

POWERGEL - uus madalpingemuhvide tehnoloogia

Robert Strobl, Richard Graf and Stefan Rasser, Ottobrunn^{)}*

^{)} Dipl.-ins. tehn.-dr. Robert Strobl, dipl.-ins. Richard Graf, Stefan Rasser*

Madalpingekaabli tarvikute tootehaldus

Tyco Electronics Raychem GmbH, Energy Division, Haidgraben 6, 85521 Ottobrunn

Artikli kokkuvõte

Tyco Electronicsi energeetikaosakond on hiljuti turule toonud järjekordse tooteuudenduse – PowerGel täitega madalpingemuhvid. PowerGeliga muhvid sobivad kokku kõigi üldkasutatavate isolatsioonimaterjalidega, nende isoleerimisvõime on väga hea ja neid võib kasutada soone temperatuuril kuni 90°C. Paigaldamine on võimalik ka madalatel temperatuuridel kuni -40°C. RayGel ja GelBox muhvide paigaldus on lihtne, kiire ja aega säästev ning ei nõua spetsiaaltööriistu. Täidismasside segamine, muhviümbrise tihendamine ega ka kuumutamine pole vajalik. Ultraviolettkiirgust taluvaid iselukustuvaid muhvipooli on lihtne käsitsi kinnitada. Paigaldamise käik on üldjoontes järgmine: **kaabli ettevalmistamine – soonte ühendamine - karbi sulgemine**. Pärast paigaldamist võib PowerGeliga muhvid kohe pingestada.

1 ÜLDIST

Madalpingevõrkudes jätku- ja haruühenduste tegemisel on üldkasutatavateks tehnoloogiateks valuvaigu kasutamine, termokahandamine ja külmkahandamine, samuti haruühenduskarpide ja isoleerlindi kasutamine.

Bituumenil põhinevate täitesegude osatähtsus väheneb: kõrge paigaldustemperatuuri (kuni 150°C) ja töömahukuse tõttu jääb see tehnoloogia tahaplaanile, eriti kui pidada silmas üha suurenevat tähelepanu tööohutuse ja keskkonnakaitse nõuetele.

Valuvaigu tehnoloogia korral tarnitakse üks või kaks komponenti - vaik ja kõvendi - vedelal kujul, kasutades mitmesuguseid pakendeid (kannud, kaheosalised kotid). Kahekomponendilised süsteemid segatakse kokku veidi enne valamist. Kahe komponendi segamisel toimub keemiline reaktsioon, mis tekitab soojust. See kõvastumisprotsessi käigus toimuvast suurest temperatuuritõusust tingitud eksotermiline reaktsioon võib viia mullide ja pingepragude tekkimiseni valumaterjalis. Valuvaikudena kasutatakse harilikult polüuretaane ja epoksiide. Tyco Electronics on välja töötanud enda kahekomponendilise valumaterjali Guroflex, mille oluline eelis on just see, et materjal ei kuulu terviseohtlike ainete klassifikatsiooni.

Eriti just jätkumuhvide korral on termokahanevate toodete tehnoloogia sobivaks alternatiiviks valuvaigu süsteemidele. Siin kasutatakse polüolefiintorusid, mis on seest kaetud kuumsulamliimiga. Need on mehaaniliselt vastupidavad ja hoiavad ära niiskuse sissepääsemise. Harumuhvide jaoks on juba mõned aastad olnud saadaval termokahanevad 1 kV muhvid Rayligator. Nendes kasutatakse kuiva kuumsulavat ühendussegu, mis ei sisalda isotsüanaate. Seda peetakse ohutuks materjaliks, milles ei ole vett saastavaid aineid. Termokahanevate toodete tehnoloogia eelisteks on piiramatult ladustamisaeg, lihtne ja kiire paigaldamine ja samuti ühenduse kohene töövalmidus.

PowerGel-tehnoloogia töötati välja spetsiaalselt väikese ristlõikega (kuni 4 x 35 mm²) või ühesoonelise (kuni 50 mm²) kaablite jaoks. Raychemi PowerGeli unikaalsed materjali

omadused säilivad laias temperatuurivahemikus alates -40°C kuni enam kui 90°C . PowerGeli iseloomustavad: niiskuskindlus, ühilduvus kõigi üldkasutatavate isolatsioonimaterjalidega, suurepärased isolatsiooniomadused ja sobivus kuni 1000 V energiajaotusvõrkudes. PowerGeli toodete puhul on polüpropüleenümbris täidetud PowerGeliga. Komplektne muhv paigutatakse kaabliühenduse peale ja surutakse kokku. Valmiskomponentidega paigaldus on lihtne, kiire ja aega säästev ning ei nõua spetsiaaltööriistu. Sel juhul pole vaja kokku segada vedelaid vaigukomponente, muhviümbrise tihendamine ega ka kuumutamine pole vajalik. PowerGeliga jätkumuhvidel on piiramatult ladustamisaeg ja ainsad jätmed, mis peale paigaldamist üle jäävad on pakkematerjalid.

