



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

Széles Patrícia

Nagyfeszültségű FAM során jelentkező élettani kockázatok
elemzése

KONZULENS

Dr. Göcsei Gábor

BUDAPEST, 2021

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	4
Abstract.....	5
1 Feszültség alatti munkavégzés	6
1.1 FAM technológia előnyei	7
1.2 FAM munkamódszerek.....	8
1.2.1 Távolból végzett munka.....	8
1.2.2 Érintéssel végzett munka	9
1.2.3 Potenciálon végzett munka	9
1.3 FAM munka során alkalmazott eszközök.....	10
2 Különböző erőterek és hatásaik.....	11
2.1 Sugárzások fajtái.....	11
2.1.1 Nem ionizáló sugárzás	12
2.1.2 Ionizáló sugárzás.....	14
2.2 Elektromágneses erőtér.....	14
2.2.1 A villamos erőtér	15
2.2.2 A mágneses erőtér.....	15
3 Sugárzások élettani hatásai.....	16
3.1 Ionizáló sugárzás élettani hatásai.....	16
3.2 Nem ionizáló sugárzások élettani hatásai	17
3.2.1 Kisfrekvenciás villamos erőterek élettani hatásai.....	18
3.2.2 Kisfrekvenciás mágneses erőterek élettani hatásai.....	19
3.2.3 A villamos és mágneses erőterek együttes élettani hatásai.....	19
4 Daganatos megbetegedések.....	20
4.1 Rák, mint betegség.....	20
4.2 Karcinogén anyagok	22
4.3 Elektromágneses terek és a rák kapcsolata	22
5 Villamos ívvédelem	24
5.1 Villamos ív kialakulása.....	25
5.2 Villamos ív energiája	26
5.3 Villamos ív elleni védekezés	27
6 Vezetőképes védőruha	28

6.1 A ruha felépítése	30
6.2 Villamos ívvédelemhez használt eszközök és ruházat.....	32
7 Közelmúltban történt balesetek.....	34
7.1 Indukált áram okozta balesetek.....	34
7.2 Indukált feszültség okozta balesetek.....	36
7.3 Tanulságok.....	37
8 Összegzés.....	40
Irodalomjegyzék.....	41

Összefoglaló

Napjainkra a villamos energia használata mindennappossá vált. A rendszerirányítók és hálózati engedélyesek egyre kevésbé engedhetik meg a hálózat kikapcsolását, vagy feszültségmentesítését. A feszültség alatti munkavégzés (FAM) erre a problémára ad megoldást: növeli az üzembiztonságot és lehetővé teszi a szünetmentes villamosenergia-szolgáltatást a fogyasztók számára, ugyanis a hálózaton való karbantartás, vagy üzemzavar-megelőzési munka elvégezhető a távvezetékek kikapcsolása nélkül.

A FAM munkamódszereinek egy részénél elkerülhetetlen, hogy a szak személyzet közel kerüljön a távvezetékekhez. Az itt fellépő villamos és mágneses erők hatásai nem elhanyagolhatóak egészségügyi szempontból. Míg az ionizáló sugárzásoknak bizonyítottan káros hatásai vannak, addig a nem ionizáló sugárzások esetében ezt még csak feltételezzük. Az epidemiológiai vizsgálatokhoz több idő szükséges, így a nem ionizáló sugárzások káros hatásainak kutatásai jelenleg is zajlanak.

A hosszútávú biológiai hatások vizsgálata mellett a szak személyzetet érő balesetek sem hagyhatók figyelmen kívül. A villamos balesetek egy része a villamos ív kialakulása miatt következik be. Az ívvédelem célja, hogy az ív kialakulását megakadályozza, illetve a már kialakult ív energiáját a lehető legkisebbre csökkentse. Lényeges, hogy a szak személyzet megfelelő védőruházatot viseljen, ha esetleg villamos ív alakulna ki, ez adott esetben akár életet is menthet.

Dolgozatom célja a feszültség alatti munkavégzés során fennálló, sugárzások általi, vagy műszaki hibából adódó kockázatok elemzése, összefoglalása. Emellett a munkámmal szeretném felhívni a figyelmet a megfelelő védőruha használatának fontosságára.

Abstract

Nowadays the usage of electricity is general. Transmission and distribution system operators does not allow the network to be interrupted or disconnected. Live-line maintenance (LLM) is a solution to this problem. LLM provides an uninterrupted service for consumers as employees work without the need of disconnection of the transmission lines.

During LLM working personnel may approach the power line. In this case, electric and magnetic fields are not negligible for occupational exposure. While ionising radiation has been shown to have harmful effects, this is only hypothesized for non-ionising radiation. More time is needed for epidemiological studies therefore research into the harmful effects of non-ionising radiation on humans is still in progress.

In addition to the long-term biological effects, accidents involving professionals can not be ignored. Some of the electrical accidents are caused by the formation of an electrical arc. The aim of arc protection is to prevent the formation of an electric arc or to minimize its energy. It is essential for working personnel to wear appropriate protective clothing against the formed electric arc: this could save their lives.

The final goal of my dissertation is to analyse and summarise the risks from radiation and from technical faults during high voltage LLM. In addition I would like to draw attention on the importance of wearing appropriate protective clothing.

1 Feszültség alatti munkavégzés

A villamosenergia szolgáltatásának igénye napról napra nő, ezért egyre kevésbé engedhető meg a villamos berendezések feszültségmentesítése. A feszültség alatti munkavégzés (FAM), egy olyan módszer, mely lehetővé teszi a hálózati elemek karbantartását, a hálózaton való munkavégzést oly módon, hogy a munkavégzés időtartama alatt hálózat feszültség alatt áll.

Magyarországon Dr. Csikós Béla munkásságának köszönhetően jött létre a FAM technológia. Ez a találmány szorosan összefügg a 60-as, illetve 70-es évek hálózatfejlesztési terveivel, melyet az MVM OVIT Országos Villamostávvezeték Zrt. tűzött ki célul. 1965-ben az első 400 kV-os távvezeték, illetve a gödi alállomás építése zajlott, majd rá pár évre egy 750 kV-os összeköttetés létrehozásán dolgoztak Magyarország és Ukrajna között. Ez utóbbi ritkaságnak számított abban az időben, valamint ehhez kapcsolódik dr. Csikós Béla találmánya a FAM, melyet több szabadalom is véd. Először nagyfeszültségű hálózaton alkalmazták ezt a módszert, majd 1-2 évre rá közép- és kisméretű feszültségen is. [1]



1. ábra OVIT akkori főmérnöke, Dr. Csikós Béla a képen jobb oldalt látható[1]

Az évek alatt rengeteget fejlődött a FAM munkafolyamat, hogy a lehető legbiztonságosabb és legkorszerűbb legyen. Magyarországon jelenleg mind a három feszültségszinten alkalmazzák a FAM munkamódszereit, mivel előnyei számottevőek.

1.1 FAM technológia előnyei

A FAM technológiának, mint mindennek vannak előnyei, illetve hátrányai. Előnyei közé tartozik, hogy a távvezeték nem szükséges az adott munkafolyamathoz kikapcsolni, vagy feszültségmentesíteni. Egy távvezeték kikapcsolásakor a hurkolt átviteli hálózaton nő az üzemzavarok kockázata, ezáltal a villamos energiarendszer stabilitása csökken. Tehát FAM esetében, az üzemzavarok kockázatát csökkenteni tudjuk, amely egy jelentős műszaki előny. [3]

A FAM használata gazdasági előnyökkel is járhat, ezek elsősorban a sugaras elosztóhálózatoknál forintosíthatók közvetlenül. Mivel a munkafolyamatok elvégzésénél szünetmentesen folyhat az áramszolgáltatás, így ez nem jelent kiesést. Feszültségmentes munkavégzésnél számottevő villamosenergia kieséssel kell számolni, valamint nem feledkezhetünk meg a hosszútávú hatásokról sem ugyanis, ha sokszor előfordul a távvezetékek feszültségmentesítése, akkor a fogyasztói elégedetlenség is kiesést okozhat.[7]

A FAM technológia további előnyei közé sorolható, hogy rendkívül biztonságosnak mondható. Feszültségmentes állapotban tévesztés, légköri vagy kapcsolási eredetű túlfeszültség, vagy kapacitív, induktív csatolások révén baleset következhet be. Ezzel szemben a FAM esetében a dolgozó fel van készítve a potenciálon való munkavégzésre [3]. Ahogy a 2. ábrán is látható, a 60-as évek közepe óta alkalmazzák a FAM technológiát. Az évek során, ahogy ezen munkák száma gyarapodott, úgy csökkent a munkabalesetek száma.



2. ábra Feszültség alatti munkavégzés és a munkabalesetek számának összehasonlítása [3]

Mint említettem, a FAM technológia nem csak előnnyel jár. Egyik legjobban hátráltató tényezője, hogy az eszközök beszerzése, majd azok vizsgálata nagyon költséges. Egy másik fontos tényező, hogy a biztonságos munkavégzés érdekében a szakszemélyzet betanítása és képzései mind időigényesek, valamint rendkívül sok pénzbe kerülnek. [7]

1.2 FAM munkamódszerek

A feszültség alatti munkavégzés módszereit három csoportba sorolhatjuk. A módszerek külön-külön, illetve kombinálva is alkalmazhatóak. Mindhárom esetben speciális eszközök alkalmazása szükséges, a szakszemélyzet biztonsága érdekében. [4] [5] [6]

1.2.1 Távolból végzett munka

Távolból végzett munka esetén a dolgozó egy szigetelő rúd segítségével végzi el az adott beavatkozást. A szigetelő rúd célja, hogy a munkát végző személy megfelelő távolságból tudjon dolgozni, így a munkavégzés megfelelően biztonságos. Jellemzően közép- és magasfeszültségen alkalmazzák ezt a módszert például tisztítási munkákra, áramkötés bontásra-létesítésre, vagy oszlopkapcsolók karbantartására. [5] [6]



3. ábra Távolból végzett munka szigetelő rúd segítségével [3]

1.2.2 Érintéssel végzett munka

Érintéssel végzett munka közben a dolgozó közvetlenül mechanikai érintkezésbe kerül a feszültség alatt álló hálózati elemekkel, villamosan viszont el van szigetelve azoktól. Emiatt a munkát végző személy elektrotechnikai gumikesztyűt, valamint szükség esetén szigetelő karvédőt és egyéb szigetelő eszközöket használ. Kisfeszültségű rendszereknél ezt a módszert alkalmazzák például fogyasztásmérők bekötésénél, cseréjénél vagy csavarkötések utánhúzásánál [4]. Középfeszültségen alkalmaznak érintéssel végzett munkamódszert a távolból végzett munkamódszerrel kombinálva. [5] [7]



4. ábra Érintéssel végzett munka [3]

