

Nagyfeszültségű szigetelők mosása feszültség alatt

Dr. BÁN GÁBOR – MIHÁLKOVICS TIBOR, Budapest*

DK 621.315.62.027.3.004.55

A nagy légszennyeződések helyeken üzemelő nagyfeszültségű villamos berendezések üzembiztosságát lényegesen csökkentheti a szabadtéri szigetelők felületi szennyezés. Az ebből eredő üzemzavarok megelőzésének egyik módja a szigetelőkön felgyülemlett szennyezőréteg eltávolítása, mielőtt még az átívelési veszély bekövetkeznék.

A szigetelők tisztítását régebben általában feszültségmentes állapotban végezték. Ma is ez az egyetlen lehetséges tisztítási módszer az olyan szennyeződéseknel, amelyek a felületen kemény, nehezen lemosható réteget képeznek. Ilyen esetekben a szigetelőköt leszerelik, tiszta szigetelőkkel cserélik ki és a szennyező réteget a leszerelt szigetelőről vegyi eljárással távolítják el. Eltekintve azonban a viszonylag kevés helyen előforduló ilyen típusú szennyeződéstől, a felületre rakódott réteg kellő nyomású vízszugárral is eltávolítható. Ennek alapján merült fel az a gondolat, hogy a szigetelők vízszugárral való tisztítása feszültség alatt is elvégezhető. Az első ilyen törekvéstről beszámoló cikk [1] 1932-ből származik és azt tárgyalja, hogy közép- és nagyfeszültségű szigetelők mosásánál hogyan védhető meg a mosást végző személyzet a vízszugáron keresztüli áramütéstől.

A vízszugáron keresztüli áramütés kérdését nem csupán a szigetelő feszültség alatti mosása szempontjából vizsgálták: hasonló problémát vet fel a villamos berendezésekben keletkezett tüzek feszültség alatti oltása is. Ilyen irányú cikkek az európai irodalomban 1928-tól kezdve fellelhetők (pl. [2]).

Az 1940-es évektől kezdve a fejlettebb ipari államokban egyre jobban tért hódított a szabadtéri szigetelők feszültség alatti mosása. Így a szovjet irodalom [3], az angol irodalom [4], a japán irodalom [5], az Egyesült Államokban megjelenő szaklapok [6], valamint a német folyóiratok sorra pozitív eredményű kísérletekről számoltak be.

Magyarországon a Mátrai Erőműben az 1950-es években bekövetkezett üzemzavarok idején merült fel először megoldásként a szóbanforgó módszer [7]. A későbbiek során a Tiszapalkonyai Erőműben rendszeresítették a nagyfeszültségű szigetelők feszültség alatti mosását. Az ezzel kapcsolatos munkáról a [8] irodalom számol be. Nagyfeszültségű szigetelők közelről, nem földpotenciálon levő kabintól végzett mosásával kapcsolatos kísérletekről a [14] cikkben olvashatunk.

* DR. BÁN GÁBOR okl. gépészmérnök, a műszaki tudományok kandidátusa, a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosművek Tanszékének docense (Budapest XI., Egry J. u. 18.), a Villamosenergiapari Kutató Intézet tudományos tanácsadója;

MIHÁLKOVICS TIBOR okl. villamosmérnök, a Villamosenergiapari Kutató Intézet tudományos munkatársa (Budapest XV., Cservenka M. u. 99/101.)

A legutóbbi években a szigetelők feszültség alatti mosásával kapcsolatosan nagy számban jelentek meg közlemények. 1966-ban a Central Electricity Generating Board részletes beszámolót tett közzé a 132 kV és 275 kV-os hálózatán elvégzett nagyszámú kísérletről [9]. 1967-ben szintén a CEGB szakemberei számoltak be egy 275 kV névleges feszültségű vezeték-szakasz távirányított, feszültség alatti mosásáról [10]. Az 1968-as CIGRE ülés alkalmával japán szerzők [11] egy 500 kV-os állomás feszültség alatti mosását ismertették. 1969-ben Blythe [12] az El. Review-ban ismerteti a Japánban szinte általánossá vált feszültség alatti szigetelő mosás módszereit. Amint e cikkből kiderül, Japánban 200-nál több nagyfeszültségű állomásban alkalmazzák ezt az eljárást, jó tapasztalatokkal.

A külföldi és eddigi hazai tapasztalatok alapján felvetődött az a kérdés, nem lenne-e indokolt Magyarországon a jelenleginél lényegesen szélesebb területen alkalmazni a feszültség alatti mosást. Az alkalmazás célszerűségének mérlegelésénél külön kell választani a feszültség alatti mosás két alapvető módszerét.

Az egyiknél a tűzoltás alkalmával is használatos, egyetlen fúvókán át nyomott vízzel állítanak elő *hosszú vízszugarat*. A másiknál a szigetelők közelében szórófejeket szerelnek fel, s ezekkel a *beépített szórófejekkel* előállított, nagyerejű *permet* szolgál a szigetelők mosására.

