



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

Gyergyádesz László

**NAF FAM KESZTYŰK
DEGRADÁCIÓS
MECHANIZMUSAINAK
FELTÉRKÉPEZÉSE**

TDK dolgozat

KONZULENS

Dr. Cselkó Richárd

BUDAPEST, 2022

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	5
Abstract.....	6
1 Bevezetés	7
1.1 Problémafelvetés.....	7
2 Elméleti összefoglaló	9
2.1 Feszültség alatti munkavégzés.....	9
2.2 Vezetőképes öltözetek	9
2.2.1 FAM tevékenység során alkalmazott öltözetek.....	9
2.2.2 Öltözetek egyéb felhasználási területeken.....	11
2.3 Vonatkozó szabványok.....	12
2.3.1 IEC 60895	12
2.3.2 IEEE 1067-2012	13
2.4 Ruhaanyagok és kesztyűk ellenállásmérése	13
2.4.1 Méréstechnikai problémák.....	14
2.4.2 Nyomóerő	15
2.4.3 Konduktív csatolás.....	18
2.5 Kesztyűk ellenállásának modellezése.....	19
2.5.1 Ellenállásmátrix modell	19
2.5.2 Interkonnekt modell.....	19
3 Felhasznált mintadarabok	21
3.1 Tulajdonságok.....	21
3.2 Szabványos ellenállásmérés.....	23
3.3 Lehetséges hibaokok.....	23
3.3.1 Kémiai eredet.....	24
3.3.2 Mechanikai eredet.....	24
3.3.3 Gyártási hibák.....	25
4 A kesztyűk ellenállás-eloszlása	26
4.1 Állandó távolságú ellenállásmérés.....	26
4.1.1 Módszer	26
4.1.2 Mérési elrendezés	27
4.1.3 Eredmények	29

4.1.4 Megismételt mérési sorozat	33
4.2 Thermografikus ábrázolás.....	34
4.2.1 Módszer	34
4.2.2 Mérési elrendezés	35
4.2.3 Eredmények	35
5 Degradációs mérések	37
5.1 Szándékos szennyezés	37
5.1.1 Olaj hatása.....	37
5.2 Mechanikai fárasztás.....	38
5.2.1 Nedves anyag fagyásának hatása	38
5.2.2 Sűrű használatnak megfelelő öregítés.....	39
6 Összegzés és konklúzió	41
6.1 Az interkonnect modell és a vizsgálatok kapcsolata	41
6.2 További lehetőségek	41
Köszönetnyilvánítás	43
Irodalomjegyzék.....	44
Táblázatjegyzék	46
Ábrajegyzék.....	47

Összefoglaló

Bár a vezetőképes kesztyűknek több alkalmazási területe is létezik, a nagyfeszültségű technika és a villamos energetika leginkább a feszültség alatti munkavégzés során használja ezeket a ruhadarabokat. Ellentétben a közép- és nagyfeszültségen használatos szigetelő anyagú FAM kesztyűkkel, nagyfeszültségen a potenciálon végzett munka módszere az elterjedt, így jó vezetőképes szálakkal is rendelkező textíliából készülnek ezek a ruhadarabok. Ezeket szabványos előírás szerint periodikus vizsgálatoknak kell alávetni a ruha egyéb részeivel együtt, hogy az állapot folyamatosan ellenőrizhető legyen. Azonban egyes felhasználási helyekről olyan visszajelzés érkezett, miszerint az első ilyen vizsgálatkor már jóval a határértéket meghaladó ellenállás volt mérhető.

Bár méretéből fakadóan alacsonyabb gyártási költséggel rendelkeznek az ilyen kesztyűk, mint egy teljes feszültség alatti munkavégzéshez használt védőruha, nem kívánatos a túl gyakori cseréje a felhasználó szempontjából. Kiterjedt diagnosztikai vizsgálatokkal lehetségessé válik a hibák feltárása. Ezt követően a degradáció szempontjából kritikus felhasználási szakaszt behatárolva a jövőben hosszabb eszközélettartammal és alacsonyabb költségvonzattal történhet a munkavégzés folyamata.

A kiugró értékeket okozó hatások felderítésének érdekében számos tényezőt meg kell vizsgálni, melyek nincsenek rögzítve a szabványos vizsgálatokban. Az ellenállásmérést különböző módszerekkel is el kell végezni, hogy az anyag rugalmas természetéből adódó mérés-technikai nehézségek ne jelentsenek problémát. A kesztyűk ellenállásmodelljeinek megalkotása mellett a feltételezett degradációs mechanizmusok hatását is vizsgálom megfelelő állapotú mintadarabokkal.

Abstract

Although conductive gloves are used for multiple purposes, in the field of high voltage technology and power engineering use these garments for live-line working. Unlike rubber gloves, that insulate the worker from the live parts during medium voltage live working, the high voltage concept is bare-hand work, therefore conductive gloves are made of fabric that has low-resistance strings inside. These must undergo periodic tests according to the adequate standard, in order to monitor their condition. Certain users reported high resistance values of gloves after only one periodic test, that well exceeded the standard limits.

Due to the size of the gloves compared to the whole conductive clothing, fabrication costs are significantly lower, but frequent replacing is not desirable for the users. With thorough diagnostic testing, the failure mechanisms behind the high resistance values can be unfolded. After identifying the most critical phases of use, gloves may have longer lifetime in the future, as well as the replacement costs will be lower.

In order to identify the mechanisms behind outlier resistance values, it is needed to examine various aspects that are not included in the standard. To avoid measurement errors originating from the elasticity of the gloves, different resistance tests have to be completed. Beside resistance models of the gloves, the effect of possible degradation mechanisms is examined, using specimens that are in a good condition.

1 Bevezetés

A nagyfeszültségű távvezetéseken végzett feszültség alatti munkák során alkalmazott vezetőképes védőöltözetek külön ruhadarab formájában rendelkeznek vezetőképes kesztyűvel. A használatot megelőzően egyértelműen, szemrevételezéssel megállapíthatóak a vezetőképes szövet sérülései, azonban villamos szempontból nem mindig magától értetődő, észrevehető módon hibásodnak meg. Az ellenállásbéli differencia észlelése leggyakrabban a periodikus tesztek során történik.

A kesztyű a ruházat legtöbb érintésnek és súrlódásnak kitett darabja, így a ruha többi részéhez képest hamarabb várható elhasználódása, sérülése is. A nagyfeszültségen alkalmazott védőöltözetek és tartozékaik élettartamát illetően kevés a nyilvánosan elérhető információ, hiszen kevés gyártó foglalkozik a területtel, és rendszerirányítók sem közlik a ruhák élettartamára vonatkozó statisztikákat.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű Laboratóriumában elvégzett periodikus vizsgálatok alapján a ruhák élettartama rendkívül hosszú, azok teljes degradációja gyakran 10 éves távlatban sem történik meg. A kesztyűk tekintetében ennél rövidebb idő, de túlnyomó többségben 5 periodikus vizsgálatnak megfelelő időtartamnál hosszabb idő telik el a szabvány szerint nem elfogadható értékek bekövetkezéséig. Az elfogadható értékek néhány Ω -mal történő átlépése a gyakori eset, a nagyságrendi növekedést elszenvedő esetek rendkívül ritkák.

1.1 Problémafelvetés

A 2020–2021-es időszak alatt észlelt statisztikák azonban a korábbi tapasztalatoktól eltértek, az ekkor használatban lévő új FAM kesztyűk egy része a használatba vételt követő első periodikus vizsgálaton nem megfelelt státuszba kerül, mégpedig a szabványban rögzített érték többszörös meghaladásával. Ez az állapot irreverzibilis a tapasztalatok szerint, így a felhasználónak új pár védőeszközre van szüksége. Ezt a munkáltató a ruha gyártójától utánrendelheti, esetleg számolva egy bizonyos mértékű amortizációval, előzetesen is a szükségesnél többet rendelhet. A gazdasági motiváció adott, a jelenség okainak felderítése segíthet az idő előtti degradáció elkerülésében, mérséklésében, ezzel a csereszakozókra feleslegesen fordított pénzüsszeg csökkentésében is.

Ez nemcsak gazdasági szempontból hátrányos, hanem biztonsági kockázatot is jelenthet. A FAM ruhák (beleértve összes tartozékaikat) periodikus tesztelési idejének ajánlott értéke 12 hónap, alternatív lehetőségként 10 mosás után is elvégezhető ez, amennyiben hamarabb következnek be. Ebből adódóan nem tudható, hogy a jellemzően egy évet követő tesztelés előtt mennyivel érte el a kritikus értékeket. A potenciálon végzett munka szempontjából akkor megfelelő egy védőöltözet, ha annak kicsiny az ellenállása, ezáltal a rajta átfolyó áramok semmilyen áramút mentén nem eredményeznek érdemi potenciálkülönbséget. A megnövekedett ellenállás miatt az egyenpotenciált közelítő eloszlást egy szakaszos, inhomogén eloszlás váltja fel, melyre az Ohm-törvény szerint nagyobb feszültség esik.

Dolgozatomban a rövid idő alatt kialakuló kiemelkedően magas ellenállásértékek mögött rejlő okokat kutatom.

2 Elméleti összefoglaló

A fejezet összefoglalja a legfontosabb elméleti szempontokat, melyeket érdemes áttekinteni a NaF FAM vezetőképes kesztyűk diagnosztikáját megelőzően. Nemzetközi irodalomban nem készíthető átfogó összehasonlítás, a FAM vezetőképes védőöltözeteinek részegységeivel foglalkozó kutatások száma igen csekély és kevés érdemi kontribúcióval szolgál, míg konkrétan degradációhoz kapcsolódó kutatás nem található.

2.1 Feszültség alatti munkavégzés

A feszültség alatti munkavégzés olyan tevékenység, melynek során a munkát végző személy, a villamos hálózat vagy berendezés feszültség alatt álló szerkezeti részein munkát végez, miközben a feszültség alatt álló berendezésnek feszültség alatt álló részeit testével közvetlenül, vagy szigetelt, vagy szigeteletlen munkaeszközével, egyéni védőeszközével közvetve vagy munkadarabbal közvetve a munkamódszerektől függően megérinti, átívelési távolságon belül megközelíti, létesítési, üzembe helyezési, üzemeltetési, üzemzavar-elhárítási és megelőzési, javítási és karbantartási feladatok végrehajtása céljából.

Feszültség szintenként eltérő módszerrel oldják meg a FAM tevékenységet a beavatkozó szerelők, melyhez eltérő előzetes felkészülés és védőeszköz-apparátus szükségeltetik. Nagyfeszültségen nehézkesé válna a munka, ha továbbra is szigetelő rudakkal kellene megoldani a feladatokat, akkor túlzottan nagy távolságokat kellene áthidalni.

2.2 Vezetőképes öltözetek

2.2.1 FAM tevékenység során alkalmazott öltözetek

Míg középfeszültségen szigetelő védőöltözeteket (kesztyű, karvédő) használnak az érintéssel végzett munka során, nagyfeszültségen csaknem a teljes testet elfedő, vezetőképes védőöltözetet visel a FAM személyzet, és ennek használatával valósítják meg a potenciálon végzett munkát [1], mely angol elnevezéssel bare hand work, azonban a kezét a névvel ellentétben vezetőképes kesztyű fedi.



1. ábra Potenciálon végzett munka, bemutató a Nagyfeszültségű Laboratóriumban

Eltérő földrajzi területeken más-más filozófia alakult ki a FAM ruhák gyártásának tekintetében, ennek megfelelően a különböző modellek kialakításukból fakadóan nagy szórással rendelkeznek a villamos paramétereikben.

Ahhoz, hogy FAM védőruházat megfelelő védelmet biztosítson, jó áramvezető-képességre van szükség, ennek minőségi mutatója a ruha egyes részeinek és azok csatlakozásainak ellenállása. Az alacsony ruhaellenállás miatt jó közelítéssel egyenpotenciálú a ruha a távvezeték sodronyának érintésekor, a testben folyó áram pedig elenyésző nagyságú a ruhában folyóhoz képest, illetve az semmilyen mértékben nem káros az egészségre. A ruhának továbbá védenie kell a beavatkozó személyzetet a távvezeték villamos tere ellen [2]. Annak a mutatója, hogy milyen hatékonysággal történik meg a villamos térerősség hatásának elnyomása, az ún. screening efficiency, mely egy dB-ben megadott érték:

$$ECC = 20 \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \quad (1)$$

I_1 azt az áramot jelöli, melynek a munkát végző személy védőruha nélkül lenne kitéve, míg I_2 a testbe belépő áramot jelöli. Ez a módszer megtalálható az IEC 60895 szabvány 2020-as verziójában [4], és már 2017-ben javasolták [5] a gyenge vezetőképeségű ruházatok kiszűrésének érdekében.