1.2.3 Potenciálon végzett munka

Potenciálon végzett munkánál a dolgozó szintén közvetlen kapcsolatban van a feszültség alatt álló résszel, viszont ebben az esetben nem csak mechanikailag, hanem villamosan is. Tehát a munkát végző személy a feszültség alatt álló rész potenciáljára kerül, emiatt a tőle eltérő potenciálon lévő környezettől el van szigetelve. A munka során egy speciális, fémszálalás védőruhát kell viselni, ami a Faraday-kalitka elvén működik. Ezt a módszert általában nagyfeszültségen használják. A munkavégzés során a dolgozó közvetlen környezetében nagyfeszültség van, valamint nagy áramok folynak. Ebben az esetben kifejezetten fontos, hogy megvizsgáljuk a mágneses, illetve villamos erők nagyságát, eloszlását, valamint ezek élettani hatásait. [5] [6] [7]



5. ábra Potenciálón végzett munka [8]

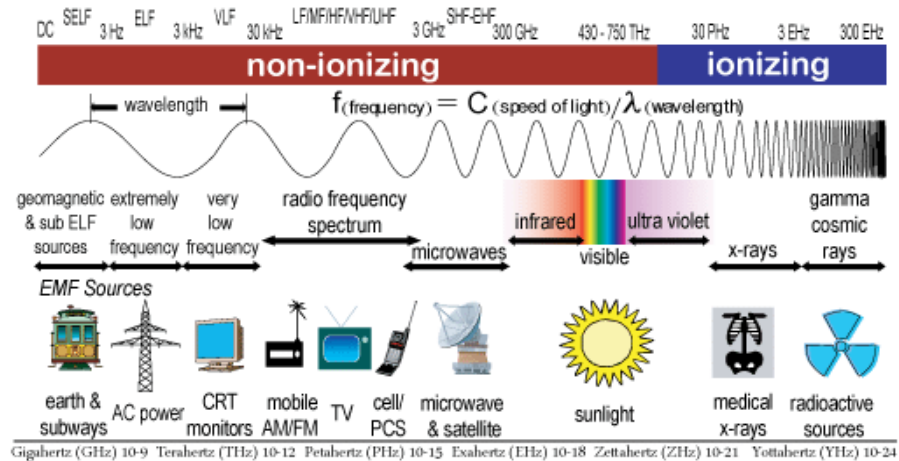
1.3 FAM munka során alkalmazott eszközök

FAM munkához csak olyan védő-, - és munkaeszközöket alkalmazhatnak, melyeket a FAM bizottság jóváhagyott. Kétféle vizsgálat van. Az első használat előtt álló, illetve javításon átesett eszközökön átvételi vizsgálatot végeznek, a biztonságos működés érdekében pedig periodikus vizsgálatot alkalmaznak. Ez utóbbit minden eszközön elvégzik különböző időszakonként, hiszen az idő elteltével az eszközök állapota romlik, szigeteléstechikai és egyéb tulajdonságaik megváltozhatnak. A vizsgálatokat a FAM bizottság által kinevezett laboratóriumokban végzik. (A BME nagyfeszültségű laboratóriuma is ilyen.) [6]

2 Különböző erőterek és hatásaik

2.1 Sugárzások fajtái

Kétféle sugárzást ismerünk, az ionizáló, illetve a nem-ionizáló sugárzásokat. Alapvető különbsége a két fő sugárzástípusnak a frekvenciában rejlik. Ezt a különbséget legjobban az elektromágneses spektrum szemlélteti. [7] [13] Az elektromágneses sugárzást ábrázolhatjuk frekvencia, hullámhossz vagy energia szerint is. A 6. ábrán látható, hogy a frekvencia és a hullámhossz fordított arányosságban van egymással. Az energia viszont a frekvenciával egyenes arányban nő.



6. ábra Elektromágneses spektrum ábrázolása [10]

Az ábráról szintén leolvasható, hogy a két sugárzás közti határ az ultraibolya (UV) sugárzás tartományába esik.

Egy másik fontos különbség a két sugárzás között, hogy az ionizáló sugárzások esetében meghatározható egy dózis érték az elnyelt sugárzási energia és az anyag tömegének hányadosaként [11]. A nem ionizáló sugárzásoknál ez dózis érték nem definiálható, ezért fontos, hogy a mágneses és villamos erőterekre vonatkozó határértékeket, nem szabad túllépni. Ezeket a határértékeket az International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) 2010-ben frissítette. [7]

1. Táblázat Villamos térre és mágneses indukcióra vonatkozó határértékek 2010 előtt és után [7]

	Villamos térre vonatkozó határérték [kV/m]		Mágneses indukcióra vonatkozó határérték [μ T]	
	2010 előtt	2010 óta	2010 előtt	2010 óta
Lakosság	5	5	100	200
Szak-személyzet	10	10	500	1000

A feszültség alatti munkavégzést hazánkban a „fokozott baleseti veszélyekkel járó munkakörök, tevékenységek” közé sorolják. A szakszemélyzet orvosi alkalmasságát rendszeres vizsgálatokkal ellenőrzik, ezért engedhető meg ebben az esetben a magasabb határérték. Bár logikusnak tűnne azzal magyarázni a határértékek miertjét azzal, hogy a szakszemélyzetet csak rövid időre éri az adott sugárzás, viszont ez egy hibás állítás. Fontos kiemelni, hogy a határértékek átlépése rövid időre sem megengedhető. [12] [12]

2.1.1 Nem ionizáló sugárzás

A nem ionizáló sugárzások az elektromágneses sugárzások, valamint elektromos és mágneses terek. Hullámhosszuk 100 nm-től nő végtelenig. Ezen belül vannak az optikai sugárzások, a mikrohullámú (MH) és rádiófrekvenciás (RF) sugárzások, illetve az elektromos és mágneses terek. A következő táblázatban (2.) összefoglaltam a nem ionizáló sugárzás típusokat, valamint a hozzájuk tartozó frekvenciatartományt és hullámhosszt. [13] [15]

2. táblázat Elektromágneses sugárzások típusai [15] alapján

Sugárzás típusa	Sugárzás	Hullámhossz	Frekvenciatartomány
Optikai sugárzás	Ultraibolya (UV)	100-400 nm	3-0,750 PHz
	Látható fény	400-800 nm	750-375 THz
	Infravörös (IR)	0,8-1000 mikron	375-0,3 THz
Mikrohullámú és rádiófrekvenciás sugárzások	Extrém magas frekvencia	1-10 mm	300-30 GHz
	Szuper-magas frekvencia	10-100 mm	30-3 GHz
	Ultra magas frekvencia	100-1000 mm	3-0,3 GHz
	Nagyon magas frekvencia	1-10 m	300-30 MHz
	Magas frekvencia	10-100 m	30-3 MHz
	Középfrekvencia	100-1000 m	3-0,3 MHz
Elektromos és mágneses terek	Alacsony frekvencia (LF)	1-10 km	300-30 kHz
	Nagyon alacsony frekvencia (VLF)	10-1000 km	30-0,3 kHz
	Extrém alacsony frekvencia (ELF)	> 1000 km	0,3-0,1 kHz
	Statikus elektromos és mágneses terek	végtelen	0 Hz

2.1.2 Ionizáló sugárzás

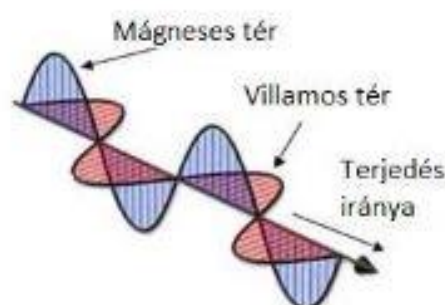
Mint már említettem a sugárzásokat bizonyos határértékek választják el egymástól. Ionizáló sugárzásnak számít a 3 PHz-nél nagyobb frekvenciájú, 100 nm-nél rövidebb hullámhosszú és körülbelül 12,3 keV-nál nagyobb energiaszintű sugárzás. [13]

Az ionizáló sugárzásokat két nagyobb csoportba sorolhatjuk és úgy különböztetjük meg, hogy az adott sugárzásnak van-e nyugalmi tömege. Az egyik nagyobb csoport a részecske alapú sugárzás, melynek van nyugalmi tömege és három kisebb csoportra osztható fel. Az α , β , valamint neutron sugárzásokra. A másik csoport az elektromágneses sugárzás, melynek nincs nyugalmi tömege. Elektromágneses sugárzásnak tekinthetők a röntgen-, valamint a gamma sugárzások. [13]

2.2 Elektromágneses erőtér

Az elektromágneses terek lehetnek természetes, illetve mesterséges eredetűek. Villamosenergia-átvitel során, valamint otthon a háztartásinkban 50 Hz-es mesterséges eredetű elektromágneses terek lépnek fel. Ebből kiindulva nyilvánvaló, hogy érdekelték a különböző erőterek emberre vonatkozó káros hatásai. [9]

Az elektromágneses tereket két mennyiséggel jellemezhetjük, az elektromos térerősséggel és a mágneses indukcióval. Ha az eltolási áramsűrűsége vonatkozó határfeltétel teljesül, akkor külön kezelhetjük a villamos és a mágneses erőtereket, valamint ezek élettani hatásait. A távvezetékek esetében a mágneses és villamos erőterek külön kezelendők, mivel normál üzemi körülmények között nem alakulhat ki olyan frekvenciaviszony, mely elektromágneses hullámterjedést eredményez. [7]



7. ábra Elektromágneses tér hullámalakja [8]

2.2.1 A villamos erőtér

A villamos erőtér nagyságát elsősorban a feszültség értéke és a geometria határozza meg. Nagy feszültség esetén nagy villamos tér várható. [9]

$$E = \frac{U}{d} \quad (1)$$

ahol:

E villamos térerősség [V/m]

U két pont közötti feszültség érték [V]

d két pont közötti távolság [m]

Távvezetékek esetében a feszültség nagysága mellett, még meghatározó a tartó oszlopok, illetve a sodronyok elhelyezkedése is. A legnagyobb villamos térerősség a feszítőköz közepén található és ahogy távolodunk a vezetéktől ez az érték gyorsan csökken. [9] Feszültség alatti munkavégzés esetében a szakszemélyzet a villamos tér elleni védelemhez vezetőképes, úgynevezett elektrosztatikus védőruházatot használnak, mely a Faraday-kalitka elvén működik. [8]

2.2.2 A mágneses erőtér

A mágneses tér nagysága távvezetékek esetében a vezetéken átfolyó áram nagyságától és az elrendezéstől függ. Nagy áram esetén nagy mágneses tér várható, amely ráadásul nehezen leárnyékolható és áthatol az egész szervezeten. Távolodva a vezetéktől a mágneses térerősség gyorsan csökken csakúgy, mint a villamos tér esetében. [9]

$$B = \frac{\mu_0 * I}{2 * \pi * R} \quad (2)$$

ahol:

B mágneses indukció [T]

I vezetőkben mért áramerősség [A]

R vezetőtől mért távolság [m]

μ_0 mágneses permeabilitás [Vs/Am]

Az utóbbi, levegő esetében $4 * \pi * 10^{-7}$ Vs/Am értékűnek felel meg.

