

Műanyagok alkalmazása kábelszerelvényekben

Tárgyszavak: kábelszerelvény; kötőelem; kábelvégelező; anyagválaszték; követelmény.

Kábelszerelvények az energiaelosztásban

A villamos energiát megtermelés és továbbítás után transzformátorok közbeiktatásával több feszültséglépcsőben osztják szét a fogyasztók (ipar, háztartások utcai világítás stb.) között – ehhez sokféle eszközt kell felhasználni. Gyakran van szükség kábelek összekötésére, elágaztatására vagy lezárására. Ezek mellett vannak olyan villamos ipari alkalmazások, amelyeket „tömítés és védelem” néven foglalnak össze. A megvalósításhoz számos anyag és kivitelezési elv áll rendelkezésre, igen sokféle műszaki megoldás ismert. A továbbiakban a kábelszerelvényekről adunk áttekintést, amelyekben műanyagokat használnak villamos szigetelőként. A kábelszerelvényeknek azonban a villamos szigetelésen túl egyéb funkcióik is vannak: mechanikai tartás és védelem, vegyszerek elleni védelem (beleértve a vízszigetelést is). A villamos szigetelő képességre ott van szükség, ahol a műanyag közvetlenül a villamos vezetővel érintkezik.

A villamos iparban az anyagválasztáskor a következő feszültségtartományokat veszik figyelembe:

- kisfeszültség (<1 kV),
- közepfeszültség (1-45 kV),
- nagyfeszültség (>45 kV).

Tekintettel a termékek széles választékára, azt lehet mondani, hogy a kábelszerelvényekben szinte minden ismert műanyagot felhasználnak. A hőre lágyuló műanyagok mellett szívesen használják az elasztomereket (pl. szilikongumi, EPDM) és a hőre keményedő gyantákat is – az utóbbiakat elsősorban tokozó/öntőgyantaként. A hőre lágyuló műanyagokat és az elasztomereket leginkább extrudálással és fröccsöntéssel dolgozzák fel, de előfordul a sajtolás és a reaktív fröccsöntés (RIM). Közepes vagy kisebb darabszám esetén alkalmazhatják a hőformázást és a kétkomponensű fröccsöntést is.

A villamos ipari termékekkel szemben támasztott követelmények

Mivel a kábelösszekötőket és kábelvégelezőket a különféle méretű és alakú kábelekre kell ráilleszteni, rendszerint maguk is sokfélék, és több szerkezeti réteget tartalmaznak. A kisfeszültségű kábelek egy vagy több vezetőt és (rendszerint PE vagy PVC) szigetelést tartalmaznak, amelynek vastagsága 0,8 és 2 mm között változik. A közép- és nagyfeszültségű kábelek szerkezete ennél jóval bonyolultabb. A nagyobb térerősség miatt a vezető és a szigetelő réteg között egy vezető/félvezető műanyagból álló köztes réteget alkalmaznak. Az ellentétes pólust ezekben a kábelekben ugyancsak félvezető műanyagok alkotják, amely köré rendszerint fémhuzalt vagy fémcsíkokat helyeznek el a villamos árnyékolás érdekében. A legkülső réteg pedig egy mechanikailag szilárd, szigetelő műanyag bevonat. Az elvi felépítés több vezetőt tartalmazó kábelek esetében is hasonló.

A nagy tömegben gyártott kisfeszültségű kábeleknél döntő tényező az anyagok és technológiák ára, a közép- és nagyfeszültségű alkalmazásoknál azonban a sokkal nagyobb követelmények és a kisebb darabszámok miatt más a helyzet. A közép- és nagyfeszültségű területen most kezd kialakulni egy erős árverseny, amely arra kényszeríti a gyártókat, hogy változatlan minőség mellett olcsóbb megoldásokat keressenek.