2 MIS ON POWERGEL?

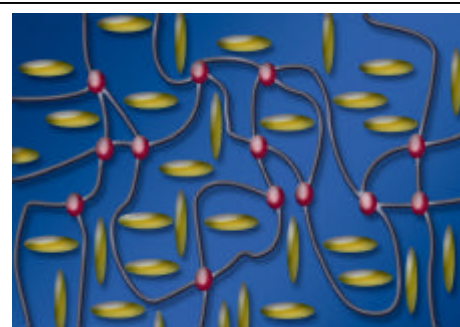
Geelid on üldiselt polümeervõrestikud, mis punduvad sobiva solvendi absorbeerimisel (joonis 1). Selleks solvendiks võivad olla mitmesugused õlid, aga ka vesi. Geelidele on omane sültjas konsistents ja stabiilne kuju. Paljud geelid on teatud määral ka kleepuvad. Geele kasutatakse näiteks beebimähkmetes, kosmeetikatööstuses ja mänguasjades.

Mitmetes Raychemi toodetes kasutatakse juba rohkem kui 20 aastat silikoongeale, mis ühendavad silikoonelastomeeride eelised geelide ainulaadsete materjaliomadustega. Kerge surve all kohandub geel praktiliselt igasuguse pinnaga, märgab selle silikoonõliga ja moodustab heade isoleatsiooniomadustega vettpidava tõkkekihi. Silikoonide tuntud hüdrofoobsuse tõttu saab isegi olemasoleva niiskuse välja tõrjuda (joonis 2).

Silikoongeelid on sisemiselt stabiilsed, s.t. nad ei voola isegi kõrgel temperatuuril ja sobivad seega tihendusmaterjaliks paremini kui rasvad. Väikese sidusustiheduse ja kõrge õlisisalduse tõttu on need palju pehmemad kui silikoonelastomeerid. Silikoongeelid võivad olla ka äärmiselt kleepuvad ja neile on omane venivus rohkem kui 1000%, ilma et need katkeks. See tohutu elastsus muudab antud materjali vaatamata pehmusele hämmastavalt vastupidavaks rebimisele või löikele. Materjali omadused jäävad peaaegu muutumatuks laias temperatuurivahemikus -40°C kuni 100°C .

Materjali elektrilised omadused on samuti väga head: läbilöögitugevus on suurem kui 25 kV/mm ja elektriline takistus umbes $10^{12}\ \Omega\text{m}$. Märkimisväärne on geel/geel tõkkekihi toimimine: kui näiteks EPDM/EPDM tõkkekihi läbilöögivõime kahaneb 80 kPa surve all kuuendikuni esialgsest, siis silikoongeli vastupidavus väheneb samadel tingimustel vaid 15%.

Silikoonelastomeerid on hästi tuntud oma pikaajalise poolest kõrgetel temperatuuridel. Silikoongeelid on vastupidavad ka soojuslikule vananemisele, kuid teatud ainetega kokkupuutumisel võivad need omadused oluliselt muutuda. Teatavad lisandid kaabli isolatsioonis võivad difundeeruda geeli ja lagundada polümeermatriksi. Tänu Raychemi äsja väljatöötatud stabiliseerimispaketile erineb PowerGel harilikest silikoongeelidest. Antud toote



Joonis 1: Polümeervõrestik absorbeerunud solvendiga



Joonis 2: PowerGel – niiskuse väljatõrjumine

välja töötamisel on suurt rõhku asetatud kokkusobivuse tagamisele kõigi tuntud isolatsioonija ühendusmaterjalidega, milleks viidi läbi vananemiskatseid kõrgendatud temperatuuridel.

PowerGeli iseloomustavad suurepärase mehaanilised ja elektrilised omadused, vastupidavus vananemisele ja sobivus olemasolevate materjalidega. Toodet tarnitakse valmis põiksidestatud kujul ja plastvormidesse valatult.

3 TOOTED

Hiljuti turule toodud PowerGel täitega muhvid moodustavad kaks tooteseeriat, mille nimeks on RayGel ja GelBox. Nendel tooteseeriatel on erinev suunitlus. RayGel jätkumuhve on võimalik kasutada sõltumata klemmitehnoloogiast nii otse- kui ka harumuhvide tegemiseks. Vastupidiselt sellele on GelBox ette nähtud terviklikuks lahendust jätkumuhvidele, sisaldades integreeritud mehaanilist klemmiplokki. Jätkumuhvi korpused on ultraviolettkiirguskindlad ja mehaaniliselt väga tugevad. Kõiki PowerGeliga muhve on katsetatud vastavalt Euroopa standardile CENELEC HD 623. Katseprogrammi osana viidi edukalt läbi löögikindluse katse ümbritseva keskkonna temperatuuril (4 kg mass kukub 1 m kõrguselt).

