala četiri različita montera, radi ocjene sigurnosti primjene u praksi. Za ovo ispitivanje korišten je kabel tipa NA2X2Y(XHE 48) 12/20 kV 1 x 240 OV / 25

Vodič je bio Al 240 mm², višežični kompaktirani, Ø18.5 mm a unutarnji poluvodljivi sloj od vodljivog brizganog polietilena.

Primarna izolacija kabela bio je brizgani sloj umreženog polietilena debljina 5,5 mm, a vanjski poluvodljivi sloj od vodljivog brizganog polietilena, zavarenog na izolaciju.

Vanjska električna zaštita kabela bile su Cu-žice, 40 kom x Ø 0.8 mm, presjeka 25 mm². Vanjski plašt kabela bio je od polietilena, debljina 2.5 mm a vanjski promjer kabela bio je Ø= 40.5 mm.

Za ovo ispitivanje korišteni su uzorci koji su prethodno prošli proširena tipska ispitivanja i to:

- Tipska ispitivanja prema CENELEC HD628.S1 i HD629.1.S.1 za naponski nivo 12.7/22 (24) kV
- Ciklička ispitivanja prema HD 628.S1HD 628.S1, točka 9 u zraku, ali kod temperatura vodiča od 130°C; broj ciklusa: 100.

6.3. Priprema uzoraka za ispitivanje

Ispitni uzorci (kabel i spojnica) opremljeni su na jednoj strani sa novim završecima koji su omogućili dovođenje vode direktno u vodič (korišteni su Raychem završeci s rezervoarom za ulje tipa IDST na koje je direktno spojena cijev sa vodovodne mreže). S jedne i druge strane spojnice skinut je vanjski plašt kabela u dužini od 5 cm tako da je omogućen prodor vode između vanjskog plašta i žile kabela (realno moguća situacija u praksi). Spojnice su sada potopljene u kadu s vodom (voda iz vodovoda) tako da je visina vode iznad vrha spojnice iznosila 8 ±3 cm (slika 6).



Slika 6. Provođenje dugotrajnih ispitivanja na uzorcima koji su potopljene u vodi

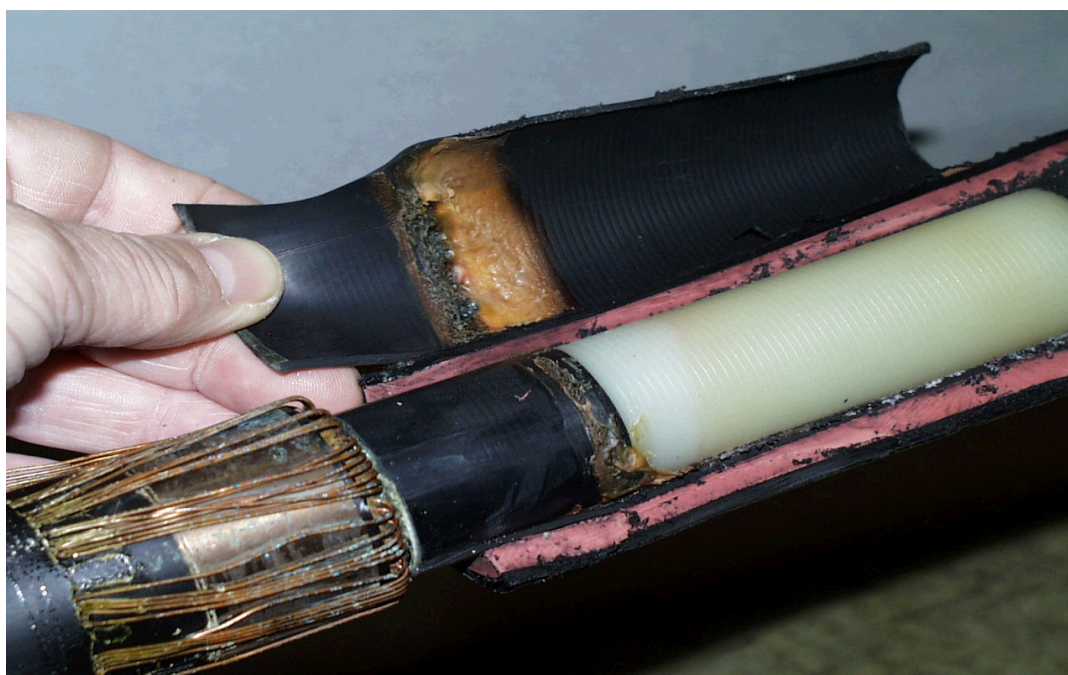
6.4. Ispitivanja

Opseg dugotrajnih ispitivanja kao i njihovi rezultati prikazani su u tablici V.