A kábelszerelvények gyakran erős hőhatásnak vannak kitéve. A vezetők üzemi hőmérséklete 90 °C, rendkívüli események során ez 130 °C-ra is emelkedhet a szabványok szerint. Rövidzárlat kialakulásakor helyileg és időlegesen 250 °C is kialakulhat. Szabadtéri szigetelések környezetében vegyi hatások léphetnek fel, de zárt szerkezetekben is számolni kell transzformátorolaj vagy az olajjal töltött kábeleknél az ott használt szigetelőolaj hatásával. A kábelfektetés során erős mechanikai igénybevétel léphet fel. A kábelek fektetésekor egyre gyakrabban marad el a homok védőréteg alkalmazása, a kábeleket közvetlenül földelik el. Ez növeli a terhelést (pl. a forgalom által okozott rázkódások miatt). Ha a szigetelés ionizáló sugárzásnak is ki van téve, ez is befolyásolhatja az alkalmazott műanyagok élettartamát.

Alapanyagok és feldolgozási módszerek

Az 1. táblázat foglalja össze a villamos ipari gyantákkal és feldolgozótechnológiákkal szemben támasztott követelményeket. *A zavarmentes villamos szigetelés érdekében csak olyan anyagok használhatók, amelyek teljesen mentesek mindenféle vezető komponenstől (forgácsok, szennyeződések stb.). Ez megakadályozza az átütések kialakulását és csökkenti a szivárgó áramok nagyságát – még akkor is, ha az anyag 30 évig nedves környezetben van. A közép- és nagyfeszültségű kábelszerelvények anyagválasztásában a villamos térerő alapvető szerepet játszik. Ha az adott anyagnak erős villamos térben*

sokáig kell biztosítani a szigetelést, mentesnek kell lennie mindenféle repedéstől és légzárványtól is. 0,05 mm-nél nagyobb méretű buborékok nem engedhetők meg. Az erős váltóáramú tér ugyanis a részleges kisülések miatt erős túlhevülést, majd átütést okozhat a mikroüregekben. Ugyancsak nagy gondot kell fordítani a megfelelő töltőanyagok és adalékok kiválasztására.

1. táblázat

Követelmények az energiaiparban használt műanyagokkal és feldolgozásukkal szemben

Termék	Követelmények az anyagokkal és technológiákkal szemben
Villamos szigetelés	<ul style="list-style-type: none"> kerülni kell a vezető részecskéket kerülni kell az anyag degradációját a feldolgozás során csökkenteni kell a termékben a belső feszültséget az anyag vízfelvétele csekély legyen
Nagyfeszültségű szigetelés	<ul style="list-style-type: none"> buborék- és pórusmentesség kerülni kell mindenfajta szennyeződést, vezetőképes részecskéket és idegen anyagokat csökkenteni kell a termékben a belső feszültséget nagyon sima felületeket kell kiképezni (kerülni kell a „bőrképződést”, az elválasztó varratok kialakulását és a felületi hibákat)
Villamosan vezető termék	<ul style="list-style-type: none"> erősen töltött speciális alapanyagok feldolgozása nagyon homogén anyagra van szükség feldolgozás után is szavatolni kell a nagy továbbszakítási ellenállást, különösen a térhálós anyagokét
Villamos erőtér szabályozása (félvezető, nagy permittivitás)	<ul style="list-style-type: none"> erősen töltött speciális alapanyagok feldolgozása nagyon homogén anyagra van szükség feldolgozás után is megfelelő formaleválasztót kell használni az optimális tapadáshoz biztosítani kell a megbízható feldolgozási folyamatot nagyon sima felületeket kell kiképezni (kerülni kell a „bőrképződést”, az elválasztó varratok kialakulását és a felületi hibákat)
Villamos erózió elkerülése a villamosan terhelt felületen	<ul style="list-style-type: none"> speciális adalékok homogén elosztatása (különösen az ún. „anti-tracking” – kúszóáram-szilárdságot növelő és eróziógátló anyagok esetében) el kell kerülni a fázisszétválást szavatolni kell a nagy továbbszakító szilárdságot

A villamosan vezető műanyag alkatrészekhez vagy komponensekhez erősen töltött polimereket használnak, amelyek legtöbbször vezető kormot tartalmaznak. A mechanikai és villamos követelményeknek rendszerint csak többféle korom keverékével lehet eleget tenni. Ezeknél az alkatrészeknél kö-

vetelmény a nagyfokú homogenitás, a nagy továbbszakító szilárdság és a hornyolással szembeni érzéketlenség.

