# POLT – ZnO tehnoloogial põhinevad uue põlvkonna termokahanevad keskpinge otsmuhvid

***Autorid:*** *Dipl.-Ins. Dr. R. Strobl, Dipl.-Ins. W. Haverkamp, Dipl.-Ins. Dr. G. Malin*

Tyco Electronics Raychem GmbH, Energeetika division - Ottobrunn / Saksamaa

---

## Sissejuhatus

Tyco Electronics Raychem GmbH on turule toonud POLT tooteseeria, mis on termokahanevate keskpinge otsmuhvide uusim põlvkond. Uue väljaühtlustuse põhimõte seisneb tsinkoksiid-mikrovaristorides, mis järgivad varistoride voolu-pinge karakteristikut. Varistoride selline käitumine, mis on tuntud pooljuhttehnoloogiast, võimaldab optimaalse elektrilise väljaühtlustuse ja tõkestab varistori tööpõhimõttel lokaalselt esinevad väljatugevuse tõusud. Välimine roomavlahenduskindel kõrgepinge isoleermaterjal põhineb enam kui 30-aastasel materjali- ja käidukogemusel ekstreemsetes kliimatingimustes üle maailma.

## Summary of the report

***A Novel Heat-Shrinkable Medium Voltage Termination System based on Ceramic Stress-grading Technology***

Tyco Electronics Raychem GmbH introduces a new generation of heat-shrinkable medium voltage termination systems called I(O)XSU-F. The stress control management is based on zinkoxide-microvaristors following the current-voltage-characteristic of varistors. This well-known characteristic of the semiconductor technology provides an excellent electrical stress control management and field distribution and will avoid voltage peaks like a varistor. The excellent non-tracking outer performance of the high voltage insulation material has been proven in material and field experiences for more than 30 years in severe global environmental conditions.

---

## 1 ÜLDIST

Elektrikaableid saab valmistada kuni teatud kindla pikkuseni. Seega on vaja kaablitarvikuid, et ühendada kaableid omavahel või elektriseadmetega (lülitusseadmed, transformaatorid, õhuliinid jne.). Lisaks otsmuhvidele seatud elektrilistele, mehaanilistele ja termilistele nõudmistele tuleb arvestada ka keskkonnamõjutusi nagu niiskus korrosioon, osoon, ultraviolettkiirgus, mustus jne.

Piisava isoleervahemiku saavutamiseks kaablikinga (kõrgepinge) ja ekraani (maapotentsiaal) vahel peab kaabliotsa vastavalt ette valmistama. Plastkaablite puhul moodustub juhi ja ekraani vahel (välimine juhtiv kiht) homogeenne elektriväli. See homogeensus rikutakse ära kaabli otsas, mistõttu välimise juhtiva kihi serva juures tekib lubamatult kõrge väljatugevus, mis tekitab osalahendusi ning see omakorda hävitab isoleermaterjali kiiresti.

Loodud väljaühtlustusmeetodi abil peavad ekvipotentsiaaljooned väljuma kaablist ühtlaselt piki kaabliotsa ja väljatugevus peab vähenema kuni nõutud väärtuseni. Siinjuures pakub termokahanev tehnoloogia mahtuvusliku ühtlustuskatte näol ideaalset väljajaotusvõimalust. Sellele lisandub veel asjaolu, et spetsiifilist elektrilist takistust vähendatakse suure