3.1 PowerGeliga jätkumuhvide põhimõtted

PowerGeliga jätkumuhvide loomisel ja nende väljatöötamisel seati väga kõrged nõudmised järgmistele omadustele:

- ⇒ lihtne ja kiire paigaldus
- ⇒ väike komponentide arv
- ⇒ puhas ja keskkonnasõbralik kasutamine
- ⇒ lai kasutusulatus.

Mõlema tooteseeria peamised komponendid on esitatud tabelis 1:

RayGel	GelBox
⇒ iselukustuvad, mehaaniliselt vastupidavad PowerGeliga täidetud kestad	⇒ kaks mehaaniliselt vastupidavat PowerGeliga täidetud muhvipoolt
⇒ soonte-eraldaja (mitmesooneliste kaablite jaoks)	⇒ tihendatud klemmiplakk isolatsiooni läbistavate hammaste ja ärakeeritava peaga poltidega
⇒ kaablikõidised	⇒ kaablikõidised
⇒ paigaldusjuhendid	⇒ paigaldusjuhendid

Tabel 1. PowerGeliga tooteseeriade komponendid

3.2 RayGel

Raychemi RayGel muhvid on saadaval kolmes mõõdus ja neid saab kasutada nii jätku- kui ka harumuhvidena. Nende kasutuspiirkond hõlmab plastkaableid alates 1 x 10 mm² kuni 1 x 50 mm² (harukaablitega kuni 1 x 16 mm²) ja 4 x 1,5 mm² kuni 4 x 16 mm² (harukaablitega kuni 4 x 2,5 mm²). Mitme soonega kaablite jaoks kasutatakse soonte vahel vahedetaile ja soonte-eraldajaid (joonis 3). RayGel kestadele on toodud soovituslikud klemmi mõõtmed. Selle jätkumuhvi tüübi jaoks sobivad kõik üldiselt kasutatavad klemmitüübid (C-klemm, H-klemm, pressklemm, mehaaniline klemm jt), juhul kui nad sobivad toodud klemmi mõõtmetega (joonis 4). Jätkumuhvide iselukustuvad kestad on lihtsalt



Joonis 3: Mehaanilise klemmi ja soone-eraldiga RayGel muhv



Joonis 4: RayGel - ühendusvahendid

käsitsi suletavad ja täiendavalt kinnitatavad kaabliköödisega. See takistab igasugust soovimatut taasavamist ilma tööriistu kasutamata, nagu nõuab ohutusklass II.

3.3 GelBox

Raychemi GelBox jätkumuhv, mis koosneb kahest poolest ja on varustatud mehaanilise klemmplokiga. Klemmplokk ja muhvi kest ühilduvad omavahel (joonis 5). Klemmplokk katab kogu kasutuspiirkonna alates 4 x 6 - 4 x 25 mm² Al/Cu ümar-massiiv/kiud ja 4 x 35 mm² Al ümar-massiivjuhid. Klemmid on isolatsiooni läbistavad ja varustatud ärakeeratavate poldipeadega. Poldid on seadistatud nii, et need murduksid ära optimaalse pingutusmomendi juures, mis tagab võimalikult turvalise paigaldamise. Tänu isolatsiooni läbistavatele hammastele pole tarvis soone isolatsiooni eemaldada, mistõttu on välistatud juhtme kahjustamine (joonis 6). Hambad läbistavad isolatsiooni ja tagavad kindla elektrilise kontakti. Muhv vastab IEC-61238-1 nõuetele.

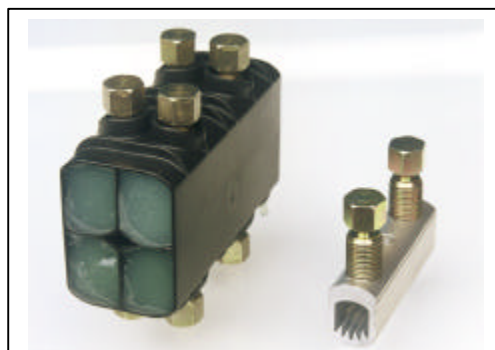


Joonis 5: GelBox – ühendusmuhv

Iga klemmi sisend on täidetud PowerGeliga, mis hoiab ära vee sissetungimise võimaluse piki kiulist kaablisoont kõrvalasuvatesse klemmidesse.