3 Sugárzások élettani hatásai

Az ionizáló sugárzásoknak bizonyítottan káros hatása van az élő szervezetre nézve. Ezzel szemben a nem ionizáló sugárzások esetében ezt csak feltételezhetjük, rengeteg tanulmány és kutatás van jelen ebben a témában.

3.1 Ionizáló sugárzás élettani hatásai

Az emberre kifejtett hatás esetében az ionizáló sugárzás által képződött ionok biológiailag fontos molekulák megváltoztatására képesek. Tehát a DNS károsodása felelős a sugárzás genetikai elváltozásáért (mutagén), fejlődési rendellenességért (teratogén), valamint a rákkeltő (karcinogén) hatásért. A sejt károsodásának mértéke megállapítható például az anyagcseréből és az oxigénfogyasztásból. [14]

Nagy sugárdózis esetén a hatás pár napon belül bekövetkezik elsősorban a vérképzőrendszerben, az emésztőrendszerben, és a központi idegrendszerben. A sugárérzékenység megadja, hogy a szervezet mennyire érzékeny az ionizáló sugárzás hatásaival szemben. Mértéke a félhalálos, illetve a halálos dózis. A félhalálos dózis a sugárzásnak kitett élőlények felét elpusztítja egy meghatározott időn belül, ami általában 30 nap. Dózisegyenértéke 400-500 rem közé esik, ez SI-mértékegységre átváltva 4-5 sievert (Sv). Halálos dózis esetében a sugárzásnak kitett szervezet elpusztul. Ennek értéke 700 rem, vagyis 7 Sv. [14]

A kis sugárdózis hatása évek, vagy akár évtizedek után is jelentkezhet. Ezek a tünetek lehetnek: látási zavarok, hajhullás, rák, leukémia. Az állati és emberi sejtek közül az ivarsejt, fehérvérsejt, illetve a csontvelő a leginkább sugárérzékeny. [14]

Az ionizáló sugárzások állatokra és növényekre gyakorolt hatásait is vizsgálták. Halak esetében rendszertelen szív működés, pigmenthiány, károsodott szem és lassabb fejlődés tapasztalható. A pontyok halálos dózisa 20-60 Sv. A rovarok lárváira 2 Sv halálos lehet, viszont a felnőtt egyedek a legkevésbé érzékenyek a sugárterhelésre, félhalálos dózis értékük 50-100 Sv. A sugárfertőzés leginkább az emlősökre veszélyes. Növények esetében előfordulhat az ionizáló sugárzás hatására növekedésgátlás, hozamcsökkenés, valamint elhalás. [14]

3.2 Nem ionizáló sugárzások élettani hatásai

Nem ionizáló sugárzások közé sorolhatjuk az optikai sugárzást, melynek élettani hatásai sokszor negatívak. A sugárzás hőhatás, vagy fotokémiai reakció útján károsíthatja a szöveteket. Hőhatás esetében az elnyelt foton energiája indifferens, csak a szövetben elnyelt teljesítményt és a besugárzási időt kell számításba venni. Ha a sugárzás fotonjainak energiája elég nagy, akkor ez egyes molekulákban kémiai változást eredményezhet. Ebben az esetben beszélhetünk fotokémiai reakcióról. Az optikai sugárzás káros hatásai közé sorolhatjuk a nem-melanoma bőrrákot és a melanomát. Utóbbi a bőr pigmenttermelő sejtjeiből burjánzik rosszindulatú daganattá. Továbbá a szem is többféleképpen károsodhat. Rövidhullámú ultraibolya sugárzás esetén a szem szaruhártyája (photokeratitis vagy hóvakság) és kötőhártyája (photoconjunktivitis) gyulladhat be, hosszan tartó besugárzásoknál szürkehályog alakulhat ki, az infravörös sugárzás okozhat hályogot, valamint a hosszabb hullámhosszú sugárzás már a szemünk retináját is eléri. Ebben az esetben beszélhetünk a retina égési károsodásáról, illetve a kék fény okozta károsodásról. [16]

A rádiófrekvenciás (RF) és mikrohullámú (MH) sugárzások élettani hatásainak vizsgálatára dozimetriai egységet alkalmaznak. A fajlagosan elnyelt teljesítmény a SAR (Specific Absorption Rate), mely az egységnyi tömegben elnyelt teljesítmény értékét adja meg W/kg-ban, illetve mW/kg-ban. Az elnyelt energiát a SAR időbeli integrálja az SA (Specific Absorption) adja meg J/kg, valamint mJ/kg-ban. Az energia elnyelődésének mértékét a frekvencia, illetve az adott test tulajdonságai (alakja, víztartalma) határozza meg. Egy másik fontos fogalom a behatolási mélység, mely alatt azt a távolságot értjük, ahol a testfelszíntől kezdve az elektromágneses térerősség az e^{-1} részére (36,8 %-ra) csökken. A test víztartalmától függően a sugárzás hullámhossza és behatolási mélysége csökken. [15] [17]

Ezen sugárzások biológiai hatásait három csoportba sorolhatjuk a hőszabályozás érintettsége alapján. [15]

- termikus: hőmérséklet-emelkedéssel jár, 1 C-nál nagyobb hőmérséklet-emelkedést okozhat (2-8 mW/g felett)
- atermikus: a hőmérséklet nem emelkedik a hőszabályozás miatt (0,5-2 mW/g között);
- nem termikus: nincs hőmérséklet-emelkedés, a hőszabályozás nem érintett (0,5 mW/g alatt)

Mikrohullámú és rádiófrekvenciás sugárzások esetében vizsgálták a központi idegrendszerre és viselkedésre gyakorolt, illetve a daganatkeltő és növelő hatásokat. Ez utóbbi eredményei ellentmondásosak, az eddigi kutatások alapján rákkeltő hatás nem valószínű, hogy van, viszont a végső eredményt majd az epidemiológiai vizsgálatok eredménye adja meg, mely nyilván sok időt vesz igénybe. A WHO (World Health Organization) nagy figyelmet fordít a mobiltelefonok káros hatásainak kutatására mivel kis egészségügyi kockázat is nagy veszélyt jelenthet, tekintettel arra, hogy ma már alig van olyan ember, akinek ne lenne telefonja. [17]

A dolgozat szempontjából relevánsabbak a villamos és mágneses terek, melyeknek a frekvenciaértékük igen alacsony. Ezen erőterek hatásainál (az élettani hatásoknál is) a villamos és mágneses erőtereket külön vizsgáljuk (2.2. fejezet). A következő három alpont az élettani hatásokra fókuszál.

3.2.1 Kisfrekvenciás villamos erőterek élettani hatásai

Kisfrekvenciájú villamos terek jól meghatározható biológiai reakciót váltanak ki az érzékeléstől egészen a szúró, kellemetlen vagy fájó érzetig. Egy kutatás folyamán önkéntesek segítségével megállapították a küszöbértékeket 50-60 Hz frekvencián. Az érzékelési küszöb az önkéntesek 10 százalékánál 2-5 kV/m volt. A kontrollcsoport 5 százaléka a 15-20 kV/m nagyságú villamos teret zavarónak érezte. Az 5 kV/m értékű szikrakisülés az emberek 7 százalékánál fájó érzetet keltett, míg 10 kV/m értéknél 50 százalékuk szúró, kellemetlen érzést jelzett. [18] [19]

A villamos térerősség izomzatra és központi idegrendszerre gyakorolt hatásait szintén sokan kutatják. [20] [21] A perifériás idegrendszer (agy és gerincvelői idegek) myelinhüvelyes idegrostjainak érzékelési csúcsértéke körülbelül 6 kV/m volt. A myelinhüvely az idegsejt leghosszabb nyúlványát (axont) burkoló velőshüvely-réteg. [19] [20] [22]

MRI (mágneses rezonancián alapuló képalkotás) és homogén emberitest modellen végzett kísérletek során a fent megállapított érték akár 2 V/m is lehet. [22] Egy másik vizsgálat alapján a minimális küszöbértéket 4-6 V/m-re becsülték. [23]

Számos állatkísérletet végeztek, hogy összefüggést találjanak az alacsony frekvenciájú villamos terek és az idegi eredetű viselkedés között. Az eredményből arra következtethetünk, hogy a villamos erőter érzékelése a felületi töltésfelhalmozódás miatt lehetséges. [24]

3.2.2 Kisfrekvenciás mágneses erőterek élettani hatásai

A kisfrekvenciás mágneses terek a szemünkre vannak leginkább hatással. Az 5 mT értékű mágneses indukció az idegek stimulációja miatt káprázást okoz. Az ehhez az értékhez tartozó frekvencia 20 Hz, melyet növelve vagy csökkentve az mágneses indukció egyaránt nő.[25] A retinában, a mágneses indukció hatására létrejövő villamos térerősség körülbelül 50-100 mV/m értékű.[21]

Néhány tanulmány összefüggésbe hozta a mágneses terek hatásait a vetélés kockázatának növekedésével, de az epidemiológiai vizsgálatok összeségében nem bizonyították a mágneses erőtér szaporodó szervrendszerre gyakorolt káros hatását. Emlősökön végzett kísérletek kimutatták, hogy 20 mT mágneses indukció nem okoz a szöveteknél és a csontoknál fejlődési rendellenességet, gyenge összefüggés viszont tapasztalható egy-két esetben. [24] [26] [27] [28]

3.2.3 A villamos és mágneses erőterek együttes élettani hatásai

Az erőterek együttes hatásait összefüggésbe hozták a neurodegeneratív betegségekkel. A Parkinson kór és a sclerosis multiplex esetében a vizsgálatok száma kevés, illetve bizonyítani sem tudták az összefüggést. Az Alzheimer-kór és az amiotrófiás laterálszklerózis (ALS) esetén további tanulmányok jelentek meg. Néhányban kimutatták, hogy az elektromos területen dolgozó emberek esetében nagyobb lehet az ALS kockázata, de összességében ezek az eredmények sem meggyőzőek.[29] [30] [31]

A különböző szív- és érrendszeri betegségek esetében nagyon hasonló a helyzet. Egy-két tanulmány összefüggésbe hozta a villamos és mágneses erőterekkel, de ezek eredményei nem konzisztensek, így bizonyítani továbbra sem lehet. A rövid és hosszútávú hatásokat figyelembe véve nincs egyértelmű összefüggés az erőterek hatásai és a betegség között. [32] [33]

Önkéntesen végzett epidemiológiai vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a villamos és mágneses erőterek 50-60 Hz esetében a neuroendokrin rendszerre nincsenek káros hatással. A kutatások különös figyelmet fordítottak a melatonin szint vizsgálatára. A melatonin hormon főleg az alvási ciklus irányításáért felelős. Összességében a tanulmányok eredményei nem utalnak arra, hogy az alacsony frekvenciájú elektromos és mágneses mezők oly módon befolyásolják a neuroendokrin rendszert, amely káros hatással lenne az emberi egészségre.[24] [28]

4 Daganatos megbetegedések

A világon a második leggyakoribb halálok a daganatos megbetegedés, közismert nevén a rák. 2018-ban a becslések szerint 9,6 millióan haltak meg ebben a betegségben a világon. Férfiaknál a tüdő-, prosztata-, vastagbél-, gyomor- és májrák a leggyakoribb, míg nők esetében az emlő, vastagbél-, tüdő-, méhnyak-, és pajzsmirigyrák. [34]