Az újabb publikációk főként a beépített szórófejekkel végzett mosás módszerét tárgyalják, amelyet Japánban és Angliában alkalmaznak. Ez a módszer kifejlesztettnek tekinthető. Magyarországi alkalmazásának lehetősége azonban eléggé korlátozott, mivel télen, amikor a szigetelők állapota a gyakori ködképződés miatt veszélyessé válhat és ezáltal a mosás fokozottan szükséges, a mosóberendezés csak akkor használható, ha a beépített csőrendszer és a fúvókák fagy elleni védelméről gondoskodni tudunk. (A szórófejekkel végzett mosás alkalmazásának egyéb szempontjait a kísérleti eredmények értékelésénél fogjuk tárgyalni.) Ezért a szórófejes mosással kapcsolatosan nem végeztünk kísérleteket, hanem megfontolásainkban a japán és angol kísérleti eredményekre támaszkodunk.

A VEIKI Nagyteljesítményű Laboratóriumában az utóbbi években megvizsgáltuk a szigetelőfelületen lefolyó nagyteljesítményű ívjelenségeknek több oldalát. Ennek során kialakított vizsgálati, illetve mérés-technikai módszereink alkalmazásával szisztematikus vizsgálat alá vettük az egyetlen, hosszú vízszugárral való mosás közben lezajló jelenségeket.

A vizsgálatok során nem törekedhettünk teljesre, mivel laboratóriumban igen nehéz minden szöbajöhethető szigetelőtípuson, a szigetelők összes

szokásos konfigurációján, valamint különböző anyagokkal, különbözőképpen szennyeződött szigetelőknél elvégezni a méréseket. Célunk az volt, hogy megállapítsuk: az eddigi, főképpen az irodalomból ismert kísérletek kiterjedtek-e a legveszélyesebb folyamatokra, valamint a hazai viszonylatban jelenleg gazdaságosnak látszó, egyetlen vizsugárral való mosás hatását és biztonságát milyen módszerekkel lehetne fokozni.

1. A vizsgálatok alapvető módszere

A mosási módszerek összehasonlítása érdekében minden mérésünket ugyanazon a szigetelőtípuson végeztük. A választott szigetelőtípus 120 kV-os *STKF szakaszoló-támszigetelő* volt, az alábbi szempontok alapján:

A szigetelőmosással járó esetleges veszélyeket főképpen az átívelésre hajlamos alállomási szigetelőtípusoknál kell vizsgálni. Ilyen típusok közé nem sorolhatók a szigetelőláncok, mivel ezek legfőbbje az alállomásban feszítőlánc, s a közel vízszintes elhelyezésétől függően a függőleges elhelyezéseknél lényegesen szennyezésállóbbak.

A készülékszigetelők közül a megszakítószigetelők mosása nem mindig célravezető, mert az erős, oldalirányú, részben alulról érkező vizsugár a megszakító szerkezetére ártalmas lehet. A fennmaradó készülékszigetelőtípusok közül leghajlamosabb az átívelésre az *STKF szakaszolószigetelő*.

A mosási módszerek vizsgálata alkalmával fontos kérdés a felületi szennyeződés laboratóriumi előállításának módja. A felületi szennyeződéssel szemben a következő követelményeket kell állítani:

a) A szennyeződésnek reprodukálhatónak kell lennie.

b) A szennyeződésnek — a valóságos viszonyoknak megfelelően — eltávolíthatónak vagy legalábbis időben csökkenőnek kell lennie.

c) A szennyeződést részben szilárd rétegeként kell előállítani a szigetelőn. A valóságban a veszélyes szennyeződés ugyanis általában szilárd réteget is tartalmaz. A csak elektrolitikus folyadékfilmmel szennyeződött szigetelőn a részívek a gyors száradás következtében nagyon rövid ideig égnék, s ezért egyesülésüknek a valószínűsége csekély.

A fenti követelmények kielégítésére a szigetelők felületén a vizsgálatot megelőzően mintegy 0,25 mm vastagságú, szilárd cementréteget hoztunk létre, amely a szigetelő teljes felületét befedte. A vizsgálat előtt közvetlenül, meghatározott vezetőképességű sóoldattal itattuk át a szigetelőfelületre felvitt cementréteget. Így a sóoldat vezetőképességének változtatásával tudtuk változtatni a szigetelő szennyezettségi fokát. A leírt módszer alkalmazásával járó előnyök a következőkben foglalhatók össze:

1. A szigetelő a mosás alkalmával előforduló legveszélyesebb helyzetben van, mert a kimosható elektrolitikus szennyezésen kívül egy lemoshatatlan víztartó réteg marad a szigetelőn. Ezáltal megvisz-

gálható az a kérdés is, hogy a mosóvíz vezetőképességének milyen értéke mellett kerül átívelésveszélybe a szigetelő az elektrolitikus szennyezés kimosása után. Az elektrolitikus szennyezés kimosása ugyanis 1 percnél rövidebb idő alatt megtörténik, viszont egy nehezen lemosható szilárd réteg mosással való eltávolítása hosszú ideig is eltarthat. Ezért — bár az utóbbi esetben a szigetelőfelület vezetőképessége kisebb, mint az előbbiben, mégis nőhet az átívelési valószínűség, a művelet lényegesen nagyobb időtartama miatt.

2. A módszer reprodukálhatóság szempontjából kielégítő. Mivel a szigetelőből az elektrolitikus szennyezés minden kísérlet végére kimosódik, egy kísérletsorozat ugyanazon cementréteggel fedett szigetelőn végezhető.