2.2.2 Öltözetek egyéb felhasználási területeken

A vezetőképes ruházati darabok egyik gyakori felhasználása az érintőképernyők vezérlésére alkalmas kesztyűk. [11]. Bár a 20. század második felében is használtak már érintőképernyőket, az általános elterjedés csak a 2000-es évek vége felé indult meg, mikor egyre több gyártó kezdett el érintőképernyős mobiltelefonokat, illetve érintőképernyős okostelefonokat árusítani. Ezzel egy időben jelent meg egyre több gyártónál a kapacitív technológia, mely nem nyomásérzékelési elven működött, hanem töltések elvezetésének mérését használták fel. Ezen érintőképernyős felületek jobb fényáteresztő képességgel rendelkeztek, és az egyszerre több érintési pontot is jól tudták kezelni. A működtetéshez azonban az emberi ujjhoz hasonló konduktivitású médium szükséges. A kezek és ujjak melegítésére szolgáló hagyományos kesztyűk (műbőr, bőr, pamut stb.) erre sem vezetőképesek, sem érintési felület szempontjából nem alkalmasak a célra. Amennyiben megfelelő vezetőképes anyagot is elhelyez a kesztyű anyagában a gyártó, és a szövet vékonysága nem akadályozza a pontos érintést, akkor képes a ruhadarab a kívánt feladatot effektíven ellátni. Az ilyen tulajdonságú kesztyűkre egyre többen tartanak igényt a hideg évszakkal (jellemzően tél) rendelkező fejlett országokban, arányosan azzal, hogy itt a lakosság egyre növekvő százalékban rendelkezik okostelefonnal, melyet téli kültéri közlekedés során is használnak.

A vezetőképes öltözetek alkalmasak a szikrakisülések (ESD) elleni védelemre [9] [10]. Különösképpen az elektronikai iparban, integrált áramkörök gyártása, javítása, vizsgálata során fontos, hogy az ezeken található félvezető eszközökön ne gyűljön össze túl nagy töltésmennyiség, aminek hatására azon olyan nagy áram indulna meg, amelyet nem tud károsodás nélkül elviselni. Továbbá a szikra gyújtó hatása sem kívánatos a gyúlékony anyagokat tartalmazó munkakörnyezetben.

Léteznek egészségügyi alkalmazások is, melyekkel az emberi test valamely mérhető aktív jelét lehetséges a vezetőképes textilekkel villamos jellé alakítani, és ezzel információt rögzíteni. Lehetséges például légzési frekvenciát mérni [12] felsőtesten viselt vezetőképes ruhadarabbal, hőmérsékletet mérni vezetőképes textilbe hőelem integrálásával [13], de antenna [14] kialakítása is lehetséges. Ugyanakkor rehabilitációs célokra és virtuális valósághoz kialakított eszközpark részeként [15] is használhatóak a ruházatba integrálható, nyúlékony szenzorok.

2.3 Vonatkozó szabványok

A feszültség alatti munkavégzés során használatos kesztyűkre nem létezik külön szabvány, ezekre a ruhadarabokra vonatkozó szabványos előírásokat a FAM vezetőképes ruházataihoz készült dokumentumok tartalmazzák. Ezek az alábbiak:

- IEEE Guide for In-Service Use, Care, Maintenance, and Testing of Conductive Clothing for Use on Voltages up to 765 kV AC and ± 750 kV DC
- IEC 60895 Live working – Conductive clothing

2.3.1 IEC 60895

Jelenleg az IEC60895 2020-ban megjelent verziója [1] az érvényes vonatkozó szabvány, melynek alpontjai kitérnek a kesztyűk követelményeire is. A legfontosabb, tesztelési követelményeket az 5.6.2.1 alfejezet tartalmazza. A mérőelektródok elhelyezése a középső ujjon és a kesztyű csukló felőli végéhez közel kell, hogy történjen, a kesztyű bármely fizikai határától számított 5 mm-re.

A FAM ruha minőségi jellemzője, hogy milyen értékhatárban mozognak az egyes komponenseinek mérendő paraméterei, így eszerint Class 1 és Class 2 osztályokba sorolhatóak. A Class 1 értékek megengedőbb, alacsonyabb határokat jelölnek ki. Amennyiben egy ruha csak Class 1 értékeket ér el egy periodikus vizsgálaton, úgy függetlenül az esetleges Class 2 megfeleléstől, a kesztyűt is Class 1 minősítéssel kell ellátni.

Table 8 – Maximum resistance of glove according to the maximum voltage class of the conductive clothing

Class	Resistance Ω
1	40
2	15

2. ábra Szabvány szerinti ellenálláshatárok [4]

Az ellenállásmérés történhet a szabvány 5.4.2.1 alfejezetében ismertetett típuseszt szerint vagy pedig ohmmérővel. A típusesztet 200 mA nagyságú egyen- vagy váltakozó árammal kell végrehajtani, 1 perces betáplálást követően. További

követelmény, hogy a mérőelektrodok felülete nem lehet nagyobb 125 mm²-nél, és hogy megfelelő nyomóerővel kell a kontaktust létesíteni.

Az évek során több javaslatgyűjtemény is készült a vizsgálatok hatékonyságának növelésére [7].

2.3.2 IEEE 1067-2012

Az IEEE 1067-2012 jelzetű útmutatója [6] további követelményeket fogalmaz meg a NaF FAM kesztyűkkel szemben:

- tárolás: porbiztos, szellőző tárolóban, ügyelve arra, hogy hőhatás ne érje azt
- mosás: kézi mosással, langyos mosószeres vízben; a használat előtt 8 órával már készen kell lennie
- javítás: nincs lehetőség rá, meghibásodás esetén csere szükséges

Az útmutató az ellenállásmérés kivitelezésével kapcsolatban az egyes egységek összekötését írja elő, a mérőelektrodok helyét, illetve egy bábu használatát, mellyel replikálni lehet a ruha egy személyen történő viselését. Ez további részletezés hiányában a kesztyűre is értendő, így annak belsejét kézszerűen ki kell tölteni. A kesztyűn elvégzett tesztek nem lehetnek destruktívak.

2.4 Ruhaanyagok és kesztyűk ellenállásmérése

A vizsgáló személyzet a mérés megrendelőjének kérésére a szabványos méréseket kiegészítő, azokat nem enyhítőleg módosító méréseket végezhet, ajánlásokat tehet. Ezek között említhető, hogy nem csupán a középső ujjal mérik meg a kesztyű ellenállását, hanem a többi négy ujjon is: az egyes ujjak eltérő ellenállással rendelkezhetnek. Gyakran ezek átlagát tüntetik fel a mérési jegyzőkönyvben. A kesztyűk konstrukciójából adódóan máshol érdemes elhelyezni a csukló közeli elektródot, ha a kesztyű nem vezetőképes anyagból készült mandzsettarésszel és/vagy a ruhához való csatlakozásra alkalmas ponttal rendelkezik. A kesztyűnek a ruhával galvanikus kapcsolatban kell lennie, ezt a gyártók gyakran nem kizárólag rugalmas csuklórésszel oldják meg, hanem elhelyeznek patentos vagy összeköthető textilcsíkos ún. bondingot. Ilyenkor ezt a pontot kell a mérőelektroddal megérinteni. Ying Su et al. 2016-os tanulmányában [3] különböző mérési pontokkal vizsgálta a FAM védőruhák ellenállását, az eredmények pedig egyértelműsítik, hogy a ruha egyes részegységeinek és a csatlakozásoknak az ellenállása

kiemelten fontos és ugyanolyan meghatározó tényező az áramvezető képességben, mint maga a fő ruházat.

Bár mind a két vizsgált szabvány a terepi használat előtt írja elő a szemrevételezést, ezt a periodikus vizsgálatok során is megteszik a vizsgálatot végző személyek, és egyértelműen veszélyes sérülés, jelentős mértékű szennyeződés esetén javítást vagy cserét javasolhatnak. Kesztyűk esetén javítást nem lehet előírni, ruháknál azonban meghatározott méretű sérülésekig lehetséges.

2.4.1 Méréstechnikai problémák

Egy kielégítő ellenállás-értékű kesztyű esetében, mely nem sérült, a szabványos, 200 mA nagyságú egyenárammal végzett ellenállásmérés és egy multiméter ohmmérő üzemmódjában végzett ellenállásmérés azonos értéket ad hibahatáron belül. Az értékek leolvasás közben nem vagy csak elenyésző mértékben változnak, az áram injektálást követően néhány tizedmásodpercen belül beáll egy ellenállásértékre. Az anyag hosszirányú meghúzásra ellenállás-csökkenéssel reagál, a kesztyűbe helyezett szigetelőréteg eltávolítása sem eredményez érdemi ellenállás-változást.

Ezzel szemben a vizsgálatba bevont mintadarabok esetében az említett tulajdonságok nem mindig teljesülnek, és az alábbi méréstechnikai problémák adódnak:

- gyorsan változó értékek: a szabvány által is jelzett megfelelő értékű nyomóerőt rendkívül nehéz fenntartani. Amennyiben a kesztyű viseltes, szennyezett, hatványozottan jelentkezik ez a leolvasási probléma. Hosszabb próbálkozás után egy viszonylag állandó, minimumhoz közeli érték leolvasásával jól összehasonlítható eredményeket lehet feljegyezni.
- magas értékről hosszabb idő alatt alacsonyra beállítás: A kesztyű rugalmassága miatt az anyag egy alapállapotba beállhat, kisimul. Jó állapotú kesztyűk esetén ez néhány másodperc alatt megtörténik, azonban szennyezett, viseltes kesztyűknél ez ennek többszöröse lehet, valamint ingások jelentkezhetnek az értékben. A legtöbb kesztyűnél megoldást jelent egy hosszabb várakozás.
- a mérőelektrod tujének áthatolása: a kinyúlt, kevésbé tömör anyag átengedi a tűt túl nagy nyomóerő alkalmazása esetén
- gyenge reprodukálhatóság: egyes kesztyűknél véletlenszerűnek tűnő módon lehet csak leolvasni az ellenállásértékeket multiméterrel végzett mérés során.

A nyomóerő emberi érzékelésének felbontása nem elégséges ahhoz, hogy megfelelően beállítsa az ideális nyomást a kesztyűn az elektródon keresztül. Ezen mintadarabok ellenállása különböző módszerű mérések esetében

2.4.2 Nyomóerő

Két különböző elrendezésben történt meg a nyomóerő általi befolyásolás vizsgálata a következő mintadarabokon: V06, V09, V10, V17. A mérések a kesztyű felső patentja és a kesztyű legtávolabbi vezetőképes pontja között, a középsőujj végén történtek, minden mérést háromszor megismételve, majd azok átlagát képezve.

A mérést megelőzően a mintadarabokat egyenletesen a felületre simítva rögzítettem az ellenállást. A mérés után 1 perccel ismét feljegyeztem az értéket. Majd a téglatest méretéből fakadóan három szakaszban történt a kesztyű megnyomása, mindegyik után az ellenállást feljegyezve.



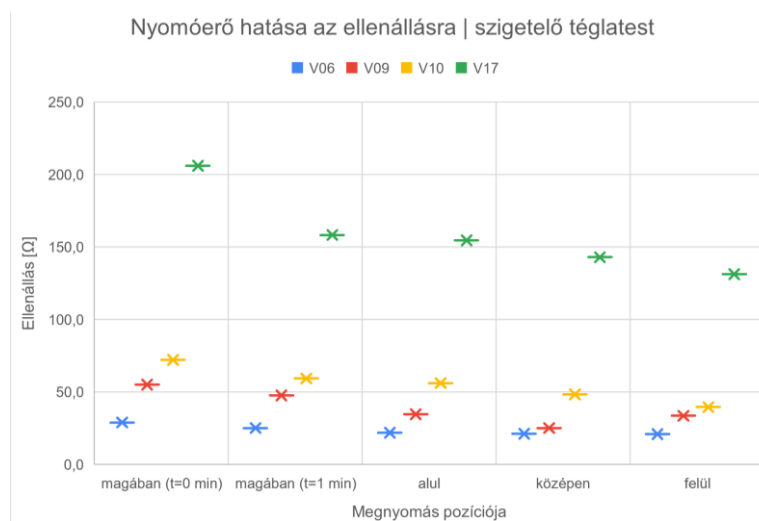
3. ábra Nyomóerő vizsgálata szigetelő téglatesttel

Az 1. és 2. táblázat tartalmazza a mérések eredményeit:

V06	megnyomási pozíció				
	magában (t=0 min)	magában (t=1 min)	alul	középen	felül
1	26	25,3	21,8	22,3	20,3
2	31	24,7	22,1	21,3	21,3
3	30	25,5	22	20	21,5
átlag	29,0	25,2	22,0	21,2	21,0
V09	megnyomási pozíció				
	magában (t=0 min)	magában (t=1 min)	alul	középen	felül
1	56	48	38	25	37
2	62	53	36	27	36
3	47,5	42	30	23,5	28
átlag	55,2	47,7	34,7	25,2	33,7
V10	megnyomási pozíció				
	magában (t=0 min)	magában (t=1 min)	alul	középen	felül
1	68	56	37	39	42
2	85	71	100	70	36
3	63,5	51	31,5	36	41
átlag	72,2	59,3	56,2	48,3	39,7
V17	megnyomási pozíció				
	magában (t=0 min)	magában (t=1 min)	alul	középen	felül
1	199	162	154	143	128
2	242	165	158	144	128
3	177	148	152	142	138
átlag	206,0	158,3	154,7	143,0	131,3

1. táblázat Nyomóerő vizsgálata, téglatest

Az alábbi diagramon megfigyelhető, hogy a kezdeti ellenállásérték lecsökken, amint az anyag a rugalmassága miatt egy egyenletesebb pozícióba rendeződik. A megnyomást követően az ellenállás csökken, az egyes megnyomási pontokon minimális különbség mérhető.



