



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamos Energetika Tanszék

Veress Gábor és Marton Csaba

**Elektrosztatikus védőruházatok  
laboratóriumi tesztelési környezetének  
felülvizsgálata**

KONZULENSEK

Dr. Németh Bálint, Dr. Göcsei Gábor

BUDAPEST, 2022

# Tartalomjegyzék

<b>1 Összefoglaló.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Abstract .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Bevezetés .....</b>	<b>7</b>
<b>4 IEC 60895:2020 szabvány.....</b>	<b>8</b>
4.1 A feszültség alatti munkavégzéshez használt vezetőképes ruha mérésének első módszere .....	8
4.1 A feszültség alatti munkavégzéshez használt vezetőképes ruha mérésének második módszere.....	10
<b>5 A kutatás háttere .....</b>	<b>11</b>
5.1 Vezetőképes ruha .....	12
5.2 Mérőeszközök .....	13
<b>6 Eredmények .....</b>	<b>16</b>
6.1 A szigetelés hatása .....	16
6.1.1 Bevezetés.....	16
6.1.2 A mérés elrendezése és módszere .....	16
6.1.3 Mérési eredmények .....	17
6.1.4 Konklúzió .....	18
6.2 Vezető próbababa használata .....	18
6.2.1 Bevezetés.....	18
6.2.2 Mérési összeállítás.....	19
6.2.3 Mérési eredmények .....	19
6.2.4 Konklúzió .....	20
6.3 A próbababa méretének hatása.....	20
6.3.1 Bevezetés.....	20
6.3.2 Mérési összeállítás.....	21
6.3.3 Mérési eredmények .....	21
6.3.4 Konklúzió .....	22
6.4 Az archáló hatása .....	23
6.4.1 Bevezetés.....	23
6.4.2 Mérési összeállítás.....	24
6.4.3 Mérési eredmények .....	24

6.4.4 Konklúzió .....	24
6.5 A testáram csatlakozás hatása .....	27
6.5.1 Bevezetés.....	27
6.5.2 Mérési elrendezés .....	27
6.5.3 RG58 kábel.....	28
6.5.4 H155 Kábel .....	29
6.5.5 Mérési eredmények .....	30
6.5.6 Konklúzió .....	32
6.6 A fáziselektrod hatása .....	32
6.6.1 Bevezetés.....	32
6.6.2 Mérési összeállítás.....	32
6.6.3 Mérési eredmények .....	33
6.6.4 Konklúzió .....	34
<b>7 A feszültség alatti munkavégzéshez használt ruhának a mérését leíró szabvány .....</b>	<b>35</b>
7.1 Ernyőzési hatékonyság mérésére használt 1. módszer .....	35
7.2 Ernyőzési hatékonyság mérésére használt 2.módszer .....	36
<b>8 Kapacitás.....</b>	<b>38</b>
<b>9 Ellenállásmérés .....</b>	<b>40</b>
9.1 A mérési módszerek tesztelése .....	40
9.2 Az anyagok szerkezete .....	40
9.2.1 Szövet.....	40
9.2.2 Kötött anyag .....	41
9.3 Mérés .....	41
9.4 Tapasztalatok.....	42
9.5 Következtetés .....	43
<b>10 Összegzés .....</b>	<b>44</b>
<b>11 Ismételhetségi elemzés.....</b>	<b>45</b>
<b>12 Irodalomjegyzék.....</b>	<b>49</b>
<b>13 Függelék .....</b>	<b>50</b>
<b>14 Ábrajegyzék .....</b>	<b>57</b>

# 1 Összefoglaló

Napjainkban a villamosenergia-hálózat egyre növekvő kihasználtságának következtében a rendszerirányítók egyre kevésbé engedhetik meg a távvezeték-hálózat akár csak kis részének kikapcsolását is a karbantartásokhoz. Ennek következtében felértékelődik a feszültség alatti munkavégzés (röviden FAM), amellyel lehetőség nyílik élő távvezetékek javítására. A különböző feszültség szinten üzemelő távvezetéseken a FAM munkamódszerei is eltérnek, többek között az infrastruktúra különbözősége miatt, mint például az alkalmazott oszlopmagasság vagy a sodronyok és szigetelők mechanikai terhelhetősége, de eltérő nagyságúak a kötelező védőtávolságok is, ami szintén meghatározó az alkalmazható technológiák szempontjából. Kisfeszültségen többnyire érintéssel végzett munkáról beszélhetünk, azaz a dolgozót a munkavégzés során szigetelő eszközök és ruházat (pl. elektrotechnikai gumikesztyű) védik az eltérő potenciálú részekkel szemben. Középfeszültségen a távolból végzett munkamódszer az elterjedt, ahol a beavatkozó személy a potenciálon lévő részekről meghatározott távolságra (az adott feszültség szintnél alkalmazandó legkisebb szigetelési távolságnál nagyobb távolságra) végzi a munkáját szigetelőrudakra szerelt, távolról működtethető szerszámokkal. Nagyfeszültségen elsődlegesen a potenciálon végzett munkamódszert alkalmazzák. Ennek során a dolgozó vezetőképes védőruházatot viselve a vezetővel közvetlen villamos kontaktusba kerülve, annak potenciálján dolgozik.

A különböző feszültség szinteken használt szerszámok, védőeszközök, védőruházatok kialakításával, az alkalmazandó tesztelési környezettel, illetve módszerrel számtalan különböző szabvány foglalkozik. Ezen szabványok azonban eltérő mértékben definiálják a FAM eszközök tesztelési környezetét. Az egyik legkevésbé definitív szabványnak mondható a nagyfeszültségű FAM tevékenységgel és annak különböző területeivel foglalkozó szabványok közül az általunk is vizsgált IEC60895-2020, amely a FAM beavatkozás során viselendő vezetőképes védőöltözetek kezelését és laboratóriumi tesztelési követelményeit taglalja. A szabvány többek között rendelkezik a védőruházatok gyártást követő úgynevezett átvételi, valamint az azt követő periodikus vizsgálatok környezetéről is, melyek során a védőruházatok hatékonyságát is vizsgáljuk, azaz, hogy a védőruházat milyen mértékben csökkenti a FAM tevékenységet végző személyre ható villamos teret.

A TDK dolgozatunkban bemutatott vizsgálatunk célja, hogy rámutassunk, a szabványban leírt vizsgálati módszerek egyes sarkalatos pontjainak megváltozása ráhatással van-e a kapott mérési eredményekre, és amennyiben igen, akkor mekkora mértékben. Emellett arra is kerestük a választ, miként lehetne ezen mérési pontatlanságok mértékét csökkenteni, mik azok a változtatások, amelyek a vizsgálatok megismételhetőségét javítanák.

## 2 Abstract

Nowadays, as a result of the ever-increasing utilization of the electricity network, system controllers are less and less able to allow even a small part of the transmission line network to be turned off for maintenance. As a result, the value of Live Line Maintenance (LLM for short) increases, with which it is possible to repair live transmission lines. The working methods of the LLM on transmission lines operating at different voltage levels also differ, among other things due to the difference in the infrastructure, such as the height of the poles used, or the mechanical load capacity of the wires and insulators, but the mandatory protective distances are also different, which is also decisive from the point of view of the applicable technologies. At low voltage, we can mostly talk about contact work, i.e., the worker is protected during work by insulating devices and clothing (e.g., electrically insulating rubber gloves) against parts with different potentials. At medium voltage, the remote working method is the most common, where the interventionist works at a specified distance from the potential parts (at a distance greater than the minimum insulation distance applicable at the given voltage level) with remotely operated tools mounted on insulating rods. At high voltage, the on potential work method is primarily used. During this, the worker wears conductive protective clothing and comes into direct electrical contact with the conductor, working on its potential.

Countless different standards deal with the design of tools, protective devices, and protective clothing used at different voltage levels, the applicable testing environment and methods. However, these standards define the testing environment of LLM devices to a different extent. One of the least definitive standards among the standards dealing with high-voltage LLM activity and its various areas is IEC60895-2020, which we also examined, which discusses the management and laboratory testing requirements of conductive protective clothing to be worn during LLM. Among other things, the standard also provides for the environment of the so-called acceptance of the protective clothing after production, as well as the subsequent periodic tests, during which we also examine the effectiveness of the protective clothing, i.e., the extent to which the protective clothing reduces the electric field affecting the person performing LLM activities.

The purpose of our investigation presented in our TDK thesis is to point out whether the changes in certain key points of the test methods described in the standard have an effect on the obtained measurement results, and if so, to what extent. In addition, we also searched for the answer to how these measurement inaccuracies could be reduced, and what changes could be made to improve the repeatability of the tests.

### 3 Bevezetés

Napjainkban a feszültség alatti munkavégzés elengedhetetlen a villamos-energia hálózat rendelkezésre állásának maximalizálásához. A munkavégzéshez szükséges a dolgozó számára a biztonságos munkakörnyezet kialakítása. Alacsony feszültségen a dolgozó szigetelt kesztyűt használ a feszültség alatt lévő vezeték karbantartásához. Ezek elszigetelik a dolgozót az eltérő potenciál alatti részekről. Középfeszültségen a dolgozók szigetelő rudakat használnak és ezekkel a távolból végzik a munkát. A rudak elég hosszúak, hogy a szerelőt megvédjék a feszültség alatt álló részekről. Nagyfeszültségen potenciál alatti munkavégzés módszerét használják, ami során a munkavégző beöltözik vezető ruhába és a feszültség alatt álló részek potenciáljára emelik, így közvetlen elektromos összeköttetésben tud dolgozni a feszültség alatt álló részekkel.

Az International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) a munkavégzőt érhető elektromos teret 10kV/m értéken maximalizálta, ezt viszont a távvezetékek vagy feszültség alatt álló berendezések közvetlen közelében nem lehet biztosítani, viszont a megfelelő vezető ruha Faraday-kalitkaként viselkedik, így a benne dolgozót megvédve a káros villamos terektől.

A vezető ruha viszont gyakorlatban nem biztosít 100% védelmet. A valóságban kialakuló Faraday lyukak és bizonytalanságok miatt. Ezek miatt szükséges a ruhát vizsgálni, hogy megfelelő mértékben véd-e a villamos terek ellen.

Az IEC 60895:2020 Live working – Conductive clothing és az ennek megfelelő MSZ EN 60895 szabványban a vezető ruházat gyártási és éves vizsgálatáról olvashatunk részletesen. Az itt leírt mérések alapján lehet mérési összeállítást készíteni a ruha hatékonyságának mérésére.

Az eredményeket viszont befolyásolják a szabványban található pontatlanságok. A szabvány folyamatosan változik az újabb kutatások alapján. Az itt leírt mérések viszont számos helyen pontatlanok. A továbbiakban ezt próbáljuk meg vizsgálni, hogy adott mérési paraméterek változtatása miként hat a mérési eredményekre, illetve milyen szórást eredményez azokban.

## 4 IEC 60895:2020 szabvány

A szabvány célja, hogy meghatározza azokat a paramétereket, amelyeket feszültség alatti munkavégzéshez használt ruházatnak el kell érnie. Az ezeknek a paramétereknek megfelelően elkészített ruha védje a használóját a nagy elektromos terek ellen a távvezetékek közelében. Ezentúl bizonyos mértékig védenie kell az ívtől és a hőtől is.

A szükséges mérések annak ellenőrzésére szolgálnak, hogy a ruhák ellenállása elég alacsony ahhoz, hogy az áram a ruhákban, nem pedig a testben folyjon. Ez egyszerű ellenállásméréssel történik a ruha részei között. Egy másik mérőszám az ernyőzési hatékonysága, amely megmutatja, hogy a ruhák mennyire jól működnek Faraday ketrecként, megjelenítve a test és a ruházati áramok közötti arányokat. Ezeket a paramétereket legalább évente ellenőrizni kell, hogy a ruhák jó állapotban maradjanak. A ruhák tervezésénél azonban több mérésre van szükség, amelyek meghatározzák a ruhák mechanikai szilárdságát, hőállóságát.

Az ernyőzési hatékonyság vizsgálatára a szabvány két módszert ír le.

### 4.1 A feszültség alatti munkavégzéshez használt vezetőképes ruha mérésének első módszere

Az első módszert az 1. Táblázatban meghatározott maximális fázis-föld ipari váltakozó feszültséggel kell végrehajtani vagy az ennek megfelelő egyen értékű egyenfeszültséggel.

1. Táblázat - Maximális fázis-föld vizsgálati feszültség a vezetőruházat maximális feszültségosztályának megfelelően

Osztály	AC feszültség (kV RMS)
1	462
2	578

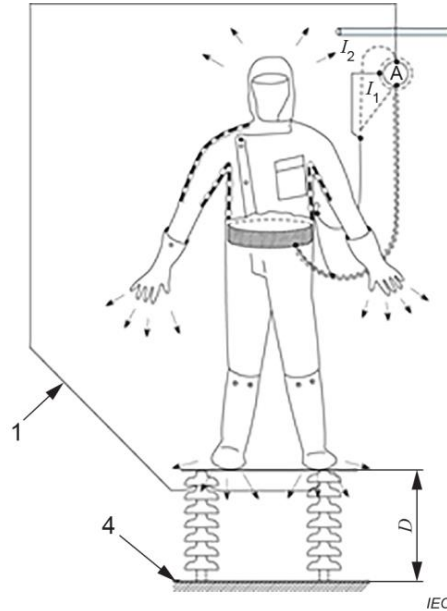
A föld (elektromos földelés) D távolságra kell legyen méterben, a következő képlettel megadva (a képletben szereplő értékek a tűrés  $\pm 2\%$ -a):

$$D = \frac{U_{teszt}}{100} + 0.5 \quad (1)$$



Ahol  $U_{teszt}$  a teszt feszültség és mértékegysége KV.

A képen mutatott szigetelést vagy szilárd szigetelő, vagy levegő segítségével kell megoldani.



1. Ábra - Első mérési elrendezés, bábu szilárd szigetelővel alátámasztva

Az 1. Ábra az egyes metódus összeállítását mutatja, ahol a bábu tömör szigetelő-alátámasztással van rögzítve, D magasságban. A bábu elektromosan vezető anyagból készült és rajta helyezkedik el az öv, amin mérjük a testáramot. Erre, pedig egy szigetelő ruhát szükséges húzni, ami elszigeteli a vezető babát a mérendő vezető ruhától.