3. A reprodukálhatóság további javítása érdekében minden kísérletnél olyan koncentrációjú sóoldattal itattuk át a szigetelőn levő cementréteget, hogy a nedves felületű szigetelő a feszültség rákapcsolásakor éppen ne íveljen át. Ezzel a módszerrel a szigetelő mosás előtti lehetséges legveszélyesebb helyzetét reprodukálható módon tudtuk beállítani.

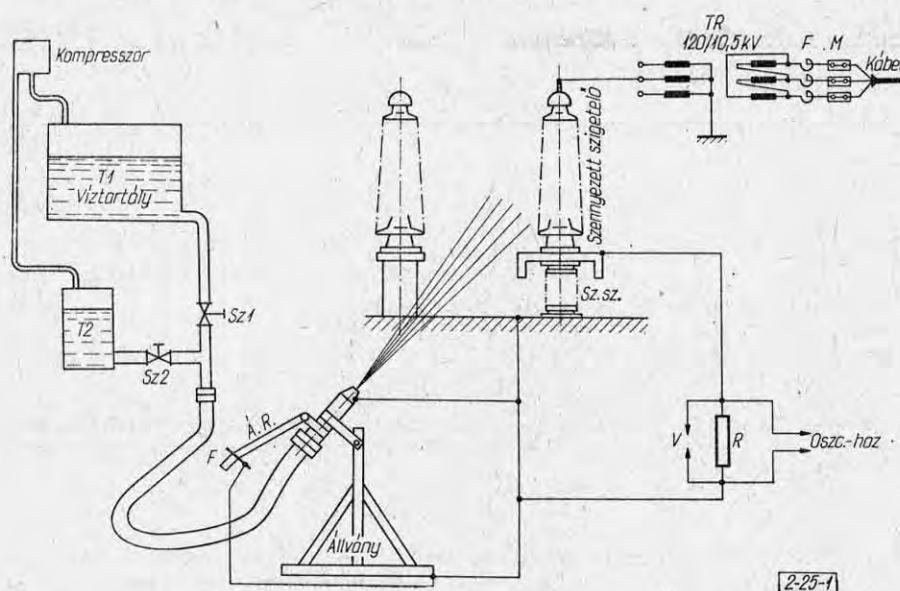
A mosás gyakoriságát üzemi viszonyok között ugyanis úgy kell megválasztani, hogy a szigetelő a mosás kezdetén se kerüljön átívelési veszélybe, tekintetbe véve a mosóvíz vezetőképességét is. Feltételezhető tehát a laboratóriumi vizsgálatoknál legkedvezőtlenebb esetként, hogy a szigetelő ennek az állapotnak a határán van.

A fenti megfontolás alkalmazásával a 0,25 mm vastag cementréteggel szennyezett 120 kV-os *STKF* szigetelőre 300 ohmcm fajlagos ellenállású sóoldat adódott. A reprodukálhatóság érdekében a szigetelőt minden kísérletnél a nedvesítés után 1,5 perccel helyeztük feszültség alá.

2. Kísérleti berendezés

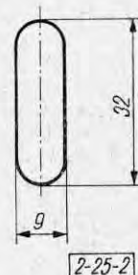
A szigetelő üzemi feszültségét 120/10,5 kV-os, 10,5 kV-os kábeltől táplált transzformátor biztosította. A 10 kV-os oldalon levő F jelű fojtótekercsel az átíveléskor a 120 kV-os szinten fellépő zárlati áramot 100 A-re korlátoztuk. A kb. 15 m³-es víztartályból kiáramló mosóvíz nyomását kompresszor biztosította. A mosóvíz fajlagos ellenállásának szabályozása az SZ2 szelep nyílásának állításával, azaz a T2 tartályból a csővezetékbe beömlő erősen sós víz mennyiségének változtatásával történt. A mosóvíz fajlagos ellenállását a mosóvízből vett igen nagyszámú minta alapján határoztuk meg.

A mosott szigetelő szivárgási áramának mérése céljából a szigetelő és a föld közé R ellenállást iktattunk. A próbatárgyat a lecsepegő víztől védett, szilikonozott szigetelőre állítottuk annak érdekében, hogy a vizsgált szigetelőn átfolyó teljes áram az R mérőellenálláson folyék keresztül. Az R ellenálláson az esetleges átíveléskor fellépő, nagyobb feszültség korlátozására V védőszikraköz szolgált.



1. ábra. Kísérleti berendezés

F – földelt fogantyú
 A. R. – szigetelt (pabit) állító rúd
 Sz. Sz. – lecsapogó vízfől védett, szilikonozott szigetelő
 (A többi jelölések magyarázatát lásd a szövegben)



2. ábra. A mosásnál alkalmazott ovális alakú fúvóka

Kísérleteink folyamán a mosott szigetelő és a vízsugarat előállító fúvóka távolsága 6 m volt. Ez a távolság megfelel az irodalomban ismertetett szokásos távolságoknak. A táphálózati nyomás (Sz 1 szelepnél) 3,5–4,5 att volt.