4. ábra A nyomóerő hatására megváltozó ellenállás, szigetelő téglatest esetében

A mérést megelőzően a mintadarabokat egyenletesen a felületre simítva rögzítettem az ellenállást. A mérés után 1 perccel ismételtén feljegyeztem az értéket. Majd a kézfejet teljes szélességében és hosszában fedő plexilapot a kesztyűre nyomtam, a mérést megismételtem.

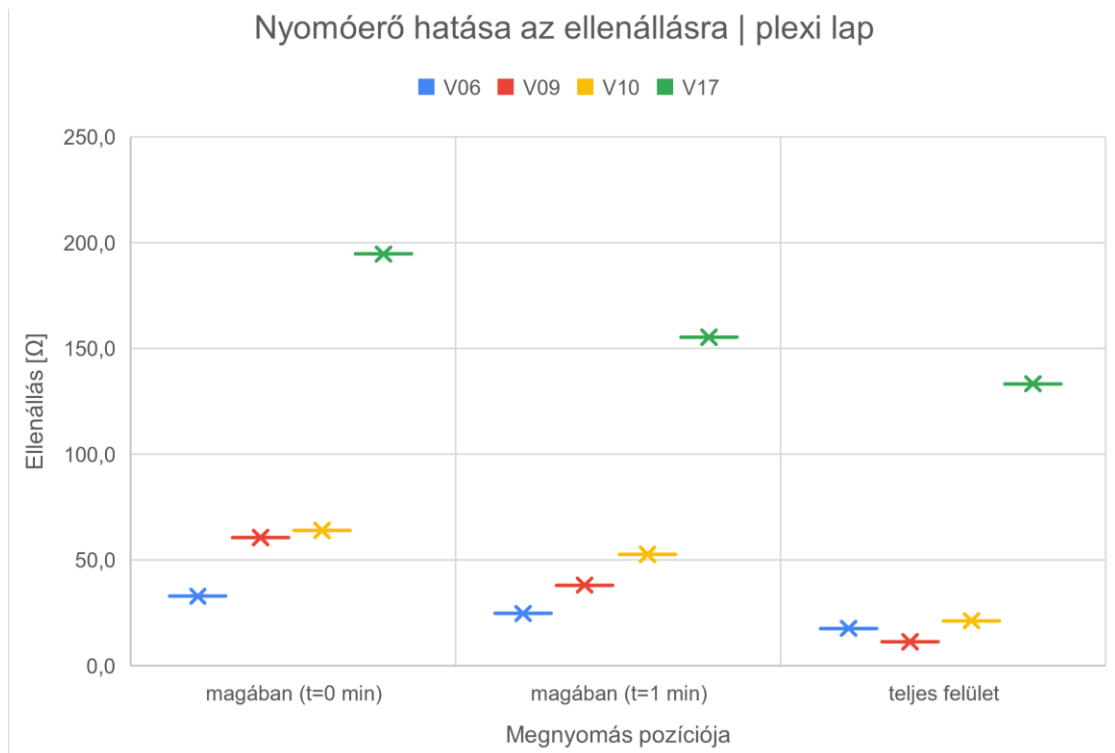


5. ábra Nyomóerő vizsgálata plexilappal

V06	mérés		
	magában (t=0 min)	magában (t=1 min)	teljes felület megnyomva
1	32	24	16,3
2	33,8	26,2	19,2
3	33	24	17,7
átlag	32,9	24,7	17,7
V09	mérés		
	magában (t=0 min)	magában (t=1 min)	teljes felület megnyomva
1	32	24	16,3
2	33,8	26,2	19,2
3	33	24	17,7
átlag	32,9	24,7	17,7
V10	mérés		
	magában (t=0 min)	magában (t=1 min)	teljes felület megnyomva
1	32	24	16,3
2	33,8	26,2	19,2
3	33	24	17,7
átlag	32,9	24,7	17,7
V17	mérés		
	magában (t=0 min)	magában (t=1 min)	teljes felület megnyomva
1	32	24	16,3
2	33,8	26,2	19,2
3	33	24	17,7
átlag	32,9	24,7	17,7

2. táblázat Nyomóerő vizsgálata, plexilap

Az alábbi diagramon megfigyelhető, hogy a kezdeti ellenállásérték lecsökken, amint az anyag a rugalmassága miatt egy egyenletesebb pozícióba rendeződik.



6. ábra Nyomóerő hatására megváltozó ellenállás, plexilap esetében

Egyértelműen megfigyelhető, hogy a rossz állapotú, nehezen mérhető kesztyűknél komoly szerepet játszik a nyomóerő, ezzel pedig kívánatos lenne a szabványos módszer használata a nehezebb elektródokkal, melyek kiküszöbölik ezt a bizonytalanságot. Ugyanakkor a 4. fejezetben bemutatott ellenállás-eloszlásra irányuló mérések esetében ez nem kivitelezhető a mérés felépítése miatt. Továbbá számos kesztyűnél nem jelent különbséget a szabványos módszer használata, így nem jelenthető ki, hogy csak azzal lehet pontosan megmérni az ellenállást.

2.4.3 Konduktív csatolás

A kesztyűn mind fizikailag, mind használat szempontjából jól elkülöníthető részek a kesztyű belső oldala (tenyere) és külső oldala (fonákja). Előállítás és szerkezet szempontjából azonban ezek nem különböznek, a gyártást követően minimális hibával megegyező ellenállást lehet mérni rajtuk. Ezt az esetlegesen a tenyérolalon elhelyezett csúszásgátlók sem befolyásolják.

A két oldal összeérésekor új csatlakozási pontok jöhetnek létre a hurkolt vezetősálak között, melyek alternatív áramutakat jelenthetnek a két mérési pont között. Ezzel a mért ellenállás érdemben csökkenhet.

2.5 Kesztyűk ellenállásának modellezése

A vizsgálatok során használt kesztyűtípus szövémintája egymásba kapcsolódó hurkokból áll, melyek vagy pamutsálak, vagy pedig olyan pamutsálak, melyen vezetőképessé fémzárt (ezüstözött) spirálalakban halad felfelé. Ettől eltérő típusú hurkolással halad az egyes felfelé vezető ágakon és azok között az aramidzárt, mely mind jó hőállóságot, mind mechanikai ellenállóságot és rugalmasságot kölcsönöz a kesztyűnek [8].

A periodikus tesztek során gyakran használt kiegészített szabványos kiértékelés is egyfajta modell lehet, melyben egy ujját azonosítunk egy ellenállással, és azok számtani közepe jellemzi a kesztyűt. Ez azonban nem megfelelő kondíció esetén csak a legkritikább esetben hordoz információt a meghibásodás okáról.

$$R_{\text{átlag}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{i.\text{ujj}}}{n} \quad (2)$$

Legmagasabb szintű modellként egy pontos, elosztott paraméterű, a szövémintát követő ellenálláshálót alkotó számítógépes reprezentáció is készíthető.

2.5.1 Ellenállásmátrix modell

Legegyszerűbb közelítésként egy 2 cm-enkénti függőleges irányban értendő szakaszosítással modellezhetőek a kesztyűk. Ebben a modellben elhanyagolom az egyes függőleges vonulatok közti átvezetési ellenállásokat. Az elhanyagolást megerősíti az a tény is, hogy az előzetes próbaméréseken a keresztirányú mérések még a rossz állapotú, nagy ellenállás- tényezőjű kesztyűknél is rendkívül alacsony. Ezt a modellt alkalmazom a 4.1 fejezetben bemutatott állandó távolságú mérésben.

2.5.2 Interkonnekt modell

Egy nagyobb bonyolultságú modell segítségünkre lehet a hibaokok megértésében, azonban még nem társítható hozzá a kutatás jelen fázisában konkrét mérés. Ez az ún. interkonnekt modell. Ez azt jelenti, hogy a szövemet egy horizontális és vertikális irányban, minden egyes ellenállást követően egy keresztezés követ, azaz egy négyzetrács élein ellenállások helyezkednek el. Legyen ezen keresztezések neve interkonnekt!

Ha egy interkonnekt aktív, akkor a négyzetrács pontjában folytonos a háló. Ez akkor történik, ha két keresztező vezető szál összeér, vagy ha egy szakadt vezető szál ismét összeér a kesztyű összehúzódásának hatására. Egy interkonnekt passzív, ha elszakadt egy vezető szál, ha két vezetősál keresztezi egymást, de nem érnek össze, vagy ha keresztezik egymást, de valamilyen szennyeződés akadályozza az érintkezést.

3 Felhasznált mintadarabok

A vizsgálatok során három külföldi (USA, Norvégia, Ausztrália) cégtől érkezett mintadarabokkal foglalkoztam, továbbá hazai feszültség alatti munkavégzés során viselt kesztyűket is volt lehetőségem vizsgálni. Az összes mintadarabot periodikus vizsgálat alkalmával vonták ki a használatból.

3.1 Tulajdonságok

A teljes mintaszám 20 pár kesztyű, azonban a vizsgálatok sajátosságai és időigényessége miatt nem mindegyiket használtam az összes vizsgálat során. A következő táblázatban bemutatom a kiemelt mintadarabokat (8 db, VXX) és egy terepi használtba nem került, új, a szabványos határokat kielégítő kesztyűpárt (VC1), mely kontrollszerepet tölt be. Ezenkívül adott még két pár destruktív degradációs vizsgálatokra szánt, eredetileg megfelelő állapotú kesztyűpár (VD1, VD2).

A kesztyűk csuklórésze a mandzsetta, mely a kéztő vonalától 10-12 cm hosszan terül el. Ellentétben a kézfej, a tenyér és az ujjak felületével nem vezetőképes, más színű a textil is ezt jelzendő. A ruhához való galvanikus csatlakozást a vizsgált mintadarabok esetében egy kétpatentós bonding valósítja meg, mely mandzsetta területéről kb. 0.5 cm-re átlóg a vezetőképes részre. A VC1, VD1 és VD2 mintadarabok esetében a mandzsettarész nem különül el, ugyanazon vezetőképes anyaggal készült; ez nem jelent ellenállás tekintetében különbséget, hiszen a mérések során ugyanazokat a pontokat alkalmazom minden esetben, a vezetőképes mandzsetta ellenállása nem adódik hozzá a teljes értékhez. A tenyéren és az ujjak belsején 3 mm átmérőjű csúszásátlók találhatóak.



7. ábra Nem vezetőképes mandzsettájú kivitel



8. ábra Vezetőképes mandzsettájú kivitel

A kesztyűkből készül téli és nyári kivitel, melyek között a különbséget a ruhaanyag szálainak vastagsága jelenti. A téli verziójú, használatlan kesztyűk ellenállása jellemzően 2-3 Ω -mal nagyobb a nyári verziójúaké. A felhasználók a statisztika szerint gyakrabban használják nyári változatot, sokszor nem is kerül beszerzésre a téli verzió: az

egy-egy országok éghajlata jelentősen eltér, de a FAM munkák időzítése sem azonos elosztásban történik.

mintadarab	átlagellenállás, jobb kesztyű [Ω]	átlagellenállás, bal kesztyű [Ω]	mintadarab eredete	téli/nyári kivétel	kezdeti állapot, szemrevételezés
VC1	1.78	2.08	-	nyári	újszerű
V01	12.04	13.92	Magyarország	nyári	újszerű
V06	31.64	32.16	Magyarország	téli	koszos
V07	116.56	137.20	Magyarország	téli	koszos, kinyúlt
V09	37.00	26.00	USA	nyári	fakult szín
V10	130.00	205.00	Ausztrália	nyári	fakult szín
V13	102.80	126.80	USA	nyári	fakult szín
V15	nem mérhető	nem mérhető	USA	nyári	fakult szín
V17	177.80	213.60	Norvégia	nyári	koszos, kinyúlt
VD1	8.86	6.40	-	nyári	újszerű
VD2	3.98	6.00	-	nyári	újszerű

3. táblázat Mintadarabok adatai

3.2 Szabványos ellenállásmérés

Az IEC 60895 szabványban specifikált 200 mA egyenárammal történő mérést végrehajtottam a mintadarabokon. Az áram előállításához egy DC tápegységet használtam, melynek adott egy beépített felső feszültségértéke. Amennyiben a 200 mA-es áramkorlát beállítása nem lehetséges, az ezen felső határ elérése miatt történik, így egy 200 mA-nél kisebb áramértéken lehetséges csak a mérés az eszközzel.

mintadarab	átlagellenállás, jobb kesztyű [Ω]	átlagellenállás, bal kesztyű [Ω]
VC1	2.91	4.85
V01	6.87	8.76
V06	28.44	32.67
V07	46.44	45.53
V09	23.88	24.71
V10	27.46	35.31
V13	35.83	25.20
V15	~MΩ	~MΩ
V17	112.43	116.01

4. táblázat 200 mA-es szabványos ellenállásmérés eredményei

3.3 Lehetséges hibaok

A kutatómunka jelen fázisában még nem rendelkezem a rendelkezésre álló mintadarabok használati előzményeivel, az adott felhasználó terepi és tárolási szokásrendszerével, ezért a szabványok és gyakorlati tapasztalatok alapján

összegyűjtöttem a legvalószínűbb hibaokokat, melyek végeredményeképpen a rövid idő alatti ellenállás-növekmény megjelenhet.