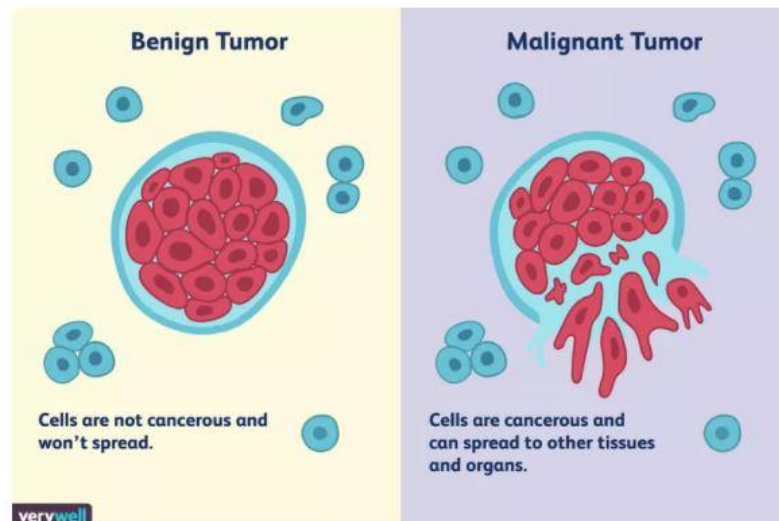
Ez a betegség hatalmas fizikai, pénzügyi, és nem utolsósorban érzelmi megterhelést jelent mind a betegek és hozzátartozók, mind pedig az egészségügy számára. Fejlett országokban a túlélési arány javul, köszönhetően a korai felismerésnek, modern kezeléseknak és a hozzátartozók ellátásának. [34]

4.1 Rák, mint betegség

A sejtelmélet két alaptétele, hogy az emberi szervezet sejtekből épül fel, és ezek a sejtek csakis sejtekből keletkezhetnek. Ebből kiindulva megállapítható, hogy a fejlődésnek két formája lehetséges: a sejtek számának (hiperplázia) és/vagy méretének (hipertrófia) növekedésével. Mindkét esetben beszélhetünk kóros változatról. Kóros hipertrófiáról beszélünk, ha például a szív túl nagyra nő és már nem tudja normálisan ellátni a feladatát. A kóros hiperplázia legvégtetesebb fajtája pedig a rák. [35]

A sejtek szabályozatlan osztódása révén szövethalmazok képződnek, ezeket nevezzük tumornak vagy daganatnak. A daganatok lehetnek jóindulatúak (benignus) vagy rosszindulatúak (malignus). Ez utóbbit nevezzük ráknak. A jóindulatú daganat, általában eltávolítható, nem újul ki és ami a legfontosabb nem terjed tovább a szervezetben. [36]

A rosszindulatú daganatokról sajnos ez nem mondható el, mivel ezeket kóros sejtek alkotják, melyek irányíthatatlanul osztódnak. Ráterjednek és károsítják a környező szöveteket és szerveket, illetve kiszabadulva a tumorból a vérkeringésen keresztül akár a nyirokrendszerbe is elérhetik. Áttétképzésről akkor beszélünk, amikor az elsődleges daganat áttérjed más szervekre és ott másodlagos daganatot hoz létre. [36]



8. ábra Jóindulatú és rosszindulatú tumor [37]

Többféle daganatos megbetegedés létezik, melyeket a keletkezés helyétől függően csoportosíthatjuk. [35]. A hámszövetből kiinduló tumorokat a karcinómának, a kötőszövetből kiindulókat pedig a szarkómának nevezik. [38]

A rák azon fajtája, mely a vérképző rendszer támadja leukémiának hívjuk. Ebben az esetben a csontvelői sejtek szabályozatlan szaporodása áll fenn. Négy különböző típusát ismerjük a sejtípustól és a betegség lefolyásának gyorsaságától függően. A négy főtypuson belül számos altípust is ismernek, illetve ritkább leukémiás betegségek is előfordulhatnak, melyekre a továbbiakban nem térek ki. [39]

- Akut limfoblasztos leukémia (ALL): A daganat a limfocitákat (nyiroksejtek) kialakító sejtekből indul ki. A betegség lefolyása gyors, rövid időn belül halálhoz vezet. [39]
- Krónikus limfocitás leukémia (CLL): A daganat a limfocitákat (nyiroksejtek) kialakító sejtekből indul ki. A betegség lefolyása lassú, kezelés nélkül is több évtizedes kórlefelgyással jár. [39]
- Akut mieloid leukémia (AML): A daganat csontvelő eredetű, a mieloid vonalból indul ki. A betegség lefolyása gyors, rövid időn belül halálhoz vezet. [39]
- Krónikus mieloid leukémia (CML): A daganat csontvelő eredetű, a mieloid vonalból indul ki. A betegség lefolyása lassú, kezelés nélkül is több évtizedes kórlefelgyással jár. [39]

4.2 Karcinogén anyagok

A karcinogén, vagyis rákkeltő anyagokat több kategóriába sorolják. A WHO rákkutatással foglalkozó szervezete az International Agency for Research on Cancer (IARC) által megfogalmazott szempontokat az alábbi táblázatban (3.) foglaltam össze.

3. táblázat Karcinogén anyagok besorolása [40] és [41] alapján

Csoport	Jelentése	Minősítése	Anyagok
1	Humán rákkeltő	Tudományosan igazolt	dohányfüst, alkohol, ionizáló sugárzás, UV
2A	Valószínűleg humán rákkeltő	Korlátozott mértékben igazolt	bitumen, szteroidok
2B	Lehetséges humán rákkeltő	Nincs megfelelő bizonyíték	kávé, üvegszál, benzin
3	Nem kondifikálható, mint humán rákkeltő	Az adatok nincsenek kellően alátámasztva	ELF terek, koffein, tea
4	Nem rákkeltő	Nem utal jel arra, hogy rákkeltő hatással bír	kaprolaktám

4.3 Elektromágneses terek és a rák kapcsolata

Az 1980-as években végzett epidemiológiai vizsgálatok kimutatták, hogy az 50-60 Hz-es mágneses terek hosszútávú hatásai összefüggésbe hozhatóak a rákkal. Az elején a gyermekkori rosszindulatú daganatos megbetegedéseket vizsgálták, majd a későbbi kutatások már a felnőttkori rákkal is foglalkoztak. [42]

Az eredmények alapján egyedül a gyermekkori leukémia esetében találtak összefüggést a mágneses indukció és a betegség kialakulása között. [24] A konkrét határértéket tekintve az epidemiológia egyik módszerét alkalmazva 0,3-0,4 μ T mágneses indukció már kockázatos lehet. Azonban fontos tény, hogy az állat- és sejtlaboratóriumi vizsgálatok nem támasztották alá, az összefüggést az 50-60 Hz-es mágneses mezők és a betegség között. [43] [44]

Habár sokféle kísérletet végeznek rágszálakon az akut limfoblasztos leukémiával kapcsolatban, jelenleg még nincs megfelelő állati modell, mely kellően bizonyítaná az emberre gyakorolt hatásokat. [47]

Elsősorban gyermekkori leukémia epidemiológiai eredményei alapján az IARC 2002-ben az ELF mezőket 2B (lehetséges humán rákkeltő) kategóriába sorolta a karcinogén anyagoknál. [42] A mai állás szerint (2021) már csak 3-as (nem kondifikálható, mint humán rákkeltő) kategóriai besorolást kaptak, ami azt jelenti, hogy jelen állás szerint nincs olyan bizonyíték, mely törvénybe iktatható lehetne (lásd 3. táblázat).

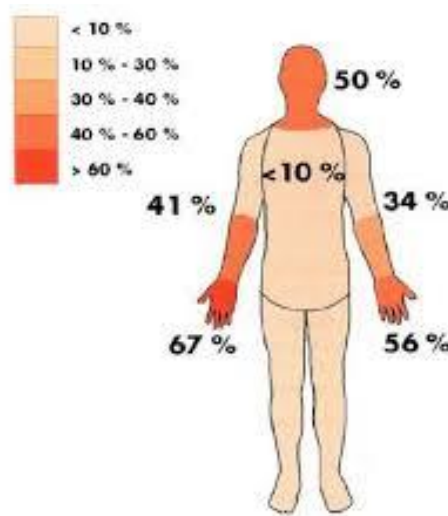
A múltban elvégzett citogenetikai vizsgálatok, arról számoltak be, hogy az elektromágneses tereknek kitett alanyok sejtjei károsodtak. A citogenetikai károsodás és a rákkockázat közötti kapcsolat miatt, ez fontos megállapítás. Sok tanulmánynak vannak hiányosságai, melyek hátráltatják a határozott következtetéseket, de továbbra is van ok azt feltételezni, hogy a gyermekkori leukémia és az alacsony frekvenciájú mágneses terek között van összefüggés, mely indokolja óvatosságot. [46]

A leukémia mellett az emlődaganatokról és jelentős számú tanulmány jelent meg. Az ipari frekvenciás mágneses terek hatását patkányokon végezték, melyekkel egymásnak ellentmondó eredményeket értek el. A vizsgálatok során 50 mT alatti mágneses mezőkön a genotípus mutációját nem tudták kimutatni. [24] [45]

Összeségében az epidemiológiai vizsgálatok alapján, nem tudták bizonyítani az összefüggést a rák és az 50-60 Hz-es mágneses terek között, sok az ellentmondó tanulmány, mely bizonytalanságra ad okot. Ennek ellenére fontos, az epidemiológiai vizsgálatok elvégzése és a kutatás folytatása. [47]

5 Villamos ívvédelem

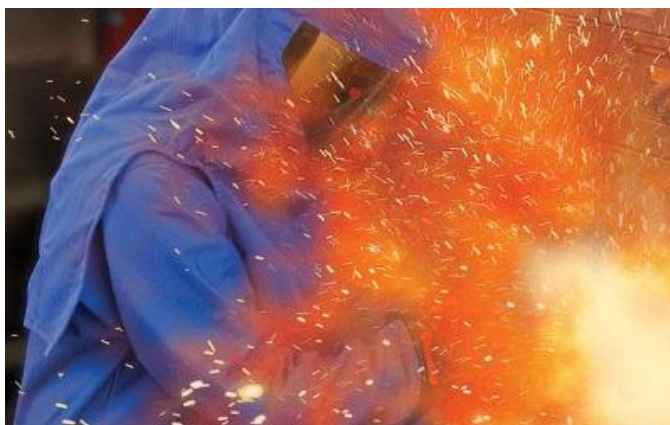
A folyamatosan jelen lévő biológiai hatások mellett elengedhetetlen, hogy a feszültség alatti munkavégzés közben kialakulható baleseteket vizsgáljuk. Az elektromos sérülések közel 77%-a villamos ív kialakulása miatt keletkezik. Ezt az Electricité de France által végzett tanulmány támasztja alá, mely több mint 120000 munkavállalóval 10 évig készült. Ez a statisztika nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a villamos ív okozta balesetek vizsgálására nagyobb hangsúlyt fektessenek. [48]



