

# Elektrotechnika

A MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET HIVATALOS LAPJA ■ ALAPÍTVÁ: 1908  
JOURNAL OF THE HUNGARIAN ELECTROTECHNICAL ASSOCIATION ■ FOUNDED: 1908



## HÁLÓZATFEJLESZTÉSI KIHÍVÁSOK A SZOLGÁLTATÁS MINDEN TERÜLETÉN



112. ÉVFOLYAM

2019/4-5

[www.mee.hu](http://www.mee.hu)

## Új vezetéksodronyok fejlesztése

2013-ban új létesítési szabványok jelentek meg, amelyek jelentős mértékben szigorították a hálózattervezési előírásokat. Fontos azonban a szabványnak a következő előírása, miszerint az MSZ EN 50341-1:2013 (főrész) érvénybe lépése előtt készült szabadvezetékre (vagy annak részére) a szabvány követelményei csak abban az esetben érvényesek, ha a szabadvezeték (vagy annak részét) lényeges változtatással, jelentős mértékben átépítik, átalakítják, vagy kiemelt jelentőségű műtárgy létesítése miatt új oszlopszerkezet kerül beépítésre.

Ez azt jelenti, hogy nem kell az új szabványt alkalmazni, meglévő és a főrész életbelépése előtti szabvány-előírásoknak megfelelő oszlopszerkezetek megtartásával történő áramvezető, vagy védővezető sodrony rekonstrukciója esetén, amely a névleges tervezési terhekhez képest többletterhelést eredményez, de a megnövekedett terhelésre az oszlopszerkezet – a főrész életbelépése előtti szabványelőírások szerinti – statikai megfelelősége biztosítható.

Ezért fontosak azok a fejlesztések, amelyekkel a korábbi cikkekben vázolt terhelésnövekedéseket a meglévő tartószerkezetek megtartásával sodronycserékkel lehetne biztosítani. A cikkünkben ilyen sodrony típusok fejlesztését mutatjuk be.

### 1. BEVEZETÉS

Magas hőmérsékleten üzemelő kis belógású vezeték (HTLS) alkalmazása abban az esetben célszerű, amikor a hálózat magas környezeti hőmérsékleten üzemel földrajzi elhelyezkedése miatt, vagy amikor hirtelen megnőtt energiaigény miatt az átviteli kapacitás a vezeték cseréjével oldható meg gyorsan [1]. Éghajlatunkon a második eset igényelheti az ilyen típusú vezeték felszerelését. Ebben az esetben a hálózaton üzemelő, általában ACSR vezeték cseréje történik. Mind a hálózat, mind az egyedi oszlop kialakítások tervezése az eredeti vezetékhez történt, így az új vezetéknek teljesítenie kell ugyanazokat a leginkább mechanikai paramétereket (folyóméter tömeg, számított szakítóerő), mint az eredeti ACSR. Emellett mind szerelvényeiben, mind szerelési módjában illeszkednie kell az eredeti hálózathoz. Természetesen új hálózat létesítésekor is kihasználhatók a magas hőmérsékleten üzemelő vezeték előnyei, azonban ebben az esetben jelen cikk terjedelménél részletesebben kell tárgyalni a vezeték és a hálózat többi elemének összefüggéseit.

A magas hőmérsékleten üzemelő kis belógású vezetéknek több alaptípusát fejlesztették ki [2]. Ha azonban megvizsgáljuk a lehetséges típusok alapanyagait, akkor két csoportot találunk az alumínium tekintetében. Az egyik típusba tartozó vezeték hőálló alumíniumötvözetből gyártott huzalokat tartalmaznak, amíg a másik típus lágyított ötvözetlen huzalokat használ. A hőálló alumíniumötvözetek esetén a hidegen húzott huzal lágyulásának kezdő hőmérsékletének tartományát tolják el speciális ötvözők adagolásával. Az ötvözés hatására romlik ugyan a huzal vezetőképessége, azonban a szilárdsága megnő, így nagyobb szilárdságú vezeték konstrukció gyártható [2]. Az ötvözés egyrészt megadja a maximális üzemi hőmérsékletet, másrészt ezeknél a típusoknál az eredeti vezetéknek megfelelő magasabb átviteli kapacitást biztosító magas hőmérsékleten üzemelő vezeték megtalálása nem egyszerű feladat.