3.3.1 Kémiai eredet

A kesztyűket degradáló jelenségek közül több kémiai eredetű hiba is elképzelhető. Ilyenek például a szennyeződések. A kesztyűk általános használati formáját ismerve és a szemrevételezés utáni állapotból kiindulva nem elvethető, hogy részben egyelőre ismeretlen eredetű szennyeződések felelősek az ellenállás-növekményekért. A szennyeződések eredhetnek balesetből, hanyag kezeléssel vagy tárolásból. A szennyező anyagok passzív interkonnekteket eredményezhetnek, vagy egy még aktívabbnak kevésbé hatékonyt tehet az átmeneti ellenállás megnövekedésével.

A nem megfelelő tisztítás szintén megnövelheti az ellenállást: ha olyan tisztítószert alkalmaz a ruha tulajdonosa, mely korrodálja a vezetősálakat, az végeredményben növelheti a passzív interkonnektek számát, és a vezetősálak keresztmetszetét is csökkentheti.

További kémiai eredetű degradációs mechanizmus lehet az izzadság is hosszú távon.

3.3.2 Mechanikai eredet

Általánosan a ruházati termékek legfontosabb degradációs mechanizmusai mechanikai eredetűek, ez pedig a vizsgált FAM kesztyűk esetében is nagy valószínűséggel igaz.

A kesztyűt a munka során bármikor érhetik hirtelen mechanikai behatások, melyek bár külsőre nem teszik tönkre a ruhadarabot, mégis maradandó anyagszerkezeti károsodást eredményeznek. Példaként említhető egy megcsúszás, mely közben a kesztyű beakad egy kiálló tárgyba: a megkapaszkodásig eltelt rövid idő alatt nagy erőhatás érte a kesztyűt. A textil rugalmassága miatt kevésbé sérült, azonban a vezetősálak ennél csekélyebb mértékben képesek elviselni az ilyen erőket, ezzel érdemi számú elemi szál szakadása történt meg, ami pedig több passzív interkonnekthez vezet.

Az anyagfáradás, a 'wear & tear' típusú mechanikai degradáció, a rendeltetészerű használat közben az anyag megnyúlásai és összehúzódásai hosszú távon fejtik ki hatásukat az ellenállás-növekedés terén.

A tisztítás közbeni súrlódást megelőzendő, csökkentendő az IEEE 1067-2012 [6] útmutatója kézi mosást ír elő, azonban ha ez nem teljesül, egy mosógépben rövid idő alatt számos mechanikai hatásnak van kitéve a kesztyű.

A mintadarabok felhasználási területei változatosak, és ebből eredően a feszültség alatti munkavégzés időzítése is eltérő. Példaként említhető Norvégia, ahol az éghajlatból [16] eredően a FAM során sokkal gyakrabban találkoznak a beavatkozó szerelők hóval és jéggel, mint pl. Magyarországon. A kesztyűk átlagosan több hideg, nedves felülettel érintkeznek, így elkerülhetetlen a vezetősálak töredezése hőmérséklet-változás következtében, mikor a munka befejezése után az egyes ruhadarabok szárítása, tárolása és szállítása történik.

3.3.3 Gyártási hibák

Nem zárható ki a gyártási hibák lehetősége sem, mint például a hibásan előállított ezüstsálak vagy egy programozási hiba miatti szerkezeti elváltozás. Azonban az ellenállásban azonnal jelentkező ellenállás-növekedés esetén rendkívül valószínűtlen, hogy a felhasználóig eljusson a termék, ugyanis az első használatot megelőzően átvételi vizsgálat történik, melynek keretében egy vizsgálólaboratórium a periodikus vizsgálattal megegyező folyamatot hajt végre.

Az időről időre történő tökéletesítések vagy a felhasználói igényeknek megfelelő dizájn beállításának alkalmával előfordulhat, hogy egy állandó konstrukciós hiba kerülhet a gyártási folyamatba, mely csak az esetek kis hányadában vagy periodikusan jelentkezik. Ezen típusú hibák elemzése túlmegy a dolgozat keretein, és nem is áll a rendelkezésemre az ahhoz szükséges adathalmaz.

4 A kesztyűk ellenállás-eloszlása

A felhasznált mintadarabok előzetes mérései során észleltem, hogy egyes kesztyűk ellenállása sokkal nagyobb az ujjhegyek területén, mint a tenyéren. Ezt a megfigyelést további vizsgálatok követték, így kiderült, hogy ellenállásbéli különbség egyazon kesztyű tenyéroltalán és fonákján is, de az egy párnál a jobb és bal kesztyű ellenállása is különbözhet. Ez a különbség akár egy nagyságrendbeli is lehet.

4.1 Állandó távolságú ellenállás-mérés

4.1.1 Módszer

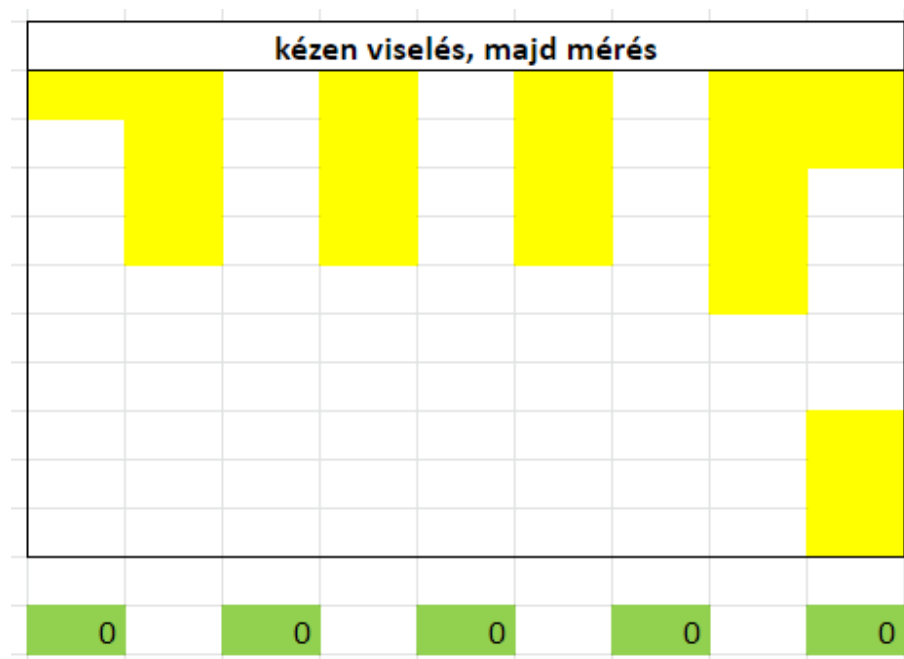
A 2 cm-es szakaszok mérése multiméterrel történik, melyhez a saját, tú típusú elektródjai vannak csatlakoztatva. Az állandó távolságot a célra tervezett, 3D-nyomtatott távtartók biztosítják, melyek szorosan csatlakoznak két helyen a tüelektródokra. A tüelektródok önellenállásával minden mérés kompenzálva van.



9. ábra 3D-nyomtatott távtartók az állandó távolságú méréshez

A mért értékeket táblázatkezelő programban rögzítettem egy a célra készített sablonban, jobb és bal oldalra külön mintával. A kesztyűk két elérhető mérete és használatukból eredő kinyúlásuk miatt egy extra sort szúrtam be a táblázatok aljára, mely

alapértelmezés szerint inaktív felület, de ha van még vezetőképes anyagrész, melynek mérése nem történt meg, akkor azt lehet rögzíteni. A mérési sorozatokat MATLAB-ba beolvasva hőterkép jellegű ábra készíthető a táblázatokból a `heatmap` funkcióval. Ekkor mind számszerűen könnyen nyilvántartható egy mintadarab, mind pedig gyorsan vizualizálható. A 4.1.2 alfejezetben ismertetett három különböző mérési elrendezés, a jobb és bal kesztyű, illetve azok színe és fonákja miatt ezen kategóriák szorzata, 12 különböző konfiguráció adódik minden mintadarabra. Amennyiben több, időben eltolts mérési sorozatra van szükség, akkor $n \cdot 12$ db sablont kell kitölteni.



10. ábra Sablon az értékek rögzítéséhez

4.1.2 Mérési elrendezés

A kesztyűk mérését minden esetben nagy szigetelési ellenállású felületre helyezve végezték el. Minden mintadarab esetén három különböző elrendezésben végig a jobb és bal kesztyűk tenyerét és színét is, így egy mérési szettben 12 db mérés található. Reprodukálhatóság szempontjából érdemes lenne többször megismételni a mérést. Az elrendezések az alábbiak:

- alap mérési elrendezés: szigetelő anyagra ráhelyezve, a kesztyűben szigetelő elválasztó réteget nem használva történik a mérés
- szigetelő réteg a kesztyűbe helyezve: szigetelő anyagra ráhelyezve, a kesztyűben szigetelő elválasztó réteget használva történik a mérés



11. ábra Állandó távolságú mérés kartonlappal

- kézen viselést követő mérés: 30 s-on keresztül történő kézen viselés után az alap mérési elrendezésnek megfelelően végzem az ellenállásmérést; a kézen viselést minden szett előtt megismétlem



12. ábra Állandó távolságú mérés

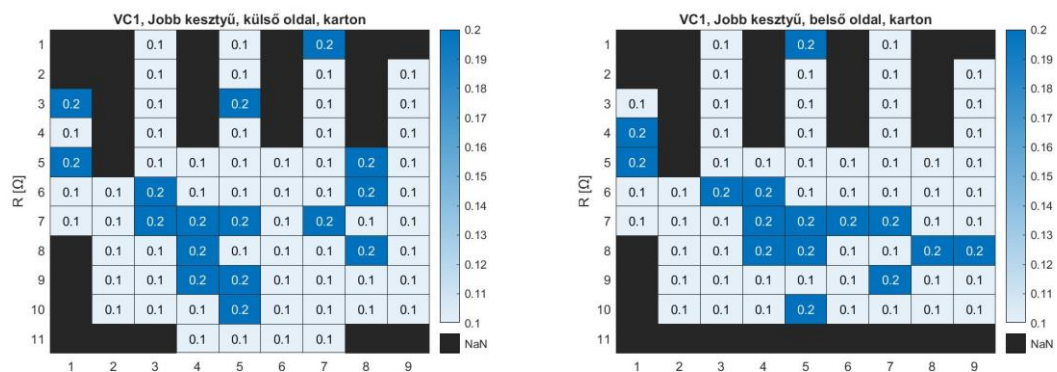
4.1.3 Eredmények

Az 5. táblázat összefoglalja az állandó távolságú mérés eredményeit az egyes mintadarabokra lebontva. Az előzetes eredménnyel való összevetés az 5 ujj átlagellenállásával történik.