A legnagyobbak a követelmények az ún. erőtér-szabályozó, félvezető anyagokkal szemben. Itt igen szigorúan kézbent kell tartani mindent az alapanyagok, adalékok kiválasztásától a keverékkészítésen keresztül a feldolgozásig. A felületi kúszóáramoknak kitett kábelszerelvényekhez (pl. szabadtéri kábelvégelzárókhoz) speciális adalékanyagok alkalmazására van szükség annak érdekében, hogy csökkentsék a villamos eróziót. Az ilyen célra gyakran alkalmazott alumínium-hidroxid koptató hatású.

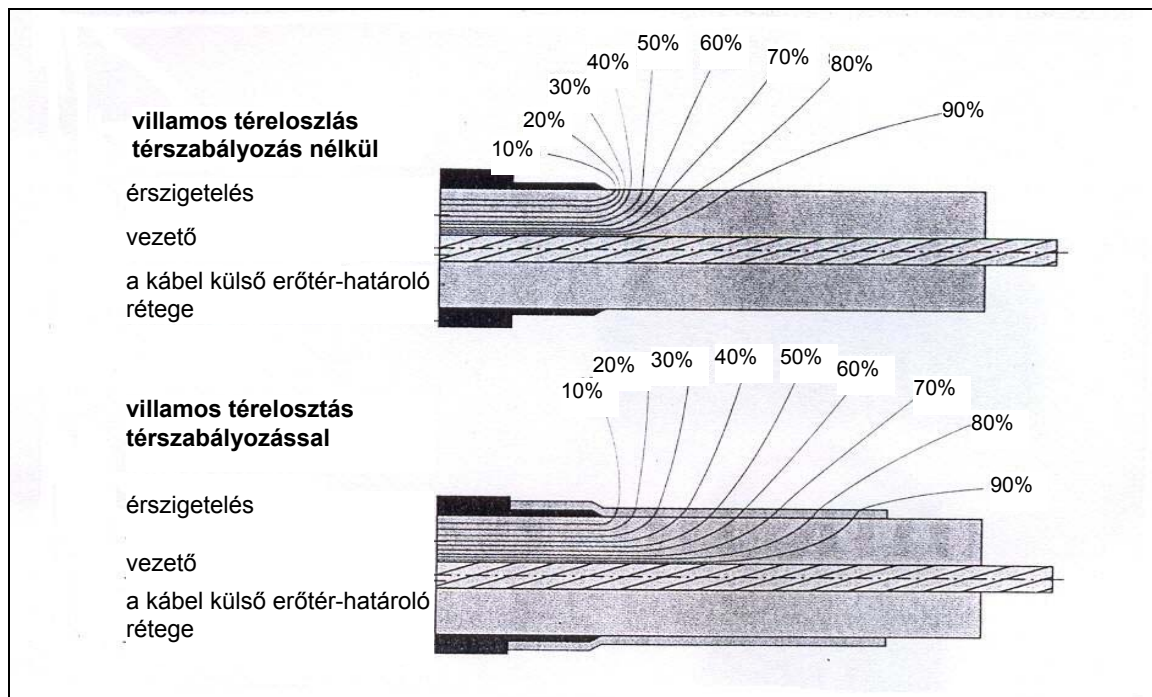
A főbb piaci irányzatok

Az energiaiparban működő fejlesztőknek ismerniük kell a piaci irányzatokat ahhoz, hogy hosszú időre sikeres termékeket tervezzenek. *A villamos iparban alkalmazott termékeknél azt is figyelembe kell venni, hogy az egyes országok klimatikus viszonyai erősen eltérnek és a villamos ipari szabványok is országonként eltérőek lehetnek.* Ezzel együtt a minél általánosabban használható termékek kialakítására törekszenek, amelyek biztonsággal felszerelhetők, és lehetővé teszik az árak csökkentését.

Ami az anyagválasztékot illeti, a térhálós polietilén mellett (melegen zsugorodó termékek) szívesen alkalmazzák az elasztomereket is jó nyújthatóságuk, repedéssel szembeni ellenállásuk és széles tartományban változtatható tulajdonságaik miatt. A feldolgozási költségek csökkentése érdekében szívesen választanak hőre lágyuló elasztomereket (TPE) is. A hőre lágyuló műanyagok közül nő a polimerkeverékek jelentősége. A feldolgozás-technikai oldalon hódítanak a többkomponensű fröccsöntési eljárások és a koextrúziós rendszerek. A nagy követelmények miatt a feldolgozás során igen szigorú minőségellenőrzési rendszert alkalmaznak, különösen a töltött és térhálósított rendszerekhez.