A (2)-es képletben az  $I_2$  a testáramot  $I_1$  a ruhaáramot jelenti amit két kábellel mérünk a villamos térbe helyezett ruhán.

A ruha hatékonysága decibelben:

$$ECC = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (2)$$

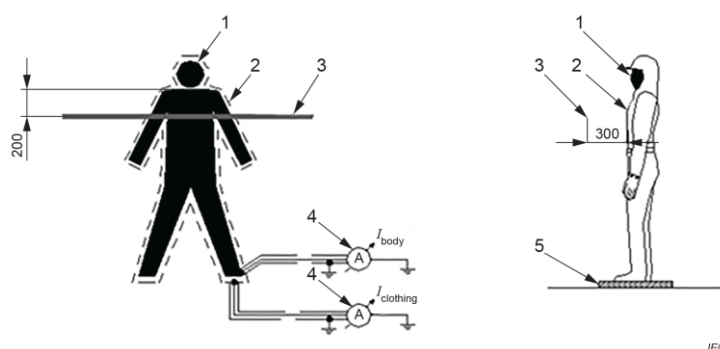
A (2) képletet használva a 2-es táblázatban meghatározott értékeket kell elérni a ruhának, hogy megfelelően feszültség alatti munkavégzésre.

2. Táblázat - Minimális ernyőzési hatékonysága vezető ruházatnak

Osztály	ECC (dB)
1	40
2	50

## 4.1 A feszültség alatti munkavégzéshez használt vezetőképes ruha mérésének második módszere

A másik módszer az ernyőzési hatékonyság mérésére, itt a baba egy feszültség alá helyezett vezető előtt áll, amely 100 kV/m amplitúdójú radiális homogén elektromos teret hoz létre.



2. Ábra - 2. módszerű hatékonyság mérés

Ebben az esetben a testáramot és a ruházati áramot egymástól külön mérjük. Ezzel a módszerrel pontosabban tesztelhető a teljes ruha –beleértve az archálót is– hatékonysága, mint az első módszerrel.

$$ECC = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{I_{ruha} + I_{test}}{I_{test}} \right) \quad (3)$$

3. Táblázat – A 2. módszerhez tartozó paraméterek, valamint a minimális ernyőzési hatékonyság

Osztály	Távolság (mm)	Vezető minimum átmérője (mm)	AC feszültség (kV RMS)	ernyőzési hatékonyság (dB)
1	300 <sup>+30</sup>	40	30	40
2	300 <sup>+30</sup>	40	30	50

## 5 A kutatás háttere

A tesztek hat próbababával végeztük a vezetőképesség ruházat mérésére. A testáramok mérésére a próbababa felületeként különböző vezetőképességű anyagokat használtak, például vezetőképességű ruházatot, vezetőképességű festéket és alumíniumfóliából készült vezetőréteget.

A próbababák különböző méretűek, így minden ruhadarab lemérhető a megfelelő méretű próbababánál.

4. Táblázat – Próbababák mérete és a vezetőképességű réteg típusa

Próbababa	Méret	Vezetőképességű réteg típusa	Ábra
A	S	vezetőképességű öltözet	15. Ábra
B	M	vezetőképességű öltözet	14. Ábra
C	M	vezetőképességű öltözet	16. Ábra
D	L	vezetőképességű öltözet	17. Ábra
E	M	alumíniumfólia-réteg	13. Ábra
F	XL	vezetőképességű festékréteg	18. Ábra

Háromféle nem vezető ruházatot használnak a vezetőképességű próbababa felülete és a vizsgált vezetőképességű ruházat között, hogy elszigeteljék őket. Az „A”, „B”, „D” és „E” próbababák első rétegeként használtak „fekete ruha” 84% poliészterből és 16% elasztánból áll. A „C” próbababán egy nem vezetőképességű antisztatikus védőruha található. A festett „F” próbababán pedig csak egy réteg fehér 100% pamut ruha van. Ugyanazt a (fehér) pamutruhát használták arra, hogy a nem vezető rétegek számát háromra növeljék minden próbababában.

5. Táblázat - 1 szigetelő réteges elrendezések

Elrendezés azonosító	A1	B1	C1	D1	E1	F1
Próbababa	A	B	C	D	E	F
Vezetőképes réteg	vezetőképes öltözet	vezetőképes öltözet	vezetőképes öltözet	vezetőképes öltözet	alumínium réteg	festék réteg
Szigetelő réteg	Fekete sí aláöltözet	Fekete sí aláöltözet	zöld munkaruházat	Fekete sí aláöltözet	Fekete sí aláöltözet	Fehér pamut öltözet

6. Táblázat - 3 szigetelő réteges elrendezések

Elrendezés azonosító	A3	B3	C3	D3	E3	F3
Próbababa	A	B	C	D	E	F
Vezetőképes réteg	vezetőképes öltözet	vezetőképes öltözet	vezetőképes öltözet	vezetőképes öltözet	alumínium réteg	festék réteg
Elsődleges szigetelő réteg	Fekete sí aláöltözet	Fekete sí aláöltözet	zöld munkaruházat	Fekete sí aláöltözet	Fekete sí aláöltözet	Fehér pamut öltözet
Másodlagos és harmadlagos szigetelő réteg	Két további „fehér öltözet” pamutból mind a 6 próbababa esetében					

## 5.1 Vezetőképes ruha

Méréseink során négy különböző típusú vezetőképes ruházatot használunk. A négy vezetőképes ruha közül kettőnek van archálója, míg a másik két ruházat nem rendelkezik vele.

## 5.2 MÉRŐESZKÖZÖK

A szabványban a nagyfeszültségű elektróda a vezetőruházat, a próbababa pedig a földtől szigetelt. Esetünkben azonban a szabvány kiegészítőjét használjuk. Ez azt jelenti, hogy a próbababa földelve van, és az (1) egyenletben leírt távolságban lévő elektróda nagyfeszültségű. A fáziselektroda 1x1 méter, hogy hozzávetőleg homogén elektromos mezőt hozzon létre.

A mérésekhez használt eszközök és berendezések:

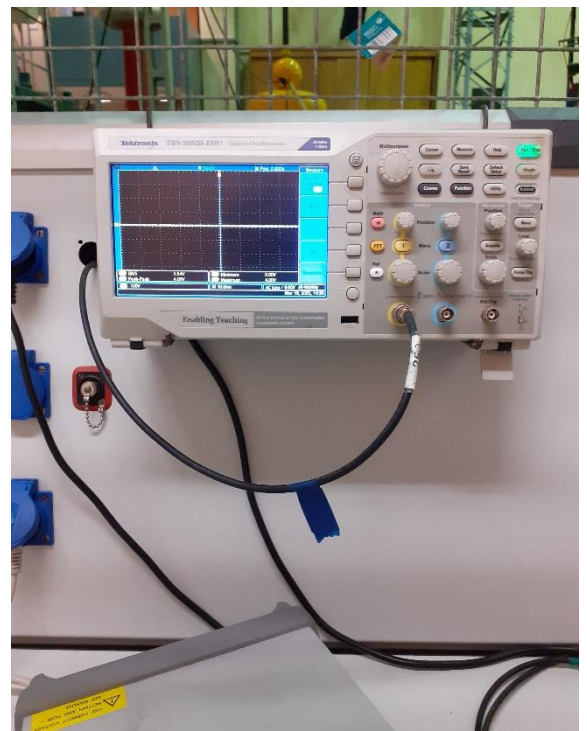
<b>A mérőberendezések és műszerek típusa és sorozatszáma</b>	<b>A mérőműszer mérési bizonytalansága</b>
KEYSIGHT 34460A multiméter S/N: MY53101523	$\pm (0.10 \% \text{ of leolvasási} + 0.04 \% \text{ of skála})$
250 kV GANZ T50/250 transzformátor, S/N: 41741	NA
TUR MCF60/300PN kapacitív feszültség osztó S/N: 863995	NA
Tektronix TDS1002B oszcilloszkóp S/N: C057423	NA
Fázis elektród 1x1 m	NA
Szivárgási áram multiplexer	NA



**3. Ábra - 250kV Ganz transzformátor és az 1:20000 osztású kapacitív feszültségosztó**



5. Ábra – A mérésekhez használt síkeletród és platform



4. Ábra - Méréshez használt eszközök (bal oldalon a multiméter, mellette a multiplexer, míg jobb oldalt az oszcilloszkóp)

## 6 Eredmények

Ebben a bekezdésben a mérések eredményeit mutatjuk. A mérés bizonytalanságát hét szempontból vizsgáltuk:

- Szigetelés minősége
- Vezetőképes réteg a próbababában
- A próbababa mérete
- Az archáló elhelyezése
- A testáram csatlakozásának elhelyezése
- Különböző kábelek használata
- Állandó vagy változó elektródamagasság

**Minden mérés kétszer került elvégzésre,** független csoportok által független időben.

**Megjegyzés:** A mérési tartományon kívüli értékeket 99 dB-ként jelezték a ernyőzési hatékonysági tesztek!

### 6.1 A szigetelés hatása

#### 6.1.1 Bevezetés

A szabvány nem írja le a vizsgált vezetőképes ruházat és a vezető próbababa között használt szigetelőréteg dielektromos tulajdonságait. A feltételezés az volt, hogy a próbababa és a vizsgált ruha között több szigetelő réteg alkalmazása befolyásolhatja a mérési eredményt, ezáltal bizonytalanabbá teheti a végeredményt.

Ebben a részben azt próbáltuk megnézni, hogy milyen változások következnek be több réteg hozzáadásával, ezáltal növelve a szigetelés ellenállását a mért ruha és a vezető próbababa között.

#### 6.1.2 A mérés elrendezése és módszere

A teszthez a következő mérési elrendezést állítottuk össze: (19. Ábra)

A próbabababát a mérőtérben 15 cm magas szigetelőlapra helyezzük. Fölötte 175 cm magasságban a méréshez használt síkelektroda található.

Az elektród távolság a szabványból került kiszámolásra az általunk használt legnagyobb feszültség alapján, mely 125kV ( $D = \frac{U_{test}}{100} + 0.5$ ).



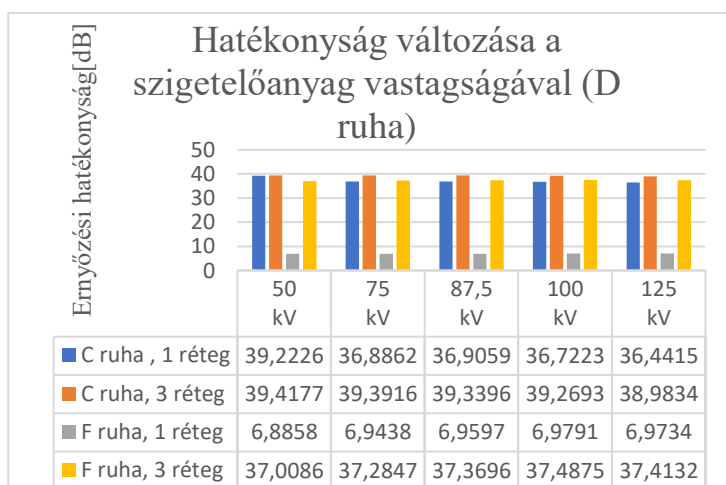
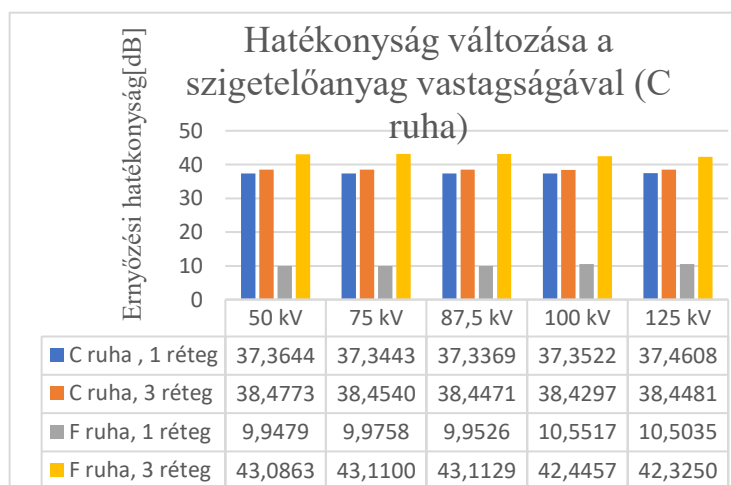
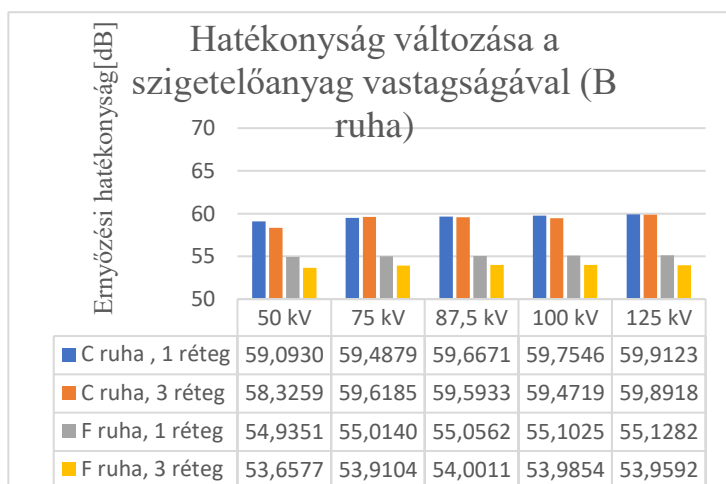
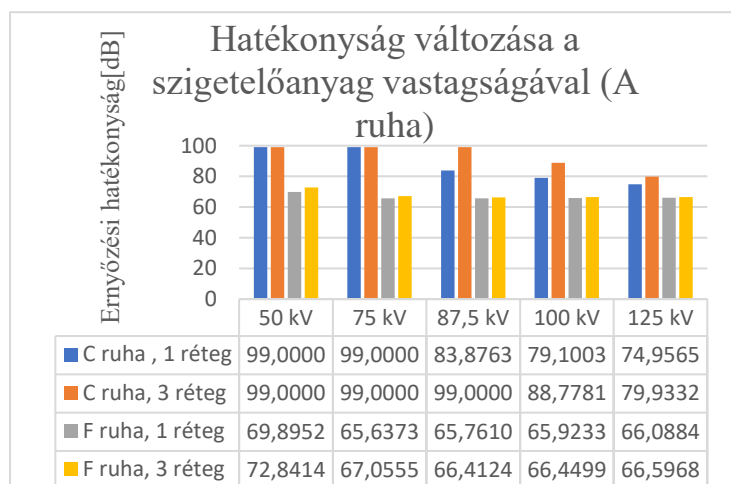
A mérés:

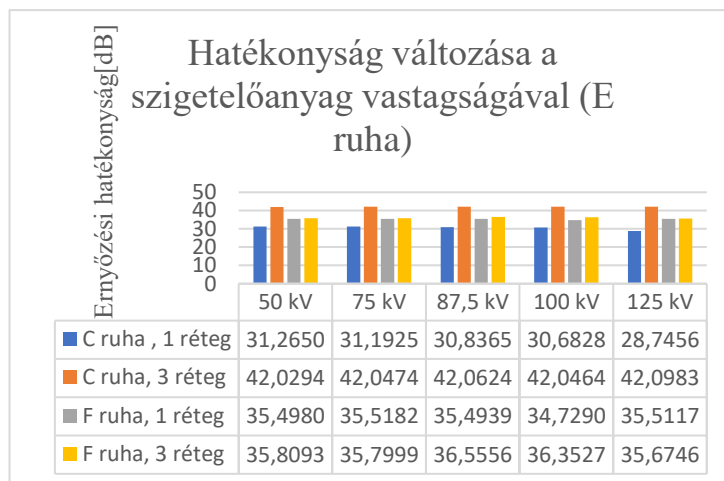
A mérést mind a négy ruhán elvégeztük „C1”, „C3”, „F1”, „F3” mérési összeállításban, azaz az összes ruha le lett mérve 1 és 3 réteg szigetelő réteg használata mellett.