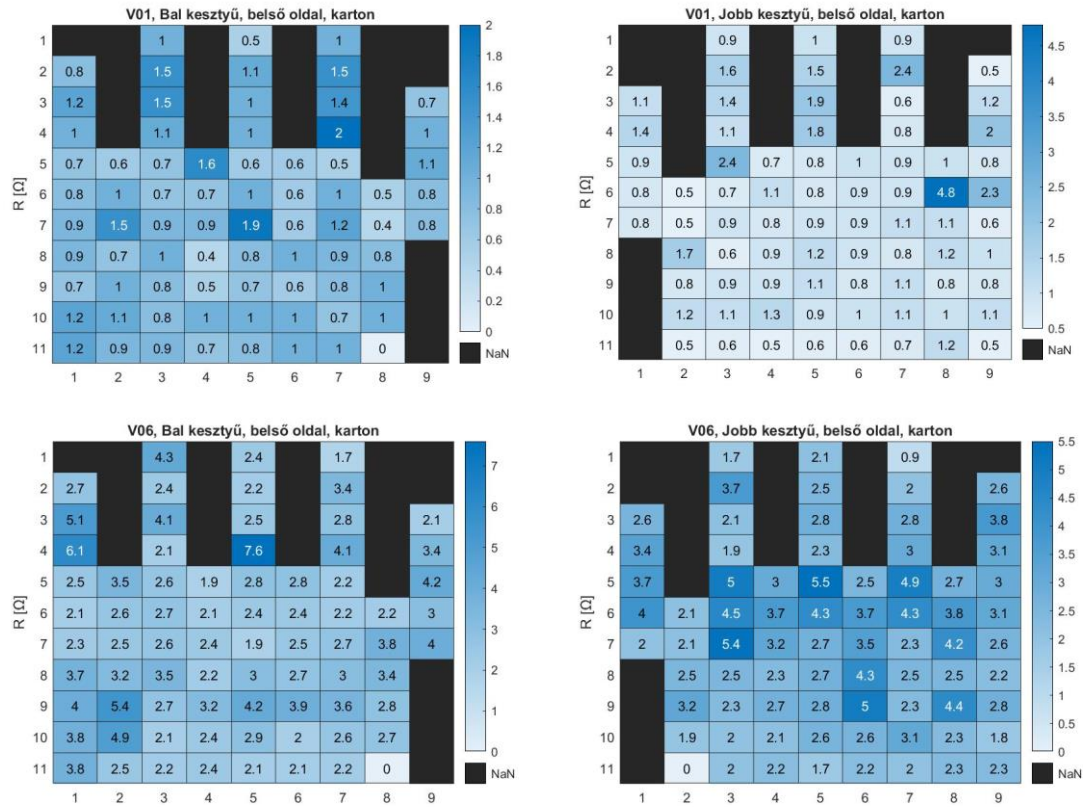
mintadarab	ellenállás eloszlása	jobb/bal kesztyű ellenállása közötti eltérések	külső/belső oldal ellenállása közötti eltérések	előzetes eredménnyel összevetés
VC1	egyenletes, nincs kiugró érték	nincs	nincs	egyező
V01	egyenletes, néhány kiugró érték	nem szignifikáns	nem szignifikáns	egyező
V06	egyenletes, néhány kiugró érték	jobb oldal érintési pontokon magas	nem szignifikáns	egyező
V07	ujjakon és ujjhegyeken koncentrálódik	jobb oldal magasabb	nem szignifikáns	egyező
V09	egyenletes, tenyérközép és kézfej kivételével	nem szignifikáns	nem szignifikáns	egyező
V10	tenyérközép és kézfejen koncentrálódik	bal oldal magasabb	nem szignifikáns	mindkét oldal 60% csökkenés
V13	bal ujjtöveknél és jobb tenyéren koncentrálódik	jobb oldal érintési pontokon magas	belső oldalak egyenletesebbek	jobb 30%, bal 60% csökkenés
V15	a tenyér alsó sávján kiemelkedően magas	jelentős, véletlenszerű	nem ismert	3 nagyságrend csökkenés
V17	ujjakon és ujjhegyeken koncentrálódik	néhány kiugró érték jobb oldalon	külső oldal alacsonyabb	egyező, kivéve szigetelés mérés

5. táblázat Az állandó távolságú mérés összefoglalása

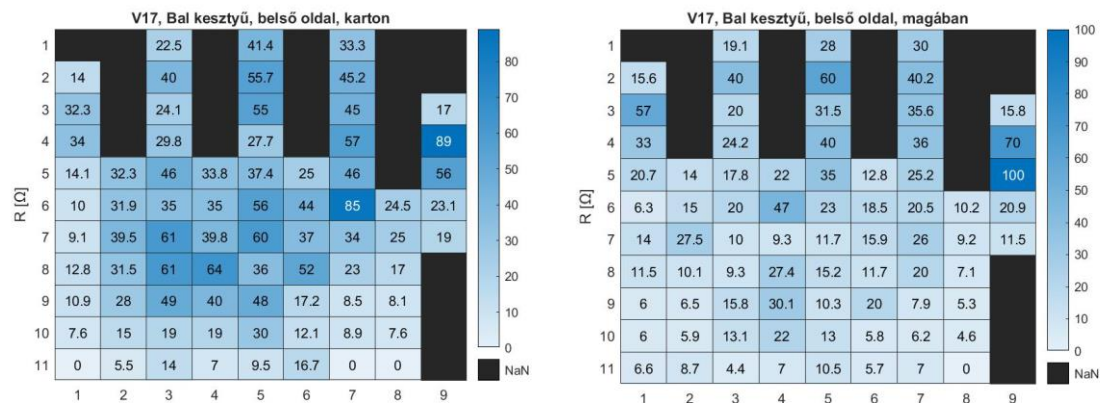
A következőkben a legfontosabb megfigyeléseket sorakoztatom fel, melyek az állandó távolságú mérés eredményeiből kiemelve hasznos információként használhatóak fel a továbbiakban. A nemcsak megfelelő, hanem kifejezetten jó állapotú kesztyűk ellenállás-eloszlása közel homogén, melyet a kontrollmintadarabon sikeresen meg is tudok mutatni. A multiméter 0.1 Ω hibáját figyelembe véve majdnem teljesen egyenletes a VC1 kesztyű mindkét oldala mind a jobb, mind a bal oldalon.



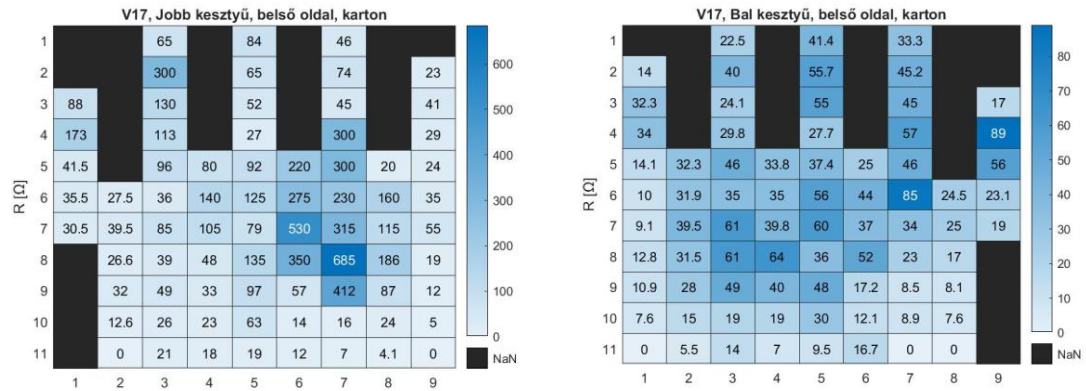
A V01 mintadarab esetében jellegzetesen olyan pontokon növekedett meg az ellenállás, ahol kapaszkodás közben a szorított tárggyal érintkezik a kéz. A V09-nél ugyanezt a jelenséget tudtam megfigyelni, ahogy V06 mintadarabnál, ám azzal a különbséggel, hogy a két oldalon eltérő helyeken jelentkeznek ugyanaz a mértékű kiugró értékek.



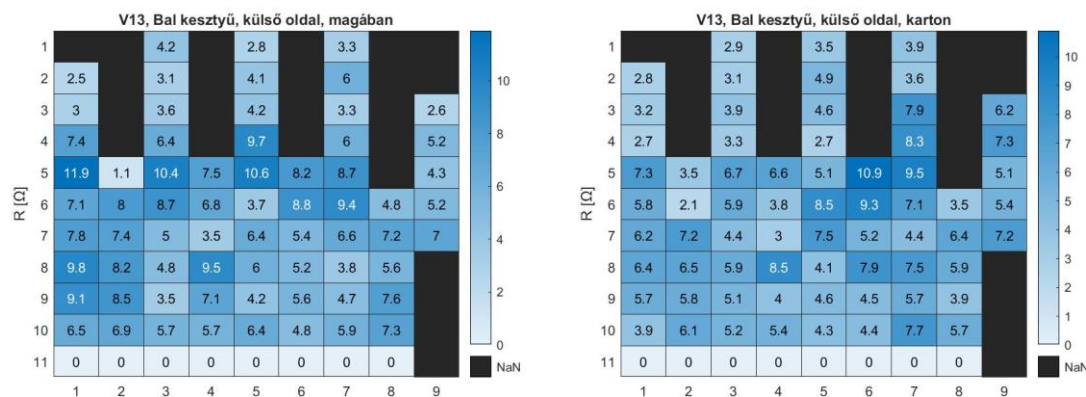
A kesztyű tenyere és fonákja közti konduktív csatolás hatásának érvényesülése kiemelt mértékben látszódik a V17 mintadarab bal kesztyűjének esetében. Bár a belső oldalon az ujjak és a kéztő területén jó közelítéssel megegyeznek a mért értékek, a tenyér közepén akár 50 Ω-mal nagyobb szakaszok is mérhetőek. A jelenség kevésbé drasztikus mértékben, 10 Ω-os növekedéssel megfigyelhető a V09 kesztyűnél is.



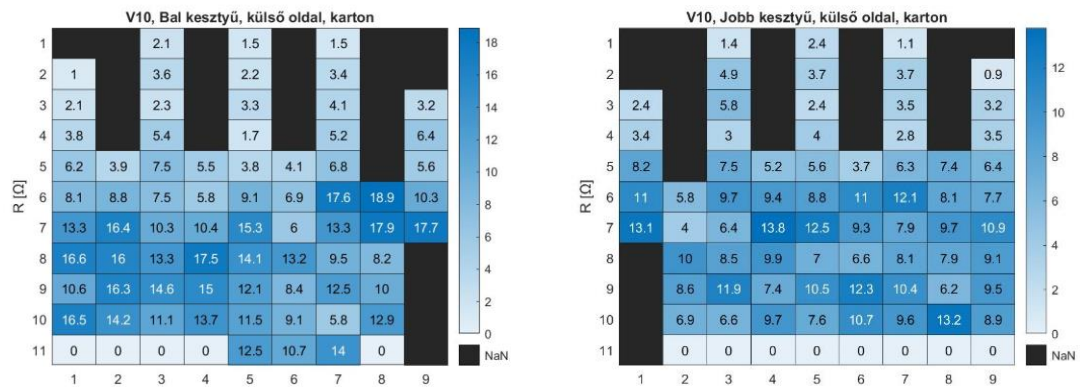
A V17 kesztyűn vizuálisan is észlelhető a gyenge kondíció: számos csúszásgátló hiányzik a tenyérrel, a felülete koszos és az ujjakon kopott is volt. Ezek a jegyek mind azt implikálják, hogy erősen frekvenciált használat miatt növekedett meg az ellenállás, melynek értéke több száz Ω a belső oldalon (bal átlag 318 Ω , jobb átlag 968 Ω), ez pedig nem egyezik a felderíteni kívánt jelenséggel.



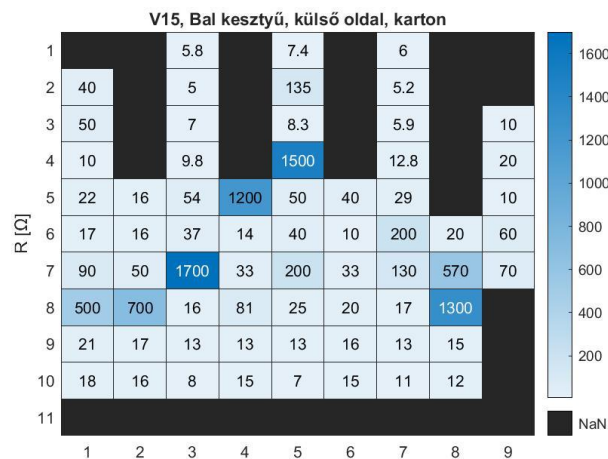
A V13 jelű kesztyű esetében azonban semmilyen érdemi különbség nem jelentkezik a két konfiguráció között. Megfigyelhető, hogy mindkét oldalon az ujjakon alacsonyabb az ellenállás.



A V10 kesztyű ugyanazt a trendet mutatja, mint a V13, azonban a tenyéren területe még nagyobb ellenállású. Bár nem azonos a felhasználási helyük kezdeti állapotuk megegyezett, ellenállásuk azonos nagyságrendű, nagy valószínűséggel azonos degradációs mechanizmus következtében kellett kivonni a használatból mindkét párt.