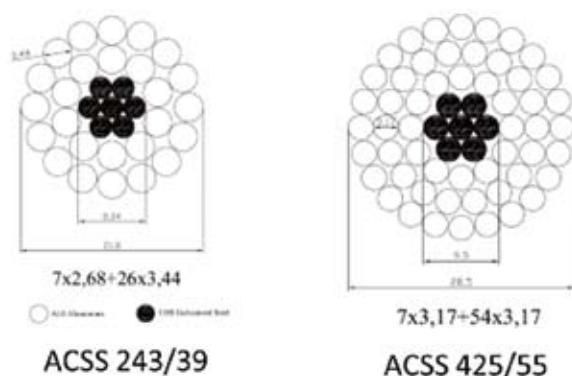
A lágyított ötvözetlen alumínium villamos vezetőképessége a legjobb összehasonlítva az ötvözött és alakított huzalokéval. Azonban szakítószilárdsága olyan kicsi a hidegen húzott alumíniumhuzalokhoz képest, hogy adott vezeték konstrukciót tekintve a magot kell nagyobb szilárdságúra cserélnünk. Erre két lehetőségünk adódik: ultra nagy szilárdságú acélhuzalokból készített sodrat alkalmazása (ACSS) vagy karbonszál erősítéses kompozit mag alkalmazása (ACCC).

ACSS esetében a gyártó szabadon választhatja meg a megfelelő konstrukciót a szabványos előírások és/vagy a vevői követelmények betartása mellett. ACCC esetében, mint védett termék a gyártónak követnie kell az ACCC vezeték licenc tulajdonosa (CTC Global) által megadott konstrukcióra vonatkozó előírásait. A FUX Zrt., mint a CTC Global szerződött vezetékgyártója, gyártási és vizsgálati tapasztalatot szerzett az ACCC és emellett az ACSS vezeték esetében.

A lágyított alumíniumhuzalokból felépített vezeték konstrukciók esetében könnyebb megtalálni a vezeték cseréjéhez megfelelő alternatívát, hiszen a vezetőképességük, így az áramátviteli kapacitásuk, nagyobb. Cikkünkben ezért koncentrálnunk erre a két típusra és hasonlítjuk össze a vezeték tulajdonságaik alapján. Természetesen az említett vezeték alkalmazása esetében fontos szempont az árak is, azonban rámutatunk arra, hogy önmagában az árak összevetése nem ad megfelelő képet egy gazdaságossági számításhoz, ahhoz figyelembe kell venni az említett vezeték kedvező tulajdonságait is.

### 2. VEZETÉKTÍPUSOK ÉS GYÁRTÁSUK

Az általunk gyártott és vizsgált vezeték ACSS 425/55, ACSS 243/39 és ACCC Oslo (ACSR 250/43 ekvivalens), ACCC Wasaw (ACSR 505/65 ekvivalens). Az ACSS vezeték ultra nagy szilárdságú acélhuzalokból (Bekaert Bezinal) és kör keresztmetszetű lágyított ötvözetlen alumíniumhuzalokból épülnek fel. Az ACCC vezeték karbonszál erősítésű kompozit magra sodrot trapéz keresztmetszetű lágyított ötvözetlen alumíniumhuzalokból épülnek fel (1. ábra). Az 1. táblázat tartalmazza a vezeték főbb paramétereit. A trapéz keresztmetszetű huzalok gyártása saját fejlesztésű technológiával történik, amivel nagy



1. ábra A vizsgált vezeték típusok

termelékenységgel mellett biztosítani tudjuk a huzalok előírt alak- és méretpontosságát a megfelelő mechanikai tulajdonságok és felületi minőség biztosításával [3]. Természetesen ACCS vezeték esetében is alkalmazhatók a trapéz keresztmetszetű huzalok.