3. Kísérleti eredmények

3.1 Az optimális fúvóka-alak megállapítása

Az irodalomban fellelhető adatok szerint a víz-sugárral való mosásnál egyöntetűen körkeresztmetű kifúvónyílást alkalmaznak, s ezáltal enyhén kúpos sugáralakot nyernek. Ennek véleményezhetően az a célja, hogy a vízsugár nyomása a szigetelőfelületen nagy legyen, s ezáltal a szilárd részecskékre vonatkozó tisztító hatás növekedjék. A koncentrált sugárral való mosás azonban – mind a saját méréseink szerint, mind pedig egyes irodalmi utalásokból megállapíthatóan – olyan mosási megkötöttségeket tesz szükségessé, amely a mosást végző személyzet figyelmét fokozottan igénybe veszi.

A koncentrált vízsugárral a szigetelőfelületnek egyszerre csak egy szakasza mosható (a szokásos mosási távolságot figyelembevéve kb. egy-két ernyőköz). Ez a mosott szakasz a felületen levő nagy vízmennyiség következtében közel rövidre-zártnak tekinthető. Így a teljes feszültség a nem mosott részre jut, aminek következtében helyi ívek alakulnak ki. Ha a szigetelő mosását (tám-szigetelőről lévén szó) felülről kezdjük, akkor a helyi ív kialakulása igen veszélyes lehet. A felülről lecsurgó víz ugyanis a még nem mosott ernyőkön szennyeződve további ernyőközöket zár rövidre, majd a szigetelő alsó részén a vízsugár megszakadása miatt viszonylag nagy áramú ívek alakulnak ki. Ezek a termikus hatás miatt felfelé terjeszkednek és a szigetelő teljes átívelését okozhatják. Ha azonban a mosást alulról kezdjük, a kezdeti nagy vezetőképességű lecsorgó víz csak kisszámú szigetelőernyőn folyik keresztül, és a felső ernyők mosá-

sakor a lecsorgó víz veszélytelenebb, tekintve, hogy az alsó ernyők már tiszták.

A fentiek miatt a szóbanforgó sugáralaknál a mosást alulról kell kezdeni, majd a teljes kimosásig függőleges irányban többször gyorsan végig kell pásztázni a szigetelőt. Nagyszámú kísérleteink tapasztalatai szerint ugyanis így lehet megakadályozni a helyi ívek kialakulását egyrészt azért, mert csökken a szigetelő helyi kiszáradásának valószínűsége, másrészt, mert a vízsugár az esetlegesen keletkező íveket lehűti, illetve elfújja.

Annak érdekében, hogy a mosási módszerre vonatkozó megkötéseket, illetve a mosás veszélyességét csökkenteni lehessen, más fúvóalakkal is megpróbálkoztunk. Az új fúvóka-alak kialakításának alap gondolata az volt, hogy amennyiben a szigetelőt egyidejűleg teljes hosszában, közel egyenesen mossuk, akkor a szigetelő kúszóútja mentén végig közel egyenlő nagy a vezetőképesség. Ez a szigetelő számára potenciálvezérlést biztosít, ami nehezíti a szigetelőfelületen a helyi ívek kialakulását. Az ovális fúvóka-alak a kezelőszemélyzet helyzetét is megkönnyíti, mivel nem teszi szükségessé a fúvóka mozgatását – sőt érintését sem – egy szigetelő mosása idején. Ennélfogva a mosás gépesítése is könnyebben megvalósítható.

Vizsgálatainkat a fenti kétféle – körkeresztmetű (14 mm átmérőjű), enyhén kúpos sugarat előállító fúvókával, valamint a 2. ábrán adott méretű, ovális keresztmetű, a szigete őt egyidejűleg teljes hosszában mosó fúvókával végeztük. A kétféle fúvóka összehasonlítása céljából végzett mérések azonos körülmények között (azonos mosási távolság és azonos nyomás mellett) történtek. A kétféle fúvóka összehasonlítása annak alapján történt, hogy azonos kiindulási szennyezettségi állapot mellett milyen fajlagos ellenállású mosóvíz éppen nem okozza még a szigetelő mosás közbeni átívelését. (Ezt az értéket a továbbiakban kritikus fajlagos ellenállásnak nevezzük).

1. táblázat

Mosóvíz (ohm · cm)	Táphálózati nyomás (att)	Fúvóka	Megjegyzés
500	3,5	ovális	5–8 s után átvélt
700	3,5	ovális	átvélt
700–780	4,0	ovális	majdnem átvélt két-három alkalommal is, ez a kritikus érték
1100	3,0–3,5	ovális	nem ívelt át
1200–1400	4,0	ovális	kevésbé ívelget, nem ívelt át
900–950	4,0–4,5	∅ 14	a mosást a szigetelő fején kezdve 5–10 s után átvélt
1300	4,0–4,5	∅ 14	a mosást a szigetelő fején kezdve 10–15 s után átvélt
1650	4,0	∅ 14	a mosást a szigetelő fején kezdve 5–10 s után átvélt
1850	4,0	∅ 14	a mosást a szigetelő fején kezdve 5–10 s után átvélt
1800–1900	4,0	∅ 14	a mosást a szigetelő fején kezdve 10–15 s után átvélt
1900–2000	4,0	∅ 14	a mosást a szigetelő fején kezdve erősen ívelget, de nem ívelt át, ez a kritikus érték
1700–1800	4,5	∅ 14	a mosást a szigetelő alján kezdve és erősen fel-le pástázva kevésbé ívelget, nem ívelt át

Az összehasonlítás alkalmával körkeresztmetű fúvókával való mosás során a legkedvezőtlenebb eset imitálása céljából, a szigetelő mosását felülről kezdtük.