A feszültség szintek, pedig az alábbiak voltak:

- 125kV
- 100kV
- 87,5kV
- 75kV
- 50kV

### 6.1.3 Mérési eredmények





## 6.1.4 Konklúzió

Várható volt, hogy három réteggel jobban teljesítenek a ruhák, mert jobb a szigetelés a testet imitáló vezetőréteg és a vizsgált ruha között. Az egyes ruhadarabok többszöri tesztelése után az eredmények azt mutatják, hogy az elrendezés változtatásából adódó változások maximum 2-3 dB eltérést eredményeztek. Az eltérések általában pozitív irányba mutatnak, de nem mindig.

Az elrendezés azonban rámutatott a mérés egyéb bizonytalanságaira is. Ha a festett próbababa mérése során az arc vezetőrétegét nem fedik le, akkor archáló nélküli ruha esetében a mért értékek akár 20-30 dB-lel is csökkenhetnek. Ami azt jelenti, hogy ha az arcot szigetelőréteg borítja, akkor teljesíti 1. osztály paramétereit, de ha nem, akkor a ruha megbukik a vizsgálaton.

Az eredmények nem az elő vártak szerint alakultak, a jobb szigetelőrétegnél jobb értékeket vártunk, azonban a mért változások jelentéktelenek voltak.

A mérések tükrében a jövőben meg kell vizsgálni a test áramát reprezentáló vezető réteg fedettségét és oda kell figyelni rá, hogy a test minden pontján, különösképp az arcnál mindenképpen fedve legyen.

## 6.2 Vezető próbababa használata

### 6.2.1 Bevezetés

Ez a mérési sorozat azért került be a tanulmányba, mert a szabvány nem írja le egyértelműen, hogy a testáramot hogyan kell ábrázolni a mérési elrendezésben.

Jellemző módszer a vezetőképes ruházat használata, de ezeken kívül számos alternatív anyag is használható, mint például alufólia vagy kifejezetten erre a célra készült vezetőképes anyaggal festett próbababa.

Azt azonban nem tudjuk, hogy ezek a változások mennyire befolyásolják a mérési eredményeket.

A következő mérésekben összehasonlítjuk a három vezetőképes anyagot egy ruházattal oldalról oldalra, minden feszültség szinten.

## 6.2.2 Mérési összeállítás

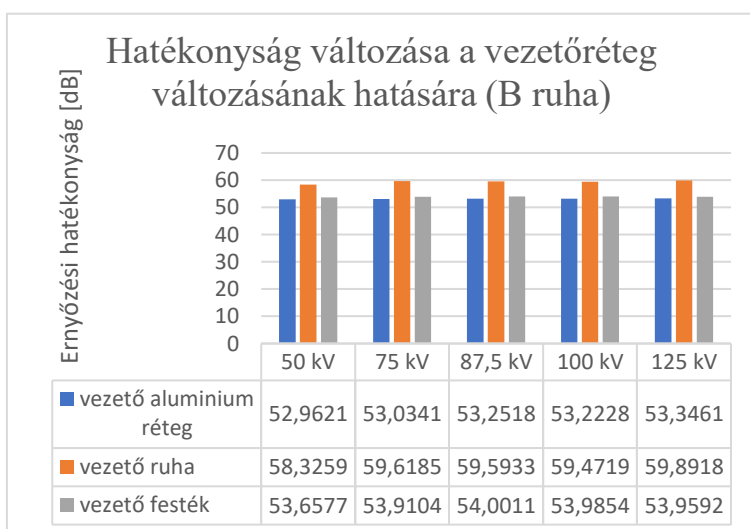
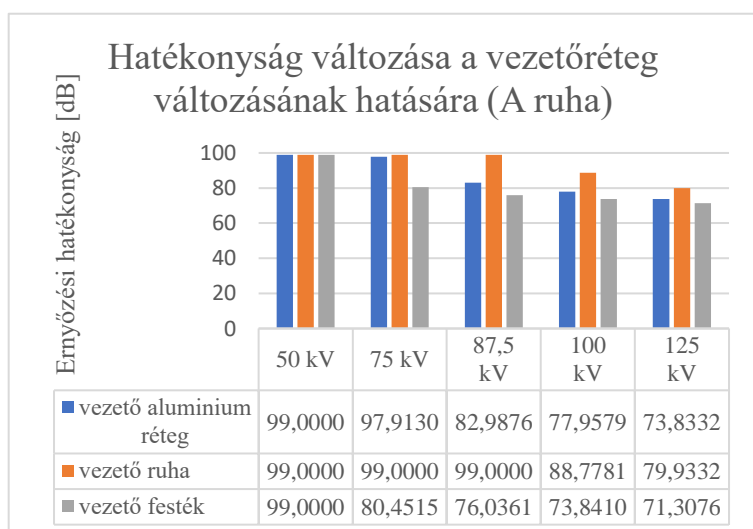
A próbababát a mérési területen 15 cm magas szigetelő felületre helyezük, felette 175 cm magasan a síkelektrodára kötjük az adott feszültséget.

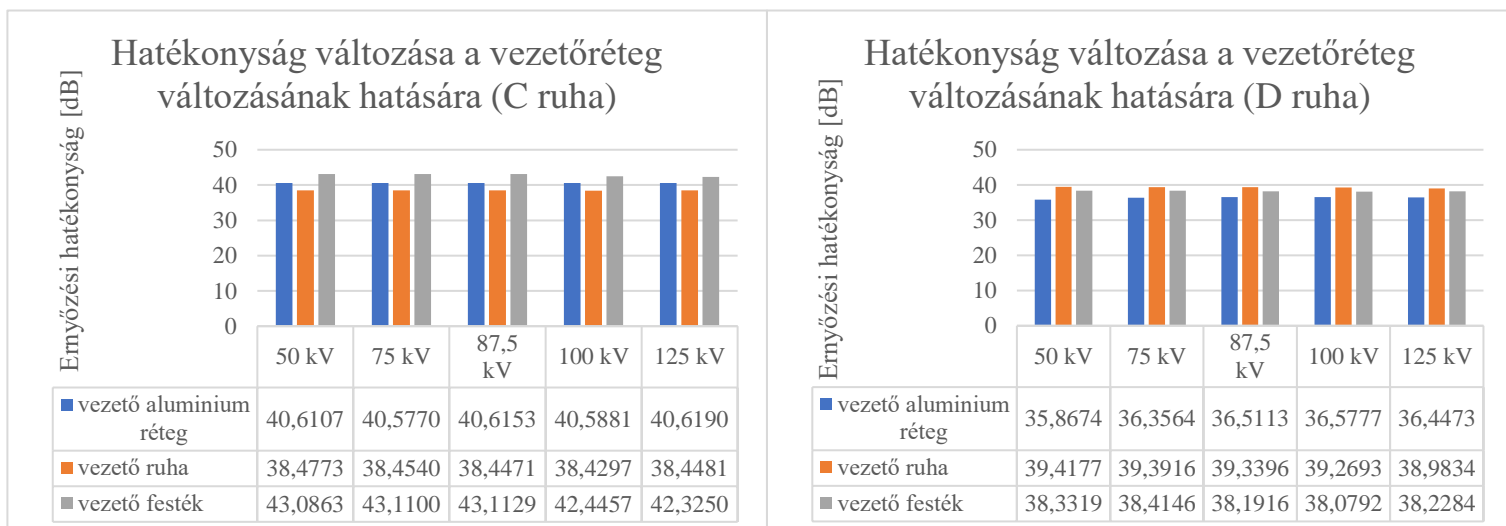
Valamennyi mérés során a vezetőréteg fölé három szigetelőréteg került, hogy kiküszöböljük az előző fejezetben felfedezett jelenséget, miszerint egy fedetlen festett arcú próbababa az archáló nélküli ruhák nagyságrendekkel rosszabbul teljesítenek.

Mérés:

A mérés során mind a négy ruhával mértünk, és mindegyiken teszteltük, hogy a vezető anyag változása mekkora különbséget jelent.

## 6.2.3 Mérési eredmények





## 6.2.4 Konklúzió

Az eredmények azt mutatták, hogy az archálóval ellátott ruhák (A és B ruha) esetében a vezető ruházat sokkal magasabb ernyőzési értéket mutatott. A különbségek 5-10 dB tartományban voltak.

Ezzel szemben az említett arcvédelemmel nem rendelkező C és D ruhák jellemzően gyengébb teljesítményt nyújtottak a mérés során a vezető ruházattal, és valamivel jobb, vagy legfeljebb azonos értékeket mutattak a festett vagy alumíniumba burkolt próbababánál.

Ha összehasonlítjuk a vezetőképes festéket és az alumínium burkolatot, akkor a vezetőképes festék jellemzően valamivel magasabb értékeket mutatott.

A vezetőképes festéktől magasabb értékeket vártunk, mert ilyen mérésekre készült, és nagyon alacsony az ellenállása. Kiderült, hogy hasonló értékeket ad, mint a többi ruha, ellentétben azzal, amit vártunk.

Úgy tűnik, hogy a változások sztochasztikusabbak, mintsem valami pontos változásra utalnak.

## 6.3 A próbababa méretének hatása

### 6.3.1 Bevezetés

A szabvány nem írja le pontosan, hogy egy adott méretű ruhához milyen méretű próbababa használható.

Feltételezhető, hogy a nem megfelelő méretű próbababa kiválasztása eltéréseket okozhat a vizsgált ruhadarab eredményeiben.

Egy nagyobb méretű ruha egy kisebb méretű próbababán sokkal több felületet takar.

Emellett az átfolyó kapacitív áramok is eltérőek lehetnek, mert eltérő a felület, és ez befolyásolja az elrendezés kapacitását.

Ezek a különbségek több bizonytalanságot adhatnak a méréshez, mint amennyit a szabvány megengedne.

### 6.3.2 Mérési összeállítás

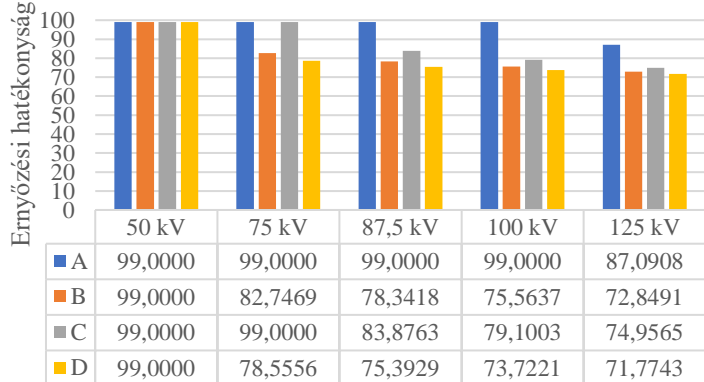
A próbababa egy 15 cm magas szigetelőplatformra van állítva, felette 175 cm magasságban egy 1x1 m-es elektróda található, amelyre nagyfeszültséget kapcsolunk, ezzel létrehozva azt az elektromos mezőt, amelybe a vizsgált ruhadarab kerül.

Mérés:

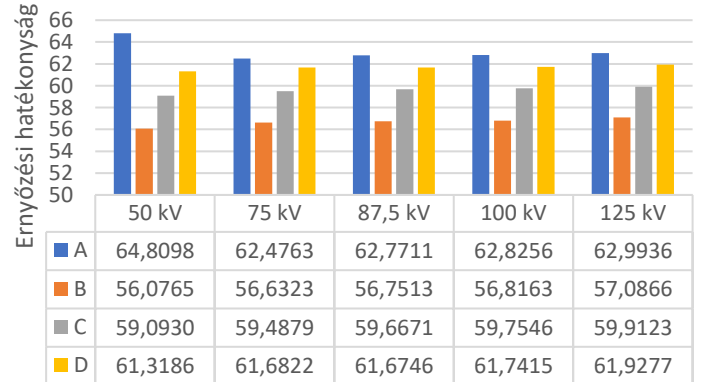
A mérést mind a négy ruházattal, „A1”, „B1”, „C1”, „D1” próbababa elrendezéssel végezzük.