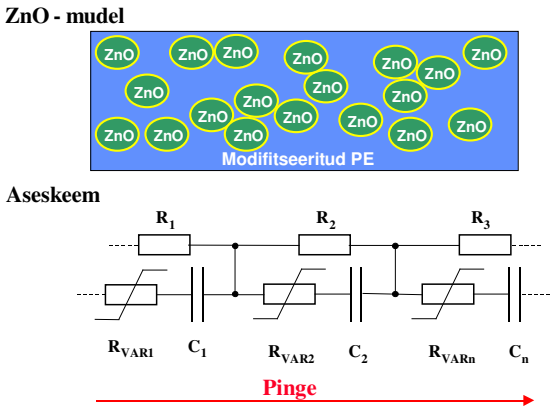
väljatugevuse juures ebaproportsionaalselt. Seda mahtuvuslikku väljaühtlustust rakendatakse nimipingel kuni 72 kV ning see on olnud edukalt kasutusel kogu maailmas üle 30 aasta.
Neid positiivseid kogemusi termokahanevate keskpinge kaablitarvikute vallas on edukalt rakendatud uue POLT tootegrupi välja töötamisel. Uue väljaühtlustuse põhimõte seisneb tsinkoksiid-mikrovaristorides, mis järgivad varistoride voolu-pinge karakteristikut. Varistoride selline käitumine võimaldab optimaalse elektrilise väljaühtlustuse, kus liigpingepiiriku põhimõttel tasandatakse esineda võivad pingetippe. POLT otsmuhvides kasutatav välimine roomavlahenduskindel kõrgepinge isoleermaterjal valmis aastakümnete pikkuse materjali arendustöö ja eduka käidukogemuse tulemusel ekstreemsetes kliimatingimustes.

## 2 ZNO VÄLJAÜHTLUSTUSE PRINTSIIP

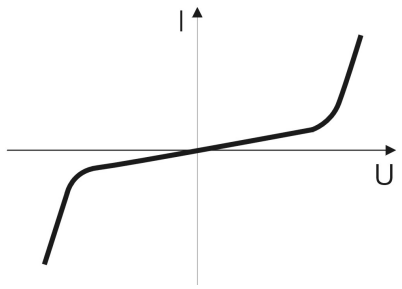
ZnO-tehnoloogiat on juba palju aastaid väga edukalt rakendatud liigpingepiirikutes. Antud eesmärgiks oli kasutada seda tehnoloogiat keskpinge otsmuhvide väljaühtlustamisel. See tehnoloogia erineb oluliselt tavalisest eraldi paigaldatavast mahtuvuslikust väljaühtlustusest. Uue väljaühtlustuse lähtepunktiks on üksikud ZnO osakesed, mida võib käsitleda kui mikrovaristore. Keraamilise osa töötlemise käigus paigutatakse need polümeermaatriksisse, mis täidab kandva materjali eesmärki.

**Pilt 1:** Keraamiline pulber ja polümeerpallikesed

Tsinkoksiidiga rikastatud pallikesed (vt. pilt 1) ekstrudeeritakse ühiselt koos isoleertoru roomavlahenduskindla materjaliga. Pildil 2 on toodud polümeermaatriks ja selle ekvivalentne lihtsustatud elektriline aseskeem, mis koosneb varistoridest, takistustest ja kondensaatoritest.




**Pilt 2:** ZnO – mudel ja lihtsustatud aseskeem



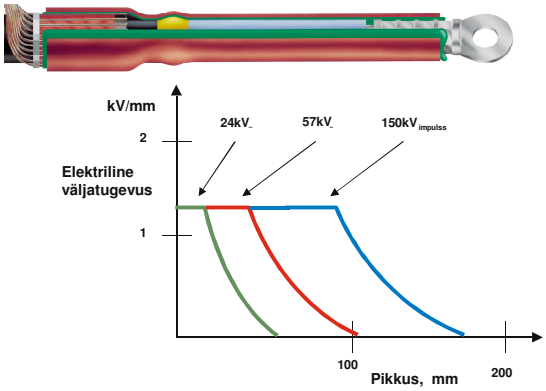

**Pilt 3:** Varistoride voolu-pinge karakteristik

Üksikud mikrovaristorid järgivad (omane pooljuhttehnoloogiale) voolu-pinge karakteristikut (vt. pilt 3) teatud kindla lävipingega (lülituspinge). Seda lävipinget saab täpselt kohaldada vastavalt elektrilistele vajadustele ja see sõltub enamasti tsinkoksiidi keemilisest koostisest ning vajaminevast kaltsineerimisprotsessist. Kui elektriline väljatugevus (rakendatud pinge) on väiksem fikseeritud mikrovaristoride lävipingest, siis töötab väljaühtlustus sarnaselt isolaatorile vastavalt lineaarsele voolu-pinge karakteristikule. Juhul kui elektriline väljatugevus suureneb ja hakkab lävipinget ületama, siis lülituvad üksikud mikrovaristorid sisse ja muutuvad juhtivaks. Seega toimub elektrilise väljatugevuse piiramine samalaadselt liigpingepiirikutega, kus hoitakse ära ülepinge, mis tuleneb transientprotsessidest või elektrivõrkudes esinevast liigpingest.