Mérési eredményeinket az 1. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatból megállapíthatóan a mosóvíz kritikus fajlagos ellenállása körkeresztmetű fúvóka esetén 1900–2000 ohm·cm (gyakorlatilag a budapesti vízvezetéki víz fajlagos ellenállásának alsó határa). Az ovális alakú fúvóka esetén a kritikus fajlagos ellenállás 700–750 ohm·cm. Eszerint az ovális keresztmetű fúvókával való mosás lényegesen kedvezőbb: azonos fajlagos ellenállású vízzel végezve a mosást, lényegesen nagyobb biztonságot nyújt.

3.2 A szigetelőmosás szükséges idejének megállapítása

A szükséges mosási idő megállapítására végzett kísérleteink menete a következő volt:

A szigetelőt egy 6 kV feszültséget szolgáltató feszültségváltóról tartottuk feszültség alatt. Ez a feszültségérték azért volt szükséges, mert ez már elegendő nagy ahhoz, hogy a felületen bekövetkező esetleges nagy helyi átmeneti ellenállásokat átüsse, viszont nem elég nagy ahhoz, hogy a szigetelőn erős száradást okozó szivárgási áramot hozzon létre, amelynek következtében ívek alakulhatnak ki. Ezzel a módszerrel tehát mérhető a szigetelő felületi ellenállása, illetve vezetőképessége.

A 6 kV-os feszültségen tartott szigetelőt előzetesen adott vezetőképességű sós vízzel itattuk át. A mérés megkezdésekor a szigetelőt mosni kezdtük és meghatározott időpontokban megszakítva a mosást – hogy a szigetelőről lecsorgó mosóvíz ne sötétülhesse a szigetelőfelület egyes részeit – azonos ideig (5 s) a szigetelőről a vizet lecsepegni hagytuk, majd oszcillografáltuk a szigetelőn átfolyó áramot. A kapott eredményeket a 3. ábrán levő diagram foglalja össze. A szóbanforgó mérések során a mosóvíz fajlagos ellenállása 900 ohm·cm volt.

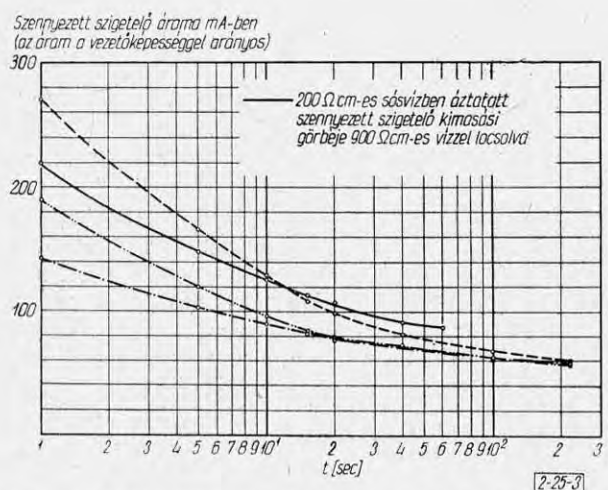
A diagram felvételekor a mosóvíz mennyisége ovális fúvóka alkalmazása esetén 4 l/s volt. A diagramból megállapítható, hogy – annak ellenére, hogy a kezdeti felületi ellenállásértékek kö-

zött mintegy 100% különbség volt, a felületi ellenállás értéke 100 s után már gyakorlatilag megegyezik. A görbék menetéből az is látszik, hogy az elektrolitikus szennyezés kimosása kezdetben igen gyors és annál gyorsabb, minél nagyobb a kezdeti vezetőképesség. (A jobb ábrázolhatóság érdekében a diagram időtengelyét logaritmikus léptékűre vettük. Ennek megfelelően a $t = 0$ időpont az időtengelyen nem szerepel. Az ezen időponthoz tartozó értékeket ezért a $t = 1$ s helyhez rajzoltuk be.)

A diagramból megállapítható, hogy a szennyezés kimosása az idő függvényében lassul, 100 s után már alig változik.

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a diagram 900 ohm·cm fajlagos ellenállású mosóvíz alkalmazása esetére vonatkozik. Ennél nagyobb fajlagos ellenállású mosóvíz esetén a mosás sebessége ehhez képest feltételezhetően nő. (A budapesti vízvezeték-hálózatból vett víz fajlagos ellenállása 1800–2800 ohm·cm értékek között ingadozik.)

A szükséges mosási időre kapott megállapításaink jól egybevágnak a [13]-ban 132 kV-os szigetelőkre permittel való mosás esetén kapott szükséges idővel (60–100 s).