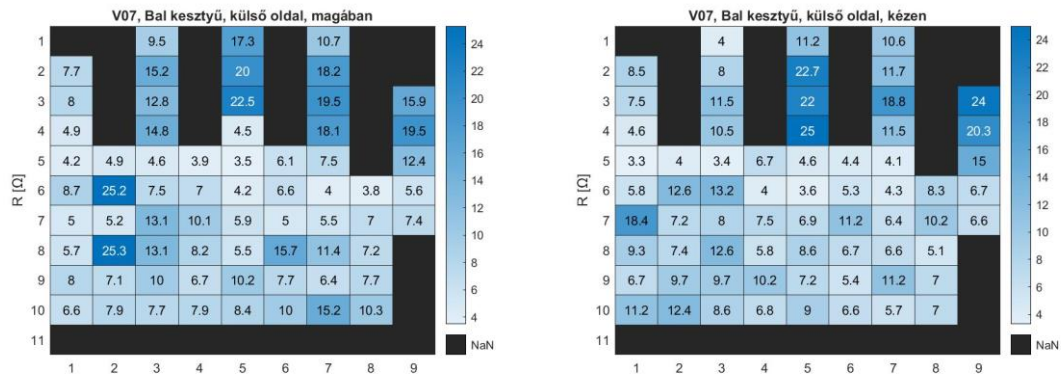
Nem minden kesztyű esetében segít az ellenállás alapú diagnosztikában az állandó távolságú mérés: a V15 mintadarab előzetes mérése a $M\Omega$ nagyságrendben volt, azonban stabilan leolvasható értéket hosszú próbálkozás után is nehéz volt rajta találni. A 2 cm-es szakaszok összege egy-egy ujjon 2 k Ω körül mozgott. Az ellenállás eloszlása a kesztyű nagy részén egyenletes, azonban a tenyér néhány pontján extrém magas a környezetéhez képest. Ameddig előzmények nem állnak rendelkezésünkre, addig csak annyit lehet feltételezni, hogy az eddigiekben bemutatott mintadaraboktól eltérő módon következett be a degradáció. A V15 kesztyű jó példa arra, hogy az állandó távolságú mérés nem eliminálja a nyomóerő problémáját.



13. ábra V15 bal kesztyű külső oldalának eloszlása

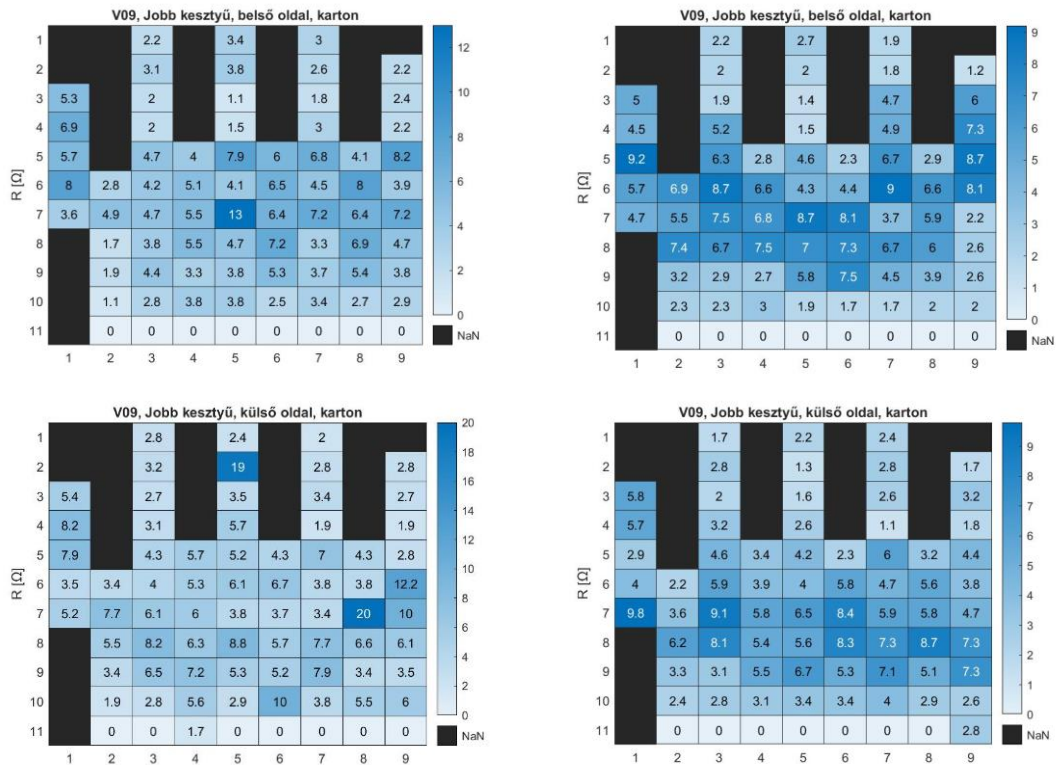
Általánosan elmondható, hogy a megnövekedett ellenállású kesztyűk esetében érdemi különbséget lehet mérni a szigetelő réteg behelyezésével, a konduktív csatolás megszüntetése miatt. Érdekes megfigyelni azonban a szigetelő réteg nélkül végzett mérések két elrendezése közti különbségeket is. Ha a mérést kézen viselés előzi meg, úgy az átlagellenállások a kesztyű állapotától függően akár 15%-kal is csökkentek. A jelenség oka a kesztyű rugalmasságában rejlik: az aramidszál összehúzódása több percet is

igénybe vehet, ezalatt pedig a vezetősálak szakadási pontjai megnyílhatnak, az esetleges nagy átmeneti ellenállásokat hatástalanítva. Ezenkívül a vezetősálaknak, az aramid-sálaknak és a ruhaanyag szálainak hossza kiegyenlítődik, ami az összesodort vezetők esetén csak úgy tud megtörténni, hogy az egy ruhaanyag-sál mentén spirálalakban fűzött több elemi sál összeér, ezáltal egységes keresztmetszetet teremtve a mérőáramnak.



4.1.4 Megismételt mérési sorozat

A V09 mintadarab mérését 2 hónappal az első mérési sorozatot követően megismételtem. Bal oldalon az 1. mérési sorozatból, míg a jobbon a 2.-ből láthatóak eredmények.

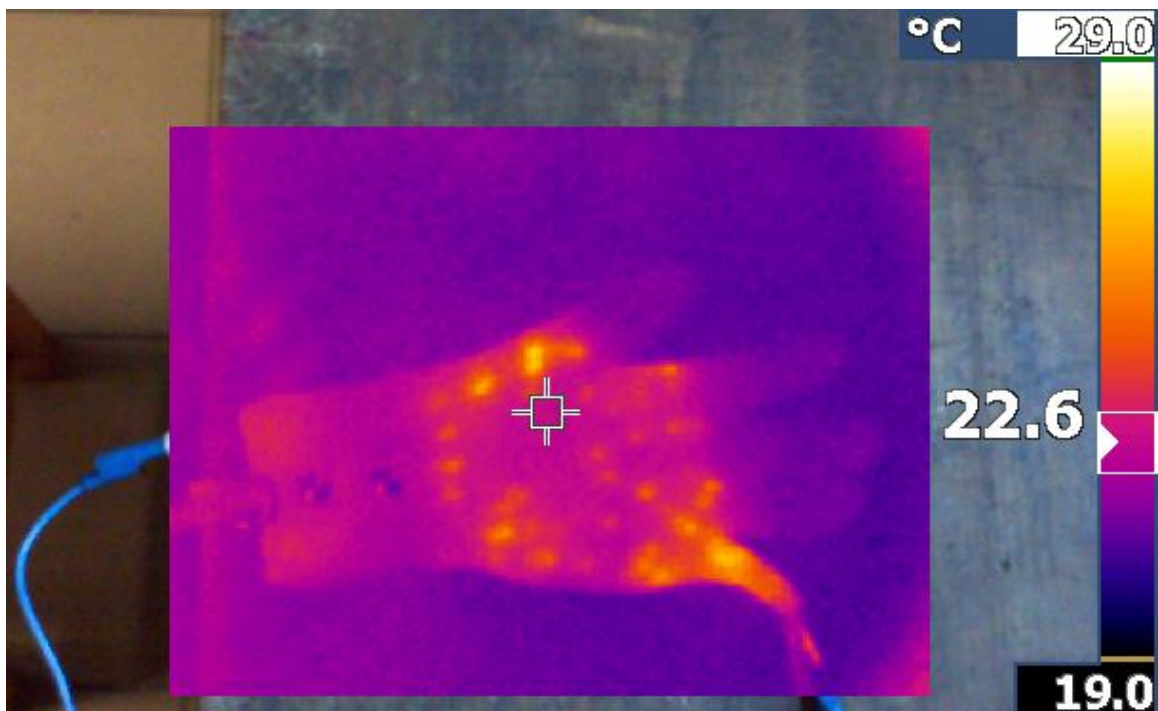


Az átlagellenállás a bal kesztyűnél 10 Ω -mal emelkedett, míg a jobb kesztyű esetén hibahatáron belül azonos értékek voltak mérhetőek. A pár mindkét felét azonos körülmények között tároltam, azokon semmilyen más mérést nem végeztem. Mind a két mérés előtt szemrevételeztem kesztyűt, megfigyeléseim nem különböztek.

4.2 Thermografikus ábrázolás

4.2.1 Módszer

Alternatív lehetőségként az időbeli hatékonyság érdekében a thermografikus ábrázolás lehetőségét is megvizsgáltam. A MATLAB `heatmap` funkciója a hőkamerás ábrázolás folyamatának ellentétjét valósítja meg. Optimális körülmények mellett lehetséges az ellenállásbéli különbségeket infravörös tartományban is rögzíteni, hiszen a különböző értékű szakaszokat különböző mértékben melegíti fel a mérőáram. Az alábbi kezdeti fázisban végzett mérésen jól látszik, hogy a tenyéren számos hot spot található, mely környezeténél nagyobb ellenállást jelent. Mivel a hőkamera nem érinti a mintadarabot, ezért a nyomóerő nincs jelen hibafaktorként a mérés során.



14. ábra Hot spotok a FAM kesztyű fonákján

4.2.2 Mérési elrendezés

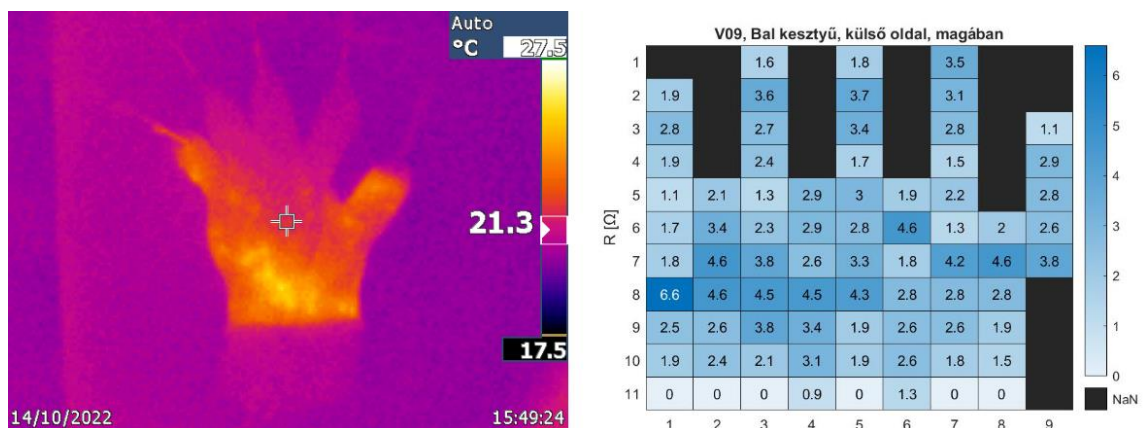


15. ábra Mérési elrendezés thermografikus ábrázoláshoz

Egy Fluke TI 10 thermokamera [17] segítségével történt a képek rögzítése a szigetelő felületre felfeszített kesztyűről. A kesztyűbe 200 mA egyenáramot vezetek egy DC tápegység segítségével, a betáplálási pontok a mandzsettán található potenciálcsatlakozó végpontja, illetve az ujjvégek voltak. Az áramot az ujjakon egyenletesen elosztó, párhuzamosító vezetékek ellenállása 0.1Ω alatti. A párhuzamosított betáplálásra azért van szükség, mert a multiméteres méréshez hasonlóan az csak 1 ujj ellenállásán vezeti át az áramot, ezzel a kesztyű nagy részét nem vizualizálva. Az áramot 1 percen keresztül táplálom a kesztyűbe, majd elkészítem a hőkamerás felvételt.