Tablica V. Pregled rezultata dugotrajnih ispitivanja na starenje

Opseg ispitivanja	Rezultati
Mjerenje parcijalnih izbijanja kod 22 kV~	sva 4 ispitna uzorka < 3 pC
Ciklus grijanje/hlađenje: 5/3 h Temperatura vodiča: 95°C Ispitni napon između vodiča i el. zaštita: 48 kV~ Trajanje ispitivanja: 965 ciklusa	Sva 4 ispitna uzorka uspješno su prošla ispitivanje
Ispitivanje istosmjernim naponom: 76 kV; 15 min Ispitivanje izmjeničnim naponom: 57 kV; 5 min	Sva 4 ispitna uzorka uspješno su prošla ispitivanje
Udarni napon: 10 x ± 125 kV 10 x ± 150 kV	Sva 4 ispitna uzorka uspješno su prošla ispitivanje
Mjerenje parcijalnih izbijanja kod 22 kV	Sva 4 ispitna uzorka < 3 pC

Nakon završetka dugotrajnih ispitivanja, ispitni uzorci spojnice bili su otvoreni (slika 7). Sve komponente nađene su u bezpriekornom stanju, bez ikakvih promjena ili deformacija. Čak ni izolacija kabela nije pokazivala veće promjene u području pojačanih jakosti električnog polja.



Slika 7. Detalj otvaranja spojnice nakon završetka dugotrajnih ispitivanja

Također nije primijećena niti korozija u području vijčane spojne čahure iako je voda ulazila cijelo vrijeme ispitivanja u vodič i isti je bio kompletno natopljen vodom. Ovo je rezultat konstrukcije i odabira metala spojne čahure (vijci i tijelo od specijalne Al-legure) koji izbjegava elektrokemijske potencijale.

7. POGONSKA ISKUSTVA

Od uvođenja novog tipa srednjenaponskih spojnica s integriranim sustavom spajanja vodiča sredinom 90-tih godina, u distributivnim energetskim mrežama širom svijeta ugrađeno je do danas više od sto tisuća spojnica ovog tipa. Ova brojka sadržava spojnice za plastične kabele kao i različite prijelazne spojnice (npr. ulje-plastika, plastika ekranizirani-plastika neekranizirani itd.) kao i spojnice za kabele različitih konstrukcija, oblika i materijala vodiča.

Spojnice su često ugrađivane u ekstremnim klimatskim uvjetima kao i vanjskim utjecajima okoline kao npr:

- U trajno zamrznutim područjima tijekom montaže izmjerene su temperature i ispod -20°C . Ovdje se osobito korisnim pokazao plamenik kao neizostavan alat u pripremi kabela za montažu. U ovako teškim uvjetima, prirodno je da uobičajenu posteljicu za montažu spojnice nije bilo moguće izvesti. Unatoč tome, spojnica se pokazala vrlo otporna na mehaničke udarce kod zatrpavanja spojne grabe,
- U tropskim područjima, montaže su rađene pri visokoj vlazi u zraku, velikim kišama i visokom nivou podzemnih voda. I ovdje se upotreba plamenika pokazala vrlo korisnom za isušivanje okolnog zraka kod montaže. U pustinskim područjima, izuzetno fini pijesak često puta otežava instalaciju. Šatori za montažu koji bi se u ovim uvjetima trebali koristiti često puta nisu dostupni. Za montažu pod takvim vremenskim uvjetima, kratko vrijeme montaže vrlo je važan faktor za ukupnu kvalitetu montaže.
- Ugradnja spojnica ovog tipa u Hrvatskoj započela je tijekom 1998. godine i do danas se u pogonu nalazi blizu deset tisuća komada s tendencijom stalnog porasta korištenja u usporedbi sa spojnicama koje nemaju integrirani sustav spajanja vodiča.