3. ábra. A különböző vezetőképességű oldatokkal szennyezett szigetelők kimosási jelleggörbéje az idő függvényében

2. táblázat

Mosóvíz (ohm·cm)	Táphálzati nyomás (atm)	Fúvóka	Megjegyzés
540 650 850–1000 1500–1700 2500	4,0 3,5 4,0–4,5 4,0–4,5 3,5	ovális ovális ovális ovális ovális	5–10 s után átívelt 10–15 s után átívelt átívelt hosszú időn át igen erősen ívelget, de nem ívelt át; ez a kritikus érték nem ívelt át
650 750–1000	2,5 2,5	ovális ovális	erősen ívelget, de nem ívelt át; kevés víz porlódik át a kis nyomás miatt nem ívelt át, kevés víz porlódik át a kis nyomás miatt
630 1300 1600–1650 1750	4,5 4,5 4,0 4,0–4,5	∅ 14 ∅ 14 ∅ 14 ∅ 14	5–10 s után átívelt 5–10 s után átívelt erősen ívelget, de nem ívelt át; ez a kritikus érték nem ívelt át

3.3 A mosott szigetelők közelében levő szigetelők veszélyeztetettsége

Szennyezett szigetelőkre a kis intenzitású csapadék – különösen, ha nemcsak az ernyők felső felületére jut – igen veszélyes, mert a szennyezést megnedvesítve vezetővé teszi, de nem mossa le. Ezért veszélyes pl. a ködös időjárás a szennyeződött szigetelőkre.

Feltételeztük, hogy hasonló állapot jöhet létre a mosás alatt álló szigetelő közelében levő, még le nem mosott szigetelőknél. A mosott szigetelőről átporzó víz ugyanis nedvesítő, de nem kellőképpen mosó hatású. A szigetelőt ez a nedvesség oldalról éri, az ernyők alsó felületét, s a szigetelő törzsét is nedvesíti, tehát átívelés-veszélyes helyzetbe hozhatja. Tekintve, hogy az irodalomban leírt kísérletek csupán a mosott szigetelő viselkedésére korlátozódtak, mi megvizsgáltuk azt, hogy a mosás nem jelent-e nagyobb veszélyt a mosott szigetelővel szomszédos szigetelőkre, mint magára a mosás alatt álló szigetelőre nézve. Kísérleteinknél a mosott és a szomszédos STKF szakaszolászigetelő között a valóságos szerelésnél kiadódó minimális távolságnak megfelelően, 1 m-t állítottunk be. A vizsgálatokat mindkét, az előző pontban ismertetett fúvókalakra elvégeztük. A mérési eredményeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A táblázatból megállapíthatóan mindkét fúvóka-keresztmetszetre a szomszédos szigetelőre vonatkozó kritikus mosóvíz fajlagos ellenállása 1500–1700 ohm·cm. Ebből a szempontból tehát a kétféle fúvóka egyenrangúnak tekinthető.

A kapott eredmény magyarázata a következő lehet:

Körkeresztmetszetű fúvóka esetében – azonos táphálzati víznyomás mellett – a víz a szigetelőfelületre nagyobb sebességgel jut, mint ovális esetén. Ezért a mosott szigetelő mosás alatt álló, viszonylag rövid szakaszáról erősebben porlik át a víz a szomszédos szigetelőre, utóbbinál viszont nagyobb a visszaverő felület hossza. A két hatás ezért körülbelül azonos.

Kísérleteink során bebizonyosodott, hogy kisebb táphálzati nyomás esetén (kb. 2,5 atm.) ovális nyílással lényegesen kevesebb víz jut a szomszédos szigetelőre és így fenti nyomásérték esetében még

650 ohm·cm fajlagos ellenállású mosóvíz sem idézte elő a szomszédos szigetelő átívelését. Ez nyilván annak a következménye, hogy kisebb táphálzati nyomás esetén kisebb a mosott szigetelőfelületre érkező – és onnan visszavert – víz sebessége.

A fentiek szerint – ha a mosás alatt álló szigetelő melletti szigetelőre elkerülhetetlenül nagyobb mennyiségű víz porzik át, nem a mosás alatt álló szigetelő veszélyeztetettsége, hanem a szomszédos szigetelőké a nagyobb. A mosóvíz megengedhető minimális fajlagos-ellenállását a szomszédos szigetelő veszélyeztetettsége alapján kell megválasztani. Ha azonban a mosási sorrend megfelelő megválasztásával elérhető, hogy az átporzó víz kizárólag már megtisztított szigetelőkre jut, akkor a helyzet lényegesen kedvezőbb. Kísérleti eredményeink szerint még abban az esetben sem került veszélyeztetett helyzetbe a szomszédos cementréteg nélküli szigetelő, ha felületét előzőleg 300 ohmcm fajlagos ellenállású vízzel locsoltuk le egyenletesen, a mosóvíz fajlagos ellenállása pedig 500 ohmcm volt. Ilyen körülmények között tehát – vagy tiszta elektrolitikus szennyezés mellett – a szomszédos szigetelő veszélyeztetettsége kisebb, mint a mosotté.