9. ábra Villamos ív által okozott balesetek eloszlása az emberi testen[51]

A villamos ív okozta sérülések sokfélék lehetnek. A leggyakoribb következmények közé sorolható például az égési sérülés, hallás- és látás károsodás vagy az erősen mérgező gázok felszabadulása. Az égési sérüléseket a közvetlen hőhatás vagy akár a ruha meggyulladása okozza. Az ív által keltett erőteljes fényhatás a látást, míg a robbanás szerű hang a hallás károsíthatja. Az ívek hőmérséklete (akár 20000 Kelvin) minden ismert anyagot elpárologtat, ezáltal rendkívül mérgező melléktermékek keletkeznek. A felszabadult mérreg károsíthatja a tüdőt, szemet, vagy a bőrt. Ezeken felül további következmény lehet az ívrobbanásból származó lökeshullám, vagy a „kilőtt” alkatrészek, melyek akár lőtt sebhez hasonló sérüléseket okozhatnak. [48][51]

A villamos ívvédelem egyik célja, az ív kialakulásának megakadályozása, illetve, a már kialakult ív energiájának csökkentése a lehető legalacsonyabb szintre. Továbbá feladata még óvintézkedéseket tenni a szakemberek védelmének érdekében a megfelelő vezetőképes ruházat kiválasztásával. [50]

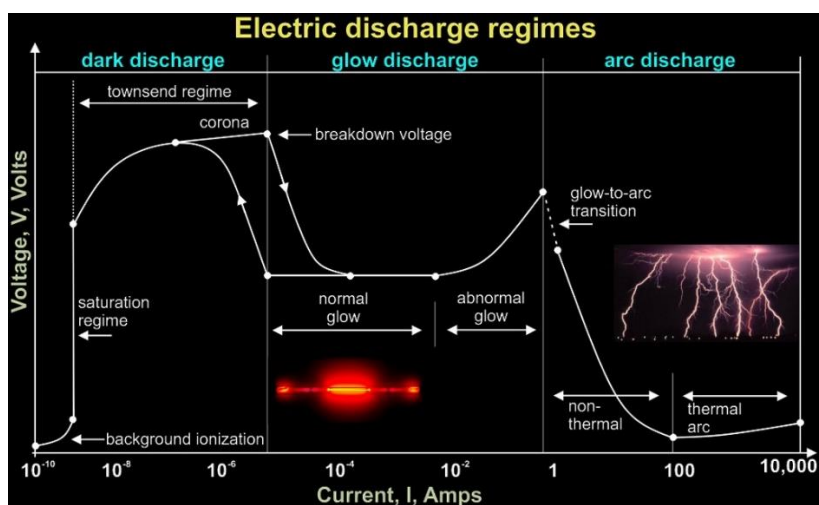


10. ábra Villamos íválló ruházat [49]

5.1 Villamos ív kialakulása

Villamos ív egy nagy, körülbelül $10\text{-}10^5 \text{ A/cm}^2$ áramsűrűségű gázban való kisülés. A kisüléseket az alábbi módon csoportosíthatjuk:

- önfenntartó kisülés
- nem önfenntartó kisülés
- villamos ív [51]



11. ábra Villamos kisülések [51]

Villamos ív kétféleképpen keletkezhet. Elegendően nagy villamos térerősségnél, a gázok átütése után a kisülések különböző típusai sorban jelentkeznek, majd végül villamos ív alakul ki. Ez, mint ahogy a 11. ábraán is látható, 1 amper után következik be. A másik keletkezési mód a kikapcsolási folyamatok során jelentkezik. Ez minden feszültségszinten fellépő probléma, mely a kikapcsolási folyamatot is befolyásolja. Következésképp ebben az esetben az áram megszüntetéséhez ívöltásra van szükség.[51]

5.2 Villamos ív energiája

A villamos ív fennmaradásának, egyensúlyi állapotának egyik lehetséges megközelítési módja az energiamérleg, mely a melegedés és a hűlés viszonyát írja le. [51]

Az energiamérleg képlete:

$$P = P_e + P_v + P_s + P_k \quad (3)$$

ahol

P az ív teljesítménye

P_e elektródokon keresztül elvezetett teljesítmény

P_v hővezetéssel távozó teljesítmény

P_s sugárzással távozó teljesítmény

P_k konvekcióval távozó teljesítmény [52]

Az ívben keletkező energia tehát többféleképpen távozhat a környezetbe, többségben hőátadási folyamatok során. Az ív akkor szűnik meg, ha kevesebb Joule-hő keletkezik, mint amennyi távozik, ellenkező esetben tovább ég. [51]



12. ábra Villamos ív [51]

Az ív által termelt teljes energiamennyiség kiszámolható amennyiben ismerjük az ív feszültségét, áramát, illetve időtartamát:

$$E_t = U * I * t \quad (4)$$

ahol

E_t az ív teljes energiája

U ívfeszültség

I áram

t az ív fennállásának teljes ideje [53]

Egy másik, hasonló jelentéssel bíró egyenlethez jutunk, ha az ív feszültsége helyett az ellenállását használjuk. Ez a forma valamivel teljesebbnek mondható:

$$E_t = I^2 * R * t \quad (5)$$

ahol

E_t az ív teljes energiája

I áram

R az ív ellenállása

t az ív fennállásának teljes ideje [53]

A villamos ív energiájának ismerete lényeges információ az ívvédelem szempontjából. Ha az ív energiája ismert, akkor a környezet, nem utolsósorban a szakemberek felé átadott hőmennyiségre jobban fel lehet készülni a megfelelő védőruházat kiválasztásával.

5.3 Villamos ív elleni védekezés

A védekezés elsősorban a villamos ív kialakulásának megakadályozására fókuszál, ez az egyetlen biztos módja a balesetek elkerülésének. Amennyiben az ív már kialakult, úgy annak csökkentése, gyors kioltása a cél. Ennek néhány módja például a több kisebb teljesítményű transzformátor használata, vagy a gyors védelmi működés beállítása. Mindezek mellett, főleg feszültség alatti munkavégzés esetében nagyon fontos a védőruha használata, habár ez csak az utolsó védelmi vonalat jelenti. [51]

6 Vezetőképes védőruha

Nagyfeszültségű FAM esetén elengedhetetlen, hogy a szakszemélyzet egy teljesen zárt, villamosan vezető védőruhát viseljen. Utóbbi tulajdonságát az anyagba szőtt fémzálakkal érik el. A vezetőképes ruha használatának egyik oka, hogy munkavégzés közben villamos térerősség van jelen, mely a munkát végző személy testében áramokat indukálhat. Mivel a védőfelszerelés a Faraday-kalitka elvén működik, így a ruhán belül lévő villamos térerősség közel nulla. [50]

Mint minden FAM védőeszközt, úgy a védőruhát is többféle szempont szerint vizsgálják. A magyar MSZ EN 60895:2004-es szabvány szerint a következő követelményeknek kell megfelelnie a nagyfeszültségen használt (DC 800 kV-ig, AC 600 kV-ig) vezetőképes öltözetnek. A következő vizsgálatokat vezetőképes anyagon, úgynevezett próbadarabon végzik el.[54]

- **Lángállóság** – Az öltözethez használt anyag nem gyulladhat meg, valamint az égés nem terjedhet tovább rajta. A követelményhez alkalmazott vizsgálat, akkor sikeres, ha 6 próbadarab esetében az elégetett terület nem terjed sem a függőleges részéig, sem pedig a felső széléig, illetve területe nem haladja meg a 100 cm²-t. [54]
- **Villamos ellenállás** – Ez a jellemző az anyag áramvezetési és szikrakisülési tulajdonságának alapját szolgálja. A vizsgálat folyamán mért feszültség arányos a próbadarab villamos ellenállásával, melynek értékét az alábbi, (6) képlet adja meg:

$$R_s = R_{mért} \times \frac{\text{szélesség}}{\text{hosszúság}} = \frac{U \times l}{I \times L} = \frac{U}{0,2} \times \frac{20}{100} \quad (6)$$

ahol:

U a mért feszültség értéke [V]

l a szabvány szerint megadott próbadarab szélessége [mm]

I a szabvány szerint megadott vizsgálóáram [A]

L a szabvány szerint megadott próbadarab hossza [mm]

A vizsgálat sikeresnek bizonyul, amennyiben 4 villamos érték számtani középértéke $7 \Omega/\text{mm}^2$ -nél kisebb, illetve egy mérés eredménye sem nagyobb, mint $10 \Omega/\text{mm}^2$. [54]

- **Áramvezetési képesség** – Munkavégzés közben az védőruhában kapacitív áramok folynak. Az öltözetnek ezeket az áramokat úgy kell vezetnie, hogy az anyag nem károsodhat. A vizsgálat során mérőelektródokat használnak, melyek között nem keletkezhet tűz, izzó pont, füst vagy szenesedés. A vizsgálat ekkor bizonyul sikeresnek. [54]
- **Ernyőzés és árnyékolás hatékonyság** – A vezetőképes öltözetnek csillapítania kell a munkavégzés közben kialakult villamos teret. Az anyag csillapítását az ernyőzés hatékonysága határozza meg. Ez egy adott pontban öltözet nélkül, illetve öltözetrel mért feszültségek hányadosának tízes alapú logaritmusát jelenti. Az öltözet csillapítását pedig az árnyékolás hatékonysága, tehát a vezetőképes öltözetbe vezetett és a testben folyó áram százalékos aránya fogja meghatározni.

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{ref}}{U} \right) \quad (7)$$

A (7)-es összefüggés segítségével lehet kiszámítani az árnyékolás hatékonyságát. A vizsgálat akkor sikeres, ha a kiszámolt érték 40 dB-nél nagyobb.