Tüüpiline tsinkoksiidi käitumismudel on toodud pildil 4. Kui elektriline väljatugevus on suurem kui valitud lülituspunkt, siis lülituvad sisse üksikud osakesed (mikrovaristorid) vastavalt voolu-pinge karakteristikule ning muutuvad juhtivaks. See süsteem takistab seeläbi ülepingeid, mis tekivad näiteks plastkaabli välimise juhtiva kihi lõikeserva piirkonnas. Nimelt kaabli välimise juhtiva kihi katkestamisest tingituna esinevad just selles kohas kõige kõrgemad elektrilised koormused.

Seda originaalset pinge piiramise süsteemi on edukalt testitud kõrgete vahelduvpinge- ja pikselöögipinge nõuetega nii kvalifikatsioonikatsete ajal kui ka elektrivõrkudes tekkivate lülitusprotsesside puhul (pikselöögile järgnevad liigpinged, lülitusliigpinged, transientliigpinged).

Elektriline koormus piiratakse alati määratud lülituspunktis. Kõrgemate pingete puhul aktiveeritakse ainult väljaühtlustuse suuremad lõigud. Selle uue väljaühtlustuse puhul on eriti märkimisväärne suurepärane impulsspingetaluvus. Pildil 4 toodud joonisel on näidatud mikrovaristoride elektriline toime 24kV, 57kV vahelduvpingel ja 150kV impulsspingel. Kõik väärtused käivad 20kV pingetaseme kohta.

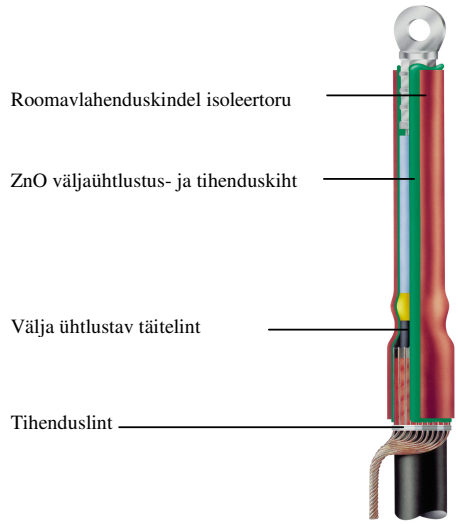



**Pilt 4:** ZnO-mikrovaristoride elektriline reageerimine

# 3 OTSMUHVI EHITUS

Uus otsmuhv POLT koosneb järgmistest komponentidest:

- ⇒ Roomavlahenduskindel isoleertoru koos sisepinnale integreeritud ZnO väljaühtlustusega ja tihendusega
- ⇒ Tihenduslint ekraanitraatide all
- ⇒ Välja ühtlustav täitelint ekraani serva juures




**Pilt 5:** Siseruumi otsmuhvi POLT ehitus

Punane tihenduslint mähitakse ümber kaabli väliskesta ja see jääb tagasi pööratud ekraanitraatide alla. Kollane välja ühtlustav lint mähitakse ümber ekraani serva ja see moodustab isolatsiooni ja välimise juhtiva kihi ilma õhutühemiketa ülemineku. Kaablikinga ja ekraani traatide peal oleva tihenduse funktsiooni täidab roheline integreeritud väljaühtlustuskiht, mis gaasipõletiga kuumutamisel muutub sulavaks ja kleepuvaks. Seeläbi kaitstakse otsmuhvi, täpsemalt öeldes selle alla jäävat kaabli-isolatsiooni, kindlalt niiskuse sissetungi eest. Kaablikinga ja ekraani traatide peale ei ole vaja täiendavaid tihendusmaterjale.