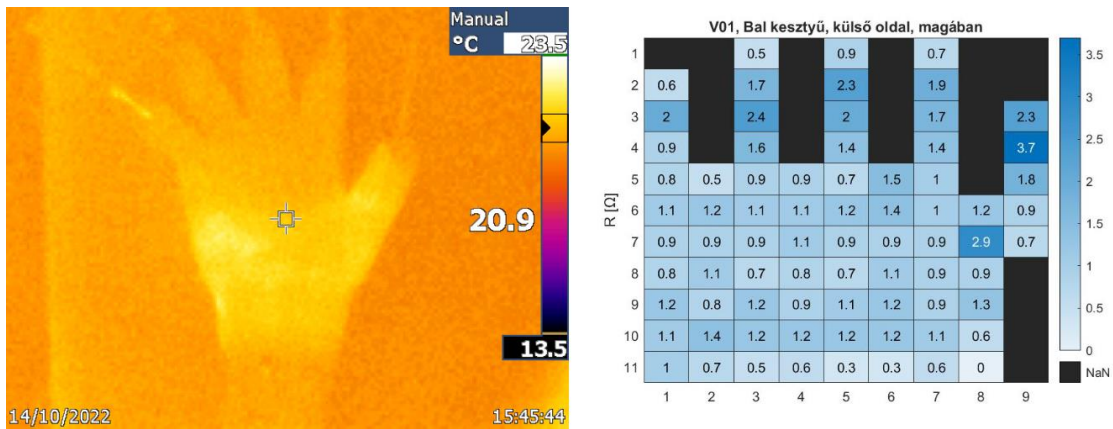
4.2.3 Eredmények

A hőkamera segítségével sikerült megjeleníteni az ellenállás-eloszlást, azonban csak bizonyos feltételek mellett. Szobahőmérsékleten a 200 mA-es betáplálás nem melegíti fel kellően ahhoz az összes kesztyűt, hogy elkülöníthetők legyenek a különbségek.



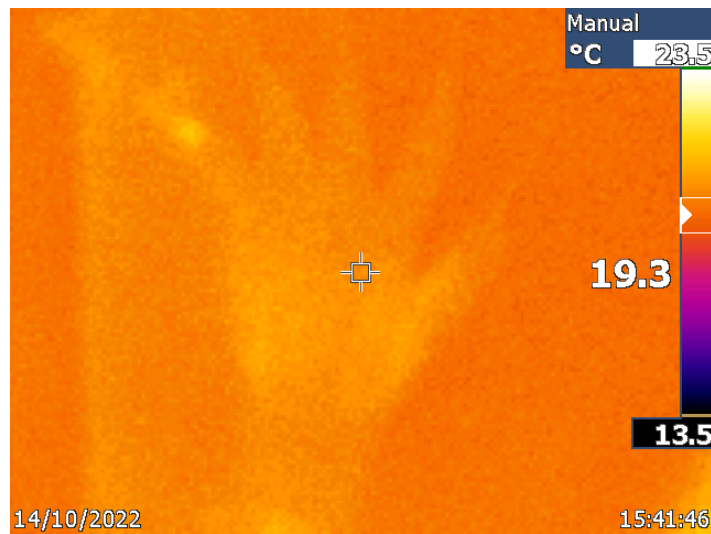
16. ábra V09 összehasonlítás

A V09 mintadarab esetében közel azonos eloszlást rajzol ki mind a két módszer. Jól látható az is, hogy a mandzsettarész nem vezetőképes.



17. ábra V01 összehasonlítás

A V01 mintadarab ellenállása alacsonyabb, mint a V09 mintadarabé, és az eloszlás is jól megfeleltethető egymásnak, azonban a jobb kesztyű esetében már alig vehető ki a kesztyű pontos körvonala, és a bal kesztyűnél sem látható az összes határ.



18. ábra V01 jobb kesztyű hőkamerás felvétele

A kamera rögzítési bizonytalansága és a környezeti hőmérséklet miatt jelenlegi formájában nem alkalmas a mérés sem az ellenállás-eloszlás feldolgozására, sem pedig az eredmények összehasonlítható formában való közzlésére. Az ellenállásértékek nem állnak rendelkezésre, kizárólag jellegre kapható meg az eloszlás. Több ujj egyszerre történő táplálásával a módszer a környezeti hőmérséklettől és ellenállás-nagyságrendtől függően limitáltan alkalmazható inhomogén ellenállás-eloszlás detektálására.

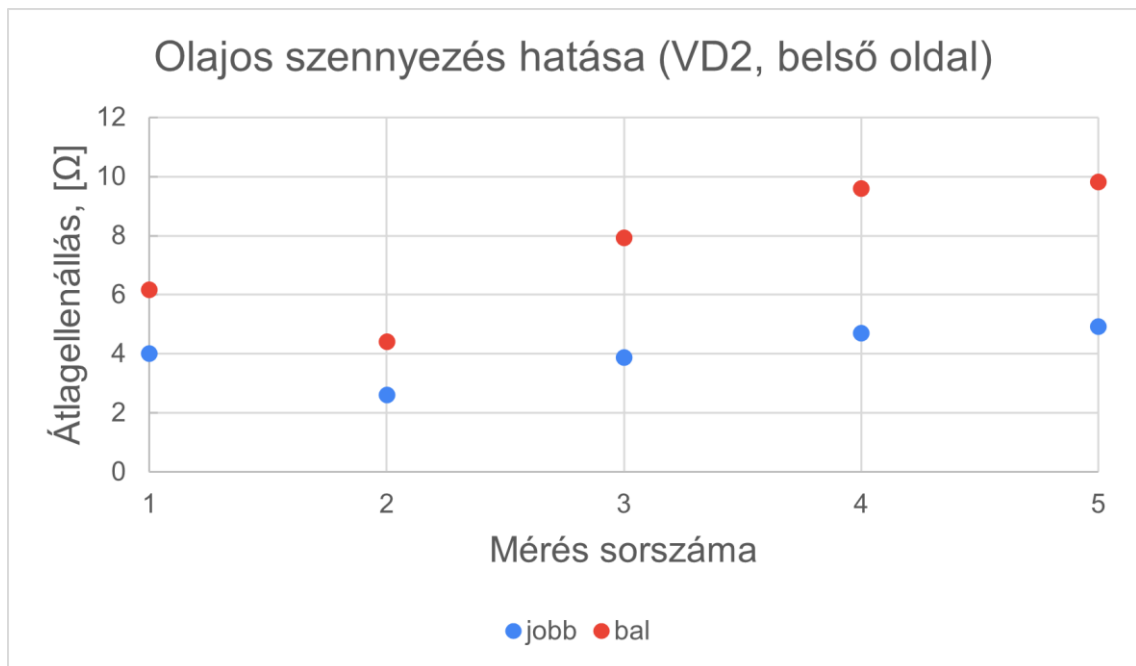
5 Degradációs mérések

A következő fejezetben a feltételezett degradációs mechanizmusok egy részhalmazának hatásait kísérlem meg reprodukálni.

5.1 Szándékos szennyezés

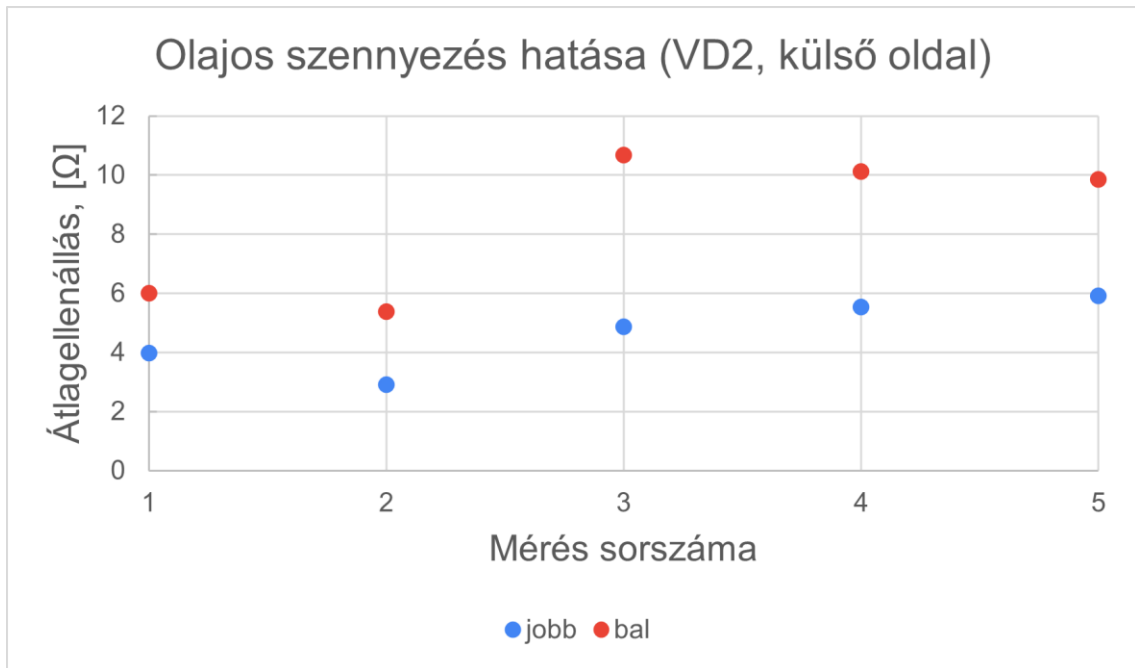
5.1.1 Olaj hatása

A balesetből eredően a kesztyűt beszennyező anyaghoz ipari környezetben használt transzformátorolajat használtam, míg a hanyag tárolás szimulációjához ülededő port választottam. Az olajjal a kesztyű mind a két oldalát beszennyeztem a tenyér és az ujjak területén, nem teljesen egyenletesen. A hatást hosszú távon vizsgáltam, az első ellenállásmérés (5 ujjas módszer) a szennyezést megelőzően, az azt követően kb. 20 naponta történtek a VD2 jelű páron. Közöttük nem teljes porbiztos helyen tároltam a mintadarabokat.



19. ábra Olajos szennyezés a kesztyű belső oldalán

A kesztyűk belső oldalán emelkedő trend figyelhető meg, a 3 hónapnyi időtartam alatt 2 Ω ellenállás-növekedés volt mérhető a bal kesztyűn, míg a jobbon ez csupán fél Ω nagyságú volt.



20. ábra Olajos szennyezés a kesztyű külső oldalán

A kesztyűk külső oldalán a belső oldallal azonos trend figyelhető meg, a 3 hónapos időtartam alatti 2 Ω -os ellenállás-növekedés a bal kesztyűn itt is megfigyelhető. A jobbon a növekedés ezúttal 1 Ω volt.

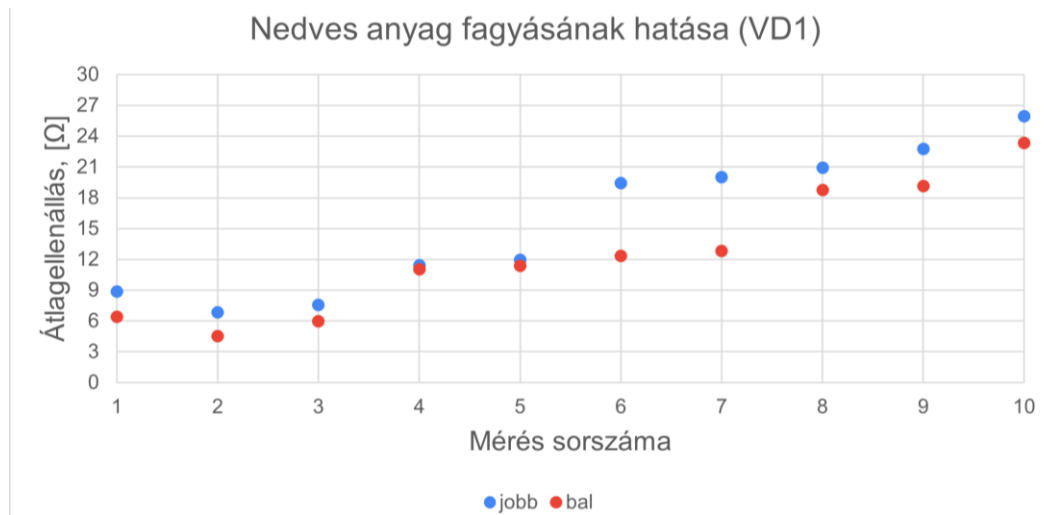
Bár ez a hibaok a rövid távon kisebb mértékben járul hozzá az ellenállás-növekedéshez, a mértéke hibahatáron túli és egy periodikus vizsgálat ideje alatt észlelhető lehet.

5.2 Mechanikai fárasztás

5.2.1 Nedves anyag fagyásának hatása

Bár nem minden kesztyűt használnak olyan éghajlatú területen, hogy a fagyásból eredő mechanikai sérülések releváns forrásként szerepeljenek, azonban pl. Norvégiában történő rendszeres használat esetén nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A mérés során vízzel locsoltam meg a kesztyű felületét, majd egy fagyasztóban 1 óras időtartamra elhelyeztem, egy kötélre felfüggesztve. Ezt követően az anyagot minden mérési ciklus után növekvő intenzitással meghajtogattam és tördeltem. Az ellenállásmérést ötujjas módszerrel a nedvesítés előtt és a megszáradás után is elvégeztem. 5 mérési ciklust hajtottam végre, minden páratlan számú mérés a fagyasztás előtt, míg a páros számúak utána történtek.