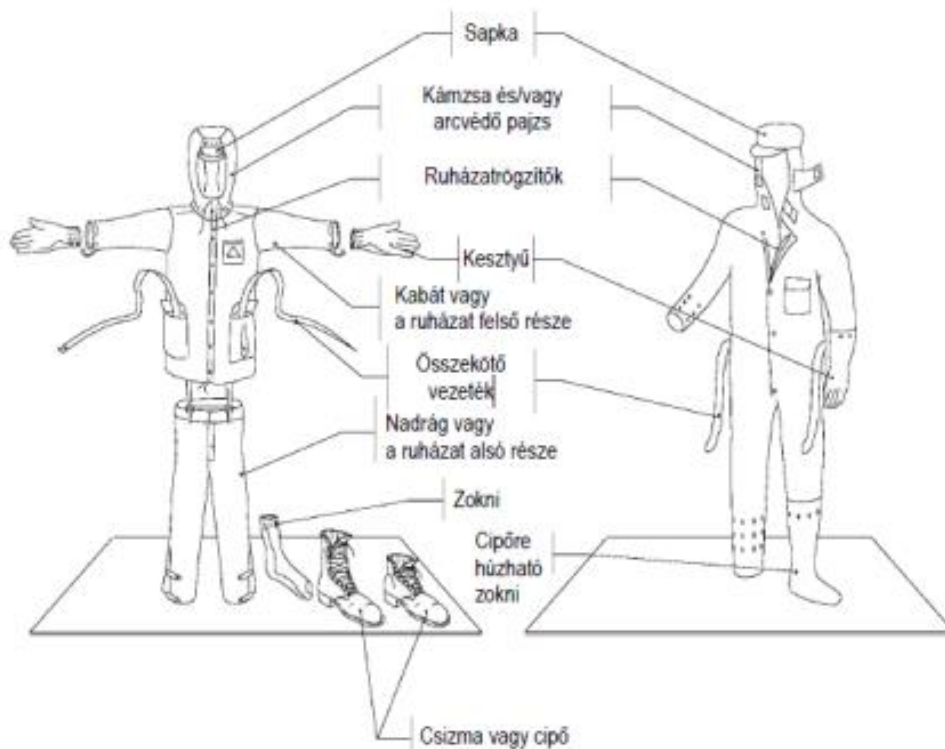
- **Tisztításállósági követelmények** – A vizsgálat során 10 mosásból és szárításból álló ciklus vagy 10 vegytisztítási ciklus elvégzése után a próbadarabokat sík felületre helyezve legalább 4 órán keresztül, környezeti hőmérsékleten kell kondicionálni. Ez után az ernyőzési, illetve lángállósági vizsgálatok elvégzése következik. Amennyiben ezek sikeresnek bizonyulnak, úgy az anyag elfogadható minőségűnek tekinthető. [54]
- **Szikrakisüléssel szembeni védelem** – A közvetlen szikrakisüléssel szembeni védelem biztosításának érdekében az öltözet különböző darabjai közötti távolság (kivéve az arcvédő pajzs) nem haladhatja meg az 5 mm-t. [54]

6.1 A ruha felépítése

A nagyfeszültségű FAM során alkalmazott védőruha többféle módon állhat össze. Előfordulhat kezeslábas típusú egyberuha, de van, hogy külön nadrág és kabát tartozik a védőfelszereléshez. A vezetőképes ruha további tartozékai a következő felsorolásban olvashatók.

- Kámzsa vagy csuklya, mely a ruha fejet betakaró részét képezi. Ez lehet különálló, vagy a ruhába integrált.
- Szilárd vagy hálószerű vezetőanyagból készült arcvédő pajzs.
- Cipőre húzható vezetőképes anyagból készült zokni.
- Vezetőképes kesztyű, zokni, illetve lábbeli.

Az alábbi, 13. ábraán a vezetőképes öltözet különálló darabjai láthatóak. [54]



13. ábra Villamosan vezető védőruházat különböző részei [54]

Lényeges, hogy a különböző ruhadarabokból álló védőöltözet az egész testet lefedje, valamint, hogy minden darab galvanikusan kapcsolódjon a szomszédos darabhoz, hiszen ez biztosítja a megfelelő villamos kapcsolatot. Az összeköttetését például patentokkal, vagy a ruha anyagával megegyező szalagokkal oldják meg. [50] [54]

A védőruha megfelelősége, nem csak a védelem biztosításában rejlik. Fontos, hogy a viselőjét ne hátráltassa a munkavégzésben, hozzájáruljon a megfelelő komfortérzethez. Például az arc védelmét úgy kell megvalósítani, hogy a munkát végző személy légzését, valamint látását ne zavarja. Egy másik példa lehet a védőkesztyű, melynek biztosítani kell a megfelelő mértékű mozgékonyt is a megfelelő munkavégzés érdekében. [50]

A FAM-hoz használt ruhákat ma már több helyen gyártják, ezért is fontos a különböző szabványok ismerete és ismertetése. Az alábbi, 14. ábra Dr. Csikós Béla szabványa szerint készült vezetőképessé öltözet, illetve hozzá tartozó kesztyű és zokni látható. [50]



14. ábra magyar vezető ruha [50]

A prototípusnak mondható védőöltözet után a 15. ábra egy az oroszok és magyarok által közösen fejlesztett védőruházat egy része és néhány tartozéka látható. Balra egy vezetőképessé kabát, jobbra a kámzsa rész arcvédőhálójával. valamint az összeköttetéshez használt patenttal ellátott szalagok. [50]



15. ábra Orosz ruha átalakított verziója

6.2 Villamos ívvédelemhez használt eszközök és ruházat

Az MSZ EN 60895 FAM vezetőképes öltözetre vonatkozó magyar szabvány a villamos ívvédelemre nem tér ki. Ennek egyik magyarázata lehet, hogy villamos ív valamilyen hiba következményeként léphet fel a munkavégzés során. Ennek valószínűsége igen kevés, köszönhetően a feszültség alatti munkavégzés kidolgozott munkamenetének, különleges üzemviteli állapotának, meghatározott védőtávolságoknak, illetve a szigorú alkalmassági feltételeknek. [50]

Mindezek ellenére, az íválló öltözetek életet menthetnek. Mivel a villamos ív akár 3 méteres távolságból is halálos sérülést okozhat, így fontos, hogy az alábbi eszközökre is kellő figyelmet fordítsunk. [55]

A védőeszközök elektromos ív elleni védelmi szintjét az egységnyi felszínre jutó energiában, általában cal/cm^2 -ben adják meg. Ez a villamos ívtől egy adott távolságra lévő pontra leadható energia mennyiségét jelöli. [55]

Mivel a villamos ív különböző káros hatásai egyszerre is felléphetnek, így egyaránt érdemes az összesre felkészülni. Fültok használata a nagy robbanás szerű hanghatás miatt javasolt. [55]



16. ábra Ívvédelem céljából használható fültok [56]

Az égési sérülések elkerülése érdekében, minden olvadékony anyagú ruházat kerülendő, érdemes hőálló, speciálisan erre kifejlesztett ruhákat használni. A lökéshullám okozta balesetek miatt, nagyobb figyelmet kell fordítani a munkakörülmények kialakítására. Fontos, hogy amennyire lehet elkerülhető legyen a mechanikai baleset. [55]

A magas hőmérséklet miatt keletkező mérgező anyagok tüdőbe jutását, egy, az arcot mélyen fedő arcvédő gátolhatja meg. Amennyiben ez az arcvédő sötétített látómezejű, úgy az ív felvillanásának szemre káros hatása is megelőzhető. A legújabb technológia lehetővé teszi, hogy a zöldes árnyalatú fényvédők helyett egy enyhén szürkés színűt használjunk, mely a felvillanáskor egy sötét réteget kap. Ez olyan gyorsan történik, hogy a szem nem tud károsodni. Mind a zöld, mind pedig a szürke sötétítés olyan, hogy a munkavégzés folyamatát nem zavarja. [55]



17. ábra Íválló ruha és kámzsa [55]

7 Közelmúltban történt balesetek

Bár a feszültség alatti munkavégzés összességében biztonságosnak mondható, sajnos előfordulnak különböző balesetek. Az Occupational Safety and Health Administration (OSHA) egy 1971-ben Richard Nixon által alapított amerikai hivatal. [57]

Az OSHA által rögzített halálesetek, illetve balesetek összefoglalói részletes leírást adnak a balesetek előzményeiről és az ok-okozati összefüggésekről. Jelenleg 1984-től 2020-ig érhetőek el a befejezett vizsgálatok, összefoglalók. [57]

A dolgozatomban indukált áram és feszültség okozta balesetekkel foglalkoztam, melyekből 3-3 esetet a következő két alponban gyűjtöttem össze. (7.1, 7.2)

7.1 Indukált áram okozta balesetek

Az elsőnek tárgyalt balesetnél szigetelők cseréje volt a feladat egy 230 kV-os szabadvezetéken. Az eset 2002-ben történt. A beavatkozó szerelő egy 3,7 méter hosszú FAM epoxigyanta anyagú létrán állt, míg egy tanonc segített a munkavégzés folyamán. A létra az oszlop felső keresztkarjára volt függesztve. A munka befejeztével a szerelő eltávolította a földelő kábeleket, majd a létrán való leereszkedés közben érintkezett a távvezetékkel. A vezeték sajnos indukált áram hatása miatt feszültség alá került, így a szakembert áramütés érte, melynek hatására leesett a létráról és fejjel lefelé függött több, mint 30 percig. A gyakoronok megkezdte az újraélesztést, majd leváltásakor ő is érintkezett a feszültség alatt álló részekkel. A szerelőt közvetlenül a kórházba szállítása után halottnak nyilvánították. A gyakoronok égési sérüléseket szenvedett, kórházban kezelték. [57]



18. ábra Áramütés okozta égési sérülés

2011-ben két beavatkozó szerelő egy 16 kV-os, feszültség alatt álló sodronyt szeretett volna leválasztani egy személyzet nélküli alállomáson. A két munkavállaló közül az egyik 8 éve, míg a másik 3 éve dolgozott a Southern California Edison elektromos vállalatnál. A két szerelő egy kosaras jármű munkaállásából dolgozott. A feladataik közé tartozott a leválasztani kívánt vezetők áramterhelésének ellenőrzése. Miután egyikük egy lakatfogó segítségével megbizonyosodott róla, hogy nincs jelen áramterhelés, a másik szerelő eltávolíthatta az egyik áramkötést. A második áramkötés eltávolításakor egy szemtanú szerint zárlat lépett fel. Villamos ív keletkezett, mely másod- és harmadfokú égési sérüléseket okozott mindkét alkalmazott arcán, nyakán, illetve karján. Az egyik munkavállaló 5. míg a másik 8 napig volt kórházban. Utólagos vizsgálatok során kiderült, hogy az indukált feszültségfelhalmozódás lehetősége fennállt, mely hatására kialakult a villamos ív, mégsem hoztak megfelelő intézkedéseket a megelőzés érdekében. [57]



19. ábra Villamos ív által okozott sérülés

A harmadikként tárgyalt, indukált áram okozta baleset 2018 hajnalában történt. Egy alkalmazott keresztkarokat szerelt egy közmű oszlopra. A munkát egy emelőgémes járműről végezte, egy feszültségmentesített vonalon. Nagyfeszültségű távvezeték vonal futott körülbelül 55 méterre (180 láb) a munkavégzés helyszínétől, melynek hatására indukált feszültség jelent meg a szerelés alatt álló vezetéken. Az alkalmazott áramütést szenvedett. Kórházba szállítása után szívpanaszokkal, vese- és májelégtelenséggel, valamint égési sérülésekkel kezelték. 11 napig volt kórházban, a balesete szerencsés véget ért. [57]