	ACSS 425/55	ACSS 243/39	ACCC Warsaw	ACCC Oslo
vezető	lágylított alumínium	lágylított alumínium	lágylított alumínium	lágylított alumínium
huzalok	12+18+24 Ø3,17	10+16 Ø3,45	317,7mm <sup>2</sup> trapéz huzalokból	514,5mm <sup>2</sup> trapéz huzalokból
erősítő	Fe(Zn+Al)	Fe(Zn+Al)	karbonszál erősítéses kompozit	karbonszál erősítéses kompozit
huzalok	1+6 Ø3,17	1+6 Ø2,68	Ø8,76 mm	Ø8,76 mm
tömeg, kg/km	1600	976,2	1520	1520
számított szakítóerő, kN	127,3	85,58	130,2	147,8
ellenállás, Ω/km	0,0669	0,113	0,0553	0,0893
áramterhelhetőség, A	1640 (170°C)	1130 (170°C)	1751 (180°C)	1292 (180°C)
árviválat ACSR	ACSR 505/65	ACSR 250/40	ACSR 505/65	ACSR 250/40

1. táblázat A vizsgált vezeték alap tulajdonságainak összevetése

Az ACCS vezeték gyártása során az alumíniumhuzalok húzása után hőkezelést kell alkalmaznunk a huzalok teljes lágylításához. Ehhez védőgáz alatt 350°C-on hőkezeljük a huzalokat. A védőgáz nitrogén, amit csak a felület elszíneződésének elkerülése miatt szükséges alkalmazni. A huzalok szakítószilárdsága a hidegen alakított 160-180 N/mm<sup>2</sup> értékről lecsökken a 60-70 N/mm<sup>2</sup> tartományba. A lágylított huzalok sodrása sem egyszerű feladat, hiszen az alumíniumhuzalok szakítószilárdsága, így folyáshatára olyan kicsi, hogy a huzalok szükséges fékezését gondosan be kell állítani sodráskor. Mind a sodrás során, mind a vezeték paramétereiben jobb eredményt kapunk, ha a lágylítás során inkább a 70 N/mm<sup>2</sup> értékhez közeli szakítószilárdságokat állítunk be. Más téren az ACCS vezeték gyártása és kezelése nem tér el az ACSR gyártástól.

ACCC vezeték esetén a karbonszál erősítéses kompozit rudat tekercsben kapjuk a gyártótól (CTC Global). Különleges kezelést – akárcsak az acélhuzalok és a belőlük készült sodratok – nem igényel. A CTC Global speciális balesetvédelmi megoldásokat javasol egyedül, mert a kompozitrúd sokkal merevebb, mint az acélhuzalokból álló sodrat. A trapéz keresztmetszetű huzalok gyártására a CTC Global a Conform eljárást javasolja [4]. Azonban egy hideghúzáson alapuló technológiát dolgoztunk ki, amivel termelékenyen lehet gyártani a szükséges huzalokat [3]. Ennek a technológiának az előnye, hogy nemcsak lágylított, hanem hidegen húzott huzalokat is gyárthatunk vele további speciális vezeték-konstrukciókhoz. Természetesen az ACCC vezeték gyártásához a trapéz keresztmetszetű huzalokat is lágylítanunk kell, amire ugyanazt az eljárást alkalmazzuk, mint a körszelvényű huzalok esetében. A sodrás ebben az esetben azzal a specialitással egészül ki, hogy a trapéz keresztmetszetű huzalok találkozásának a sodrási pontban precízen kell történnie, hogy a megfelelő keresztmetszet-kitöltést biztosítani tudjuk. Ehhez speciális fonófejet terveztünk és gyártottunk. Ezekkel a technológiai fejlesztésekkel már közel azonos termelékenységgel gyártjuk az említett 2 vezeték típust.