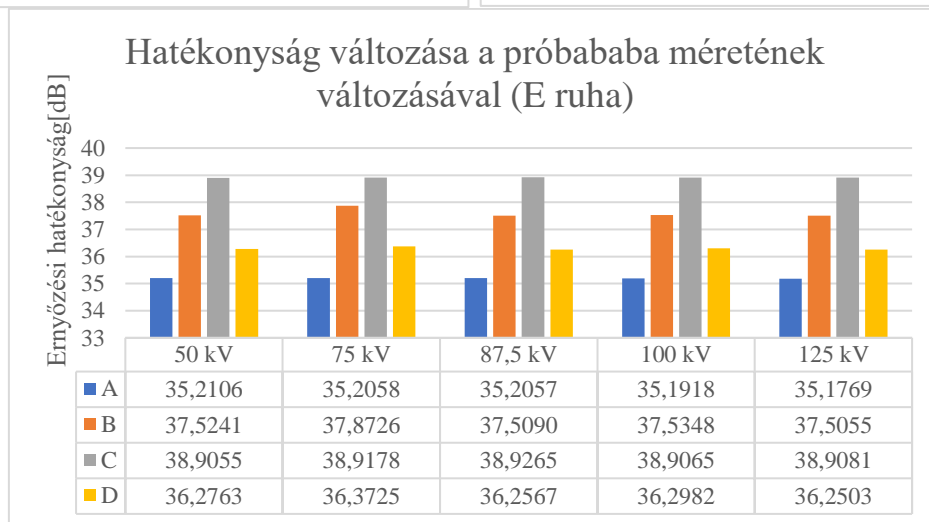
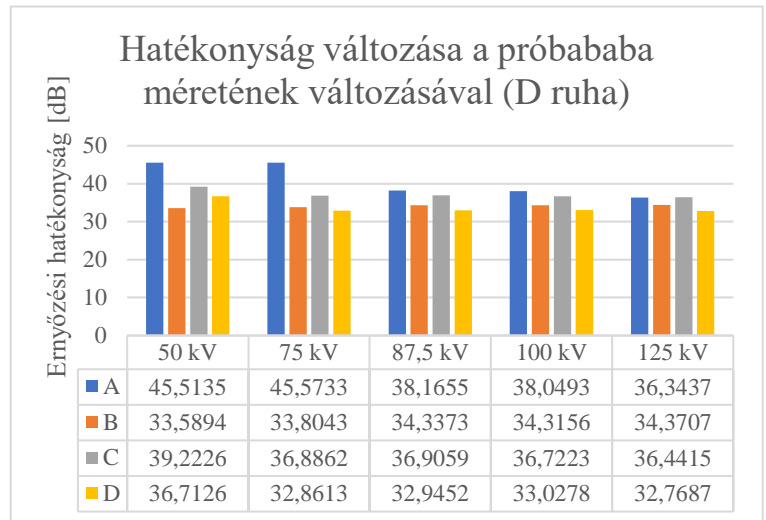
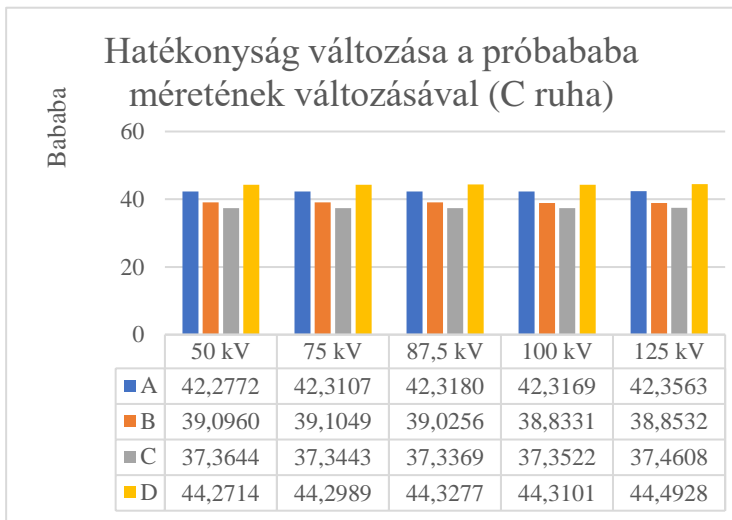
### 6.3.3 Mérési eredmények

Hatékonyság változása a próbababa méretének változásával (A ruha)



Hatékonyság változása a próbababa méretének változásával (B ruha)





### 6.3.4 Konklúzió

Ha megváltoztatjuk a próbababa méretét, a kapacitív áramok aránytalanná válnak, és ez az eredményeket rosszabbá és következetlenebbé teszi. Az alábbi egyenletből láthatjuk, hogy a ruházat felülete hatással van a kapacitására:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{d}{A} \quad (4)$$

C – Kapacitás a ruhák és a talaj között

$\varepsilon_0$  – A vákuum elektromos permeabilitásának állandója

$\varepsilon_r$  – Anyagok elektromos permeabilitásának állandója  $\varepsilon_0$ -hoz képest, levegőben  $\varepsilon_r=1$

d – Az elektródák közötti távolság

A – a ruha felülete

$$I_c = c \cdot \frac{du}{dt} \quad (5)$$

$I_c$  – kapacitív áram, a ruházat árama.

$c$  – A ruhák kapacitása

$du/dt$ - Feszültségváltozás

A kapacitás lineáris kapcsolatban áll a ruhákban folyó áramokkal.

Várható volt, hogy ha egy nagyméretű ruhát egy kis próbababare helyezünk, mivel az sokkal nagyobb felületet fed le a próbabababán, mint egy megfelelő méretű ruha, az magasabb ernyőzési hatékonysági értékeket produkál.

A valóságban úgy tűnt, hogy a legkisebb próbababa akkora aránytalanságot eredményezett, hogy a ruhák lényegesen jobb értékeket produkáltak, mint a többi próbababa.

Úgy tűnik, a kisebb méretbeli eltérések nem befolyásolják jelentősen az eredményt, de nagyobb méretbeli eltérés már elfogadhatatlan változást okoz az eredményben.

A C ruha esetében ez azt eredményezte, hogy a ruha a C próbababán vizsgálva 39 dB-lel megbukott a vizsgálaton, az A próbababa esetében viszont 54 dB-lel 2-es osztályú minősítést kapott.

## 6.4 Az archáló hatása

### 6.4.1 Bevezetés

A szabvány szerint az archáló használata csak a 2. osztályú ruhákhoz szükséges, az 1. osztályú ruhák használata esetén nem kötelező.

A szabvány azonban nem határozza meg, hogy a ruha mérése során hogyan kell elhelyezni az archálót, vagy az 1. osztályú, archáló nélküli ruha esetén mekkora lyukat kell hagyni az arcon.

Az 1. osztályú ruházati cikkek kapucnikkal és arcvédőkkel javítják ernyőzési hatékonyságukat, amelyek nincsenek meghatározva, hogy mennyire legyen szoros, vagy milyen mélyre kell lehúzni.

Az itt elvégzett tesztjeink azt mérik fel, miként befolyásolja az eredményeket, ha a ruha teljes archálóval, kapucnival vagy arcvédővel –amit félig lehúzott archálóval modelleztünk a mérések során – rendelkezik, illetve nem rendelkezik semmilyen archálóval.

A méréssorozat azt is megvizsgálja, hogy a különböző típusú ruházatok hogyan befolyásolják a mérés bizonytalanságát.

### 6.4.2 Mérési összeállítás

A próbababa egy 15 cm magas platformra kerül, rajta 5,5 cm szigeteléssel és a fáziselektroda alá, az elektróda állandó távolságban van (175 cm-rel a próbababa sisakja felett).

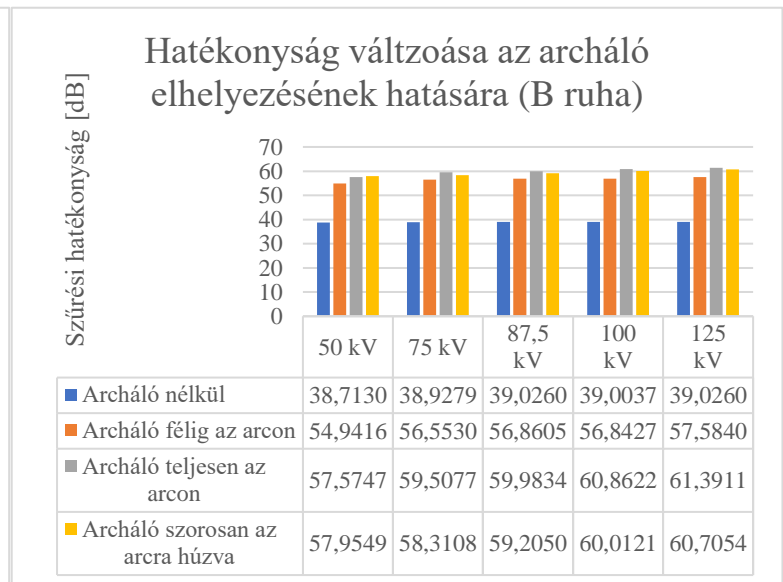
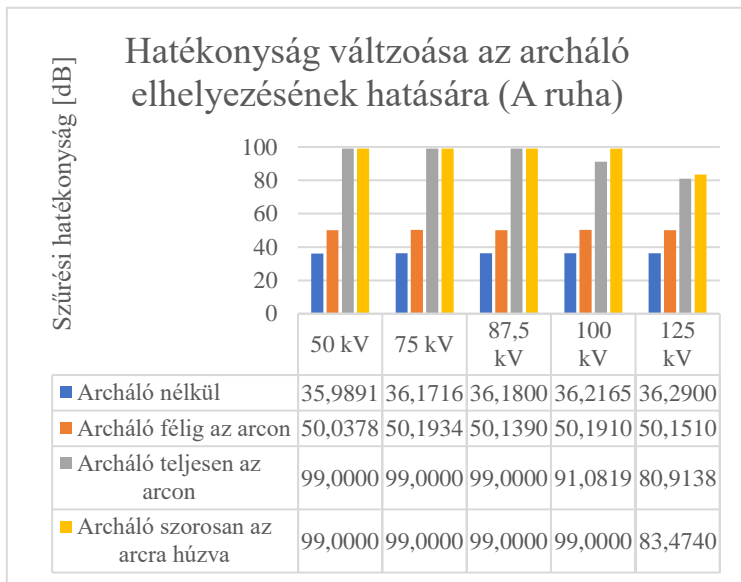
Mérés:

A mérést „C1” próbababa-elrendezésen végezzük, két, archálóval ellátott ruházattal.

Az archáló hatását a következő négy változatban mérjük:

- archáló nélkül (20. Ábra)
- az arc felét fedő hálóval (21. Ábra)
- az arcot teljesen fedő hálóval (22. Ábra)
- az arcot szorosan fedő hálóval (23. Ábra)

### 6.4.3 Mérési eredmények



### 6.4.4 Konklúzió

A szabvány szerint a 2. osztályú ruhákon az archáló használata kötelező. Az 1. osztályú ruháknál azonban nem kötelező. A ruhák Faraday-ketrecként működnek, így védik a dolgozókat a szabvány által előírtnál erősebb elektromos mezőktől. Ha az arc nincs megfelelően



fedve, Faraday-lyukak keletkeznek. Minél nagyobb a fedetlen terület, annál nagyobb a behatoló elektromos tér, és ez jelentősen csökkentheti a ruha ernyőzési hatékonyságát. Fontos, hogy archáló nélkül is megfelelő védelem biztosított legyen, és az archálóval ellátott ruha megfelelő kialakítású archálóval rendelkezzen.

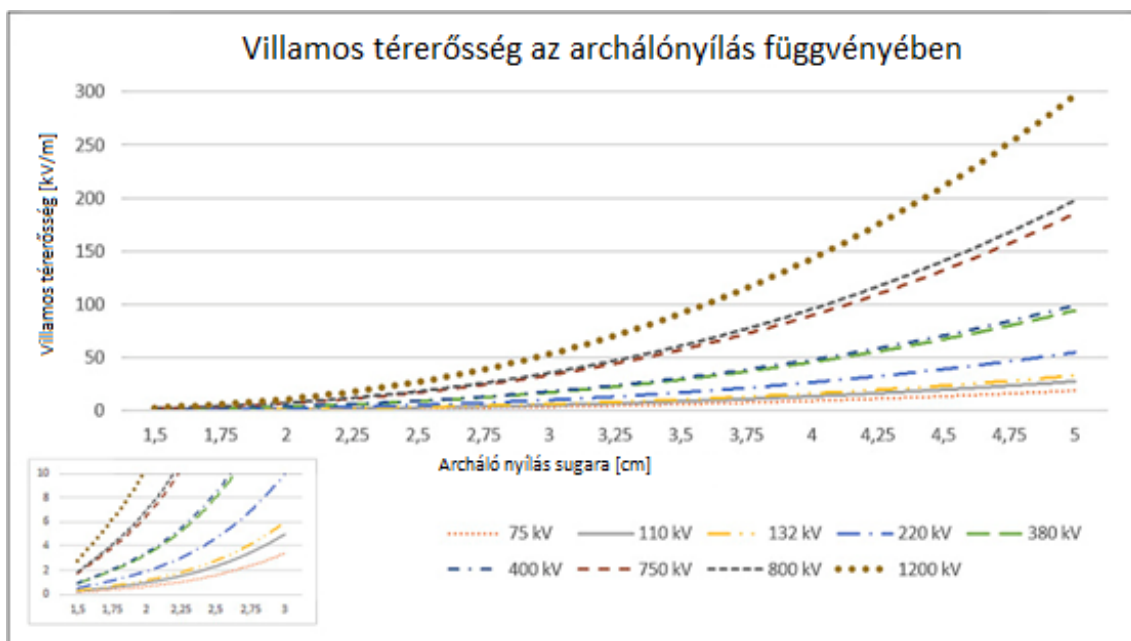
A mérés szerint az eredmények szorosan összefüggenek azzal, hogy a háló mennyire fedti az arcot, vagy mennyire feszes a kapucni a háló nélküli ruhák esetében.

Ha a kapucnit közelebb húzzuk az archoz, mint amennyire a ruházat rendeltetésszerű használatakor tennénk, ezáltal az arc szokatlan mértékben árnyékol, az eredmény irreálisan magas lehet.

Ezért nagyon fontos, hogy a csuklyát és az arcmaszkot egységesen használjuk a mérések során.