8. ZAKLJUČAK

Korištenje srednjenaponskih spojnica s integriranim sustavom spajanja vodiča, naišle su na široku primjenu kako kod distribucijskih tako i kod industrijskih i montažnih poduzeća širom svijeta. Zahtjevi koji su utjecali na razvoj spojnica opisani u toč. 2 ovog referata, u potpunosti su potvrđeni pogonskim iskustvima i korištenjem u praksi. Nova koncepcija spojnice u skladu je s novim trendovima glede montaže i pogona kabelskih mreža te se kao takva prenosi i na visokonaponske kabele 72 i 123 kV.

LITERATURA

- [1] W.B. HAVERKAMP, G. MALIN, R. STROBL: "Termination System for Polymeric Distribution Cables Based on Ceramic Stress-Grading Technology", Power Journal of the South African Institute of Electrical Engineers, January/February 2000, Page 66 – 69
- [2] GEORG CZERNEK: "Optimale Gestaltung von Schraubverbindungen elektrischer Leiter", Abhänging von Schmierstoff und Konstruktion; Elektrotechnik Heft 3, Würzburg 1982.
- [3] HRN HD 629.1S1: "Metode ispitivanja pribora energetskih kabela nazivnog napona od 3.6/6 (7.2) kV do 20.8/36(42) kV, Dio 1: Kabeli s brizganom izolacijom", 2001 god.
- [4] HD 628 S1: "Metode ispitivanja pribora za energetske kabele nazivnog napona 20.8/36 (42) kV"; 1996 god.
- [5] IEC 60502-2: "Energetski kabeli sa brizganom izolacijom i njihov pribor nazivnog napona od 1 kV do 30 kV- 2. Dio, Kabeli nazivnog napona 6 kV do 30 kV", 1997 god.
- [6] HRN IEC 61238-1: "Tlačne i vijčane spojne čahure za energetske kabele s bakrenim ili aluminijskim vodičima – 1. Dio: Ispitne metode i zahtjevi"; 2001
- [7] HRN IEC 61238-2: "Tlačne i vijčane spojne čahure za energetske kabele s bakrenim ili aluminijskim vodičima – 2. Dio: Stopice za energetske kabele za priključenje na opremu do i uključivo 1 kV - Vanjske mjere"; 2001
- [8] PPR 1309; "Tests on joints type POLJ 24/1x120-240 for single core XLPE insulated cables 12.7/ 22 kV"; Ottobrunn/München 1998.

- [9] PPR 1430; "Type Tests of mechanical connector with shear-off bolts for Al- and Cu conductors type EXRM-1260 following IEC-1238-1", 1993, Class A procedures
- [10] Bilten HEP-a broj 22: "Tehnički uvjeti za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1kV do 35 kV"; Zagreb, ožujak 1993 god.
- [11] Bilten HEP-a broj 100: "Kriteriji za izbor i polaganje podmorskih elektroenergetskih kabela"; Zagreb, lipanj 2002 god.
- [12] J. BOŠNJAK: "Nova generacija kabela s ugrađenom metaloksidnom oblogom za kontrolu električnog polja"; V. Savjetovanje HK CIGRE, Cavtat 2001 god.
- [13] W.B. HAVERKAMP, P. LE BAUT: "Heat-shrink Cable Accessories for plastic cable up to 36kV"; March 84 Jicable, France
- [14] M. BABUDER: "Promjene naponsko-strujnih karakteristika metaloksidnih odvodnika prenapona kao posljedica udarnih strujnih opterećenja", Doktorska disertacija, Zagreb 1993 god.
- [15] W.B. HAVERKAMP, N. SCHAD: "Einsatz wärmeschrumpfender Mittelspannungs-Übergangsmuffen – Erfahrungsbericht"; Elektrizitätswirtschaft Jg.93 (1994), H. 26, 1643 - 1647
- [16] W.D. NIEBUHR: "Metal-Oxide-Varistor Surge Arresters Technology and Application Concepts"; CIRED 1986