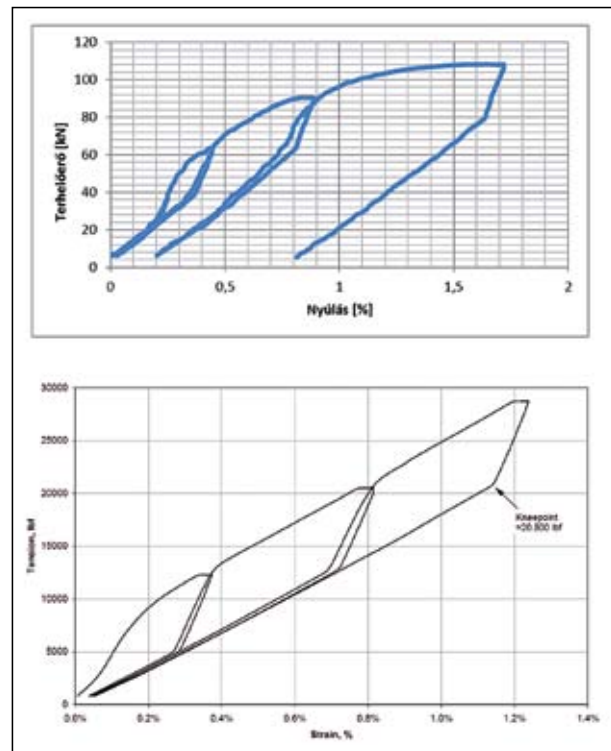
A gyártás után fontos kérdés a vezeték tulajdonságainak ellenőrzése, vizsgálata. A vezeték paramétereinek és szerkezetének tervezését és az első tesztek koordinálását Dr. Güntner Ottó vezette vállalatunknál. A munkájának köszönhetően ismerte meg vállalatunk a magas hőmérsékleten üzemelő vezeték specialitásait. Az ACCS vezeték típusvizsgálását, mechanikai paramétereinek kiértékelését, tervezését Tárczy Péter (Energin Kft.) segítette. Az ACCS vezeték belógásának vizsgálatát, kiegészítő teszteket Márton Tibor, Molnár László (MVM Ovit Zrt.) és kollégái irányításával végeztünk a laboratóriumunkban. ACCC vezeték próbagyártásában és

típusvizsgálataiban a CTC Global szakembereire és vizsgálókapacitására támaszkodtunk. A sikeres próbagyártás és tesztelés feltétele volt annak, hogy a FUX Zrt. hivatalos gyártója legyen az ACCC típusú vezetéknek.

A vezetékeket a legtöbb esetben saját laboratóriumunkban vizsgáltuk, ahol a huzalok paramétereinek vizsgálata mellett a vezeték szakítóerejét és rugalmas tulajdonságait is vizsgáltuk. Természetesen azon vizsgálatok esetén, amire laboratóriumunk nincs felkészülve, más vizsgálóállomások bevonására is szükség volt. Így a típusvizsgálásban a VEIKI-VNL, emelt hőmérsékletű szerelvényes vizsgálatban a szerelvénygyártó (PLP-Belos) vett részt. Természetesen, ahogy említettük, a CTC Global is számos vizsgálatot végzett a vezeték-konstrukciók típusvizsgálásához. Ahhoz, hogy megfelelő minőségű magas hőmérsékleten üzemelő kis belógású vezetékeket tudjunk gyártani, fontos volt számunkra, hogy pontosan megismerjük, megértsük a vezeték működését, tulajdonságait.