A számítások és szimulációk eredményei alapján az elektromos térerő meghaladhatja a Nemzetközi Nem Ionizáló Sugárzás Elleni Védelmi Bizottság (ICNIRP) által meghatározott határértékeket, ezért vezetőképes ruházat viselése szükséges a pusztán kézzel végzett feszültség alatti karbantartás (FAM) során. Ezek a ruhák Faraday-ketrecként működnek, de a „Faraday-lyukak” csökkentik a hatékonyságukat: ezért vannak nagy különbségek a különböző beszállítók termékei között.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű Laboratóriumában végzett mérések kimutatták, hogy az archáló alapvető szerepet játszik az elektromos tér elleni védelemben: a vezetőképes ruházat belsejében archáló nélküli elektromos térerősség meghaladhatja a határértékeket, így a dolgozók veszélybe kerülnek feszültség alatti munkavégzés közben.

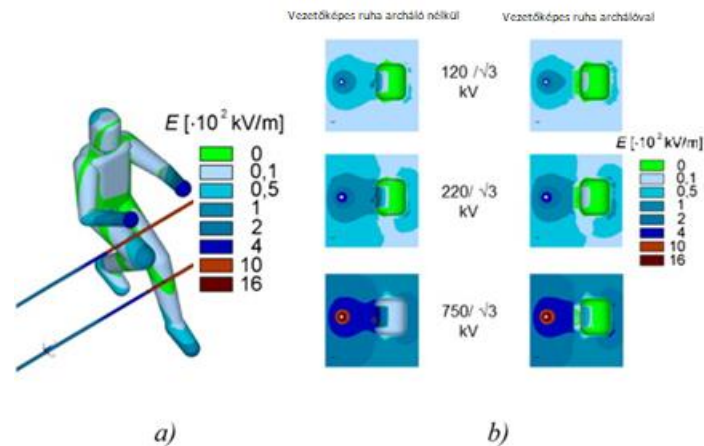


**6. Ábra - Villamos térerősség az archáló nyílás függvényében**

Az 6. Ábra - Villamos térerősség az archáló nyílás függvényében az elektromos térerősség az arc hálónyílásának függvényében látható a maximális elektromos térerősség értékek a vezeték névleges feszültségszintjének függvényében feszültség alatt álló vezető közelében: a nagyfeszültségű vezető és az arc közötti távolság 15 cm. Az ábrából megállapítható, hogy nagy nyílások esetén az elektromos mező a határértékek jelentős túllépésével veszélyeztethetik a munkavállaló biztonságát.

**7. Táblázat - Kitétségi határértékek, hétköznapi, valamint foglalkozási expozíció esetében**

Kitétség típusa	Érvényes elektromos térerősség határértékek [kV/m]
Hétköznapi expozíció (24 óra/nap)	5
Foglalkozási expozíció (max. 8 óra/nap)	10



7. Ábra - Térerősség változás az archáló használatának hatására

## 6.5 A testáram csatlakozás hatása

### 6.5.1 Bevezetés

A szabvány kimondja, hogy a mérés során minden mérőkábelt és eszközt árnyékolni szükséges, hogy a méréshez használt elektromos tér és egyéb zavarok ne befolyásolják a mérést.

Azt azonban nem említi, hogy ezt az árnyékolást hogyan kell megvalósítani. Például nincs leírva, hogy a mérés során milyen kábelt kell használni, vagy hogyan kell a csatlakozókat árnyékolni.

Az elrendezést két kábellel és több szintű árnyékolással teszteltük. (24. Ábra)

### 6.5.2 Mérési elrendezés

A próbababa egy 15 cm magas platformra kerül, rajta 5,5 cm szigeteléssel és a fáziselektroda alá, a síkelektroda állandó távolságban van (175 cm-rel a próbababa sisakja felett).

Mérés:

A mérés a „C1” próbababa elrendezésén történik.

Az első négy mérés RG58 kábellel történik, és egy ötödik mérés H155 kábellel történik.

- Testáram csatlakozás a zokniban, körülötte műanyag szigeteléssel, H155 kábellel. (26. Ábra)
- A testáram csatlakozása teljesen a műanyag szigeteléssel borított zokniban van a BNC csatlakozás körül. (24. Ábra)

- A testáram csatlakozása félig a zokniban van, körülötte műanyag szigeteléssel. (25. Ábra)
- A testáram csatlakozása ki van zárva a zokniból, körülötte műanyag szigetelés. (27. Ábra)
- A testáram csatlakozása ki van zárva a zokniból, körülötte nincs műanyag szigetelés. (28. Ábra)

### 6.5.3 RG58 kábel

8. Táblázat - Az RG58 kábel elektromos karakterisztikái

<b>Impedancia</b>	50 ± 2 Ω								
<b>Kapacitás</b>	101 pF/m								
<b>Terjedési sebesség</b>	66 %								
<b>Dielektromos szilárdság</b>	5.0 kV (RMS)								
<b>Csillapítás (100 méter szerint) Névleges</b>	<b>MHz</b>	1	10	100	200	400	700	900	1000
	<b>dB</b>	1.4	4.6	16.1	23.9	37.7	55.8	65.6	70.5

9. Táblázat - Az RG58 kábel mechanikus karakterisztikái

<b>Vezető</b>	<b>Felépítés</b>	20 AWG (19/0.18mm)
	<b>Anyag</b>	Sodrott ónozott rézhuzalok
<b>Szigetelő</b>	<b>Anyag</b>	LDPE
	<b>Vastagság</b>	1.03 mm
	<b>Külső vastagság</b>	2.95 ± 0.10 mm
	<b>Szín</b>	Természetes
<b>Árnyékolás</b>	<b>Anyag</b>	16/7/0.127 mm Ónozott rézhuzalok
	<b>Fedés</b>	95 % Min.
<b>Burkolat</b>	<b>Anyag</b>	PVC (RoHS)
	<b>Vastagság</b>	0.73 mm
	<b>Külső vastagság</b>	4.95 ± 0.20 mm
	<b>Szín</b>	Fekete

## 6.5.4 H155 Kábel

10. Táblázat - A H155 kábel elektromos karakterisztikái

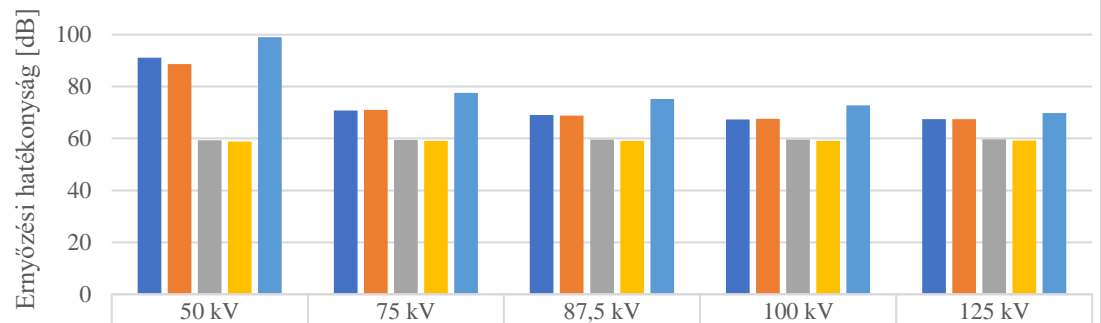
<b>Impedancia</b>		50 ± 3 Ω							
<b>Kapacitás</b>		84 pF/M							
<b>Terjedési sebesség</b>		82 %							
<b>Dielektromos szilárdság</b>		5.0 kV (RMS)							
<b>Csillapítás</b>  (100 méter szerint)	<b>MHz</b>	5	50	100	200	400	700	860	1000
	<b>Névleges</b>	<b>dB</b>	3.1	6.6	9.5	14.2	19.4	24.2	28.9

11. Táblázat - A H155 kábel mechanikus karakterisztikái

<b>Vezető</b>	<b>Felépítés</b>	20 AWG (19/0.28mm)
	<b>Anyag</b>	Sodrott ónozott rézhuzalok
<b>Szigetelés</b>	<b>Anyag</b>	LDPE
	<b>Vastagság</b>	1.03 mm
	<b>Külső átmérő</b>	3.9 ± 0.10 mm
	<b>Szín</b>	Természetes
<b>Árnyékolás</b>	<b>Anyag</b>	18/6/0.125 mm Ónozott rézhuzalok
	<b>Fedés</b>	79 % Min.
<b>Burkolat</b>	<b>Anyag</b>	PVC (RoHS)
	<b>Vastagság</b>	0.78 mm
	<b>Külső átmérő</b>	5.4 ± 0.20 mm

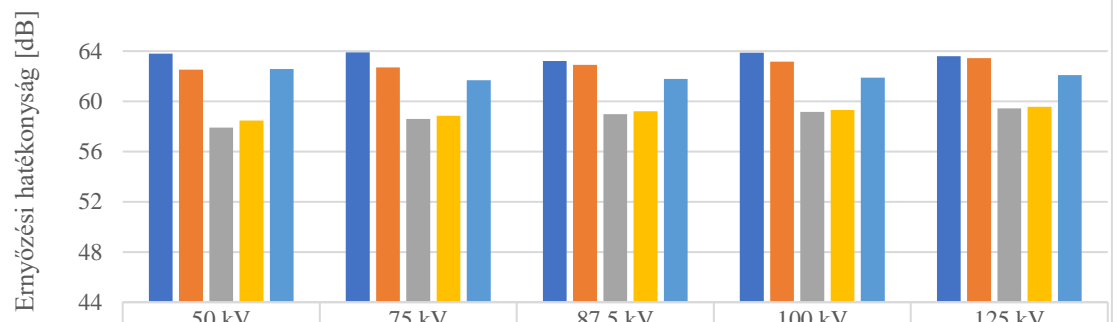
## 6.5.5 Mérési eredmények

Hatékonyság változása a test áram csatlakozó hatására (A ruha)



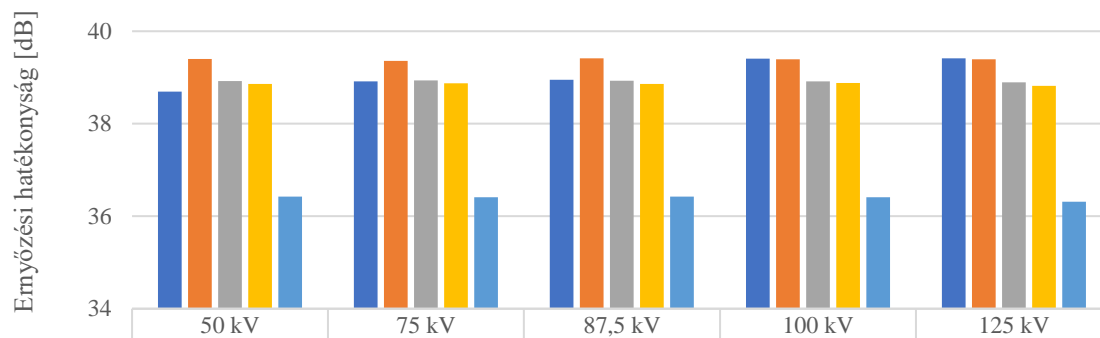
	50 kV	75 kV	87,5 kV	100 kV	125 kV
■ Csatlakozás teljesen a zokniban szigeteléssel takarva	91,1393	70,8278	69,0771	67,3846	67,4030
■ Csatlakozás félig a zokniban szigeteléssel takarva	88,6308	70,9936	68,8031	67,5805	67,4233
■ Csatlakozás a zoknin kívül szigeteléssel takarva	59,3767	59,4817	59,5785	59,6233	59,7232
■ Csatlakozás zoknin kívül takarás nélkül	58,8420	59,0343	59,1146	59,0756	59,2352
■ Csatlakozás a zokniban szigeteléssel takarva (H155 kábel)	99,0000	77,5987	75,1659	72,6970	69,8525

Hatékonyság változása a testáram csatlakozó hatására (B ruha)



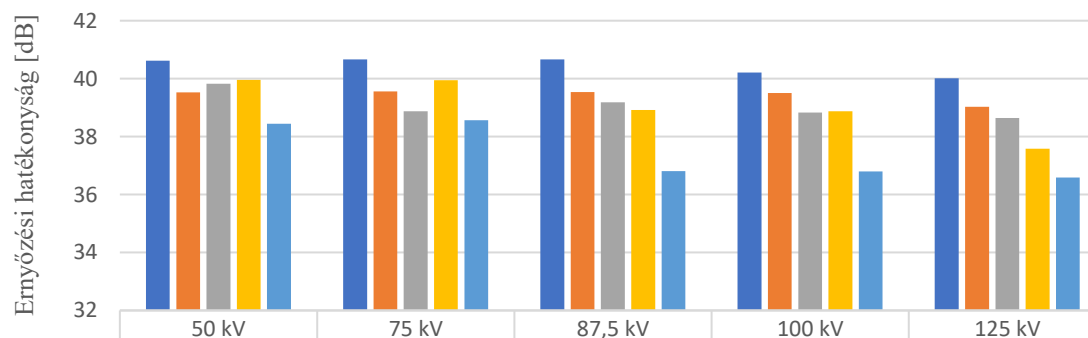
	50 kV	75 kV	87,5 kV	100 kV	125 kV
■ Csatlakozás teljesen a zokniban szigeteléssel takarva	63,7970	63,9102	63,2146	63,8833	63,6061
■ Csatlakozás félig a zokniban szigeteléssel takarva	62,5305	62,7063	62,8929	63,1629	63,4306
■ Csatlakozás a zoknin kívül szigeteléssel takarva	57,9190	58,5921	58,9740	59,1508	59,4449
■ Csatlakozás zoknin kívül takarás nélkül	58,4608	58,8493	59,2217	59,3108	59,5707
■ Csatlakozás a zokniban szigeteléssel takarva (H155 kábel)	62,5755	61,6739	61,7816	61,8942	62,0797

### Hatékonyság változása a testáram csatlakozó hatására (C ruha)



	50 kV	75 kV	87,5 kV	100 kV	125 kV
■ Csatlakozás teljesen a zokniban szigeteléssel takarva	38,6961	38,9173	38,9522	39,4093	39,4116
■ Csatlakozás félig a zokniban szigeteléssel takarva	39,3991	39,3613	39,4136	39,3914	39,3937
■ Csatlakozás a zoknin kívül szigeteléssel takarva	38,9204	38,9382	38,9272	38,9180	38,8934
■ Csatlakozás zoknin kívül takarás nélkül	38,8620	38,8724	38,8601	38,8803	38,8204
■ Csatlakozás a zokniban szigeteléssel takarva (H155 kábel)	36,4274	36,4114	36,4225	36,4113	36,3150

### Hatékonyság változása a testáram csatlakozó hatására (D ruha)



	50 kV	75 kV	87,5 kV	100 kV	125 kV
■ Csatlakozás teljesen a zokniban szigeteléssel takarva	40,6190	40,6624	40,6655	40,2125	40,0123
■ Csatlakozás félig a zokniban szigeteléssel takarva	39,5290	39,5624	39,5347	39,5000	39,0236
■ Csatlakozás a zoknin kívül szigeteléssel takarva	39,8201	38,8781	39,1859	38,8332	38,6397
■ Csatlakozás zoknin kívül takarás nélkül	39,9528	39,9502	38,9232	38,8723	37,5848
■ Csatlakozás a zokniban szigeteléssel takarva (H155 kábel)	38,4436	38,5691	36,8051	36,7924	36,5878

## 6.5.6 Konklúzió

Az eredmények azt mutatják, hogy a rosszul földelt testáram-csatlakozó ronthatja a mért ruha ernyőzési hatásfokát, mivel a zavaró áramok a testvezetékben az árnyékolatlan testáram-csatlakozón jönnek létre.