7.2 Indukált feszültség okozta balesetek

Az első indukált feszültség okozta baleset tárgyalásánál rozsdásodó mechanikai kötések cseréje volt a feladat, melyet egy villanyvezeték szerelő csapat végzett. A munkavégzés folyamán az egyik tartó szerelvény véletlenül eltört. Másnap az áramszolgáltató feszültségmentesítette az eltört oszlop által tartott 115 kV-os távvezetékét. A közelben lévő 115, illetve 230 kV-os távvezetékkel viszont nem számoltak. Továbbá a feszültségmentesített vezetékét nem földelték, valamint feszültségkémlés sem történt a tartószerkezet cseréje előtt. A személyzet új oszlopot állított a törött helyére, majd áthelyezte a vezetékét az új oszlopra. Eközben két alkalmazott (egy szerelő és egy gyakornok) egy kosaras emelőben dolgozott, melyben egy fém lapon álltak. Az emelőkosár egy függővassal érintkezett a munkavégzés közben. Amikor a gyakornok megfogta a mechanikai tartóelemet, áramütést szenvedett. Jobb lábán és bal kezén sebek keletkeztek. A baleset vélhető oka, hogy a feszültség alatt álló távvezeték hatására a feszültségmentesített vezeték feszültség alá került. Ezt a jelenség az indukált feszültség okozza. [57]



20. ábra Áramütés okozta sérülés

2014-ben egy alkalmazott túlfeszültség levezetőket telepített egy távvezetékre. A szerelő nem telepített megfelelő földelést, valamint egyéni védőfelszerelést sem használt a munkavégzés során. A közelben 500, illetve 69 kV-os távvezeték futottak, melyek indukált feszültsége a beavatkozás helyén lévő távvezeték feszültség alá helyezte. A szerelő áramütést szenvedett, sajnos a helyszínen életét vesztette. [57]

A dolgozatomban tárgyalt utolsó baleset 2017-ben történt. Két alkalmazott, egy felügyelő és egy gyakornok dolgozott egy újonnan telepített 345 kV-os távvezeték oszlopnál. A feszültségmentesített távvezetékekkel párhuzamosan futottak, 138 kV-os, feszültség alatt álló távvezetékek is. Az egyik alkalmazott egy daru kosarából dolgozott, szigetelőrúd segítségével távolította el a földelést. A másik alkalmazott kezelte a daruskocsit. A kosárban álló alkalmazott indukált feszültség okozta áramütést szenvedett, melynek hatására elvesztette eszméletét és átesett a kosár korlátján. Kollégája leengedte a daru kosarát, hívta a mentőket és megkezdte az újraélesztést. A sérültet kórházba szállítása után kezén és hasán lévő égési sérülésekkel kezelték. Az utólagos vizsgálatok során kiderült, hogy a daru kosara nem volt szigetelve, ráadásul ugyan oda földelték, mint a távvezetékét. Az áramütést szenvedő alkalmazott nem viselt védőfelszerelést, ami valószínűleg megmentette volna, a komolyabb sérülésektől. [57]



21. ábra Áramütés okozta sérülés kezdeti és gyógyult állapota

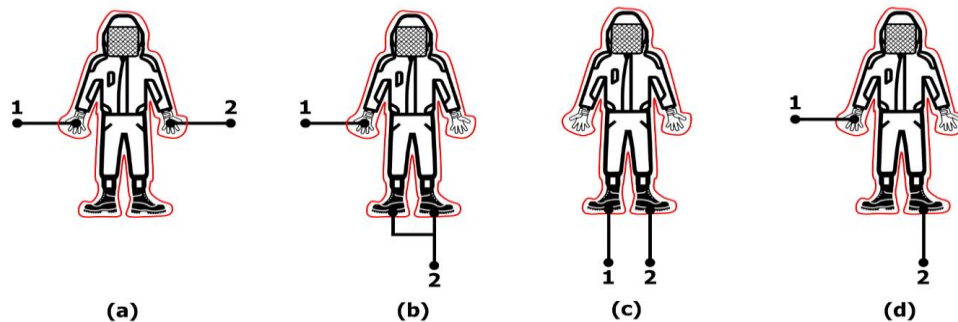
7.3 Tanulságok

Amennyire a feszültség alatti munkavégzés biztonságos, annyira lehet veszélyes is, amennyiben nincs megfelelő szakmai képzés, alkalmassági vizsgálat, elegendő előkészület, kellő odafigyelés. A balesetektől levonható elsődleges tanulság, hogy a védőfelszerelések használata életet menthet, valamint a szigorú szabályok betartása végzetes baleseteket előzhet meg.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű Laboratóriumában egy kiemelten fontos kutatási terület a szakszemélyzet védelme. Amellett, hogy folyamatosan átvételi és periodikus vizsgálatokat végzünk vezetőképes öltözeten, eszközökön, új technológiákat fejlesztünk, illetve szabványokat írunk.

A jelenleg is fejlesztés alatt álló elektromágneses indukció elleni védőruházat egy új elgondolás. A méréshez szükség van egy generátorra, mellyel 50 A áramot generálunk és egy oszcilloszkópra, hogy a ruhán és testen átfolyó áramot, illetve a generátor feszültségét le tudjuk olvasni. Hőmérő bélyegekkel és hőkamerával a ruha hőmérsékletét tudjuk rögzíteni. [58]

Többféle mérési elrendezés lehetséges, melyek az alábbi, 22. Ábraán láthatóak. Különböző konfigurációkban vezethetjük az áramot a ruhába, például kézből kézbe, kézből lábba, vagy lábból lábba. [58]



22. Ábra AC indukció elleni védőruha mérési elrendezései [58]

A mérés folyamán 50 A áramot vezetünk keresztül a ruhán 30 másodpercig. Ennek hatására a testen átfolyó áram nem haladhatja meg a 6 mA-t, valamint a melegedés hatására másodfokú égési sérülés nem keletkezhet, tehát a hőmérséklet nem érheti el a 131 °C-ot. További kritérium, hogy a mérés elvégzésénél a vizsgálóáram folyamatossága szükséges, az áram nem szakadhat meg. [58]



23. Ábra AC indukció elleni védőruházat laboratóriumi tesztelése [58]

Tehát a védőöltözet kialakításakor többféle veszélyhelyzettel kell számolni. Egyrészt nagyfeszültségű feszültség alatti munkavégzés esetében a ruhának villamosan vezetőnek kell lennie a villamos teret leárnyékolva, hasonlóan a Faraday kalitka működési elvéhez. Továbbá feszültség közeli munkavégzés esetében fel kell készülni az indukált áram, vagy feszültség által okozott balesetekre. Ezt a munkavégzést elsősorban kétrendszerű távvezetékek feszültségmentesített oldalán alkalmazzák, míg a másik rendszer feszültség alatt áll. Ebben az esetben speciális vezetőképes öltözetet használnak, melynek elsődleges funkciója az érintés okozta hibaáramok elleni védelem. Nem utolsósorban fel kell készülni a villamos ív kialakulására, mely bármikor jelentkezhet és a legtöbb esetben sajnos végzetes lehet. [58]

A nagyfeszültségű laboratóriumban azon dolgozunk, hogy a fent említett három veszélyforrás ellen egyetlen védőöltözet is elegendő védelmet nyújtson.

8 Összegzés

Dolgozatomban a feszültség alatti munkavégzés során fennálló lehetséges veszélyekről értekeztem. Elsődlegesen érintett témám a villamos és mágneses erőterek, illetve sugárzások emberekre gyakorolt hatásai voltak, főleg biológiai szempontból. Célom az volt, hogy megismerkedjek a sugárzások fajtáival, valamint ezek élettani hatásaival. Mivel leginkább az elektromágneses terek rákkal való kapcsolata foglalkoztatott, valamint a köztudatban ez eléggé érdekelt téma, ezért a betegségek közül ezt vizsgáltam részletesebben.

Másik témám a villamos ívvédelem volt, hiszen a szakemberek nem csak a biológiai hatásoknak vannak kitéve, hanem a műszaki hibából adódó villamos baleseteknek is, melynek egy nagy része villamos ív kialakulása miatt következik be. Dolgozatomban összefoglaltam az ívvédelem feladatát, illetve jobban utána jártam a villamos ív kialakulásának, tulajdonságainak és annak hogyan tudunk védekezni ellene. Utóbbihoz kapcsolódik a vezetőképes védőruha, melynél a magyar szabványt figyelembevéve vizsgáltam a hozzá tartozó követelményeket és kitértem a villamosan íválló védőfelszerelésekre is.

Dolgozatom utolsó részében 3-3 esettel foglalkoztam, melyeknél indukált áram vagy feszültség, hol végzetes, hol sérüléseket okozó baleseteket eredményezett. A sajnálatos balesetekből csakis tanulni lehet és levonni a konklúziókat, hogyan tudunk fejlődni, jobban védekezni a kialakuló helyzetekkel szemben.

Dolgozatom célja, felhívni a figyelmet a védőfelszerelések, illetve a kutatások fontosságára.

A jövőben többet szeretnék megtudni a sajnos rengeteg embert érintő neurodegeneratív rendellenességekről, mely jelenleg gyógyíthatatlan, mozgás – és mentális problémákat okozó betegségek összefoglaló neve. Továbbá az ívvédelem is rengeteg lehetőséget rejt, főleg a védekezési módszerekkel, és védőöltözetekkel szeretnék a jövőben foglalkozni.

Irodalomjegyzék

- [1] Ovit: *A társaság története*: <http://www.ovit.hu/bemutatkozas/a-tarsasag-toertenete>
(revision 14:17, 11 October 2021)
- [2] High Voltage Laboratory Budapest: *Felnőttképzés*:
<http://nfl.vet.bme.hu/hu/tevekenyseg/felnottkepzes.html>
(revision 14:40, 11 October 2021)
- [3] Németh, B.: *A feszültség alatti munkavégzés (FAM), 2015.05.04.*,
<https://docplayer.hu/40439264-A-feszultseg-alatti-munkavegzes-fam.html>
(revision 23:54, 25 October 2021)
- [4] Kimpián, A.: *A feszültség alatti munkavégzés FAM, 2012.10.27.*,
<https://docplayer.hu/23711807-A-feszultseg-alatti-munkavegzes-fam.html>,
(revision 23:54, 25 October 2021)
- [5] Nemzeti Jogszabálytár: *a Feszültség Alatti Munkavégzés Biztonsági Szabályzatának kiadásáról, 72/2003. (X. 29.) GKM rendelet*
- [6] Nagy, D.: *Feszültség alatti munkavégzés eszközeinek átvételi és periodikus vizsgálata*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar, TDK dolgozat, 2013
- [7] Göcsei, G.: *A szakszemélyzet fokozott védelme nagyfeszültségű rendszereken végzett feszültség alatti munka során*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Villamos Energetika Tanszék Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport, Doktori (PhD) értekezés, 2016
- [8] Göcsei, G.: *A feszültség alatti munkavégzés (FAM) élettani hatásai*, 2016.05.10.,
<https://docplayer.hu/39637440-A-feszultseg-alatti-munkavegzes-fam-elettani-hatasai.html> (revision 23:55, 25 October 2021)
- [9] Tringer, Á.: *A villamos és mágneses erőter hatásai*, Iskolakultúra, vol 5(18-19), pp. 134-140., 1995
- [10] Socratic Q&A: *What is the electromagnetic spectrum used for?*
<https://socratic.org/questions/what-is-the-electromagnetic-spectrum-used-for>
(revision 23:55, 25 October 2021)
- [11] M. G. Stabin, „*Radiation Protection and Dosimetry. An Introduction to Health Physics*”, Springer, New York, USA, 2007.
- [12] „33/1998. (VI. 24.) NM rendelet a munkaköri, szakmai, illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról, véleményezéséről”, 1998.S. John, „Power-frequency EMF Exposure Standards applicable in Europe and elsewhere”, EMFS.info (maintained by National Grid), Warwick, UK, 2014.