Többrétegű kábelvégelzárók a középfeszültségű tartományban

A középfeszültségű kábelek bonyolult szerkezete megköveteli, hogy az alkalmazott kábelvégelzárók is többrétegűek legyenek. Az erőtér-szabályozó réteg alkalmazásának hatását a kialakuló erőtereloszlásra az *1. ábra* mutatja. A zsugorcső belső oldalára egy erősen töltött ömledékragasztó-réteget visznek fel, amely vékony ugyan, de a fém-oxid töltés miatt ohmikus-refraktív hatású, és hozzájárul a tervezérléshez.



1. ábra A villamos tér eloszlása a térszabályozó réteg nélkül (fent) és annak használatával (lent)

A meleg zsugortechnológia alternatívája az ún. *hideg zsugortechnológia*, amelynél elsősorban HTV (melegen vulkanizálódó) szilikonból készült fröccsöntött kábelvégelzárót alkalmaznak. A kábelvégelzárót mintegy 300%-os nyújtással egy tartócsőre húzzák fel. Ahhoz, hogy az így előnyújtott termék ne repedjen meg, igen jó minőségű, hibamentes, homogén megmunkálás szükséges. Itt a térvezérlést egy külön réteg segítségével oldják meg. A fém-oxiddal töltött műanyag réteg tulajdonságait úgy választják meg, ahogy a rázsugorodó szilikongumi hatására megfolyjon és egyenletes bevonatot hozzon létre a kábel határfelületén.

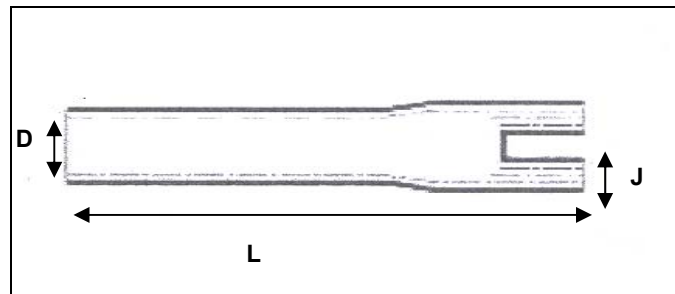
Kisfeszültségű kábelszerelvények

Mivel világszerte igen különböző alakú és vezetőelrendezésű kisfeszültségű kábeleket használnak, és tömegtermék jellege miatt az összekötők erős árversenyt is támasztanak egymásnak, olyan megoldásokat kell találni, amelyek olcsók és sokoldalúan alkalmazhatók. A kisfeszültségű kábelszerelvények a következő funkciókat látják el:

- villamos szigetelés,
- a csatlakozások védelme a földeléssel és a nedvesség hatására bekövetkező rövidzárlattal szemben,

- a villamos alkatrész szigetelése a környezeti hatásokkal szemben (táplajkemikáliák és UI sugárzás ellen),
- a csatlakozás mechanikus védelme.

A kifeszültségű *kábelvégelezárókat* többnyire térhálós polietilénből, hőre zsugorodó kivitelben készítik, és ezekben is a hő hatására megolvadó ömledékragasztó segíti a jobb tapadást és a tömítést a nedvesség és más külső hatások ellen. Ilyen szerelvényeket akár az interneten is meg lehet rendelni. Egy német internetes cég választékát a 2. táblázat mutatja. A cég a táblázatban felsorolt kábelvégelezárókat kültéri és beltéri használatra 0,6–1 kV-os kábelekhöz kínálja. Átütési szilárdságuk 12 kV/mm, -55 °C és $+70\text{ °C}$ között alkalmazhatók. $+135\text{ °C}$ felett indul meg a zsugorodásuk, amelynek mértéke 3:1. A végelezárók anyaga ASTM D 635 szabvány szerint „önkioltó”. A 2. táblázatban a kábelvégelezárók eredeti és zsugorítás utáni méretei is megtalálhatók. A jelölések azonosításához a 2. ábra ad segítséget.