A csatlakozó árnyékolatlanul hagyása jelentős, akár 30-40 dB-es változást is okozhat.

Ez azt jelentheti, hogy a ruha megfelel a 2. osztályú minősítésnek, vagy akár meg is bukik a vizsgálaton, ami elfogadhatatlan hiba.

Még egy dolog, amire figyelni kell, hogy ha a csatlakozót úgy szükséges árnyékolni, hogy a csatlakozó a ruházaton belül legyen, akkor a csatlakozót el kell szigetelni a ruházattól, mert akkor a testben lévő áramot megzavarják a ruházati áramok.

A mérés során egy alternatív mérést is végeztünk, ahol különböző csillapítási értékű H155 kábelt használtunk.

Ez a kábel általában valamivel jobban teljesített, mint az eredeti RG58 kábel, de az eredmények túl véletlenszerűek voltak ahhoz, hogy biztosan kijelenthessük, a kábel befolyásolta a mérést.

## 6.6 A fáziselektrod hatása

### 6.6.1 Bevezetés

Ebben a bekezdésben arra a tényre koncentrálnunk, hogy a szabvány előírja a feszültség alatt álló elektróda és a próbababa közötti távolság módosítását a tesztfeszültségnek megfelelően, hogy az elektromos tér konzisztens maradjon.

Az eredmények között szerepel egy összehasonlítás, a két mérés között, ahol megváltoztattuk a távolságot, és ahol a távolság változatlan a különböző feszültség szinteken.

### 6.6.2 Mérési összeállítás

A próbababát egy 15 cm magas platformra helyezzük, 5,5 cm-es szigeteléssel és a fáziselektroda alatt, az elektróda különböző távolságban van.

Mérés:

A mérést a „C1” próbababán végezzük, mind a négy vezetőképes ruházattal.



Az elektródalemez egy darura van felfüggesztve szigetelővel a magasság könnyebb beállításához.

A távolságok kiszámításához a következő képletet használjuk:

$$D = \frac{U_{body}}{100} + 0.5 \quad (5)$$

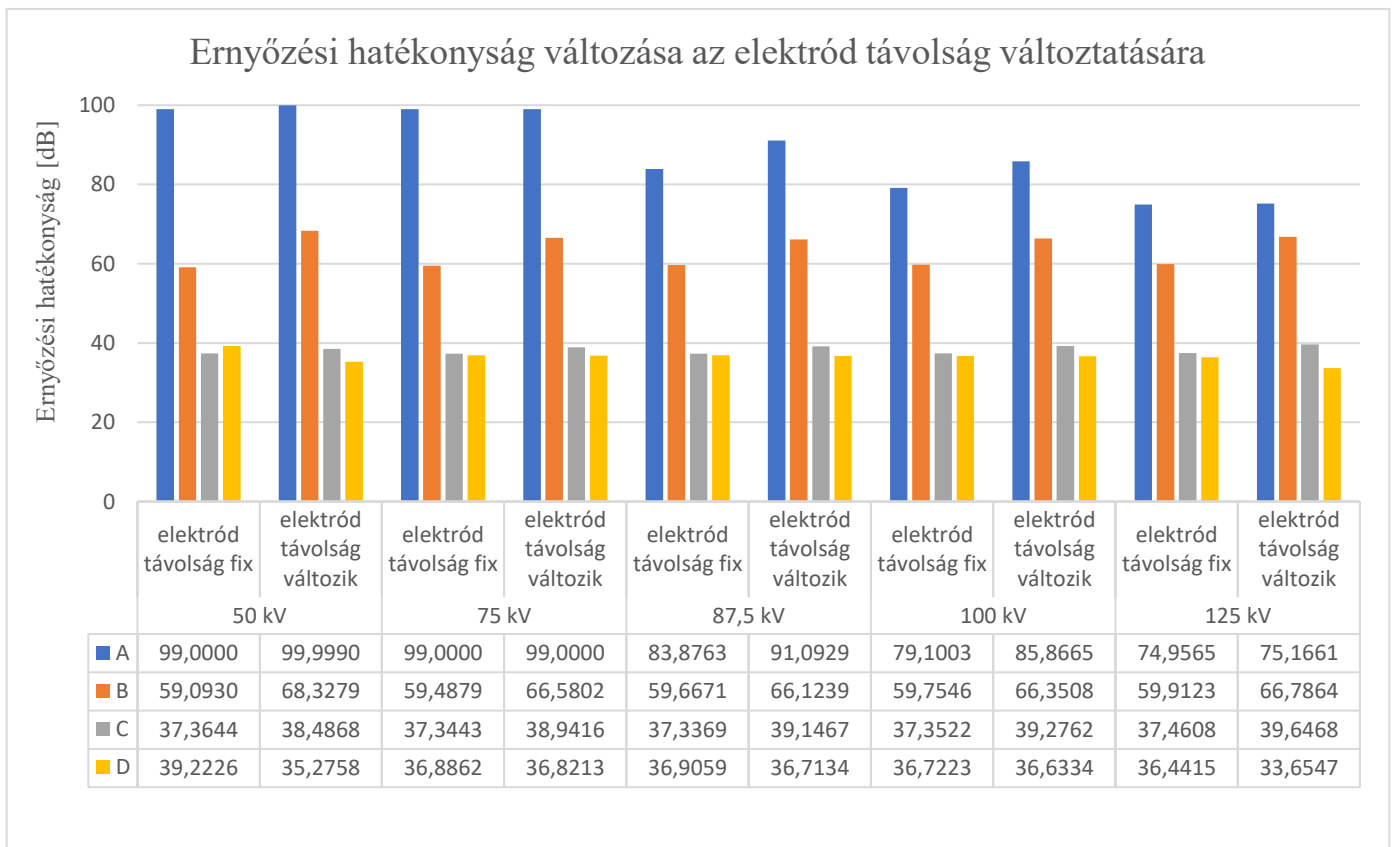
Az elektróda távolsága a feszültség függvényében kerül változtatásra:

- 125 kV – 1.75 m
- 100 kV – 1.5 m
- 87,5 kV – 1.375 m
- 75 kV – 1.25 m

Minden feszültségszinten a bal oldali értékek rögzített elektródával, a jobb oldaliak pedig a megváltozott elektródatávolságra vonatkozó eredmények.

Összehasonlításképpen azt az esetet elemeztük, amikor a mérési elrendezések megegyeztek, de a fáziselektróda rögzített távolságra (1,75 m) volt.

### 6.6.3 Mérési eredmények



#### **6.6.4 Konklúzió**

A szabvány előírása szerint a mérés során az elektróda távolságát mindig az adott feszültséghez kell igazítani, hogy a mérés során megfelelő térerősséget kapjunk.

Ha nem megfelelő távolságra van az elektróda, akkor téves eredményeket kaphatunk, például, ha alacsony feszültség szinten mérünk és ennek ellenére nagyobb feszültséghez meghatározott, távolabbi elektródaelrendezést használunk, akkor az elektromos erőter túl kicsi lesz, és ezért irreálisan jó eredményeket fognak elérni a vizsgált ruházatok.

De az is okozhat hibát, ha az elektróda túl közel van nagyobb feszültségű mérés közben.

A mérések azt mutatták, hogy a jobb minőségű, 2-es osztályú ruhák esetén az 50 kV körüli mérések elhagyhatók, mert megfelelő távolságra állított elektródával is olyan kicsi a térerősség, hogy a testáramok elhanyagolhatóak.

## **7 A feszültség alatti munkavégzéshez használt ruhának a mérését leíró szabvány**

Továbbiakban a szabvány által definiált két módszert fogjuk összehasonlítani. Eredetileg a szabványban az első módszer volt megtalálható, de ennek pontatlanságai miatt és mivel nem mutatta ki az arc környékén fellépő villamos tereket archáló hiányában, kiegészült a második módszerrel. A két módszer közötti vita esetén az első a referencia.

### **7.1 Ernyőzési hatékonyság mérésére használt 1. módszer**

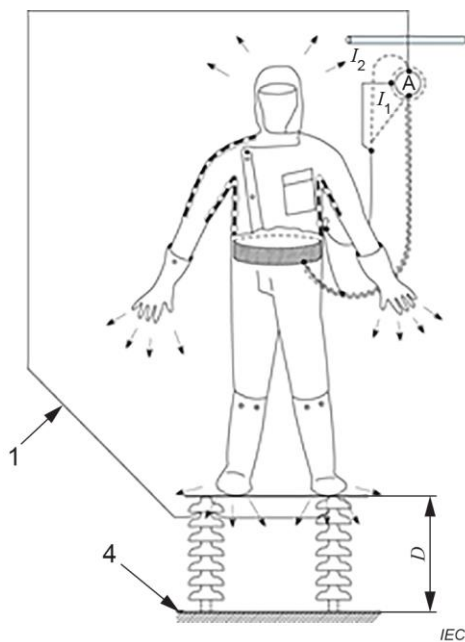
Az 1. módszer vizsgálata során a mérendő ruhát egy szigetelő platformra helyezük, amelynek a talajtól (elektromos földeléstől) mért távolsága  $D$  (az alábbi összefüggésben megadva), és a nagyfeszültséget rákapcsoljuk a szövetre. Ezen mérjük a testáramot, amelyet egy vezető bábuban folyó áram képvisel. A mérés során a próbababát elszigeteljük a mérendő ruhától, ezt követően megmérjük a ruházatban folyó áramot, és ebből, valamint a testáramból kiszámolható a ruha ernyőzési hatásfoka.

$D$  méterben van megadva, és a következő képlettel adjuk meg (a képletben szereplő értékek a tűrés  $\pm 2\%$ -ával értendők):

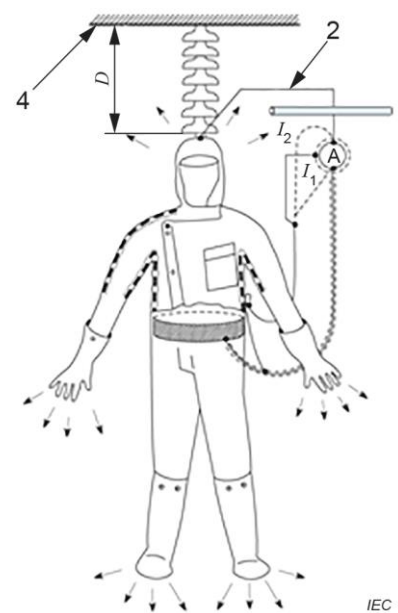
$$D = \frac{U_{test}}{100} + 0.5 \quad (6)$$

Az 1. módszer alternatív elrendezésében a próbababát nem szigetelő platformra helyezik, hanem szigetelőre akasztják, amellet, hogy a többi paraméter változatlan marad.

Mindkét elrendezésnek elméletileg azonos eredményt kell adnia, a talajtól való azonos szigetelési távolság következtében kialakuló azonos elektromos tér, illetve a vizsgálatok hasonló mérési módja miatt.