3.4 Paigaldamine

Tänu komponentide vähesusele ja valmiskomponentide kasutamisele on tagatud lihtne, kiire ja aegasäästev paigaldamine ilma spetsiaaltööriistadeta. See kindlustab väga turvalise ja kindla paigalduse. PowerGeliga geelmuhvide paigaldamise etapid on kokkuvõttes järgmised:



Joonis 6: GelBox - mehaaniline klemmplokk

Ettevalmistamine – ühendamine – sulgemine

Ainsad jätmed, mis peale paigaldamist üle jäävad on pakkematerjalid.

Mõlemaid tooteid, nii RayGeli kui ka GelBoxi saab hiljem uuesti avada. Seega on juurdepääs muhvide või klemmidele muudetud oluliselt kergemaks. Ainult siis, kui muhvid on kasutusel olnud juba pikka aega, ei ole uuesti kasutamine soovitatav. Sel juhul võib PowerGel osaliselt kleepuda kaabli külge, mistõttu tuleks kasutada pigem uut muhvi kui püüda esialgset uuesti paigaldada.

4 OMADUSED

Uue PowerGel jätkumuhvi peamised omadused ja eelised on kokku võetud tabelis 2.

Tabel 2: Uue PowerGeliga täidetud madalpinge jätkumuhvi peamised omadused ja eelised	
Omadused	Eelised
PowerGel kui isolatsioonimaterjal	⇒ suur läbilöögitugevus ⇒ sisemine stabiilsus ka kõrgel temperatuuril

	⇒ suur elastsus enne katkemist ⇒ hea soojuslik vastupidavus vananemisele ⇒ ühilduvus kõigi harilike isolatsiooni- ja klemmimaterjalidega ⇒ pole vaja segada vedelaid vaike ⇒ pole vaja kõvastumist ⇒ pole kuumutamist ⇒ piiramatu ladustamisaeg
Kompaktsus ja sobivus kasutamiseks välistingimustes	⇒ mehaaniliselt vastupidav ⇒ kõrge löögitaluvusega ⇒ ultraviolettkiirgusele hästi vastupidav kest
Ulatuslikud kasutusvõimalused	⇒ kasutamine nii jätku- kui ka harumuhvina ⇒ minimaalne hulk tooteid
Vähe komponente	⇒ aegasäästev ja kindel paigaldus
Lihtne ja kiire paigaldamine	⇒ ei ole vaja eraldi väljaõpet ⇒ ei ole vaja spetsiaaltööriistu
Keskkonnasõbralikkus	⇒ puuduvad isotsüanaadid ⇒ puuduvad vett saastavad ained ⇒ puuduvad ohtlikud materjalid ⇒ puuduvad erijäätmed ⇒ piiramatu ladustamisaeg

5 KOKKUVÕTE

See uus tehnoloogia, mis põhineb Tyco Electronics Raychemi poolt välja töötatud PowerGelile, on USA energiajaotusvõrkudes edukalt kasutusel olnud alates aastast 1998. PowerGel-tehnoloogia on RayGeli ja GelBoxina kohandatud ka teiste riikide jaoks. Kõik tooted on edukalt tunnustatud vastavaks standardile CENELEC HD 623. PowerGel jätkumuhvide tehnilist lahendust ja tööpõhimõtet on edulalt tutvustatud mitmel mainekal energeetikamessil ja näitusel nii Euroopas, Kesk-Idas kui Austraalias.

6 KIRJANDUS

- [1] H.G. YAWORSKI, R. BUKOVNIK *Silikoongelitehnoloogia jõukaablite tarvikutes*. Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituudi energiaülekanne ja -jaotuse konverents (*Silicone Gel Technology For Power Cable Accessories*, IEEE Transmission and Distribution conference, Atlanta Nov. 2001, 01TD051)
- [2] H.G. YAWORSKI, dr. G.CRAIG, dr. D. ROBERTS *Silikoongelide kasutamine jõukaablite ühendamisel*. IEEE elektriülekanne ja -jaotuse konverents (*The Use of Silicone Gels for Jointing Power Cables*, IEEE Transmission and Distribution conference, Los Angeles Sept. 1996, 0-7803-3522-8/96)
- [3] L. HEINHOLD, R. STUBBE *Kõrgepingekaablid ja -liinid*, 5. oluliselt ümbertöötatud ja laiendatud väljaanne (*Kabel und Leitungen für Starkstrom*; Publicis MCD Verlag, 5. edition, 1999)
- [4] H. KLOCKHAUS, F. MERSCHER, G. WANSER *Kõrgepingekaablite ots- ja jätkumuhvide tehnoloogia*, 2. väljaanne. (*Abschluß- und Verbindungstechnik bei Starkstromkabeln*; Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. - VWEW, 2nd edition 1995)