4. A vízszugár hirtelen bekövetkező nyomáscsökkenésének hatása

A koncentrált vízszugárral való feszültség alatti mosás alkalmazásánál rendszerint gyorselzáró szelepet iktatnak a mosóvíz-tápvezetékbe, amely a táphálzati nyomás csökkenése esetén működik. Kísérleteink során megvizsgáltuk, hogy mennyiben elkerülhetetlen ennek a védelemnek az alkalmazása. Kísérleteinket STKF szigetelő feszültség alatti pontjára irányított, koncentrált vízszugárral végeztük. A folyamat időbeli meghosszabbítása érdekében a szigetelő felső szerelvényére erősített lemez segítségével megnöveltük mintegy 80 cm-re a feszültség alatti fémszerelvény hosszát.

A kísérletek lefolyása a következő volt: a szigetelő felső pontjára irányított sugár nyomását a táphálzati szelep lezárásával hirtelen, gyakorlatilag nullára csökkentettük. Ennek következtében a vízszugár függőleges irányban lehajlott, eközben

Mosóvíz (ohm · cm)	Táphálózati nyomás, amelyről 0-ra csökken (att)	Fúvóka	Megjegyzés
850	4,5	Ø 14	a vízsugár felé nem ívelt át
700	4,5	Ø 14	a vízsugár felé nem ívelt át
550 – 650	4,5	Ø 14	a vízsugár felé nem ívelt át, a tiszta locsolt szigetelő azonban átívelt
650	4,5	Ø 14	a vízsugár felé nem ívelt át, a tiszta locsolt szigetelő azonban átívelt

beesési felülete végigvonult a fémlapról a szigetelő földelt szerelvényéig. A kísérlethez szennyeztelen szigetelőt használtunk, hogy nagy vezetőképességű mosóvizet alkalmazhassunk, s ezért a mosóberendezéshez való átívelést (az ívtalppontnak a vízsugáron való végigfutását) nagy valószínűséggel elősegítsük. Mérési eredményeinket a 3. táblázatban foglaltuk össze.

A kísérletek során egyetlen esetben sem következett be a mosóberendezéshez való átütés, illetve átívelés, még kb. 600 ohmcm fajlagos ellenállású vízsugár esetén sem. Azonban a szigetelő, amelyre a vízsugár irányult, többizben átívelt. Ennek valószínű magyarázata a következő: A kis nyomás miatt a vízsugár folyamatos, s így a szigetelőn végigvonuló beesési pontja a földpotenciálon levőnek tekinthető. Ezért lefelé haladtában a felső, feszültségen levő szerelvényhez ívet húz, ezáltal a beesési pont potenciálra kerül. Az ív áramát a vízsugár ellenállása korlátozza. Ha a vízsugár és a földelt szigetelőszerelvény közötti lecsorgó víz és a vele sorbakapcsolódó ívek ellenállása már olyan értéket ér el, hogy a mosó vízsugarat söntölni képesek, ez a korlátozó hatás megszűnik. A szigetelőfelület mentén keletkező ívek a felső ívvel egyesülve teljes átívelést váltanak ki.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a táphálózati nyomáscsökkenés esetén nem a vízsugár mentén való átívelés veszélye lép fel, hanem a mosott szigetelő. A nyomáscsökkenés hatására létrejövő vízsugár-lehajlás lassú folyamat, ezért elegendő, ha ilyenkor a vízsugarat a szigetelőtől eltávolítják. A beépített gyorselzárószlep alkalmazása eszerint nem elkerülhetetlen, azonban növeli a mosás biztonságát.

5. A kísérletekből levonható következtetések és javaslatok

1. A beépített, permetező vízzel működő mosóberendezés előnye az automatizálhatóság, valamint a személyzet veszélyeztetettségének teljes kiküszöbölése.

Hátránya:

a) a nagy beruházási költség;

A [9] irodalom szerint a teljes beruházási költség kb. háromszorosa a kézi mosás költségének, a mosásonkénti költség pedig kb. 30%-kal nagyobb.

b) fagyveszély elleni védekezés bonyolultsága;

c) nagy vízfogyasztás. Ez azért lép fel, mert egyszerűre nagyszámú szigetelőt kell mosni. Más-

képpen a nem mosott szigetelőkre szálló köd veszélyes helyzetet teremtené.

A vízsugárral való mosás kisebb költséggel és kevesebb karbantartási munkával jár, a személyzet körütekintőbb munkáját igényli, valamint speciális intézkedéseket tesz szükségessé. Ilyenek: a mosóvíz fajlagos ellenállásának adott érték feletti tartása, lehetőleg szélcsendes időben való mosás, a mosási sorrend helyes megválasztása. Az általában szokásos körkeresztmetszetű fúvóka alkalmazása esetén a szigetelő tengelye mentén a vízsugarat mozgatni kell és megfelelő sorrendet kell betartani. Így – a hazai gyakorlat [8] tanulsága szerint – a mosás kellő biztonsággal végezhető. Célszerű lenne azonban üzemi körülmények között kipróbálni a kísérleteinkben alkalmazott ovális alakú fúvókát, mivel ennek alkalmazása lehetővé teszi a vízsugárral való mosás gépesítését oly módon, hogy a fúvókát mosás előtt a szigetelőre irányozva a mosóvíz megindítását a személyzet távolabbról végzi. Ez a megoldás azért lehetséges, mert a teljes hosszban való mosás miatt nem szükséges a fúvóka mozgatása. A szomszédos szigetelők veszélyeztetettségének csökkentésére esetleg kialakítható olyan mosókocsi, amely 2–3 egymás melletti szigetelőt távvezérelve egyidejűleg mos ovális keresztmetszetű fúvókával.