2. ábra Melegen zsugorodó kéteres (kétujjú) kábelvégelezáró vázlatos rajza és jellemző méretei

A kábelek összekötéséhez különböző *karmantyús kötőelemeket* alkalmaznak.

Az ún. *gél-box* módszerben a fröccsöntött tokot, amelyben a csatlakozás található, hőre lágyuló vagy elasztomeralapú géllal töltik ki. Az utóbbi akár 90 °C -ig is használható. A fröccsöntött héj elkészítéshez használt alapanyag (rendszerint polipropilén) nem tartalmazhat olyan vegyszert, amely gátolná a polimergél térhálósodását.

A *melegen zsugorodó karmantyúk* esetében szálerősítésű karmantyúkat használnak. A karmantyú lapos tömlő formájú, és helyszínen látják el töltőanyagblokkokkal. A karmantyút felhúzzák a kábelcsatlakozásra, rázsugorítják, és végül láng segítségével ömlesztik meg a benne levő poliamid ömledékragasztót, amely a végleges zsugorodással párhuzamosan kitölti a hézagokat.

2. táblázat

Egy internetes kereskedelmi cég kisfeszültségű kábelvégelező-kínálata
(a jelöléseket a 2. ábra mutatja)

Elágazás (ujjszám)	Vezető átmérője mm ²	D értéke zsugorítás előtt, mm	D értéke zsugorítás után, mm	J értéke zsugorítás előtt	J értéke zsugorítás után	Teljes hosz- szúság, L, mm	Ár (1 db ren- delésekor) EUR	Ár (10 db rendelésekor) EUR	Ár (100 db rendelésekor) EUR
4	35–120	60,0	22,9	30,0	6,4	202,0	19,95	16,95	14,95
2	4–16	21,0	9,4	9,0	2,8	76,5	11,95	10,95	9,95
2	4–35	30,0	9,4	15,0	4,1	94,0	10,95	9,95	8,95
2	50–150	50,0	22,9	21,0	7,6	119,0	16,95	13,95	12,20
2	180–400	87,0	38,1	43,0	12,7	141,5	29,95	26,95	20,95
3	16–35	31,0	17,5	15,0	4,6	93,5	19,95	13,95	14,10
3	35–150	63,0	22,5	26,0	9,0	180,0	23,95	20,95	18,50
4	4–35	35,0	12,0	15,0	3,0	95,0	12,95	10,95	9,30

Egy új eljárásban a gél-box módszerhez hasonló burokba olyan *öntőgyantát* öntenek, amely a környezetre nem veszélyes, bejelentésre nem kötelező komponenseket tartalmaz. Rugalmas poliuretán jön létre, de a kiindulási anyagok nem tartalmaznak szabad izocianátot. A feldolgozáshoz nem kellenek különleges elővigyázatossági rendszabályok, és a reakció még 0 °C-on is végbemegy. Mivel mind a cseppfolyós kiindulási anyagok, mind a kikeményedett gyanták szigetelők, nem szükséges a kábelt áramtalanítani a szerelés idejére.

Látható, hogy az árverseny arra készíti a gyártókat, hogy a kábelszerelvények piacán minél olcsóbb, lehetőleg előszerelt megoldásokkal jelentkezzenek, amelyek meggyorsítják a szerelést – anélkül természetesen, hogy az árcsökkenés a minőség rovására menne.

Dr. Bánhegyi György

Simonsohn, T.; Malin, G.: Energietechnik im Wandel. = Kunststoffe, 93. k. 12. sz. 2003. p. 85-88.

Conrad Electronic – Europas „führendes“ Versandhandelsunternehmen „für“ Elektronik und Technik. = www1.conrad.de, 2004. jún. 8.

EGYÉB IRODALOM

Silk screen printing for tubes. (Csövek hatszínű szitanyomtatása.) = European Plastics News, 30. k. 10. sz. 2003. p. 33.

Screen printing ink provides pattern for PMMA. (Szitanyomó festék PMMA mintázására.) = European Plastics News, 30. k. 10. sz. 2003. p. 33.

Recycled PET colour is neutralized. (Hulladékból visszanyert PET színtelenítése.) = European Plastics News, 30. k. 10. sz. 2003. p. 34.