9. Ábra - Ernyőzési hatékonyság mérés első módszerrel szilárd szigetelőkön



9. Ábra - Ernyőzési hatékonyság mérés első módszerrel szigetelőre felfüggesztve

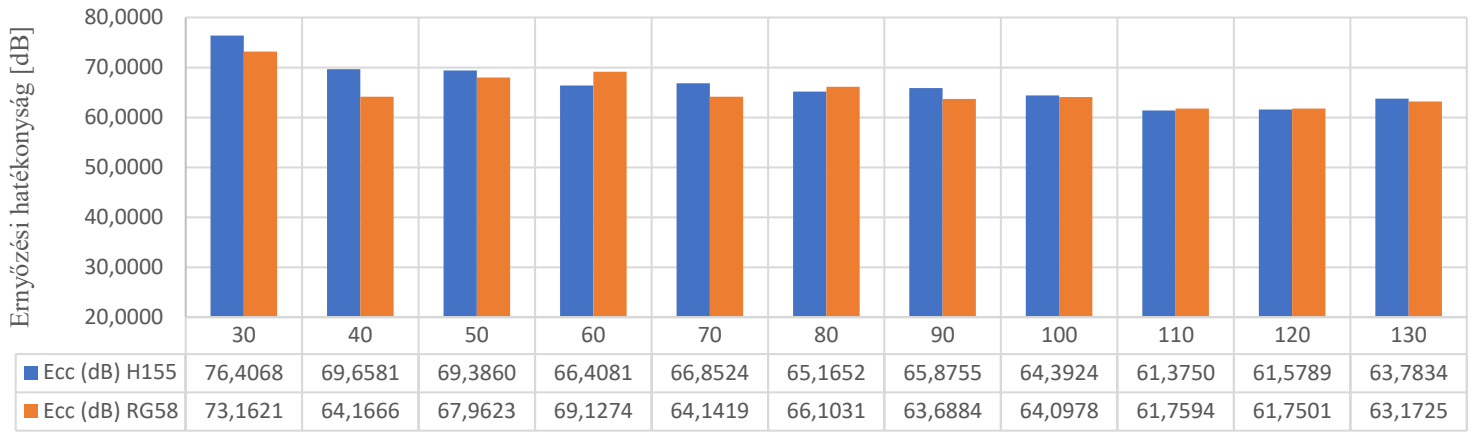
## 7.2 Ernyőzési hatékonyság mérésére használt 2.módszer

A 2. módszerben a próbababa és a vezető közötti távolságot úgy állítottuk be, hogy a vizsgált feszültség minden kV-jára (60 kV – 60 cm, 70 kV – 70 cm, stb.) 1 cm távolság legyen. Ez biztosítja, hogy az elektromos tér állandó legyen a mérések során minden feszültségszinten. A mérést 3 különböző típusú vezetőképes ruházaton tesztelték (A, B, C és B extra archálóval)

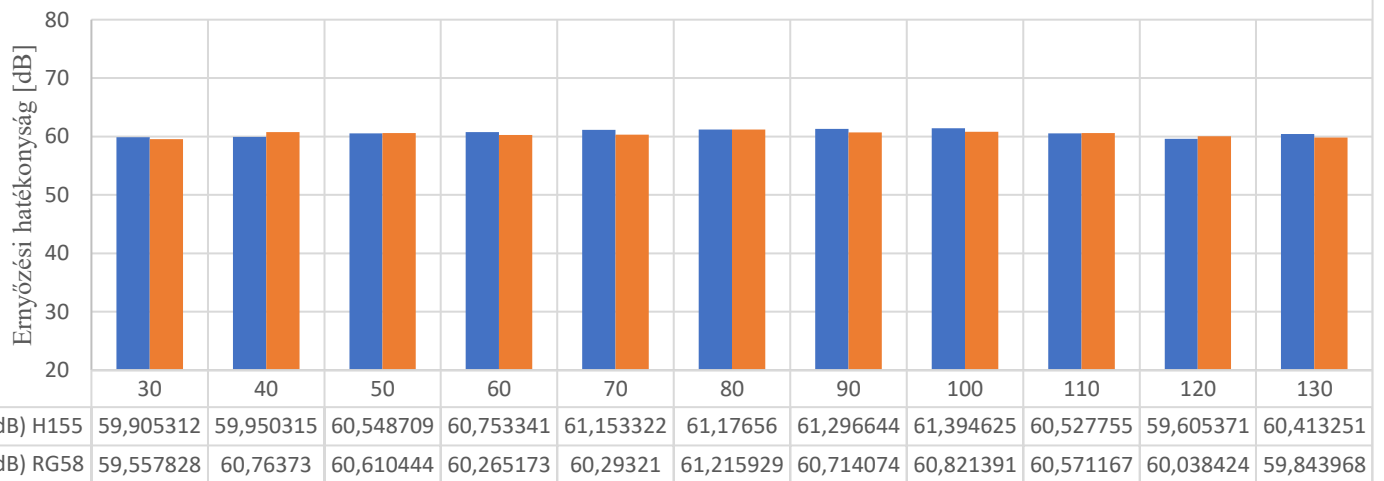
Először a teszteket különböző feszültségszintekkel, 60-130 kV tartományban végeztük. Ebben az esetben minden tesztnél változtattunk a beállításon, és két különböző típusú kábellel (H155, RG58) is mértük az értékeket. A tesztek során részleges kisülési (korona) aktivitást is mértünk, hogy megvizsgáljuk ezek összefüggését a vezetőképes ruházat hatékonyságával.

A következőkben az eredményeket grafikonok segítségével mutatjuk be (Vezetőképes ruházat hatékonysága (ECC))

2. módszer szerinti mérés (A ruházat)



2. módszer szerinti mérés (B ruházat)

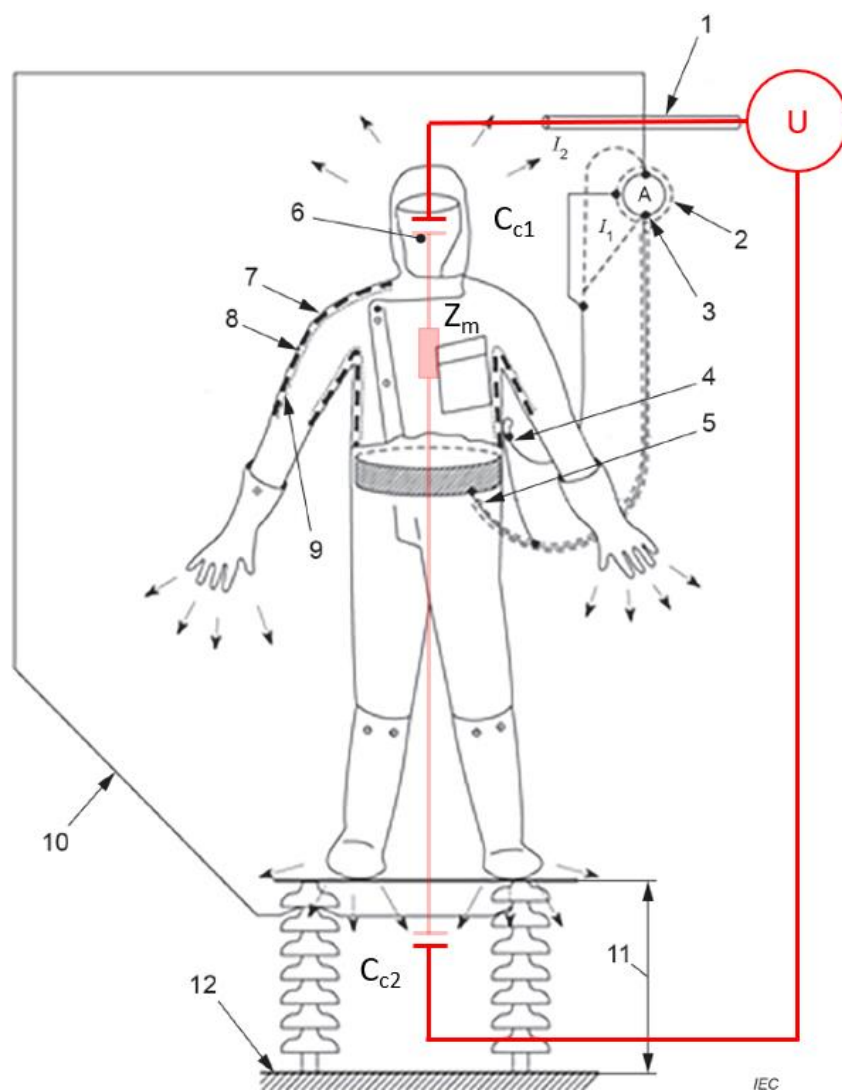


## 8 Kapacitás

Mivel a megismételhetőség és a ernyőzési hatékonyság mérésének eredményeire gyakorolt környezeti hatások szóba kerültek, felmerült a javaslat, hogy a próbababa vezető felületét egyetlen vezetékre cseréljék ki, amely a dolgozó testét, karját és lábát reprezentálja.

Ez a javaslat nem előnyös, mivel jelentősen javítja az eredményeket a meglévő mérési módszerekhez képest, ha a vezetőképes ruházat és a vezető próbababa felülete közel azonos.

Az ábra az IEC 60895 szabványból származik, néhány további rajzzal az árampályákról.



10. Ábra - A vezetőképes ruhán folyó kapacitív áramok

Mikor az elrendezés feszültség alá kerül, az emberi testet reprezentáló vezető próbababában folyó áramot a következő tényezők befolyásolják:

- $C_{c1}$ , A feszültségforrás és a próbababa közötti kapacitív csatolás. Ezt a tényezőt alapvetően a ruházaton lévő lyukak száma és átmérője jellemzi.
- $Z_m$  Magának a próbababának az impedanciája.
- $C_{c2}$ , A kapacitív csatolás a föld felé.

A kapacitás, tehát a mért testáram arányos a próbababa felületével. A csökkentett felület (például vezetékek alkalmazása a teljes vezetőréteg helyett) kisebb testáramot eredményez, így jobb ernyőzési hatékonysági értékeket eredményez.

Egy másik szempont ezzel a lehetőséggel szemben, hogy magát az ernyőzési hatékonyságot a szivárgási áramok arányaként határozzák meg. Ha a próbababa és a ruházat területe jelentősen eltér, ez a számítási elv már nem alkalmazható.

Nyomatékosan javasoljuk, hogy a vizsgálatok és tesztek számát csak azokban az esetekben csökkentsék, amikor az egész próbababa bármilyen vezetőréteggel borított.

## **9 Ellenállásmérés**

A szabvány előírja, hogy minden ruha megfelelő elektromos vezetőképességét ellenőrizni kell a kiszállítás előtt és évente.

Ezt a mérést akár a munkahelyszínen használat előtt is ellenőrizni lehetne. Így közvetlenül a munkavégzés előtt ellenőrizhető lenne, hogy a ruha jó állapotban van-e, ezáltal lehetőséget adva a dolgozónak arra, hogy használat előtt megbizonyosodjon arról, hogy a kívánt feszültségszinten használva megfelelő védelmet biztosít a ruházat.

### **9.1 A mérési módszerek tesztelése**

Az ellenállásmérések során a különböző műszerekkel mért eredményeket vizsgálták, összehasonlítva azokat egymással és a standard mérési módszerrel, hogy mekkora különbséget mutatnak. A mérési eredményeket több tényező is befolyásolhatja (például a ruhadarabok anyaga, az ellenállásmérő elektródák elhelyezése stb.), ami megnehezíti azok reprodukálását azonos körülmények között.

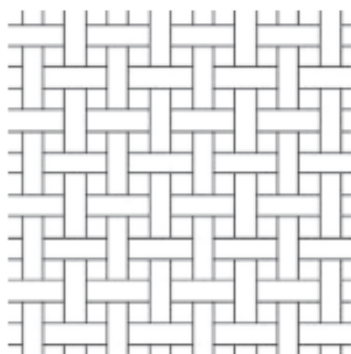
### **9.2 Az anyagok szerkezete**

A mérési eredmények pontosságát a ruhadarabok szövésének típusa is befolyásolhatja.

#### **9.2.1 Szövet**

A vezető szálak sokkal kevésbé mozognak egymáshoz képest, így a ruha mozgása kevésbé befolyásolja a mérési eredményeket. Az öltözetek és nadrágok többnyire ezzel a technológiával készülnek.

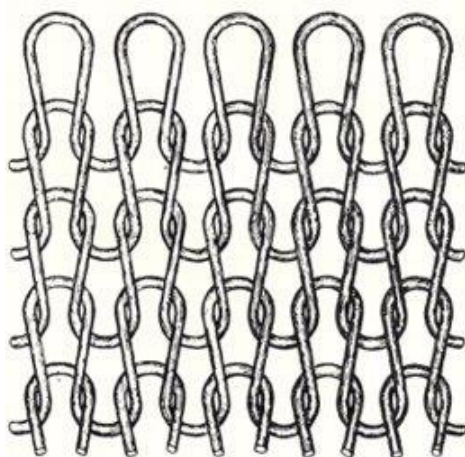




11. Ábra - Szövött anyag

### 9.2.2 Kötött anyag

A vezető szálak a hurok rugalmassága miatt könnyebben mozognak egymáshoz képest, így a ruha mozgása befolyásolja a mérési eredményeket. A zoknik és kesztyűk, valamint bizonyos ruhák többnyire ezzel a technológiával készülnek.



12. Ábra - Kötött anyag

## 9.3 Mérés

A szabványban meghatározott műszerek használatának megváltoztatásával a mérés bizonytalanná válik, a mérési eredmények a mérés megismétlése után nem reprodukálhatók. Ez a bizonytalanság jelentős lehet, és az elvégzett mérésekből a következő eredményeket kaptuk.

A mérésekhez használt műszerek:

- Akkreditált multiméter
- 4 vezetékes akkreditált műszer
- 200 mA DC tápegység

12. Táblázat - Ellenállásmérési eredmények

Azonosító	Mérés sorszama	Multiméter		4 vezetékes műszer		200 mA DC tápegység	
		1	2	1	2	1	2
<b>B</b>	Jobb csukló kezelő – bal csukló kezelő.	2.9 Ω	3.9 Ω	1.620 Ω	1.816 Ω	1.32 Ω	1.47 Ω
	Boka mandzsetta – zokni összekötés	1.6 Ω	2.3 Ω	0.604 Ω	0.801 Ω	0.19 Ω	0.26 Ω
	Bal csukló kezelő – kesztyű összekötés	2.8 Ω	3.8 Ω	0.815 Ω	1.006 Ω	0.43 Ω	0.33 Ω
	Jobb csukló kezelő - bal boka mandzsetta	4.1 Ω	3.4 Ω	1.402 Ω	1.845 Ω	1.27 Ω	1.26 Ω
<b>C</b>	Kesztyű mandzsetta - kezelő	0.557 kΩ	0.825 kΩ	88.028 Ω	74.360 Ω	59.5 Ω	27.95 Ω
	Jobb csukló kezelő – bal csukló kezelő.	2.224 kΩ	2.602 kΩ	91.625 Ω	140.88 Ω	124.24 Ω	90.85 Ω
	Jobb csukló kezelő - bal boka mandzsetta	1.841 kΩ	2.162 kΩ	1.481 kΩ	1.579 kΩ	147.77 Ω	107.90 Ω

## 9.4 Tapasztalatok

- A tapasztalatok szerint a szőtt ruhadarabok mérési bizonytalanságai rugalmatlanságuk miatt kisebbek, a vezető szálak kevésbé mozognak, így a ruha mozgatása és más

pozícióba helyezése kevésbé befolyásolja a mérést (ezért a kötött kesztyűk és zoknik mérhetősége bizonytalanabb, mint az öltözetek esetében).

- Más akkreditált műszerekkel végzett ellenállásmérés is nagy bizonytalanságot mutat egyes gyártók termékei esetében.
- A szabványt követő mérési eredmények kevésbé bizonytalanok, a mérések többszöri megismétlésével szinte azonos eredmények érhetők el.
- Az a tény, hogy a mérési pontok nincsenek pontosan meghatározva, csökkenti az ismételhetőség lehetőségét.