## 3.1 ZnO-väljaühtlustus

Varistortehnoloogia (vt. punkt 2) elektrilistele omadustele põhinedes saab nüüd kõrgepingepotentsiaal olla maapotentsiaaliga ühenduses ainult läbi ZnO-väljaühtlustuskihi. Kaabli välimise juhtiva kihi lõikeserva piirkonnas, kus esineb kõige kõrgem elektriline koormus, on ZnO materjal juhtiv ja teistes piirkondades, kus esineb ainult väike elektriline koormus, on ZnO materjal tugevasti isoleeriv. Lisaks elektrilisele väljaühtlustusele on termokahaneva otsmuhvi sisemise kihi ülesandeks veel tihendusfunktsioon, mis hoiab ära niiskuse sissetungi.

## 3.2 Kõrgepinge-isoleermaterjal

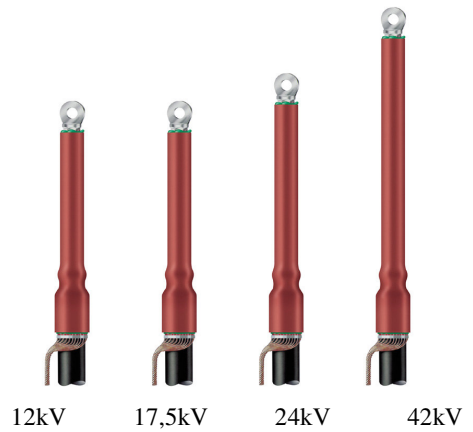
POLT otsmuhvis kasutatav välimine kõrgepinge-isoleermaterjal põhineb rohkem kui 30-aastasel materjali- ja käidukogemusel. Polümeermaterjali pidev edasi arendamine on andnud suurepärase roomavlahendus-, erosiooni ja ilmastikukindluse, hüdrofoobsuse ning oivalised elektrilised omadused. Füüsikalised ja elektrilised omadused on üles ehitatud paljudele testidele põhinedes, nagu näiteks:

- ⇒ T.E.R.T. Tracking and Erosion Resistant Test (ASTM 2303; IEC 60587)
- ⇒ Tracking Classification (IEC 60112; VDE 0203)
- ⇒ Ontario Hydro Wheel Test
- ⇒ Condensation Test on Plaques (HN 41-E-01)
- ⇒ Dust and Fog Tracking Evaluation (ASTM D2132-62)

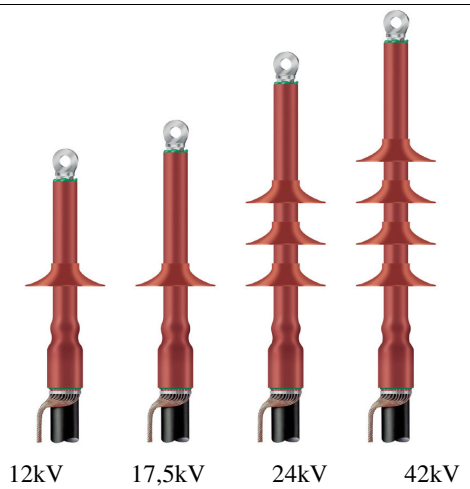
Selle kõrgepinge-isoleermaterjali tulemus põhineb polümeeridel, mis mitmekümne aasta jooksul on tõestanud laitmatut stabiilsust ja suurepäraseid tulemusi ekstreemsetes kliimatingimustes üle maailma.

### 3.3 POLT tooteseeria

Põhinedes ZnO-väljaühtlustuse suurepärastel omadustel, eriti impulsspingetaluvusel, ei ole kuni 42 kV POLT siseruumi-otsmuhvidel isoleerseelikuid vaja. Seejuures saavutatakse impulsspinge tase rohkem kui 200 kV. POLT välispaigaldusega otsmuhvid on konstrueeritud selliselt, et roomavlahenduse teepikkus mm/kV vastab „tugevasti saastatud keskkonna“ tasemele (vastavalt normile IEC-60071-2:1996 ja IEC-60815). Need normid kehtivad portselanisolaatorite kohta, kuid neid võib võrdluse mõttes aluseks võtta ka plastkaablite otsmuhvide puhul. Kuni 24 kV lülitusseadmete siseruumi läbiviikudel saab POLT otsmuhve kombineerida RCAB ühendusliidestega või isoleeritud RICS ühendussüsteemiga. Kuni 42 kV välispaigalduste puhul on võimalik otsmuhvid monteerida koos EPBI polümeersete tugiisolaatoritega või Polygarde liigpingepiirikutega (vt. pilt 8).