- [13] Guáth M.: *Az ionizáló és nem ionizáló sugárzások összehasonlító elemzése*, <https://docplayer.hu/15061248-Az-ionizalo-es-nem-ionizalo-sugarzasok-osszehasonlito-elemzese-keszितte-guath-mate-kornyezettan-bsc-temavezeto-pavo-gyula.html> (revision 23:56, 25 October 2021)
- [14] Nyíregyházi egyetem, *A radioaktivitás környezeti vonatkozásai*, <http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/Kemia-I/Kornykemalapmenu/radioaktvonatk.htm> (revision 23:57, 25 October 2021)
- [15] Thuróczy, Gy.: *A rádiófrekvenciás sugárzások egészségügyi kérdései*, Magyar Tudomány, 2002/8 1010. o.
- [16] Schanda, J.: *Az optikai sugárzás élettani hatásai*, Magyar Tudomány, 2002/8 1000. o.
- [17] Finta V.: *Milyen hatásai vannak a környezetünkben lévő nem ionizáló elektromágneses sugárzásoknak?*, Fizika szemle, 57. évf. 11. sz., 2007. november
- [18] J. Reilly, „*Comments concerning Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*”, Health Physics, Vol. 76, pp. 314-315, 1999
- [19] J. Reilly, „*Applied bioelectricity: from electrical stimulation to electropathology*”, Springer-Verlag, New York, USA, 1998.
- [20] J. Reilly, „*Neuroelectric mechanisms applied to low frequency electric and magnetic field exposure guidelines—part I: sinusoidal waveforms*”, Health Physics, Vol. 83, pp. 341-355, 2002.
- [21] R. Saunders, J. Jefferys, „*A neurobiological basis for ELF guidelines*”, Vol. 92, pp. 596-603, 2007.
- [22] Ábrahám, H., Ács P., Albu M., Bajnóczky I., Balás I., Benkő A., Birkás B., Bors L., Botz B., Csathó Á., Cséplő P., Csernus V., Dorn K., Ezer E., Farkas J., Fekete S., Feldmann Á., Füzesi Zs., Gaszner B., Gyimesi Cs., Hartung I., Hegedűs G., Helyes Zs., Herold R., Hortobágyi T., Horváth J., Horváth Zs., Hudák I., Illés E., Jandó G., Jegesy A., Kállai J., Karádi K., Kerekes Zs., Koller Á., Komoly S., Kovács B., Kovács N., Kozma Zs., Kövér F., Kricskovics A., Lenzsér G., Lucza T., Mezősi E., Mike A., Montskó P., Nagy A., Nagy F., Pál E., Péley I., Pethő G., Pethőné L. A., Pfund Z., Pintér E., Porpáczy Z., Pozsgai G., Reglődi D., Rékási Z., Schwarcz A., Sebők Á., Simon G., Simon M., Sipos K., Szapáry L., Szekeres J., Szolcsányi T., Tamás A., Tényi T., Tiringner I., Tóth M., Tóth P., Trauninger A., Vámos Z., Varga J., Vörös V.: *Emberi életfolyamatok idegi szabályozása – a neurontól a viselkedésig. Interdiszciplináris tananyag az idegrendszer felépítése, működése és klinikuma témáiban orvostanhallgatók, egészség- és élettudományi képzésben résztvevők számára Magyarországon*, Pécsi Tudományegyetem; Dialóg Campus Kiadó-Nordex Kft, ISBN 978-963-642-631-6, 2016. 36-60. o.J. Nyenhuis, J. Bourland, A. Kildishev, D. Schaefer, „*Health effects and safety of intense gradient fields*”, in Shellock F. ed. *Magnetic resonance procedures: Health effects and safety*, pp. 31-54, CRC Press, Boca Raton, USA, 2001,

- [23] P. So, M. Stuchly, J. Nyenhuis, „*Peripheral nerve stimulation by gradient switching fields in magnetic resonance imaging*”, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 51, pp. 1907-1914, 2004.
- [24] World Health Organization, „*Environmental Health Criteria 238 Extremely low frequency (ELF) fields*”, WHO, Geneva, Switzerland, 2007.
- [25] D. Attwell, „*Interaction of low frequency electric fields with the nervous system: the retina as a model system*”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 106, pp. 341-348, 2003.
- [26] J. Juutilainen, „*Developmental effects of extremely low frequency electric and magnetic fields*”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 106, pp. 385-390, 2003.
- [27] J. Juutilainen, „*Developmental effects of electromagnetic fields*”, Bioelectromagnetics, Vol. 7, pp. 107-115, 2005.
- [28] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, „*Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0–100 kHz)*”, in Bernhardt JH., Matthes R., McKinlay A., Vecchia P., Veyret B., eds. Review of the scientific evidence and health consequences, Munich, Germany, 2003.
- [29] L. Kheifets, J. Bowman, H. Checkoway, M. Feychting, M. Harrington, R. Kavet, G. Marsh, G. Mezei, D. Renew, E. van Wijngaarden, „*Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations*”, Journal of Occupational and Environmental Medicine, Vol. 66, pp. 72-80, 2009.
- [30] A. Garcia, A. Sisternas, S. Hoyos, „*Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a meta-analysis*”, International Journal of Epidemiology, Vol. 37, pp. 329-340, 2008.
- [31] A. Huss, A. Spoerri, M. Egger, M. Röösli, „*Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population*”, American Journal of Epidemiology, Vol. 169, pp. 167-175, 2009.
- [32] D. McNamee, A. Legros, D. Krewski, G. Wisenberg, F. Prato, A. Thomas, „*A literature review: the cardiovascular effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields*”, International Archives of Occupational and Environmental Health, Vol. 82, pp. 919-933, 2009.
- [33] Kheifets, L., Ahlbom, A., Johansen, C., Feychting, M., Sahl, J., Savitz, D.: „*Extremely low frequency magnetic fields and heart disease*”, J. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, Vol. 33, pp. 5-12, 2007.
- [34] World Health Organization, *Cancer Overview*, https://www.who.int/health-topics/cancer#tab=tab_1 (revision 23:58, 25 October 2021)
- [35] Siddhartha, M.: *Betegségek betegsége: Mindent a rákról*. Fordította Kelemen László. Libri Kiadó, Bp., 2013. 31-32. o.

- [36] Dr. Szücs, M.: *A rákról röviden-veszélyeztető tényezők-korai felismerés.* (2003).
- [37] Fayed, L.: *Differences Between a Malignant and Benign Tumor* 2021.
<https://www.verywellhealth.com/what-does-malignant-and-benign-mean-514240>
 (revision 23:58, 25 October 2021)
- [38] Wikipédia: *Daganat*, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Daganat> (revision 23:58, 25 October 2021)
- [39] Wikipédia: *Leukémia*, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Leuk%C3%A9mia> (revision 0:03, 26 October 2021)
- [40] Polgár, Cs.: *Daganatok epidemiológiája, a megelőzés és szűrés módszerei – A komplex onkoterápia alapelvei*, Semmelweis Egyetem ÁOK Onkológiai Tanszék,
https://onkol.hu/wp-content/uploads/2019/10/01_Daganatok-etiol%C3%B3gi%C3%A1ja-epidemi%C3%B3gi%C3%A1ja-megel%C5%91z%C3%A9s-sz%C5%B1r%C3%A9s-Komplex-onkoter%C3%A1pia.pdf (revision 0:03, 26 October 2021)
- [41] International Agency for Research on Cancer, *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–129* <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/> (revision 0:04, 26 October 2021)
- [42] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, „*ICNIRP Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric And Magnetic Fields (1 Hz-100 kHz)*”, Health Physics, Vol. 99, Issue 6, pp. 818-836, 2010.
- [43] Ahlbom, A., Day, N., Feychting, M., Roman, E., Skinner, J., Dockerty, J., Linet, M., McBride, M., Michaelis, J., Olsen, J., Tynes, T., Verkasalo, P.: „*A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia*”, British Journal of Cancer, Vol. 83, pp. 692-698, 2000.
- [44] Greenland, S., Sheppard, A., Kaune, W., Poole, C., Kelsh, M.: „*A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia*”, Epidemiology, Vol. 11, pp. 624-634, 2000.
- [45] Crumpton, M., Collins, A.: „*Are environmental electromagnetic fields genotoxic?*”, DNA Repair, Vol. 3, pp. 1385-1387, 2004.
- [46] Maes, A., Verschaeve, L.: „*Genetic damage in humans exposed to extremely-low frequency electromagnetic fields.*”, Review. Arch Toxicol Vol. 90, pp. 2337–2348, 2016.
- [47] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: „*ICNIRP Statement Gaps In Knowledge Relevant To The Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric And Magnetic Fields (1 Hz-100 kHz)*”, Health Physics, Vol. 118, Issue 5, pp. 533-542, 2020.
- [48] Ravel, F. A., Gammon, T., Sen, P. K., Nelson, J. P.: *Comparative study of arc modeling and arc flash incident energy exposures*, IEEE, 2008.

- [49] Konvox Kft: *Elektromos ívkisülés elleni védelem*, <http://www.kovox.hu/html/aramutes.ivkisules.html> (revision 0:07, 26 October 2021)
- [50] Halász, B. G.: *A nagyfeszültségű FAM személyzet villamos ív elleni védelmének vizsgálata*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar, TDK dolgozat, 2014
- [51] Cselkó, R.: *A villamos ív, az ívvédelem alapjai*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Villamos berendezések és szigetelések előadás, 2020
- [52] Zalesszkij, A. M.: *A villamos ív*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1968.
- [53] Halász, B. G., Göcsei, G., Dr. Németh, B., Cselkó, R., Bokor, T.: *Arc protection during live-line maintenance on high voltage systems*, Budapest University of Technology and Economics, 2015
- [54] Magyar Szabványügyi Testület, „MSZ EN 60895,” 2004.
- [55] Konvox Kft.: *Ívvédelem*, <http://www.kovox.hu/html/spec.ivvedelem.html> (revision 0:09, 26 October 2021)
- [56] Konvox Kft.: *Hallásvédelem*, <http://www.kovox.hu/html/hallasvedelem.html> (revision 0:09, 26 October 2021)
- [57] Occupational Safety and Health Administration: *Fatality and Catastrophe Investigation Summaries*, <https://www.osha.gov/pls/imis/accidentsearch.html> (revision 0:10, 26 October 2021)
- [58] Szabó, D.: *Feszültség közeli munkavégzés során alkalmazott vezetőképes öltözet*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai kar, Nagyfeszültségű laboratórium előadás, 2021