21. ábra Fagyasztásból eredő degradáció, mérési eredmények

Az eredmények azt mutatják, hogy ez a folyamat egyértelműen ellenállásnövekedést vált ki, az eredetileg Class 2 szintnek megfelelő állapot a Class 1 határ közelébe emelkedett. A jobb és bal kesztyű közötti különbség jó közelítéssel állandó maradt, mindössze a 3. ciklust követően emelkedett meg jelentősen. Ez valószínűleg azért történt így, mert a jobb és bal oldalon eltérően sikerült megvalósítani a mechanikai behatást.

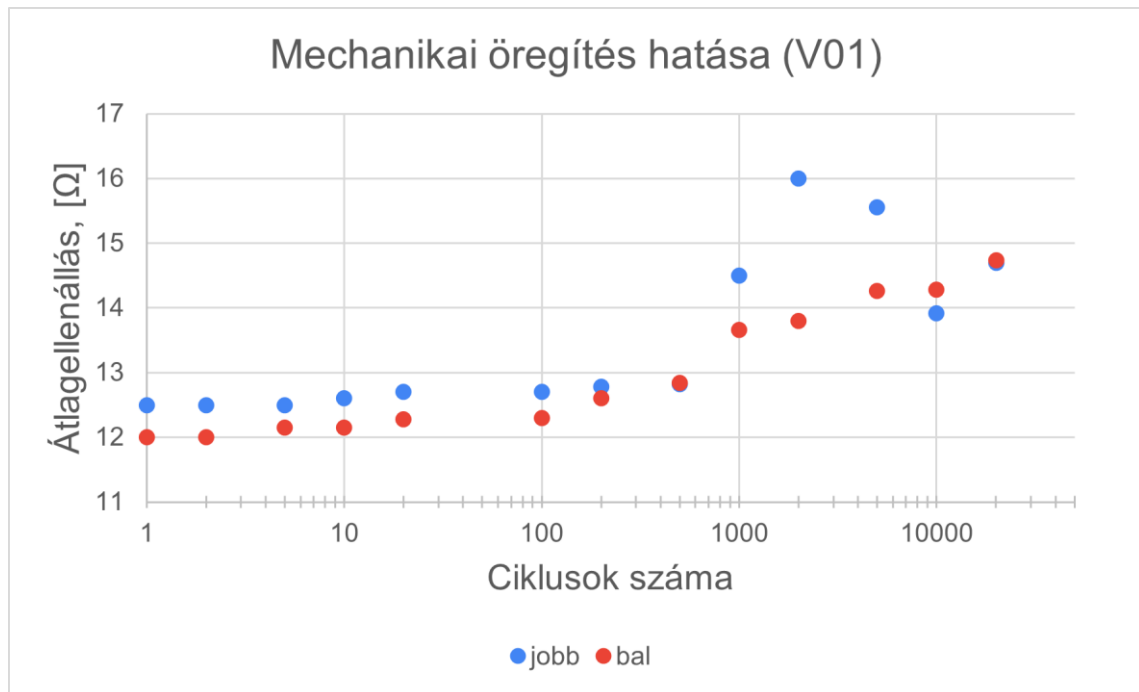
5.2.2 Sűrű használatnak megfelelő öregítés

A sűrű használathoz tartozó számos összehúzóaszt egy állítható frekvenciájú rázógép segítségével valósítottam meg: a kesztyűk potenciálcsatlakozóját rögzítettem a rázógép mozgó platformjához, míg az ujjakat nehezékekkel rögzítettem. Előre kiválasztott ciklusszámok elérésénél a folyamatot leállítottam, és az ötüjjas módszerrel rögzítettem a kesztyűk ellenállását.



22. ábra Mechanikai öregítés, mérési elrendezés

A beállított frekvencia másodpercenként két távolodásnak felelt meg, ez alapján kiszámoltam, hogy a kiválasztott ciklusszámokhoz milyen időtartam tartozik. A ciklusok számát a vízszintes tengelyen, logaritmikus skálán ábrázoltam.



23. ábra Rázógéppel történő mechanikai öregítés

A ciklusok számának növekedésével tartósan megemelkedett, 20000 ciklus után a Class 2 határt megközelíti a V01 kesztyű ellenállása.

Bár ez a hibaok a rövid távon kisebb mértékben járul hozzá az ellenállás-növekedéshez, a mértéke hibahatáron túli és egy periodikus vizsgálat ideje alatt észlelhető lehet, amennyiben a használat kellően gyakori a használat.

6 Összegzés és konklúzió

Valószínűsíthető, hogy az egy periodikus vizsgálat után kivont kesztyűket több tényező roncsolja egyidejűleg, figyelembe véve az igen különböző ellenállástartományukat, a szabványos mérésekre adott eltérő reakciókat és a különböző mintázatú ellenállás-eloszlásokat. Az eddigi vizsgálatokat alapján azonban ezek a tényezők csak hosszabb távon keresztül vezetnek a szabványos értéken kívüli értékekhez, így a hirtelen, a kesztyű egy nagyobb területére koncentrálódó mechanikai behatás jelenti a legvalószínűbben helytálló magyarázatot. A megismételt mérési sorozat eredménye a látszólag indok nélküli emelkedő ellenállás egy példája, ennek további vizsgálata mindenképpen indokolt.

Sikeresen vizualizálhatóvá vált a kesztyűk ellenállás-eloszlása állandó távolságú méréssel, azonban időhatékonyság tekintetében fejlesztése szükséges. Több degradációs mechanizmus hatását is sikeresen be tudtam mutatni, azonban azok pontos jellegének meghatározásához további vizsgálatok is szükségesek.

A kesztyűk szemrevételezése szükséges, de nem elégséges ellenőrzés, hiszen sokszor szennyezett, fakult és anyagában megnyúlt kesztyűk ellenállása is a szabványos keretekbe esik, ellentétben olyan mintadarabokkal, ahol látható külső degradáció nélkül haladja meg a Class 1 40 Ω -os határt.

6.1 Az interkonnekt modell és a vizsgálatok kapcsolata

Az interkonnekt modell jól illeszthető több degradációs mechanizmushoz is, a mérések által nem igazolható jelen állapotban. Ehhez új mérési elrendezések kidolgozása és virtuális modellverzió is szükséges, melynek segítségével a kesztyű valós méreteinek megfelelő számú interkonnekt szimulálható.

6.2 További lehetőségek

Jelen dolgozat témájában további kutatásokat szeretnék végezni, hiszen megválaszolatlan kérdések adódnak még nagyfeszültségen használatos vezetőképes FAM kesztyűk diagnosztikájával kapcsolatban. A következőket tervezem megvalósítani:

- Nagy ellenállású kesztyűk FAM védőruházattal együtt történő mérése mind ellenállás, mind screening efficiency tekintetében.

- Más gyártóktól megnövekedett ellenállású kesztyűk beszerzése, a rövid idő alatt bekövetkező degradáció előfordulásának vizsgálata.
- Állandó távolságú ellenállásmérés oldalirányban.
- Az interkonnekt modell digitális előállítása, szimulációk készítése, melyek nagyobb számú konfigurációt képesek azonos idő alatt kezelni.
- Változatos szennyező anyagok hatásának tesztelése.
- Célzottan a téli és nyári kivitelek degradációjának összehasonlítása.
- Terepi felhasználói gyakorlat és tárolási szokások gyűjtése, azok összehasonlítása a mérésekkel.

Köszönetnyilvánítás

Kiemelt köszönet illeti Csótai Enikő BME GPK energetikai mérnök hallgatót, amiért az állandó távolságú méréshez a távtartókat segítette elkészíteni 3D-nyomtatással.

Szintén köszönettel tartozom Meixner József mérnök úrnak, amiért bármikor fordulhattam hozzá tanácsért a mérések során.

Végül köszönöm a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű Laboratóriuma minden olyan munkatársának, akik segítségemre voltak: Dr. Cselkó Richárdnak, aki konzulensként segítette kutatómunkámat; Dr. Németh Bálintnak, a laboratórium vezetőjének, amiért biztosította a szükséges eszközöket és mintadarabokat; Salánki Péter István és Szalai Merse demonstrátor hallgatóknak, amiért segítettek az időigényes ellenállásmérés felgyorsításában; Meszes József technikusnak, amiért a degradációs mérések során segédkezett.

Irodalomjegyzék

- [1] R. Malgesini, C. Valagussa, A. Villa, R. Carraro, R. Carraro, G. De Donà, C. D. Milanello and A. A. Parizia: *Conductive clothing for live line working*, 2014
- [2] Oltean, M., Sevastre, I., Rodean, I., Viju, M., Tibuliac, S.: *Electromagnetic Field Measurement Inside Live Protective Equipment on High Voltage Overhead Lines*, 2016
- [3] Su, Y., Wang, X., Li Y., Pan Z., Liu Z.: *Study on the Electrical Conductivity of High Voltage Electromagnetic shielding Clothing*, 2016
- [4] IEC60895:2020, *Live working – Conductive clothing, International standard*, 2020
- [5] Gábor Göcsei, Bálint Németh, István Berta: *Detection of Poor Conductive Clothing By a New Way Of Inspection*, 2017
- [6] IEEE *Guide for In-Service Use, Care, Maintenance, and Testing of Conductive Clothing for Use on Voltages up to 765 kV ac and ± 750 kV dc*, IEEE Std 1067-2012, 2012
- [7] Gábor Göcsei, Bálint Németh: *Current issues regarding to the inspection of conductive clothing*, 2016
- [8] Mustafa Ertekin: *7 - Aramid Fibers, Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites*, 2017, ISBN 9780081018712
- [9] Fast, L., Börjesson, A., Paasi, J.: *Can ESD-protective garments screen static electric fields?*, Journal of Electrostatics, Volume 63, Issues 6–10, 2005
- [10] Latifi, M., Payvandy, P., Yousefzadeh-Chimeh, M.: *10 - Electro-conductive textile yarns*, 2010, ISBN 9781845695491
- [11] Koo, H., Janigo, K.: *Development of conductive gloves for touchscreen devices*, 2016
- [12] Zięba, J., Frydrysiak, M., Błaszczuk, J.: *Textronic clothing with resistance textile sensor to monitoring frequency of human breathing*, 2012
- [13] Root, W., Bechtold, T., Pham, T.: *Textile-Integrated Thermocouples for Temperature Measurement*, 2020
- [14] Stoppa, M., Chiolerio, A.: *Wearable electronics and smart textiles: a critical review*, 2014
- [15] Carl Demolder, Alicia Molina, Frank L. Hammond III, Woon-Hong Yeo: *Recent advances in wearable biosensing gloves and sensory feedback biosystems for enhancing rehabilitation, prostheses, healthcare, and virtual reality*, 2021

[16] <https://en.climate-data.org/europe/norway-38/>

[17] <https://www.fluke.com/en-us/product/thermal-cameras/ti10>

Az internetes forrásokra mutató linkek utolsó ellenőrzési időpontja: 2022. 10. 31.

Táblázatjegyzék

1. táblázat Nyomóerő vizsgálata, téglatest.....	16
2. táblázat Nyomóerő vizsgálata, plexilap	17
3. táblázat Mintadarabok adatai	23
4. táblázat 200 mA-es szabványos ellenállásmérés eredményei.....	23
5. táblázat Az állandó távolságú mérés összefoglalása.....	29

Ábrajegyzék

1. ábra Potenciálon végzett munka, bemutató a Nagyfeszültségű Laboratóriumban	10
2. ábra Szabvány szerinti ellenálláshatárok [4]	12
3. ábra Nyomóerő vizsgálata szigetelő téglatesttel	15
4. ábra A nyomóerő hatására megváltozó ellenállás, szigetelő téglatest esetében	16
5. ábra Nyomóerő vizsgálata plexilappal	17
6. ábra Nyomóerő hatására megváltozó ellenállás, plexi lap esetében	18
7. ábra Nem vezetőképes mandzsettájú kivitel	22
8. ábra Vezetőképes mandzsettájú kivitel	22
9. ábra 3D-nyomtatott távtartók az állandó távolságú méréshez	26
10. ábra Sablon az értékek rögzítéséhez	27
11. ábra Állandó távolságú mérés kartonlappal	28
12. ábra Állandó távolságú mérés	28
13. ábra V15 bal kesztyű külső oldalának eloszlása	32
14. ábra Hot spotok a FAM kesztyű fonákján	34
15. ábra Mérési elrendezés thermografikus ábrázoláshoz	35
16. ábra V09 összehasonlítás	35
17. ábra V01 összehasonlítás	36
18. ábra V01 jobb kesztyű hőkamerás felvétele	36
19. ábra Olajos szennyezés a kesztyű belső oldalán	37
20. ábra Olajos szennyezés a kesztyű külső oldalán	38
21. ábra Fagyasztásból eredő degradáció, mérési eredmények	39
22. ábra Mechanikai öregítés, mérési elrendezés	39
23. ábra Rázógéppel történő mechanikai öregítés	40