**Pilt 6:** Siseruumi otsmuhvid POLT




**Pilt 7:** Välispaigalduse otsmuhvid POLT

## 4 EELISED JA TUNNUSED

Uusima põlvkonna termokahaneva otsmuhvi eelised:

| Märksõnad | Eelised |
|---|---|
| - Üliheade omadustega otsmuhvi materjal | - Suurepärane UV-kindlus<br>- Erakordselt kõrge erosioonikindlus<br>- Suurepärane roomavlahenduskindlus<br>- Hüdrofoobne välispind<br>- Väga hea kõrgepinge isoleermaterjal<br>- Mehaniliselt väga tugev<br>- Piiramatu ladustamisaeg<br>- Rohkem kui 30-aastane ülemaailmne käidukogemus |
| - Uus, integreeritud ZnO väljaühtlustussüsteem | - Suurepärane impulsspingetaluvus<br>- Toru sisepinda tervenisti läbiv integreeritud väljaühtlustus tagab väljaühtlustussüsteemi õige asetuse. |
| - Spetsiaalselt välja töötatud tihenduslint | - Tihenduslindi õige asetus hoiab ära niiskuse sissetungi |
| - Kompaktne ehitus | - Hoiab kokku ruumi |
| - Suur ristlõike kasutusvahemik | - Neli suurust katavad ära enamkasutatavad kaabliristlõiked 25 $mm^2$ kuni 800 $mm^2$. |
| - Paigaldus | - Vähe komponente võimaldavad lihtsa, kiire, töökindla ja keskkonnasõbraliku paigalduse. |

## 5 KOKKUVÕTE

Uus tooteseeria POLT ühendab uusima ZnO-tehnoloogial põhineva väljaühtlustussüsteemi suurepärased omadused termokahaneva kõrgepinge-isoleermaterjaliga. Keraamiline väljajuhtimine tagab parima elektrilise väljajuhtimise ja väljajaotuse ning hoiab varistoride põhimõttel ära ekraani serva piirkonnas sagedasti esineva väljatugevuse kasvu. Sellised omadused annavad eelise just elektrivõrkudele kus esinevad liigpinged ja transientpinged. Välimine roomavlahenduskindel isoleermaterjal põhineb enam kui 30-aastasel ülemaailmsel materjali- ja käidukogemusel.

POLT tooteseeria on saadaval kuni 42 kV nii sise- kui ka välispaigalduse puhul ja katab kaablite ristlõikeid kuni 800 $mm^2$.

**Pilt 8:** Välisotsmuhvid POLT koos HDA liigpingepiirikuga

# 6 KIRJANDUS


[1] W.B. HAVERKAMP, G. MALIN, R. STROBL: *Termination System for Polymeric Distribution Cables Based on Ceramic Stress-Grading Technology* erergize, Power Journal of the South African Institute of Electrical Engineers, January/February 2000, Page 66 - 69

[2] A.E. BLAKE, G. CLARKE, W.T. STARR: *Improvements in Stress Control Materials;* 7th IEEE/PAS Conference and Exposition on Transmission and Distribution, April 1-6, 1979, Atlanta, Georgia

[3] W.B. HAVERKAMP, P. LE BAUT: *Heat-shrink Cable Accessories for plastic cable up to 36kV;* March 84 Jicable, France

[4] B.D. GRAEVE, W.B. HAVERKAMP, R.J. PENNECK, P. TAMPLIN: *An Improved Medium Voltage Insulation Material for Termination and other Medium Voltage Accessories;* Jicable 91

[5] W.B. HAVERKAMP, N. SCHAD: *Einsatz wärmeschrumpfender Mittelspannungs-Übergangsmuffen - Erfahrungsbericht;* Elektrizitätswirtschaft Jg.93 (1994), H. 26, 1643 - 1647

[6] W.D. NIEBUHR: *Metal-Oxide-Varistor Surge Arresters Technology and Application Concepts;* CIRED 1986

[7] R.S. GORUR, B.S. BERNSTEIN: *Field and Laboratory Aging of Polymeric Distribution Cable Terminations;* IEEE 1997