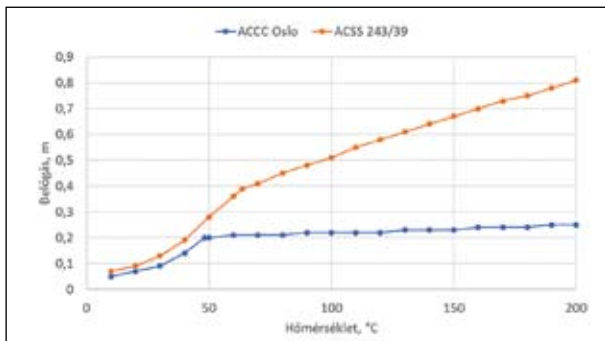
### 3. A VEZETÉKEK FŐBB TULAJDONSÁGAI

Az 1. táblázat tartalmazza a vezeték alaptulajdonságait. Ami az 1. ábrából szembetűnő, hogy az ACCC vezeték a trapéz keresztmetszetű huzalok miatt jóval kompaktabbak, adott átmérő esetén a vezeték keresztmetszetük nagyobb. Emiatt választottuk azt, hogy az egymással közel megegyező áramterhelhetőségű vezetékeket hasonlítjuk össze. Amíg az ACCC vezeték maximális üzemi hőmérséklete 180 °C, addig az ACCS vezetéké 210 °C. Emiatt igyekeztünk hasonló körülményekre vonatkozó áramterhelhetőség értékeket megadni. Természetesen mind a két vezeték típus túlterhelhető (ACCC: 210 °C-ig, ACCS: 240 °C) maximum 10 000 üzemórán belül. Látható, hogy valóban a választott típusok áramterhelhetősége jelentősen nem tér el egymástól, az ACCC vezeték kevésbé nagyobb kapacitás átvitelére alkalmasak. Ahol különbséget látunk, az a tömeg és a szakítóerő. Az ACCC vezeték adott átviteli kapacitás esetén nagyobb szilárdságot és kisebb tömeget biztosítanak.



2. ábra Az ACCS 425/55 (FUX laboratórium) és az ACCC Oslo (CTC Global) feszültség-nyúlás mérés eredményei.

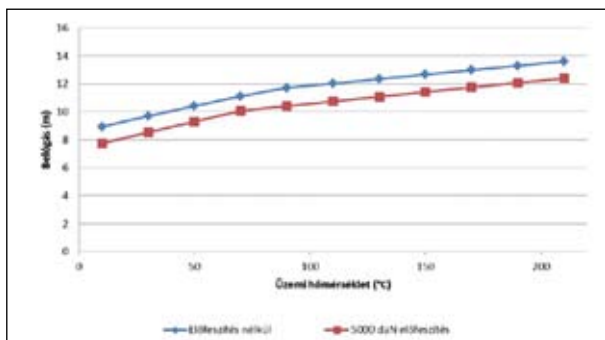
A tömeg és szilárdság különbsége mellett a belógások különbségét érdemes megvizsgálni. Ehhez azonban ismernünk kell a vezetékek rugalmas tulajdonságait. A 2. ábra két kiválasztott vezeték feszültség-nyúlás görbéjét mutatja. Az ACCC Oslo vezeték feszültség-nyúlás görbéje esetén egy kezdeti kis feszültségtartományba eső szakasz után a teljes vezeték úgy viselkedik, mintha tömbi anyag lenne, azaz a karbonszál erősítéses kompozit rugalmas viselkedése határozza meg a vezeték viselkedését. Ha ugyanezt megnézzük az ACSS 425/55 vezeték esetén, akkor ott is látunk egy kezdeti szakaszt, ahol az acél és alumíniumhuzalok együtt működnek. Ez a tartomány arányaiban nagyobb az ACSS vezetékek esetében. Azonban ez után az ACSS vezetékek esetében is az acélsodrat rugalmas viselkedése lesz a meghatározó, amit a görbékben látunk.



**3. ábra** Az ACCC Oslo és az ACSS 243/39 belógásának összehasonlítása laboratóriumi mérések alapján.

Laboratóriumunkban végeztünk belógás tesztek is. A vezetékeket csak 30 m szakaszon vagyunk képesek feszíteni, azonban árammal hevítjük mérés közben, és az adott hőmérsékletre optikai úton mérjük a vezeték belógását. A 3. ábra az ACCC Oslo és az ACSS 243/39 vezeték belógását hasonlítja össze. A szerelvényezett ACSS vezeték a belógás vizsgálat előtt 5000 daN terheléssel előfeszítettük. Látható, hogy az ACCC Oslo belógása jóval kisebb, mint az ACSS 243/39 vezetéké, ami főleg magas hőmérsékleten szembetűnő. Ami ugyancsak látható, hogy a könyökponti hőmérséklete is kisebb (~48 °C) az ACCC Oslo esetében, mint az ACSS 243/39 vizsgálatánál (~64 °C) tapasztalt érték. A könyökpont felett a belógást az ACCC vezeték esetében a karbonszál erősítéses kompozit mag előnyös tulajdonságai határozzák meg. A vezetékeket azonos 70 N/mm<sup>2</sup>-nek megfelelően feszítettük meg a vizsgálatához.