## **9.5 Következtetés**

A szabványosított 200 mA-es ellenállásmérés a legmegbízhatóbb és leginkább reprodukálható a tesztelt mérési módszerek közül. A szabványban szereplő mérési elrendezésekben azonban az elektródák elhelyezése pontatlan, ami befolyásolja a mérési eredményt, ezért célszerű a szabvány átdolgozása, pontosítása.

## 10 Összegzés

A méréssorozat megmutatta, hogy a mérést végzők részéről precizitás és nagyfokú odafigyelés szükséges. Néhány kisebb hiba az összeszerelés során olyan hibákhoz vezethet, hogy a ruha 2-es osztályú minősítést kap csak, vagy akár meg is bukik a vizsgálaton.

Ilyen hibák például az archáló nem megfelelő használata, a testáram csatlakozójának nem megfelelő árnyékolása, az elektróda helytelen magasságba állítása, vagy a ruha nem megfelelő összeszerelése a vizsgálathoz való öltözködés során. A gyakorlatban a testáram csatlakozójának árnyékolása gyakran úgy történik, hogy azt a ruhákba rejtik. Ebben az esetben el kell szigetelni a csatlakozót a ruházattól, hogy a ruházati áramok a kapacitív csatolások révén ne folyjanak be a testáram csatlakozóba. A mérések során az is feltűnt, hogy a mérési elrendezések nincsenek kellő pontossággal leírva a szabványban. Van egy bizonyos fokú szabadság a mérési beállításokban, ami nagyban befolyásolja az eredményeket, még akkor is, ha egy ruha meghibásodik vagy sem. Fontos, hogy a mérésekhez olyan műszert használjunk, amely ennek megfelelően alacsony mérési tartománnyal rendelkezik, mert testáramra gyakran  $0,001 \mu\text{A}$ -nál kisebb eredményeket lehet kapni. Ugyanakkor megállapítható, hogy a nagy hatékonyságú 2. osztályú ruhák esetében, amelyek gyakran  $0,001 \mu\text{A}$ -nál alacsonyabb testáram értékeket mutatnak, az alacsonyabb feszültségen, például  $50 \text{ kV}$ -on végzett tesztek figyelmen kívül hagyhatók, mivel ezek biztosan  $100 \text{ dB}$  felett vannak. A mérések során elkövetett hibák és pontatlanságok elfogadhatatlan eltéréseket okoznak az eredményben. A mérési elrendezést úgy kell meghatározni a szabványban, hogy ne legyen olyan pontatlanság, amely lehetővé tenné, hogy egy olyan ruhadarab, amely 2. osztályú osztályozással is hibás legyen, vagy egy jó ruha a vizsgálaton megbukjon.

Az IEC 60895:2020 szabványban leírt 2. módszer szerinti elrendezés azonban a tapasztalatok szerint sokkal pontosabb és kisebb a szórása, mivel ez az elrendezés sokkal inkább a valós körülményekhez hasonlít. Tulajdonságaiból adódóan az elrendezés jobban mutatja az archáló szükségességét, vagy annak hiányát, adott esetben a meglévő archáló nem megfelelő rácsfelosztását.

# 11 Ismételtelhetőségi elemzés

13. Táblázat – A mérési eredmények szórása, a mérési összeállítás különböző megváltoztatásának hatására

	Szórás (125 kV) [dB]					Hatás az eredményekre	Mérés célja
	A ruha	B ruha	C ruha	D ruha	E ruha		
Szigetelés hatása	10,2702	3,2428	11,8573	13,5437	3,1253	Nagy	Milyen változást okoz a vastagabb szigetelő réteg használata.
Vezető próbababa hatása	10,1445	3,6147	1,5738	2,1989	-	Közepes	Milyen változást okoz a vezetőképes próbababa a vezetőképes ruhához képest.
Próbababa méretének hatása	11,5964	3,0359	5,2882	4,2693	1,3897	Közepes	Megfelelő próbababa méret használata.
Archáló hatása	25,964	8,2679	-	-	-	Nagy	Archáló megfelelő elhelyezése a próbababában
Testáram csatlakozó hatása	14,7171	1,7906	0,9791	2,4227	1,1374	Közepes	Megfelelő testáram elhelyezés a próbababában
Fáziselektrod hatása	10,8173	6,3379	1,6078	1,4527	-	Kicsi	Fáziselektrod magasságának változtatása vagy egymagasságban hagyása.

**14. Táblázat - A mérési eredmények százalékos szórása, a mérési összeállítás különböző megváltoztatásának hatására**

	Szórás (125 kV) [%]					Hatás az eredményekre	Mérés célja
	A ruha	B ruha	C ruha	D ruha	E ruha		
Szigetelés hatása	11,6273	5,4771	36,8259	44,5204	8,4883	Nagy	Milyen változást okoz a vastagabb szigetelő réteg használata.
Vezető próbababa hatása	11,3323	6,3082	3,9166	5,7919	-	Közepes	Milyen változást okoz a vezetőképes próbababa a vezetőképes ruhához képest.
Próbababa méretének hatása	13,4117	5,0883	12,256	11,7445	3675	Közepes	Megfelelő próbababa méret használata.
Archáló hatása	37,9498	16,0229	-	-	-	Nagy	Archáló megfelelő elhelyezése a próbababában
Testáram csatlakozó hatása	19,764	2,9175	2,5301	6,5105	2,9533	Közepes	Megfelelő testáram elhelyezés a próbababában
Fáziselektrod hatása	13,2364	10,4721	3,9527	3,928	-	Kicsi	Fáziselektrod magasságának változtatása vagy egymagasságban hagyása.

A hat különböző vizsgálat típus mérési eredményét összehasonlítottuk, hogy mely vizsgálatok során kaptuk a legnagyobb eltéréseket, és szórást a mérési eredményekben.

A szabvány szerint szükséges az elektróda magasságának folyamatos állítása a feszültség függvényében, azonban a mérések során kapott eredmények azt mutatják, hogy ez maximum 10% körüli eltérést okozhat. Ezt az eltérést a 2. osztályú ruhák eredményei okozzák, amelyek alacsony feszültségen mérve nagyon jó eredményeket adnak. Ezen kiugró értékeken kívül az elektródatávolság változtatása nem befolyásolja nagymértékben a mérési

eredményeket, ezért a többi feszültségnél is megengedhető a legnagyobb feszültségre beállított távolságon történő mérés. Az ilyen rendkívül jó ruháknál azonban el lehet tekinteni az alacsonyabb feszültségen végzett méréstől, mivel ezek eredményei általában már a mérési határon kívül esnek, ezért nem pontosak.

A vezető próbababa hatásainak vizsgálata azt mutatta, hogy általában nem befolyásolta nagymértékben az eredményeket. Előfordult néhány olyan eset, amikor jelentős, odafigyelést igénylő változás történt, például, ha egy archáló nélküli ruhát mértünk a teljesen nyitott arcrésszel rendelkező vezetőképes festékkal bevont próbababán, akkor az arcon keresztül a térerősség nagyon nagy testáramot hoz létre a próbababában.

Összességében a különböző próbababa használata 5-10 %-os eltérést okozott, attól függően, hogy milyen ruhát akartunk vele mérni.

A tapasztalatok szerint a ruha típusa sokkal jobban befolyásolja a mérés eredményét, mint a próbababa, amelyen a ruhát mérik.

Az eltérő ruha és próbababa mérete befolyásolhatja az eredményt, ha nem megfelelő méretű próbabababát használnak a ruhához, akkor túl nagy a különbség. Látható, hogy egy nagyon nagy ruha nagyon sok felületet takar, ezért nem valóságos, és a kelleténél jobb eredményeket produkál. A méretek közötti apró eltérések nem eredményeztek jelentős változást, de ügyelni kell arra, hogy ne használjunk a ruha méreténél lényegesen kisebb próbabababát.

A legtöbb esetben 2-6 %-os mérési eltérést a testáram csatlakozójának nem megfelelő árnyékolása okoz. A gyakorlatban ez az árnyékolás úgy történik, hogy a fém csatlakozót egy műanyag hüvelybe helyezik, és a próbababa zoknijába vagy nadrágszárába helyezik, amely megvédi a külső elektromos mezőktől. Abban az esetben azonban, ha nagyon kicsi a testáram, ez a különbség akár 20 %-ot is elérhet, ami túl nagy különbség ahhoz, hogy figyelmen kívül hagyjuk.

Fontos figyelni arra, hogy a csatlakozó és minden mérőeszköz mindig egyformán legyen árnyékolva, hogy az ilyen pontatlanságok ne kerüljenek be a mérési eredményekbe.

A szigetelés 10% körüli szórással befolyásolta a méréseket, kivéve a már említett esetet, amikor a próbababa arca teljesen szabad volt és így az elektromos tér könnyen növelhette a testáramot.

Összességében egy vagy több réteg szigetelőszövet használata nem befolyásolta jelentősen az eredményeket.

Az archáló használata volt a legfontosabb, mivel ez nagymértékben befolyásolja az eredményeket. Akár kétszer olyan jó értékek érhetők el, ha az archálót megfelelően használják a ruhán.

Ez azonban nagy odafigyelést igényel, és pontosan meg kellene határozni a háló elhelyezését, mert a kis elhelyezési eltérések is nagy változásokat eredményeznek.

A méréseket végig nézve úgy gondoltuk, hogy a sok hiba halmozódása annyira megváltoztathatja az eredményeket, hogy egy ruha egyik osztályból a másikba kerül, vagy meghibásodik. Azonban akkora különbségeket tapasztalunk, hogy látható, nem kell ekkora hibákat elkövetni ahhoz, hogy egy ruhadarabot rossz kategóriába soroljunk. Még egyetlen hiba, például az archáló helytelen elhelyezése is azt eredményezheti, hogy a ruha megbukik a vizsgálaton a 2. osztályú tanúsítvány megszerzése helyett.

Megfontolandó, hogy a tényleges mérési eljárás sokkal konkrétabb meghatározása – a használt ruhadarabok elhelyezésének pontos definiálása, az archáló használat és elhelyezkedésének, meghatározása, a mérővezetékek (kábelek) elhelyezkedése, szigetelése, árnyékolása – jelentősen csökkenti a vezetőképes ruházat minősítési eljárásának bizonytalanságát, mind az átvételi méréseknek, mind az időszakos tesztelési eljárások során.



## 12 Irodalomjegyzék

- [1] Göcsei G., Németh B., Kiss I., Berta I., Shielding efficiency of conductive clothing in magnetic field, *Journal of Electrostatics*, 2013, Pages 392-395  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388613000028?via%3Dihub>
- [2] IEC, 60895 - Live working, Conductive clothing, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2020
- [3] Sondhelm WS. Technical fabric structures – 1. Woven fabrics. In: Horrocks AR, Anand SC, editors. *Handbook of technical textiles*. The Textile Institute, North and South America: Woodhead Publishing Limited; 2000.
- [4] MSZ EN 60895 Feszültség alatti munkavégzés. Vezetőképes öltözet legfeljebb 800 kV névleges váltakozó feszültségig és  $\pm 600$  kV egyenfeszültségig
- [5] ICNIRP iránymutatások  
<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>

## 13 Függelék



13. Ábra – „E” próbababa alumínium fólia vezetővel rajta



15. Ábra - S méretű próbababa



14. Ábra - M méretű próbababa



16. Ábra - M méretű próbababa



17. Ábra - L méretű próbababa



18. Ábra - XL méretű próbababa vezető réteggel





19. Ábra - Szigetelésvastagság-mérés



21. Ábra - Archáló mérés (félíg lent)



20. Ábra - Archáló mérés (fent)



23. Ábra - Archáló mérés (szoros)



22. Ábra - Archáló mérés (lent)



25. Ábra - Testáram csatlakozó félig a zokniban



24. Ábra - Testáram csatlakozó zokniban



26. Ábra - H155 kábel mérés



**27. Ábra - Testáram csatlakozó kint, szigetelésben**



**28. Ábra - Testáram csatlakozó kint, szigetelés nélkül**



## 14 Ábrajegyzék

1. Ábra - Első mérési elrendezés, bábu szilárd szigetelővel alátámasztva.....	9
2. Ábra - 2. metódusú hatékonyság mérés .....	10
3. Ábra - 250kV Ganz transzformátor és az 1:20000 osztású kapacitív feszültségosztó .....	14
5. Ábra - Méréshez használt eszközök (bal oldalon a multiméter, mellette a multiplexer, míg jobb oldalt az oszcilloszkóp) .....	15
4. Ábra - A mérésekhez használt síkeletród és platform.....	15
6. Ábra - Villamos térerősség az archáló nyílás függvényében .....	26
7. Ábra - Térerősség változás az archáló használatának hatására .....	27
9. Ábra - Ernyőzési hatékonyság mérés első módszerrel szilárd szigetelőn.....	36
9. Ábra - Ernyőzési hatékonyság mérés első módszerrel szigetelőre felfüggesztve ....	36
10. Ábra - A vezetőképes ruhán folyó kapacitív áramok.....	38
11. Ábra - Szövött anyag.....	41
12. Ábra - Kötött anyag.....	41
13. Ábra - „E” próbababa alumínium fólia vezetővel rajta.....	50
14. Ábra - M méretű próbababa .....	50
15. Ábra - S méretű próbababa.....	50
16. Ábra - M méretű próbababa .....	51
17. Ábra - L méretű próbababa .....	51
18. Ábra - XL méretű próbababa vezető réteggel .....	51
19. Ábra - Szigetelésvastagság-mérés .....	52
20. Ábra - Archáló mérés (fent) .....	53
21. Ábra - Archáló mérés (félíg lent) .....	53
22. Ábra - Archáló mérés (lent) .....	54
23. Ábra - Archáló mérés (szoros) .....	54
24. Ábra - Testáram csatlakozó zokniban .....	55
25. Ábra - Testáram csatlakozó félíg a zokniban .....	55
26. Ábra - H155 kábel mérés .....	55
27. Ábra - Testáram csatlakozó kint, szigetelésben .....	56
28. Ábra - Testáram csatlakozó kint, szigetelés nélkül .....	56