Fenti módszer kiküszöbölné a kézi mosás hátrányait és a beépített mosóberendezés nagyobb beruházási igényét.

2. A mosás időtartamát minimálisra kell szorítani, mivel kb. 100 s-on felüli idejű mosás feleslegesen növeli az átívelés valószínűségét a szomszédos szigetelőkön. A mosott szigetelő állapotát a hosszabb mosási idő lényegesen nem javítja.

3. Ha a szigetelők erős szennyezése vagy erős mosóvíz-átporzás miatt a szomszédos szigetelők veszélyes helyzetbe kerülnének (ívek megjelenése), célszerű az alábbi mosási eljárást alkalmazni:

A szigetelőt ovális keresztmetszetű fúvókával 20–30 s-ig mossuk (ezalatt az elektrolitikus szennyeződés nagyrésze kimosódik), majd a szomszédos szigetelőket hasonló módon tisztítjuk le. Egymáshoz közeli szigetelőkből álló csoportot így gyorsan végigmosva a mosás már hosszabb ideig (70–100 s) szigetelőnként veszélytelenül folytatható.

4. A szomszédos szigetelőre nézve kedvezőbb, ha a mosóvíz kisebb sebességgel lép ki a fúvókából, tehát, ha a táphálózati nyomás kisebb, mert így kisebb az átporzó vízmennyiség. Ugyanakkor azon-

ban a szilárd szennyezés eltávolítására gyakran nagy nyomásra van szükség. Ezért:

a) Főként elektrolitikus szennyezés esetén kis (2–3 att) táphálózati nyomás ajánlható, ovális keresztmetszetű fúvókával.

b) Vegyes (elektrolitikus és szilárd) szennyezés esetén ovális keresztmetszetű fúvókával és kis nyomással mosva eltávolítható az elektrikus szennyezés a szomszédos szigetelők veszélyeztetése nélkül, majd nagy nyomással (esetleg körkeresztmetszetű, nagy energiájú vízsugárral) a szilárdréteg.

5. A mosóvíz vezetőképességének megengedett értékét annak alapján lehet meghatározni (mérési eredményeink felhasználásával), hogy fenti javaslatok közül melyik kerül gyakorlati megvalósításra.

6. A nyomáscsökkenés elleni védelemre igen nagy vezetőképességű mosóvíz esetén van szükség a mosott szigetelő átívelési veszélye miatt.

7. Kísérleteink eredményei szerint a szokásos, 6 m-nél nem rövidebb mosási távolságot betartva, a személyzetet nem fenyegeti semmiféle áramütési veszély a vízsugárban folyó áram miatt. A vízsugár-fúvóka földelése fokozottabb biztonságot nyújt.

IRODALOM

- [1] TANGIE, A.: Insulator washing. Electrician, 1932. 108. p. 588.
- [2] WAHLIG, J.: Dürfen Brände in unter Spannung stehenden Anlagen mit Wasser gelöscht werden? El. Wirtschaft, 1928/27. p. 60.
- [3] ROZSAVSZKIJ, SZ. M.: O nekotorüh metodah borbü sz zagrjaznieniem izoljatorov. Elektriesesztvo, 1951. No. 6. p. 64.
- [4] FORREST, J. S.: Cleaning insulators. Electrical Industry, 1939. 39. p. 229.
- [5] YAMAMOTO, M. – OHASHI, K.: Salt contamination of external Insulation of High-Voltage Apparatus and its Countermeasures. Power App. and Syst. 1961. 8. p. 380.
- [6] HILL, G. L.: Test and developments in connection with hot line insulator washing. Trans. AIEE, 1947. 66. p. 1203.
- [7] RONKAY F.: Szabadtéri szigetelők szennyeződése és mosása. Elektrotechnika, 1952. 12. p. 370.
- [8] DÉNES S. – FARKAS L. – VARJU GY.: Hot-Line insulator washing as an effective means of combatting heavy pollution. CIGRÉ, 1968. Rep. 25–05.
- [9] LAST F. H. – PEGG T. H. – SELLERS N. – STALEWSKI A. – WHITTAKER M. A.: Live washing of h. v. insulators in polluted areas. Proc. IEE. 1966. 113. No. 5. p. 847.
- [10] STALEWSKI A. – DAWKINS E. B.: Remotely controlled live line washing. Electrical Review, 1967. 5. p. 708.
- [11] TAKAGI T. – HIROSE J. – HATTARI H.: Flashover characteristics of large insulators for 500 kV Substation under polluted condition. CIGRÉ, 1968. Rep. 25–03.
- [12] BLYTHE M. C.: Live line washing in Japan. Electrical Rev. 1969. 4. p. 530.
- [13] LAMBETH P. I. – LOOMS I. S. T. – SFORZINI M. – MALAGUTI C. – PORCHERON Y. – CLAVIERE P.: International research on polluted insulators. CIGRÉ, 1970. Rep. 33–02.
- [14] CSIKÓS B.: Munkavégzés nagyfeszültség érintésével és közelében. Elektrotechnika, 1969. 10–11. sz.