ACSS vezetékek esetén az előterhelés során az alumíniumhuzalok képlékenyen, amíg az acél rugalmasan nyúlik, így az előterhelés után a vezeték szakasz feszített állapotba kerül. Ez a feszített állapot biztosítja a kis belógást. Így az előterhelés mértékével változtatható a belógás mértéke, és a könyökponti hőmérséklet. Az ACSR vezetékekénél meglévő 110-130 °C közötti érték és a bemutatott 60 °C közötti tartományban mozoghat ez az érték (4. ábra).



**4. ábra** Az ACSS 425/55 vezeték belógása előfeszítéssel és anélkül.

Az ACCC és ACSS vezetékek belógásának számításakor a könyökponti hőmérséklet felett a mag tulajdonságai határozzák meg a vezeték belógását. A 2. táblázat hasonlítja össze a mag lehetséges anyagait irodalmi adatok alapján.

A mechanikai viselkedés mellett egy fontos villamos paramétert még meg kell jegyezzünk. ACSS esetében az acélmag miatt a váltakozó áramú ellenállás nagyobb. Természetesen az alumíniumrétegek sodratviszonyainak célszerű megválasztásával ezt minimalizálni lehet. Az ACCC vezetékek esetében ezzel a veszteségformával nem kell számolni az erősítő mag anyagtulajdonságai miatt.

## 4. ÖSSZEGLÉZÉS

Cikkünkben azt az esetet vizsgáltuk, amikor meglévő vonalon a nagyobb áramátviteli kapacitás miatt a régi vezetékeket célszerű magas hőmérsékleten üzemelő kis belógású vezetékekre cserélni. Ehhez két típust összehasonlítottunk az ekvivalens ACSR vezetékekkel. Megállapítottuk, hogy mind az ACSS, mind az ACCC vezetékek képesek adott oszlopterhelések mellett a nagyobb áramátvitelre. Ennek egyik oka, hogy mind a két típus lágyított ötvözetlen alumíniumhuzalokból épül fel. A belógás elemzésénél a vizsgálatok rámutattak arra, hogy az ACCC vezetékek kisebb belógást biztosítanak az üzemi hőmérséklet nagy tartományában. Kedvező belógás ACSS vezetékek esetén csak előterhelés alkalmazásával biztosítható, amit építés, felszerelés közben kell alkalmazni. Ez körülményessé teszi az ACSS vezetékek alkalmazását. Ha a vezetékek ára oldaláról vizsgáljuk a kérdést, akkor az ACCC vezetékek ára magasabb, mint az ACSS vezetékeké, azonban kedvezőbb paraméterekkel rendelkezik mind mechanikai, mind villamos tulajdonságait tekintve. Természetesen új vonal létesítésekor más a számítás alapja, hiszen az ACCC vezetékek alkalmazásakor ebben az esetben számításba kell venni a nagyobb feszítő távolságok lehetőségét, vagy a kisebb oszlopterhelések következményeit. Így speciális földrajzi környezetben (hegyes, sziklás területek) már új vonal létesítésekor is gazdaságossá válik az ACCC vezetékek használata.

### Felhasznált irodalom:

- [1] CTC Global: Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC Conductors, CTC Global, 2011
- [2] R. Stephen ed.: Considerations related to the use of high temperature conductors, Cigré 331, 2007
- [3] Nemcsik György, Barkóczy Péter, Gyöngyösi Szilvia: Trapéz keresztmetszetű huzalok hűzástechológiájának fejlesztése, Képlékenyalakító Konferencia, 2012, Miskolc.
- [4] Nemcsik György, Barkóczy Péter: képlékeny konform eljárás alkalmazása a vezeték- és kábelgyártásban, Képlékenyalakító konferencia, 2018, Miskolc.



### Dr. Barkóczy Péter

fejlesztési igazgató  
FUX Zrt.

### Nemcsik György

Műszaki vezető  
FUX Zrt.